



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET
ZAVOD ZA GEOLOGIJU I GEOLOŠKO
INŽENJERSTVO

(Pierottijeva 6, 10000, Zagreb)



Sveučilište u
Zagrebu

HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA POTENCIJALNIH VODONOSNIKA RUBNOG DIJELA VUKOMERIČKIH GORICA I NJIHOVOG ODNOSA SA JUŽNIM DIJELOM ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA



VODITELJ PROJEKTA:

Prof. dr. sc. Ivan Dragičević

DEKAN:

Prof. dr. sc. Zoran Nakić

Zagreb, prosinac 2016.

PROJEKTNI ZADATAK: HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA POTENCIJALNIH VODONOSNIKA RUBNOG DIJELA VUKOMERIČKIH GORICA I NJIHOVOG ODNOSA SA JUŽNIM DIJELOM ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA

NARUČITELJ: HRVATSKE VODE (Ulica grada Vukovara 220, Zagreb)

IZVRŠITELJ: RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET (Pierottijeva 6, Zagreb)
HRVATSKI PRIRODOSLOVNI MUZEJ (Demetrova 1, Zagreb)

VODITELJ PROJEKTA: Prof.dr.sc. Ivan Dragičević, dipl.ing.geol.

SURADNICI: Prof.dr.sc. Darko Mayer, dipl.ing.geol.

Prof. dr. sc. Davor Pavelić

Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac

Prof. dr. sc. Tatjana Vlahović

Doc. dr. sc. Jasna Orešković

Mag.ing. geol. Ivica Pavičić

Dr. sc. Iva Mihoci

Dr. sc. Draško Holcer

Dipl. ing. geol. Dragan Bukovac

Saša Šipek, geol.teh.

Jurica Rašić, teh.

Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. TALOŽNE, STRATIGRAFSKE I TEKTONSKE KARAKTERISTIKE VUKOMERIČKIH GORICA.....	7
2.1. Povijest geoloških istraživanja Vukomeričkih gorica.....	11
2.2. Površinski podaci.....	12
2.2.1. Geološka karta Vukomeričkih gorica.....	12
2.2.2. Litološka građa.....	14
2.2.3. Suvremena površinska istraživanja.....	17
2.3. Dubinski podatci	19
2.3.1. Bušotinski podatci	19
2.3.2. Geoelektrična ispitivanja	23
3. REKONSTRUKCIJA GEOLOŠKIH ODNOSA I STILA TALOŽENJA NA ISTRAŽIVANOM DIJELU VUKOMERIČKIH GORICA.....	23
4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA KONTAKTA VUKOMERIČKIH GORICA I ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA	30
4.1. Geofizičke metode istraživanja	30
4.1.1. Električna tomografija	30
4.1.2. Refleksijska seizmika.....	32
4.2. Terenska mjerenja.....	36
4.3. Obrada i interpretacija podataka	37
4.4. Prikaz rezultata.....	41
4.5. Zaključak geofizičkih mjerenja	44
5. GEOLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI ODNOSI U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA (izrada geološke-hidrogeološke karte).....	46
5.1. Litostratigrafski odnosi.....	48
Pliokvarter (Pl,Q)-šljunci, pijesci, siltovi i gline	48
Prapor (les) (l;Q)-silt, sitni pijesak i glina	48
Deluvij-proluvij (d,pr;Q)- siltovi, pijesci, šlunci i gline	49
Aluvij (a;Q)-šljunci i pijesci (samo u profilima).....	49
5.2. Strukturni odnosi.....	50
5.3. Hidrogeološka svojstva litostratigrafskih članova	54
6. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	61

6.1. Oborine.....	61
6.2. Evapotranspiracija.....	62
6.3. Površinsko otjecanje.....	63
6.4. Bilanca vode.....	67
6.5. Vodonosnici.....	70
Zona 1 „Rakov Potok“	72
Zona 2 „Razomka-Širanivići“	74
Zona 3 „Karasmani-Prevendari-Đerđići-Premužići“	75
Zona 4 „Bencekovići-Babići“	77
Zona 5 „Ašpergeri“	78
Zona 6 „Starjak-Grančari“	79
Zona 7 (Dragonožec).....	80
6.6. Razine podzemne vode.....	83
6.7. Izvori.....	87
7. EKOLOŠKA VALORIZACIJA PROSTORA VUKOMERIČKIH GORICA OD RAKOVOG POTOKA DO DONJEG DRAGONOŠČA	89
8. ZAKLJUČAK	94
Okvirni sadržaj (program) daljnjih istraživanja.....	96
Očekivani doprinos.....	97
Literatura:	98
Prilozi:.....	102

Popis slika:

Slika 1.1. Karta potencijalnih područja za buduća detaljna istraživanja iz DRAGIČEVIĆ et al., 2014. Područje „A“ predmet je ovog istraživanja.	5
Slika 1.2. Karta područja istraživanja.	6
Slika 2.1. Paleogeografska rekonstrukcija Paratethysa i Sredozemnog mora u srednjem miocenu (POPOV et al., 2004).	7
Slika 2.2. Geološka vremenska ljestvica Paratethysa u usporedbi sa svjetskom geološkom vremenskom ljestvicom (NEUBAUER et al., 2015).	8
Slika 2.3. Današnji geografski položaj Panonskog bazena s označenim položajem Vukomeričkih gorica.	8
Slika 2.4. Paleogeografska rekonstrukcija pliocena s naznačenim položajem jezera Slavonija (MANDIĆ et al., 2015; NEUBAUER et al., 2015).	10
Slika 2.5. Stratigrafija miocena i pliocena Sustava Panonskog bazena (MANDIĆ et al., 2015).	10
Slika 2.6. Geološka karta sjeverozapadnog dijela Vukomeričkih gorica (HGI, 2009).	13
Slika 2.7. Geološki stup pliocenskih i kvartarnih naslaga Vukomeričkih gorica i širega okolnog područja (PIKIJA, 1987a).	14
Slika 2.8. Lokaliteti na području Vukomeričkih gorica pokazuju izmjenu pliocenskih glina, pijesaka i siltova s pojavama flore i faune (Mandić et al., 2015).	18
Slika 2.9. Struktura Dubranec (GALOVIĆ, 1952).	21
Slika 3.1. Blok dijagram prikazuje shematske geološke odnose na području Vukomeričkih gorica i aluvijona rijeke Save.	26
Slika 3.2. Prepletana rijeka (iz Pavelić, 2014).	27
Slika 3.3. Menadrirajuća rijeka (iz Pavelić, 2014).	27
Slika 3.4. Blok dijagram prikazuje shematske hidrogeološke odnose na području Vukomeričkih gorica i aluvijona rijeke Save.	29
Slika 4.1. Wennerov raspored elektroda, A i B strujne elektrode, M i N potencijalne elektrode.	31

Slika 4.2. Geometrija mjerenja za dvodimenzionalnu električnu tomografiju uporabom Wennerovog rasporeda elektroda s jednako udaljenim elektrodama, za slučaj 20 elektroda i 5 dubinskih zahvata. Pseudodubina za nanošenje prividnih otpornosti definirana je s n , koji je umnožak jedinične udaljenosti elektroda (ŠUMANOVAC, 2007).....	32
Slika 4.3. Princip metode višestrukog pokrivanja (CDP-metode).....	33
Slika 4.4. Geometrija snimanja refleksijskom seizmikom. Primijenjen je razmaknuti asimetrični raspored.	37
Slika 4.5. Obradeni refleksijski seizmički profili s reljefom terena.....	40
Slika 5.1. Digitalni model reljefa istraživanog područja.	47
Slika 5.2. Digitalni model reljefa istraživanog područja s rasjedima.	51
Slika 5.3. Karta rasprostranjenosti deluvijalno-proluvijalnih naslaga.....	52
Slika 5.4. Geološko-hidrogeološka karta Vukomeričkih gorica – od Rakovog Potoka do Donjeg Dragonošca.	53
Slika 5.5. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil A-A´po trasi geofizičkog profila TP-1 (Rakov Potok).....	55
Slika 5.6. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil B-B´po trasi geofizičkog profila TP-2 (Ašpergeri).....	56
Slika 5.7. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil C-C´po trasi geofizičkog profila TP-3 (Donji Dragonožec).....	57
Slika 5.8. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil A-A´po trasi geofizičkog profila TP-1 (Rakov Potok).....	58
Slika 5.9. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil B-B´po trasi geofizičkog profila TP-3 (Ašpergeri).....	59
Slika 5.10. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil C-C´po trasi geofizičkog profila TP-3 (Donji Dragonožec).....	60
Slika 6.1. Karta specifičnog otjecanja.....	63
Slika 6.2. Vodotoci istraživanog područja.....	65
Slika 6.3. Minimalni i srednji godišnji protoci Lomnice kod Obreža (Preuzeto iz Plana navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem Grada Zagreba, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2008.).....	66

Slika 6.4. Srednji mjesečni protoci Lomnice kod Obreža (Preuzeto iz Plana navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem Grada Zagreba, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2008.).	66
Slika 6.5. Dotjecanje po zapadnoj/jugozapadnoj granici zagrebačkog vodonosnika (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)	69
Slika 6.6. Dotjecanje Q2 po zapadnoj/ jugozapadnoj granici vodonosnika na sektoru Bestovje/Rakitje –Donji Stupnik za 2000. Godinu. (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)	70
Slika 6.7. Karta lokacija zdenaca i bušotina u istraživanom području.	71
Slika 6.8. Izostate podine pokrova zagrebačkog vodonosnog sustava. (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)	83
Slika 6.9. Karta ekvipotencijala za područje Rakovog Potoka.	84
Slika 6.10. Karta ekvipotencijala za područje Ašpergera.	85
Slika 6.11. Karta ekvipotencijala za područje Donjeg Dragonošca.	86
Slika 6.12. Karta ekvipotencijala visokih voda dijela zagrebačkog vodonosnog sustava južno od kanala Sava Odra na potezu Stupnički Obež-Gornji Lukavec (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)	87
Slika 7.1. Natura područje Stupnički lug (prema http://www.bioportal.hr/gis/).	90
Slika 7.2. Područje Stupničkog luga na području Vukomeričkih gorica važno je mjesto za stanište koda 9160 Carpino betuli - Quercetum roboris. Tipična šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (preuzeto iz Vukelić, 2012).	91

Popis tablica:

Tablica 2.1. Stratigrafija naslaga u dubokim istražnim bušotinama Dubranec-1 i Dubranec-2	19
Tablica 4.1. Koordinate točaka na tomografskim profilima u sustavu HTRS96,	35
Tablica 4.2. Rezultati analize brzina za refleksijski profil REF-1	39
Tablica 6.1. Mjesečne i godišnje vrijednosti isparavanja (po Meyeru).	62
Tablica 6.2. Srednji godišnji protoci Lomnice kod Obreža za period 2000.-2014.(m ³ /s)	67
Tablica 6.3. ZDENAC B-DŠ-1:	72
Tablica 6.4. ZDENAC BMR-6:	72
Tablica 6.5. ZDENAC BMR-5:	73
Tablica 6.6. ZDENAC P-ZP:	73
Tablica 6.7. ZDENAC „Garašić“:	74
Tablica 6.8. ZDENAC BVP-1:	74
Tablica 6.9. ZDENAC SA-4-B-24:	75
Tablica 6.10. ZDENAC BMM:	76
Tablica 6.11. ZDENAC „Derdići“:	76
Tablica 6.12. ZDENAC „Premužići“: ,	77
Tablica 6.13. ZDENAC BB-1:	78
Tablica 6.14. ZDENAC ZA-2:	78
Tablica 6.15. ZDENAC ZG-3-B-20:	79
Tablica 6.16. ZDENAC ZG-3-B-54:	79
Tablica 6.17. ZDENAC ZG-3-B-55:	80
Tablica 6.18. ZDENAC Cerovski 1:	80
Tablica 6.19. ZDENAC Cerovski:	81
Tablica 6.20. ZDENAC Peršinovec:	81
Tablica 6.21. Izvori na ili u blizini istraživanog područja	88

Popis priloga:

1. Lokacije geoelektričnih i refrakcijskih profila
2. Geoelektrični profili
3. Refrakcijski profili
4. Stručna dokumentacija o izvedenim bunarima i zdencima na istraživanom području

1. UVOD

Hidrogeološka istraživanja potencijalnih vodonosnika rubnog dijela Vukomeričkih gorica i njihovog odnosa sa južnim dijelom zagrebačkog vodonosnika, izvedena su prema ugovoru br. 10-105/15. od, 23.12.2015. godine, kojeg su sklopile Hrvatske vode, kao naručitelji, i Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, kao izvršitelj ugovorenih radova, temeljem rezultata natječaja javne nabave.

Radovi su izvedeni sukladno „*Projektnom zadatku* – hidrogeološka istraživanja potencijalnih vodonosnika rubnog dijela Vukomeričkih gorica i njihovog odnosa sa južnim dijelom zagrebačkog vodonosnika“, koji je sastavni dio ugovora. U „*Projektnom zadatku*“ je konstatirano da je u širem području Zagreba sve veća potreba za vodom s jedne strane i sve veća ugroženost podzemnih voda od zagađenja s druge strane. To nameće potrebu za stalnim istraživanjem i pridobivanjem novih količina podzemnih voda. Potencijalno područje novih rezervi podzemne vode prema regionalnim hidrogeološkim pokazateljima nalazi se u južnom dijelu «zagrebačkog vodonosnika». BAČANI, A. i ŠPARICA, M. u svojem radu *Geology of the Zagreb Aquifer System* (zbornik radova International Congress of the Geological Society of Greece, Atena, 2001), postavili su "granicu hidrogeološkog sustava" bilom Vukomeričkih gorica, odnosno površinskom razvodnicom Sava-Kupa, zbog toga jer drugačije nisu mogli objasniti značajne dotoke podzemnih voda s juga u glavni zagrebački vodonosnik gdje se nalaze sva značajnija crpilišta za javnu vodoopskrbu. Tijekom 2014. godine Rudarsko-geološko-naftni fakultet je za potrebe Hrvatskih voda izradio studiju: DRAGIČEVIĆ, i dr. (2014): „Hidrogeološka istraživanja južnog dijela zagrebačkog vodonosnika“. Analizirajući brojne egzaktno podatke došlo se do zaključaka da bi pojedine dijelove „južnog vodonosnika“ i njegove odnose s okolnim formacijama trebalo detaljnije istraživati u svrhu izgradnje novih crpilišta podzemne vode za vodoopskrbu te u svrhu zaštite podzemnih voda. Prvenstveno se to odnosi na područje označeno u studiji slovom „A“, na potezu od Rakovog Potoka na sjeverozapadu pa do Donjeg Dragonošca na jugoistoku. Geološkim i hidrogeološkim istraživanjima potvrđeni su značajni dotoci s juga, dakle iz područja

Vukomeričkih gorica u „zagrebački vodonosnik“. U taložnim stijenama sjevernog, rubnog dijela Vukomeričkih gorica u zoni dodira s aluvijalnim ravničarskim vodonosnikom, nalaze se slojevi koji sadrže značajnije obnovljive zalihe podzemne vode. U području predviđenom za istraživanje (područje „A“, slika 1.1. i 1.2.) ustanovljeno je da postoje podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika koji su procijenjeni na oko 114×10^6 m³/god, što znači da južni dio vodonosnog sustava u tome sudjeluje s oko 23 % u obnavljanju zaliha podzemne vode u „glavnom“ dijelu vodonosnika. Pijesci i šljunci „zagrebačkog vodonosnika“ kvartarne su starosti, i u rasjednom su kontaktu s naslagama gornje paludinskih slojeva koji su pliokvartarne starosti. Paludinski slojevi ovog područja sastoje se od šljunaka, pijesaka i glina te izgrađuju blago nagnute sjeverne padine Vukomeričkih Gorica. O karakteru kontakta ove dvije hidrauličke jedinice i njihovoj hidrauličkoj vezi vrlo malo se zna. Zbog toga je predviđeno da se ovaj kontakt geološki i hidrogeološki istraži i egzaktno potvrde utemeljene pretpostavke. Navedeno je područje nužno i ekološki vrednovati i osvrnuti se na prostor u okvirima Natura 2000 mreže.

U suglasju s naprijed iznesenim, postavljen je i cilj istraživanja kojeg bi trebalo dosegnuti detaljnim istraživanjima, kojima je potrebno ustanoviti mogućnost značajnijih zahvata podzemne vode na području između Rakovog potoka na sjeverozapadu i Donjeg Dragonošca na istoku („A“), te posebno definirati preventivnu zaštitu graničnog područja južnog dijela zagrebačkog vodonosnika i vodonosnih naslaga Vukomeričkih gorica. Isto tako, područje je nužno valorizirati s ekološkog stajališta te utvrditi zastupljenost budućih zahvata u okviru područja Natura 2000.

Na temelju iznesenoga definiran je projektni zadatak koji predviđa da je za utvrđivanje geoloških i hidrogeoloških te hidrauličkih odnosa u području predviđenom za istraživanje potrebno provesti slijedeće radove:

- Prikupljanje, vrednovanje i sustavno prikazivanje dosadašnjih podataka o području predviđenom za istraživanje.
- Izrada geološke (litostratigrafske) i hidrogeološke (litološke) karte područja „A“, 1: 25 000 (cca 25 km²)
- Izrada geološkog i hidrogeološkog stupa

- Izrada geoloških i hidrogeoloških profila (prognoznih), na čijim će trasama biti locirane strukturno-geološke-hidrogeološke istražne bušotine, odnosno piezometri (1:5 000)
- Izrada tumača za geološko-hidrogeološku kartu.
- Određivanje mikrolokacija bušotina (predviđa se izraditi 12 bušotina, po četiri bušotine na tri profila pružanja približno sjever-jug (približna dužina pojedinačnog profila cca 2 km). Na svakom profilu bi po jedna bušotina bila izvedena u južnom rubnom dijelu aluvijalnog vodonosnika a po tri bušotine u pliokvartarnim taložinama sjevernog ruba Vukomeričkih gorica.).
- Izrada prognoznih profila na temelju kojih je potrebno odrediti prognozne dubine bušotina.
- Geofizička mjerenja za definiranje položaja rasjeda (sjeverni rub Vukomeričkih gorica-južni dio zagrebačkog vodonosnika), litološkog sastava i preciznijeg lociranja bušotina.
- Izrada prognoznog trodimenzionalnog geološkog modela s definicijom potencijalnih vodonosnih slojeva u aluvijalnom dijelu vodonosnika i pliokvartarnom dijelu vodonosnika.
- Ekološka valorizacija prostora.
- Izrada Izvještaja o provedenim istraživanjima.
- Izrada programa daljnjih istraživačkih i opažačkih aktivnosti.

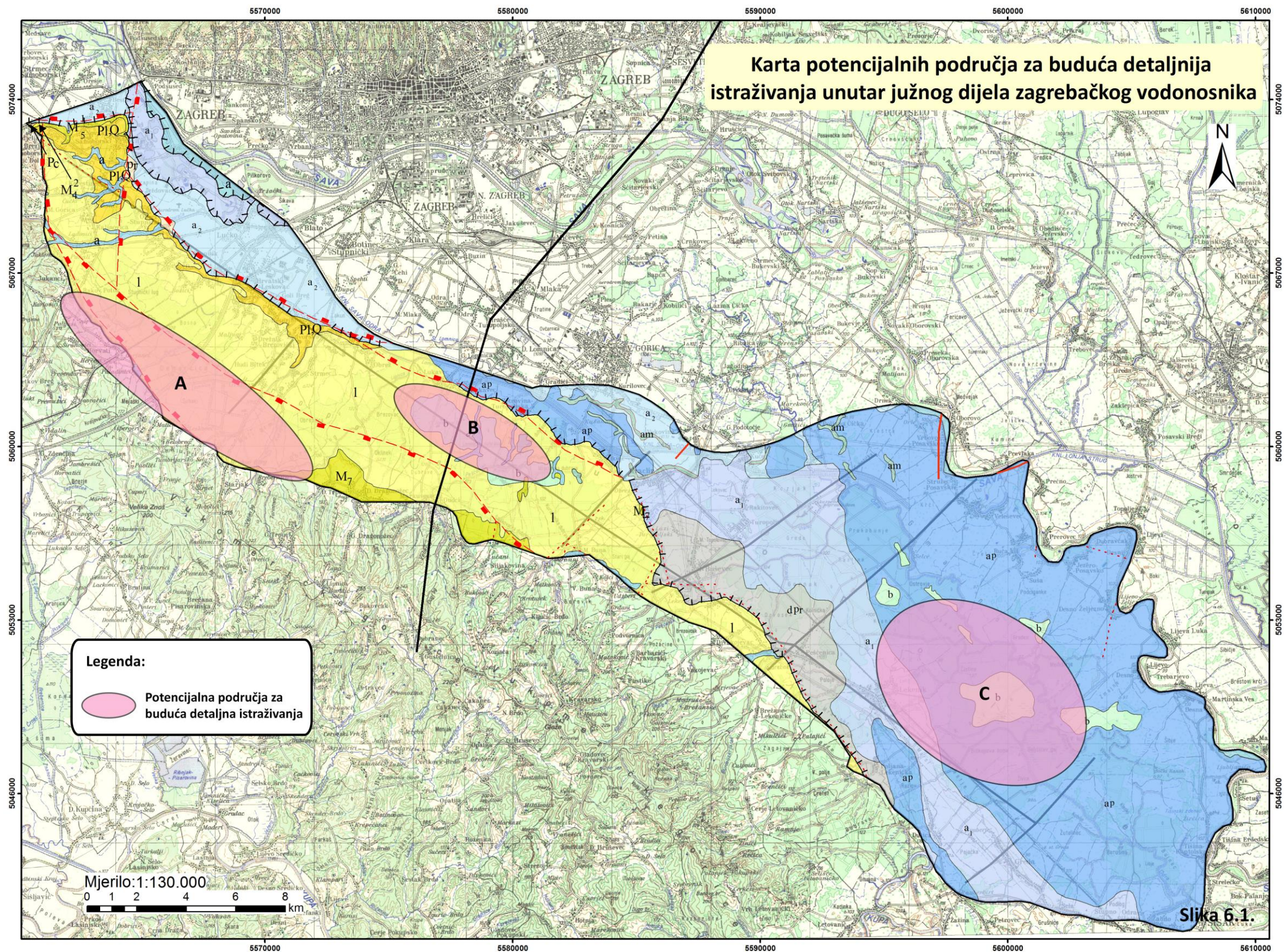
Sveukupni radovi, pripremni kabinetski, terenski radovi (geološko rekognosciranje, geološko i hidrogeološko kartiranje, geofizička mjerenja i druge terenske radove izvele su ekipe Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Prirodoslovnog muzeja iz Zagreba, tijekom 2016. godine. Iste ekipe obavile su i kabinetsku obradu podataka kao i potrebite interpretacije.

Postignuti rezultati istraživanja pomogli su definirati litološku građu pliokvartarnih taloga rubnog dijela Vukomeričkih gorica koja ukazuje na prisustvo vodonosnih slojeva koji imaju hidrogeološku potencijalnost. Ustanovljeno je prisustvo slojeva šljunaka i pijesaka koji su najvjerojatnije taloženi u oksidacijskim paleohidrogeokemijskim uvjetima pa sadrže podzemnu vodu dobre kakvoće. To će

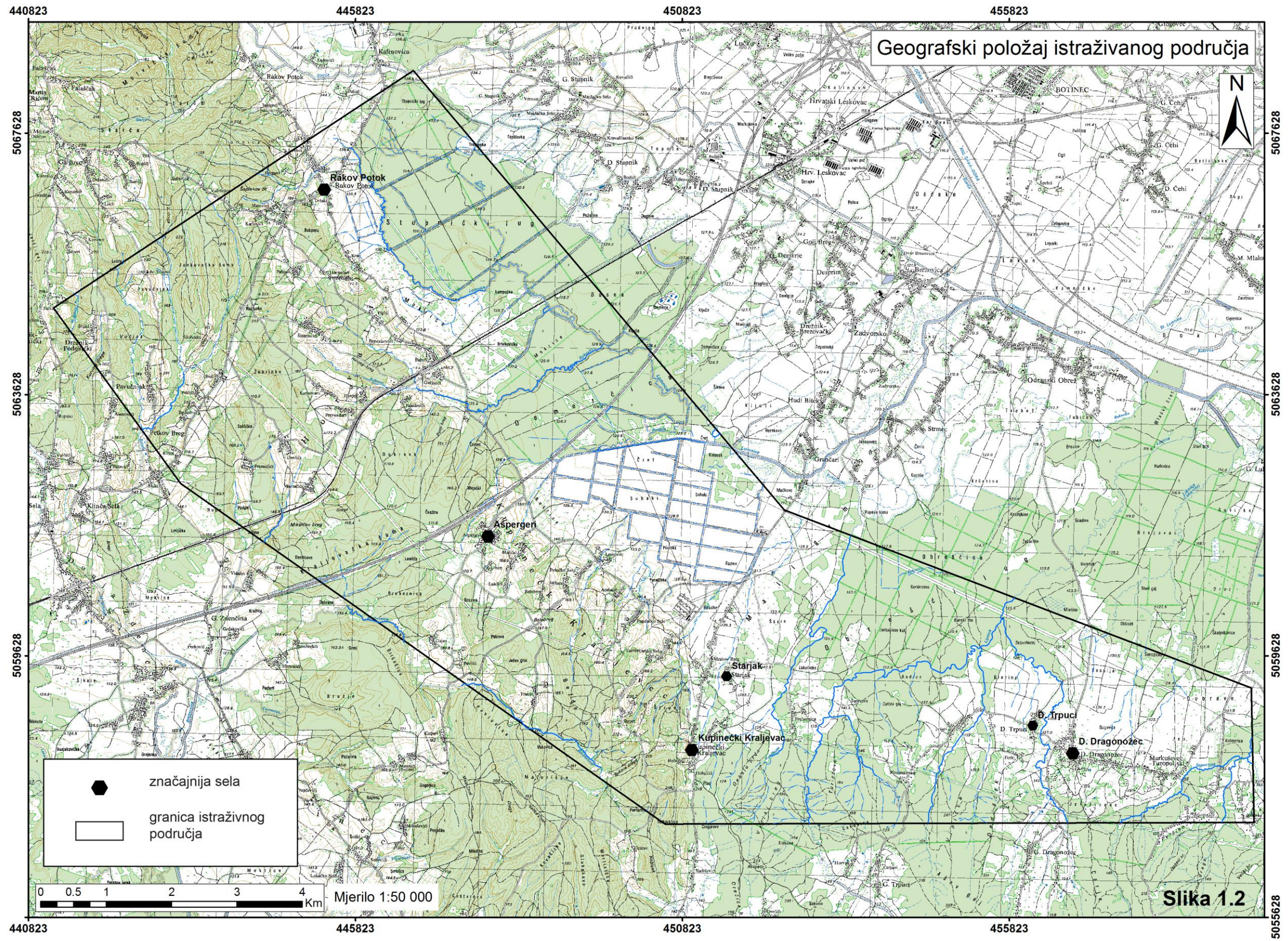
omogućiti planiranje istraživačkih bušotina, određivanje kakvoće podzemne vode i definiranje hidrogeološkog modela.

Područje istraživanja valorizirno je s ekološkog stajališta te je dan osvrt na opravdanost zahvata u Natura 2000 području.

Autori studije zahvaljuju gospodi T. Vojkoviću i T. Mitiću na ustupljenim podacima o bušenim zdencima za lokalnu vodoopskrbu u istraživanom području. Ova vrlo vrijedna dokumentacija je u izvornom obliku prikazana u posebnom prilogu na kraju ove studije.



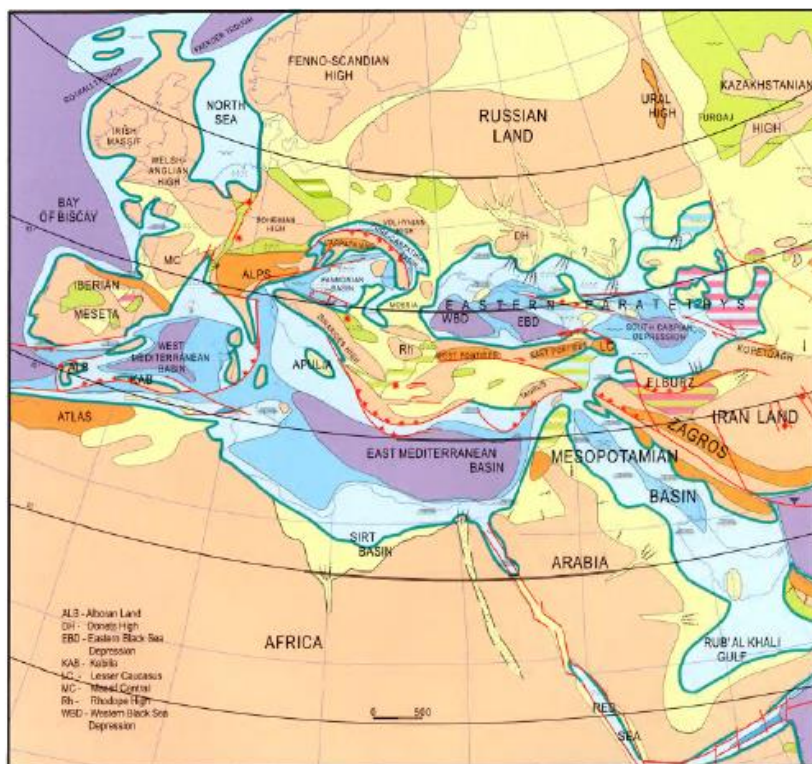
Slika 1.1. Karta potencijalnih područja za buduća detaljna istraživanja iz DRAGIČEVIĆ et al., 2014. Područje „A“ predmet je ovog istraživanja.



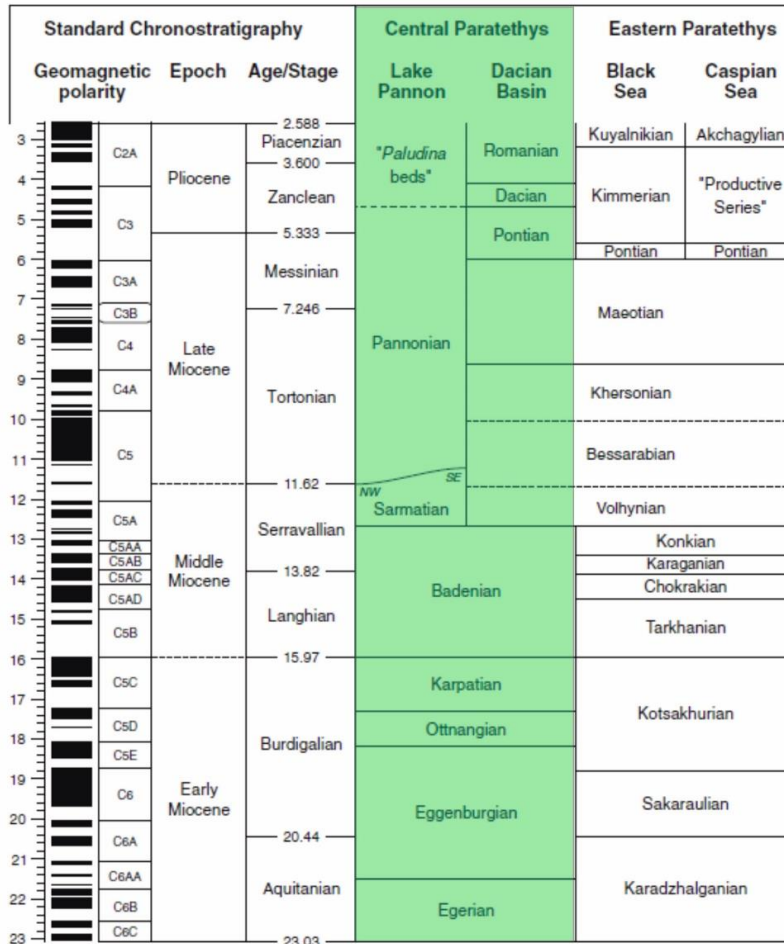
Slika 1.2. Karta područja istraživanja.

2. TALOŽNE, STRATIGRAFSKE I TEKTONSKE KARAKTERISTIKE VUKOMERIČKIH GORICA

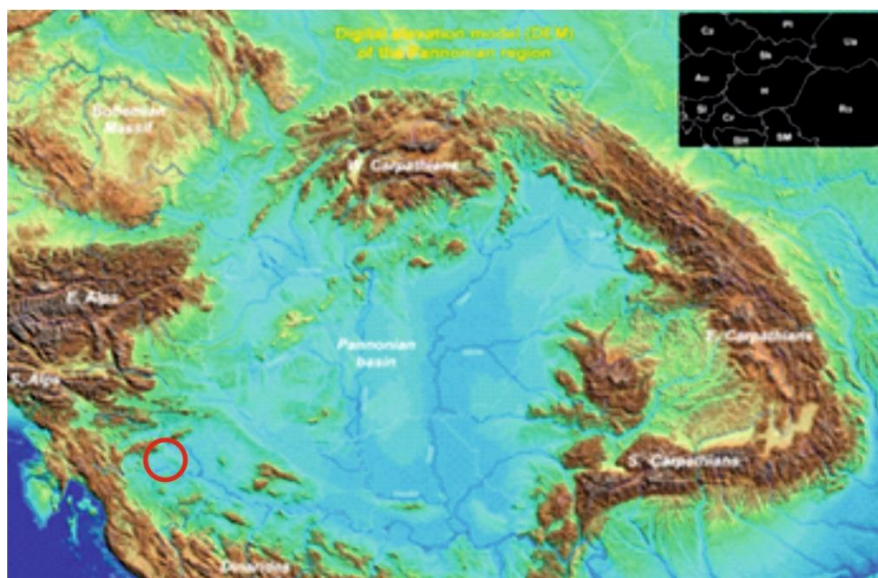
Područje Vukomeričkih gorica geološki pripada Sjevernohrvatskom bazenu kao jugozapadnom dijelu Sustava Panonskog bazena. Zajednički pripadaju bioprovincijama Središnjeg Paratethysa (slika 2.1), koje su se kao i Sredozemno more, počele formirati u eocenu dezintegracijom oceana Neotethysa. Središnji Paratethys obilježen je zasebnim razvojem na kojeg su snažno utjecali ekstrabazenski čimbenici, poput sinsedimentacijske tektonike, eustatskih kolebanja, vulkanizma i klimatskih promjena. Jedna od važnih posljedica bile su povremene uspostave i prekidi veza sa svjetskim morem, individualni transgresivno-regresivni ciklusi i pojave endemizma, što je imalo za potrebu formiranja zasebne regionalne geološke vremenske ljestvice, koja se samo djelomično podudara sa svjetskom geološkom vremenskom ljestvicom (slika 2.2). Ova se regionalna vremenska ljestvica primjenjuje i u kronostratigrafiji Sustava Panonskog bazena, danas geografski okruženog Alpama, Karpatima i Dinaridima (slika 2.3).



