

HIDROGEOLOŠKI UVJETI POJAVE GLINENOG PROSLOJKA UNUTAR VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF OCCURRENCE OF CLAY INTERBED WITHIN VARAŽDIN AQUIFER

Branko Hlevnjak¹, Stjepan Strelec², Jasmin Jug^{2*}

¹ Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko geološko naftni fakultet, Pierottijeva ulica 6, 10000 Zagreb, HRVATSKA

² Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, HRVATSKA

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: jasmin.jug@gmail.com

Sažetak: Varaždinski vodonosnik zauzima krajnji zapadni dio heterogenih kvartarnih naslaga dravske doline. Šljunčani vodonosnik koristi se za potrebe vodoopskrbe većih naselja. Interpretacije strukture naslaga i hidrogeoloških odnosa ovog područja u zadnje vrijeme potaknuta su regionalnim problemima vodoopskrbe i zaštite izvorišta. Istraživanja su naročito usmjerena na glineni proslojak koji dijeli varaždinski vodonosnik na dva izolirana sloja šljunka. Provedena su geofizička mjerenja i izvedene su nove istraživačke bušotine. Ovim su istraživanjima došlo do novih spoznaja te omogućio detaljniji prikaz rasprostiranja glinenog proslojka.

Ključne riječi: Varaždinski vodonosnik, hidrogeološki uvjeti, glineni proslojak

Abstract: Varaždin aquifer is developed in the far western part of the heterogeneous Quaternary deposits in Drava basin. Water captured from this gravel aquifer is used for water supply of major cities. Recent regional problems of water supply and water source protection prompted new interpretations of the structure of deposits and hydrogeological relations in this area. Research has been focused especially on clay interbed that separates Varaždin aquifer in two isolated gravel layers. Geophysical measurements have been carried out followed by drilling of new exploration boreholes. These studies have shown new insights and enabled detailed display of clay interbed within Varaždin aquifer.

Keywords: Varaždin aquifer, hydrogeological conditions, clay interbed

Received: 19.05.2015 / Accepted: 04.12.2015

Published online: 14.12.2015

Znanstveni rad / Scientific paper

1. UVOD

Varaždinski vodonosnik zauzima krajnji zapadni dio heterogenih kvartarnih naslaga dravske doline. Predstavlja rubni dio vodonosnog kompleksa u kojem je prirodni režim podzemnih voda snažno poremećen izgradnjom protočnih hidroenergetskih objekata i eksploatacijom podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe. Zbog toga je poznavanje prirodnih uvjeta i nastalih hidrogeoloških odnosa zanimljivo kako kod proučavanja zaliha podzemnih voda tako i kod predviđanja učinaka nizvodnih vodnih stepenica na prirodni režim podzemnih voda. Ove kvartarne naslage Varaždinske depresije intenzivno su istraživane još od početka 60-tih godina. Istraživanja su potaknuta u okviru projektiranja i izgradnje sustava vodnih stepenica Varaždin, Čakovec i Dubrava. Naslage ovog šljunčanog vodonosnika istraživane su i za potrebe vodoopskrbe Varaždina, Čakovca, Ludbrega, te za potrebe navodnjavanja. Pojedina istraživanja pretežno su bila koncentrirana na uske lokalitete ili relativno plitki dio naslaga, pa su tek kasnije sinteze omogućile procjenu njihove debljine (Urumović 1971) i predodžbu regionalnih hidrogeoloških odnosa (Miletić *et al.* 1971; Šarin & Urumović 1986). Vrijedni podaci o litološkom sastavu nizvodnih

predjela prikupljeni su kroz regionalna hidrogeološka istraživanja.

Za upoznavanje geološke građe i hidrogeoloških odnosa posebno su vrijedni podaci o istraživačkim bušotinama.

Interpretacije strukture naslaga i hidrogeoloških odnosa ovog područja, koje su u zadnje vrijeme potaknute regionalnim problemima vodoopskrbe i u koje su uključeni neki noviji bušotinski podaci, dovele su do novih spoznaja. One su omogućile detaljniji prikaz regionalne građe vodonosnika.

2. LITOSTRATIGRAFSKE OSOBITOSTI VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od kvartarnih šljunaka i pijesaka, a proteže se na cijelom području dravske ravnice u Varaždinskoj depresiji.

Najstarije naslage na površini nalaze se u južnom prigorju, oko Vinice i Voće. To su mezozojski, odnosno trijaski pješčenjaci, šejlovi, lapori, vapnenci, dolomiti i dolomitne breče (Šimunić *et al.* 1982, 1982a). Izravno na njima transgresivne su miocenske naslage. Zastupljeni su

pretežno konglomerati, pješčenjaci, vapnenci, lapori, laporoviti vapnenci, mjestimice tufovi i breče iz donjeg, srednjega i gornjega miocena, a slijede naslage ponta. Naslage su relativno većih debljina, osobito u Varaždinskoj depresiji. U podini dolaze lapori s proslojcima pješčenjaka i pijesaka, a u krovini izmjena pjeskovito-glinovitih lapora i pješčenjaka u donjem, te pijesaka glina i šljunaka u gornjem dijelu.

U Varaždinskoj depresiji pliocenske naslage teško se odvajaju od kvartarnih, donjopleistocenskih naslaga. Sličnog su sastava. Većinom je to višestruka izmjena glina, pijeska i šljunaka. Naslage su taložene u močvarnoj sredini uz stalni dotok fluvijalnog materijala.

Generalni litološki stup kvartarnih naslaga, unutar kojih se nalazi Varaždinski vodonosnik, je sljedeći: u podini dolaze šljunci, kojih u većoj količini ima južno i jugoistočno od Ludbrega i sjeverno od Čakovca, ili pijesci u izmjeni s glinama. Općenito gline ima više u donjem pleistocenu. U srednjem pleistocenu javljaju se izmjene glina pijesaka i šljunaka, a uz gline se javljaju i proslojci treseta. Udjel šljunaka u mlađim nivoima raste pa se u gornjem pleistocenu pretežno talože šljunci. Holocenu pripadaju najmlađe riječne taložine koje su u sastavu dravskih terasa vezanih za ravničarski dio obuhvaćenog područja.

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od šljunka i pijeska vjerojatno srednje i gornjopliocenske, te holocenske starosti (Šestanović 1969; Urumović 1971; Urumović *et al.* 1971; Šarin & Urumović 1986). U njima se rijetko pojavljuju sitnije frakcije (glina i prah) i to uglavnom kao tanke leće i proslojci u središnjim dijelovima. U nekim rubnim predjelima susreće se i dispergirana pojava prašinih i glinovitih frakcija unutar dominantnih gruboklastičnih taložina. Vodonosnik je izdužen paralelno toku Drave, a debljina mu se povećava od zapada prema istoku (slika 1). Bočne granice vodonosnika su uz rub okolnog prigorja i u pravilu su rasjedne. Debljina vodonosnika je najmanja u području između Križovljana i Ormoža, gdje ove šljunčane naslage prekrivaju utonulu antiklinalu. Struktura vodonosnika je ovdje asimetrična s nagnutom površinom terena od juga prema sjeveru i obrnutim nagibom podloge vodonosnika. Debljina uz sjeverni rub iznosi oko 5 m, a prema jugu raste i uz rubni rasjed doseže do preko 15 m. U ovim predjelima u podlozi se nalaze lapori i pješčenjaci. Idući zapadno prema Petrijancu nagib podloge vodonosnika je neznatno strmiji od nagiba površine terena. Debljina vodonosnika kod Petrijanca neznatno premašuje 15 m. Južno od Petrijanca formirana je uleknina u kojoj debljina doseže preko 30 m. Prema zapadu se debljina također naglo povećava i u središnjem dijelu depresije, između Vularije i Zamlake, premašuje 110 m. U središnjim dijelovima depresije u podlozi su najčešće nabušeni glina i prah, zatim prašinski pijesak, lapor i nešto lignita.

