

Kakvoća podzemne vode za navodnjavanje iz dubljeg vodonosnika na području sjeverne Baranje

Zvonar, Dina

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:169:341283>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**KAKVOĆA PODZEMNE VODE ZA NAVODNJAVANJE
IZ DUBLJEG VODONOSNIKA NA PODRUČJU SJEVERNE BARANJE**

Diplomski rad

Dina Zvonar

GI-181

Zagreb, 2016.

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Željku Duiću na velikodušnoj pomoći i savjetima pri izradi diplomskog rada.

Zahvaljujem članovima povjerenstva, profesoru dr. sc. Kristijanu Posavcu i docentici dr. sc. Jeleni Parlov na detaljnom pregledu diplomskog rada i savjetima.

Iskreno zahvaljujem svojoj obitelji, dečku i prijateljima na pomoći i podršci tijekom studiranja i pisanja diplomskog rada.

KAKVOĆA PODZEMNE VODE ZA NAVODNJAVANJE
IZ DUBLJEG VODONOSNIKA NA PODRUČJU SJEVERNE BARANJE

Dina Zvonar

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog rada bio je analizirati i odrediti kakvoću podzemne vode za navodnjavanje na području sjeverne Baranje. Glavna izvorišta vodoopskrbe na ovom području su crpilišta Topolje, Prosine i Livade. Kakvoća podzemne vode određena je na temelju podataka o fizikalno-kemijskim svojstvima vode dobivenim iz kemijskih analiza za pojedino crpilište. Uzorkovanje vode vršilo se u različitim vremenskim razdobljima, sve od 1979. do 2010. godine. Za procjenu kakvoće podzemne vode napravljena su dva dijagrama, dijagram rizika saliniteta i Doneenov dijagram. Izračunate su vrijednosti ukupne koncentracije i indeksa permeabiliteta te su sve vrijednosti potrebne za izradu dijagrama prikazane u tablicama. Za svako crpilište prikazan je jedan dijagram rizika saliniteta i jedan Doneenov dijagram. Na temelju ovih dijagrama određena je kakvoća podzemne vode za navodnjavanje.

Ključne riječi: kakvoća podzemne vode, navodnjavanje, crpilište, dijagram rizika saliniteta, Doneenov dijagram

Diplomski rad sadrži: 38 stranica, 11 tablica, 16 slika i 21 referencu

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Doc. dr. sc. Željko Duić

Povjerenstvo: Doc. dr. sc. Željko Duić
Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Datum obrane: 19. veljače 2016.god, Rudarsko-geološko-naftni-fakultet

QUALITY OF GROUNDWATER FOR IRRIGATION
FROM DEEPER AQUIFER IN NORTHERN BARANJA

Dina Zvonar

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The aim of the thesis was to analyze and determine the quality of groundwater for irrigation in northern Baranja. The main source of water supply in this area are pumping sites Topolje, Prosine and Livade. Groundwater quality is determined on the basis of data on physical and chemical properties of water derived from chemical analysis for each pumping station. Water sampling was done at different times, all from 1979 to 2010. For the assessment of groundwater quality was made two charts, salinity hazard diagram and Doneenov diagram. The calculated values of total concentration and permeability index and all the values needed to create diagrams are shown in the tables. For each pumping station is shown one salinity hazard diagram and one Doneenov diagram. Based on this chart is determined the quality of groundwater for irrigation.

Keywords: quality of groundwater, irrigation, pumping station, salinity hazard diagram, Doneenov diagram

Thesis contains: 38 pages, 11 tables, 16 figures and 21 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Željko Duić, PhD
Associate Professor Kristijan Posavec, PhD
Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

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

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Područje istraživanja.....	3
2.1 Prethodna istraživanja na širem području crpilišta	3
2.2 Regionalna geološka i strukturna građa	8
2.3 Hidrogeološke značajke	11
2.4 Opći hidrogeološki uvjeti šireg područja crpilišta	14
3. Općenite značajke kakvoće podzemne vode za navodnjavanje	18
4. Metode istraživanja i rezultati	22
4.1 Alati za obradu i prikaz podataka	22
4.2 Ocjena kakvoće podzemne vode za navodnjavanje.....	23
5. Zaključak	36
6. Literatura	37

Popis slika

<i>Slika 1-1. Glavna izvorišta vodoopskrbe na području Baranje: crpilište Topolje, crpilište Prosine i crpilište Livade (preuzeto iz Duić i Briški, 2009)</i>	<i>1</i>
<i>Slika 2-1. Lokacije zdenaca na crpilištu Livade u B. Manastiru, M 1:25.000 (preuzeto iz Urumović i dr., 2008)</i>	<i>4</i>
<i>Slika 2-2. Položaj objekata na crpilištu Prosine (preuzeto iz Urumović i dr., 2004)</i>	<i>5</i>
<i>Slika 2-3. Lokacije zdenaca na crpilištu Topolje (preuzeto iz Urumović i dr., 2012).....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 2-4. Regionalni strukturni sklop i tektonska aktivnost (preuzeto iz Urumović i dr., 2003).....</i>	<i>9</i>
<i>Slika 2-5. Regionalni profil 1-1', trasa profila na slici 2-4. (preuzeto iz Urumović i dr., 2003).....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 2-6. Regionalni profil 2-2', trasa profila na slici 2-4. (preuzeto iz Urumović i dr., 2003).....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 2-7. Regionalni profil 3-3', trasa profila na slici 2-4. (preuzeto iz Urumović i dr., 2003).....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 2-8. Hidroizohipse donjega vodonosnika na crpilištu Prosine 15.07. 2003. godine, tj. neposredno prije pokusnoga crpljenja (preuzeto iz Urumović i dr., 2004)</i>	<i>16</i>
<i>Slika 4-1. Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Topolje.....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4-2. Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilište Prosine.....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 4-3. Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Livade</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4-4. Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Topolje</i>	<i>33</i>
<i>Slika 4-5. Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Prosine</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4-6. Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Livade.....</i>	<i>35</i>

Popis tablica

<i>Tablica 3-1. Osnovni parametri za ocjenu kakvoće vode (Romić, 2005).....</i>	18
<i>Tablica 3-2. Kemijski parametri za procjenu kakvoće vode za navodnjavanje (Romić, 2005).....</i>	20
<i>Tablica 4-1. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Topolje (I.dio) ..</i>	23
<i>Tablica 4-2. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Topolje (II.dio) .</i>	24
<i>Tablica 4-3. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Prosine (I.dio) ..</i>	24
<i>Tablica 4-4. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Prosine (II.dio) .</i>	25
<i>Tablica 4-5. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Livade (I.dio) ...</i>	25
<i>Tablica 4-6. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Livade (II.dio) ..</i>	26
<i>Tablica 4-7. Klasifikacija vode za navodnjavanje ovisno o SAR-u i elektrovodljivosti.....</i>	27
<i>Tablica 4-8. Izračunate vrijednosti indeksa permeabiliteta i ukupne koncentracije podzemne vode na crpilištu Topolje</i>	31
<i>Tablica 4-9. Izračunate vrijednosti indeksa permeabiliteta i ukupne koncentracije podzemne vode na crpilištu Prosine.....</i>	32
<i>Tablica 4-10. Izračunate vrijednosti indeksa permeabiliteta i ukupne koncentracije podzemne vode na crpilištu Livade</i>	32

1. Uvod

Područje Baranje nalazi se na krajnjem sjeveroistoku Republike Hrvatske, na sutoku rijeka Drave i Dunava koje ograničavaju prostranu ravnicu, na kojoj se izdvaja zasebna struktura Banskog brda. U sastavu i građi prevladavaju holocenski i pleistocenski sedimenti (les i lesolike naslage, pijesci i gline) koji se pojavljuju na površini u mješavini i izmjeni. Ipak, i u površinskim naslagama ima sustavnih diferencijacija u morfološkom i u litostratigrafskom smislu, koje se s dubinom povećavaju. U litoškoj diferencijaciji najmlađih naslaga mogu se zamijetiti i odrazi dubokih struktura. Posebna pažnja posvećena je upravo najmlađim naslagama koje tvore kvartarni vodonosni kompleks, a od izuzetnog su značaja za vodoopskrbu čitavog područja (Duić i Briški, 2009).

Glavna izvorišta vodoopskrbe su crpilište Topolje, crpilište Prosine i crpilište Livade (Slika 1-1), koja zahvaćaju kvartarni vodonosnik s podzemnom vodom dobre kakvoće, čije specifičnosti ovise i o utjecaju geoloških struktura odnosno neotektonskih pokreta (Duić i Briški, 2009).



Slika 1-1. Glavna izvorišta vodoopskrbe na području Baranje: crpilište Topolje, crpilište Prosine i crpilište Livade (preuzeto iz Duić i Briški, 2009)

Cilj ovog rada je analizirati i procjeniti kakvoću podzemne vode za navodnjavanje na području sjeverne Baranje. Kakvoća podzemne vode za navodnjavanje određena je pomoću dva dijagrama, Doneenovog dijagrama i dijagrama rizika saliniteta koja su napravljena na temelju fizikalno-kemijskih podataka o uzorcima vode na crpilištima Topolje, Prosine i Livade.

2. Područje istraživanja

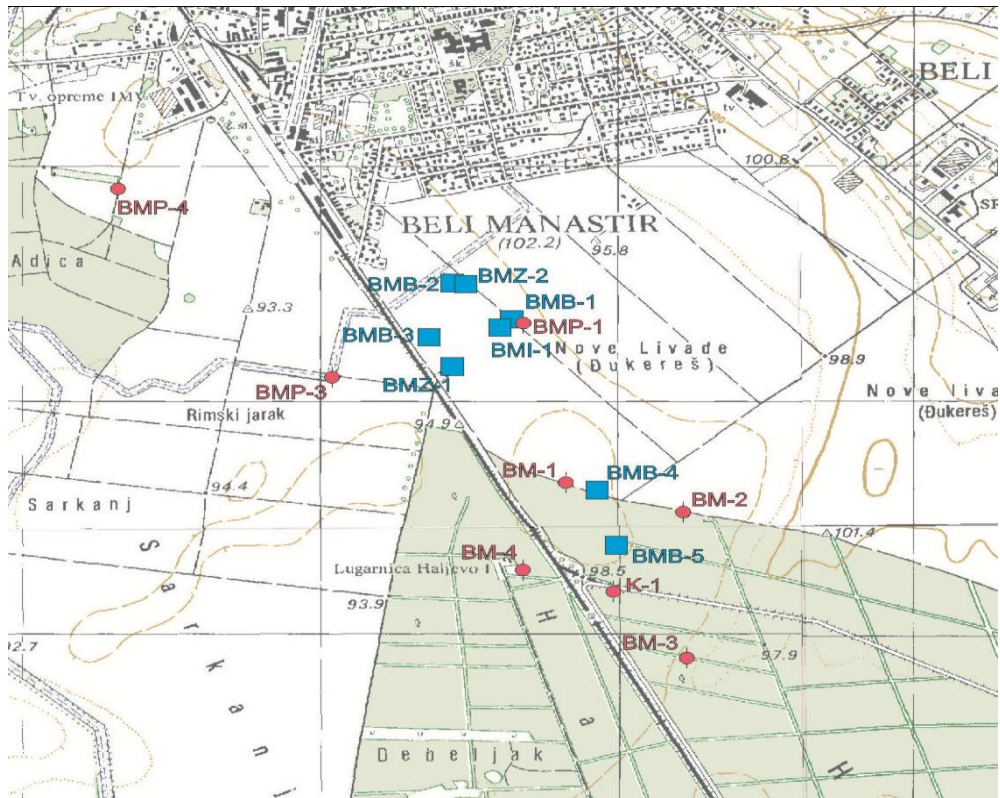
2.1 Prethodna istraživanja na širem području crpilišta

Crpilište Livade

Istraživanja lokacije crpilišta Livade započeta su u 1978. godini kada su izvedena geoelektrična mjerenja širega područja B. Manastira i Branjinoga Vrh. U nastavku istraživanja na odabranim lokacijama izvedene su 4 istraživačko-piezometarske bušotine (BMP-1, BMP-2, BMP-3 i BMP-4) dubine od 60 do 67 m. Granulometrijske analize načinjene su iz 27 uzoraka pijeska iz jezgre istraživačkih bušotina. Na temelju provedenih interpretacija načinjen je pokusno-eksploatacijski zdenac BMB-1 dubine oko 40 m. Interpretacija podataka pokusnog crpljenja načinjena je analitičkim metodama za poluzatvoreni vodonosnik (*Urumović i dr., 1979*). Kompleksna kemijska analiza vode načinjena je na uzorku vode prikupljenome pri koncu pokusnoga crpljenja (*Urumović i dr., 2008*).