Slika 2.1. Paleogeografska rekonstrukcija Paratethysa i Sredozemnog mora u srednjem miocenu (POPOV et al., 2004).



Slika 2.2. Geološka vremenska ljestvica Paratethysa u usporedbi sa svjetskom geološkom vremenskom ljestvicom (NEUBAUER et al., 2015).



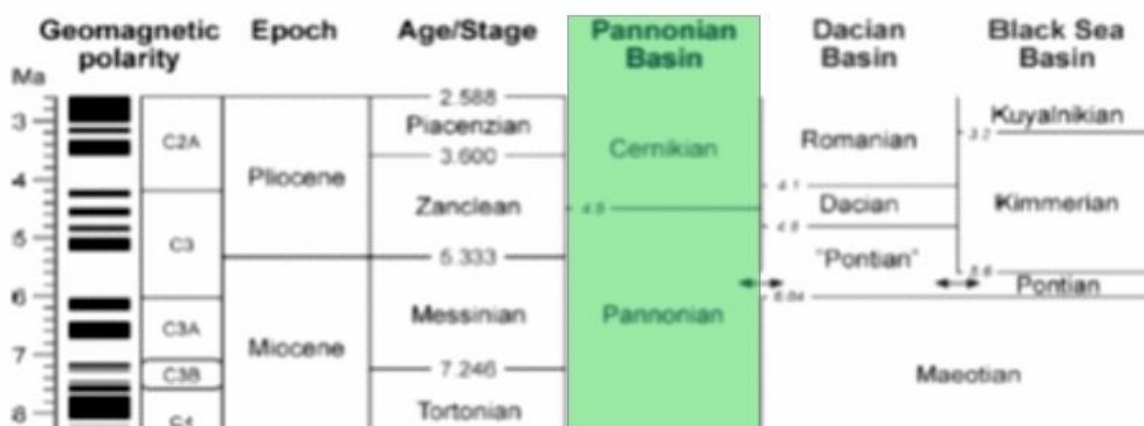
Slika 2.3. Današnji geografski položaj Panonskog bazena s označenim položajem Vukomeričkih gorica.

Sjevernohrvatski bazen počeo se formirati procesima kontinentskog riftanja u otnangu. Izdizanje gornjega plašta uzrokovalo je podgrijavanje Zemljine kore, ekstenziju bazena i normalno rasjedanje (PAVELIĆ, 2001; TOMLJENović & CSONTOS, 2001). Ovi su geotektonski procesi rezultirali razvojem polugraba odvojenih izdignutim blokovima podinskog krila rasjeda. Tako i današnje Vukomeričke gorice predstavljaju relikat ekstenzijskoga podinskog krila rasjeda, koji tektonski i morfološki odvaja Savsku udolinu od Karlovačke udoline. Sinrift faza razvoja bazena trajala je do srednjeg badena. Postrift faza razvija se od gornjeg badena, a traje i danas. Karakterizira ju termalno tonjenje bazena prekinuto dvjema kompresijskim podfazama potaknutim djelovanjem horizontalnog stresa unutar tektonske ploče. Prva kompresija djelovala je na prijelazu iz sarmata u panon, a druga obuhvaća pliocen i kvartar. Ove su tektonske aktivnosti imale za posljedicu tangencijalna i vertikalna kretanja blokova formirajući današnji strukturno-tektonski sklop Sjevernohrvatskog bazena pa tako i područja Vukomeričkih gorica.

Geološka građa Vukomeričkih gorica rezultat je relativno mladih taložno-tektonskih zbivanja. Najstarije naslage pripadaju pliocenskome slatkovodnom taložnom ciklusu koji se počeo razvijati nakon zatvaranja brakičnog jezera Panon (PAVELIĆ, 2001; SAFTIĆ et al., 2003; KOVAČIĆ et al., 2004), kada se na ovom prostoru formiralo jezero Slavonija (OŽEGOVIĆ, 1944; MANDIĆ et al., 2015) (slika 2.4). Tako pliocenski talozi, poznati pod nazivom *Viviparus* naslage, u dubini leže na *Rhomboidea* naslagama. Karakterizirani su raznim varijetetima klastita pa se tako u bočnim i vertikalnim izmjenama u Vukomeričkim goricama nalaze šljunci, pijesci, siltovi i gline, uz proslojke treseta. U tim je naslaga određena brojna slatkovodna makrofauna i mikrofauna. Ove naslage prema novoj stratigrafskoj podjeli miocena i pliocena u Sjevernohrvatskom bazenu pripadaju dobu Cernik (dijeli sa na stariji, srednji i mlađi), u trajanju od prije 4,5 do prije 2 mil. god. pa tako u mlađem dijelu zahvaćaju i dio starijeg pleistocena (slika 2.5) (MANDIĆ et al., 2015). Na rubovima djelomično su prekrivene pliokvartarnim i pleistocenskim klastitima te pleistocenskim praporom.



Slika 2.4. Paleogeografska rekonstrukcija pliocena s naznačenim položajem jezera Slavonija (MANDIC et al., 2015; NEUBAUER et al., 2015).



Slika 2.5. Stratigrafija miocena i pliocena Sustava Panonskog bazena (MANDIC et al., 2015).

U strukturno-tektonskom smislu, Vukomeričke gorice su velika horst-antiklinala izgrađena od više manjih antiklinala izdignuta u kvartaru duž rasjeda paralelnih glavnom Savskom rasjedu. Na površini se uglavnom nalaze *Viviparus* naslage, a sporadično i periglacijalni talozi (PIKIJA, 1987a, 1987b). Prema podacima bušotine Dubranec 2, predmiocenska podloga izgrađena od zelenih kvarc-kloritnih škriljavaca nalazi se na dubini od 863 m, a pripada Jadar-Kopaonik navlaci Unutarnjih Dinarida (GALOVIĆ, 1952; SCHMID et al., 2008). Na podlozi diskordantno leže badenski biogeni vapnenci, koji su pak prekriveni sarmatskim laporima i pješčenjacima, panonskim laporima i cerničkim glinama.

Debljina naslaga cerničkog doba varira između 200 i 450 m uz nagnutost slojeva od 2 do 12°. Naslage srednjeg cernika nisu određene na području Kravarskog niti bušenjem, niti na površini (GALOVIĆ, 1952; GAGIĆ & SOKAČ, 1970; JURKOVIĆ, 1993). Donji Cernik je predstavljen samo zonom *Viviparus kochanskyae*, a prevladavaju gline uz pojavu pijeska i ugljena. Iznad nejasne diskordancije, naslage gornjeg cernika pokazuju erozijski kontakt uz pretaloživanje faune. Izmjenjuju se pjeskovite gline, slojevi lignita i lokalno šljunak. U tim su naslagama određene zone *Viviparus sturi*, *Viviparus hoernesii* i *Viviparus vukotinovici*.

2.1. Povijest geoloških istraživanja Vukomeričkih gorica

Najstarija geološka istraživanja faune Vukomeričkih gorica sežu još iz 19. stoljeća (PILAR, 1873; BRUSINA, 1874; KOCH, 1917). Kasnije, cilj istraživanja postaje potencijalna naftoplinonosnost, uz podjelu gornjopaludinskih slojeva u tri superpozicijska dijela (SOMMERMEYER, 1935). Detaljnim geološkim kartiranjem, postavlja se podjela gornjopaludinskih naslaga u četiri biozone (FILJAK, 1951), a u više navrata, objekt istraživanja bio je i ugljen, koji se javlja unutar paludinskih naslaga (VUKOTINOVIĆ, 1935). Konstatiran je izostanak srednjopaludinskih naslaga i pretpostavljeno taloženje u najdubljim dijelovima sinklinala. I daljnja istraživanja potvrdila su izostanak srednjopaludinskih naslaga, uz interpretaciju transgresivnog odnosa gornjopaludinskih na donjopaludinske naslage (OŽEGOVIĆ, 1952; ŠIMUNIĆ, 1964).

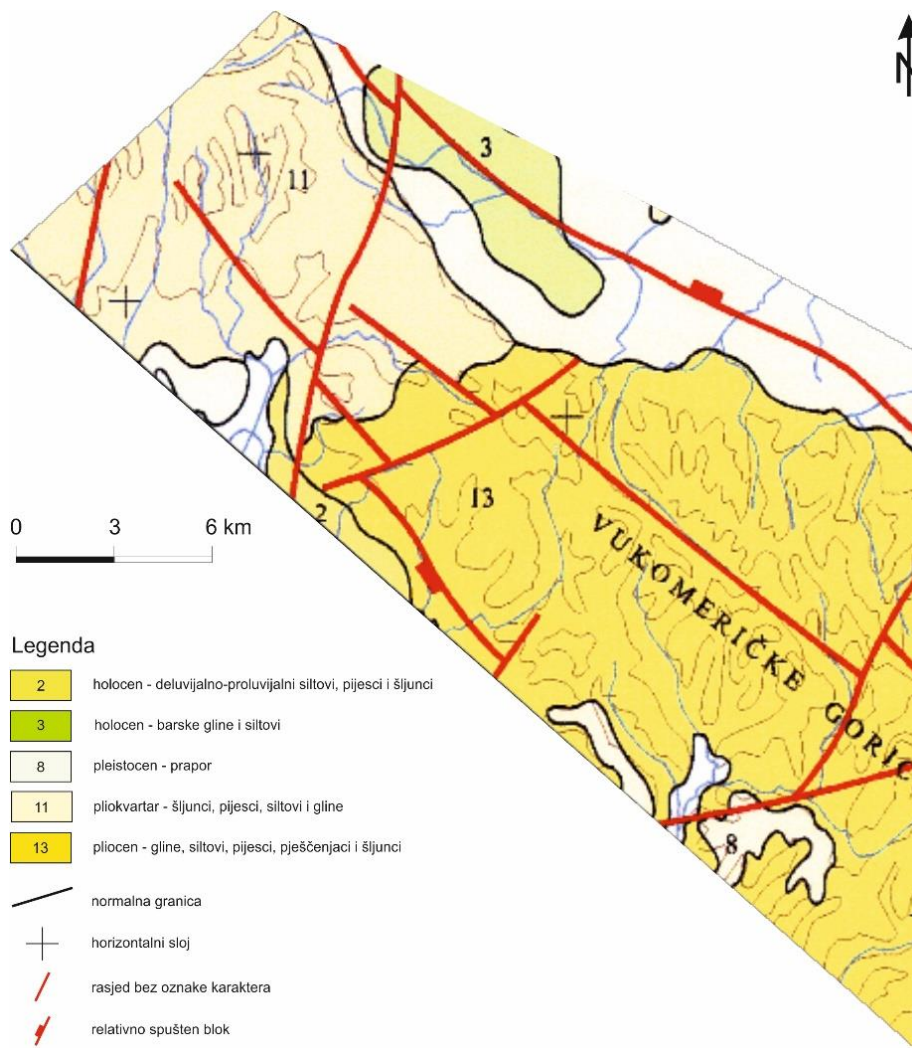
Dalje su uslijedila značajna makropaleontološka i mikropaleontološka istraživanja paludinskih naslaga Vukomeričkih gorica iz jezgara bušotina, a nađeni su ostatci mikromoluska, oogoniji hara i ostrakodi (GAGIĆ & SOKAČ, 1970). U donjopaludinskim naslagama određena je zajednica ostrakoda u kojoj prevladavaju rodovi *Candona*, *Cyclocypris*, *Heterocypris*, *Darwinula*, *Iliocypris*, *Metacypris*, *Caprinotus* i *Cypria*. Konstatiran je i izostanak vrsta koje bi bile karakteristične za pleistocen, čime se potvrđuje pliocenska starost ovih naslaga. Međutim, u naslagama ranije smatranim gornjopaludinskim određeni su rodovi i vrste koje ukazuju na pleistocen. To su *Cypricercus*, *Limnocythere* i *Paralimnocythere*. Vrste koje ukazuju na pleistocen su *Cyclocypris huckei*, *Cyclocypris* ex. gr. *huckei*, *Candona fabeiformis*, *Cyclocypris serena*, *Cypricercus reticulatus* i druge.

Suvremena istraživanja Vukomeričkih gorica bila su usmjerena prema mekušcima i rezultirala su redefiniranjem granice miocen - pliocen te uvođenjem doba cernik u geološku vremensku ljestvicu Središnjeg Paratethysa (MANDIC et al., 2015).

2.2. Površinski podaci

2.2.1. Geološka karta Vukomeričkih gorica

Prema geološkoj karti u središnjim i sjeverozapadnim Vukomeričkim goricama i okolnom području, može se izdvojiti pet stratigrafskih jedinica (slika 2.6). Najstarije naslage pripadaju pliocenu, tj. cerniku (13) i zauzimaju najveći dio, uglavnom morfološki istaknutog dijela terena (HGI, 2009). Njihov donji dio zastupljen je prvenstveno glinama te siltovima, pijescima i pješčenjacima. U gornjem dijelu prevladavaju pijesci i šljunci višeg strujnog režima, uz podređene siltove i gline. Sitnozrnaste su naslage često bogate slatkvodnom makrofaunom i mikrofaunom, a javljaju se i proslojci lignita. Na širem prostoru ove naslage leže na gornjomiocenskim *Rhomboida* naslagama s, pretpostavlja se, diskordantnim kontaktom, iako se ostavlja mogućnost i za kontinuirani slijed (PIKIJA, 1987a). Na njima u diskordantnom odnosu superpozicijski leže pliokvartarni, prvenstveno krupnozrnasti sedimenti (11), tj. šljunci i pijesci te siltovi i gline, uglavnom na blagim padinama terena. Ove su naslage prema fosilnom sadržaju najčešće sterilne pa je određena samo pelud, a na nekim lokalitetima i ostrakodi. Pleistocenu pripada kopneni prapor (8) u kojem prevladava frakcija silta, dok se u manjem udjelu javljaju frakcija pijeska i frakcija gline. Holocenske su starosti gline i siltovi (3) odlagani u barama te siltovi, pijesci i šljunci deluvijalno-proluvijalnog podrijetla (2). Kvartarne naslage se nalaze uglavnom u ravničarskim prostorima Vukomeričkih gorica (HGI, 2009).

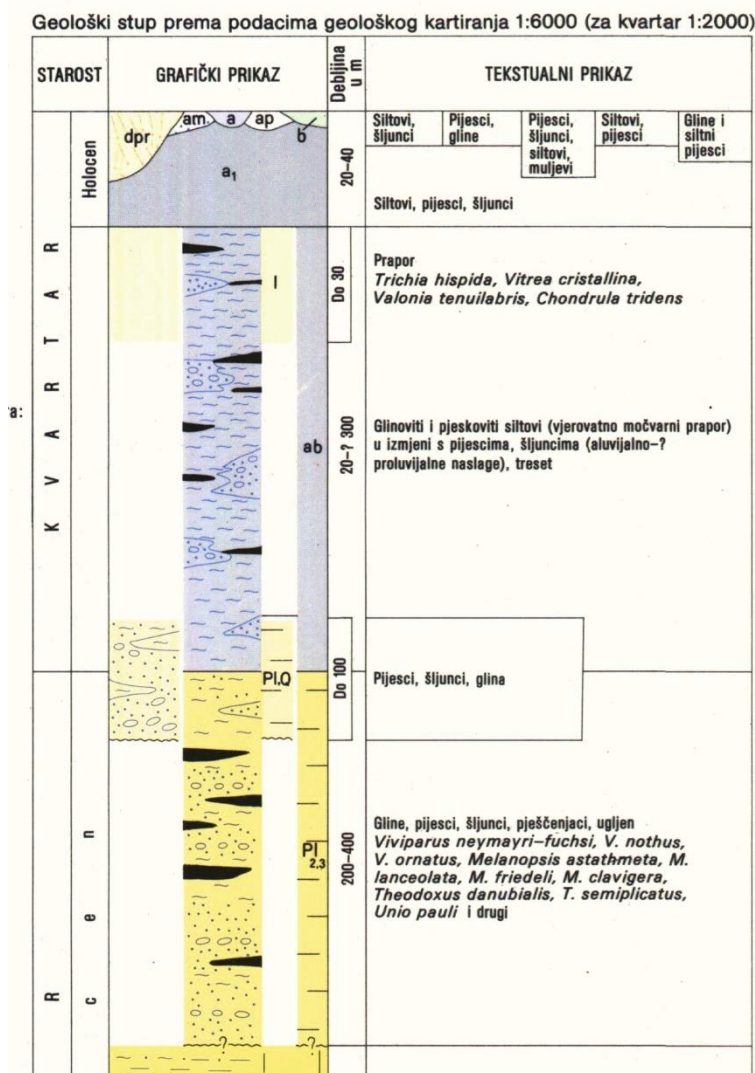


Slika 2.6. Geološka karta sjeverozapadnog dijela Vukomeričkih gorica (HGI, 2009).

Glavna struktura pružanja Vukomeričkih gorica je sjeverozapad - jugoistok i obilježena je uzdužnim rasjedima, dok se na rubovima nalaze tektonski spušteni blokovi, kojima većim dijelom pripadaju aluvijoni rijeke Save i rijeke Kupe, čime su u kontakt dovedene pliocenske naslage s kvartarnim. Ti su rasjedi presječeni rasjedima pružanja sjeveroistok - jugozapad te sjever - jug. Slojevi pliocenskih naslaga uglavnom su horizontalni do subhorizontalni, odnosno vrlo blagog nagiba, orijentirani u raznim smjerovima. Ove strukturne deformacije naslaga rezultat su pliocenske i kvartarne tektonske aktivnosti.

2.2.2. Litološka građa

Litološka građa Vukomeričkih gorica i šireg okolnog područja prikazana je na slici 2.7.



Slika 2.7. Geološki stup pliocenskih i kvartarnih naslaga Vukomeričkih gorica i širega okolnog područja (PIKIJA, 1987a).

Pliocen

Na istraživanom području, pliocenske naslage zauzimaju uzvišeni, središnji dio Vukomeričkih gorica (slika 2.6). Zastupljene su raznim varijetetima klastita: glinama, siltovima, pijescim, pješčenjacima i šljuncima. Ove se naslage nepravilno vertikalno i bočno izmjenjuju u raznim debljinama. U nižem dijelu naslaga

prevladavaju glina, siltovi, pijesci i pješčenjaci, dok se prema gore sve više pojavljuju pijesci i šljunci na račun sitnozrnastijih varijeteta.

Pijesci su raznih nijansi sive, smeđe, zelenkastosive, plavičastosive i žućkastosive boje. Mjestimično su laminirani, a u njima se pojavljuju i sedimentne teksture, poput normalne gradacije, kose i koritne kose slojevitosti, što upućuje na vučni mehanizam prijenosa materijala. Kada se izmjenjuju s glinom, u njihovom donjem dijelu sloja ponekad se nalaze i nepravilni fragmenti erodirane gline. Pijesci su na nekim mjestima manje ili više limonitizirani. Uglavnom nisu litološki homogeni pa sadrže određene količine gline, silta i šljunka. Njihova sortiranost varira od dobre do slabe, a koeficijent simetričnosti je uglavnom manji od 1. Najzastupljeniji mineralni sastojak je kremen, sadržaj čestica stijena varira od 13-54 %, dok su slabije zastupljeni glinenci. Prema sastavu prozirnih teških minerala mogu se izdvojiti tri asocijacije s obzirom na prevladavajuće minerale: epidot - cirkon, cirkon - epidot i granat - epidot, a karakterizira ih nepravilnost pojavljivanja u bočnom i vertikalnom smislu. Najčešći prozirni minerali su rutil, amfiboli, turmalin i staurolit, dok se podređeno pojavljuju disten, andaluzit i kromit.

Šljunci imaju uglavnom dobro zaobljene valutice izgrađene od raznobojnog kremena promjera do 1 cm.

Pješčenjaci leže kao tanki proslojci unutar pijesaka i najčešće su limonitizirani. Mogu se razlikovati krupnozrnasti sivi i smeđi pješčenjaci, koji vjerojatno pripadaju mlađim horizontima pliocenskih naslaga. U geometrijskom smislu, to su nepravilni proslojci unutar pijesaka, petrografski determinirani kao litoareniti. U njihovom sastavu prevladavaju uglate do poluuglate litične čestice vezane kalcitnim cementom. Čestice su uglavnom obavijene prevlakom limonita.

Gline su žute, plave i sive boje. U nižim horizontima gline su najzastupljeniji facijes, koji je u debljinskom smislu 2 - 3 puta značajniji od pijesaka. U višim horizontima je odnos obrnut (ŠIMUNIĆ, 1964).

U pliocenskim naslagama određivana je bogata slatkovodna makrofauna i mikrofauna. Površinski podatci pokazuju da je njihova debljina na širem području Vukomeričkih gorica između 200 i 400 m (PIKIJA, 1987b).

Pliokvartar

Pliokvartarne naslage su široko rasprostranjene u sjeverozapadnom produžetku Vukomeričkih gorica (slika 2.6). Pijesci su razvijeni u raznim nijansama sive, smeđe, crvenkaste i žućkaste boje. U njima se mjestimično zapaža normalna gradacija te kosa slojevitost i paralelna laminacija. Pijesci su glinoviti do šljunkoviti, uglavnom dobro, a rjeđe srednje i slabo sortirani. U mineralnom sastavu prevladava kremen, dok su glinenci i čestice stijena u ujednačenom odnosu. Kemijske analize pokazuju u nekim slučajevima zastupljenost SiO_2 i do 96 %. U sastavu prozirnih teških minerala izrazito prevladava cirkon, a često dolaze granati, amfiboli, disten, staurolit i kromit. Ovaj mineraloški sastav usporediv je s mineraloškim sastavom pliocenskih naslaga.

Šljunci se izmjenjuju s pijescima, a na nekim lokalitetima i prevladavaju. Valutice su zaobljene i poluzaobljene, rjeđe ugate, a promjer im je do 3 cm. Izgrađene su od radiolarijskog rožnjaka, silicificiranog tufa, kremenca i pješčenjaka.

Gline su proslojci i leće različitih debljina unutar pijesaka. Boja im je od svijetlosive do smeđe, ovisno o sastavu.

Pješčenjaci, kao proslojci unutar pijesaka, uglavnom su sitnozrnasti, a vezivo im je izrazito limonitno.

Konglomerati su češći u donjim horizontima pliokvartarnih naslaga, dok je prema gore vidljiva tendencija njihove manje zastupljenosti. Sastav je sličan šljuncima, a pojavljuje se i kvarcit. Vezivo je često limonitizirano, a pojavljuje se i glina.

U pliokvartarnim naslagama nije nađena makrofauna. Nađeni su neodređivi ostrakodi, dok palinološke analize ukazuju na stratigrafski raspon pliocen - pleistocen. Smatra se da debljina ovih naslaga ne prelazi 100 m (PIKIJA, 1987b).

Pleistocen

Pleistocenu pripada prapor koji se nalazi u središnjim i rubnim dijelovima Vukomeričkih gorica (slika 2.6). taložen je vjetrom na starijim stratigrafskim jedinicama. U praporu snažno prevladava silt, dok udio čestica pijeska iznosi 7-10 %, a gline 4-14 %. Sortiranost mu je srednja do slaba, a koeficijent simetričnosti ispod 1. Dominantni mineralni sastojak je kremen, a uz glinence i čestice stijena javlja se i muskovit. Sadržaj kalcita iznosi do 13 %. U sastavu prozirnih teških minerala

prevladava epidot, prate ga granat, cirkon, amfiboli, rutil i turmalin, a zastupljeni su još disten, coisit, staurolit i titanit. Na nekim lokalitetima povećan je udio granata. U glinovitoj frakciji određeni su kremen, kaolinit, montmorilonit, ilit i glinenci. U praporu je nađena zajednica kopnenih puževa. Debljina mu varira i ne prelazi 30 m (PIKIJA, 1987b).

Holocen

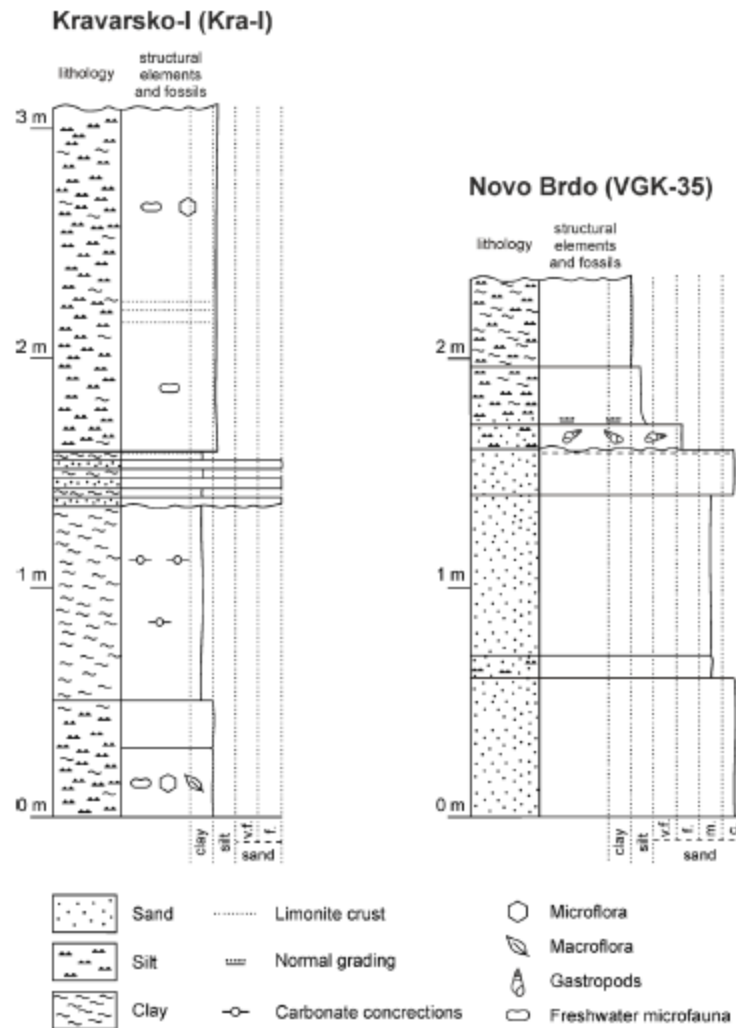
Holocenske naslage su barske i deluvijalno-proluvijalne geneze, a zauzimaju rubne dijelove Vukomeričkih gorica (slika 2.6).

Barske su naslage gline i siltovi s različitim sadržajem organske tvari. Barski taložni okoliš predstavlja nekadašnje mrtvaje formirane odsijecanjem od glavnoga riječnog korita. Poplavljivane su samo za najviših razina voda u glavnim tokovima pa su i njihove karakteristike sitnozrnasta sedimentacija i dobri uvjeti za razvoj vegetacije.

Deluvijalno-proluvijalni talozi su siltovi, pijesci i šljunci. Odlagani su postupnim, manje-više stalnim i bujičnim transportom produkata trošenja iz viših u niže područja. Mjestimično grade taložne tijela čunjaste i kupaste morfologije u koje poniru manji bujični tokovi. Debljina im je varijabilna i ne prelazi 10 m (PIKIJA, 1987b).

2.2.3. Suvremena površinska istraživanja

Zadnja detaljnja makropaleontološka istraživanja pliocenskih *Viviparus* naslaga obavljena su na širem prostoru Kravarskog (MANDIC et al., 2015). U naslagama prevladava glina, dok su pijesak, šljunak i lignit podređeni (slika 2.8). U mekušcima, koji uključuju 11 vrsta puževa i dvije vrste školjaka, sedam imaju endemske karakteristike jezera Slavonija, a za neke je načinjena taksonomska revizija. S obzirom na nezavisan razvoj jezera Slavonija, za istraživani slijed naslaga uveden je kat cernik, definiran potpunom taložnom sekvencijom *Viviparus* naslaga. Dva definirana stratigrafska horizonta ograničena donjocerničkim *Viviparus kochanskyae* i gornjocerničkim *Viviparus hoernesii* zonama i dobro se uklapaju u prijašnja regionalna stratigrafska rješenja.



Slika 2.8. Lokaliteti na području Vukomeričkih gorica pokazuju izmjenu pliocenskih gлина, pijesaka i siltova s pojavama flore i faune (Mandic et al., 2015).

Smatra se kako je donjocernička jezerska transgresija nastupila pri 4,3 mil. god., a gornjocernička prije 3,1 mil. god., snažno ukazujući na izmjenu jezerskih taložnih okoliša u pliocenu, vjerojatno upravljanih regionalnim klimatskim promjenama. Druga je jezerska transgresija obilježena razvojem dobro skulpturiranih ljuštura viviparida i poklapa se s Pliocenskim klimatskim optimumom. Od istraženih vrsta mekušaca prevladavaju *Valvata subcarinata*, *Theodoxus semiplicatus*, *Viviparus kochanskyae* n. sp., *Viviparus hoernesii*, *Viviparus aulacophorus*, *Melanopsis clavigera*, *Microlapia clavigera*, *Microlapia friedeli*, *Bythinia vukotinovici*, *Prososthenia? slavonica*, *Lithoglyphus decipens*, *Pisidium solitarum*, *Potomia seljani* itd. (MANDIC et al., 2015).

2.3. Dubinski podatci

2.3.1. Bušotinski podatci

Na području Vukomeričkih gorica i bliže okolice obavljalo se istražno bušenje u više navrata s različitim ciljevima, poput hidrogeoloških radova, istraživanja nafte i plina te istraživanja ležišta ugljena. Prva značajnija dubinska istraživanja rađena su na području Dubraneca. Još je u razdoblju 1940.-1942. njemačka grupa "Seismos" (Hannover) obavila regionalno gravimetrijsko snimanje istočne polovice područja Vukomeričkih gorica, koje je zahvatilo strukture Kravarsko i Dubranec, čime je rekonstruirana zatvorena struktura oblika dome. Kasnije, 1951. godine tadašnji Zavod za geofizička mjerenja u Zagrebu proveo je detaljna gravimetrijska i magnetometrijska mjerenja. Rezultati se poklapaju s prijašnjima, ali su dobiveni i detalji na temelju kojih se moglo interpretirati tektoniku i pretpostaviti dva uzdužna i jedan poprečni rasjed. Magnetska mjerenja dala su sliku različitu od gravimetrijske, a poslužila su kao važan podatak za interpretaciju rasjednih linija i izračuna dubine temeljnog gorja (slika 2.9).

U strukturi Dubranec su 1952. godine načinjene dvije duboke istražne bušotine, Du-1 i Du-2. Probušile su pliocenske i srednjomiocenske naslage i dosegle temeljno gorje (tablica 2.1).

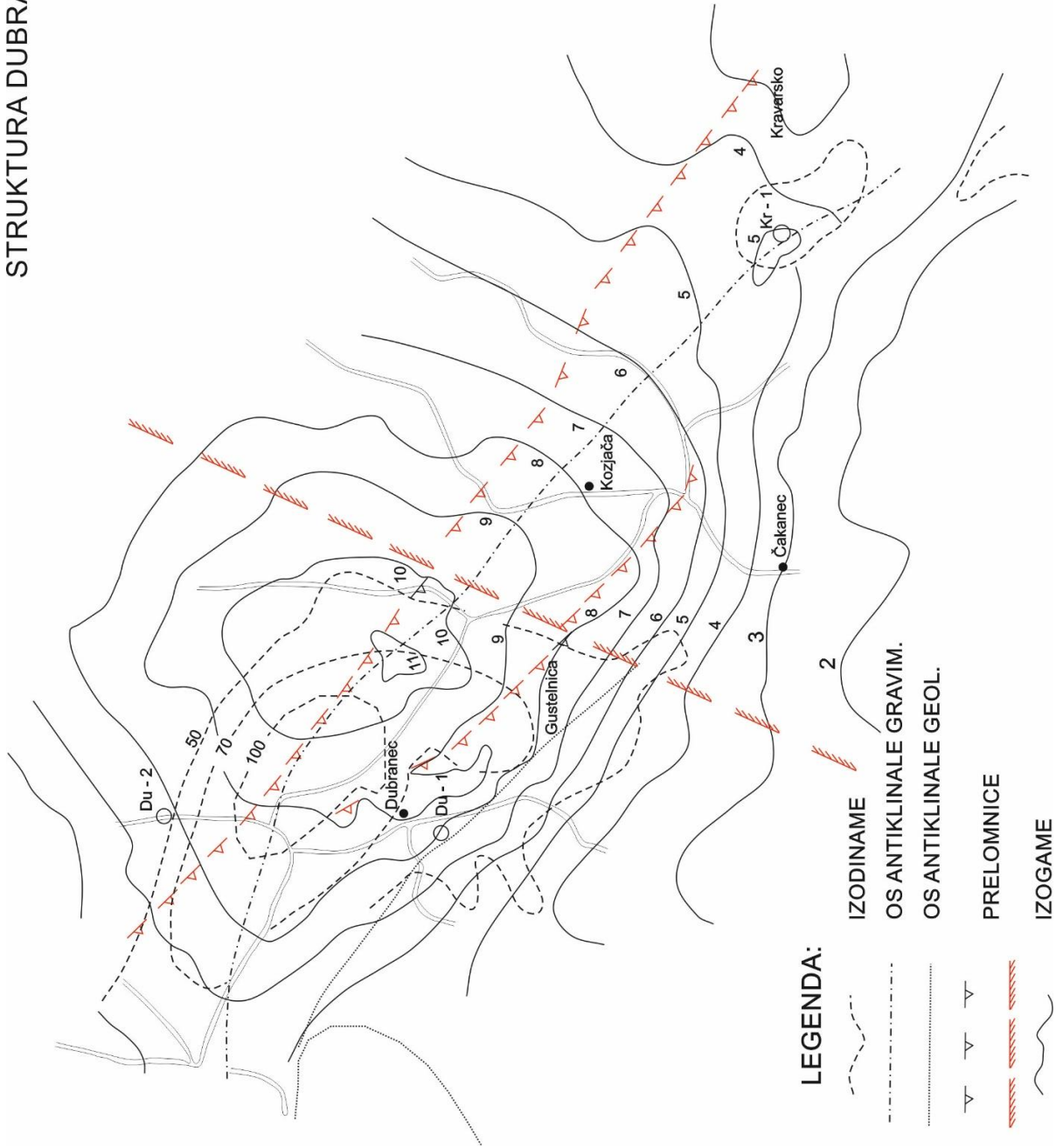
Tablica 2.1. Stratigrafija naslaga u dubokim istražnim bušotinama Dubranec-1 i Dubranec-2 (GALOVIĆ, 1952).

