



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET
ZAVOD ZA GEOLOGIJU I GEOLOŠKO INŽENJERSTVO
(Pierottijeva 6, 10000, Zagreb)



HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA JUŽNOG DIJELA ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA



VODITELJ PROJEKTA:

Prof. dr. sc. Ivan Dragičević

DEKAN:

Izv. prof. dr. sc. Zoran Nakić

Zagreb, srpanj 2014.

PROJEKTI ZADATAK: HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA JUŽNOG DIJELA
ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA

NARUČITELJ: HRVATSKE VODE

IZVRŠITELJ: RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

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

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

Dr.sc. Alan Vranjković, dipl.ing.geol., viši asistent

Mag.ing. geol. Ivica Pavičić

Pavle Ferić, dipl.ing.geol.

Saša Šipek, geol.teh.

Sadržaj:

1.	UVOD	1
2.	GENEZA, PROSTORNI RASPORED I DIMENZIJE VODONOSNIKA	5
2.1.	Nastanak, starost, litološki sastav i prostorni raspored naslaga koje čine vodonosni sustav	6
2.2.	Hidrogeološka uloga i debljine različitih litoloških članova	14
2.3.	Hidrogeološki parametri.....	23
3.	DINAMIKA PODZEMNIH VODA I VEZE/INTERAKCIJE SA SJEVERNIM DIJELOM VODONOSNIKA.....	28
4.	ZALIHE PODZEMNE VODE	64
4.1.	Južni dio vodonosnog sustava između Kerestinca i Mraclina	65
4.2.	Južni dio vodonosnog sustava južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac	75
5.	KVALITETA PODZEMNE VODE I NJEZINA UGROŽENOST/ZAŠTITA	80
5.1.	Prirodna kvaliteta podzemne vode	80
5.2.	Procjena ugroženosti kvalitete podzemne vode	85
5.3.	Stanje zaštite podzemne vode	102
6.	ZAKLJUČAK.....	106
7.	LITERATURA.....	109

Popis slika:

Slika 1.1. Površinsko prostiranje južnog dijela zagrebačkog vodonosnika.	2
Slika 2.1 Geološka karta južnog dijela zagrebačkog vodonosnika	8
Slika 2.2. Geološki profil A-B (prema BAČANI i ŠPARICA, 2001).	9
Slika 2.3. Karta dubina do krovine vodonosnika.	16
Slika 2.4. Karta izopaha vodonosnika.	19
Slika 2.5. Karta dubine do podine vodonosnika.	22
Slika 3.1. Piezometri u južnom dijelu zagrebačkog vodonosnika u kojima je opažana razina podzemne vode u razdoblju 2003.-2012. godine.	31
Slika 3.2. Karta hidroizohipsi niskih voda za 30.08.2012.	34
Slika 3.3. Karta hidroizohipsi visokih voda za 13.12.2010.	35
Slika 3.4. Karta hidroizohipsi srednje niskih voda za razdoblje od 2003. do 2012.	36
Slika 3.5. Karta hidroizohipsi srednje visokih voda za razdoblje od 2003. do 2012. godine	37
Slika 3.6. Karta niskih (30.08.2012) i visokih voda (13.12.2010).	38
Slika 3.7. Nivogram piezometra NOS-1 (SA-2-P-40) za period 2003.-2012.	40
Slika 3.8. Nivogram piezometra SM-4/3 (SA-2-P-189) za period 2003.-2012.	40
Slika 3.9. Nivogram piezometra PI-19 (SA-2-P-145) za period 2003.-2012.	41
Slika 3.10. Nivogram piezometra PI-7 (ZG-1-P-41) za period 2003.-2012.	41
Slika 3.11. Nivogram piezometra PI-21 (ZG-1-P-54) za period 2003.-2012.	42
Slika 3.12. Nivogram piezometra PI-24 (ZG-1-P-56) za period 2003.-2012.	42
Slika 3.13. Nivogram piezometra PI-25 (ZG-3-P-2) za period 2003.-2012.	43
Slika 3.14. Nivogram piezometra P-28 (ZG-3-P-21) za period 2003.-2012.	43
Slika 3.15. Nivogram podzemne vode u piezometru P-82 za period 1972.-2009.	45
Slika 3.16. Karta položaja piezometara za koje su napravljeni nivogrami i bušotina na temelju kojih su napravljeni shematski litološki profili.	47
Slika 3.17. Nivogram piezometra DBP (ZG-4-P-163) za period 2003.-2012.	48
Slika 3.18. Nivogram piezometra B-153 (ZG-4-P-61) za period 2003.-2012.	48
Slika 3.19. Nivogram piezometra H-10 (ZG-4-P-98) za period 2003.-2012.	49
Slika 3.20. Nivogram piezometra DSP-6 (ZG-4-P-128) za period 2003.-2012.	49
Slika 3.21. Nivogram piezometra H-14 (ZG-4-P-101) za period 2003.-2012.	50
Slika 3.22. Nivogram piezometra H-13 (ZG-4-P-102) za period 2003.-2012.	50
Slika 3.23. Nivogram piezometra H-12 (ZG-4-P-100) za period 2003.-2012.	51
Slika 3.24. Nivogram piezometra B-24 (ČZ-3-P-24) za period 2003.-2012.	51
Slika 3.25. Nivogram piezometra DSP-14 (ZG-4-P-114) za period 2003.-2012.	52
Slika 3.26. Nivogram piezometra DSP-15 (ZG-4-P-138) za period 2003.-2012.	53
Slika 3.27. Nivogram piezometra B-25 (ZG-4-P-68) za period 2003.-2012.	53

Slika 3.28. Nivogram piezometra DP-41 (ČZ-3-P-48) za period 2003.-2012.....	54
Slika 3.29. Nivogram piezometra DSP-21 (ČZ-3-L-66) za period 2003.-2012.....	54
Slika 3.30. Nivogram piezometra K-21 (ZG-4-P-71) za period 2003.-2012.	55
Slika 3.31. Nivogram piezometra DP-39 (ZG-4-P-161) za period 2003.-2012.....	55
Slika 3.32. Shematski poprečni litološki profili A-A' i B-B'.....	56
Slika 3.33. Shematski poprečni litološki profil C-C' i D-D'.....	57
Slika 3.34. Shematski poprečni litološki profil E-E'.....	58
Slika 3.35. Shematski uzdužni litološki profil F-F'.....	59
Slika 4.1. Godišnje sume oborina na meteorološkoj stanici Pleso u intervalu 1988-2003. god. (BAČANI I POSAVEC, 2009).	65
Slika 4.2. Karta izolinija koeficijenta otjecanja za područje sjeverozapadne Hrvatske (BAČANI et al., 2007.).....	66
Slika 4.3. Minimalni i srednji godišnji protoci Lomnice na vodomjernoj postaji Obrež (ROMIĆ et al. 2008).	70
Slika 4.4. Dotjecanje i otjecanje po južnoj granici „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika (BAČANI et al., 2007.).	72
Slika 4.5. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz sektora Rakitje-Stupnik (Q2) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.).	72
Slika 4.6. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz sektora Stupnik-Desprim (Q3) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.).	73
Slika 4.7. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz Q4 iz sektora Desprim-Lukavec (Q4) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.).	73
Slika 4.8. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz sektora Lukavec-Okuje (Q5)	74
Slika 4.9. Dotjecanje iz „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika u dio vodonosnog sustava južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac (Q6) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.)	76
Slika 5.1. Lokacija odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava.....	92
Slika 5.2. Dionica autoceste A11 Zagreb-Sisak koja prolazi jugoistočnim dijelom područja prostiranja zagrebačkog vodonosnika.....	95
Slika 5.3. Smještaj naselja i prometnica na jugoistočnom dijelu istraživanog područja.	96
Slika 5.4. Obradene poljoprivredne površine uz željezničku prugu i zapadno od državne ceste D30 u području Lekenika i između državne ceste D30 i željezničke pruge u zoni kod sela Greda.....	99
Slika 5.5. Obradene poljoprivredne površine uz rijeku Savu na području između Desnog Željeznog i Desnog Trebarjeva.....	100

Slika 6.1. Karta potencijalnih područja za buduća detaljnija istraživanja unutar južnog dijela zagrebačkog vodonosnika.....	107
---	-----

Popis tablica:

Tablica 1. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti određene istraživanjima za HE „Strelečko“ (prema rezultatima Geotehnike iz 1982.).....	24
Tablica 2. Izračunate vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti (K) prema metodi USBR-a i Slichter-a.....	27
Tablica 3. Podaci o piezometrima i karakteristikama promjena razina podzemne za područje između Kerestince i Mraclina.	44
Tablica 4. Podaci o piezometrima i karakteristikama promjena razina podzemne za područje južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac.....	60
Tablica 5. Mjesečne i godišnje vrijednosti isparavanja u mm za područje Plesa i Lekenika (BAČANI i dr., 2007.).....	66
Tablica 6. Srednji mjesečni i srednji godišnji dotoci po sektorima za 2000. godinu.....	74
Tablica 7. Srednji mjesečni i srednji godišnji dotoci iz sjevernog u južni dio vodonosnog sustava za 2000. godinu.....	76
Tablica 8. Procjena godišnjih podzemnih dotoka iz smjera Vukomeričkih gorica po sektorima.	78
O kvaliteti podzemne vode na području koje je obuhvaćeno ovim istraživanjima nema puno podataka, jer se ona sustavno prati na crpilištima javne vodoopskrbe, a takvih na ovom području nema. Najkompletniji podaci o kvaliteti podzemne vode dobiveni su analizom uzorka vode iz piezometara sa lokacije potencijalnog eksploatacijskog polja šljunka „ <i>Pepelinka</i> “ sjeveroistočno od Donjeg Vukojevca iz travnja 2006. godine. Naime, radi utvrđivanja nultog stanja podzemne vode na lokaciji „ <i>Pepelinka</i> “ izveden je piezometar, te je iz njega iscrpljena podzemna voda koja je potom analizirana u Zavodu za javno zdravstvo grada Zagreba, Odjel za ispitivanje voda. Rezultati ispitivanja dani su u slijedećoj tablici. Tablica 9. Rezultati analize vode iz piezometra na eksploatacijskom polju Pepelinka.	80
Tablica 10. Rezultati analize vode iz piezometra na eksploatacijskom polju Pepelinka (nastavak).	82
Tablica 11. Pokazatelji kvalitete podzemne vode na lokacijama „Peščenica“, Žabno i HES Stelečko (LARVA, 2002.).....	84
Tablica 12. Naselja, stanovnici i gospodarska aktivnost na području prostiranja južnog dijela zagrebačkog vodonosnika.....	88
Tablica 13. Prosječni sastav otpadnih voda iz domaćinstava (BOUWER, 1978).	101

Popis fotografija:

Foto 1. Južni kontakt aluvijalne ravnice i Vukomeričkih gorica.	6
Foto 2. Granica Vukomeričkih gorica i prostrane aluvijalne ravnice u području Male Bune.....	6
Foto 3. Uređeni vodotok Lomnice koja je paralelna s odteretnim kanalom Sava-Odra.	64
Foto 4. Rječica Lomnica u blizini izvorišta u Rakovom Potoku.	67
Foto 5. Rijeka Lomnica na ulazu u selo Grančari.	67
Foto 6. Most na Lomnici. Ušće potoka Kukuljnjak u Lomnicu na ulazu u selo Grančani. Lokalna kanalizacija završava u vodotooku.	68
Foto 7. Uređeno korito Kukuljnjaka u Grančanima. Lokalna kanalizacijska mreža završava u vodotoku.	68
Foto 8. Pandački izvor na kontaktu padina Vukomeričkih gorica i aluvijalne ravnice. Procjenjena izdašnost 0,5 dl/s (26.03.2014).	68
Foto 9. Potok Sopotnjak. Vodotok je reguliran kamenim zidom.....	69
Foto 10. Potok Sopotnjak. Zbog stalne neotektonske aktivnosti (izdizanje) vodotok se usijeca.....	69
Foto 11. Ušće potoka Rameščaka u Lomnicu kod sela Kušanac.	70
Foto 12. Ušće potoka Rameščaka u Lomnicu. Obala potoka uređena betonom.	70
Foto 13. Rijeka Odra u blizini sela Selca.	71
Foto 14. Odlagalište građevinskog otpada u blizini Rakovog Potoka.	91
Foto 15. Uređenje nepropusne podloge u kaseti za odlaganje otpada na odlagalištu Mrcalinska Dubrava.	93
Foto 16. Ugradnja drenažnih cijevi za prikupljanje procjednih voda iz odlagališta Mrcalinska Dubrava.	93
Foto 17. Kanali za prikupljanje i odvodnju oborinskih voda iz okoline odlagališta Mrcalinska Dubrava.	93
Foto 18. Zbijanje otpada i prekrivanje internim materijalom na odlagalištu otpada Mrcalinska Dubrava.	93
Foto 19. Rakitove bare-prostrana aluvijalna ravnica uglavnom naseljena hrastom lužnjakom.....	94
Foto 20. Rakitove bare-brojna divlja odlagališta otpada.	94
Foto 21. Rakitove bare-duboko u šumi odlagalište građevinskog materijala i lešina domaćih životinja.....	94
Foto 22. Na rubu sela Gornji Lukavec u biljem preraslom bezimenom vodotoku.	94
Foto 23. Odvod lokalne kanalizacije u vodotok Mala Buna u istoimenom naselju.....	100
Foto 24. (detalj) Odvod lokalne kanalizacije u vodotok Mala Buna u istoimenom naselju.....	100

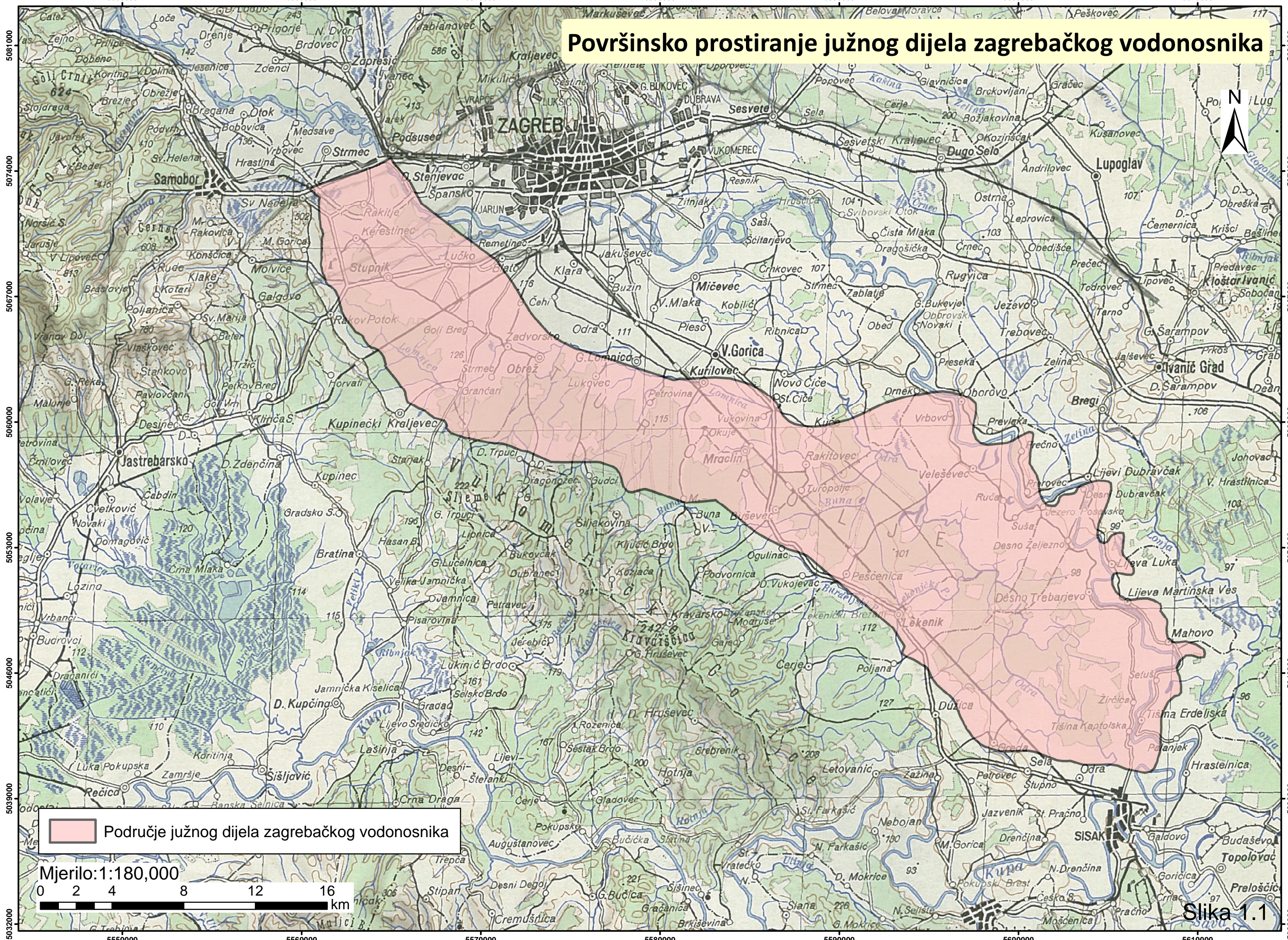


1. UVOD

Hidrogeološka istraživanja južnog dijela zagrebačkog vodonosnika izvedena su prema ugovoru br. 10-042/13. od, 19.09.2013 godine, koji 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 južnog dijela zagrebačkog vodonosnika*“, koji je sastavni dio ugovora. U „*Projektnom zadatku*“ je konstatirano da se zagrebački vodonosnik prostire nizinom rijeke Save od "Podsusedskog praga" (crta Podsused-Samoborski Novaki-Samoborsko-Brezje) na zapadu, prema Sisku na istoku (slika 1.1). Navodi se da je sjeverna granica vodonosnika vrlo točno definirana i ide od Podsuseda te podnožjem južnih obronaka Medvednice sve do Dugog Sela, te da je prema istoku vodonosnik otvoren i definiran zonom promjene granulometrijskog sastava, odnosno prijelazom šljunka u pijesak. Dalje se konstatira da je, za razliku od dobro definirane sjeverne granice, južna granica vodonosnika samo preliminarno definirana i povučena trasom terasnog ocrta na potezu Rakitje-Stupnički Obrež-Gornji Stupnik-Donji Stupnik-Demerje-Zadvorsko-Obrež-Lukavec-Turopoljska Petrovina-Okuje-Mraclin. Granica je tako definirana zbog toga što u to vrijeme u okviru sustavnih hidrogeoloških istraživanja tog područja, koja su se provodila prije četrdesetak godina, nije bilo bušotina/bušenih zdenaca južno od te linije, pa je sa željom da se ide na stranu projektantske sigurnosti, omeđeno područje unutar kojeg je sigurno dokazano prostiranje šljunčanog vodonosnika. Ta je granica prihvaćena od većine stručnjaka, tako da su brojne hidrogeološke studije i matematički modeli izrađeni tijekom zadnjih 30 godina navedenu liniju prihvaćali kao granicu vodonosnika, odnosno kao "rubni uvjet sa nultim dotokom". Kako se sjeverno od te granice nalaze sva crpilišta javne vodoopskrbe (Stara Loza, Prečko, Horvati, Vrbik, Žitnjak, Sašnjak, Petruševac i Ivanja Reka sjeverno od Save, te Mala Mlaka, Zapruđe, Velika Gorica i Črnkovec-Kosnica južno od Save), to područje je tijekom zadnjih pola stoljeća vrlo intenzivno istraživano. Na tom području izvedeno je oko 500 strukturnih i piezometarskih bušotina i bušenih zdenaca, dostupni su podaci mjerenja razina podzemne vode na više od 400 piezometara, u bazi podataka EGPV projekta postoje oko 350 vrijednosti za hidrauličku vodljivost koja je određivana na području zagrebačkog vodonosnog sustava, i načinjeno je petnaestak tisuća analiza uzoraka vode iz više od 200 piezometara na priljevnim područjima

Površinsko prostiranje južnog dijela zagrebačkog vodonosnika



Područje južnog dijela zagrebačkog vodonosnika

Mjerilo: 1:180,000
0 2 4 8 12 16 km

Slika 1.1



crpilišta i više od dvadeset tisuća analiza uzoraka sirove vode iz zdenaca crpilišta javne vodoopskrbe.

Svi ti podaci sustavno su obrađivani i interpretirani u brojnim studijama, elaboratima i izvještajima koji su rađeni s ciljem definiranja zaliha podzemne vode, određivanja zona sanitarne zaštite crpilišta, sanacije odlagališta otpada Jakuševac, projektiranje hidroenergetskih objekata na Savi i uređenja rijeke Save od slovenske granice do Siska i dr. Dakle, može se zaključiti da je „sjeverni dio“ zagrebačkog vodonosnika, tj. područje između podnožja južnih obronaka Medvednice na sjeveru i crte koja spaja naselja Kerestinec, Stupnički Obrež, Gornji Stupnik i Hrvatski Leskovac, zatim ceste Hrvatski Leskovac-Turopljska Petrovina i crte Turopljska Petrovina–Mraclin, na jugu, te Podsusedskog praga na zapadu i crte Mraclin-Oborovo na jugoistoku hidrogeološki izuzetno dobro istraženo i definirano.

No, matematičke simulacije i bilance vode koje su rađene za gore definirani „sjeverni dio“ zagrebačkog vodonosnika pokazale su da bez značajnog dotoka podzemne vode preko njegove „južne granice“ nije moguće uravnotežiti bilancu mase, odnosno da ta „granica“ nije završetak vodonosnika. U prilog tome govori i činjenica da je zbog rješavanja problema lokalne vodoopskrbe, na području između Kerestince na zapadu i Bune na istoku, izvedeno tridesetak bušenih zdenaca i dvadesetak istraživačkih bušotina južno od navedene granice i većina je dokazala postojanje šljunčanih naslaga znatne debljine (i preko 40 m), a pojedinačni zdenci imaju izdašnost i preko 20 l/s. Stoga su A. BAČANI i M. ŠPARICA u svojem radu *Geology of the Zagreb Aquifer System* (zbornik radova International Congress of the Geological Society of Greece, Atena, 2001), što se navodi i u „*Projektom zadatku*“, postavili "granicu hidrogeološkog sustava" bilom Vukomeričkih gorica, odnosno površinskom razvodnicom Sava-Kupa. Dakle, puno toga ukazuje na to da „južni dio“ sliva sadrži podzemnu vodu koja se postupno procjeđuje u savsku dolinu. To čini hidrogeološki zanimljivom Stupničku terasu koju očito čine pretežito grublje klastični sedimenti koji su u kontaktu s naslagama gornje paludinskih slojeva. Paludinski slojevi ovog područja sastoje se od šljunaka, pijesaka i glina te izgrađuju blago nagnute sjeverne padine Vukomeričkih Gorica i vjerojatno su u hidrauličkoj vezi s ravničarskim vodonosnikom.

Također je slabije istraženo područje između Save na sjeveru i Vukomeričkih gorica na jugu jugoistočno od crte Mraclin-Oborova i relativno mali broj podataka bušenja na tom površinski velikom prostoru ukazao je na dijelove sa značajnim debljinama vodonosnika povoljnog granulometrijskog sastava i hidrogeoloških značajki koji sadrže značajne eksploatacijske zalihe podzemne vode, koje mogu biti vodnogospodarski zanimljive,



posebno za navodnjavanje. Zato je predmet ovih istraživanja bio južni i jugoistočni dio zagrebačkog vodonosnika tj. područje koje je na sjeveru-sjeveroistoku omeđeno potokom Starča i kanalom Sava-Odra do Mraclina, a zatim crtom Mraclin-Oborovo, na istoku rijekom Savom od Oborova do Strelečkog, na jugu crtom Strelečko-Žažina i na zapadu-jugozapadu sjeveroistočnim obroncima Vukomeričkih gorica.

Dakle, cilj je hidrogeoloških istraživanja koja su predmet ovog elaborata, s jedne strane istražiti prostorne i hidrogeološke značajke južnog dijela zagrebačkog vodonosnika i karakter i intenzitet veze te moguće utjecaje na količinu i kvalitetu podzemne vode u sjevernom dijelu vodonosnika na desnoj obali Save, a s druge strane provjeriti mogućnosti značajnijih zahvata podzemne vode na području južnog dijela zagrebačkog vodonosnika. U tom smislu trebalo je istražiti genezu, prostorni raspored i dimenzije vodonosnika, hidrogeološke parametre vodonosnika, dinamiku podzemnih voda i veze/interakcije sa sjevernim dijelom vodonosnika, kvalitetu podzemne vode i njezinu ugroženost/zaštitu i procijeniti eksploatacijske zalihe podzemne vode na predmetnom području.

To je načinjeno na temelju analize podataka od 140 bušotina iz EGPV baze podataka, te na temelju terenskih zapažanja podno sjevernih padina Vukomeričkih gorica. Pri radu su korišteni i podaci, odnosno rezultati ranijih istraživanja iz elaborata „*Studija o preliminarnoj analizi mogućnosti interventnih zahvata podzemnih voda na lokalitetima Kopa, Pogorelec i Žabno*“ (URUMOVIĆ, HLEVNJAK i VODOPIJA, 1995), „*Studija o istraženosti lokacije potencijalnog crpilišta Peščenica*“ (URUMOVIĆ, DRAGIČEVIĆ, HLEVNJAK i VODOPIJA, 1995), „*Studija prostornog rasporeda i geometrije sedimentnih tijela i njihov utjecaj na hidrogeološke odnose na području lijeve i desne obale Save od Bregane do Rugvice*“ (BLAŠKOVIĆ i DRAGIČEVIĆ, 1998), članka „*Geology of the Zagreb aquifer system*“ (BAČANI I ŠPARICA, 2001), magistarskog rada „*Mogućnosti eksploatacije podzemne vode iz aluvijalnog vodonosnika između Zagreba i Siska*“ (LARVA, 2002), doktorske disertacije „*Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja*“ (POSAVEC, 2006), te izvještaja „*Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba–I. faza*“ (BAČANI i dr.,2007) i „*Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Velika Gorica*“ (BAČANI i POSAVEC, 2009).

Na temelju svega iznesenoga postavljen je i krajnji cilj da se na temelju rezultata istraživanja odaberu najizgledniji lokaliteti za nova vodocrpilišta, odnosno za nastavak detaljnijih istraživanja na tim lokalitetima.



2. GENEZA, PROSTORNI RASPORED I DIMENZIJE VODONOSNIKA

Geneza, litološki sastav, prostorni raspored i dimenzije cijelog zagrebačkog vodonosnika, pa tako i njegovog južnog dijela, posljedica su paleogeografskih odnosa i simultanog djelovanja endogenih i egzogenih procesa. Na geometriju i raspored vodonosnih slojeva posebno su utjecale paleoklimatske prilike u kvartaru i neotektonski pokreti. Intenzitet neotektonskih pokreta i hidrološki uvjeti tijekom kvartara više puta su se mijenjali, što je rezultiralo s više sedimentacijskih ciklusa tijekom kojih su se na istim područjima odlagale naslage šljunka, pijeska, praha ili gline, a mjestimično i treseta.

Tijekom donjeg pleistocena sedimentacija se je odvijala u jezersko-močvarnoj sredini u koju su vodotoci s okolnih hipsometrijski viših dijelova terena (pretežito s Medvednice) donosili krupnozrnati materijal. Zbog toga se donjopleistocenske naslage uglavnom sastoje od glinovito-prašinstih materijala u koje su mjestimice uložena izdužena šljunčano-pjeskovita tijela-leće, male debljine i horizontalnog prostiranja.

To područje je tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena bilo jezersko i močvarno, a okolno brežuljasto i gorsko područje (Marijagorička Brda i Medvednica na sjeveru, Žumberačko i Samoborsko gorje te Vukomeričke gorice na jugu) bilo je kopno podložno intenzivnoj eroziji i denudaciji. Trošeni materijal nošen je potocima i taložen u jezerima i močvarama (VELIĆ i SAFTIĆ, 1991). Transport materijala bio je promjenljivog intenziteta zbog čestih klimatskih promjena. Za vrijeme toplih i vlažnih razdoblja erozijski i sedimentacijski procesi bili su intenzivniji, a za vrijeme suhih i hladnih razdoblja su izostajali ili su se odvijali znatno sporije. Granulometrijski sastav taloženih sedimenata ovisio je o udaljenosti od područja s prevladavajućom erozijom. U srednjem pleistocenu intenzivirali su se tektonski pokreti i teren se je stepeničasto spuštao što je rezultiralo prodorom rijeke Save iz krškog i samoborskog bazena u zagrebački bazen. Pri tome je Sava donosila i akumulirala velike količine krupnozrnatog materijala iz područja Alpa. Kako je brzina toka rijeke progresivno opadala nizvodno od podsusedskog praga, krupnozrnatiji šljunak taložen je približno do današnje Rugvice, a od Rugvice do Siska taložen sitnozrnatiji materijal. Krajem srednjeg i u gornjem pleistocenu teren je tektonskim pokretima uzdizan što je rezultiralo pojačanom erozijom. Rijeke su usijecale nova korita u ranije odložene nanose, u priobalnim dijelovima, ovisno o hidrološkim uvjetima, taložile su se terasne naslage, a na nešto udaljenijim dijelovima terena prapori. Do novog nanosa krupnozrnih naslaga došlo je nakon zadnjeg glacijala, kada su vodeni tokovi značajno ojačali i kada su taložene krupnoklastične aluvijalne naslage, tako da su šljunci istaloženi sve do današnjeg Dubrovčaka.

2.1. Nastanak, starost, litološki sastav i prostorni raspored naslaga koje čine vodonosni sustav

Glavni dio zagrebačkog vodonosnika čine aluvijalne naslage holocenske starosti, međutim, gledano u širem smislu zagrebački vodonosnik ili zagrebački vodonosni sustav, uz aluvijalne naslage i pleistocenske jezerske taložine, sadrži u nekom dijelu i sedimente gornjeg pliocena. Naime, gledano u tlocrtu aluvijalne naslage se na sjeveru naslanjaju na proluvijalne, pretežito glinovite naslage koje prelaze u tercijarne naslage južnih obronaka Medvednice (slika 2.1). Na jugu se aluvijalne naslage naslanjaju na klastične sedimente Stupničke terase koji pak bočno prelaze u naslage gornje-paludinskih slojeva koji izgrađuju sjeverne padine Vukomeričkih gorica (foto 1, foto 2)



Foto 1. Južni kontakt aluvijalne ravnice i Vukomeričkih gorica.



Foto 2. Granica Vukomeričkih gorica i prostrane aluvijalne ravnice u području Male Bune.

Na zapadnom rubu, komunikacija zagrebačkog vodonosnika sa samoborskim je slaba zbog male kontaktne površine. Istočni rub sustava nije čvrsto definiran tako da se vodonosni sustav prostire prema Sisku. Prema nekim autorima (URUMOVIĆ et al., 1995) prema jugoistoku zagrebački vodonosnik prelazi u odranski vodonosnik-bočni ekvivalent zagrebačkog vodonosnika. Riječ je također o šljunkovito-pjeskovitom vodonosnom horizontu vrlo sličnih litoloških i hidrogeoloških značajki tako da je čvrstu granicu između zagrebačkog i odranskog vodonosnika nemoguće postaviti. U svakom slučaju idući prema jugoistoku postupno se smanjuje veličina zrna šljunaka, povećava se udio pijesaka i raste lateralna i vertikalna heterogenost vodonosnih naslaga.

Idući prema rubovima bazena u sastavu propusnih slojeva postupno raste udio sitnozrnate komponente i raste i debljina i broj slabopropusnih, glinovito-siltoznih slojeva. S obzirom na to, može se pretpostaviti isklinjavanje vodonosnih naslaga duž rasjeda koji

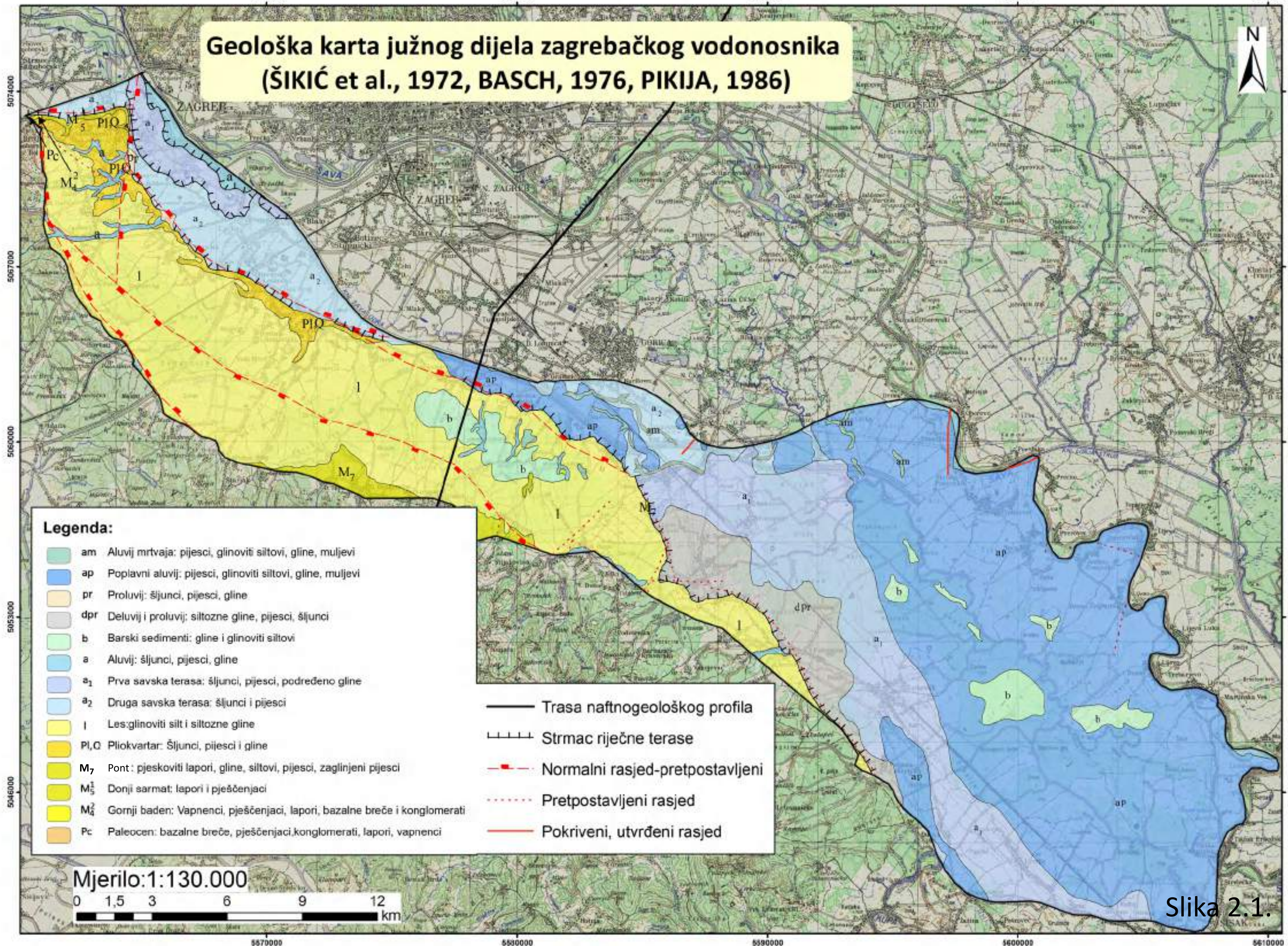


omeđuju savski bazen na sjeveroistoku i jugozapadu (slika 2.1), no to, posebno za južni-jugoistočni rubni dio nije dokazano i prostorno čvrsto definirano.

Gledano u razrezu aluvijalne naslage leže na, ili su u bočnom kontaktu sa starijim jezerskim i/ili močvarnim sedimentima (slika 2.1). Tamo gdje su ti sedimenti krupnozrnatiji, tj. šljunkovito pjeskoviti saturirani su podzemnom vodom, te s aluvijalnim naslagama čine hidrauličku cjelinu, odnosno zajedno čine kompleks koji se smatra zagrebačkim vodonosnikom.

S obzirom na zadaću ovih istraživanja značajno je južno granično područje zagrebačkog vodonosnika kojega najvećim dijelom čine Vukomeričke gorice. Vukomeričke gorice čini izdignuta morfostruktura, odnosno horst–antiklinala, dok ostalo područje predstavlja spuštenu dio, odnosno pripada glavnoj savskoj potolinskoj zoni. Spuštanje ove zone započelo je već u pliocenu, trajalo je kroz čitav kvartar a traje i danas, na taj način omogućivši taloženje kvartarnih naslaga debljine i preko 200 m. Spuštanje se odvijalo duž rasjeda pružanja sjeverozapad–jugoistok.

Geološka karta južnog dijela zagrebačkog vodonosnika (ŠIKIĆ et al., 1972, BASCH, 1976, PIKIJA, 1986)

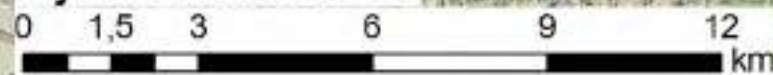


Legenda:

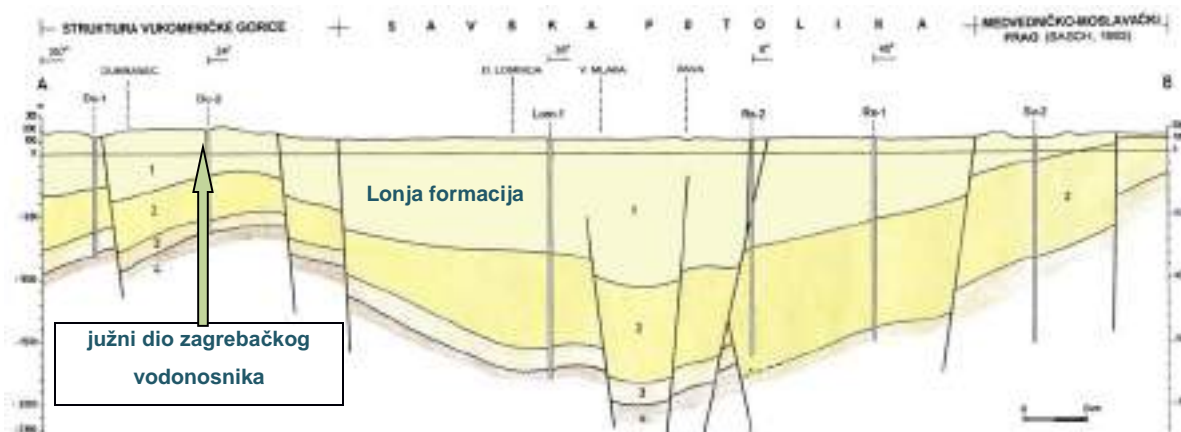
- am Aluvij mrtvaja: pijesci, glinoviti siltovi, gline, muljevi
- ap Poplavni aluvij: pijesci, glinoviti siltovi, gline, muljevi
- pr Proluvij: šljunci, pijesci, gline
- dpr Deluvij i proluvij: siltozne gline, pijesci, šljunci
- b Barski sedimenti: gline i glinoviti siltovi
- a Aluvij: šljunci, pijesci, gline
- a₁ Prva savska terasa: šljunci, pijesci, podređeno gline
- a₂ Druga savska terasa: šljunci i pijesci
- l Les: glinoviti silt i siltozne gline
- Pl,Q Pliokvarnar: šljunci, pijesci i gline
- M₇ Pont: pjeskoviti lapori, gline, siltovi, pijesci, zaglinjeni pijesci
- M₅¹ Donji sarmat: lapori i pješčenjaci
- M₄² Gornji baden: vapnenci, pješčenjaci, lapori, bazalne breče i konglomerati
- Pc Paleocen: bazalne breče, pješčenjaci, konglomerati, lapori, vapnenci

- Trasa naftnogeološkog profila
- Strmac riječne terase
- Normalni rasjed-pretpostavljeni
- Pretpostavljeni rasjed
- Pokriveni, utvrđeni rasjed

Mjerilo: 1:130.000



Slika 2.1.