Povoljni rezultati ohrabрили su tadašnjega investitora na izvedbu još dvaju eksploatacijskih zdenaca BMB-2 i BMB-3. Konstrukcija ovih zdenaca jednaka je konstrukciji zdenca BMB-1, a smješteni su tako da sa zdencem BMB-1 oblikuju istostranični trokut stranice oko 150 m (*Urumović i dr., 2008*).

Crpilište Livade uključeno je u vodoopskrbni sustav Beloga Manastira početkom siječnja 1985. godine, tj. 5 godina nakon izgradnje zdenaca. Opažanje rada crpilišta započeto je 1. travnja 1985. godine, tj. 3 mjeseca nakon uključivanja zdenaca u pogon. Hidrogeološka istraživanja nastavljena su 1986. godine (*Urumović i dr., 1987*). Tom prigodom izvedeno je 8 istraživačkih bušotina (K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6, K-7 i K-8) smještenih u širem području južne baranjske terase između crpilišta Livade i Kneževih Vinograda. Radovi na proširenju crpilišta Livade u Belom Manastiru nastavljani su tijekom 1990. i 1991. godine. Načinjene su četiri strukturno-piezometarske bušotine (BM-1; BM-2; BM-3 i BM-4) i dva zdenca (BMB-4 i BMB-5) (*Slika 2-1*). Hidrogeološki radovi na razvitku crpilišta nastavljani su nakon reintegracije Hrvatskog Podunavlja. Pokazalo se da su poteškoće u vodoopskrbi u velikoj mjeri bile uzrokovane zapuštenošću sustava. U sklopu sanacije izvorišta izveden je novi zamjenski zdenac BMZ-1 1998. godine (*Urumović i Hlevnjak, 1999*).

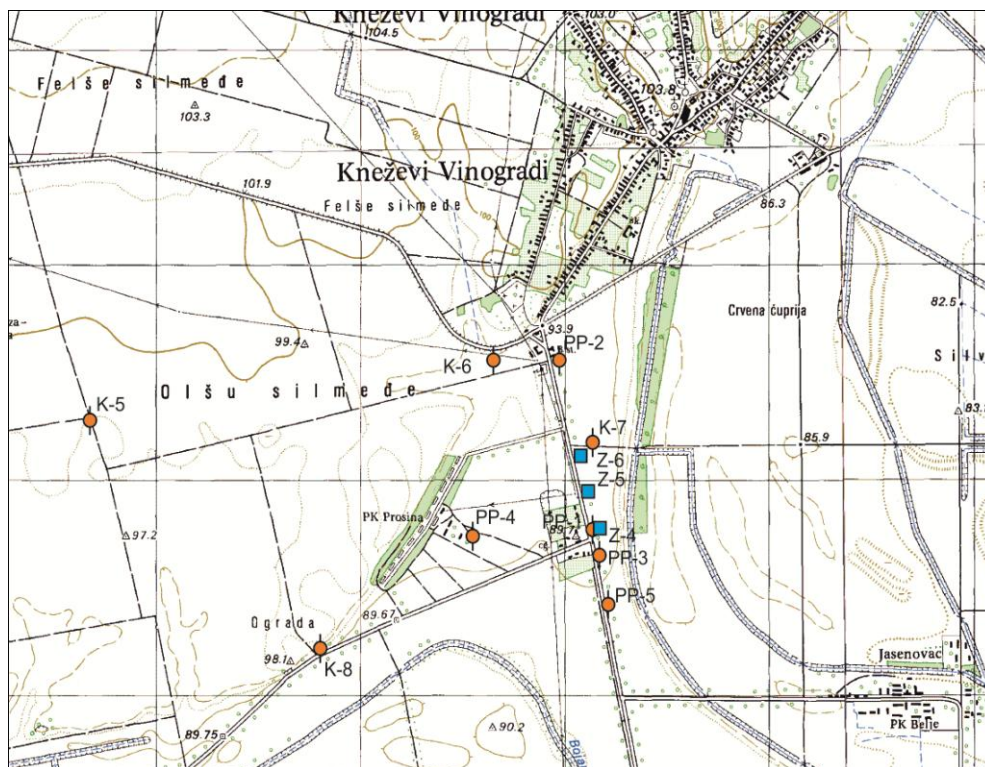


Slika 2-1. Lokacije zdenaca na crpilištu Livade u B. Manastiru, M 1:25.000 (preuzeto iz Urumović i dr., 2008)

Crpilište Prosine

Izvorište vodoopskrbnoga sustava Kneževih Vinograda predstavljeno je zdencima Z-4, Z-5 i Z-6 (Slika 2-2) koji su smješteni oko 15 m istočno od ceste Grabovac – Kneževi Vinogradi na međusobnoj udaljenosti oko 200 m (Urumović i dr., 2004).

Crpilište Prosine spada među rijetka novoistražena crpilišta, jer je identifikacija stvarnih hidrogeoloških značajki zahvaćenoga vodonosnika ostvarena tek u zadnjih nekoliko godina, iako je već ranije bilo nekih naznaka o povoljnim značajkama sada zahvaćenoga vodonosnika (Urumović i dr., 2004).



Slika 2-2. Položaj objekata na crpilištu Prosine (preuzeto iz Urumović i dr., 2004)

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 potencijalnoga crpilišta Silmede, no one su samo do oko 50 m, a pokrivaju samo zapadni dio prapornoga ravnjaka i dosežu približno do Prosina (Urumović i dr., 2004).

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).

Prve istraživačko-piezometarske bušotine u ovom području izvedene su u sklopu ranijih preliminarnih istraživanja podzemnih voda Baranjskog prapornog ravnjaka (Urumović i dr., 1987) i te su bušotine u velikoj mjeri pomogle u otkrivanju drugoga vodonosnika na crpilištu Prosine, no konačna potvrda ostvarena je tek izvedbom bušotine PP-1 2001. godine (Urumović i dr., 2001). U nastavku istraživanja izvedene su još četiri istraživačko-piezometarske bušotine, dvije južno od zdenca Z-4 (PP-3 i PP-5) i dvije sjeverno (PP-2 i PP-4) koje su prikazane na Slici 2-2.

Zdenac Z-4 kojim je zahvaćen donji vodonosnik izveden je tijekom mjeseca srpnja 2002. godine. Provedenim osvajanjem i pokusnim crpljenjem zdenac je osvojen do izdašnosti $Q=22$ l/s, pri kojoj izdašnosti je sniženje razine vode iznosilo $s=13,4$ m, a specifična izdašnost $q=1,64$ l/s/m. Preporučena radna izdašnost ovoga zdenca iznosi 10 l/s (Urumović i dr., 2011).

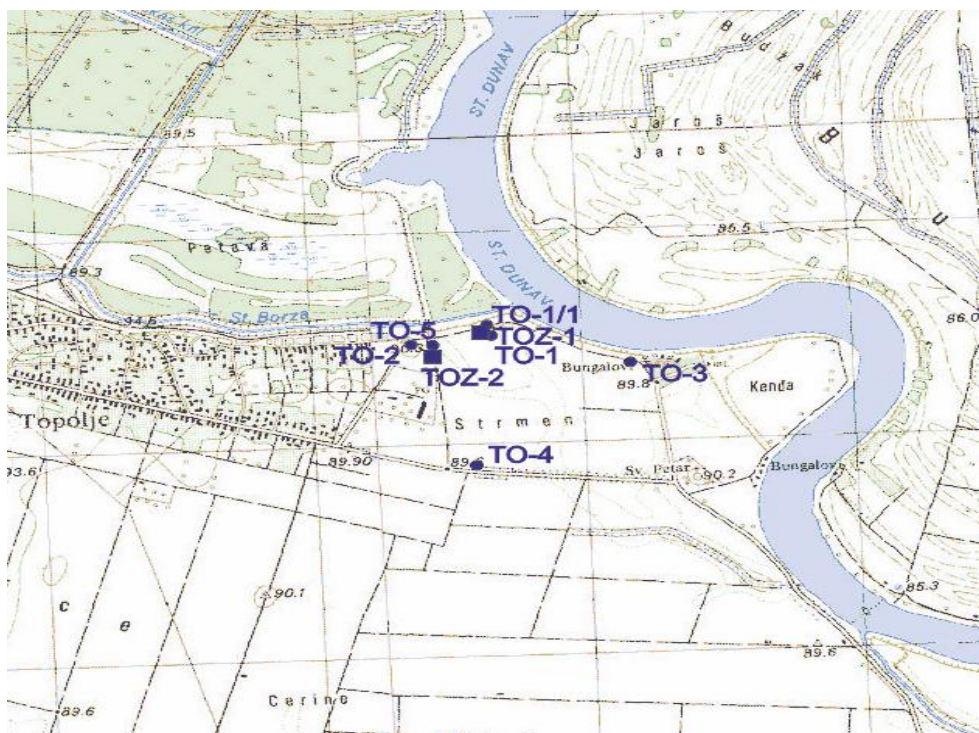
Zdenac Z-5 kojim je također zahvaćen donji vodonosnik izveden je tijekom mjeseca srpnja 2006. godine. Na kraju izvedbe provedeno je pokusno crpljenje. Pokusno crpljenje je provedeno crpnim količinama 10,4 do 16,3 l/s, a maksimalna crpna količina ostvarena je pri osvajanju zdenca i iznosila je $Q=19$ l/s, pri kojoj izdašnosti je sniženje razine vode iznosilo $s=10$, m, a specifična izdašnost $q=1,9$ l/s/m (Urumović i dr., 2011).

Nova istraživačko–piezometarska bušotina PP-6 smještena je u južnom području od crpilišta pokraj križanja glavne ceste s putom za naselje Jasenovac. Ovim piezometrom dopunjena je mreža objekata za opažanje razine i kakvoće podzemnih voda, a u profilu istraživačke jezgre registriran je rub šljunčanog vodonosnika razvijenoga u inundacijskom području između korita rijeke Dunav i kanala Dunavca (Urumović i dr., 2011).

Crpilište Topolje

Crpilište Topolje nalazi se na rubu terasastog ravničarskog područja iznad inundacijskog područja Dunava. Terasa je izrazito zaravnjena pa ima vrlo malu reljefnu energiju (Bognar, 1990). Prvi zdenac na crpilištu smješten je oko 15 m od strmca prema inundaciji koja je oko 3-5 m ispod terase, a drugi zdenac smješten je oko 200 m zapadno od prvog zdenca (Urumović i dr., 2012).

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 (Slika 2-3) (Urumović i dr., 2011).



Slika 2-3. Lokacije zdenaca na crpilištu Topolje (preuzeto iz Urumović i dr., 2012)

Od ukupno pet strukturno-piezometarskih bušotina izvedene su četiri duboke koje su prošle cijelu debljinu vodonosnika, i jedna plitka kojom je zacijevljen gornji dio vodonosnika (Urumović i dr., 2011). Položaj crpilišta uz rub inundacijskoga područja izabran je zbog najpovoljnijih uvjeta zaštite podzemnih vode, a sama mikrolokacija zdenca uz bušotinu TO-1 postavljena je zbog obližnje trafostanice koja može biti energetski izvor u prvoj fazi razvitka crpilišta. Ova lokacija izabrana je unatoč ranijim zapažanjima pri interpretaciji rezultata istraživačkih bušotina da je vodonosni pijesak na bušotini TO-1 nešto sitniji nego na ostalim bušotinama (Urumović i dr., 2011).

Radovi na izvedbi, osvajanju i pokusnom crpljenju zdenca započeli su u prosincu 2001. godine, a završeni su u siječnju 2002. godine. Pokusno crpljenje provedeno je prvo sa stalnom količinom od 49 l/s u trajanju od 45 sati, a zatim nakon 4-satnoga prekida, provedeno je crpljenje u koracima trajanja po 120 min i to s $Q_1=30$ l/s, $Q_2=40$ l/s i $Q_3=74$ l/s (Urumović i dr., 2011).