Starost	Du-1	Du-2
Paludinski slojevi	- 405 m	- 388 m
<i>Rhomboidea</i> slojevi	405 - 445 m	388 - 450 m
<i>Abichi</i> slojevi	445 - 770 m	450 - 725 m
Panon	770 - 830 m	725 - 765 m
Sarmat	830 - 849 m	765 - 795 m
Baden	849 - 995 m	795 - 863 m
Temeljno gorje	995 m	863 m

Temeljno gorje zastupljeno je zelenim škriljavcima usporedivim s Medvedničkim. Badenske naslage čine litotamnijski vapnenci i pješčenjaci, dok se u sarmatskima nalaze lističavi lapori s proslojcima pješčenjaka. Panonske su starosti

tvrdi lapor, pod kutem i do 30°. *Abichi* slojevima pripadaju lapor s promjenjivim sadržajem gline i pijeska, dok su *Rhomboidea* slojevi razvijeni u facijesu lapora i pijesaka, pod kutem do 10°. Paludinski slojevi zastupljeni su laporima (tj. glinama) (GALOVIĆ, 1952).

STRUKTURA DUBRANEC



Slika 2.9. Struktura Dubranec (GALOVIĆ, 1952).

Na području istraživanog terena i u njegovoj blizini načinjen je veći broj plitkih bušotina u svrhu pronalaska pitke podzemne vode. Kako su bušotine rađene po narudžbi, nisu ravnomjerno raspoređene na terenu, već su manje ili više grupirane u pojedinim područjima (Sl. geogr. karta 1:50.000). Konačna dubina bušotina je varijabilna, u rasponu od 20-ak do 156 m. Karakterizira ih česta vertikalna izmjena šljunaka, pijesaka, silta i gline i njihovih prijelaznih varijeteta. Problem je što stratigrafska pripadnost naslaga uglavnom nije definirana, što značajno otežava stratigrafsku korelaciju. Prema geografskom položaju bušotina i podacima s geološke karte, pretpostavlja se da veći dio naslaga pripada kvartaru, dok je manji pliokvartarne starosti (MITIĆ, 2006) .

U blizini sjevernog dijela istraživanog područja načinjene su dvije bušotine maksimalne dubine do 32 m (SA-2-B-24 i SA-2-B-25) (Sl. geogr. karta 1:50.000). U vršnom dijelu slijeda nalazi se glina, u središnjem prevladava šljunak s udjelom sitnozrnaste frakcije, a u dnu leži glina.

Južnije, unutar istraživanog područja nalazi se pet bušotina (P-ZP, B-MR-5, B-MR-6, B-DŠ-1 i Garašić), konačne dubine između 80 i 93 m (Sl. geogr. karta 1:50.000). Karakterizira ih manja prevlast gline u odnosu na pijeske i šljunke. U vrhu je glina, ispod koje uglavnom leži šljunak. U središnjem dijelu prevladava glina koja se izmjenjuje s pijeskom, uz podređenu pojavu pijeska.

U zapadnom dijelu istraživanog područja načinjeno je šest bušotina (BVP-1, SA-4-B-14, B-MM, Derdići, Mjesni vodovod Premužići i B-B-1) (Sl. geogr. karta 1:50.000). Konačna dubina je između 70 i 156 m. I u ovim je bušotina glavna karakteristika prevladavanje gline, koja se javlja u svim stratigrafskim nivoima. Od drugih litoloških varijeteta, s glinom se proslojava uglavnom šljunak (BVP-1, B-MM, B-B-1), dok se u ostalima (Holetić, Derdići, Mjesni vodovod Premužić) s glinom proslojava pijesak.

U središnjem dijelu terena nalazi se šest bušotina (ZA-2, AMT, ZG-3-B-55, ZG-3-B-54, ZG-3-B-20 i ZG-3-B-3), konačnih dubina od 20 do 90 m (Sl. geogr. karta 1:50000). U vršnom horizontu debljine do 7 m leži glina, a od 7 do 20-ak m šljunak i pijesak uz podređenu glinu i silt. U većim dubinama prevladava glina praćena horizontima pijeska, uz određene količine siltne frakcije i izostanak šljunka.

U istočnom dijelu terena načinjene su četiri bušotine (ZG-3-B-4, Cerovski-1, Cerovski-2 i Peršinovec) (Sl. geogr. karta 1:50000). Njihove konačne dubine su u

rasponu između 20 i 95 m. U tri bušotine (Cerovski-1, Cerovski-2, Peršinovec) snažno prevladavaju glina i prah, uz rijetke horizonte pijeska. Četvrta bušotina (ZG-3-B-4) je drugačije litologije. U gornjem dijelu prevladava šljunak s manjim udjelom sitnozrnaste frakcije, a u središnjem pijesak s manje ili više sitnozrnaste frakcije ili šljunkovite frakcije. U samom dnu leži glina.

Vertikalni slijed naslaga u kojem se ne prepoznaje značajnija pravilnost u pojavljivanju litoloških varijeteta na širem prostoru, vjerojatno je rezultat specifičnog taloženja u uvjetima riječnih tokova. Ti su tokovi karakterizirani čestim promjenama brzine struja i seljenjem kanala, što za posljedicu ima brze vertikalne i bočne promjene litologije, od sitnozrnastih naslaga (glina, silt) kao rezultat oslabljenih struja, do krupnozrnastijih (pijesak, šljunak) koje pak odražavaju taloženje u kanalima i prudovima pod djelovanjem brzih struja. Takav taložni stil odražava se u nepravilnom i nepredvidivom rasporedu propusnih i nepropusnih naslaga i u vertikalnim i u bočnim odnosima. Jedina opća karakteristika vertikalnog slijeda naslaga je trend relativnog povećanja zastupljenosti gline s dubinom.

2.3.2. Geoelektrična ispitivanja

Na području Horvata načinjena su geoelektrična ispitivanja manjeg obima (BALEN, 1987). Svrha istraživanja bilo je utvrđivanje sastava naslaga po dubini i izdvajanje potencijalnih vodonosnika. Na temelju dobivenih podataka trebalo je izdvojiti najpovoljniju lokaciju za jednu vodoistražnu bušotinu, odnosno za eksploatacijski zdenac kojim bi bio riješen problem vodosnabdijevanja sela Širanovići. Na temelju dobivenih podataka izdvojena je u podzemlju sredina III kao potencijalni vodonosnik. Ona ima povoljan razvoj na većem dijelu ispitivanog područja.

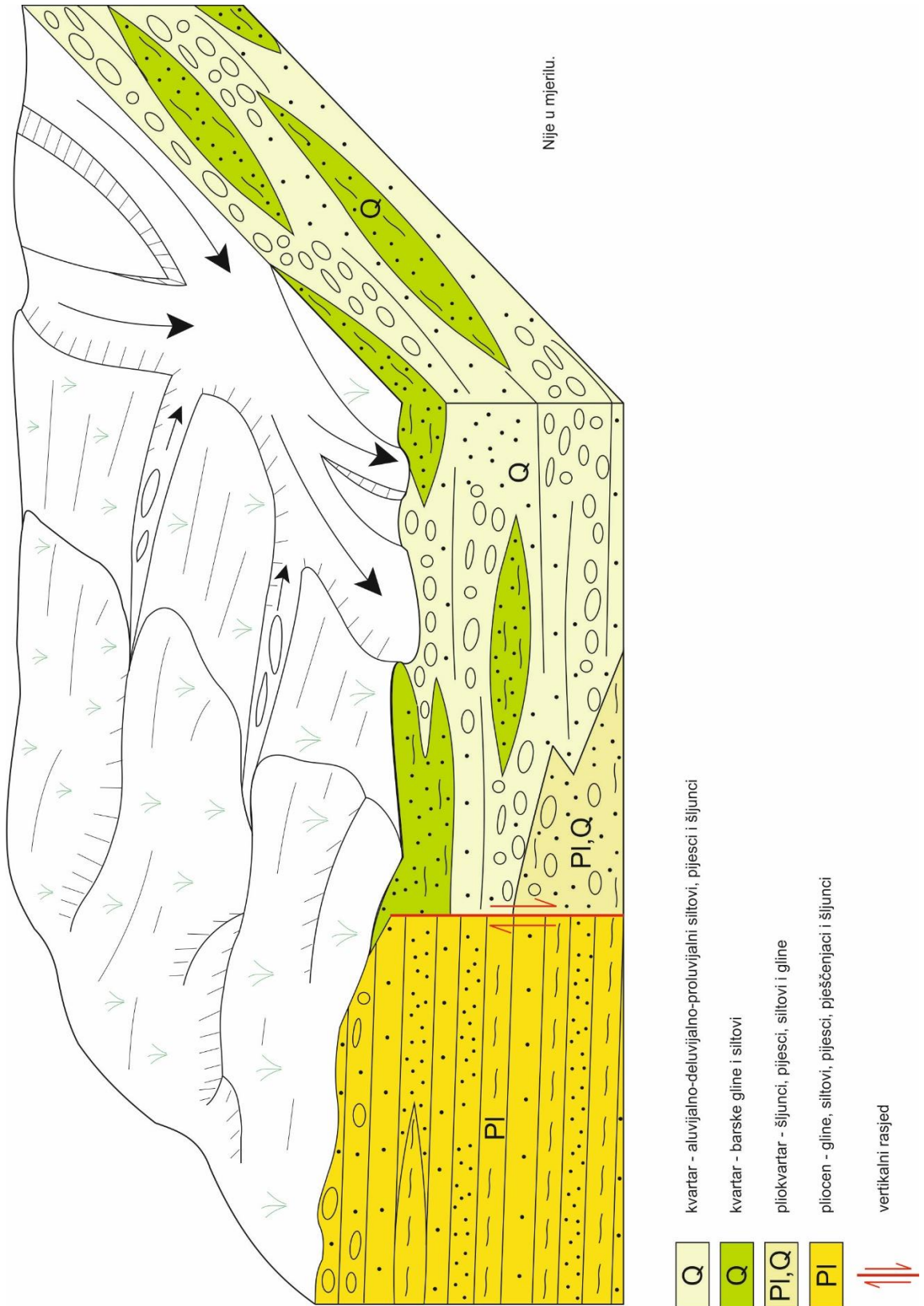
3. REKONSTRUKCIJA GEOLOŠKIH ODNOSA I STILA TALOŽENJA NA ISTRAŽIVANOM DIJELU VUKOMERIČKIH GORICA

Na istraživanom prostoru nalaze se naslage raspona starosti od pliocena do holocena. U litološkom smislu izgrađene su od različitih varijeteta klastita, veličine zrna od gline do šljunka. Izdignuti dio Vukomeričkih gorica izgrađen je uglavnom od

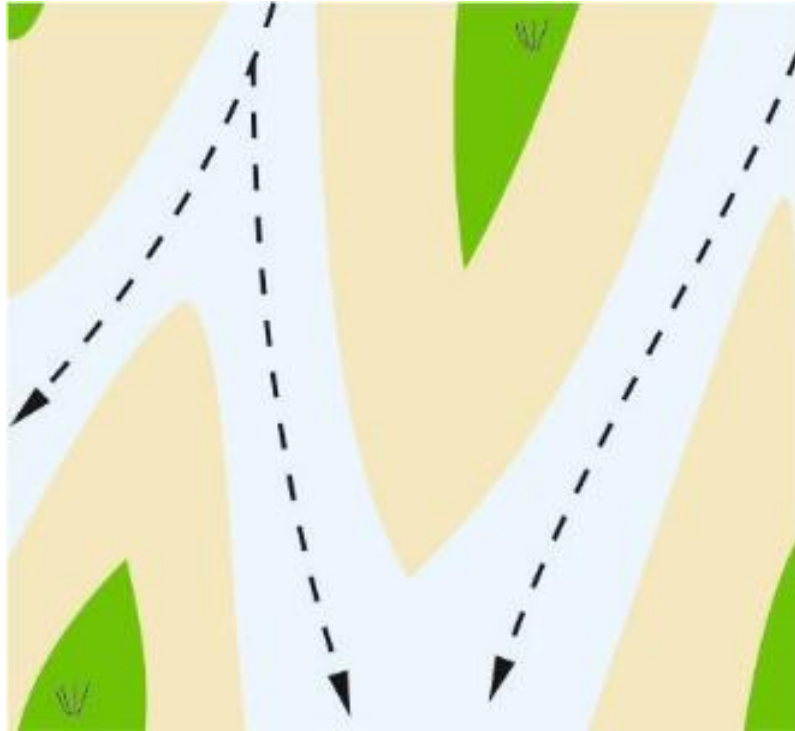
pliocenskih naslaga. U tim se naslagama javljaju gline, siltovi, pijesci, pješčenjaci i šljunci malih valutica. Ove se naslage vertikalno i bočno izmjenjuju, s jasnom tendencijom pokrupnjavanja naviše. Ovaj se trend prepoznaje u relativnoj dominaciji gline i silta u starijem dijelu pliocenskog slijeda te postupnom prevladavanju pijesaka, uz češće pojave šljunaka, u mlađem dijelu slijeda. Ova je vertikalna promjena posljedica razvoja pliocenskoga slatkovodnog jezera i njegovog zatrpavanja u mlađem, regresivnom razdoblju. Taložni slijed ima za posljedicu i značajnu promjenu primarne (međuzrnske) poroznosti i propusnosti naviše pa se tako zbog povećanja udjela pijeska i šljunka u mlađim naslagama postupno povećava i njihova propusnost.

Pliocenske naslage su na rubu Vukomeričkih gorica odvojene od spuštenih kvartarnih naslaga vertikalnim rasjedom (slika 3.1). Kvartarne su naslage također zastupljene raznim varijetetima klastita, no prevladavaju šljunci i pijesci, dok su siltovi i gline u podređenom odnosu. Ove se naslage također vertikalno i bočno izmjenjuju, no debljine su im manje pa su i izmjene češće u odnosu na pliocenske naslage. Razlog tomu je priroda razvoja rijeke Save, čijem aluvijonu pripadaju. Naime, prilikom otapanja leda koncem pleistocena, velike su količine materijala transportirane rijekom Savom, koja je po stilu taloženja vjerojatno pripadala prijelaznom tipu između prepletene rijeke i meandrirajuće rijeke. Na ovu konstataciju ukazuju prevladavajući krupnozrnasti klastiti u vertikalnom slijedu u većini plitkih bušotina, što je karakteristika uskih prepletenih tokova, dok pojave horizonata gline i silta upućuje na razvoj poplavne ravnice i napuštanja korita, što je pak obilježje meandrirajućih tokova. U prepletenoj rijeci strujni režim akumulira krupnozrnasti materijal prvenstveno u prudovima, koji rastu bočno i vertikalno vučnim mehanizmima, uz stalnu oscilaciju u brzini struja, što se odražava u promjenama istaložene frakcije. Razvoj pruda u stranu posljedica je lateralne akrecije pruda, dok je rast prema gore rezultat vertikalne agradacije, uglavnom u vrijeme visokog vodostaja. Najviša visina do koje prud može narasti je razina vode u vrijeme najsnažnijih poplava. Bočni i vertikalni rast prudova, kao vrlo dinamičan taložni proces u prepletenim tokovima, potiče bočno seljenje kanala, što uzrokuje istovremenu eroziju i taloženje (slika 3.2). Posljedica ove taložne dinamike su vrlo brze bočne i vertikalne litološke promjene, uz dominaciju krupnozrnaste frakcije koja izrazito prevladava u vertikalnom slijedu i profilima zbog djelovanja brzoga strujnog režima u prepletenim tokovima. S druge

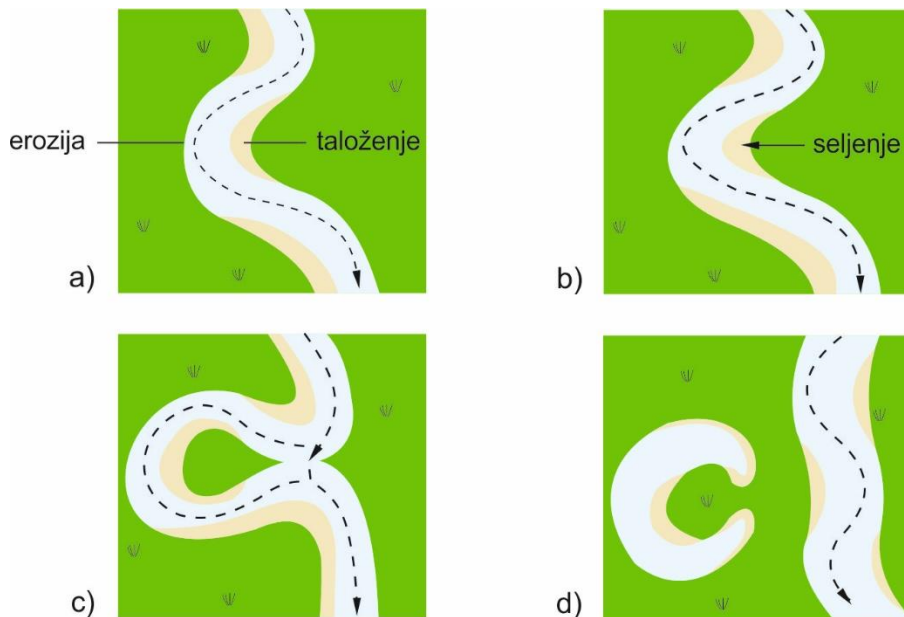
strane, meandrirajući tokovi najviše materijala odlažu na površinama poplavne ravnice, a prevladavaju silt i glina. Krupnozrnasti materijal se odlaže uglavnom samo u meandarskom prudu širokog korita rijeke, dok je nasuprotna obala pod utjecajem erozije. Takav taložno-erozijski sustav uzrokuje postupnu bočnu migraciju meandra, tj. korita, i njegovo sve snažnije povijanje. U kritičnom trenutku, u vrijeme snažne poplave, rijeka presijeca svoj prirodni nasip i formira novo korito na poplavnoj ravnici, čime meandar, kao staro korito, ostaje odsječen od glavnog korita i bez donosa krupnozrnastog materijala (slika 3.3). Na taj način u vertikalnom slijedu i profilima meandrirajuće rijeke prevladavaju silt i glina, dok se krupnozrnasti materijal, kao pijesak i šljunak, pojavljuju kao leće predstavljajući nekadašnje meandarske prudove.



Slika 3.1. Blok dijagram prikazuje shematske geološke odnose na području Vukomeričkih gorica i aluvijona rijeke Save.



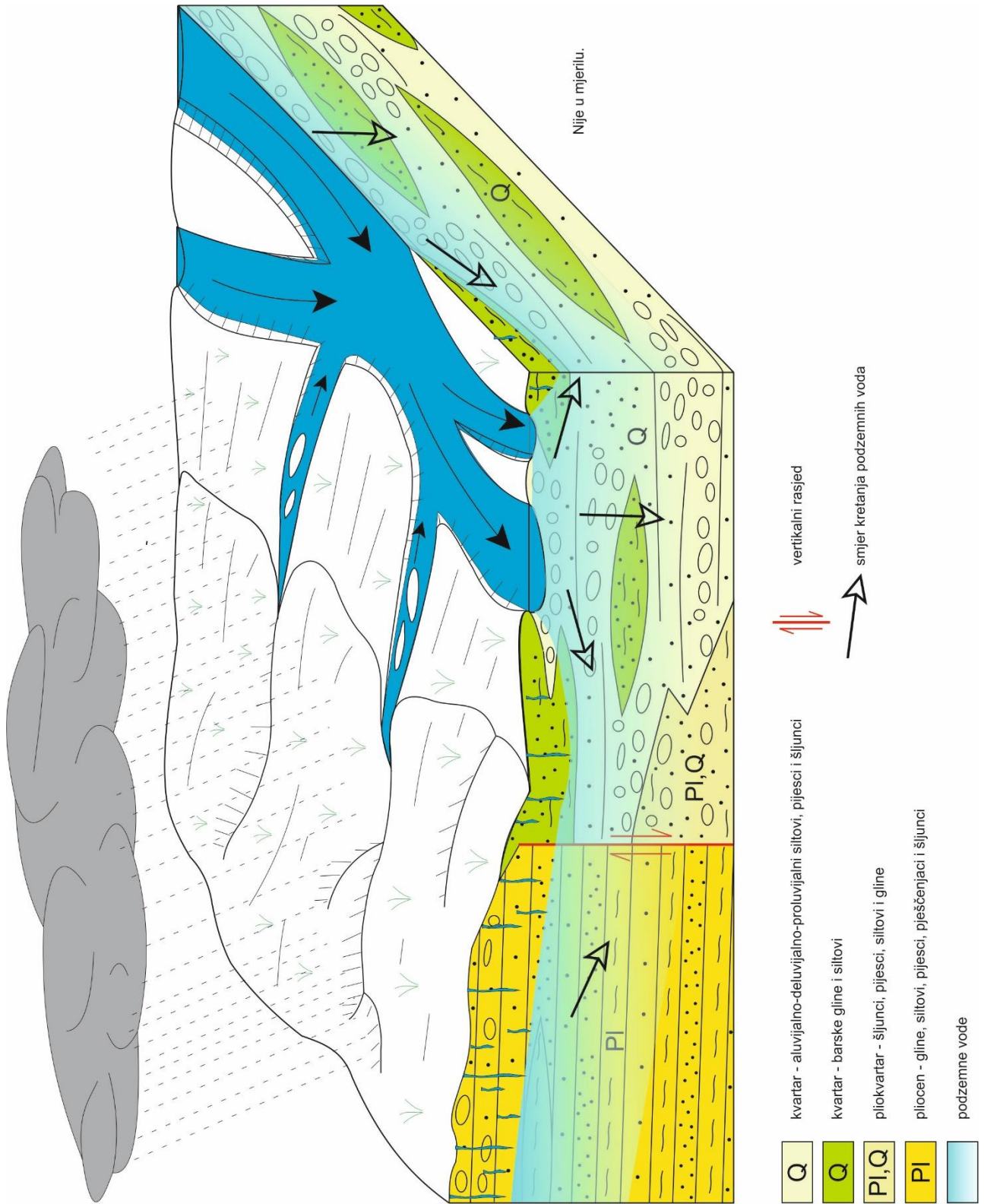
Slika 3.2. Prepletena rijeka (iz Pavelić, 2014).



Slika 3.3. Menadrirajuća rijeka (iz Pavelić, 2014).

Prema bušotinskim podacima, aluvijon rijeke Save u kojem se nalaze i krupnozrnasta i sitnozrnasta frakcija, potvrđuje interpretaciju rijeke Save kao prijelazan tip između prepletenog i meandrirajućeg toka. Svakako je potrebno dodati kako rijeke tijekom svog razvoja mogu mijenjati karakter, odnosno prelaziti iz

prepelanog toka u meandrirajući i obrnuto, što ovisi o tektonskom spuštanju ili izdizanju blokova na prostoru riječnog toka te promjenama u donosu materijala. Upravo su ove promjene mogle imati snažan utjecaj na karakter rijeke jer je sezonsko otapanje leda u njezinom gornjem, alpskom toku imalo za posljedicu transport velikih količina materijala u nizinsko područje. Klimatske promjene najvažniji su čimbenik u stvaranju i otapanju leda u planinskim masivima na kontinentu, a kako je kvartar razdoblje vrlo čestih i snažnih klimatskih promjena, njihov utjecaj na promjene stila taloženja rijeke Save vjerojatno je bio od iznimno bitnog značaja. Ovakav promjenjiv način razvoja rijeke Save imao je za posljedicu čestu vertikalnu i bočnu promjenu krupnozrnastih i sitnozrnastih facijesa, a time i dominaciju taložnih tijela s razvijenom primarnom, međuzrnskom poroznosti, a time i propusnosti, što omogućava infiltraciju vode relativno duboko u podzemlje savskog aluvijona, kako s prostora Vukomeričkih gorica kao područja obnavljanja, tako iz korita rijeke Save (slika 3.4).



Slika 3.4. Blok dijagram prikazuje shematske hidrogeološke odnose na području Vukomeričkih gorica i aluvijona rijeke Save.

4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA KONTAKTA VUKOMERIČKIH GORICA I ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA

Geofizička istraživanja izvedena su na temelju ugovora sklopljenog između Sveučilišta u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i tvrtke Hrvatske vode iz Zagreba. Istraživanja su izvedena u okviru hidrogeoloških istraživanja na mikrolokacijama na području Vukomeričkih gorica.

Općeniti cilj geofizičkih istraživanja je odrediti litološke i strukturne odnose, zajedno s drugim geološkim i hidrogeološkim podacima, kako bi se mogao procijeniti hidrogeološki potencijal na području istraživanja te odredili optimalni položaji istraživačkih bušotina. Geofizička istraživanja su izvedena električnom tomografijom, kojom se mogu odrediti litološki odnosi na temelju mjerenih otpornosti stijena, te refleksijskom seizmikom, radi preciznijeg određivanja strukturnih odnosa. U prvoj fazi mjerenja su izvedena električnom tomografijom, a na izdvojenim položajima tomografskih profila izvedena su refleksijska mjerenja.

Mikrolokacije za geofizička mjerenja te položaje profila odredio je voditelj hidrogeoloških istraživanja, prof. dr. sc. Ivan Dragičević, dipl. ing. geol.. Terenska mjerenja su izvedena tijekom ožujka i travnja 2016. godine u dvije faze. Ukupno je izmjereno 3000 m profila električne tomografije i 1000 m profila refleksijske seizmike.

4.1. Geofizičke metode istraživanja

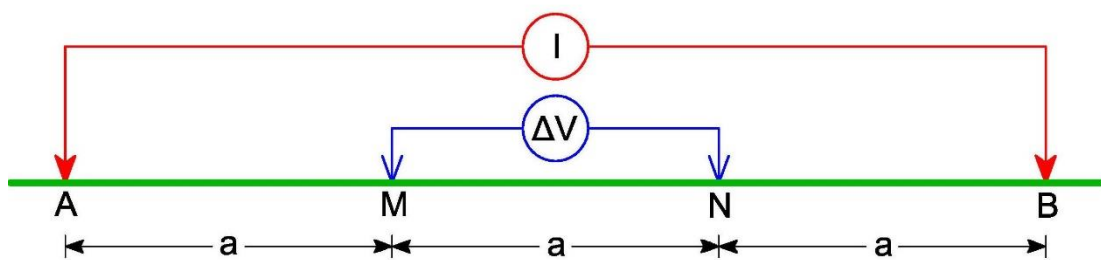
4.1.1. Električna tomografija

Geoelektrična istraživanja osnivaju se na mjerenju električnih svojstava stijena, na temelju kojih se dobivaju podaci o litološkom sastavu, stanju stijena (raspucanosti, kompaktnosti, i dr.), te o zasićenju vodom i njoj mineralizaciji. Električne metode istraživanja su brojne, a ponajčešće se koriste metode koje se temelje na opažanjima otpornosti stijena. Mjerenja ovim metodama najčešće se izvode četveroelektrodnim

rasporedima, što znači da se na jednom paru elektroda mjeri jakost struje koja se uvodi u zemlju, a na drugom paru napon na površini nastao kao posljedica djelovanja električnog polja, slika 4.1. Prividna otpornost zahvaćenih stijena ρ_a izračuna se formulom:

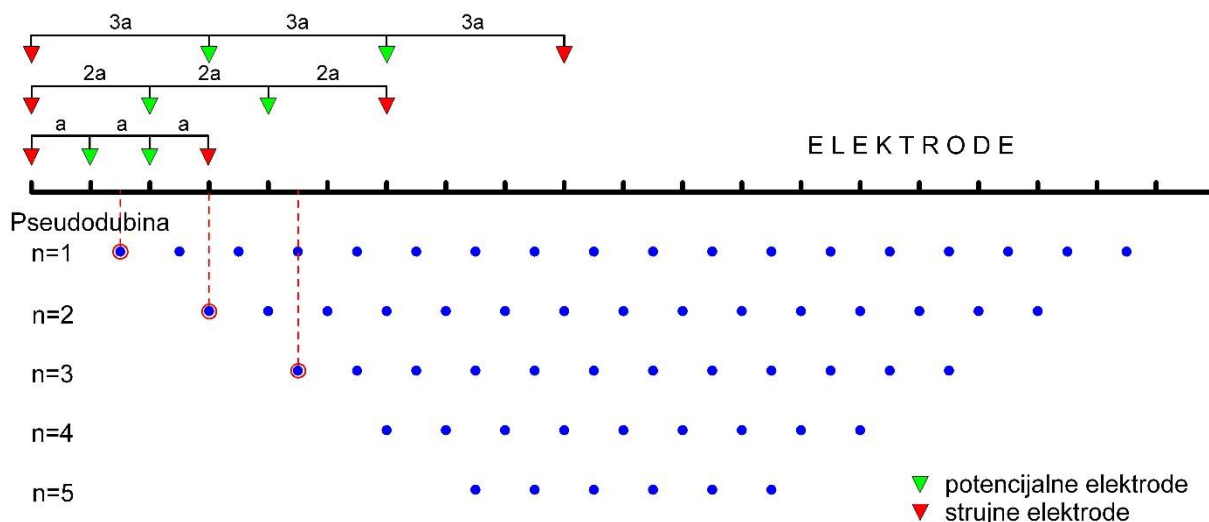
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I},$$

gdje je ΔV napon mjeren na potencijalnim elektrodama, I jakost struje puštene u zemlju, a K konstanta koja se izračuna na temelju geometrijskog rasporeda elektroda.



Slika 4.1. Wennerov raspored elektroda, A i B strujne elektrode, M i N potencijalne elektrode.

Uzastopnim povećavanjem razmaka strujnih elektroda zahvaća se sve veća masa stijena na sve većoj dubini, dok središte sustava mjerenja ostaje isto. Na taj način se oponaša bušenje, te se metoda istraživanja naziva električnim sondiranjem, a istražuju se promjene otpornosti po dubini. Ako se razmak elektroda drži konstantnim, a cijeli elektrodni raspored pomiče duž nekog pravca, dubinski zahvat ostaje uvijek isti, ali se mijenja središte sustava (točka mjerenja). Ovakvo mjerenje naziva se električnim profiliranjem i njime se istražuju uzdužne, lateralne promjene otpornosti.



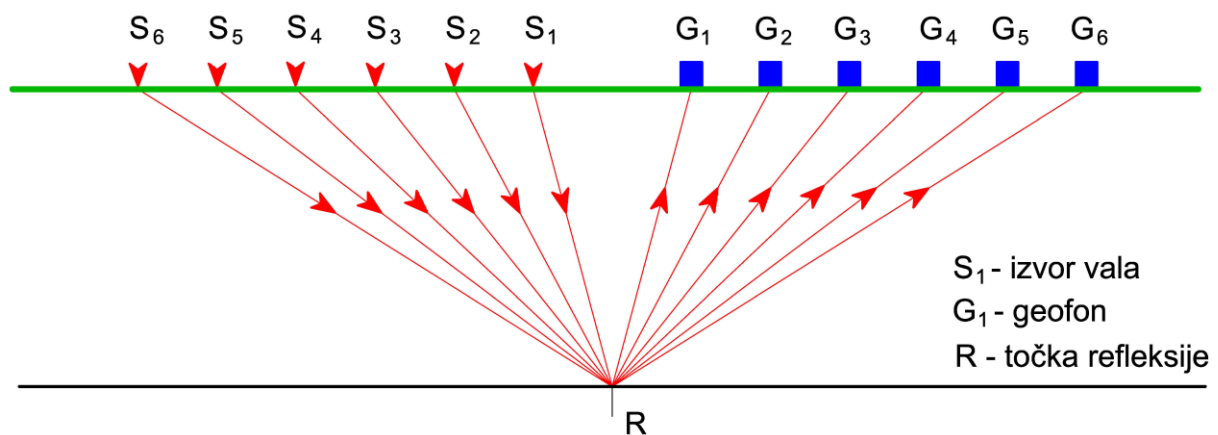
Slika 4.2. Geometrija mjerenja za dvodimenzionalnu električnu tomografiju uporabom Wennerovog rasporeda elektroda s jednako udaljenim elektrodama, za slučaj 20 elektroda i 5 dubinskih zahvata. Pseudodubina za nanošenje prividnih otpornosti definirana je s n , koji je umnožak jedinične udaljenosti elektroda (ŠUMANOVAC, 2007).

U metodi 2D-električne tomografije mjerenja se izvode za niz različitih dubinskih zahvata (slika 4.2) i unose u profil čime se dobiva dvodimenzionalni presjek otpornosti podzemlja, koje su u slučaju nehomogenog podzemlja prividne otpornosti, odnosno “pseudosekcija”. Ove mjerene prividne otpornosti često daju “zamagljenu” sliku koju je razmjerno teško geološki interpretirati. Ako se provede inverzija, ponajčešće metodom modeliranja i postupnog približavanja ili iteracije, dobije se model stvarnih otpornosti koji se može lakše i pouzdanije geološki interpretirati. Primijenjene su najnovije metode inverzije mjerenih podataka, koje su objavljene u geofizičkim časopisima (LOKE i BARKER, 1995; 1996). Električna 2D-tomografija primjenjuje se u plitkim geotehničkim i inženjerskogeološkim istraživanjima, te u razmjerno dubljim hidrogeološkim istraživanjima.