Legenda:

- 1-Lonja formacija (pliocen i kvartar)
- 2-Široko polje formacija (pont), Kloštar Ivanić formacija (d. pont)
- 3-Ivanić Grad i Prkos formacije (panon)
- 4-Prečec formacija (otnang-sarmat)

Slika 2.2. Geološki profil A-B (prema BAČANI i ŠPARICA, 2001).

Dakle, najstarije naslage istraživanog područja su **paleocenske (Pc) taložine** koje se mogu naći na samom sjeveru istraživanog područja, no prekrivaju iznimno male površine zajedno s **badenskim naslagama (M₄²)**. Paleocenske naslage sačinjavaju uglavnom konglomerati i pješčenjaci i fosiliferni biogeni i bioklastični vapnenci. Badenske naslage predstavljene su biogenim vapnencima koji su nastali djelovanjem alga (*lithothamnium*). Transgresivne su na starije stijene. Također u sjevernom dijelu istraživanog područja malu površinu prekrivaju i sarmatski sedimenti predstavljeni laporima, glinovitim laporima, vapnencima i pješčenjacima. Na njih se nastavljaju **sedimenti srednjeg i gornjeg pliocena (PI)** koji izgrađuju površinu terena središnjeg dijela i sjevernih padina Vukomeričkih gorica od Zdenčine na sjeveru, preko Velikog Znoša, Gornjih Trpuca, Lipnice, Gustelnice i Kravarskog do Starog Farkašića na jugu. Na istok-sjeveroistok se ove naslage prostiru približno do crte Gornji Dragonožec-Šiljakovina-Ključić Brdo-Cerje-Letovaničko Selište. Na području Žažina-Sisak-Pračno-Brest otkrivene su u dublje urezanim dolinama, uz rubove uzdignuća, te mjestimice u terasnim odsjecima (PIKIJA, 1986). Te naslage, koje su često nazivane „*paludinskim slojevima*“, sastoje se od pijesaka, šljunaka, glina, pješčenjaka i konglomerata, a ponegdje ima i slojeva lignita. Ovi litološki članovi često se izmjenjuju po vertikali i lateralno. Ipak, najzastupljeniji su prašnasti do šljunkoviti pretežno kvarcni pijesci i glinovito-



pjeskoviti siltovi. Pijesci mogu biti laminirani s teksturama gradacijske, kose i unakrsne slojevitosti.

Nešto rjeđe se javljaju šljunci s dobro zaobljenim kvarcnim valuticama promjera do 1 cm. Krupnozrnati pješčenjaci obično čine tanje, nepravilne proslojke unutar pijesaka i najčešće su limonizirani.

Sitnozrnati konglomerati s dobro zaobljenim zrnima promjera do 1 cm i pješčenjačkim vezivom i opalskim ili limonitskim vezivom registrirani su samo lokalno.

Ukupna debljina opisanih naslaga procijenjena je na 200 do 400 m (PIKIJA, 1986).

Dubokim istraživačkim bušotinama nisu posebno izdvojene ove naslage, već su zajedno s taložinama kvartara uvrštene u Lonja formaciju tj. naslage iznad EK repera Q' (slika 2.2). Evidentno je da su, gledajući od gornjeg dijela istočnih padina Vukomeričkih gorica, gdje se te naslage nalaze na površini, prema prostoru na kojem se nalazi zagrebački vodonosnik, nagnute prema sjeveroistoku i da u tom smjeru „tonu“ pa se u središnjem dijelu nalaze na dubini od više stotina metara i prekrivene su mlađim sedimentima.

S obzirom na prevladavajući granulometrijski sastav sedimenti srednjeg i gornjeg pliocena („*paludinski slojevi*“) u cjelini se mogu smatrati relativno propusnima što znači da se značajni dio oborina u njih infiltrira i u njima nakuplja, te se kroz njih teče.

Sjeverni dio Vukomeričkih gorica izgrađuju **sedimenti pliokvartarne starosti (PI,Q)** kao bočni ekvivalent naslaga gornjeg pliocena (gornjih „*paludinskih slojeva*“) (ŠIKIĆ et al, 1972). Čine ih šljunci, pijesci i gline ponegdje s ulošcima pješčenjaka i konglomerata u međusobnoj izmjeni. Naslage su taložene u rubnim područjima postojećih jezera, s tim da su grubljeklastični materijali (raznovrsni šljunci) odlagani uz obale, a možda i na kopnu kao proluvijalni naplavinski konusi koji su nastajali brzim spiranjem i pretežito fluvijatilnim snašanjem materijala niz strme padine tadašnjeg izdignutog reljefa. Sitnozrnasti sedimenti taloženi su u mirnim jezerskim okolišima. Šljunci su nesortirani i sastoje se od valutica različitog petrografskog sastava promjera do 5 cm koje su mjestimice uložene u nevezane i dijelom zaglinjene krupnozrnate pijeske. Šljunci su uslojeni te im je slojevitost graduirana, a ponegdje i kosa ili unakrsna. Pijesci su prisutni u različitim varijetetima, tj. kao krupnozrnati, sitnozrnati, prašinsti i glinoviti. Siltovi, glinoviti siltovi i siltozne ili pjeskovite gline javljaju se kao proslojci/slojevi različitih debljina i prostiranja. Procijenjeno je da su ove naslage debele do 150 m. Strukturni položaj sličan im je pliocenskim naslagama.

I ovaj kompleks naslaga se može ocijeniti relativno propusnim što omogućuje infiltraciju oborinskih voda i akumulaciju podzemne vode.



Niži dijelovi sjeveroistočnih padina Vukomeričkih gorica izgrađeni su od **beskarbonatnog kopnenog lesa (prapora) (I)**, a manje površine i od **akvatičnog lesa (I)**, koji su istovremeno taloženi tijekom *gornjeg pleistocena*. Postanak lesa vezan je za hladnija razdoblja pleistocena (glacijale i stadijale). Tada su velike količine sitnozrnatog materijala, pretežito siltoznih dimenzija, donošane vjetrom i odlagane na kopnene prostore, ali i u tadašnje močvare ili plića jezera, koja su bila relikv zaostalih slatkovodnih mlađepliocenskih jezera jugozapadnog dijela Panonskog prostora.

Kopneni les prekriva najveći dio sjeveroistočnih padina Vukomeričkih gorica istočno do crte Gornji Dragonožec-Šiljakovina-Ključić Brdo-Cerje-Letovaničko Selište i dijelove Stupničke terase. Naslage su diskordantno istaložene na erodiranu podlogu izgrađenu najčešće od pliocenskih naslaga. Temeljna značajka sastava ovih stijena je odsustvo karbonatne komponente u sastavu. Često je prošaran svijetlim glinovitim prugama poligonalnog oblika, otkuda i naziv "*mramorirane ilovine*". Prema sedimentološkim podacima ovaj les se sastoji od 50-70 % silta i 10-30 % čestica veličine glina. Primjese sitnog pijeska variraju od 5-15 %. Debljina lesa je vrlo promjenjiva jer je taložen na vrlo izraženom reljefu, no uglavnom se procjenjuje na 10 do 20 m.

Akvatični les izgrađuje središnje dijelove "Stupničke terase" na prostoru koji je približno omeđen cestom Rakov Potok-Puhali-Stupnik na sjeveru, cestom Rakov potok-Gorjanci Markov Breg na zapadu, cestom Markov Breg-Hudi Bitek na jugu, te crtom Hudi Bitek-Kalinovica na istoku. Manja površina terena južno od Gornjeg Lukavca također je prekrivena akvatičnim lesom. Akvatični les izgrađen je pretežito od slabovezanih ili nevezanih glinovitih siltova. Samo mjestimično nalaze se siltozni pijesci i pjeskovite gline. Za razliku od kopnenog lesa, ovi sedimenti sadrže dosta veliki postotak kalcijevog karbonata, koji se kreće od 9-24 %. Debljina akvatičnog lesa obično iznosi nekoliko desetaka metara.

Praporni sedimenti su, s obzirom na prevladavajući prašinasto-glinoviti granulometrijski sastav, pretežno slabopropusni. Infiltracija oborinskih voda je mala, pa one na nagnutim dijelovima terena otječu povremenim bujičnim tokovima, a na ravničarskom terenu u kišnom dijelu godine i u periodu topljenja snijega tvore zamočvarene dijelove. Nema značajnijeg nakupljanja podzemne vode.

Praporne naslage, bez obzira na njihovu genezu „tonu“ prema istoku-sjeveroistoku, a u njihovoj podlozi se nalaze naslage *srednjeg* i *donjeg pleistocena* koje nisu registrirane na površini. O njima postoje podaci iz više dubokih bušotina koje su izrađene na prostoru središnjeg dijela zagrebačkog vodonosnika (BAČANI et al.,2007). Interpretacijom bušotinskih



podataka utvrđeno je da se granica pliocenskih i donjopleistocenskih naslaga u zoni Oborova nalazi na dubini između 300 i 400 m. No, zapadnije ta je granica mnogo plića i u području Prečkog nalazi se na dubini od oko 60 m. U donjem dijelu sastoje se od gline i siltozne gline, a prema gore slijede sitnozrnati i srednjezrnati pijesci, često pomiješani s glinom.

S obzirom na zadaću ovog rada zanimljive su naslage čija se starost pripisuje srednjem pleistocenu. Odlikuju se znatnom propusnošću jer se uglavnom sastoje od pjeskovitog i šljunkovitog materijala, dok glinovitih slojeva ima manje i tanji su. U zoni Oborova debele su oko 250 m, a približno od 150 m na više počinju šljunci, uglavnom sitno i srednjezrnati, dok prema višim nivoima krupnoća zrna raste. Ove naslage idući prema zapadu zaliježu pliće i debljina im je manja, pa su, primjerice, u području Jakuševca nabušene na dubini od 78 m, a kod Prečkoga na dubini od samo četrdesetak metara a debele su oko 20 m.

Bušotinama su, naravno, probušene i naslage istaložene tijekom gornjeg pleistocena i koje odgovaraju praporima (lesu) sjeveroistočnih padina Vukomeričkih gorica ili su po litološkom sastavu nešto drugačije ali su vremenski ekvivalent lesu. Zbog sličnosti litološkog sastava ponegdje ih je nemoguće fiksno odijeliti od holocenskih sedimenata, što je slučaj kod Oborova. U zoni Jakuševca izdvojene su u dubinskom intervalu od 50 do 78 m. a kod Prečkoga su debele samo oko 8 metara.

Na području Lazi-Buševac-Ogulinec-Peščenica-Lekenička Poljana zapadno od željezničke pruge Velika Gorica-Sisak teren je izgrađen od **deluvijalno-proluvijalnih naslaga holocenske starosti (dpr)**. Kako se radi o sedimentima nastalim snažanjem produkata trošenja starijih naslaga stalnim ili povremenim bujičnim tokovima s viših u niže predjele njihov sastav je i petrografski i granulometrijski vrlo heterogen. Zastupljeni su vrlo različiti litološki članovi od silta preko slabo sortiranih pijesaka i šljunaka do blokova koji su obično „kaotično“ izmiješani (PIKIJA, 1986). Debljina im jako varira, ali uglavnom ne prelazi 10 m.

Na dijelu terena između Lomnice i Mraclina zapadno od željezničke pruge Velika Gorica-Sisak, uglavnom na podlozi od akvatičnog lesa, istaloženi su **barski sedimenti holocenske starosti (b)**. Zbog morfologije terena i nepropusne podloge ti su tereni većim dijelom godine pod vodom i obrasli su vodenim biljem, a na njima se talože gline i glinoviti siltovi s značajnim primjesama organske supstance. Debljina im nije veća od 1 m. Zbog prevladavajućeg glinovitog sastava to su praktično nepropusni sedimenti.

Sedimenti druge savske terase holocenske starosti (**a₂**) izgrađuju velike površine ravničarskog terena od Obreža do Golog Brega i od Lukavca do Buševca i dalje na jugoistok



prema Sisku. U razmatranom području terasni odsjek je visine od 1-2 m. Sedimenti ove terase sastoje se od izmjene krupnozrnatih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska povećava se od sjeverozapada prema jugoistoku, u kojem smjeru se granulometrijski smanjuje promjer valutica šljunka i zrna pijeska. Petrografski sastav valutica je različit, međutim ipak najčešće su valutice karbonatnih stijena. Od sedimentnih struktura česte su one značajne za riječne tokove (imbrikacija zaobljenih i izduženih valutica, gradacijska slojevitost-često inverzna i kosa slojevitost). Debljina ovih naslaga je promjenljiva, no u prosjeku se kreće oko tridesetak metara. Ove naslage su vrlo dobro propusne i zajedno s naslagama **prve savske terase (a₁)** i **aluvijalnim nanosom Save (a)** hidrogeološki čine cjelinu, tj. zagrebački vodonosnik.

Na području jugoistočno od Jakuševca pa sve do Siska teren istočnog dijela desnog zaobalja Save izgrađen je od **sedimenata poplava holocenske starosti (ap)** koji kao tanki pokrivač leže na sedimentima terasa. Nastali su taloženjem sitnozrnatog materijala (siltozne gline, pjeskovito-glinoviti siltovi), koji je zaostao na širokim prostorima nakon poplava i vraćanja riječnog toka u matično korito. U granulometrijskom sastavu dominiraju čestice veličine silta kojih je u prosjeku blizu 60 %. Ostatak čine gline (23 %) i pijesci (17 %) (BASCH, 1980). Ovi sedimenti uslijed procesa raspadanja u vršnim dijelovima prelaze u pedološki sloj.

Debljina poplavnih sedimenata raste od zapada prema istoku i od Save prema jugu, a najveća, od 14 m, zabilježena je između Strmca Bukevskog i Zablatja. Propusnost im je mala tako da ne sadrže značajnije količine podzemne vode.

Prema litostratigrafskoj podjeli, koja se uglavnom koristi u naftnoj geologiji, cijeli paket opisanih naslaga, tj. sedimenti srednjeg i gornjeg pliocena („paludinski slojevi“) i cjelokupne kvartarne naslage, svrstane su u tzv. *Lonja formaciju* (slika 2.2). Dakle, *Lonja formacija* se sastoji od ritmičkog slijeda slabovezanih pijesaka i sivozelenih ili plavičastih mekih glina, mjestimice i slojeva ugljena, a u gornjem dijelu dolaze šljunci, prapori i rastresiti površinski pokrivač. Jugoistočno od Zagreba, u neposrednoj blizini Save debljina ove formacije doseže najveću vrijednost od 1100 m, a prema rubovima bazena debljina se smanjuje. Temeljem analiza karotažnih dijagrama URUMOVIĆ i dr. (1976.) unutar *Lonja formacije* izdvojili su dvije jasno izražene litološke jedinice. Gornju jedinicu karakterizira manja debljina, nevezanost materijala, visoki udio propusnih slojeva, saturiranost slatkom vodom, kao i mogućnost komuniciranja podzemnih voda. Donja jedinica, s druge strane, karakterizirana je većim stupnjem konsolidacije, znatno nižim udjelom propusnih slojeva, te većim razlikama u



mineralizaciji podzemne vode. Granicu između gornje i donje jedinice čini uvjetni elektrokarotažni reper Q', koji ukazuje na stanovitu promjenu unutar sedimentacijske sredine. Prema HERNITZ-u i dr. (1980), na promatranom području debljina naslaga između repera Q' i površine terena iznosi 100 do 200 m.

U strukturnom, odnosno tektonskom pogledu, moguće je razlikovati dvije jedinice: Vukomeričke gorice i prostranu ravnicu s rijekama Savom i Odrom. Ove dvije jedinice međusobno su odvojene regionalno značajnim rasjedima (južni, odnosno jugozapadni potolinski rasjed). Općenito, prostor je u pripovršinskom i površinskom dijelu karakteriziran razmjerno jednostavnim strukturnim odnosima, koji su uzrokovali gotovo horizontalni ili približno horizontalni položaj slojeva u najvećem dijelu područja.

2.2. Hidrogeološka uloga i debljine različitih litoloških članova

Ovisno o litološkim svojstvima, geometriji i položaju u prostoru gore opisani sedimenti imaju različitu hidrogeološku funkciju, tako da se mogu razlikovati: (1) pokrovne naslage, (2) vodonosne naslage-vodonosnik i (3) nepropusna podloga (podina) vodonosnika.

1. Pokrovne naslage

Pokrovni sloj čini površinski pokrivač koji najvećim dijelom tvore prašinsti sedimenti s promjenljivim udjelom sitnozrnatog pijeska i gline, a mjestimice i ulošcima treseta, a debljine su mu različite. Najveći dio prašinstih naslaga, koje čine pokrovni sloj, nastao je taloženjem suspendiranog nanosa iz poplavnih voda pri izlivanju iz korita Save. Znatno su manje rasprostranjeni pretežno glinoviti barski sedimenti taloženi u izoliranim depresijama.

Tako uz južni rub glavnog dijela zagrebačkog vodonosnika u području Stupničkog Obreža debljina pokrovnih naslaga iznosi oko 4 m, na potezu Hrvatski Leskovac-Obrež, 2 do 3 m, oko Gornjeg Lukavca i Turopoljske Petrovine 4 m, Mraclina, Buševca i Ogulinca 2 do 4 m.

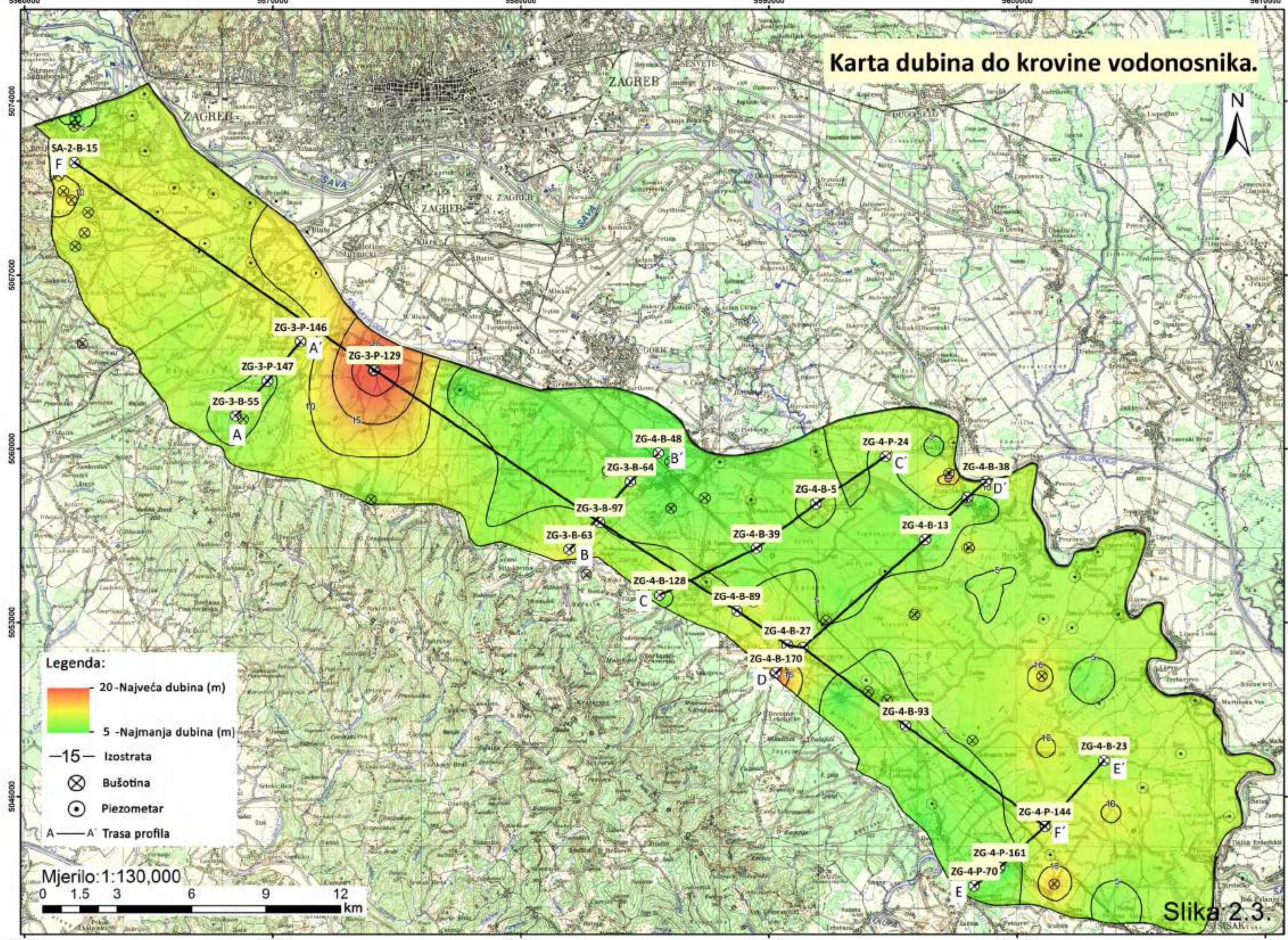
Idući prema jugu, a posebno jugoistoku, debljina pokrovnih naslaga se povećava. Tako kod Peščenice i Lekenika iznosi 6 do 8 m, oko 2 km istočno od Lekenika raste na 10 m, a na širokom prostoru omeđenom crtom Lekenik-Veleševac-Martinska Ves-Greda-Lekenik iznosi između 10 i 15 m. Unutar trokuta između Velike Gorice, Bukevja i Donjeg Vukojevca na



velikom dijelu terena sitnozrnati površinski pokrivač nedostaje (uklonjen je erozijom) ili je tanji od 2 m. Samo na nekoliko manjih površina, primjerice istočno od Mraclina, na području Buševca i popravnog doma istočno od Turopolja registrirane su debljine pokrovnog sloja veće od 4 m. Situacija se mijenja istočno od crte Obed-Lekenik tako da debljina pokrovnog sloja kontinuirano raste i na lijevoj obali Save u području Oborovskih Novaka, Oborova i Prevlake prelazi 15 m. Slično je i jugoistočno od crte Peščenica-Stružec Posavski gdje je na najvećem dijelu terena pokrovni sloj deblji od 10 m, a u području Prerovca, Dubrovčaka, Željeznog, Trebarjeva, Martinske Vesi i Mahova, debljina mu je veća i od 15 m. Debljina pokrovnog sloja smanjuje se jugoistočno od crte Greda-Setuš, pa na krajnjem jugoistočnom dijelu u području Siska ne prelazi 2 m (slika 2.3).

Unutar pokrovnog sloja debljeg od 10 m mjestimice je registriran pjeskoviti sloj negdje i znatne debljine. Primjerice jugozapadno od Desnog Željeznog pjeskoviti sloj deo je 2,3 do 7,1 m, a na području Prerovca i Dubrovčaka i desetak metara (LARVA, 2002). Prostiranje tog sloja nije kontinuirano jer on bočno prelazi u glinoviti prah i prašinu glinu.

Karta dubina do krovine vodonosnika.





Ovisno o debljini i granulometrijskom sastavu, odnosno propusnosti, pokrovne naslage imaju funkciju regulatora infiltracije oborinskih voda i zaštite vodonosnih naslaga od utjecaja s površine.

2. Vodonosne naslage-vodonosnik

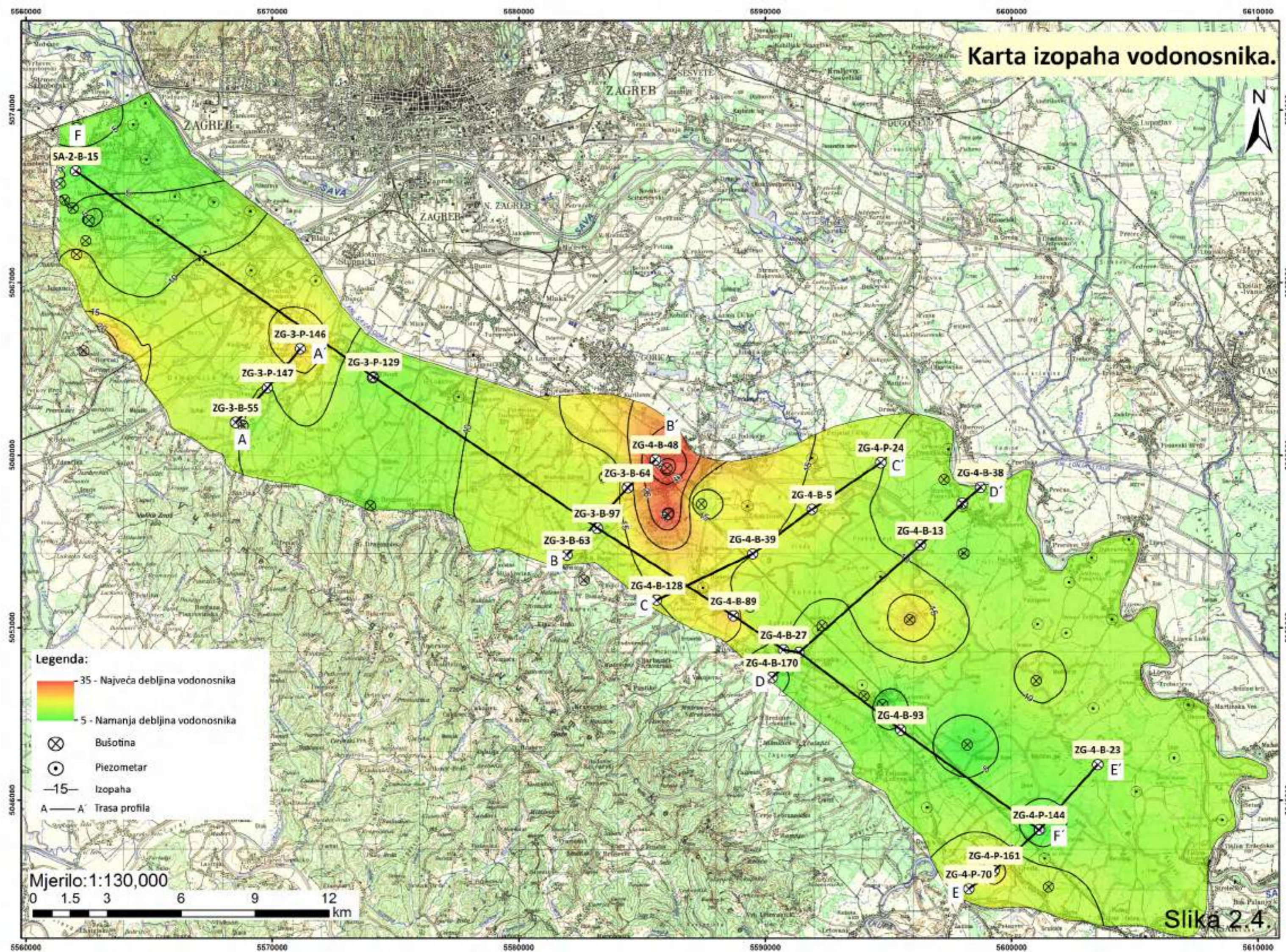
U profilu se razlikuju dva vodonosna sloja: prvi vodonosni sloj izgrađen od aluvijalnih naslaga rijeke Save i drugi vodonosni sloj izgrađen od jezersko-barskih sedimenata. S obzirom da ta dva sloja uglavnom nisu odijeljena kontinuiranim nepropusnim/slabopropusnim slojem, hidraulički su povezana, pa se hidrogeološki mogu smatrati cjelinom koju čine dijelovi s nešto različitim hidrogeološkim parametrima. U južnom dijelu vodonosnika, južno od crte Stupnički Obrež-Hrvatski Leskovac-Obrež-Gornji Lukavec-Mraclin vodonosnik čine uglavnom jezersko-barski sedimenti, a na aluvijalne naslage, tamo gdje su one registrirane, otpada samo mali vršni dio vodonosnika. Vodonosne naslage su, bez obzira na genezu, krupnoklastične tj. šljunkovito-pjeskovite do pjeskovito-šljunkovite s glinovitim i/ili glinovito-prašinastim proslojcima i/ili ulošcima. URUMOVIĆ i dr. (1995) procijenili su da udio sitnozrnatih materijala ne prelazi 20% ukupne debljine vodonosnika, da njihovi slojevi nemaju kontinuirano veće prostiranje, te da ne utječu bitno na hidrauličke odnose unutar vodonosnika.

Debljina vodonosnih naslaga se mijenja idući od zapada prema istoku i od sjevera prema jugu. Tako su u području Stupničkog Obreža, Gornjeg i Donjeg Stupnika, Hrvatskog Leskovaca i Zadvorskog, debljine 15 do 20 m i prema dostupnim podacima u cijelosti pripadaju donjem dijelu vodonosnika, tj. čine ih jezersko-barski sedimenti. U području Obreža debljina se povećava na 20, pa i 30 m, od čega gornjih 7 do 8 m otpada na aluvijalne naslage, a ispod slijedi dio vodonosnika izgrađen od jezersko-močvarnih taložina. Ukupna debljina vodonosnika raste i dalje idući prema jugoistoku i to na 40 do 45 m kod Turopoljske Petrovine, odnosno na 50 do 60 m kod Mraclina, a na aluvijalni dio vodonosnika otpada gornjih desetak metara. Idući prema zapadu, tj. Vukomeričkim goricama debljina vodonosnika postepeno opada. Debljina veća od 50 m registrirana je duž desetak kilometara širokog poteza između Mraclina na zapadu i Posavskog Stružeca na istoku. Južno od te crte debljina vodonosnika opada tako da kod Buševca iznosi oko 45 m, Peščenice 40 m, Lekenka 30 m, a najmanja je, samo desetak metara, oko 6 do 7 km istočno-sjeveroistočno od Lekenika, odnosno oko 3 km zapadno-jugozapadno od Desnog Željeznog. Južno i



jugoistočno od tog područja debljina vodonosnih naslaga ponovno nešto raste, pa kod Grede iznosi oko 35 m, a kod Kaptola između 15 i 20 m (slika 2.4).

Karta izopaha vodonosnika.





Na ovom području, zbog relativno malog broja bušotina i njihove male dubine, nije moguće na širem prostoru razlučiti aluvijalni dio vodonosnika od dijela vodonosnika koji je izgrađen od jezersko-barskih naslaga. Raspoloživi podaci ukazuju na to da na sjeverozapadnom dijelu terena u litološkom sastavu gornjeg dijela vodonosnika prevladavaju valutice šljunka i zrna pijeska dok se čestice praha i gline javljaju u zanemarivim količinama (LARVA, 2002). Prema dubljim dijelovima opada veličina zrna i povećava se sadržaj gline i praha unutar šljunčano-pjeskovitih naslaga. Uočene su i ritmičke izmjene sitnozrnih i krupnozrnih sedimenata, a mjestimični nalazi treseta unutar sitnozrnih naslaga ukazuju na taloženje u jezersko-močvarnoj sredini. S druge strane, nekim bušotinama na sličnim dubinama, nabušene su isključivo krupnoklastične naslage, a to navodi na pretpostavku o eroziji sitnozrnih sedimenata i zapunjavanju prostora riječnim sedimentima, što je na tim dijelovima područja rezultiralo nastankom jedinstvenog vodonosnika.

Detaljni podaci o sastavu naslaga postoje za ležište šljunka „Gornjak“ koje se nalazi istočno od ceste Donji Vukojevac-Peščenica (BORTEK et al., 2009.). Tu je teren izgrađen od glinovito-prašinstog pokrivača i serije šljunaka i pijesaka s proslojcima glinovitog silta.

Prema bušotinskim podacima pokrivač se sastoji od glinovito-prašinstih, mjestimično pjeskovitih materijala. Debljina mu varira od 1,8 do 7,5 m i prosječno iznosi 3,7 m.

Serijski pjeskovitih šljunaka, uglavnom smeđesive boje, s uložnim slojevima pijesaka, debela je između od 22,5 m i 29 m, odnosno srednja debljina cijele serije je 25,4 m, a čistog pjeskovitog šljunka 25,0 m. Slojevi pijesaka su relativno česti, debljina im je 0,9 do 2,8 m, a lokalno i 5 m (bušotina ML-4). U sjevernom-sjeveroistočnom dijelu istražnog prostora u gornjem dijelu naslaga, na dubini između 7 i 13,6 m registrirani su i međuslojevi sitnozrnog, prašinstog i zaglinjenog pijeska debeli 0,4 do 3,0 m, a prosječna debljina im iznosi 0,7 m.

Ispod dubine od oko 30 m slijedi serija šljunkovitih pijesaka. Ovi sedimenti se, osim po granulometrijskom sastavu, razlikuju od gornje serije po izrazito drugačijoj sivoplavoj, plavosivoj i sivoj boji. Gotovo uvijek započinje glinovito-prašinstim sedimentima. Njihova debljina u 6 bušotina, koje su ih probušile, iznosi od 0,3 do 2,2 m, no lokalno je debljina i veća jer su ih neke bušotine samo nabušile u debljini od 3 m, ali nekim bušotinama uopće nisu nabušene. Serija se nastavlja sivoplavim pijescima ukupne debljine 11,3 do 12,8 m. Oni su podijeljeni u dva dijela glinovito-siltoznim proslojkom. Podijeljeni su nejednako tako da su gornji pijesci uvijek deblji (7,5 do 9,8), a donji tanji (3,8 do 4,5). Prosječno je probušeno ili nabušeno 11,04 m serije, od čega 9,14 m otpada na pijesak, a 1,9 m na prašinste materijale. Ispod slijede glinoviti siltovi i siltozne gline ukupne debljine od 3,0 do 3,7 m.

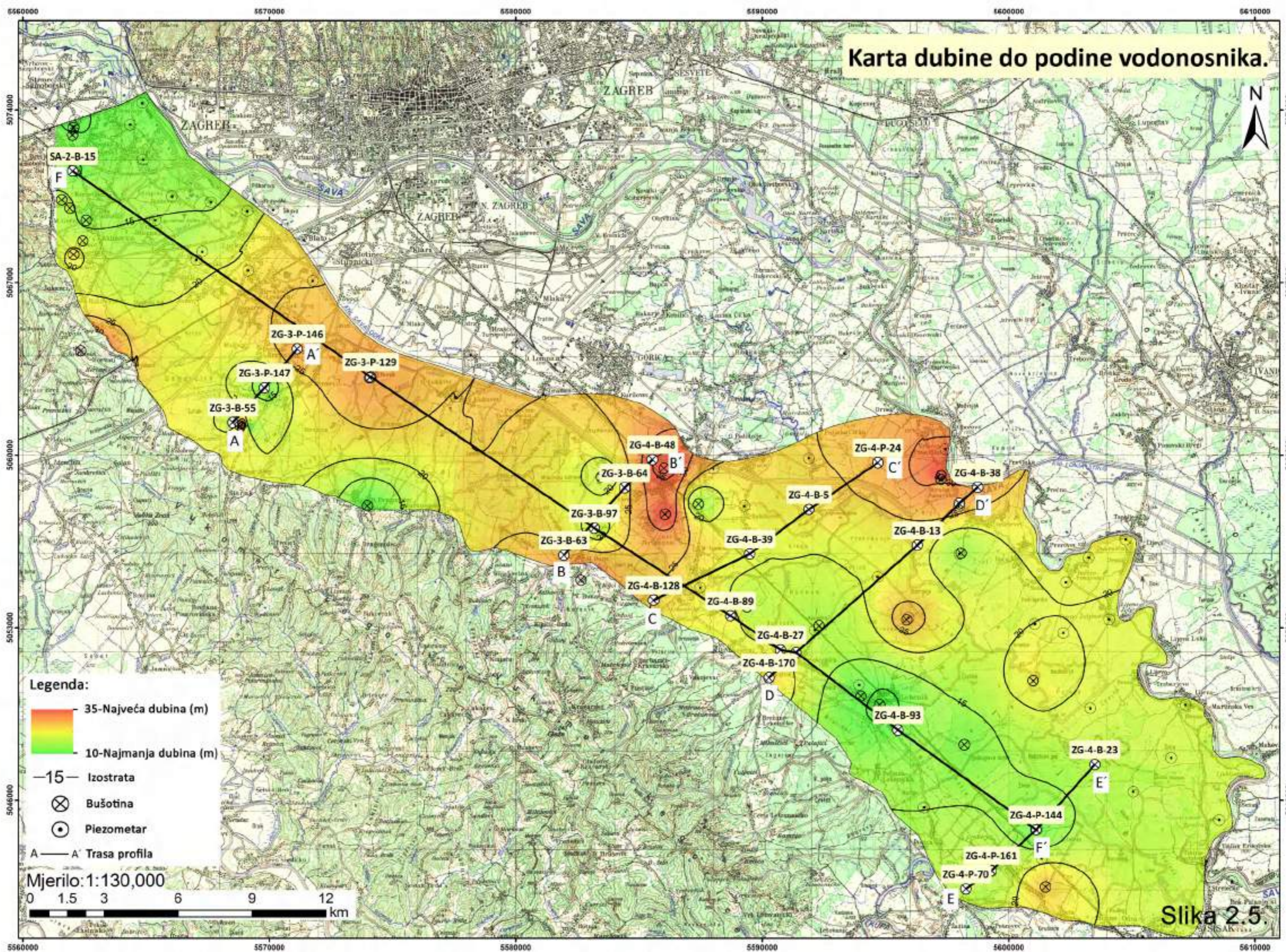


Istražena serija naslaga završava na dubini 44 do 45 m. Ispod slijede podinske, uglavnom glinovito-prašinate naslage.