U granulometrijskom sastavu vodonosnika dominiraju valutice šljunka s različitim postotkom pijeska. Općenito se može reći da se idući od zapada prema istoku u prosjeku postupno smanjuje veličina pojedinih zrna, a raste njihova sortiranost (Urumović *et al.* 1980).

Odstupanje od relativno mirnog kolebanja vrijednosti granulometrijskih parametara u funkciji dubine uzorka pojavljuje se samo unutar leća i proslojaka sitnijeg

granulometrijskog sastava. Naročito je markantan proslojak praha, gline, prašinstog pijeska i mjestimice treseta, koji se na dubini oko 40-50 m pojavljuje kod Varaždina, a oko 55-60 m kod Vularije. Zapažen je u brojnim bušotinama u širem području Varaždina i u Međimurju, kao i na svim bušotinama načinjenim u širem području crpilišta Bartolovec. Svakako se radi o značajnom diskontinuitetu uvjeta taloženja. Formiran je polupropusni međusloj, koji dijeli vodonosnik u dva šljunčana sloja. Granulometrijski sastav prvog i drugog šljunčanog sloja ne razlikuje se bitno. Granulometrijski parametri su im istog reda veličine kod Varaždina (SV-12), dok je kod Vularije (P-1) granulometrijski sastav dubljega sloja nešto sitniji nego kod plićega šljunčanoga sloja.

U krovini vodonosnika pojavljuje se tanki pokrivač izgrađen od praha, gline i prašinstog pijeska. U većem dijelu obuhvaćenog područja debljina pokrivača je manja od 0,5 m. Pokrivač često i izostaje, pa se u tankom humusu pojavljuje obilje valutica šljunka. Takvi se tereni lokalno zovu prudi. Povećane debljine pokrivača su u pravilu lokalnog karaktera, a ne premašuju 5 m. Izuzetak su jugoistočni rubni predjeli u kojima se u širokom pojasu pojavljuje povećana debljina pokrivača, koja mjestimice doseže i do 10 m.

3. TEKTONSKI ODNOSI

Područje Varaždina nalazi se u južnom dijelu Murske depresije, u Varaždinskoj depresiji. Stijene mezozoika, na kojima je taložen kompleks neogenskih i kvartarnih naslaga, nalaze se na površini duž uzdignutih okolnih planina: Ravne gore i Ivanščice. U depresiji one su spuštene do dubine oko – 4500 m sjeveroistočno od Varaždina (Prelogović 1975; Prelogović & Velić 1988). Strukture su u osnovi tipa horstova i graba nastalih u tzv. neotektonskom razdoblju. U najmlađem dijelu neotektonskog razvitka (gornji pliocen-kvartar), uslijed regionalnih tektonskih kretanja, aktivni su dijagonalni rasjedi smicanja s pravcem pružanja SZ - JI (ZSZ-IJI). Osim smicanja, duž njihovih trasa dolazi i do rotacije pojedinih struktura, njihovih dijelova ili viših jedinica (Prelogović & Velić 1988). Uslijed toga pojedini uzdužni rasjedi postaju reverzni, osobito duž sjevernih krila struktura u zoni dodira stijena različite gustoće. Tektonski procesi (izdizanje okolnih planina, spuštanje Murske potoline, smicanje duž dijagonalnih rasjeda, te rotacije struktura) traju sve do danas.

Uzdignute strukture: Ormož-Selnica (sjeverno od obuhvaćenog područja), Ivanščica (južno) Ravna gora (zapadno) predstavljaju horst-antiklinorije. Sjeverna krila struktura u reverznom su odnosu, naročito u Ivanščici i Ravnoj gori, pa se prate dva do tri niza reverznih rasjeda s vergencijom prema sjeveru. Ravna gora je u predjelu Vinice presječena rasjedima i u nastavku prema istoku tone. To ima utjecaja i na oblik Varaždinske depresije i zatanjenje neogenskih i kvartarnih naslaga duž zone tonjenja. Depresija se iskazuje kao asimetrična graba-sinklinorij. Os dubljeg dijela proteže se potezom Tužno-Biškupec-Hrženica. To ukazuje na veću tektonsku aktivnost južnog u odnosu na sjeverni rub depresije. Stratoizohipse podinske plohe vodonosnika, kao i

izdvojenog međusloja (slika 2), te promjene debljina vodonosnika navode na najmlađe kvartarno spužtanje Varaždinske depresije i aktivnost rubnih zona depresije.

Rasjedi obuhvaćaju četiri sustava i to:

- uzdužni rasjedi pravca pružanja I-Z do ZSZ-IJI, te
- dva manje izražena sustava dijagonalnih rasjeda pravca pružanja gotovo S-J (okolica Vinice) i
- SZ-JI (struktura Ormož- Selnica).

Najvažniji rasjedi strukturnoga sklopa su uzdužni rasjedi duž kojih su pojedine strukture uzdignute ili spuštene. Ujedno su to najstariji rasjedi, aktivni gotovo kroz čitavo neotektonsko razdoblje. Protežu se i izvan obuhvaćenog područja. To su Ormoški rasjed (oznaka 1 na slici 1) i Južni rubni rasjed Murske potoline (2). Sastoje se iz zone od dva paralelna rasjeda, čije trase na površini obilježavaju terasni odsjeci. U predjelu zapadno od Vinice razabiru se reverzni rasjedi (3), koji se pružaju duž sjevernog krila Ravne gore.