4.1.2. Refleksijska seizmika

Seizmičke metode se temelje na izazivanju elastičnih titraja (potresa) blizu površine, koji se šire kroz stijene i stižu do točaka na površini, gdje se njihov nailazak detektira malim seizmo-metrima ili geofonima. Mjerenjem vremena putovanja elastičnih valova do geofona smještenih na različitim udaljenostima od mjesta njihovog

izazivanja dobiva se brzina širenja elastičnih valova kroz podzemlje. Obradom i interpretacijom podataka dobiva se model brzina u stijenama. Elastični valovi putuju različitim brzinama kroz različite stijene, pa se i granice brzina obično podudaraju s geološkim granicama. No, seizmičke brzine ovise i o stanju stijena (raspucanosti, šupljikavosti i dr.), pa dolazi do znatnijih promjena brzina unutar iste vrste stijena. Profil s ucrtanim granicama brzina sličan je geološkom presjeku, što ove metode čini osobito privlačnima. Osim toga one daju razmjerno više informacija u usporedbi s ostalim geofizičkim metodama. Ovisno o tome koristi li se odbijeni (reflektirani) ili lomljeni (refraktirani) put seizmičkog vala razlikuju se refleksijska i refrakcijska seizmička istraživanja.



Slika 4.3. Princip metode višestrukog pokrivanja (CDP-metode).

Refleksijska mjerenja se izvode ponajčešće duž profila na kojima se postavljaju geofoni i izvori valova, a njihovim uzastopnim pomicanjem pokriva se cijeli profil. Ovakva mjerenja se nazivaju 2D (dvodimenzionalnim) seizmičkim istraživanjima.

Snimanja su provedena metodom višestrukog pokrivanja ili metodom zajedničke dubinske točke (eng. Common Depth Point - CDP). Osnovni cilj je dobiti više puta refleks od svake točke na reflektirajućoj granici, kako bi se zbrajanjem tragova poboljšao omjer signal-šum. Drugim riječima, želi se reflekse pojačati, a šumove prigušiti. Na slici 4.3 prikazano je višestruko pokrivanje s položajima izvora valova i geofona i putovima zraka za točku R na reflektirajućoj granici.

No, prije zbrajanja tragova potrebno je provesti niz postupaka kako bi se ostvarilo poboljšanje omjera signal-šum. Najvažniji su statički i NMO-popravci (eng. Normal Move-out). Statički popravci uključuju svođenje izvora valova i geofona na referentnu ravninu, odnosno na istu nadmorsku visinu, te eventualno korigiranje utjecaja velikih promjena brzine u trošnoj zoni. NMO-popravicima (dinamičkim popravicima) vremena pojedinih refleksa se svode na najkraći, vertikalni put seizmičke zrake izražen dvostrukim vremenom putovanja $2t$, kada se izvor valova i geofon nalaze u istoj točki.

Tablica 4.1. Koordinate točaka na tomografskim profilima u sustavu HTRS96, određene ručnim GPS-uređajem.

TP-1		
udaljenost (m)	y(m)	x(m)
0	444614,54	5066033,34
200	444803,53	5066098,78
400	444992,53	5066164,21
600	445181,52	5066229,65
800	445370,51	5066295,09
1000	445559,50	5066360,52
TP-2		
	y(m)	x(m)
0	447902,65	5061253,27
200	448027,14	5061409,80
400	448151,64	5061566,33
600	448276,13	5061722,86
800	448400,63	5061879,38
1000	448525,13	5062035,91
TP-3		
	y(m)	x(m)
0	457623,30	5057110,72
200	457642,99	5057306,71
400	457662,68	5057502,71
600	457682,38	5057698,70
800	457702,07	5057894,69
1000	457721,76	5058090,69

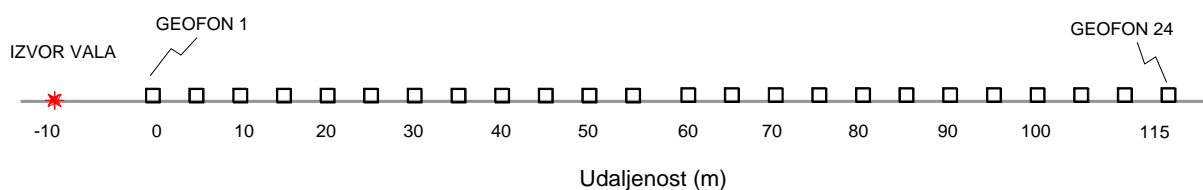
4.2. Terenska mjerenja

Terenska mjerenja su izvedena u dvije faze. U prvoj fazi su izvedena mjerenja električnom tomografijom na 3 profila koji su označeni s TP-1 do TP-3, a nalaze se na području Rakovog potoka, Ašpergera i Donjeg Dragonošca (prilozi 1.1-1.3). Koordinate točaka na profilima prikazane su u tablici 1. Duljine profila iznosile su 1000 m, a mjerenja su izvedena Wennerovim rasporedom elektroda (slika 4.1) s jediničnim razmak elektroda od 10 m na svim profilima, pa su efektivni dubinski zahvati iznosili 130 m.

Električna mjerenja izvedena su instrumentom Terrameter SAS 1000 i automatskim multi-elektrodnim sustavom LIS (eng. Lund Imaging System) švedske tvrtke ABEM. Za potencijalne i strujne elektrode korištene su metalne nehrđajuće elektrode.

Refleksijska mjerenja izvedena su u drugoj fazi na izdvojenim položajima na tomografskim profilima gdje su se nalazile stijene velikih otpornosti kao potencijalni vodonosnici. Tako su izdvojena područja na tomografskim profilima TP-1 i TP-3, a refleksijski profili su označeni kao REF-1 (prilog 1.1) i REF-3 (prilog 1.3). Duljine refleksijskih profila iznosile su približno 500 m. Položaji na refleksijskim profilima (udaljenosti) usklađene su s udaljenostima na tomo-grafskim profilima radi lakše korelacije i interpretacije. Prije početka refleksijskih mjerenja izvedena su pokusna mjerenja radi određivanja odgovarajuće geometrije snimanja, odnosno rasporeda geofona i izvora valova. Geofoni su postavljeni na razmaku od 5 m, a kao izvor valova korišten je teški čekić. Mjerenja su izvedena asimetričnim rasporedom, a točka paljenja je postavljena na 10 m, slika 4.4. Ovakva geometrija daje teoretsko dvanaesterostruko (12f) pokrivanje i razmak CDP-točaka od 2.5 m. No, stvarno pokrivanje je manje i nepotpuno na samim krajevima profila, te na položajima s mrtvim tragovima.

Vertikalni geofoni rezonantne frekvencije od 100 Hz korišteni su za prijem seizmičkih valova. Snimanja su izvedena 24-kanalnim digitalnim IFP-seizmografom (eng. Instantaneous Floating Point) švedske tvrtke ABEM. Seizmograf ima mogućnost zbrajanja signala, što je nužno prigodom rada s čekićem, a pojačanje signala se automatski i trenutno određuje prema ulaznom signalu.



Slika 4.4. Geometrija snimanja refleksijskom seizmikom. Primijenjen je razmaknuti asimetrični raspored.

Najvažniji parametri snimanja imali su slijedeće vrijednosti:

- visokopropusni filter (eng. Low-cut) 20 Hz
- niskopropusni filter (eng. High-cut) 1000 Hz
 - vrijeme uzorkovanja 0.50 ms
 - duljina snimke 258 ms

4.3. Obrada i interpretacija podataka

Podaci 2D-električnih mjerenja obrađeni su i interpretirani prema ponajčešće korištenoj metodi LOKEA i BARKERA (1995, 1996). Na konačni izgled interpretiranog modela otpornosti utječe reljef terena, te su profili dodatno obrađeni uzimajući u obzir nadmorske visine, koje su očitane s raspoložive karte u mjerilu 1:5.000. Korišteni softver provodi odgovarajuće topografske korekcije za utjecaj reljefa terena na mjerene podatke, a obrađeni profili prikazani su na prilogima 2.1-2.3.

Interpretirani model otpornosti je model stvarnih otpornosti koji zadovoljava mjerene prividne otpornosti. Odstupanja između mjerenih prividnih otpornosti i teoretskih prividnih otpornosti, izračunatih iz interpretiranog modela otpornosti, izražena su apsolutnom greškom u postocima. Kvaliteta mjerenih podataka je vrlo dobra s obzirom na to da su dobivene apsolutne greške od 2.9 do 3.9 % za petu iteraciju.

Obrada podataka refleksijskih seizmičkih snimanja provedena je pomoću softvera WINSEIS (Kansas Geological Survey) a uključivala je standardne postupke:

- uređivanje tragova,
- prigušivanje refraktiranih valova,
- prigušivanje zvučnih valova,

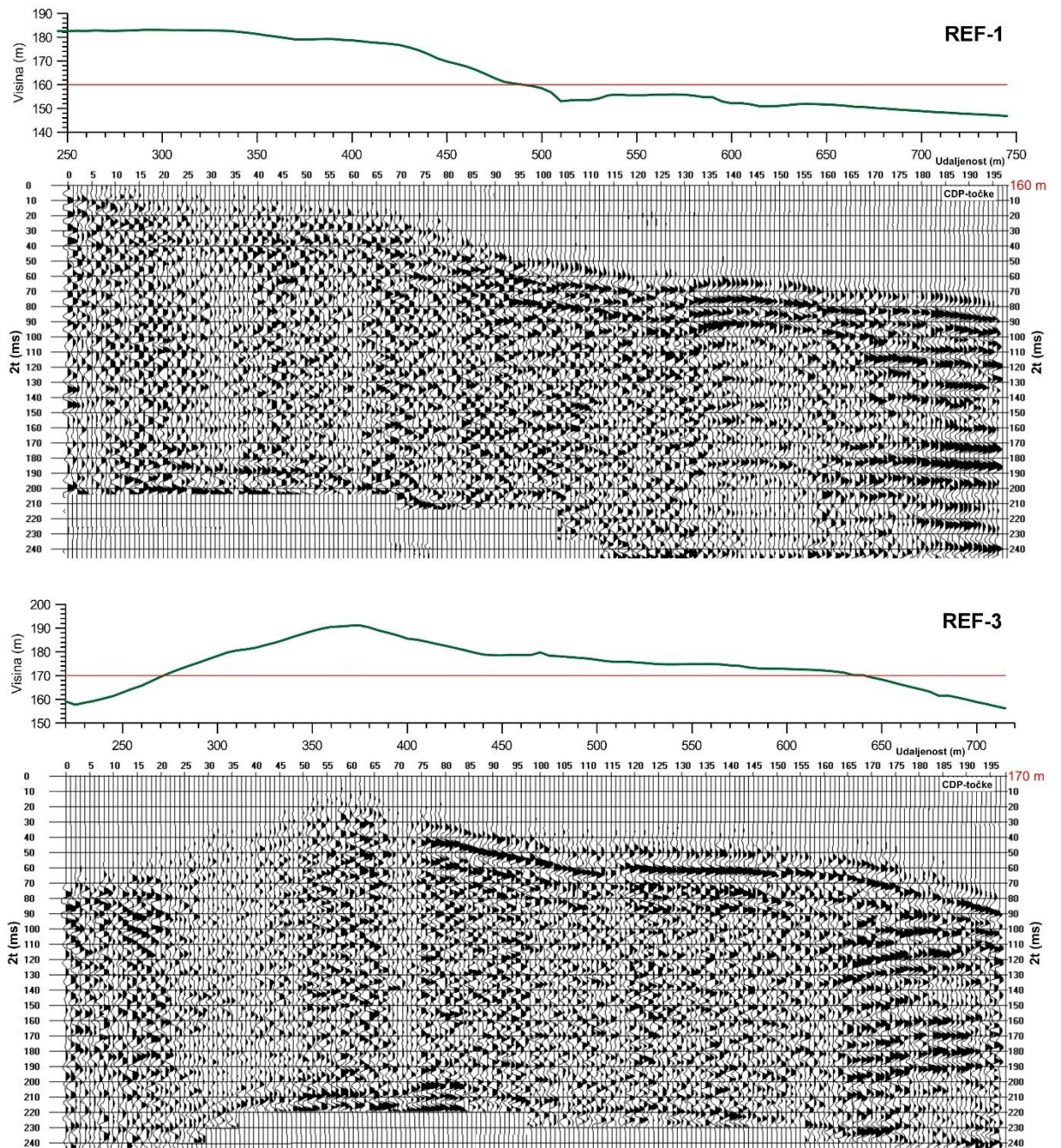
- sortiranje tragova (CDP-sortiranje),
- analizu brzina,
- NMO-popravke (dinamičke popravke),
- spektralnu analizu,
- filtriranje,
- skaliranje i
- zbrajanje tragova (eng stack).

Uređivanje tragova uključuje odstranjivanje mrtvih tragova i tragova s prevelikim šumom. Kako bi se jače istaknuli refleksi, potrebno je prigušiti refraktirane valove (prve nailaske) i zvučne valove koji imaju razmjerno više amplitude od reflektiranih valova. Napose pažljivo treba odstraniti zvučne valove koji su dominantnim spektrom frekvencija slični reflektiranim valovima, pa se filtriranjem teško mogu prigušiti. Sortiranje tragova je postupak kojim se iz terenskih snimaka, na temelju zadane geometrije snimanje, izdvajaju svi tragovi koji pripadaju zajedničkoj dubinskoj točki.

Podaci za statičke korekcije, položaji i visine geofona i točaka paljenja, izmjereni su mobil-nom GPS-stanicom TOPCON Hyper Pro, a postignuta je preciznost od 3 cm. Kao referentna razina, ravnina svođenja, odabrana je visina 160 m na profilu REF-1, a 170 m na profilu REF-3 (slika 4.5) pa su dvostruka vremena putovanja 2t svedena na te razine (prilozi 3.1 i 3.2). U rubnim dijelovima profila nadmorske visine se uglavnom postupno mijenjaju, dok su u središnjim dijelovima profila izražajnije promjene. Analizom brzina utvrđene su brzine od 1000 i 1100 m/s za površinske naslage radi izračuna statičkih korekcija.

Tablica 4.2. Rezultati analize brzina za refleksijski profil REF-1.

CDP-točka	Vrijeme 2t (ms)	Srednja brzina (m/s)	Intervalna brzina (m/s)	Dubina (m)
20	70	2000	2000,00	70,00
	200	2000	2000,00	200,00
75	70	2000	2000,00	70,00
	200	2000	2000,00	200,00
90	100	2000	2000,00	100,00
	200	2000	2000,00	200,00
120	100	1600	1600,00	80,00
	200	1800	1979,90	180,00
145	110	1600	1600,00	88,00
	200	1700	1814,75	170,00
170	130	1500	1500,00	97.5
	200	1600	1770,79	160,00



Slika 4.5. Obradjeni refleksijski seizmički profili s reljefom terena.

U okviru analize brzina određuju se vertikalne i lateralne promjene seizmičkih brzina koje se kasnije koriste kako bi se izračunali NMO-popravci za svaki pojedinačni refleks. Analize brzina načinjene su za karakteristične položaje (CDP-točke) na seizmičkim profilima. Srednje brzine su u rasponu 1500-2000 m/s, a kao primjer dana je analiza brzina u tablici 2 za profil REF-1.

Analizom spektra frekvencija određene su dominantne frekvencije reflektiranih valova i ostalih valova koje smatramo šumom (refraktirani, zvučni i površinski valovi). Na temelju ove analize određeni su filtri primijenjeni u postupku filtriranja, kojemu je svrha poboljšanje omjera signal-šum budući da se razlikuje spektar frekvencija reflektiranih valova i šuma. Primijenjen je filter u vremenskom području koji propušta pojas frekvencija (eng. Band-pass filter, BP 100-200 Hz). Nakon filtriranja načinjeno je skaliranje, to jest automatsko podešavanje amplituda kako bi se jače istaknuli slabiji refleksi. Završni postupak obrade je zbrajanje tragova koji pripadaju istoj CDP-točki.

4.4. Prikaz rezultata

Prema površinskim geološkim podacima na istraživanom području nalaze se pliocenske i kvartarne naslage (ŠIKIĆ i dr., 1977). Na području Vukomeričkih gorica izdvojene su plioleistocenske naslage (PI,Q) zastupljene šljuncima, pijescima i glinama, a u rubnim područjima nalaze se naslage barskog i kopnenog lesa, prašaste gline i glinoviti siltovi.

Veće otpornosti su povoljne s hidrogeološkog stajališta jer ukazuju na potencijalne vodonosnike, dok najmanje otpornosti (oko dvadesetak Ωm) ukazuju na glinovite i laporovite naslage kao izolatorske i nepropusne stijene. Pjeskovite i šljunčane naslage najčešće imaju otpornosti od 70-tak do 300-tinjak Ωm , ako su zavodnjene, dok suhe naslaga mogu pokazati i veće otpornosti. Karbonati se uglavnom odlikuju vrlo velikim otpornostima (više tisuća Ωm), čiji iznosi ovise o stupnju njihove razlomljenosti. Povećavanjem stupnja razlomljenosti dolazi do smanjenja otpornosti. Zato se otpornosti jače razlomljenih karbonatnih stijena mogu preklopiti s otpornostima nekih pjeskovito-šljunčanih naslaga.

Inverzni modeli otpornosti profila prikazani su na priložima 2.1-2.3. Na području Rakovog potoka (TP-1) veće otpornosti nalaze se u plićim dijelovima, dok u dubljim dijelovima profila dominiraju vrlo male otpornosti (20-tak Ωm) koje upućuju na glinovite i zaglinjene naslage, to jest nepropusne naslage, prilog 2.1. Najveće otpornosti i najveće debljine stijena velikih otpornosti, to jest vodonosnika, nalaze se

u brdovitom dijelu profila, na položajima 200-480 m, a na dubinama 30-80 m. Posebno se izdvajaju položaji 380-490 m karakterizirani vrlo velikim otpornostima, većim od 600 Ω m. Prema dosadašnjim iskustvima ove otpornosti mogu uzrokovati razlomljene karbonatne stijene ili suhe šljunčane naslage. Na položajima 480-810 m uz površinu se pružaju naslage većih otpornosti, do dubina od 20-tak m. Oblik tijela velikih otpornosti ukazuje na uslojenu sredinu sa subhorizontalnim položajem slojeva, a može se interpretirati kao paket u kojem se izmjenjuju propusni i nepropusni slojevi. Prema otpornostima ovo se tijelo može podijeliti na dvije sredine. Na položajima 480-650 m otpornosti su znatno veće, nego na položajima 650-810 m, pa je udio propusnih slojeva u odnosu na nepropusne veći, nego na položajima 650-810 m. Dakle, tomografski profil ukazuje na tri sredine. U prvoj sredini (na položajima 200-480) nalazi se deblji paket naslaga velikih otpornosti u kojem se izmjenjuju nepravilna tijela (leće i slojevi) velikih i malih otpornosti. U drugoj (480-650 m) i trećoj (650-810 m) sredini izmjenjuju se subhorizontalni slojevi velikih i malih otpornosti, ali je omjer propusnih i nepropusnih slojeva povoljniji u drugoj sredini jer su otpornosti paketa značajno veće.

Na području Ašpergera (TP-2) uočavaju se dvije sredine koje se odlikuju većim otpornostima, prilog 2.2. Prva sredina je na položajima do 290 m, a veće otpornosti su na dubinama 20-70 m. Druga sredina se nalazi na položajima 290-560 m, a na dubinama 10-40 m i karakterizirana je subparalelnim položajem slojeva. Razmjerno male otpornosti, slične kao u trećoj sredini na profilu TP-1, upućuju na veću zastupljenost nepropusnih slojeva.

Ponešto drukčija raspodjela otpornosti uočava se na profilu TP-3 na području Donjeg Dragošća, prilog 2.3. Velike otpornosti nalaze se samo u brdovitom dijelu profila, na položajima 230-660 m, a cijela se zona može korelirati s prvim sredinama na profilima TP-1 i TP-2. Unutar ove zone mogu se izdvojiti tri tijela velikih otpornosti. Prvo se pruža uz površinu na dubinama do 30-tak metara, a lateralne promjene otpornosti upućuju na nepravilna tijela i neravnomjernu razdiobu propusnih naslaga. U dubljim dijelovima se uočavaju dva manja, koncentrična tijela velikih otpornosti: na položajima 290-380 m (na dubinama 30-80 m) te na položajima 560-650 m (na dubinama 40-90 m). Treće tijelo pokazuje otpornosti do 200-tinjak Ω m, pa se očekuje

paket s većim udjelom propusnih naslaga, dok su u drugom tijelu otpornosti neočekivano velike, to jest na razini karbonatnih stijena ili suhих šljunčanih naslaga, pa bi bilo poželjno ispitati značenje ovih otpornosti istraživačkim bušenjem.

Na obrađenom refleksijskom seizmičkom profilu REF-1 (prilog 3.1), koji se pruža po tomografskom profilu TP-1, mogu se pratiti sve tri sredine s tomografskog profila koje su vjerojatno u tektonskom kontaktu. Na temelju rasporeda i oblika refleksa interpretirana su dva subvertikalna rasjeda na položajima 475 m i 655 m. Prvu sredinu, u brdovitom dijelu profila, karakterizira nedostatak jasnih refleksa, dok treću sredinu (nakon 655 m) karakteriziraju jaki i kontinuirani refleksi. Nedostatak refleksa je vjerojatno uzrokovan izmjenom nepravilnih manjih tijela (leća) propusnih i nepropusnih naslaga, dok jaki refleksi potječu od izmjena subhorizontalnih tankih slojeva propusnih i nepropusnih naslaga. U drugoj sredini, između dvaju rasjeda, refleksi su slabi i isprekidani, ali sugeriraju na izmjenu tanjih slojeva klastičnih stijena.

Na refleksijskom profilu REF-3 (prilog 3.2) nalaze se samo dvije sredine. Prva sredina, koja se nalazi u brdovitom dijelu profila, može korelirati sa sredinom u kojoj se nalaze velike otpornosti na tomografskom profilu TP-3. U ovoj sredini nema jasnih i kontinuiranih refleksa, osim u površinskom dijelu, koji su povezani vjerojatno s trošnom zonom. Drugu sredinu, nakon položaja 635 m, karakteriziraju jasni i kontinuirani refleksi, a interpretiran je rasjedni subvertikalni kontakt na položaju 635 m. Prema tome, u prvoj sredini izmjenjuju se nepravilna, manja tijela propusnih i nepropusnih stijena, a u drugoj se izmjenjuju slojevi nepropusnih i slabo propusnih naslaga budući da se u ovoj sredini na tomografskom profilu nalaze vrlo male otpornosti (prilog 2.3). Refleksi upućuju na blagi nagib slojeva, blago uzdizanje prema kraju profila, dok su plitki refleksi suprotnog nagiba. Interpretirani rasjed s refleksijskog profila ne ide samim rubom velikih otpornosti na tomografskom profilu (prilog 2.3), nego je pomalo unutar tijela, što je rezultat različite rezolucije primijenjenih metoda.

4.5. Zaključak geofizičkih mjerenja

Geofizička istraživanja izvedena su na mikrolokacijama koje su definirane na temelju geološke i hidrogeološke prospekcije terena. Interpretirani geofizički modeli, zajedno s površinskim i bušotinskim geološkim podacima, omogućuju definiranje prognoznih geoloških modela na istraživanom području te definiranje optimalnih položaja istraživačkih bušotina.

Geofizički podaci uvijek dobro definiraju relativne odnose na istraživanom terenu, te se mogu učinkovito izdvojiti najpovoljnija područja. Međutim, kvantitativno značenje interpretiranih otpornosti i seizmičkih brzina može se dobiti tek uključivanjem podataka iz istraživačkih bušotina. Iste otpornosti i seizmičke brzine mogu potjecati od različitih stijena i različitog stanja u kojemu se nalaze (kompaktnosti, razlomljenosti, zasićenosti i dr.). Zato je nužno zajedno koristiti geofizičke i sve ostale podatke, kako bi se mogao definirati prognozni geološki model podzemlja.

Prva sredina, koja se pruža u brdovitom dijelu tomografskih profil, povoljna je s hidro-geološkog stajališta, nalazi se na svim tomografskim profilima, a najveće debljine i otpornosti dostiže na profilima TP-1 i TP-3 (prilozi 2.1-2.3). Nedostatak refleksa na seizmičkim profilima u ovoj sredini upućuje na izmjene nepravilnih tijela (leća) propusnih i nepropusnih stijena (prilozi 3.1 i 3.2). Veće otpornosti potječu od paketa stijena s većim udjelom propusnih stijena u odnosu na nepropusne, a smanjenje otpornosti ukazuje na smanjenje količine propusnih stijena u paketu. Na oba profila, TP-1 i TP-3, uočavaju se manja, koncentrična tijela razmjerno velikih otpornosti (većih od 600 Ω m). Prema dosadašnjim iskustvima, takve otpornosti mogu uzrokovati trošne i razlomljene karbonatne stijene ili karbonatni grebeni, te suhe šljunčane naslage u pripovršinskim naslagama. Zato bi trebalo dodatno ispitati ove dvije zone istraživačkim bušenjem, koje može nedvojbeno odrediti značenje ovih tijela velikih otpornosti.

U nizinskim dijelovima tomografskih profila (prilozi 2.1-2.3) nalazi se sredina sa subpara-lelnim slojevima klastičnih stijena, što se jasno vidi po jakim i

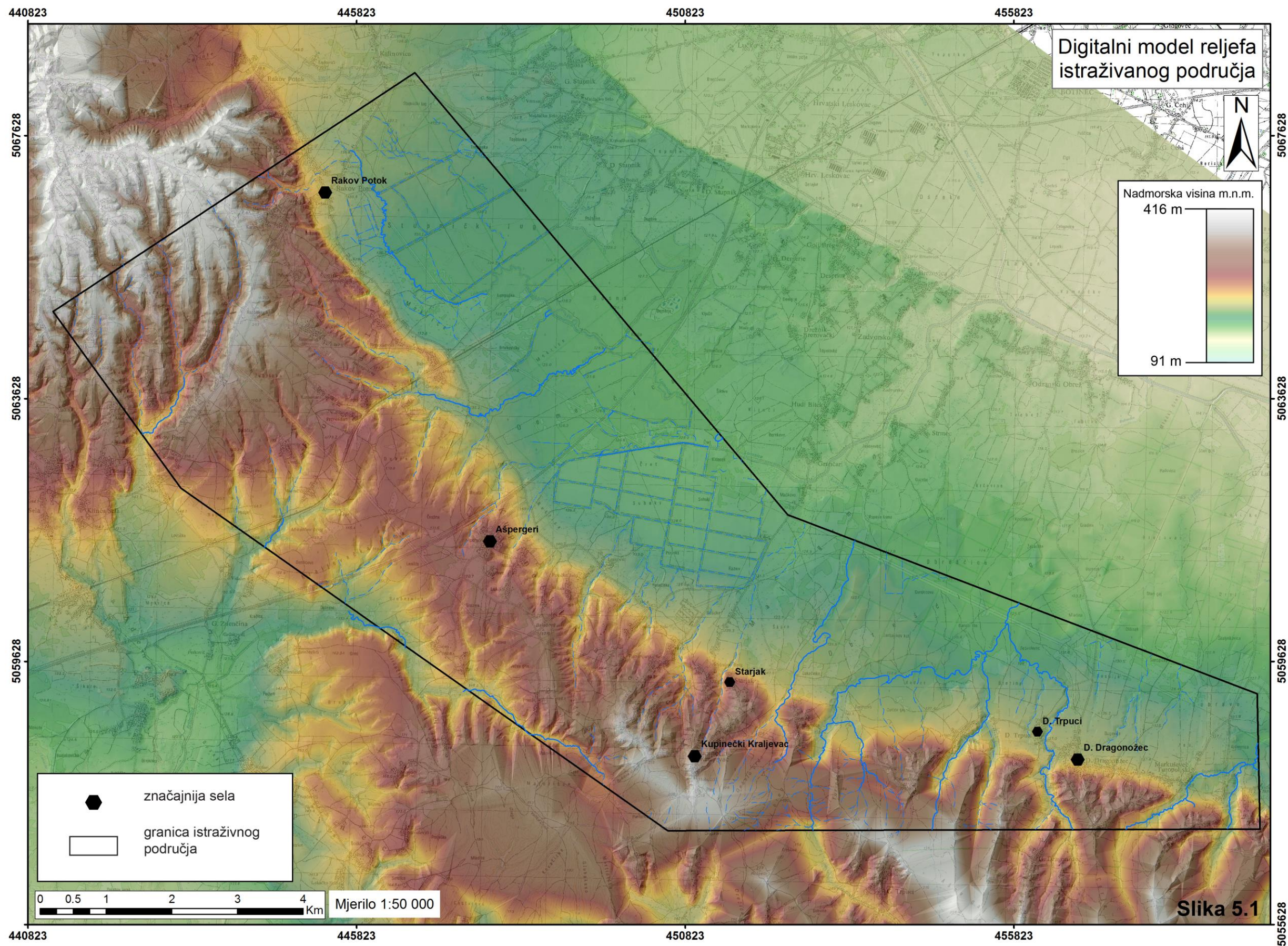
kontinuiranim refleksima na seizmičkim profilima REF-1 i REF-3 (prilozi 3.1 i 3.2). Kontakt između sredina je vjerojatno rasjedni sa subvertikalnim paraklazama. No, male otpornosti na profilu TP-3 upućuju na izmjenu slojeva nepropusnih i slabom propusnih stijena, dok se na profilima TP-1 i TP-2 uočava paket naslaga (debljine 20-30 m) većih otpornosti, pa se može interpretirati izmjena slojeva propusnih i nepropusnih naslaga. Veće otpornosti upućuju na veće količine propusnih naslaga pa treba izdvojiti paket na profilu TP-1 (prilog 2.1) na položajima 480-810 m. Prema otpornostima i seizmičkim refleksima, ovaj se paket može podijeliti u dvije sredine različitih litoloških svojstava: prva je na položajima 480-650 m, a druga na položajima 650-810 m. Refleksijski profil upućuje na rasjedni kontakt ovih sredina (prilog 3.1).

5. GEOLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI ODNOSI U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA (izrada geološke-hidrogeološke karte)

Istraživani teren nalazi se na dodiru dvije velike geomorfološke jedinice i smješten je između Rakovog Potoka na zapadu i Dragonošca na istoku. Njegove su granice prikazane na slici 1.2. Južni dio terena zauzima krajnje sjeverne padine istaknute morfogenetske strukture Vukomeričkih gorica, a sjeverni dio terena predstavljen je prostranom aluvijalnom ravnicom rijeke Save.

Teren koji zahvaća Vukomeričke gorice morfološki je izmodeliran tijekom kvartarnog razdoblja a razlog tomu je stalno izdizanje uz regionalno značajan reversni rasjed koji dijeli ovu morfološku jedinicu od aluvijalne ravnice rijeke Save. Mjerenja recentnih tektonskih pokreta govore da se radi o centimetarskim iznosima na godišnjoj razini. Zbog stalno prisutne tektonske aktivnosti i erozijskih procesa u ovom je području dobro razvijen reljef koji se očituje u brojnim relativno kratkim dolinama kroz koje teku povremeni i/ili stalni vodotoci sa skromnim količinama vode. Doline, odnosno vodotoci u graničnom području prema savskoj ravnici imaju pretežito pružanje sjeveroistok-jugozapad (slika 5.1). Nadmorske visine terena u ovom južnom dijelu kreću se u rasponu od 130 m.n.m. u dijelovima Svake ravnice, do 220 m.n.m. u području Vukomeričkih gorica.

Područje koje je predstavljeno prostranom aluvijalnom ravnicom rijeke Save, sjeverni dio područja, u morfološkom pogledu ja zaravnjen. Blaga morfološka uzdignuća u reljefu prisutna su uz granicu prema Vukomeričkim goricama tamo gdje se odvija proluvijalno-deluvijalna akumulacija sedimenata koji vode podrijetlo iz područja Vukomeričkih gorica. Način transporta ovih taloga su kratki vodotoci i gravitacija. Nadmorske visine terena u ovo sjevernom dijelu su ujednačene i kreću se u rasponu od 180 m.n.m. do 220 m.n.m.



Slika 5.1. Digitalni model reljefa istraživanog područja.

5.1. Litostratigrafski odnosi

Teren izgrađuju isključivo taložne stijene stratigrafskog raspona od pliokvartara do recentnih taloga. Zbog pokrivenosti terena izdanci stijena nisu dostupni promatranju osim rijetkih mikrolokaliteta u području Vukomeričkih gorica. Zbog toga smo koristili podatke iz brojnih bušotina koje su nam bile dostupne a koje su bile izvođene za hidrogeološka istraživanja. Dakako da su bili konzultirani i uvaženi brojni korisni podaci iz objavljenih radova, studija i elaborata. Potpuno novi egzaktni podaci koji nisu do sada korišteni (bušotine i zdenci), prikazani su u izvornom obliku kao dodatak ovoj studiji).

Pliokvartar (Pl,Q)-šljunci, pijesci, siltovi i gline

Ove su taložne stijene široko rasprostranjene na površini u području Vukomeričkih gorica, dakle u južnom dijelu istraživanog područja. U obliku jedinstvenog pojasa protežu se od Rakovog Potoka na zapadu pa do Donjeg Dragonošca na istoku. Glavni litotipovi su predstavljeni šljuncima, pijescima, siltovima i glinama. Debljine slojeva jako variraju a kreću se najčešće u rasponu od dm do m dimenzija. Najmarkantniji su slojevi šljunaka koji dosižu i metarske debljine. Osnovni litotipovi rijetko se nalaze kao samostalne čiste stijene nego je redovito prisutno miješanje osnovnih litotipova u svim omjerima kako vertikalno tako i horizontalno što je odraz njihovog načina postanka (vidi poglavlja 2 i 3). Tako najčešće nalazimo npr.: pjeskovite šljunke, siltozne i glinovite šljunke, šljunkovite pijeske, siltozne pijeske, glinovite pijeske, glinovite siltove, siltozne gline... Debljina ovog litostratigrafskog člana, prema podacima iz literature, cijeni se na oko 100 metara, a on je kontinuirano istaložen preko starijih sedimenata.

Prapor (les) (l;Q)-silt, sitni pijesak i glina

Naslage prapora široko su rasprostranjene u istraživanom području. Zauzimaju velike površine i obliku kontinuiranog pojasa protežu se sjevernim odnosno sjeveroistočnim rubom razmatranog područja. Glavni litotipovi su silt, sitni pijesak i glina. Skoro nikada ne dolaze čisti nego kao mješavina pojedinih osnovnih litotipova u svim omjerima kako horizontalno tako i verikalno. Debljina ovog litostratigrafskog člana u istraživanom području procjenjuje se na oko 10 metara. On

je istaložen preko šljunaka i pijesaka savskog aluvija, a barem je dijelom vremenski bočni ekvivalent deluvijalno-proluvijalnog litostratigrafskog člana. Njegova geneza veže se za transport vjetom najsitnijih poplavnih taloga prostranog savskog aluvija.

Deluvij-proluvij (d,pr;Q)- siltovi, pijesci, šljunci i gline

Ovaj se litostratigrafski član u obliku jedinstvenog pojasa promjenjljive širine proteže od Rakovog Potoka na zapadu do krajnjeg istočnog dijela terena obuhvaćenog geološkom kartom (slike 5.3 i 5.4). Morfološki obuhvaća prijelazno područje između izdignute morfostrukture Vukomeričkih gorica i prostrane aluvijalne ravnice rijeke Save. Ovaj vrlo heterogeni kompleks sedimentata predstavljen je siltovima, pijescima, šljuncima i glinama koji nikada ne dolaze čisti nego se radi o mješavini osnovnih litotipova u svim omjerima kako horizontalno tako i vertikalno. Ovo su zapravo padinski sedimenti izmješani s erodiranim fragmentima pliokvartarnih stijena koje su posredstvom kratkih vodotoka (moguće i bujičnjaka) doneseni iz područja Vukomeričkih gorica. Zbog toga su izdvojene kao deluvijalno-proluvijalne taložine. U njihovoj genezi značajnu ulogu ima i reversni rasjed koji pratimo cijelom dužinom terena od Rakovog Potoka do Dragonošca (slike 5.2, 5.3 i 5.4). Naime zbog stalnog izdizanja Vukomeričkih gorica stvara se uzdignuti reljef s izraženom erozijom i kratkim transportom erodiranog materijala prema aluvijalnoj ravnici. Debljina ovog litostratigrafskog člana prema podacima iz bušotina vrlo je promjenjljiva i rijetko dosiže desetak metara.

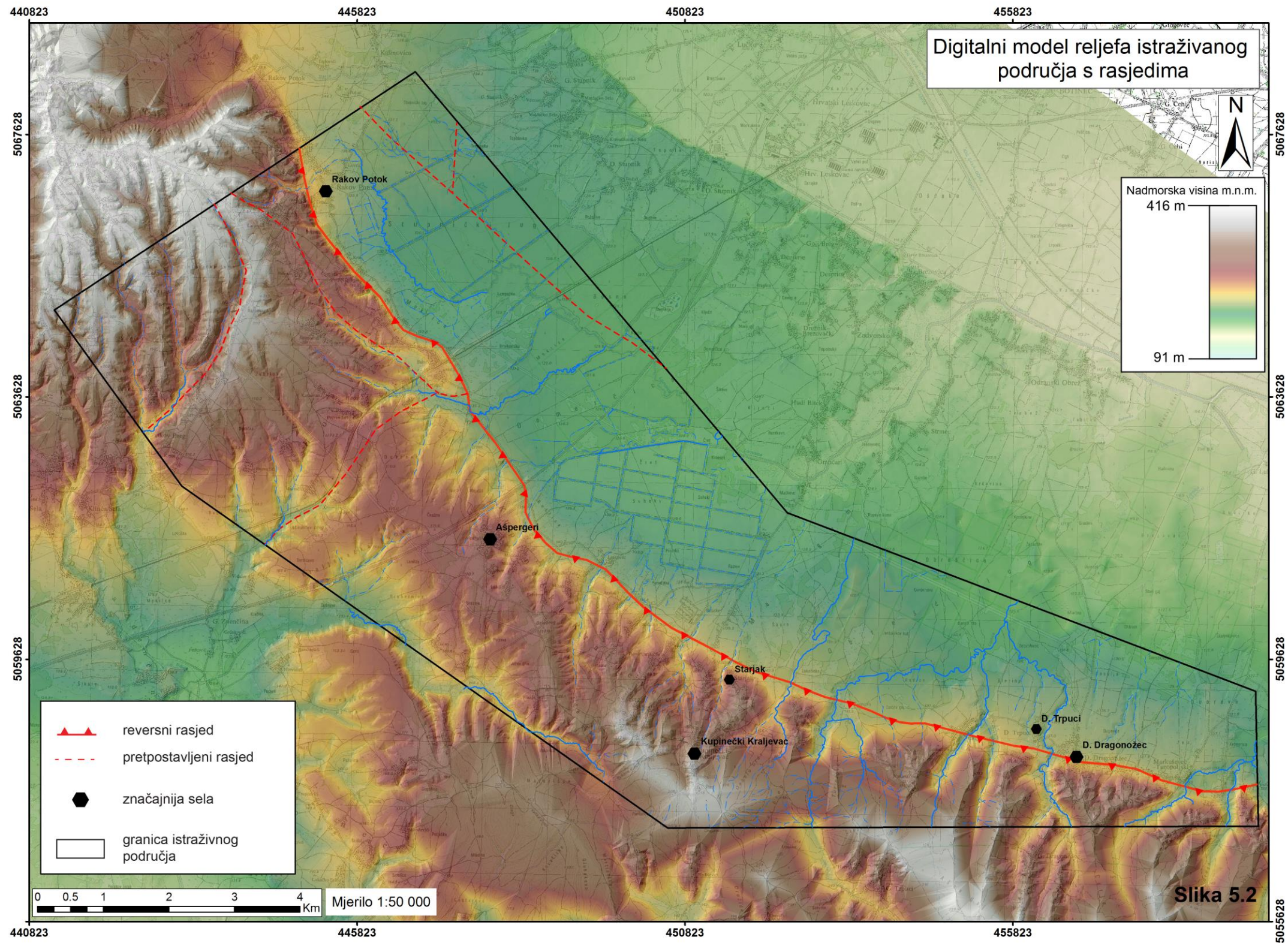
Aluvij (a;Q)-šljunci i pijesci (samo u profilima)

Ovaj litostratigrafski član ne izdanjuje nigdje u području obuhvaćenom geološkom, odnosno hidrogeološkom kartom. Prema bušotinskim podacima on je razvijen sjeverno, odnosno sjeveroistočno od reversnog rasjeda a prekriven je deluvijalno-proluvijalnim sedimentnim zastorom i naslagama prapora. U litološkom smislu predstavljen je šljuncima i pijescima te podređeno tanjim slojevima i proslojcima glina i siltoznih glina. Slojevi šljunka i pijeska su metarskih debljina, postojane debljine i imaju značajno horizontalno rasprostranjenje. Prema podacima iz bušotina redovito je miješanje pjesaka i šljunaka u svim omjerima što je i jedna od karakteristika aluvijalnih sedimentata. Oni su nastali za vrijeme visokih vodostaja rijeke Save i predstavljaju „zagrebački vodonosnik“. Tanki slojevi i proslojci glina i

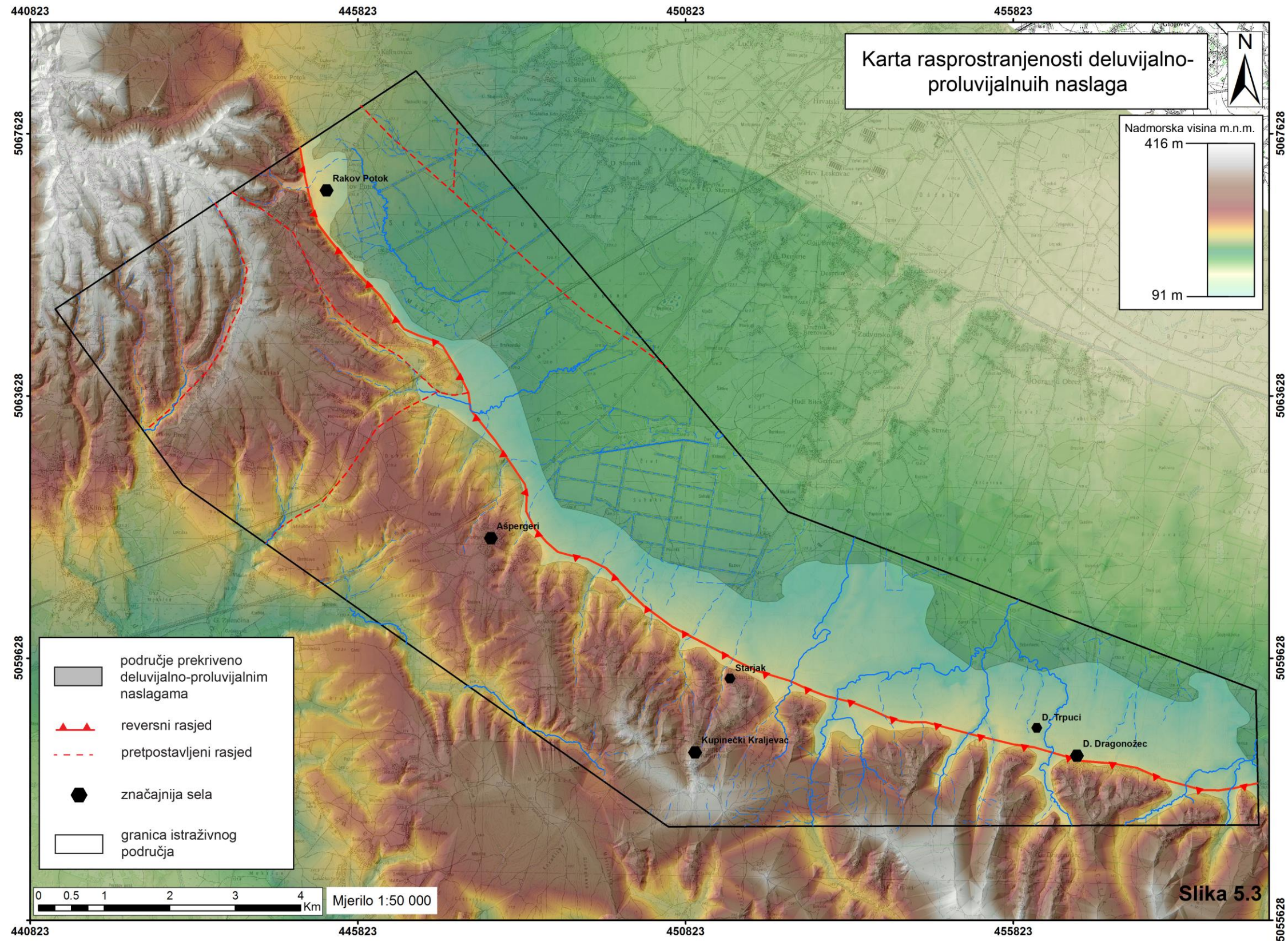
siltoznih glina nastajali su za vrijeme niskih vodostaja. Debljina ovog litostratigrafskog člana doseže i više desetaka metara.

5.2. Strukturni odnosi

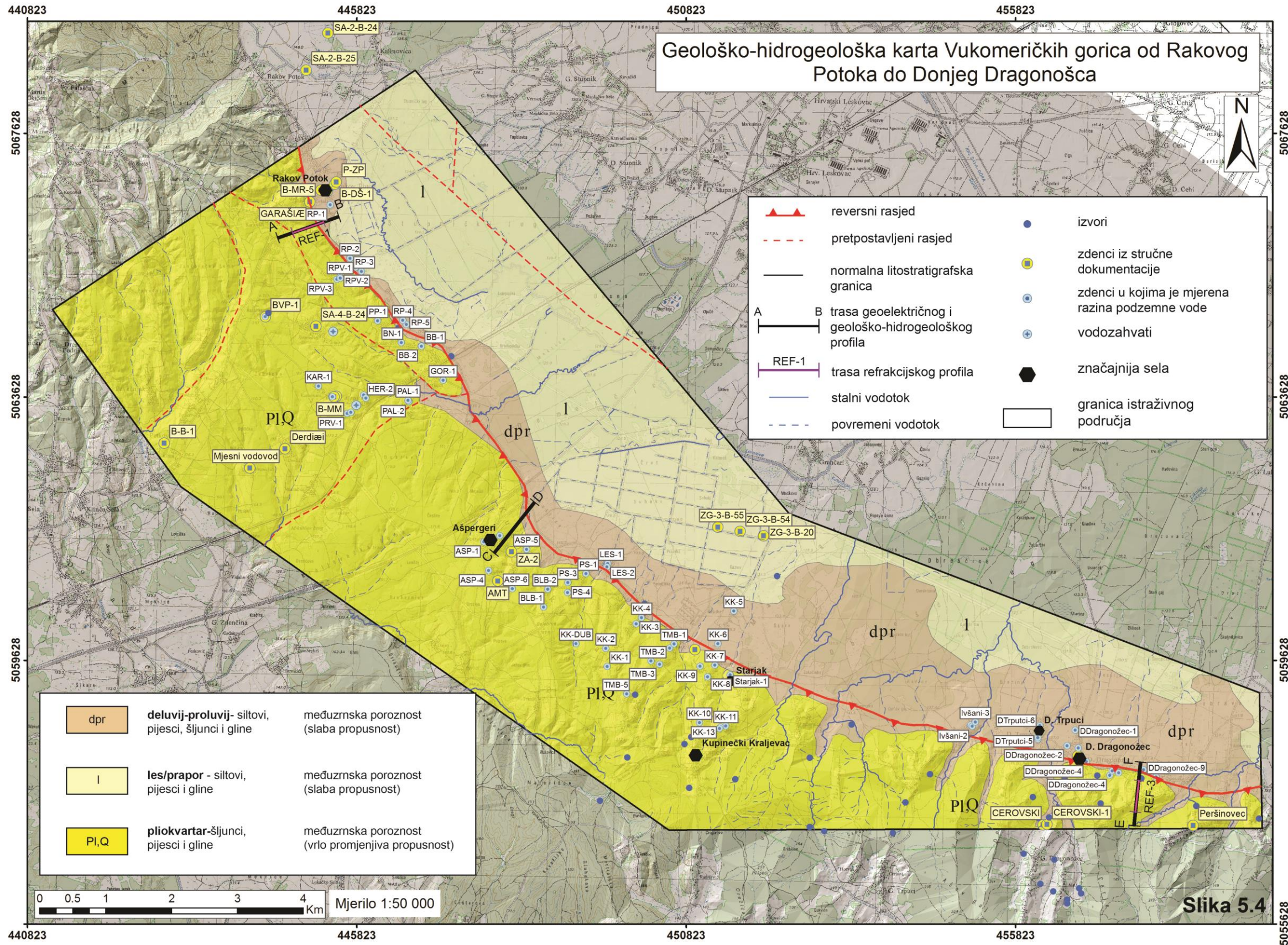
Strukturni su odnosi u razmatranom području jednostavni i prikazani na slikama 5.2 i 5.4. Nedostatak otvorenih izdanaka, odnosno pokrivenost terena, nisu omogućili mjerenje strukturnih podataka kao što su položaji slojeva i rasjeda. Ipak proučavajući podatke dobivene izradom bušotina i konzultirajući podatke iz šireg okruženja može se sa sigurnošću reći da se slojevi u istraživanom području nalaze u vodoravnom ili približno vodoravnom položaju. Reversni rasjed koji je prikazan na priloženim kartama i profilima determiniran je na temelju geomorfoloških podataka i podataka geofizičkih istraživanja (vidi poglavlje 4). Uz ovaj rasjed odvija se stalna tektonska aktivnost koja za posljedicu ima izdizanje Vukomeričkih gorica, eroziju i stvaranje razvedenog reljefa, te neprestano taloženje deluvijalno proluvijalnih taloga koji se u obliku padinskog zastora pružaju paralelno s pružanjem rasjeda u području njegovog podinskog krila. Geofizičkim istraživanjima otkriveno je još nekoliko rasjeda neutvrđenog karaktera. Oni su prikazani na geofizičkim i na litološkim profilima (slike 5.5 do 5.10).



Slika 5.2. Digitalni model reljefa istraživanog područja s rasjedima.



Slika 5.3. Karta rasprostranjenosti deluvijalno-proluvijalnih naslaga.



Slika 5.4. Geološko-hidrogeološka karta Vukomeričkih gorica – od Rakovog Potoka do Donjeg Dragonošća.

5.3. Hidrogeološka svojstva litostratigrafskih članova

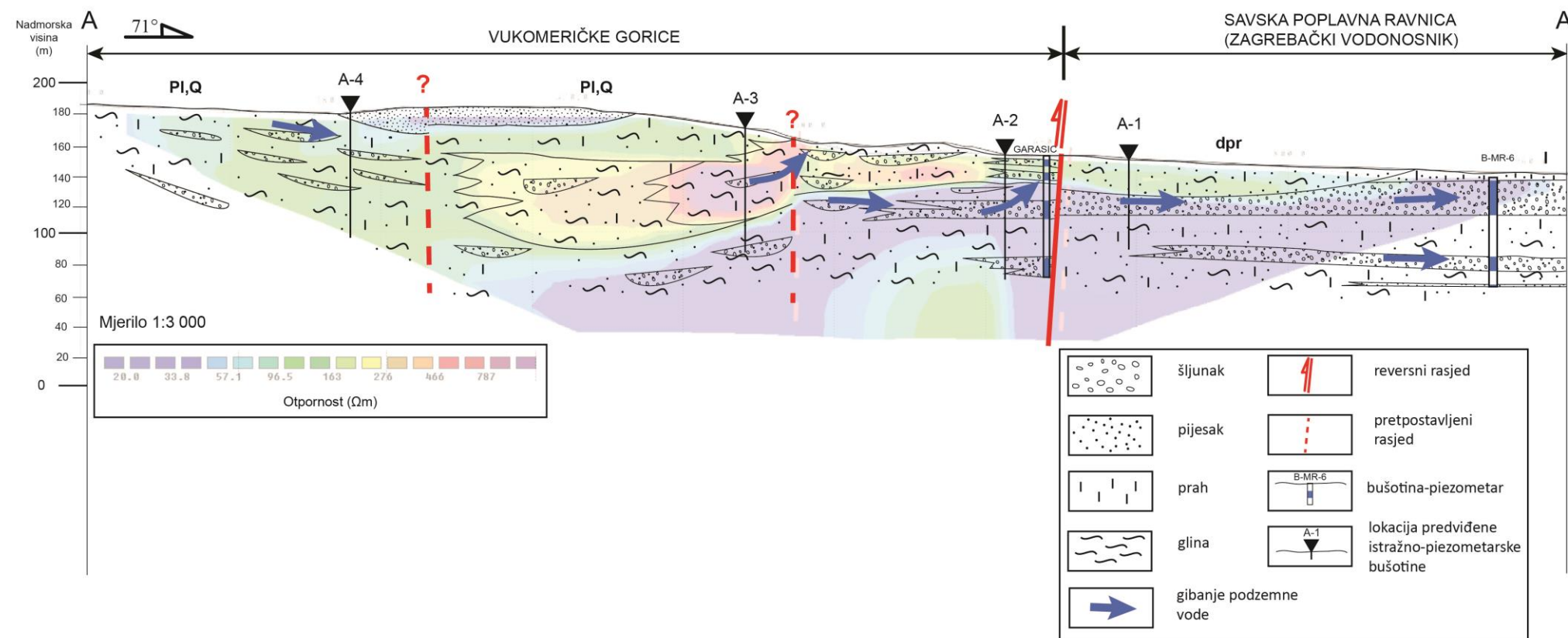
Hidrogeološke karakteristike raznovrsnih tipova stijena, njihovi međusobni odnosi i njihov strukturni položaj uvjetuju hidrogeološke odnose u istraživanom području. Temeljni kriteriji za razvrstavanje stijena prema hidrogeološkim karakteristikama bili su njihova poroznost i propusnost. Na temelju ovih kriterija izdvojene su dvije skupine:

- Nevezane i slabo vezane kvartarne naslage
- Nevezane i slabo vezane pliokvartarne naslage

Nevezane i slabo vezane kvartarne naslage predstavljene su aluvijalnim nanosima rijeke Save. Poroznost ovih naslaga je međuzrnska, a propusnost im je ovisna o granulometrijskom sastavu. Vrlo dobro su propusni savski šljunci i pijesci, dok su slabo propusni prapori i deluvijalno proluvijalni talozi koji leže preko savskog aluvija. Ovakve hidrogeološke karakteristike stijena nalazimo u području sjeverno, odnosno sjeveroistočno od reversnog rasjeda.

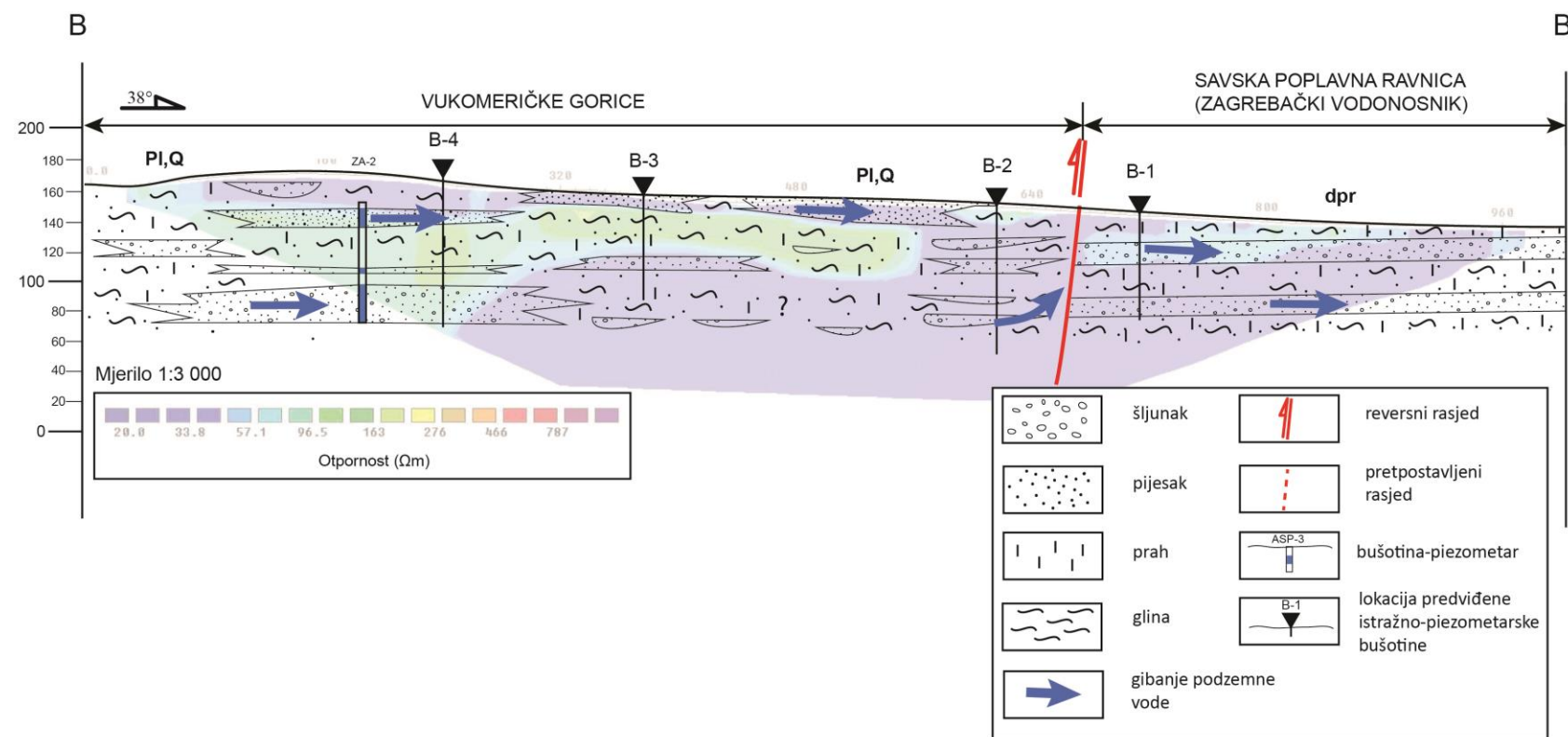
Nevezane i slabo vezane pliokvartarne naslage odlikuju se međuzrnskom poroznošću i vrlo promjenljivom propusnošću koja je posljedica vrlo heterogene građe ovoga litostratigrafskog člana. Naime u ovom litostratigrafskom članu dolazi do česte vertikalne izmjene sitnozrnastih i krupnijeznastih taloga a to su šljunci, pijesci siltovi i gline. Ovakvi odnosi su rezultat mehanizma sedimentacije ovih taložina. Petpostavlja se da se radi o riječnim sedimentima. U hidrogeološkom smislu najznačajnije su leće šljunaka i pijesaka koji imaju dobru propusnost i sadrže podzemnu vodu. Gline, siltovi i siltozne gline kao sitnozrnati litotipovi odlikuju se slabom ili vrlo slabom propusnošću. Ipak gledajući litostratigrafski član u cjelini vrlo vjerojatno su slojevi šljunaka i pijesaka u međusobnoj hidrauličkoj vezi. Litološki odnosi u razmatranom području prikazani su na tri shematska geološko hidrogeološka prognozna profila (slike 5.5 do 5.10). Detaljniji prikaz hidrogeoloških karakteristika savskog aluvija (zagrebačkog vodonosnika) i pliokvartarnog „vodonosnika“ te njihovog međusobnog hidrogeološkog odnosa prikazan je u poglavlju 6.

Shematski geološko-hidrogeološki prognozni profil A-A'
po trasi geofizičkog profila TP-1 (Rakov Potok)

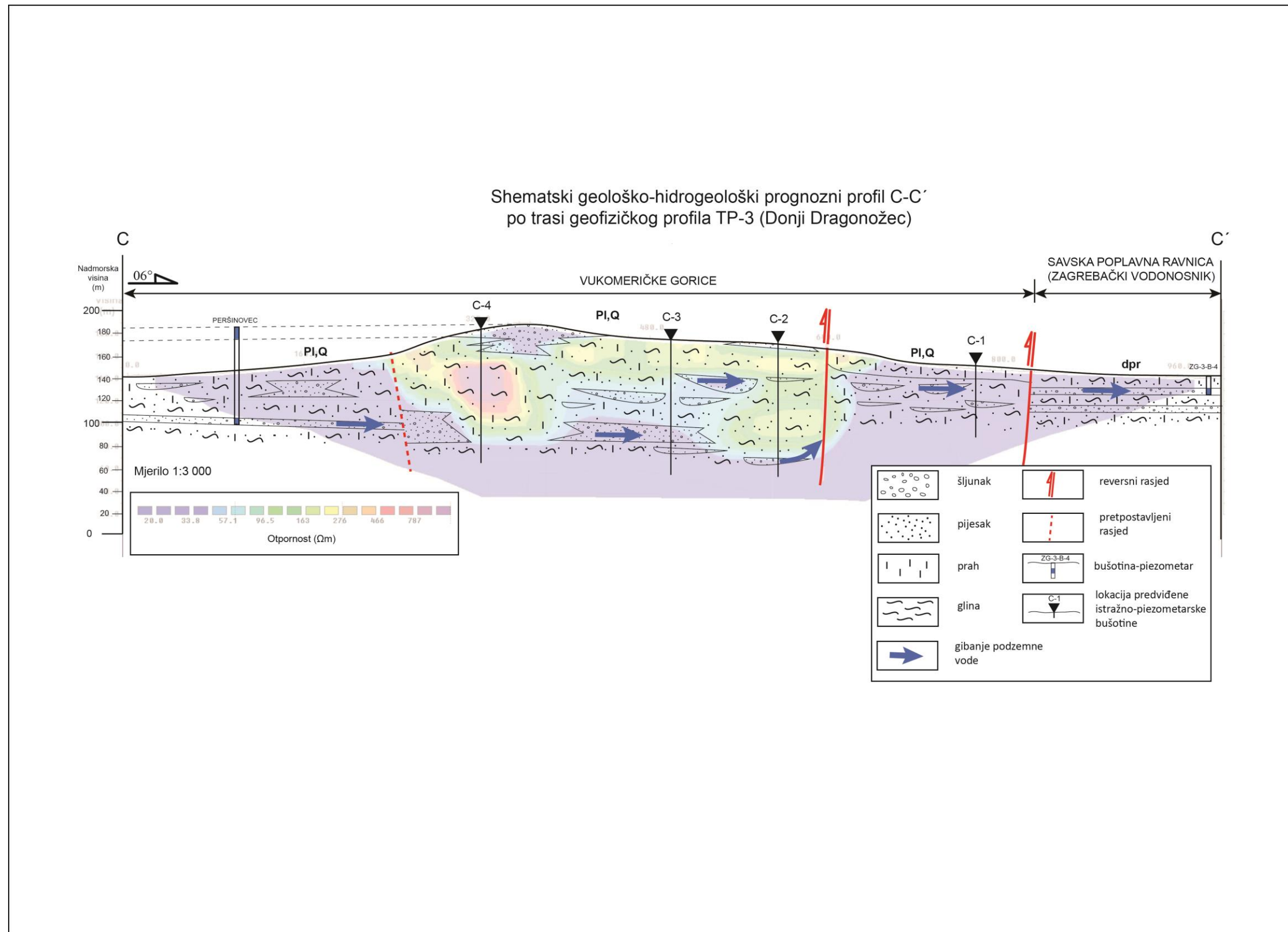


Slika 5.5. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil A-A' po trasi geofizičkog profila TP-1 (Rakov Potok).

Shematski geološko-hidrogeološki prognozni profil B-B'
po trasi geofizičkog profila TP-2 (Ašpergeri)

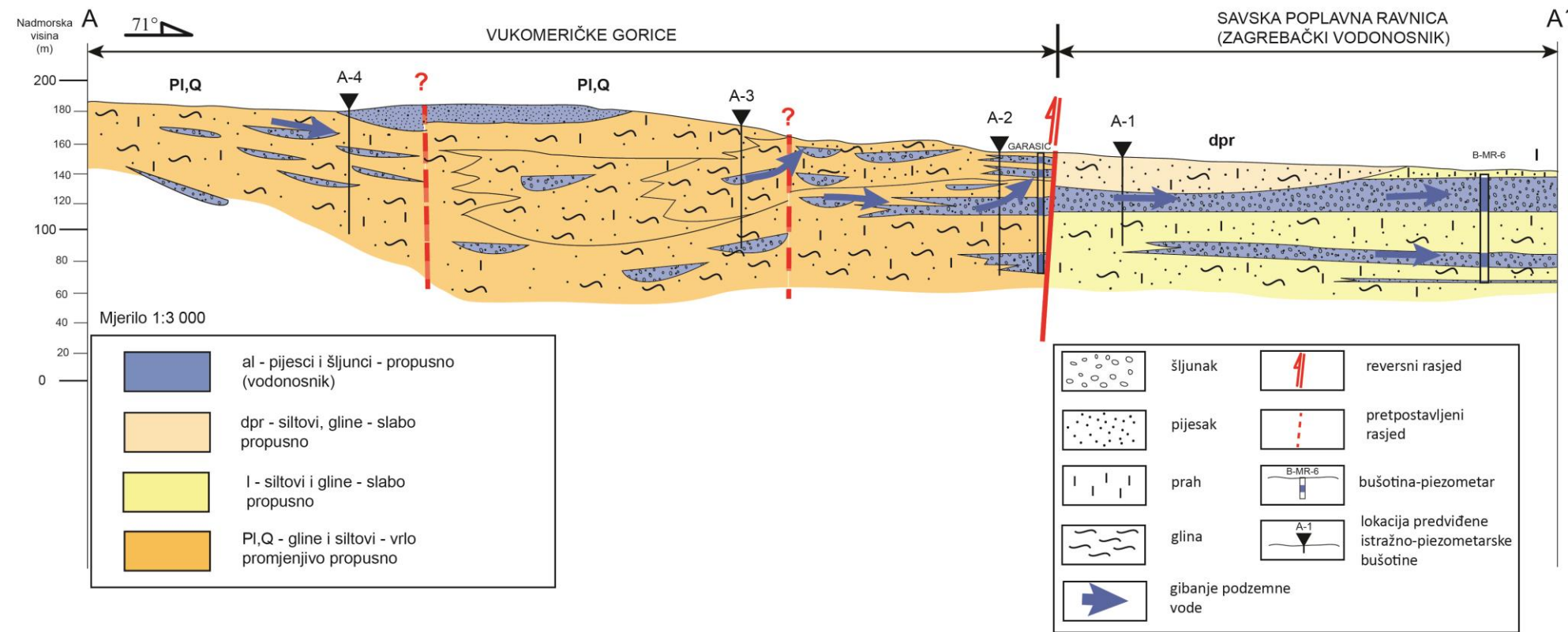


Slika 5.6. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil B-B' po trasi geofizičkog profila TP-2 (Ašpergeri).