3. Nepropusna podloga (podina) vodonosnika

Kao nepropusna podloga vodonosnika izdvojene su glinovite, ponekad i laporovite naslage kojima često nije definirana niti stratigrafska pripadnost niti debljina. Najčešće su to slojevi gline čija sa starost pripisuje srednjem i donjem pleistocenu. Njihovo kontinuirano prostiranje kao i litološki sastav su upitni. Naime, na mnogo mjesta te naslage nisu nabušene, a tamo gdje su probušene dubokim bušotinama, ispod glinovitog sloja utvrđeni su ponovno šljunci i pijesci, pa lokalno nije isključena njihova hidraulička veza s propusnim, vodonosnim naslagama u krovini. Najmanja dubina podine registrirana je istočno od Lekenika u području neotektonskog izdignuća koje se pruža pravcem jugozapad-sjeveroistok od Lekeničke Poljane prema Dubrovčaku i tu se nalazi na dubini manjoj od 20 m (slika 2.5). Sjeverozapadno, prema Prevlaci i jugoistočno, prema Martinskoj Vesi dubina do podine kontinuirano raste i doseže više od 80 m. Podina oplićava, odnosno vodonosnik se stanjuje idući prema rubovima sedimentacijskog bazena.

Karta dubine do podine vodonosnika.



Legenda:

- 35-Najveća dubina (m)
- 10-Najmanja dubina (m)
- 15—Izostrata
- ⊗ Bušotina
- Piezometar
- A—A' Trasa profila

Mjerilo: 1:130,000

0 1.5 3 6 9 12 km

Slika 2.5.



2.3. Hidrogeološki parametri

O hidrogeološkim parametrima površinskog pokrivača i vodonosnih naslaga na istraživanom području ima malo vjerodostojnih podataka. Razlog tome je što ono do sada nije intenzivnije terenski istraživano i na njemu nema aktivnih crpilišta iz sustava javne vodoopskrbe. To se posebno odnosi na područje Stupničke terase i pojas između dobro istraženog („glavnog“) dijela vodonosnika i istočnih padina Vukomeričkih gorica. Stoga su za taj dio terena hidrogeološki parametri procijenjeni ekstrapolacijom vrijednosti iz južnog rubnog „glavnog“ dijela vodonosnika i treba ih prihvatiti s rezervom. Za jugoistočni dio područja, tj. teren jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac postoji nešto više podataka, no oni su većinom dobiveni istraživanjima prostorno malih dijelova terena i određeni ne baš pouzdanim metodama. Tako se najveći broj podataka odnosi na vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti izračunate na temelju rezultata granulometrijskih analiza materijala iz istraživačkih bušotina koje su izvedene u sklopu istraživanja područja crpilišta Prerovec (GEOFIZIKA, 1982) i istraživanja za potrebe projektiranja HES Strelečko (GEOTEHNIKA, 1982). Nešto vjerodostojnije vrijednosti hidrogeoloških parametara dobivene su interpretacijom rezultata pokusnog crpljenja dva istražna zdenca izvedena u sklopu vodoistražnih radova potencijalnog crpilišta „Peščenica“ (IGH, 1995).

Pokrovni sloj

U južnom rubnom relativno dobro istraženom dijelu zagrebačkog vodonosnika, prema podacima iz baze podataka EGPV projekta, vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti površinskog sloja na širem prostoru kreću se u rasponu od 1×10^{-6} do 1×10^{-8} m/s ($8,6 \times 10^{-2}$ do $8,6 \times 10^{-4}$ m/dan), ovisno o tome da li prevladava prašinasto-pjeskovita ili glinovita komponenta. Hidraulička vodljivost površinskog sloja za cijelo područje između „glavnog“ dijela vodonosnika i Vukomeričkih gorica poopćeno se može procijeniti na red veličine 1×10^{-7} m/s ($8,64 \times 10^{-3}$ m/dan).

Na jugoistočnom dijelu istraživanog područja, vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti naslaga pokrovnog sloja određivane su u plitkim piezometarskim bušotinama modificiranom metodom Lefranc-a u sklopu hidrogeoloških istraživanja za hidroenergetsku stepenicu Strelečko koje je izvela Geotehnika 1982. godine (LARVA, 2002). Dobivene vrijednosti variraju u širokom rasponu od $6,63 \times 10^{-4}$ m/dan do $5,6 \times 10^{-1}$ m/dan ($7,3 \times 10^{-9}$ do $6,5 \times 10^{-6}$ m/s). Prema lokacijama vrijednosti se kreću kako je prikazano u tablici 1:

Tablica 1. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti određene istraživanjima za HE „Strelečko“ (prema rezultatima Geotehnike iz 1982.)

Lokacija	Minimalna vrijednost hidrauličke vodljivosti (m/dan) (m/s)	Maksimalna vrijednost hidrauličke vodljivosti (m/dan) (m/s)
Željezno	$6,63 \times 10^{-4}$	$1,62 \times 10^{-2}$
	$7,67 \times 10^{-9}$	$1,87 \times 10^{-7}$
Tišina Kaptolska	$4,50 \times 10^{-2}$	$1,05 \times 10^{-1}$
	$5,2 \times 10^{-7}$	$1,21 \times 10^{-6}$
Martinska Ves	$1,31 \times 10^{-1}$	$5,63 \times 10^{-1}$
	$1,51 \times 10^{-6}$	$6,51 \times 10^{-6}$

Vrijednosti niže od $7,5 \times 10^{-3}$ m/dan pripisane su „čistoj“ glini, vrijednosti $7,5 \times 10^{-3}$ do $1,0 \times 10^{-2}$ m/dan prašinstoj glini, $1,0 \times 10^{-2}$ do $1,0 \times 10^{-1}$ m/dan glinovitom prahu, $1,0 \times 10^{-1}$ do $5,0 \times 10^{-1}$ m/dan prahu, a $5,0 \times 10^{-1}$ do 1,0 m/dan pjeskovitom prahu do prašinstom pijesku.

Drugi autori (URUMOVIĆ et al. 1995) s obzirom na propusnost površinskog pokrivača vodonosnika razlikuju dvije zone. Prvu čini područje desnog zaobalja Save „uzvodno od crte Vrbovo-Lekenik i u njoj se vrijednosti hidrauličke vodljivosti slabopropusnih krovinskih naslaga kreću između $7,5 \times 10^{-2}$ i $5,0 \times 10^{-7}$ cm/s ($7,5 \times 10^{-4}$ i $5,0 \times 10^{-9}$ m/s). Druga zona proteže se nizvodno od crte Vrbovo-Lekenik prema Sisku i tu koeficijenti hidrauličke vodljivosti krovine vodonosnika iznose od $8,0 \times 10^{-3}$ do $3,0 \times 10^{-7}$ cm/s ($8,0 \times 10^{-5}$ do $3,0 \times 10^{-9}$ m/s). Pozivaju se na podatke Državnog hidrometeorološkog zavoda iz 1979. godine, ali ne navode na koji su način te vrijednosti određene.

Vodonosni slojevi

Na području gdje je zagrebački vodonosnik dobro istražen, tj. sjeverno sjeveroistočno od poteza Stupnički Obrež-Stupnik-Hrvatski Leskovac-Goli Breg–Obrež-Gornji Lukavec-Turopoljska Petrovina–Okuje-Mraclin i sjeverno i sjeverozapadno od crte Mraclin-Veleševac, postoji relativno veliki broj podataka o vrijednostima koeficijenata hidrauličke vodljivosti i to za gornji dio vodonosnika, kojeg čine aluvijalne naslage i za donji dio vodonosnika koji je izgrađen od jezerskih klastičnih sedimenata. Ti podaci su vrlo temeljito analizirani i interpretirani u „*Elaboratu zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba–I. faza*“ (BAČANI et



al., 2007). S obzirom na izrazito neravnomjeran prostorni raspored postojećih podataka te pojave vrlo različitih vrijednosti hidrauličke vodljivosti na malim udaljenostima, korištenje geostatističkih interpolacijskih metoda nije rezultiralo adekvatnim procjenama prostorne raspodjele parametara zagrebačkog vodonosnog sustava, pa se pristupilo određivanju prostorne raspodjele parametara uz pomoć jednostavne zonacije. Za taj dio područja načinjena je, i za gornji i za donji dio vodonosnika, zonarna prostorna raspodjela parametara metodama interpolacije s obzirom na varijacije mjerenih vrijednosti parametara (BAČANI et al., 2007). U procesu kalibracije vrijednosti i prostorna raspodjela parametara vodonosne sredine zagrebačkog vodonosnog sustava su prilagođavane u odnosu na početnu prostornu raspodjelu parametara koja je definirana na osnovu EGPV baze podataka. Za gornji i za donji dio vodonosnika, u južnom rubu zagrebačkog vodonosnika, izdvojeno je po 5 zona s obzirom na vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti. U gornjem i u donjem dijelu vodonosnika vrijednosti se kontinuirano smanjuju idući od sjeverozapada prema jugoistoku.

Na području Stupničkog Obreža i Stupnika aluvijalni vodonosnik je vrlo tanak ili ga uopće nema, pa se podaci o vrijednostima hidrauličke vodljivosti odnose na dublji dio vodonosnika i one se, ovisno o lokaciji, kreću između 1,0 i 0,85 cm/s. U području Hrvatskog Leskovca i Golog Brega vrijednosti hidrauličke vodljivosti gornjeg dijela vodonosnika iznose oko 1,5 cm/s, a donjeg dijela oko 0,8 cm/s. U zoni Lukavca i Turopoljske Petrovine vrijednosti za gornji dio vodonosnika padaju na oko 1,0 cm/s a za donji dio vodonosnika na oko 0,7 cm/s. Na krajnjem jugoistočnom dijelu područja na koje se odnosi „*Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba – I. faza*“, tj. u području Vukovine i Mraclina vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti iznose između 0,4 i 0,25 cm/s, a za dublji dio vodonosnika 0,15 i 0,08 cm/s.

Za dio područja južno jugoistočno od crte Mraclin-Oborovo postoji puno manje podataka o vrijednostima hidrogeoloških parametara vodonosnika i one se uglavnom odnose na njegov gornji dio. Lokacije za koje postoje podaci udaljene su po više kilometara pa nije moguće zoniranje kakvo je načinjeno za sjeverni („glavni“) dio vodonosnika. Osim toga najveći dio podataka o vrijednostima hidrauličke vodljivosti dobiven je izračunavanjem iz granulometrijskog sastava materijala iz bušotina. Zbog svega toga moguće je navesti samo podatke koji se odnose na pojedinu lokaciju. Tako LARVA (2002) navodi vrijednost koeficijenta hidrauličke vodljivosti od 33 m/dan ($3,8 \times 10^{-4}$ m/s) za Prerovec, 20 m/dan ($2,3 \times 10^{-4}$ m/s) za Dubrovčak, 40,35 m/dan ($4,4 \times 10^{-4}$ m/s) za Lekenik, 22,46 m/dan ($2,5 \times 10^{-4}$ m/s) za Gredu i samo 5,0 m/dan ($5,8 \times 10^{-5}$ m/s) za Desnu Martinsku Ves.



Najviše podataka postoji za područje nešto istočno od Peščenice gdje su 1995. godine provedeni vodoistraživački radovi, čiji je izvođač bio INSTITUT GRAĐEVINARSTVA HRVATSKE. U okviru vodoistraživačkih radova, provedeno je pokusno crpljenje zdenaca B-1 i B-2, a analizom rezultata dobivene su slijedeće vrijednosti hidrogeoloških parametara:

-koeficijent transmisivnosti	$T \text{ (m}^2\text{/s)} = 1,79 \times 10^{-1} - 2,42 \times 10^{-1}$
-koeficijent uskladištenja	$S \text{ (-)} = 1,0 \times 10^{-5} - 9,52 \times 10^{-5}$

Ako se usvoji debljina vodonosnika od 45 m, može se izračunati vrijednost koeficijenta hidrauličke provodljivosti od $K = 3,56 \times 10^{-3}$ do $5,56 \times 10^{-3}$ m/s, odnosno njegova srednja vrijednost $K_{sr} = 4,56 \times 10^{-3}$ m/s.

Osim toga, u sklopu istraživačkih radova na eksploatacijskom polju šljunka „*Pepelinka*“, koje se nalazi oko 800 m južno od zdenca B-1, izračunate su vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti iz rezultata granulometrijskih analiza materijala iz bušotina. Korištene su formule USBR-a i Slichter-a (GOLUŽA et al., 2006).

U tablici 2 prikazane su izračunate vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti (K) za pojedine intervale nabušenih naslaga.

Tablica 2. Izračunate vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti (K) prema metodi USBR-a i Slichter-a.

Bušotina	Interval (m)	d_{10}	d_{20}	K (m/s)		
				USBR	Slichter	Srednja vrijednost
B-1	3,0–5,0	0,27	0,39	$4,13 \times 10^{-4}$	$4,18 \times 10^{-4}$	$4,16 \times 10^{-4}$
	5,0–8,0	0,29	0,66	$1,38 \times 10^{-3}$	$4,83 \times 10^{-4}$	$9,32 \times 10^{-4}$
	8,0–9,0	0,225	0,315	$2,53 \times 10^{-4}$	$2,91 \times 10^{-4}$	$2,72 \times 10^{-4}$
	9,0–10,0	0,08	0,21	$9,94 \times 10^{-5}$	$3,67 \times 10^{-5}$	$6,81 \times 10^{-5}$
B-2	4,0–9,0	0,275	0,48	$6,66 \times 10^{-4}$	$4,34 \times 10^{-4}$	$5,50 \times 10^{-4}$
	9,0–13,0	0,225	0,28	$1,93 \times 10^{-4}$	$2,91 \times 10^{-4}$	$2,42 \times 10^{-4}$
B-3	3,5–13,0	0,27	0,38	$3,89 \times 10^{-4}$	$4,18 \times 10^{-4}$	$4,04 \times 10^{-4}$
B-4	3,6–4,5	0,15	0,25	$1,48 \times 10^{-4}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-4}$
	4,5–8,3	0,29	0,7	$1,58 \times 10^{-3}$	$4,83 \times 10^{-4}$	$1,03 \times 10^{-3}$
	8,7–11,5	0,29	0,7	$1,58 \times 10^{-3}$	$4,83 \times 10^{-4}$	$1,03 \times 10^{-3}$
	11,5–17,5	0,9	3,0	$4,50 \times 10^{-2}$	$4,65 \times 10^{-3}$	$2,48 \times 10^{-2}$
	17,5–20,0	0,41	1,1	$4,48 \times 10^{-3}$	$9,65 \times 10^{-4}$	$2,72 \times 10^{-3}$

Srednja vrijednost svih srednjih vrijednosti koeficijenta hidrauličke provodljivosti dobivenih računski na temelju granulometrijskih analiza iznosi $K_{sr} = 2,71 \times 10^{-3}$ m/s. Na taj rezultat vjerojatno imaju utjecaja uzorci uzeti iz tanjih slojeva/proslojaka sitnozrnatijeg materijala, pa je zbog toga ovako dobivena vrijednost dvostruko manja od one dobivene na temelju podataka pokusnog crpljenja za koju smatramo da je vjerodostojnija.



3. DINAMIKA PODZEMNIH VODA I VEZE/INTERAKCIJE SA SJEVERNIM DIJELOM VODONOSNIKA

Cijeli zagrebački vodonosni sustav, bez obzira na genezu vodonosnika saturiran je podzemnom vodom i hidraulički predstavlja cjelinu, odnosno jedinstveno „vodno tijelo“. Ključno je da je u hidrauličkoj vezi s rijekom Savom koja je urezana u gornji (najplići) šljunkoviti (aluvijalni) dio vodonosnika. Stoga razina podzemne vode oscilira ovisno o vodostaju Save, a ovisno o tome variraju i smjerovi tečenja podzemne vode. Sava je u svakom slučaju najznačajniji izvor napajanja zagrebačkog hidrogeološkog sustava. Na najvećem dijelu toka od Podsuseda do Siska voda se iz Save infiltrira u vodonosni sustav, a drenira ga samo na nekim manjim dionicama i to tijekom ekstremno niskih vodostaja.

Rezultati svih dosadašnjih istraživanja zagrebačkog vodonosnika pokazali su izuzetno dobru povezanost vodostaja Save i razina podzemne vode. Intenzitet utjecaja Save na razinu podzemne vode mijenja se ovisno o udaljenosti od rijeke, te o trajanju i učestalosti vodostaja Save. Taj je utjecaj primjetan i u krajnjem južnom dijelu vodonosnika gdje se razine podzemne vode također mijenjaju ovisno o promjenama vodostaja Save. Te promjene se odvijaju s određenim vremenskim zaostatkom i s manjom amplitudom u odnosu na dio vodonosnika bliže Savi i posljedica su prijenosa tlaka, a ne stvarnog podzemnog dotoka.

Općenito se može reći da se na širem području, tijekom visokih vodostaja Save, tečenje podzemne vode južno od Save odvija od zapada prema istoku-jugoistoku. Samo u području sjeverno od Male Mlake i Velike Gorice, zbog utjecaja crpilišta, podzemna voda teče od sjevera prema jugu. Za vrijeme niskih vodostaja Sava drenira južno zaobalje u dijelu područja između Mičevca i Rugvice.

Sve je to mnogo puta potvrđeno u više hidrogeoloških studija i elaborata u kojima su detaljno interpretirani podaci o razinama podzemne vode i izrađene karte hidroizohipsa (ekvipotencijala) za karakteristične razine podzemne vode („niske“, „srednje“ i „visoke“) za različita razdoblja, a napravljene su i simulacije za neka buduća-pretpostavljena stanja. To se međutim odnosi na „glavni“ dio zagrebačkog vodonosnika koji se prostire istočno od podsusedskog praga, a između Save-na sjeveru, i približno crte Brestje-Obrež Stupnički-Stupnik-Demerje-Obrež-Lukavec-odteretni kanal Sava-Odra do njegovog završetka u Odranskom polju-Stružec Posavski.

Za područje između te crte do Mraclina i podnožja Vukomeričkih gorica ima malo podataka o razinama podzemne vode i oni nisu nikada sustavno interpretirani.



I za područje južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac ima relativno malo podataka o dinamici podzemne vode. Prvi puta su obrađeni u okviru „*Preliminarnog hidrogeološkog izvještaja za projektiranje HES Strelečko*“, koji je izradio DHMZ još 1979. godine. Tada je izrađena karta hidroizohipsa visokog, srednjeg i niskog vodostaja. URUMOVIĆ i dr. (1995.) na temelju te karte zaključili su da kretanje razine podzemne vode oponaša režim vodostaja Save, no sa znatno manjim amplitudama koje iznose oko 1 metar. Uočili su i zakašnjenje reakcija na odgovarajući vodostaj Save u ovisnosti o udaljenosti od rijeke i transmisivnosti vodonosnika. Prema toj karti na području od Strmca Bukevskog do Dreneka, Sava za visokih vodostaja napaja podzemlje, a za niskih vodostaja ga drenira. Za vrijeme niskih vodostaja dominantan smjer tečenja podzemne vode je od zapada prema istoku, a za vrijeme visokih prema jugu, tj. prema izvorištu Odre koja ima funkciju drena podzemnih voda na ovom području. Jugoistočnije, prema Sisku, zbog malog broja opažачkih objekata, točnost karte je upitna, no ona pokazuje da je dominantan smjer tečenja podzemne vode u svim uvjetima od zapada-jugozapada prema istoku-sjeveroistoku.

U magistarskom radu „*Mogućnosti eksploatacije podzemne vode iz aluvijalnog vodonosnika između Zagreba i Siska*“ (LARVA, 2002) obrađeni su podaci o dinamici podzemnih voda na temelju podataka za 1996. godinu, a rezultati obrade prikazani su na „Karti regionalnih kontura hidroizohipsi niskog vodostaja“ i „Karti regionalnih kontura hidroizohipsi visokog vodostaja“. Autor je, na temelju usporedbe raspoloživih podataka o razinama podzemne vode iz perioda prije 1996. godine i onih iz nekoliko kasnijih godina, zaključio da rasponi minimuma i maksimuma zabilježeni 1996. godine najviše odgovaraju ekstremnim stanjima zabilježenim između 1990. i 1998. godine, pa se karte mogu smatrati reprezentativnima za duže razdoblje.

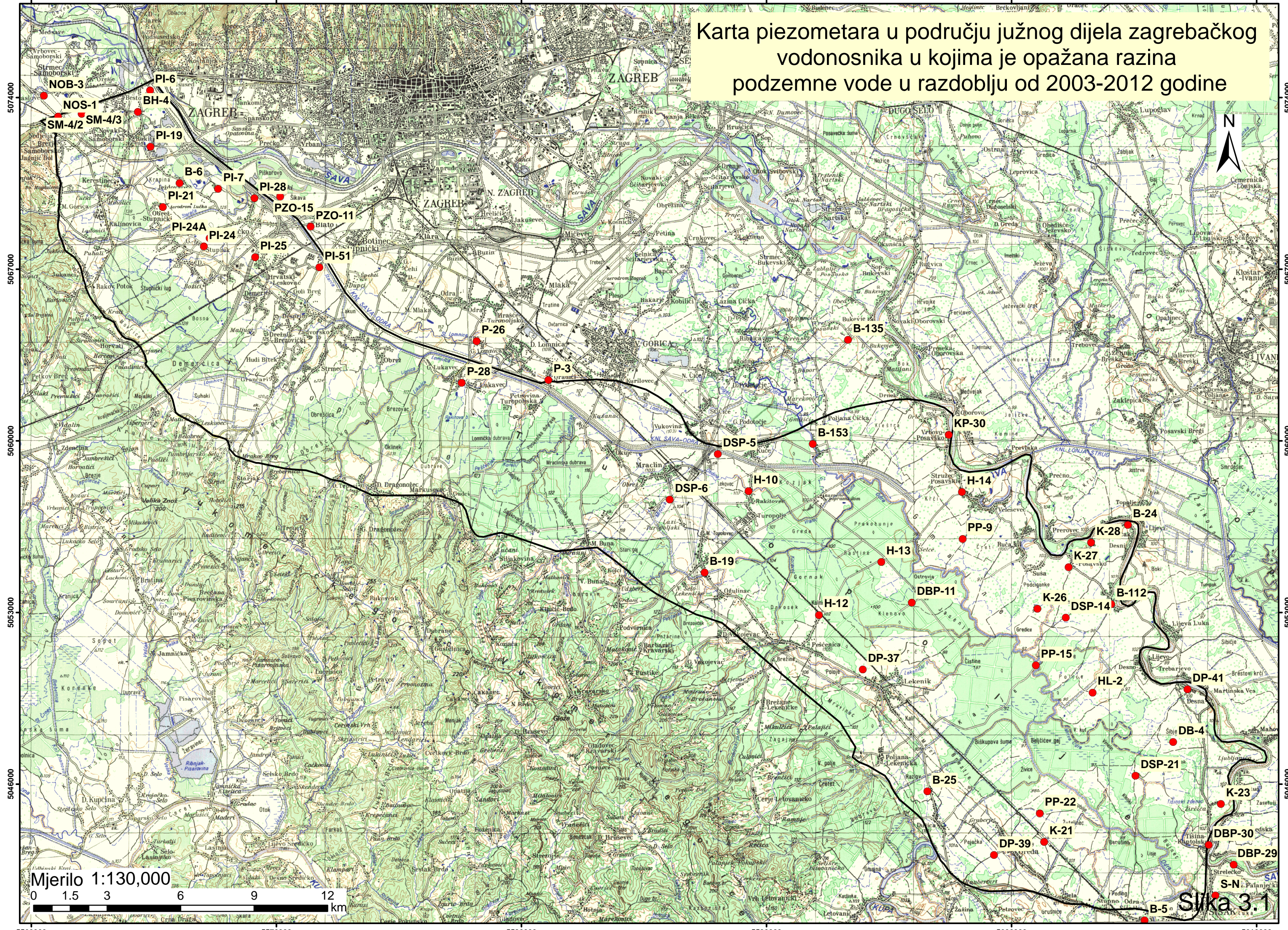
Na kartama je vidljivo da su se 1996. godine niske razine podzemnih voda kretale od 99,5 m n.m. kod Mraclina, do 96,5 m n.m. kod Dreneka na istoku, odnosno do 93,5 m n.m. na jugu kod Kaptola i Odre kod Siska.

Visoke razine podzemnih bile su u prosjeku više za 1,7 m i iznosile su oko 100,0 m n.m. kod Mraclina, oko 99,3 m n.m. kod Dreneka, te oko 97,5 m n.m. kod Kaptola i Odre. Prema tim kartama bilo je evidentno da je u uvjetima visokih voda Sava napajala vodonosnik južno od Stremeca Bukevskog u zoni neposredno uz rijeku gotovo na cijelom području, a da je za vrijeme niskih vodostaja drenirala vodonosnik na cijelom potezu od Strmeca Bukevskog na sjeverozapadu do Desnog Trebarjeva na jugoistoku. Od Desnog Trebarjeva pa do Siska Sava je napajala vodonosnik i tijekom niskih vodostaja.



Cilj ovog rada je ocijeniti aktualno stanje, pa su za opis dinamike podzemne vode u južnom dijelu zagrebačkog vodonosnika korišteni podaci o mjerenjima razina podzemne vode tijekom desetgodišnjeg perioda od 2003. do 2012. godine iz baze podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda. Korišteni su podaci iz ukupno 41 piezometra (slika 3.1). Od toga se 19 piezometara nalazi u sjeverozapadnom dijelu područja, tj. u sektoru između Kerestinca na sjeverozapadu i Mraclina na jugoistoku, a između odteretnog kanala Sava-Odra i podnožja sjevernih padina Vukomeričkih gorica. No ti piezometri su smješteni u južnoj rubnoj zoni „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika, a za najveći dio područja južnije nema podataka, pa načinjene karte hidroizohipsa za taj dio ne prikazuju realno stanje.

Karta piezometara u području južnog dijela zagrebačkog
vodonosnika u kojima je opažana razina
podzemne vode u razdoblju od 2003-2012 godine



Slika 3.1



Pregledom podataka o razinama podzemne vode utvrđeno je da su u najvećem broju piezometara najviši vodostaji za promatrani period zabilježeni 13.12.2010., a najniži 30.08.2012. godine, pa su za te datume izrađene karta hidroizohipsa (ekvipotencijala) za visoke vode i karta hidroizohipsa (ekvipotencijala) za niske vode (slika 3.2 i slika 3.3) Također su izrađene i karte hidroizohipsa (ekvipotencijala) za srednje visoke i srednje niske vode za period 2003-2012. godina (slika 3.4, 3.5, 3.6)

Razlika između visokih razina i niskih razina podzemne vode iznose, ovisno o području, između 1 i 5 m. Generalno, razlike su veće bliže Savi, a smanjuju se idući prema Vukomeričkim goricama. Tako kod Novaka Samoborskih razlika između visokih i niskih razina podzemne vode iznosi 3 m, kod Rakovog Potoka 4 m, kod Hrvatskog Leskovca 3 m, kod Donjeg Dragonošca i Markuševca oko 1 m, kod Mraclina 2 m, u središnjem dijelu Odranskog polja oko 3,5 m, kod Odre Sisačke oko 4 m, a kod Strelečkog, znači uz Savu, čak 5 m.

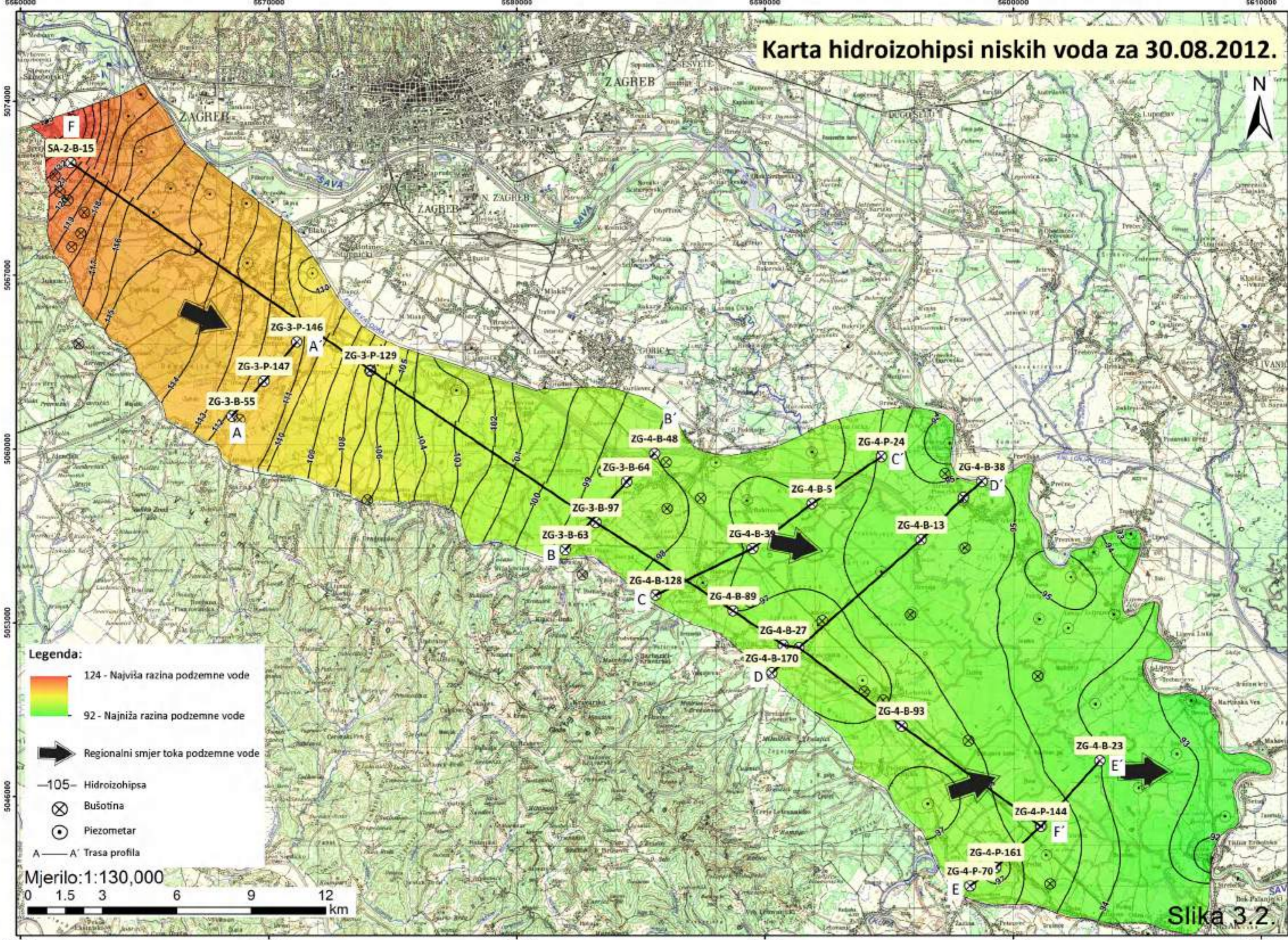
Karta hidroizohipsa za niske razine podzemne vode pokazuje da na području i između Kerestinca i Mraclina podzemna voda dominantno teče od sjeverozapada prema jugoistoku-istoku. Istočno od Mraclina, tj. na području Odranskog polja, za vrijeme niskih razina podzemna voda teče od jugozapada prema sjeveroistoku, tj. prema Savi. Lokalno, zbog meandriranja Save, u području između Suše (Jezera Posavskog) i Trebarjeva Desnog, tok podzemne vode za niskih vodostaja odvija se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. od uzvodnog prema nizvodnom meandru Save.

Za visokih razina podzemne vode u području između Kerestinca i Mraclina smjer tečenja podzemne vode vrlo je sličan onom pri niskim razinama, dakle tečenje se odvija od sjeverozapada prema jugoistoku-istoku. Razlike u odnosu na tečenje pri niskim razinama uočljive su u području Odranskog polja. Tako, npr. u području između Dreneka i Stružeca Posavskog podzemna voda teče od sjevera-sjeveroistoka prema jugu-jugozapadu, tj. prema Odri, što znači da u uvjetima visoke razine podzemne vode Sava intenzivno napaja vodonosnik. U ostalom dijelu Odranskog polja visoke razine podzemne vode su ujednačenije nego što je to slučaj s niskim razinama. To ima za posljedicu niže vrijednosti hidrauličkih gradijenata, odnosno manje brzine tečenja podzemne vode. Tako, primjerice na potezu od Mraclina do kraja odteretnog kanala Sava-Odra, karta hidroizohipsa niskih voda ukazuje na vrijednost hidrauličkog gradijenta od oko 0,0003 (0,3%), a prema karti hidroizohipsa visokih voda na tom potezu hidrauličkog gradijenta nema, što znači da u tom dijelu Odranskog polja



u uvjetima visokih razina podzemna voda stagnira. Razlike su mnogo manje ako se gledaju hidroizohipse za srednje niske i srednje visoke vode (slika 3.4, 3.5, 3.6)

Karta hidroizohipsi niskih voda za 30.08.2012.



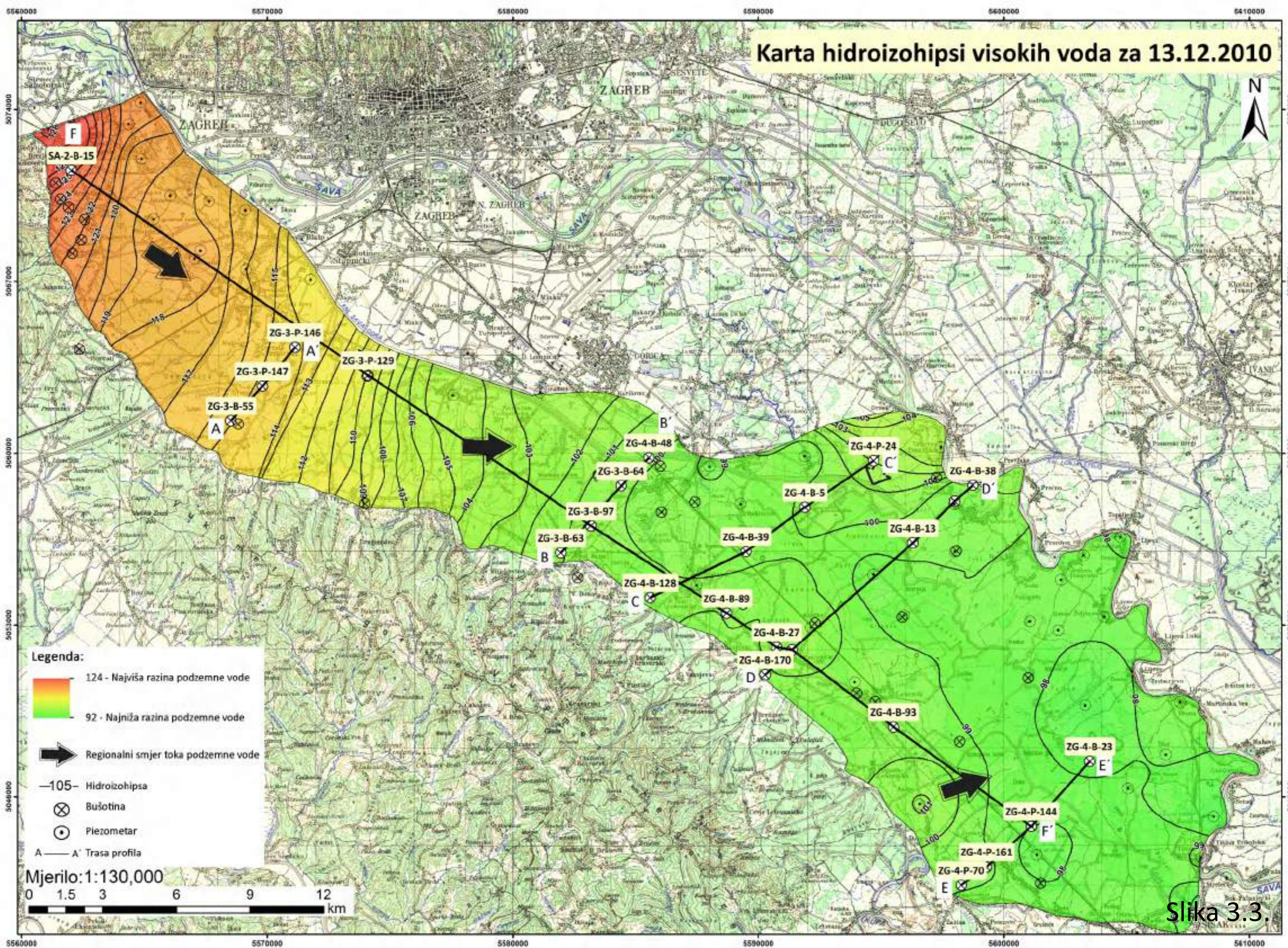
- Legenda:**
- 124 - Najviša razina podzemne vode
 - 92 - Najniža razina podzemne vode
 - Regionalni smjer toka podzemne vode
 - 105- Hidroizohipsa
 - Bušotina
 - Piezometar
 - A — A' Trasa profila

Mjerilo: 1:130,000

0 1.5 3 6 9 12 km

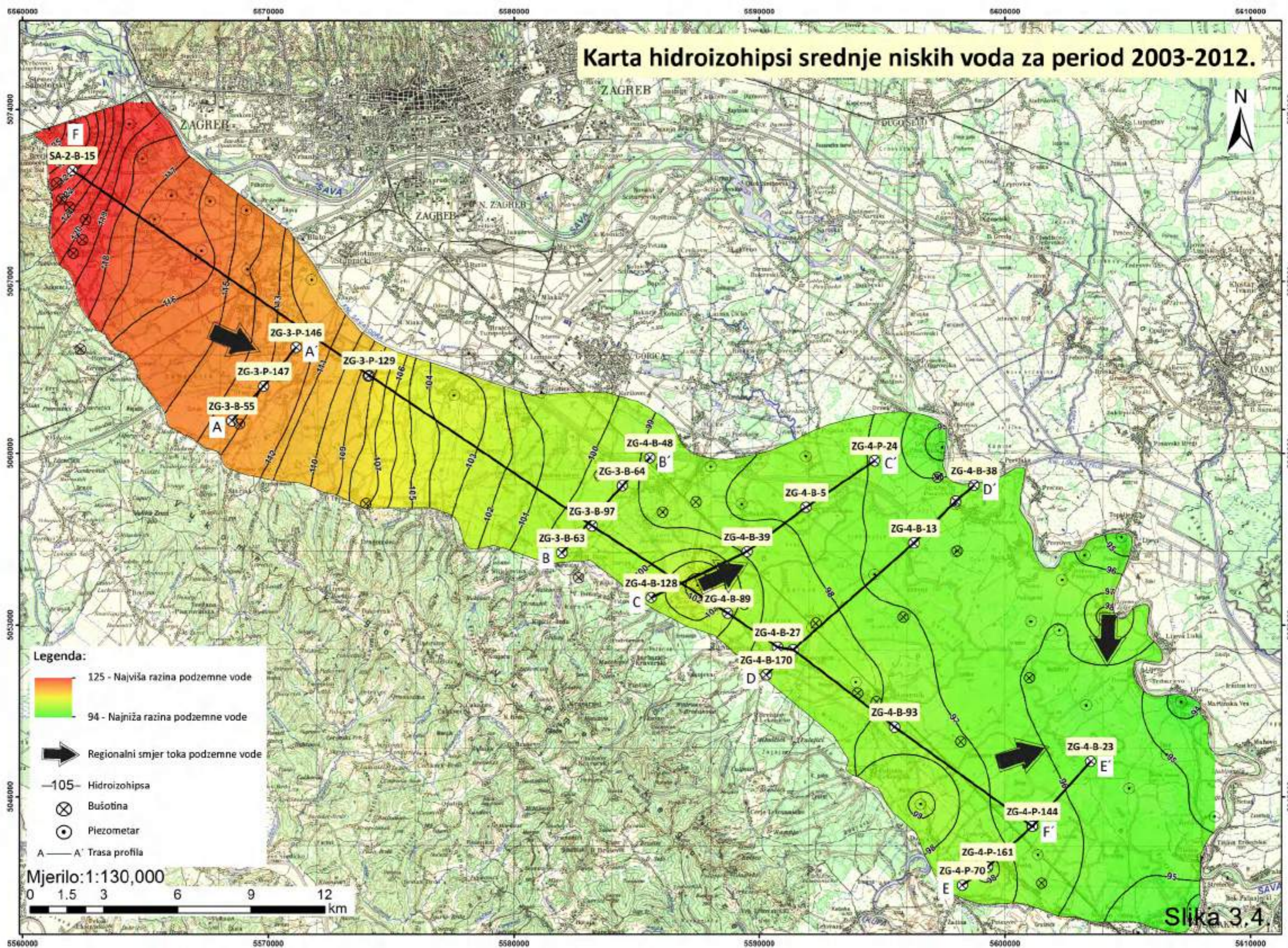
Slika 3.2.

Karta hidroizohipsi visokih voda za 13.12.2010

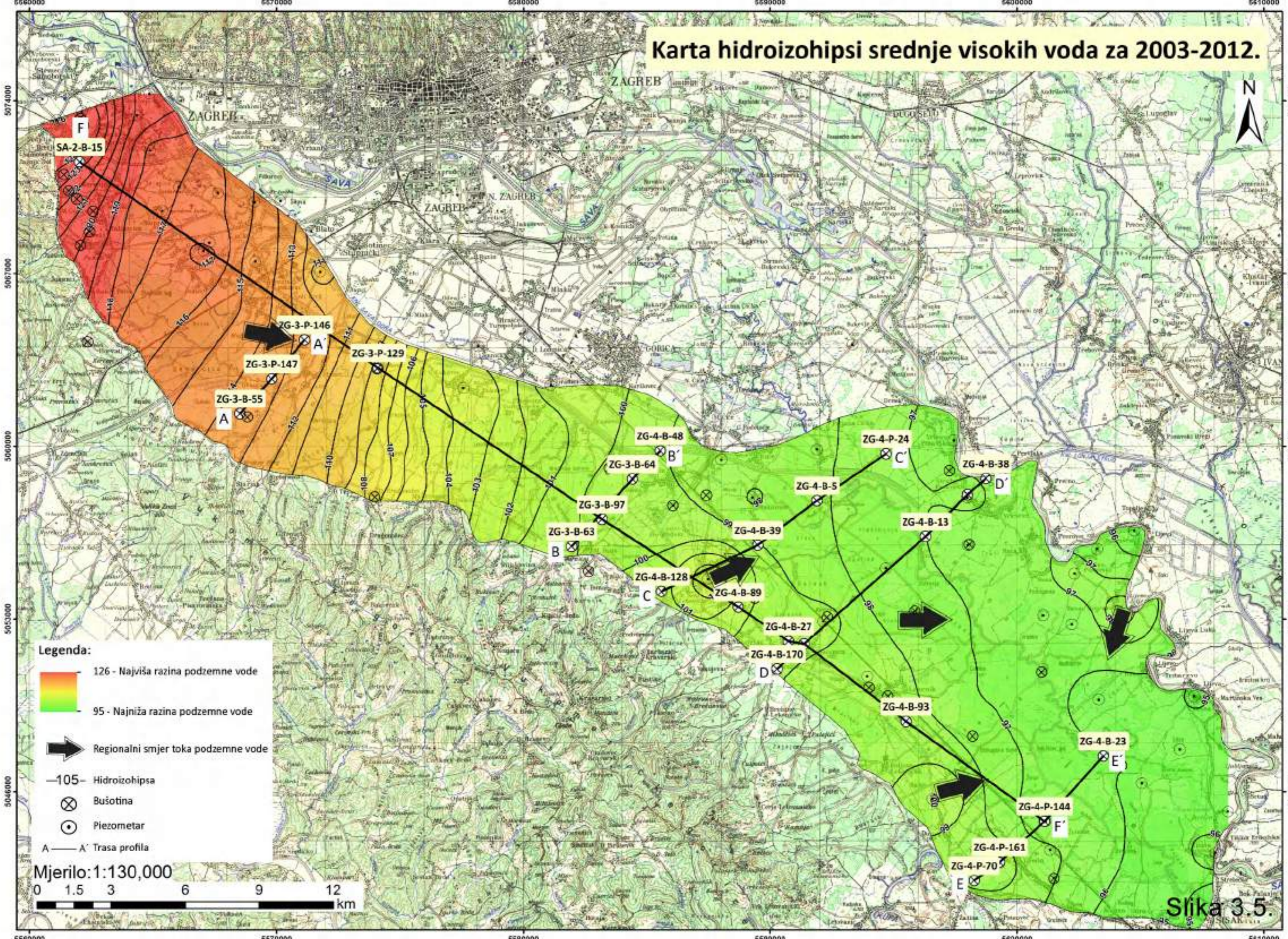


Slika 3.3.

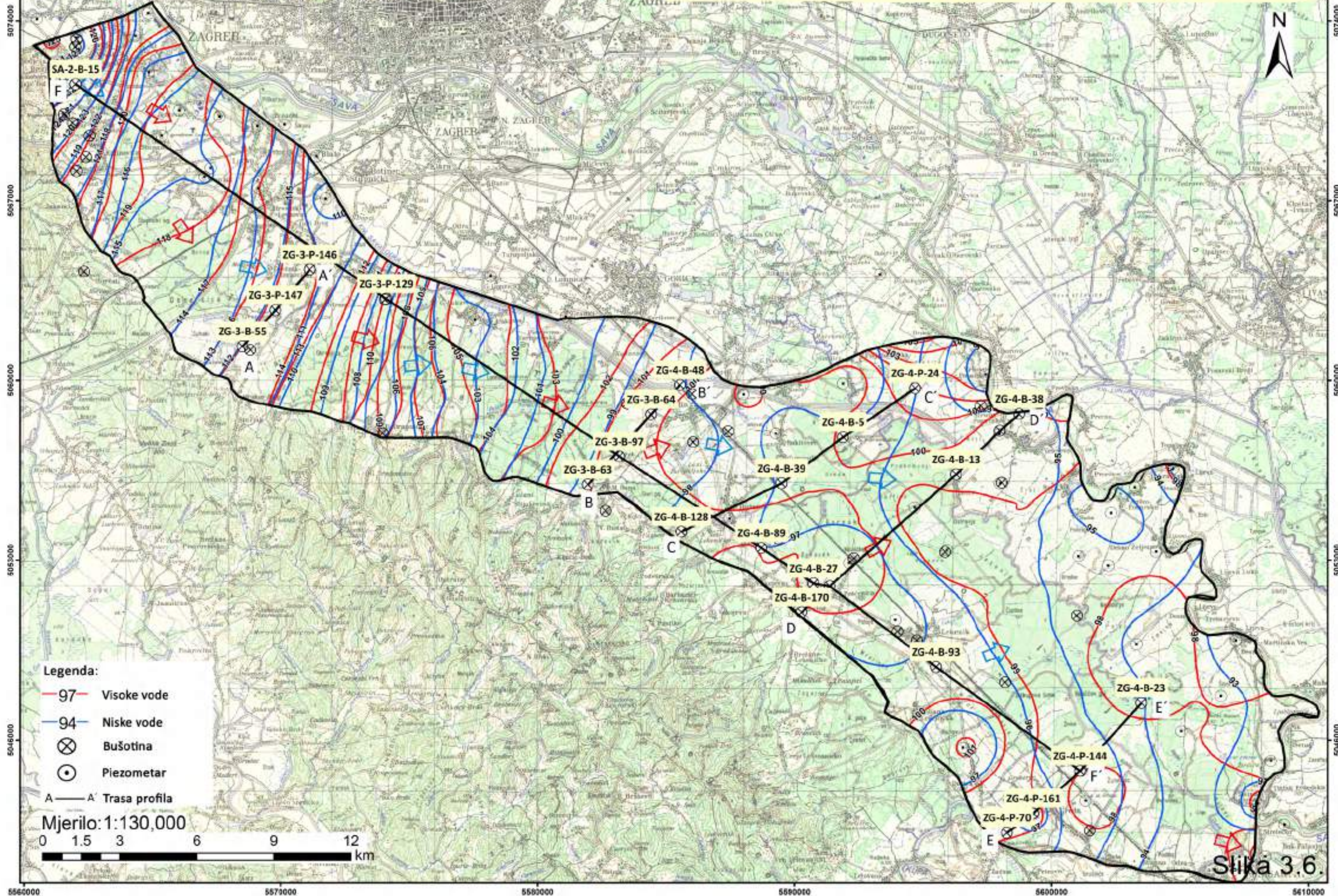
Karta hidroizohipsi srednje niskih voda za period 2003-2012.



Karta hidroizohipsi srednje visokih voda za 2003-2012.



Karta niskih (30.08.2012) i visokih voda (13.12.2010).



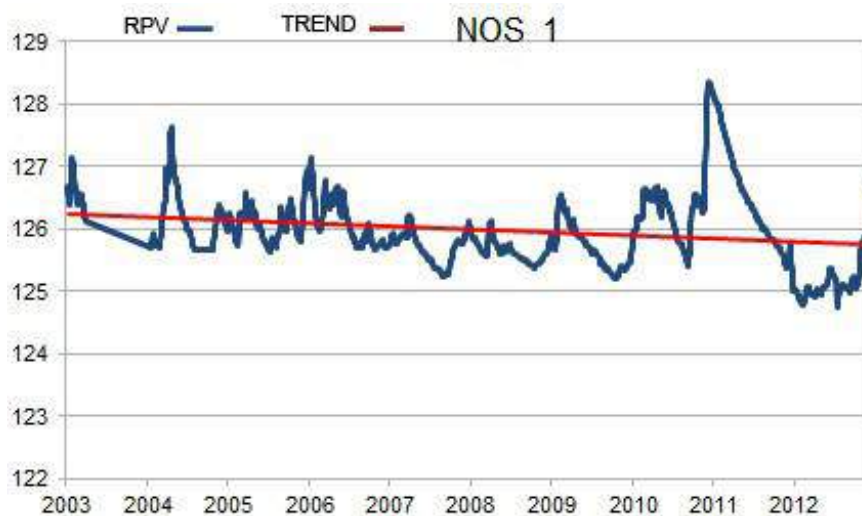


Karte hidroizohipsa za srednje niske i srednje visoke razine podzemne vode pokazuju da se one razlikuju za oko 1 m ili manje od toga, a smjerovi tečenja su gotovo identični i pri srednjim niskim razinama i pri srednjim visokim razinama. Znači da i u jednom i u drugim uvjetima podzemna voda u području između Kerestince i Mraclina teče uglavnom od sjeverozapada prema jugoistoku-istoku, a na području Odranskog polja od jugozapada prema sjeveroistoku, tj. prema Savi.

Posebno je, s obzirom na zadaću ovih istraživanja, značajna činjenica da se i pri niskim i pri visokim razinama podzemne vode u jugoistočnom dijelu područja u zoni Mraclin-Greda tečenje podzemne vode odvija od jugozapada prema sjeveroistoku. To ukazuje na značajnije napajanje vodonosnika i iz smjera Vukomeričkih gorica. Takvu tendenciju ne pokazuju karte za sjeverozapadni dio područja, tj. za sektor Kerestinec-Mraclin. Uzrok tome je činjenica da su u tom području piezometri smješteni preblizu „glavnom“ dijelu vodonosnika, a nema podataka o razinama podzemne vode bliže podnožju Vukomeričkih gorica.

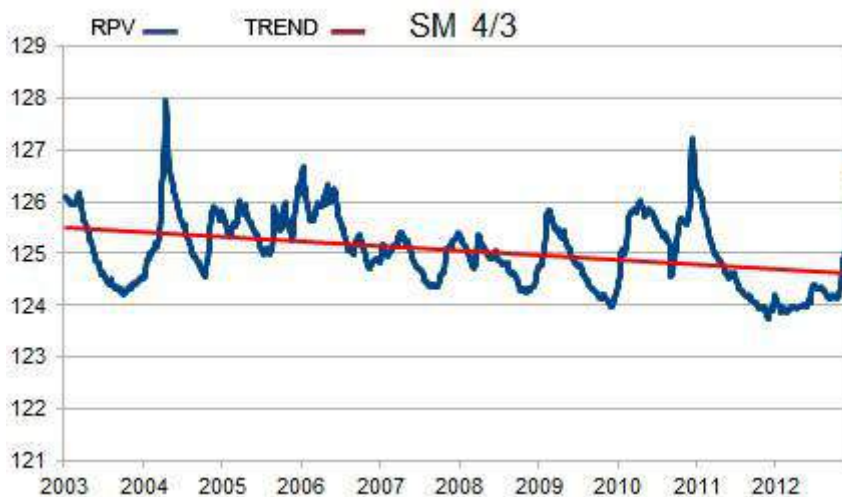
O promjenama hidrogeoloških uvjeta tijekom razdoblja 2003.-2012. može se zaključivati na temelju analize karakterističnih nivograma. U nastavku su prikazani i analizirani nivogrami 8 piezometara iz područja južnog dijela vodonosnika od Kerestince do Mraclina i nivogrami 15 piezometara koji su raspoređeni u području jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac

U piezometru NOS-1 (SA-2-P-40) (slika 3.7) na području Svete Nedjelje maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 09.12.2010. godine i iznosila je 128,35 m n.m., a minimalna 12.07.2012. i iznosila je 124,76 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,59 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



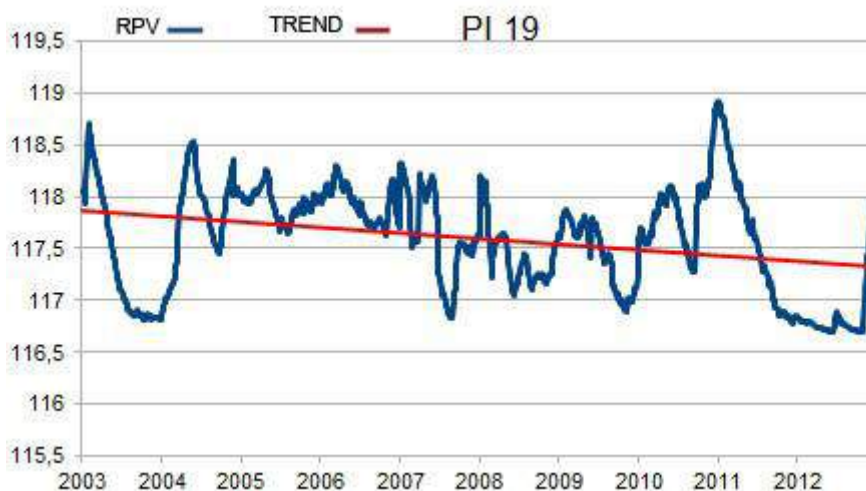
Slika 3.7. Nivogram piezometra NOS-1 (SA-2-P-40) za period 2003.-2012.

U piezometru SM-4/3 (SA-2-P-189) (slika 3.8) na području Samoborskih Novaka maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 13.12.2010. godine i iznosila je 127,20 m n.m., a minimalna 28.11.2011. i iznosila je 123,73 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,47 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



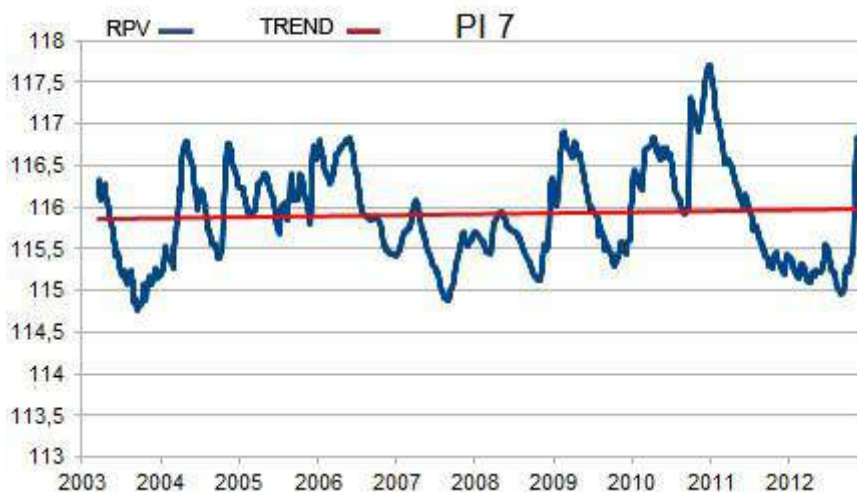
Slika 3.8. Nivogram piezometra SM-4/3 (SA-2-P-189) za period 2003.-2012.

U piezometru PI-19 (SA-2-P-45) (slika 3.9) na području Rakitja maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 30.01.2011. godine i iznosila je 118,91 m n.m., a minimalna 24.05.2012. i iznosila je 116,70 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,21 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



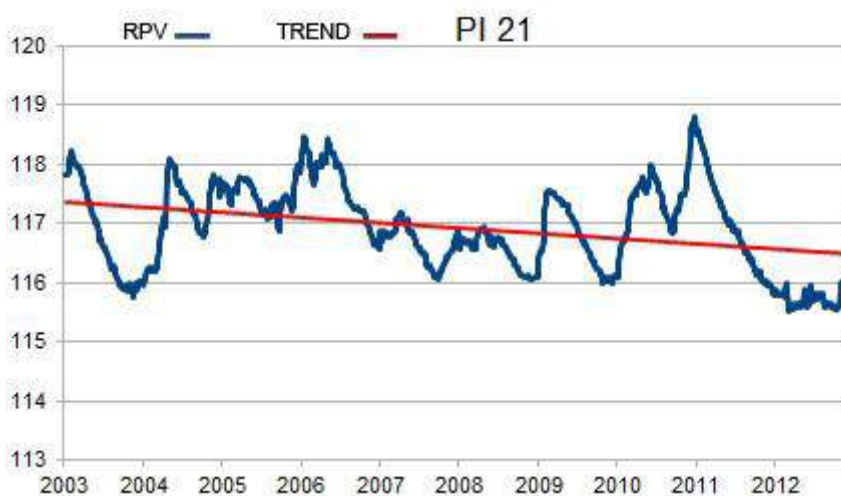
Slika 3.9. Nivogram piezometra PI-19 (SA-2-P-145) za period 2003.-2012.

U piezometru PI-7 (ZG-1-P-41) (slika 3.10) na području između Ježdovca i Lučkog uz odteretni kanal Sava-Odra maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 23.12.2010. godine i iznosila je 117,71 m n.m., a minimalna 11.05.2003. i iznosila je 114,75 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,96 m. Za razliku od drugih piezometara u ovom području vidljiv je vrlo blagi trend porasta razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.10. Nivogram piezometra PI-7 (ZG-1-P-41) za period 2003.-2012.

U piezometru PI-21 (ZG-1-P-54) (slika 3.11) na području Obreža Stupničkog maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 30.12.2010. godine i iznosila je 118,81 m n.m., a minimalna 05.03.2012. i iznosila je 115,52 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,29 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.11. Nivogram piezometra PI-21 (ZG-1-P-54) za period 2003.-2012.

U piezometru PI-24 (ZG-1-P-56) (slika 3.12) na području Stupnika maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 30.12.2010. godine i iznosila je 120,52 m n.m., a minimalna 14.05.2012. i iznosila je 114,91 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 5,61 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



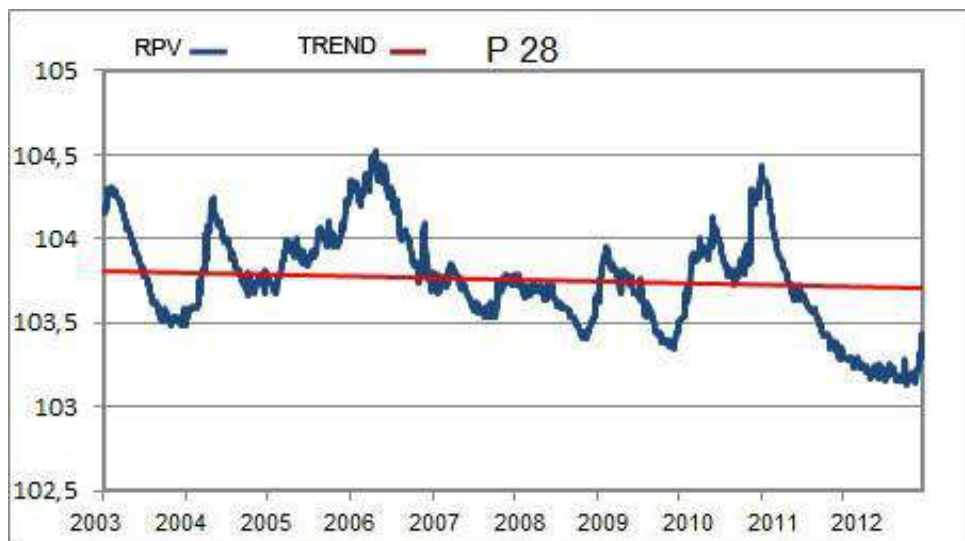
Slika 3.12. Nivogram piezometra PI-24 (ZG-1-P-56) za period 2003.-2012.

U piezometru PI-25 (ZG-3-P-2) (slika 3.13) na području Hrvatskog Leskovca maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 13.12.2010. godine i iznosila je 115,87 m n.m., a minimalna 30.08.2012. i iznosila je 112,53 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,34 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.13. Nivogram piezometra PI-25 (ZG-3-P-2) za period 2003.-2012.

U piezometru P-28 (ZG-3-P-21) (slika 3.14) na području Lukavca maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 08.05.2006. godine i iznosila je 104,53 m n.m., a minimalna 15.10.2012. i iznosila je 103,13 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 1,40 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.14. Nivogram piezometra P-28 (ZG-3-P-21) za period 2003.-2012.

Sumarni pregled najbitnijih podataka o piezometrima i karakteristikama promjena razina podzemne vode dan je u slijedećoj tablici.

Tablica 3. Podaci o piezometrima i karakteristikama promjena razina podzemne za područje između Kerestinca i Mraclina.

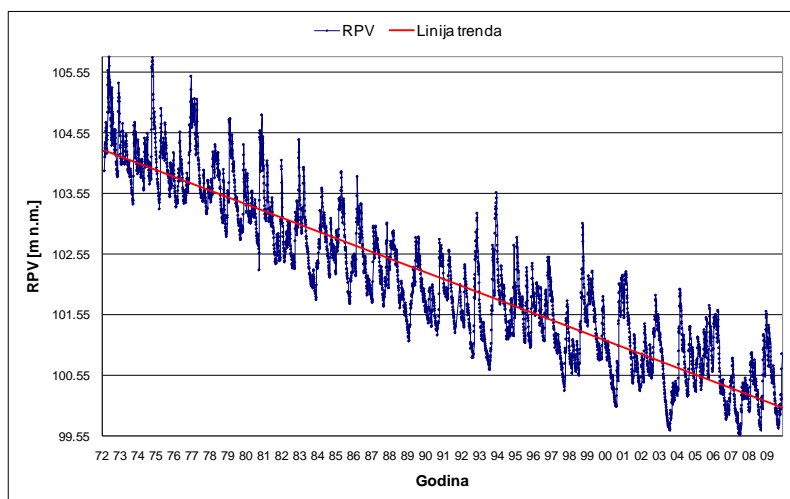
Piezometar	Udaljen. od Save (km)	Kota terena (mnm)	Dubina filtra (m)	Datum max.RPV	Datum min. RPV	Dubina do max.RPV (m)	Dubina do min.RPV (m)	Razlika RPVmx.-RPVmin (m)	Trend promjena RPV
DBP-25	uz Savu	101,01	13,83	01.11.2004.	29.09.2003.	0,63	7,96	7,33	↓
B-153	5,0	100,22	5,14	27.09.2010.	22.09.2003.	0,47	3,44	2,97	↑
H-10	8,12	100,62	6,1	04.10.2010.	27.08.2012.	1,3	3,95	2,65	↓
DSP-6	10,6	103,59	9,51	30.01.2003.	04.10.2012.	3,69	5,39	1,7	↓
H-14	1,0	100,60	9,13	17.01.2011.	01.11.2012.	1,59	5,14	3,55	↓
H-13	5,0	99,10	9,94	19.04.2004.	10.09.2012.	0,19	4,12	3,93	↓
H-12	8,12	103,29	9,12	05.01.2006.	29.10.2012.	2,06	5,67	3,61	↓
B-24	uz Savu	100,58	?	30.12.2010.	30.08.2012.	1,35	7,99	6,64	↓
DSP-14	2,5	97,29	15,12	07.12.2005.	28.10.2009.	>+0,59 prelijeva	2,28	2,87	↓
DSP-15	5,0	97,55	18,67	07.12.2005.	21.10.2012.	>+1,34 prelijeva	2,89	4,23	↓
B-25	10,6	102,43	?	22.01.2009.	11.09.2003.	0,71	5,4	4,69	↓
DP-41	uz Savu	99,40	16,06	27.12.2010.	15.09.2012.	0,43	7,27	6,84	↓
DSP-21	4,5	97,06	17,58	07.12.2005.	17.10.2012.	>+1,7 prelijeva	3,8	5,5	↓
K-21	8,2	97,72	?	28.12.2009.	24.09.2012.	>+0,4	2,6	3,0	↓
DP-39	9,4	99,40	15,04	29.11.2010.	25.10.2012.	>+0,37 prelijeva	2,28	2,65	↓

Iz gornjih podataka je vidljivo da se minimalne i maksimalne razine podzemne vode javljaju na različite datume što ovisi o lokaciji piezometra, odnosno udaljenosti od Save, ali vjerojatno i o lokalnim uvjetima. No, maksimalne razine podzemne vode, osim u piezometru P-28, zabilježene su u periodu od 26 dana, tj. između 9. prosinca 2010, i 3. siječnja 2011. godine. Pojava minimalnih razina vremenski je znatno nepravilnija. Uglavnom su registrirane 2012. godine, ali, ovisno o piezometru, i u proljeće (svibanj) i u ljeto (kolovoz) i u jesen (listopad) i u zimu (ožujak). Podzemna voda se nalazi, ovisno o lokaciji, pri maksimalnim razinama, na dubini između 1,6 m i 6,59 m, a pri minimalnim razinama između 5,19 m i 8,60 m ispod površine terena. Razlike između maksimalnih i minimalnih razina kreću se, opet ovisno o lokaciji, između 1,1 m i 5,62 m.

Desetgodišnji niz podataka pokazuje da na cijelom području postoji relativno blagi trend opadanja razine podzemne vode. Iznimka je piezometar PI-7 čiji podaci pokazuju blagi

trend porasta razina podzemne vode tijekom perioda 2003.-2012. godina. To je vjerojatno vezano uz to što se piezometar nalazi u području Ježdovaca, odnosno relativno blizu Save, uz odteretni kanal Sava-Odra, ali i relativno blizu jezerima/šljunčari Rakitje. Nije isključeno da je razlog i u konstrukciji/stanju piezometra.

Trend opadanja razine podzemne vode je očekivan jer je on evidentan i u „glavnom“ dijelu zagrebačkog vodonosnika. Naime, analiza kretanja razina podzemne vode u razdoblju od 1972. godine do 2010. godine, pokazala je da su razine podzemne vode na području vodonosnika sjeverno od crte Mraclin-Oborovo opale za oko 5 do 6 m ili, u prosjeku, 1 do 2 m svakih 10 godina. To vrlo jasno pokazuju podaci dobiveni mjerenjima razine podzemne vode u piezometru P-82 koji se nalazi u južno od Save, uz pistu zračne luke, dakle u središnjem dijelu vodonosnika (slika 3.15) čiji nivogram pokazuje trend snižavanja razine podzemne vode od oko 0,13 m godišnje ili 1,3 m za deset godina.



Slika 3.15. Nivogram podzemne vode u piezometru P-82 za period 1972.-2009.

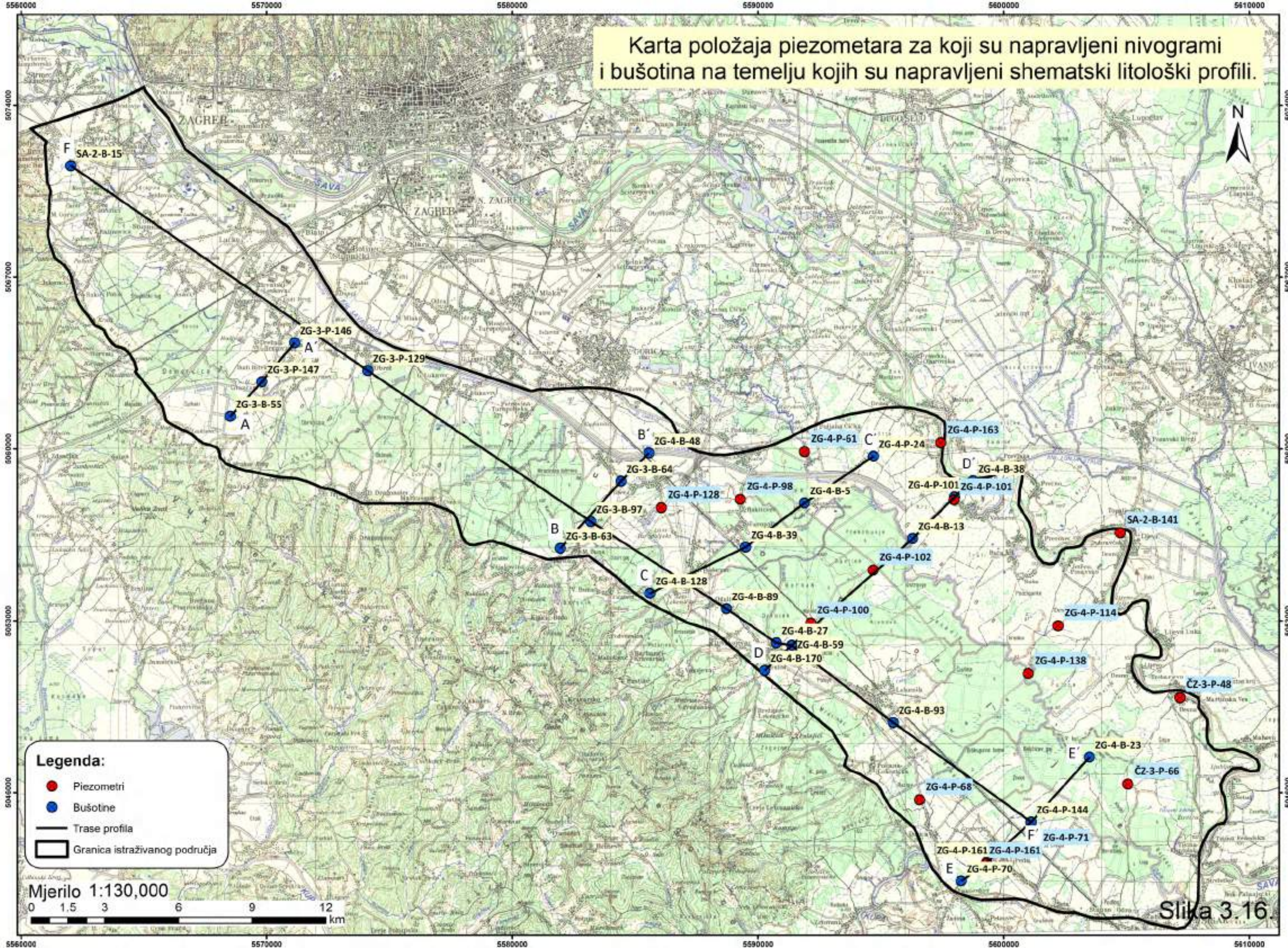
Razlozi generalnog opadanja razina podzemne vode u zagrebačkom vodonosniku su višestruki, ali glavni su: (1) proces snižavanja korita rijeke Save koje je najvećim dijelom posljedica izgradnje pregrada i regulacijskih građevina na Savi uzvodno od Zagreba, tj. na području Republike Slovenije, (2) regulacije pritoka i šljunčarenja iz korita Save (BONACCI i TRNINIĆ, 1986), (3) izgradnja nasipa za obranu od poplava duž rijeke Save koji su spriječili povremena plavljenja zaobalnog područja, a time i potencijalnu infiltraciju vode s poplavljenih područja u vodonosnik, (4) sve veća izgrađenost područja prometnicama i zgradama, te (5) sve veća eksploataciji podzemne vode za potrebe vodoopskrbe Grada Zagreba i regije (POSAVEC, 2006.).



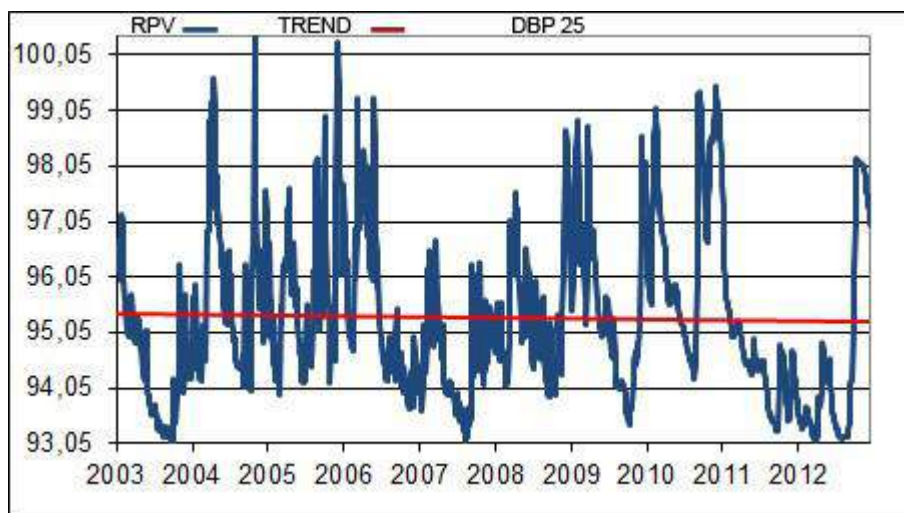
Dakle, isto se događa i u dijelu vodonosnika između Kerestinca na sjeverozapadu i Mraclina na jugoistoku južno od odteretnog kanala Sava-Odra, no tu je trend opadanja razine podzemne vode blaži i kreće se od 0,3 do 1,0 m za deset godina.

Na području jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac, odabrano je 15 piezometara za koje su prikazani nivogrami, te su konstruirano 5 poprečnih i jedan uzdužni shematski litološki profil (slike 3.32-3.35) čije trase prolaze blizu navedenih piezometara. Piezometri za koje su izrađeni nivogrami i profili te bušotine na temelju kojih su konstruirani profili prikazani su na slici 3.16. Uz svaki nivogram naveden je i profil čija trasa prolazi blizu piezometra za koji je nivogram rađen.

Karta položaja piezometara za koji su napravljeni nivogrami i bušotina na temelju kojih su napravljeni shematski litološki profili.

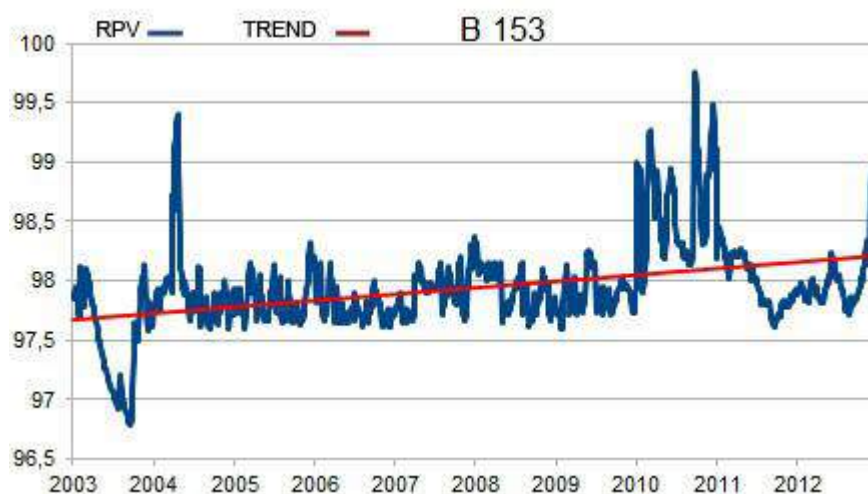


U piezometru DBP-25 (ZG-4-P-163), (slika 3.17), (profil C-C') (slika 3.33) na području Vrbova Posavskog maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 01.11.2004. godine i iznosila je 100,38 m n.m., a minimalna 29.09.2003. i iznosila je 93,05 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 7,33 m. Praktično nije vidljiv trend promjena razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.17. Nivogram piezometra DBP (ZG-4-P-163) za period 2003.-2012.

U piezometru B-153 (ZG-4-P-61), (slika 3.18), (profil C-C') (slika 3.33) na području Čičke Poljane maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 27.09.2010. godine i iznosila je 99,75 m n.m., a minimalna 22.09.2003. i iznosila je 96,78 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,97 m. Vidljiv je trend porasta razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



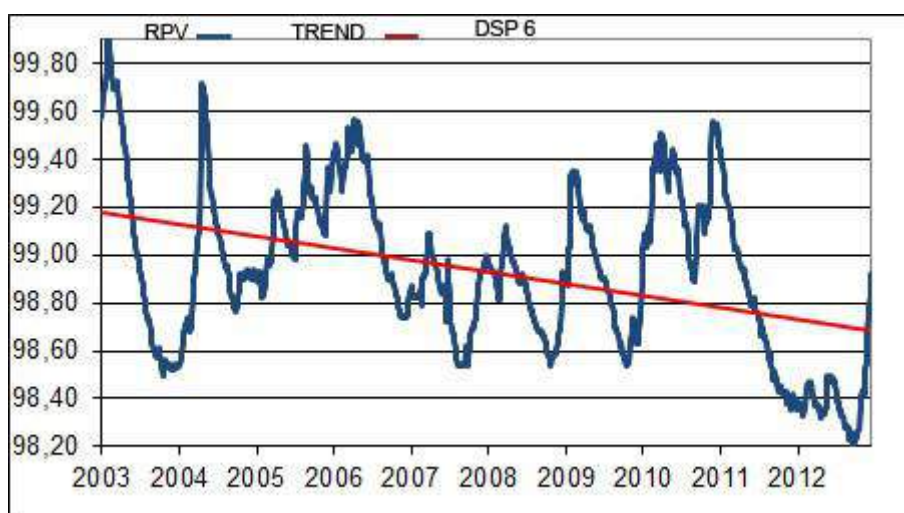
Slika 3.18. Nivogram piezometra B-153 (ZG-4-P-61) za period 2003.-2012.

U piezometru H-10 (ZG-4-P-98), (slika 3.19), (profil C-C') (slika 3.33) na području Rakitovca maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 04.10.2010. godine i iznosila je 99,32 m n.m., a minimalna 27.08.2012. i iznosila je 96,67 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,65 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



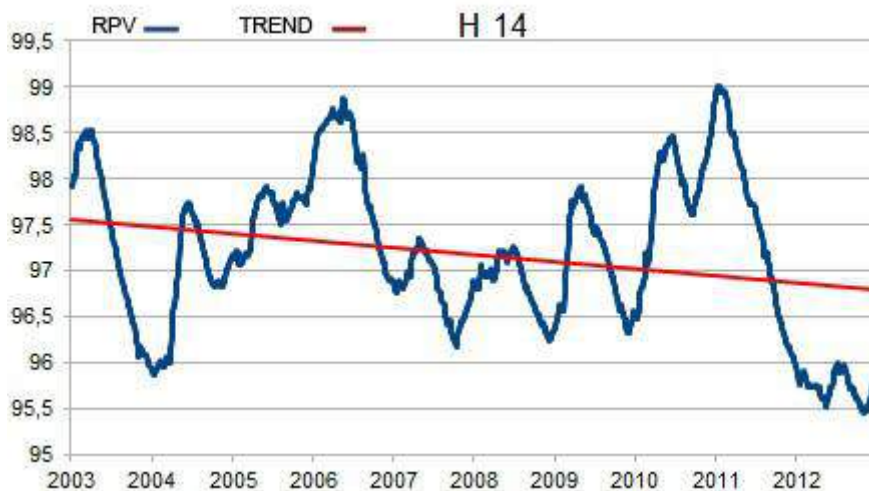
Slika 3.19. Nivogram piezometra H-10 (ZG-4-P-98) za period 2003.-2012.

U piezometru DSP-6 (ZG-4-P-128), (slika 3.20), (profil C-C') (slika 3.33) jugoistočno od Mraclina maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 30.01.2003. godine i iznosila je 99,90 m n.m., a minimalna 04.10.2012. i iznosila je 98,20 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 1,7 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



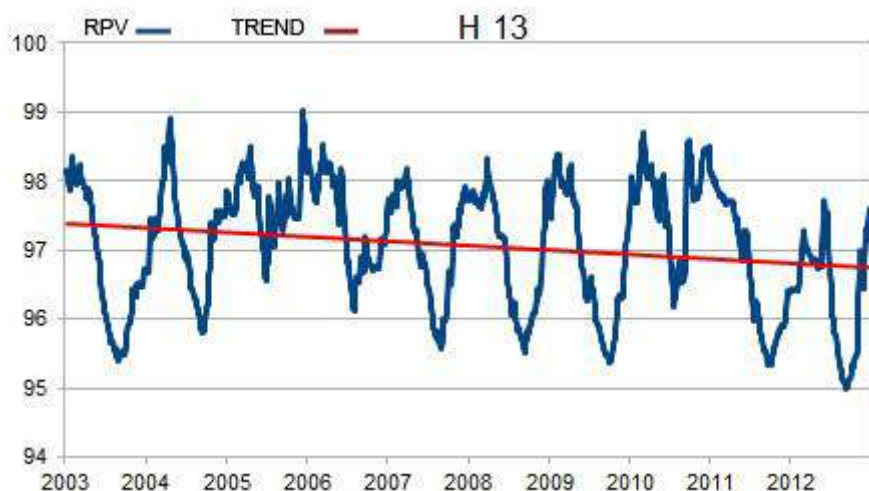
Slika 3.20. Nivogram piezometra DSP-6 (ZG-4-P-128) za period 2003.-2012.

U piezometru H-14 (ZG-4-P-101), (slika 3.21), (profil D-D') (slika 3.33) između Stružeca Posavskog i Veleševca maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 17.01.2011. godine i iznosila je 99,01 m n.m., a minimalna 01.11.2012. i iznosila je 95,46 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,55 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



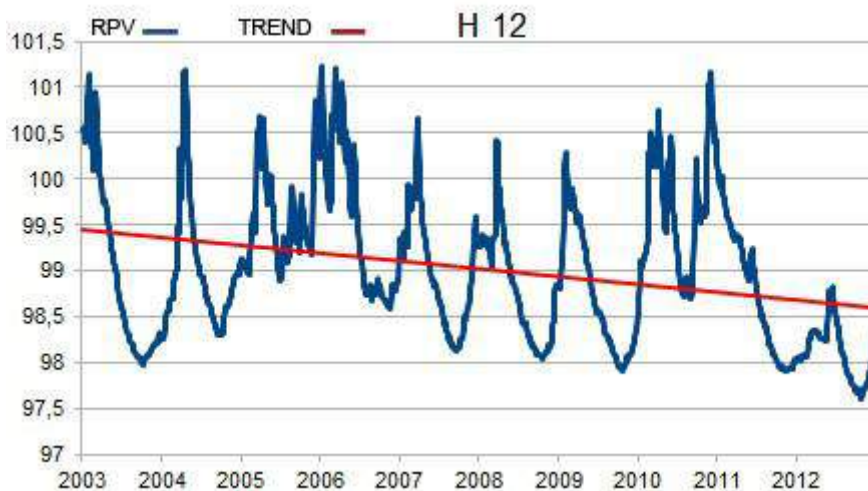
Slika 3.21. Nivogram piezometra H-14 (ZG-4-P-101) za period 2003.-2012.

U piezometru H-13 (ZG-4-P-102), (slika 3.22), (profil D-D') (slika 3.33) u Odranskom polju, južno od završetka odteretnog kanala Sava-Odra maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 19.04.2004. godine i iznosila je 98,91 m n.m., a minimalna 10.09.2012. i iznosila je 94,98 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,93 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



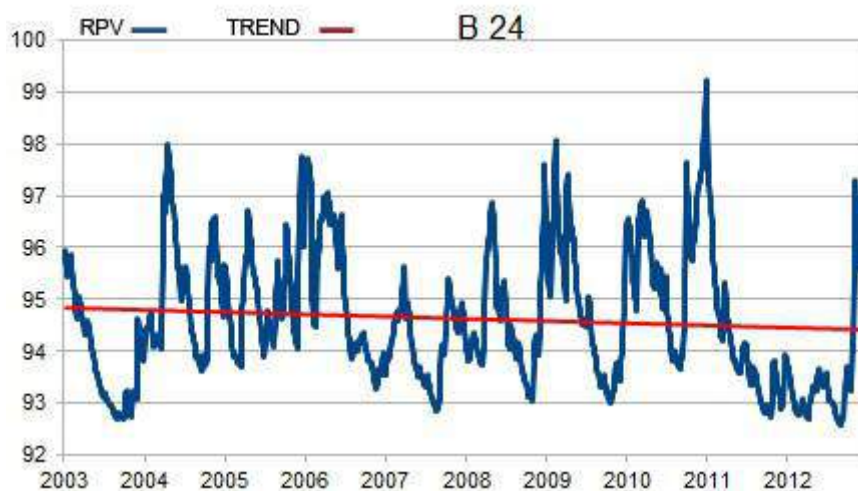
Slika 3.22. Nivogram piezometra H-13 (ZG-4-P-102) za period 2003.-2012.

U piezometru H-12 (ZG-4-P-100), (slika 3.23), (profil D-D') (slika 3.33) sjeverno-sjeveroistočno od Peščenice maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 05.01.2006. godine i iznosila je 101,23 m n.m., a minimalna 29.10.2012. i iznosila je 97,62 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,61 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



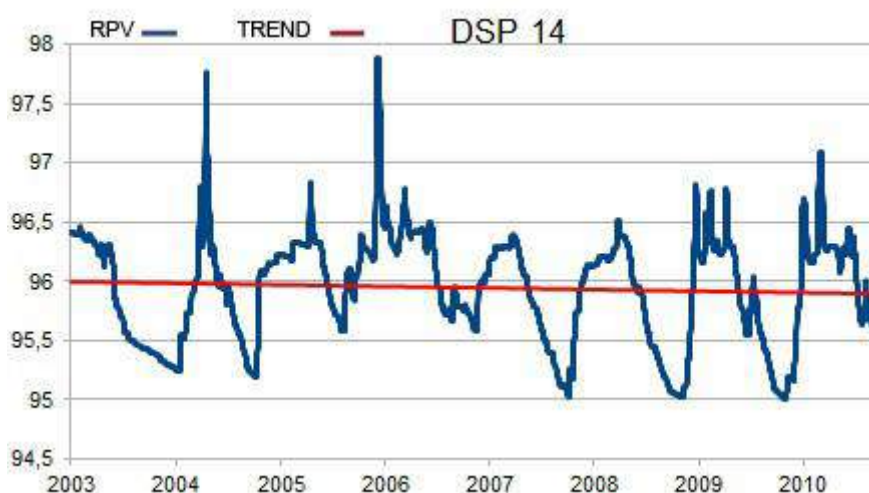
Slika 3.23. Nivogram piezometra H-12 (ZG-4-P-100) za period 2003.-2012.

U piezometru B-24 (SA-2-B-141), (slika 3.24), (profil E-E') (slika 3.34) u području Dubrovčaka Desnog maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 30.12.2010. godine i iznosila je 99,23 m n.m., a minimalna 30.08.2012. i iznosila je 92,59 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 5,64 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.24. Nivogram piezometra B-24 (ČZ-3-P-24) za period 2003.-2012.

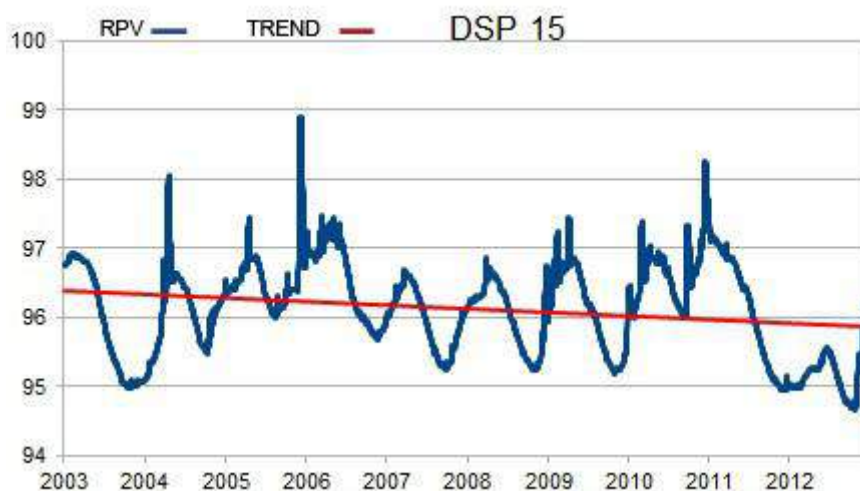
U piezometru DSP-14 (ZG-4-P-114), (slika 3.25), (profil E-E') (slika 3.34) u Odranskom polju, zapadno od Desnog Željeznog maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 07.12.2005. godine i iznosila je 97,88 m n.m., i bila je za više od 0,59 m viša od površine terena („arteška“ voda) a minimalna 28.10.2009. i iznosila je 95,01 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,87 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.25. Nivogram piezometra DSP-14 (ZG-4-P-114) za period 2003.-2012.

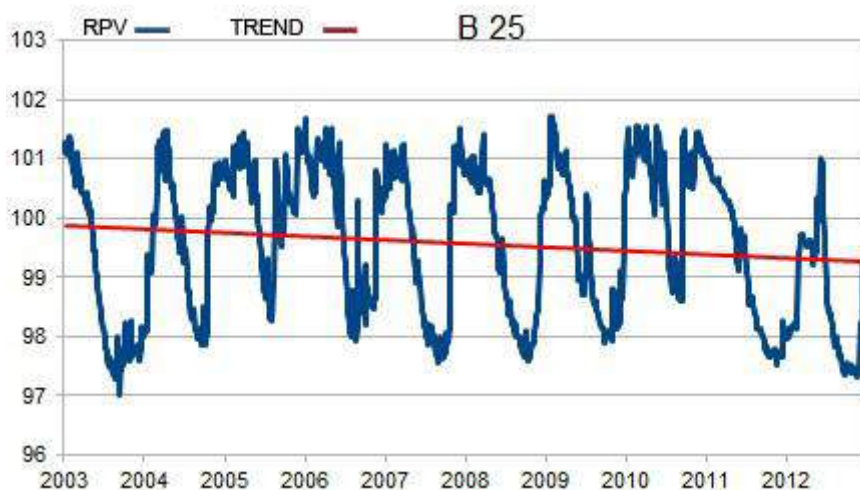
U piezometru PP-15 (ZG-4-P-138), (slika 3.26), (profil E-E'), (slika 3.34) u Odranskom polju, uz Odru i zapadno od Desnog Trebarjeva maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 07.12.2005. godine i iznosila je 98,89 m n.m. i bila je za više od 1,34 m viša od površine terena („arteška“ voda), a minimalna 21.10.2012. i iznosila je 94,66 m n.m.

Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 4,23 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



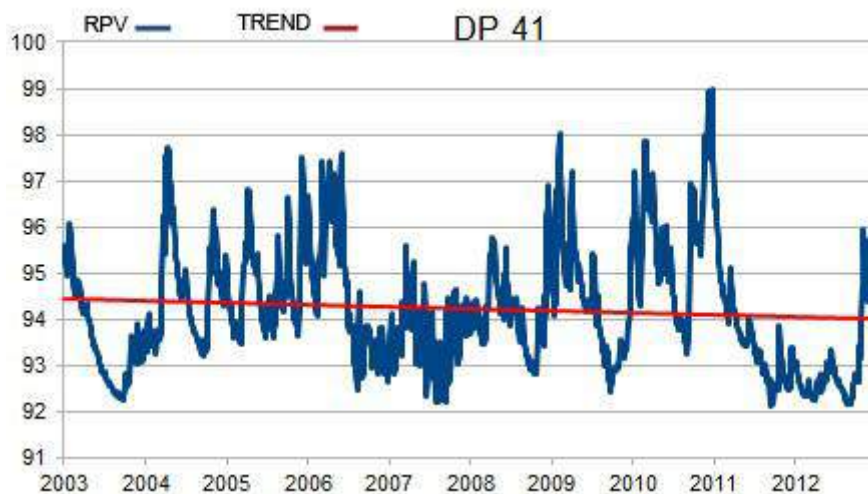
Slika 3.26. Nivogram piezometra DSP-15 (ZG-4-P-138) za period 2003.-2012.

U piezometru B-25 (ZG-4-P-68), (slika 3.27), (profil E-E'), (slika 3.34) kod Dužice, uz cestu Lekenik-Žažina maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 22.01.2009. godine i iznosila je 101,72 m n.m., a minimalna 11.09.2003. i iznosila je 99,03 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,69 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



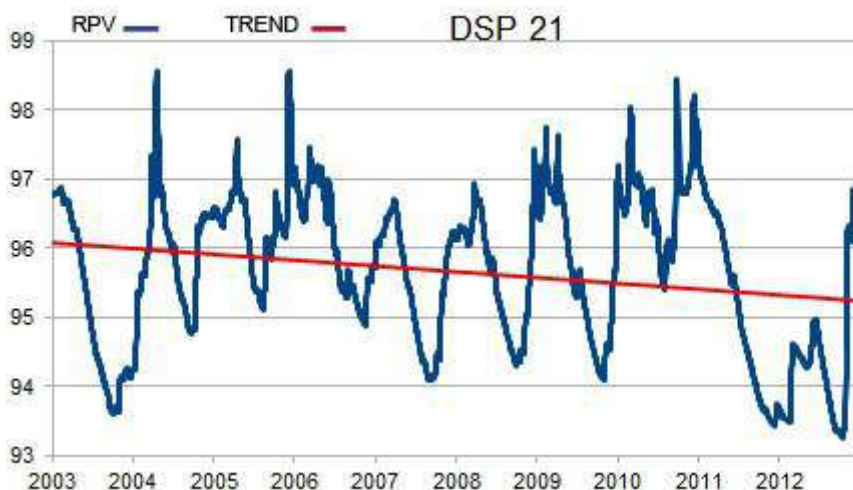
Slika 3.27. Nivogram piezometra B-25 (ZG-4-P-68) za period 2003.-2012.

U piezometru DP-41 (ČZ-3-P-48), (slika 3.28), (profil E-E') (slika 3.34), u Desnoj Martinskoj Vesi maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 27.12.2010. godine i iznosila je 98,97 m n.m., a minimalna 15.09.2011. i iznosila je 92,13 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 6,84 m. Vidljiv je blagi trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.28. Nivogram piezometra DP-41 (ČZ-3-P-48) za period 2003.-2012.

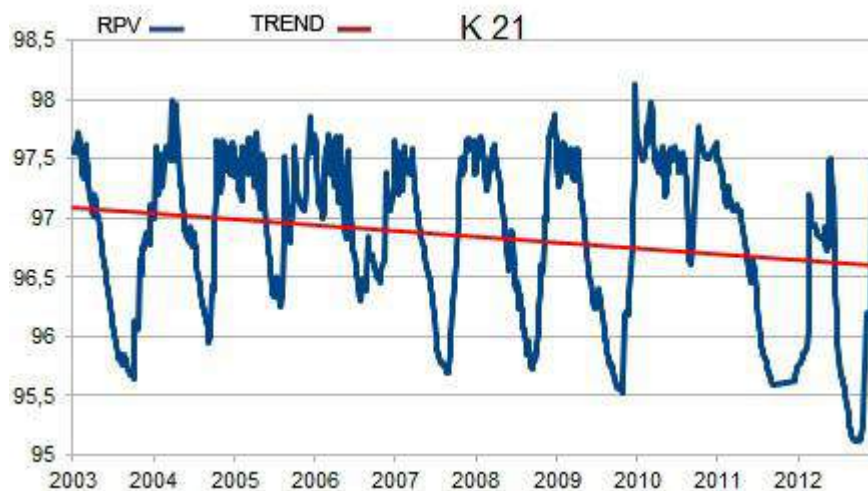
U piezometru DSP-21 (ČZ-3-P-66), (slika 3.29), (profil E-E') (slika 3.34) u Odranskom polju oko 3,75 km južno-jugozapadno od Desne Martinske Vesi maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 07.12.2005. godine i iznosila je 98,56 m n.m. i bila je za više od 1,5 m viša od površine terena („arteška“ voda), a minimalna 17.10.2012. i iznosila je 93,26 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 5,30 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



Slika 3.29. Nivogram piezometra DSP-21 (ČZ-3-L-66) za period 2003.-2012.

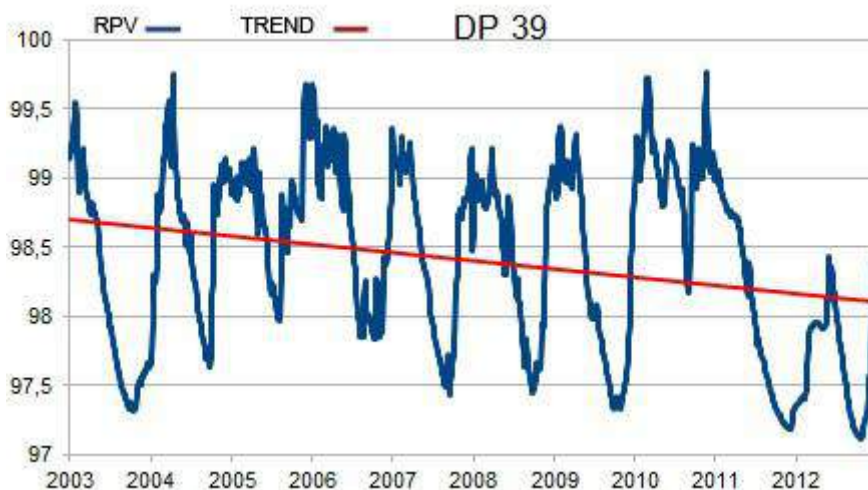
U piezometru K-21 (ZG-4-P-71),(slika 3.30), (profil E-E') (slika 3.34) na željezničkoj postaji sela Greda maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 28.11.2009. godine i iznosila je 98,12 m n.m., a minimalna 24.09.2012. i iznosila je 95,12 m n.m. Dakle, razlika

između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 3,00 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.



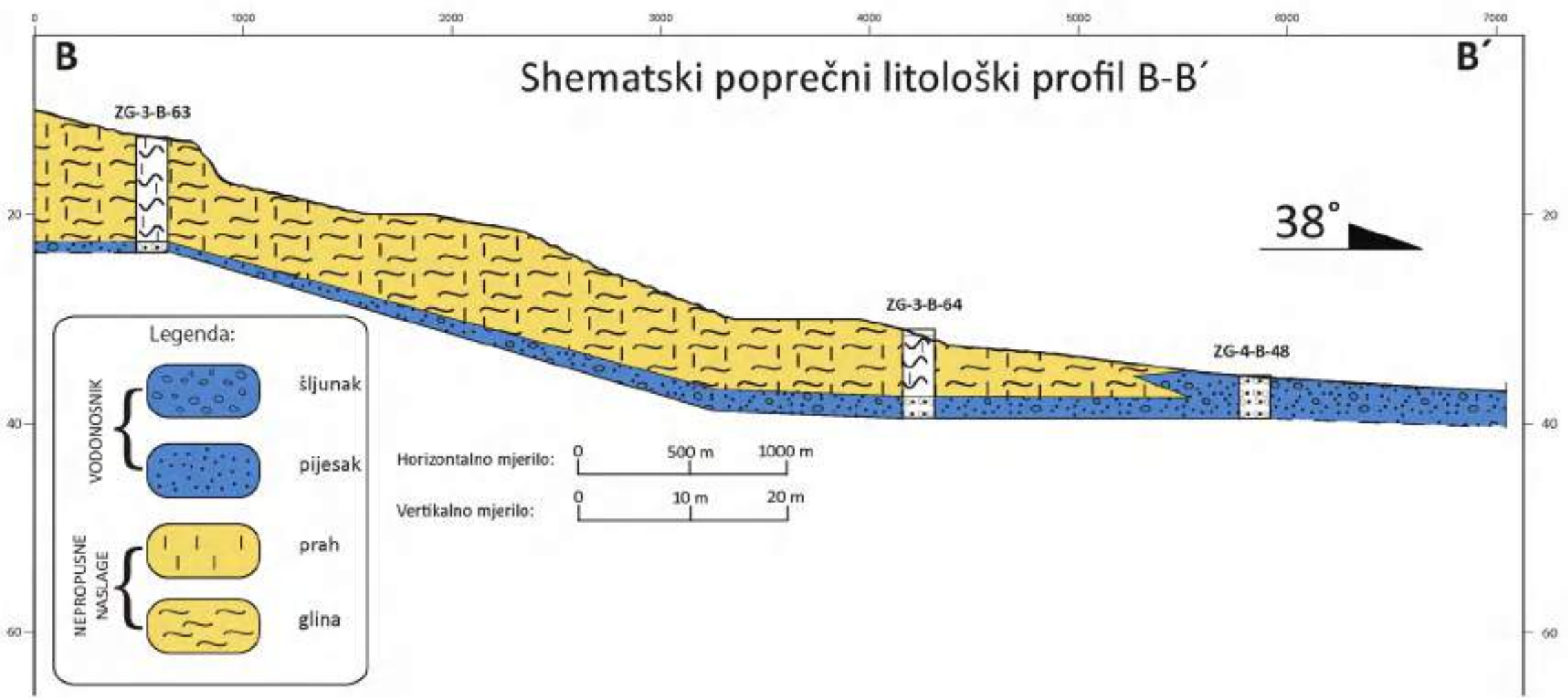
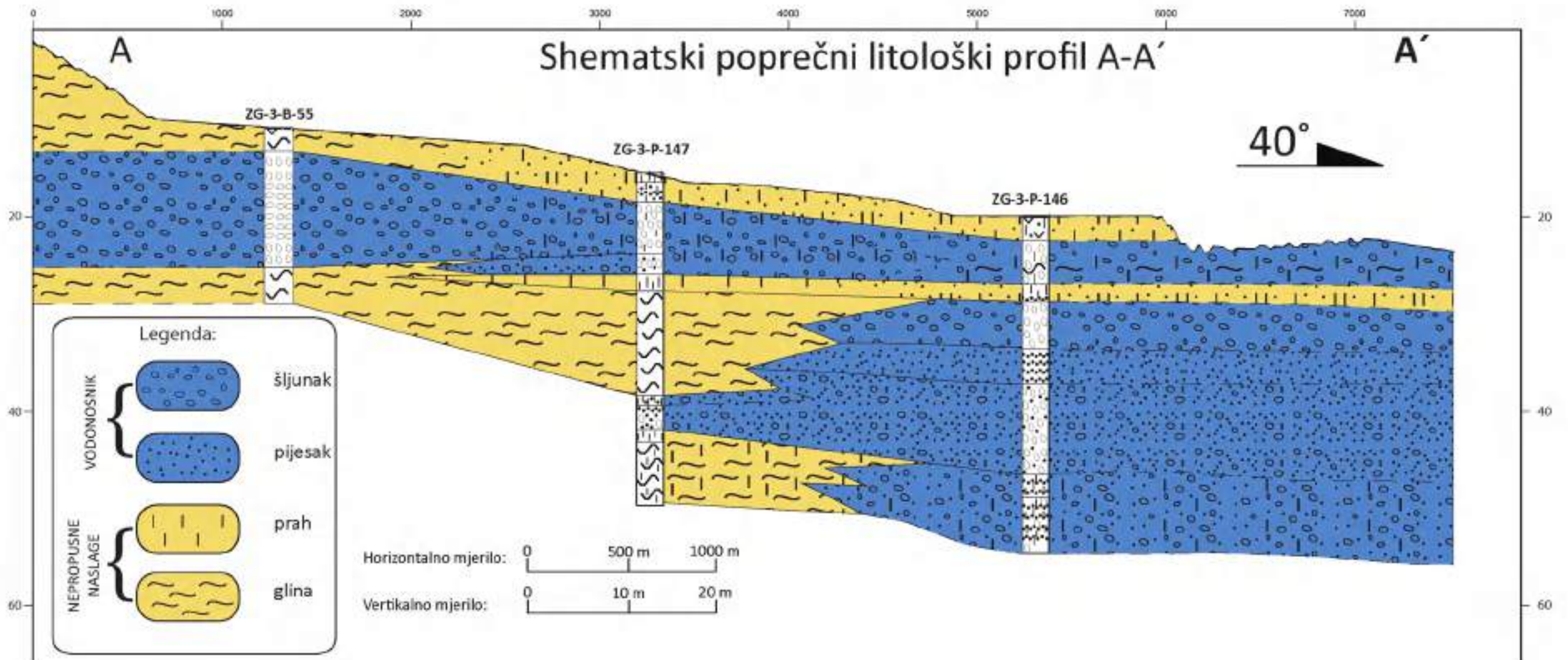
Slika 3.30. Nivogram piezometra K-21 (ZG-4-P-71) za period 2003.-2012.

U piezometru DP-39 (ZG-4-P-161), (slika 3.31), (profil E-E'), (slika 3.34) zapadno od sela Greda maksimalna razina podzemne vode zabilježena je 29.11.2010. godine i iznosila je 99,77 m n.m. i bila je za više od 0,37 m viša od površine terena („arteška“ voda), a minimalna 25.10.2012. i iznosila je 97,12 m n.m. Dakle, razlika između najviše i najniže razine podzemne vode iznosi 2,65 m. Vidljiv je trend snižavanja razina podzemne vode kroz desetgodišnji period od 2003. do 2012. godine.

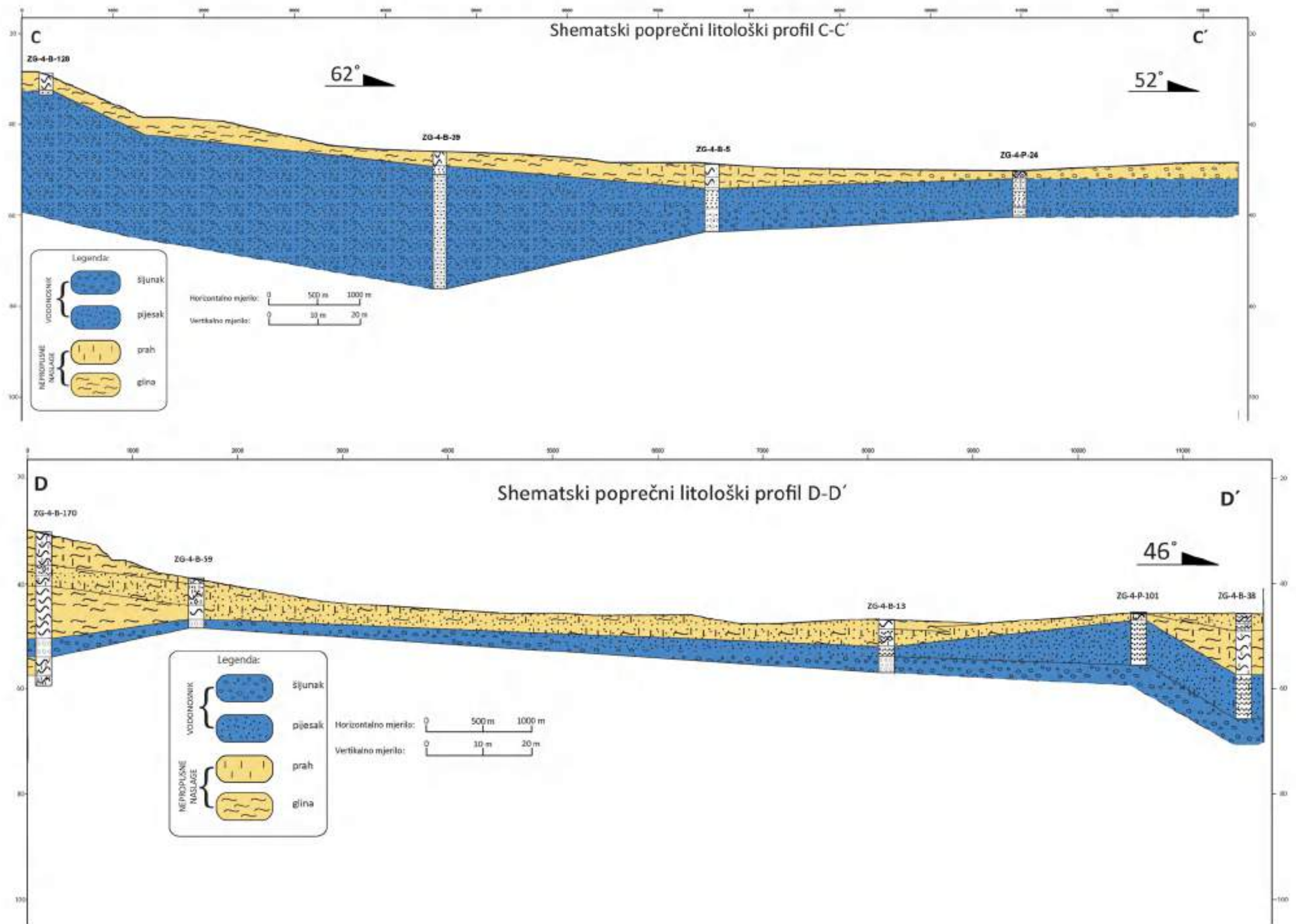


Slika 3.31. Nivogram piezometra DP-39 (ZG-4-P-161) za period 2003.-2012.

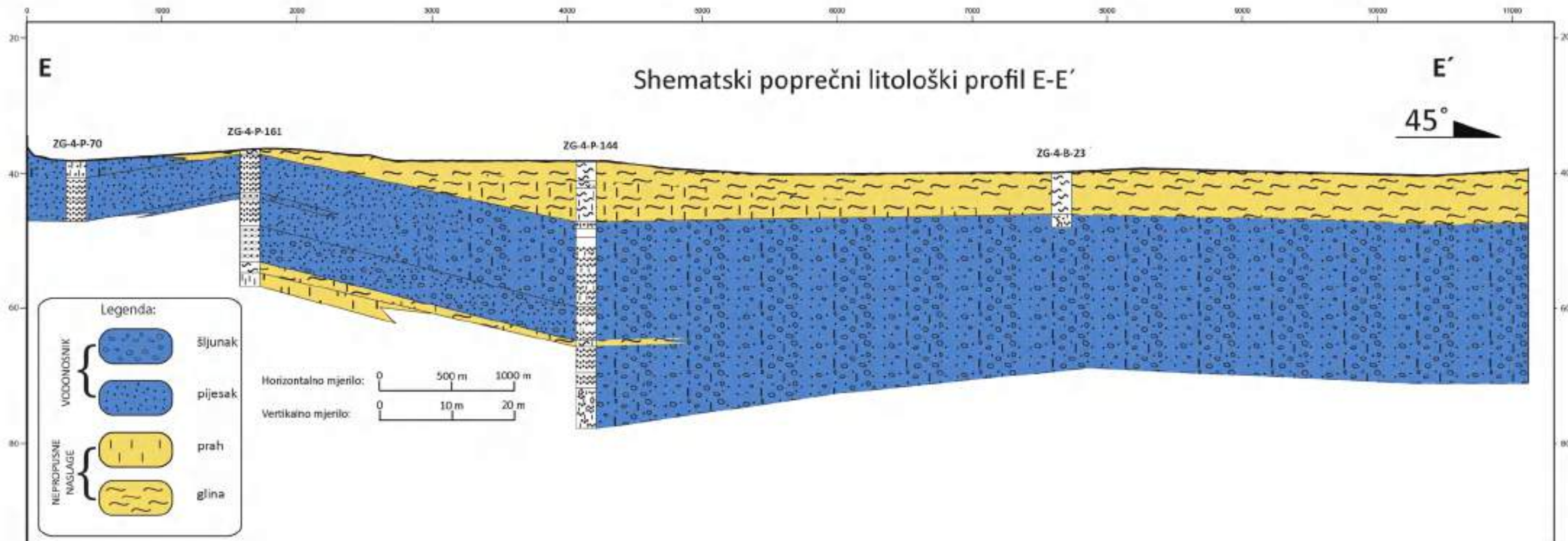
Sumarni pregled najbitnijih podataka o piezometrima i karakteristikama promjena razina podzemne vode dan je u sljedećoj tablici.



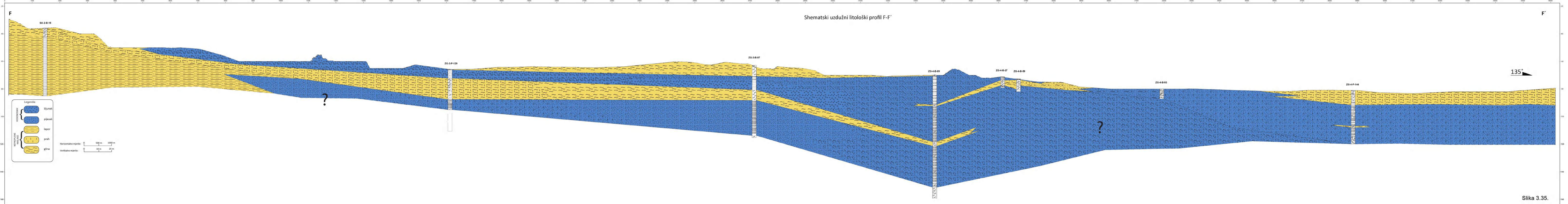
Slika 3.32.



Slika 3.33.



Slika 3.34.



Tablica 4. Podaci o piezometrima i karakteristikama promjena razina podzemne za područje južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac.

Piezometar	Udaljen. od Save (km)	Kota terena (mnm)	Dubina filtra (m)	Datum max.RPV	Datum min. RPV	Dubina do max.RPV (m)	Dubina do min.RPV (m)	Razlika RPVmx.-RPVmin (m)	Trend promjena RPV
DBP-25	uz Savu	101,01	13,83	01.11.2004.	29.09.2003.	0,63	7,96	7,33	↓
B-153	5	100,22	5,14	27.09.2010.	22.09.2003.	0,47	3,44	2,97	↑
H-10	8,12	100,62	6,1	04.10.2010.	27.08.2012.	1,3	3,95	2,65	↓
DSP-6	10,6	103,59	9,51	30.01.2003.	04.10.2012.	3,69	5,39	1,7	↓
H-14	1	100,6	9,13	17.01.2011.	01.11.2012.	1,59	5,14	3,55	↓
H-13	5	99,1	9,94	19.04.2004.	10.09.2012.	0,19	4,12	3,93	↓
H-12	8,12	103,29	9,12	05.01.2006.	29.10.2012.	2,06	5,67	3,61	↓
B-24	uz Savu	100,58	?	30.12.2010.	30.08.2012.	1,35	7,99	6,64	↓
DSP-14	2,5	97,29	15,12	07.12.2005.	28.10.2009.	>+0,59 prelijeva	2,28	2,87	↓
DSP-15	5	97,55	18,67	07.12.2005.	21.10.2012.	>+1,34 prelijeva	2,89	4,23	↓
B-25	10,6	102,43	?	22.01.2009.	11.09.2003.	0,71	5,4	4,69	↓
DP-41	uz Savu	99,4	16,06	27.12.2010.	15.09.2012.	0,43	7,27	6,84	↓
DSP-21	4,5	97,06	17,58	07.12.2005.	17.10.2012.	>+1,7 prelijeva	3,8	5,5	↓
K-21	8,2	97,72	?	28.12.2009.	24.09.2012.	>+0,4	2,6	3	↓
DP-39	9,4	99,4	15,04	29.11.2010.	25.10.2012.	>+0,37 prelijeva	2,28	2,65	↓

Iz gornjih podataka je vidljivo da se minimalne i maksimalne razine podzemne vode javljaju na različite datume što ovisi o lokaciji piezometra, odnosno udaljenosti od Save, ali i o dubini na kojoj je ugrađen filter piezometra, tj. da li je mjerena razina u plićem ili dubljem



dijelu vodonosnog sustava. Vidljivo je da su maksimalne razine podzemne vode karakteristične za zimske mjesece, tj. za kraj studenoga, te prosinac i siječanj bez obzira o kojoj se godini radi. Izuzetak čine piezometar B-153 s maksimalnom razinom podzemne vode registrirane krajem rujna, piezometar H-10 s maksimalnom razinom registriranom početkom listopada i posebno piezometar H-13, koji se nalazi u središnjem dijelu Odranskog polja, u kojem je registrirana maksimalna razina podzemne vode u travnju. Minimalne razine podzemne vode događaju se uglavnom u kolovozu, rujnu i listopadu, a u najvećem broju piezometara registrirane su 2012. godine. Podzemna voda se nalazi, ovisno o lokaciji, pri maksimalnim razinama, na dubini između 0,43 m i 3,69 m. Treba istaknuti da su u četiri piezometra (DSP-14, PP-15, DSP-21 i DP-39) zabilježene maksimalne razine podzemne vode više od kote terena, odnosno jednake tzv. točki „0“, što praktično znači da u tim uvjetima dolazi do prelijevanja vode preko gornjeg ruba piezometarske cijevi a „prava“ razina/tlak nije definirana. Svi ovi piezometri smješteni su u južnom dijelu Odranskog polja, a registriraju razinu/tlak vode na dubini većoj od 15 m. Takvi uvjeti registrirani su u tri piezometra (DSP-14, PP-15, DSP-21) 7. prosinca 2005. godine, a u piezometru DP-39, 29. studenog 2010. godine. Nismo uspjeli saznati da li je u to vrijeme okolni teren bio poplavljen, no za pretpostaviti je da nije jer je obavljeno mjerenje, a to najvjerojatnije ukazuje na to da su piezometri bili uobičajeno dostupni. Za tumačenje ove pojave bili bi potrebni podaci o litološkim značajkama odnosno prostornom rasporedu i debljini naslaga različite propusnosti u zoni svakog od tih piezometara. Takvih detaljnijih podataka nema. Činjenica da se radi o „dubokim“ piezometrima s filtrima ugrađenim na dubinu veću od 15 m mogla bi upućivati na postojanje dubljeg, povremeno „arteškog“ vodonosnika, no kako nivogrami jasno pokazuju sezonske oscilacije razina podzemne vode vrlo slične nivogramima „plitkih“ piezometara, pa i vodostajima Save, očito se radi o vodonosniku/dijelu vodonosnika u dobroj hidrauličkoj vezi s cijelim vodonosnim sustavom. Pojava vode pod tlakom najvjerojatnije je posljedica hipsometrijskih odnosa (niža razina površine terena od ekstremno visokih vodostaja Save) i debljine i hidrogeoloških značajki krovinskog pokrivača u ovom dijelu Odranskog polja.

Naime, s obzirom da se debeli površinski pokrivač, debljine preko 10 m, kontinuirano prostire nad relativno velikim dijelom vodonosnika južno od crte Peščenica-Veleševac, između željezničke pruge Velika Gorica-Sisak i Save i sjeverno od crte Greda-Desna Martinska Ves, može se reći da je na tom području vodonosnik je saturiran podzemnom vodom pod tlakom, a slabopropusni pokrivač podzemnom vodom sa slobodnim vodnim licem. Takva situacija čini dinamiku podzemne vode vrlo zamršenom. Naime, slabopropusni krovinski pokrivač napaja se infiltracijom oborinskih voda i infiltracijom iz Save na potezu



između Desnog Dubrovčaka i Desne Martinske Vesi, a vodonosnik procjeđivanjem iz površinskog pokrivača, infiltracijom oborinskih voda na područjima s tankim površinskim pokrivačem u zapadnom rubnom dijelu, te podzemnim dotokom iz sjevernog dijela vodonosnika. Intenzitet hidrauličke veze između pokrovnih naslaga i vodonosnika ovisi prvenstveno o propusnosti, odnosno granulometrijskom sastavu i debljini najslabije propusnog sloja/proslojka unutar paketa pokrovnih naslaga.

Većina nivograma pokazuje da je na velikom dijelu južnog dijela vodonosnika, utjecaj promjena vodostaja Save na dinamiku podzemne vode jak neposredno uz Savu, što pokazuju velike razlike između minimalnih i maksimalnih razina podzemne vode (DBP-25: 7,33m, B-24:6,64 m i DP-41: 6,84 m). Taj utjecaj je znatno zatumljen udaljavanjem od Save, gdje su razlike između najviših i najnižih razina podzemne vode značajno manje i ujednačenije bez obzira na udaljenost od rijeke. Tako, primjerice, u piezometru H-14, koji je udaljen od Save oko 1 km, razlika između minimalne i maksimalne razine podzemne vode iznosi 3,55 m, u piezometru H-13, koji je udaljen od Save oko 5 km, ta razlika je 3,93 m, a u piezometru H-12, koji je udaljen od Save više od 8 km, razlika između minimalne i maksimalne razine podzemne vode iznosi 3,61m. Uzrok tome je debljina slabopropusnog površinskog pokrivača koji je na tom dijelu terena debeo između 15 i 20 m, pa u piezometrima koji su nešto udaljeniji od rijeke veliki vodni val, koji obično traje kratko, rezultira relativno malim porastom razine podzemne vode, jer se vodonosnik puni posredno procjeđivanjem kroz slabopropusni pokrivač u koji je urezano savsko korito.

Desetgodišnji niz podataka pokazuje da na cijelom području postoji blagi trend opadanja razine podzemne vode. Iznimka je piezometar B-153 čiji podaci pokazuju blagi trend porasta razina podzemne vode tijekom perioda 2003.-2012. godina. No, pitanje je koliko su podaci iz tog piezometra vjerodostojni. Naime, iz nivograma se vidi da su u periodu između 2005. i 2010. godine oscilacije razina podzemne vode bile vrlo „prigušene“ (amplitude su bile manje od 1 m), što ukazuje na „začepljenost“ filtra piezometra, ili, kako se zapravo radi o kopanom zdencu, o nekom drugom „tehničkom“ problemu.

No, bez obzira na to, činjenica da je na najvećem dijelu područja kroz zadnje desetljeće prisutan trend smanjivanja razina podzemne vode, ukazuje na promjenu hidrogeoloških/hidroloških uvjeta. Naime u već spomenutom magistarskom radu „*Mogućnost eksploatacije podzemne vode iz aluvijalnog vodonosnika između Zagreba i Siska*“ (LARVA, 2002.) navedeno je da je analiza kolebanja razina podzemne vode u pet piezometara lociranih na različitim udaljenostima od Save, južno od crte Peščenica Veleševac za period



1990-1998. godina pokazala trend porasta razine podzemne vode. To podaci iz perioda 2003.-2012. godina nikako ne pokazuju.

4. ZALIHE PODZEMNE VODE

Zalihe podzemne vode južnog dijela zagrebačkog vodonosnika treba, s obzirom na mehanizam napajanja vodonosnika, dinamiku, kretanje podzemne vode i aktualnu eksploataciju, analizirati u dva odvojena segmenta.

Prvi segment je dio zagrebačkog vodonosnog sustava između južne površinske razvodnice koja ide bilom Vukomeričkih gorica od vrha Veliki Znoš na sjeverozapadu do Gustelnice i crte Gustelnica-Mraclin na jugoistoku. Sjeverna granica ide kanalom Sava-Odra (foto 3) od Mraclina do Obreža, a zatim cestom Obrež-Hrvatski Leskovac-Gornji Stupnik-Stupnički Obrež-Kerestinec-Jankomirski most.



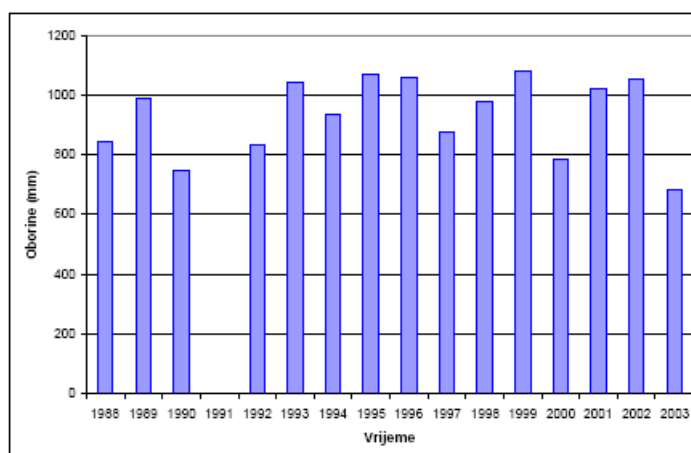
Foto 3. Uređeni vodotok Lomnice koja je paralelna s odteretnim kanalom Sava-Odra.

Južna granica je razvodnica, dakle prirodna, a sjeverna granica je granica s „glavnim“ dijelom zagrebačkog vodonosnika iz kojeg se crpi podzemna voda za potrebe Zagreba, Velike Gorice i ostalih naselja na crpilištima *Mala Mlaka*, *Velika Gorica* i *Zaprude*. Predviđa se i crpljenje vode za potrebe *Regionalnog vodoopskrbnog sustava Zagrebačke županije–Zagreb istok* na crpilišnom kompleksu *Črnkovec* od kojeg je za sada je izvedeno vodocrpilište „Kosnica-I. faza“ kapaciteta 900 l/s, a u budućnosti se predviđa i izgradnja crpilišta „Kosnica-Mičevac“, „Kosnica istok“ i „Črnkovec“. Stoga je cijelo područje „glavnog“ dijela vodonosnika hidrogeološki izuzetno dobro istraženo i nije predmet ovih istraživanja, ali se ona s njim povezuju.

Drugi segment je područje južno od crte Gustelnica-Mraclin-Veleševac i istočno od bila Vukomeričkih gorica na potezu Gustelnica-Letovanički vrh, sjeverno od Kupe i zapadno od Save. To je hidrogeološki relativno slabo istraženo područje i na njemu nema značajnijih crpilišta javne vodoopskrbe.

4.1. Južni dio vodonosnog sustava između Kerestinca i Mraclina

Južni dio vodonosnog sustava, između Kerestinca na sjeverozapada i Mraclina na jugoistoku, prostire se na površini od oko 200 km². Ako se pretpostavi da prosječna godišnja količina oborina odgovara onoj na meteorološkoj postaji Pleso (slika 4.1), a koja iznosi oko 933 mm/god, znači da na to područje godišnje padne oko 180 milijuna m³ oborina.



Slika 4.1. Godišnje sume oborina na meteorološkoj stanici Pleso u intervalu 1988-2003. god. (BAČANI I POSAVEC, 2009).

Dio oborinskih voda izgubi se evapotranspiracijom, dio tijekom i neposredno nakon kiša ili topljenja snijega bujično i dispergirano površinski otječe u površinske recipijente, a dio se infiltrira u podzemlje, odnosno vodonosnik.

Evatranspiracija je vrlo složeni prirodni proces koji ovisi o mnogim prirodnim parametrima. U „Elaboratu zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba–I. faza“ (BAČANI et al., 2007) dati su podaci o mjesečnom i godišnjem isparavanju za lokacije Pleso i Lekenik izračunati pomoću empirijskog izraza po Meyeru kojim se izračunava količina isparavanja na temelju podataka o relativno vlažnosti zraka brzini vjetra i naponu vodene pare (Tablica 5.).

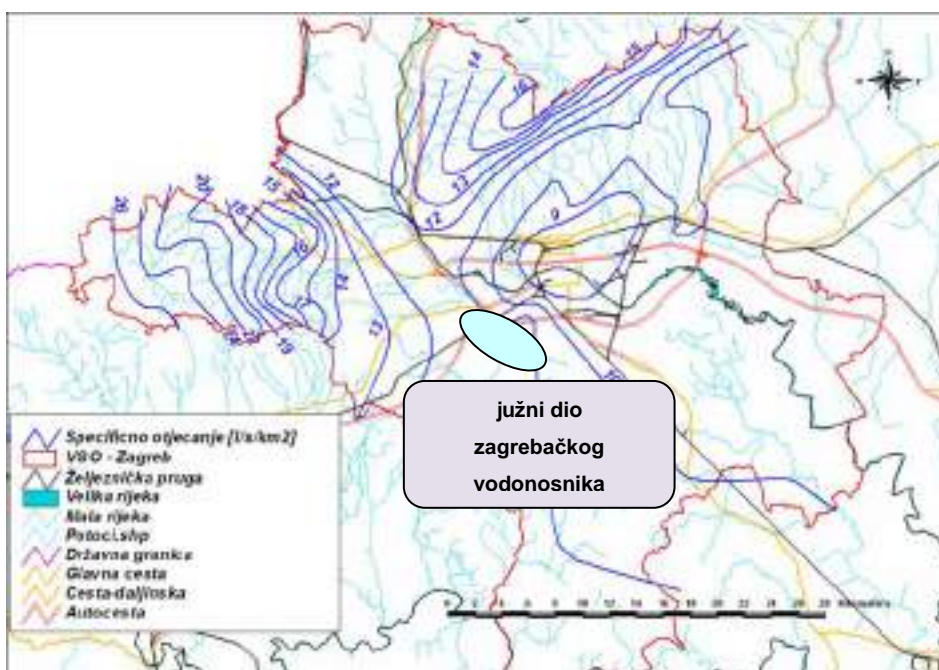
Tablica 5. Mjesečne i godišnje vrijednosti isparavanja u mm za područje Plesa i Lekenika (BAČANI i dr., 2007.)

Stanica	mjeseci												godina
	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac	
PLESO	12	21	42	69	85	101	109	85	58	35	20	12	649
LEKENIK	12	17	28	49	64	74	83	61	40	24	20	13	485

Drugi autori (TOMIĆ et al., 2000) iznose podatke o stvarnoj evapotranspiraciji koja za ovo područje, koja prema njima, iznosi između 652 i 675 mm/god.

Ako se za promatrano područje usvoji srednja vrijednost evapotranspiracije od 663 mm/god. i srednja količina oborina od 933 mm/god. izlazi da se evaporacijom gubi oko 71% godišnje količine oborina, odnosno da za cijelo promatrano područje to iznosi oko 128 milijuna m³.

Površinsko otjecanje može se procijeniti na temelju karte izolinija koeficijenta otjecanja za područje sjeverozapadne Hrvatske (slika 4.2) i iznosi oko 11 % godišnje količine oborina.



Slika 4.2. Karta izolinija koeficijenta otjecanja za područje sjeverozapadne Hrvatske (BAČANI et al., 2007.)

Do slične vrijednosti koeficijenta otjecanja može se doći i na drugi način. Naime, srednji protok Lomnice kod Obreža 2000. godine iznosio je nešto više od 0,8 m³/s, što znači da je te godine njome proteklo oko 25 300 000 m³ vode ili 80,5 % od ukupne količine oborina palih te

godine na sliv Lomnice čija površina iznosi 39,3 km². Naravno, postotak površinskog otjecanja je puno manji za cijeli prvi segment južnog dijela vodonosnika, jer na njemu praktično nema površinskih vodotokova i može se procijeniti iz razlike ukupne količine oborina i zbroja vrijednosti efektivne infiltracije i evapotranspiracije. Ako se tome doda vrijednost efektivne infiltracije u podzemlje od 11,6 % i to se oduzme od ukupne količine oborina dobije se koeficijent otjecanja sa sliva (postotak otjecanja u odnosu na bruto količinu oborine koja padne na neko slivno područje) od oko 11 %, što odgovara vrijednosti prikazanoj na karti izolinija koeficijenta otjecanja izrađenoj za potrebe vodoprivredne osnove (s).

Dio oborinskih voda koje se infiltriraju u podzemlje podzemno otječe prema istoku, i napaja „glavni“ zagrebački vodonosnik. Pri tome, na morfološki i litološki predisponiranim lokacijama, manji dio izvire na stalnim ili povremenim izvorima i formira površinske vodotoke koji teku po relativno nepropusnom površinskom pokrivaču.

Tako na krajnjem sjeverozapadnom dijelu Vukomeričkih gorica, kod sela Ašpergeri izvire *Lomnica*—glavni recipijent svih potoka ovog područja i glavna desna pritoka Odre (foto 4, foto 5)



Foto 4. Rječica Lomnica u blizini izvorišta u Rakovom Potoku.



Foto 5. Rijeka Lomnica na ulazu u selo Grančari.

Idući jugoistočno slijede dva izvora istočno od Starjaka, od kojih nastaje potok Kukuljnjak (foto 6, foto 7).



Foto 6. Most na Lomnici. Ušće potoka Kukuljnjak u Lomnicu na ulazu u selo Grančani. Lokalna kanalizacija završava u vodotoku.



Foto 7. Uređeno korito Kukuljnjaka u Grančanima. Lokalna kanalizacijska mreža završava u vodotoku.

U zoni Lipnice, Havdić sela i Bukovčaka postoji više manjih izvora (foto 8) od kojih nastaje potok Lipnica.



Foto 8. Pandački izvor na kontaktu padina Vukomeričkih gorica i aluvijalne ravnice. Procjenjena izdašnost 0,5 dl/s (26.03.2014).

Više izvora nalazi se između Gornjih i Donjih Trpuca i južno i sjeverno od Donjeg Dragonošca, a od izvora iz područja oko Bukovčaka nastaje potok Sopotnjak (foto 9, foto 10). Više izvora nalazi se i u zaleđu Turopoljskog Markuševca i južno od Gudca.



Foto 9. Potok Sopotnjak. Vodotok je reguliran kamenim zidom.



Foto 10. Potok Sopotnjak. Zbog stalne neotektonske aktivnosti (izdizanje) vodotok se usijeca.

Osim izvora koji se uglavnom nalaze na padinama ili u neposrednom podnožju Vukomeričkih gorica i u ravničarskom dijelu terena postoje „izdanci“ podzemne vode u obliku „oka“ ili bara. Jedno takvo „oko“ nalazi se kod Desprima, a tri južno od Donjeg Lukavca.

Nema podataka o izdašnosti navedenih izvora. Na temelju jednokratne procjene tijekom pregleda terena u travnju 2014. godine može se reći da se one kreću od nekoliko decilitara do nekoliko litara u sekundi. Na temelju starijih topografskih karata i prema ocjenama lokalnih žitelja izvori su prije nekoliko desetljeća bili znatno jači. Isto vrijedi i za „oka“ ili bare koje su na topografskim kartama označene kao stalne vodene površine, a danas su zamočvareni, blatni dijelovi terena obrasli gustom vegetacijom.

Glavni recipijent je potok/rječica *Lomnica*. Površina sliva joj uzvodno od vodomjerne postaje Obrež iznosi 39,3 km². Najprije teče prema sjeveru, a zatim skreće prema istoku i kod Grančara prima potok *Kukaljnjak* koji sakuplja oborinske vode s područja Starjaka (foto 6, foto 7). Dalje teče prema sjeveroistoku do Zadvorskog, a onda prema istoku-sjeveroistoku paralelno s odteretnim kanalom Sava-Odra (foto 3) i prije Lokaveca prima potok *Lipnicu* koji prikuplja vode središnjeg dijela sjevernih padina Vukomeričkih gorica. Poslije Turopoljske Petrovine u *Lomnicu* se ulijeva potok *Rameščak* (čine ga potoci *Paščenjak* i *Koren*) (foto 11, foto 12), a *Lomnica* teče dalje prema jugoistoku-istoku.

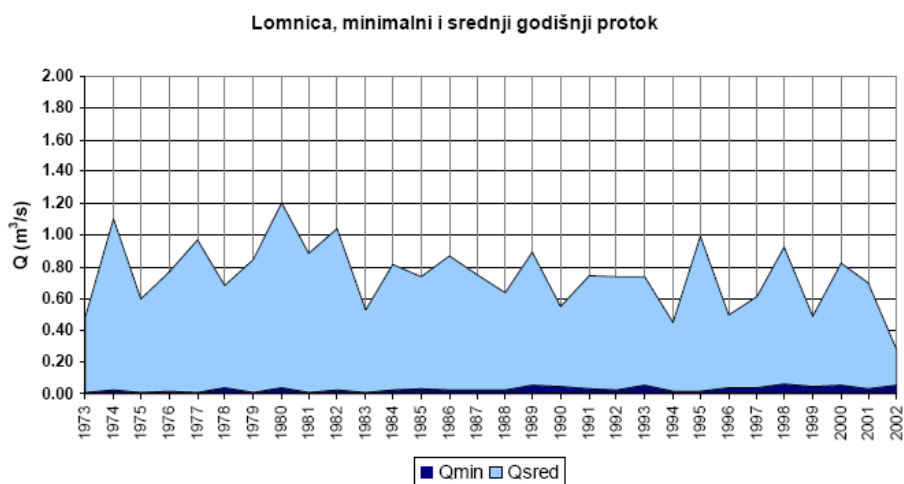


Foto 11. Ušće potoka Rameščaka u Lomnicu kod sela Kušanac.



Foto 12. Ušće potoka Rameščaka u Lomnicu. Obala potoka uređena betonom.

Nekada, prije melioracijskih zahvata, rijeka Lomnica se smatrala izvorištem Odre, no melioracijski i protupoplavni zahvati značajno su izmijenili tok rijeke *Lomnice*, te se ona sada ulijeva u odterentni kanal Sava-Odra kod sela Mraclin. Kanal Sava-Odra konačno utječe u rijeku Odru u blizini sela Veleševac (foto 13). Srednji godišnji protoci Lomnice iznose između 0,35 i 1,2 m³/s (slika 4.3)



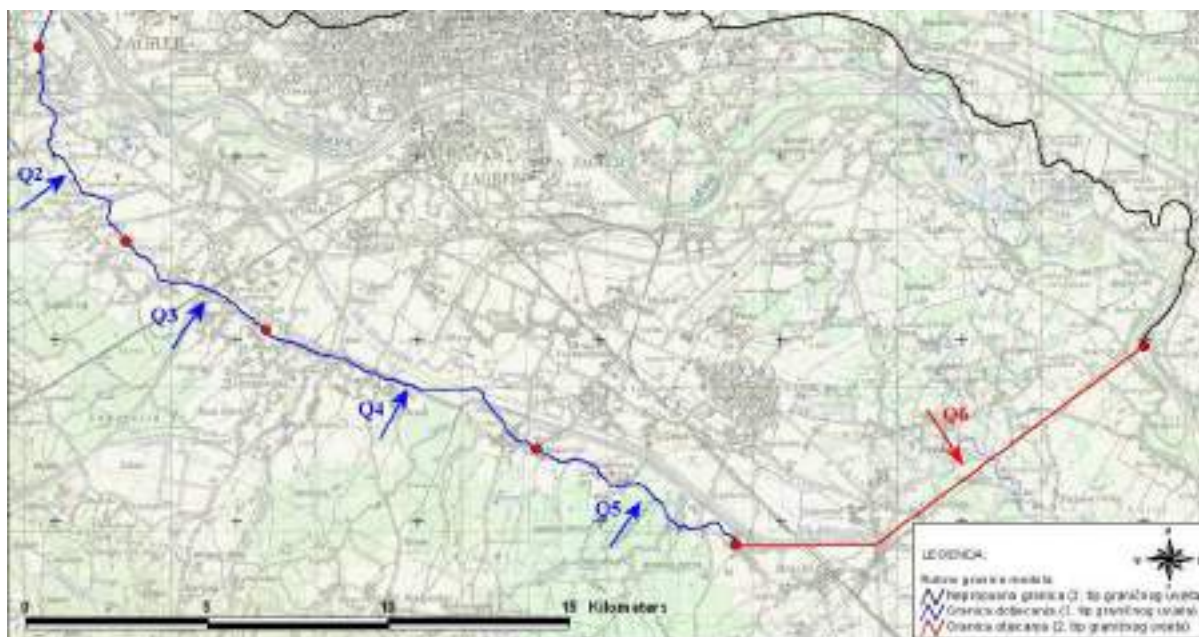
Slika 4.3. Minimalni i srednji godišnji protoci Lomnice na vodomjernoj postaji Obrež (ROMIĆ et al. 2008).



Foto 13. Rijeka Odra u blizini sela Selca.

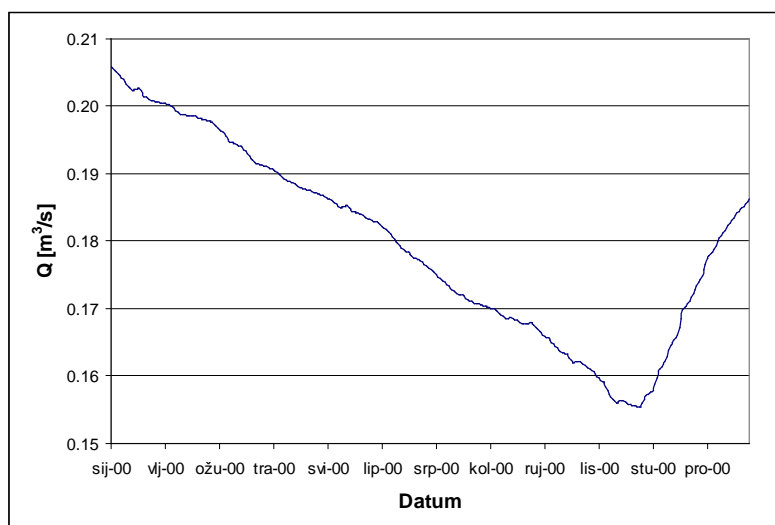
Količina podzemne vode koja iz južnog dijela vodonosnog sustava na potezu između Kerestince i Mraclina podzemno dotječe u „glavni“ dio vodonosnika procijenjena je na temelju podataka iz „*Elaborata zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba–I. faza.*“ (BAČANI et al.,2007). U tom radu simuliran je tok podzemne vode u „glavnom“ dijelu zagrebačkog vodonosnika pomoću računalnog programa MODFLOW. Tijekom kalibracije modela prilagođavano je dotjecanje po zapadnoj i južnoj granici, te otjecanje po istočnoj granici modela (slika 4.4). Također je prilagođavana i prostorna raspodjela parametara te vrijednosti parametara vodonosne sredine. Nakon svake simulacije, na osnovu statističkih obrada rezultata simulacija, mijenjan je samo jedan ulazni parametar. Prije postizanja zadovoljavajućeg stupnja poklapanja izlaznih varijabli modela s mjerenim vrijednostima načinjeno je više desetaka simulacija. Proračun dotjecanja/otjecanja napravljen je za 2000. godinu korištenjem Darcyevog zakona. Hidraulička vodljivost procijenjena je na osnovi podataka iz EGPV baze, površina dotjecanja/otjecanja utvrđena je na osnovu podataka o geometriji vodonosnog sustava i razina podzemnih voda u piezometrima, a hidraulički gradijent je procijenjen uz pomoć dva piezometra koja su birana tako da smjer njihovog pružanja bude manje više u smjeru toka podzemne vode, pri čemu je jedan od piezometara trebao biti smješten u blizini granice dotjecanja/otjecanja. Hidraulički gradijent je u proračunu bio varijabla. Površina dotjecanja/otjecanja određivana je uz pomoć GIS alata pri čemu su

širina i elevacija baze površine granice dotjecanja/otjecanja bile konstante dok je elevacija vrha površine protjecanja bila varijabla i ovisila je o mjerenjima razine podzemne vode u piezometru bližem granici. Ova metoda je omogućila procjenu dotjecanja/otjecanja po rubnim granicama modela u vremenu. Proračun je napravljen uz pomoć programa Microsoft Excel.

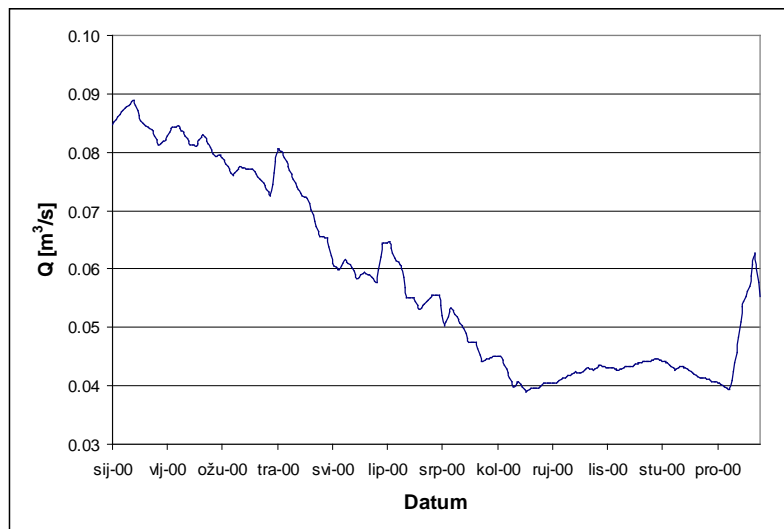


Slika 4.4. Dotjecanje i otjecanje po južnoj granici „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika (BAČANI et al., 2007.).

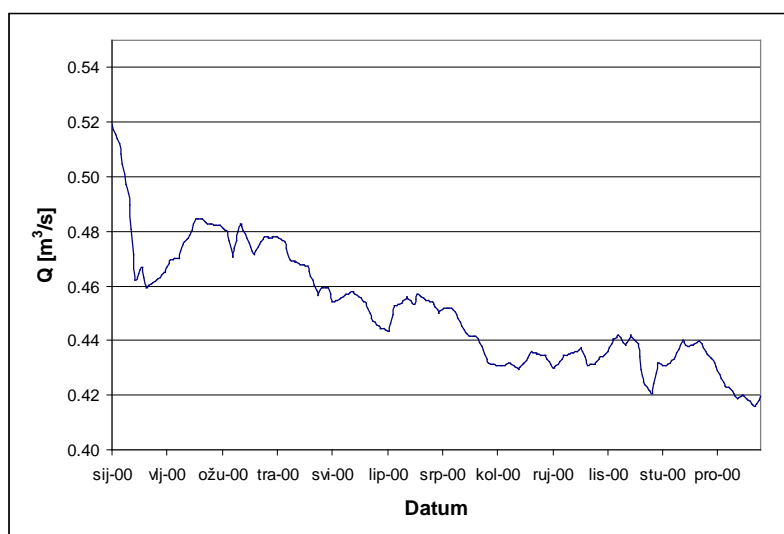
Rezultati su prikazani grafički (slike 4.5. do 4.8.).



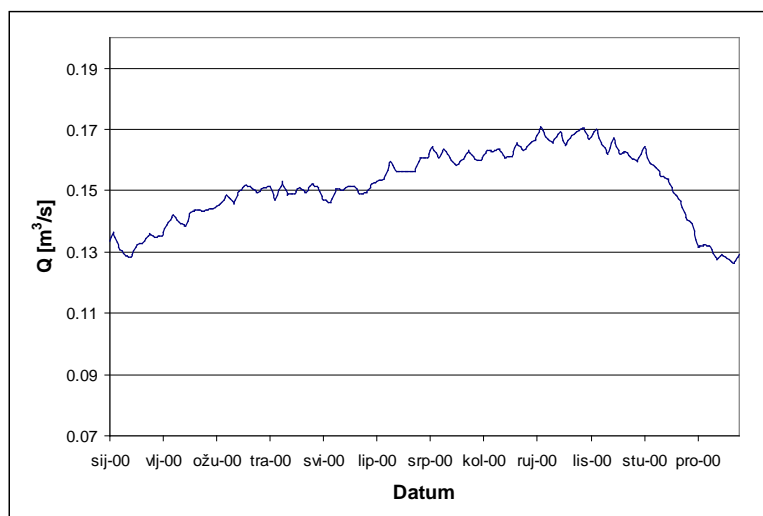
Slika 4.5. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz sektora Rakitje-Stupnik (Q2) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.).



Slika 4.6. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz sektora Stupnik-Desprim (Q3) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.).



Slika 4.7. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz Q4 iz sektora Desprim- Lukavec (Q4) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.).



Slika 4.8. Podzemni dotoci u „glavni“ dio vodonosnika iz sektora Lukavec-Okuje (Q5) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.)

Iz gornjih dijagrama mogu se očitati srednji mjesečni i izračunati srednji godišnji dotoci po sektorima u m^3/s (Tablica 6).

Tablica 6. Srednji mjesečni i srednji godišnji dotoci po sektorima za 2000. godinu.

Dotok m^3/s	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac	2000 godina
Q1	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
Q2	0,085	0,081	0,077	0,072	0,059	0,054	0,047	0,040	0,042	0,043	0,043	0,060	0,058
Q3	0,480	0,485	0,472	0,465	0,455	0,458	0,440	0,435	0,438	0,440	0,440	0,442	0,454
Q4	0,130	0,140	0,150	0,150	0,151	0,158	0,160	0,163	0,169	0,167	0,150	0,128	0,139

Prema tim podacima je s područja južno od „glavnog“ dijela vodonosnika, u 2000. godini, u glavni dio vodonosnika na sektoru između Rakitja i Stupnika podzemno doteklo $5.676\ 480\ m^3$ vode, na sektoru između Stupnika i Desprima $1.829\ 088\ m^3$, na sektoru Desprim-Lukavec $14.317\ 344\ m^3$ i na sektoru između Lukavca i Okuja $4.383\ 504\ m^3$ podzemne vode. To znači da je s cijelog prvog segmenta južnog dijela vodonosnika godišnji podzemni dotok 2000. godine iznosio $26.206.416\ m^3$. To je količina koja se je na tom području, čija površina iznosu oko $200\ km^2$, tijekom godine infiltrirala u podzemlje. Ako se prihvati da je te godine na predmetno područje, prema podacima za meteorološku postaju Pleso (slika 4.1) palo oko $800\ mm$ oborina po $1\ m^2$ površine ($0,8\ m^3/m^2$), znači da efektivna infiltracija iznosi $11,6\ \%$. To je vrijednost koja je vrlo blizu vrijednostima efektivne infiltracije



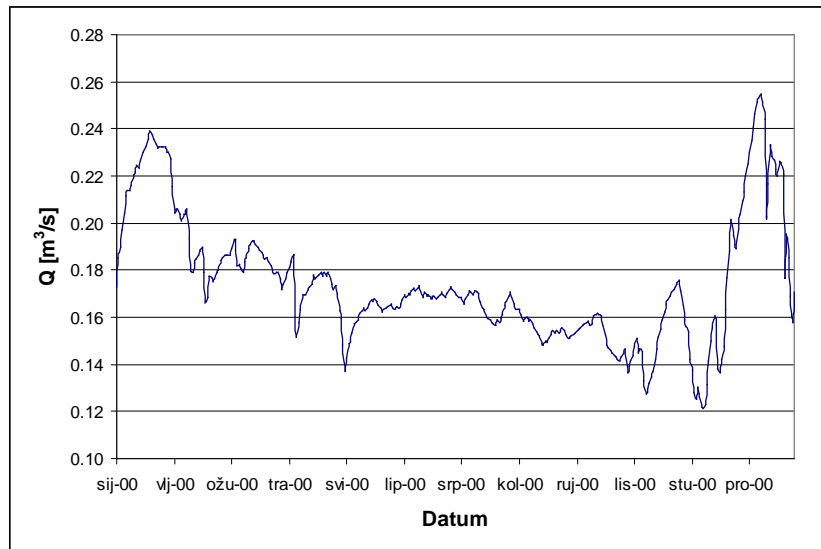
za ovo područje koje su dobivene drugim metodama i u svim dosadašnjim studijama i elaboratima kreću se između 10 i 12 %.

Dakle, s priličnom točnošću se može procijeniti da s cijelog prvog segmenta južnog dijela vodonosnika godišnji podzemni dotok u „glavni“ dio vodonosnika iznosi oko 26×10^6 m³/god. Kako je proračunato da je ukupno godišnje napajanje „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika za područje Podsused-Turopolje (desna obala Save km 682+300–715+000) oko 114×10^6 m³/god (BAČANI et al., 2007), to znači da južni dio vodonosnog sustava u tome sudjeluje s oko 23 %.

4.2. Južni dio vodonosnog sustava južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac

Južni dio vodonosnog sustava južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac napaja se podzemnim dotokom iz „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika koji se nalazi sjeverno od crte Mraclin-Veleševac, podzemnim dotokom sa zapada iz područja Vukomeričkih gorica, infiltracijom oborinskih voda i infiltracijom iz korita Save.

Prema „Elaboratu zaštitnih zona vodocrpilišta Grada Zagreba–I. faza“ (BAČANI et al., 2007.) iz „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika kroz jugoistočnu granicu područja za koji je rađena simulacija (matematički model), a koja se proteže crtom Okuje-Mraclin-Bukevje (Oborovački Novaki) (slika 4.4), postoji stalno otjecanje u južni-jugoistočni dio vodonosnog sustava (slika 4.9).



Slika 4.9. Dotjecanje iz „glavnog“ dijela zagrebačkog vodonosnika u dio vodonosnog sustava južno-jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac (Q6) za 2000. godinu (BAČANI et al., 2007.)

Iz gornjeg dijagrama mogu se očitati srednji mjesečni i izračunati srednji godišnji dotoci iz sjevernog u južni dio vodonosnog sustava u m³/s (Tablica 7.).

Tablica 7. Srednji mjesečni i srednji godišnji dotoci iz sjevernog u južni dio vodonosnog sustava za 2000. godinu

Dotok m ³ /s	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac	2000 godina
Q1	0,200	0,186	0,178	0,162	0,155	0,162	0,162	0,157	0,150	0,153	0,182	0,193	0,170

Prema tim podacima je s područja „glavnog“ dijela vodonosnika, u 2000. godini, u jugoistočni dio vodonosnog sustava podzemno doteklo 5.361120 m³ vode.

Značajniji su dotoci sa zapada, tj. iz smjera Vukomeričkih gorica na koji ukazuju karte regionalnih kontura hidroizohipsi visokih i niskih voda. Za to područje nema podataka na temelju kojih bi se mogli računati mjesečni dotoci, ali je moguće načiniti grubu procjenu na temelju godišnje količine oborina (877 mm za Sisak), površine slivnog područja između razvodnice (bila Vukomeričkih gorica) i željezničke pruge na potezu Mraclin-Stupno (202 km²) i pretpostavke vjerojatne efektivne infiltracije od 10 %. Uz te parametre može se doći do procijenjenog podzemnog dotoka od 17,7x10⁶ m³/god. ili 0,561 m³/s.

Proračun dotoka se može načiniti i korištenjem Darcyevog zakona odnosno izraza:

$$Q=k \times l \times F$$



pri čemu je k koeficijent hidrauličke vodljivosti, I hidraulički gradijent, a F površina presjeka kroz koji se odvija dotok. Kao vjerojatna vrijednost koeficijenta hidrauličke vodljivosti za ovu je prigodu usvojena srednja vrijednost između srednje vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti utvrđena pokusnim crpljenjem na crpilištu „Peščenica“ između Donjeg Vukojevca i Peščenice od $4,56 \times 10^{-3}$ m/s i vrijednosti koje se navode za područje Lekenika od $4,4 \times 10^{-4}$ m/s i Grede od $2,5 \times 10^{-4}$ m/s (LARVA 2002). Vrijednosti hidrauličkog gradijenta očitane su sa karata regionalnih kontura hidroizohipsi visokih i niskih voda, a površina presjeka kroz koji se odvija dotok izračunata iz podataka o dužini sektora i debljini vodonosnika prema karti debljina šljunkovito-pjeskovitog vodonosnika. Dobivene su slijedeće vrijednosti (Tablica 8.):

Tablica 8. Procjena godišnjih podzemnih dotoka iz smjera Vukomeričkih gorica po sektorima.

Sektor	$K_{SR}(m/s)$	I za niske vode	I za visoke vode	Površina (m^2)	Q za niske vode (m^3/s)	Q za visoke vode	$Q_{SREDNJE}(m^3/s)$
						(m^3/s)	
Mraclin-Buševec	$1,75 \times 10^{-3}$	0,00029	0,00020	220000	0,112	0,077	0,0945
Buševec-Lekenik	$1,75 \times 10^{-3}$	0,00033	0,00058	346500	0,200	0,352	0,276
Lekenik-Stupno	$1,75 \times 10^{-3}$	0,00050	0,00050	330000	0,289	0,289	0,289
UKUPNO					0,601	0,718	0,660

Dakle, na temelju ovog izračuna može se zaključiti da su srednji godišnji dotoci iz smjera Vukomeričkih gorica oko $0,66 m^3/s$, što kroz godinu iznosi $20,8 \times 10^6 m^3$. To je za oko 18 % više od procijenjene efektivne infiltracije. Ta razlika se može objasniti eventualno infiltracijom iz korita Kupe u južnom dijelu područja, ili, što je vjerojatnije, nedovoljnom točnošću korištenih vrijednosti, a posebno koeficijenta hidrauličke vodljivosti.

Također se može procijeniti da se na području jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac između podnožja obronaka Vukomeričkih gorica i Save, te crte Žažina-Sisak na krajnjem jugoistoku područja površine oko $250 km^2$ godišnje neposredno infiltrira približno $28 \times 10^6 m^3$ oborinske vode ili, u prosjeku, $0,9 m^3/s$.

Dakle, realno se može procijeniti da se na području jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac vodonosni sustav prirodno napaja dotokom iz „glavnog“ dijela vodonosnika, dotokom iz područja Vukomeričkih gorica i neposrednom infiltracijom oborina približno s $67 \times 10^6 m^3/god$ ili s oko $2,1 m^3/s$ vode.

Promjenljive zalihe podzemne vode mogu se grubo procijeniti i na temelju razlika godišnjih maksimalnih i minimalnih razina podzemne vode i vrijednosti efektivne poroznosti. Ako se uzme da je površina područja „pokrivenog“ podacima o razinama podzemne vode (kartama hidroizohipsa) oko $250 km^2$ ($250 \times 10^6 m^2$), da je srednja razlika između godišnjih maksimalnih i minimalnih razina podzemne vode za desetgodišnji period (2003.-2012, godina) 2,5 m, te da je efektivna poroznost 15 % (0,15), može se izračunati da prosječne godišnje promjenljive zalihe podzemne vode iznose oko $93 \times 10^6 m^3$. Ako se od te vrijednosti oduzme količina vode koja se obnavlja neposrednom infiltracijom oborinskih voda, dotocima iz glavnog dijela vodonosnika i dotocima iz područja Vukomeričkih gorica izlazi da se vodonosnik s oko $26,7 \times 10^6 m^3/god$. ($0,84 m^3/s$) napaja i infiltracijom iz Save.

Utjecaj Save na obnavljanje zaliha podzemne vode u jugoistočnom dijelu zagrebačkog vodonosnog sustava može se procijeniti i na drugi način. Naime, iz karata hidroizohipsi



visokog i niskog vodostaja, vidljivo je da postoje dotoci iz Save u vodonosnik samo tijekom visokih vodostaja i to na dijelu toka od Stružeca Posavskog do Kaptola u dužini od oko 36 km. Za te uvjete srednja vrijednost hidrauličkog gradijenta iznosi oko 0,0005. Uz pretpostavljenu srednju debljinu/širinu kontakta vodonosnika s riječnim koritom od 20 m i uz srednju vrijednost koeficijenta hidrauličke vodljivosti između minimalne vrijednosti za Kosnicu, koja iznosi $K=4,0 \times 10^{-3}$ m/s, i one koja se navodi za Prerovec od $3,82 \times 10^{-4}$ m/s (LARVA, 2004), tako da se dobije $K=2,2 \times 10^{-3}$ m/s, može se procijeniti dotok iz Save od 0,79 m³/s ili 0,0219 m³/s/km riječnog toka, što je vrlo blizu ranije procijenjenoj vrijednosti od 0,84 m³/s. To je oko 36 % od vrijednosti infiltracije iz Save koja je procijenjena za dio toka Save od Podsuseda do Rugvice (BAČANI et al., 2007).

Sve ove procjene treba promatrati s rezervom s obzirom na veličinu područja i mali broj relevantnih i pouzdanih podataka, a posebno piezometara, te više ili manje točnih pretpostavki. Ipak može se zaključiti da se, s obzirom na količinu, radi o relativno velikim obnovljivim zalihama podzemne vode, što upućuje i na značajnu mogućnost eksploatacije podzemne vode.

Aktualna eksploatacija podzemne vode na tom području je zanemarivo mala. Naime naselja se opskrbljuju vodom iz dva vodoopskrbna sustava koji dovode vodu izvan područja koje je predmet ove studije.

Jedan je vodoopskrbni sustav Lekenik koji je u početnoj fazi razvoja. Voda se trenutno osigurava iz velikogoričkog vodoopskrbnog sustava u količini od cca 5,0-10,0 l/s (spoj na postojeći cjevovod DN 160 u naselju Ogulinec). Od Ogulinca je izveden PIEHD cjevovod DN 225 do kraja naselja Lekenik, te dio distributivne mreže. Na području općine Lekenik nalazi se i potencijalno vodocrpilište Peščenica koje bi moglo predstavljati značajan vodni resurs za šire područje, ali se ono za sada ne koristi. Rješenje vodoopskrbe područja općine Lekenik s privođenjem svrsi crpilišta Peščenica u budućnosti treba prihvatiti kao moguću varijantu vodoopskrbe, kako za sam Lekenik, tako i za dio vodoopskrbnog sustava Sisak-Petrinja.

Drugi je vodoopskrbni sustav Petrinja-Sisak koji trenutno pokriva šire područje gradova Petrinja i Sisak, te sisačku Gornju i Donju Posavinu i dio općine Sunja. Treba napomenuti da se radi o vrlo kompleksnom vodoopskrbnom sustavu koji se temelji na zahvatu vode i postrojenju za pripremu pitke vode u Novom Selištu kod Petrinje. Voda se zahvaća na rijeci Kupi, kondicionira se i isporučuje do vodospreme Sveto Trojstvo za područje Petrinje, odnosno do vodotornja Viktorovac na području Siska.



5. KVALITETA PODZEMNE VODE I NJEZINA UGROŽENOST/ZAŠTITA

5.1. Prirodna kvaliteta podzemne vode

O kvaliteti podzemne vode na području koje je obuhvaćeno ovim istraživanjima nema puno podataka, jer se ona sustavno prati na crpilištima javne vodoopskrbe, a takvih na ovom području nema. Najkompletniji podaci o kvaliteti podzemne vode dobiveni su analizom uzorka vode iz piezometara sa lokacije potencijalnog eksploatacijskog polja šljunka „*Pepelinka*“ sjeveroistočno od Donjeg Vukojevca iz travnja 2006. godine. Naime, radi utvrđivanja nultog stanja podzemne vode na lokaciji „*Pepelinka*“ izveden je piezometar, te je iz njega iscrpljena podzemna voda koja je potom analizirana u Zavodu za javno zdravstvo grada Zagreba, Odjel za ispitivanje voda. Rezultati ispitivanja dani su u slijedećoj tablici.

Tablica 9. Rezultati analize vode iz piezometra na eksploatacijskom polju Pepelinka.

POKAZATELJ/PARAMETAR	Jedinica mjere	MDK za vodu za ljudsku potrošnju (Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013))	REZULTAT
Koncentracija H ⁺ iona (pH)	pH jedinice	6,5-9,5	7,34
Elektroprovodljivost	μS cm ⁻¹	2500	446
Utrošak KMnO ₄	mg/IO ₂	5,0	3,5
Kloridi	mg/l Cl ⁻	250	2,5
Nitriti	mg/l N	0,50	<0,01
Nitrati	mg/l N	50	<0,1
Fosfati	μg/l P	300	<20
Sulfati	mg/l ²⁻	250	13
Amonij	mg/l	0,50	0,26
Krom	μg/l	50	3,4
Bakar	μg/l	2,0	45,7
Cink	μg/l	3000	1.065
Nikal	μg/l	20	< 5
Olovo	μg/l	10	< 5
Kadmij	μg/l	5	< 0,5
Mangan	μg/l	50	228
Željezo	μg/l	200	200
Arsen	μg/l	10	< 0,5
Živa	μg/l	1,0	< 0,1
Cijanidi	μg/l	50	< 10
Anionski detergents	μg/l	200	0,6
Neionski detergents	μg/l	200	< 60
Kationski detergents	μg/l	nije propisano Pravilnikom	< 50
Fenoli	μg/l	nije propisano Pravilnikom	< 0,68
HCH	μg/l	nije propisano Pravilnikom	< 0,01
HCB	μg/l	nije propisano Pravilnikom	< 0,002

Tablica 10. Rezultati analize vode iz piezometra na eksploatacijskom polju Pepelinka (nastavak).

POKAZATELJ/PARAMETAR	Jedinica mjere	MDK za pitku vodu (Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013))	REZULTAT
Lindan	µg/l	Pravilnikom je propisana samo maksimalna dozvoljena koncentracija za ukupne pesticide od 0,50 µg/l .	< 0,004
Heptaklor	µg/l		< 0,004
Aldrin	µg/l		< 0,002
Dieldrin	µg/l		< 0,002
Endrin	µg/l		< 0,006
DDT i derivati	µg/l		< 0,008
Metoksiklor	µg/l	nije propisano Pravilnikom	< 0,01
Ukupna ulja	µg/l	nije propisano Pravilnikom	47,6
Mineralna ulja	µg/l	nije propisano Pravilnikom	9
Ukupni koliformi	UK/100 ml	0	0
Fekalni koliformi	FK/100 ml	0	0
Fekalni streptokok, 37 ^o C/48 h	FS/100 ml	0	0
Broj aerobnih bakterija 37 ^o C/48 h	n/1 ml	20	0
Broj aerobnih bakterija 22 ^o C/72 h	n/1 ml	100	2
Pseudomonas aeruginosa	n/250 ml	0	0

Ako se rezultati analize usporede s maksimalno dopuštenim vrijednostima (MDK) propisanim najnovijim „Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2013.), može se uočiti da voda zadovoljava kriterije za pitku vodu s obzirom na sve određivane pokazatelje i parametre osim mangana čija koncentracija prelazi MDK 4,56 puta. Treba napomenuti da analizom nije određivana koncentracija željeza, no kako u pravilu vode s visokim koncentracijama mangana sadrže i veće količine željeza, vjerojatno se i ono nalazi u koncentraciji znatno većoj od MDK. Također od Pravilnikom propisanih parametara od mikrobioloških pokazatelja nisu određivani *Escherichia coli* (*E.Coli*) i *Enterokoki*, a od kemijskih pokazatelja koncentracije *akrilamida*, *aluminija*, *barija*, *benzena*, *benzopyrena*, *berilija*, *bora*, *bromata*, *1,2 dikloretan*, *epiklorhidrin*, *fluoridi*, *klori*, *klorat*, *PAH*, *selen*, *silikat*, *slobodni klor*, *srebro*, *suma tetrakloretena i trikloretena*, *TOC*, *ukupna tvrdoća*, *ukupne suspenzije*, *ukpni THM*, *vanadij*, *vinil klorid* i *radioaktivnost*. No, kako ovi sastojci nisu nađeni nigdje u podzemnim vodama šireg područja zagrebačkog vodonosnika u većim koncentracijama od MDK gotovo je sigurno da ih nema niti u podzemnoj vodi iz južnog dijela zagrebačkog vodonosnika.

Postoje i podaci o rezultatima analize vode iz pokusnih zdenaca B-1 i B-2 na potencijalnom crpilištu „*Peščenica*“ iz 1994. godine. Zdenac B-1 nalazi se oko 200 m



zapadno-sjeverozapadno od zapadne granice, a zdenac B-2 oko 1100 m sjeverno od sjeverne granice eksploatacijskog polja „*Pepelinka*“. Analize su pokazale visoku koncentraciju željeza (1070 µg/l), mangana (190 µg/l), amonijaka (0,22 mg/l), te nešto arsena, a i ostali ispitivani parametri su iznad koncentracija propisanih za pitku vodu. Iz ovoga bi se moglo zaključiti da kvaliteta podzemne vode ne zadovoljava kriterije za pitku vodu propisane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, pa bi se u slučaju izgradnje crpilišta za potrebe javne vodoopskrbe voda morala kondicionirati. Na to navodi i dokument pod naslovom „*Stručno mišljenje o napretku vodoistražnih radova i rezultatima istraživanja na vodoistražnom području Peščenica*“ (dopis klasa: 351-03/06-01/0020, ur. broj: 374-021-3-06-2) od 19.08.2006. godine, koji su izdale Hrvatske vode-Vodnogospodarski odjel za vodno područje sliva Save, u kojem, između ostalog, stoji da su u sklopu vodoistražnih radova na vodoistražnom području Peščenica, koji su provedeni 1992./93. godine, osim utvrđivanja kapaciteta zdenaca (za BP-1 Q=123 l/s; za BP-2 Q=242 l/s) izrađene i „*analize vode i utvrđena tehnologija kondicioniranja. Analize vode su pokazale da se radi o kvalitetnoj vodi, s nešto povećanim sadržajem amonijaka, koji se vrlo jednostavnim postupkom prerade može ukloniti.*“ Ovdje treba napomenuti da se u tom dokumentu ne spominju visoke koncentracije željeza, mangana, pa i arsena, koje su analizama utvrđene, pa se očito radi o vodi koja ne zadovoljava kriterije propisane za vodu koja se koristi za piće po više parametara, pa bi se voda morala kondicionirati ne baš „*vrlo jednostavnim postupkom prerade*“ kako se konstatira u „*Stručnom mišljenju*“.

O kemizmu podzemnih voda jugoistočnog dijela vodonosnika pisao je i LARVA (2002), koji je dao podatke o koncentracijama željeza, mangana i amonijaka u uzorcima vode uzetim iz zdenaca na lokacijama potencijalnog crpilišta „*Peščenica*“ i *Žabno*, i iz 6 istražnih bušotina/zdenaca izvedenih u sklopu istraživanja za HES *Strelečko*, analiziranim u više navrata. Za uzorke iz bušotina na području istraživanja za HES *Strelečko* nema podataka o koncentracijama mangana, ali postoje podaci o koncentracijama nitrata i utrošku KMnO₄. Podaci su prikazani u tablici 11.

Tablica 11. Pokazatelji kvalitete podzemne vode na lokacijama „Peščenica“, Žabno i HES Stelečko (LARVA, 2002.)

Lokacija	Objekt	Datum	Željezo	Mangan	Amonijak	Nitrati	Utrošak KMnO ₄
		uzorkovanja	(µg/l)	(µg/l)	mg/l kao N	mg/l	mg/l
			MDK=200	MDK=50	MDK=0,1	MDK=50	MDK=5
Peščenica	B-2	24.05.1994.	1100,00	110,00	0,197	nije određivano	nije određivano
Peščenica	B-2	5.9.1994	1600,00	1750	0,222	nije određivano	nije određivano
Žabno	?	09.06.1993.	2820,00	nije određivano	0,230	nije određivano	nije određivano
Žabno	?	10.06.1993.	4380,00	25,00	0,241	nije određivano	nije određivano
Žabno	?	15.06.1993.	1580,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano	nije određivano
Žabno	?	18.06.1993.	3320,00	150,00	0,435	nije određivano	nije određivano
Žabno	?	19.06.1993.	1430,00	50,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano
HES Strelečko	DB-1	06.10.1981.	5551,00	nije određivano	0,78	0,45	11,10
HES Strelečko	DB-1	08.10.1981.	6390,00	nije određivano	0,78	0,45	10,10
HES Strelečko	DB-1	13.10.1981.	nije određivano	nije određivano	0,58	< 0,45	4,10
HES Strelečko	DB-2	29.07.1981.	19000,00	nije određivano	nije određivano	0,45	10,10
HES Strelečko	DB-2	05.08.1981.	12700,00	nije određivano	13,20	0,45	79,40
HES Strelečko	DB-3	18.10.1981.	11800,00	nije određivano	1,55	0,45	11,30
HES Strelečko	DB-3	22.10.1981.	6930,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano	nije određivano
HES Strelečko	DB-4	27.05.1982.	4270,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano	nije određivano
HES Strelečko	DB-4	03.06.1982.	4690,00	nije određivano	3,26	< 0,45	18,80
HES Strelečko	DB-5	27.10.1981.	13100,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano	12,43
HES Strelečko	DB-5	06.11.1981.	11900,00	nije određivano	0,00	0,90	9,50
HES Strelečko	DB-6	16.05.1981.	0,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano	nije određivano
HES Strelečko	DB-6	20.05.1981.	0,00	nije određivano	nije određivano	nije određivano	nije određivano



Očito je da su praktično u svim uzorcima podzemne vode sa navedenih lokacija utvrđene visoke koncentracije željeza i mangana, ali i amonijaka i utroška KMnO_4 . Sve su to prirodni sastojci podzemne vode, a posljedica su litološkog sastava, odnosno uvjeta taloženja vodonosnih naslaga. Kvarterni vodonosni kompleks na istraživanom području čine sedimenti iz skupine rezistata i hidrolizata taloženi pretežno u jezersko-močvarnoj sredini koju karakterizira visoka produkcija organske tvari i slaba cirkulacija vode, što rezultira reduktivnim uvjetima jer se kisik troši na oksidaciju i razgradnju organske tvari, a zbog slabe cirkulacije vode nema njezinog prozračivanja. U takvim uvjetima ioni željeza i mangana se nalaze dvovalentnoj formi koja je topiva u vodi s pH vrijednosti manjom od 9,5, pa ulaze u sastav podzemne vode. Dušični spojevi u reduktivnim uvjetima prelaze u anorganski amonijak, koji je također topiv u vodi, a veći utrošak KMnO_4 ukazuje na to da u vodi još uvijek postoje i organski spojevi. Ovakvim uvjetima pogoduju i recentni hidrodinamički odnosi na većem dijelu istraživanog područja. Naime, zbog relativno debelog slabopropusnog pokrivača infiltracija oborinskih voda do vodonosnika se odvija sporo, a kisik se troši na oksidaciju organske tvari u gornjem dijelu tla, tj. pedološkom sloju. Slično vrijedi i za procjeđivanje iz rijeke Save na potezu nizvodno od Rugvice i rijeke Odre nizvodno od ceste Peščenica-Selce-Veleševac jer one tu protječu dijelom područja s najvećom debljinom slabopropusnog pokrivača.

5.2. Procjena ugroženosti kvalitete podzemne vode

Ugroženost kvalitete podzemne vode ovisi o hidrogeološkim odnosima (debljini, pedološkim i hidrogeološkim značajkama pokrivača, sustavu napajanja vodonosnika, propusnosti vodonosnika, dinamici podzemnih voda i dr.) ali i o naseljenosti, korištenju zemljišta, izgrađenosti područja, komunalnoj uređenosti, prometu, gospodarskoj aktivnosti i brizi za okoliš.

Površinski pokrivač je na cijelom području koje se u ovom radu smatra južnim dijelom zagrebačkog vodonosnika deblji od 2 m, a na najvećem dijelu, posebno jugoistočno od crte Peščenica-Veleševac i istočno od željezničke pruge Velika Gorica–Sisak, na dionici Peščenica-Greda, debljina mu iznosi između 10 m i više od 15 m. S obzirom na utjecaj na kvalitetu podzemne vode, uz debljinu i propusnost krovine vodonosnika, posebno je značajan njezin površinski dio–pedološki sloj ili tlo. Naime, tlo je univerzalni pufer koji inaktivira tvari koje suhom ili mokrom depozicijom ulaze u njegovu masu ili se oslobađaju



mineralizacijom organske tvari (KISIĆ, 2012). Kisele sastavnice tlo puferira s pomoću kationa, kao što su natrij, kalcij, kalij i magnezij. Puferizacija se odvija i drugim mehanizmima, kao što je vezanje stranih tvari (zagađivala) na adsorpcijski kompleks. Procijenjeno je da se više od 99 % pesticida koji ulaze u tlo tako inaktivira prelazeći u netoksične tvari. Zbog toga je tlo vrlo djelotvorni filter za vodu koja kroz njega prodire u podzemlje. S pomoću koloidnih kompleksa tlo veže različite tvari koje u procesu prirodnog kruženja pristižu u tlo kao suhe aerodepozicije, tj. kao prašina ili mokra depozicija, tj. kao oborinske vode, a danas sve češće „kisele kiše“.

Najveće površine prekrivene su na području koje je predmet ovih istraživanja *pseudoglejem zaravni*, koji prema zapadu, tj. obroncima Vukomeričkih gorica prelazi u obronačni pseudoglej, a prema istoku, tj. prema Savi u aluvijalni semiglej (ROMIĆ et al. 2006). S obzirom na utjecaj na stupanj ugroženosti podzemne vode najvažnije pedofizikalno svojstvo pseudogleja je da su ta tla obilježena teže propusnim horizontom, odnosno slabom do nepotpunom drenažom, pa su stagnirajuće oborinske vode glavni agens procesa pseudoglejavanja. To su praškasta tla koja sadrže i do 70 % praškaste ilovače, sklone zbijanju i pokorici. U iluvijalno pseudoglejnom horizontu mogu biti i praškasto glinasta. Strukturno su nestabilna, praškasta do sitno mrvičasta, a propusnost tla za vodu je mala. To su porozna tla s vrlo nepovoljnim odnosom pora za vodu i zrak. Kapacitet za zrak u prirodnim horizontima je daleko ispod 10 %, što je nespojivo s intenzivnom biljnom proizvodnjom. Vrijednosti volumne gustoće s dubinom se povećavaju. To su slabo kisela do kisela tla, kojima se aciditet s dubinom povećava. Prema količini humusa, obično su slabo humozna s dobrim sadržajem dušika.

I aluvijalni semiglej ima pretežito ilovastu teksturu ali ima dijelova terena i s praškasto glinasto ilovastom do praškasto glinastom teksturom. To su duboko rahla tla, a oglejenost se ponekad javlja na dubini 60-70 cm od površine, što nepovoljno ne utječe na razvoj biljnog korijena kulture koja tamo uspijeva. Struktura ovih tala je mrvičasta do graškasta, a propusnost tla za vodu je umjerena do umjereno mala. To su porozna tla s povoljnim vodno zračnim odnosom s volumnom gustoćom i gustoćom čvrste faze koja se dubinom povećava. Tla teže teksture mogu biti jako plastična. To su pretežito karbonatna tla, ali ima i nekarbonatnih. U površinskom horizontu mogu imati do 10 % CaCO_3 , a on se s dubinom ponegdje povećava ili smanjuje što je rezultat heterogenog aluvijalnog nanošenja karbonatne sitnice. Sadržaj humusa kod ovih tala kreće se od 2,5 do 6,7 % što znači od slabog do dosta humoznog sadržaja. Umjerenog do bogatog su sadržaja dušika. Od vrlo slabe do slabe su opskrbljenosti fiziološko aktivnim fosforom, iako neki profili pokazuju dobru opskrbljenost što



je rezultat pojačane individualne gnojidbe. Većinom su srednje opskrbljena fiziološki aktivnim kalijem. Ova tla imaju vrlo visoke vrijednosti zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama, a kapacitet adsorpcije je srednji do visok.

Dakle, obzirom na karakteristike pedološkog sloja, sastav i strukturu krovine vodonosnika ispod pedološkog sloja može se reći da je južni dio vodonosnika dobro zaštićen od utjecaja s površine.

Područje na kojem se prostire južni i jugoistočni dio zagrebačkog vodonosnika tj. područje koje je na sjeveru-sjeveroistoku omeđeno potokom Starča i kanalom Sava-Odra do Mraclina, a zatim crtom Mraclin-Veleševac, na istoku rijekom Savom od Oborova do Strelečkog, na jugu crtom Strelečko-Žažina i na zapadu-jugozapadu podnožjem sjeveroistočnih obronaka Vukomeričkih gorica relativno je slabo naseljeno. Na tom prostoru, prema popisu stanovništva iz 2011. godine, u pedeset naselja živi 35.577 stanovnika (Tablica 12.). Naselja su, idući od sjeverozapada prema jugoistoku navedena u slijedećoj tablici.

Tablica 12. Naselja, stanovnici i gospodarska aktivnost na području prostiranja južnog dijela zagrebačkog vodonosnika.

Naselje	Grad/Općina	Županija/Grad Zagreb	Broj stanovnika	Odvođenja	Gospodarska aktivnost
Gornji Stupnik	Stupnik	Zagrebačka	2003		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, hidraulika i pneumatika, kemijska industrija, metalna galanterija, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (autoservis, servis uredske opreme, PVC stolarija, servis rashladnih uređaja, kovinopretrađivački)
Donji Stupnik	Stupnik	Zagrebačka	1375		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, prerada aluminija, građevinarstvo, papirna konfekcija, optički proizvodi, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (zlatarski, plastificiranje, plinske instalacije)
Stupnički Obrež	Stupnik	Zagrebačka	357		poljodjelstvo, stočarstvo, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoprijevoz)
Rakov Potok	Samobor	Zagrebačka	1134		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, obrada plastike, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoservis, autoprijevoz, elektroinstalaterski, elektromehaničarski, alatničarski, limarski, vodoinstalaterski, čišćenje tepiha, zavjesa i tapeciranog namještaja, pekarski, tiskarski), benzinska crpka.
Hrvatski Leskovac	Zagreb	Grad Zagreb	2687		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, proizvodnja stočne hrane, građevinarstvo, obrada plastike, farmaceutska industrija, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (autoelektričarski, autolimarski, automehaničarski, autolakirerski, strojobravarSKI, elektroinstalaterski, stolarskitelekomunikacijski)
Lučko,	Zagreb	Grad Zagreb	3010		poljodjelstvo, stočarstvo, metalne konstrukcije, metalna galanterija, vijčani proizvodi, prerada plastike, građevinarstvo, informatika, mesna industrija, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (zavarivanje automehaničarski, autoelektričarski, servis poljoprivrednih strojeva, elektroinstalaterski, limarski, , stolarski, tiskarske usluge)
Demerje	Zagreb	Grad Zagreb	721		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo, trgovina, obrti (strojobravarSKI, vodoinstalaterski, centralna grijanja)
Goli Breg	Zagreb	Grad Zagreb	406		poljodjelstvo i stočarstvo
Desprim	Zagreb	Grad Zagreb	377		poljodjelstvo i stočarstvo
Zadvorsko	Zagreb	Grad Zagreb	1288		poljodjelstvo, stočarstvo, metalne konstrukcije, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (autoprijevoz, vulkanizerski, soboslikarski, vodoinstalaterski, instalacija plina i centralnog grijanja, , pekarski)
Drežnik Brezovički	Zagreb	Grad Zagreb	656		poljodjelstvo, stočarstvo, obrt (vodoinstalaterski)
Hudi Bitek	Zagreb	Grad Zagreb	441		poljodjelstvo, stočarstvo, trgovina
Strmec	Zagreb	Grad Zagreb	645		poljodjelstvo, stočarstvo, trgovina
Brebernica	Zagreb	Grad Zagreb	49		?



HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA JUŽNOG DIJELA ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA



Donji Trpuc i	Zagreb	Grad Zagreb	428		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo
Donji Dragonožec	Zagreb	Grad Zagreb	577		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo, obrt (autoprijevoz)
Odranski Obrež	Zagreb	Grad Zagreb	1578		poljodjelstvo, stočarstvo, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoprijevoz)
Markuševac Turopoljski	V. Gorica	Zagrebačka	328		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, obrt (servis klima uređaja)
Lukavec (Donji i Gornji)	V. Gorica	Zagrebačka	1140		poljodjelstvo (poljoprivredna zadruha), stočarstvo, šumarstvo (Hrvatske šume), građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (autolimarski, autolakirerski, autoelektričarski, elektroinstalaterski, tiskarske usluge)
Petrovina Turopoljska	V. Gorica	Zagrebačka	708		poljodjelstvo, stočarstvo, med i pčelarski proizvodi, pčelarski pribor i oprema, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (krojački)
Šiljakovina	V. Gorica	Zagrebačka	672		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoprijevoz)
Okuje	V. Gorica	Zagrebačka	267		poljodjelstvo, stočarstvo, trgovina, ugostiteljstvo
Mala Buna	V. Gorica	Zagrebačka	261		poljodjelstvo (poljoprivredna zadruha), vinogradarstvo, stočarstvo, peradarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (elektroinstalaterski)
Velika Buna	V. Gorica	Zagrebačka	856		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, šumarstvo (Hrvatske šume), trgovina, ugostiteljstvo
Mraclin	V. Gorica	Zagrebačka	1174		poljodjelstvo, stočarstvo, obrada drva, građevinarstvo, ciglana, gumeni proizvodi, hidraulika i pneumatika, aluminijski proizvodi, obrada plastike, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoprijevoz, servis električnih uređaja, stolarski)
Rakitovec	V. Gorica	Zagrebačka	570		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, obrada drva, proizvodnja namještaja, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autolakirerski, limarski, kovinotokarski, bravarski)
Turopolje	V. Gorica	Zagrebačka	953		poljodjelstvo, stočarstvo, građevinarstvo, prerada drva, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (elektronika, servis uredske opreme, pilana)
Buševac	V. Gorica	Zagrebačka	886		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo, prerada drva, trgovina obrti (autoservis, kovinoprerađivački, limarski, elektroinstalaterski, stolarski, frizerski, pekarski)
Ogulinec	V. Gorica	Zagrebačka	292		poljodjelstvo, stočarstvo, obrada drva, trgovina, benzinska crpka.
Veleševac	Orle	Zagrebačka	430		poljodjelstvo, stočarstvo, trgovina
Ruča	Orle	Zagrebačka	223		poljodjelstvo, stočarstvo, trgovina
Suša	Orle	Zagrebačka	113		poljodjelstvo, stočarstvo
Donji Vukojevac	Lekenik	Sisačko-moslavačka	499		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (automehaničarski, frizerski)
Gornji Vukojevac	Lekenik	Sisačko-moslavačka	67		poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo



Peščenica	Lekenik	Sisačko-moslavačka	883	poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, obrada drva, trgovina, ugostiteljstvo, obrta (prijevoz putnika i robe)
Brežane Lekeničke	Lekenik	Sisačko-moslavačka	302	poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo
Lekenik	Lekenik	Sisačko-moslavačka	1897	poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, šumarstvo (Hrvatske šume), građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrti (autoprijevoz, servis poljoprivrednih strojeva, kovino-tokarski, frizerski)
Poljana Lekenička	Lekenik	Sisačko-moslavačka	283	poljodjelstvo, stočarstvo
Dužica	Lekenik	Sisačko-moslavačka	353	poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo, proizvodna tekstila, trgovina, obrti (limarski, klesarski)
Žažina	Lekenik	Sisačko-moslavačka	355	poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoprijevoz)
Greda,	Sisak	Sisačko-moslavačka	858	poljodjelstvo, vinogradarstvo, stočarstvo, građevinarstvo, trgovina, obrti (autoprijevoz)
Stupno,	Sisak	Sisačko-moslavačka	484	poljodjelstvo, stočarstvo, aluminijski proizvodi, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (elektroinstalaterski, tokarski, pilana, stolarski, tiskarske usluge)
Sisačka Odra	Sisak	Sisačko-moslavačka	823	poljodjelstvo, stočarstvo, obrada drva, obrada plastike, metalna galanterija, građevinarstvo, trgovina, ugostiteljstvo, obrt (autoprijevoz, vodoinstalaterski, stolarski, tiskarske usluge, pekarski)
Jezero Posavsko	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	70	poljodjelstvo, stočarstvo, projektni biro
Desni Dubrovčak	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	115	poljodjelstvo, stočarstvo.
Desno Željezno	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	170	poljodjelstvo, stočarstvo, prerada drva, trgovina
Desno Trebarjevo	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	334	poljodjelstvo, stočarstvo,
Martinska Ves	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	683	poljodjelstvo, stočarstvo, obrt (autoprijevoz)
Tišina Kaptolska	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	259	poljodjelstvo, (poljoprivredna zadruga), stočarstvo, trgovina, ugostiteljstvo
Strelečko	Martinska Ves	Sisačko-moslavačka	537	poljodjelstvo, stočarstvo, trgovina,

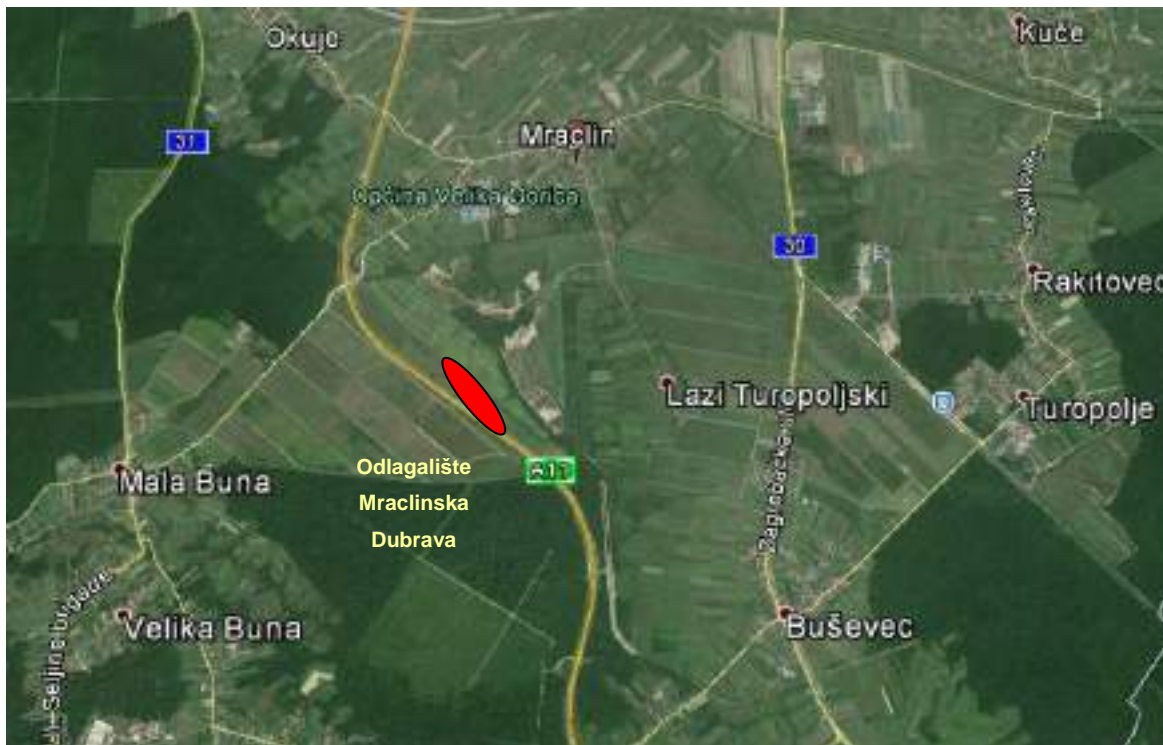
Naselja su raspoređena duž rubnih dijelova istraživnog prostora, tj. na zapadu-jugozapadu duž sjevernog podnožja Vukomeričkih gorica, odnosno jugoistočno od Mraclina uz cestu Mraclin-Stupno, a na istoku uz rijeku Savu. U svim naseljima je organizirano prikupljanje otpada. Tako u naseljima Općine Stupnik i svim naseljima koja pripadaju Gradu Zagrebu otpad prikuplja *Zagrebački Holding d.o.o. Podružnica Čistoća* iz Zagreba, a otpad

se odlaže na zagrebačkom odlagalištu Jakuševac. Ipak postoje i neuređena odlagališta, npr građevinskog otpada (foto 14).



Foto 14. Odlagalište građevinskog otpada u blizini Rakovog Potoka.

Iz naselja koja pripadaju Gradu Velika Gorica otpad prikuplja tvrtka *VG čistoća d.o.o.*, i odlaže ga na odlagalištu prve kategorije Mraclinska Dubrava. Odlagalište je smješteno oko 5 km južno od Mraclina između autoceste A11 i državne ceste D30 (slika 5.1).



Slika 5.1. Lokacija odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava.

To je i jedino odlagalište otpada na području južnog dijela zagrebačkog vodonosnika. Otpad se odlaže na novom, odnosno, proširenom dijelu i to na prvoj, drugoj i trećoj kaseti na površini od 15.500 m², a dio starog odlagališta površine 4,6 Ha je saniran i redovno se vrši daljnja sanacija i monitoring. Odlaganje se obavlja na sanitarni način, tj. otpad se odlaže na vodonepropusnu podlogu sa sustavom za prikupljanje procjednih voda (foto 15, foto 16). Procjedne vode se skupljaju sustavom drenažnih cijevi (foto 15) i zbrinjavaju recirkulacijom i odvozom u fekalnu kanalizaciju. Oborinske vode iz okolnog područja odvođe se betonskim kanalima i ne dolaze na odlagalište (foto 17). Otpad se nakon odlaganja i zbijanja prekriva inertnim materijalom (foto 18).



Foto 15. Uređenje nepropusne podloge u kaseti za odlaganje otpada na odlagalištu Mrcalinska Dubrava.



Foto 16. Ugradnja drenažnih cijevi za prikupljanje procjednih voda iz odlagališta Mrcalinska Dubrava.



Foto 17. Kanali za prikupljanje i odvodnju oborinskih voda iz okoline odlagališta Mrcalinska Dubrava.



Foto 18. Zbijanje otpada i prekrivanje internim materijalom na odlagalištu otpada Mrcalinska Dubrava.

Godišnje se na odlagalište otpada odloži prosječno oko 18.000 tona otpada. Sav komunalni otpad važe se na mostnoj vagi.

Iz naselja koja pripadaju Sisačko-moslavačkoj županiji, odnosno općinama Lekenik i Martinska Ves, te gradu Sisku prikupljanje i odvoz otpada obavlja tvrtka *Gospodarenje otpadom Sisak d.o.o* i odlaže ga na odlagalištu Goričica koje se nalazi oko 6,5 km južno od centra grada Siska, uz lijevu obalu rijeke Save, nasuprot luke za istovar nafte, dakle izvan područja zagrebačkog vodonosnika.

Dakle, organizirano prikupljanje i zbrinjavanje komunalnog otpada ne predstavlja objektivnu opasnost za podzemnu vodu.

Naravno da na ovako velikom neurbaniziranom prostoru postoji i više nelegalnih odlagališta otpada (foto 19-22).



Foto 19. Rakitove bare-prostrana aluvijalna ravnica uglavnom naseljena hrastom lužnjakom.



Foto 20. Rakitove bare-brojna divlja odlagališta otpada.



Foto 21. Rakitove bare-duboko u šumi odlagalište građevinskog materijala i lešina domaćih životinja.



Foto 22. Na rubu sela Gornji Lukavec u biljem preraslom bezimеноm vodotoku.