Pri završnom osvajanju zdenca crpkom dosegnuta je crpna količina od 72 l/s, pri kojoj je sniženje razine vode iznosilo $s=15,7$ m, a specifična izdašnost $q=4,7$ l/s/m, a tijekom pokusnoga crpljenja u koracima maksimalna izdašnost iznosila je 74 l/s uz sniženje od 15,8 m, pa je specifična izdašnost iznosila 4,6 l/s/m. Kako je pri toj izdašnosti

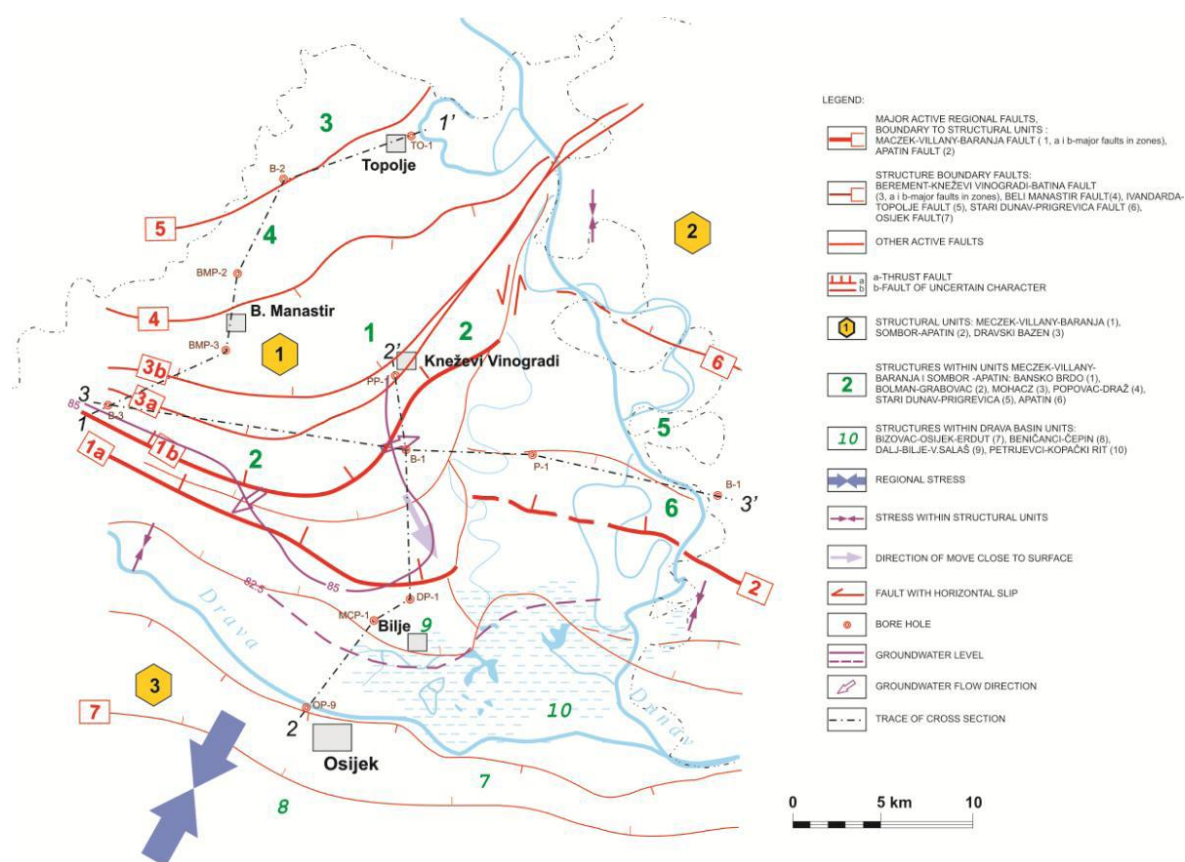
nastalo relativno veliko sniženje zaključeno je da je zdenac osvojen do izdašnosti: $Q=50 \text{ l/s}$ (*Urumović i dr., 2011*).

2.2 Regionalna geološka i strukturna građa

Veći dio Baranje predstavlja relativno uzdignutu strukturu u odnosu na južne depresije, s velikom debljinom tercijarnih i kvartarnih naslaga. U geotektonskom smislu to je područje smješteno uz sjeveroistočni rub dravske potoline. Geološki i morfološki u regionalnom smislu najmarkantnija je struktura baranjske grede (Banskog brda). To je asimetrično uzvišenje u obliku izdužene kose pružanja SI – JZ. Dužina joj iznosi oko 20 km, a širina oko 4 km. Sjeverozapadne padine su mnogo strmije od jugoistočnih koje se postupno stapaju s južnom terasom. Jezgra Banskog brda izgrađena je od miocenskih lapora, vapnenaca i pješčenjaka, konglomerata i glina, u kojima se mjestimice nalaze prodori bazalt-andezita. Ove su stijene u velikoj mjeri prekrivene pjeskovitim praporima (*Duić i Briški, 2009*).

U području Baranje pojavljuju se dva izražena praporna ravnjaka. Na južne padine Banskog brda naslanja se južni baranjski praporni ravnjak. On je blago nagnut (0,2 do 0,6 %) prema jugu i jugozapadu, a nadmorska visina mu je u rasponu od 140 m.n.m. uz rub grede do oko 100 m n.m. na jugoistoku i zapadu kraj Belog Manastira. Druga izražena praporna terasa pruža se od Kneževa prema sjeveru. Prema *Urumović i dr. (2003)* praporni ravnjaci su gornjopleistocenske starosti (würm). Između Banskoga brda i sjevernog baranjskog prapornog ravnjaka nalazi se dio niže baranjske terase koji je u južnom djelu izerodiran tokom Karašice. Njeno terasasto obilježje najizraženije je uz rub inundacijskog područja Dunava koje je oko 4-5 m niže od kota na terasi. Južno od Beloga Manastira terasa postupno tone sve do inundacijskih područja Drave i Dunava. Kvartarne naslage su u Baranji zastupljene velikom debljinom i pretežno prekrivaju cijelo područje. Prvenstveno se radi o srednje i gornjopleistocenskim naslagama, dok se holocen pojavljuje samo u blizini korita površinskih tokova. Kvartarne naslage sadrže pretežno gline, pijeske i šljunke, koji se opetovano izmjenjuju, te prapor i praporu slične naslage u okviru kojih je česta pojava slojeva pijeska deluvijalnog i eolskog podrijetla i reliktnih pedoloških horizonata (*Briški, 2009*).

U strukturnom sklopu Baranje izdvajaju se tri strukturne jedinice: (1) Meczek-Villany-Baranja, (2) Sombor-Apatin i (3) Dravski bazen (Slika 2-4). Unutar njih razlikuju se pojedine lokalne strukture. Jedinice i strukture ograničene su rasjedima.



Slika 2-4. Regionalni strukturni sklop i tektonska aktivnost (preuzeto iz Urumović i dr., 2003)

Područje Belog Manastira nalazi se unutar Meczek-Villany-Baranja strukture. Karakteristično je njeno pružanje ZSZ-JJI, najčešće Z-I, te skretanje struktura u Baranji u pravac SI-JZ. 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 (1), BOLMAN-GRABOVAC (2), MOHACZ (3) i POPOVAC-DRAŽ (4) čija trasa prolazi južnim rubom područja Šećerane. Rasjedi granični ovim strukturama su reversni rasjed Berement-Kneževi Vinogradi-Batina (3a i b) između strukture Bolman-Grabovac i Banskog brda, Belomanastirski reversni rasjed (4) između Banskog brda i Popovac-Draž strukture, te rasjed Ivandarda-Topolje (5) između Popovac-Draž i Mohacz strukture.

Najvažniji u obuhvaćenom strukturnom sklopu jesu rasjedi granični strukturnim jedinicama. Osnovni je rasjed Meczek-Villany-Baranja (1a i b) koji je izražen kao zona paralelnih reversnih 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 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. 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 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 stres o čijoj orijentaciji ovise deformacije i pomaci pojedinih strukturnih jedinica. U obuhvaćenom području regionalni stres ima orijentaciju 25/205 (*Bada, 1999*). Na *Slici 2-4.* prikazan je regionalni stres i stres unutar strukturnih jedinica.

2.3 Hidrogeološke značajke

Hidrogeološki odnosi uvjetovani su geološkom građom i rubnim uvjetima, pa pri interpretaciji hidrogeoloških značajki primjerenu pozornost treba posvetiti i regionalnim geološkim uvjetima kao okviru u kojemu se formiraju hidrogeološki odnosi.

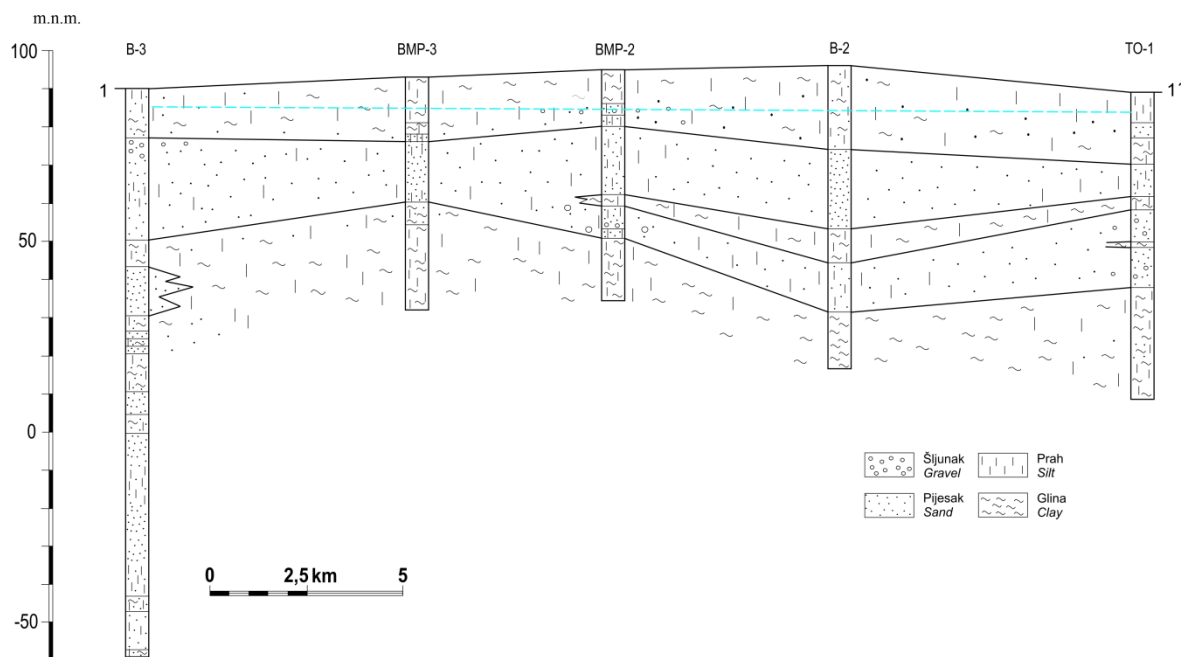
Uvid u hidrogeološke odnose na području Baranje, dobiven je analizom podataka iz istraživačkih i eksploatacijsko-istraživačkih hidrogeoloških objekata, kao i dubokih bušotina izvedenih u sklopu naftngeoloških istraživanja. Na području Baranje postoje tri glavna vodocrpilišta: crpilište Topolje kraj istoimenog naselja, crpilište Livade južno od Belog Manastira i crpilište Prosine južno od Kneževih Vinograda. Sva navedena crpilišta nalaze se u kvartarnim naslagama, pa će se u nastavku najveća pozornost posvetiti upravo kvartarnom vodonosnom kompleksu (*Duić i Briški, 2009*).

Općenito, može se reći kako je kvartarni vodonosni kompleks karakteriziran relativno visokim udjelom propusnih slojeva, niskim stupnjem konsolidacije naslaga, niskom mineralizacijom podzemnih voda i mogućnošću komuniciranja podzemnih voda. Do tih spoznaja došli su *Urumović i dr. (1976)* analizom podataka o bušotinama prikupljenim u cijelom području sjeverne Hrvatske.

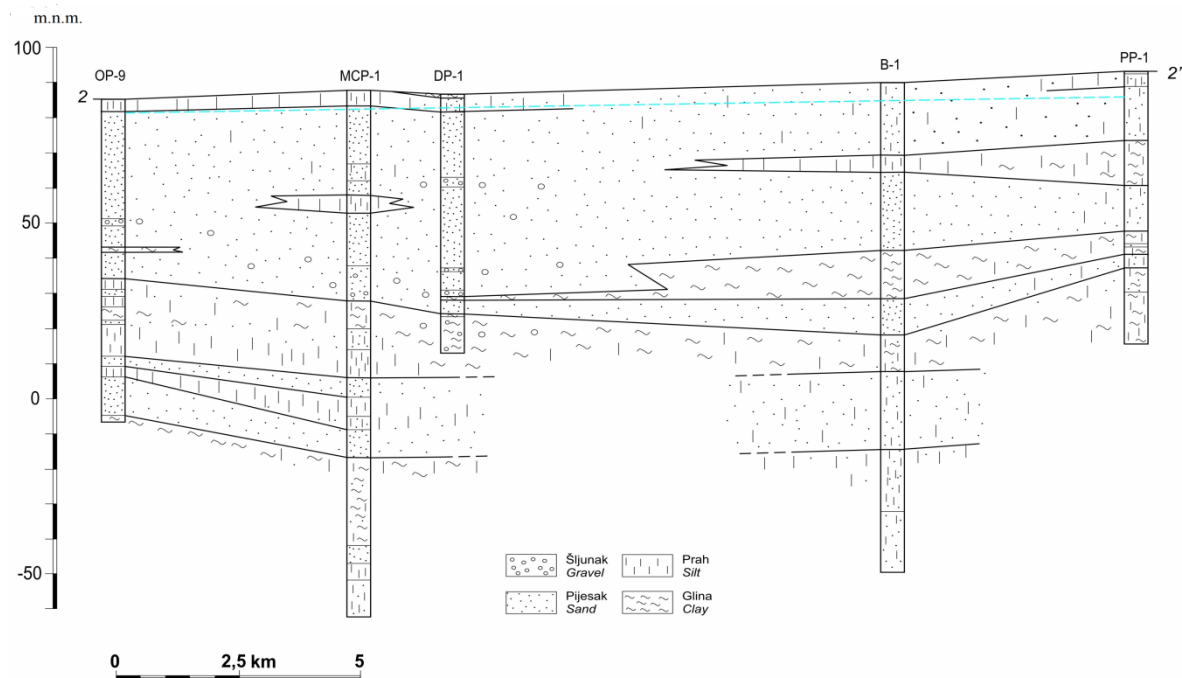
Na području Baranje kvartarni vodonosni kompleks je izgrađen tako da je površinski dio naslaga, debljine uglavnom oko 10 do 25 m, izgrađen od praha, gline i prašinastoga pijeska. U južnim dijelovima područja debljina tog pokrivača reducira se na 3-7 m. Ispod površinskih naslaga do oko 30, pa i 50 m dubine prevladavaju slojevi uglavnom jednoličnoga pijeska, ali raznolike granulacije, a ponegdje se pojavljuju i tanji slojevi i leće šljunka. Za istočni dio područja su značajne jako propusne naslage šljunka nabušenoga u Tikvešu (*Slike 2-5 do 2-7*). Kompleks kvartarnih naslaga predstavljaju vodonosnik ispod kojeg su uglavnom glinoviti i prašinsti slojevi, te lapori.

Valja istaknuti i područje Kopačkog rita čije su hidrogeološke uvjete oblikovanja detaljno opisali *Urumović i dr. (2003)*. Kopački rit nalazi se u unutar niza spuštenih struktura na potezu Petrijevcu-Kopački rit gdje uslijed pomaka strukturalnih jedinica dolazi do sužavanja prostora i zadebljanja kvartarnih naslaga do vjerojatno 200 m. Odnosi podzemnih i površinskih voda izražavaju regionalno dreniranje podzemnih voda prema središnjim predjelima Kopačkoga rita. U samom užem području Kopačkoga rita nema bušotinskih podataka o litološkom razvitku naslaga, a s obzirom na geološke uvjete

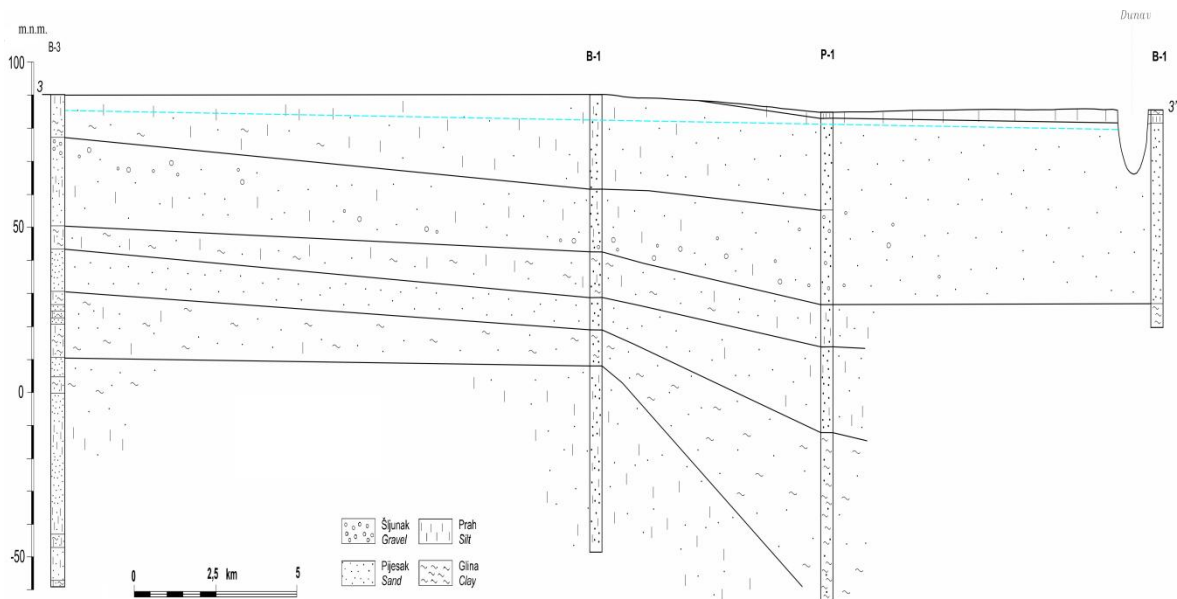
nastanka za očekivati je redukciju pijesaka i povećan udjel sitnoklastičnih taložina (Urumović i dr., 2003).



Slika 2-5. Regionalni profil 1-1', trasa profila na slici 2-4. (preuzeto iz Urumović i dr., 2003)



Slika 2-6. Regionalni profil 2-2', trasa profila na slici 2-4. (preuzeto iz Urumović i dr., 2003)



Slika 2-7. Regionalni profil 3-3', trasa profila na slici 2-4. (preuzeto iz Urumović i dr., 2003)

Temeljem analize pokusnih crpljenja na spomenutim crpilištima koja su provedena u različitim uvjetima dobivene su regionalne vrijednosti hidrogeoloških parametara: hidraulička vodljivost $K=1,7-9,8 \times 10^{-4}$ m/s, transmisivnost $T=2 \times 10^{-3}-3,0 \times 10^{-4}$ m²/s i koeficijent uskladištenja $S=3,2^{-8} \times 10^{-4}$ (Urumović i dr., 2003).

Obnavljanje podzemnih voda u ovim predjelima je pod dominantnim utjecajem vertikalnih čimbenika vodne bilance, naime infiltracija padalina je jedini izvor napajanja podzemnih voda. Površinski recipijenti predstavljaju najnižu piezometarsku razinu i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemnih voda u prirodnim uvjetima. Inverzna situacija događa se povremeno u inundacijskom području Drave i to u vrijeme njenih visokih vodostaja. U uvjetima eksploatacije podzemnih voda nastaje djelomično desaturiranje pripovršinskih polupropusnih naslaga i uspostavljaju se odnosi u kojima je razina podzemnih voda niža od razine korita površinskih recipijenata. Slično je i u inundacijskom području Dunava gdje se podzemne vode napajaju iz Dunava tijekom njegovih povišenih vodostaja, a podzemne vode pri gotovo svim vodostajima dreniraju se u meandrirajuće tekućice koje završavaju u Kopačkome ritu (Urumović i dr., 2003).

2.4 Opći hidrogeološki uvjeti šireg područja crpilišta

Crpilište Livade

Crpilište Livada nalazi se na baranjskom prapornom ravnjaku koji je izgrađen od klastičnih kvartarnih naslaga. Na površini to je uglavnom prah i prašinsta glina, a ispod njih je lateralna i vertikalna izmjena praha, gline i pijeska, a ponegdje se pojavljuju i leće šljunka (*Urumović i dr., 2008*).

Krovinu vodonosnika čini sloj praha i prašinate 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 srednjozrnastoga pijeska, a ponegdje se pojavljuju i valutice šljunka, pa i pijesak nešto krupnijega zrna. Mjestimice se ponegdje javlja i nešto praha, iako je pojava praha najčešća u obliku lamina unutar sitnozrnatoga pijeska. Ukupna debljina vodonosnika iznosi oko 10-15 m, a podina je izgrađena od gline i praha. Vodonosnik je poluzatvorenog tipa (*Urumović i dr., 2008*).

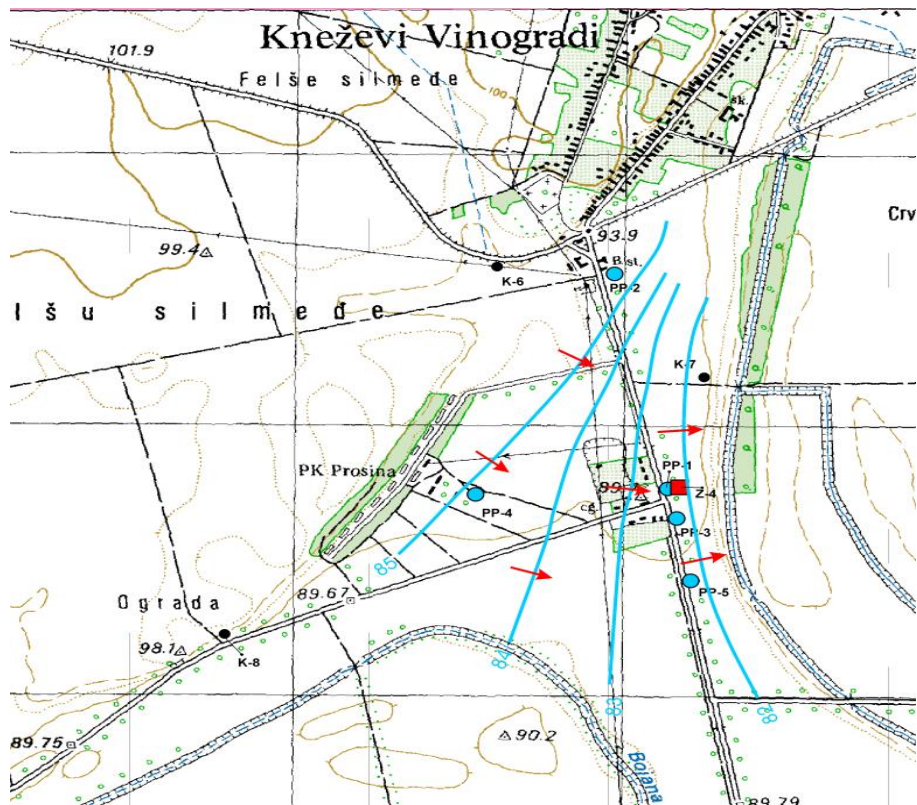
Obnavljanje podzemnih voda u ovim predjelima je pod dominantnim utjecajem vertikalnih čimbenika vodne bilance, naime infiltracija padalina je jedini izvor napajanja podzemnih voda crpilišta Livade. Okolni površinski recipijenti ovdje predstavljaju, najnižu piezometarsku razinu i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemnih voda u prirodnim uvjetima. U uvjetima eksploatacije podzemnih voda kakav se već duže vrijeme odvija na crpilištu Livade nastaje djelomično desaturiranje pripovršinskih polupropusnih naslaga i uspostavljaju se odnosi u kojima je razina podzemnih voda znatno niža od razine korita svih površinskih recipijenata u širem okružju crpilišta (*Urumović i dr., 2008*).

Za prirodnu kakvoću podzemnih voda vjerojatno su najvažniju ulogu odigrali neotektonski pokreti pri kojima je nastajalo učestalo ozračivanje istaloženih vodonosnih pijesaka (*Urumović i dr., 2008*).

Crpilište Prosine

U širem području crpilišta Prosine dokazano je kontinuirano protezanje dvaju vodonosnih slojeva. Plići, ili prvi vodonosnik koji se proteže na oko 5 do 20 m dubine, a zahvaćen je starim zdencima crpilišta Prosine. Donji vodonosnik odvojen je od gornjeg vodonosnika međuslojem prašinate gline debljine oko 10 do 15 m. Taj donji vodonosnik izgrađen je od sitno do srednjozrnastoga kvarcnoga pijeska, a debljina mu iznosi oko 12 m u području crpilišta Prosine dok prema sjevernim predjelima postupno istanjuje (*Urumović i dr., 2004*).

Izvorno obnavljanje podzemnih voda u ovim se predjelima odvija infiltracijom padalina kroz polupropusne površinske naslage u gornji prvi vodonosnik koji u ovome hidrauličkom rješenju zahvata podzemnih voda ima ulogu izvornoga sloja. 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 (*Urumović i dr., 2004*).



Slika 2-8. Hidroizohipse donjega vodonosnika na crpilištu Prosine 15.07. 2003. godine, tj. neposredno prije pokusnoga crpljenja (preuzeto iz Urumović i dr., 2004)

Iz ove opće slike hidrogeoloških odnosa (Slika 2-8) proizlazi da se podzemne vode napajaju u središnjim predjelima prapornih ravnjaka, tj. u predjelima terasastih područja, a prazne se procjeđivanjem prema rubnim depresijama i kanalima (Urumović i dr., 2004).

Crpilište Topolje

Hidrogeološke značajke širega područja crpilišta Topolje uvjetovane su njegovim položajem u sjevernom dijelu Baranje, tj. ravničarskom području koje je na istoku omeđeno inundacijskim područjem Dunava, odnosno koritom rukavca st. Dunavca dok je na jugu zatvoreno masivom Banskoga brda, a na sjeveru starim pleistocenskim terasama (*Urumović i dr., 2012*).

Terasna nizina sjeverne Baranje je morfološki vrlo zaravnjen teren u kojemu se zapaža tek erozija pojedinih stalnih i povremenih tekućica. Njeno terasasto obilježje najizraženije je uz rub inundacijskog područja Dunava koje je oko 4-5 m niže od kota na terasi. Površinski dio naslaga debljine oko 10 do 20 m izgrađen je od praha, gline i prašinastoga pijeska. Ispod njih do oko 30 m, pa i 50 m dubine, prevladavaju slojevi jednoličnog sitno i srednjezrnatoga pijeska, a ponegdje se pojavljuju i tanji slojevi i leće šljunka (*Urumović i dr., 2012*).

Napajanje vodonosnika odvija se infiltracijom padalina kroz površinske polupropusne naslage. Specifični iznos ove infiltracije relativno je mali, ali s obzirom da se radi o infiltraciji na velikim površinama, to je ukupni iznos infiltracije vrlo značajan. Dodatni izvor napajanja u ovim područjima može biti inducirano napajanje u inundacijskom području Dunava, koji je izbrazdan brojnim rukavcima i mrtvajima. Takvi uvjeti napajanja olakšavaju uvjete zaštite podzemnih voda, jer bi pretežiti dio područja napajanja vodonosnika ležao u neizgrađenom inundacijskom području Dunava (*Urumović i dr., 2012*).

3. Općenite značajke kakvoće podzemne vode za navodnjavanje

Pogodnost vode za navodnjavanje definirana je njenim fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama (Romić, 2005). U *Tablici 3-1.* prikazani su najvažniji fizikalni, kemijski i biološki parametri koje treba razmotriti prilikom ocjenjivanja mogućnosti primjene neke vode za navodnjavanje.

Tablica 3-1. Osnovni parametri za ocjenu kakvoće vode (Romić, 2005)

Fizikalni	Kemijski	Biološki
Temperatura	Reakcija (pH)	Broj koliformnih organizama Broj patogenih klica Biološka potreba za kisikom
Suspendirane čestice	Ukupno otopljene soli	
Boja / mutnoća	Vrsta i koncentracija aniona	
	Vrsta i koncentracija kationa	
	Mikroelementi	
	Toksični ioni	
	Teški metali	

Od fizikalnih značajki najvažnije su temperatura vode i količina suspendiranih čestica. Općenito se smatra da je za većinu usjeva u vegetacijskom razdoblju temperatura vode od oko 25°C najpovoljnija za navodnjavanje. Količina suspendiranih čestica u vodi za navodnjavanje vrlo je bitan fizikalni parametar. Na količinu suspendiranih čestica u vodi koja se koristi za navodnjavanje posebno su osjetljivi sustavi pod tlakom. Do oštećenja može doći bilo na pumpi ili pojedinim dijelovima razvoda vode. Kod lokaliziranog navodnjavanja može doći do začepljenja mlaznica ili kapaljki. Količina suspendiranih čestica u vodi može izravno utjecati na izbor načina ili sustava navodnjavanja ili dijelova opreme unutar sustava (Romić, 2005).

Postupak ocjene kakvoće vode za navodnjavanje ima cilj predvidjeti ionski sastav i matriks potencijal otopine tla u vremenu i prostoru, te odgovoriti na pitanje kakve će posljedice na tlo i biljku imati aplikacija vode takve kakvoće u određenim agroekološkim uvjetima. Voda koja se koristi za navodnjavanje može kvalitativno varirati ovisno o količini otopljenih soli. Različiti problemi tla i usjeva povećavaju se s porastom ukupnog

sadržaja soli iznad prihvatljivih granica. Najčešće korišteni kriteriji povezani su s problemima zaslanjivanja, alkaliteta i toksičnosti pojedinih iona (Romić, 2005).

- Zaslanjenost – djelovanje soli na razvoj biljke putem osmotskog efekta što se povezuje s ukupnom koncentracijom soli;
- Alkalitet – djelovanje suvišne koncentracije iona natrija u tlu na strukturu, a povezano s time i na infiltracijsku sposobnost i propusnost;
- Toksičnost – djelovanje pojedinih iona iz tla ili vode koji se akumuliraju u biljci do koncentracije koja uzrokuje oštećenje biljke i smanjenje prinosa.

Problem zaslanjivanja nastaje kada se koncentracija soli u tlu poveća do granice koja izaziva otežano primanje vode od biljke. Povećanjem zaslanjenosti tla povećava se osmotski tlak otopine tla, a smanjuje se za biljku količina pristupačne vode u tlu. Navedeno utječe na prinos koji opada proporcionalno s porastom zaslanjenosti vode. Mjera koja se najčešće koristi za sprječavanje i otklanjanje zaslanjenosti je ispiranje soli (Madjar i Šoštarić, 2009).

Smanjenje infiltracijske sposobnosti i propusnosti tla za vodu posljedica je uporabe vode s prekomjernim sadržajem natrija. Vode s visokim sadržajem natrija i niskim sadržajem ukupnih soli imaju jako izraženu sklonost otapanja kalcija iz površine tla, zbog čega dolazi do disperzije glinenih minerala i začepljenja pora tla, odnosno do pogoršanja strukture tla (Madjar i Šoštarić, 2009).

Problem toksičnosti nastaje pod utjecajem pojedinih iona koje je biljka primila i akumulirala, najčešće u listu do koncentracije iona koja izaziva oštećenja. Najčešće toksični ioni su ioni klora, natrija i bora. Problem se rješava kao kod zaslanjenosti, dakle ispiranjem (Madjar i Šoštarić, 2009).

Kemijska analiza vode za navodnjavanje nužna je da bi se predvidjeli mogući problemi, a prema samoj kakvoći utvrđuju se i potrebne mjere gospodarenja (Romić, 2005). U *Tablici 3-2.* prikazani su najčešći kemijski parametri za procjenu kakvoće vode i rasponi njihovih uobičajenih vrijednosti u vodi za navodnjavanje.

Tablica 3-2. Kemijski parametri za procjenu kakvoće vode za navodnjavanje (Romić, 2005)

	Simbol	Jedinica mjere	Uobičajena vrijednost
Zaslanjivanje			
<i>Sadržaj soli</i>			
Električna vodljivost	EC _w	dS/m	0-3
ili			
Ukupno otopljene soli		mg/l	0-2000
<i>Kationi i anioni</i>			
Kalcij	Ca ²⁺	meq/l	0-20
Magnezij	Mg ²⁺	meq/l	0-5
Natrij	Na ⁺	meq/l	0-40
Karbonati	CO ₃ ²⁻	meq/l	0-0,1
Bikarbonati	HCO ₃ ⁻	meq/l	0-10
Kloridi	Cl ⁻	meq/l	0-30
Sulfati	SO ₄ ²⁻	meq/l	0-20
Hranjiva			
Dušik-nitratni oblik	NO ₃ -N	mg/l	0-10
Dušik-amonijačni oblik	NH ₄ -N	mg/l	0-5
Fosfor	PO ₄ -P	mg/l	0-2
Kalij	K	mg/l	0-2
Ostalo			
Bor	B	mg/l	0-2
Reakcija	pH		6,0-8,5
Omjer adsorbiranog natrija	SAR	meq/l	0-15

U svjetskim razmjerima koristi se velik broj klasifikacija bilo za ocjenu kakvoće vode za navodnjavanje ili za primjenu u poljoprivredi općenito. Budući da nemamo vlastitu klasifikaciju, u Hrvatskoj se za tumačenje ovog problema najčešće koristi FAO klasifikacija iz 1985.

Velik broj otpadnih voda, uključujući komunalne otpadne vode i sanitarne otpadne vode iz industrije, sadrži bakteriološko zagađenje. Ovo zagađenje, bilo da se otpadne vode pročišćavaju ili ne, na kraju dospijeva i u podzemne vode. Zbog svog značaja za ljudsko zdravlje, sadržaj bakterija i drugih mikroorganizama u vodi predstavlja najznačajniji sanitarno-higijenski pokazatelj kakvoće vode (*Vučijak i dr., 2011*).

U prirodnim i otpadnim vodama mogu biti prisutni različiti mikroorganizmi- bakterije, virusi, protozoe. Mikrobiološkim ispitivanjem se uglavnom obuhvaćaju samo pojedini indikatorski mikroorganizmi, koji ukazuju na zagađenje, a nekad i na njegov izvor. Kao indikator primjenjuju se koliformne bakterije koje, međutim, nisu specifični indikatori fekalnog zagađenja. Stoga se pored ukupnih koliformnih bakterija dodatno ispituju i fekalne koliformne bakterije (tipičan predstavnik *Escherichia coli*), streptokoke i enterokoke fekalnog podrijetla (*Vučijak i dr., 2011*).

4. Metode istraživanja i rezultati

U ovom diplomskom radu obrađeni su podaci o fizikalno-kemijskim svojstvima vode iz vodonosnika na području sjeverne Baranje. Uzorci vode na temelju kojih su napravljene analize uzeti su s brojnih zdenaca i bušotina na području tri vodocrpilišta, a to su: Livade, Topolje i Prosine. Uzorci su uzeti u različitim vremenskim razdobljima, a uzorkovanje su naručile brojne tvrtke. Na vodocrpilištu Livade uzeti su uzorci vode 1979., 1990., 2003., 2006., 2007., 2008. te 2010. godine, a uzorkovanje su naručile tvrtke Vodovod Osijek d.o.o. i Baranjski vodovod d.o.o. Uzorci na vodocrpilištu Topolje uzeti su 2000., 2001. i 2002. godine od strane tvrtki Vodovod Osijek, JP Vodovod te GEOID-BEROŠ d.o.o. Na vodocrpilištu Prosine prikupljeni su uzorci vode iz 2001., 2003., 2006. i 2008. godine, a uzorkovanje su naručile tvrtke Baranjski Vodovod d.o.o., Geotehnika d.d., Geoistraživanje te Vodovod Osijek. U ovom diplomskom radu uzeti su podaci o fizikalno-kemijskim svojstvima vode iz samo pojedinih vremenskih razdoblja, odnosno godine, zbog nedostatka potrebnih podataka u nekim analizama .

4.1 Alati za obradu i prikaz podataka

Alati korišteni u ovom diplomskom radu su Microsoft Excel i AquaChem.

Microsoft Excel je program koji služi za analizu i obradu podataka te njihovo grafičko prikazivanje, ali ima i brojne druge funkcije kao što su organizacija podataka, stvaranje baze podataka, rješavanje složenih matematičkih i statističkih problema i slično. Program je korišten za statističku obradu podataka o fizikalno-kemijskim svojstvima podzemne vode i njihovim vrijednostima koje su dobivene kemijskim analizama.

AquaChem je program, odnosno software koji je razvila tvrtka Waterloo Hydrogeologic Golden Software, a posebno je dizajniran za svakoga tko radi s podacima o podzemnoj vodi. Ovaj software je idealan za vodene projekte koji zahtijevaju upravljanje, analizu i izvještaj podataka o kakvoći podzemne vode. Alati ovog software-a pokrivaju širok raspon funkcija i izračuna koji se koriste za analizu, tumačenje i uspoređivanje podataka o kvaliteti podzemne vode. Također nudi opsežan izbor geokemijskih grafova koji prikazuju kemijska svojstva podzemne vode te podatke o njezinoj kakvoći. U ovom radu korišten je

za izradu dijagrama rizika saliniteta ovisno o SAR-u (odnos adsorbiranog natrija) i elektrovodljivosti.

4.2 Ocjena kakvoće podzemne vode za navodnjavanje

Cilj ovog rada je analiza kemijskog sastava podzemne vode iz dubljeg vodonosnika i procjena njezine kakvoće u svrhu navodnjavanja. Uzorci vode uzeti su na tri već prije navedena crpilišta. U tablicama su prikazani podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na temelju kojih su napravljeni dijagrami potrebni za procjenu kakvoće podzemne vode (*Tablica 4-1 do 4-6*). Elektrovodljivost je izražena mjernom jedinicom $\mu\text{S}/\text{cm}$, a koncentracije aniona i kationa u mg/l . Navedene su i lokacije tj. nazivi zdenaca i bušotina s kojih su uzeti uzorci vode te datum uzorkovanja.

U rezultatima analize vode iz 1979. i 1990. godine za uzorke na lokacijama BMB-2, BMB-3, BMP-4, BM-1, BM-2, BM-3 i BM-4 na crpilištu Livade nije bilo raspoloživih podataka o elektrovodljivosti, stoga se uzima izračunata vrijednost za taj parametar. Prema Logan (1961) 1 meq/l kationa jednak je $100 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Tablica 4-1. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Topolje (I.dio)

<i>Lokacija</i>	<i>Z-1</i>	<i>TO-1</i>	<i>TO-1 (1)</i>	<i>TO-2</i>	<i>TO-2 (1)</i>
Datum uzorkovanja	11.01.2002.	29.11.2000.	27.06.2001.	29.11.2000.	27.06.2001.
ph	7,43	7,48	6,85	7,77	6,82
Elektrovodljivost	629	686	775	803	885
Na⁺	16,80	20,83	20,04	23,15	19,74
K⁺	1,28	3,76	1,23	2,33	1,39
Mg²⁺	95,30	47,40	35,08	51,16	36,38
Ca²⁺	54,53	68,18	68,02	75,28	75,26
Cl⁻	13,40	5,35	5,11	33,64	31,13
SO₄²⁻	33,30	11,84	11,65	11,73	10,36
HCO₃⁻	562	469,70	457,50	518,50	500

Tablica 4-2. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Topolje (II.dio)

<i>Lokacija</i>	<i>TO-3</i>	<i>TO-3 (1)</i>	<i>TO-4</i>
Datum uzorkovanja	29.11.2000.	27.06.2001.	27.06.2001.
ph	7,86	7,13	7,34
Elektrovodljivost	773	851	757
Na⁺	14,38	11,74	18,39
K⁺	2,05	1,17	1,27
Mg²⁺	53,52	37,63	26,92
Ca²⁺	64,99	63,17	74,01
Cl⁻	18,56	17,26	4,66
SO₄²⁻	33,69	31,13	4,54
HCO₃⁻	475,8	469,7	457,5

Tablica 4-3. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Prosine (I.dio)

<i>Lokacija</i>	<i>Zdenac 1</i>	<i>Zdenac 2</i>	<i>Z-5</i>	<i>Z-4</i>	<i>PP-1</i>
Datum uzorkovanja	18.07.2003.	28.07.2003.	28.07.2006.	19.07.2002.	06.12.2001.
ph	7,4	7,29	7,56	7,1	7,19
Elektrovodljivost	719	733	681	455	622
Na⁺	26,77	27,41	25,1	23,9	25,68
K⁺	0,89	1,52	0,83	1	1,44
Mg²⁺	34,66	39,07	27,4	30,2	39,75
Ca²⁺	92,66	94,2	84,7	96,63	89,22
Cl⁻	5,5	7,8	16,7	15,3	9,38
SO₄²⁻	2,15	2,44	6,1	142,1	2,78
HCO₃⁻	488,3	475,5	518	544	494,5

Tablica 4-4. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Prosine (II.dio)

<i>Lokacija</i>	<i>PP-2</i>	<i>PP-5</i>
Datum uzorkovanja	22.04.2003.	06.05.2003.
ph	7,11	7,29
Elektrovodljivost	525	489
Na⁺	21,25	29,8
K⁺	0,98	1,3
Mg²⁺	27	27,46
Ca²⁺	87,9	68,6
Cl⁻	14,7	17,8
SO₄²⁻	5,4	1,9
HCO₃⁻	467	509

Tablica 4-5. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Livade (I.dio)

<i>Lokacija</i>	<i>BMB-1</i>	<i>BMB-2</i>	<i>BMB-3</i>	<i>BMP-4</i>	<i>BM-1</i>
Datum uzorkovanja	18.07.1979.	03.09.1979.	03.09.1979.	05.04.1979.	31.08.1990.
ph	7,7	7,80	7,98	8,25	7,6
Elektrovodljivost	538	810	804	1250	828
Na⁺	33,2	16,1	13,4	35,1	25
K⁺	1,52	0,76	0,54	1,68	0,64
Mg²⁺	53,19	47,45	43,14	81,96	38
Ca²⁺	76,70	68,54	76,70	83,23	80
Cl⁻	17,0	13,0	13,0	18,0	13
SO₄²⁻	5,76	/	19,20	/	21,12
HCO₃⁻	335,5	402,6	402,6	646,6	463,7

Tablica 4-6. Podaci o kemijskim svojstvima podzemne vode na crpilištu Livade (II.dio)

Lokacija	BM-2	BM-3	BM-4	Z-2	zdenac
Datum uzorkovanja	18.09.1990.	01.10.1990.	10.10.1990.	14.11.2003.	16.05.2006.
ph	7,5	7,4	7,9	7,33	7,74
Elektrovodljivost	389	837	963	784	779
Na ⁺	26	27	43	15,83	42,5
K ⁺	0,66	1,12	0,99	0,78	0,48
Mg ²⁺	27	32	43	36,93	38,7
Ca ²⁺	97	90	83	69,93	73,3
Cl ⁻	12	15	20	16,1	16,9
SO ₄ ²⁻	21,12	24,96	7,68	3,13	11,37
HCO ₃ ⁻	463,7	463,9	796,1	587	509

U prethodnim tablicama navedeno je 8 analiza uzoraka vode za crpilište Topolje, 7 analiza uzoraka vode za crpilište Prosine i 10 analiza uzoraka vode za crpilište Livade prikazanih u tablicama. Na temelju rezultata tih analiza napravljeni su dijagrami potrebni za procjenu kakvoće podzemne vode za navodnjavanje.

Analiza kemijskog sastava podzemne vode na tri definirana crpilišta i procjena njezine kakvoće napravljena je na temelju dva dijagrama, a to su dijagram rizika saliniteta (US dijagram) (Richards, 1954) ovisno o SAR-u, tj. odnosu adsorbiranog natrija (meq/l) i elektrovodljivosti (μS/cm) i dijagram klasifikacija vode za navodnjavanje za tla srednje propusnosti (Doneen, 1962) ovisno o indeksu propusnosti i ukupnoj koncentraciji (meq/l).

Za izradu dijagrama rizika saliniteta korišten je program AquaChem. U program se unose podaci potrebni za izradu dijagrama, a to su u ovom slučaju koncentracije elemenata Ca²⁺, Mg²⁺ i Na⁺ za izračun SAR-a izražene u meq/l te podatak o elektrovodljivosti izražen u μS/cm. Vrijednost SAR-a izračunava se formulom (Richards, 1954):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad [meq/l] \quad 4.1.$$

Standardne vrijednosti SAR-a i elektrovodljivosti prema kojima se voda dijeli u klase prikazane su u Tablici 4-7.

Tablica 4-7. Klasifikacija vode za navodnjavanje ovisno o SAR-u i elektrovodljivosti

Klasa	Rizik saliniteta		Rizik alkaliteta	Karbonatni ostatak
	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) kod 25°C	Koncentracija saliniteta (meq/l)	SAR (meq/l)	RC (meq/l)
Izvanredna	<250	<0.25	<10	<1.25
Dobra	250-750	0.25-7.5	10-18	1.25-2.5
Srednja	750-2250	7.5-22.5	18-26	>2.5
Loša	2250-4000	22.5-40.0	>26	
Vrlo loša	>4000			

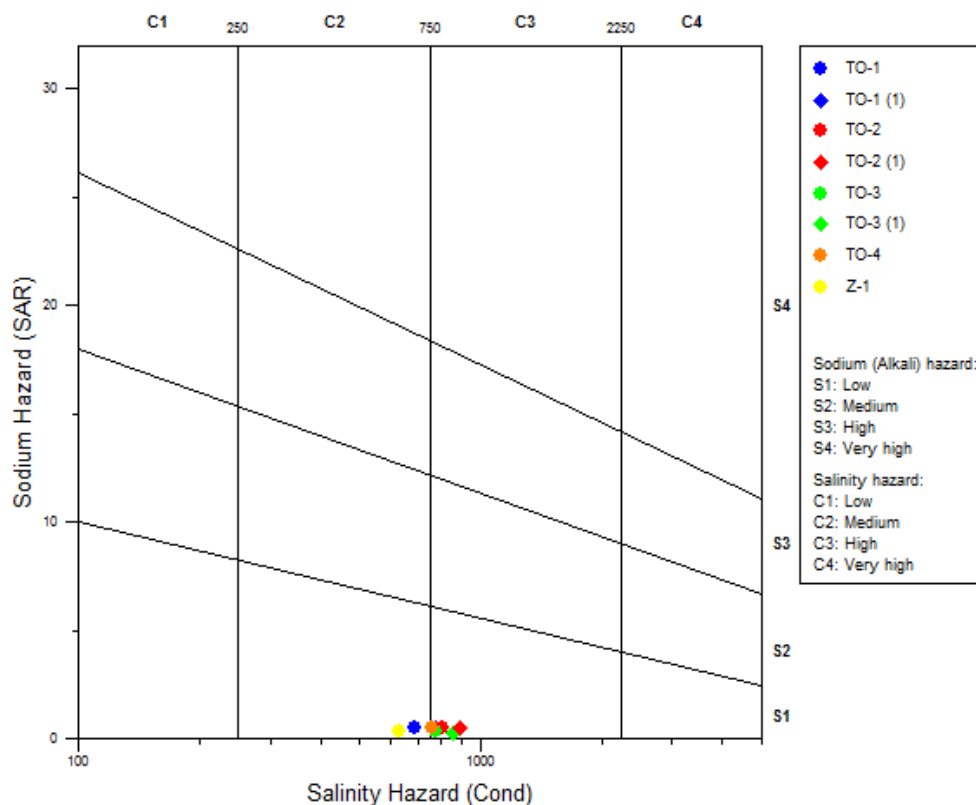
Kriterij prema kojem se procjenjuje kakvoća podzemne vode za navodnjavanje je taj da je voda općenito dobra:

1. ako je njen položaj u US dijagramu saliniteta unutar pojasa dobrih ili osrednjih voda,
2. ako pripada klasi I ili II u Doneenovom dijagramu.

Slijedi prikaz dijagrama rizika saliniteta za sva tri crpilišta te analiza i procjena kakvoće podzemne vode za navodnjavanje.

1) Crpilište Topolje

Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Topolje napravljen je na temelju podataka iz *Tablica 4-1 i 4-2 (Slika 4-1)*.

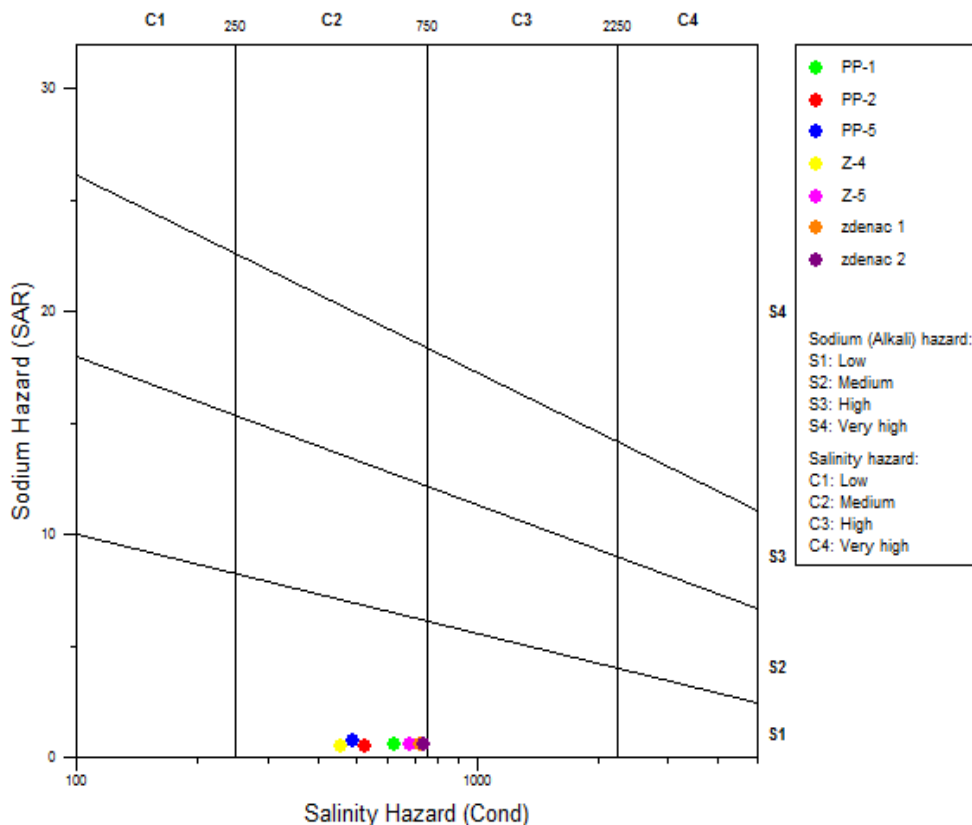


Slika 4-1. Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Topolje

Vrijednosti SAR-a za pojedinu bušotinu/zdenac iznose: TO-1=0,474 meq/l, TO-1(1)=0,492 meq/l, TO-2=0,505 meq/l, TO-2(1)=0,467 meq/l, TO-3=0,32 meq/l, TO-3(1)=0,289 meq/l, TO-4=0,465 meq/l i Z-1=0,318 meq/l. Iz dijagrama se voda klasificira kao C2-S1, tj. srednji rizik saliniteta i niski natrijski rizik, što se odnosi na vodu iz bušotine TO-1 i zdenca Z-1 te C3-S1, tj. visoki rizik saliniteta i niski natrijski rizik, što se odnosi na vodu iz bušotina TO-1(1), TO-2, TO-2(1), TO-3, TO-3(1) i TO-4. Vrijednosti SAR-a manje su od 10, a vrijednosti elektrovodljivosti kreću se od 629 $\mu\text{S}/\text{cm}$ za zdenac Z-1 do 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$ za bušotinu TO-2(1) pa se prema tome voda klasificira kao dobra do srednja i pogodna za navodnjavanje.

2) Crpilište Prosine

Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Prosine napravljen je na temelju podataka iz *Tablica 4-3 i 4-4 (Slika 4-2)*.

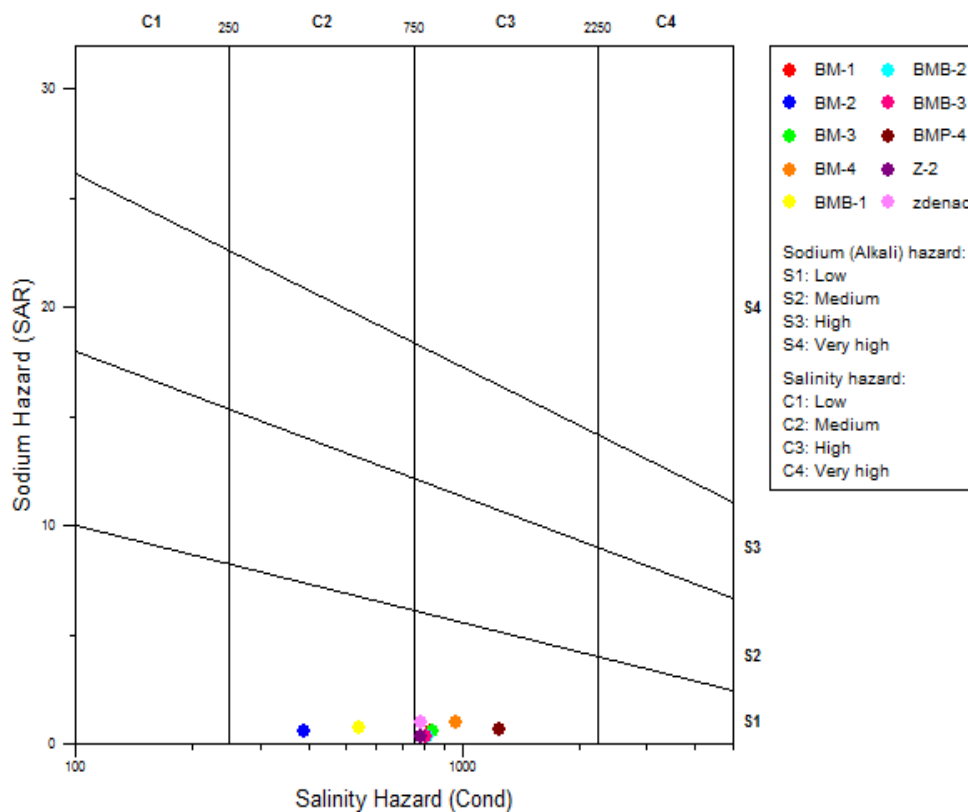


Slika 4-2. Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Prosine

Vrijednosti SAR-a za pojedinu bušotinu/zdenac iznose: PP-1=0,568 meq/l, PP-2=0,509 meq/l, PP-5=0,769 meq/l, Z-4=0,544 meq/l, Z-5=0,606 meq/l, zdenac 1=0,602 meq/l i zdenac 2=0,599 meq/l. Iz dijagrama se voda klasificira kao C2-S1, tj. srednji rizik saliniteta i niski natrijski rizik. Vrijednosti SAR-a manje su od 10, a vrijednosti elektrovodljivosti kreću se od 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$ za zdenac Z-4 do 733 $\mu\text{S}/\text{cm}$ za zdenac 2 pa se prema tome voda klasificira kao dobra i pogodna za navodnjavanje.

3) Crpilište Livade

Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Livade napravljen je na temelju podataka iz *Tablica 4-5 i 4-6 (Slika 4-3)*.



Slika 4-3. Dijagram rizika saliniteta za podzemnu vodu na području crpilišta Livade

Vrijednosti SAR-a za pojedinu bušotinu/zdenac iznose: BM-1=0,576 meq/l, BM-2=0,602 meq/l, BM-3=0,622 meq/l, BM-4=0,954 meq/l, BMB-1=0,713 meq/l, BMB-2=0,366 meq/l, BMB-3=0,304 meq/l, BMP-4=0,654 meq/l, Z-2=0,381 meq/l i zdenac=1,0 meq/l. Iz dijagrama se voda klasificira kao C2-S1, tj. srednji rizik saliniteta i niski natrijski rizik, što se odnosi na vodu iz zdenca BMB-1 i bušotine BM-2, te C3-S1, tj. visoki rizik saliniteta i niski natrijski rizik, što se odnosi na vodu iz bušotina BM-1, BM-3, BM-4, BMB-2, BMB-3, BMP-4 i zadnja dva zdenca. Vrijednosti SAR-a manje su od 10, a vrijednosti elektrovodljivosti kreću se od 389 $\mu\text{S}/\text{cm}$ za bušotinu BM-2 do 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ za bušotinu BMP-4 pa se prema tome voda klasificira kao dobra do srednja i pogodna za navodnjavanje.

Drugi dijagram koji se u ovom diplomskom radu koristi za procjenu kakvoće podzemne vode za navodnjavanje je Doneenov dijagram (*Doneen, 1962*), odnosno dijagram klasifikacije vode za navodnjavanje za tla srednje propusnosti. Za izradu ovog dijagrama potrebni su podaci o ukupnoj koncentraciji soli izraženoj u meq/l i podaci o indeksu permeabiliteta (PI), tj. indeksu propusnosti. Podaci potrebni za izračun ovih parametara uzeti su iz prethodnih *Tablica 4-1 do 4-2* za crpilište Topolje, *Tablice 4-3 do 4-4* za crpilište Prosine i *Tablice 4-5 do 4-6* za crpilište Livade. Korišteni su podaci o koncentracijama Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} i HCO_3^- izraženi u meq/l za svako crpilište.

Ukupna koncentracija soli dobije se sumom koncentracija kationa izraženih u meq/l, a to su koncentracije Na^+ , K^+ , Mg^{2+} i Ca^{2+} . Parametar indeks permeabiliteta (PI) izračunava se formulom (*Doneen, 1962*):

$$\text{PI} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} * 100 \quad [\%] \quad 4.2.$$

Rezultati izračunatih vrijednosti parametra ukupne koncentracije i indeksa permeabiliteta, na osnovi navedenih formula, za crpilišta Topolje, Prosine i Livade prikazani su u *Tablicama 4-8 do 4-10*.

Tablica 4-8. Izračunate vrijednosti indeksa permeabiliteta i ukupne koncentracije podzemne vode na crpilištu Topolje

<i>Lokacija (Topolje)</i>	<i>Indeks permeabiliteta (%)</i>	<i>Ukupna koncentracija (meq/l)</i>
Z-1	33,02	11,43
TO-1	44,56	8,36
TO-1 (1)	50,19	7,23
TO-2	43,47	9,09
TO-2 (1)	48,67	7,69
TO-3	41,04	8,39
TO-3 (1)	48,24	6,83
TO-4	52,50	6,78

Tablica 4-9. Izračunate vrijednosti indeksa permeabiliteta i ukupne koncentracije podzemne vode na crpilištu Prosine

<i>Lokacija (Prosine)</i>	<i>Indeks permeabiliteta (%)</i>	<i>Ukupna koncentracija (meq/l)</i>
zdenac 1	45,95	8,71
zdenac 2	43,48	9,20
Z-5	52,61	7,63
Z-4	47,99	8,41
PP-1	44,63	8,93
PP-2	48,71	7,59
PP-5	59,66	7,05

Tablica 4-10. Izračunate vrijednosti indeksa permeabiliteta i ukupne koncentracije podzemne vode na crpilištu Livade

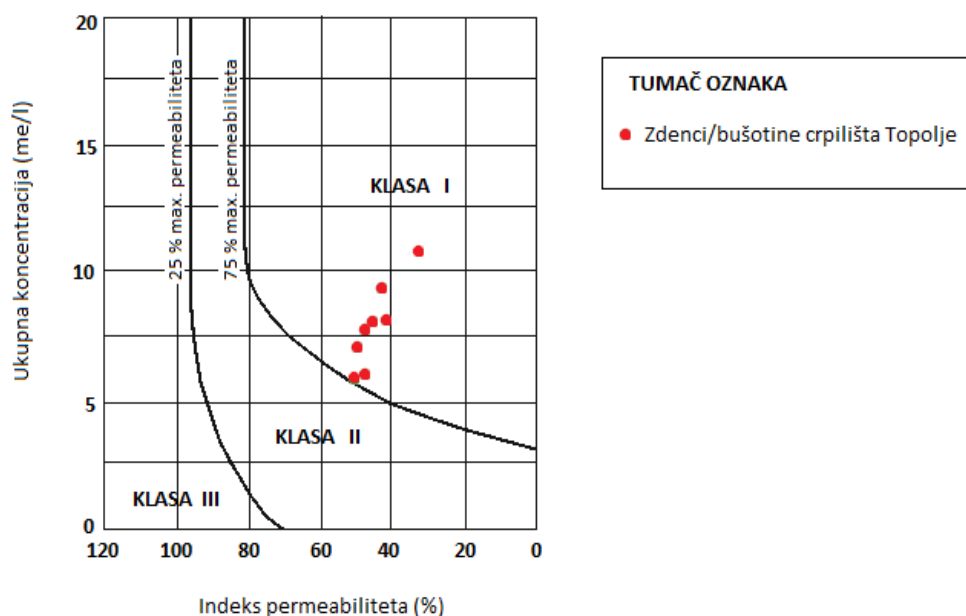
<i>Lokacija (Livade)</i>	<i>Indeks permeabiliteta (%)</i>	<i>Ukupna koncentracija (meq/l)</i>
BMB-1	38,98	9,75
BMB-2	40,46	8,10
BMB-3	39,26	8,03
BMP-4	38,22	12,56
BM-1	46,57	8,27
BM-2	47,23	8,25
BM-3	47,08	8,37
BM-4	57,12	9,63
Z-2	52,15	7,28
zdenac	54,15	8,75

Na temelju izračunatih vrijednosti ukupne koncentracije i indeksa permeabiliteta prikazanih u prethodnim tablicama napravljena su 3 Doneenova dijagrama, za svako crpilište po jedan. Na njima je prikazano kojoj klasi pripada podzemna voda za pojedino crpilište i prema tome se procjenjuje njezina kakvoća.

Slijedi prikaz Doneenovih dijagrama za crpilišta Topolje, Prosine i Livade te njihova analiza i procjena kakvoće podzemne vode.

1) Crpilište Topolje

Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Topolje napravljen je na temelju podataka iz *Tablice 4-8 (Slika 4-4)*.

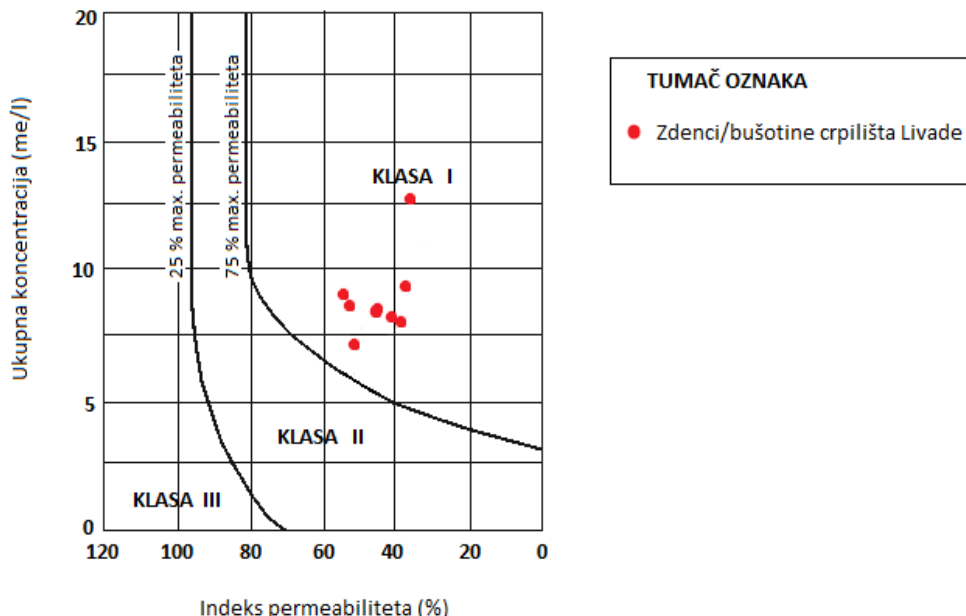


Slika 4-4. Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Topolje

Vrijednosti indeksa permeabilnosti kreću se od 33,02% do 52,50%, a ukupne koncentracije kationa od 6,78 meq/l do 11,43 meq/l. Prosječna vrijednost indeksa permeabilnosti oko koje se koncentriira većina uzoraka iznosi 45,21%. Samo jedan uzorak odstupa od prosjeka, a to je uzorak koji ima i najveću vrijednost ukupne koncentracije. Razlog toga je povišena koncentracija Mg^{2+} i HCO_3^- u odnosu na druge uzorke. Dijagram prikazuje da 100% uzoraka vode na crpilištu Topolje pripada klasi I pa se prema tome voda klasificira kao dobra za navodnjavanje.

3) Crpilište Livade

Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Livade napravljen je na temelju podataka iz *Tablice 4-10 (Slika 4-6)*.



Slika 4-6. Doneenov dijagram za podzemnu vodu na području crpilišta Livade

Vrijednosti indeksa permeabilnosti kreću se od 38,22% do 57,12%, a ukupne koncentracije kationa od 7,28 meq/l do 12,56 meq/l. Prosječna vrijednost indeksa permeabilnosti oko koje se koncentriraju većina uzoraka iznosi 46,12%. Jedan uzorak sa najvećom vrijednosti ukupne koncentracije izuzetno odstupa od ostalih, a to je zbog toga što ima povišenu koncentraciju Mg^{2+} u odnosu na druge uzorke. Dijagram prikazuje da 100% uzoraka vode na crpilištu Livade pripada klasi I pa se prema tome voda klasificira kao dobra za navodnjavanje.

5. Zaključak

Na području sjeverne Baranje postoje tri glavna vodocrpilišta: crpilište Topolje kraj istoimenog naselja, crpilište Livade južno od Belog Manastira, crpilište Prosine južno od Kneževih Vinograda. Sva navedena crpilišta nalaze se unutar kvartarnih naslaga čemu se pridodaje posebna pažnja. Kvartarni vodonosni kompleks od izuzetnog je značaja za vodoopskrbu područja Baranje i odlikuje se s podzemnom vodom dobre kakvoće.

U ovom diplomskom radu obrađeni su podaci o fizikalno-kemijskim svojstvima vode na spomenutim crpilištima (Topolje, Prosine i Livade) s ciljem određivanja njezine kakvoće za navodnjavanje. Uzorci vode potrebni za kemijske analize uzeti su u različitim vremenskim razdobljima, sve od 1979. godine do 2010. godine. Obrađeno je 8 kemijskih analiza uzoraka vode za crpilište Topolje, 7 kemijskih analiza za crpilište Prosine i 10 kemijskih analiza za crpilište Livade. Na temelju podataka o koncentraciji kationa i elektrovodljivosti napravljena su ukupno tri dijagrama rizika saliniteta, za svako crpilište po jedan. Za Doneenov dijagram potrebno je bilo izračunati vrijednosti ukupne koncentracije i indeksa permeabiliteta, pa su prema tim rezultatima također napravljena ukupno tri dijagrama. Ova dva dijagrama korištena su za procjenu kakvoće podzemne vode za navodnjavanje na području sjeverne Baranje.

Dijagrami rizika saliniteta za sva tri crpilišta pokazali su da voda uglavnom pripada C2-S1 klasi te C3-S1 klasi, što znači da ima srednji do visoki rizik saliniteta i niski natrijski rizik. Važno je da nema nikakvih odstupanja u koncentraciji natrija jer je on bitan parametar za kakvoću vode za navodnjavanje. Voda se klasificira kao dobra za navodnjavanje, a to su potvrdili i rezultati dobiveni Doneenovim dijagramima. Pokazali su da voda za sva tri crpilišta spada u klasu I što znači da je dobre kakvoće za navodnjavanje.

U konačnici se može zaključiti da je podzemna voda na području sjeverne Baranje dobre kakvoće i pogodna je za navodnjavanje. U budućnosti treba uzeti u obzir njezino potencijalno onečišćenje koje je uglavnom antropogenog podrijetla, a radi se o nekontroliranom odlaganju otpada te ispuštanju otpadnih voda.

6. Literatura

1. BADA, G. (1999): *Cenozoic stress field evolution in the Pannonian basin and surrounding orogens*. Inferences from kinematic indicators and finite element modeling. PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, 204. str.
2. BOGNAR, A. (1990): *Geomorfologija Baranje*. Znanstvena monografija, Zagreb.
3. BRIŠKI, M. (2009): *Hidrogeološke prilike Belog Manastira*. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 34 pp.
4. DONEEN, L.D. (1962): *The influence of crop and soil on percolating water*. Proc. 1961 Biennial conference on Groundwater Recharge.
5. DUIĆ, Ž., BRIŠKI, M. (2009): *Učinak geoloških struktura na hidrogeološke značajke kvartarnih naslaga u Baranji*. Zagreb.
6. HLEVNJAK, B., URUMOVIĆ, K. (1999): *Vodoopskrbni sustav Belog Manastira*. Izvedba zdenca BMZ-1. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
7. LOGAN, J. (1961): *Estimation of electrical conductivity from chemical analyses of natural waters*. Journal of Geophysical Research, Volume 66, Issue 8, p. 2479-2483.
8. MADJAR, S., ŠOŠTARIĆ, J. (2009): *Navodnjavanje poljoprivrednih kultura*. Sveučilište „J. J. Strossmayer“ u Osijeku. Poljoprivredni fakultet Osijek.
9. MIHELČIĆ, D., URUMOVIĆ, K. (1998): *Vodoopskrbni sustav Kneževi Vinogradi*. Idejno rješenje-poglavlje 6. Hidrogeološka situacija. Fond dokumenata Hidroprojekt-ing, Zagreb.
10. RICHARDS, L.A. (1954): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agriculture Handbook 60, Washington D.C.
11. ROMIĆ, D. (2005): *Navodnjavanje u održivoj poljoprivredi*. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Rijeka: Liber, 2005, str. 169-192.
12. URUMOVIĆ, K., DUIĆ, Ž., PRELOGOVIĆ, E. (2003): *Hidrogeološki uvjeti oblikovanja Kopačkoga rita*. 3. hrvatska konferencija o vodama, Osijek.
13. URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J., VELIĆ, J. (1976): *O propusnom mediju kvartarnih, te gornjo i srednjo-pliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske*. IV. jug. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 2, 395-410, Skopje.
14. URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2001): *Vodoopskrbni sustav Općine Kneževi Vinogradi, Crpilište Prosine*. Izvedba strukturne bušotine PP-1. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

15. URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2004): *Crpilište Prosine. Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
16. URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2008): *Crpilište Livade. Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
17. URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2011): *Hidrogeološki radovi na crpilištima Prosine i Topolje*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
18. URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2012): *Crpilište Topolje. Elaborat o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
19. URUMOVIĆ, K., MAĐARAC, A., DUJMOVIĆ-VITEZIĆ, J., TRELEC, D., TIŠLJAR, J., SOKAČ, A., DUJMIĆ, D., DULIĆ, I. (1979): *Hidrogeološka studija za rješavanje vodoopskrbe Belog Manastira, 1978/79*. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
20. 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.
21. VUČIJAK, B., ČERIĆ, A., SILAJDŽIĆ, I., MIDŽIĆ-KURTAGIĆ, S. (2011): *Voda za život-osnove integralnog upravljanja vodnim resursima*. Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu.