

# Identifikacija minimalnih razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

---

Jagar, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:898959>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-20**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**IDENTIFIKACIJA MINIMALNIH RAZINA PODZEMNE VODE  
SAMOBORSKO-ZAPREŠIČKOG VODONOSNIKA**

Diplomski rad

Marko Jagar

GI-224

Zagreb, 2017.

*Ovim putem zahvalio bih se voditelju izv. prof. dr. sc. Kristijanu Posavcu na korisnim savjetima i pruženoj pomoći.*

IDENTIFIKACIJA MINIMALNIH RAZINA PODZEMNE VODE SAMOBORSKO-  
ZAPREŠIČKOG VODONOSNIKA

MARKO JAGAR

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko- geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Predmet istraživanja ovog rada je samoborsko-zaprešički otvoreni vodonosnik koji je građen od aluvijalnih kvartarnih naslaga međuzrnske poroznosti izrazito visoke hidrauličke vodljivosti. Na području ovog vodonosnika postoji višegodišnji kontinuirani negativan trend razina podzemne vode, pri čemu u sušnim razdobljima, razina podzemne vode pada ispod kote gornjeg ruba filtra pojedinih zdenaca na vodocrpilištima Bregana, Strmec i Šibice. Analizom podataka o povijesnim razinama podzemne vode u razdoblju od 6. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine na području vodocrpilišta Bregana i Strmec i u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine na području vodocrpilišta Šibice, kreirani su nivogrami zdencima referentnih piezometara koji su uspoređivani s kotama gornjeg ruba filtra u zdencima. Analizom su identificirani zdenac i vrijeme u kojem u istraživanom razdoblju razina podzemne vode u periodu recesije najprije dosegne kotu gornjeg ruba filtra, stoga su minimalne razine podzemne vode samoborsko-zaprešičkog vodonosnika identificirane sukladno koti gornjeg ruba filtra zdenca B1 na vodocrpilištu Bregana koja iznosi 129,5 m n. m., a postignute su 5. 8. 1992. godine. Kao krajnji rezultat prikazana je karta ekvipotencijala koja prikazuje stanje razina podzemne vode samoborsko-zaprešičkog vodonosnika na dan 5. 8. 1992. godine.

Ključne riječi: samoborsko-zaprešički vodonosnik, negativan trend, nivogrami, period recesije, minimalne razine podzemne vode, referentni piezometri, kote gornjeg ruba filtra.

Diplomski rad sadrži: 45 stranica, 8 tablica, 25 slika, 2 priloga i 10 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec  
Prof. dr. sc. Andrea Bačani  
Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Datum obrane: 17. veljače 2017.

IDENTIFICATION OF MINIMUM GROUND WATER LEVELS OF THE SAMOBOR-  
ZAPREŠIĆ AQUIFER

MARKO JAGAR

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

Abstract

The subject of research of this thesis is the Samobor-Zaprešić unconfined aquifer, which is made of alluvial quaternary sediments that are characterized by intergranular porosity and significantly high values of hydraulic conductivity. Aquifer's area is characterized by continuous multiannual negative trend of ground water levels, which combined with dry recession periods causes decrease of the ground water levels below top screen elevation in particular pumping wells at well fields Bregana, Strmec and Šibice. The analysis of historical ground water levels data in the period from 6<sup>th</sup> August 1981 to 1<sup>st</sup> October 2015 in the area of Bregana and Strmec well fields and in the period from 1<sup>st</sup> March 1982 to 1<sup>st</sup> October 2015 in the area of the Šibice well field, resulted in creation of ground water hydrographs of referent observation wells. They were compared to top screen elevations. The analysis identified time point and the pumping well in which, during recession periods, the water table first reaches the top screen elevation. Minimum ground water levels of Samobor-Zaprešić aquifer were determined according to top screen elevation at the B1 pumping well at the Bregana well field, with value of 129.5 meters above sea level and it was first reached on the 5<sup>th</sup> August 1992. A map that shows the condition of groundwater levels determined on the 5<sup>th</sup> August 1992 at the Samobor-Zaprešić aquifer area was created as the final result of the analysis.

Keywords: Samobor-Zaprešić's aquifer, negative trend, hydrographs, recession period, minimum ground water levels, referent observation wells, top screen elevations.

Thesis contains: 45 pages, 8 tables, 25 figures, 2 appendixes and 10 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Associate Professor Kristijan Posavec, PhD

Reviewers: Associate Professor Kristijan Posavec, PhD  
Full Professor Andrea Bačani, PhD  
Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Date of defense: February 17, 2017

## Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Istraživano područje.....	4
2.1. Opći podaci .....	4
2.2. Geološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika .....	5
2.3. Hidrogeološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.....	10
3. Korišteni podaci.....	12
4. Analiza povijesnih minimalnih razina Podzemne vode.....	15
4.1. Identifikacija minimalnih razina podzemne vode na vodocrpilištima na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika (Bregana, Strmec i Šibice).....	16
4.1.1. Vodocrpilište Bregana .....	16
4.1.2. Vodocrpilište Strmec .....	20
4.1.3. Vodocrpilište Šibice.....	26
4.2. Identifikacija povijesnih minimalnih razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika u cjelini.....	34
4.3. Karta ekvipotencijala razina podzemne vode na dan 5. 8. 1992. g.....	35
5. Diskusija .....	37
6. Zaključak .....	40
7. Literatura.....	42

## Popis slika u tekstu:

Slika 2.1. Položaj samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.....	4
Slika 2.2. Isječak geološke karte na području samoborskog vodonosnika. OGK List Zagreb, M 1:100 000 (Šikić i dr., 1978).....	6
Slika 2.3. Shematski prikaz odnosa litofacijesa (preuzeto iz Blašković i Dragičević, 1989). .....	8
Slika 2.4. Shematski profil samoborsko-zaprešićkog vodonosnika (preuzeto iz Posavec, 2006).....	10
Slika 3.1. Piezometarska mjerenja pohranjena u Excel datoteci. ....	13
Slika 4.1. Situacija vodocrpilišta Bregana.....	16
Slika 4.2. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B1 i nivograma piezometra 447 udaljenog od zdenca 122 m. ....	17
Slika 4.3. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B2 i nivograma piezometra 449 udaljenog od zdenca 275 m. ....	18
Slika 4.4. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B3 i nivograma piezometra 464 udaljenog od zdenca 175 m. ....	18
Slika 4.5. Situacija vodocrpilišta Strmec.....	20
Slika 4.6. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B4 i nivograma piezometra 494 udaljenog od zdenca 128 m. ....	21
Slika 4.7. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B5 i nivograma piezometra 494 udaljenog od zdenca 147 m. ....	22
Slika 4.8. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B6 i nivograma piezometra 494 udaljenog od zdenca 372 m. ....	22
Slika 4.9. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B7 i nivograma piezometra 482 udaljenog od zdenca 473 m. ....	23
Slika 4.10. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B8 i nivograma piezometra 482 udaljenog od zdenca 304 m. ....	23
Slika 4.11. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B9 i nivograma piezometra 482 udaljenog od zdenca 232 m. ....	24
Slika 4.12. Situacija vodocrpilišta Šibice. ....	26
Slika 4.13. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B0 i nivograma piezometra 704 udaljenog od zdenca 66 m. ....	28

Slika 4.14. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B1 i nivograma piezometra 710 udaljenog od zdenca 115 m. ....	28
Slika 4.15. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B2 i nivograma piezometra 704 udaljenog od zdenca 166 m. ....	29
Slika 4.16. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B3 i nivograma piezometra 710 udaljenog od zdenca 106 m. ....	29
Slika 4.17. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B4 i nivograma piezometra 707 udaljenog od zdenca 4 m. ....	30
Slika 4.18. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B5 i nivograma piezometra 707 udaljenog od zdenca 138 m. ....	30
Slika 4.19. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B6 i nivograma piezometra 702 udaljenog od zdenca 275 m. ....	31
Slika 4.20. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B7 i nivograma piezometra 702 udaljenog od zdenca 339 m. ....	31



## **Popis tablica u tekstu:**

Tablica 4.1. Tehnički podaci zdenaca na vodocrpilištu Bregana. ....	17
Tablica 4.2. Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Bregana. ....	19
Tablica 4.3. Tehnički podaci zdenaca na vodocrpilištu Strmec. ....	21
Tablica 4.4. Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Strmec. ....	25
Tablica 4.5. Tehnički podaci zdenaca na vodocrpilištu Šibice. ....	27
Tablica 4.6. Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Šibice. ....	33
Tablica 4.7. Identificirana minimalna razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika. ....	34
Tablica 4.8. Vodostaji virtualnih hidroloških postaja na rijeci Savi. ....	36

**Popis priloga:**

Prilog 1. Korišteni piezometri, hidrološke postaje i virtualne hidrološke postaje.

Prilog 2. Karta ekvipotencijala razina podzemne vode; Datum: 5. 8. 1992. godine.

**Popis korištenih veličina i odgovarajućih mjernih jedinica u tekstu:**

<b>Veličina</b>	<b>Mjerna jedinica</b>
Duljina	m
Nadmorska visina	m n. m. (metri nad morem)
Hidraulička vodljivost	m/dan

## 1. UVOD

Samoborsko-zaprešički vodonosnik je aluvijalni vodonosnik otvorenog tipa i međuzrnske poroznosti, a nalazi se između Bregane na zapadu, Podsuseda i Medvednice na istoku, Marijagoričkih brda na sjeveru i Žumberačko-Samoborskog gorja na jugu. Na području samoborsko-zaprešičkog vodonosnika razvijen je vodoopskrbni sustav kojim se zahvaća podzemna voda iz vodonosnika putem vodocrpilišta Bregana, Strmec i Šibice.

Kao i na području susjednog zagrebačkog vodonosnika, na području samoborsko-zaprešičkog vodonosnika postoji kontinuirani trend snižavanja razine podzemne vode. Na temelju navedenog pojavljuje se potreba za identifikacijom minimalnih razina podzemne vode s kojima vodocrpilišta mogu nesmetano funkcionirati, stoga su ovim radom analizirani vremenski nizovi podataka o razinama podzemne vode izmjereni u piezometrima na užim područjima vodocrpilišta Bregana, Strmec i Šibice s ciljem identifikacije minimalnih razina podzemne vode samoborsko-zaprešičkog vodonosnika u cjelini. Kako bi se navedeni cilj postigao određeni su zdencima referentni piezometri te su iz vremenskih nizova podataka o razinama podzemne vode kreirani nivogrami koji su zatim uspoređivani s kotama gornjih rubova najpliće smještenih filtara u zdencima spomenutih vodocrpilišta. Kao kriterij za određivanje referentnih piezometara određena je što manja udaljenost piezometra od zdenca te dostupnost podataka o mjerenim razinama podzemne vode, budući da za neke piezometre koji su zdencima bliži od referentnih nisu dostupni podaci o razinama podzemne vode ili su pak mjereni u prekratkom razdoblju zbog čega podaci o razinama podzemne vode nisu bili adekvatni za analizu.

Minimalna razina podzemne vode na svakom razmatranom vodocrpilištu određena je sukladno koti gornjeg ruba najpliće smještenog filtra zdenca, na čijoj je lokaciji razina podzemne vode najprije pala ispod kote gornjeg ruba filtra toga zdenca. Drugim riječima za sva tri istraživana vodocrpilišta dobiven je datum na koji je razina podzemne vode najprije pala ispod kote gornjeg ruba filtra nekog od pripadnih zdenaca. U sljedećem koraku je određena minimalna razina podzemne vode samoborsko-zaprešičkog vodonosnika u cjelini, identificiranjem na kojem je od promatranih vodocrpilišta najprije postignuta minimalna razina podzemne vode.

Kao krajnji rezultat kreirana je karta ekvipotencijala koja prikazuje stanje razina podzemne vode na području samoborsko-zaprešičkog vodonosnika na dan u kojem je razina podzemne vode dosegla identificiranu kotu gornjeg ruba filtra zdenca koja je

definirana kao reprezentativna za minimalne razine podzemne vode istraživanog vodonosnika.

Posavec (2006) u sklopu doktorske disertacije „*Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja*“, radi identifikaciju i prognozu minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja. Premda se ne radi o samoborsko-zaprešićkom vodonosniku navedeno istraživanje valja uzeti u obzir budući da se radi o identifikaciji minimalnih razina podzemne vode te je predmet istraživanja susjedni zagrebački vodonosnik s kojim je samoborsko-zaprešićki vodonosnik u hidrauličkom kontaktu na svojoj istočnoj granici. U disertaciji je uz identifikaciju minimalnih razina podzemne vode rađena i recesijska analiza koja je primijenjena na vremenske nizove razina podzemne vode u razdoblju od 1994. do 2003. godine. Recesijskom analizom dobivene su recesijske krivulje koje predstavljaju najčešću situaciju pražnjenja vodonosnika te je pomoću pripadnih regresijskih modela omogućena prognoza minimalnih razina podzemne vode, odnosno prognozirano je vrijeme u kojem su minimalne razine postignute. Identifikacijom minimalnih razina podzemne vode utvrđeno je da se one najprije postižu na vodocrpilištu Mala Mlaka u veljači 1987. godine (na lokaciji zdenca B-29 u iznosu od 101,5 m n. m.), zatim na vodocrpilištu Zapruđe u srpnju 1988. g. (na lokaciji zdenca BZ-3 u iznosu od 106,31 m n. m.) te naposljetku na vodocrpilištu Sašnjak u kolovozu 2000. g. (na lokaciji zdenca B-4 u iznosu od 100,58 m n.m.). Na vodocrpilištima Petruševac, Velika Gorica i Žitnjak, navodi se da na temelju prognoze recesijskom analizom, minimalne razine podzemne vode do 2012. g. nisu postignute.

Jelić (2009) u sklopu diplomskog rada „*Analiza trendova razina podzemne vode samoborskoga aluvijalnog vodonosnika*“ analizira trendove razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog aluvijalnog vodonosnika u razdoblju od 1976. do 2006. g., čime su identificirana područja vodonosnika s negativnim ili pozitivnim trendom. Regresijska analiza ukazala je na negativan trend, odnosno smanjenje razine podzemne vode na cjelokupnom području u istraživanom razdoblju. Negativni trend najizraženiji je uz sam tok rijeke Save te uz vodocrpilišta, a razlog tome je sniženje korita rijeke Save i crpljenje vode na vodocrpilištima.

Posavec et al. (2013), u sklopu projekta naslova „*Analiza utjecaja višenamjenskog hidrotehničkog sustava uređenja, zaštite i korištenja rijeke Save od granice s Republikom Slovenijom do Siska (Koncept sustava) na podzemne vode zagrebačkog i samoborsko-zaprešićkog vodonosnika*“, analiziraju kontinuirano snižavanje razine podzemne vode

zagrebačkog i samoborsko-zaprešićkog vodonosnika koje se kontinuirano prati još od sredine prošlog stoljeća, kada su počela opažanja od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) i današnjeg Zagrebačkog holdinga, podružnice Vodoopskrba i odvodnja te se promatra utjecaj konceptijskog rješenja uređenja i korištenja rijeke Save od Republike Slovenije do Siska na trend razina podzemne vode na istraživanom području. Kao uzroci generalnog opadanja razine podzemne vode navode se:

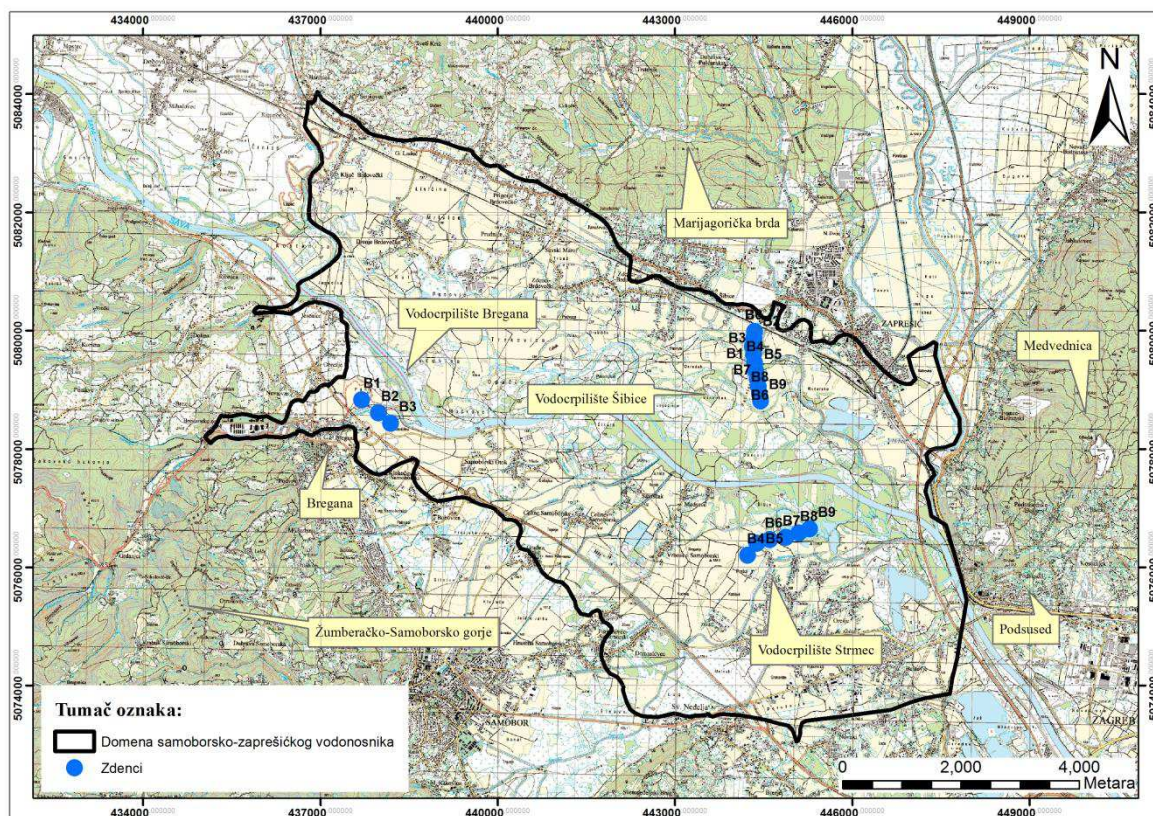
- 1) proces snižavanja korita rijeke Save koje je najvećim dijelom posljedica izgradnje pregrada i regulacijskih građevina na Savi uzvodno od Zagreba, regulacije pritoka i šljunčarenja iz korita rijeke Save
- 2) izgradnja nasipa za obranu od poplava duž rijeke Save koji su spriječili povremena plavljenja zaobalnog područja, a time i potencijalnu infiltraciju vode s poplavljenih područja u vodonosnike
- 3) sve veća eksploatacija podzemne vode za potrebe vodoopskrbe regije

Konceptijsko rješenje uređenja i korištenja rijeke Save od Republike Slovenije do Siska predstavlja rješenje kojim bi se u značajnoj mjeri utjecalo na podzemne vode samoborsko-zaprešićkog i zagrebačkog vodonosnika i osiguralo zaustavljanje negativnog trenda razine podzemne vode. Takva pretpostavka poduprta je analizama utjecaja postojeće vodne stepenice termoelektrane-toplane Zagreb (TE-TO) na razine podzemne vode, čiji su rezultati pokazali da povećanje razine podzemne vode zapadno od izgrađenih vodnih stepenica iznosi 0,2 do 4,9 m u odnosu na situaciju da nisu izgrađene, a utjecaj vodnih stepenica se najviše očituje u usporavanju negativnog trenda na vodocrpilištima. Zahvaljujući vodnim stepenicama TE-TO, Mala Mlaka koja je jedno od najvećih zagrebačkih vodocrpilišta, danas je još uvijek aktivno vodocrpilište.

## 2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

### 2.1. Opći podaci

Samoborsko-zaprešićki vodonosnik je aluvijalni vodonosnik otvorenog tipa koji se nalazi između Bregane na zapadu, Podsuseda na istoku, Marijagoričkih brda na sjeveru i Žumberačko-Samoborskog gorja na jugu (slika 2.1). Prostire se duž rijeke Save u dužini od oko 15 km i prosječne je širine oko 5 km. Rijeka Sava dijeli vodonosnik na lijevo i desno zaobalje. Na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika razvijen je vodoopskrbni sustav kojim se zahvaća podzemna voda iz vodonosnika putem vodocrpilišta Bregana za potrebe Grada Samobora i okolnih naselja, vodocrpilišta Strmec za potrebe Grada Samobora i dijela Grada Zagreba te vodocrpilišta Šibice za potrebe Grada Zaprešića i dijela Hrvatskog Zagorja (Bačani i Posavec, 2014).



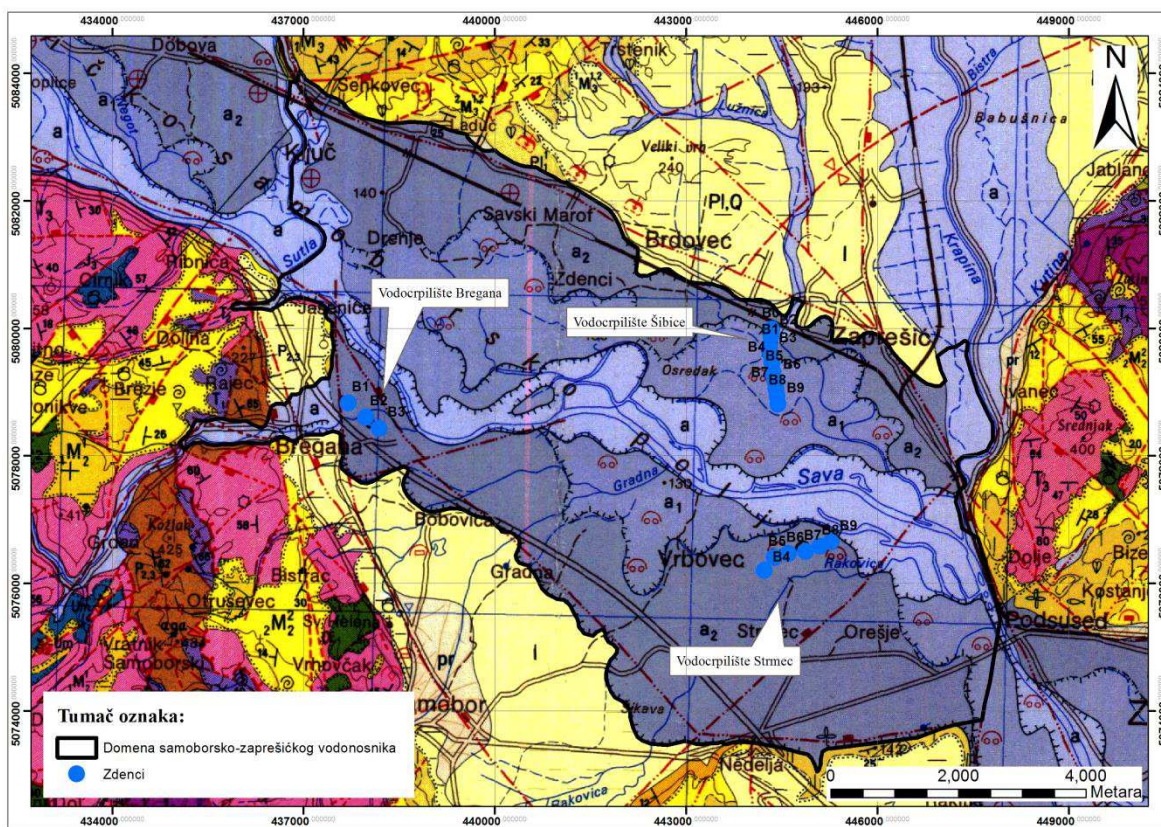
Slika 2.1. Položaj samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.

## 2.2. Geološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

Prema isječku Osnovne geološke karte 1:100 000 – list Zagreb (Šikić i dr., 1978) (slika 2.2), može se uočiti da je područje vodonosnika određeno površinskim rasprostranjem kvartarnih aluvijalnih naslaga koje su na sjeveru u kontaktu s nepropusnim pliokvartarnim naslagama lapora i laporovitih glina, vapnenačko laporovitim naslagama Marijagoričkih brda miocenske starosti i s propusnim aluvijalnim naslagama koje je istaložila rijeka Krapina. Na istoku, odnosno na području Podsuseda gdje je i granica između samoborsko-zaprešićkog i zagrebačkog vodonosnika, rasprostranjenost vodonosnih aluvijalnih naslaga na površini se sužava. Južna granica obilježena je kontaktom kvartarnih aluvijalnih naslaga s nepropusnim naslagama Samoborskog gorja. Zapadnu granicu čine kvartarne aluvijalne naslage koje je istaložila rijeka Sutla.

Unutar domene samoborsko-zaprešićkog vodonosnika na površini se mogu uočiti dvije riječne terase. Prema tumaču Osnovne geološke karte 1:100 000 – list Zagreb (Šikić i dr., 1979) to je stariji aluvijalni nanos druge savske terase ( $a_2$ ) i mlađi aluvijalni nanos prve savske terase ( $a_1$ ). Druga savska terasa pruža se cijelim potezom samoborsko-zaprešićkog vodonosnika duž toka rijeke Save. Na lijevom zaobalju pruža se od Ključa do Zaprešića, a na desnom zaobalju od Bregane do Podsuseda. Druga savska terasa sastoji se od izmjene krupnozrnatih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska u odnosu na šljunak povećava se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. u smjeru toka Save. Debljina ovih naslaga dosta varira jer su taložene nakon intenzivne erozije (na pojedinim lokacijama 6-12,5 m, a na drugim 40-45 m). Isto tako na debljinu ovih naslaga znatno su utjecali neotektonski pokreti koji su bili vrlo intenzivni u Savskoj dolini. Prva savska terasa pruža se od Drenja pa do Zaprešića na lijevom zaobalju rijeke Save, a na desnom zaobalju se nalazi na manjem području kod Vrbovca i istočno od Orešja. Nakon taloženja aluvijalnog nanosa druge savske terase uslijedila je faza erozije i denudacije, tj. Sava se je usjekla u vlastite sedimente. Prva savska terasa dominantno je građena od krupnozrnatog šljunka koji je pomiješan s pijeskom, dok su slojevi čistog pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Debljina aluvijalnog nanosa prve savske terase najčešće iznosi 10-25 m, a na pojedinim lokacijama i do 45 m. Neposredno uz tok rijeke Save može se uočiti aluvijalni nanos recentnih tokova Save ( $a$ ) u kojem prevladava krupnozrnati pijesak, dok je šljunak slabije zastupljen. Aluvijalni nanosi rijeke Krapine i Sutle ( $a$ ) nalaze se na rubnim dijelovima samoborsko-zaprešićkog vodonosnika i debljine su od 10-20 m. U gornjem dijelu prevladava glina, glinoviti silt i sitnozrnati pijesak, a u donjem šljunak pomiješan s glinom i pijeskom. U jugozapadnom

rubnom dijelu vodonosnika može se uočiti i potočni aluvij (a) koji je građen uglavnom od šljunaka i pijesaka, a debljina ovih naslaga ne prelazi 10 m.



Slika 2.2. Isječak geološke karte na području samoborskog vodonosnika. OGK List Zagreb, M 1:100 000 (Šikić i dr., 1978). Tumač oznaka: a – aluvij: šljunci, pijesci i gline; a<sub>1</sub> – najniža terasa: šljunci, pijesci, podređeno gline; a<sub>2</sub> – srednja terasa: šljunci i pijesci; pr – proluvij: šljunci, pijesci i gline; l – kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt; lb – barski les: siltozne gline; Pl,Q – šljunci, pijesci i gline (plioleistocen); Pl<sub>1</sub><sup>1</sup> – lapori, laporovite gline, podređeno pijesci, pješčenjaci, šljunci i konglomerati (donji pont); 2M<sub>3</sub><sup>1,2</sup> – vapnoviti lapori, podređeno pijesci, pješčenjaci, šljunci i konglomerati (gornji panon); 2M<sub>2</sub><sup>2</sup> – organogeni i bioklastični vapnenci, pješčenjaci, vapnoviti i glinoviti lapori (gornji torton); T<sub>3</sub> – dolomiti, podređeno vapnenci, dolomitični vapnenci i šejlovi; T<sub>2</sub> – dolomiti, podređeno vapnenci, dolomitični vapnenci i šejlovi.

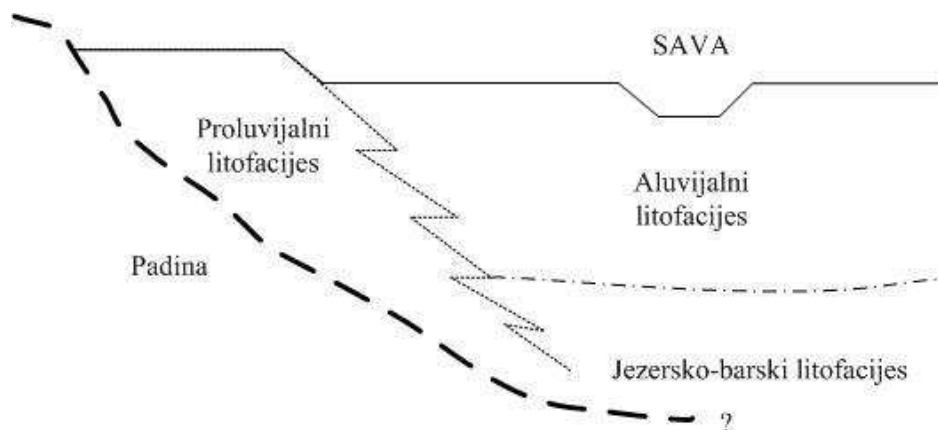
Samoborsko-zaprešićki vodonosnik čine naslage srednje i gornje pleistocenske starosti i naslage holocenske starosti. U podini vodonosnika se nalaze naslage gornjega pontja koje su zastupljene decimetarskim ili centimetarskim izmjenama glinovitog silta i sitnozrnatog, rjeđe srednjezrnatog, pijeska sive, sivosmeđe i sivoplavkaste boje. Na naslage gornjeg pontja istaložene su naslage srednjeg pleistocena koje čine loše sortirani šljunkovito krupnozrnati pijesak, prahovi i gline sivih i smeđih boja koji tvore tijelo slično



plankonveksnoj leći širine oko 200 m i debljine veće od 45 m. Povrh spomenutih naslaga istaloženi su vapnenački šljunci holocenske starosti. Područje samoborsko-zaprešićkog vodonosnika je tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena bilo jezersko i močvarno, a okolna gorja (Medvednica, Marijagorička brda i Žumberačko gorje) činila su kopno koje je bilo pod utjecajem intenzivne denudacije i erozije. Lokalno vertikalno neotektonsko izdizanje jednog manjeg neogenskog horsta i pojačana erozija rezultirali su nastankom žljebastih udubljenja orijentiranih približno po pravcu sjeveroistok-jugozapad s nagibom u smjeru sjeveroistoka. Erodirani materijal transportiran je potocima i taložen je u takvim lokalnim depresijama koje su postale močvare i/ili jezera. Njihovo trajanje se vjerojatno protezalo iz mindel/riss interglacijala i u riss sve dok glacijalni uvjeti nisu postali ekstremni. Nadalje zbog progresivnog zahlađenja i suše u rissu plitke slatkovodne površine presušuju. Hijatus traje i tijekom gornjeg pleistocena jer je upravo würmski glacijal najhladnije i najsušnije razdoblje kvartarnih oledbi uopće. Početkom holocena mijenja se klima i dolazi do naglog zatopljenja te započinje novi ciklus sedimentacije. Pritom dolazi do otapanja ledenjaka alpskih predjela što zajedno sa stanovitim tektonskim procesima omogućava proboj bujične rijeke Save i transport materijala s područja Alpa te genezu holocenskih aluvijalnih naslaga (Velić i Saftić, 1991). Transport materijala bio je promjenjivog intenziteta zbog čestih klimatskih promjena. Za vrijeme toplih i vlažnih razdoblja bio je intenzivniji u odnosu na hladna i suša razdoblja što je rezultiralo izrazitom heterogenošću i anizotropijom vodonosnika te neujednačenom debljinom naslaga. Najveće debljine vodonosnog sustava od 60 m registrirane su kod Strmca, a na pojedinim lokalitetima uz rubove debljine iznose od 5 do 10 m (Bačani i Posavec, 2014).

Prema (Blašković i Dragičević, 1989), na području lijeve i desne obale Save od Bregane do Rugvice mogu se izdvojiti 3 genetska tipa klastičnih sedimenata: *proluvijalni litofacijes*, *aluvijalni sedimentni kompleks* i *jezersko-barski litofacijes* (slika 2.3). *Proluvijalni litofacijes* nastao je sedimentacijom erodiranog materijala čije su izvorište okolna gorja, a karakteriziran je čestom izmjenom litoloških članova koje čine gline i leće šljunaka većih debljina i male horizontalne rasprostranjenosti. *Aluvijalni sedimentni kompleks* je formiran kao široko rasprostranjeni slijed klastičnih sedimenata meandriranjem toka rijeke Save i nalazi se lateralno uz proluvijalni litofacijes. Dominantno prevladava šljunak, a sadržani su i pijesci različitih granulacija sve do veličine praha. Debljina ovih naslaga lokalno iznosi i do 20 m (područje Strmca). *Jezersko-barski litofacijes* nalazi se u podini oba litofacijesa i postupno lateralno prelazi u donji dio proluvijalnog litofacijesa. Građen je od široko rasprostranjenog slijeda klastita koji je karakteriziran učestalom pojavom siltozno-

glinovitim sedimenata, praha, treseta te u dubljim predjelima lećama šljunaka, šljunaka-pijesaka, šljunaka-pijesaka-praha, s većim ili manjim primjesama gline. Naslage ovog litofacijesa nepravilnog su rasporeda i debljine što sugerira da su taložene u uvjetima izražene tektonske aktivnosti režimom sedimentacije proluvijalnih tvorevina.



**Slika 2.3. Shematski prikaz odnosa litofacijesa (preuzeto iz Blašković i Dragičević, 1989).**

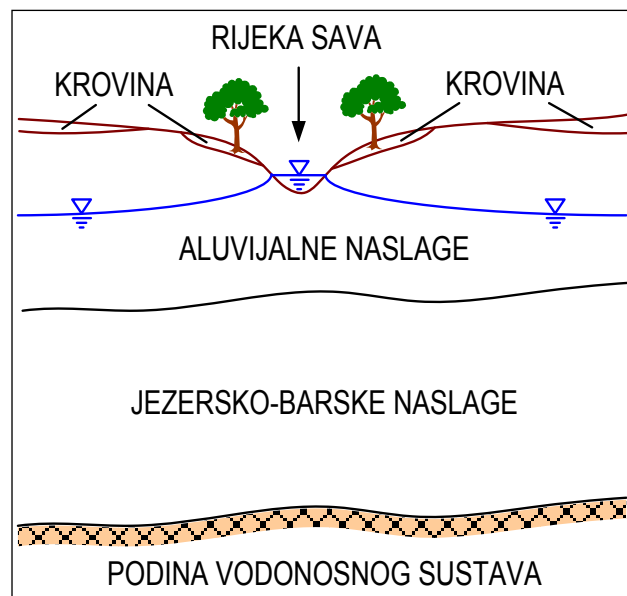
Prema tumaču Osnovne geološke karte 1:100 000-list Zagreb (Šikić i dr., 1979), recentni strukturno-tektonski odnosi na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika su uvjetovani tektonikom tijekom neogena i kvartara. Krajem pleistocena i početkom holocena u jugoistočnim padinama Medvednice i Žumberka, duž značajnih rubnih rasjeda dinaridskog pružanja (SZ-II), došlo je do spuštavanja blokova i djelomičnog razlamanja donjopleistocenskih struktura prostorne orijentacije sjeveroistok-jugozapad. Time su razorena i uzvišenja između Podsuseda i Sv. Nedelje. Istovremeno ili možda nešto kasnije, nastali su rasjedi protezanja sjever-jug, duž kojih su formirane doline donjeg toka Sutle i Krapine. Ta tektonska aktivnost uz razlamanje predtercijarnih stijena na današnjem prostoru Krške klisure, omogućila je prodor vodenih masa u netom formirane nizinske prostore Krškog polja, Brežičko-Samoborskog polja i Zagrebačke depresije te transport i taloženje aluvijalnog materijala. Uz bokove savske doline leže rasjedi koji kontroliraju stvaranje rubnih terasnih odsjeka nastalih urezivanjem vodenog toka u podlogu. Strukturna jedinica Krško i Brežičko-Samoborsko polje odvojena je od Zagrebačke depresije područjem utozulog uzvišenja između Podsuseda i Sv. Nedelje, odnosno podsusedskim pragom koji predstavlja barijeru između samoborsko-zaprešićkog i zagrebačkog vodonosnika.

Maksimalni horizontalni stres na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika je orijentacije S-J te uz desne tektonske pomake po rasjedima pružanja SZ-II te rotaciju i

pomak stijenskih masa Medvednice, Vukomeričkih gorica i Moslavačke gore, tvori aktivni transpresijski tektonski model. Mnogi rasjedi prate granice strukturnih jedinica u prostoru, što je praćeno promjenama u karakteru pomaka, a u depresijama unutar kvartarnih naslaga stvaraju se nove bore dinaridskog pružanja (EGPV, 1999).

### 2.3. Hidrogeološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

Prema (Bačani i Posavec, 2014), samoborsko-zaprešićki vodonosnik je otvoreni vodonosnik što znači da mu gornju granicu saturacije čini vodno lice pod atmosferskim tlakom. Domena vodonosnika definirana je horizontalnim rasprostranjem kvartarnih naslaga koje su podijeljene u 3 osnovne jedinice: pokrovne naslage vodonosnog sustava građene od gline i praha, plići holocenski vodonosnik dominantno građen od aluvijalnih naslaga tj. šljunka i pijeska i dublji srednje i gornje pleistocenski vodonosnik građen od jezersko-barskih naslaga koje su karakterizirane čestim lateralnim i vertikalnim izmjenama šljunka, pijeska i gline. Plići i dublji vodonosni sloj hidraulički su povezani i čine vodonosni sustav, stoga ih se diferencira stratigrafski. Naslage vodonosnika imaju najveću debljinu od 60 m na području Strmca, a slabo propusna krovina ili nije prisutna ili poprima debljinu od nekoliko metara na većem dijelu područja vodonosnika, dok na rubnim dijelovima debljina iznosi i do 15 m. U podini vodonosnika se nalaze slabo propusne naslage gornjeg ponta. Rijeka Sava je svojim koritom usječena u holocenske aluvijalne naslage koje su dominantno građene od šljunaka i karakterizira ih izrazito visoka hidraulička vodljivost u vrijednosti do 3300 m/dan na području Bregane, oko 1500 m/dan kod Strmca i oko 1000 m/dan kod Šibica. Na slici 2.4 prikazan je shematski profil samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.



**Slika 2.4. Shematski profil samoborsko-zaprešićkog vodonosnika (preuzeto iz Posavec, 2006).**

Analizom karata ekvipotencijala utvrđeno je da se napajanje vodonosnika u najvećoj mjeri ostvaruje infiltracijom iz rijeke Save, infiltracijom iz rijeke Sutle, dotjecanjem iz

aluvija rijeke Krapine, infiltracijom oborina i infiltracijom iz propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže. Rijeka Sava kao glavni izvor napajanja vodonosnika ima bitan utjecaj na razinu podzemne vode, ovisno o periodima visokih i niskih voda. Za vrijeme niskih i srednjih voda na pojedinim dijelovima toka dolazi do dreniranja vodonosnika što nepovoljno utječe na razine podzemne vode, a time i na raspoložive količine za vrijeme dužih sušnih razdoblja. U razdobljima visokih voda rijeka Sava napaja vodonosnik duž cijelog toka. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku/jugoistoku. U hidrauličkom smislu, na području desnog zaobalja Save utvrđena je nepropusna granica vodonosnika na zapadu i na jugu (slabopropusne naslage Samoborskog gorja), a na istoku je granica otjecanja, tj. hidraulički kontakt s drugom poroznom sredinom (zagrebačkim vodonosnikom). Na području lijevog zaobalja Save zapadnu granicu, tj. granicu stalnog potencijala čini rijeka Sutla, a sjeverna granica je djelomično opisana nepropusnom i djelomično granicom dotjecanja zbog dotjecanja iz aluvija Krapine, dok je istočna granica rijeka Krapina.

### 3. KORIŠTENI PODACI

Mjerenja razine podzemne vode na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika obavlja Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. i Zaprešić d.o.o. Podaci o razinama podzemne vode, podaci o vodostajima rijeke Save i podaci o tehničkim značajkama zdenaca (kote terena na lokacijama zdenaca, koordinate lokacija zdenaca, intervali ugradnje filtara u zdencima i kote gornjih rubova filtara u zdencima) preuzeti su iz baze podataka i baze znanja projekta *Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama* (EGPV) koji je zajednički projekt Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Hrvatskih voda.

Kote terena na lokaciji zdenca B1 na vodocrpilištu Šibice i zdenaca B4, B5, B6, B7, B8 i B9 na vodocrpilištu Strmec očitane su iz Hrvatske osnovne karte (HOK) mjerila 1:5 000, budući da nisu bile evidentirane u bazi podataka EGPV. Iz istog razloga interval ugradnje filtra u zdencu B1 na vodocrpilištu Šibice preuzet je iz podataka dobivenih na zahtjev u svrhu izrade diplomskog rada od tvrtke Zaprešić d.o.o.

Kote gornjih rubova najpliće smještenih filtara u zdencima dobivene su oduzimanjem dubine do filtara u zdencima od kote terena na lokacijama zdenaca.

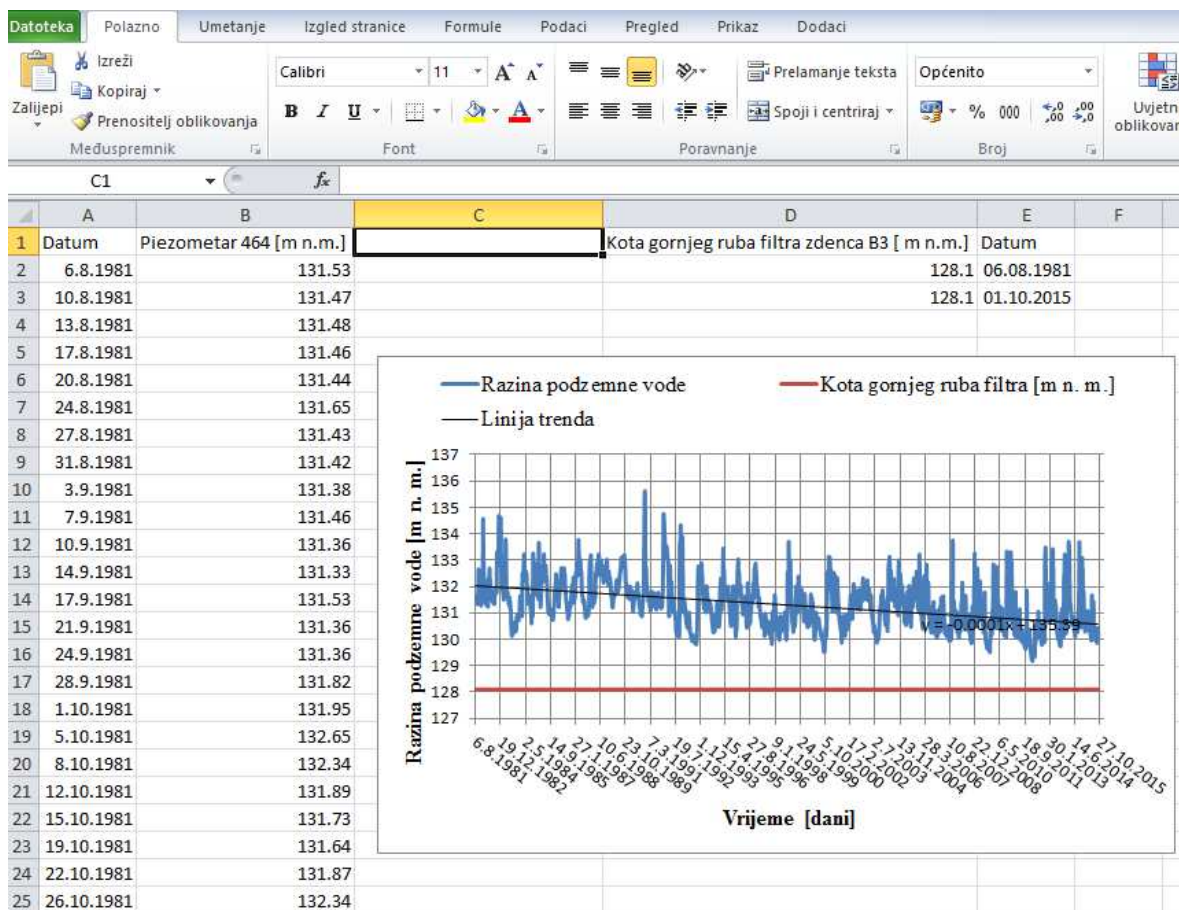
Kao podloge za prikaz podataka u računalnom programu Arcmap korištene su sljedeće karte:

- 1) Hrvatska osnovna karta (HOK) mjerila 1:5 000,
- 2) Digitalna ortofotokarta (DOF) mjerila 1:5 000,
- 3) Topografska karta (TK25) mjerila 1: 25 000.

Navedene podloge preuzete su sa WMS servera Državne geodetske uprave.

Analizom podataka o razinama podzemne vode obuhvaćeni su podaci zabilježeni u razdoblju od kolovoza 1981. godine do listopada 2015. godine na vodocrpilištima Bregana i Strmec, a na vodocrpilištu Šibice u razdoblju od ožujka 1982. godine do listopada 2015. godine. Analizom je obuhvaćeno 39 piezometara na užim područjima vodocrpilišta Bregana, Strmec i Šibice od kojih je izdvojeno ukupno 9 referentnih piezometara.

U svrhu organizacije, provjere točnosti i obrade podataka o razinama podzemne vode korišten je računalni program Microsoft Excel. Excel datoteke strukturirane su podređeno grafičkom prikazu vremenskih nizova razina podzemne vode (nivogramu), stoga su podaci organizirani u dvije kolone odnosno u dva stupca (kolona 1 = datum; kolona 2 = mjerena vrijednost razine podzemne vode) što je prikladno za izradu nivograma (slika 3.1).



**Slika 3.1. Piezometarska mjerenja pohranjena u Excel datoteci.**

Prema (Posavec, 2006), pri mjerenju i pohranjivanju podataka o razinama podzemne vode koje se ponekad odvija u više faza dolazi u manjoj ili većoj mjeri do pogrešaka koje utječu na točnost podataka. Također i sami uređaji za mjerenje, odnosno objekti na kojima se mjeri u slučaju neispravnosti mogu biti uzroci pogrešaka. Iz navedenih razloga potrebna je provjera točnosti podataka prije njihove obrade. To se može učiniti vizualnom metodom, odnosno provjerom svakog nivograma pri čemu se mogu utvrditi anomalije na nivogramu. U tom slučaju potrebno je uspoređivati nivograme okolnih piezometara. Ukoliko na nivogramima okolnih piezometara ne postoji anomalija koja se pojavljuje na promatranom nivogramu, slijedi da je ta anomalija karakteristična samo za odnosni piezometar, a što bi značilo da je možda došlo do pogreške kod pretvaranja dubina do vode u apsolutne visine, začepjenja filtra ili slično. Pogreške vezane za kotu nule, odnosno pretvaranje dubine do vode u apsolutne visine jedne su od češćih pogrešaka kod kojih se mjerenja u jednoj cijeloj godini obično povise ili snize za određeni iznos. Još jedan slučaj je da se kod pogrešno upisanih razina podzemne vode, redovno barem u jednom periodu mjerenja, desi da

razina podzemne vode na piezometrima odnosnog područja raste, dok istovremeno na piezometru s pogrešno upisanim mjerenjima opada ili pak obrnuto.

Nakon provjere točnosti uslijedila je obrada i analiza podataka o razinama podzemne vode, odnosno usporedba kota gornjih rubova najbliže smještenih filtara u zdencima s nivogramima referentnih piezometara kako bi se identificirale minimalne razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika u cjelini, a što je detaljno opisano i prikazano u poglavlju 4.



#### **4. ANALIZA POVIJESNIH MINIMALNIH RAZINA PODZEMNE VODE**

Minimalne razine podzemne vode su definirane kao razine podzemne vode zabilježene u trenutku u kojem vodna ploha u razdoblju recesije najprije dosegne kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra nekog od zdenaca razmatranih vodocrpilišta (Posavec, 2006). U ovom slučaju nekog od zdenaca vodocrpilišta Bregana, Strmec ili Šibice.

Za identifikaciju vremena postizanja minimalne razine podzemne vode u zdencima vodocrpilišta Bregana, Strmec i Šibice, uspoređivani su nivogrami zdencima najbližih, odnosno referentnih piezometara u odnosu na kote gornjih rubova najpliće smještenih filtara u zdencima. Kao kriterij za određivanje referentnih piezometara određena je što manja udaljenost piezometra od zdenca te dostupnost podataka o mjerenim razinama podzemne vode, budući da za neke piezometre koji su zdencima bliži od referentnih nema podataka o razinama podzemne vode ili su pak mjereni u prekratkom razdoblju zbog čega podaci o razinama podzemne vode nisu bili adekvatni za analizu.

Vrijeme u kojem razina podzemne vode dosegne gornji rub filtra na pojedinim zdencima različito je zbog razlika u kotama gornjeg ruba filtra između zdenaca kao i zbog razlika u razini podzemne vode između pojedinih vodocrpilišta. Značajnije razlike u razini podzemne vode mogu se pojaviti i unutar jednog vodocrpilišta ako su zdenci međusobno razmješteni na većim udaljenostima ili u pravcu velikih hidrauličkih gradijenata (Posavec, 2006).

Budući da se nastoji identificirati povijesne minimalne razine podzemne vode, donja granica tj. prvi datum i njemu pripadno mjerenje nije definirano, dok je za gornju granicu za sve piezometre određen datum 1.10.2015. godine (početak hidrološke godine) i njemu pripadna izmjerena razina podzemne vode. Razlog tomu je dostupnost podataka o mjerenim razinama podzemne vode i to što za razmatrane piezometre na područjima istraživanih vodocrpilišta mjerenja razine podzemne vode nisu obavljena u jednakim razdobljima. Provedenom analizom identificiran je zdenac u kojem vodno lice u razdoblju recesije najprije dosegne kotu gornjeg ruba filtra.

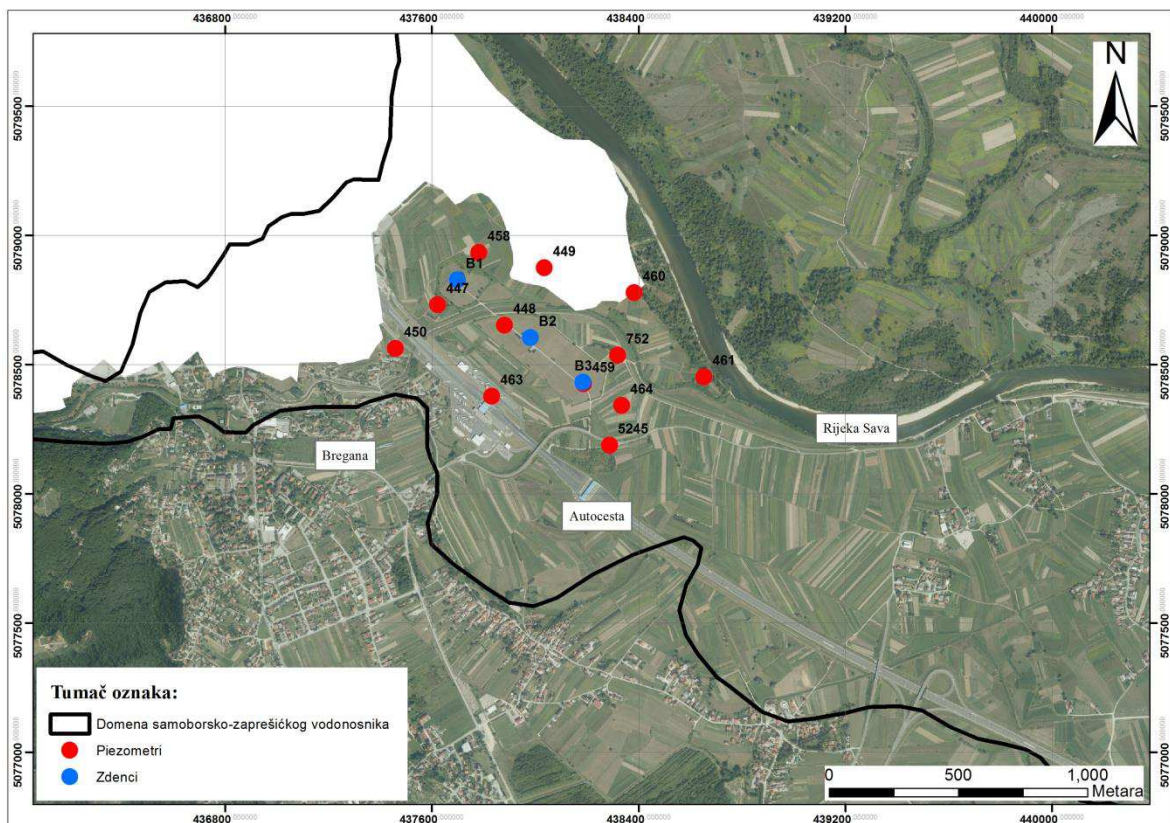
Budući da su pojedini referentni piezometri udaljeni od zdenaca i do 473 m, valja napomenuti da je zbog sniženja razine podzemne vode koje nastaje uslijed crpljenja u zdencima i stvaranja konusa depresije, razina podzemne vode na lokacijama zdenaca manja u odnosu na razinu podzemne vode na lokacijama referentnih piezometara, odnosno da su utvrđene minimalne razine podzemne vode manje za vrijednost sniženja, koja pak kod otvorenih vodonosnika ovisi o transmisivnosti vodonosnika i količini crpljenja.

## 4.1. Identifikacija minimalnih razina podzemne vode na vodocrpilištima na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika (Bregana, Strmec i Šibice)

### 4.1.1. Vodocrpilište Bregana

Vodocrpilište Bregana smješteno je sjeveroistočno od naselja Bregana, između rijeke Save i obližnje autoceste (slika 4.1). Na području vodocrpilišta su 3 aktivna zdenca kojima se zahvaća podzemna voda za potrebe Grada Samobora i okolnih naselja. Tehnički podaci zdenaca koji su korišteni u svrhu identifikacije minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Bregana prikazani su u tablici 4.1.

Minimalna razina podzemne vode na vodocrpilištu Bregana određivana je usporedbom kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u zdencima i nivograma zdencima referentnih piezometara (slika 4.2 do 4.4). Za sve piezometre u obzir su uzete mjerene razine podzemne vode u razdoblju od 6. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, a analizom su dobiveni rezultati prikazani u nastavku.

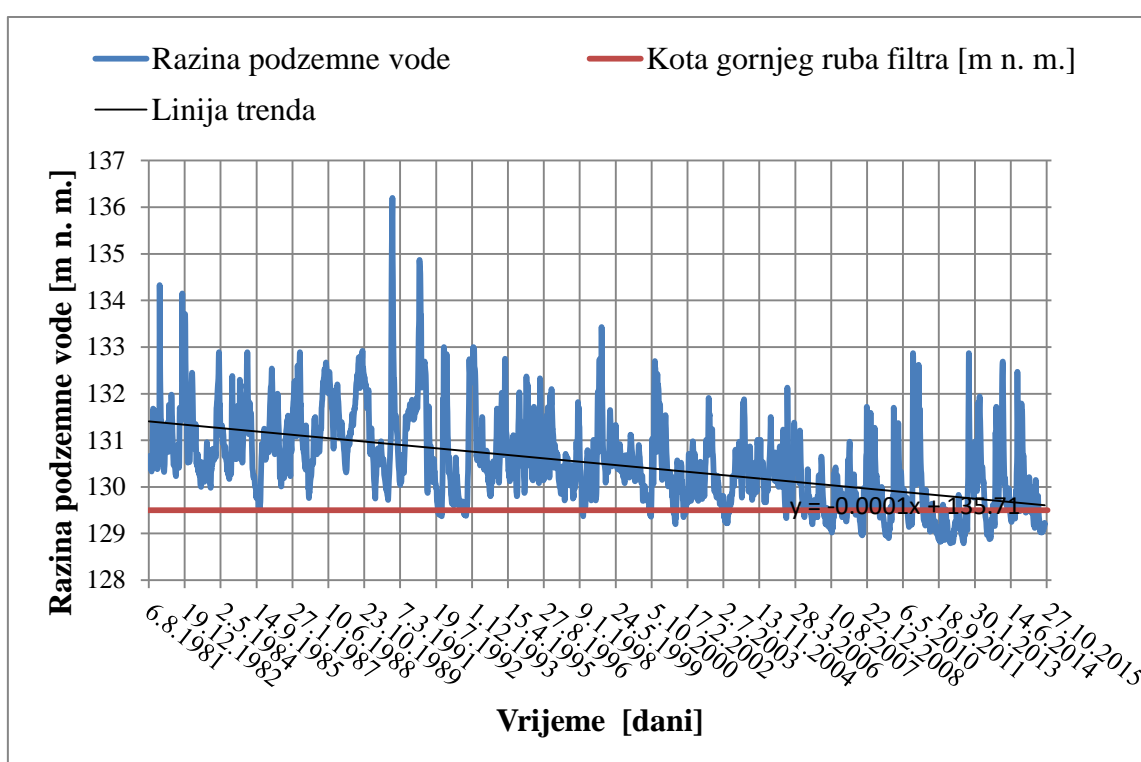


Slika 4.1. Situacija vodocrpilišta Bregana.

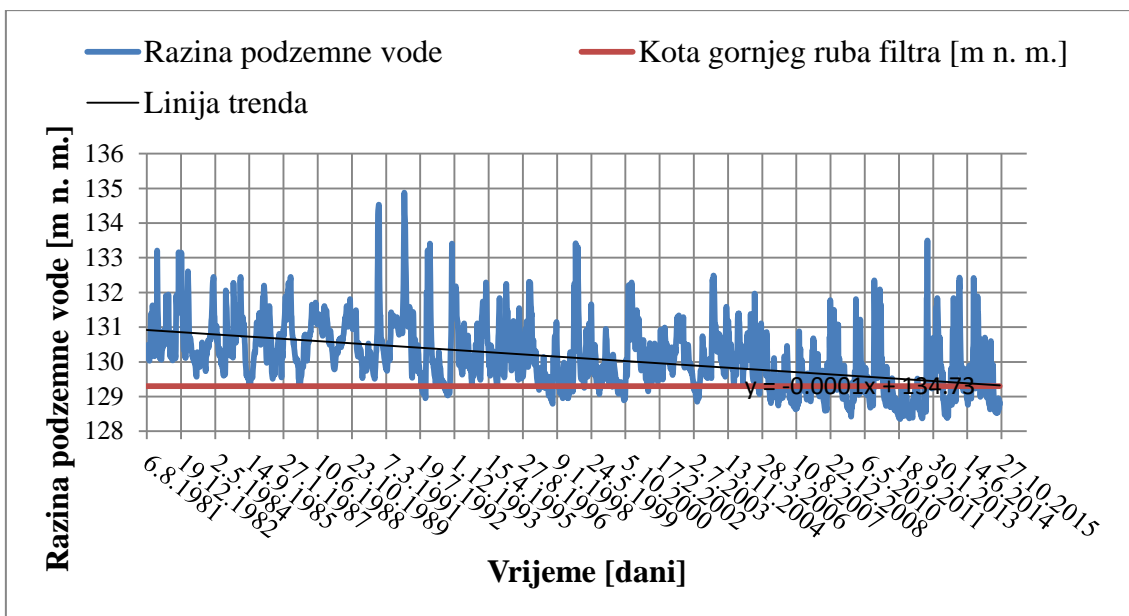
**Tablica 4.1. Tehnički podaci zdenaca na vodocrpilištu Bregana.**

Zdenac	X [m] (HTRS96/TM).	Y [m] (HTRS96/TM).	Kota terena na lokaciji zdenca [m n. m.]	Interval ugradnje filtra od [m]	Interval ugradnje filtra do [m]	Kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra [m n. m.]
B1	437698,31	5078827,85	137	7,5	9,5	129,5
B2	437980,69	5078604,71	136,5	7,2	10,2	129,3
B3	438184,33	5078431,89	135,6	7,5	11,5	128,1

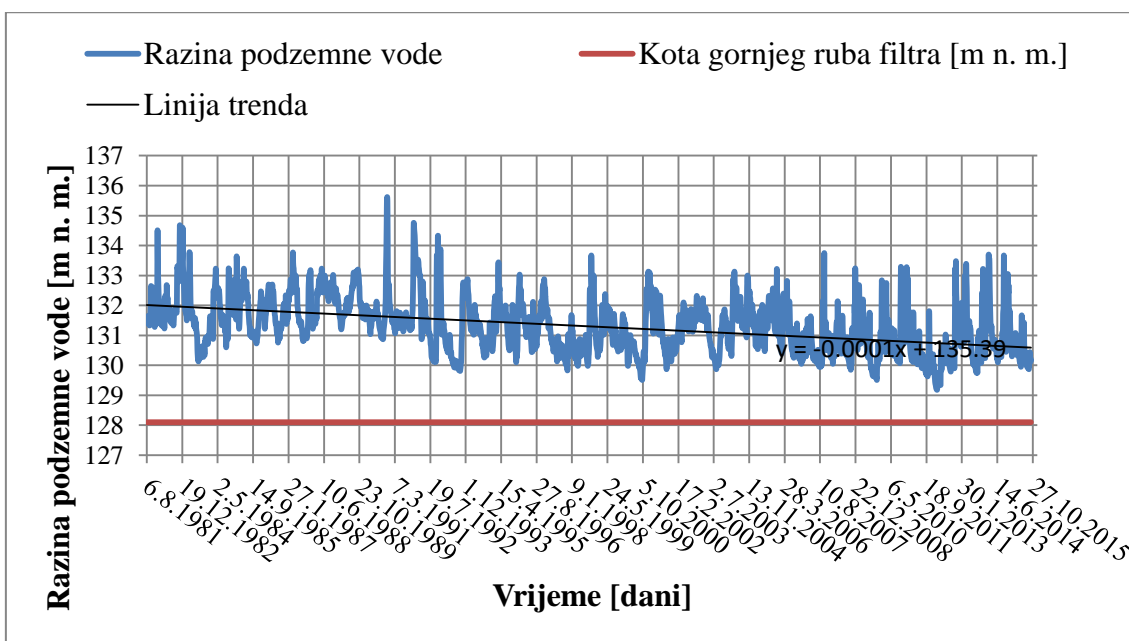
Izvor podataka: Projekt EGPV, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.



**Slika 4.2. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B1 i nivograma piezometra 447 udaljenog od zdenca 122 m.**



Slika 4.3. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B2 i nivograma piezometra 449 udaljenog od zdenca 275 m.



Slika 4.4. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B3 i nivograma piezometra 464 udaljenog od zdenca 175 m.

Piezometar 447 udaljen je od zdenca B1 122 m. Analizom prema dijagramu na slici 4.2 na lokaciji piezometra 447 identificirana je vrijednost razine podzemne vode od 129,44 m n. m., izmjerena 5. 8. 1992. godine, što je hipsometrijski manje u odnosu na kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra u zdencu B1 koja iznosi 129,5 m n. m.

Piezometar 449 udaljen je od zdenca B2 275 m. Analizom prema dijagramu na slici 4.3 na lokaciji piezometra 449 identificirana je vrijednost razine podzemne vode od 129,26 m n. m., izmjerena 10. 8. 1992. godine, što je hipsometrijski manje u odnosu na kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u zdencu B2 koja iznosi 129,3 m n. m.

Piezometar 464 udaljen je od zdenca B3 175 m. Analizom prema dijagramu na slici 4.4 zaključeno je da na lokaciji zdenca B3 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 6. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije pala ispod kote gornjeg ruba najpliće smještenog filtra koja iznosi 128,1 m n. m.

Na temelju prethodne analize zaključeno je da je minimalna razina podzemne vode na vodocrpilištu Bregana najprije postignuta na lokaciji zdenca B1, stoga se identificira sukladno koti gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u tom zdencu te iznosi 129,5 m n. m. Navedeni podaci dobiveni ovom analizom prikazani su u tablici 4.2.

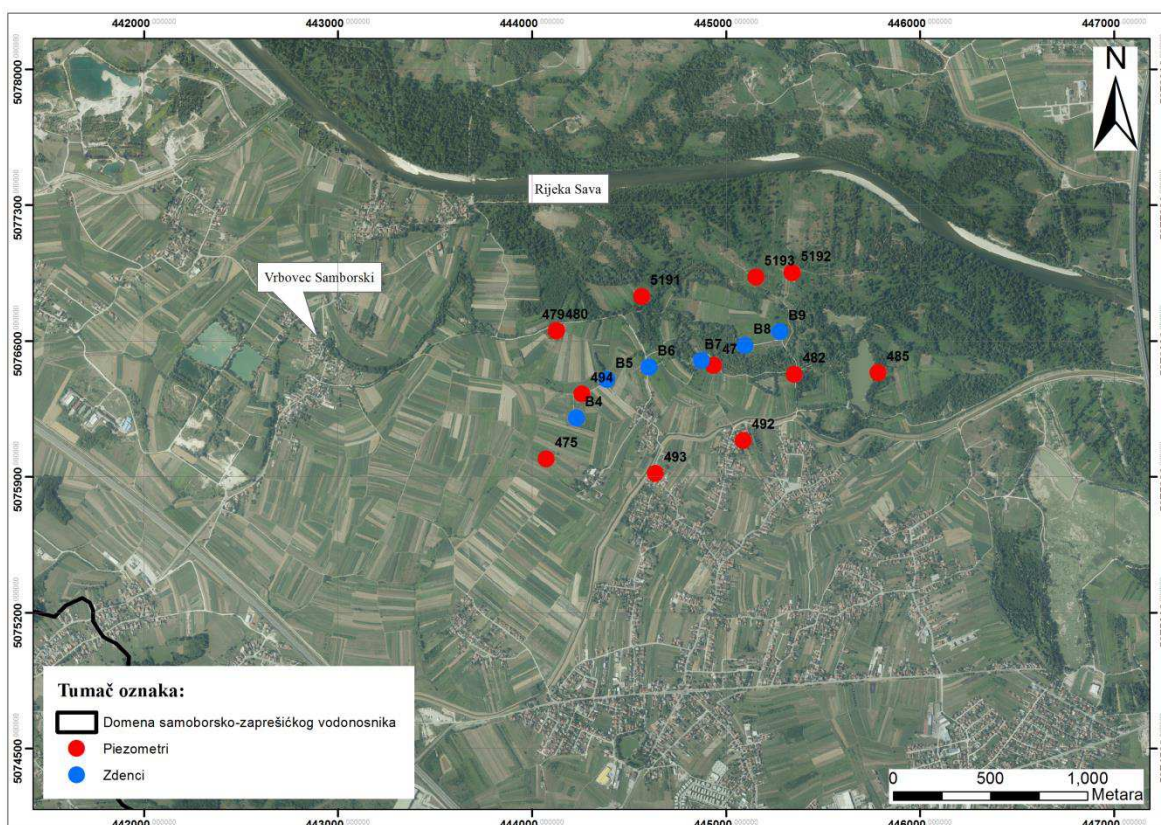
**Tablica 4.2. Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Bregana.**

Zdenac	Kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra [m n. m.]	Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode	Izmjerena razina podzemne vode [m n. m.]
B1	129,5	5. 8. 1992. godine	129,44
B2	129,3	10. 8. 1992. godine	129,26
B3	128,1	Nije postignuta	-

#### 4.1.2. Vodocrpilište Strmec

Vodocrpilište Strmec smješteno je istočno od naselja Vrbovec Samoborski i južno od rijeke Save koja je udaljena od vodocrpilišta 800-1200 m (slika 4.5). Vodocrpilište se sastoji od 6 aktivnih zdenaca kojima se zahvaća podzemna voda za potrebe vodoopskrbe Grada Samobora i dijela Grada Zagreba. Tehnički podaci zdenaca koji su korišteni u svrhu identifikacije minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Strmec prikazani su u tablici 4.3.

Minimalna razina podzemne vode na vodocrpilištu Strmec određivana je usporedbom kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra na zdencima i nivogramama zdencima referentnih piezometara (slika 4.6 do 4.11). Za promatrane piezometre u obzir su uzete mjerene razine podzemne vode u razdoblju od 3. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, a analizom su dobiveni rezultati prikazani u nastavku.

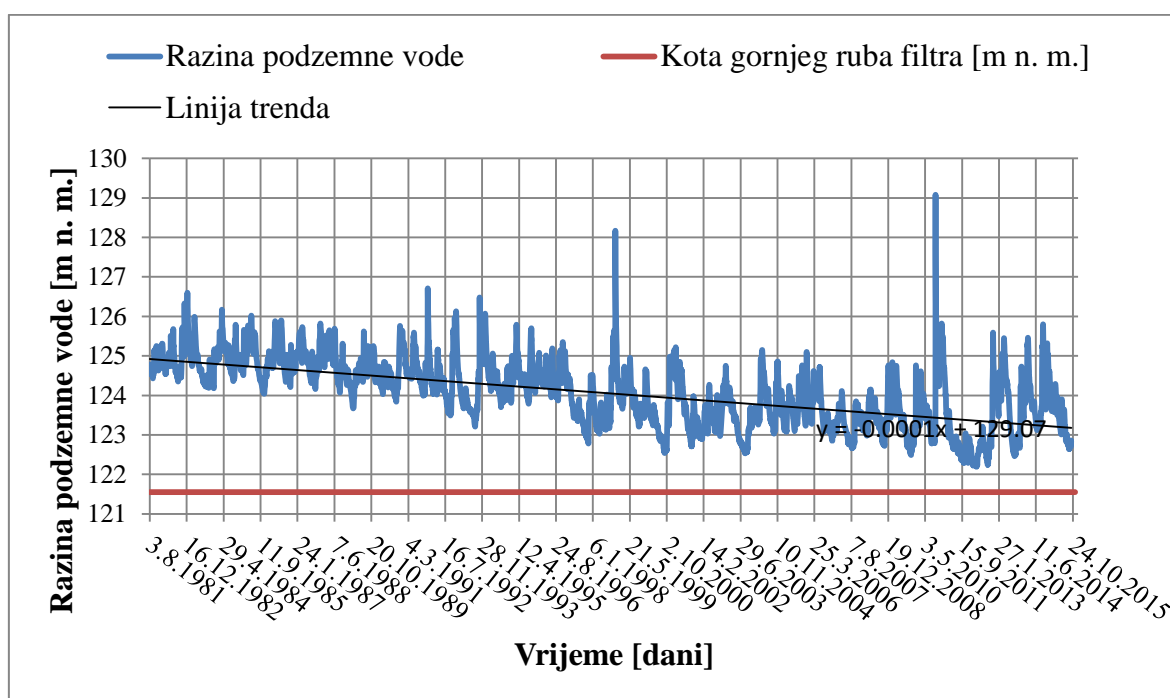


Slika 4.5. Situacija vodocrpilišta Strmec.

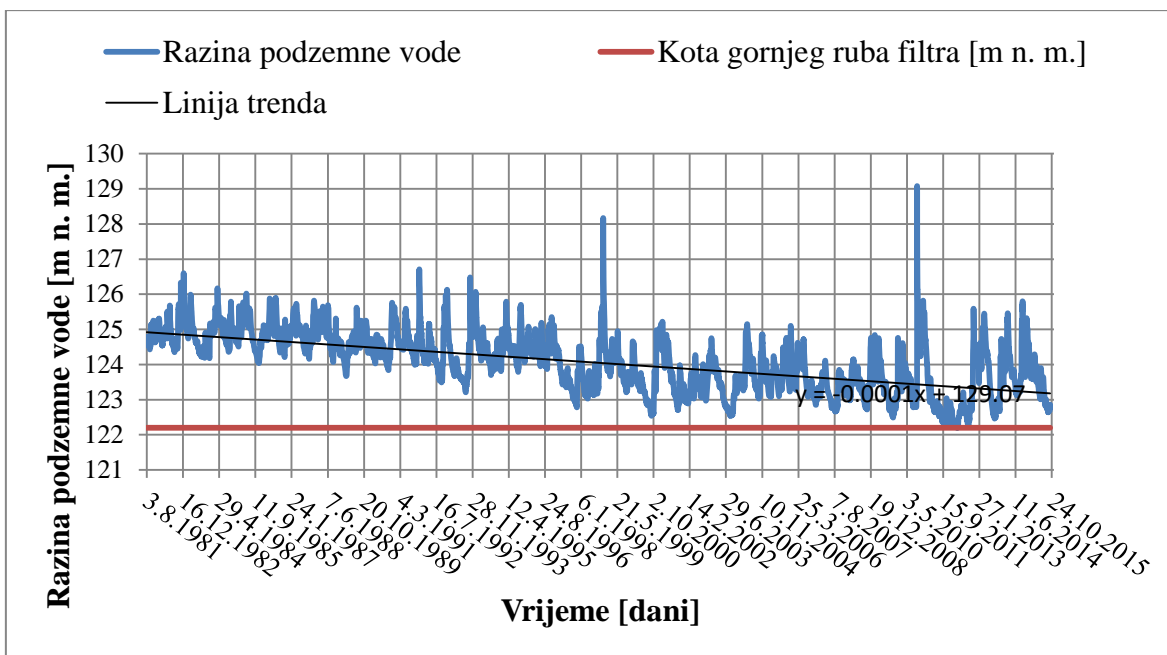
**Tablica 4.3. Tehnički podaci zdenaca na vodocrpilištu Strmec.**

Zdenac	X [m] (HTRS96/TM)	Y [m] (HTRS96/TM)	Kota terena na lokaciji zdenca [m n. m.]	Interval ugradnje filtra od [m]	Interval ugradnje filtra do [m]	Kota gornjeg ruba najblićeg smještenog filtra [m n. m.]
B4	444228,78	5076202,06	128,55	7	16	121,55
B5	444385,42	5076401,12	128,2	6	10	122,2
B6	444603,53	5076464,58	128,25	5	15	123,25
B7	444873,95	5076498,05	126,9	7	12	119,9
B8	445097,82	5076576,79	127,37	7	12	120,37
B9	445277,11	5076647,61	127,7	7	12	120,7

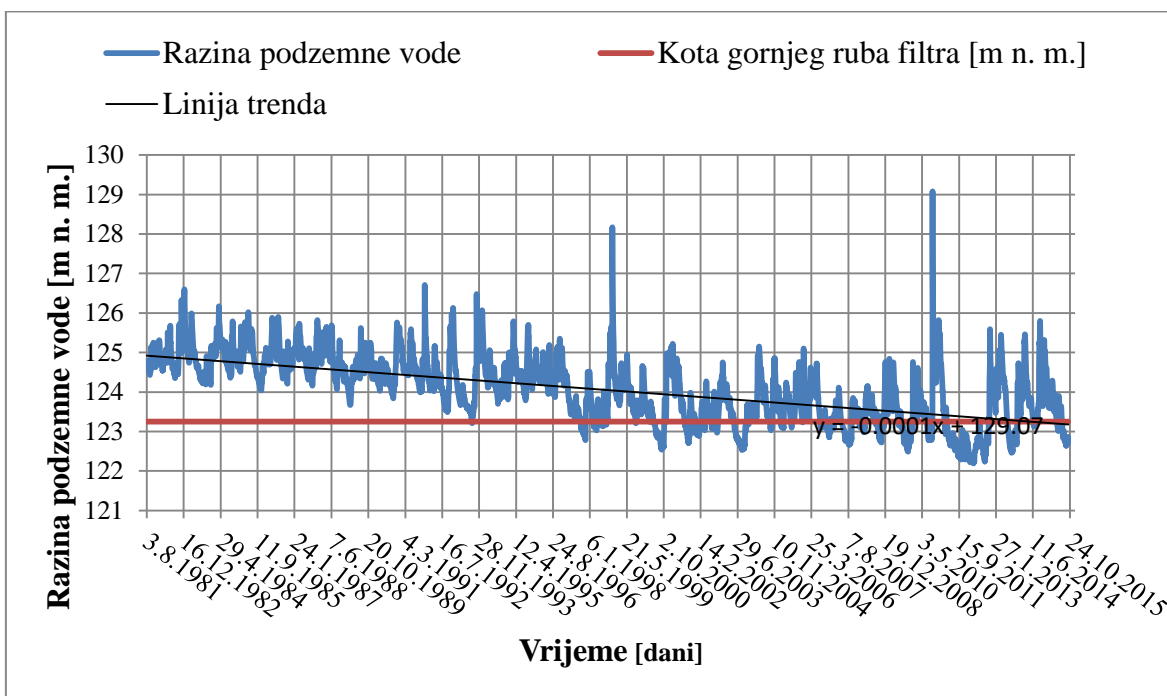
Izvor podataka: Projekt EGPV, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.



**Slika 4.6. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B4 i nivograma piezometra 494 udaljenog od zdenca 128 m.**

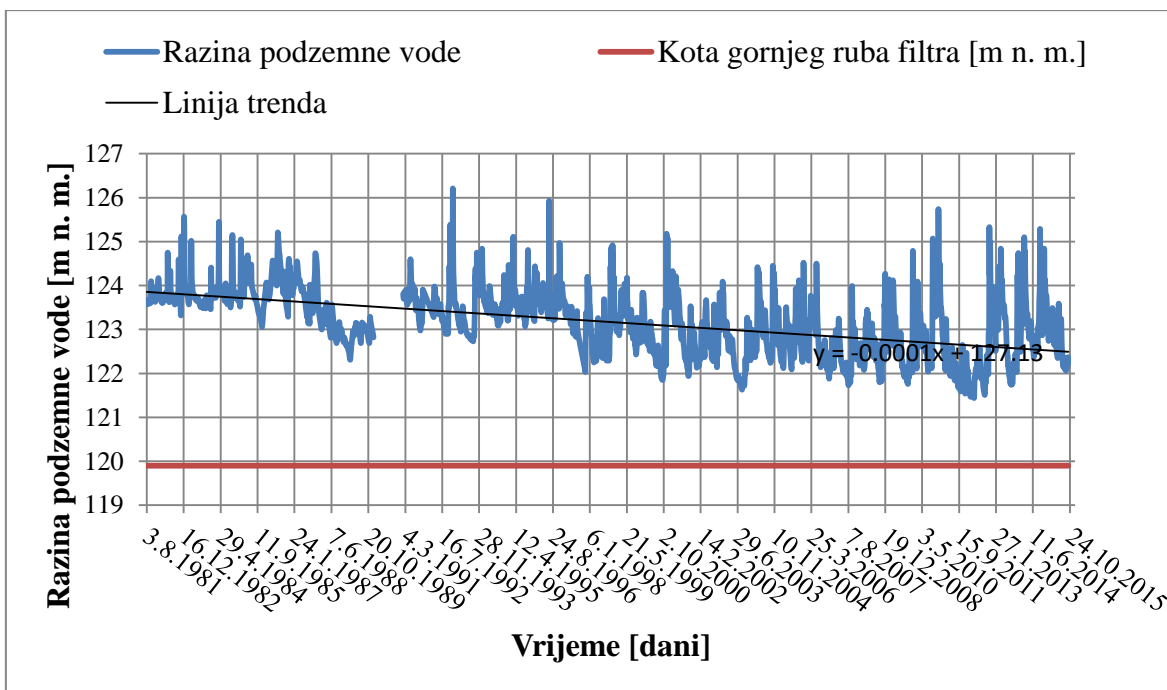


Slika 4.7. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B5 i nivograma piezometra 494 udaljenog od zdenca 147 m.

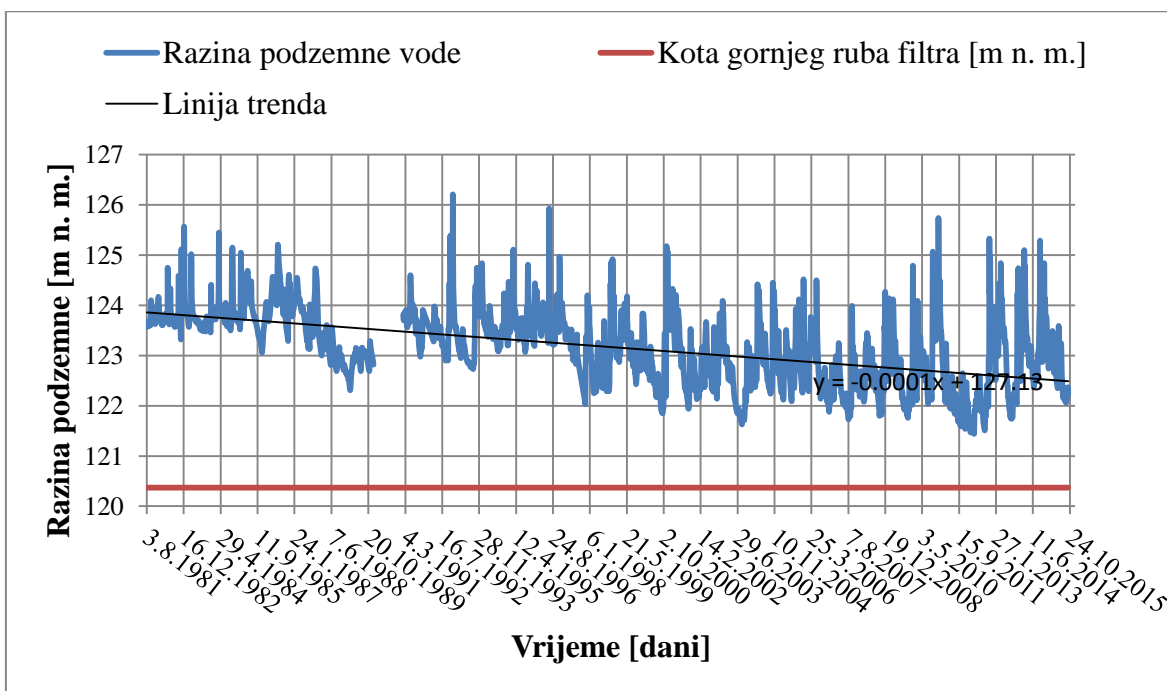


Slika 4.8. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B6 i nivograma piezometra 494 udaljenog od zdenca 372 m.

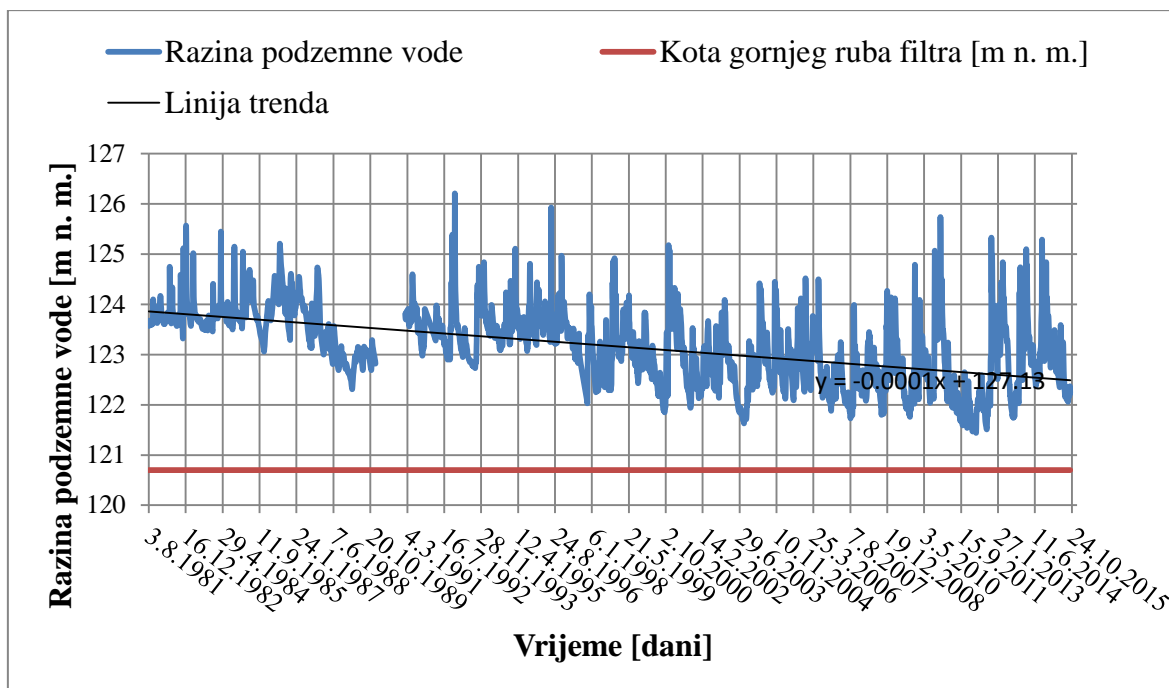




Slika 4.9. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B7 i nivograma piezometra 482 udaljenog od zdenca 473 m.



Slika 4.10. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B8 i nivograma piezometra 482 udaljenog od zdenca 304 m.



**Slika 4.11. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B9 i nivograma piezometra 482 udaljenog od zdenca 232 m.**

Piezometar 494 udaljen je od zdenca B4 128 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.6 zaključeno je da na lokaciji zdenca B4 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 3. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije pala ispod kote gornjeg ruba najbliže smještenog filtra koja iznosi 125,55 m n. m.

Piezometar 494 udaljen je od zdenca B5 147 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.7 na lokaciji piezometra 494 identificirana je vrijednost razine podzemne vode od 122,19 m n. m., izmjerena 27. 3. 2012. godine, što je hipsometrijski manje u odnosu na kotu gornjeg ruba najbliže smještenog filtra u zdencu B5 koja iznosi 122,2 m n. m.

Piezometar 494 udaljen je od zdenca B6 372 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.8 zaključeno je da je na lokaciji piezometra 494 identificirana vrijednost razine podzemne vode od 123,25 m n. m., izmjerena 28. 8. 1997. godine, što je hipsometrijski jednako u odnosu na kotu gornjeg ruba najbliže smještenog filtra u zdencu B6 koja iznosi 123,25 m n. m.

Piezometar 482 udaljen je od zdenca B7 473 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.9 zaključeno je da na lokaciji zdenca B7 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 3. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u

navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra koja iznosi 119,9 m n. m.

Piezometar 482 udaljen je od zdenca B8 304 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.10, zaključeno je da na lokaciji zdenca B8 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 3. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra koja iznosi 120,37 m n. m.

Piezometar 482 udaljen je od zdenca B9 232 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.11 zaključeno je da na lokaciji zdenca B9 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 3. 8. 1981. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra koja iznosi 120,7 m n. m.

Na temelju prethodne analize zaključeno je da je minimalna razina podzemne vode na vodocrpilištu Bregana najprije postignuta na lokaciji zdenca B6, stoga se identificira sukladno koti gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u navedenom zdencu te iznosi 123,25 m n. m. Navedeni podaci dobiveni ovom analizom prikazani su u tablici 4.4.