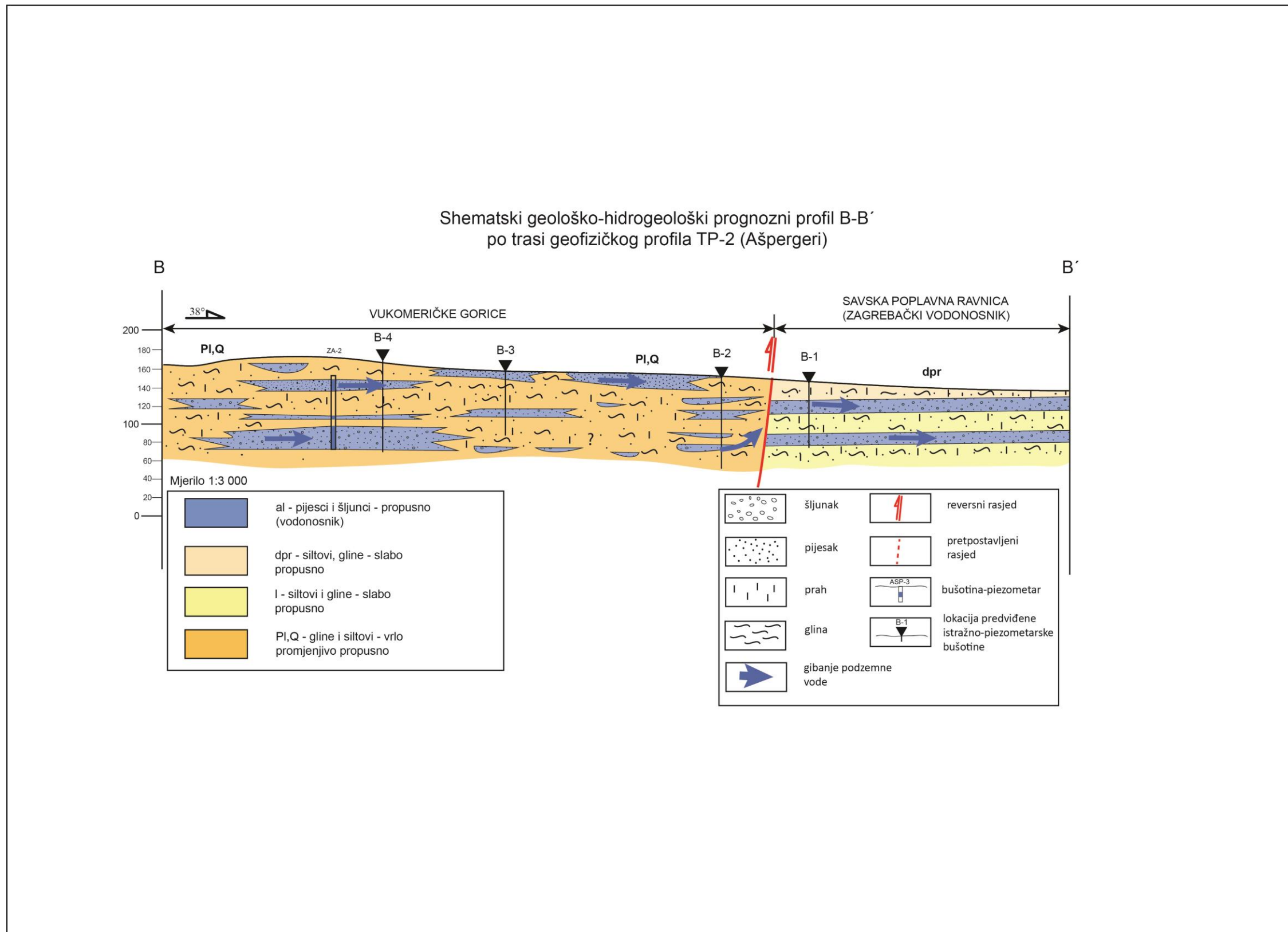


Slika 5.7. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil C-C' po trasi geofizičkog profila TP-3 (Donji Dragonožec).

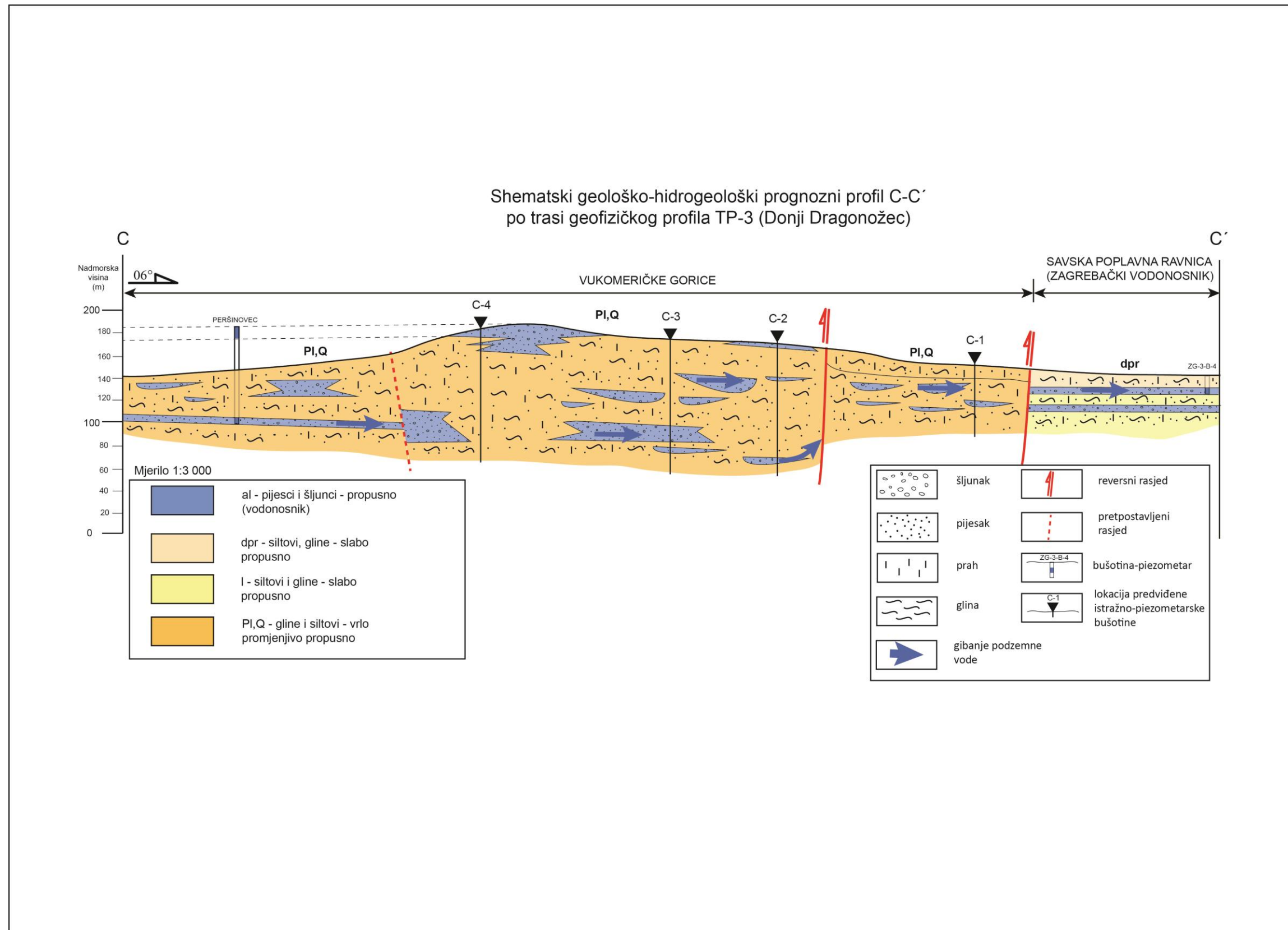
Shematski geološko-hidrogeološki prognozni profil A-A'
po trasi geofizičkog profila TP-1 (Rakov Potok)



Slika 5.8. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil A-A' po trasi geofizičkog profila TP-1 (Rakov Potok).



Slika 5.9. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil B-B' po trasi geofizičkog profila TP-3 (Ašpergeri).



Slika 5.10. Shematski geološko hidrogeološki prognozni profil C-C' po trasi geofizičkog profila TP-3 (Donji Dragonožec).

6. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Količina, dinamika, pa i kakvoća podzemne vode, osim o litološkoj građi i strukturnim odnosima, ovisi i o klimatskim i hidrološkim uvjetima te o morfologiji terena.

6.1. Oborine

Područje koje je predmet ove studije definirano je projektnim zadatkom „Hidrogeoloških istraživanja potencijalnih vodonosnika rubnog dijela Vukomeričkih gorica i njihovog odnosa sa južnim dijelom zagrebačkog vodonosnika“ (DRAGIČEVIĆ et al., 2014.), a prostire se između razvodnice slivova Save i Kupe, koja se pruža bilom Vukomeričkih gorica, i granice s aluvionom Save na potezu od Rakovog Potoka na sjeverozapadu do Donjeg Dragonošca na jugoistoku. Površina istraživanog područja iznosi 73,5 km². Tome treba dodati i dio terena jugoistočno, površine 22,5 km², s kojeg se vode slijevaju u prvo područje tako da ukupna površina tog jedinstvenog sliva iznosi 96 km² (slike 1.2 i 5.1)

Prosječne oborine izračunate za površinu slivnog područja VGO Zagreb za razdoblje 1959.-2014. iznose $H_{sr} = 1005$ mm uz standardno odstupanje $SD = 109,6$ i koeficijent varijacije $C_v = 0,109$.

Za uže područje zagrebačkog sustava podzemnih voda referentne su od glavnih meteoroloških postaja postaja Maksimir (visina prosječnih oborina 871 mm), postaja Grič (visina prosječnih oborina 900 mm) i postaja Pleso (visina prosječnih oborina 930 mm), obična meteorološka stanica Podsused (visina prosječnih oborina 996 mm), te kišomjerne stanice Brezovica (visina prosječnih oborina 1001 mm), Botinec (visina prosječnih oborina 990 mm) i Odra (visina prosječnih oborina 941 mm). Srednja vrijednost prosječnih visina oborina za nabrojene stanice iznosi $H_{sr} = 947$ mm. Uz usvajanje ove vrijednosti na ukupno slivno područje godišnje padne 90.912 000 m³ oborina odnosno 2,88 m³/s.

6.2. Evapotranspiracija

Isparavanje je vrlo složen prirodni proces koji ovisi o mnogim prirodnim parametrima. U „Elaboratu zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“ (BAČANI i dr., 2007) dani su podaci o mjesečnom i godišnjem isparavanju za izračunati pomoću empirijskog izraza po Meyeru kojim se izračunava količina isparavanja na temelju podataka o relativno vlažnosti zraka brzini vjetra i naponu vodene pare, za meteorološke postaje Pleso, Lekenik, Botinec, Podsused i Maksimir (tablica 6.1).

Tablica 6.1. Mjesečne i godišnje vrijednosti isparavanja (po Meyeru).

Stanic a	ota stanice m.n.m.	mjeseci												odina
												0	1	
PL ESO	06	2	1	2	9	5	01	09	5	8	5	0	2	49
LE KENIK	14	2	7	8	9	4	4	3	1	0	4	0	3	85
BO TINEC	16		3	5	3	7	7	02	7	3	1	6	1	44
PO DSUSED	22	2	7	3	9	1	02	01	3	5	4	9	3	09
MA KSMIR	23	5	5	4	4	1	03	15	1	0	7	3	6	94

Drugi autori (TOMIĆ i dr., 2000) iznose podatke o stvarnoj evapotranspiraciji koja za ovo područje iznosi između 652 i 675 mm.

Ako se za promatrano područje usvoji srednja vrijednost evapotranspiracije od 663 mm i srednja količina oborina od 947 mm izlazi da se evaporacijom gubi oko 70,01 % godišnje količine oborina.

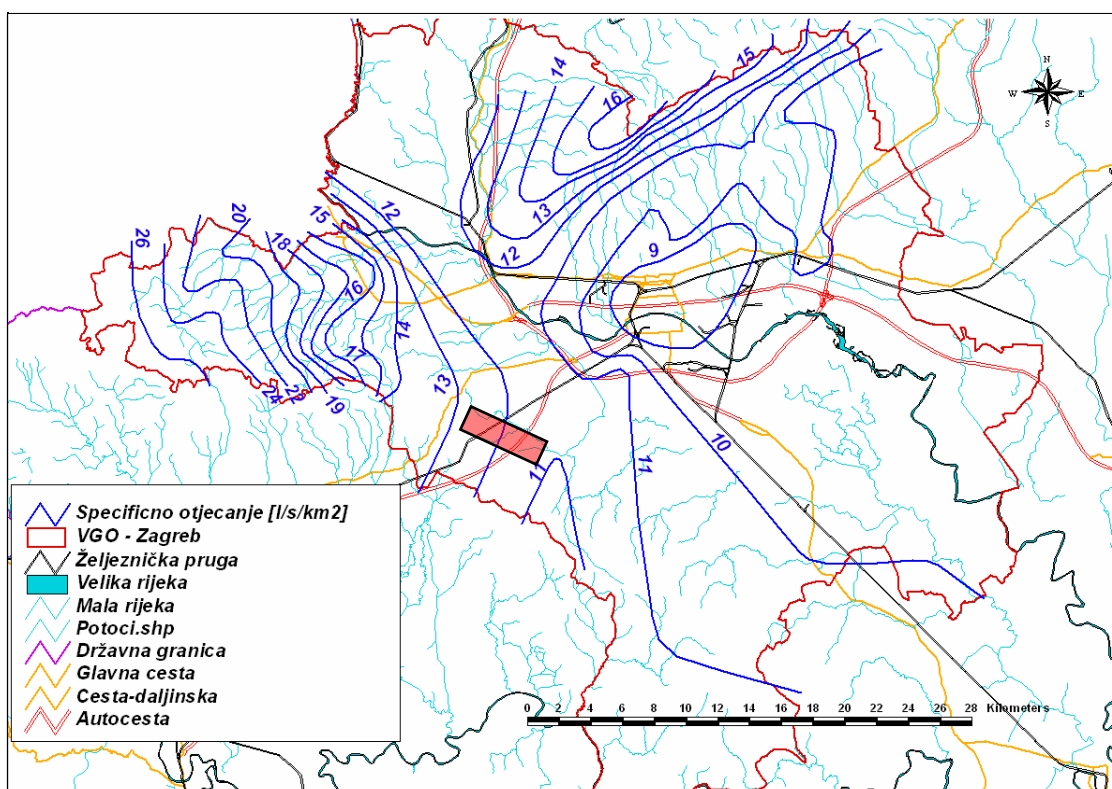
6.3. Površinsko otjecanje

Odnos oborina koje padnu i koje otječu važan je hidrološki podatak.

Specifični dotok ili specifično otjecanje q je vrijednost protoka Q vode u protjecajnome profilu vodotoka podijeljena s površinom sliva do tog profila A . Mogu se razlikovati prosječni i ekstremni (maksimalni i minimalni) specifični dotoci sa sliva (Žugaj, 2010).

Specifični dotoci su parametri pogodni za međusobnu usporedbu otjecanja u profilima duž vodotoka ili usporedbu otjecanja s različitim slivova. Postoji li na slivu nekog vodotoka nekoliko hidroloških stanica (barem tri), moguće je konstruirati krivulju specifičnih dotoka u ovisnosti o veličini sliva površine $q = f(A)$.

U elaboratu o Izmjenama i dopunama vodoprivredne osnove Grada Zagreba taj odnos je za šire područje Zagreba računat na temelju podataka 11 vodomjernih stanica. Rezultati proračuna grafički su prikazani na slici 6.1.

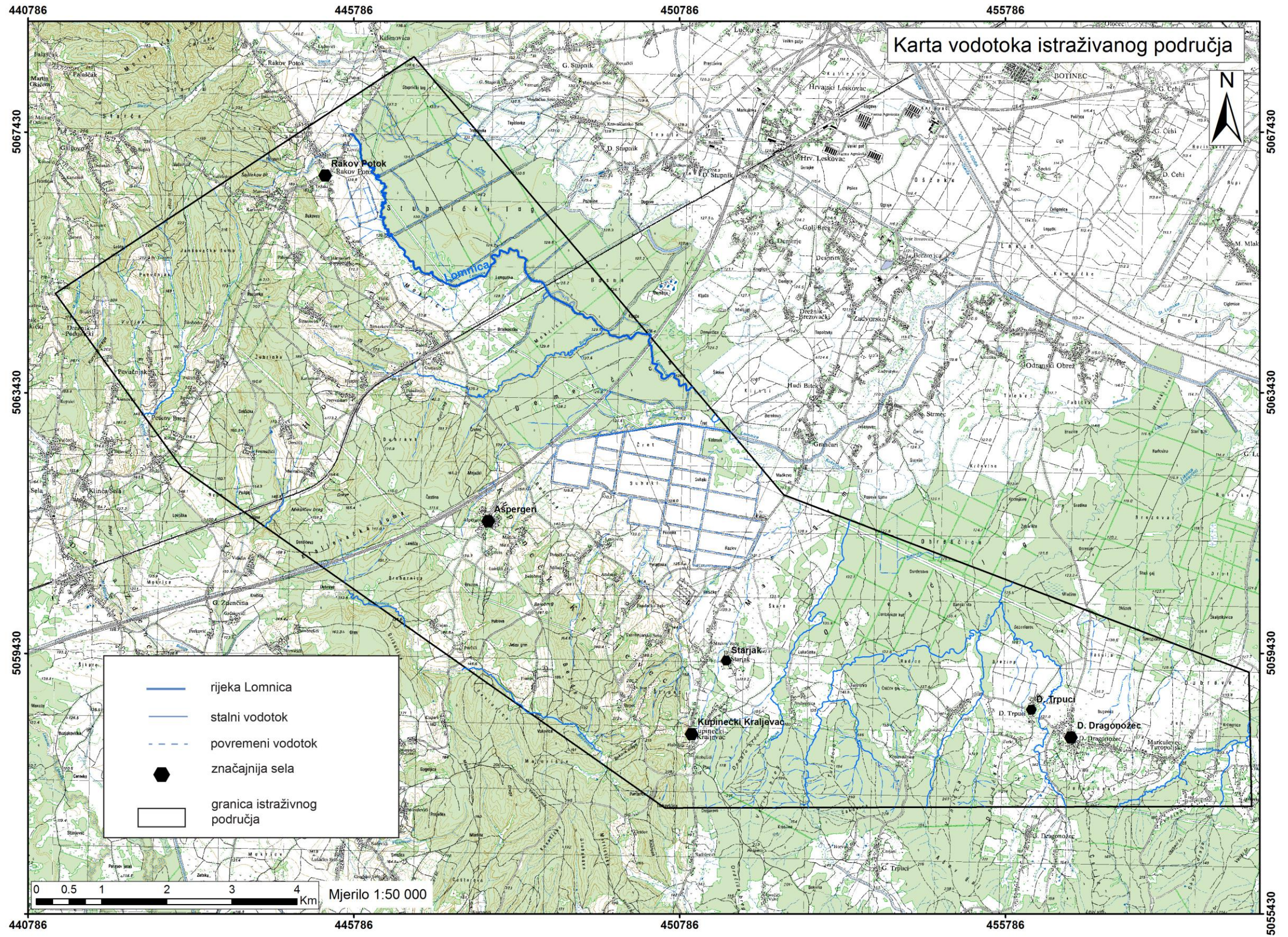


Slika 6.1. Karta specifičnog otjecanja.

Za područje koje je predmet ove studije prosječno specifično otjecanje iznosi između 11 i 12.

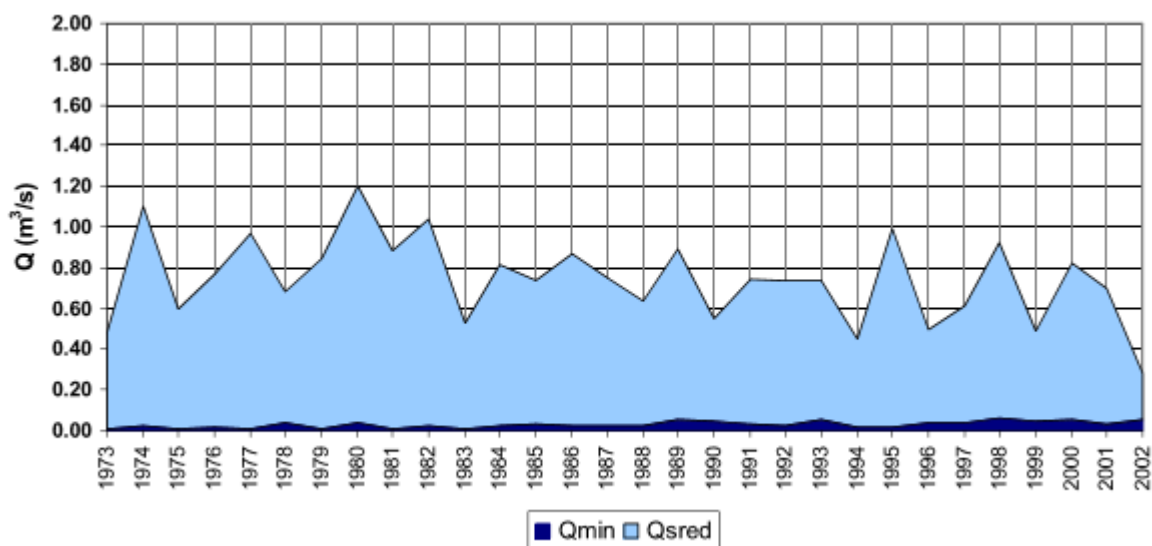
Glavni recipijent površinskog otjecanja je potok/rječica *Lomnica*. *Lomnica* izvire na visini od 240 m. na istočnom obronku Plešivice kod mjesta Galgovo sjverozapadno od Rakovog Potoka. Samo nešto preko 2 km. teče dolinom na istok., a onda ulazi u široku močvarnu ravnicu, što se prostire oko Rakovog Potoka. Tu prima s lijeve strane jarak Čret. *Lomnica* teče prema jugoistoku sve do mjesta Graničara. Tu skreće, najprije na sjeveroistok, pa između Brezovice i Odranskog Obreža ponovo mijenja smjer prema istoku-jugoistoku i poslije Okuja, sjeverno od Mraclina, ulijeva se u kanal Sava-Odra.

Sa Vukomeričkih gorica, *Lomnica* prima najprije dva kratka pritoka -*Bukovac* i *Gustelinu*, a onda *Kukeljnjak* koji sakuplja oborinske vode s područja Starjaka. Prije Lokaveca prima potok *Lipnicu* koji prikuplja vode središnjeg dijela sjevernih padina Vukomeričkih gorica i najznačajnija je desna pritoka *Lomnice*. Poslije Turopoljske Petrovine u *Lomnicu* se ulijeva potok *Rameščak* (čine ga potoci *Paščenjak* i *Koren*) (slika 6.2).

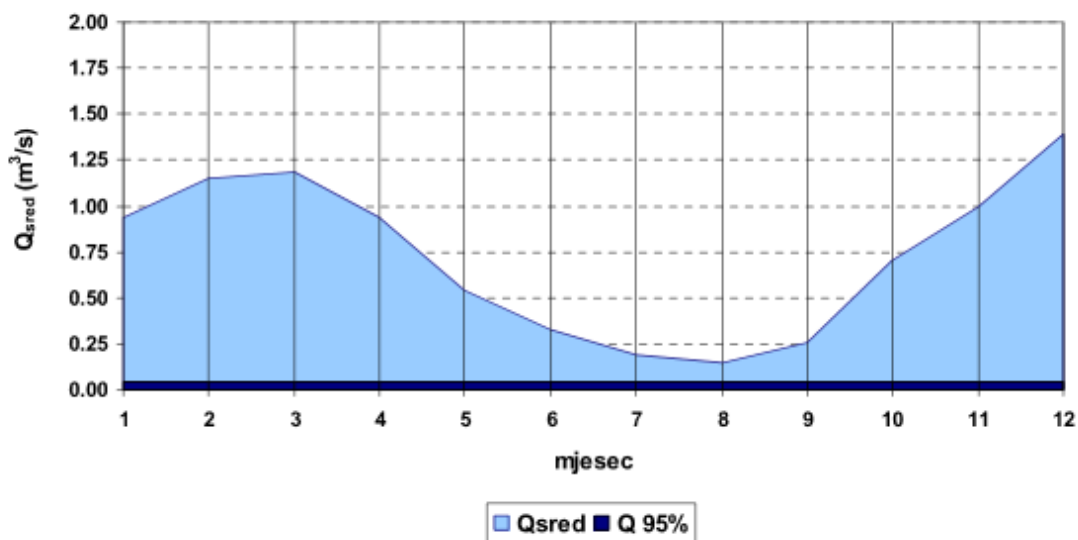


Slika 6.2. Vodotoci istraživanog područja.

Tako sve vode koje površinski otječu sa istraživanog područja završavaju u Lomnici. Srednji i minimalni godišnji protoci Lomnice za period 1973.-2002 prikazani su na slici 6.3., a minimalni i srednji mjesečni protoci na slici 6.4.



Slika 6.3. Minimalni i srednji godišnji protoci Lomnice kod Obreža (Preuzeto iz Plana navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem Grada Zagreba, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2008.).



Slika 6.4. Srednji mjesečni protoci Lomnice kod Obreža (Preuzeto iz Plana navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem Grada Zagreba, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2008.).

Srednji godišnji protoci Lomnice kod Obreža za period 2000.-2014. dani su u tablici 6.2.

Tablica 6.2. Srednji godišnji protoci Lomnice kod Obreža za period 2000.-2014. (m³/s)

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011.	2012	2013	2014
0,45	0,75	0,67	0,23	-	0,96	0,72	0,53	0,40	0,44	1,21	0,16	0,36	1,45	1,23

Srednja vrijednost protoka Lomnice za ovaj period iznosi 0,682 m³/s.

6.4. Bilanca vode

Vodna bilanca je rezultat analize hidroloških procesa kao dijelova hidrološkog ciklusa na određenom prostoru u određenom vremenu. Podrazumijeva se analiza, određivanje i uspoređivanje kvantitativnih (količinskih) pokazatelja prihoda, rashoda i promjena zaliha vlage na utvrđenom ograničenom prostoru za unaprijed zadano vremensko razdoblje. Vodna bilanca se ustvari temelji na zakonu o održanju mase te karakterizira proces kruženja vode u prirodi. Osnovni hidrološki procesi u vodnoj bilanci su:

- Oborine (ulazna veličina)
- Isparavanje i otjecanje (izlazna veličina)

Vodna bilanca zasniva se na općem konceptu očuvanja mase:

$$dW = U - I$$

dW- promjena mase u ograničenom prostoru

U -masa koja je ušla u taj prostor u određenom vremenu (predstavlja oborine kao ulaznu veličinu) I -masa koja je izašla iz tog prostora u određenom vremenu (predstavlja isparavanje i otjecanje kao izlaznu veličinu)

Jednadžba promjene vodnih količina na nekom prostoru:

$$U - I = \pm \Delta W$$

U – ulazna veličina (oborine)

I – izlazna veličina

ΔW – promjena početnog ukupnog volumena vodne mase u određenom prostoru i određenom vremenskom razdoblju

Za slučaj kada je mjerenje vodnih količina ulaza i izlaza vode na nekom prostoru dovoljno dugotrajno (20-30 godina) tada $\Delta W \rightarrow 0$ i u tom slučaju vodnu bilancu možemo pisati kao:

$$P = E + O_1 + O_2$$

P – oborine

E – evaporacija

O₁ – površinsko otjecanje

O₂ – podzemno otjecanje

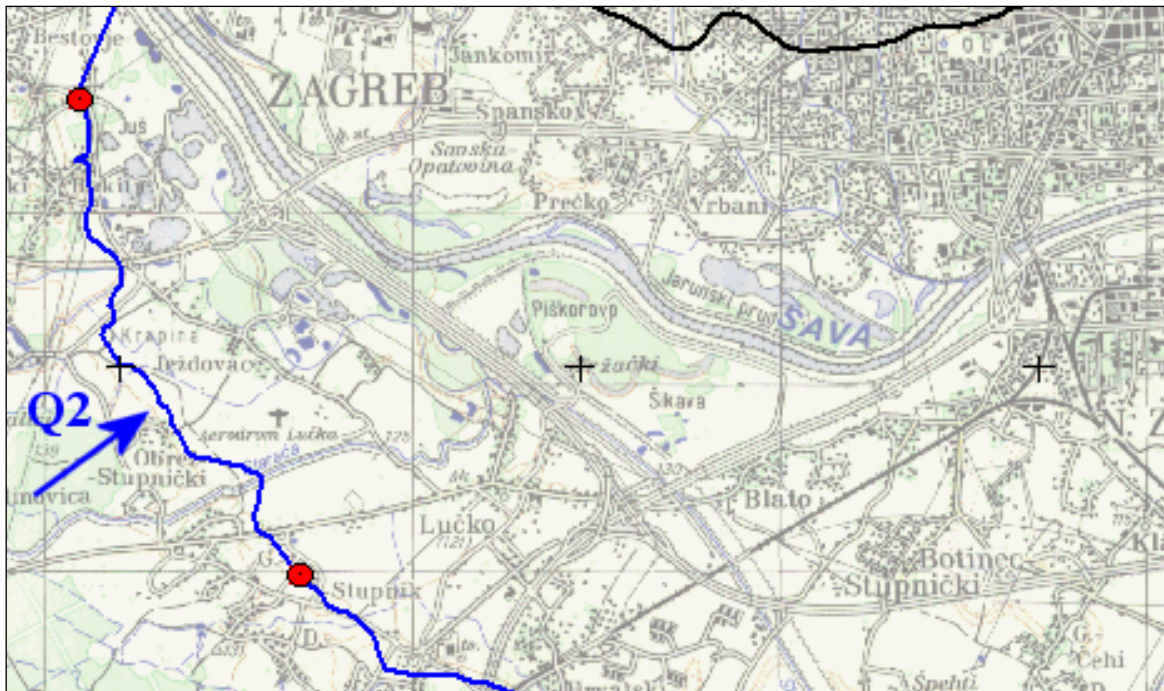
Odnosno podzemno otjecanje se može izraziti kao:

$$O_2 = P - (E + O_1)$$

U konkretnom slučaju za dio Vukomeričkih gorica koji je dio ove studije podzemno otjecanje iznosi:

$$O_2 = 2,88 \text{ m}^3/\text{s} - (2,02 \text{ m}^3/\text{s} + 0,682 \text{ m}^3/\text{s}) = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

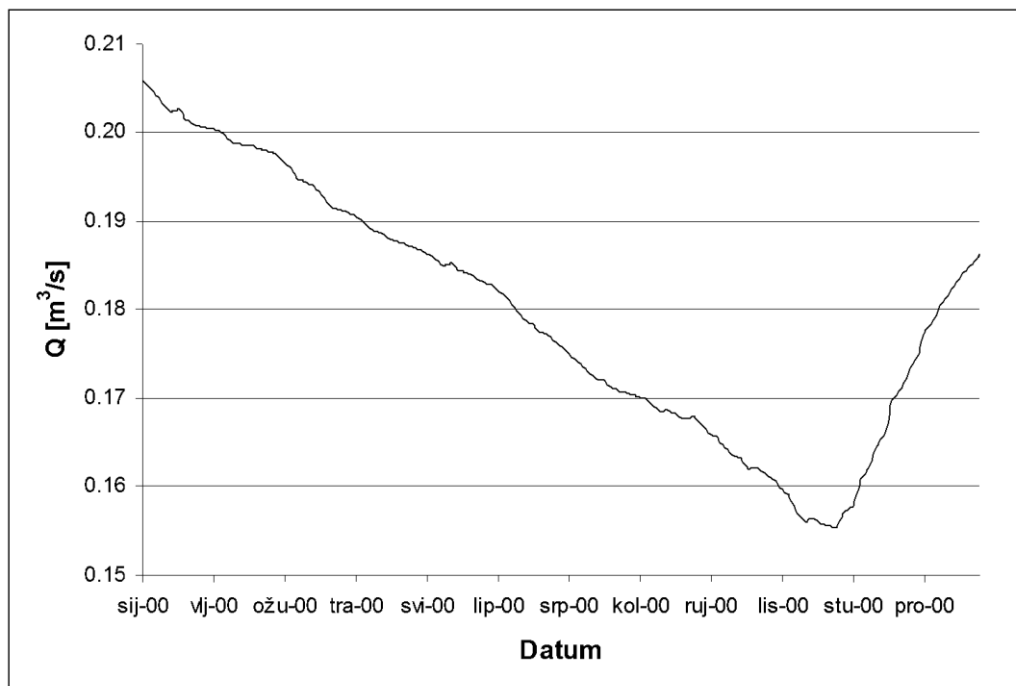
Do istog rezultata (dotok Q2 na slici 6.5) došlo se je simulacijom toka podzemne vode u „glavnom“ dijelu zagrebačkog vodonosnika pomoću MODFLOW računalnog programa u „Elaboratu zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“ (BAČANI i dr.,2007). Tijekom kalibracije modela prilagođavano je dotjecanje po zapadnoj i južnoj granici (slika 6.6).



Slika 6.5. Dotjecanje po zapadnoj/jugozapadnoj granici zagrebačkog vodonosnika (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)

Tablica 3. Srednji mjesečni i srednji godišnji dotoci po sektoru 2 za 2000. Godinu.

