Kemizam podzemne vode dubljeg vodonosnika na području sjeverne Baranje

Simončić, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:774016

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

KEMIZAM PODZEMNE VODE DUBLJEG VODONOSNIKA NA PODRUČJU SJEVERNE BARANJE

Diplomski rad

Petra Simončić

GI-165

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

KEMIZAM PODZMENE VODE DUBLJEG VODONOSNIKA NA PODRUČJU SJEVERNE BARANJE

PETRA SIMONČIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu analizirani su rezultati kemijskog sastava vode sa područja triju vodocrpilišta: Prosine, Livade i Topolje koji se nalaze na području sjeverne Baranje. Cilj rada bio je izraditi pomoću navedenih analiza Piperove dijagrame kako bi se na temelju njih mogli odrediti hidrokemijski facijesi za vodu na području navedenih vodocrpilišta. U radu je navedeno 29 kemijskih analiza za različite bušotine, piezometre i zdence te je prikazan kemijski sastav vode; uzorci za kemijske analize su uzeti od 1979. godine pa do 2011. godine. Na temelju kemijskih analiza izrađeni su Piperovi dijagrami za vodocrpilišta koji su prikazani u radu, zajedno s tablicama u kojima su prikazane navedene analize.

Ključne riječi: Piperovi dijagrami, hidrokemijski facijes, sjeverna Baranja, kemijski sastav

Diplomski rad sadrži: 41 stranicu, 6 tablica, 12 slika i 18 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Doc. dr. sc. Željko Duić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Željko Duić

Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec

Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Datum obrane: 19. veljače 2016., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and

Petroleum Engineering

Master's Thesis

GROUNDWATER CHEMICAL COMPOSITION OF THE DEEPER AQUIFER IN NORTHEN DISTRICT OF BARANJA

PETRA SIMONČIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering

Department of Geology and Geological engineering

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

In this thesis chemical composition of water on the northern area of Baranja were analyzed, using the Piper plot. The main goal was the determination of hydrochemical facies of water for three well fields: Prosine, Livade and Topolje. Piper plots were made using the chemical analysis of water on the northern area of Baranja. For the construction of Piper plots 29 chemical analysis were used. All of the data from the piezometers and wells, from the year 1979 until 2011 were chemically analyzed. Piper plots were made and shown in this thesis, along with the tables of obtained results from certain years.

Keywords: piper plots, hydrochemical facies, northern area of Baranja, chemical composition

Thesis contains: 41 pages, 6 tables, 12 figures and 18 references

Orginal in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Željko Duić, Assistant Professor

Reviewers: PhD Željko Duić, Assistant Professor

PhD Kristijan Posavec, Associate Professor

PhD Jelena Parlov, Assistant Professor

Date od defense: February 19th, 2016, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Područje istraživanja 3

2.1. Geološke i geomorfološke značajke 3

2.2. Hidrogeološke značajke 6

2.3. Vodocrpilište Prosine 10

2.3.1. Istraživanja i zahvati gornjeg vodonosnika na području vodocrpilišta Prosine 11

2.3.2. Novija istraživanja vodocrpilišta Prosine i zahvati donjega vodonosnika 12

2.4. Vodocrpilište Livade 14

2.5. Vodocrpilište Topolje 16

3. Metode istraživanja i rezultati 18

3.1. Alati za obradu i prikaz podataka 18

3.2. Rezultati kemijskih analiza uzoraka vode 19

4. Ocjena kemizma podzemne vode na području sjeverne Baranje 24

4.1. Kemija podzemnih voda 24

4.2. Piperov dijagram 25

4.3. Određivanje hidrokemijskih facijesa podzemne vode na području sjeverne Baranje 28

4.4. Kakvoća podzemne vode za piće na području sjeverne Baranje 37

5. Zaključak 38

6. Literatura 40

Popis slika

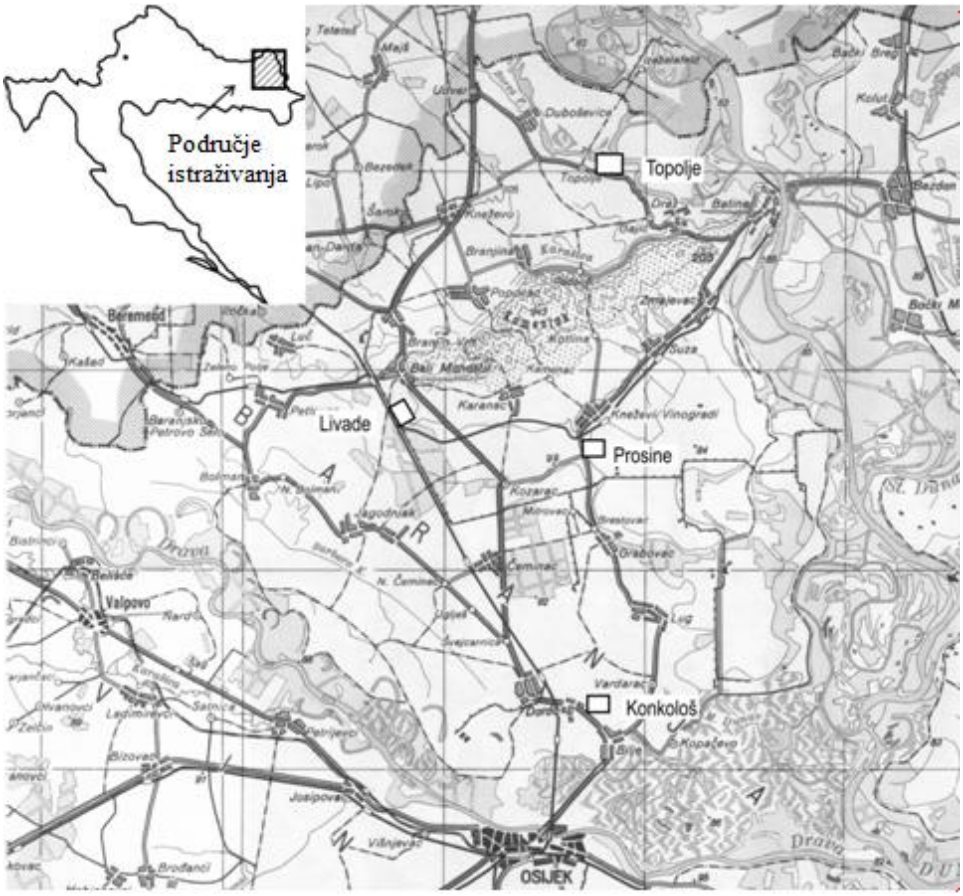
Slika 1.1. Glavna izvorišta vodoopskrbe na području Baranje: crpilište Topolje, crpilište Prosine i crpilište Livade (Briški i Duić, 2009) 1
Slika 2.1. Geološko-litološka karta Osječko-baranjske županije (preuzeto sa www.obz.hr) 6
Slika 2.2. Površinske vode Osječko-baranjske županije (preuzeto sa www.obz.hr) 9
Slika 2.3. Zemljovid vodocrpilišta Prosine, Livade i Topolje (Briški i Duić, 2009) 10
Slika 2.4. Lokacija zdenaca na vodocrpilištu Livade u Belom Manastiru (Urumović i dr., 2008) 14
Slika 2.5. Položaj vodocrpilišta Topolje i lokacije bušotina (Urumović i dr., 2012) 16
Slika 4.1. Piperovi dijagrami (Freeze i Cherry, 1979) 26
Slika 4.2. Prikaz vodnih facijesa u Piperovom dijagramu (Freeze i Cherry, 1979) 27
Slika 4.3. Piperov dijagram vodocrpilišta Prosine 30
Slika 4.4. Piperov dijagram vodocrpilišta Livade 31
Slika 4.5. Piperov dijagram vodocrpilišta Topolje 33
Slika 4.6. Piperov dijagram vodocrpilišta Prosine, Livade i Topolje 36

Popis Tablica

Tablica 3.1. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Prosine (I. dio) 19
Tablica 3.2. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Prosine (II. dio) 20
Tablica 3.3. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Livade (I. dio) 21
Tablica 3.4. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Livade (II. dio) 21
Tablica 3.5. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Topolje (I. dio) 22
Tablica 3.6. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Topolje (II. dio) 22

1. Uvod

Zadatak diplomskog rada je analiza kemijskog sastava vode dubljeg vodonosnika na području sjeverne Baranje. Na području sjeverne Baranje nalaze se tri vodocrpilišta: Livade, Topolje i Prosine kojima se okolna mjesta opskrbljuju vodom (Slika 1.1). Kemijski sastav vode prikazan je pomoću Piperovog dijagrama i prema tome određeni su hidrokemijski facijesi.



Slika 1.1. Glavna izvorišta vodoopskrbe na području Baranje: crpilište Topolje, crpilište Prosine i crpilište Livade (Briški i Duić, 2009)

Piperov dijagram koristi se u hidrogeologiji za prikazivanje sastava vode. Sastoji se od dva trokuta, od kojih se u lijevi trokut nanose postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih kationa, a u desni postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih aniona. Sastav nekog uzorka vode određuju dvije točke, jedna u trokutu kationa i druga u trokutu aniona. Te točke određuju kationski i anionski facijes vode. Hidrokemijski facijesi omogućuju otkrivanje

sveze između kemijskih svojstava vode, litologije stijena i načina regionalnoga gibanja podzemnih voda.

U radu je prikazan pregled područja istraživanja, odnosno njegovih geografskih, geoloških i hidrogeoloških značajki. Temeljem podataka kemijskih analiza vode prikupljenih sa vodocrpilišta Livade, Topolje i Prosine određen je hidrokemijski facijes odnosno određeno je kojem tipu prema sastavu pripada voda. U radu je navedeno 29 kemijskih analiza pomoću kojih su izrađeni Piperovi dijagrami za svako od vodocrpilišta te skupni Piperov dijagram koji se odnosi na sva tri vodocrpilišta.

Na kraju rada iznesen je osvrt na kvalitetu vode za piće na području sjeverne Baranje, te je objašnjeno koji su mogući razlozi za to što se hidrokemijski facijesi međusobno razlikuju, a radi se o vodocrpilištima koji su relativno blizu jedan drugome.

2. Područje istraživanja

2.1. Geološke i geomorfološke značajke

Hrvatski dio Baranje nalazi se u sastavu Osječko-Baranjske županije. Granice ove regije čini Dunav na istoku i Drava na jugozapadu. U geotektonskom smislu veći dio Baranje predstavlja uzdignutu strukturu u odnosu na južnu Dravsku depresiju. U morfološko-regionalnome smislu najmarkantnija je struktura baranjske grede tzv. Banovoga brda. To je asimetrično uzvišenje pružanja sjeverozapad-jugoistok, dužina joj iznosi oko 20 km, a širina oko 4 km. Najveća visina doseže 243 m n.m. (najveće uzvišenje je Kamenjak, relativne visine oko 150 m), a sjeverozapadni obronci su mnogo strmiji od jugoistočnih obronaka koji se postupno stapaju s južnom terasom (Briški i Duić, 2009).

U području sjeverne Baranje pojavljuju se dva izražena praporna ravnjaka. Na južne (blaže) obronke Banske kose naslanja se južni baranjski praporni ravnjak. Ravnjak je također blago nagnut (od 0,2 do 0,6 %), a nadmorska visina mu se kreće od 140 m n.m. uz rub grede i postupno opada na oko 100 m n.m. na jugoistoku i zapadu kraj Belog Manastira. Druga izražena praporna terasa pruža se od Kneževa prema sjeveru. Ovaj praporni ravnjak koji se nalazi na području sjeverne Baranje predstavlja samo krajnji južni dio makromorfološke regije Nyarad-Harkanjkog prapornog ravnjaka u Mađarskoj. Pripisuje mu se gornjopleistocenska pobliže wurmska starost. Ne raspolaže se bušotinskim podacima na temelju kojih bismo mogli zaključivati o njegovoj građi, ali uzimajući u obzir nasljedni karakter struktura očekuje se da je debljina slojeva gruboklastičnog materijala ovdje vrlo reducirana (Briški i Duić, 2009).

Između Banskoga brda i sjevernog baranjskog prapornog ravnjaka je dio niže baranjske terase koji je u južnom djelu erodiran tokom Karašice. To je u morfološkom smislu vrlo sravnjen teren u kojem se zapaža tek erozija pojedinih stalnih i povremenih tekućica. Njezine terase su najizraženije uz rub inundacijskog područja Dunava koje je oko 4-5 m niže od kota na terasi. Površinski dio naslaga debljine je od oko 10 m do 25 m i izgrađen je od praha, gline i prašinastog pijeska. Ispod njih pa do oko 30 m pa i 50 m dubine prevladavaju slojevi uglavnom jednoličnoga pijeska, ali raznolike granulacije, a ponegdje se pojavljuju i tanji slojevi i leće šljunka. Oni formiraju vodonosnik koji je nabušen kraj Topolja, zatim južno od Kneževa, te u Branjinom Vrhu, a kontinuirano se

nastavlja na Belo Manastirski vodonosnik koji je zahvaćen na crpilištu Livade. Južno od Belog Manastira terasa potpuno tone sve do inundacijskih područja Drave i Dunava.

Za promatrano područje, kao i za cijelu Baranju je karakteristično da se na površini nalaze pretežito kvartarne naslage. Prevladava jednolični sastav prapora i praporu sličnih tvorevina. Izdanci neogenskih stijena pojavljuju se samo duž Banskog brda i to na malim prostorima. Na temelju podataka iz dubljih bušotina i seizmičkih profila izdvojene su, ispod kvartarnih, također neogenske, mezozojske i paleozojske stijene. Jezgra Banskoga brda izgrađena je od miocenskih lapora, vapnenaca, pješčenjaka, konglomerata i glina, koji su mjestimice probijeni bazaltandezitom. Jugoistočno od Belog Manastira nabušeni su i kredni vapnenci na dubini od oko 100 m. Bazaltandenziti se pojavljuju kao dajkovi i ploče, a predstavljaju eruptive koji se pripisuju miocenskoj i postmiocenskoj orogenetskoj fazi. Sve su ove naslage u velikoj mjeri prekrivene pjeskovitim praporima (Slika 2.1).

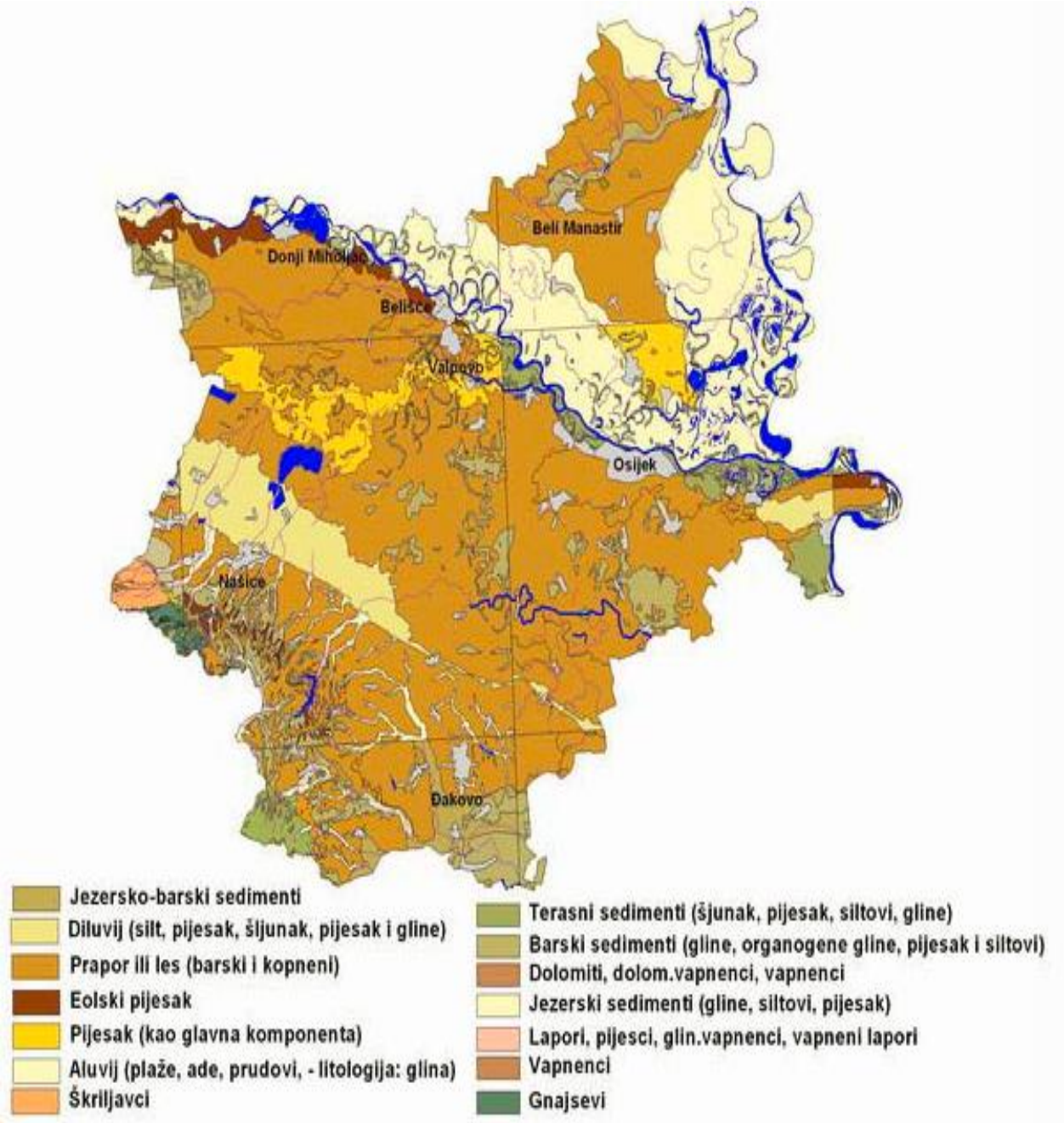
U strukturnom sklopu Baranje izdvajaju se tri strukturne jedinice: 1.) Meczek-Villany-Baranja, 2.) Sombor-Apatin i 3.) Dravski bazen. Unutar njih razlikuju se pojedine lokalne strukture. Jedinice i strukture ograničene su rasjedima. Područje Belog Manastira nalazi se unutar Meczek-Villany Baranja strukture. Karakteristično je njeno pružanje zapad-sjeverozapad i jug-jugoistok, a najčešće je to zapad-istok, te skretanje struktura u Baranji u pravac sjeveroistok-jugozapad. Struktura je ograničena reversnim rasjedima. Ta je struktura odvojena od Sombor-Apatin strukture izraženim rasjedom s horizontalnim pomakom (Urumović i dr., 2003). Unutar obuhvaćenog dijela strukturne jedinice Meczek-Villany-Baranja ističu se četiri lokalne strukture: Bansko brdo, Bolman-Grabovac, Mohacz i Popovac-Draž čija trasa prolazi južnim rubom područja Šećerane. Rasjedi granični ovim strukturama su reversni rasjed Berement-Kneževi Vinogradi-Batina između strukture Bolman-Grabovac i Banskog brda, Belomanastirski reversni rasjed između Banskog brda i Popovac-Draž strukture, te rasjed Ivandarda-Topolje između Popovac-Draž i Mohacz strukture. U širem smislu znakovita je struktura Banskog brda. Duž krila strukture Banskog brda pružaju se reversni rasjedi suprotnih orijentacija. To ukazuje na kompresiju prostora. Ističe se i struktura Bolman-Grabovac koja je smještena između zona rasjeda Meczek-Villany-Baranja i rasjeda Berment-Kneževi Vinogradi-Batina (Urumović i dr., 2003).

Najvažniji u obuhvaćenom strukturnom sklopu jesu rasjedi granični strukturnim jedinicama. Osnovni je rasjed Meczek-Villany-Baranja koji je izražen kao zona paralelnih

reversnih rasjeda i ogranaka širine između 1 km i 5 km. Između Darde, Luga i Grabovca zamjetno je svijanje zone zbog pomaka i istoimene strukturne jedinice. Rasjedi iz zone odražavaju se u reljefu terasnim odsjecima, mjestimice koljeničastim anomalijama rijeka (primjerice kod Jagodnjaka i Batine) i uzvisina u reljefu duž krovinskih krila rasjeda kao npr. u području Čeminca i Uglješa (Urumović i dr., 2003).

Po važnosti u sklopu slijede rasjedi granični strukturama i to rasjed Berement-Kneževi Vinogradi-Batina koji čini zonu širine do 1,2 km. Izražen je u reljefu osobito ravnocrtnim terasnim odsjekom i vrlo uočljivom koljeničastom anomalijom kod Kozarca, a predstavlja ogranak rasjeda Meczek-Villany-Baranja. Posebice je važan i Belomanastirski rasjed koji je osobito izražen u reljefu strmim obronkom Banskoga brda. Prema gravimetrijskim podacima vjerojatno čini zonu širine oko 500 m. Sjeverno od njega je rasjed Ivandarda-Topolje. Taj je rasjed nedefiniranog karaktera, a u reljefu je izražen manjom terasom (Urumović i dr., 2003). Za recentne tektonske aktivnosti bitni su pomaci struktura ili gledajući u detaljima, pomaci krila rasjeda. Deformacije strukturnog sklopa izazvane su regionalnim tektonskim pokretima i ovise o položajima velikih masa stijena različite gustoće u dubini koje izgrađuju prostore strukturnih jedinica. Nastaje stres o čijoj orijentaciji ovise deformacije i pomaci pojedinih strukturnih jedinica.

Na recentno prisutne tektonske pokrete izravno ukazuju potresi. Oni se pojavljuju u prostorima izražene kompresije, primjerice u dodirnoj zoni strukturnih jedinica Meczek-Villany-Baranja i Sombor-Apatin. Najjači potres u Baranji dogodio se 14. studenog 1922. godine, kod sela Grabovac. Intenzitet potresa bio je VII-VIII stupnjeva MCS, magnitude 5,3 na dubini od 18 km. Kod Kneževih Vinograda zabilježena su još 2 potresa intenziteta VI-VII stupnjeva MCS (Urumović i dr., 2003).



Slika 2.1. Geološko-litološka karta Osječko-baranjske županije (preuzeto sa www.obz.hr)

2.2. Hidrogeološke značajke

Područje sjeverne Baranje karakterizirano je kvartarnim vodonosnim kompleksom s relativno visokim udjelom propusnih slojeva, niskim stupnjem konsolidacije naslaga, niskom mineralizacijom podzemnih voda i mogućnošću komuniciranja podzemnih voda (Urumović i Mađarac, 1975). Uočena su dva kontrastna dijela u inače općoj izmjeni sitno i

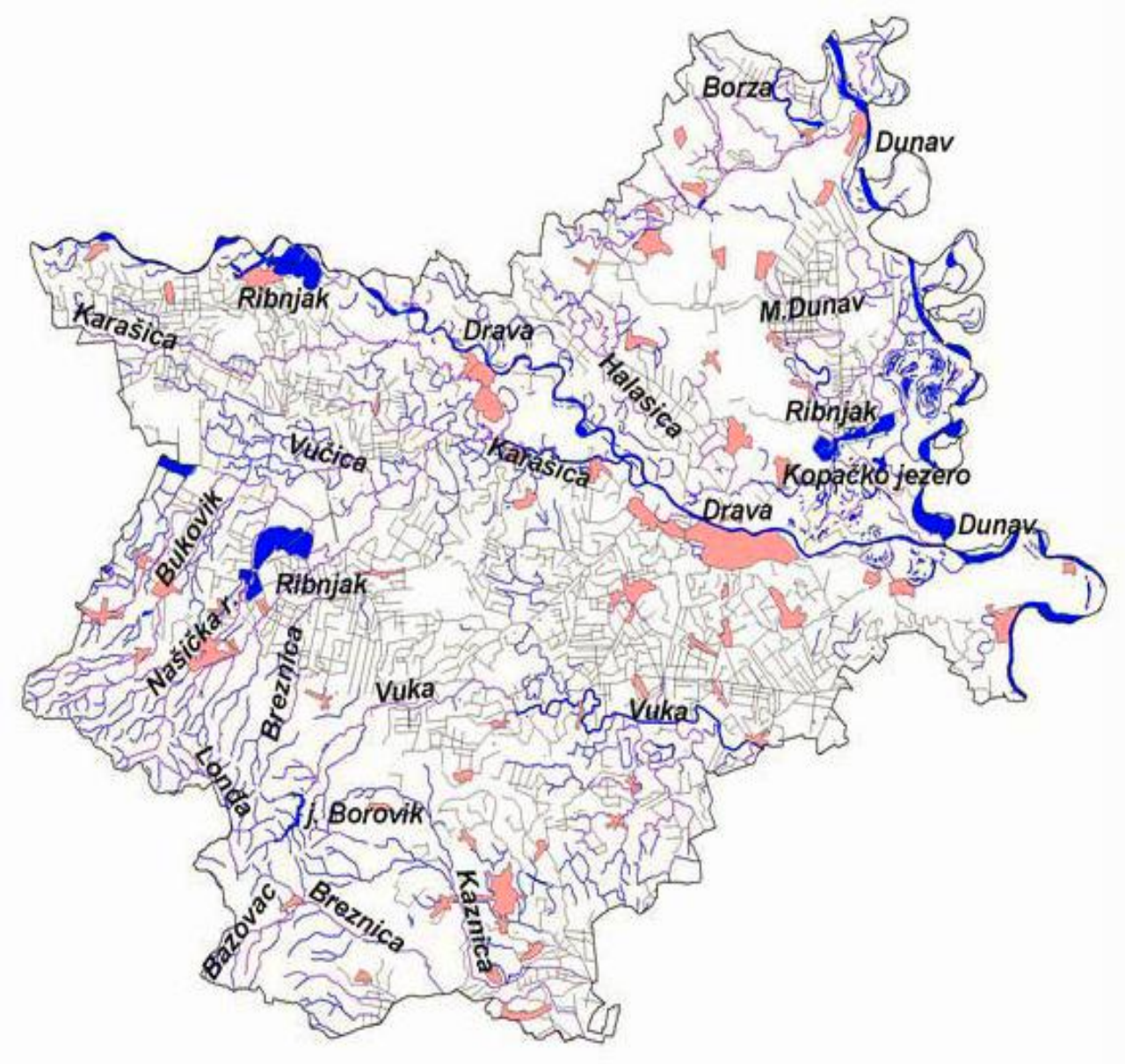
krupno klastičnih sedimenata. Granica među njima označena je uvjetnim markerom Q. Ispod markera Q stupanj konsolidacije je veći, udjel propusnih, gruboklastičnih slojeva je smanjen i znatne su razlike u mineralizaciji slojnih voda kako po vertikali tako i horizontali, a mineralizacija voda je općenito povišena u odnosu na gornji dio jedinice. Naslage iznad markera Q pripisuju se srednjem i gornjem pleistocenu, te holocenu, a one ispod donjem pleistocenu i pliopleistocenu. Činjenica da iznad repera Q nastupa slijed naslaga u kojima regionalno dominiraju gruboklastične taložine navodi na zaključak da su oni posljedica regionalnih promjena u kvaliteti taloženoga materijala uzrokovanog promjenom paleoklimatskih uvjeta.

Na području Baranje kvartarni vodonosni kompleks je izgrađen tako da je površinski dio naslaga, debljine uglavnom oko 10 do 25 m, izgrađen od praha, gline i prašinastog pijeska. U južnim dijelovima područja debljina tog pokrivača reducira se na 3-7 m. Ispod površinskih naslaga do oko 30 m pa i 50 m dubine prevladavaju slojevi uglavnom jednoličnoga pijeska, ali i raznolike granulacije, a ponegdje se pojavljuju i tanji slojevi i leće šljunka, a za istočni dio područja su značajne jako propusne naslage šljunka nabušenog u Tikvešu. Kompleks kvartarnih naslaga predstavljaju vodonosnik ispod kojeg su uglavnom glinoviti i prašinasti slojevi te lapori. Valja istaknuti i područje Kopačkog rita čije su hidrogeološke uvjete oblikovanja detaljno opisali Urumović i dr. (2003). Kopački rit nalazi se unutar niza spuštenih struktura na potezu Petrijevci-Kopački rit gdje uslijed pomaka strukturnih jedinica dolazi do sužavanja prostora i zadebljanja kvartarnih naslaga do vjerojatno 200 m. Odnosi podzemnih i površinskih voda (Slika 2.2) izražavaju regionalno dreniranje podzemnih voda prema središnjim predjelima Kopačkoga rita. U samom užem području Kopačkoga rita nema bušotinskih podataka o litološkom razvoju naslaga, a s obzirom na geološke uvjete nastanka za očekivati je redukciju pijesaka i povećan udjel sitnoklastičnih taložina.

Izvorno obnavljanje podzemnih voda u ovim se predjelima odvija infiltracijom padalina u polupropusne površinske naslage. Iznos infiltracije nije neposredno istraživan, ali se može procijeniti na temelju modeliranja rada vodocrpilišta Livade kao i modelskih istraživanja u područjima sa sličnim hidrogeološkim uvjetima, te pedološkim istraživanjima u širem području Osijeka. Prema svim tim istraživanjima može se zaključiti da se veličina efektivne infiltracije kreće u rasponu od 10-20 % visine padalina ovisno o klimatskim uvjetima i pluviometrijskom režimu. Napajanje vodonosnika odvija se

prokapljivanjem vode iz površinskih polupropusnih naslaga. Specifični iznos ovakvoga procjeđivanja relativno je mali, ali s obzirom da se radi o infiltraciji na velikim površinama, to je ukupni iznos infiltracije vrlo značajan za obnavljanje podzemnih voda pojedinih vodocrpilišta. Dodatni izvor napajanja u sjeveroistočnim rubnim područjima (Duboševica-Topolje) može biti inducirano napajanje u inundacijskom području Dunava, koje je izbrazdano brojnim rukavcima i mrtvajima. Takvi uvjeti napajanja olakšavaju i uvjete zaštite podzemnih voda, jer bi pretežiti dio područja napajanja vodonosnika ležao u neizgrađenom inundacijskom području Dunava (Urumović i dr., 2003).

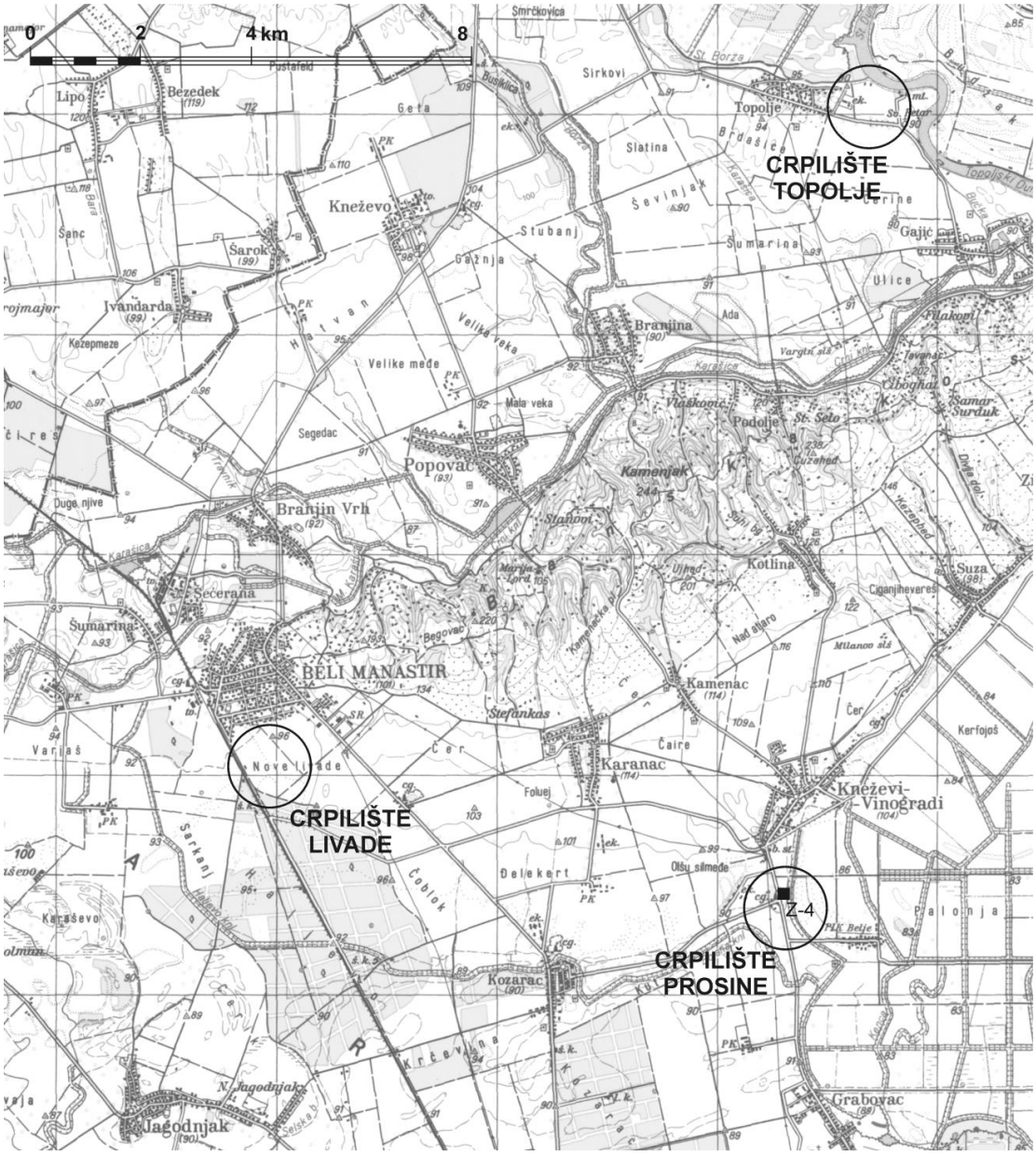
Za kakvoću podzemnih voda općenito su karakteristični reduktivni uvjeti. U takvim uvjetima u podzemnoj vodi pojavljuje se povišen sadržaj prirodnog amonijaka, željeza i mangana, te utroška $KMnO_4$. Međutim sadržaj ovih sastojaka nije svugdje jednak, nego se razlikuje od lokaliteta do lokaliteta ovisno o uvjetima koji su vladali u povijesti formiranja ovih naslaga (Urumović i dr., 2004).



Slika 2.2. Površinske vode Osječko-baranjske županije (preuzeto sa www.obz.hr)

2.3. Vodocrpilište Prosine

Vodocrpilište Prosine nalazi se južno od Kneževih Vinograda na rubnom predjelu srednjobaranjske terase upravo u pojasu gdje se ona stapa s južnim obroncima Banovoga brda, a uz rub terasastih predjela koje naglo nadvisuju široko inundacijsko područje Dunava. Vodocrpilište je smješteno između ceste Grabovac-Kneževi Vinogradi i ruba terase (Slika 2.3), a trenutno su na vodocrpilištu Prosine uključena 3 zdenca: Z-4, Z-5 i Z-6 (Urumović i dr., 2004).


0
2
4 km
8
CRPILIŠTE TOPOLJE
CRPILIŠTE LIVADE
CRPILIŠTE PROSINE
Z-4
BELI MANASTIR
Kneževi-Vinogradi
Grabovac
Jagodnjak
Kozarac
Karanac
Kamenac
Popovac
Branjin Vrh
Kneževo
Topolje
Sirkovi
Slatina
Šumarina
Kotlina
Podolje
Ulice
Gajić
Suza
Ciganjheveres
Kerfojoš
Delekert
Čoblok
Krčevina
Sarkanj
Karašević
Varjaš
Šećerana
Begovac
Stefankas
Čer
Caire
Folvej
Olšu sílmede
Palonja
Branjina
Ada
Kamenjak
Segedac
Velike međe
Mala veka
Veliki veka
Gaznja
Stubanj
Ševinjak
Ivandarda
Šarok
Šanc
Lipo
Bezedek
Geta
Busnica
Smrčkovica
Borza
Kezepmeze
Duge njive
Karašica
Hrastovi
Ilakopi
Samar-Surduk
Dugi del
Milanov stš
Nad stazo
Kerzehed
Vlaskovic
Ujhed
Stanhoot
Marija-Lord
Novelizade
Varjaš
Karašević
Olmuš
Krčevina
Selska
Jagodnjak
N. Jagodnjak
Pustafeld
Barš
Hrastovi
Kerzehed
Vargti sls
Iavanac
Ubogha
Duzgel
Kerzehed
Kamenicka
Kamenicka
Sarkanj
Čer
Čer
Čer

2.3.1. Istraživanja i zahvati gornjeg vodonosnika na području vodocrpilišta Prosine

Ranijim istraživanjima utvrđeno je da postoje plići i dublji vodonosnik. Pri izvedbi ranijih zahvata plićega vodonosnika nisu provedena detaljnija istraživanja. Ustvari postoje tek oskudni podaci o izvedbi zdenaca. Izvedena su tri zdenca i svi oni zahvaćaju plići vodonosnik.

Prvi zdenac Z-1 izveden je 1991. godine direktnom metodom bušenja. Prema skici izvođača ugrađene su cijevi promjera 318 mm. Kao vodonosnik je registriran sloj u intervalu od 4,5-20,5 m, izgrađen od srednjezrnatog pijeska s nešto šljunka, boje svijetlo sive. Sito je ugrađeno u intervalu od 16-20 m. Razina vode u zdencu pri mirovanju je na 5,21 m (30.9.1999.), a pri crpljenju s oko 5 l/s registriran je povišen sloj amonijaka, mangana i željeza, a povećan je i sadržaj ukupnih aerobnih mezofilnih bakterija.

Za drugi zdenac Z-2 se ne zna pouzdano kada je izveden. Izveden je također direktnom metodom bušenja. Prema skici izvođača ugrađene su cijevi promjera 318 mm. Kao vodonosnik je registriran sloj u intervalu od 5,80-20,0 m, izgrađen od srednjezrnatog pijeska s nešto šljunka pri dnu, boje žućkaste i sive. Sito je ugrađeno u intervalu od 16-20 m. Procijenjena mu je izdašnost od 5 l/s. Zdenac se uglavnom ne koristi.

Treći zdenac Z-3 izveden je 1998. godine. Izveo ga je Vodovod Osijek, reversnom metodom bušenja. Prema skici izvođača ugrađene su cijevi promjera 323 mm. Kao vodonosnik je registriran sloj u intervalu od 5,5-20,0 m, izgrađen od srednjezrnatog pijeska s nešto šljunka, boje svijetlo sive. Sito je ugrađeno u intervalu od 16-20 m, a taložnik od 20,0-21,0 m. Zdenac je zasut granuliranim šljunkom 1-4 mm. Mirna razina vode u zdencu bila je na 8,40 m, a pri kratkotrajnom crpljenju s 6,1 l/s razina vode opala je na 11,24 m, odnosno specifična izdašnost iznosila je 2,15 l/s/m. Preporučena je crpna količina od 6-8 l/s (Urumović i dr., 2000).

2.3.2. Novija istraživanja vodocrpilišta Prosine i zahvati donjega vodonosnika

Sustavna istraživanja lokacije Prosine s ciljem izvedbe zahvata podzemnih voda za uredno organiziranu javnu vodoopskrbu koncipirana su i pokrenuta koncem 1997. godine (Mihelčić i Urumović, 1998), a terenska istraživanja započeta su 2001. godine.

Prva istraživačka bušotina PP-1 smještena je u blizini postojećeg vodocrpilišta s istočne strane ceste. Izvedbom ove bušotine trebalo je utvrditi stvarne značajke donjega vodonosnika i cijeloga litološkog profila na mjestu vodocrpilišta Prosine. Lokacija je bila uvjetovana i raspoloživom infrastrukturom pa je bušotina smještena blizu trafostanice. Konačna dubina bušenja je iznosila 77,50 m. Tijekom bušenja se kontinuirano hvatala jezgra pomoću jezgrenog aparata. Bušotinom je nabušen litološki profil. Prvi vodonosnik zaliježe na dubini od 12 do 20 m, no bitno je da je nabušen i donji vodonosnik na intervalu od oko 33 do 46 m dubine.

Dublji vodonosni sloj je nabušen u intervalu od 32,30-45,60 m. Izgrađen je uglavnom od sitnozrnatoga pijeska , koji je mjestimice do srednjezrnati, a unutar pijeska se javlja nekoliko proslojaka glinovitog praha. Veličina zrna pijeska pretežito je u rasponu od 0,08 do 0,2 mm. Na temelju ovih rezultata načinjen je program nastavka radova na izvedbi zdenca Z-4 koji je smješten 12,4 m istočno od istraživačko-piezometarske bušotine PP-1. Dubina zdenca iznosi 48,5 m. Zdencem je zahvaćen donji vodonosnik, a izveden je tijekom mjeseca srpnja 2002. godine. Tijekom pokusnog crpljenja prikupljena su 3 uzorka vode za kemijsku analizu. Terenski radovi završeni su 20. srpnja 2002. godine. Interpretacijom podataka pokusnoga crpljenja zdenca Z-4 procijenjeno je da se eksploatacijska izdašnost ovoga zdenca može kretati u rasponu 10-12,5 l/s, no posebna je vrijednost okolnost da je kakvoća podzemne vode donjega vodonosnika kojega zahvaća zdenac Z-4 bitno povoljnija od vode iz gornjega vodonosnika koji zahvaćaju stari zdenci. U takvim okolnostima postavilo se pitanje daljnjega razvitka ovoga vodonosnika i u tom smislu su predložena daljnja hidrogeološka istraživanja kojima bi se u prvom koraku izvele četiri istraživačke bušotine s ciljem istraživanja strukture vodonosnika, provjere kakvoće podzemne vode donjega vodonosnika. Izvedba istraživačko-piezometarskih bušotina uslijedila je tijekom 2003. godine u razdoblju od 9. travnja do 28. svibnja. Tijekom bušenja se kontinuirano hvatala jezgra pomoću jezgrenog aparata.

Bušotina PP-2 je izbušena do 60 m dubine. U bušotinu je ugrađena električna crpka radi uzimanje uzoraka za kemijske analize. Mirna razina vode bila je na 6,46 m od razine terena. Iz bušotine se maksimalno crpilo 0,13 l/s, pri čemu je sniženje iznosilo 3,04 m (Urumović i dr., 2000).

Bušotina PP-3 je izbušena do 51 m dubine. U bušotinu je ugrađena električna crpka radi uzimanja uzoraka za kemijske analize. Mirna razina vode bila je na 7,4 m od razine terena. Iz bušotine se maksimalno crpilo 0,12 l/S, pri čemu je sniženje iznosilo 7,2 m (Urumović i dr., 2000).

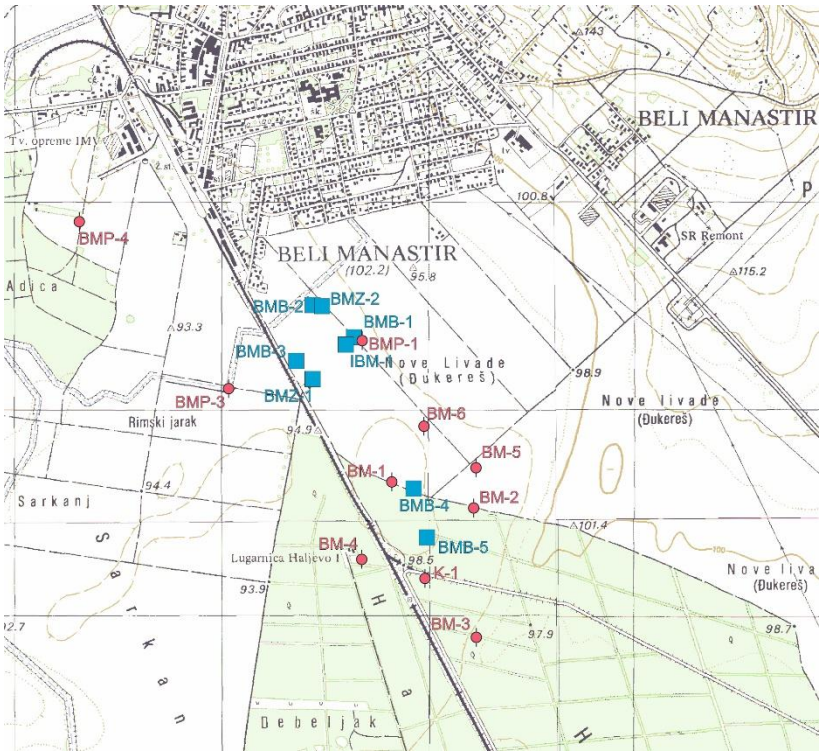
Bušotina PP-4 je izbušena do 58,8 m dubine. U bušotinu je ugrađena električna crpka radi uzimanja uzoraka za kemijske analize. Mirna razina vode bila je na 6,46 m od razine terena. Iz bušotine se maksimalno crpilo 0,2 l/s, pri čemu je sniženje iznosilo 5,75 m (Urumović i dr., 2000).

Bušotina PP-5 je izbušena do 60 m dubine. U bušotinu je ugrađena električna crpka radi uzimanja uzoraka za kemijske analize. Mirna razina vode bila je na 6,80 m od razine terena. Iz bušotine se maksimalno crpilo 1,4 l/s, pri čemu je sniženje iznosilo 1,40 m (Urumović i dr., 2000).

Prilikom terenske determinacije jezgre pojedinih uzoraka prikupljeni su uzorci pijeska na kojima je provedena granulometrijska analiza. Ukupno je provedeno 44 granulometrijskih analiza. Sve su piezometarske bušotine osigurane tako da je na ušću osnovna cijev promjera 75 mm postavljena zaštita čeličnom cijevi promjera 116 mm s kapom i lokotom, a stabilizirane su betonskim blokom.

2.4. Vodocrpilište Livade

Vodocrpilište Livade predstavlja zdenački zahvat podzemnih voda, a nalazi se u jugoistočnome dijelu grada Belog Manastira. Ono obuhvaća dvije skupine zdenaca: sjevernu skupinu razvijenu u polju Nove Livade i južnu na rubu šume Haljevo (Slika 2.4). Njihov razvitak može se razlučiti u tri vremenske faze.



Slika 2.4. Lokacija zdenaca na vodocrpilištu Livade u Belom Manastiru (Urumović i dr., 2008)

Istraživanja na području vodocrpilišta

Prva faza razvitka predstavlja završetak prvih istraživanja vodocrpilišta Livade, 1979. godine. Tada je u ljeto 1979. godine izveden zdenac BMB-1. Povoljni rezultati pokusnog crpljenja ohrabrili su tadašnjeg investitora na izvedbu još dvaju eksploatacijskih zdenaca BMB-2 i BMB-3. U proteklom razdoblju na njima se pojavilo pjeskarenje pa nisu više uporabljivi i zato su izgrađeni zamjenski zdenci.

Vodocrpilište Livade uključeno je u vodoopskrbni sustav Belog Manastira početkom siječnja 1985. godine. U sve zdence ugrađene su crpke izdašnosti 11 l/s, pa je ukupna maksimalna izdašnost instaliranoga kapaciteta na vodocrpilištu iznosila 33 l/s. Opažanje rada vodocrpilišta započeto je 1. travnja 1985. godine. Crpljenje pojedinih zdenaca ovisilo je o režimu potrošnje i punjenju vodospreme. U prvim godinama rada vodocrpilišta prosječna crpna količina postupno se povećavala s oko 50% instaliranoga kapaciteta u travnju 1985. godine. Do nešto preko 60% kapaciteta koncem te godine, a u 1991. godini prosječna crpna količina premašila je iznos od 80% instaliranoga kapaciteta (Urumović i Hlevnjak, 1999).

Druga faza razvitka predstavljena je radovima na proširenju vodocrpilišta provedenim tijekom 1990. i 1991. godine. Tada su izvedene četiri strukturno-piezometarske bušotine (BM-1; BM-2; BM-3 i BM-4) te dva zdenca (BMB-4 i BMB-5). Smješteni su u rubnim područjima šume Haljevo čime se željelo proširiti slivno područje i učinkovitost napajanja zahvaćenih podzemnih voda.

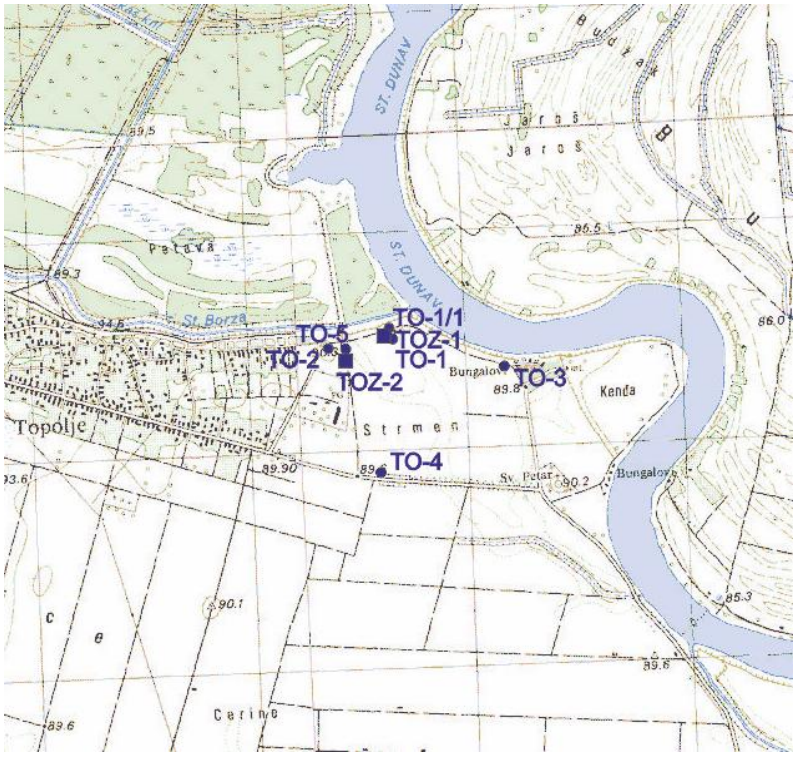
Treća faza razvitka vodocrpilišta započela je radovima na sanaciji crpilišta nakon reintegracije Hrvatskog Podunavlja, a izazvana je prvenstveno poteškoćama u vodoopskrbi zbog zapuštenosti cjelokupnog vodoopskrbnoga sustava tijekom srpske okupacije. Prvi korak je bila izvedba novog zdenca BMZ-1 koji je načinjen u studenome 1998. godine. Zdenac BMZ-2 izveden je u studenome 2003. godine kao zamjenski zdenac za BMB-2 i smješten je u njegovoj blizini (Urumović i Hlevnjak, 1999).

Slijedeći od zamjenskih zdenaca je zdenac BMI-1 koji je smješten u neposrednoj blizini staroga zdenca BMB-1. Radovi na izradi novoga zdenca BMI-1 započeti su 4. prosinca, a pokusno crpljenje završeno je 13. prosinca 2007. godine (Urumović i dr., 2008).

Zadnji izvedeni zdenac je zamjenski zdenac BMZ-3 smješten uz zdenac BMB-3. Izvodio ga je Vodovod iz Osijeka tijekom mjeseca rujna 2010. godine.

2.5. Vodocrpilište Topolje

Vodocrpilište Topolje (Slika 2.5) nalazi se u sjeveroistočnom djelu Baranje, sjeverno od Baranjske Planine (Banske Kose) istočno od naselja Topolje. Smješteno je na rubu niže baranjske prapore terase u koju je usječeno korito kanala St. Broza koji se upravo ovdje ulijeva u stari Dunav.



Slika 2.5. Položaj vodocrpilišta Topolje i lokacije bušotina (Urumović i dr., 2012)

Istraživanja na području vodocrpilišta

U najranija hidrogeološka istraživanja lokacije vodocrpilišta Topolje može se ubrojiti izvedba staroga eksploatacijskoga zdenca 1959. godine za potrebe tadašnjeg pogona „Poljoprivredno-industrijskog kombinata Belje“ u Topolju smještenoga nekoliko stotina metara južno od istraživačke bušotine TO-2. Danas nema traga tome zdencu, no zanimljivi su osnovni podaci da je na 14-41 m dubine nabušen vodonosnik izgrađen od sitnoga do krupnoga pijeska i šljunka.

Suvremena istraživanja ove lokacije kao područja za izgradnju crpilišta regionalnoga značaja započeta su 2000. godine i do sredine 2001. godine izvedeno je ukupno 5 istraživačko-piezometarskih bušotina, a nakon toga početkom 2002. godine dovršeni su radovi na izvedbi jednoga pokusno-eksploatacijskoga zdenca oznake TOZ-1.

U ranije provedenim istraživanjima postavljen je cilj osvajanja vodocrpilišta izdašnosti oko 100 l/s. Sva dosadašnja istraživanja ukazivala su na ostvarivost toga cilja, međutim u istraživanjima nije razmatrano hidrauličko rješenje i posljedice takvoga zahvata. Iskustveno je procijenjeno da bi za osvajanje zadanih 100 l/s bilo potrebito izvesti još najmanja dva do tri zdenca, koji bi bili približno usporedni kanalu Broza i St. Dunavu. Takvoj koncepciji prilagođena je II. zona sanitarne zaštite.

Lokacija novog zdenca TOZ-2 na vodocrpilištu Topolje uvjetovana je raspoloživim prostorom i hidrogeološkim prilikama. Postavljena je oko 180 m istočno od prvog zdenca i oko 50 m južno od poljskoga puta (Urumović i dr., 2012).

3. Metode istraživanja i rezultati

U ovom diplomskom radu obrađeni su podaci o kemijskom sastavu vode vodonosnika na području sjeverne Baranje. Uzorci vode na temelju kojih su napravljene analize korištene u ovom radu prikupljeni su s niza različitih bušotina na području tri navedena vodocrpilišta: Prosine, Livade i Topolje. Uzorci za crpilište Prosine su uzeti 2003. godine, a uzorkovanje je obavila tvrtka Geoistraživanje te Baranjski vodovod d.o.o. Tvrtka Vodovod Osijek 2006. godine dostavlja još uzoraka za analizu. Najviše uzoraka je prikupljeno sa bušotina na području crpilišta Livade. Tvrtka Vodovod Osijek 1978., 1979., 2003. i 2010. godine uzima uzorke vode za kemijsku analizu, a tvrtka Baranjski vodovod d.o.o. 2007. te 2008. godine. Uzorci sa područja crpilišta Topolje prikupljeni su 2002. godine od tvrtke JP Vodovod-Hidrogeološki radovi te od tvrtke Geoid-Beroš d.o.o. 2001. i 2002. godine.

3.1. Alati za obradu i prikaz podataka

U ovom diplomskom radu za definiranje hidrokemijskih facijesa i izradu Piperovih dijagrama korišten je softver Groundwater chart (USGS). Može se pronaći na službenim internet stranicama USGS-a. Napravljen je za izradu specijaliziranih grafova koji su korišteni u istraživanjima podzemne vode. Spaja funkcionalnost prijašnjih programa: i upotpunjen je dodatnim novim oblicima. Postoji sedam glavnih tipova grafova koji se mogu izraditi ovim programom, ali u izradi ovog diplomskog rada korišten je u svrhu izrade Piperovih dijagrama.

3.2. Rezultati kemijskih analiza uzoraka vode

Za izradu Piperovih dijagrama korištene su kemijske analize vode za koje su uzorci prikupljeni s tri navedena vodocrpilišta. U sljedećim tablicama (Tablica 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 i 3.6) navedeni su kemijski elementi koji se nalaze u sastavu podzemne vode vodonosnika na području sjeverne Baranje te njihove koncentracije izražene u mg/l. Kemijski elementi dobiveni iz analiza vode razvrstani su prema godini kada su uzeti, prema bušotinama iz kojih su uzeti te prema području tj. prema vodocrpilištu kojem pripadaju.

1) Vodocrpilište Prosine

Tablica 3.1. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Prosine (I. dio)

Naziv bušotine	Zdenac Z-5	Zdenac Z-5	Zdenac Z-5	Zdenac Z-5	Zdenac Z-4
Datum	31.7.2006.	31.7.2006.	27.7.2006.	28.7.2006.	18.7.2003.
pH				7,56	7,4
Ca^{2+} (mg/l)	82,2	85,6	89,8	34,7	92,66
Mg^{2+} (mg/l)	27,2	27,8	28,8	27,1	34,66
Na^{+} (mg/l)	25,9	22,3	26,4	25,1	26,77
K^{+} (mg/l)	0,8	0,04	1,04	31,7	0,89
CO_3^{2-}(mg/l)	/	/	/	/	/
HCO_3^{-}(mg/l)	470	472,0	391	318	488,3
Cl^{-} (mg/l)	6	6	7	16,7	5,5
SO_4^{2-}(mg/l)	0	0	7,3	6,1	2,15

Tablica 3.2. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Prosine (II. dio)

Naziv bušotine	Zdenac Z-4	Zdenac Z-4	Zdenac Z-4	Piezometar PP-5	Piezometar PP-2
Datum	28.7.2003.	22.7.2003.	22.7.2003.	6.5.2003.	22.4.2003.
pH	7,29	7,31	7,34	7,29	7,11
Ca^{2+} (mg/l)	94,2	93,8	94,5	69,6	87,9
Mg^{2+} (mg/l)	39,07	38,92	38,21	27,46	27
Na^{+} (mg/l)	27,41	25,94	26,81	29,8	21,25
K^{+} (mg/l)	1,52	3	2,77	1,3	0,98
CO_3^{2-}(mg/l)	/	/	/	/	/
HCO_3^{-}(mg/l)	475,5	475,5	481,8	509	467
Cl^{-} (mg/l)	7,8	5,7	5,84	17,8	14,7
SO_4^{2-}(mg/l)	2,44	2,29	2,77	1,9	5,4

2) Vodocrpilište Livade

Tablica 3.3. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Livade (I. dio)

Naziv bušotine	Piezometar BMP-4	Zdenac BMB-1	Zdenac BMB-2	Zdenac BMB-3	Bušotina BM-4
Datum	20.4.1979.	18.7.1979.	3.9.1979.	3.9.1979.	31.8.1990.
pH	/	7,7	7,8	7,98	7,6
Ca^{2+} (mg/l)	83,23	76,70	68,54	76,7	80,0
Mg^{2+} (mg/l)	81,96	53,19	47,45	43,14	38,0
Na^{+} (mg/l)	35,1	33,2	16,1	13,4	25,0
K^{+} (mg/l)	1,68	1,54	0,76	0,54	0,64
CO_3^{2-}(mg/l)	318,0	/	/	/	/
HCO_3^{-}(mg/l)	646,6	335,5	402,6	402,6	463,7
Cl^{-} (mg/l)	18	17	13,0	13,0	13,0
SO_4^{2-}(mg/l)	0	5,76	0	19,20	21,12

Tablica 3.4. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Livade (II. dio)

Naziv bušotine	Bušotina BM-2	Bušotina BM-3	Bušotina BM-4	Bušotina BM-5
Datum	18.9.1990.	10.10.1990.	10.10.1990.	20.3.2007
pH	7,5	7,4	7,9	7,21
Ca^{2+} (mg/l)	97,0	90,0	83,0	73,3
Mg^{2+} (mg/l)	27,0	32,0	43,0	38,7
Na^{+} (mg/l)	26	27,0	43,0	42,5
K^{+} (mg/l)	0,66	1,12	0,99	0,48
CO_3^{2-}(mg/l)	/	/	/	/
HCO_3^{-}(mg/l)	463,7	463,9	796,1	509
Cl^{-} (mg/l)	12,0	15,0	20,0	16,9
SO_4^{2-}(mg/l)	21,12	24,96	7,68	11,37

3) Vodocrpilište Topolje

Tablica 3.5. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Topolje (I. dio)

Naziv bušotine	Bušotina TO1/1	Bušotina TO-2	Bušotina TO-3	Bušotina TO-3	Bušotina TO1/1
Datum	29.11.2000.	29.11.2000.	29.11.2000.	29.11.2000.	27.6.2001.
pH	7,75	7,77	7,86	7,48	6,55
Ca^{2+} (mg/l)	60,376	75,28	64,987	68,175	60,07
Mg^{2+} (mg/l)	54,24	51,157	53,522	47,4	39,38
Na^{+} (mg/l)	7,036	23,148	14,38	20,83	7,61
K^{+} (mg/l)	1,683	2,33	2,052	3,755	1,135
CO_3^{2-}(mg/l)	/	/	/	/	/
HCO_3^{-}(mg/l)	457,5	518,9	475,8	469,7	445,3
Cl^{-} (mg/l)	9,199	33,64	18,56	5,346	10,1
SO_4^{2-}(mg/l)	21,277	11,733	33,687	11,843	22,53

Tablica 3.6. Koncentracije kemijskih elemenata uzoraka vode s područja vodocrpilišta Topolje (II. dio)

Naziv bušotine	Bušotina TO-1	Bušotina TO-2	Bušotina TO-3	Bušotina TO-4	Zdenac Z-1
Datum	27.6.2011.	27.6.2001.	27.6.2001.	27.6.2001.	11.1.2002.
pH	6,85	6,82	7,13	7,34	7,43
Ca^{2+} (mg/l)	68,02	75,26	63,17	74,01	54,53
Mg^{2+} (mg/l)	35,08	36,38	37,63	26,92	95,3
Na^{+} (mg/l)	20,04	19,74	11,74	18,39	16,8
K^{+} (mg/l)	1,23	1,384	1,166	1,27	1,28
CO_3^{2-}(mg/l)	/	/	/	/	/
HCO_3^{-}(mg/l)	457,5	500,0	469,7	457,5	562,0
Cl^{-} (mg/l)	5,11	31,13	17,26	4,66	13,4
SO_4^{2-}(mg/l)	11,65	10,36	31,13	4,54	33,3

U navedenim tablicama (Tablica 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 i 3.6) prikazani su podaci za koncentracije kemijskih elemenata koje su potrebne za izradu Piperovog dijagrama. Cilj ovog rada je da se pomoću prikupljenih uzoraka vode te njihovih kemijskih analiza i dobivenih koncentracija kemijskih elemenata odrede hidrokemijski facijesi vode dravskoga vodonosnika kojeg zahvaćaju vodocrpilišta Prosine, Livade i Topolje. Odnosno da se odredi kojem kemijskom tipu pripada voda na tom području i postoje li odstupanja za pojedine lokacije na istraživanom području.

Za izradu Piperovog dijagrama preko kojega se definiraju hidrokemijski facijesi polazi se od koncentracije kemijskih elemenata: kalcij, magnezij, natrij, kalij, hidrogenkarbonat, kalcij te sulfat. Koncentracije elemenata izražene u mg/l unose se u program Groundwater chart te zatim on daje prikaz Piperovog dijagrama za unesene podatke. Ono što je također potrebno unijeti je koncentracija CO_3^{2-}**,** ali za nju u navedenim kemijskim analizama nema podataka. S obzirom na to program sam računa koncentraciju za CO_3^{2-}**,** preko podataka o temperaturi izraženoj u stupnjevima celzijusima, preko pH i podataka o HCO_3^-. Iz tog razloga su u gore navedenim tablicama dodani i podaci o ph, koji se uglavnom kreće od 6,55 do 7,98. Vrijednost temperature koja je unesena u program iznosi 20°C, ta vrijednost je uzeta kao približna srednja vrijednost temperature, a odnosi se na datume prikupljanja uzoraka, s obzirom da o njoj nema točnih podataka.

4. Ocjena kemizma podzemne vode na području sjeverne Baranje

4.1. Kemija podzemnih voda

Iz kemizma podzemne vode možemo odrediti vrijeme i izvor punjenja vodonosnika, procijeniti koliko dugo se voda zadržava u vodonosniku, identificirati minerale od kojih su izgrađeni materijali vodonosnika, ispitati kako se voda iz različitih izvora miješa i procijeniti koji geokemijski procesi se događaju dok voda putuje kroz svoj sistem. Preko kemijskog sastava podzemne vode mogu se saznati podaci o tome kroz koja područja teče voda (Leis, 2010).

Kemizam podzemnih voda vrlo je važan sa stajališta procjene utjecaja na okoliš. Površinska voda kao i podzemna voda koristi se u mnoge svrhe (primjerice vodoopskrba i poljoprivreda). Voda je također prijenosni medij za mnoge organske i anorganske tvari i za patogene organizme. Postoji mnogo vrsta zagađivala vode. Voda koje se koristi u određene svrhe te nakon toga vrati u svoj sistem obično je zagađena. Npr. voda koje je korištena u poljoprivredne svrhe sadrži nitrate, pesticide; rudarska aktivnost proizvodi vodu s niskom pH vrijednošću, povišenom koncentracijom sulfata, željeza i drugih metala; termoelektrane proizvode vodu s povišenom temperaturom i sa niskom koncentracijom otopljenog kisika. Kemijska industrija jedan je od glavnih izvora zagađenja podzemne vode zato što proizvodi tisuće otrovnih i štetnih spojeva (Ondřej i Zeman, 2004).

Kemijski sastav vode može se iskazati brojčano (u tablicama), grafički pomoću dijagrama, a najčešće se iskazuje koncentracijama ili masenim omjerima. Jedinice koje se koriste za iskazivanje sastava su: mg/l ili mmol ekv/l. Rezultati analize iskazuju se mmol ekv kada se treba omogućiti uvid u točnost analize. Zbroj ekvivalenata kationa mora biti jednak zbroju ekvivalenata aniona. Za sastojke u tragovima koristi se jedinica ppm (dio na milijun dijelova). To je jedinica za maseni omjer, ali u vrlo razrijeđenim otopinama kakve su vode koje su važne u hidrogeologiji. Rezultati kemijske analize prikazuju se količinom (ili masom) analiziranih iona (primjerice Na^+, Ca^{2+}, Cl^-). Za kompleksne ione analizirani sadržaj često se izražava kao sadržaj elemenata centralnog atoma. Otopljene tvari koje se nalaze u sastavu vode možemo podijeliti u 5 skupina: otopljeni plinovi, otopljeni glavni ioni (anioni i kationi), otopljene biogene tvari, otopljeni mikroelementi, otopljene organske tvari. Plinovi koji se pojavljuju u sastavu vode mogu se otapati u kišnim kapima u

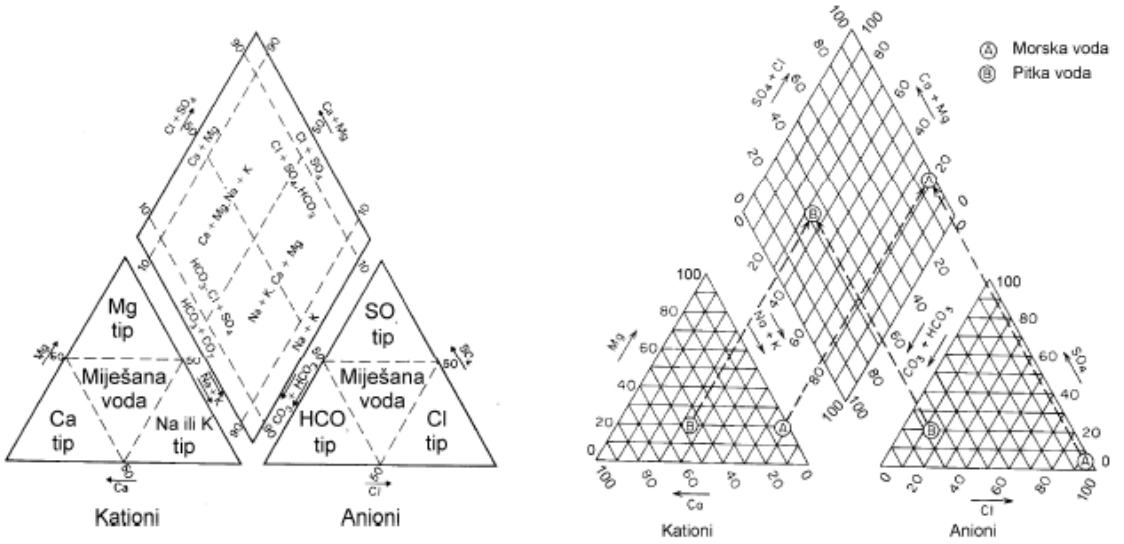
atmosferi, u površinskim vodama i u podzemnoj vodi. U tlu raspadom organske materije nastaju plinovi CO_2, H_2, CH_4, H_2S, NH_3, a denitrifikacijom nastaje N_2. Oni se na taj način pojavljuju u kemijskom sastavu podzemne vode. Koncentracija otopljenih plinova u vodi se mijenja. Sastav i koncentracija otopljenih krutih tvari ovisi o petrografskom sastavu vodonosnika i svojstvima vode koja je u taj vodonosnik ušla (kemijski sastav, pa s tim u vezi Eh i pH). Ti će parametri odrediti vrstu i doseg reakcija između vode i vodonosnika.

Čimbenici koji određuju kemijski karakter podzemne vode su: petrografski sastav tla i vodonosnika, njihova propusnost i topografija hidrološkoga sustava. Treba uzeti u obzir i granulaciju krute faze, mogućnost ionske zamjene, selektivnosti izmjene (kromatografski efekt), brzinu strujanja vode, poroznost i propusnost, mogućnost miješanja s vodama drugačijeg facijesa. Pri tome voda mijenja sastav, pa se prema kemijskom sastavu i količini otopljene tvari može razvrstati u određene grupe, ovisno o kriteriju razvrstavanja. U hidrogeologiji se najviše rabi podjela na hidrogeokemijske facijese.

Kišnica se može smatrati najrazrijeđenijom vodom s omjerom koncentracija Cl^- /Na^+ istovjetnim omjeru u morskoj vodi. Ulaskom u tlo voda se obogaćuje otopljenim tvarima. Ako dođe do evaporacije ili evapotranspiracije, može čak doći do zasićenja pa će se taložiti spojevi koji su se prije toga otopili u vodi. Načelno će se taložiti kalcijevi i karbonatni spojevi pa se pri tome zbiva obrnuti proces od onoga koji se zbivao tijekom otapanja (Levačić, 1977).

4.2. Piperov dijagram

Piperov dijagram (Slika 4.1) služi za vizualizaciju kemijskog sastava podzemne vode. Sastavljen je od 3 dijela: donji lijevi dijagram predstavlja katione, donji desni dijagram predstavlja anione, a dijagram koji se nalaze između njih predstavlja kombinaciju obaju dijagrama.



Slika 4.1. Piperovi dijagrami (Freeze i Cherry, 1979)

U hidrogeologiji se za prikazivanje sastava vode najviše koristi Piperov troosni dijagram. U lijevi trokut unose se postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih kationa (Ca^{2+}, Mg^{2+} i Na^{+}+K^{+}). U desni dijagram se unose postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih aniona (Cl^{-}, SO_4^{2-} i HCO_3^{-} + CO_3^{2-}). Između njih smješten je romb, na čijim su suprotnim stranicama nanesene sume postotnih udjela ekvivalenata grupe kationa i aniona. Sastav nekog uzorka vode određuju dvije točke. Jedna u trokutu kationa i druga u trokutu aniona. Te točke određuju kationski i anionski facijes vode. Sjecište dvaju pravaca u rombu označuje ukupan sastav vode.

Prikazan je razmještaj vodnih facijesa u rombu Piperova dijagrama (Slika 4.2). Položaj točaka u trokutima ili položaj zajedničke točke u rombu određuje vodni facijes kojemu pripada analizirana voda. Osim brzog određivanja vodnog facijesa velika je prednost Piperovih dijagrama to što nam omogućuju brz i jasan uvod u procese koji su se zbivali u vodonosniku. Vodu koju dijelimo prema vodnim facijesima određuju otopljeni kationi i anioni. Prema kationima voda se dijeli na:

-kalcijske

-magnezijske

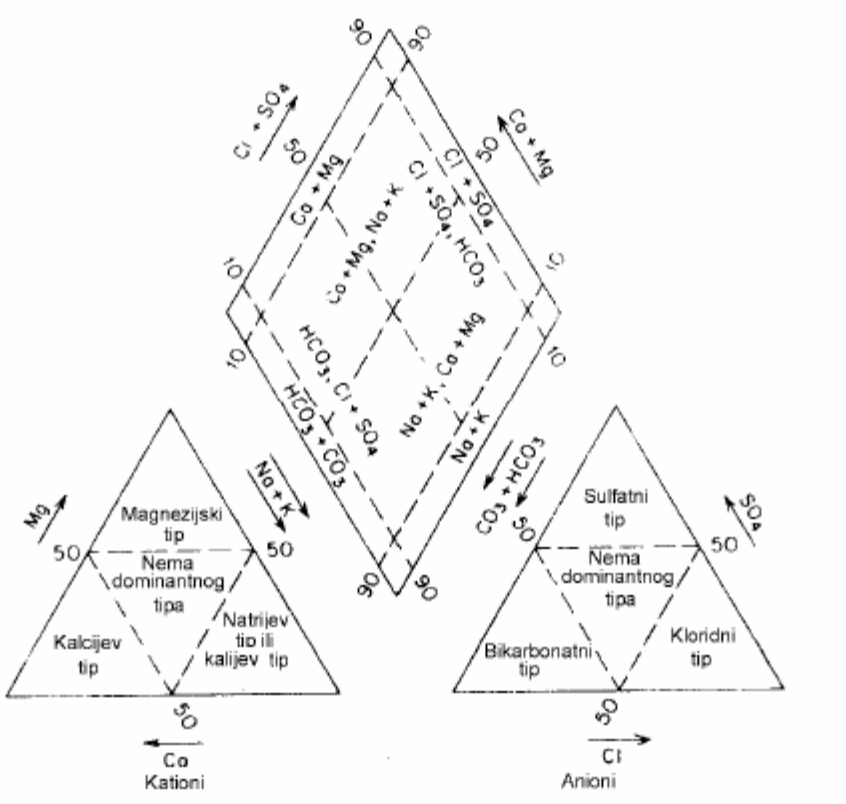
-natrijske

Prema anionima voda se dijeli na:

-hidrogenkarbonatne

-kloridne

-sulfatne



Slika 4.2. Prikaz vodnih facijesa u Piperovom dijagramu (Freeze i Cherry, 1979)

Chebotarev je 1955. godine prepoznao dvije grupe sastojaka kao glavnih formiratelja otopljenih soli obično za većinu podzemnih voda. Kationi i anioni se dijele na dvije grupe A i B. Grupu A kod kationa sačinjavaju: Na, K, Ca, Mg, H, a grupu B: NH_4, Al, Fe. Grupu A kod aniona sačinjavaju: HCO_3, CO_3, SO_4, Cl, a grupu B: NO_2, NO_3, SO_3, OH, SiO_3. Grupa A obuhvaća ione koji su stalno nazočni s relativno velikim udjelom (za koje je Piper 1944. godine konstruirao trokutni dijagram), a grupa B predstavlja ione podređenog ili nepostojanog pojavljivanja (Chebotarev, 1955).

Kada se govori o kemijskoj klasifikaciji podzemnih voda, koncentracija uobičajenih iona u podzemnoj vodi u pravilu se izvješćuje u obliku sadržane mase miligrama u litri vode. Količinski sporedni sastojci obično se izražavaju u mikrogramima. Vode se često grupiraju prema sadržaju otopljenih tvari. Osnovna je klasifikacija prema rasponu ukupno otopljenih tvari, postoje 4 skupine: slatke vode, brakične vode, slane vode, rasoli (Levačić, 1977).

4.3. Određivanje hidrokemijskih facijesa podzemne vode na području sjeverne Baranje

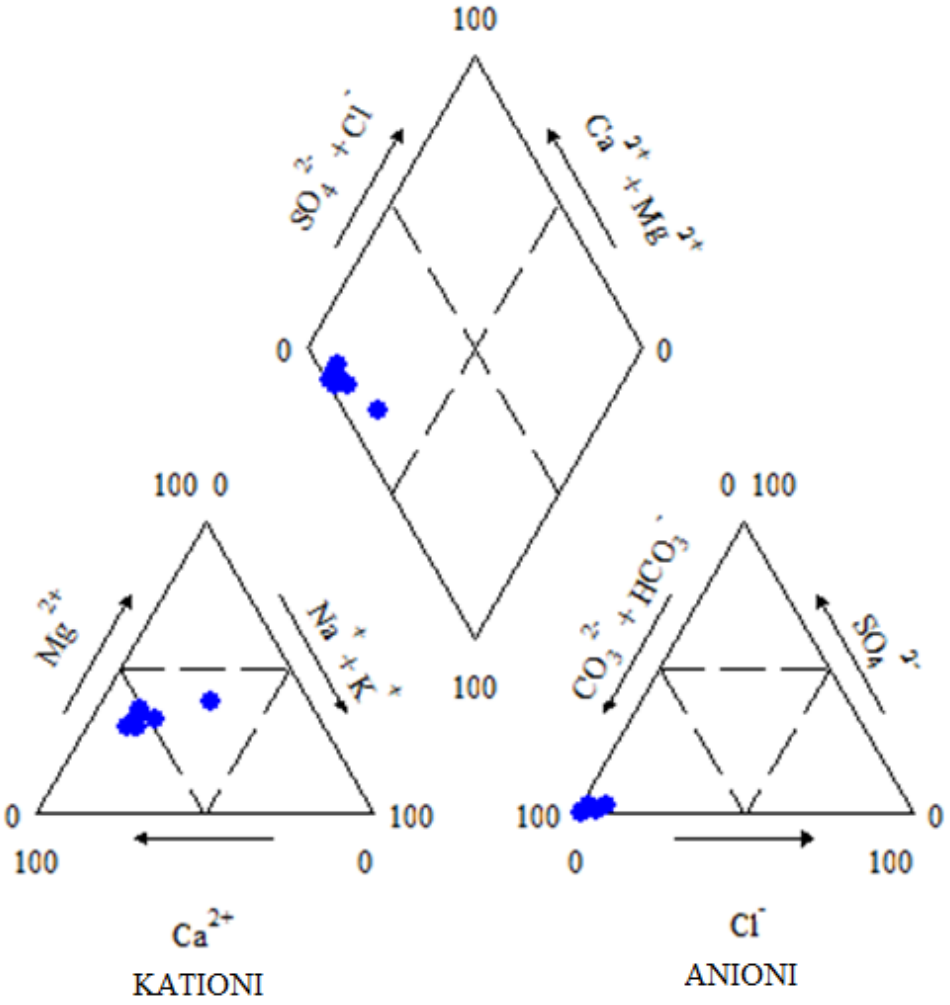
S obzirom na to da su u prijašnjem dijelu navedene kemijske analize uzoraka vode za tri spomenuta vodocrpilišta na području sjeverne Baranje te kroz te analize imamo brojčane vrijednosti koncentracije svih bitnih kemijskih elemenata koje se nalaze u sastavu podzemne vode, pomoću njih ćemo koristeći Piperove dijagrame odrediti hidrokemijske facijese dubljeg vodonosnika ovog područja.

Navedeno je 10 analiza uzoraka vode za vodocrpilište Prosine i Topolje i 9 kemijskih analiza za vodocrpilište Livade. Uzorci su uzeti iz zdenaca, piezometara te bušotina koje su napravljene tokom različitih istraživanja i bušenja na području sjeverne Baranje, pobliže na lokacijama triju navedenih vodocrpilišta. Pomoću navedenih kemijskih analiza, odnosno dobivenih vrijednosti koncentracija kemijskih elemenata bitnih za kemizam podzemne vode napravljena su 4 Piperova dijagrama. Zasebni dijagram za svako vodocrpilište te konačni Piperov dijagram na kojemu su prikazani hidrokemijski facijesi svih triju vodocrpilišta te je na taj način moguća njihova usporedba. Pomoću ovih Piperovih dijagrama odrediti će se kojemu kemijskom tipu pripada podzemna voda ovoga područja.

Slijedi prikaz rezultata za kemizam podzemne vode područja sjeverne Baranje, te hidrokemijski facijesi određeni na temelju Piperovih dijagrama izrađenih pomoću navedenih kemijskih analiza vode. Dobiveni Piperovi dijagrami te rezultati temeljeni na njima odnose se na cjelokupno razdoblje od kada su počela istraživanja na vodocrpilištima tj. od 1977. godine pa sve do uzoraka koji su sakupljeni u posljednjih 10 godina.

1) Piperov dijagram za vodocrpilište Prosine

Prema kationima podzemna voda na području vodocrpilišta Prosine (Slika 4.3) pripada kalcijskom facijesu, iako se većina uzoraka vode nalazi na granici između kalcijskog tipa vode i miješane vode. Jedan uzorak odstupa od većine i pokazuje da pripada miješanom tipu vode i odnosi se na zdenac Z-5 s datumom prikupljanja uzorka 28.7.2006. godine. Ovaj uzorak za razliku od ostalih ima nisku koncentraciju kalcija i iz tog razloga odstupa od ostatka kod kojih su koncentracije kalcija znatno veće. Za razliku od ostala dva vodocrpilišta, kemijske analize vodocrpilišta Prosine imaju najveće koncentracije kalcija i zbog toga većina uzoraka na dijagramu pripada kalcijskom tipu vode. Prema anionima voda pripada hidrogenkarbonatnom facijesu i uzorci su koncentrirani gotovo u jednoj točki te nema odstupanja niti kod jedne od deset navedenih analiza.

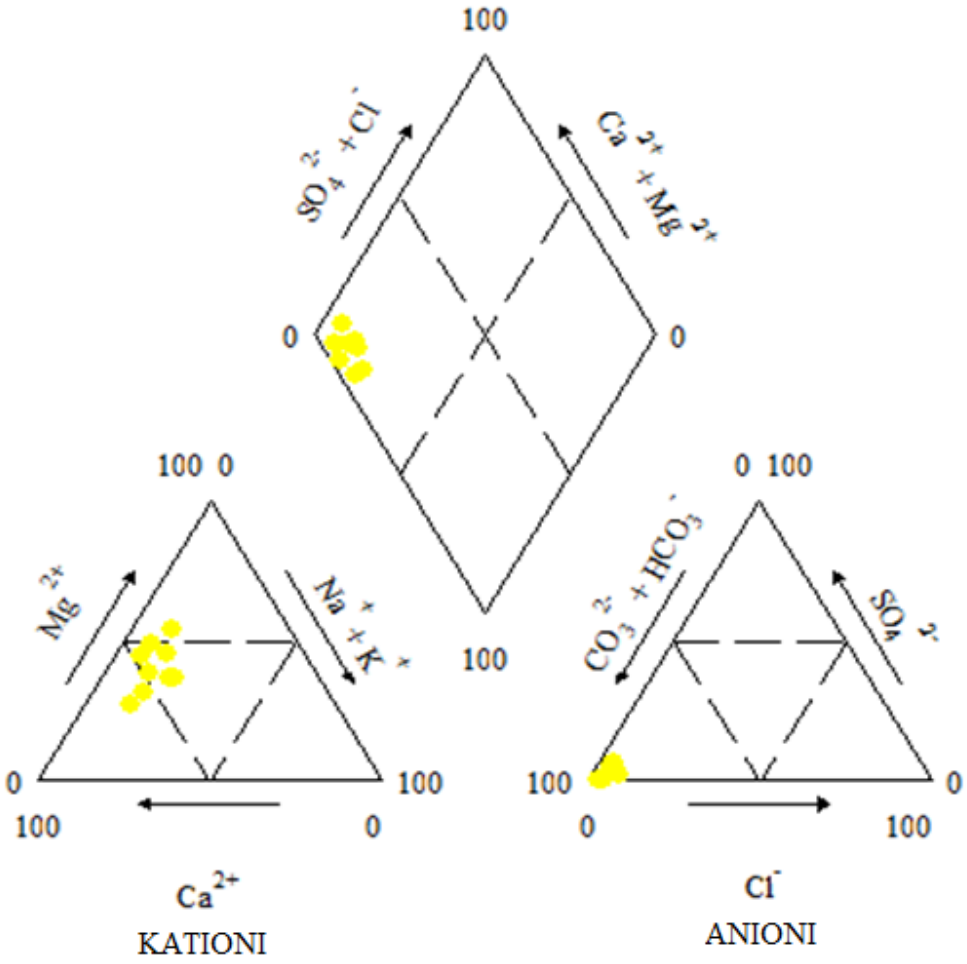


Slika 4.3. Piperov dijagram vodocrpilišta Prosine

2) Piperov dijagram za vodocrpilište Livade

Prema kationima voda s područja vodocrpilišta Livade (Slika 4.4) pripada uglavnom miješanom facijesu. Iako nekoliko uzoraka pripada kalcijskom facijesu i magnezijskom facijesu, oni se nalaze jako blizu granice s miješanim facijesom. To su uzorci vode u kojima je koncentracija kalcija i magnezija viša od većine uzoraka koji su koncentrirani u području gdje se definiraju kao miješani tip vode. Važno je naglasiti da kod vodocrpilišta Livade glavnina kemijskih analiza upućuje na to da se radi o miješanom hidrokemijskom facijesu vode, dok ostala dva vodocrpilišta imaju više uzoraka koji

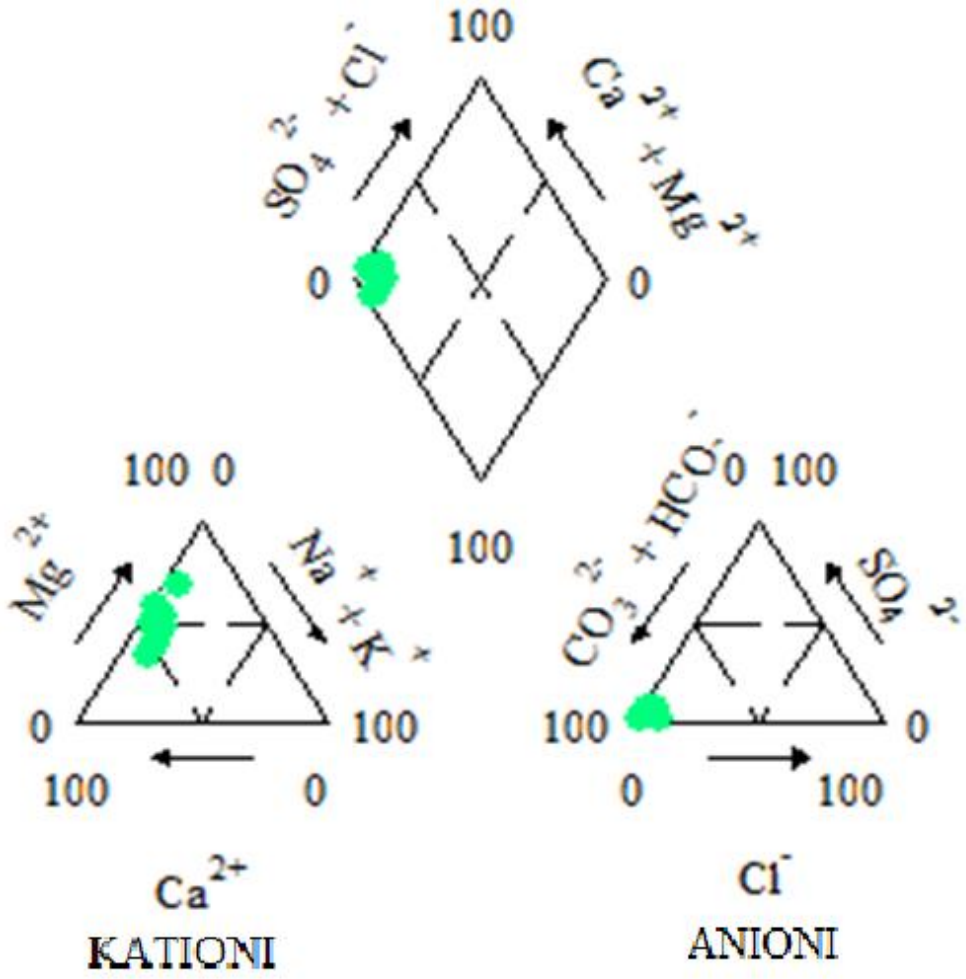
pripadaju kalcijskom ili magnezijskom facijesu. Prema anionima voda pripada hidrogenkarbonatnom tipu vode i ovdje nema nikakvih odstupanja. Svih 9 uzoraka vode koji su analizirani su koncentrirani u jednom uskom području. Jednako kao i kod vodocrpilišta Prosine što se tiče anionskog sastava ovdje nema nikakvih promjena.



Slika 4.4. Piperov dijagram vodocrpilišta Livade

3) Piperov dijagram za vodocrpilište Topolje

Prema kationima voda s područja vodocrpilišta Topolje (Slika 4.5) pripada miješanom facijesu i magnezijskom facijesu. Malo veći broj uzoraka pripada magnezijskom tipu vode. Ali ima i mali broj uzoraka koje možemo karakterizirati da pripadaju kalcijskom tipu vode. Uglavnom su uzorci koncentrirani na lijevoj strani dijagrama i protežu se kroz trokut na dijagramu koji označava miješani tip vode i magnezijski tip vode. Potrebno je obratiti pozornost na to kako se koncentracija magnezija mijenja s obzirom na uzorke. Za razliku od ostala dva vodocrpilišta ovdje se može vidjeti kako ima uzoraka koji pripadaju magnezijskom tipu vode. Možemo zaključiti da je koncentracija magnezija u vodi na ovom uskom području veća u odnosu na ostala dva vodocrpilišta. Koncentracija magnezija se kreće od 26,92 mg/l i odnosi se na bušotinu TO-4 pa do najveće koncentracije od 95,3 mg/l koje se odnosi na zdenac Z-1. Prema anionima voda s ovoga područja pripada hidrogenkarbonatnom facijesu. Kao i za prethodna dva vodocrpilišta, ovdje nema nikakvih odstupanja u rezultatima analize. Također su koncentracije uzoraka koncentrirane gotovo pa u jednoj točki.



Slika 4.5. Piperov dijagram vodocrpilišta Topolje

4) Skupni Piperov dijagram za sva tri vodocrpilišta

Nakon što smo unijeli podatke svih prikupljenih koncentracija elemenata za svako vodocrpilište dobili smo skupni Piperov dijagram (Slika 4.6). Na dijagramu se može jasno očitati kojem tipu pripada voda s pojedinog vodocrpilišta, a ujedno se mogu međusobno i uspoređivati. Prema kationima voda uglavnom pripada miješanom facijesu, iako ima uzoraka koji pripadaju kalcijskom facijesu i uzoraka koji pripadaju magnezijskom facijesu. Kalcijskom tipu vode pripada najviše uzoraka s područja vodocrpilišta Prosine. Koncentracije kalcija se za to vodocrpilište kreću od 34,7 mg/l koje se odnosi na uzorak vode iz zdenca Z-5 uzet 28.7.2006. godine što je jako nisko u odnosu na ostale analize ovoga područja pa sve do 94,5 mg/l koje se odnosi na uzorak vode iz zdenca Z-4 izvađen 22.7.2003. godine. Prosjek koncentracije kalcija svih uzoraka za vodocrpilište Prosine koji su prikazani na Piperovom dijagramu je 82,5 mg/l. Samo dva uzorka vode odstupaju od prosjeka, a koncentracije ostalih uzoraka su približne prosjeku. U usporedbi s ostala dva vodocrpilišta na području Prosina koncentracija kalcija je najveća. Vodocrpilište Livade ima nešto manje koncentracije kalcija, od 68,54 mg/l izmjerenoj na uzorku vode iz zdenca BMB-2 koji je uzet 3.9.1979. godine pa do 97 mg/l koje se odnosi na uzorak vode iz bušotine BM-2 uzet 18.9.1990. godine. Na ovom području prosjek koncentracije kalcija iznosi 80,94 mg/l. Ovdje je prosjek koncentracije kalcija malo niži u odnosu na vodocrpilište Prosine, ali i s obzirom na to, voda s ovoga područja pripada glavninom miješanom tipu vode, dok mali broj uzoraka pripada kalcijskom tipu vode. Za razliku od vodocrpilišta Prosine, vodocrpilište Livade ima nekoliko uzoraka vode koji pripadaju magnezijskom tipu vode. Na području vodocrpilišta Prosine koncentracije magnezija su niske, kreću se od 27 mg/l koje se odnosi na uzorak vode iz piezometra PP-2 iz 22.4.2003. godine pa do 39,07 mg/l, a odnosi se na zdenac Z-4 iz 28.7.2003. godine. Prema tome ni jedan uzorak vode ovoga vodocrpilišta ne pripada magnezijskom tipu vode. U usporedbi sa tim podacima koncentracije magnezija vodocrpilišta Livade se kreću od 27 mg/l koja se odnosi na bušotinu BM-2 iz 18.9.1990. godine pa do 81, 96 mg/l koja se odnosi na piezometar BMP-4 iz 20.4.1979. godine. Koncentracije magnezija uzoraka vode sa područja vodocrpilišta Livade su veće od onih sa područja vodocrpilišta Prosine pa prema tome ima nekoliko uzoraka koji na Piperovom dijagramu pripadaju magnezijskom tipu vode. Uzorci vode sa područja vodocrpilišta Topolje pripadaju svim trima tipovima vode. Ima nekoliko uzoraka koji pripadaju kalcijskom tipu vode i to onih kod kojih je

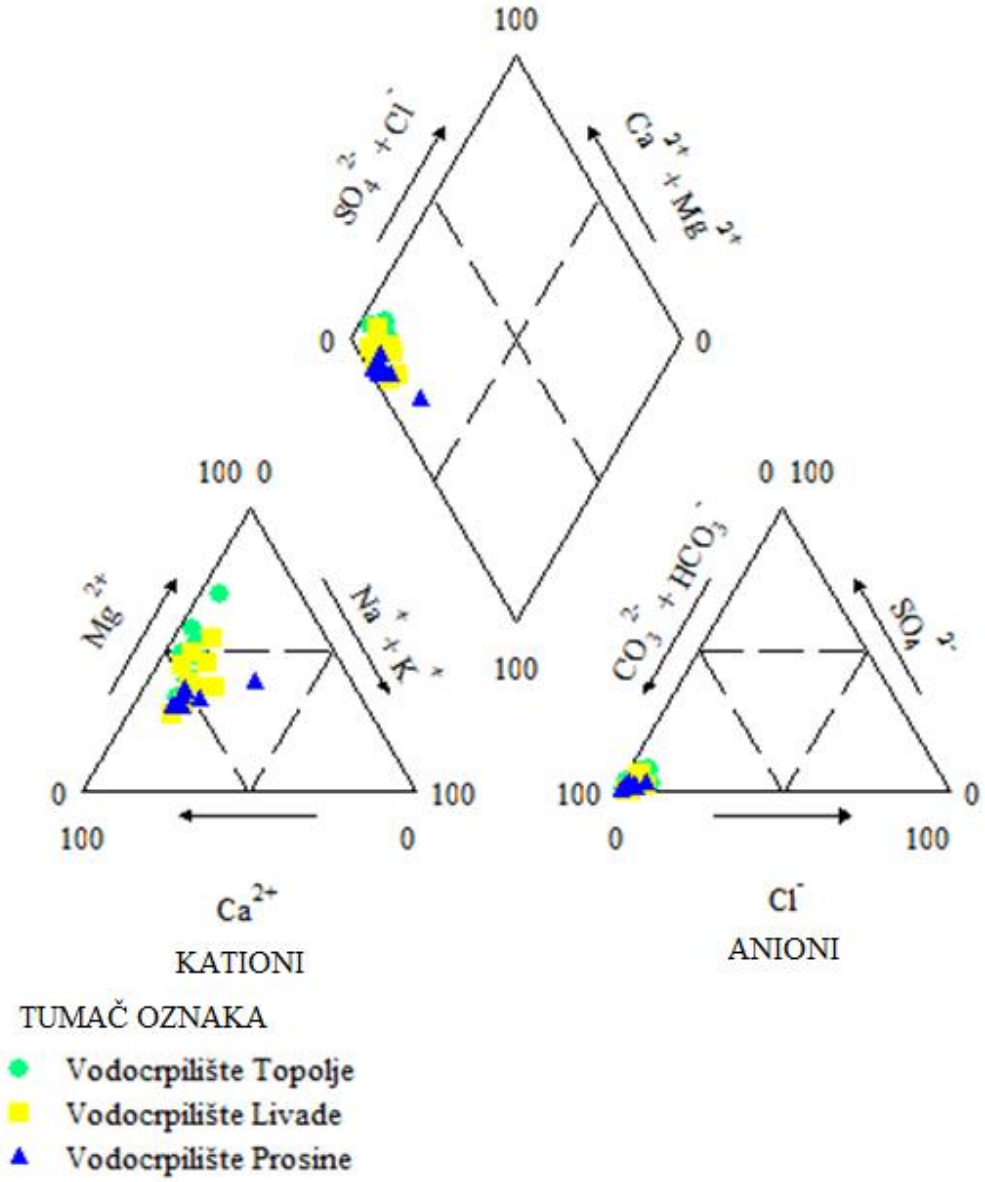
koncentracija kalcija u odnosu na ostale veća, a to su: uzorak iz bušotine TO-2 sa 75,28 mg/l iz 29.11.2000. godine, uzorak iz bušotine TO-2 iz 27.6.2001. godine i uzorak iz bušotine TO-4 iz 27.6.2001. godine.

Koncentracije kalcija ostalih elemenata ovoga područja nešto su niže od navedenih. Samo za vodocrpilište Topolje uzorci se kreću od kalcijskog tipa vode pa do magnezijskog tipa vode. Ovdje su koncentracije magnezija u odnosu na ostala dva vodocrpilišta najviše. Maksimum koncentracije magnezija za ovo vodocrpilište je 95,3 mg/l i odnosi se na uzorak iz zdenca Z-1 uzet 11.1.2002. godine. Najbliža koncentracija magnezija ovoj vrijednosti je ona od vodocrpilišta Livade i iznosi 81,96 mg/l, a odnosi se na piezometar BMP-4, uzorak je uzet 20.4.1979. godine. Dok su ostale koncentracije magnezija iz uzoraka voda uzetih sa vodocrpilišta Prosine i Livade niže, pa se prema tome može vidjeti da se voda klasificira kao miješani tip i kalcijski tip. Zaključak je da iako su uzorci vode uzeti s područja koji nisu međusobno na velikoj udaljenosti i odnose se na isti vodonosnik, rezultati osciliraju pa tako imamo raznolikost od kalcijskog tipa vode za vodocrpilište Prosine, miješanog tipa vode za vodocrpilište Livade i vodocrpilište Topolje gdje se koncentracije elementa magnezija najviše mijenjaju pa se prema tome voda sa toga područja može klasificirati kao magnezijski tip vode.

Prema anionima, kao što je vidljivo iz Piperovog dijagrama nema nikakvih odstupanja u rezultatima. Uzorci vode koji su uzeti za analizu te koncentracije elemenata dobivene tom analizom jasno pokazuju da voda pripada hidrogenkarbonatnom facijesu. Svi su uzorci koncentrirani na Piperovom dijagramu na uskom području u samom vrhu trokuta. Za sva tri vodocrpilišta koncentracija elementa HCO_3^- je vrlo slična. Prosjek tog elementa za vodocrpilište Prosine iznosi 454,8 mg/l. Za vodocrpilište Livade prosjek iznosi 498,18 mg/l, a za vodocrpilište Topolje 481,39 mg/. Prosjek koncentracije HCO_3^- nema velikih odstupanja u usporedbi sva tri vodocrpilišta pa je prema tome jasno da voda pripada hidrogenkarbonatnom tipu vode.

Kao što možemo vidjeti iz priloženoga Piperovog dijagrama vode ovoga područja prema glavnim kemijskim sastojcima su kationski kalcijsko-miješanog facijesa, a prema anionima pripadaju hidrogenkarbonatnom facijesu. To je posljedica procesa napajanja te prevladavajućih tokova u regionalnom mjerilu (Urumović i dr., 2008). No, za kakvoću podzemnih voda u aluvijalnim vodonosnicima ovoga područja glede tzv. sporednih

sastojaka važnih za vodoopskrbu, presudni su uvjeti taloženja naslaga. Jednostavnije, prirodna kvaliteta podzemnih voda u velikoj mjeri je diktirana uvjetima nastanka naslaga (Hlevnjak i Urumović, 1995).



Slika 4.6. Piperov dijagram vodocrpilišta Prosine, Livade i Topolje

4.4. Kakvoća podzemne vode za piće na području sjeverne Baranje

Voda se može koristiti za ljudsku potrošnju ako su svi parametri ispod maksimalnih dozvoljenih koncentracija, ukoliko to nije slučaj za prirodni sastav vode onda je potrebno osigurati preradu vode. Vodocrpilište Livade odlikuje se izvrsnom kakvoćom vode te se ona može bez prerade koristiti za ljudsku upotrebu. Koncentracije željeza i mangana koje inače stvaraju problem u kakvoći vode ovoga području na vodocrpilištu Livade nisu povišene i ne prelaze maksimalne dozvoljene koncentracije. Vodocrpilište Topolje i Prosine imaju povišene sadržaje željeza u svome sastavu i zbog toga se ne odlikuju tako dobro kvalitetom kao voda na vodocrpilištu Livade. Kao što je već i spomenuto za kakvoću podzemnih voda u aluvijalnim vodonosnicima Drave presudni su uvjeti taloženja naslaga. Taloženje se odvijalo u depresiji u kojoj su se pretežito održavali močvarni uvjeti i reduktivna sredina. Reduktivnost sredina uglavnom se održala kasnije, na što ukazuje i prevladavajuća kvaliteta podzemne vode. Pretežito se radi o podzemnim vodama s visokim sadržajem željeza, mangana, slobodnog prirodnog amonijaka i pratećih elemenata. U širem regionalnom smislu, izuzeci su pojedini slojevi koji su tijekom ili nakon njihova taloženja bili izloženi okopnjavanju. U vezi s tim nastajala je oksidacija teških metala i njihovo taloženje na skelet krutog matriksa, dok je amonijak preko nitrita prelazio u nitrate. Ovakve pojave „odigravale“ su se u većoj mjeri u području rubnih terasastih predjela (Urumović i dr., 2008).

S obzirom na to da su za ova područja karakteristični reduktivni uvjeti nije neobično što su na području vodocrpilišta Prosine i Topolje povišeni sadržaji željeza. Iz tog je razloga potrebna prerada sirove vode sa područja tih dvaju vodocrpilišta kako bi nakon toga voda zadovoljavala kriterije vode za piće prema propisanim standardima Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, odnosno novog Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju iz 2013. godine

5. Zaključak

U okviru ovoga diplomskog rada detaljno su obrađeni podaci kemijskih analiza koje su napravljene za spomenuta vodocrpilišta na području sjeverne Baranje s ciljem određivanja hidrokemijskih facijesa ovoga područja.

Ovo područje u geotektonskom smislu predstavlja uzdignutu strukturu. Karakteristika ovoga područja su kvartarne naslage koje se nalaze na površini koja je prekrivena praporom. Područje sjeverne Baranje karakterizirano je kvartarnim vodonosnim kompleksom s relativno visokim udjelom propusnih slojeva, niskim stupnjem konsolidacije naslaga, niskom mineralizacijom podzemnih voda i mogućnošću komuniciranja podzemnih voda. Napajanje podzemnih voda ovoga vodonosnika prvenstveno se odvija infiltracijom padalina koje uvjetuju strujanje podzemnih voda, te procjeđivanjem iz površinskih tokova koje je u pravilu puno manje u odnosu na infiltraciju s površine.

Kemijske analize korištene u ovom diplomskom radu prikupljene su od 1979. godine pa do 2011. godine kroz nekoliko bušotina, zdenaca i piezometara na području vodocrpilišta Prosine, Livade i Topolje. Koncentracije kemijskih elemenata dobivene ovim analizama potrebne su za izradu Piperovih dijagrama te za određivanje hidrokemijskih facijesa. Iako se radi o trima vodocrpilištima koji se nalaze na relativno maloj međusobnoj udaljenosti zapaža se razlika između hidrokemijskih facijesa između njih. Vodocrpilište Prosine pripada kalcijskom hidrokemijskom facijesu, Livade miješanom hidrokemijskom facijesu, a vodocrpilište Topolje pripada miješanom i magnezijskom hidrokemijskom facijesu. Uzrok tome može biti drugačija geneza između ova tri područja. Povećane koncentracije magnezija na području vodocrpilišta Topolje mogu biti uzrokovane većim postotkom dolomitičnih valutica. Važno je uočiti kako postoje razlike u kemijskom sastavu vode iako se radi o istom vodonosniku i to čak na područjima koja su međusobno prostorno blizu.

Prirodna kvaliteta podzemnih voda ovoga područja uvjetovana je taloženjem naslaga, a samo taloženje odvijalo se u reduktivnoj sredini pa je za očekivati za ova područja da će se u vodi pojavljivati povećani sadržaj željeza, mangana i mjestimično amonijaka. Laboratorijska ispitivanja kakvoće „sirove“ vode ukazala su da vodocrpilište Livade nema

povišene sadržaje željeza i mangana te je iz tog razloga zdravstveno ispravna, dok voda sa područja vodocrpilišta Prosine i Topolje ima povećani sadržaj željeza pa je potrebna prerada kako bi se mogla koristiti za ljudsku upotrebu. Voda se na vodocrpilištima Prosine, Livade i Topolje zahvaća iz dubljih vodonosnih slojeva pa nitrati nemaju utjecaja na kakvoću vode za piće. Glavni izvori onečišćenja podzemnih voda na području sjeverne Baranje su upravo antropogenog podrijetla, a riječ je o nekontroliranom odlaganju otpada, te ispuštanju otpadnih voda. Zaštita podzemnih voda na crpilištima ovoga područja provedena je prema Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11) kroz tri zone, s obzirom da se radi o vodonosniku s međuzrnskom poroznošću.

6. Literatura

BRIŠKI, M., DUIĆ, Ž.(2009): *Učinak geoloških struktura na hidrogeološke značajke kvartarnih naslaga u Baranji*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

CHEBOTAREV, I. I. (1955): *Metamorphism of natural waters in the crust of weathering*

FREEZE, R.A., CHERRY, J.A. (1979): *Groundwater*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

HLEVNJAK, B., URUMOVIĆ, K. (1995): *Crpilište Špišić Bukovica, zdenac B-3.* Projekt. Zagreb: Hydroexpert, 106-14.

LEIS, A. (2010): *Introduction to hydrogeochemistry with respect to tracing*

LEVAČIĆ, E. (1977): *Osnove geokemije vode.* Geotehnički fakultet u Varaždinu

MIHELČIĆ, D., URUMOVIĆ, K. (1998): *Vodoopskrbni sustav Kneževi Vinogradi.* Idejno rješenje-poglavlje 6. Hidrogeološka situacija. Fond dokumenata Hidroprojekt-ing , Zagreb.

ONDREJ, Š., ZEMAN, J. (2004): *Introduction to environmental hydrogeochemistry*

URUMOVIĆ, K. (2001): *Sjeverna Baranja* . Projekt. Zagreb

URUMOVIĆ, K., DUIĆ, Ž., PRELOGOVIĆ, E. (2003): *Hidrogeološki uvjeti oblikovanja Kopačkog rita.* Hrvatske vode u 21. Stoljeću, Zbornik radova, Gereš, Dragutin (ur.), 131-141, Osijek.

URUMOVIĆ,K., HLEVNJAK, B. (1999): *Vodoopskrbni sustav Belog Manastira. Izvedba zdenca BMZ-1*. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2008): *Crpilište Livade. Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2004): *Crpilište Prosine. Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ,K., HLEVNJAK, B. i DUIĆ, Ž. (2000): *Vodoopskrbni sustav Belog Manastira. Hidrogeološka istraživanja crpilišta Livade*. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2012): *Crpilište Topolje. Elaborat o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., MAĐARAC, A. (1975): *Vodoopskrba Belog Manastira, Hidrogeološka istraživanja*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., MAĐARAC, A., GOLD, H., HLEVNJAK, B. i TRELEC,D. (1987): *Hidrogeološka studija Baranjskog prapornog ravnjaka*. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Web izvori:

Osječko baranjska županija-www.obz.hr (12.10.2015.)