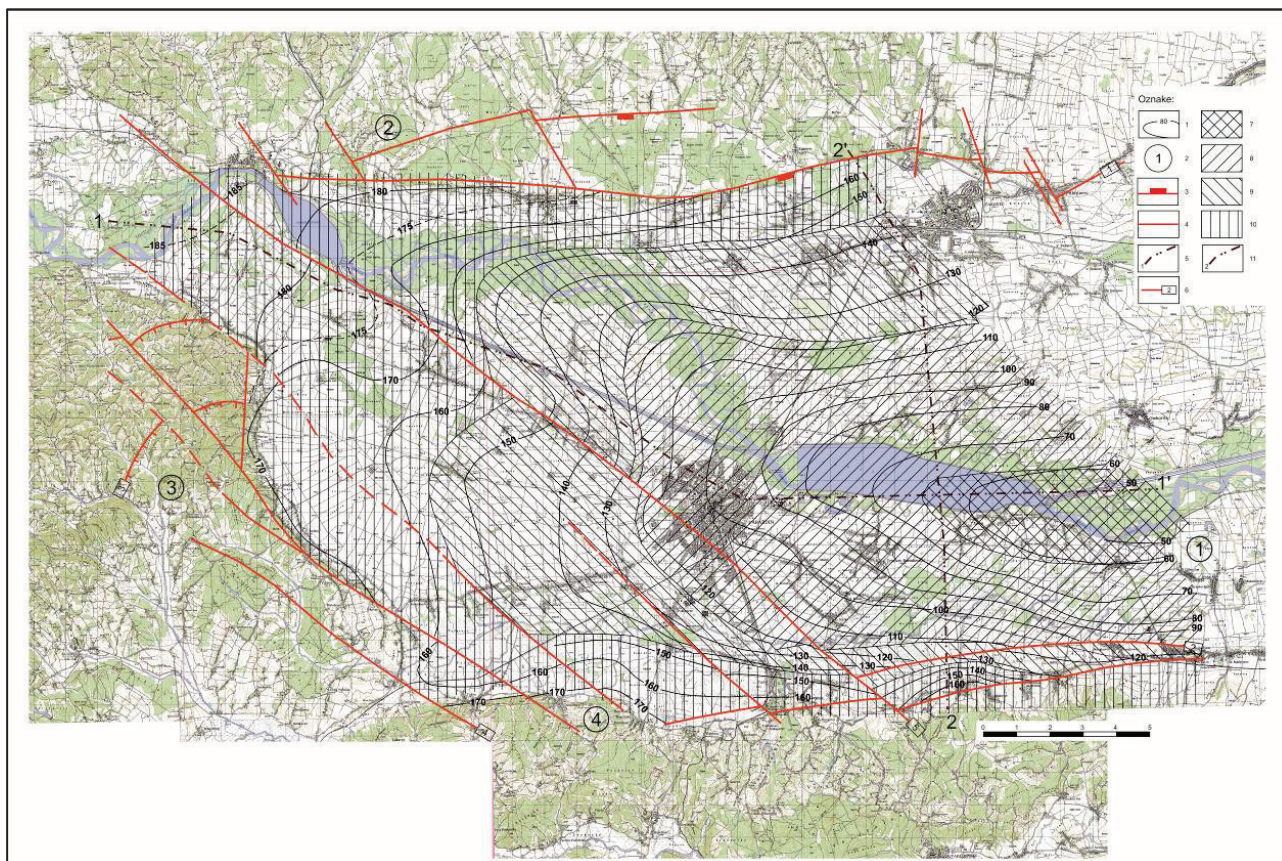
U strukturnom sklopu također su vrlo važni dijagonalni rasjedi pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI). U terenu su markirani terasnim odsjecima, usječenim pravocrtnim dolinama, čak i prvom terasom Drave kod Petrijanca i

Sračinca. Radi se o nekoliko paralelnih rasjeda. Čini se da je glavni rasjed Sokolovec-Tužno-Ptuj (4). Ostali, od kojih se ističe Varaždinski rasjed (5), su mu ogranci ili prateći rasjedi. Zajedno čine jedinstvenu zonu koja presijeca strukture obuhvaćenog područja. Duž strmih ploha tih rasjeda tektonski pomaci su dijagonalni s obzirom na horizontalnu ravninu. Izražena je horizontalna komponenta, pa su rasjedi transkurentni, desni.

Neotektonska aktivnost u razmatranom području je izražena. Sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta u Ivanščici dosežu 1000 m, a u Murskoj potolini -4500 m. Najveći skokovi u zoni Južnog rubnog rasjeda Murske potoline premašuju 1000 m, jugoistočno od Varaždina. Prisutna je najmlađa kvartarna i recentna aktivnost.

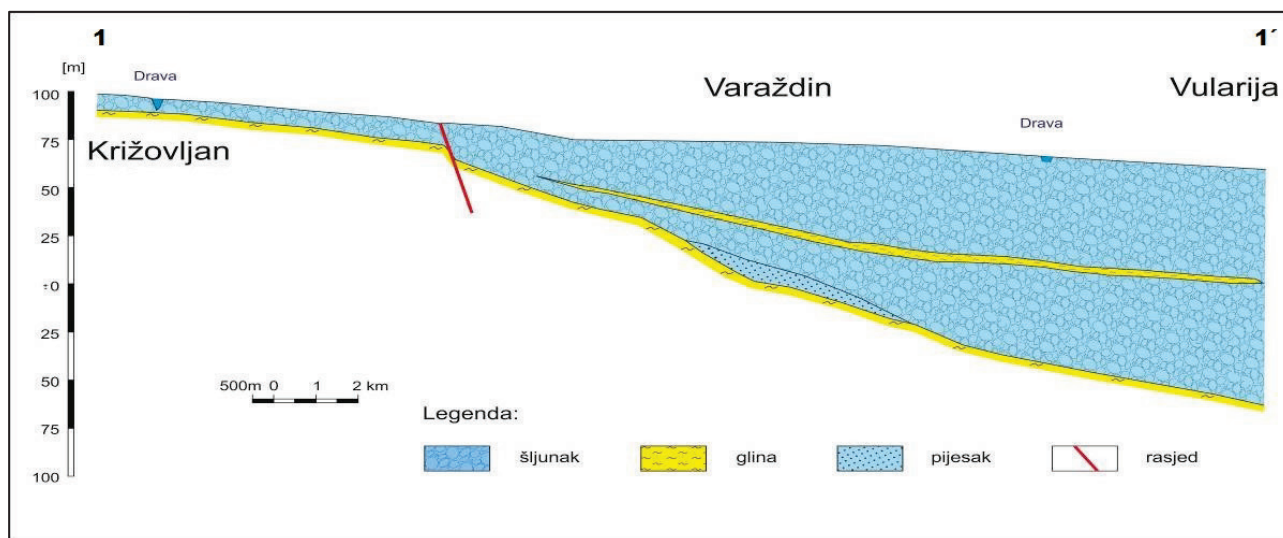
Promatrani vodonosnik presječen je rubnim rasjedima Varaždinske depresije i zonom dijagonalnih rasjeda pravca pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI). Amplitude vertikalnih tektonskih pokreta nakon taloženja naslaga vodonosnika iznose:

- Južni rubni rasjed Murske potoline - oko 60 m;
- Ormoški rasjed - oko 20 m i
- Varaždinski rasjed - oko 10 m.



Slika 1. Strukturna karta po podinskoj plohi Varaždinskog vodonosnika.

Oznake: 1. Izohipse podine vodonosnika; 2. Strukture (1-Varaždinska depresija, 2-Ormož-Selnica, 3-Ravna Gora, 4-Ivanščica); 3. Rasjed s horizontalnim pomakom; 4. Rasjed bez oznake karaktera; 5. Trasa litološkog profila na slici 2; 6. Važniji rasjedi strukturnog sklopa (1-Ormoški rasjed, 2-Južni rubni rasjed Murske potoline, 3-Rasjed duž sjevernog krila Ravne Gore, 4-Sokolovec-Tužno-Ptuj, 5-Varaždinski rasjed); 7. Debljine vodonosnika preko 100 m; 8. Debljine 50-100 m; 9. Debljine 25-50 m; 10. Debljine 0-25 m, 11. Trasa litološkog profila na slikama 7., 8. i 11.



Slika 2. Shematski uzdužni litološki profili duž varaždinskoga vodonosnika trasom Križovljan-Varaždin-Vularija, trasa profila 1-1' na slici 1 (iz Urumović et al. 1990).