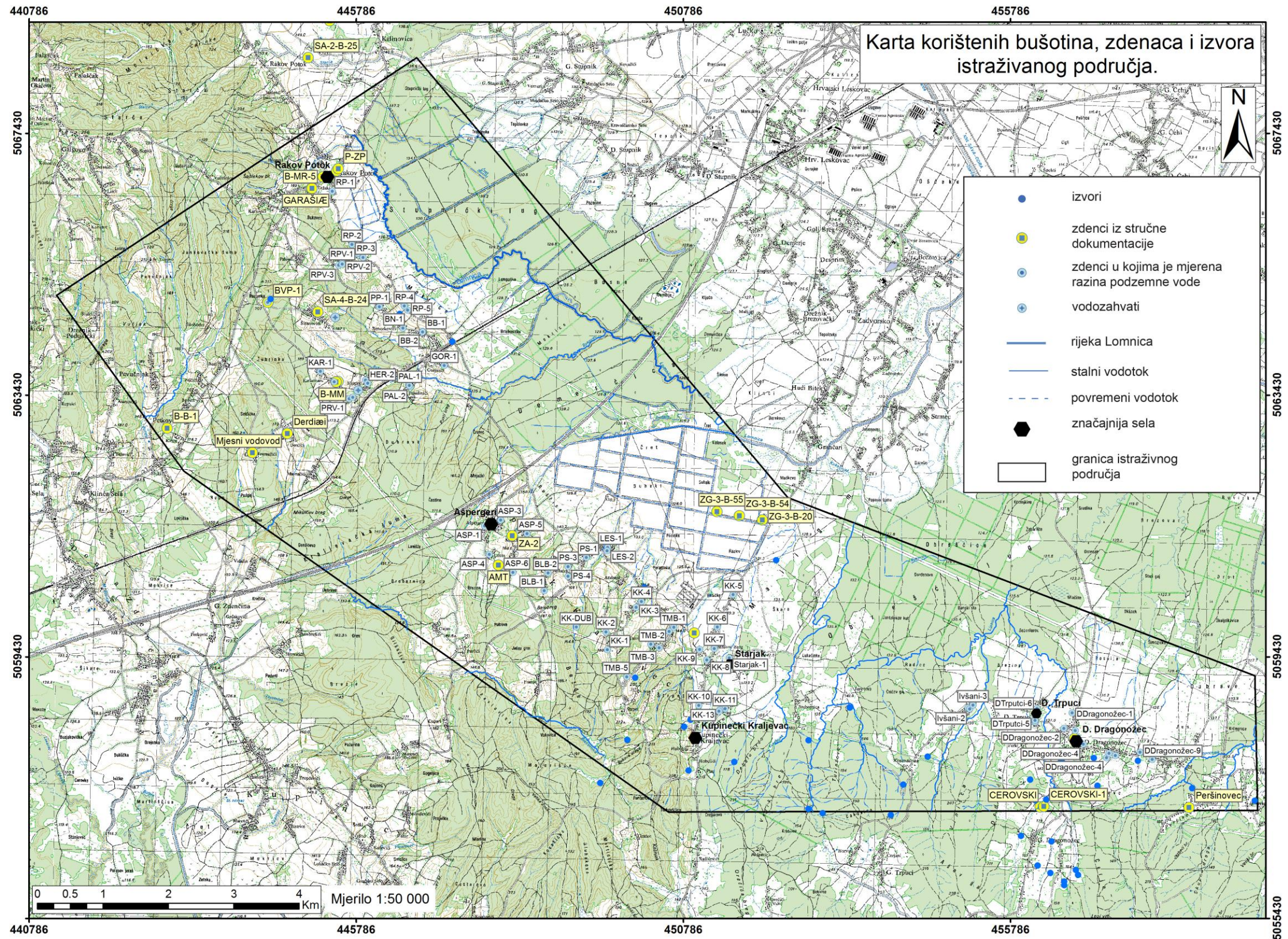
protok m ³ /s	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studenj	prosinac	2000 godina
Q2	0,202	0,198	0,194	0,187	0,185	0,177	0,172	0,168	0,162	0,157	0,170	0,185	0,180



Slika 6.6. Dotjecanje Q2 po zapadnoj/ jugozapadnoj granici vodonosnika na sektoru Bestovje/Rakitje –Donji Stupnik za 2000. Godinu. (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)

6.5. Vodonosnici

Na istraživanom području nalazi se samo 18 bušenih zdenaca za koje postoje podaci o litološkom sastavu naslaga, odnosno dubini zalijeganja i debljinama vodonosnika. Locirani su na području ili u blizini naselja tako da su grupirani u 7 zona. To su zone: (1) „Rakov Potok“- (2) „Razomka –Širanovići“- na i (3) „Karasmani-Prevendari-Đerđići-Premužići“- na sjeverozapadnom dijelu, (4) „Bencekovići-Babići“ – na istoku sjevernog dijela područja, (5) „Ašpergeri“ – i (6) „Starjak-Grančari- u središnjem dijelu i (7) „Dragonožec“ – na jugoistoku (slika 6.7).



Slika 6.7. Karta lokacija zdenaca i bušotina u istraživanom području.

Zona 1 „Rakov Potok“

U toj zoni postoji 5 bušenih zdenaca za koje postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita -„filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca.

Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.3. ZDENAC B-DŠ-1:

približna kota terena 140 m n.m;

Dubina zdenca: 81,50 m

Izdašnost Q=2,5 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	9,0-19,0	131-121	10,0
2	25,0-27,0	115-113	2,0
3	61,0-68,0	79-72	7,0
4	72,0-75,0	68-65	3,0

RPVstat= 134,5 m n.m.

Tablica 6.4. ZDENAC BMR-6:

približna kota terena 140 m n.m;

Dubina zdenca: 82,40

Izdašnost Q=8,5 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	9,0-33,0	131-107	24,0
2	?	?	?
3	61,0-70,0	79- 70	9,0
4	77,5-78,5	62,5-63,5	1,0

RPVstat= 131,5 m n.m.

Tablica 6.5. ZDENAC BMR-5:

približna kota terena 140 m n.m;

Dubina zdenca: 95,0

Izdašnost Q=7,5 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	12,0-17,0	128-123	5,0
2	22,0-45,0	118-95	23
3	71,0-77,0	69- 63	3,0
4	82,0-85,0	58,0-55,0	3,0

RPVstat= 128 m n.m.

Tablica 6.6. ZDENAC P-ZP:

približna kota terena 140 m n.m;

dubina zdenca: 82,0

Izdašnost Q=4,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	12,0-21,0	128-119	9,0
2	26,0-29,0	114-111	3,0
3	58,0-64,0	82-76	6,0
4	69,0-72,0	71-68	3,0

RPVstat= 134,5 m n.m.

Tablica 6.7. ZDENAC „Garašić“:

približna kota terena 162 m n.m.;

Dubina zdenca: 93,26

Izdašnost 3,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	10,0-14,0	152-148	4,0
2	37,0-48,0	125-114	11,0
3	72,0-83,0	90-79	11,0
?	?	?	?

RPVstat= 148,9 m n.m.

Na temelju gornjih podataka može se zaključiti da u širem području Rakovog Potoka u gornjih stotinjak metara terena postoje 4 vodonosnika.

Zona 2 „Razomka-Širanivići“

U toj zoni nalaze se 2 bušena zdenaca za koje postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita „filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca. Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.8. ZDENAC BVP-1:

približna kota terena 207 m n.m.;

Dubina zdenca: 150,0 m

Izdašnost Q=2,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	16,0-28,0	191-179	12,0
2	38,0-52,0	169-155	14,0
3	57,0-68,0	150-139	11,0
4	139,0-145,0	68-62	6

RPVstat= 144,3 m n.m.

Tablica 6.9. ZDENAC SA-4-B-24:

približna kota terena 187 m n.m;

Dubina zdenca: 88,0 m

Izdašnost Q= 9,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	8,7-36,1	178,3-159,1	27,4
2	46,3-64,6	140,7-122,4	18,3
3	72,7-82,8	114,3-104,2	10,1
?	?	?	?

RPVstat= 184,1 m n.m.

Iako su zdenci međusobno udaljeni oko 1 km izbušeni su na hipsometrijski bitno različitim lokacijama (BVP-1 na približnoj koti 150 m n.m., a zdenac SA-4-B-24 na približnoj koti 88 m n.m.) tako je na temelju postojećih podataka teško zaključivati o povezanosti (kolrelaciji) izdvojenih vodonosnika .

Zona 3 „Karasmani-Prevendari-Đerđići-Premužići“

U toj zoni nalaze se 3 bušena zdenaca za koje postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita -„filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca. Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.10. ZDENAC BMM:

približna kota terena 171 m n.m.;

Dubina zdenca: 108,7 m

Izdašnost Q= 0,8 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	14,0-23,0	157-148	9,0
2	64,0-73,0	107-98	9,0
3	94,0-104,0	77-67	10,0
?	?	?	?

RPVstat= 139,0 m n.m.

Tablica 6.11. ZDENAC „Derđići“:

približna kota terena 173 m n.m.;

Dubina zdenca: 70,0 m

Izdašnost Q= 1,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	5,0-7,0	168-166	2,0
2	16,0-19,0	157-154	3,0
3	31,0-33,0	142-140	2,0
4	45,0-57,0	128-116	12,0

RPVstat= 128,0 m n.m.

Tablica 6.12. ZDENAC „Premužići“: ,

približna kota terena 157 m n.m;

Dubina zdenca: 70,0 m

Izdašnost Q=5,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	2,0-4,5	155,0-150,5	2,5
2	14,0-17,0	143-140	3,0
3	33,0-45,3	124,0-111,7	12,3
4	?	?	?

RPVstat=125,5 m n.m.

Zdenci „Derdići“ i „Premužići“ nalaze se izvan granica istraživanog područja, tj. jugozapadno od površinske razvodnice koja se proteže bilom Vukomeričkih gorica. Na temelju raspoloživih podataka o dubini zalijeganja i debljini može se pretpostaviti da 3. vodonosnik u zdencu „Premužići“ odgovara 4. vodonosniku izdvojenom u zdencu „Derdići“, odnosno da je u zdencu „Derdići“ determinacijom jezgre izdvojen jedan vodonosnik više. Radi se o 1. vodonosniku debljine 2 m, a njegovo izdvajanje može biti posljedica lokalnih geoloških odnosa, ili što je vjerojatnije, da ga determinator jezgre pri bušenju zdenca „Premužići“ nije uočio ili ga nije smatrao bitnim. S obzirom na lokacije ovih zdenaca izdvojeni vodonosnici nisu relevantni za hidrogeološke odnose unutar istraživanog područja koje se prostire dijelom sjeveroistočnih padina Vukomeričkih gorica.

Zona 4 „Bencekovići-Babići“

U toj zoni nalaz se 1 bušeni zdenac za koj postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita „filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca. Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.13. ZDENAC BB-1:

približna kota terena 157 m n.m;

Dubina zdenca: 100,0 m

Izdašnost Q=0,5 do 1,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	29,0-37,0	123-115	8,0
2	82,0-98,0	70-54	16,0
3	?	?	?
4	?	?	?

RPVstat= 107 m n.m.

Zona 5 „Ašpergeri“

U toj zoni nalazi se 1 bušeni zdenac za koji postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita -„filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca. Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.14: ZDENAC ZA-2:

približna kota terena 154 m n.m;

Dubina zdenca: 90,2m

Izdašnost Q=3,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	7,0-14,5	147,0-139,5	7,5
2	16,9-19,0	137,1-135,0	2,1
3	43,5-56,2	110,5-107,8	12,7
4	67,8-75,0	86,2-75,0	11,2

RPVstat= 124,5 m n.m.

Zona 6 „Starjak-Grančari“

U toj zoni nalaze se 3 relativno plitka bušena zdenaca za koje postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita -„filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca. Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.15. ZDENAC ZG-3-B-20:

približna kota terena 128 m n.m.;

Dubina zdenca: 48,0 m

Izdašnost Q=13,5 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	5,0-10,5	123,0-117,5	5,5
2	30,0-36,0	98,0-92,0	6,0

RPVstat= 122,88 m n.m

Tablica 6.16. ZDENAC ZG-3-B-54:

približna kota terena 128 m n.m.;

Dubina zdenca: 43,0 m

Izdašnost Q=18,8 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	7,0-14,0	121,0-114,0	7,0
2	32,0-36,0	96,0-92,9	4,0

RPVstat=124,27 m n.m.

Tablica 6.17. ZDENAC ZG-3-B-55:

približna kota terena 128 m n.m;

Dubina zdenca: 19,0 m

Izdašnost Q=18,0 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	3,0-15,0	125,0-113,0	12,0

RPVstat= 123,8 m n.m.

Zdenci se nalaze na zaravnjenom terenu i međusobno su udaljeni oko 0,5 km, a očito je da su probušili iste vodonosnike.

Zona 7 (Dragonožec)

U toj zoni nalaze se 3 relativno plitka bušena zdenaca za koje postoje podaci o dubini, izdašnosti, litološkom sastavu probušenih naslaga i ugradnji zdenačke konstrukcije (cijevi, bunarska sita -„filteri“ i taložnici) i statičkoj razini podzemne vode registriranoj po završetku zdenca. Podaci o vodonosnicima dani su u slijedećim tablicama.

Tablica 6.18. ZDENAC Cerovski 1:

približna kota terena 179 m n.m;

Dubina zdenca: 42,6 m

Izdašnost Q=0,5 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	11,0-15,0	168-164	4,0
2			
3			
4			

RPVstat=172,5 m n.m.

Tablica 6.19. ZDENAC Cerovski:

približna kota terena 179 m n.m.;

Dubina zdenca: 70,0 m

Izdašnost Q=1,6 l/s

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	?	?	?
2	37,0-39,8	142,0-139,2	2,8
3	53,0-54,0	126,0-125,0	1,0
4	?	?	?

RPVstat= 165,8 m n.m.

Tablica 6.20. ZDENAC Peršinovec:

približna kota terena 185 m n.m.;

Dubina zdenca: 95,0 m

Izdašnost Q=0,1 l/s arteški

Vodonosnik	Relativni dubinski interval (m)	Apsolutni dubinski interval (m n.m.)	Debljina vodonosnika (m)
1	?	?	?
2	?	?	?
3	83,0-88,0	102-97	5,0
4			

arteška voda (zdenac prelijeva)

Zdenci „Ceroski 1“ i „Cerovski“ nalaze se gotovo na istoj lokaciji. U zdencu „Cerovski 1“ kao produktivan izdvojen je 1. vodonosnik, a druga dva nisu niti probušena, tako da je korelacija nemoguća.

Zdenac „Peršinovec“ nalazi se oko 2,5 km istočnije na području sa, vjerojatno lokalno, specifičnim hidrogeološkim odnosima. Naime, vodonosnik na dubini 83,0 do 88,0 m je arteški, tj. voda se iz zdenca se prelijeva, što je jedinstveni slučaj na istraživanom području.

Zbog relativno malog broja objekata (bušenih zdenaca) za koje postoje podaci o litološkom sastavu terena na lokacijama gdje se nalaze, njihovog

neujednačenog rasporeda, različitih dubina bušenja i različitih izvođača, odnosno subjektivnosti pri determinaciji jezgre, nemoguće je stvoriti jedinstvenu sliku o povezanosti vodonosnika na cijelom istraživanom području. No, može se zaključiti da u gornjih stotinjak metara terena na najvećem dijelu istraživanog područja postoje 4 vodonosnika.

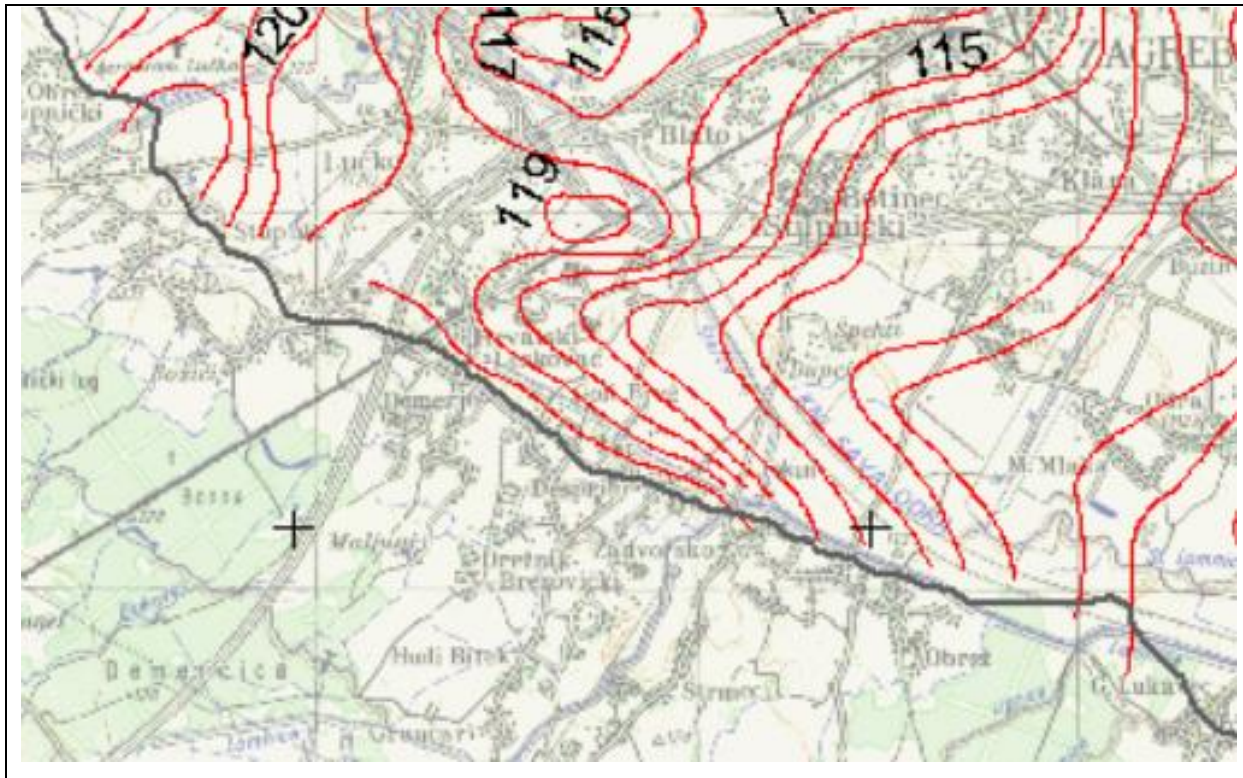
Prvi vodonosnik zaliježe ispod površinskog, pretežno glinovito-prašinastog pokrivača debelog 2 do 29 m i debeo je od 2 do 24 metra. Prosječna debljina mu je 9,3 m. Napaja se infiltracijom oborinskih voda, intenzivnije na dijelovima terena gdje je površinski pokrivač tanji, a prazni se međuslojnim procjeđivanjem u dublji („drugi“) vodonosnik i izviranjem vode na stalnim ili povremenim izvorima koji su uvjetovani lokalnim morfološkim i litološkim odnosima.

Drugi vodonosnik se na većini lokacija nalazi na dubini većoj od 25 m, što znači da je od prvog vodonosnika odvojen glinovito-prašinastim međuslojem debljim od 5 metara. Izgrađen je od pijeska, a debljina mu, ovisno o lokaciji, varira između 2 i 23 m. Prema determinaciji jezgre iz bušotine (zdenca) BMR-6 na toj lokaciji nije izdvojen, tako da s prvim vodonosnikom čini cjelinu.

Treći, pješčani, vodonosnik nalazi se na većini lokacija dubini većoj od šezdesetak metara, a debeo je između 3 i 12 m. Između drugog i trećeg vodonosnika nalaze se uglavnom glinovite naslage s više ili manje primjese praha i pijeska debljine tridesetak metara. U svim zdencima za koje postoje podaci taj vodonosnik je kaptiran, odnosno u njega je ugrađeno bunarsko sito („filtar“) i iz njega se crpi podzemna voda (tablicama označeno plavom bojom).

Četvrti vodonosnik nalazi se, ovisno o lokaciji na dubini između 69 i 82 metra, a debeo je oko 3 m. Na 6 lokacije (B-DŠ-1, BMR-5, P-ZP, BVP-1, Derdići i ZA-2) je kaptiran, odnosno u njega je ugrađeno bunarsko sito („filtar“) i iz njega se crpi podzemna voda (tablicama označeno plavom bojom).

S obzirom na cilj ove studije, bitno je da su većinom zdenaca probušeni (i „kaptirani“) vodonosnici koji zaliježu ispod apsolutne visine od 121 m n.m. Naime, izostrate podine pokrova zagrebačkog vodonosnog sustava, kojeg čine aluvijalni krupnoklasični sedimenti (1. vodonosnik) i proluvijalni i jezersko-barski litofacijes (2.vodonsnik), na području južno od kanala Sava-Odra, na potezu od Stupničkog Obreža na sjeverozapadu do Gornjeg Lukaveca na jugoistoku, su ispod kote 121 (slika 6.8).



Slika 6.8. Izostrate podine pokrova zagrebačkog vodonosnog sustava. (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.)

To ukazuje na mogućnost hidrauličke veze između vodonosnika na sjeveroistočnom dijelu Vukomeričkih gorica i zagrebačkog vodonosnog sustava, odnosno mogućnost „pretakanja“ podzemne vode iz tih vodonosnika u zagrebački vodonosni sustav.

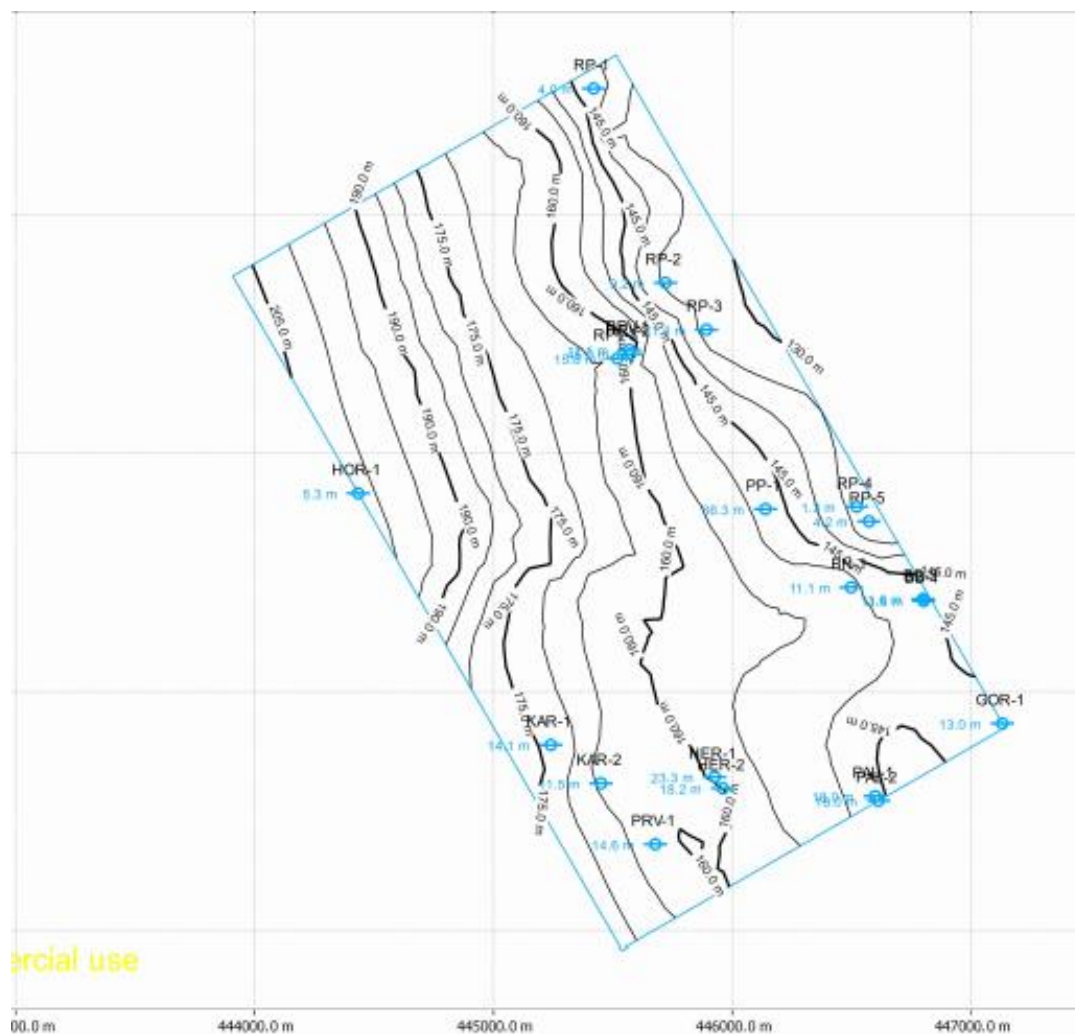
6.6. Razine podzemne vode

Na istraživanom području nije uspostavljen sustav mjerenja razina podzemne vode. Stoga smo pri izradi ove studije koristili podatke o statičkim razinama podzemne vode registriranim prigodom bušenja zdenaca, o čemu su dani podaci u prethodnom poglavlju. Osim toga raspolagali smo i podacima o jednokratnim mjerenjima razina podzemne vode u 73 kopana i bušena zdenca koja su provedena 29. i 30. ožujka (51 zdenca) i 3. svibnja 2016. godine (22 zdenca) (prilog 4). Tijekom mjerenja u ožujku najniža razina vode od 126,14 m n.m. zabilježena je u zdencu PS-3 u Milaćama na području Kupinečkog Kraljevca, a najviša od 199,26 u zdencu HOR-1 u rasadniku Horvati zapadno od Širanovića na širem području Rakovog Potoka.

Inače, najniža razine podzemne vode od 107 m.n.m. registrirana je u bušenom zdencu BB-1 na lokaciji Pavučnjak (zona 4-Bencekovići-Babići“) 16.lipnja 1993. godine.

Razine podzemne vode ovise o lokaciji i hipsometrijskom položaju pojedinog zdenca, godišnjem dobu (sušno ili kišno), ali u velikoj mjeri i o vodonosniku koji je zdencem zahvaćen, o čemu nema pouzdanih podataka, pa je i suvisla interpretacija prikupljenih podataka vrlo upitna.

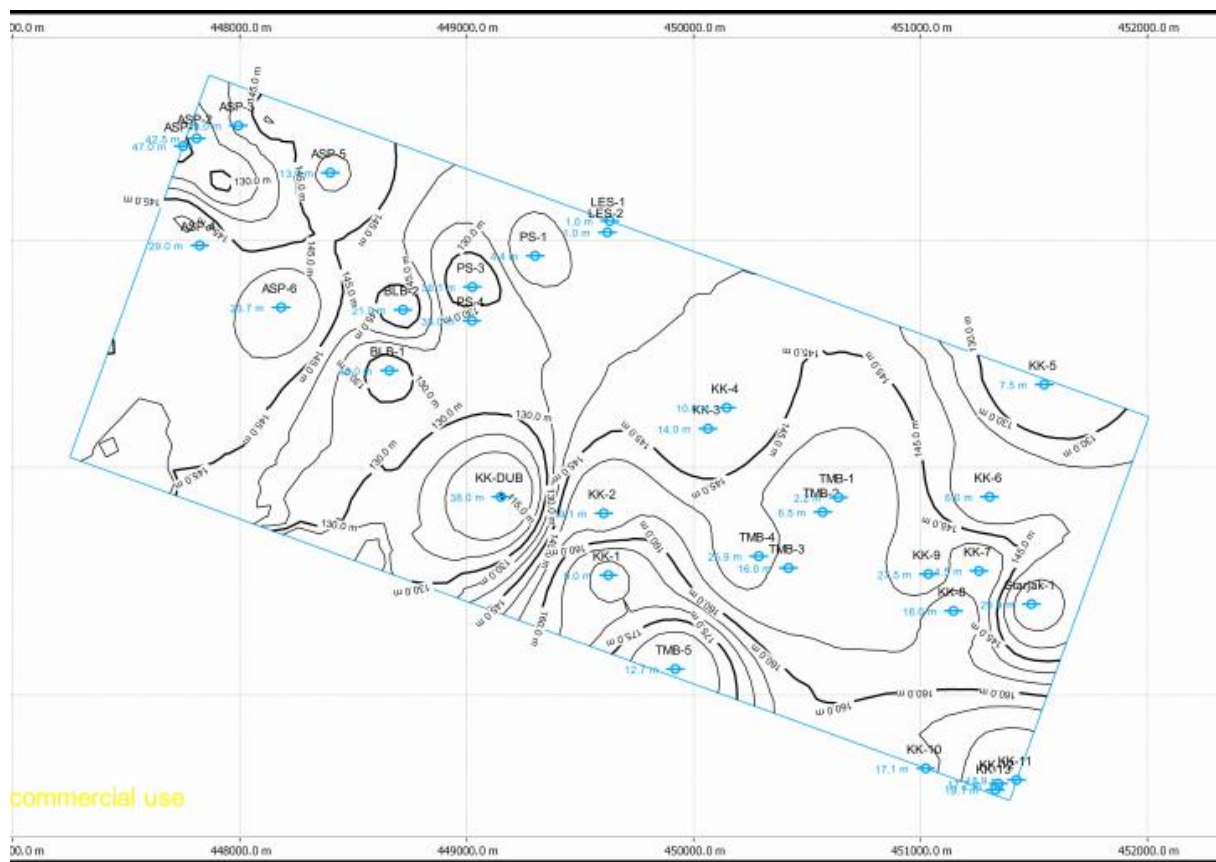
S obzirom na raspored zdenaca u kojima su mjerene razine podzemne vode pri pokušaju izrade karte/karata ekvipotencijala, područje je podijeljeno na tri dijela: Područje Rakovog Potoka, Ašpergera i Donjeg Dragonožca. Razlog tome je što su između tih sela šume gdje nema zdenaca. Na slici 6.9. prikazane su ekvipotencijale za područje Rakovog Potoka.



Slika 6.9. Karta ekvipotencijala za područje Rakovog Potoka.

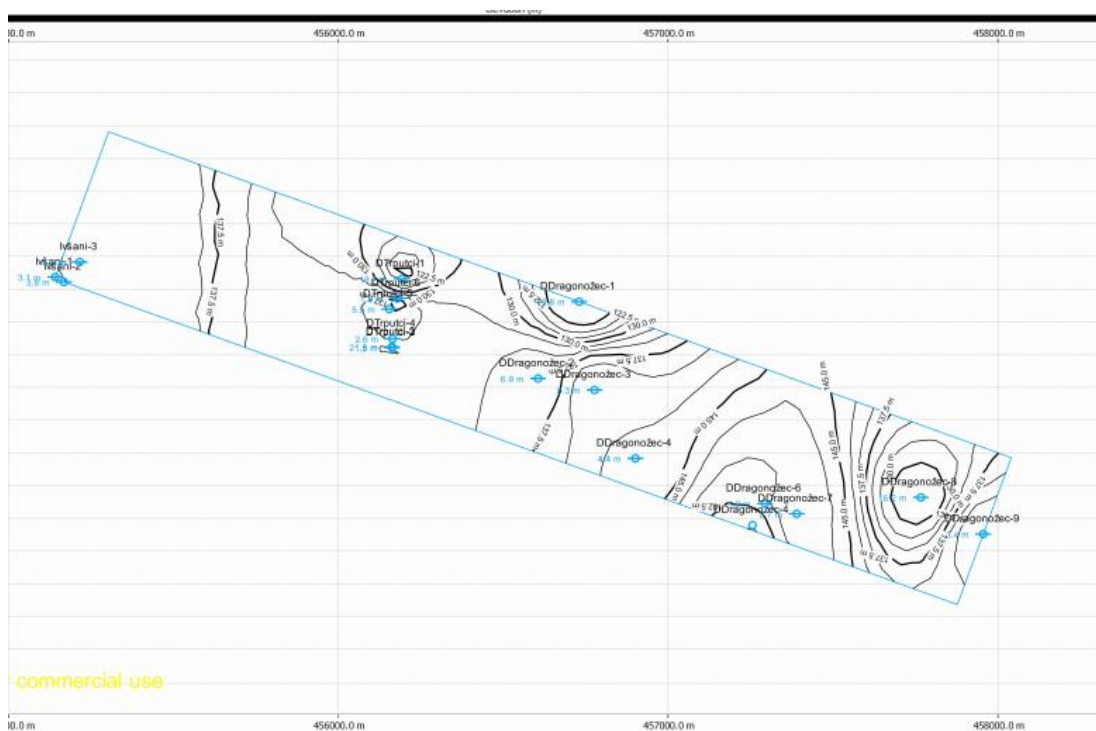
Vidljivo je da su ekvipotencijale uglavnom paralelne. Pružaju se smjerom sjever/sjeverozapad-jug/jugoistok, a vrijednosti padaju od 205 m n.m. na krajnjem sjeverozapadu do 130 m n.m. na istočnom kraju područja. To daje vrijednost hidrauličkog gradijenta od $I=0,043$ pod čijim utjecajem podzemna voda teče od zapada/jugozapada prema istoku/sjeveroistoku.

Na slici 6.10 prikazane su ekvipotencijale za područje Ašpergera. Tu je situacija, prema karti, znatno složenija nego u području Rakovog Potoka. Naime, ekvipotencijale su neravnomjerno raspoređene, na više mjesta zatvorene, što primjerice znači da oko točke ASP-6 voda „stagnira“, a slijeva se u točku KK-DUB. To, naravno nije logično i posljedica je toga što su ekvipotencijale dobivene interpolacijom između vrijednosti razine podzemne vode izmjerenih u zdencima koji „kaptiraju“ različite vodonosnike. Nešto logičniju sliku daju ekvipotencijale na jugoistočnoj polovici karte gdje upućuju na tok podzemne vode prema sjeveru i prema sjeveru/sjeveroistoku, ali vjerojatno i to ne ocrta pravo stanje pa procjena vrijednosti hidrauličkog gradijenta nema smisla.



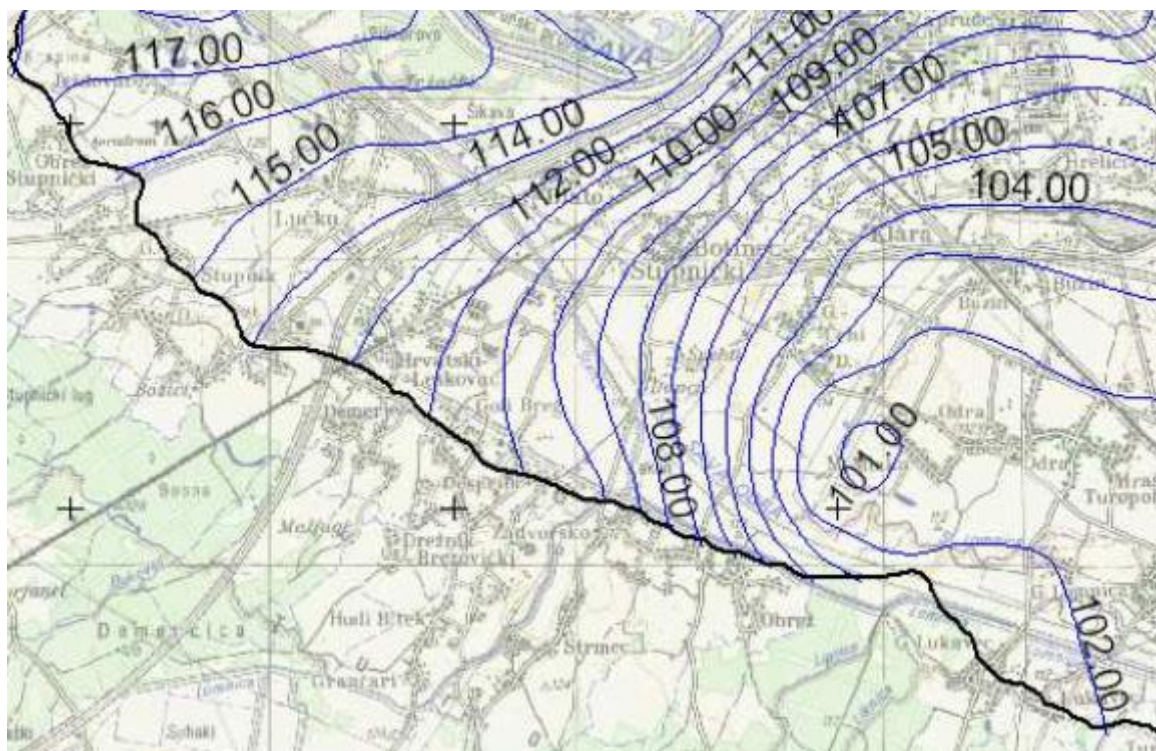
Slika 6.10. Karta ekvipotencijala za područje Ašpergera.

Na slici 6.11. prikazane su ekvipotencijale za područje Donjeg Dragonošča.



Slika 6.11. Karta ekvipotencijala za područje Donjeg Dragonošča.

I za ovu kartu vrijedi sličan zaključak kao i za kartu područja Ašpergera. Dakle, s obzirom na raspoložive podatke nije moguća realna kvantifikacija smjerova, a posebno brzine tečenja podzemne vode. Ipak, sa stajališta ove studije bitno je da su sve zabilježene razine podzemne vode više od kote 125 m n.m. dok se maksimalne razine podzemne vode u zagrebačkom vodonosnom sustavu južno od kanala Sava-Odra na potezu Stupnički Obrež – Gornji Lukavec kreću između 117 m n.m. na krajnjem sjeverozapadu i 102 m n.m. na krajnjem jugoistoku (slika 6.12).



Slika 6.12. Karta ekvipotencijala visokih voda dijela zagrebačkog vodonosnog sustava južno od kanala Sava Odra na potezu Stupnički Obež-Gornji Lukavec (Prema: „Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza“, Bačani i dr., 2007.).

To nedvojbeno upućuje na to da postoji značajan hidraulički gradijent između vodonosnika na sjeveroistočnoj strani Vukomeričkih gorica i zagrebačkog vodonosnog sustava, odnosno mogućnost dotoka podzemne vode iz područja Vukomeričkih gorica u zagrebački vodonosni sustav na potezu Stupnički Obež-Gornji Lukavec.

6.7. Izvori

Manji dio oborinskih voda koje se infiltriraju u podzemlje izvire na izvorima unutar istraživanog područja. Izvori su uvjetovani litologijom i geološkim odnosima, tj. prostornim rasporedom bolje propusnih i slabije propusnih slojeva, razinama podzemne vode i, u velikoj mjeri, lokalnom morfologijom i reljefom terena. U pravilu se podzemna voda kreće gravitacijski prema hipsometrijski nižim dijelovima terena a izvire na mjestima otvorenog kontakta vodonosnika s slabopropusnom podinom na

površini terena na strmijim padinama ili u vododerinama. Izvori su silazni i malog kapaciteta – obično 0,1 do 0,3 l/s, a samo iznimno oko 1 l/s.

Na istraživanom području ili u neposrednoj blizini registrirano je 12 stalnih i dvadesetak povremenih izvora (tablica 6.21, slika 6.7 i 6.13). Najveći broj izvora nalazi se u pliokvartarnim naslagama gdje se voda nakuplja u pješčanim, rjeđe šljunčanim slojevima, a izvire na mjestima bočno otvorenog kontakta tih litoloških članova s glinovitom podinom. Nešto je rjeđa pojava izvora u deluvijalno-proluvijalnim naslagama koje čine siltovi, pijesci i šljunci, a mehanizam nakupljana vode u podzemlju i izviranja jednak je onom na terenu izgrađenom od pliokvartarnih taložina.

Tablica 6.21. Izvori na ili u blizini istraživanog područja.

IZVOR	Najbliže mjesto	Tip izvora	Režim izviranja	Procijenjena srednja izdašnost (l/s)	Kaptiran
ZG-3-I-1	Kupinečki Kraljevec	silazni	stalni	0,1	da
ZG-3-I-2	Kupinečki Kraljevec	silazni	stalni	0,5	da
ZG-3-I-3	Starjak	silazni	stalni	0,3	da
ZG-3-I-4	Bregana Pisarovinska	silazni	stalni	?	da
ZG-3-I-6	Gornji Trpuci	silazni	stalni	0,2	ne
ZG-3-I-7	Gornji Trpuci	silazni	stalni	0,5	da
ZG-3-I-8	Gornji Dragonožec	silazni	stalni	?	ne
ZG-3-I-9	Donji Dragožec	silazni	stalni	?	da
ZG-3-I-10	Donji Dragožec	silazni	stalni	0,5	da
ZG-3-I-11	Markuševec Turopoljski	silazni	stalni	0,5	ne
ZG-3-I-12	Markuševec Turopoljski	silazni	stalni	1,0	da
ZG-3-I-13	Gudci	silazni	stalni	?	ne

Većina izvora se nalazi u središnjem dijelu (između Ašpergera i Starjaka) i jugoistočnom dijelu (šira okolica D. i G. Dragožca) područja. Neki od njih su kaptirani za lokalne potrebe. Svi ti izvori, uz oborinske vode koje površinski otječu sjevernom padinom Vukomeričkih gorica, formiraju desne pritoke Lomnice (*Bukovac, Gustelina, Kukeljnjak, Lipnica, Rameščak*), pa nemaju bitnijeg utjecaja na bilancu voda istraživanog područja.

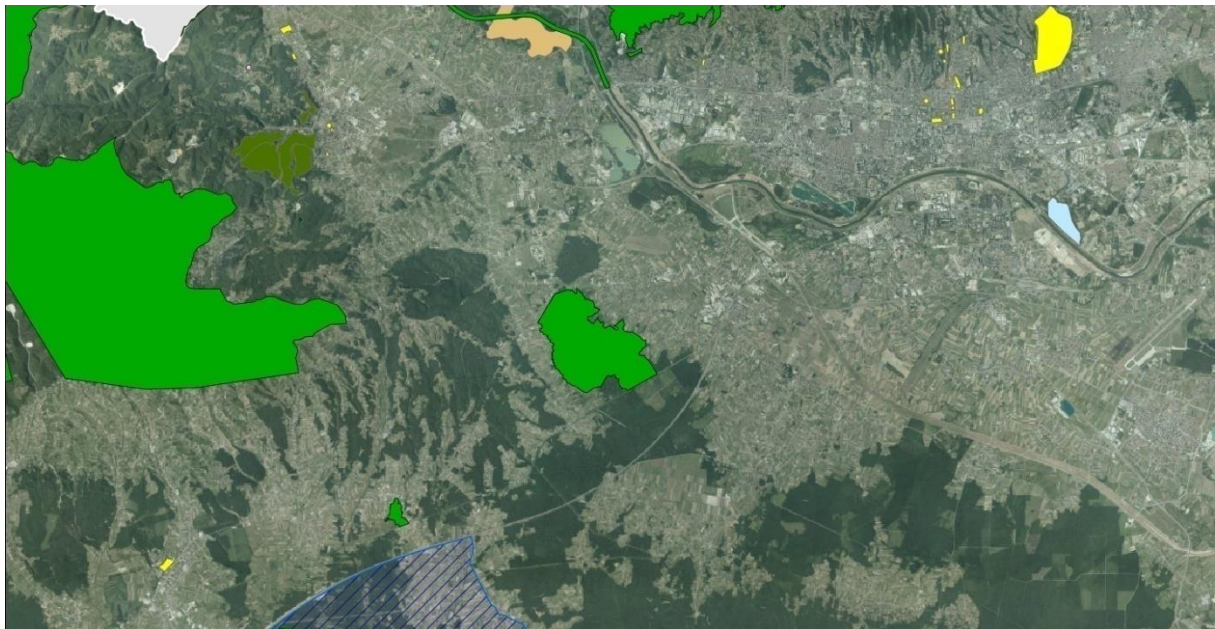
7. EKOLOŠKA VALORIZACIJA PROSTORA VUKOMERIČKIH GORICA OD RAKOVOG POTOKA DO DONJEG DRAGONOŠCA

Prostor Vukomeričke gorice – južni vodonosnik ekološki je značajan jer obuhvaća Natura 2000 područje Stupnički lug sa kodom staništa HR2000589 i proteže se na 760.8678 Ha na području sa koordinatama: dužina - 15.8261451593 i širina - 45.7371617645. Prema Državnom zavodu za zaštitu prirode (<http://www.dzsp.hr/ekoloska-mreza/natura-2000/ekoloska-mreza-rh-natura-2000-1300.html>) ekološka mreža Republike Hrvatske, proglašena je Uredbom o ekološkoj mreži (NN 124/2013) te izmijenjena Uredbom o izmjenama Uredbe o ekološkoj mreži (NN105/15), a predstavlja područja ekološke mreže Europske unije Natura 2000. Ekološku mrežu RH (mrežu Natura 2000) prema članku 6. Uredbe o ekološkoj mreži (NN 124/13, 105/15) čine područja očuvanja značajna za ptice - POP (područja značajna za očuvanje i ostvarivanje povoljnog stanja divljih vrsta ptica od interesa za Europsku uniju, kao i njihovih staništa, te područja značajna za očuvanje migratornih vrsta ptica, a osobito močvarna područja od međunarodne važnosti) i područja očuvanja značajna za vrste i stanišne tipove - POVS (područja značajna za očuvanje i ostvarivanje povoljnog stanja drugih divljih vrsta i njihovih staništa, kao i prirodnih stanišnih tipova od interesa za Europsku uniju).

Prema:

<http://www.dzsp.hr/ekoloska-mreza/natura-2000/upravljanje-podrucjima-natura-2000-719.html> cilj upravljanja je održati ili poboljšati povoljno stanje očuvanosti ciljnih vrsta i staništa. Često je to moguće bez propisivanja bitnih ograničenja, kroz provođenje mjera očuvanja od strane ljudi koji u suživotu s prirodom dijele svoj životni prostor s ugroženim vrstama i staništima. Većinu aktivnosti i zahvata u Natura području moguće je provesti uz mjere ublažavanja mogućih negativnih utjecaja. Prijedlozi većih razvojnih projekata ili promjena načina korištenja zemljišta trebat će proći postupak ocjene prihvatljivosti za ekološku mrežu. Bude li ocjena pozitivna, zahvat će se dopustiti i ako se nalazi u Natura području. Tako je zato što Natura 2000 podržava načelo održivog razvoja.

Stupnički lug (slika 7.1) nalazi se u zapadnoj Posavini, u neposrednoj blizini Zagreba. Administrativno područje pripada Zagrebačkoj županiji i Gradu Zagrebu. To je područje s dobro očuvanim sastojinama srednje europskih hrastova te šume hrasta medunca i bijelog graba. Navedeno područje je važno stanište mnogih biljnih i životinjskih vrsta. Područje Stupnički lug podupire stabilnu populaciju vrste *Cerambyx cerdo* i također služi kao veza između populacija - povezuje kompleks hrastovim šumama Žumberka i Samoborskog gorja na sjeverozapadu te nizinskih hrastovih šuma Pokupskog bazena na jugu. Važno je mjesto za stanište koda 9160 *Carpino betuli - Quercetum roboris* (<http://www.bioportal.hr/gis/>).



Slika 7.1. Natura područje Stupnički lug (prema <http://www.bioportal.hr/gis/>).



Slika 7.2. Područje Stupničkog luga na području Vukomeričkih gorica važno je mjesto za stanište koda 9160 *Carpino betuli* - *Quercetum roboris*. Tipična šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (preuzeto iz Vukelić, 2012).

U smislu valorizacije staništa važni su tipovi staništa te njihova procjena, a od posebnog je značaja stanište 9160 (slika 7.2) - Subatlantske i srednjoeuropske hrastove i hrastovo-grabove šume *Carpinion betuli*. Ocjena staništa pokazuje dobru reprezentativnost (stupanj zastupljenosti tipa staništa na mjestu), dok relativna površina (dio područja prirodnog stanišnog tipa u odnosu na ukupnu površinu pokrivenu tim prirodnim stanišnim tipom unutar nacionalnog područja) iznosi <2%, dobro očuvanje (stupanj očuvanosti strukture i funkcija prirodnog stanišnog tipa) te dobru vrijednost globalne procjene (globalna procjena vrijednosti mjesta za očuvanje ugroženih prirodnih staništa) (<http://www.bioportal.hr/gis/>). U smislu pokrivenosti

staništa prostor se odnosi na N15 Ostale oranice 3,47%, N16 Listopadne šume 92,73%, N19 Mješovite šume 3,72%, N23 Ostalo zemljište (uključujući gradove, sela, ceste, razvaline, minska područja, industrijska područja) 0,08% (Ukupno stanište = 100 %)(<http://www.bioportal.hr/gis/>).

Isto tako, za valorizaciju područja i za eventualne buduće zahvate u prostoru značajne su vrste navedene u članku 4. Direktive 2009/147 / EC i navedene u Dodatku II Direktive 92/43/EEC, a posebno *Cerambyx cerdo* (hrastova strizibuba) – Direktiva o staništima Dodatak IV, Grupa I. Populacija te vrste na tom području je učestala odnosno trajna, gustoća kategorije - zajednica, populacija je 2-15%, dobro je očuvanje staništa za vrstu (stupanj očuvanja značajki staništa koja su važna za dotične vrste i mogućnosti obnove), a populacija nije izolirana unutar proširenog područja rasprostranjenosti. U konačnici, globalna procjena vrijednosti mjesta za očuvanje vrsta je značajne vrijednosti (Hrašovec, 2009).

Vukomeričke gorice nalaze se unutar područja koje je određeno kao jedno od botanički važnih područja Hrvatske – IPA (Important Plant Areas). Botanički važno područje po definiciji je „...prirodni ili poluprirodni lokalitet koji pokazuje izvanredno botaničko bogatstvo i /ili sadržava izniman sastav rijetkih, ugroženih i /ili endemičnih svojiti i / ili vegetacije visokog botaničkog značenja.“ Ono obuhvaća sjeverozapadni dio gorja, a na zapad se širi do autoceste Zagreb - Karlovac. Taj najveći dio područja prekriven je različitim tipovima šuma. Na brežuljkastim područjima rasprostranjene su šume bukve s bekicom (*Luzulo luzuloides-Fagetum* Meusel 1937), šume hrasta kitnjaka i pitomog kestena (*Quercu petraeae-Castanetum sativum* Ht. 1938), šume hrasta kitnjaka i obične breze (*Betulo pendulae-Quercetum petraeae* R. Tx. 1937), šume hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum* (Ht. 1938) Borhidi 1963), šume bukve s velikom mrtvom koprivom (*Lamio orvale-Fagetum* (Ht. 1938) Borhidi 1963) i šume hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić 1959 ex Rauš 1969). Uz potoke i u zamočvarenim depresijama su jošici, šuma crne johe s trušljom (*Frangulo-Alnetum glutinosae* Rauš 1968). Podatci na temelju kojih je područje Vukomeričkih gorica proglašeno IPA – područjem uglavnom potječu iz literaturnih podataka istraživanja flore i vegetacije ovog područja 70-tih, 80-tih i 90-tih godina 20 st. (Grupa autora, Hrvatski prirodoslovni muzej, 2009).

Negativni pritisci na staništu obuhvaćaju nizak negativan utjecaj D01 cesta, puteva i željeznica, G05 ostalih ljudskih upada i poremećaja, I01 invazivnih vrsta i J02 promjena u vodnom režimu induciranih od strane ljudi.

Na području Vukomeričkih gorica za očuvanje staništa i vrsta predlažemo aktivnosti na tri razine, prvoj na uklanjanju grmovne vegetacije te svake one koja uvjetuje zaraštavanje livada na uštrb travnjačke vegetacije (posebno očuvanje livadnih predjela na ulaznim dijelovima Krušak i Lakovica – neophodna intervencija čovjeka) te na introdukciji ispaše stoke (eventualna introdukcija konja) koja će povoljno utjecati na očuvanje travnjačkih staništa koja podržavaju najveću raznolikost danjih leptira. Ta su livadna staništa na predjelu Krušaka i Lakovice izuzetno bogata faunom danjih leptira te ih kao takve treba održavati redovitom košnjom i to generalno dva puta godišnje, s prvim otkosom u svibnju, a drugim krajem rujna. Treća mjera je sustavno praćenje stanja na stazi Šumarica koji su vegetacijski zanimljivi, vrstama bogati i specifični i na kojima je monitoring potreban. Isto se predlaže i na području koje je pod najizrazitijim antropogenim utjecajem (posebno ulazni dio Krušak i Lakovica koji je pod izrazitim antropogenim utjecajem).

Kod tulara, indikatorskih akvatičkih organizama, nažalost nisu pronađene izrazite indikatorske vrste, a u svakom slučaju vodena staništa nužno je očuvati pod svaku cijenu kako zbog očuvanja biološke raznolikosti tulara tako i ostalih akvatičkih organizama važnih u limnološkim istraživanjima. Tulara prilagođenost na različite tipove akvatičkih staništa, kao i na određenu kvalitetu vode, čini najznačajnijim indikatorskim organizmima u biološkim metodama utvrđivanja kvalitete voda.

8. ZAKLJUČAK

Tijekom 2016. godine provedena su kompleksna i obimna geološka, geofizička i hidrogeološka istraživanja u okviru izrade studije „Hidrogeološka istraživanja potencijalnih vodonosnika rubnog dijela Vukomeričkih gorica i njihovog odnosa sa južnim dijelom zagrebačkog vodonosnika“.

Konzultirana je i vrednovana sva postojeća literatura (objavljeni radovi, studije, elaborati i do sada nepoznati podaci o bušotinama izvedenim u području Vukomeričkih gorica radi lokalne vodoopskrbe). Prikazana je povijest dosadašnjih istraživanja u promatranom području, te je sustavno prikazana geološka građa i geneza sedimenata u Vukomeričkim goricama. Izrađen je trodimenzionalni geološki model koji prikazuje geološke odnose između Vukomeričkih gorica i savskog aluvija.

Obavljena su geofizička istraživanja koja su dala dragocijene smjernice za daljnja istraživanja i potvrdila pretpostavke o postojanju vodonosnih slojeva u području Vukomeričkih gorica. Definiran je rasjedni kontakt između dvije glavne strukturne jedinice. Podaci geofizičkih istraživanja omogućili su realniju izradu shematskih prognoznih geološko-hidrogeoloških profila. Izrađena je geološko-hidrogeološka karta područja. Opisane su litološke, odnosno litostratigrafske kartirane jedinice, kao i njihova hidrogeološka svojstva.

Geofizička istraživanja izvedena su na mikrolokacijama koje su definirane na temelju geološke i hidrogeološke prospekcije terena. Interpretirani geofizički modeli, zajedno s površinskim i bušotinskim geološkim podacima, omogućuju definiranje prognoznih geoloških modela na istraživanom području te definiranje optimalnih položaja istraživačkih bušotina. Prva sredina, koja se pruža u brdovitom dijelu tomografskih profil, povoljna je s hidro-geološkog stajališta, nalazi se na svim tomografskim profilima, a najveće debljine i otpornosti dostiže na profilima TP-1 i TP-3 (prilozi 2.1-2.3). Nedostatak refleksa na seizmičkim profilima u ovoj sredini upućuje na izmjene nepravilnih tijela (leća) propusnih i nepropusnih stijena (prilozi 3.1 i 3.2). Ovi rezultati naravno su u skladu i s podacima iz bušotina odnosno zdenaca (prilog 4).

Veće otpornosti potječu od paketa stijena s većim udjelom propusnih stijena u odnosu na nepropusne, a smanjenje otpornosti ukazuje na smanjenje količine propusnih stijena u paketu. Na oba profila, TP-1 i TP-3, uočavaju se manja,

koncentrična tijela razmjerno velikih otpornosti (većih od 600 Ω m). Prema dosadašnjim iskustvima, takve otpornosti mogu uzrokovati trošne i razlomljene karbonatne stijene ili karbonatni grebeni, te suhe šljunčane naslage u pripovršinskim naslagama. Zato bi trebalo dodatno ispitati ove dvije zone istraživačkim bušenjem, koje može nedvojbeno odrediti značenje ovih tijela velikih otpornosti.

U nizinskim dijelovima tomografskih profila (prilozi 2.1-2.3) nalazi se sredina sa subparalelnim slojevima klastičnih stijena, što se jasno vidi po jakim i kontinuiranim refleksima na seizmičkim profilima REF-1 i REF-3 (prilozi 3.1 i 3.2). Kontakt između sredina je vjerojatno rasjedni sa subvertikalnim paraklazama. No, male otpornosti na profilu TP-3 upućuju na izmjenu slojeva nepropusnih i slabom propusnih stijena, dok se na profilima TP-1 i TP-2 uočava paket naslaga (debljine 20-30 m) većih otpornosti, pa se može interpretirati izmjena slojeva propusnih i nepropusnih naslaga. Veće otpornosti upućuju na veće količine propusnih naslaga pa treba izdvojiti paket na profilu TP-1 (prilog 2.1) na položajima 480-810 m. Prema otpornostima i seizmičkim refleksima, ovaj se paket može podijeliti u dvije sredine različitih litoloških svojstava: prva je na položajima 480-650 m, a druga na položajima 650-810 m. Refleksijski profil upućuje na rasjedni kontakt ovih sredina (prilog 3.1).

Opisana geofizička interpretacija vidljiva je na geološko-hidrogeološki interpretiranim istim geofizičkim profilima (slike od 5.5.-5.10.). Jasno se vidi rasjedni kontakt geološki i hidrogeološki dvaju različitih struktura: Vukomeričkih gorica i zagrebačkog vodonosnika (slike 5.4 i 5.5-5.10). Zbog tektonske aktivnosti rasjeda, te erozijskih procesa, uz rasjed formirana je zona deluvijalno-proluvijalnih naslaga koje su hidrogeološki uglavnom nepropusne (slika 5.3).

Na kraju je napravljena pomna hidrogeološka analiza koja je na temelju brojnih terenskih i do sada poznatih podataka utvrdila postojanje hidrauličke veze između vodonodnih slojeva sjevernog rubnog dijela Vukomeričkih gorica i južnog rubnog dijela „zagrebačkog vodonosnika. Također sve su izdvojene geološke sredine, pliokvartarne gline, sitlotvi, pijesci i šljunci, deluvijalno proluvijalne naslage, lels (prapor) i pijesci i šljunci zagrebačkog vodonosnika hidrogeološki okarakterizirani i opisani. Ovakvi rezultati i zaključak, istraživnom području daju veliku hidrogeološku važnost te važnost za buduću vodoopskrbu i u smislu zahvaćanja podzemne vode i u smislu zaštite područja kao izvor dotjecanja u zagrebački vodonosnik. Svi opisani rezultati i zaključci osnova su za provođenje daljnjih istraživanja i istražnog bušenja s

ciljem preciznije karakterizacije kontakta Vukomeričkih gorica i zagrebačkog vodonosnika. Studija je urađena sukladno postavljenom projektnom zadatku i postigla očekivane ciljeve što nam daje realne podloge za nastavak istraživanja koji se predlaže u nastavku.

Okvirni sadržaj (program) daljnjih istraživanja

Za utvrđivanje detaljnih geoloških i hidrogeoloških te egzaktnih hidrauličkih odnosa u području predviđenom za istraživanje nužno je provesti slijedeće:

1. Određivanje mikrolokacija bušotina (predviđa se izraditi 12 bušotina, po četiri bušotine na tri profila pružanja približno sjever-jug. Na svakom profilu bi po jedna bušotina bila izvedena u južnom rubnom dijelu aluvijalnog vodonosnika a po tri bušotine u pliokvartarnim taložinama sjevernog ruba Vukomeričkih gorica. Prognozne dubine bušotina će biti određene na temelju prognoznih profila, a svakako je nužno da probuše vodonosne slojeve. Iz bušotina će se uzimati jezgra po cijeloj dužini kanala bušotine. U svaku se bušotinu treba ugraditi piezometarska konstrukcija koja će biti određena nakon bušenja i uvida u razine podzemne vode. Predviđa se promjer piezometara od 3,0". Bušenje treba biti rotacijsko uz ispiranje čistom vodom. Piezometre treba očistiti, osvojiti i probno crpiti. Piezometri trebaju biti opremljeni kako je to uobičajeno za ovakve prilike.).
2. Nadzor nad izradom bušotina-piezometara.
3. Kartiranje jezgara bušotina i uzorkovanje za analize (granulometrijske analize i analize modalnog sastava iz svakog vodonosnog sloja te po potrebi i druge analize).
4. Nadzor nad čišćenjem, osvajanjem i probnim crpljenjem piezometara te uzimanjem uzoraka vode za potrebne analize.
5. Praćenje kolebanja razina podzemnih voda u izvedenim piezometrima.
6. Interpretacija probnog crpljenja i rezultata dobivenim analizama.
7. Izrada trodimenzionalnog geološkog, odnosno hidrogeološkog modela s definicijom vodonosnih slojeva u aluvijalnom dijelu vodonosnika i pliokvartarnom dijelu vodonosnika. Definiranje njihovog hidrauličkog odnosa i kvantificiranje utjecaja.

8. Izrada programa monitoringa razina i kakvoće podzemnih voda u piezometrima.
9. Izrada Izvještaja o provedenim istraživanjima.
10. Izrada programa daljnjih istraživačkih i opažačkih aktivnosti.

Napomena: Izrada detaljnijeg programa bušaćih radova bit će napravljena u Hrvatskim vodama zajedno s Izvođačem, a analize će biti uklopljene u bušaće radove i povjerene institucijama koje su za to ovlaštene.

Očekivani doprinos

Rezultati istraživanja bitno bi pomogli razumijevanju geneze vodonosnika, njegove geometrije i prostornog položaja. Spoznaja o hidrogeokemijskim facijesima omogućit će razumijevanje kakvoće vode i izdvajanje područja s kvalitetnijom podzemnom vodom. Brojni egzaktni podaci koji će se dobiti ovim istraživanjima poslužiti će za razvoj novih crpilišta kvalitetne podzemne vode za Zagreb i njegovo šire okruženje.

Dva su temeljna razloga istraživanja:

1. Definirala bi se litološka građa pliokvartarnih taloga rubnog dijela Vukomeričkih gorica čime bi se ustanovilo prisustvo vodonosnih slojeva i njihova hidrogeološka potencijalnost. Pretpostavlja se prisustvo slojeva šljunaka i pijesaka koji su najvjerojatnije taloženi u oksidacijskim paleohidrogeokemijskim uvjetima pa sadrže podzemnu vodu dobre kakvoće. To bi omogućilo planiranje zahvata (zdenaca) s kvalitetnom podzemnom vodom za vodoopskrbu.
2. Nakon što bi se ustanovilo postojanje vodonosnih slojeva i potvrdila hidraulička veza s prostranim aluvijalnim vodonosnikom nužno bi bilo pristupiti određivanju područja zaštite vodonosnih pliokvartarnih slojeva kako bi vode u njima ostale zaštićene te kao takve dijelom napajale glavni aluvijalni vodonosnik gdje se nalaze sva glavna vodocrpilišta za javnu vodoopskrbu.

Literatura:

Balen, I. (1987): Geoelektrična ispitivanja. Horvati.– "Geofizika" - Zagreb, Odjel za geoelektriku, Zagreb.

Brusina, S. (1874): Prilozi paleontologiji hrvatskoj ili kopnene i slatkovodne terciarne iskopine Dalmacije, Hrvatske i Slavonije.– Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 28, 1–109.

Filjak, R. (1951): Izvještaj o geološkom kartiranju strukture "Kravarsko".– Fond struč. dok.Hrvatskoga geološkog instituta, Zagreb.

Gagić, N. & Sokač, A. (1970): Fauna ostrakoda Paludinskih naslaga Vukomeričkih gorica.– VII kongres geologa Jugoslavije, 1, 131–149.

Galović, S. (1952): O rezultatima dubokog istražnog bušenja na strukturi Dubranec.– Nafta, 11, 360–362.

HGI (2009): Geološka karta Republike Hrvatske. M 1:300.000.– Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Jurković, I. (1993): Mineraline sirovine sisačkog područja.– Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 5, 39–58.

Koch, F. (1917): Levantinska fauna Vukomeričkih gorica.– Glasnik Hrvatskoga prirodoslovnoga društva, 29, 7–17.

Kovačić, M., Zupanič, J., Babić, Lj., Vrsaljko, D., Miknić, M., Bakrač, K., Hećimović, I., Avanić, R. & Brkić, M. (2004): Lacustrine basin to delta evolution in the Zagorje Basin, a Pannonian sub-basin (Late Miocene: Pontian, NW Croatia).– Facies, 50, 19-33.

Mandic, O., Kurečić, T., Neubauer, T.A. & Harzhauser, M. (2015): Stratigraphic and palaeogeographic significance of lacustrine molluscs from the Pliocene *Viviparus* beds in central Croatia.– *Geol. Croat.*, 68, 179-207.

Mitić, T. (2006): Izvještaj o izvedbi istražno eksploatacionog zdenca ZA-2. Vodovodna zadruga Ašpergeri, Matički b.b.– Meštar zdenac d.o.o., Zagreb.

Neubauer, T.A., Harzhauser, M., Kroh, A., Georgopoulou, E. & Mandic, O. (2015a): A gastropod-based biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems.– *Earth-Sci. Rev.*, 143, 98–116.

Ožegović, F. (1944): Prilog geologiji mladeg terciara na temelju podataka iz novijih dubokih bušotina u Hrvatskoj.– *Vjestnik Hrvatskog državnog geološkog zavoda i Hrvatskog državnog geološkog muzeja*, 2/3, 391– 491.

Pavelić, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System.– *Basin Research*, 13, 359–376.

Pavelić, D. (2014): *Opća geologija*.– Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 237 str.

Pikija, M. (1987a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Sisak L33-93.– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

Pikija, M. (1987b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Sisak L33-93.– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 55 str.

Pilar, I. (1873): Trečegorje i podloga mu u Glinskom Pokuplju.– *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 25, 53–179.

Popov, S.V., Rögl, F., Rozanov, A.Y., Steininger, F.F., Shcherba, I.G. & Kováč, M. (2004): Lithological-Paleogeographic maps of Paratethys. 10 Maps Late Eocene to Pliocene.– *Cour. Forsch.-Inst. Senckenb.*, 250, 1–46.

Saftić, B., Velić, J., Sztanó, O., Juhász, G. & Ivković, Ž. (2003): Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South- Western Hungary).– *Geol. Croat.*, 56, 101–122.

Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K. (2008): The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units.– *Swiss J. Geosci.* 101, 139–183.

Sommermeier, L. (1935): *Geologischer Bericht über Kravarsko.*– Fond struč. dok. INA-Industrija nafte, d.d., Zagreb.

Šimunić, A. (1964): *Geološko kartiranje sjeveroistočnog dijela Vukomeričkih gorica.*– Fond struč. dok. Hrvatskoga geološkog instituta, Zagreb.

Tomljenović, B. & Csontos, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia).– *Int. J. Earth Sci.*, 90, 560–578.

Vukotinović, Lj. (1935): *Über das Vorkommen der Kohle in Kroatien.*– *Jahrb. R.A.*, 13, 530-532, Wien.

Loke, M.H. & Barker, R.D. (1995): Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudo-sections. *Geophysics*, 1682-1690.

Loke, M.H. & Barker, R.D. (1996): Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. (1977): *Osnovna geološka karta SFRJ, list Zagreb, L38-80.* Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1972, Savezni geološki zavod, Beograd.

Šumanovac, F. (2007): Geofizička istraživanja podzemnih voda. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Pauk Cerna.

Bačani, A., Posavec, K., Nakić, Z., Perković, D., Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Parlov, J. & Bazijanec, M. (2007): Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza. Fond dokumentacije Grada Zagreba.

Bačani A. & Posavec K. (2009): Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Velika Gorica. Fond stručnih dokumenata Zagrebačke županije.

Gajić-Čapka, M., Likso, T., Patarčić, M., Perčec-Tadić, M, Lidija Srnec, L., Vučetić, M. & Zaninović, K. (2004): Nacionalni program ublažavanja posljedica suša i suzbijanje oštećenja zemljišta (NAP) – tematsko područje „Klima“. Izvješće za 2004. godinu, *DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD, Zagreb*

Larva, O. (2002): Mogućnosti eksploatacije podzemne vode iz aluvijalnog vodonosnika između Zagreba i Siska, magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Romić, D. i dr. (2006): Plan navodnjavanja poljoprivrednih površina i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama za područje Zagrebačke županije, Sveučilište u Zagrebu-Agronomski fakultet, Zagreb

Romić, D. i dr. (2008): **Plan navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem Grada Zagreba**, Sveučilište u Zagrebu-Agronomski fakultet, Zagreb

Tomić, F. i dr. (2000). **Agroekološka studija – Program razvitka poljoprivrede na području Sisačko-moslavačke županije**, Agroekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Žugaj, R. (2010): **Velike vode malih slivova**. Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Hrvatska komora arhitekata i inženjera u graditeljstvu, Zagreb

Prilozi: