

Reinterpretacija hidrogeoloških uvjeta vodocrpilišta sjeverne Baranje

Vranješ, Teuta

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:169:744899>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij hidrogeologije i inženjerske geologije

**REINTERPRETACIJA HIDROGEOLOŠKIH UVJETA VODOCRPILIŠTA SJEVERNE
BARANJE**

Diplomski rad

Teuta Vranješ

GI 298

Zagreb, 2019.

REINTERPRETACIJA HIDROGEOLOŠKIH UVJETA VODOCRPILIŠTA SJEVERNE BARANJE

TEUTA VRANJEŠ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Vodocrpilišta Livade, Prosine i Topolje pripadaju Baranjskom Vodovodu. Crpilište Livade u blizini najstarije je od navedenih dok je crpilište Topolje je najnovije. U Baranji se na površini nalaze pretežito kvartarne naslage te se pojavljuju prapori, praporne taložine, te eolski pijesci, a u litološkom sastavu vodonosnika prevladavaju pijesci i vrlo podređeno šljunci s proslojcima glinovito-prašinih taložina. Korišteni podaci dobiveni su prethodnim pokusnim crpljenjima te kemijskim analizama uzoraka vode. Za određivanje parametara zdenca provedena je kombinirana metoda Rorabougha i Thiema, svrhu prethodnih interpretacija korištena je Jacob-Cooperova metoda. Odstupanje dobivenih od prethodnih rezultata nastalo je zbog razlika u metodama te većeg naglaska na udaljenost piezometra od zdenca u Thiemovoj metodi. Kakvoća vode na crpilištu Livade je iznimna, a na crpilištu Topolje potrebna je dodatna obrada. Na crpilištu Prosine voda je pogodne kakvoće u dubljem vodonosnom sloju.

Ključne riječi: vodocrpilište, pokusno crpljenje, transmisivnost, debljina vodonosnika, hidraulička vodljivost, kakvoća podzemne vode

Diplomski rad sadrži: 26 stranica, 12 slika, 2 tablice, 21 referencu

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr.sc. Kristijan Posavec, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Kristijan Posavec, redoviti profesor RGNF

Dr.sc. Dario Perković, docent RGNF

Dr.sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 15. ožujka 2019.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

REINTERPRETATION OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF WATER WELLS IN
NORTHERN BARANJA

TEUTA VRANJEŠ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Engineering Geology
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Well-fields Livade, Prosine i Topolje are a part of the Baranja Water System. The Livade well-field is the oldest among the above-mentioned fields while the Topolje well-field is the youngest. The surface of Baranja primarily consists of quaternary sediments like loess, loess-similar sediments and aeolian sands. Aquifer sediments contain mostly sand with a bit of gravel and clay-silt intercalations. The data used came from previous pumping tests and chemical analyses of water samples. To determine the parameters of the well, a combination of Rorabaughs and Thiems methods was used. Previous interpretations used the Jacob-Coopers method. The deviation of obtained data from the previously acquired data can be explained by differences between the methods used and a greater emphasis that was put on the distance between pumped well and piezometer in the Thiems method. The quality of groundwater is outstanding on the Livade well-field, while additional water treatment is required on the Topolje well-field and water from a deeper aqueous layer is of suitable quality on the Prosine well-field.

Keywords: well-field, test pumping, transmissivity, aquifer thickness, hydraulic conductivity groundwater quality

Thesis contains: 26 pages, 12 figures, 2 tables, 21 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Kristijan Posavec, PhD

Reviewers: Full Professor Kristijan Posavec, PhD
Assistant Professor Dario Perković, PhD
Associate Professor Željko Duić, PhD

Date of defence: March 15, 2019.

SADRŽAJ:

1. Uvod.....	1
2. Dosadašnja istraživanja.....	3
2.1. Crpilište Livade.....	3
2.2. Crpilište Prosine.....	5
2.3. Crpilište Topolje.....	8
3. Geološke i hidrogeološke značajke područja.....	10
3.1. Regionalna geološka građa.....	10
3.2. Opći geomorfološki i hidrogeološki uvjeti.....	13
4. Reinterpretacija pokusnih crpljenja.....	15
4.1. Parametri zdenaca.....	16
5. Usporedba rezultata s prethodnim interpretacijama.....	20
6. Kakvoća podzemne vode na području Baranje.....	22
6.1. Livade.....	22
6.2. Prosine.....	23
6.3. Topolje.....	24
7. Diskusija i zaključak.....	26
8. Literatura.....	28

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Lokacije crpilišta Livade, Prosine i Topolje	2
Slika 2.1. Lokacije vodocrpilišta Livade u Belom manastiru M 1:25000, raspored zdenaca i istraživačko-piezometarskih bušotina (preuzeto iz Urumović i dr., 2010).....	4
Slika 2.2. Litološki profil korelacije bušotina na vodocrpilištu Livade	5
Slika 2.3. Lokacija vodocrpilišta Prosine, raspored zdenaca i istraživačko-piezometarskih bušotina (preuzeto iz Hlevnjak i dr., 2011)	7
Slika 2.4. Litološki profil korelacije bušotina na vodocrpilištu Prosine	7
Slika 2.5. Lokacije vodocrpilišta Topolje, raspored zdenaca i istraživačko-piezometarskih bušotina (preuzeto iz Duić i Hlevnjak 2013).....	9
Slika 2.6. Litološki profil korelacije bušotina na vodocrpilištu Topolje.....	9
Slika 3.1. Geološka karta istraživanog područja (prema radnim materijalima projekta ISSAH, Urumović, 2019)	12
Slika 3.2. Hidrogeološka karta istraživanog područja (prema radnim materijalima projekta ISSAH, Urumović, 2019)	14
Slika 6.1. Piperov dijagram sirove vode u zdencu BMZ-3	23
Slika 6.2. Piperov dijagram sirove vode u zdencu PP-5.....	24
Slika 6.3. Piperov dijagram sirove vode u zdencu TO-2.....	25

POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Rezultati opisanih analiza za kombinacije različitih zdenaca i piezometara (dobivene nelogične vrijednosti uskladištenja označene su crvenom bojom).....	18
Tablica 5.1. Rezultati prethodnih interpretacija podataka pokusnog crpljenja	21

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

Veličina i svojstvo	Simbol	Osnovna jedinica	Dodatne jedinice
protok, crpna količina	Q	m ³ /s	l/s, m ³ /dan
hidraulička vodljivost	K	m/s	m/dan
koeficijent uskladištenja	S	bezdimenzijska	
debljina	d	m	
vrijeme	t	s	dan, min
transmisivnost	T	m ² /s	m ² /dan
sniženje	s	m	

1. Uvod

U sklopu ovog diplomskog rada reinterpretirani su podaci pokusnih crpljenja na vodocrpilištima Livade kod Belog Manastira, Prosine kod Kneževih Vinograda te Topolje kod Topolja. Istraživanja su provedena u sklopu projekta ISAH, UIP 2017-05-9345, a sva navedena vodocrpilišta pripadaju Baranjskom Vodovodu. Prvo crpilište koje je uključeno u vodoopskrbu bilo je Livade, a za njim su uslijedile i Prosine. Crpilište Topolje relativno je novi zahvat kojim bi se dugoročno trebala osigurati vodoopskrba ovog područja.

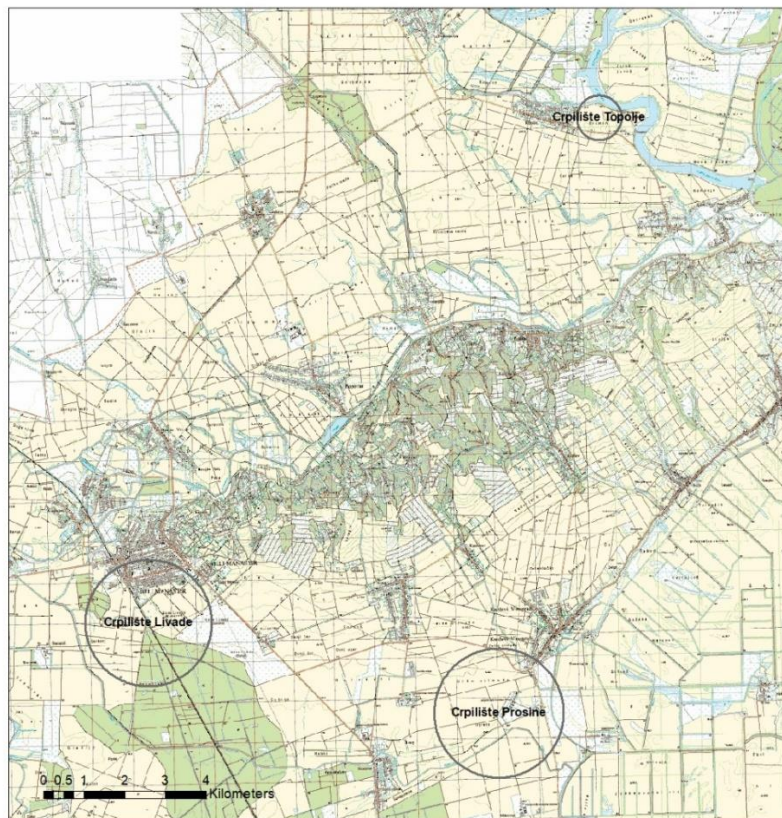
Na području sjeverne Baranje postoji 7 lokaliteta na kojima se crpi voda od kojih su 5 (Prosine, Novo Nevesinje, Novi Bezdan, Mitrovac, Kneževo) lokalnog značaja, a 2 regionalnog značaja (Livade, Topolje).

Crpilište Livade nalazi se južno od Belog Manastira. Sa 6 zdenaca je zahvaćen kvartarni vodonosnik na dubinama od oko 20 do 40 m. Istraživanja na vodocrpilištu započela su 1987. godine te su tada izvedene prve istraživačko-piezometarske bušotine i zdenci. Crpilište je uključeno u vodoopskrbni sustav Belog Manastira 1985. godine, a 1986. izvedeno je 8 dodatnih istraživačkih bušotina. Proširenje crpilišta nastavljeno je tijekom 1990. i 1991. godine. Trenutno su u rad uključeni zdenci IBM-1, BMB-4, BMB-5, BMZ-1, BMZ-2 i BMZ-3.

Prve istraživačke bušotine na području crpilišta Prosine izvedene su još 1987., a u daljnjem nastavku istraživanja do danas je izvedeno još 6 bušotina. Vodocrpilište je uključeno u vodoopskrbu sjeverne Baranje 1991. godine. Izvedena su tri zdenca od kojih je najduže u upotrebi ostao zdenac Z-3 izveden 1998. godine. Rad zdenaca je obustavljen jer su zahvaćali plići sloj izložen onečišćenju na dubini od 5,5 do 20 m. Kemijskom analizom je na uzorcima iz zdenaca utvrđena povećana koncentracija amonijaka i mangana. Novi zahvati izvedeni na crpilištu 2002. i 2006. godine uključivali su dva nova zdenca koji zahvaćaju dublji vodonosni sloj ispod 35 m.

Prilikom razmatranja mogućnosti razvitka vodoopskrbe Belog Manastira i okolnih područja zaključilo se kako na crpilištu Livade ne može očekivati dodatna izdašnost te se otvorilo pitanje izgradnje novog vodocrpilišta. Razmatralo se nekoliko opcija te se odlučilo da će novo vodocrpilište Topolje biti smješteno jugoistočno od Topolja u blizini korita Topoljskog Dunavca čime se htjelo poboljšati uvjete zaštite crpilišta i obnavljanja podzemnih voda. Crpilište je trenutno još u razvitku kao subregionalno izvorište sjeverne

Baranje. Vodoopskrba se trenutno većinom osigurava iz prethodno navedenih crpilišta, no uključivanjem većeg broja zdenaca na crpilištu Topolje osigurale bi se dugoročne vodoopskrbne potrebe na ovom području.



Slika 1.1. Lokacije crpilišta Livade, Prosine i Topolje

Na području istraživanja sjeverne Baranje na površini se većinom nalaze kvartarne naslage, među kojima prevladava prapor i njemu slične naslage. Izdanci neogenskih stijena pojavljuju se samo duž Banskog brda i to na malim prostorima. Ispod kvartarnih, izdvojene su na temelju podataka iz dubljih bušotina i seizmičkih profila, neogenske, mezozojske te paleozojske stijene. Kvartarne vodonosne naslage su aluvijalni nanosi Dunava i Drave, te močvarne i eolske naslage, a u litološkom sastavu prevladavaju pijesci i vrlo podređeno šljunci. Također su česti glinovito-prašinski prosljoci vrlo promjenjive debljine, a ponegdje oni i prevladavaju.

Za ponovnu interpretaciju podataka pokusnog crpljenja korištena je Thiemova metoda kombinirana s Rorabaughovom formulom kako bi se dobili podaci o hidrauličkim parametrima vodonosnih slojeva u okolici vodocrpilišta (Poglavlje 4). Dobiveni podaci

uspoređeni su kako bi se vidjelo poklapanje promjene hidrauličkih parametara s povećanjem crpne količine u zdencima (Poglavlje 5).

2. Dosadašnja istraživanja

2.1. Crpilište Livade

Crpilište Livade nalazi se južno od grada Belog Manastira s istočne strane željezničke pruge, a koristi se za vodoopskrbu sjevernog dijela Baranje. Sastoji se od šest zdenaca (slika 2.5) koji su izgrađeni u tri razdoblja. U prvoj fazi tijekom 1979. i 1980. godine izgrađena su tri zdenca (BMB-1, BMB-2 i BMB-3). U drugoj fazi razvitka crpilišta, tijekom 1990. i 1991. godine, izvedena su još dva zdenca južno od postojećih (BMB-4 i BMB-5). Treća faza uslijedila je tijekom 1998. godine, kada je izgrađen zdenac BMZ-1. Kasnije su izvedena i tri zamjenska zdenca i to IBM-1 uz zdenac BMB-1 i BMZ-2 uz zdenac BMB-2, te zdenac BMZ-3 smješten je pokraj zdenca BMB-3. Na crpilištu je načinjen i veći broj istraživačko-piezometarskih bušotina (oznake BMP i BM)

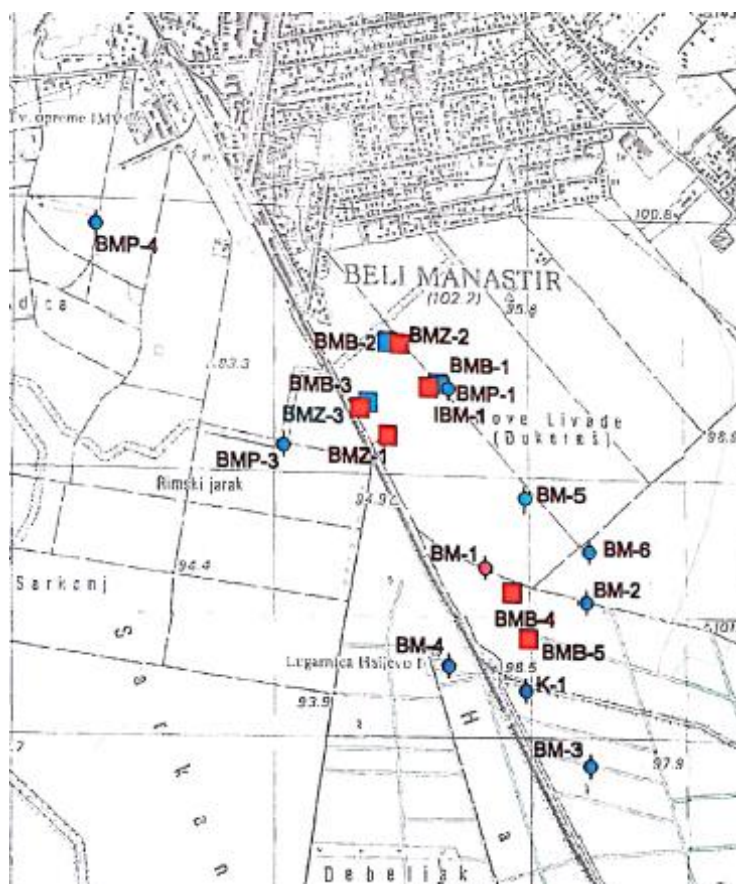
Zdencima je zahvaćen pješćani vodonosnik na dubini od oko 20 do 40 m (slika 2.6). Vodonosnik je izgrađen je od sitno do krupnozrnatog pijeska uz nešto valutica šljunka u donjem dijelu vodonosnika.

Najdetaljnija snimka vodonosnika provedena je na početku istraživanja (Urumović i dr., 1979) kada je na udaljenosti 10 m od lokacije zdenca BMB-1 izvedena istraživačko-piezometarska bušotina BMP-1, na kojoj je detaljno snimljen litološki profil i prikupljeni uzorci pijeska na kojima je provedeno šest granulometrijskih analiza. Desetodnevno pokusno crpljenje provedeno je s izdašnošću 7,5 l/s, a nastalo sniženje u zdencu iznosilo je 3,45 m.

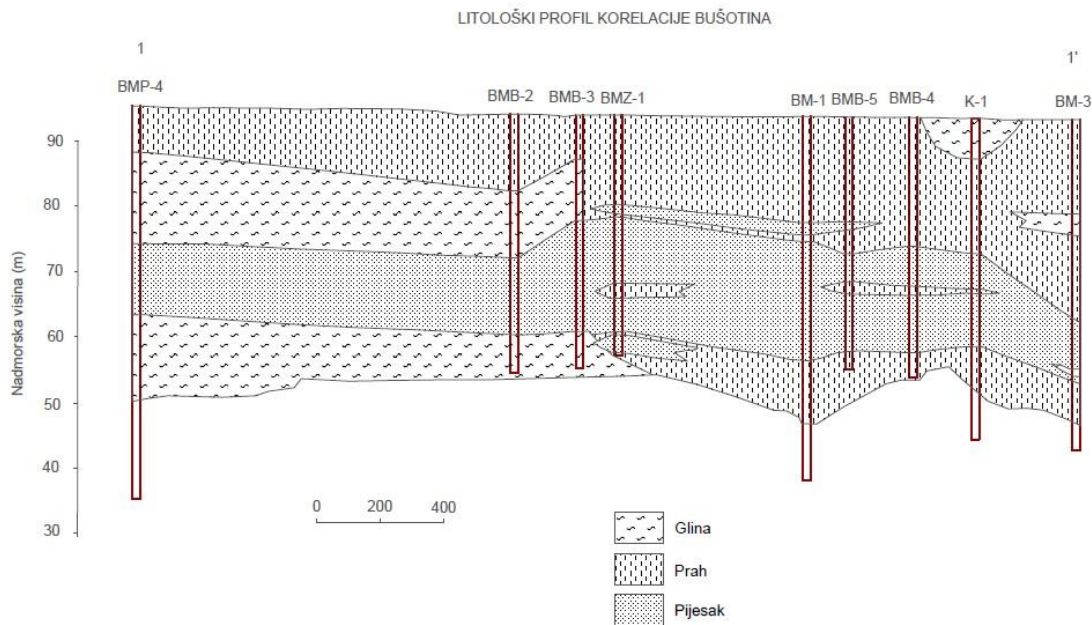
Krovinu vodonosnika čini sloj praha i prahovite gline (“močvarni prapori”) debljine oko 18 do 22 m. Vodonosnik je izgrađen od dosta jednoličnog pijeska granulacija kojega se lateralno i vertikalno mijenja od sitno do srednjozrnatoga pijeska, a ponegdje se pojavljuju i valutice šljunka i nešto sitnozrnatijeg pijeska. Mjestimice se ponegdje javlja i nešto praha, iako je pojava praha najčešća u obliku laminacija unutar sitnozrnatoga pijeska. Ukupna debljina vodonosnika iznosi oko 10-15 m, a u podini su glina i prah.

Vodonosnik je poluzatvorenog tipa, a u krovinskim naslagama izrazito dominiraju vertikalni faktori vodne bilance. Ranije identificirana transmisivnost, debljina i srednja hidraulička vodljivost zahvaćenoga vodonosnika prikazane su u tablici 5.1. (Poglavlje 5).

Izvorno obnavljanje podzemnih voda u ovim se predjelima odvija infiltracijom padalina kroz polupropusne površinske naslage prapora ($K = 4,2 \times 10^{-7} - 5,0 \times 10^{-9}$) (Urumović & Urumović, 2016) u gornji prvi vodonosnik koji u ovome hidrauličkom rješenju zahvata podzemnih voda ima ulogu izvornoga sloja. Iznos infiltracije nije neposredno istraživano, ali se može procijeniti na temelju modeliranja rada crpilišta 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 oko 12-20 % visine padalina ovisno o klimatskim uvjetima i pluviometrijskom režimu. Napajanje vodonosnika odvija se prokapljavanjem 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 crpilišta.



Slika 2.1. Lokacije vodocrpilišta Livade u Belom manastiru M 1:25000, raspored zdenaca i istraživačko-piezometarskih bušotina (preuzeto iz Urumović i dr., 2010)



Slika 2.2. Litološki profil korelacije bušotina na vodocrpilištu Livade

2.2. Crpilište Prosine

Crpilište Prosine spada među rijetka relativno novoistražena crpilišta, jer je identifikacija stvarnih hidrogeoloških značajki zahvaćenoga vodonosnika ostvarena tek u zadnjih nekoliko godina. To je vrlo povoljan čimbenik za hidrogeološka istraživanja jer nema vanjskih hidrauličkih utjecaja na istraživano područje, pa rezultati odgovaraju prirodnoj hidrogeološkoj situaciji.

Šire područja Prosina smješteno je ispod obronaka Banova brda koji se kao nagnuti praporni ravnjak spuštaju prema dunavskom inundacijskom području. Praporni ravnjak je blago nagnut (0,2-0,6%), a nadmorska visina mu se kreće od 140 m.n.m. na sjeveroistoku do 100 m.n.m. na jugu. Ispod kote 100 m.n.m. ocrta se donja terasa središnje Baranje u kojoj je snažniji utjecaj fluvijalnih taložina i koje su uvjetovale nastanak kvartarnog vodonosnog sustava (Urumović, 2006). Upravo na rubu toga područja smješteno je crpilište Prosine. Cijelo područje prekrivaju prapori koje je detaljno opisao Bognar (1990) u geomorfološkoj monografiji Baranje.

O stvarnoj dubinskoj građi ranije je bilo vrlo malo pouzdanih podataka iako je načinjen velik broj bušotina radi zahvata podzemne vode. Pisanih tragova o tim radovima nije ni bilo, nego samo neki usmeni navodi. Prva istraživanja praporne terase u predjelima

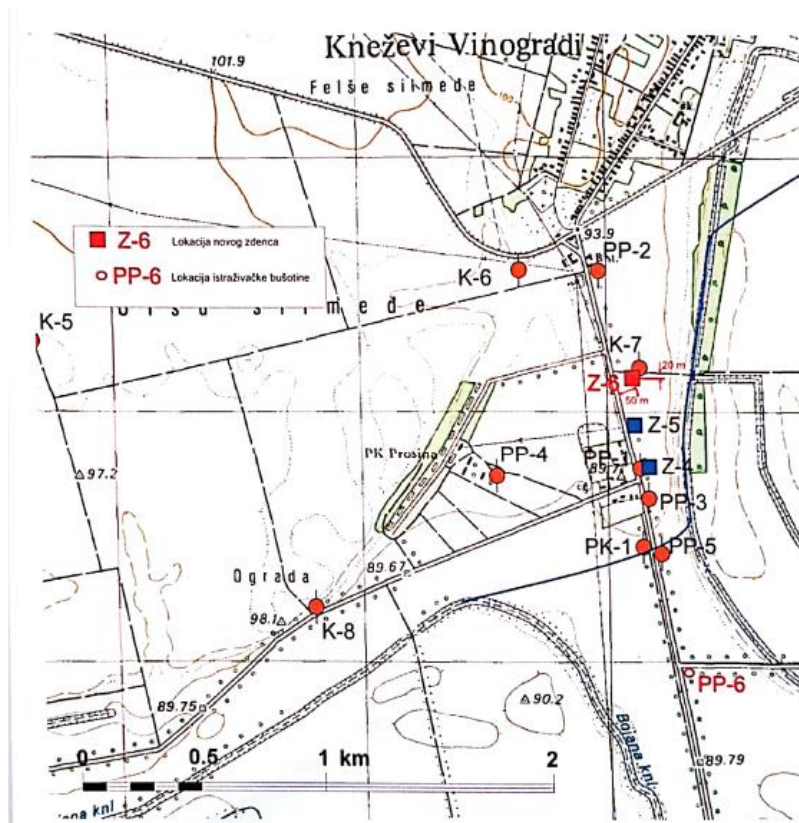
zapadno od Kneževih Vinograda provedena su sredinom 1980-tih godina (Urumović i dr., 1987). Tada je izvedena mreža istraživačko-piezometarskih bušotina načinjenih u sklopu istraživanja potencijalnog crpilišta Silmeđe, no one su duboke samo do oko 50 m. Izvedeno je ukupno 8 bušotina koje pokrivaju samo zapadni dio prapornoga ravnjaka i dosežu približno do Prosina. Ove bušotine označene su slovom "K". Na bušotinama K-7 i K-8, registrirana su dva sloja pijeska. Plitki, koji zaliježe do 16 m dubine i dublji koji zaliježe između 37 i 46 m dubine. Relativno potpuni podaci također postoje za zdenac od dubine 48 m koji se nalazi na pustari Mitrovac južno od Prosina.

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.

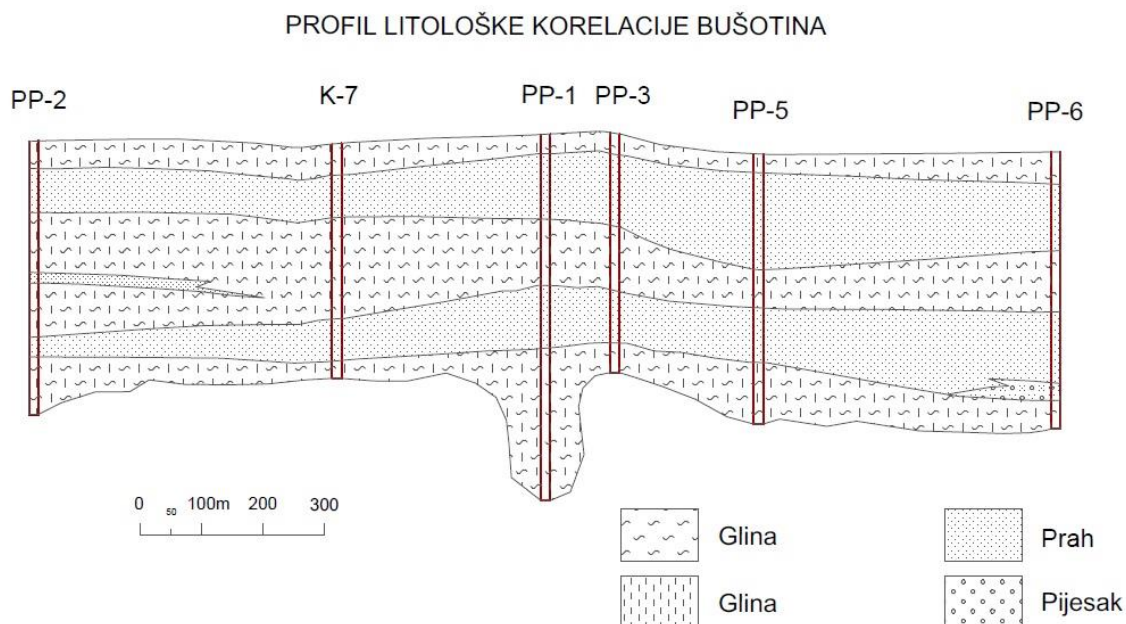
Sustavna istraživanja lokacije Prosine s ciljem izvedbe zahvata podzemnih voda za uredno organiziranu javnu vodoopskrbu Kneževih Vinograda koncipirana su i pokrenuta koncem 1997. godine (Mihelčić i Urumović, 1998), a terenska istraživanja započeta su 2001. godine (Urumović i dr., 2001).

Prva istraživačka bušotina PP-1 smještena je u blizini postojećega crpilišta, s istočne strane ceste. Izvedeno je ukupno pet piezometarskih bušotina. Prigodom terenske determinacije jezgre prikupljeni su uzorci pijeska na kojima je provedeno ukupno 44 granulometrijske analize. Litološki profil korelacije bušotina može se vidjeti na slici 2.4.

Donji vodonosnik zahvaćen je zdencima Z-4, Z-5 i Z-6. Zdenac Z-4 izveden je 2002. godine, zdenac Z-5 izveden je 2006. godine, a zdenac Z-6 2013. godine. Donji vodonosnik pokazao se dovoljno izdašnim za zadovoljavanje potreba javne vodoopskrbe.



Slika 2.3. Lokacija vodocrpilišta Prosine, raspored zdenaca i istraživačko-piezometarskih bušotina (preuzeto iz Hlevnjak i dr., 2011)



Slika 2.4. Litološki profil korelacije bušotina na vodocrpilištu Prosine

2.3. Crpilište Topolje

Izvorište se nalazi na rubu Terasastog ravničarskog područja iznad inundacijskog područja Dunava. Terasa je izrazito zaravnjena pa ima vrlo malu reljefnu energiju (Bognar, 1990). Prvi zdenac na izvorištu smješten je oko 15 m od strmca prema inundaciji koja je oko 3-5 m ispod terase (Urumović, 2005).

U najranija hidrogeološka istraživanja lokacije crpilišta Topolje može se ubrojiti izvedba staroga eksploatacijskoga zdenca načinjenoga 1959. godine za potrebe tadašnjeg pogona „Poljoprivredno-industrijskog kombinata Belje“ u Topolju smještenog nekoliko stotina metara južno od istraživačke bušotine TO-2. Danas nema ostataka zdenca niti pogona na tom području, no prema podacima o njegovom izvođenju vodonosnik je nabušen u intervalu od 14 do 41 metar dubine i izgrađen je od sitnozrnatog do krupnozrnatog pijeska i šljunka (Urumović, 2005).

Novija istraživanja na ovom području započela su 2000. godine, a u preliminarnoj fazi istraživanja izvedeno je 5 istraživačko-piezometarskih bušotina te je 2002. godine završena izvedba prvog pokusno-eksploatacijskog zdenca.

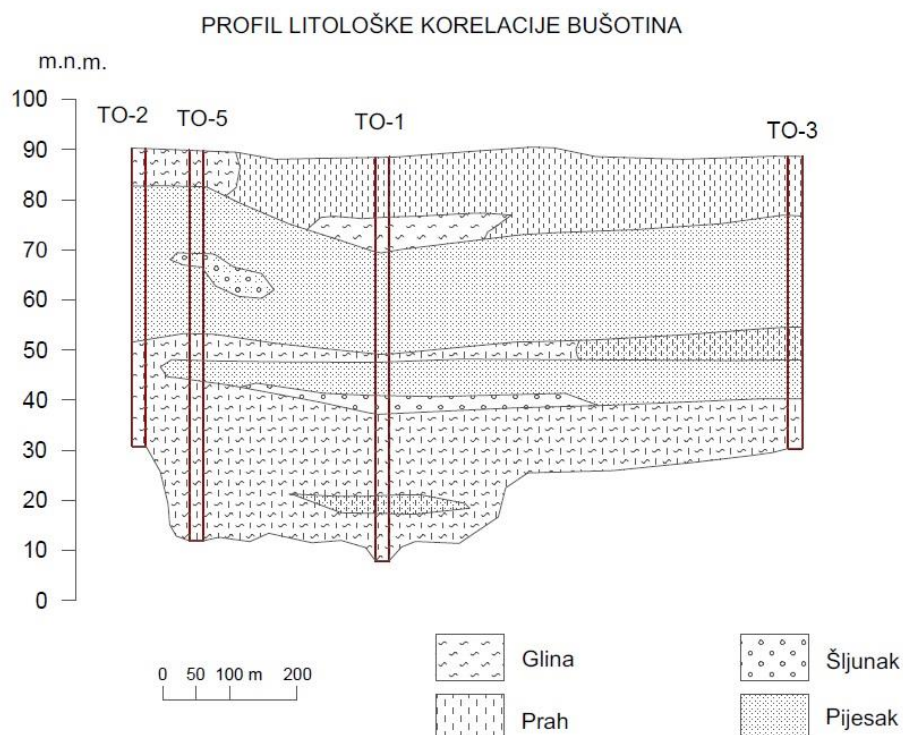
Od ukupno pet strukturno-piezometarskih bušotina izvedene su četiri duboke bušotine koje obuhvaćaju cijelu debljinu vodonosnika te jedna plitka bušotina. Prvo su 2000. godine izvedene bušotine TO-1, TO-2 i TO-3, tom prilikom uzeti su uzorci za kemijske analize vode. Bušotina TO-4 je napravljena 2001. godine te se tijekom bušenja kontinuirano hvatala jezgra. Nakon bušenja izvedena su i geofizička mjerenja u bušotini (mjerenje vlastitog potencijala, prividnog specifičnog otpora i intenziteta prirodnog gama zračenja). Za sve uzorke pijeska i šljunkovitog pijeska iz bušotina napravljene su i granulometrijske analize te su po njima izrađeni profili istraživačko-piezometarskih bušotina. Zdenac TOZ-2 izbušen je na crpilištu Topolje u okviru radova na izgradnji crpilišta do očekivanog kapaciteta. Izrada zdenca, osvajanje i pokusno crpljenje završeni su 2013. godine.

Provedenim istraživanjima potvrđeno je da se u području Topolja pojavljuje kvartarni vodonosnik pogodan za izgradnju regionalnog crpilišta sjeverne Baranje. Vodonosnik se pojavljuje na dubini od 22 do 51 m na bušotini TO-1, od 8 do 39 m dubine na bušotini TO-2 te od 12 do 53 m dubine na bušotini TO-3. Izgrađen je od jednoličnog pijeska različite granulacije od sitnog do krupnog zrna, a na dnu vodonosnika u Bušotini TO-2 javlja se i proslojak šljunka. Općenito se zapaža nešto sitniji materijal u profilu bušotine TO-1 nego u

profilima bušotina TO-2 i TO-3. U krovini vodonosnika su prah, prašinsta glina i prašinsti pijesak. U podini su glinoviti materijali sve do 82 m tj. do dna najdublje bušotine (Urumović, 2000b).



Slika 2.5. Lokacije vodocrpilišta Topolje, raspored zdenaca i istraživačko-piezometarskih bušotina (prezeto iz Duić i Hlevnjak, 2013)



Slika 2.6. Litološki profil korelacije bušotina na vodocrpilištu Topolje

3. Geološke i hidrogeološke značajke područja

Hidrogeološki odnosi uvjetovani su geološkom građom i rubnim uvjetima, pa je pri interpretaciji hidrogeoloških značajki primjerena pozornost posvećena regionalnim geološkim uvjetima kao okviru u kojemu su formirani hidrogeološki uvjeti šireg područja crpilišta.

3.1. Regionalna geološka građa

U Baranji se na površini nalaze pretežito kvartarne naslage. Prevladava jednolični sastav prapora i praporu sličnih naslaga. 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.

U strukturnom sklopu Baranje izdvajaju se tri strukturne jedinice: Meczek-Villany-Baranja, Sombor-Apatin i Dravski bazen. Unutar njih razlikuju se pojedine lokalne strukture. Jedinice i strukture ograničene su rasjedima.

Uočljiva značajka strukturne jedinice Meczek-Villany-Baranja jest promjenjivo pružanje: ZSZ-JJI, najčešće Z-I, te skretanje struktura u Baranji u pravac SI-JZ. Strukture su ograničene reverznim rasjedima. Izdvajaju se: Bansko brdo, Bolman-Grabovac, Mohacz i Popovac-Draž. Znakovita je struktura Bansko brdo. Duž krila strukture pružaju se reverzni-reverzni rasjedi suprotnih vergencija. To ukazuje na kompresiju prostora. Ističe se i struktura Bolman-Grabovac, koja je smještena između zona rasjeda Meczek-Villany-Baranja i rasjeda Berement-Kneževi Vinogradi-Batina. Unutar obuhvaćenog dijela strukturne jedinice Sombor-Apatin ističu se dvije lokalne strukture: Stari Dunav-Prigrevica i Apatin.

Najvažniji u obuhvaćenom strukturnom sklopu jesu rasjedi granični strukturnim jedinicama. Njihove bitne odlike su:

Rasjed Meczek-Villany-Baranja: izražena je zona paralelnih reverznih rasjeda i ogranaka, širine između 1 i 5 km; između Darde, Luga i Grabovca. Zamjetno je svijanje zone zbog pomaka istoimene strukturne jedinice. Rasjedi iz zone odražavaju se u reljefu terasnim odsjecima, mjestimice koljenastim anomalijama rijeka (npr. kod Jagodnjaka i Batine) i uzvisina u reljefu duž krovinskih krila rasjeda (Čeminac, Uglješ).

Apatinski rasjed: manje je izražen prema gravimetrijskim podacima. Vjerojatno čini zonu reverznih rasjeda širine 1 do 2 km. Odražava se u reljefu koljenastim anomalijama rijeka (Dunav kod Apatina, Vemeljski Dunavac)

Po važnosti u sklopu slijede rasjedi granični strukturama i to: rasjed Berement-Kneževi Vinogradi-Batina (čini zonu širine do 1,2 km; izražen je u reljefu osobito ravnocrtnim terasnim odsjekom i vrlo uočljivom koljenastom anomalijom kod Kozarca. Predstavlja ogranak rasjeda Meczek-Vellany-Baranja), Belomanastirski rasjed, osobito izražen u reljefu strmim obronkom Banskoga brda. Prema gravimetrijskim podacima vjerojatno čini zonu širine oko 500 m). Rasjed Ivandarda-Topolje, nedefiniranog je karaktera (izražen je u reljefu manjom terasom) i rasjed Stari Dunav-Prigrevica (vjerojatno je reverzni).

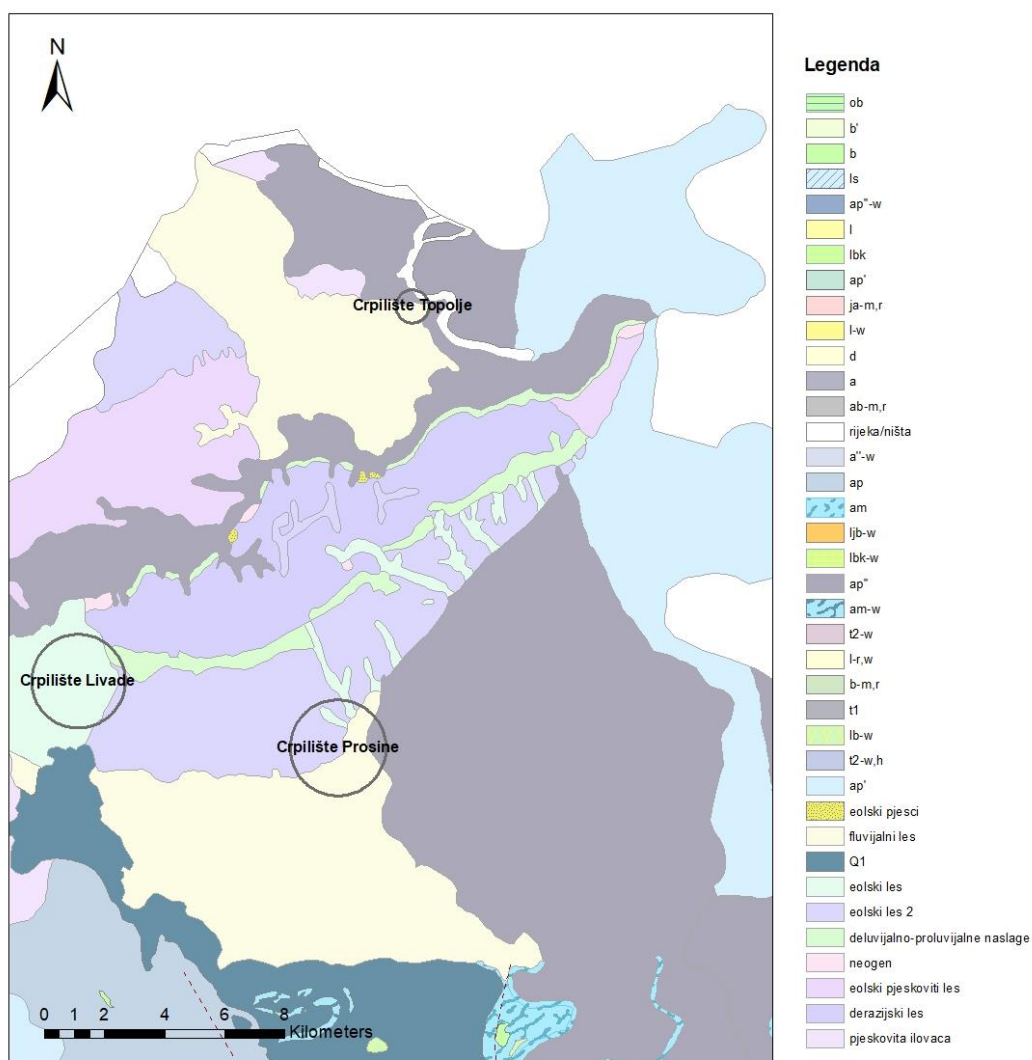
Za ocjenu recentne tektonske aktivnosti bitni su pomaci struktura ili, gledajući u detaljima, pomaci krila rasjeda. Deformacije strukturnog sklopa izazvane su regionalnim tektonskim pokretima i ovise o položajima velikih masa stijena različite gustoće u dubini koje izgrađuju prostore strukturnih jedinica. Nastaje naprezanje o čijoj orijentaciji ovise deformacije i pomaci pojedinih strukturnih jedinica.

U cijelom ovom prostoru su istaložene relativno debele naslage tercijarnih i kvartarnih naslaga (Hernitz, 1980). Ove naslage razlučene su u više litostratigrafskih jedinica u sklopu istraživanja nafte i plina. Najplićoj jedinici, Vuka-Mura-Lonja formaciji, koja obuhvaća naslage od površine terena do markera "A" u dubini, a stratigrafski obuhvaćaju naslage kvartara i paludinske naslage gornjega pliocena, u istraživanjima nafte i plina nije se posvećivala veća pozornost jer se u njoj ne pojavljuju ležišta ugljikovodika. Kako ova litostratigrafska jedinica sadrži podzemne vode zanimljive za vodoopskrbu, to je njima posvećena veća pozornost u regionalnim hidrogeološkim istraživanjima i interpretacijama. Ustanovljeno je (Urumović i dr., 1976) da se unutar ove formacije mogu izdvojiti dva člana i to gornji ("rastresiti" dio formacije) od površine do uvjetnog markera Q' i donji koji obuhvaća naslage ispod uvjetnog markera Q' do podinske granice formacije (marker "A"). Za donji član ustanovljeno je sljedeće: stupanj konsolidacije naslaga viši je nego u gornjoj, udjel propusnih slojeva znatno je smanjen, a povišena je mineralizacija i temperatura slojnih voda u odnosu na naslage gornjega dijela.

Osnovne značajke gornje ili pliće litološke cjeline su: rastresitost materijala, relativno visoki udjel propusnih slojeva, mogućnost vertikalnoga komuniciranja podzemnih

voda između pojedinih slojeva i niska mineralizacija slojnih voda. Na temelju iznesenih spoznaja gornji dio jedinice nazvan je kvartarni vodonosni kompleks ili kraće kvartarni vodonosnik.

Naslage kvartarnog vodonosnika stratigrafski odgovaraju idući od površine terena holocenu, gornjem, srednjem, a moguće i gornjem dijelu donjega pliocena. Genetski to su aluvijalni nanosi Dunava i Drave, te močvarne i eolske naslage. U litološkom sastavu prevladavaju pijesci i vrlo podređeno šljunci i to pretežito u inundacijskome području Dunava. Glinovito-prašinate taložine pojavljuju se kao proslojci vrlo promjenjive debljine, a ponegdje one i prevladavaju. U površinskom dijelu naslaga pojavljuju se prapori, praporne taložine te eolski pijesci.



Slika 3.1. Geološka karta istraživanog područja (prema radnim materijalima projekta ISSAH, Urumović, 2019)

3.2. Opći geomorfološki i hidrogeološki uvjeti

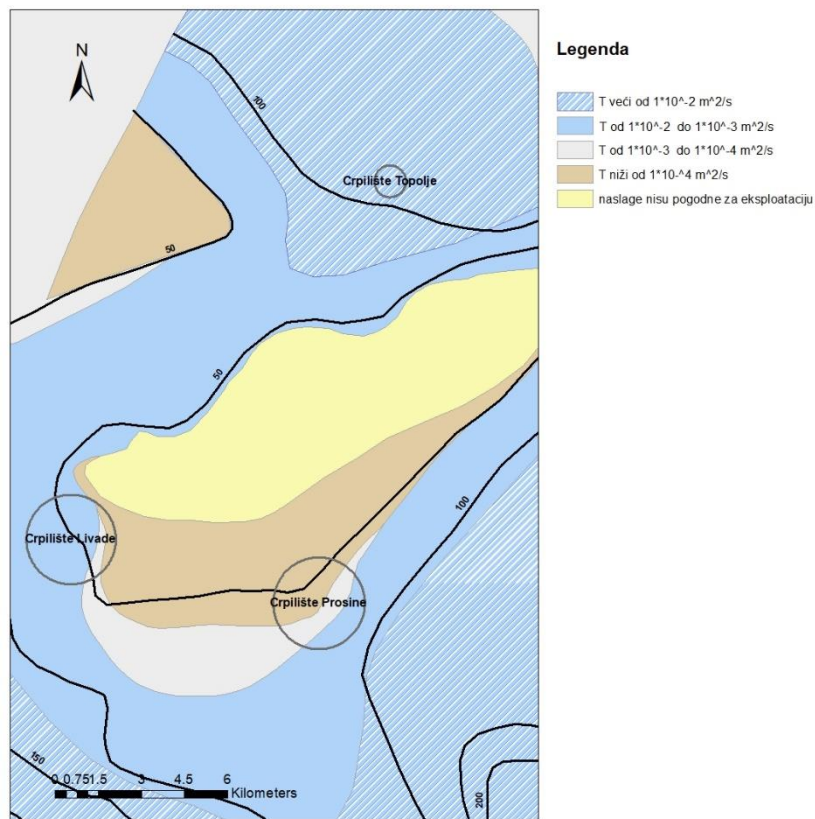
U geomorfološkom smislu veći dio Baranje predstavlja uzdignutu strukturu u odnosu na južnu dravsku nizinu i dunavsko inundacijsko područje. Geološki i morfološki u regionalnom smislu najmarkantnija je struktura Baranjske grede, tzv. Banovog brda. To je asimetrično uzvišenje u obliku izdužene kose pružanja SI-JZ. Dužina joj iznosi oko 20 km, a širina oko 4 km. Najveća visina doseže 243 m.n.m. (najveće uzdignuće Kamenjak, relativne visine oko 150 m), a sjeverozapadni obronci su mnogo strmiji od jugoistočnih obronaka koji se postupno stapaju s južnom terasom.

Jezgra Banovog brda izgrađena je od miocenskih lapora, vapnenaca, pješčenjaka, konglomerata i glina, koji su mjestimice probijeni bazaltandezitom. Jugoistočno od Beloga Manastira nabušeni su i kredni vapnenci (barem-apt) na dubini od oko 100 m. Bazaltandeziti 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.

Južno od Beloga Manastira terasa postupno tone sve do inundacijskih područja Drave i Dunava. U ovom području ima malo podataka o razvoju vodonosnika. Detaljna istraživanja rađena su prvenstveno na rubnim predjelima prapornoga ravnjaka. Tu su vrijedne istraživačke bušotine i pokusno-eksploatacijski zdenci u rubnim predjelima: Bolman, Mece i Grabovac, a sada je među najbolje istraženim predjelima šire područje crpilišta Prosine. Postoje i istraživačke bušotine izvedene u sklopu istraživanja potencijalnoga crpilišta Silmeđe (Urumović i dr., 1987), s oznakom „K“ i podaci koji su suglasni s najnovijim istraživanjima crpilišta Prosine kako je to za bušotinu K-7 zorno ilustrirano korelacijskim profilom bušotina (Slikom 2.4). Poznato je također da se debljina vodonosnika znatno reducira južno od crpilišta Livade, a nije poznat razvitak vodonosnika u središnjim predjelima terase.

U širem području crpilišta Prosine dokazano je kontinuirano protezanje dvaju vodonosnih slojeva. Plići ili prvi vodonosnik proteže se na oko 5 do 20 m dubine, a zahvaćen je starim zdencima crpilišta Prosine, na koje se ne odnosi ovaj diplomski rad. Ovi se podaci odnose na zahvat podzemnih voda donjega vodonosnika koji je zahvaćen zdencem Z-4 i koji je od gornjega vodonosnika odvojen međuslojem prahovite gline debljine oko 10 do 15 m. Taj donji vodonosnik izgrađen je od sitno do srednjezrnatog kvarcnog pijeska, a debljina mu

iznosi oko 14 m u području crpilišta Prosine dok se prema sjevernim predjelima postupno stanjuje.



Slika 3.2. Hidrogeološka karta istraživanog područja (prema radnim materijalima projekta ISSAH, Urumović, 2019)

4. Reinterpretacija pokusnih crpljenja

Pokusno crpljenje provodi se u svrhu određivanja hidrogeoloških parametara vodonosnog sloja, tj. hidrogeološkog kompleksa koji je zahvaćen zdencem i u svrhu određivanja hidrogeoloških parametara samog zdenca. Pokusno crpljenje zdenca na lokacijama Livade, Prosine i Topolje provođeno je od 1978. do danas za različite zdence i kombinacije istražno-piezometarskih bušotina.

Danas ugradnjom automatskih mjerača razine vode u crpljene zdence i opažačke bušotine omogućuje se detaljno i istovremeno snimanje opažaćkih bušotina na pokusnim poljima i usamljenim zdencima. Takvim snimkama povećava se pouzdanost i širi mogućnost hidrauličke identifikacije karakteristika zdenca i parametara vodonosnika. No budući da su neka mjerenja rađena prije pojave navedenih tehnologija mjerene vrijednosti mogu blago varirati.

Pokusno crpljenje na zdencu BMB-4 započelo je 20.3. i završilo 22.3.1991. godine. Testiranje je započelo sa stalnom količinom 3,3 l/s u trajanju od 45 sati, potom se crpilo sa 8,4 , 3,1 , i 7,5 l/s po jedan sat. Nakon toga je praćen povratak razine vode u zdencu idućih 11 sati.

Pokusno crpljenje na zdencu BMB-5 je izvedeno 8.5.1991. godine. Testiranje je započelo sa stalnom količinom 6,6 l/s u trajanju od 45,5 sati, potom se crpilo sa 2,8 , 6,3 , i 8,9 l/s po jedan sat. Nakon toga je praćen povratak razine vode u zdencu idućih 11 sati.

Pokusno crpljenje na zdencu BMZ-2 izvedeno je od 13. do 15.11.2003. godine. Crpljenje se prvo provodilo sa stalnom količinom 14,8 l/s u trajanju od 47 sati. Potom je crpljeno sa još dvije crpne količine, 18,2 i 22 l/s po dva sata za svaku količinu. Nakon toga praćen je povratak razine vode u trajanju od 2 sata.

Pokusno crpljenje na zdencu IBM-1 provedeno je 12. i 13.12.2007. godine. U početku je crpljeno stalnom količinom 16,15 l/s u trajanju od 26 sati, no 13. prosinca je crpljenje prekinuto zbog nestanka struje. Pratio se povratak razine vode u zdencu idućih 13 sati te je nakon toga crpljenje ponovo pokrenuto sa količinom 15 l/s iduća dva sata i još po 2 sata s količinama 7,5 l/s i 17,5 l/s.

Pokusno crpljenje na zdencu Z-4 na crpilištu Prosine izvedeno je od 17.7. do 20.7.2002. godine. Početna količina kojom se crpilo iznosila je 9.69 l/s te je njome crpljeno 50 minuta.

Potom je crpljeno količinama koje variraju od 9,65 do 9,89 l/s idućih dva dana. Posljednja crpna količina iznosila je 19,13 l/s te je njome crpljeno 1,5 sati. Nakon toga praćen je povratak razine vode u zdencu još 2 sata.

Pokusno crpljenje zdenca TOZ-2 provedeno je 18. i 19.6.2003. godine. Crpljeno je prvo stalnom količinom 34 l/s, a zatim u koracima po jedan sat s crpnom količinom 50 i 70 l/s, a potom je praćen povratak razine vode u zdencu.

4.1. Parametri zdenaca

Kada je praćeno prethodno stanje i mjeri se kontinuirana reakcija vodonosnika tijekom pokusnog crpljenja ostvaruju se uvjeti za kombinaciju metoda sukcesivnih stacionarnih stanja s nestacionarnim metodama identifikacije parametara vodonosnika i crpljenoga zdenca.

U svrhu određivanja parametara zdenca provedena je kombinirana metoda Rorabough-a i Thiema za definiranje zdenačkih gubitaka.

Thiem (1906) je bio jedan od prvih hidrogeologa koji je upotrijebio dva ili više piezometara za određivanje transmisivnosti vodonosnika. Lokalni hidraulički uvjeti u blizini zdenca znatno utječu na sniženje razine, a ova metoda može se koristiti samo u slučaju kada je postignuto stacionarno stanje. Dakle, ovom se metodom računaju iznosi transmisivnosti za seriju sukcesivnih stacionarnih stanja.

Ova metoda korištena je za određivanje transmisivnosti vodonosnih naslaga u zdencu i u njegovoj okolini. Budući da je poznata crpna količina i sniženja u zdencu i piezometru, vrijednosti su uvrštene u formulu:

$$T = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot (s_1 - s_2)} \quad (4.1.)$$

Q – crpna količina u m³/d

T – transmisivnost vodonosnika u m²/d

r₁ i r₂ – radijus zacjeljenja zdenca i udaljenosti piezometara od zdenca u m

s₁ i s₂ - sniženja u zdencu i piezometru u stacionarnom stanju u m

Stacionarno stanje je postignuto kad su varijacije sniženja u vremenu zanemarive, no one nikada ne mogu biti jednake nuli u zatvorenom vodonosniku.

Teoretski dobivene vrijednosti transmisivnosti bi se trebale poklapati, no zbog nehomogenosti vodonosnika to u praksi često nije tako; tada se može koristiti aritmetička sredina dobivenih vrijednosti, neka druga središnja vrijednost ili, kao u ovom slučaju, vrijednost transmisivnosti u trenutku kada sniženje u zdenču i u piezometru više ne raste.

Vrijednosti transmisivnosti izračunane za sva registrirana mjerenja tijekom pokusnoga crpljenja pokazuju dobru stabilnost.

Korištena metoda za dobivanje drugih parametara vodonosnika kao što su uskladištenje (S) i radijus utjecaja zdenča (R_0) se zasniva na kombinaciji Rorabaugh-ove (1953) jednadžbe zdenačkih gubitaka i Thiem-ove (1906) jednadžbe stacionarnog radijalnog za niz sukcesivnih stacionarnih stanja.

Ukoliko je poznata transmisivnost vodonosnika i njegova debljina jednostavno je odrediti hidrauličku vodljivost prema formuli:

$$K = T/d \quad (4.2.)$$

gdje je:

T – transmisivnost vodonosnika u m^2/dan i

d – debljina vodonosnika u metrima

Budući da su za izračun korišteni podaci sniženja iz jednog zdenča i jednog piezometara, kako bi odredili uskladištenje vodonosnika korišten je R_0 Dupuitov „polumjer utjecaja“, tj. udaljenost od zdenča na kojoj logaritamska aproksimacija depresije u sukcesivnim stacionarnim stanjima presijeca inicijalnu visinu razine podzemne vode, a izražen je formulom:

$$R_0 = \frac{r_2 \cdot \exp(s_2 \cdot \ln(r_2/r_1))}{(s_1 - s_2)} \quad (4.3.)$$

gdje su:

r_1 i r_2 – radijus zacjeljenja zdenča i udaljenosti piezometara od zdenča u m

s_1 i s_2 - sniženja u zdenču i piezometru u stacionarnom stanju u m

Iz podataka o vrijednosti transmisivnosti određene Thiemovom metodom iz podataka pokusnog crpljenja i Dupuitovog „radijusa utjecaja“ zdenca lako se može izračunati i uskladištenje vodonosnika prema formuli:

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{R_0^2} \quad (4.4.)$$

gdje su:

S – uskladištenje

T – transmisivnost vodonosnika u m²/dan

t – ukupno vrijeme proteklo od početka crpljenja u danima

R₀ – Dupuitov radijus utjecaja zdenca

Tablica 4.1. Rezultati opisanih analiza za kombinacije različitih zdenaca i piezometara (dobivene nelogične vrijednosti uskladištenja označene su crvenom bojom)

Zdenac	Piezometar	Lokalna transmisivnost	Debljina vodonosnika	Hidraulička vodljivost	Uskladištenje
		T (m ² /dan)	d (m)	K (m/dan)	S
BMB-4	BM-1	384	15	27	0.1197
	BM-2	511	15	32	0.0091
	BM-4	537	15	32	0.0069
	BMB-5	439	15	30	0.0153
	K-1	548	15	33	0,0025
BMB-5	BM-1	432	15	28	0.0079
	BM-4	416	15	28	0.0129
	BMB-4	378	15	26	0,0018
	K-1	393	15	26	0.0368
BMZ-2	BMB-2	549	15	102	0.0182
IBM-1	BMP-1	1491	18	98	0.00018

Z-4	PP-1	706	14	60	0.0009
	PP-1 (drugo mjerenje)	761	14	68	0.0001
	K-7	1213	14	92	$3 \cdot 10^{-17}$
TOZ-2	TO-2	4309	25	188	0.0008
	TO-5	3065	25	175	0.00023

5. Usporedba rezultata s prethodnim interpretacijama

U prethodnim interpretacijama pokusnog crpljenja za određivanje transmisivnosti je korištena Jacob-Cooperova semi-logaritamska nestacionarna metoda koja izražava transmisivnost kao:

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s} \quad (5.1.)$$

gdje je:

Q – izdašnost zdenca

Δs – prirast sniženja

Za dobivanje uskladištenja vodonosnika korištena je formula:

$$S = \frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{R_p^2} \quad (5.2.)$$

gdje je:

Q – izdašnost zdenca u vrijeme koje odgovara podacima korištenim za računanje sniženja

t_0 – presjecište projiciranog pravca za piezometarske bušotine s nultim sniženjem za opažanja sniženja u piezometarskim bušotinama

R_p – udaljenost opažačkog zdenca ili piezometra od crpljenoga zdenca

Različito dobivenih podataka transmisivnosti i uskladištenja vodonosnika nastaje zbog razlike ovih metoda. Thiemova metoda se bazira na postignutom stacionarnom stanju prilikom kojeg vrijednost sniženja ne varira, dok za korištenje Cooper-Jacobove metode stacionarno stanje ne mora biti postignuto. Također metoda korištena za računanje transmisivnosti u ovom radu u obzir uzima udaljenost opažačkog piezometra ili zdenca od crpljenog zdenca te sam radijus zdenca koji je crpljen. Povećavanjem te udaljenosti dolazi do povećanja radijusa za kojega se smatra valjana dobivena transmisivnost te stoga vrijednosti dosta variraju budući da udaljenost između zdenca i piezometra u ovom slučaju utječe na rezultate svih parametara. U nekim slučajevima je također smanjen broj mjerenja i iskoristivih rezultata budući da razine vode u piezometru i zdencu nisu istovremeno mjerene.

Tablica 5.1. Rezultati prethodnih interpretacija podataka pokusnog crpljenja

Zdenac	Lokalna transmisivnost vodonosnika	Hidraulička vodljivost	Uskladištenje
	T (m ² /dan)	K (m/dan)	S
BMB-4	308	22	2*10 ⁻³
BMB-5	308	22	2*10 ⁻³
BMZ-2	352	24	3,5*10 ⁻⁴
IBM-1	368	21	2*10 ⁻³
Z-4	388	27	2.9*10 ⁻⁶
TOZ-2	1100	45	1.2*10 ⁻³

6. Kakvoća podzemne vode na području Baranje

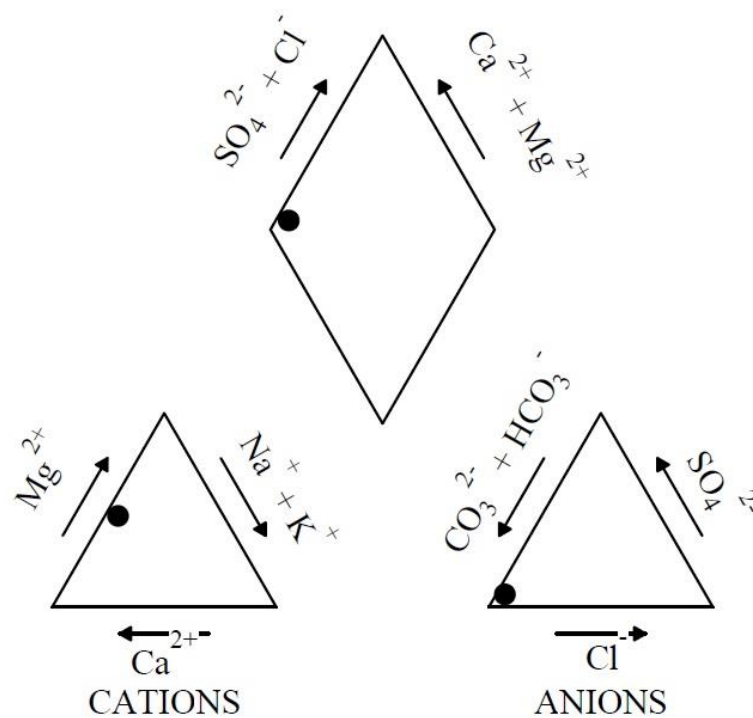
6.1. Livade

Redovite analize kakvoće vode na crpilištu uglavnom su sanitarne analize pa su za prikaz kemijskog sastava podzemne vode korištene analize vode napravljene pri izvedbi zdenaca i piezometara (Hlevnjak, 2007).

Prve zabilježene analize napravljene su 1978. na uzorcima vode iz svih tada izgrađenih zdenaca. Rađene su terenske i laboratorijske analize na više desetaka različitih parametara. Kompleksna analiza vode napravljena je samo na uzorku vode iz zdenca BMB-1. Sadržaj željeza otopljenog u vodi je neznatan u svim zdencima no nešto povišena koncentracija zapaža se u bušotini BMP-2 koja se nalazi dalje od crpilišta na Branjinom Vrh. Sadržaj nitrata u vodi ukazuje na antropogene utjecaje poljoprivrede i stočarstva na ovom području. Voda je dobre kakvoće na ovom crpilištu te zadovoljava sve kriterije pitke vode bez dodatne prerade. Smatra se da je kakvoća vode na ovom području odlična zbog oksidativnih uvjeta u podzemlju.

U drugoj fazi razvitka crpilišta 1990. godine također su napravljene analize na uzorcima vode iz bušotina BM-1 do BM-4 koje su opet pokazale blago povišenu vrijednost nitrata kao i analize napravljene na uzorcima iz zdenca IBM-1 2003. godine. Čak i uz sadržaj nitrata ispod određene MDK vrijednosti može se zaključiti kako je došlo do određene degradacije kakvoće podzemne vode antropogenim utjecajima te da treba posvetiti pažnju zaštiti podzemne vode na ovom crpilištu.

Prilikom izrade zdenca BMZ-3, 2010.godine koji je ujedno i posljednji zdenac stavljen u funkciju na ovom crpilištu napravljene su dvije skraćene analize prvi dan i pri kraju crpljenja te jedna kompletna analiza pri kraju crpljenja. Kao i u ranijim crpljenjima utvrđena je izvanredna kakvoća vode na ovom crpilištu.



Slika 6.1. Piperov dijagram sirove vode u zdencu BMZ-3

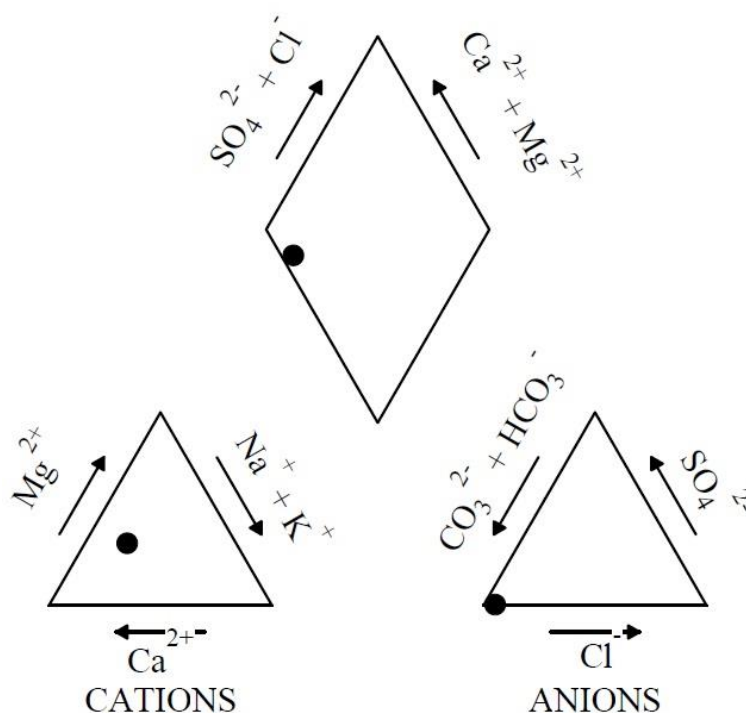
6.2. Prosine

Podaci kemijskom sastavu postoje za analize vode iz istraživačko-piezometarskih bušotina izvedenih 1986. i 1987. godine te analize iz bušotine PP-1 izrađene 2001. Dublji sloj koji se trenutno smatra pogodnim za vodoopskrbu bio je zahvaćen samo bušotinama K-7 i PP-1.

U uzorcima vode analiziranim iz plićeg vodonosnika zapaža se povišen sadržaj mangana te nešto povišen sadržaj željeza. Analizom uzoraka iz bušotina koje zahvaćaju i dublji vodonosnik zapaža se znatno manji sadržaj mangana u donjem nego u gornjem vodonosnom sloju te nešto fosilnog amonijaka (Urumović 2001).

Analize su napravljene i prilikom pokusnog crpljenja 2003. godine iz novih bušotina (PP-2 do PP-5) te pokazuju povišene koncentracije željeza, mangana i amonijaka u svim uzorcima zbog čega ne zadovoljavaju MDK vrijednosti propisane trenutnim Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. U uzorku iz bušotine PP-2 također je uočena povećana

koncentracija nitrata vjerojatno kao posljedica antropogenih utjecaja koji su manje ili više vidljivi na svim vodocrpilištima na ovom području. Kakvoća vode najbolja je na poziciji istražne bušotine PP-5 no i dalje ne zadovoljava koncentracije navedene u pravilniku te nije pogodna za piće. Ovim istraživanjima pokazano je kako voda iz plićeg vodonosnog sloja nije pogodna za piće te je za daljnje razvijanje vodocrpilišta korišten dublji vodonosni sloj u kojem je kakvoća vode znatno bolja.



Slika 6.2. Piperov dijagram sirove vode u zdencu PP-5

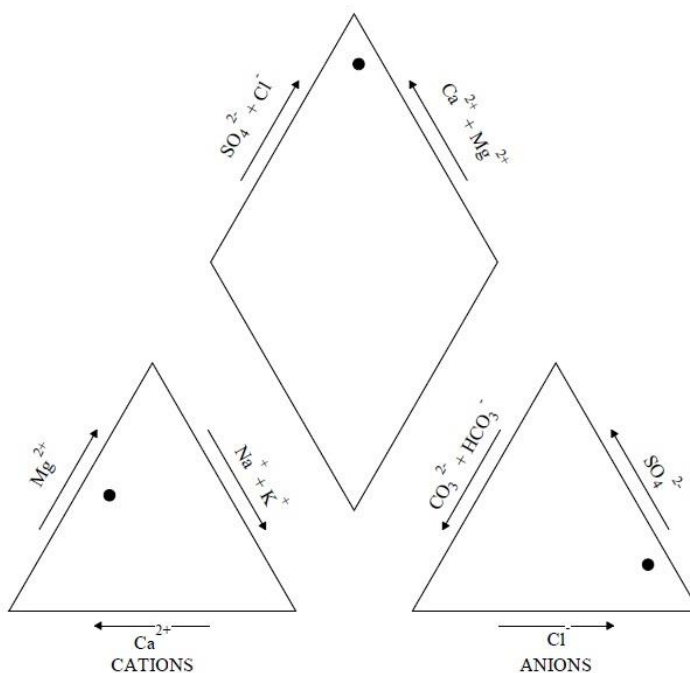
6.3. Topolje

Prilikom preliminarnih istraživanja (Urumović i dr., 2000) godine za crpilište prikupljeni su uzorci vode tijekom osvajanja piezometara TO-1, TO-2 i TO-3. Rezultati su pokazali vrlo povoljnu kakvoću vode. Istaknut je niski sadržaj nitrata za koji se smatra da na ovom crpilištu prikazuje prirodnu koncentraciju bez antropogenih utjecaja poljoprivrede i stočarstva. Koncentracija organskih tvari u vodi također je niska. Blago je povišen sadržaj mangana, a sadržaj željeza je blizak graničnim vrijednostima. Došlo se do zaključka da je voda dovoljno

dobre kakvoće te može biti korištena za potrebe pokusnog pogona, koji će pokazati je li potrebna dodatna obrada za potrebe regionalne vodoopskrbe.

Tijekom izvedbe prvog zdenca TOZ-1 i bušotine TO-4 (Urumović i dr., 2005.) uzorci su prikupljeni tijekom osvajanja pojedinih piezometara i pokusnog crpljenja zdenca. Analize su pokazale kako je voda povoljne kakvoće uz povišen sadržaj željeza i mangana. Zbog toga je uz crpilište projektirano i postrojenje za preradu vode kako bi zadovoljavala kriterije za pitku vodu. Sadržaj nitrata opet se pokazao niskim kao i sadržaj organskih tvari.

Sadržaj željeza, mangana i amonijaka ukazuje na reduktivnu sredinu što su potvrdila i terenska mjerenja. Kao pogodno rješenje za poboljšanje kakvoće podzemne vode predložena je etapna izgradnja uređaja za pročišćavanje i provedba pokusne eksploatacije kako bi se utvrdila njegova učinkovitost (Urumović i dr., 2005).



Slika 6.3. Piperov dijagram sirove vode u zdencu TO-2

7. Diskusija i zaključak

Crpilište Livade izvorište je vode vodoopskrbnog sustava Belog Manastira. Sastoji se od sedam zdenaca izgrađenih u tri faze. U prvoj fazi izgrađeni su zdeni BMB-1, BMB-2 i BMB-3 (1979. i 1980. godine), no oni više nisu u funkciji. U drugoj fazi izvedena su još dva zdenca BMB-4 i BMB-5 (1990. i 1991. godine) koji su i trenutno uključeni u vodoopskrbni sustav ovog područja. Nakon reintegracije Hrvatskog Podunavlja 1998. godine izgrađen je zdenac BMZ-1 te je zdenac BMZ-2 dodan uz stari zdenac BMB-2 2003. godine, a potom i zdenac IBM-1 u blizini starog zdenca BMB-1. Posljednji zdenac BMZ-3 izgrađen je 2010. godine u blizini starog zdenca BMB-3. Reinterpretacijom podataka dobivene su dosta visoke vrijednosti hidrauličke vodljivosti, a ovo crpilište se ističe po iznimnoj kakvoći vode te je stoga vrlo pogodno za eksploataciju jer nije potrebna dodatna obrada vode.

Crpilištu Prosine predstavlja izvorište vodoopskrbnoga sustava Kneževi Vinogradi te je uključeno u vodoopskrbni sustav sjeverne Baranje. Na crpilištu postoje tri stara zdenca od kojih više niti jedan nije u funkciji zbog nepovoljne kakvoće vode iz plićeg vodonosnika kojeg zahvaćaju ovi zdeni. Naime uočena je povišena koncentracija sadržaja željeza i mangana te bi bila potrebna dodatna obrada vode kako bi zadovoljila standarde za pitku vodu. Tijekom 2002. godine izveden je zdenac Z-4 koji zahvaća dublji vodonosnik u kojem je voda znatno povoljnije kvalitete, 2006. godine izveden je zdenac Z-5 koji također zahvaća donji vodonosnik, a 2013. godine izveden je zdenac Z-6. Voda u dubljem vodonosniku je znatno bolje kvalitete te su trenutno u vodoopskrbni sustav uključena navedena 3 zdenca koja zahvaćaju dublji vodonosnik. Hidraulička vodljivost dobivena reinterpretacijom ima vrlo visoku vrijednost.

Crpilište Topolje je najnovije od navedenih, a preliminarna istraživanja za njega započela su 2000. godine. Kao najpovoljnije mjesto za njegovu izradu odabrano je područje jugoistočno od Topolje. Istraživanja su pokazala vrlo velike debljine vodonosnog sloja na ovom području i time i visoke vrijednosti transmisivnosti. Prvi zdenac na ovom lokalitetu izveden je još 1959. godine te o njemu postoje neki podaci, no danas toga zdenca više nema. Prvi „suvremeni“ zdenac TOZ-1 izveden je 2002. godine., a zdenac TOZ-2 izgrađen je 2013. godine. Ovo crpilište je iznimno perspektivno, no voda ipak nije izvrsne kakvoće i potrebna je dodatna obrada.

Podaci pokusnih crpljenja interpretirani su kombinacijom Thiemove i Rorabaughove metode te su uspoređeni s prethodnim interpretacijama koje su koristile Jacob-Cooperovu metodu. Vidljivo je poklapanje vrijednosti, no odmaci od prethodno interpretiranih vrijednosti transmisivnosti ukazuju na razlike ovih metoda. Povećanje udaljenosti piezometra od crpljenog zdenca znatno utječe na vrijednosti transmisivnosti dobivene Thiemovom metodom, dok je ona zanemarena u Jacob-Cooperovoj metodi.

Kemijskim analizama izvedenim na uzorcima iz zdenaca ovih crpilišta pokazana je izvrsna kakvoća vode na crpilištu Livade kao i u drugom sloju zahvaćenom novim zdenacima na crpilištu Prosine, dok je na crpilištima Topolje potrebna dodatna obrada. Zbog toga treba obratiti pozornost na zaštitu crpilišta te ograničiti doseg antropogenih utjecaja na kvalitetu vode na ovom području budući da je voda povoljne kakvoće bez prerade u većini navedenih zdenaca.

Na temelju dobivenih rezultata na svim crpilištima uključenim u ovaj rad može se zaključiti da su provedena istraživanja crpilišta Livade, Prosine i Topolje dala vrlo povoljne rezultate, koji potvrđuju mogući daljnji razvitak ovih crpilišta te uključivanje još zdenaca u vodoopskrbni sustav s ciljem daljnjega povećanja raspoloživih crpnih količina i osiguravanja dostatnih zaliha pitke vode na ovom području zbog rastuće potrebe okolnih mjesta.

8. Literatura

- BOGNAR, A. (1990): Geomorfologija Baranje. Znanstvena monografija, Zagreb, 312
- DUIĆ, Ž., HLEVNJAK, B. (2013): Crpilište Topolje: Izvedba zdenca TOZ-2. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda
- HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. I URUMOVIĆ, K. (2011): Hidrogeološki radovi na crpilištima Prosine i Topolje. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda
- HLEVNJAK, B., URUMOVIĆ, K., (1999): Vodoopskrbni sustav Belog Manastira: Izvedba zdenca BMZ-1. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda
- MIHELČIĆ, D., URUMOVIĆ, K. (1998): Vodoopskrbni sustav Kneževi Vinogradi. Idejno rješenje-poglavlje 6. Hidrogeološka situacija. Fond dokumenata Hidroprojekt-ing, Zagreb
- RORABAUGH, M.I. (1953): Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian wells. Trans. Amer.Soc.Civil.Engrs. 79, 362
- THIEM, G.A. (1906): Hydrologische Methoden. Gebhardt, Leipzig
- TUSIĆ, V. (GEOISTRAŽIVANJE OSIJEK d.o.o.) (2003): Izvedba istražno piezometarskih bušotina na crpilištu Prosine: Izvješće o izvedenim radovima. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda.
- URUMOVIĆ, K., DUIĆ, Ž. I HLEVNJAK, B. (2010): Crpilište livade: Izvedba zdenca BMZ-3. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda.
- URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J., VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih te gornjo i srednjopleistocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. Zbornik radova IV. Jugoslavenski simpozij o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, 1, 395-410, Skoplje
- URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. I DUIĆ, Ž. (2000a): Izvorišta vodoopskrbnog sustava sjeverne Baranje, grad Beli Manastir te općine Popovac, Draž, Kneževi Vinogradi, Čeminac i Petlovac. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda
- URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., I DUIĆ, Ž. (2000b): Preliminarna istraživanja regionalnog crpilišta Topolje: Preliminarno izvješće. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. I DUIĆ, Ž. (2001): Vodoopskrbni sustav Općine Kneževi Vinogradi, crpilište Prosine, Izvedba strukturne bušotine PP-1. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. I DUIĆ, Ž. (2003): Vodoopskrbni sustav Belog Manastira: crpilište Livade, Analiza uvjeta na crpilištu Livade i izvedba zdenca BMZ-2. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. I DUIĆ, Ž. (2005): Crpilište Topolje: Eksploatacijski zdenac TOZ-1 i razvitak crpilišta. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., I DUIĆ, Ž. (2007): Vodoopskrbni sustav Belog Manastira: Hidrogeološki nadzor i interpretacija izvedbe interventnog zdenca IBM-1 na crpilištu Livade, Beli manastir. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. I DUIĆ, Ž. (2009): Crpilište Livade: Rezultati izvedbe istraživačko piezometarskih bušotina BM-5 i BM-6, Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda.

URUMOVIĆ, K., MADŽARAC, A., DUJMOVIĆ-VITEZIĆ, J., TRELEC, D., TIŠLJAR, J. SOKAČ, A., DUJMIĆ D. I DULIĆ I. (1979): Hidrogeološka studija za rješavanje vodoopskrbe Belog Manastira, 1978/79. Fond stručnih dokumenata Baranjskog Vodovoda

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

URUMOVIĆ, K. (2006): Izrada zaštitnih zona na vodocrpilištu Prosine, Diplomski rad. Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 33

URUMOVIĆ, K I URUMOVIĆ, K. (2016) : The referential grain size and effective porosity in the Kozeny–Carman model, Hydrology and Earth System Sciences 20 (5), 1669-1680