Rasjedi su i recentno aktivni, jer se njihove trase odražavaju u pojedinim geomorfološkim oblicima površine. Debljina pješčano-šljunkovitih kvartarnih naslaga, kao i debljine promatranog vodonosnika ukazuju na vertikalne pokrete za vrijeme i nakon taloženja tog kompleksa naslaga. Razabire se da spomenuti rasjedi imaju bitnog utjecaja u rasprostranjenosti i facijesnoj raznolikosti naslaga. U tom je smislu posebno interesantna zona dijagonalnih rasjeda pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI), koji predstavljaju značajnu prepreku u arealu taloženja. U njihovoj zoni dolazi do naglijeg zatanjenja naslaga, pa i prvog šljunčanog sloja, a vjerojatno i izvjesnih facijesnih razlika u odnosu na naslage istaložene oko Varaždina i istočno od njega.

Zbog dijagonalnih osnovnih tektonskih pritisaka na pružanje struktura vjerojatnog azimuta 345-350° drugi sustav rasjeda smicanja slabo je razvijen. Takvi rasjedi vidljivi su na površini oko Vinice i Šenkovca, a pružaju se gotovo S-J. Dijagonalni rasjedi (SZ-JI) u Ormoško-Selničkoj strukturi ne mogu se točnije klasificirati obzirom na važnost i položaj u strukturnom sklopu.

Iz raspoloživih podataka o vodonosniku mogla se ustanoviti vertikalna komponenta tektonskog pomaka duž dijagonalnih rasjeda, ali ne i horizontalna komponenta. Dijagonalni tip tektonskih pomaka duž tih rasjeda zasigurno ima utjecaja u sedimentacijskim uvjetima: mogućem stvaranju leća, eventualnoj unakrsnoj slojevitosti i različitoj sortiranoosti materijala na uzdignutom i spuštenom krilu rasjeda. Te okolnosti mogu imati važan utjecaj prilikom modeliranja vodonosnika, naročito u nepropusnom području Varaždinskog crpilišta.

4. ISTRAŽIVANJA DONJEGA POLUZATVORENOGA VODONOSNIKA

Istraživanja dubljeg vodonosnika na području Varaždina, pa tako i crpilišta Bartolovec potaknuta su namjerom da se ostvare potpuniji učinci zaštite vodonosnika. Za taj vodonosnik okolnim istraživanjima pretpostavljeni su povoljni uvjeti.

Prva istraživanja drugog vodonosnika pokrenuta su 90-tih godina (Urumović et al. 1990, 1996, 2001; Hlevnjak 1991). Tom je prilikom načinjeno četiri strukturno-piezometarske bušotine kojima su potvrđene ranije pretpostavke. Drugi vodonosnik se pojavljuje ispod glinovitog proslojka i proteže se na dubinskom intervalu od 57,5 do 101 m dubine. U podini vodonosnika nabušene su glinovite naslage.

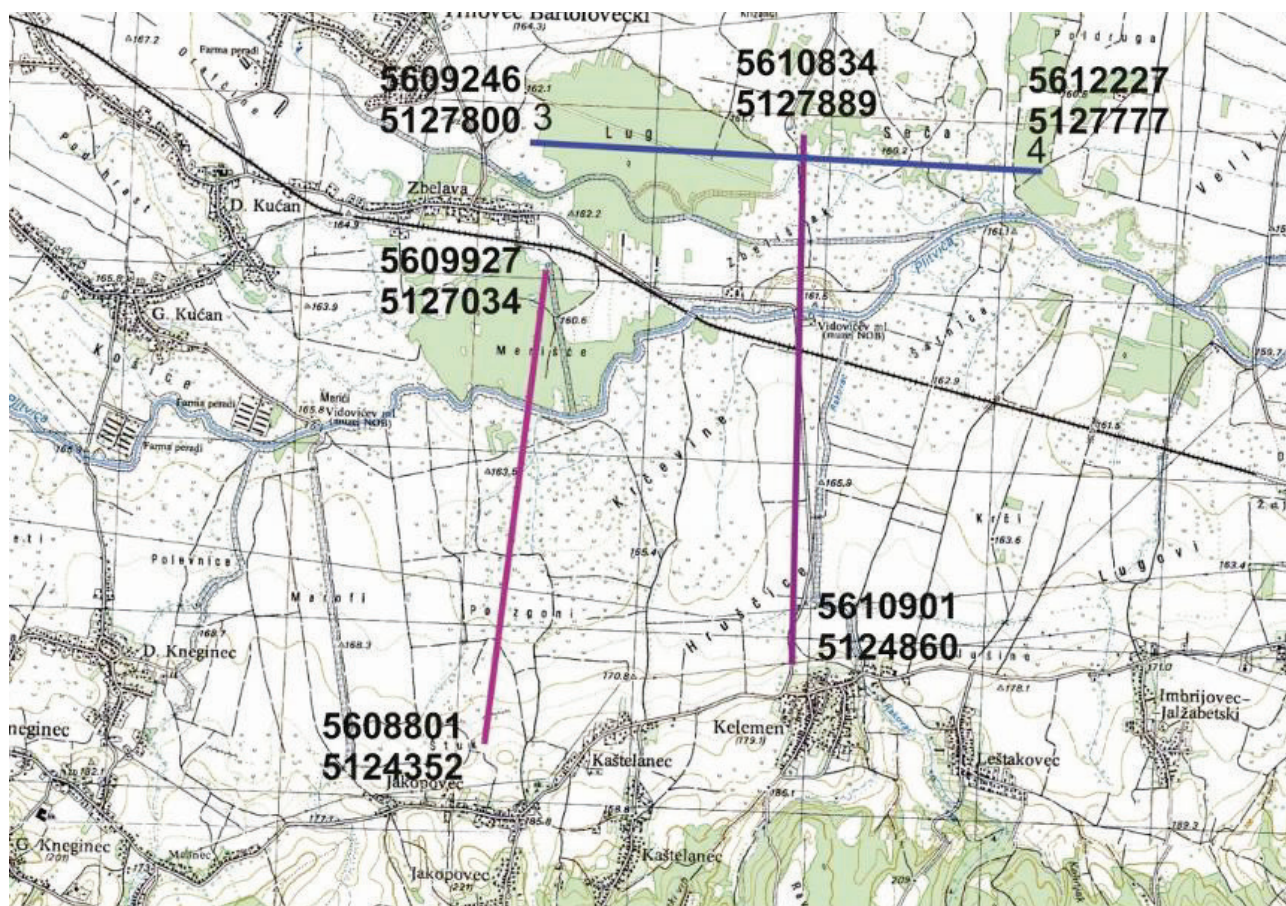
Novija istraživanja pokrenuta su tijekom 2013. godine. Provedena su geofizička mjerenja i izvedene istraživačko-piezometarske bušotine. Istraživanja su se provodila u području između akumulacije i južnih rubnih područja vodonosnika, u širem području crpilišta Bartolovec (Hlevnjak & Andročec 2013). Ova su istraživanja imala za cilj provjeriti rasprostiranje glinovitog međusloja i pretpostavku kako ovaj međusloj prema južnim rubnim područjima isklinjuje. Istraživanja su pokrenuta jer se prema nekim pokazateljima pojavila nedoumica izostaje li u pojedinim zonama ovaj međusloj.

4.1. Geofizička mjerenja

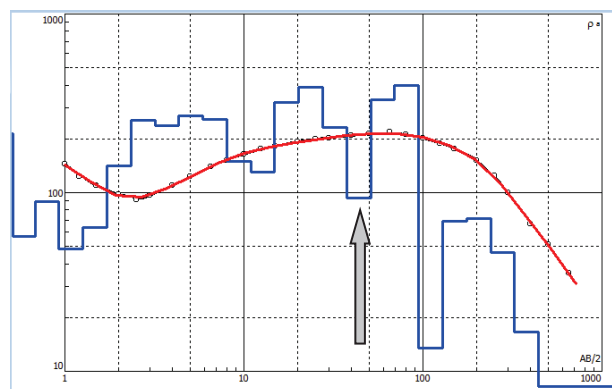
Za potrebe rasprostiranja glinovitog proslojka provedeno je geoelektrično profiliranje s tri profila (Hlevnjak & Andročec 2014). Načinjena su dva profila geoelektričnim sondiranjem s ukupno osamnaest geoelektričnih sondi dubinskog zahvata AB/2=650 m, te jedan presjek geoelektričnom tomografijom dubinskog zahvata 120 m. Geoelektrični profili su postavljeni od južnog ruba vodonosnika prema sjeveru, a električna tomografija okomito na njih smjerom pružanja istok-zapad (slika 3).

Obrada i interpretacija registriranih prividnih električnih otpornosti, utvrđenih mjerenjem na lokaciji Schlumbergerovim mjernim rasporedom, provedena je pomoću računala programom IPI2win. Interpretacijom se dobivaju dijagrami za geoelektrične sonde, iz kojih proizlaze tablice kojima je predstavljen mogući litološki raspored, odnosno dubinsko rasprostiranje naslaga.

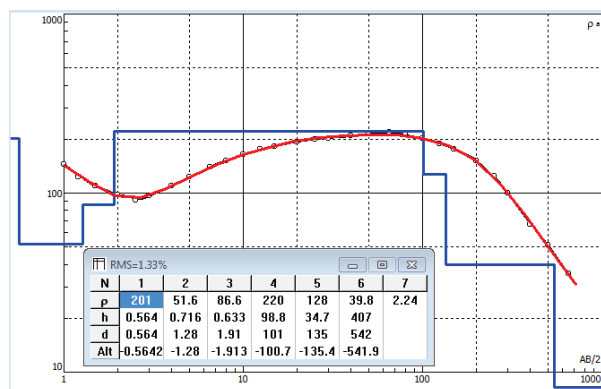
Istraživanja su bila usmjerena na detektiranje pojave i debljine glinovitog međusloja.



Slika 3. Trase geoelektričnih profila.

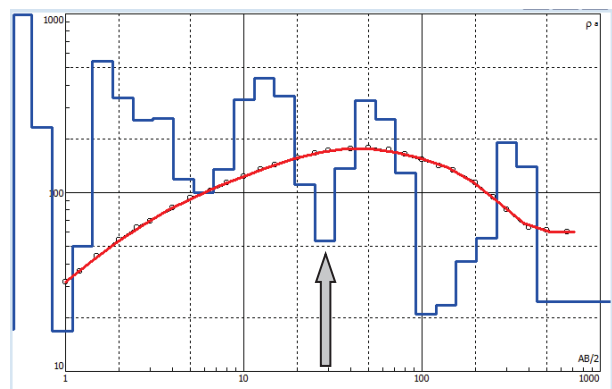


a.

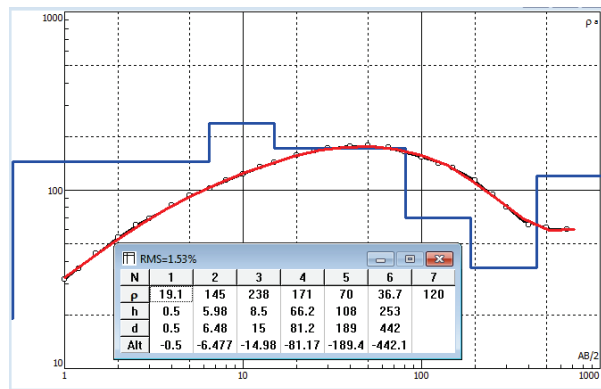


b.

Slika 4. Dijagram i prognozna tablica geoelektrične sonde GSB-1



a.



b.

Slika 5. Dijagram i prognozna tablica geoelektrične sonde GSB-2

Prilikom interpretacije s više od 20 slojeva (suvremenije aplikacije) uočen je u saturiranom sloju šljunka nagli pad otpornosti na dubini od 40 m i ispod 100 m što najvjerojatnije upućuje na spomenuti proslojak gline. Iz interpretacije je vidljivo kako se on proteže do približno 50 m (slike 4a i 5a). Na slici 4a i 5a (interpretacija s više od 20 slojeva) također je uočen u sloju šljunka nagli pad otpornosti na dubini od približno 30-50 m) što također upućuje na spomenuti glineni proslojak. Iz interpretacije je vidljivo kako se njegova debljina kreće oko 5 do 7 m (slike 4b i 5b).

Obrada i interpretacija registriranih prividnih električnih otpornosti metodom geoelektrične tomografije, koje su snimljene na profilu označenom plavom bojom na slici 3, korišten je program za 2D inverzno modeliranje RES2DINV (ver. 3.71), (Geotomo Software). Inverznim modeliranjem nastoji se pronaći model otpornosti u podzemlju koji će se najbolje slagati s mjerenim vrijednostima.

Slika 6 prikazuje dvodimenzionalni presjek rasporeda otpornosti materijala gdje je na apscisi udaljenost u metrima na mjerenom presjeku, a na ordinati dubina zahvata i kvalitativne promjene materijala po dubini.

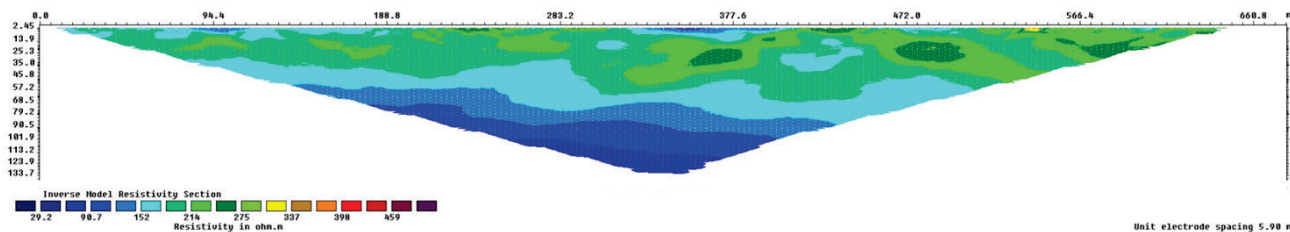
Na interpretiranim geoelektričnim presjecima na osnovu električnih otpornosti moguće je generalno

pretpostaviti tri litološka člana, odnosno sredine ili zone. U prvoj zoni otpornosti se kreću u rasponu od 10 Ω m do 90 Ω m. Takve vrijednosti otpornosti upućuju na klastične sedimente gline, prahove, prašinate gline, pjeskovite gline i lapor. Navedeni materijali na profilima tomografije zamijećeni su u površinskoj zoni, do dubine maks. 5 m, a iznad RPV. Materijali sa sličnim otpornostima ponovno se pojavljuju na dubini većoj od 120 m gdje se vjerojatno radi o laporu, koji čini podinu vodonosniku.

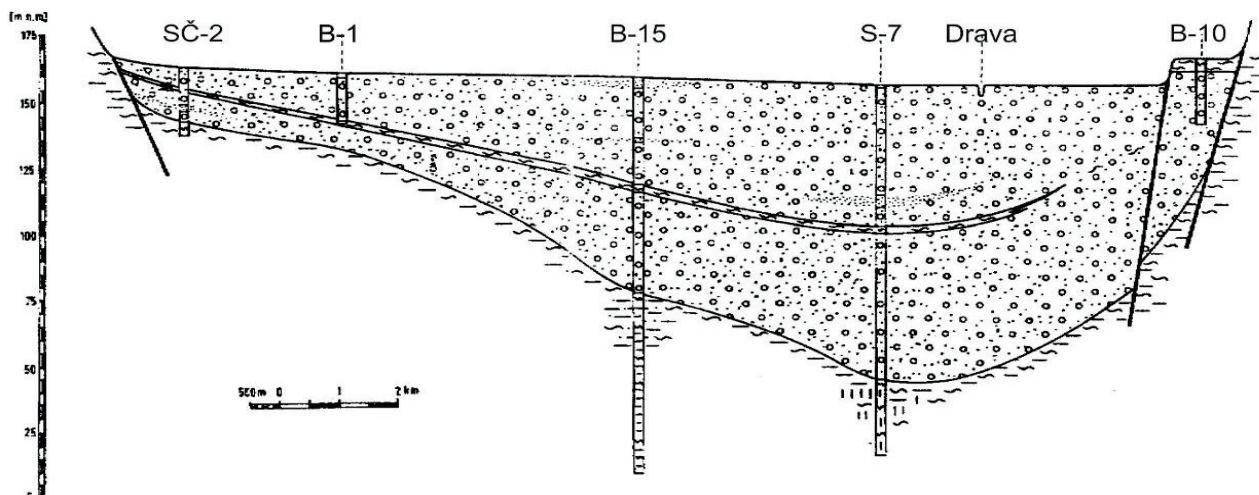
Drugu zonu, odnosno drugi litološki član, predstavljaju otpornosti od 90 do 150 Ω m. Prema tim otpornostima u ovoj zoni mogu biti zastupljeni pijesci, pjeskoviti šljunci i sitnozrnati šljunci, ispod RPV.

Otpornosti veće od 150 Ω m čine treću litološku zonu. Područja s takvim vrijednostima otpornosti u ovom slučaju opisuju se kao srednjezrnati do krupnozrnati šljunci, s time da su oni s otpornostima do otprilike 300 Ω m saturirani vodom, dok su oni s većim otpornostima suhi i detektirani su u pripovršinskim zonama, iznad RPV.

Gledajući od lijeve prema desnoj strani slike 6 vidljivo je kako se dubina do laporovite podine postepeno povećava od istoka prema zapadu.



Slika 6. Profil ERT-BARTOLOVEC izmjeren metodom geoelektrične tomografije na području Bartolovca (označen plavom linijom na slici 3).



Slika 7. Poprečni litološki profil naslaga iz ranijih istraživanja (Urumović et al. 1990); trasa profila na slici 1.

4.2. Rekonstrukcija geološke građe istraživačkim bušenjem

Po provedenim geofizičkim istraživanjima izvedene su istraživačke bušotine prema dobivenim rezultatima (Hlevnjak & Andročec 2013, 2014). Izvedeno je sedam istraživačko piezometarskih bušotina. Bušenjem se pokazala dobra korelacija s geofizičkim mjerenjima. U svim bušotinama je nabušen glinoviti proslojak debljine oko 5 m, izgrađen od masne do prašinate gline, a u nekim zonama pojavljuje se kao jako zaglinjeni sitni pijesak.

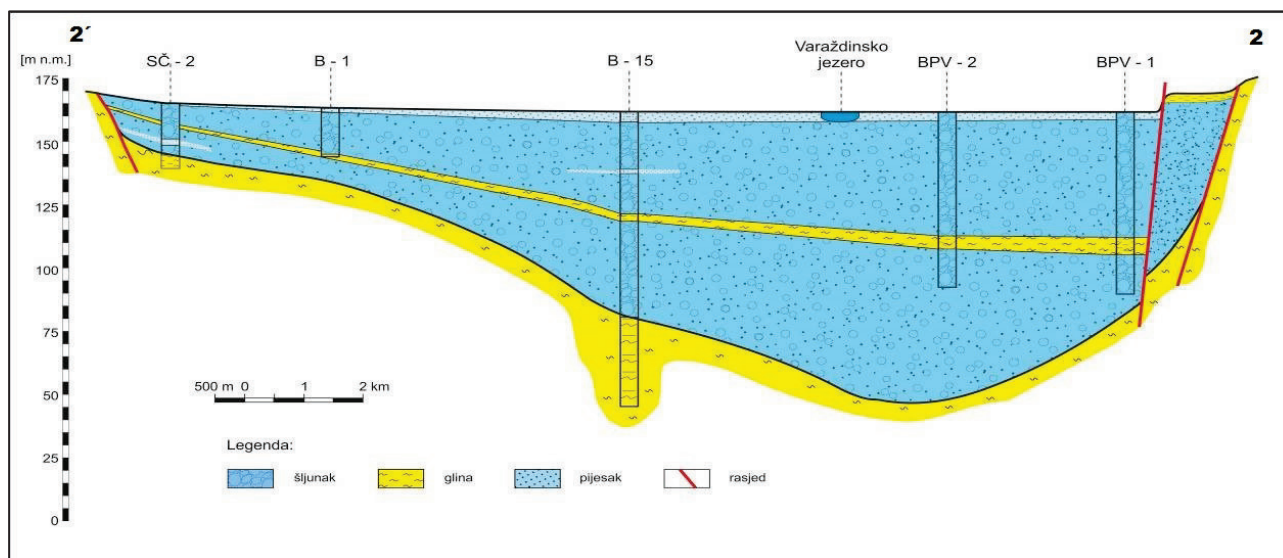
Bušenjem se pokazalo kako glinoviti proslojak ne isklinjuje prema južnom glavnom rasjedu što se ranije pretpostavljalo (slika 7).

Poprečnim profilom kroz varaždinski vodonosnik koji prolazi područjem Bartolovca (slika 8) pokazalo se kako

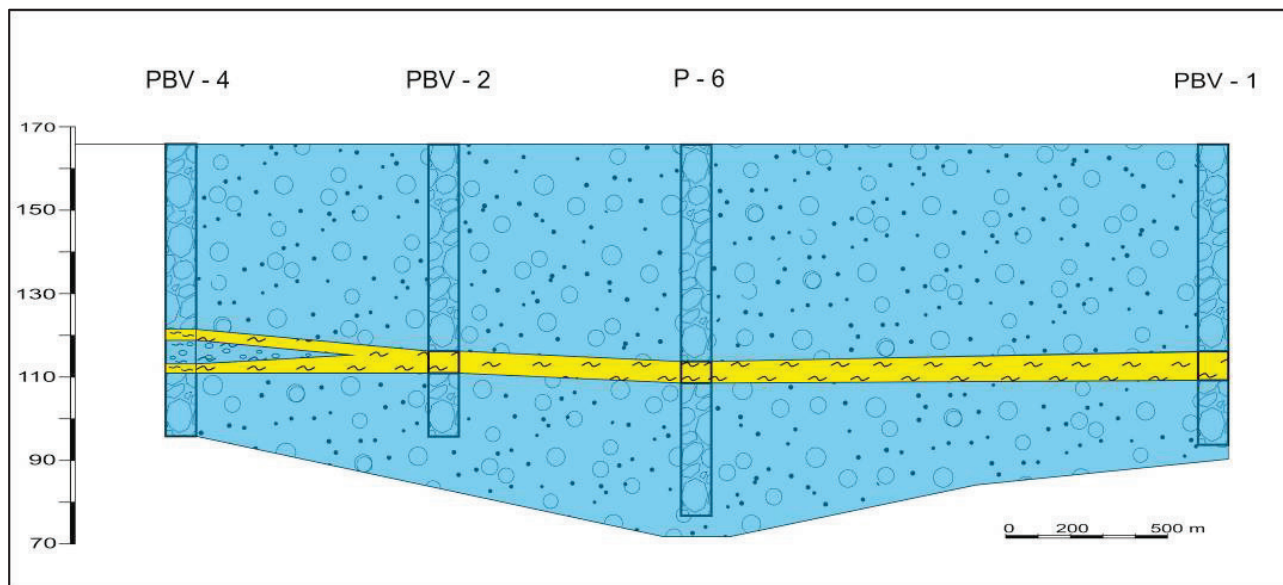
ovaj glinoviti proslojak svojim nagibom prati podinu vodonosnika, a u području gdje vodonosnik polako oplićava, nastavlja istim nagibom i blago zadebljava. Ostala je nepoznanica nalazi li se ovaj glinoviti proslojak i iza glavnog potolinskog rasjeda s obzirom na to da u ovoj zoni nema istraživačkih bušotina.

Sljedeća posebnost pojavljivanja ovog vodonosnika se pojavila u području istraživačke bušotine koja je izvedena u blizini varaždinskog jezera (slika 9).

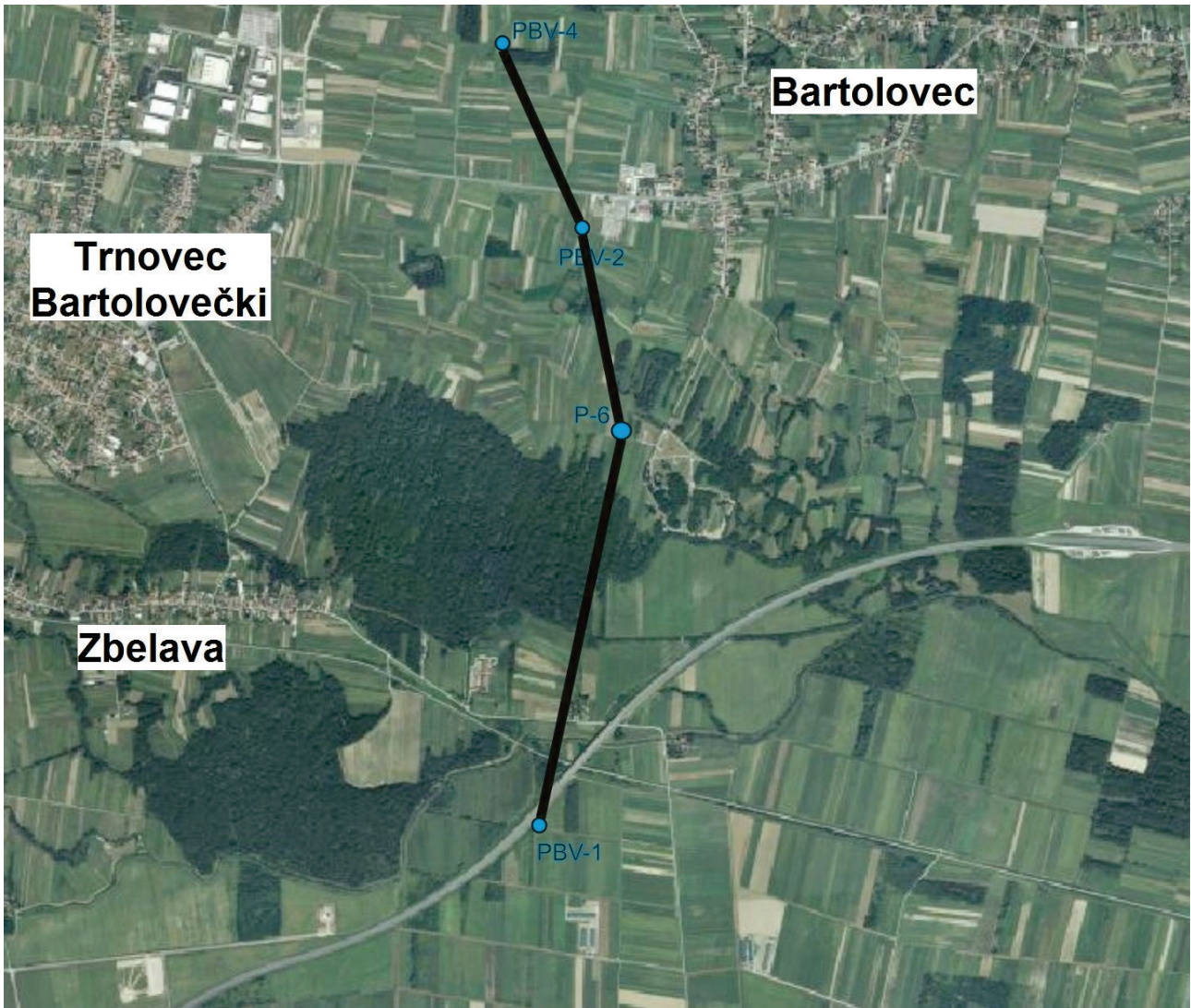
Na profilu se zapaža kako u području sjeverno od Bartolovca glinoviti proslojak zadebljava i dijeli se u dva tanja proslojka između kojih se javlja zaglinjeni šljunak. Tako bi se moglo pretpostaviti kako se u sjevernom području vodonosnika, sjeverno od jezera pojavljuju dva tanja vodonosnika, ali bi se to moglo potvrditi tek istraživačkim bušenjem.



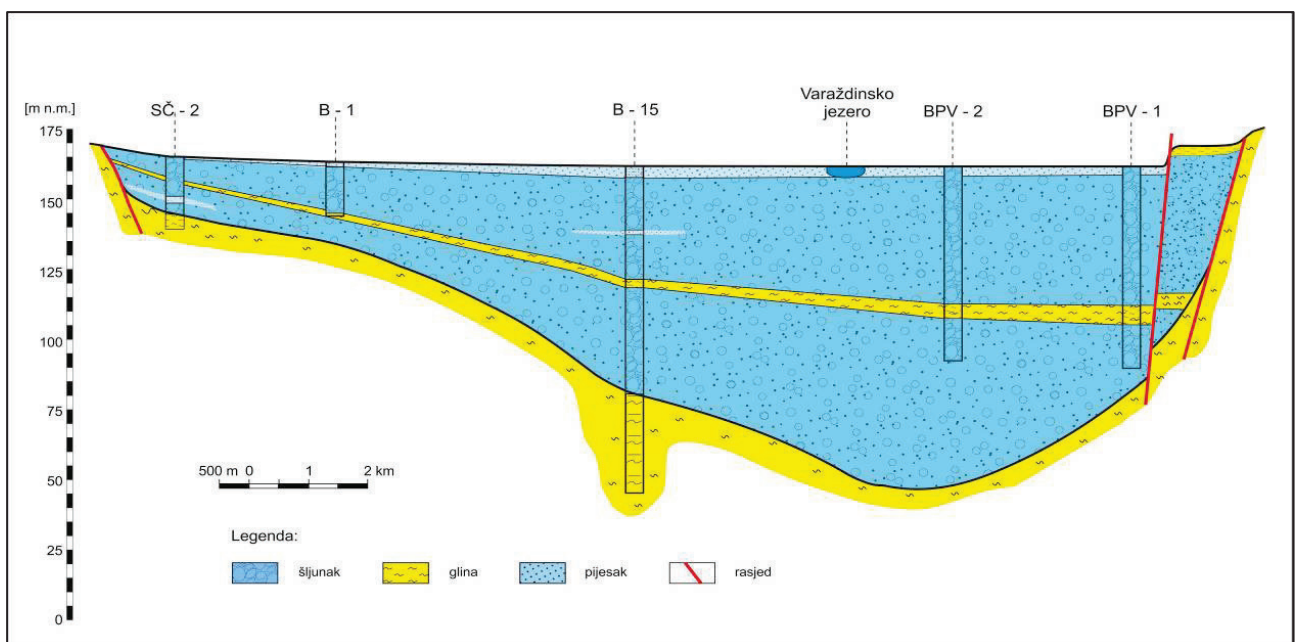
Slika 8. Poprečni litološki profil naslaga konstruiran na tragu ranijih profila; trasa profila 2-2' na slici 1.



Slika 9. Poprečni litološki profil korelacije naslaga južno od varaždinskog jezera; trasa profila na slici 1.



Slika 10. Položaj litološkog profila sa slike 9.



Slika 11. Pretpostavljeno pružanje glinovitog proslojka u rubnim dijelovima vodonosnika.

5. ZAKLJUČNE RASPRAVE

Naslage šljunka i pijeska istaloženih u prostranoj Dravskoj dolini Varaždinskoga bazena uvjetovali su formiranje Varaždinskoga vodonosnika. Ove šljunčane naslage su vjerojatno srednje i gornjopleistocenske i holocenske starosti. U njima se rijetko pojavljuju sitnije frakcije (glina, prah i prašinsti pijesak) i to uglavnom kao tanke leće i proslojci. Vodonosnik je izdužen približno paralelno generalnom tijeku rijeke Drave, a debljina mu se povećava od zapada prema istoku. Bočne granice vodonosnika su uz rub okolnoga prigorja i u pravilu su rasjedne.

Pojava leća naslaga gline i praha vrlo je rijetka, no u regionalnom smislu važna je pojava proslojka gline, praha i prašinstoga pijeska, koji je nabušen u brojnim bušotinama širega područja Varaždina i u Međimurju. Dubina zalijeganja ovoga sloja kreće se oko 20 m kraj Svibovca, a prema istoku postupno tone, pa je na području Varaždina na 42 do 55 m dubine. Debljina mu nije velika, rijetko premašuje 5 m. U području Petrijanca ovaj sloj uklinjuje, pa izostaje u bušotinama zapadnih i jugozapadnih predjela. U svakom slučaju svakako se radi o značajnom diskontinuitetu uvjeta taloženja i može se reći da je formiran polupropusni međusloj koji dijeli šljunčani vodonosnik u dva vodonosna sloja.

Ove regionalne hidrogeološke okolnosti važne su kako u promišljanju zahvaćanja podzemnih voda iz gornjega i donjega vodonosnika, tako i na promišljanje, a i provedbu zaštite podzemnih voda.

Ranije se pretpostavljalo kako je glinoviti proslojak ponegdje tanji od 1 m ili isklinjava, a da mu se debljina kreće od 2 do 4 m. Novo provedena istraživanja su pokazala kako je u promatranom području on ravnomjerno zastupljen jednakom debljinom, a da obrnuto od pretpostavki, u nekim zonama i zadebljava.

Geofizička mjerenja u ovakvim uvjetima, gdje se unutar debelih šljunčanih naslaga pojavljuje tanki glinoviti proslojak, u ranijim istraživanjima nisu dala rezultata. Ova, nova istraživanja su uz korištenje novih računalnih alata pokazala dobru korelaciju geofizičkih mjerenja s istraživačkim bušenjima. Svakako su opravdala njihovo provođenje i pomogla u usmjeravanju istraživanja.

Ukupno gledajući, ova su istraživanja imala vrlo značajnu ulogu u konačnom zaključivanju o pojavnosti glinovitog međusloja. Ostala je jedino nepoznanica u južnim rubnim područjima. Ako bi se koristila analogija postignutih rezultata o rasprostiranju glinovitog proslojka u odnosu na ranije pretpostavke, moglo bi se zaključiti kako se ovaj glinoviti proslojak može pratiti do samog ruba vodonosnika.

U hidrogeološkom smislu ova nepoznanica može riješiti osnovnu dilemu da li je u tim rubnim dijelovima vodonosnika moguće "ulijevanje" onečišćenih površinskih voda, a onda i dalje putovanje onečišćenja prema crpilištima. Na toj je pretpostavci rekonstruiran poprečni profil litološke korelacije sa slike 8 i prikazan na slici 11.

6. LITERATURA

Hlevnjak, B. (1991): Studija karakteristika pokusno-eksploatacijskog zdenca crpilišta "Bartolovec".

Hlevnjak, B., Andročec, V. (2013): Vodopskrbni sustav Varaždina, Crpilište Bartolovec, Izvedba dva nova duboka zdenca, Program radova na izvedbi piezometarskih bušotina, Hydroexpert, Zagreb.

Hlevnjak, B., Andročec, V. (2013): Vodopskrbni sustav Varaždina, crpilište Bartolovec, Znanstveno-stručna analiza lokacije i izrada idejnog rješenja zdenca ZP-9, Hydroexpert, Zagreb.

Hlevnjak, B., Andročec, V. (2014): Vodopskrbni sustav Varaždina, Crpilište Bartolovec, Znanstveno stručna analiza izvedbe istraživačko-piezometarskih bušotina, Hydroexpert, Zagreb.

Hlevnjak, B., Andročec, V. (2014): Vodopskrbni sustav Varaždina, Crpilište Bartolovec, Hidrogeološka znanstveno stručna analiza onečišćenja podzemne vode, Hydroexpert, Zagreb.

Miletić, P., Urumović, K. & Capar, A. (1971): Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske. Geol. vjesnik 24, 183-191, Zagreb.

Prelogović, E. & Velić, J. (1988): Kvarterna tektonska aktivnost u zapadnom dijelu Dravske potoline. Geol. vjesnik, 41, 237-253, Zagreb.

Šarin, A., Urumović, K. (1986): Hidrogeološka karta, M 1:200.000. Vodopriv. radna org. vodnog područja Drave i Dunava, Osijek i Geološki zavod, Zagreb.

Šestanović, S. (1969): Geologija kvartara šireg područja Drave u okolici Varaždina s kratkim osvrtom na hidrogeološke karakteristike voda. Diplomski rad, 44 str., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Šimunić, AN., Pikija, M. & Hećimović, I. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100000, list Varaždin, Sav. geol. zavod, Beograd.

Šimunić, AN., Pikija, M., Hećimović, I. & Šimunić, AL. (1982a): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100000. Tumač za list Varaždin, Sav. geol. zavod, Beograd.

Urumović, K. (1971): O kvartarnom vodonosnom kompleksu na području Varaždina. Geol. vjesnik 24, 183-191, Zagreb.

Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D. (1990): Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika. Geol. Vjesnik, 43, 149-158, Zagreb.

Urumović, K., Hlevnjak, B., Duić, Ž., Andročec, V. (2001): Hidrogeološka studija razvitka crpilišta "Bartolovec", Konačno izvješće. Hydroexpert, Zagreb.