To su manji, neuređeni prostori koji nisu predviđeni za odlaganje otpada, a kojeg su formirali najčešće građani, bez prethodnog znanja ili formalnog rješenja tijela JLS (Jedinica lokalne samouprave). Nema podataka o njihovom broju i lokacijama na istraživanom području, no poznato je da se ona obično nalaze blizu naselja na skrivenim mjestima. Brojna „divlja“ smetlišta nalaze se i na desnoj obali odteretnog kanala Sava-Odra duž toka rijeke Lomnice. Na njih se obično odlaže glomazni otpad (neispravna „bijela tehnika“) i građevinski otpad, pa, s obzirom na količinu i vrstu otpada objektivno ne predstavljaju veću opasnost za podzemnu vodu (foto 20). No, na nekim mjestima uočena je i ambalaža od kemijskih

agrotehničkih sredstava. Veći problem mogu predstavljati ilegalna odlagališta otpada na dijelu uz rijeku Savu, nastala na mjestima eksploatacije šljunka. Eksploatacija šljunka ne utječe direktno na kakvoću podzemnih voda, ali indirektno utječu zbog toga što je uklonjen zaštitni pokrovni sloj, te je značajno povećavan rizik promjene kakvoće voda uslijed pojave površinskih onečišćenja iz odloženog otpada.

Od značajnih prometnica istraživanim prostorom prolazi dio autoceste A11 Zagreb-Sisak od koje je završena dionica do Lekenika, a ostatak je još u izgradnji (slika 5.2).



Slika 5.2. Dionica autoceste A11 Zagreb-Sisak koja prolazi jugoistočnim dijelom područja prostiranja zagrebačkog vodonosnika.

Osim autoceste područjem prolazi i dionica državne ceste D30 Zagreb-Sisak, na potezu od Mraclina do Odre Sisačke, te željeznička pruga Zagreb-Sisak na istoj dionici (slika 5.3).



Slika 5.3. Smještaj naselja i prometnica na jugoistočnom dijelu istraživanog područja.

Pri izgradnji autocesta vodi se posebno računa o zaštiti okoliša. Već se idejno rješenje trase skupa s prijedlozima mjera zaštite okoliša prije izgradnje autoceste obrađuje u studiji utjecaja na okoliš. Na temelju tih rezultata i smjernica pristupa se daljnjoj razradi projekata i izboru najprihvatljivije varijante trase, uz sve studijom propisane mjere zaštite okoliša, koje moraju biti usklađene s načelima iz strategije i programa prostornog uređenja Republike Hrvatske, te zakonskom regulativom.

Posebna se skrb vodi o vodozaštiti i stoga su vodopravni uvjeti sastavni dio lokacijske dozvole za gradnju svake dionice autoceste, a izdaju ih *Hrvatske vode* na zahtjev Ministarstva zaštite okoliša i prirode i Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja. U tim se uvjetima određuje čemu sve mora udovoljiti projektna dokumentacija za određenu dionicu. Na određenom su području, ovisno o osjetljivosti, propisane mjere zaštite površinskih i podzemnih voda te izvorišta od mogućih onečišćenja. Stoga konceptijsko rješenje odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda određene dionice autoceste mora biti sukladno s propisanim uvjetima te usklađeno s prethodno izrađenom studijom utjecaja na okoliš i postojećom prostorno-planskom dokumentacijom. Izradi projektnog rješenja sustava odvodnje prethode detaljni hidrološki i hidrogeološki istražni radovi kojima se utvrđuje razina osjetljivosti



vodozaštite područja kojim autocesta prolazi i određuju odgovarajuće mjere zaštite. Na temelju rezultata tih istraživanja određuju se područja potrebne zaštite voda (kontrolirani vodonepropusni sustav, separator i/ili laguna i ispust u teren), predviđaju lokacije separatora odnosno laguna i ispusta u teren te izgradnja propusta za površinske vode.

Mjere zaštite provode se i tijekom gradnje autoceste. Propisane su posebnim uvjetima koji sadrže obveze i ograničenja kojih se izvođač mora pridržavati pri izvođenju radova i izboru lokacije privremenih građevina i odlagališta humusa. Obvezan je i operativni plan interventnih mjera u slučaju iznenadnih zagađenja.

I nakon puštanja izgrađene dionice autoceste prati se kakvoća otpadnih voda na ispustima iz sustava odvodnje, uključujući i sustave odvodnje na odmorištima, parkiralištima, benzinskim postajama, centrima za održavanje i kontrolu prometa te ostalim građevinama koje nisu priključene na sustav javne odvodnje. Ispitivanje se otpadnih voda provodi radi ocjene njezine kakvoće, otkrivanja uzroka mogućih promjena, izmjene mjera zaštite te procjene funkcionalnosti sustava odvodnje. To se ispitivanje obavlja uzorkovanjem i analizom otpadnih voda (oborinske, tehnološke i sanitarne) na ispustima iz separatora, biodiskova i laguna.

S obzirom na sve rečeno autocesta pri izgradnji i redovitom funkcioniranju ne predstavlja opasnost za kvalitetu podzemne vode.

Problem su prometnice bez sustava kontrolirane odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda jer predstavljaju višestruke izvore onečišćenja podzemnih voda. Tu spada državna cesta D30, ali i sve županijske i lokalne ceste koje prolaze istraživanim područjem. One su stalni aktivni izvor onečišćenja. Naime, kondenzacijom ispušnih plinova iz motornih vozila i prokaplivanjem ulja, na kolovoznoj površini stvara se masni sloj koji se sastoji pretežno od ugljikovodika i fenola. Također su značajni aktivni periodični izvor onečišćenja zbog posipanja solju odnosno natrijevim kloridom tijekom zimskih mjeseci, te se uslijed topljenja snijega i leda na prometnoj površini stvara visoko koncentrirana slana otopina. Ako uz prometnicu nisu izgrađeni kanali za odvodnju, otopina se procjeđuje u tlo ovisno o propusnosti terena, te se time onečišćuju vode i vodni okoliš. Ceste predstavljaju i potencijalni točkasti izvor onečišćenja u slučaju većih prometnih nesreća, posebno autocisterne, pri čemu može doći do izlivanja većih količina tekućina opasnih za vodu na okolni teren. No, kako je državna cesta D30 u prometu još od prve polovice prošlog stoljeća, a do sada nisu registrirani negativni utjecaji na vode istraživanog područja, pitanje je da li ceste predstavljaju, s obzirom na hidrogeološke značajke terena, stvarnu ili samo teoretsku



opasnost. Kako će se puštanjem u promet autoceste bitno smanjiti promet državnom cestom i ta potencijalna opasnost će se u skoroj budućnosti bitno smanjiti.

U središnjoj zoni jugoistočnog dijela oko rijeke Odre nema naselja niti značajnijih prometnica.

Gospodarska aktivnost se uglavnom svodi na poljodjelstvo, stočarstvo i uslužno-servisne djelatnosti (FELDBAUER, 2004) (vidi Tablica 13.). Na obroncima Vukomeričkih gorica razvijeno je i vinogradarstvo. Prerađivački pogoni smješteni su uglavnom na krajnjem sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja u naseljima Gornji Stupnik, Donji Stupnik, Rakov Potok i Hrvatski Leskovac. Radi se uglavnom o novim objektima koji su projektirani, izvedeni i koji rade sukladno propisima vezanim za zaštitu okoliša, pa tako i voda (vodopravni uvjeti, vodopravne dozvole, inspekcijski nadzori) i realno ne predstavljaju opasnost za kvalitetu podzemne vode.

Na istraživanom području nema velikih stočarskih ili peradarskih farmi. Uzgoj stoke uglavnom se odvija unutar naselja i ograničen je. Primjerice, Prostornim planom općine Lekenik propisano je da se u sklopu građevinskih područja naselja Donji Vukojevac, Dužica, Gornji Vukojevac, Lekenik, Peščenica, Poljana Lekenička i Žažina mogu graditi gospodarske građevine za poljoprivrednu proizvodnju s potencijalnim izvorima zagađenja isključivo za uobičajeni uzgoj i tov stoke i peradi u domaćinstvu pod kojim se smatra broj maksimalno 30 uvjetnih grla*.

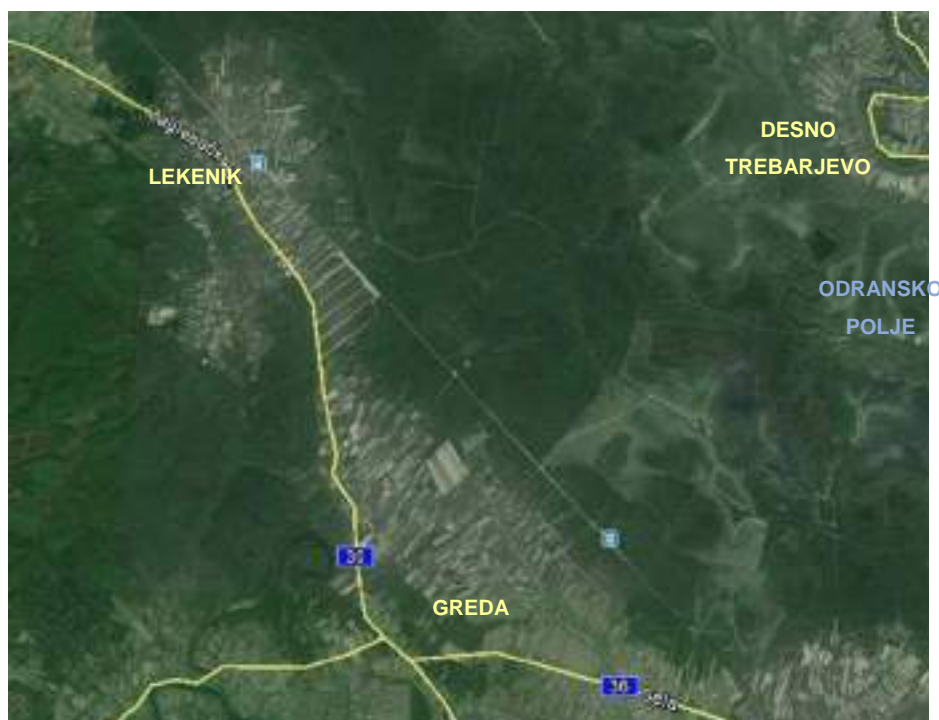
Obrađene poljoprivredne površine prostiru se u pojasevima uz naselja (slika 5.4) tj. uz Željezničku prugu na zapadu i uz rijeku Savu na istoku (slika 5.5). Onečišćenja voda u poljoprivrednoj proizvodnji događaju se zbog prekomjernog i nestručnog korištenja dušičnih i fosfornih gnojiva, pesticida, ali i teških metala. Onečišćenje površinskih i podzemnih voda onečišćivačima iz poljoprivredne proizvodnje vezano je za njihovo ispiranje iz površinskog dijela tla u vodonosnik. No, s obzirom na udio obrađenih poljoprivrednih površina u odnosu na cjelokupni prostor i njihov rubni raspored i intenzitet proizvodnje, te hidrogeološke značajke terena, prvenstveno površinskog pokrivača i pedološkog sloja, negativni utjecaji su realno mali.

*uvjetnim grlom smatra se grlo težine 500 kg i ima koeficijent 1,00 te se temeljem toga sve vrste stoke ili peradi svode na uvjetna grla primjenom koeficijenata, npr. svinje u tovu od 25 do 110 kg imaju koeficijent 0,15 , odojci 0,02, kokoši nesilice 0,004, tovnji pilići 0,0025 itd.)

Ostali, središnji dio istraživanog područja južno od crte Mraclin-Veleševac pripada Odranskom polju koje je od 2006. godine zaštićeno kao značajni krajobraz. Tu se na površini većoj od devet tisuća hektara prostiru poplavne šume hrasta lužnjaka, vlažne livade i pašnjaci.

Taj dio područja je retencija tijekom jesenskih i proljetnih poplava. Gotovo 40 % površine Odranskog polja (3728,67 Ha) obraslo je poplavnim šumama hrasta lužnjaka, 17,5 % (1644,91 Ha) mješovitim hrastovo-grabovim šumama i čistim grabovim šumama. Oko 16,5 % (1557,48 Ha) područja prekrivaju mezofilne i vlažne livade s manjim šumskim površinama, a 8 % ukupne površine (759,39 Ha) čine vlažne livade (RADOVIĆ et al., 2006).

Sredinom područja protječe rijeka Odra koja je relativno čista, ali, s obzirom na veliku debljinu slabopropusnog pokrivača vodonosnika, nema utjecaja na kakvoću podzemne vode.



Slika 5.4. Obradene poljoprivredne površine uz željezničku prugu i zapadno od državne ceste D30 u području Lekenika i između državne ceste D30 i željezničke pruge u zoni kod sela Greda.



Slika 5.5. Obradene poljoprivredne površine uz rijeku Savu na području između Desnog Željeznog i Desnog Trebarjeva.

Na tom području nema aktivnih, povremenih niti potencijalnih izvora onečišćenja podzemne vode (slika 5.4, slika 5.5).

Najveći dio naselja nema izgrađene sustave odvodnje otpadnih voda. Otpadne vode koje nastaju u jednom naselju sastoje se od otpadnih voda iz domaćinstava i oborinskih voda koje se slijevaju s prometnih i drugih površina. Otpadne vode iz domaćinstava čini fekalna voda i sanitarna voda koja ostaje nakon pranja. Zbog fekalija, ostataka sredstava za pranje i različite prljavštine, te su vode opterećene različitim štetnim sastojcima (foto 6, foto 7, foto 23, foto 24).



Foto 23. Odvod lokalne kanalizacije u vodotok Mala Buna u istoimenom naselju.



Foto 24. (detalj) Odvod lokalne kanalizacije u vodotok Mala Buna u istoimenom naselju.

Prosječni sastav otpadnih voda iz domaćinstava prikazan je u tablici 13.

Tablica 13. Prosječni sastav otpadnih voda iz domaćinstava (BOUWER, 1978).

Sastojak	Prosječna koncentracija u otpadnoj vodi (mg/l)	Porast koncentracije u odnosu na pitku vodu (mg/l)
Organska tvar	100	97
BPK	110	110
Natrij	135	70
Kalij	15	10
Amonijak (kao N)	40-80	40-80
Kalcij	60	15
Magnezij	25	7
Kloridi	135	75
Nitrati (kao N)	6	5
Nitriti (kao N)	0,6	0,6
Karbonati	300	100
Sulfati	100	30
Silikati	50	15
Fosfati	10-30	10-30
Tvrdoća (CaCO ₃)	270	70

Uz navedene sastojke otpadne vode iz domaćinstava sadrže u manjim koncentracijama i metale, enzime, hormone, fenole i druge, pretežito organske spojeve.

Osim toga otpadne vode iz domaćinstava sadrže brojne patogene mikroorganizme. Tako se u jednoj litri obično nalazi do 10 fekalnih koliformnih bakterija i 1 do 500 virusnih jedinica (BOUWER, 1978). Među patogenim bakterijama najznačajnije su one iz grupe Salmonella (uzročnik tifusa) i Shigella (uzročnik dizenterije). Od virusa su najznačajniji enterovirusi, reovirusi, rotavirusi, adenovirusi i hepatitis virusi. Oni prouzrokuju različite želučane i crijevne bolesti, bolesti respiratornog trakta, paralizu, meningitis i zaraznu žuticu.

Otpadne vode koje nastaju nakupljanjem i otjecanjem oborinskih voda s prometnih površina sadrže, uz suspendirane čestice, mineralna ulja i fenole.



U naseljima bez izgrađenog sustava odvodnje otpadnih voda, odvodnja je riješena putem sabirnih ili individualnih septičkih jama. Poseban je problem onečišćenja tehnološkim otpadnim vodama manjih gospodarskih proizvodno-poslovnih pogona. Ako su septičke jame pravilno projektirane i ako se redovito prazne i sadržaj odvozi u kanalizacijsku mrežu i/ili uređaje za pročišćavanje niti one ne predstavljaju opasnost za kvalitetu podzemne vode. No, ako to nije slučaj one su točkasti izvori onečišćenja i lokalno može doći do onečišćenja podzemne vode.

Dakle, za cijelo istraživano područje može se zaključiti da je podzemna voda, s obzirom na hidrogeološke značajke, naseljenost, komunalnu i prometnu infrastrukturu i gospodarske aktivnosti, malo ugrožena, a posebno ako se to gleda u odnosu na „glavni“ dio zagrebačkog vodonosnika.

5.3. Stanje zaštite podzemne vode

Istraživano područje u cijelosti pripada vodnom području rijeke Dunav. Temeljem Odluke o određivanju osjetljivih područja ("Narodne novine" broj 81/10), vodno područje rijeke Dunav definirano je kao sliv osjetljivog područja.

Prema Zakonu o vodama ("Narodne novine" broj 153/09, 63/11, 130/11), osjetljiva područja su područja na kojima je zbog postizanja ciljeva kakvoće voda potrebno provesti višu razinu ili viši stupanj pročišćavanja komunalnih otpadnih voda u odnosu na propisane granične vrijednosti emisija otpadnih voda. Sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda ("Narodne novine" broj 87/10), komunalne otpadne vode prije ispuštanja u vode u osjetljivom području pročišćavaju se trećim (III) stupnjem pročišćavanja za ispuštanja iz aglomeracije s opterećenjem većim od 10.000 ES. Prema istom Pravilniku, treći (III) stupanj pročišćavanja je obrada komunalnih otpadnih voda postupkom kojim se uz drugi (II) stupanj pročišćavanja još dodatno uklanja fosfor za 80 % i/ili dušik za 70-80 %.

Prema Strategiji upravljanja vodama („Narodne novine“ broj 91/08), uspješnost zaštite voda iz točkastih izvora onečišćenja izravno ovisi o izgrađenosti sustava javne odvodnje koji je definiran kao sustavno i organizirano sakupljanje otpadnih voda, pročišćavanje i ispuštanje u prijamnik, te obrada mulja koji nastaje u procesu pročišćavanja. S druge strane, uspješnost zaštite voda od raspršenih izvora onečišćenja ovisi o učinkovitosti mjera kontrole kretanja i korištenja opasnim tvarima i hranjivima, te mjera zaštite koje se provode na drugim izvorima onečišćenja (otpad, onečišćenje zraka, oborinske vode). U točkaste izvore uključena su onečišćenja iz sustava odvodnje otpadnih voda te iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda,



a ubrojena su sva naselja i gospodarski proizvodno-poslovni sadržaji, koje je moguće svesti na jednu točku upuštanja onečišćene vode u prijamnik. Raspršene izvore onečišćenja čine onečišćenja na tlu ili u tlu, koja oborinskim otjecanjem dolaze u vode (prometnice bez sustava kontrolirane odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda, naselja bez izgrađenog ili s djelomično izgrađenim sustavom odvodnje otpadnih voda, poljoprivredna proizvodnja, odlagalište otpada).

Za naselja Općine Stupnik i za naselja koja pripadaju Gradu Zagrebu, zbrinjavanje otpadnih voda obavlja Zagrebački holding, odnosno Vodoopskrba i odvodnja d.o.o.

Za Grad Veliku Goricu, Općinu Orle te dio naselja Općina Kravarsko i Pokupsko donesena je Odluka o odvodnji otpadnih voda („Glasnik Zagrebačke županije“ broj 4/07). Odlukom o odvodnji otpadnih voda uređuje se način odvodnje i lokacije ispuštanja otpadnih i oborinskih voda, obaveza priključenja na sustav javne odvodnje otpadnih i oborinskih voda, uvjeti i način ispuštanja otpadnih i oborinskih voda na područjima na kojima nije izgrađen takav sustav, obaveza posebnog odlaganja i odstranjivanja opasnih i drugih tvari, granične vrijednosti opasnih i drugih tvari koje se ispuštaju u sabirne jame te obaveza održavanja sustava javne odvodnje otpadnih i oborinskih voda. Ovom Odlukom o odvodnji, zabranjeno je otpadne i oborinske vode ispuštati putem upojnih bunara u podzemlje. Sustavom javne odvodnje otpadnih voda, otpadne vode dovode se do uređaja za pročišćavanje, pročišćavaju i ispuštaju u prijemnik. Na području na kojem nije izgrađen sustav javne odvodnje, otpadne vode se moraju odvoditi u sabirne jame. Oborinske vode trebaju se ispuštati u vodotoke (staro korito potoka Lomnica, te potok Želin i Bapča), melioracijske kanale te po terenu u okviru čestice, te se ne smiju ispuštati u sabirne jame. Odlukom također je definirano da će se otpadne vode s područja tzv. Donjeg Turopolja pročišćavati putem privremenih komunalnih uređaja za pročišćavanje i ispuštati u prijemnike (potoke Bunu i Vranić te u odteretni kanal Sava-Odra), a u konačnici će se kolektorima dovesti do uređaja za pročišćavanje u Veleševcu na području Općine Orle, te ispuštati u rijeku Savu.

Odlukom o donošenju Prostornog plana uređenja Općine Lekenik (SLUŽBENI VJESNIK br. 17 od 12.04.2006) propisano je da se sanitarne otpadne vode iz domaćinstva u naseljima bez kanalizacije moraju se prikupljati u nepropusnim sabirnim armirano-betonskim jamama zatvorenog tipa, koje omogućavaju lako povremeno pražnjenje djelomično pročišćene otpadne vode i odvoz u zatvorenim posudama na mjesto ispusta koje odredi sanitarna inspekcija. Također je propisano da se pražnjenje sabirnih jama može vršiti odvozom i ispustom na poljoprivredne površine.



Tom odlukom je propisano i da podovi u stajama i svinjcima moraju biti nepropusni za tekućinu i imati rigole za odvodnju osoke u gnojišnu jamu. Dno i stjenke gnojišta do visine od 0,5 m iznad terena moraju biti izvedeni od nepropusnog materijala. Sva tekućina iz staja, svinjaca i gnojišta mora se odvesti u jame ili silose za osoku i ne smije se razlijevati po okolnom terenu. Jame i silosi za osoku moraju imati siguran i nepropustan pokrov, te otvore za čišćenje i zračenje. U pogledu udaljenosti od ostalih građevina i naprava, za jame i silose za osoku vrijede jednaki propisi kao i za gnojišta.

Svi gospodarski pogoni, te poljoprivredna gospodarstva i farme trebaju imati izveden sustav odvodnje, koji onemogućuje izlivanje i prodiranje u tlo otpadnih voda. Do izvedbe sustava odvodnje i uređaja za pročišćavanje u naseljima, zaštita i predtretman moraju se izvesti na samoj lokaciji, putem nepropusnih građevina i odvoza taložnog mulja i otpada.

Odlukom o donošenju izmjena i dopuna Odluke o donošenju Prostornog plana uređenja Općine Martinska Ves (SLUŽBENI VJESNIK br. 13 od 28.03.2013) propisano je da se sve otpadne vode prije ispuštanja u recipijent moraju tretirati na način koji će najučinkovitije ukloniti sve štetne posljedice za okolinu, prirodu i recipijent. Radi sprječavanja zagađenja podzemnih i površinskih voda, nužna je izgradnja sustava kanalizacije, te odvodnje i obrade otpadnih voda svih naselja Općine Martinska Ves. Sanitarne otpadne vode iz domaćinstva u naseljima bez kanalizacije moraju se prikupljati u nepropusnim sabirnim armirano-betonskim jamama zatvorenog tipa, koje omogućavaju lako povremeno pražnjenje djelomično pročišćene otpadne vode i odvoz u zatvorenim posudama na mjesto ispusta koje odredi sanitarna inspekcija. Pražnjenje sabirnih jama može se vršiti odvozom i ispustom na poljoprivredne površine. Podovi u stajama i svinjcima moraju biti nepropusni za tekućinu i imati rigole za odvodnju osoke u gnojišnu jamu, a dno i stjenke gnojišta do visine od 0,5 m iznad terena moraju biti izvedeni od nepropusnog materijala. Sva tekućina iz staja, svinjaca i gnojišta mora se odvesti u jame ili silose za osoku i ne smije se razlijevati po okolnom terenu, jame i silosi za osoku moraju imati siguran i nepropustan pokrov, te otvore za čišćenje i zračenje. U pogledu udaljenosti od ostalih građevina i naprava, za jame i silose za osoku vrijede jednaki propisi kao i za gnojišta. U određenom vremenu potrebno je planirati i izgradnju kanalizacijske mreže i manjih (bioloških) uređaja za obradu otpadnih voda svih naselja Općine Martinska Ves, a konačno rješenje za sva naselja treba predvidjeti u skladu s odrednicama koje će se definirati Studijom ili idejnim rješenjem otpadnih voda, koju je moguće izraditi i za pojedinačna naselja. Tim studijama treba predvidjeti takav sustav odvodnje kojim će se prema kategorizaciji vodotoci zadržati na razini zahtijevane kategorije.



Otpadne vode iz naselja Žažina, Greda, Stupno i Sisačka Odra zbrinjava *SISAČKI VODOVOD d.o.o.* za opskrbu pitkom vodom, odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda pražnjenjem septičkih jama i odvoženjem u kanalizacijski sustav Siska. Konačno će se problem riješiti projektom izgradnje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda grada Siska čija je realizacija dogovorena Dvostranim sporazumom između Republike Hrvatske i Europske komisije 11.09.2012. Projekt će se provoditi u razdoblju od 2012. do 2015. godine, a uključivat će radove na izgradnji i rekonstrukciji sustava javne odvodnje, uključujući i izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koji je predviđen za 60.000 stanovnika.



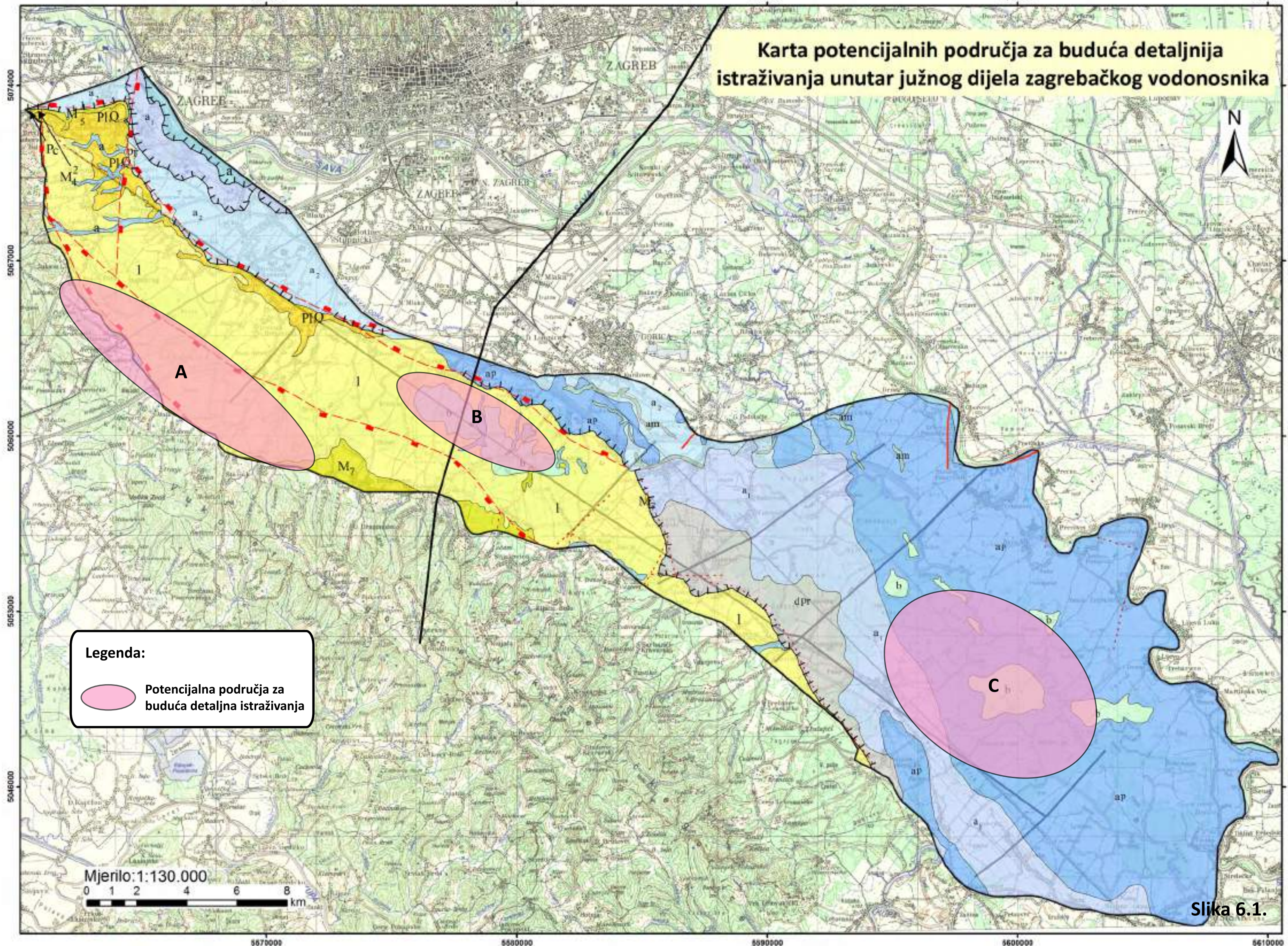
6. ZAKLJUČAK

Predmet ove studije bio je južni i jugoistočni dio zagrebačkog vodonosnika tj. područje koje je na sjeveru-sjeveroistoku omeđeno potokom Starča i kanalom Sava-Odra do Mraclina, a zatim crtom Mraclin-Veleševac, na istoku rijekom Savom od Veleševca do Strelečkog, na jugu crtom Strelečko-Žažina i na zapadu-jugozapadu sjeveroistočnim obroncima Vukomeričkih gorica.

Južni dio zagrebačkog vodonosnika na dijelu područja između Kerestince na sjeverozapadu i Mraclina na jugoistoku čine klastični sedimenti Stupničke terase koji bočno prelaze u naslage gornje paludinskih slojeva koji izgrađuju sjeverne padine Vukomeričkih gorica. Vodonosne naslage su, bez obzira na genezu, krupnoklastične tj. šljunkovito-pjeskovite do pjeskovito-šljunkovite s glinovitim i/ili glinovito-prašinstim proslojcima i/ili ulošcima koji nemaju kontinuirano veće prostiranje, te da ne utječu bitno na hidrauličke odnose unutar vodonosnika. Debljina vodonosnih naslaga se mijenja idući od zapada prema istoku i od sjevera prema jugu. Tako su u području Stupničkog Obreža, Gornjeg i Donjeg Stupnika, Hrvatskog Leskovaca i Zadorskog one debele 15 do 20 m, u području Obreža debljina se povećava na 20, pa 30 m. Ukupna debljina vodonosnika raste i dalje idući prema jugoistoku i to na 40 do 45 m kod Turopoljske Petrovine, odnosno na 50 do 60 m kod Mraclina (slika 6.1., elipsa B). Vodonosnik je saturiran podzemnom vodom, koja prema kartama hidroizohipsa teče od sjeverozapada prema jugoistoku. Realni smjer tečenja podzemne vode najvjerojatnije se, idući prema Vukomeričkim goricama (slika 6.1., elipsa A), mijenja i odvija se od zapada prema istoku, odnosno prema „glavnom“ dijelu vodonosnika, no to karte hidroizohipsa, zbog malog broja piezometara i njihovog smještaja u graničnoj zoni s „glavnim“ dijelom vodonosnika ne pokazuju. Tako u tom dijelu 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. S obzirom na to, ovo područje treba preventivno štiti.

Jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac teren je u gornjem dijelu izgrađen od aluvijalnih naslaga koje leže na, ili su u bočnom kontaktu sa, starijim jezersko-barskim sedimentima. Tamo gdje su ti sedimenti krupnozrnatiji, tj. šljunkovito-pjeskoviti, saturirani su podzemnom vodom i s aluvijalnim naslagama čine hidrauličku cjelinu. Riječ je o šljunkovito-pjeskovitom vodonosnom horizontu vrlo sličnih litoloških i hidrogeoloških značajki „glavnom“ dijelu zagrebačkog vodonosnika prema kojem nema čvrste litološke granice već se idući prema jugoistoku postupno smanjuje veličina zrna šljunaka, povećava se udio pijesaka i raste lateralna i vertikalna heterogenost vodonosnih naslaga.

Karta potencijalnih područja za buduća detaljnija istraživanja unutar južnog dijela zagrebačkog vodonosnika





Debljina veća od 50 m registrirana je duž desetak kilometara širokog poteza između Mraclina na zapadu i Posavskog Stružeca na istoku (slika 6.1., elipsa B). Južno od te crte debljina vodonosnika opada tako da kod Buševca iznosi oko 45 m, Peščenice 40 m, Lekenka 30 m, a najmanja je, samo desetak metara, oko 6 do 7 km istočno-sjeveroistočno od Lekenika, odnosno oko 3 km zapadno-jugozapadno od Desnog Željeznog. Južno i jugoistočno od tog područja debljina vodonosnih naslaga ponovno nešto raste, pa kod Grede iznosi oko 35 m, a kod Kaptola između 15 i 20 m. Vodonosnik je saturiran podzemnom vodom, koja je u južnom dijelu Odranskog polja, u uvjetima ekstremno visokih voda, pod tlakom. Na području Odranskog polja, za vrijeme niskih razina podzemna voda teče od jugozapada prema sjeveroistoku, tj. prema Savi. Lokalno, zbog meandriranja Save, u području između Suše (Jezera Posavskog) i Trebarjeva Desnog, tok podzemne vode za niskih vodostaja odvija se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. od uzvodnog prema nizvodnom meandru Save. Za visokih voda u području između Dreneka i Stružeca Posavskog podzemna voda teče od sjevera-sjeveroistoka prema jugu-jugozapadu, tj. prema Odri, što znači da u uvjetima visoke razine podzemne vode Sava intenzivno napaja vodonosnik. U ostalom dijelu Odranskog polja visoke razine podzemne vode su ujednačenije nego što je to slučaj s niskim razinama. Osim dotocima iz Save tijekom visokih vodostaja, zalihe podzemne vode se obnavljaju i dotokom iz „glavnog“ dijela vodonosnika, dotokom iz područja Vukomeričkih gorica i neposrednom infiltracijom oborina tako da se obnovljive zalihe podzemne vode u prirodnim uvjetima mogu procijeniti na oko $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$ ili s oko $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ vode. To ukazuje na mogućnost eksploatacije značajnih količina podzemne vode.

O kvaliteti podzemne vode na sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja, tj. za područje između Kerestince i Mraclina (slika 6.1., elipsa C) uopće nema vjerodostojnih podataka. Niti se na području jugoistočno od crte Mraclin-Veleševac kvaliteta podzemne vode ne prati sustavno. Postoje sporadični podaci stari i više desetljeća za dio vodonosnika u zoni Peščenice, te za područje Žabnog i Strelečkog, koji pokazuju da podzemna voda prirodno sadrži povećane koncentracije mangana, željeza i amonijaka u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije za pitku vodu, što je posljedica sedimentacijskih uvjeta. Zbog potencijalno loše prirodne kvalitete podzemne vode u slučaju njezine eksploatacije za potrebe vodoopskrbe, treba računati na njezinu preradu.

Podzemna voda je relativno dobro zaštićena od utjecaja s površine zbog debljine i karakteristika površinskog pokrivača, relativno slabe naseljenosti i korištenja prostora. Ipak, najveći potencijalni problem je ne postojanje sustava za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda.



7. LITERATURA

AREA URBIS d.o.o. (2011): Studija o utjecaju na okoliš-Eksploatacija građevnog pijeska i šljunka na eksploatacijskom polju „Gornjak“, Sisak.

Bačani A. & Šparica M. (2001): Geology of the Zagreb Aquifer System. International Congress of the Geological Society of Greece, Athena.

Bačani, A., Posavec, K., Nakić, Z., Perković, D., Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Parlov, J. i 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.

Basch, O., (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 list Ivanić-Grad (L33-96). Savezni geološki zavod, Beograd.

Blašković I. & Dragičević I. (1998): Studija prostornog rasporeda i geometrije sedimentnih tijela i njihov utjecaj na hidrogeološke odnose na području lijeve i desne obale Save od Bregane do Rugvice.

Bonacci, O., Trninić, D., (1986): Analiza uzroka i prognoza promjena vodostaja Save i nivoa podzemnih voda u okolici Zagreba. Vodoprivreda, 18(2-3), 95-101.

Bortek, Ž. i drugi (2009): Elaborat o rezervama građevnog pijeska i šljunka u istražnom prostoru „Gornjak“, Fond stručnih dokumenata Ceste Sisak d.o.o., Zagreb

Bouwer, H. (1978): Ground Water Hydrology. New York:McGraw-Hill. 480 pp.

DHMZ (1995): Preliminarni hidrogeološki izvještaj za projektiranje HES Strelečko.

Feldbauer, B. (2004): Leksikon naselja Hrvatske. 443 str, Mozaik knjiga, Zagreb



Gajić-Čapka, M., Likso, T., Patarčić, M., Perčec-Tadić, M., Lidija Srnec, L., Vučetić, M. i Zaninović, K. (2004): Nacionalni program ublažavanja posljedica suša i suzbijanja oštećenja zemljišta (nap), tematsko područje-klima, izvješće za 2004. godinu, *Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.*

Goluža, D. Kovačević-Zelić, B., Dragičević, I., Mayer, D. i Sokolović-Šmitran, N. (2006): Studija o utjecaju na okoliš potencijalnog eksploatacijskog polja na istražnom prostoru Pepelinka kod Vukojevca, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za rudarstvo i geotehniku, Zagreb.

Hernitz, Z., Velić, J., Kranjec, V. and Nadjenovski, J. (1980): Prikaz diferencijalnih maloamplitudnih struktura s primjerima iz Savske potoline (Panonski bazen), *Nafta*, 12, 7-8, 399-409.

Kisić, I. (2012): Sanacija onečišćenog tla. Sveučilišni udžbenik, 276 str., Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Larva O. (2002): Mogućnosti eksploatacije podzemne vode iz aluvijalnog vodonosnika između Zagreba i Siska. Magistarski rad, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Pešt, D., Salković, A., Prevolnik, R. i Šlogar, S. (2008): Istražni prostor Gornjak–Ležište pijeska i šljunka Vukojevac–Geofizička istraživanja Moho d.o.o., Zagreb.

Pikija, M. i dr. (1986): Osnovna geološka karta M 1:100 000 i Tumač, List Sisak (1 33-93), Geološki zavod, Zagreb.

Posavec K. (2006): Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja. Doktorska disertacija, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Radovic, J. i dr. (2006): Sisačko-moslavačka županija Studija zaštite prirode, DZZP, Zagreb.



Romić, D. i dr. (2006). Plan navodnjavanja poljoprivrednih površina i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama za područje Zagrebačke županije Grada, 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 (izrađivač: Agroekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Zagreb L 33-80, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.

Urumović, K., HERNITZ, Z., Šimon, J., Velić, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih te gornjo i srednjopleistocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. Zbornik radova IV. Jugosl. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 1, 395-410, Skoplje.

Urumović K., Hlevnjak B., Vodopija M. (1995): Studija o preliminarnoj analizi mogućnosti interventnih zahvata podzemnih voda na lokalitetima Kupa, Pogorelec i Žabno.

Urumović K., Dragičević I., Hlevnjak B., Vodopija M. (1995): *Studija o istraženosti lokacije potencijalnog crpilišta Peščenica.*

Velić, J. & Saftić, B. (1991): Subsurface Spreading and Facies Characteristics of Middle Pleistocene Deposits between Zaprešić and Samobor. -Geol. vjesnik, 44, 69-82, Zagreb.