

# Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja samoborsko-zaprešićkog vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode

---

Šahdanović, Sanela

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:015218>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-19**



*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 ZONA PRETEŽITOG  
PRIHRANJIVANJA/DRENIRANJA SAMOBORSKO-ZAPREŠIĆKOG  
VODONOSNIKA ANALIZOM KRIVULJA TRAJANJA RIJEKE SAVE I  
RAZINA PODZEMNE VODE

Diplomski rad

Sanela Šahdanović

GI-182

Zagreb, 2016.

IDENTIFIKACIJA ZONA PRETEŽITOG PRIHRANJIVANJA/DRENIRANJA SAMOBORSKO-  
ZAPREŠIČKOG VODONOSNIKA ANALIZOM KRIVULJA TRAJANJA RIJEKE SAVE I RAZINA  
PODZEMNE VODE

SANELA ŠAHDANOVIĆ

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

Sažetak

Cilj ovog rada bio je odrediti zone samoborsko-zaprešičkog vodonosnika u kojima rijeka Sava drenira ili prihranjuje vodonosnik. Analizirani su vodostaji rijeke Save i razine podzemne vode na temelju krivulja trajanja. Određene su hiporheične zone samoborsko-zaprešičkog vodonosnika pomoću karti ekvipotencijala za niske i srednje vode. Izdvojeno je sedam piezometara u području oko rijeke Save i četiri hidrološke postaje pomoću kojih su izrađena četiri profila na kojima su izvršene analize. Izdvojeni piezometri i hidrološke postaje su statistički obrađeni za razdoblje od 2003. do 2012. godine. U radu su prikazane krivulje trajanja vodostaja i razina podzemne vode, a također su izrađene i tablice za rezultate analize pojedinih godina unutar analiziranog razdoblja.

Ključne riječi: hiporheične zone, krivulje trajanja, samoborsko-zaprešički vodonosnik, rijeka Sava

Diplomski rad sadrži: 19 stranice, 4 tablice, 7 priloga i 11 slika

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog Fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

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

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

Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Doc. dr. sc. Željko Duić

Datum obrane: 19.02.2016., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

IDENTIFICATION OF THE PREDOMINANT RECHARGE/DISCHARGE ZONES OF THE ZAPREŠIĆ-  
SAMOBOR AQUIFER USING THE ANALYSIS OF THE FLOW DURATION CURVES OF SAVA  
RIVER AND GROUNDWATER LEVELS

SANELA ŠAHDANOVIĆ

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

Abstract

The goal of this thesis was to determine zones of Samobor-Zaprešić aquifer in which Sava River discharges or recharges it. Water levels of Sava River and groundwater levels were analyzed based on flow duration curves. Hyporheic zones Samobor-Zaprešić aquifer were determined using the head contour maps for low and medium water levels. There were selected 7 piezometers and 4 hydrological stations which were used to create 4 cross-sections that were analyzed. Chosen piezometers and hydrological stations were statistically processed for period 2003 until 2012. Flow duration curves and groundwater levels were shown and also tables were made to show analysis results for certain years within analyzed period.

Keywords: hyporheic zones, flow duration curves, Samobor-Zaprešić aquifer, Sava River

Thesis contains: 19 pages, 4 tables, 7 enclosures and 11 figures

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Kristijan Posavec, Associate Professor

Reviewers: PhD Kristijan Posavec, Associate Professor  
PhD Andrea Bačani, Full Professor  
PhD Željko Duić, Assistant Professor

Date of presentation: February 19<sup>th</sup> 2016, Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering

## Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPIS PODRUČJA ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>2</b>
2.1. GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE .....	2
2.2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE .....	3
2.3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE .....	3
<b>3. METODE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>5</b>
3.1. ALATI ZA OBRADU I PRIKAZ PODATAKA .....	5
3.2. REZULTATI OBRADE PODATAKA .....	6
<b>4. ZONE PRETEŽITOG PRIHRANJIVANJA/DRENIRANJA ZAPREŠIČKO-SAMOBORSKOG VODONOSNIKA .....</b>	<b>9</b>
4.1. HIPORHEIČNE ZONE.....	9
4.2. ODREĐIVANJE ZONA PRETEŽITOG PRIHRANJIVANJA I/ILI DRENIRANJA SAMOBORSKO-ZAPREŠIČKOG VODONOSNIKA .....	10
4.2.1. Profil 1 .....	12
4.2.2. Profil 2 .....	13
4.2.3. Profil 3 .....	14
4.2.4. Profil 4 .....	16
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>18</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>19</b>

## **Popis slika**

Slika 2.1. Domena samoborsko-zaprešičkog vodonosnika.....	2
Slika 2.2. Shematski profil samoborskog vodonosnika (preuzeto iz Posavec, 2006.) .....	4
Slika 3.1. Karta ekvipotencijala niskih voda - 23.08.2012. ....	7
Slika 3.2.. Karta ekvipotencijala srednjih voda - 28.05.2009.....	7
Slika 3.3. Karta ekvipotencijala visokih voda - 20.09.2010. ....	8
Slika 4.1. Hiporheične zone (prilagođeno prema www.usgs.gov) .....	9
Slika 4.2. Krivulje trajanja profila 1 .....	12
Slika 4.3. Krivulje trajanja profila 2 .....	13
Slika 4.4. Krivulje trajanja profila 3 (desna obala).....	14
Slika 4.5. Krivulje trajanja profila 3 (lijeva obala).....	15
Slika 4.6. Krivulja trajanja profila 4 .....	16

## **Popis Tablica**

Tablica 4.1. Rezultati analize profila 1.....	12
Tablica 4.2. Rezultati analize profila 2.....	14
Tablica 4.3. Rezultati analize profila 3.....	15
Tablica 4.4. Rezultati analize profila 4.....	17

# 1. UVOD

Cilj diplomskog rada bio je odrediti zone samoborsko-zaprešićkog vodonosnika u kojima rijeka Sava pretežito prihranjuje i/ili drenira vodonosnik, takozvane hiporheične zone.

Analizirane su krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika primjenom krivulje trajanja.

Krivulja trajanja jest krivulja koja pokazuje postotak vremena ili broj dana u godini, tijekom kojih je vodostaj ili protok jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronološki slijed (Žugaj, 2000).

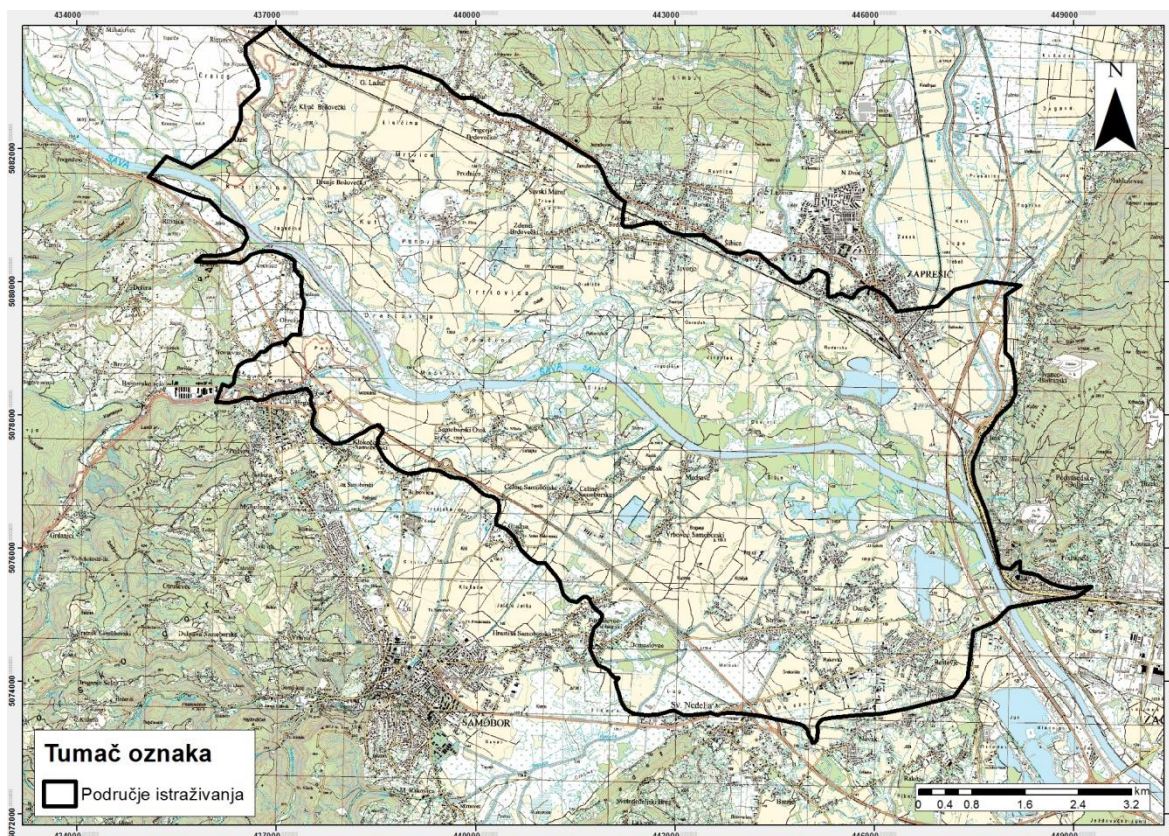
Prikazan je pregled područja istraživanja, njegove geografske i geomorfološke, geološke i hidrogeološke značajke. Izrađene su karte ekvipotencijala za niske, srednje i visoke vode koristeći programe *Surfer* i *ArcMap*, te su pomoću ekvipotencijala određene zone prihranjivanja i/ili dreniranja (hiporheične zone) samoborsko-zaprešićkog vodonosnika.

Izdvojeno je 7 piezometara oko područja rijeke Save u hiporheičnim zonama i 4 hidrološke stanice pomoću kojih su izrađena četiri profila na kojima su izvršene analize. Za statističku obradu izdvojenih piezometara i hidroloških postaja u razdoblju od 2003. do 2012. godine korišten je program *Microsoft Excel* te su izrađeni nivogrami i krivulje trajanja vodostaja i razina podzemne vode. Također su izrađene tablice za dobivene rezultate po pojedinim godinama analiziranog razdoblja. Pomoću programa *Adobe Illustrator* izrađeno je četiri priloga za četiri profila u kojima je prikazan profil korita rijeke Save na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, okolni teren kojem pripadaju izdvojeni piezometri te pripadajući vodostaji i razine podzemne vode, nivogrami i krivulje trajanja.

## 2. OPIS PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE

Samoborsko-zaprešićki vodonosnik (Slika 2.1.) čine šljunkovito-pjeskovite naslage saturirane vodom koje se nalaze između Bregane na zapadu, Podsuseda na istoku, Marijagoričkih brda na sjeveru i Žumberačko-samoborskog gorja na jugu. Prostire se duž Save, pravcem sjeverozapad-jugoistok u dužini od oko 15 km, s prosječnom širinom oko 5 km. Rijeka Sava dijeli vodonosnik na lijevo i desno zaobalje (Martinuš, 2011.)



Slika 2.1. Domena samoborsko-zaprešićkog vodonosnika



## **2.2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE**

Samoborsko-zaprešički vodonosnik čine srednje i gornjo pleistocenske te holocenske naslage. Na tom području su tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena bila jezera i močvare, a okolno gorje (Medvednica, Marijagorička Brda i Žumberačko gorje) bilo je kopno podložno intenzivnoj eroziji i denudaciji. Trošeni materijal nošen je potocima i taložen u jezerima i močvarama (Velić i Saftić, 1991). Početkom holocena, klimatski i tektonski procesi omogućili su prodor rijeke Save, čime je započeo transport materijala s područja Alpa (Velić i Durn, 1993).

Posljedica takvih uvjeta taloženja je izrazita heterogenost i anizotropija vodonosnika te neujednačena debljina naslaga.

Aluvijalne naslage samoborskog vodonosnika su na sjeveru u kontaktu s pretežito nepropusnim miocenskim i pliokvartarnim naslagama Marijagoričkih brda, a u području ušća rijeke Krapine s aluvijalnim propusnim naslagama rijeke Krapine. Zapadna granica je rijeka Sutla, a na jugu/jugozapadu samoborski vodonosnik prelazi u nepropusne naslage Samoborskog gorja. Na istočnom rubu komunikacija samoborskog vodonosnika sa zagrebačkim je slaba zbog male kontaktne površine.

## **2.3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE**

U profilu se razlikuju dva vodonosna sloja: prvi vodonosni sloj s dominantno aluvijalnim naslagama rijeke Save i drugi vodonosni sloj s dominantno jezersko-barskim naslagama. Debljine vodonosnog sustava od 60 m registrirane su kod Strmca a to su ujedno i najveće debljine. Slabopropusna krovina ili nije prisutna ili dostiže debljinu od svega nekoliko metara na većem dijelu vodonosnog sustava, a povećava se tek u rubnim predjelima i do petnaestak metara. Podinu vodonosnog sustava čine slabo propusne naslage.

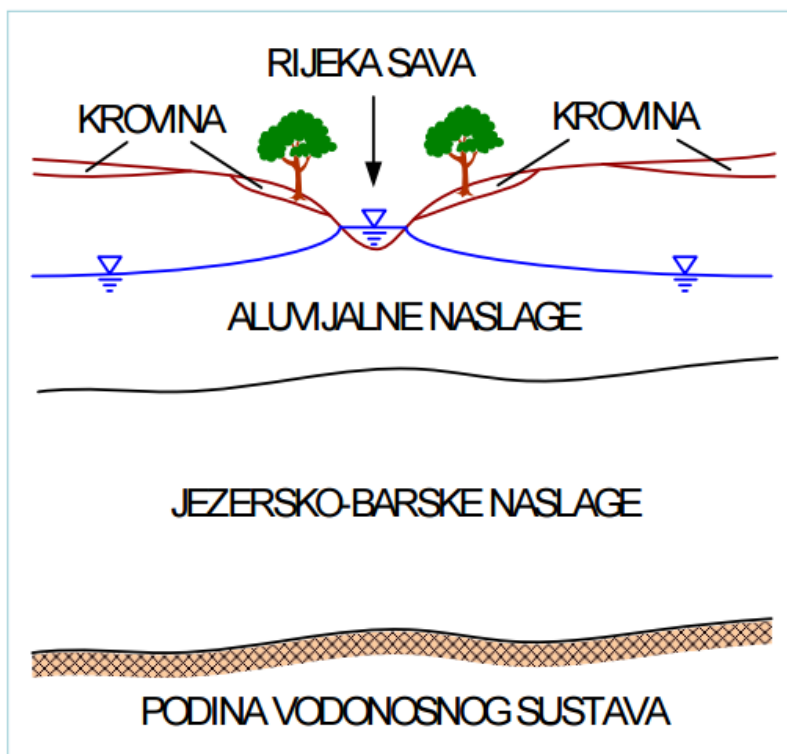
Samoborsko-zaprešički vodonosnik je otvoreni vodonosnik što znači da mu gornju granicu saturacije čini vodna ploha pod atmosferskim tlakom. Njegovo horizontalno prostiranje određeno je kvartarnim naslagama, koje pak definiraju domenu vodonosnika.

Kvartarne naslage podijeljene su u tri 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 mlađe pleistocenski vodonosnik građen od jezersko – barskih naslaga s čestim lateralnim i vertikalnim

izmjenama šljunka, pijeska i gline. Rubne granice vodonosnika čine u hidrauličkom smislu nepropusna granica na sjeveru-zapadni dio i granica dotjecanja na sjeveru-istočni dio, nepropusna granica na zapadu-desna obala, granica zadanog potencijala na zapadu-lijeva obala, nepropusna granica na jugu te granica otjecanja na istoku.

Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku/ jugoistoku. Napajanje vodonosnika se u najvećoj mjeri ostvaruje (1) infiltracijom iz rijeke Save; (2) infiltracijom oborina; (3) infiltracijom iz rijeke Sutle; (3) infiltracijom iz propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže; te (4) dotjecanjem iz aluvija Krapine (Posavec, 2006).

Analizom karata ekvipotencijala utvrđeno je da Sava za vrijeme visokih voda napaja vodonosnik duž cijelog toka, dok za vrijeme srednjih i niskih voda na pojedinim dijelovima toka dolazi do dreniranja vodonosnika što nepovoljno utječe na razine podzemne vode, a s time i na raspoložive količine za vrijeme dužih sušnih razdoblja. Sava je svojim koritom usječena u aluvijalne holocenske naslage koje su dominantno zastupljene šljuncima izrazito visoke hidrauličke vodljivosti čija vrijednost iznosi do 3300 m/dan kod Bregane, oko 1500 m/dan kod Strmca i oko 1000 m/dan kod Šibica. Uspoređujući nivograme Save s nivogramima razina podzemne vode mjerenih na piezometrima u neposrednoj blizini Save zapaža se izuzetno dobra povezanost vodostaja Save i razina podzemne vode (Posavec i Bačani 2014).



Slika 1.2. Shematski profil samoborskog vodonosnika (preuzeto iz Posavec, 2006)

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. ALATI ZA OBRADU I PRIKAZ PODATAKA

Programi koji su korišteni u ovom diplomskom radu su Surfer, ArcMap, Microsoft Excel i Adobe Illustratoru.

- ❖ Surfer je program razvijen od tvrtke Golden Software Inc.; služi za interpolaciju podataka, oblikovanje te 2D i 3D prikaze površine terena, kartiranje, izradu razvodnica i ostalih mogućnosti. Ovdje je korišten za izradu karti ekvipotencijala pomoću koordinata piezometara i hidroloških stanica te razina podzemnih voda i vodostaja.
- ❖ ArcMap je glavna komponenta Esri ArcGis paketa geoprostornih programa i koristi se za pregled, obradu, stvaranje i analizu geoprostornih podataka. ArcMap omogućuje korisnicima istraživanje podataka unutar baze podataka, simbolizira značajke u skladu s podacima i kreiranje karata. U ovom radu korišten je za prikaz karata ekvipotencijala za niske, srednje i visoke vode, prostorni prikaz piezometara i hidroloških postaja, određivanje hiporheičnih zona te profila koji su korišteni za analizu.
- ❖ Microsoft excel proizvod je tvrtke Microsoft i sastavni je dio programskog paketa Microsoft Office. Služi za rješavanje problema matematičkog tipa pomoću tablica i polja te ih je moguće povezivati različitim formulama. Služi i za izradu jednostavnijih baza podataka. Moguća je izrada grafova na temelju unesenih podataka. U ovom radu korišten je za statističku obradu podataka o vodostajima i razinama podzemne vode te za izradu nivograma i krivulja trajanja vodostaja i razina podzemne vode.
- ❖ Adobe Illustrator je računalni program za crtanje koji je razvila tvrtka Adobe System. U ovom radu korišten je za prikaz profila korita rijeke Save na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, okolni teren kojem pripadaju izdvojeni piezometri te pripadajući vodostaji i razine podzemne vode, nivogrami i krivulje trajanja.