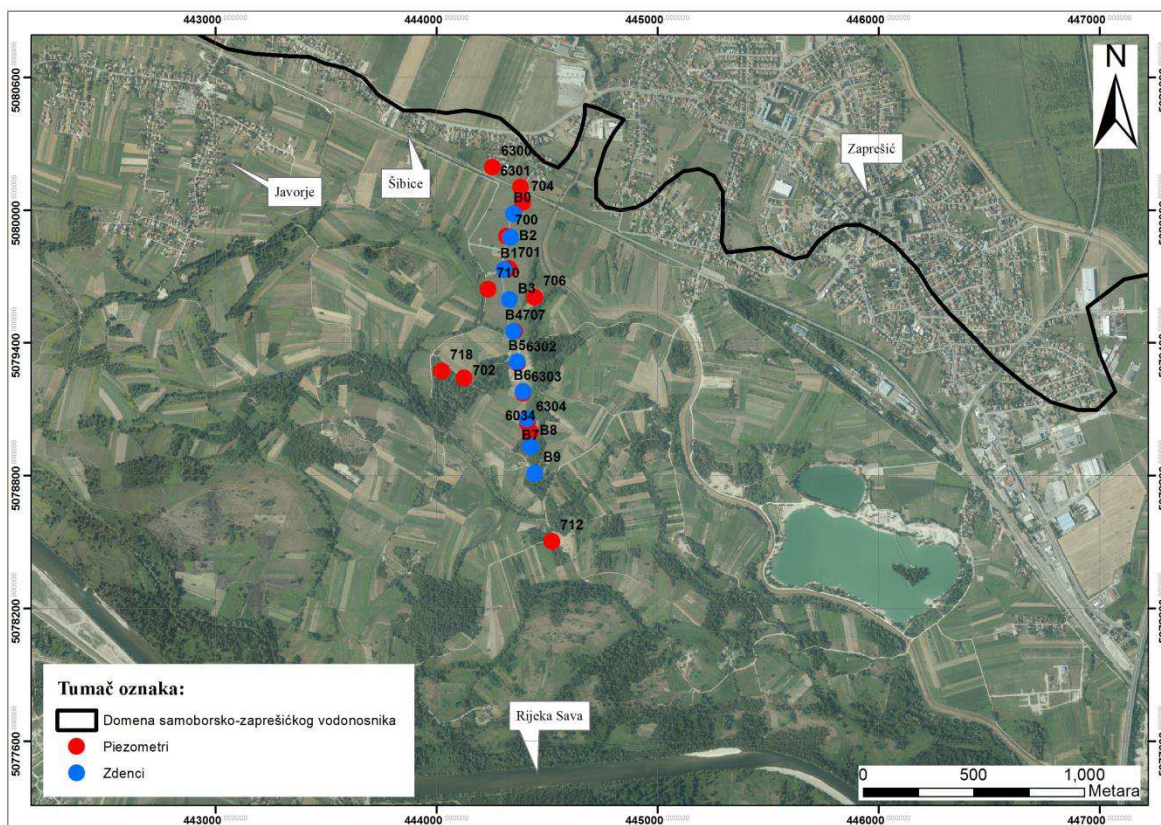
**Tablica 4.4. Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Strmec.**

Zdenac	Kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra [m n. m.]	Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode	Izmjerena razina podzemne vode [m n. m.]
B4	121,55	Nije postignuta	-
B5	122,2	27. 3.2012. godine	122,19
B6	123,25	28. 8. 1997. godine	123,25
B7	119,9	Nije postignuta	-
B8	120,37	Nije postignuta	-
B9	120,7	Nije postignuta	-

### 4.1.3. Vodocrpilište Šibice

Vodocrpilište Šibice nalazi se jugozapadno od Grada Zaprešića, sjeverno od rijeke Save, južno od naselja Šibice i jugoistočno od naselja Javorje (slika 4.12). Rijeka Sava nalazi se na udaljenosti oko 1550-2550 m od vodocrpilišta. Sastoji se od 8 aktivnih zdenaca kojima se zahvaća podzemna voda za potrebe vodoopskrbe Grada Zaprešića i dijela Hrvatskog Zagorja. Tehnički podaci zdenaca koji su korišteni u svrhu identifikacije minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Strmec prikazani su u tablici 4.5.

Minimalna razina podzemne vode na vodocrpilištu Strmec određivana je usporedbom kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra na zdencima i nivogramama zdencima referentnih piezometara (slika 4.13 do 4.20). Za promatrane piezometre u obzir su uzete mjerene razine podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, a analizom su dobiveni rezultati prikazani u nastavku.

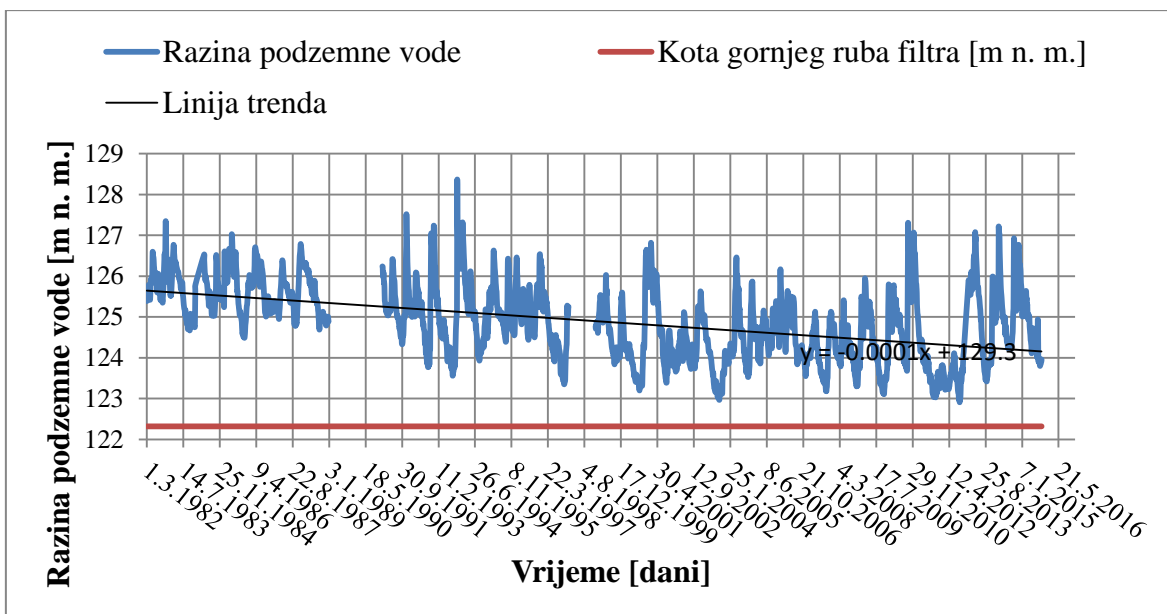


Slika 4.12. Situacija vodocrpilišta Šibice.

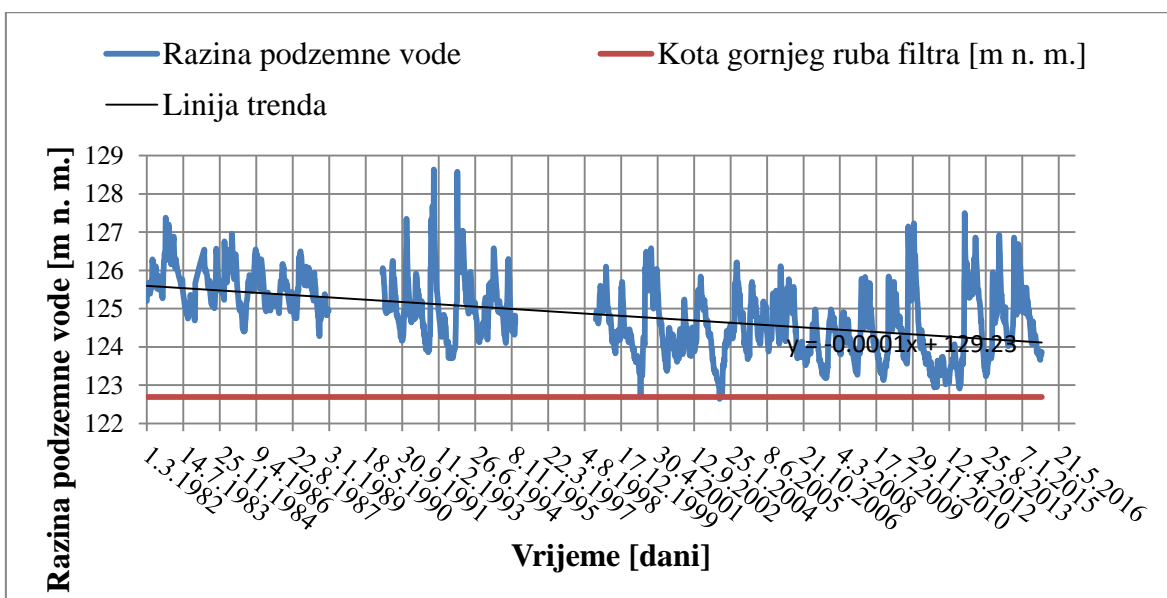
**Tablica 4.5. Tehnički podaci zdenaca na vodocrpilištu Šibice.**

Zdenac	X [m] (HTRS96/TM)	Y [m] (HTRS96/TM)	Kota terena na lokaciji zdenca [m n. m.]	Interval ugradnje filtra od [m]	Interval ugradnje filtra do [m]	Kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra [m n. m.]
B0	444349,93	5079982,52	130,32	8	12	122,32
B1	444307,70	5079730,19	129,69	7	15	122,69
B2	444336,41	5079876,81	129,96	8,3	16,3	121,66
B3	444330,20	5079594,76	129,73	8,5	12,5	121,23
B4	444349,82	5079452,12	128,91	8	12	120,91
B5	444365,51	5079314,31	129,15	8,5	12,5	120,65
B6	444393,16	5079178,87	127,99	6,5	10,5	121,49
B7	444410,09	5079055,67	128,32	6,5	10,5	121,82

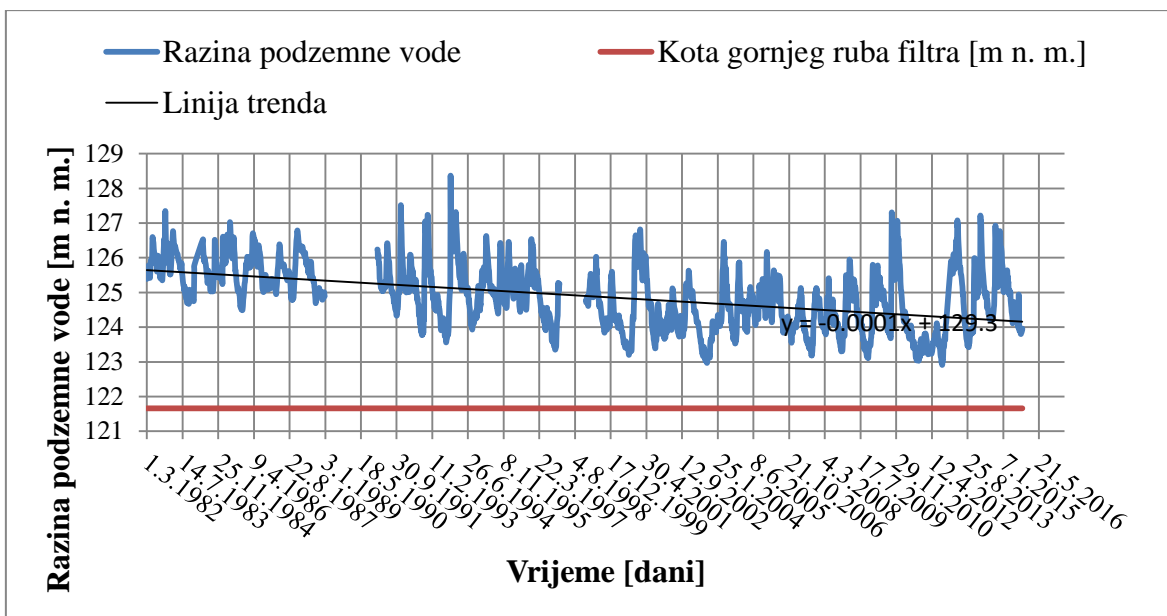
Izvor podataka: Projekt EGPV, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.



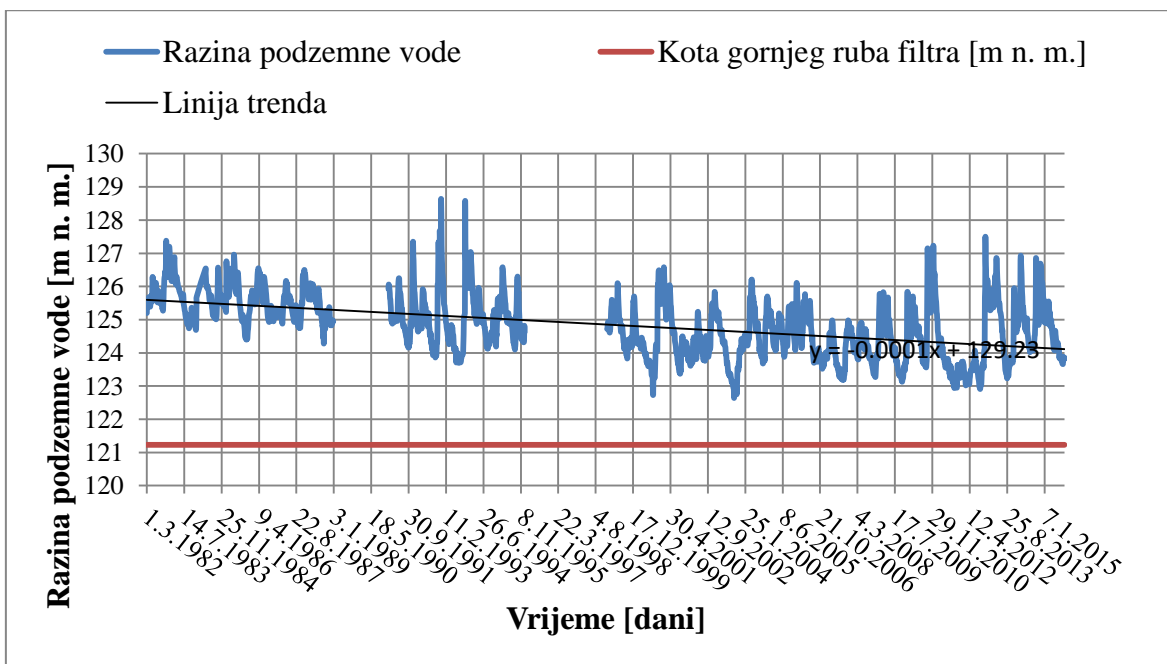
Slika 4.13. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B0 i nivograma piezometra 704 udaljenog od zdenca 66 m.



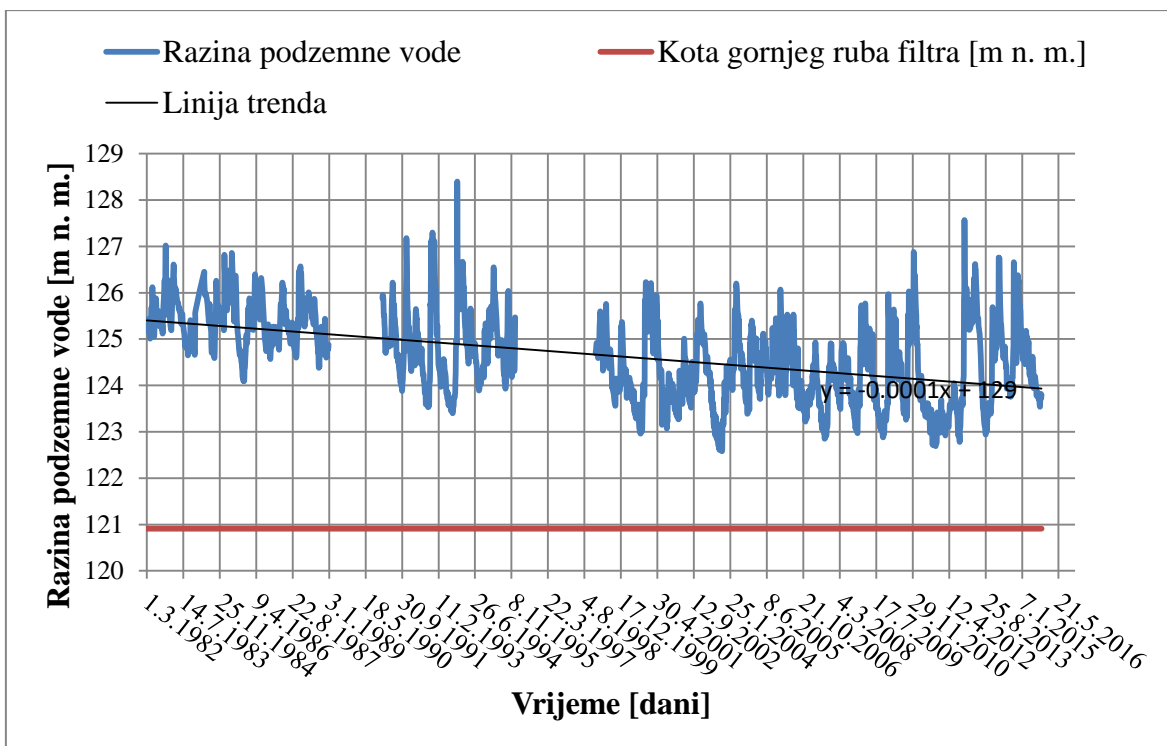
Slika 4.14. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B1 i nivograma piezometra 710 udaljenog od zdenca 115 m.



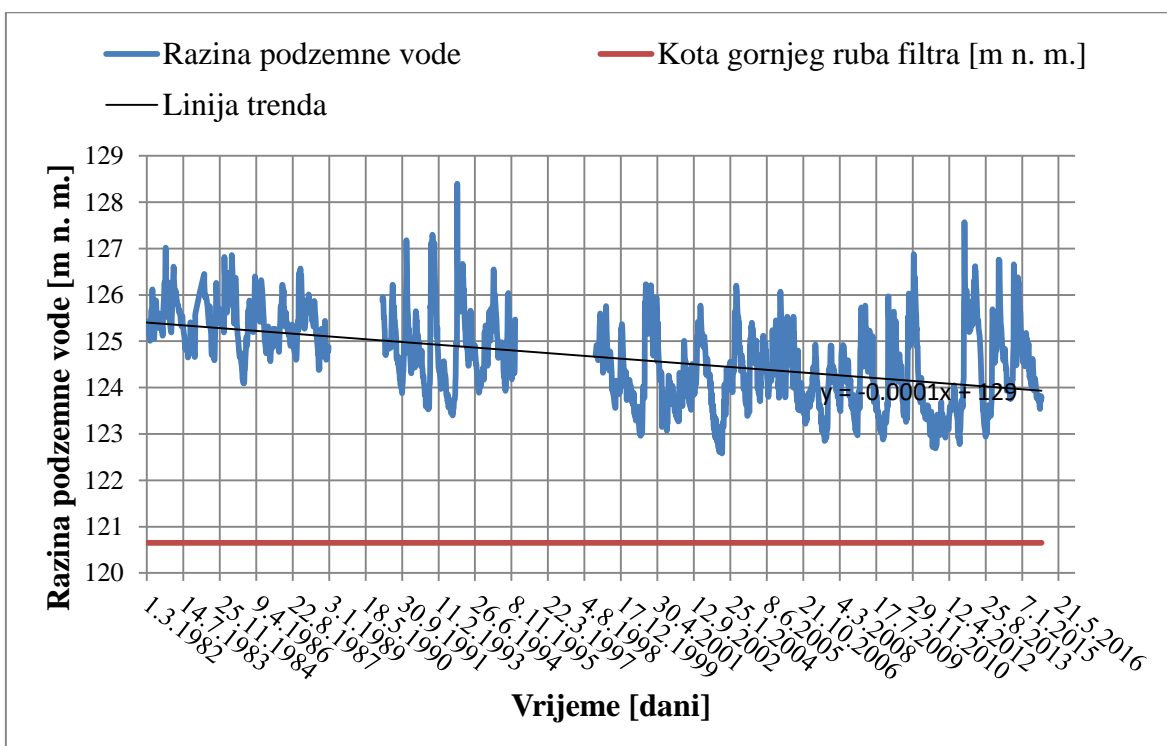
Slika 4.15. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B2 i nivograma piezometra 704 udaljenog od zdenca 166 m.



Slika 4.16. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B3 i nivograma piezometra 710 udaljenog od zdenca 106 m.

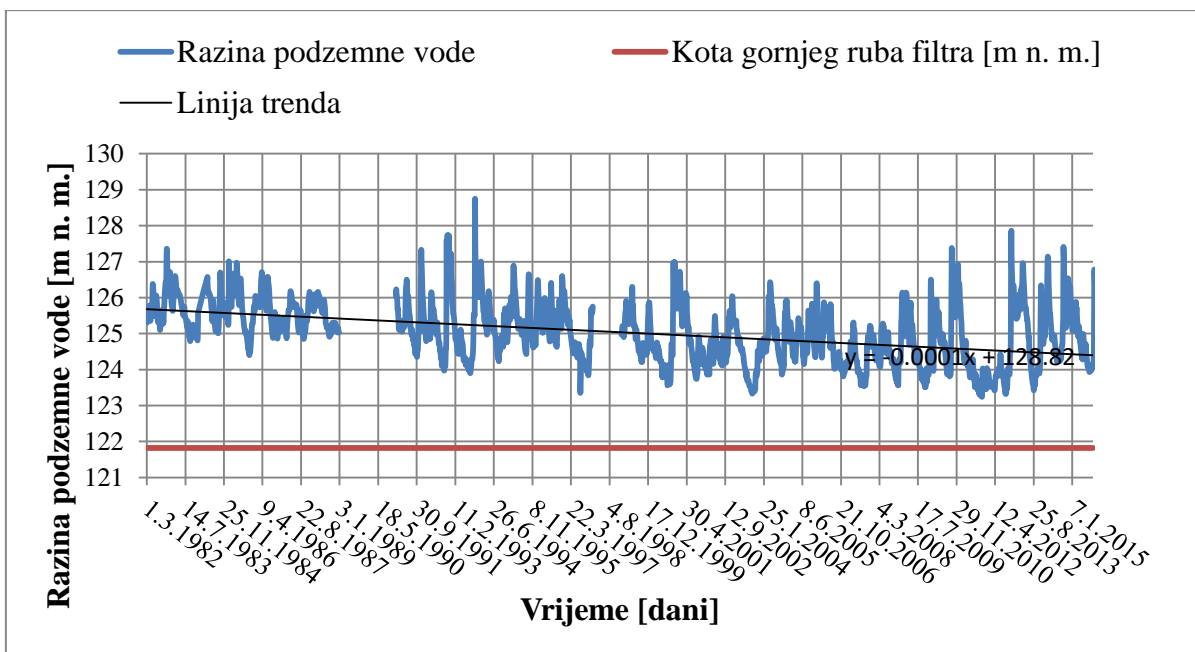


Slika 4.17. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B4 i nivograma piezometra 707 udaljenog od zdenca 4 m.

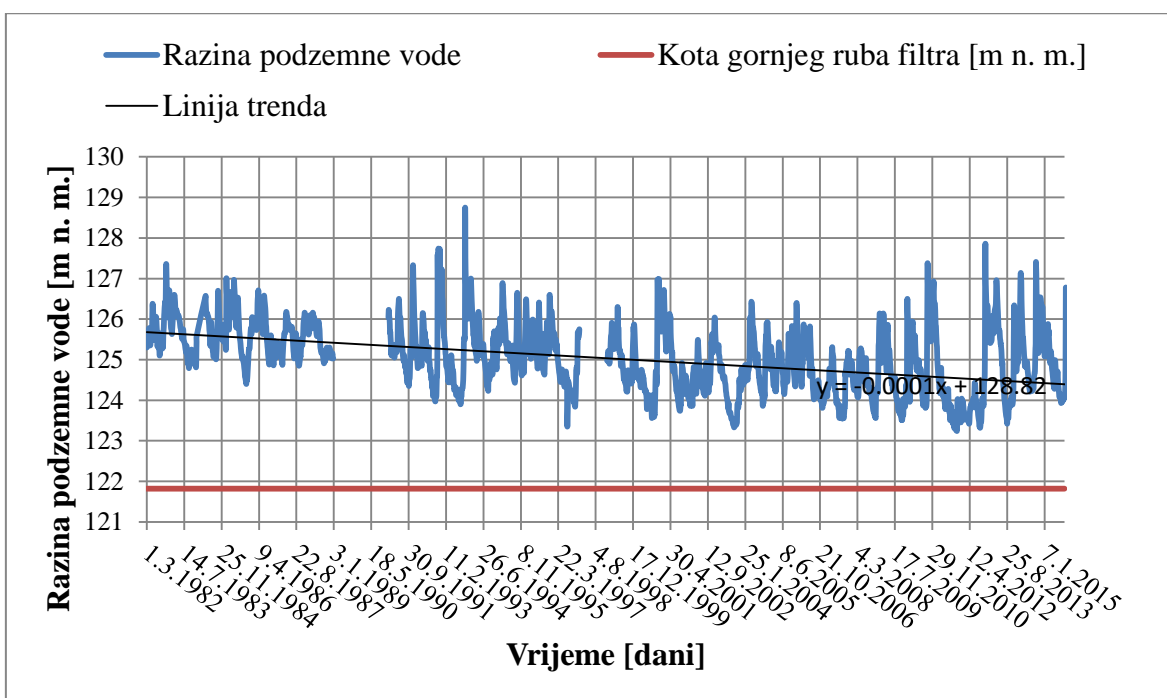


Slika 4.18. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B5 i nivograma piezometra 707 udaljenog od zdenca 138 m.





**Slika 4.19. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B6 i nivograma piezometra 702 udaljenog od zdenca 275 m.**



**Slika 4.20. Usporedba kote gornjeg ruba filtra zdenca B7 i nivograma piezometra 702 udaljenog od zdenca 339 m.**

Piezometar 704 udaljen je od zdenca B0 66 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.13 zaključeno je da na lokaciji zdenca B0 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u

navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra koja iznosi 122,32 m n. m.

Piezometar 710 udaljen je od zdenca B1 115 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.14 na lokaciji piezometra 710 identificirana je vrijednost razine podzemne vode od 122,64 m n. m., izmjerena 28. 8. 2012. godine, što je hipsometrijski manje u odnosu na kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra u zdenca B1 koja iznosi 122,69 m n. m.

Piezometar 704 udaljen je od zdenca B2 166 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.15 zaključeno je da na lokaciji zdenca B2 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra koja iznosi 121,66 m n. m.

Piezometar 710 udaljen je od zdenca B3 106 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.16 zaključeno je da na lokaciji zdenca B3 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra koja iznosi 121,23 m n. m.

Piezometar 707 udaljen je od zdenca B4 4 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.17 zaključeno je da na lokaciji zdenca B4 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra koja iznosi 120,91 m n. m.

Piezometar 707 udaljen je od zdenca B5 138 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.18 zaključeno je da na lokaciji zdenca B5 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra koja iznosi 120,65 m n. m.

Piezometar 702 udaljen je od zdenca B6 275 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.19 zaključeno je da na lokaciji zdenca B6 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najbliće smještenog filtra koja iznosi 121,49 m n. m.

Piezometar 702 udaljen je od zdenca B7 339 m. Analizom prema nivogramu na slici 4.20 zaključeno je da na lokaciji zdenca B7 nije postignuta minimalna razina podzemne vode u razdoblju od 1. 3. 1982. godine do 1. 10. 2015. godine, budući da razina podzemne

vode u navedenom razdoblju nije dosegla kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra koja iznosi 121,82 m n. m.

Na temelju prethodne analize zaključeno je da je minimalna razina podzemne vode na vodocrpilištu Šibice najprije postignuta na lokaciji zdenca B1, stoga se identificira sukladno koti gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u navedenom zdencu te iznosi 122,69 m n. m. Navedeni podaci dobiveni ovom analizom prikazani su u tablici 4.6.

**Tablica 4.6. Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode na vodocrpilištu Šibice.**

Zdenac	Kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra [m n. m.]	Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode	Izmjerena razina podzemne vode [m n. m.]
B0	122,32	Nije postignuta	-
B1	122,69	28. 8. 2003. godine	122,64
B2	121,66	Nije postignuta	-
B3	121,23	Nije postignuta	-
B4	120,91	Nije postignuta	-
B5	120,65	Nije postignuta	-
B6	121,49	Nije postignuta	-
B7	121,82	Nije postignuta	-

#### **4.2. Identifikacija povijesnih minimalnih razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika u cjelini**

Usporedbom kota gornjih rubova najpliće smještenih filtara u zdencima na vodocrpilištima Bregana, Strmec i Šibice i nivograma zdencima referentnih piezometara, zaključeno je da su minimalne razine podzemne vode postignute na sva tri promatrana vodocrpilišta. Ako se navedeni podaci sagledaju u cjelini, zaključuje se da su minimalne razine podzemne vode najprije postignute na vodocrpilištu Bregana na lokaciji zdenca B1, zatim na vodocrpilištu Strmec na lokaciji zdenca B6, a naposljetku na vodocrpilištu Šibice na lokaciji zdenca B1 (tablica 4.7).

**Tablica 4.7. Identificirana minimalna razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.**

<b>Vodocrpilište</b>	<b>Zdenac</b>	<b>Kota gornjeg ruba najpliće smještenog filtra [m n. m.]</b>	<b>Vrijeme postizanja minimalne razine podzemne vode</b>	<b>Izmjerena razina podzemne vode [m n. m.]</b>
Bregana	B1	129,5	5. 8. 1992. godine	129,44
Strmec	B6	123,25	28. 8. 1997. godine	123,25
Šibice	B1	122,69	28. 8. 2003. godine	122,64

Na temelju cjelokupne analize minimalna razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika identificirana je s obzirom na kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u zdencu B1 na vodocrpilištu Bregana koja iznosi 129,5 m n. m., budući da je na toj lokaciji najprije postignuta.

### 4.3. Karta ekvipotencijala razina podzemne vode na dan 5. 8. 1992. godine

U svrhu izrade karte ekvipotencijala korišteni su podaci o razinama podzemne vode u 88 piezometara na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika i vodostaji rijeke Save izmjereni 5. 8. 1992. godine.

Između hidroloških postaja Jesenice i Podsused-Žičara kreirane su virtualne hidrološke postaje, budući da za izradu karte ekvipotencijala dvije hidrološke postaje na rijeci Savi nisu dovoljne. Vodostaj na virtualnim hidrološkim postajama dobiven je metodom linearne interpolacije između dvije susjedne hidrološke postaje. Vodostaj između početne točke (Hidrološka postaja Jesenice) i završne točke (Hidrološka postaja Podsused-Žičara) linearno se interpolira prema izrazu:

$$h = h_p + ((h_z + h_p)/L) \cdot L_i \quad (4.1)$$

gdje je:

$h_i$  – vodostaj na  $i$ -toj virtualnoj hidrološkoj stanici (m n. m.),

$h_p$  – vodostaj na početnoj stvarnoj hidrološkoj stanici (m n. m.),

$h_z$  – vodostaj na završnoj stvarnoj hidrološkoj stanici (m n. m.),

$L$  – udaljenost između početne i završne stvarne hidrološke stanice (m),

$L_i$  – udaljenost između početne stvarne hidrološke stanice i  $i$ -te virtualne hidrološke stanice (m).

U tablici 4.8 prikazani su podaci dobiveni proračunom. Nakon izračuna vodostaja na virtualnim hidrološkim postajama uslijedila je interpolacija organiziranih podataka o razinama podzemne vode i vodostaja. Za interpolaciju je korišten Kriging algoritam u sklopu računalnog programa Surfer.

Dobivena karta ekvipotencijala prikazuje stanje razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika na dan 5. 8. 1992. godine. U prilogu 1 prikazane su lokacije hidroloških postaja, virtualnih hidroloških postaja i piezometara koji su korišteni za izradu karte ekvipotencijala, a u prilogu 2 prikazana je karta ekvipotencijala.

**Tablica 4.8. Vodostaji virtualnih hidroloških postaja na rijeci Savi.**

Hidrološke postaje/Virtualne hidrološke postaje	Li [m]	Vodostaj [m n. m.]
Jesenice		131,21
0	1001,549	130,31
1	2001,795	129,41
2	3001,719	128,51
3	4002,08	127,62
4	5003,405	126,72
5	6004,336	125,82
6	7004,927	124,92
7	8005,271	124,02
8	9005,321	123,12
9	10005,93	122,23
10	11006,5	121,33
11	12007,33	120,43
12	13007,35	119,53
13	14007,49	118,63
Podsused-Žičara	15336,05	117,44

## 5. DISKUSIJA

Prema Driscollu (1986), kod otvorenih vodonosnika zdenci obično crpe one količine s kojima kod maksimalnih kapaciteta zadržavaju razinu podzemne vode neznatno iznad kote gornjeg ruba filtra. Prilikom pada razine podzemne vode ispod kote gornjeg ruba filtra, dolazi do smanjenja kapaciteta zdenca, a smanjenje kapaciteta jednog od zdenaca uzrokuje smanjenje ukupne crpne količine vodocrpilišta. Iz navedenog slijedi da smanjenje ukupne crpne količine vodocrpilišta dovodi do smanjenja ukupne količine vode u sustavu vodoopskrbe ako u njemu djeluje više od jednog vodocrpilišta, kao što je slučaj s vodocrpilištima Bregana, Strmec i Šibice. Stoga je u svrhu optimalnog upravljanja izvorima podzemne vode potrebno održavati razinu podzemne vode iznad kote gornjeg ruba filtra zdenaca da bi se izbjeglo smanjenje ukupne količine vode u sustavu.

Analizirajući nivograme identificirane su minimalne razine samoborsko-zaprešićkog vodonosnika u cjelini. Iz nivograma se također može zaključiti da na područjima istraživanih vodocrpilišta postoji kontinuirani višegodišnji trend snižavanja razine podzemne vode koji je prikazan linijama linearnog trenda (vidi slike 4.2 do 4.20). Na nivogramima na kojima je razina podzemne vode pala ispod kote gornjeg ruba filtra može se uočiti da se vrijednosti razine podzemne vode koje su u razini kote gornjeg ruba filtra sve više približavaju rasponu vrijednosti srednjih razina podzemne vode. U prilog prethodno navedenom svjedoče rezultati analize trendova razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika dobiveni u sklopu diplomskog rada „*Analiza trendova razina podzemne vode samoborskoga aluvijalnog vodonosnika*“, gdje se u razdoblju od 1976. g. do 2006. g. analizira promjena srednjih razina podzemne vode od početnog do završnog razdoblja mjerenja, pri čemu je zaključeno da se najveće promjene uočavaju uz tok rijeke Save, osobito na uzvodnom dijelu lijeve obale gdje je došlo do smanjenja srednjih razina podzemne vode u iznosu od 1,7 m, te oko vodocrpilišta Bregana (oko 0,95 do 1,2 m), Strmec (oko 0,95 do 1,2 m) i Šibice (oko 0,9 do 1,2 m) (Jelić, 2009). Budući da je trend snižavanja razine podzemne vode kontinuiran u istraživanom razdoblju, analizom nivograma je ustanovljeno da se u sušnim razdobljima koja su uslijedila nakon što su minimalne razine podzemne vode prvi puta postignute 5. 8. 1992. g., razina podzemne vode na lokacijama zdenaca B1 i B2 na vodocrpilištu Bregana, B5 i B6 na vodocrpilištu Strmec i B1 na vodocrpilištu Šibice, spuštala ispod identificiranih minimalnih razina podzemne vode. Premda na lokacijama zdenaca B3 na vodocrpilištu Bregana, B4, B6, B8 i B9 na vodocrpilištu Strmec i B0, B2, B3, B4, B5, B6 i B7 na

vodocrpilištu Šibice razina podzemne vode nije pala ispod kota gornjih rubova filtara, nastavak trenda kontinuiranog snižavanja razine podzemne vode može uzrokovati pad razine podzemne vode ispod kota gornjih rubova filtara navedenih zdenaca, što bi dodatno pogoršalo situaciju u smislu sve manjih ukupnih količina vode u sustavu vodoopskrbe.

Kao kratkoročna potencijalna rješenja koja bi mogla osigurati stabilnost vodoopskrbnog sustava mogu se predložiti dublji zdenci na već postojećim vodocrpilištima ili pak nova vodocrpilišta. Unatoč tome glavni problem predstavlja kontinuirani trend opadanja razine podzemne vode, stoga dugoročno rješenje predstavlja zaustavljanje negativnog trenda razine podzemne vode. Prema (Posavec et al., 2013) razlozi generalnog opadanja razine podzemne vode u samoborsko-zaprešićkom vodonosniku su proces snižavanja korita rijeke Save uslijed izgradnje lanca hidroelektrana u Republici Sloveniji, izgradnja nasipa za obranu od poplava duž rijeke Save koji sprječavaju plavljenja zaobalnog područja, a time i infiltraciju vode s tih područja u vodonosnik i naposljetku sve veća eksploatacija podzemne vode za potrebe vodoopskrbe. Kao konceptijsko rješenje uređenja i korištenja rijeke Save od Republike Slovenije do Siska predlaže se izgradnja vodnih stepenica poput već postojeće vodne stepenice termoelektrane-toplane Zagreb. Kvantifikacijom predloženog rješenja ustanovljeno je da se za izgrađeno stanje na vodocrpilištu Šibice niske razine podzemne vode povisuju za 4 m, a srednje i visoke razine za 2,5 m, dok se na vodocrpilištu Strmec niske razine podzemne vode povisuju za oko 3,5 m, srednje razine za oko 2,5 m, a visoke razine za 2 m u odnosu na neizgrađeno stanje. Temeljom navedenog i na temelju promatranja nivograma (vidi slike 4.7, 4.8, i 4.14), zaključuje se da bi se takvim povišenjem razine podzemne vode u dugim sušnim razdobljima, u kojima inače pri neizgrađenom stanju dolazi do pada razine podzemne vode ispod kote gornjeg ruba filtra zdenca B1 na vodocrpilištu Šibice, razina podzemne vode održala iznad kote gornjeg ruba filtra i osiguralo bi se crpljenje maksimalnom količinom, što također vrijedi i za zdence B5 i B6 na vodocrpilištu Strmec.

Posavec (2006) uz identifikaciju minimalnih razina podzemne vode zagrebačkog vodonosnika radi model prognoze razina podzemne vode modelima recesijskih krivulja za vrijeme dužih sušnih razdoblja. Usporedbom prognoziranih razina s identificiranim razinama podzemne vode dobiva se važna podloga za planiranje optimalnog eksploatiranja podzemne vode. Budući da je samoborsko-zaprešićki vodonosnik građen od aluvijalnih kvartarnih naslaga rijeke Save i otvorenog je tipa isto kao i zagrebački vodonosnik, kao sljedeći korak nakon identifikacije minimalnih razina podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika predlaže se primjena metode modela recesijskih krivulja uz



prethodna preliminarna istraživanja recesijskih segmenata vremenskih nizova razina podzemne vode, kako bi se ustanovilo mogu li se ti nizovi opisati nekim od linearnih/nelinearnih regresijskih modela. Uz zadovoljavanje pretpostavke da je recesija kontinuirana, prognoznim modelom moguće je dobiti prognoznju kartu ekvipotencijala koja se uspoređuje s kartom minimalnih razina podzemne vode kako bi se moglo optimalno upravljati sustavom vodoopskrbe na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, čiji su sastavni dio vodocrpilišta Bregana, Strmec i Šibice.

## 6. ZAKLJUČAK

Minimalne razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog aluvijalnog vodonosnika identificirane su analizom nivograma zdencima referentnih piezometara u odnosu na kotu gornjeg ruba najpliće smještenog filtra u zdencima. Analizom su obuhvaćeni podaci o razinama podzemne vode u razdoblju od 6. 8. 1981. godine do 1. 1. 2015. godine na vodocrpilištu Bregana i Strmec te od 1. 3. 1982. godine do 1. 1. 2015. godine na vodocrpilištu Šibice.

Provedenom analizom identificiran je zdenac u kojem je vodno lice u periodu recesije najprije doseglo kotu gornjeg ruba filtra zdenca u prethodno navedenom razdoblju. Vodna ploha, odnosno razina podzemne vode registrirana u tom trenutku definirana je kao minimalna razina podzemne vode.

Zaključeno je da se na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika minimalne razine podzemne vode najprije postižu na vodocrpilištu Bregana na lokaciji zdenca B1 5. 8. 1992. godine, zatim na vodocrpilištu Strmec na lokaciji zdenca B6 28. 8. 1997. godine i naposljetku na vodocrpilištu Šibice na lokaciji zdenca B1 28. 8. 2003. godine Minimalne razine podzemne vode definirane su sukladno koti gornjeg ruba filtra zdenca B1 vodocrpilišta Bregana koja iznosi 129,5 m n. m. Kao krajnji rezultat prikazana je karta ekvipotencijala koja prikazuje stanje razina podzemne vode 5. 8. 1992. godine kad su identificirane minimalne razine podzemne vode na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.

Promatrani nivogrami prikazuju i linije linearnog trenda razine podzemne vode, koji je na svim analiziranim nivogramima negativan, stoga se zaključuje da postoji vjerojatnost da uz zadržavanje negativnog trenda razine podzemne vode može doći do pada razine podzemne vode ispod kota gornjeg ruba filtra u zdencima u kojima u istraživanom razdoblju do toga nije došlo, što bi dodatno pogoršalo situaciju u smislu smanjenja ukupne količine crpljenja podzemne vode iz istraživanog vodonosnika.

U slučaju pojedinih zdenaca istraživanih vodocrpilišta, najbliži referentni piezometri su smješteni na udaljenosti i do 473 m. Za precizniju identifikaciju minimalne razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika potrebni su podaci o razinama podzemne vode u piezometrima koji su smješteni u neposrednoj blizini zdenaca, stoga izgradnja piezometara u neposrednoj blizini zdenaca na vodocrpilištima predstavlja rješenje za precizniju identifikaciju minimalnih razina podzemne vode.

Identifikacijom minimalnih razina podzemne vode dobiveni su ključni podaci koji uz prognoziranje razina podzemne vode čine glavnu podlogu za optimalno upravljanje izvorima podzemne vode na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.

## 7. LITERATURA

BAČANI, A., POSAVEC, K., 2014. Elaborat o zonama zaštite izvorišta Strmec, Šibice i Bregana. Zagreb: Arhiv Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

BLAŠKOVIĆ, I., DRAGIČEVIĆ, I. 1989. Studija prostornog rasporeda i geometrije sedimentnih tijela i njihov utjecaj na hidrogeološke odnose na području lijeve i desne obale Save od Bregane do Rugvice. Zagreb: Arhiv Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta (neobjavljeno).

DRISCOLL, F., G., 1986. Groundwater and wells. Second edition. Sixth printing. Johnson Screens. St. Paul, Minnesota.

EGPV – evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske (1999). Ujednačavanje baze znanja i grafičke baze za dolinski dio Save. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

JELIĆ, M., 2009. Analiza trendova razina podzemne vode samoborskoga aluvijalnog vodonosnika. Diplomski rad. Zagreb: Arhiv Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

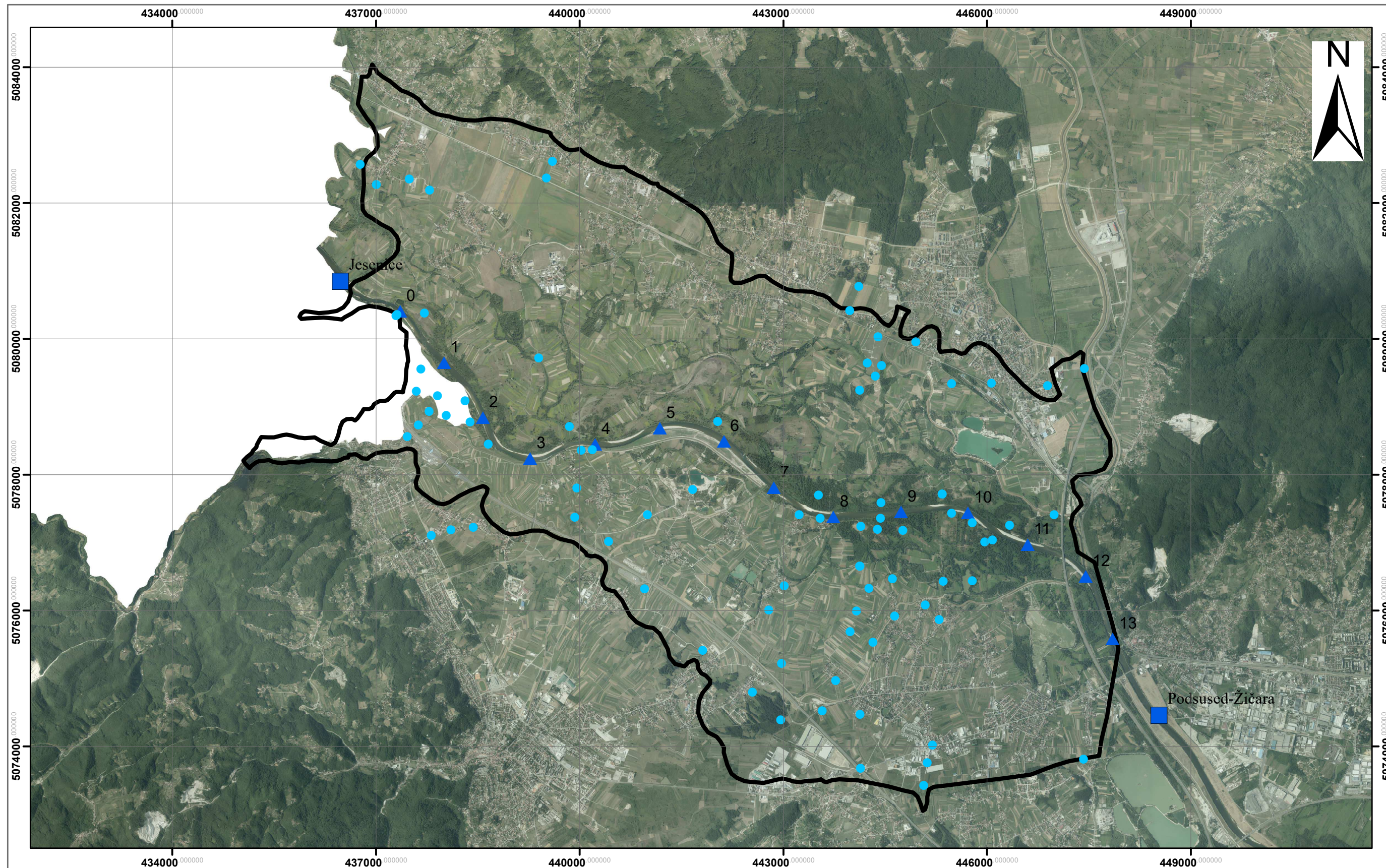
POSAVEC, K., 2006. Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja. Doktorska disertacija. Zagreb: Arhiv Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Sveučilište u Zagrebu.

POSAVEC, K., BAČANI, A., NAKIĆ, Z., 2013. Analiza utjecaja višenamjenskog hidrotehničkog sustava uređenja, zaštite i korištenja rijeke Save od granice s Republikom Slovenijom do Siska (Koncept sustava) na podzemne vode zagrebačkog i samoborskog vodonosnika. Fond dokumentacije tvrtke Elektroprojekt d.d., Zagreb.





ŠIKIĆ, K., BASCH, O. I ŠIMUNIĆ, A., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 – list Zagreb. Institut geoloških istraživanja Zagreb.

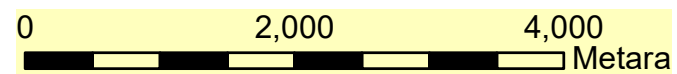
ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1979. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Zagreb, L33-80. Zagreb: Institut za geološka istraživanja Zagreb. Savezni geološki zavod Beograd.

VELIĆ, J., SAFTIĆ, B., 1991. Subsurface Spreading and Facies Characteristics of Middle Pleistocene Deposits between Zaprešić and Samobor. Geološki vjesnik, 44, 69–82.

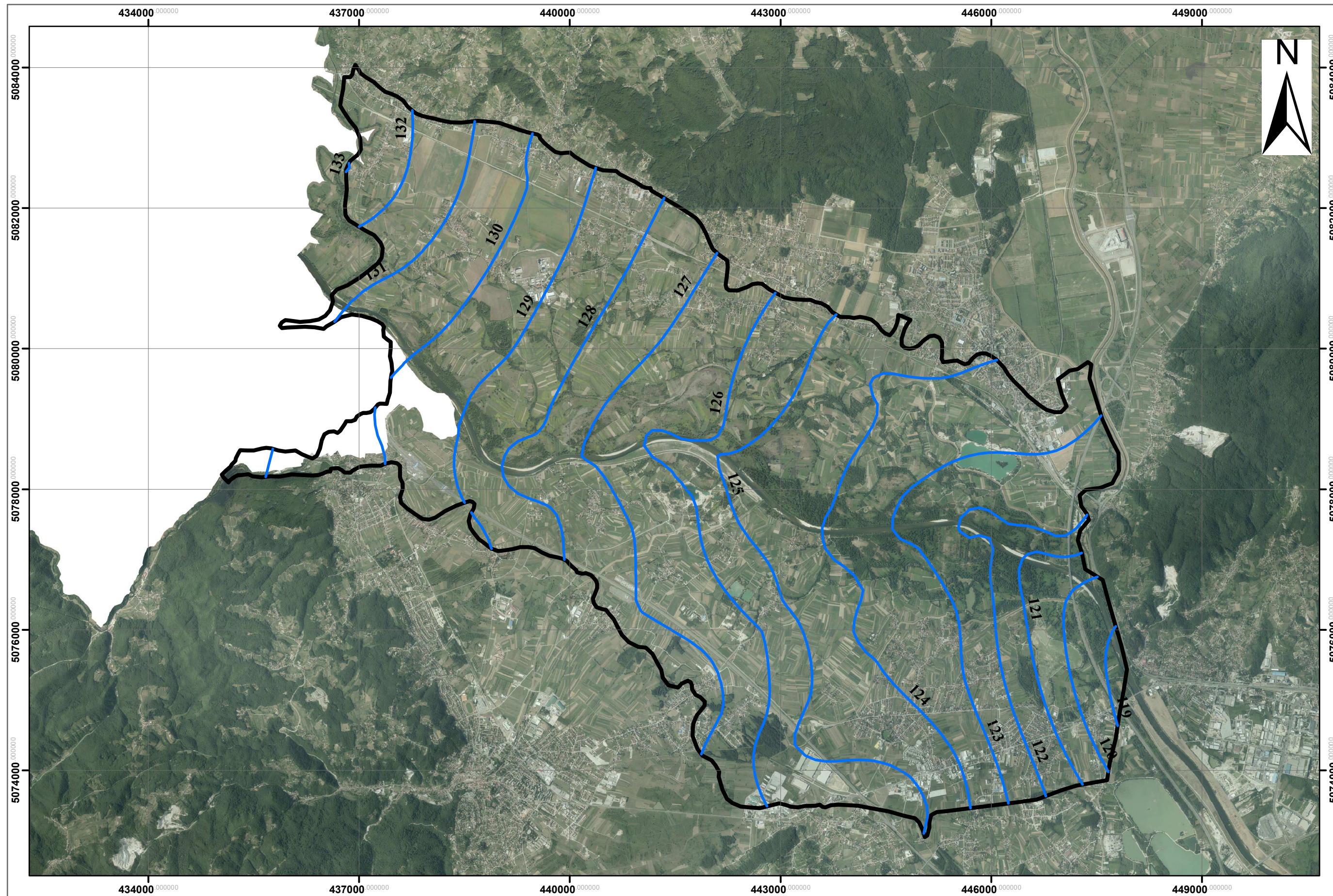


**Tumač oznaka:**



-  Domena samoborsko-zaprešičkog vodonosnika
-  Virtualne hidrološke postaje
-  Hidrološke postaje
-  Piezometri

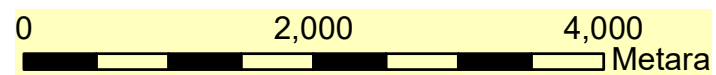


Prilog 1. Korišteni piezometri, hidrološke postaje i virtualne hidrološke postaje.



**Tumač oznaka:**

 Domena samoborsko-zaprešičkog vodonosnika  
 Ekvipotencijale na dan 5. 8. 1992. godine.



Prilog 2. Karta ekvipotencijala razina podzemne vode;  
Datum: 5. 8. 1992. godine.