### **3.2. REZULTATI OBRADJE PODATAKA**

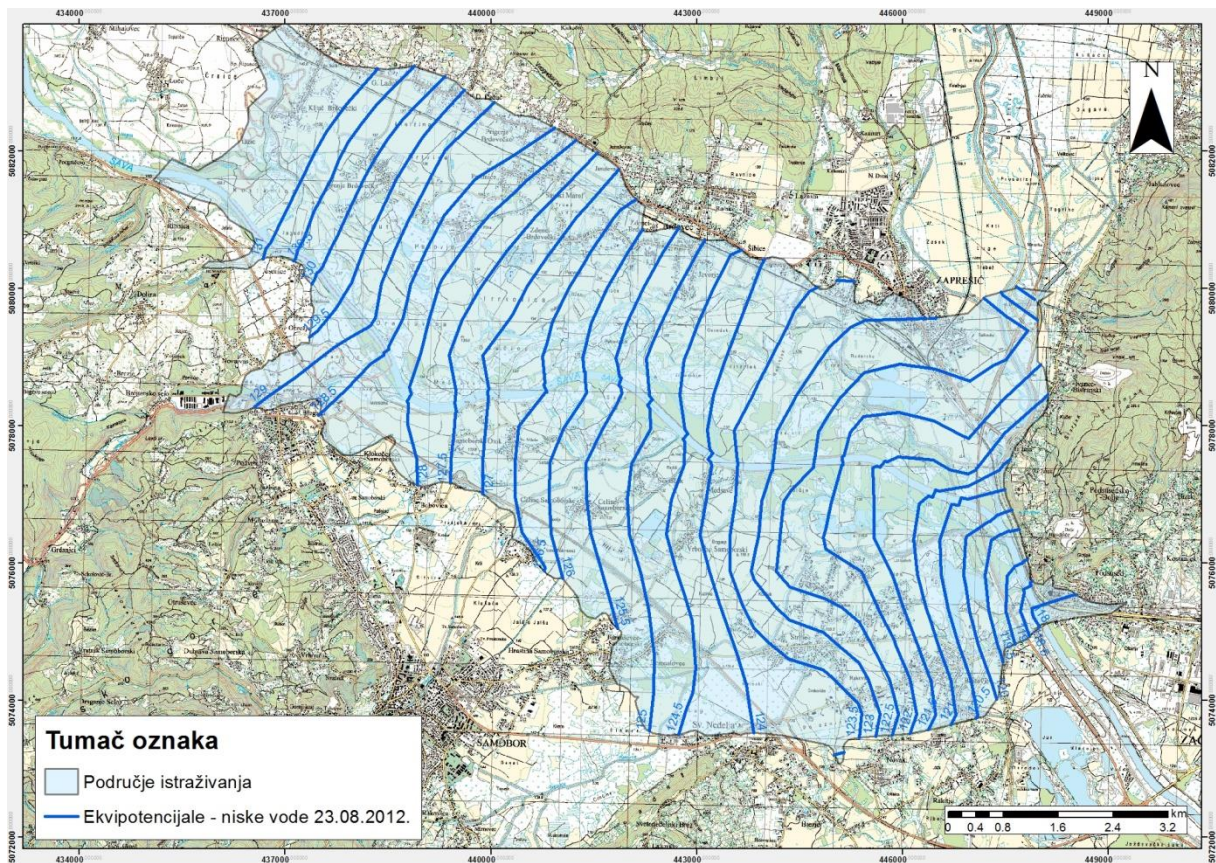
Karte ekvipotencijala izrađene su korištenjem podataka 125 piezometara i 3 hidrološke postaje na kojima mjerenje vrši DHMZ te 7 virtualnih postaja (Prilog 1). Virtualne postaje su potrebne zbog nedovoljnog broja hidroloških postaja na rijeci Savi. One su kreirane između stvarnih mjernih postaja na udaljenosti od jednog kilometra. Vodostaj na tim postajama izračunat je linearnom interpolacijom između dvije stvarne hidrološke postoje.

Podaci su interpolirani u programu Surfer a zatim grafički obrađeni u programu ArcMap te su tako dobivene karte ekvipotencijala za niske, srednje i visoke vode.

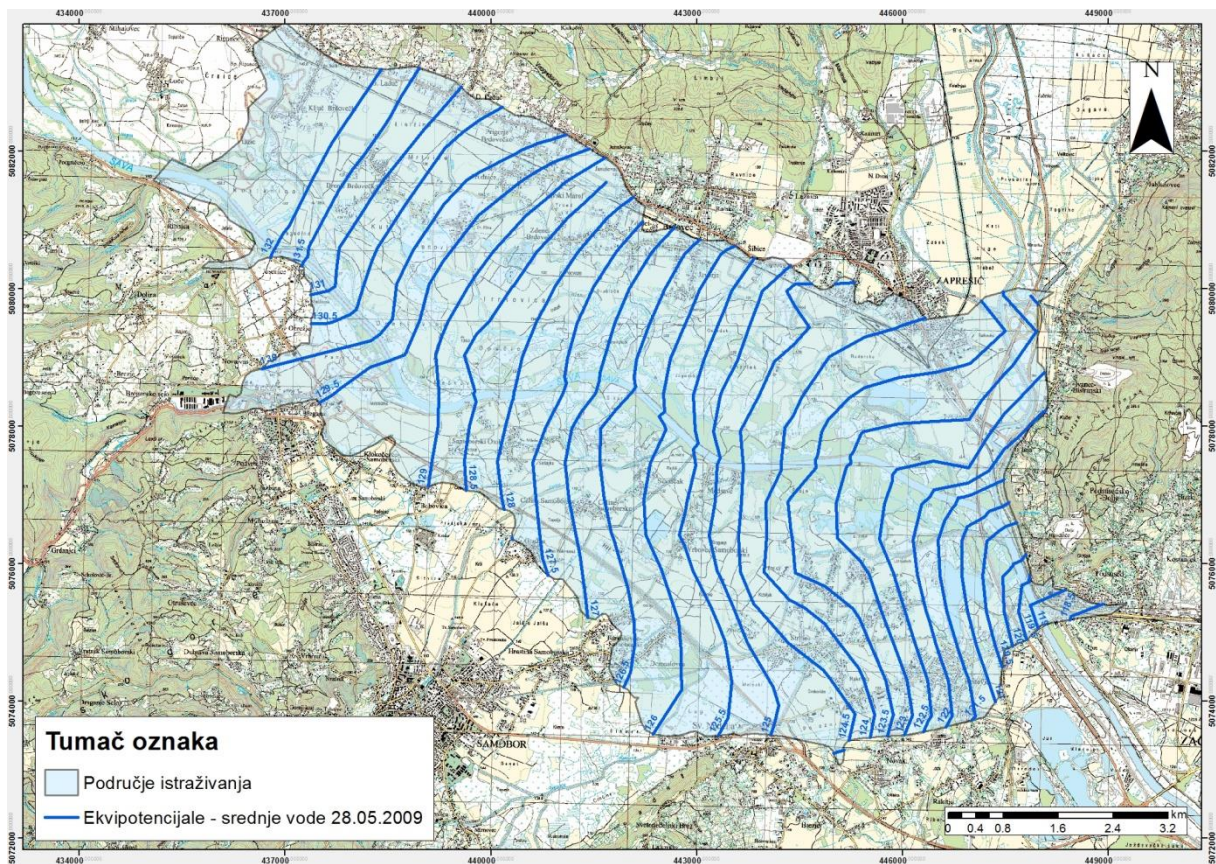
Promatrajući karte ekvipotencijala (Slika 3.1 do 3.3) vidljivo je da je generalni smjer toka podzemnih voda od zapada prema istoku odnosno jugoistoku. Rijeka Sava napaja vodonosnik za vrijeme visokih voda a za vrijeme niskih i srednjih voda dolazi do prihranjivanja i/ili dreniranja vodonosnika.

Pomoću karata ekvipotencijala određene su zone prihranjivanja i/ili dreniranja, odnosno hiporheične zone, također je određeno u kojoj mjeri rijeka Sava utječe na određeni dio vodonosnika (Prilog 2).

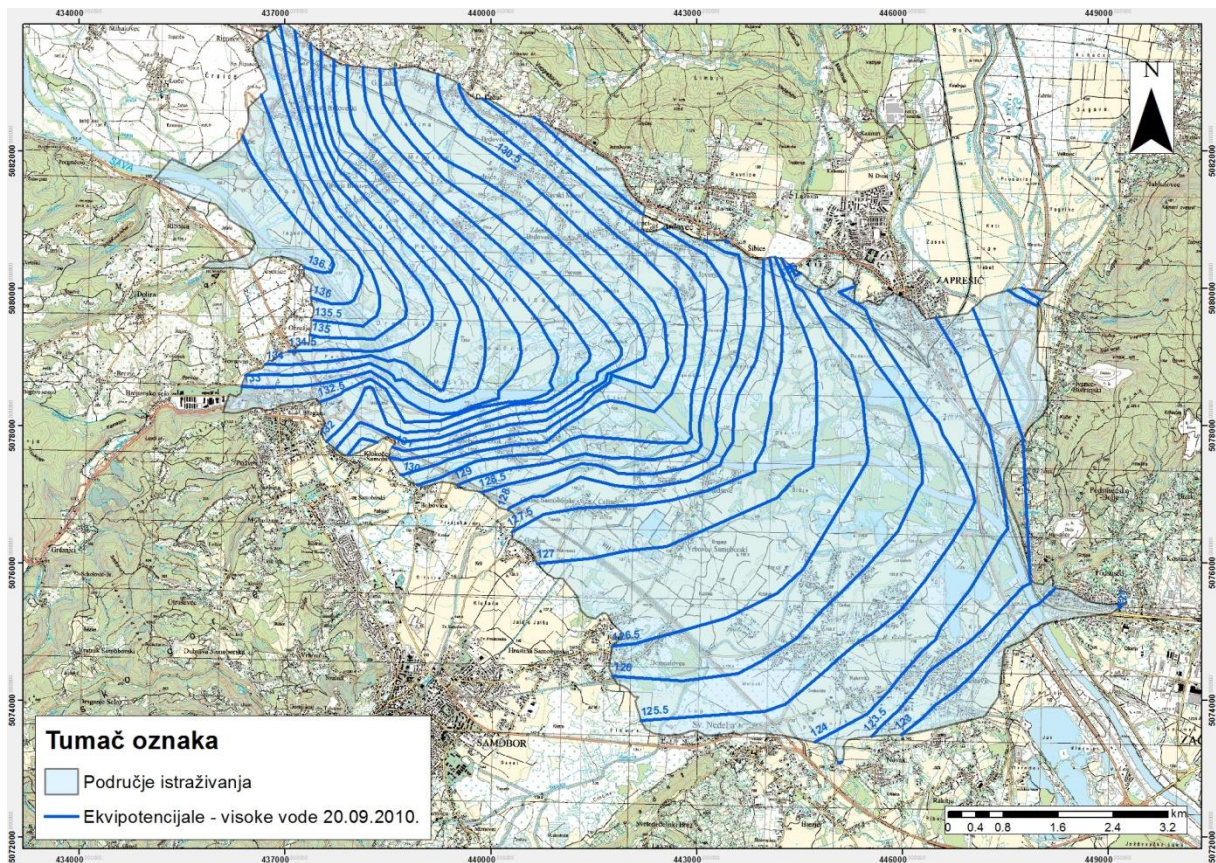
Za konstrukciju krivulje trajanja protoka polazi se od zbrojne ili kumulativne učestalosti neke vrijednosti. Ona predstavlja zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto. Kumulativna učestalost predstavlja trajnost i grafički se prikazuje krivuljom trajanja. Krivulja trajanja protoka, zajedno s hijetogramom, nivogramom, hidrogramom, krivuljom trajanja vodostaja i krivuljom učestalosti vodostaja i protoka, pripada osnovnim grafičkim prikazima u hidrologiji. (Žugaj et al., 2011).



Slika 2.1. Karta ekvipotencijala niskih voda - 23.08.2012.



Slika 3.2. Karta ekvipotencijala srednjih voda - 28.05.2009.



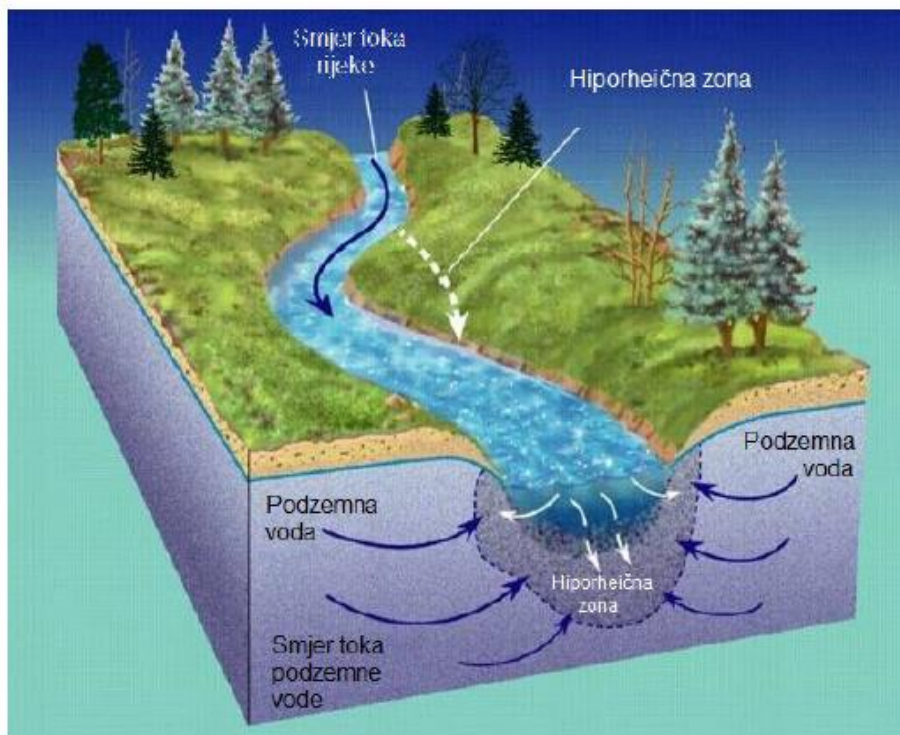
**Slika 3.3. Karta ekvipotencijala visokih voda - 20.09.2010.**

## 4. ZONE PRETEŽITOG PRIHRANJIVANJA/DRENIRANJA ZAPREŠIČKO-SAMOBORSKOG VODONOSNIKA

### 4.1. HIPORHEIČNE ZONE

Hiporheičnom (grč. Hypo – ispod i rheo – tok, teći) zonom (Slika 4.1.) se naziva područje u kojem dolazi do izmjene površinskih i podzemnih voda. Takva zona prostire se u području ispod korita rijeke ili jezera ali i u području bočno od njih. Hiporheična izmjena je jedinstvena jer tok vode koji ulazi u podzemni prostor (hiporheičnu zonu) u nekom trenutku nizvodno od tog područja izlazi na površinu.

Kratka hiporheična izmjena, centimetarskih do metarskih dimenzija, može biti izazvana blažim neravninama u samom koritu vodotoka, dok su duže hiporheične izmjene, metarskih do kilometarskih dimenzija, uzrokovane većim geomorfološkim značajkama.



Slika 4.1. Hiporheične zone (prilagođeno prema [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov))

Površinske i podzemne vode su se gotovo oduvijek promatrane odvojeno radi velikih razlika između tih dvaju okoliša. Površinske vode, prvenstveno kada se govori o rijekama, su područja s turbulentnim tokom i kratkim zadržavanjem vode, dok podzemnu vodu karakterizira laminarni tok i puno duže zadržavanje vode na istom mjestu (Boulton et al., 1998).

S obzirom da je to podzemna zona, teško ju je promatrati i precizno odrediti njene granice. To se može postići piezometrima u kojima bi se opažala razina podzemne vode i uzimali uzorci vode za analizu, a koji bi dokazali ista fizička i kemijska svojstva vode u vodotoku i podzemlju. Drugi način je korištenjem trasera u uzvodnom dijelu toka, na ulasku u potencijalnu hiporheičnu zonu, te potom opažanjem pojave trasera na nizvodnijim dijelovima toka, odnosno na izlasku iz hiporheične zone (Boano et al., 2014).

Bitno je razumjeti proces izmjene vode u takvoj zoni kako bi se mogao predvidjeti učinak pojedinih zahvata u koritu rijeke što uključuje kanaliziranje samog toka kako bi se spriječile poplave ali da bi se i predvidjelo kako će određeni zahvati na području vodonosnika kao što je izgradnja vodocrpilišta, utjecati na količinu, izmjenu i kvalitetu podzemne vode.

## **4.2. ODREĐIVANJE ZONA PRETEŽITOG PRIHRANJIVANJA I/ILI DRENIRANJA SAMOBORSKO-ZAPREŠIČKOG VODONOSNIKA**

Na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika pomoću ekvipotencijala niskih i srednjih voda određene su četiri zone na kojima će se analizom krivulja trajanja odrediti kakav utjecaj rijeka Sava ima na njih.

Izdvojeno je 7 piezometara na udaljenosti od 100 do 800 metara od rijeke Save. Koristeći podatke iz tih piezometara i 4 hidrološke postaje izrađena su 4 profila duž cijelog toka rijeke Save na promatranom području (Prilog 3). Za podatke o vodostajima rijeke Save korištene su 4 hidrološke postaje od kojih na jednoj postaji mjerenje vrši DHMZ a preostale tri su virtualne hidrološke postaje. Analizom krivulja trajanja vodostaja i razina podzemne vode u razdoblju od 2003. do 2012. godine određivalo se u kojoj mjeri rijeka Sava prihranjuje ili drenira određenu zonu u vodonosniku.

Prvi profil (Prilog 4) sastoji se od hidrološke postaje i jednog piezometra na lijevoj obali rijeke Save na udaljenosti od 773 metara od te hidrološke postaje. Analiza na tom profilu izvršena je u odnosu rijeke Save i tog piezometra.

Drugi profil (Prilog 5) sastoji se od hidrološke postaje i dva piezometra na desnoj obali na udaljenostima od 233 metra i 387 metara od rijeke Save. Analiza na tom profilu izvršena je u odnosu rijeke Save i njoj najbližeg piezometra te potom udaljenijeg



piezometra kako bi procjena vremena prihranjivanja i/ili dreniranja pojedine zone bila točnija.

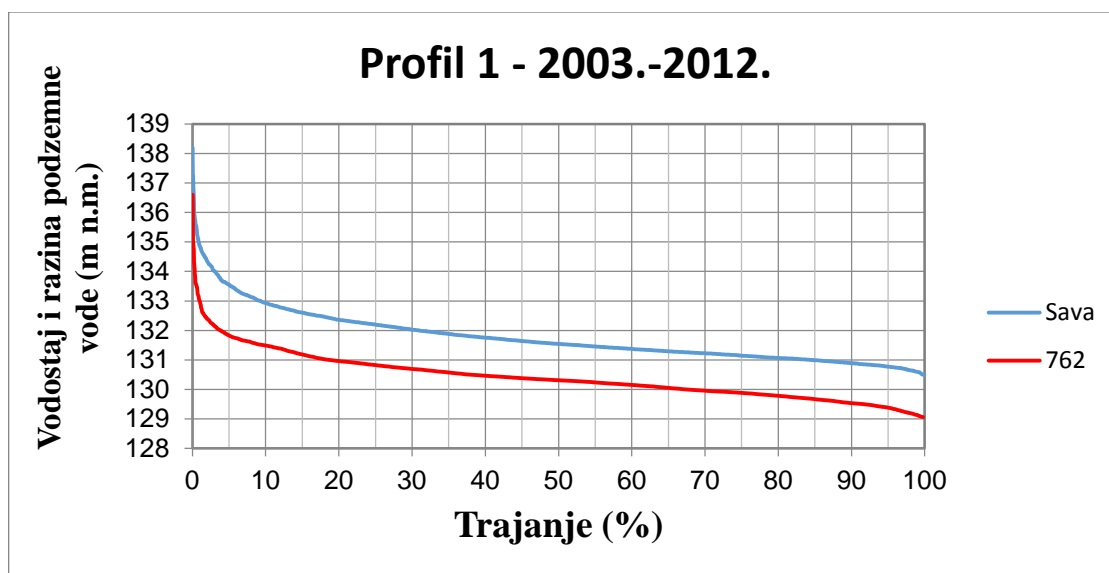
Treći profil (Prilog 6) se također sastoji od hidrološke postaje i dva piezometra, jednog na lijevoj obali i drugog na desnoj obali, na udaljenostima od 244 metara i 230 metara od rijeke Save. Analiza na tom profilu izvršena je u odnosu rijeke Save i tih piezometara.

Četvrti profil (Prilog 7), jednako kao i drugi, sastoji se od hidrološke postaje i dva piezometra na desnoj obali na udaljenostima od 148 metra i i 228 metara od rijeke Save. Analiza je izvršena jednako kao i na drugom profilu.

Nadalje slijedi prikaz rezultata analize krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode na odabrana 4 profila. Prikazane su krivulje trajanja za razdoblje od 2003. do 2012. godine, navedene su kote vodostaja na kojima dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja. Također su prikazane tablice s rezultatima analize pojedinačnih godina promatranog razdoblja.

#### 4.2.1. Profil 1

Duljina profila 1 iznosi 773 metara a sastoji se od hidrološke postaje Jesenice 2 na rijeci Savi i piezometra 762 na lijevoj obali rijeke Save. Na profilu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine.



Slika 4.2. Krivulje trajanja profila 1

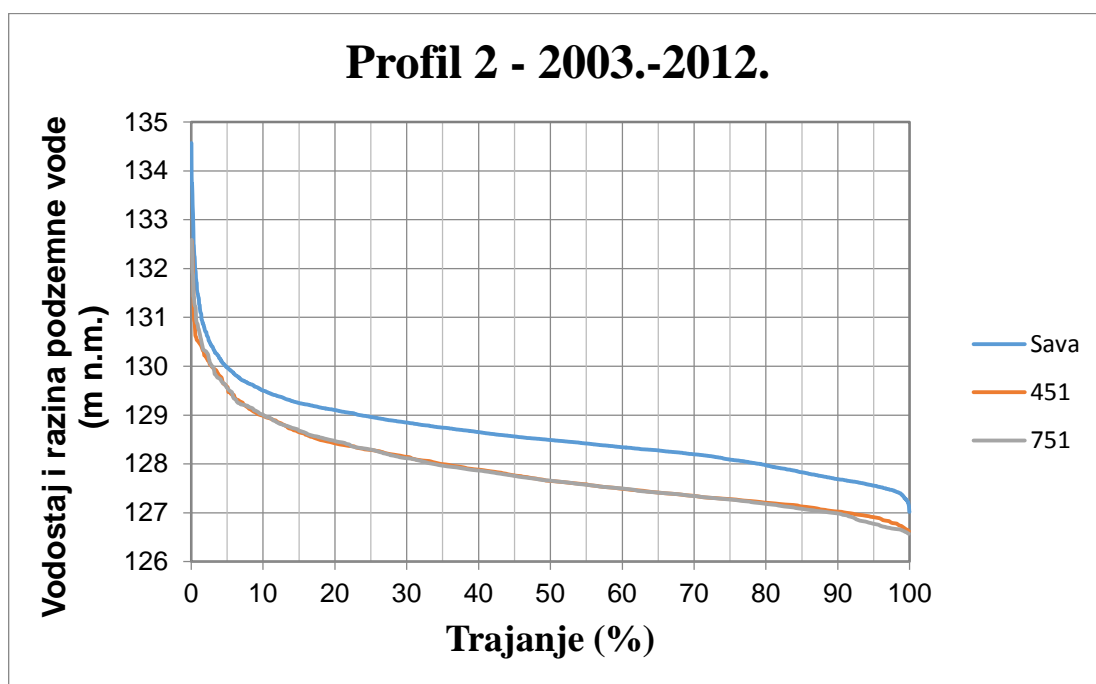
Vodostaj rijeke Save je 100 % vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 762. Rijeka Sava dominantno napaja taj dio vodonosnika.

Tablica 4.1 Rezultati analize profila 1

Profil 1	
Sava - 762	
2003.-2012.	100 %
2003.	100 %
2004.	100 %
2005.	100 %
2006.	100 %
2007.	100 %
2008.	100 %
2009.	100 %
2010.	100 %
2011.	100 %
2012.	100 %

#### 4.2.2. Profil 2

Duljina profila 2 iznosi 387 metara, a sastoji se od hidrološke stanice 3045-4 na rijeci Savi i piezometara 451 i 751 na desnoj obali rijeke Save. Na profilu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine.



Slika 4.3. Krivulje trajanja profila 2

Vodostaj rijeke Save je 100 % vremena viši od razine podzemne vode u piezometrima 451 i 751.

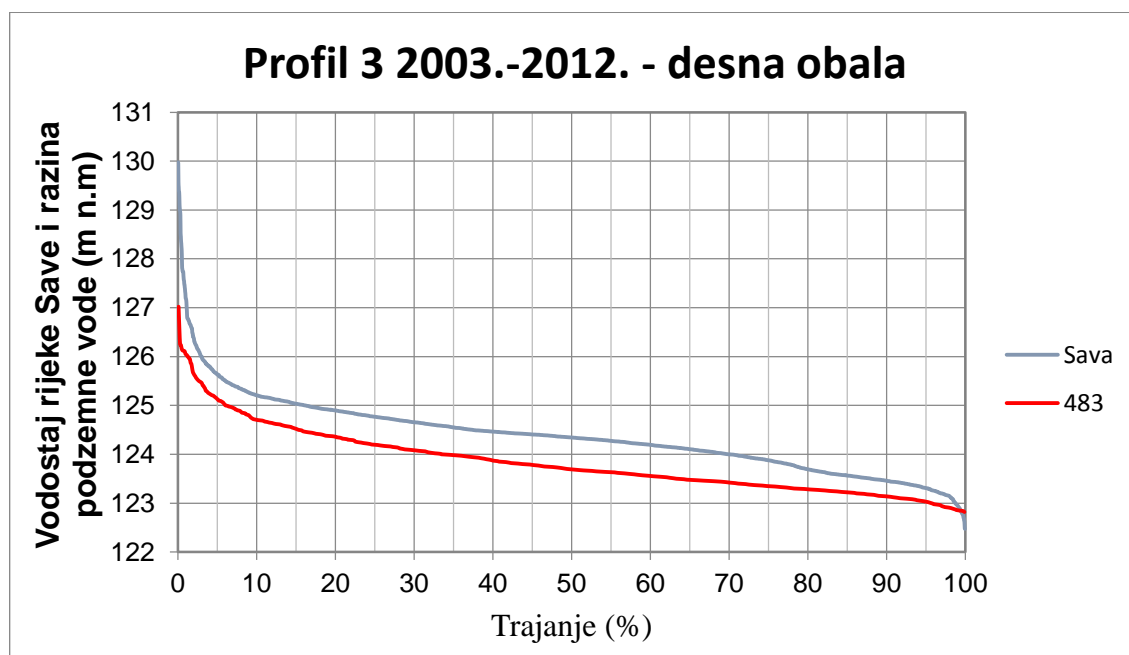
Rijeka Sava dominantno napaja taj dio vodonosnika

**Tablica 4.2. Rezultati analize profila 2**

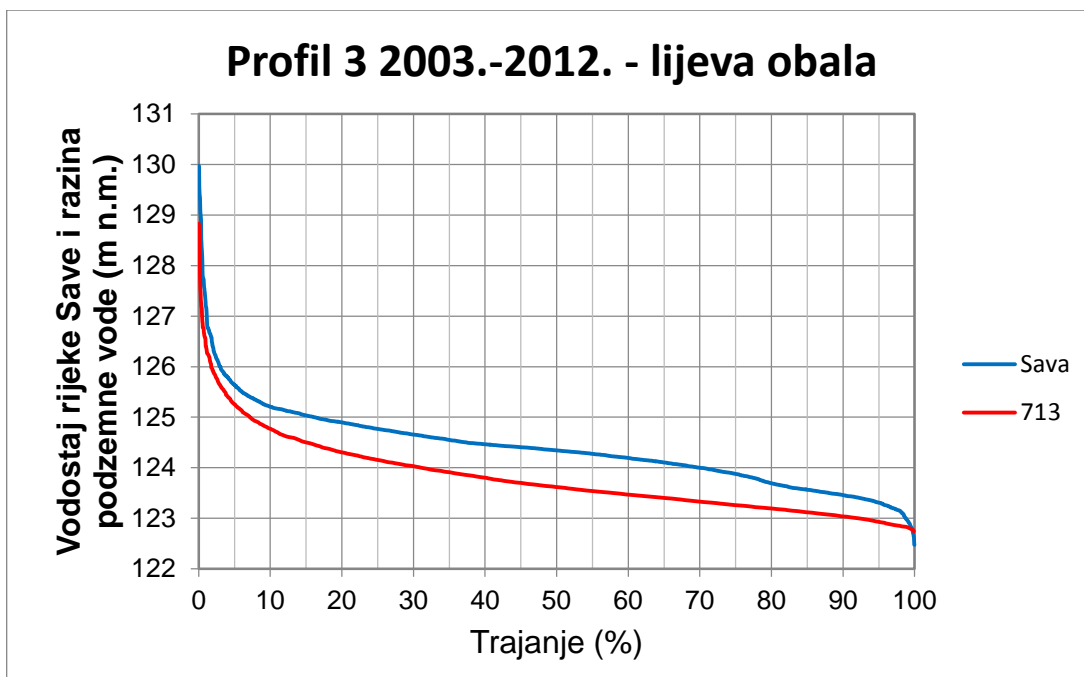
<b>Profil 2</b>		
<b>Sava – 451 - 751</b>		
2003.-2012.	100 %	100 %
2003.	100 %	100 %
2004.	100 %	100 %
2005.	100 %	100 %
2006.	100 %	100 %
2007.	100 %	100 %
2008.	100 %	100 %
2009.	100 %	100 %
2010.	100 %	100 %
2011.	100 %	100 %
2012.	100 %	100 %

### 4.2.3. Profil 3

Duljina profila 3 iznosi 463 metara, a sastoji se od hidrološke stanice 3066-1, piezometra 713 na lijevoj obali rijeke Save i piezometra 483 na desnoj obali rijeke Save. Na profilu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine.



**Slika 4.4.. Krivulje trajanja profila 3 (desna obala)**



**Slika 3.5. Krivulje trajanja profila 3 (lijeva obala)**

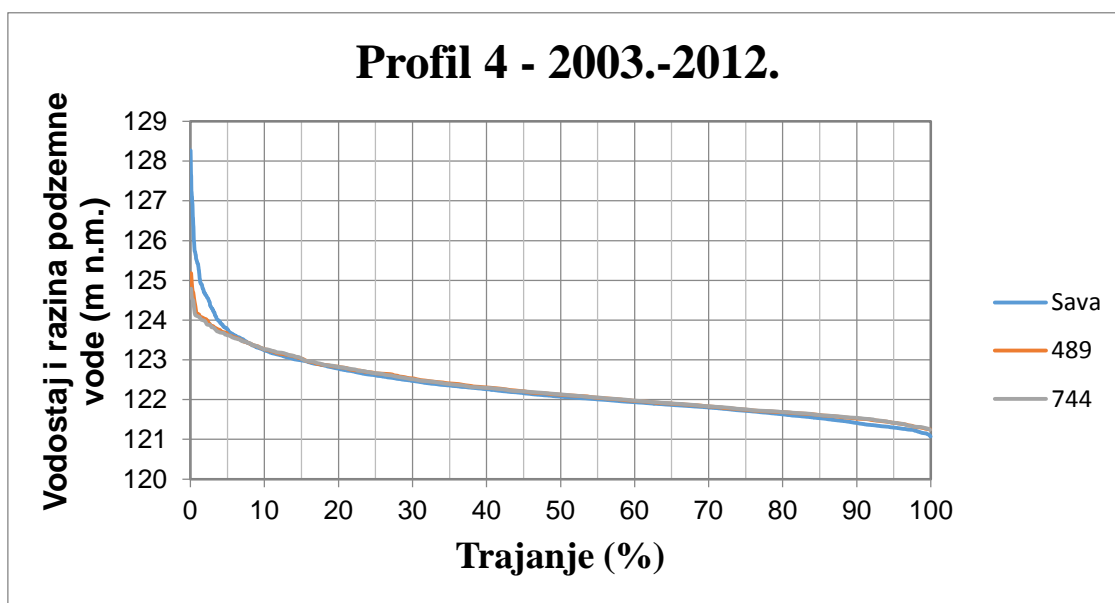
Vodostaj rijeke Save je 99,5% vremena viši a 0,5% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 483 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno prihranjuje ovaj dio vodonosnika na desnoj obali a kota na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 122,8 m n.m. Vodostaj rijeke Save je 99,8% vremena viši a 0,2 % vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 713 na lijevoj obali. Rijeka Sava dominantno prihranjuje ovaj dio vodonosnika na desnoj obali a kota na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 122,7 m n.m.

**Tablica 4.3. Rezultati analize profila 3**

<b>Profil 3</b>		
<b>713 - Sava - 483</b>		
2003.-2012.	99,8 %	99,5 %
2003.	100 %	100 %
2004.	100 %	100 %
2005.	100 %	99%
2006.	100 %	100 %
2007.	100 %	100 %
2008.	97,1 %	98 %
2009.	100 %	100 %
2010.	100 %	100 %
2011.	94 %	87,5 %
2012.	100 %	100 %

#### 4.2.4. Profil 4

Duljina profila 4 iznosi 253 metara, a sastoji se od hidrološke stanice 3066-3 i piezometara 489 i 744 na desnoj obali rijeke Save. Na profilu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine.



Slika 4.6. Krivulja trajanja profila 4

Vodostaj rijeke Save je 7,5 % vremena viši a 92,5 % vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 489, a 8 % vremena viša i 92 % vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 744 na desnoj obali rijeke Save.

Rijeka Sava drenira ovaj dio vodonosnika. Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na desnoj obali je 123,4 m n.m.

**Tablica 4.4. Rezultati analize profila 4**

<b>Profil 4</b>		
<b>Sava – 489 - 744</b>		
2003.-2012.	7,5 %	8 %
2003.	-	-
2004.	52,5 %	31,5%
2005.	-	-
2006.	49 %	57 %
2007.	-	-
2008.	16 %	19,5 %
2009.	10 %	10 %
2010.	57 %	11 %
2011.	1,2 %	5,2 %
2012.	5,4 %	5,5 %

## 5. ZAKLJUČAK

Promatrajući karte ekvipotencijala vidljivo je da je generalni smjer toka podzemnih voda na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika od zapada prema istoku tj. jugoistoku. Za vrijeme visokih voda rijeka Sava dominantno napaja vodonosnik duž cijelog toka, dok za vrijeme niskih i srednjih voda dolazi do prihranjivanja i/ili dreniranja vodonosnika na pojedinim dijelovima toka. Pomoću karti ekvipotencijala za niske i srednje vode određene su četiri zone prihranjivanja i/ili dreniranja, takozvane hiporheične zone. Pomoću analize krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemnih voda određeno je u kojoj mjeri rijeka Sava utječe na određeni dio vodonosnika.

Što se tiče područja samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, bilo je moguće izdvojiti samo 7 piezometara i 4 hidrološke postaje od kojih je jedna stvarna a ostale tri su virtualne, iz razloga što na tom području nema iskoristivih piezometara za provedbu analize. Na temelju podataka piezometara i hidroloških postaja izvršena je analiza krivulja trajanja vodostaja i razina podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine a rezultati su prikazani grafički za cijelo razdoblje i tablično za svaku pojedinu godinu unutar tog razdoblja.

Analiza je pokazala da rijeka Sava većinom napaja samoborsko-zaprešićki vodonosnik što je vidljivo na prva 3 profila, dok kod profila 4 dolazi do dreniranja podzemlja.



## 6. LITERATURA

BOANO, F., HARVEY, J. W., MARION, A., PACKAN, A. I., REVELLI, R., RIDOLFI, L., WORMAN, A. (2014): *Hyporheic flow and transport processes: Mechanisms, models, and biogeochemical implications*. Reviews of Geophysics, 52, 603-679

BUOLTON, A., FINDLAY, S., MARMONIER, P., STANLEY, E. VALETT, H. (1998): *The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers*. Annual Review of Ecology and Systematics, 29, 59-81.

MARTINUŠ, A. (2011): *Kvalitativno stanje podzemne vode na samoborskom području*. Hrvatske vode, 19 (2011) 78 271-280

POSAVEC, K. (2006): *Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja*. Doktorska disertacija. RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

POSAVEC, K., BAČANI, A. (2014): *Elaborat o zonama zaštite izvorišta Strmec, Šibice i Bregana*. Rudarsko-geološki-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu.

VELIĆ, J., DURN, G. (1993): *Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagerb, Croatia*. Geologia Croatica, voč. 46, no. 1, p. 71-90.

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

ŽUGAJ, R. (2000): *Hidrologija*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu.

ŽUGAJ, R., ANDREIĆ, Ž., PAVLIĆ, K., FUŠTAR, L. (2011): *Krivulje trajanja protoka*. Građevinar, 63 (12), str 1061-1068

Web stranice:




U.S. Geological Survey - [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov) (3.2.2016., 10:30)

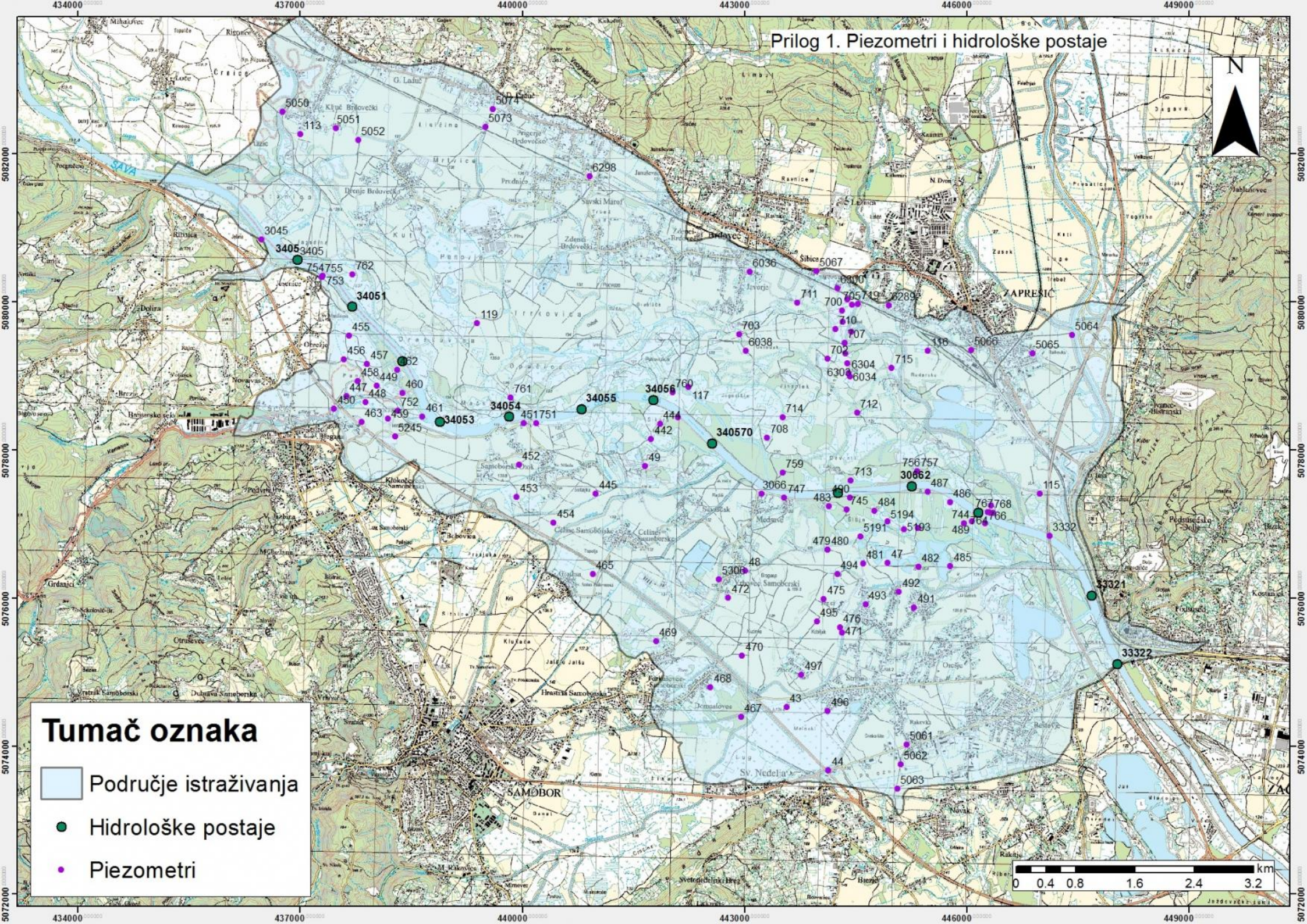
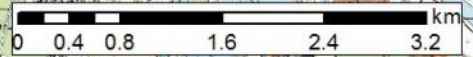
## **PRILOZI**

# Prilog 1. Piezometri i hidrološke postaje

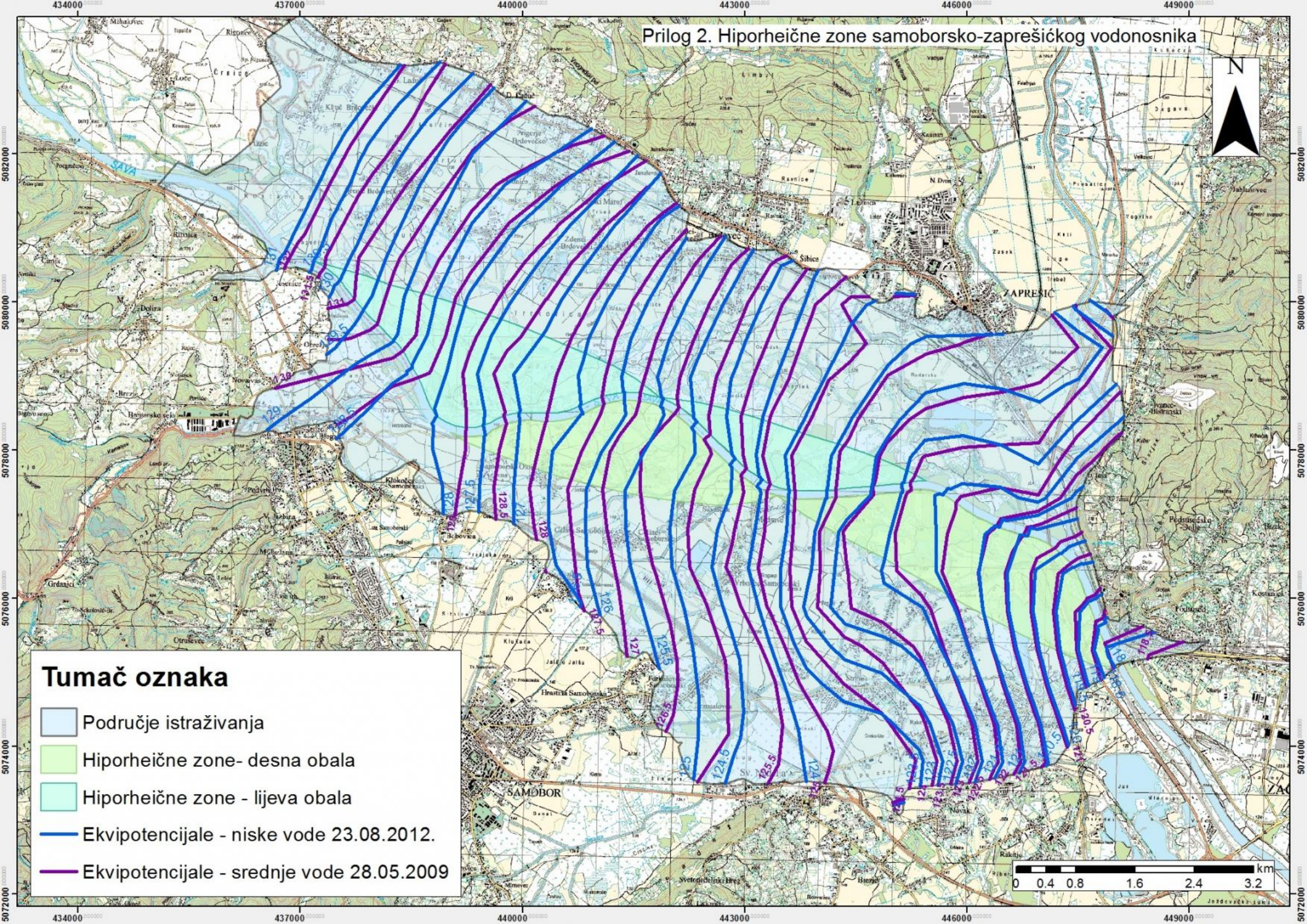


## Tumač oznaka






-  Područje istraživanja
-  Hidrološke postaje
-  Piezometri

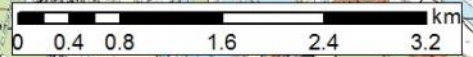


Prilog 2. Hiporheične zone samoborsko-zaprešičkog vodonosnika

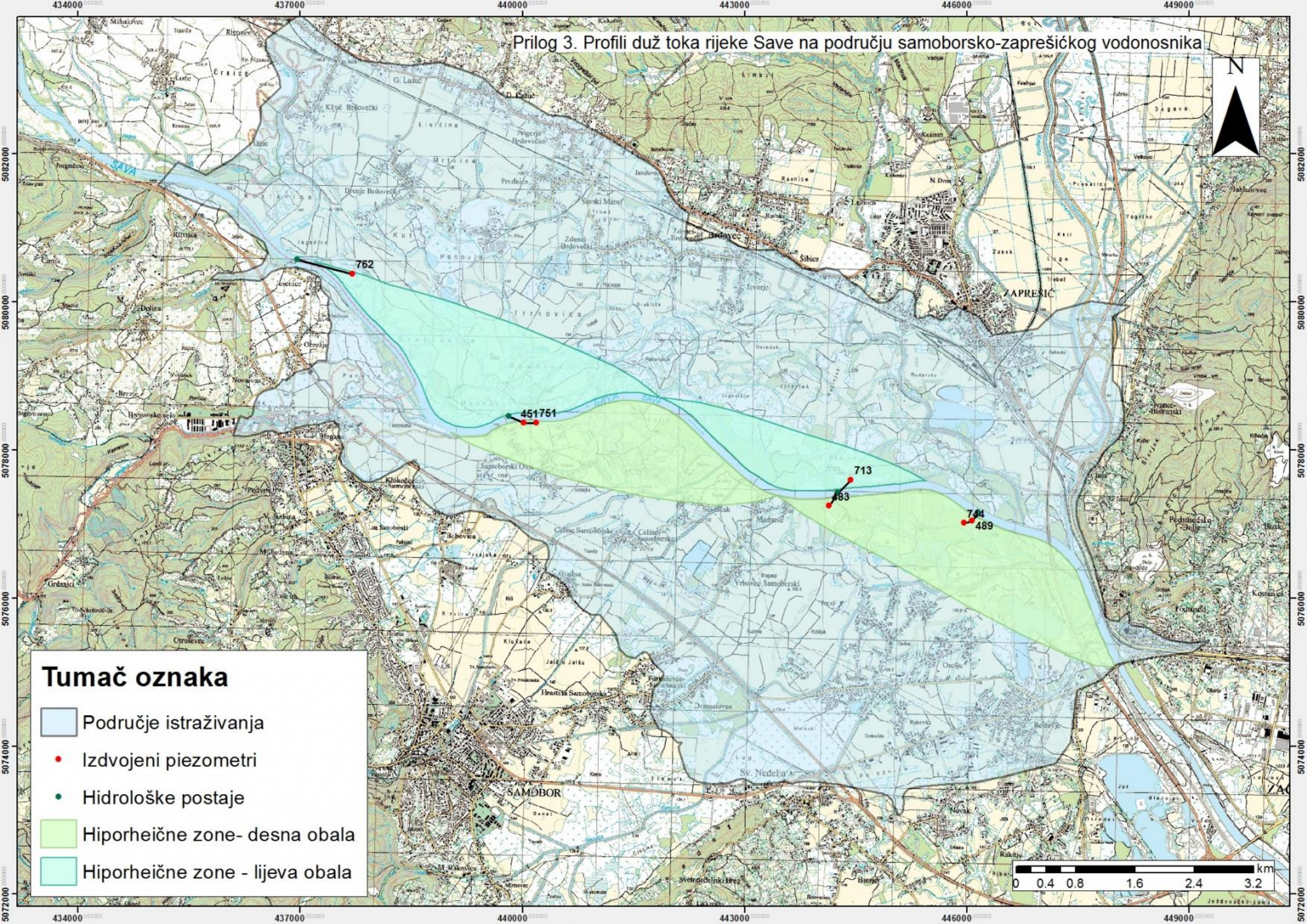


### Tumač oznaka






-  Područje istraživanja
-  Hiporheične zone- desna obala
-  Hiporheične zone - lijeva obala
-  Ekvipotencijale - niske vode 23.08.2012.
-  Ekvipotencijale - srednje vode 28.05.2009

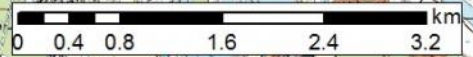


Prilog 3. Profili duž toka rijeke Save na području samoborsko-zaprešičkog vodonosnika

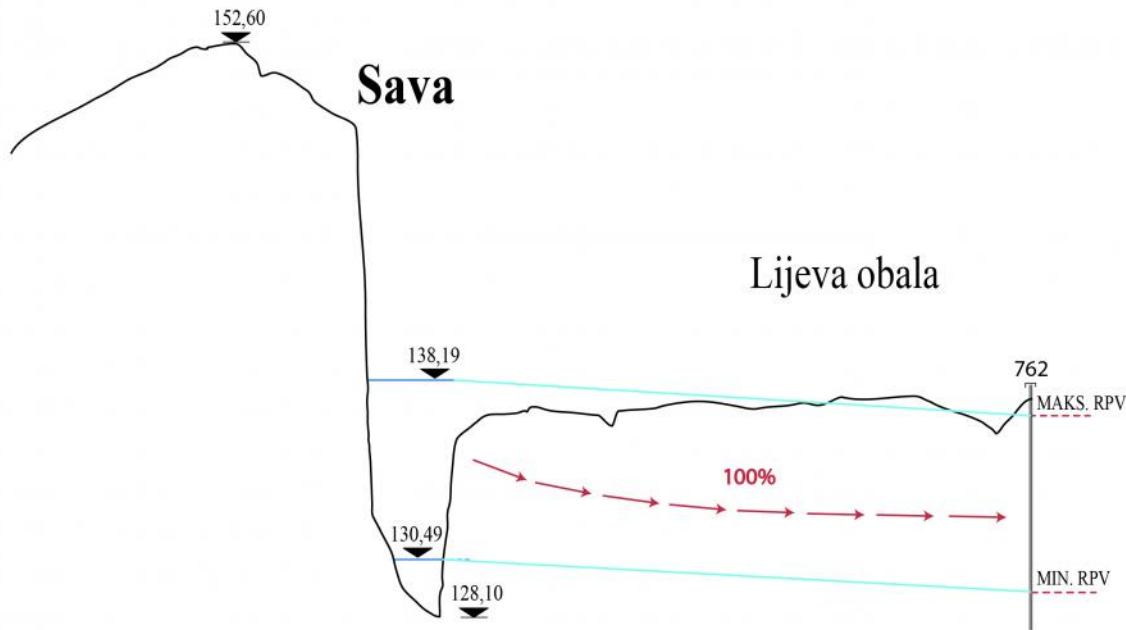


### Tumač oznaka

-  Područje istraživanja
-  Izdvojeni piezometri
-  Hidrološke postaje
-  Hiporheične zone- desna obala
-  Hiporheične zone - lijeva obala



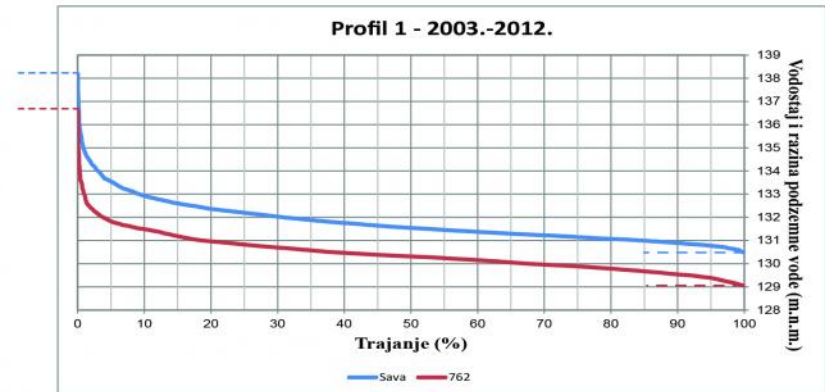
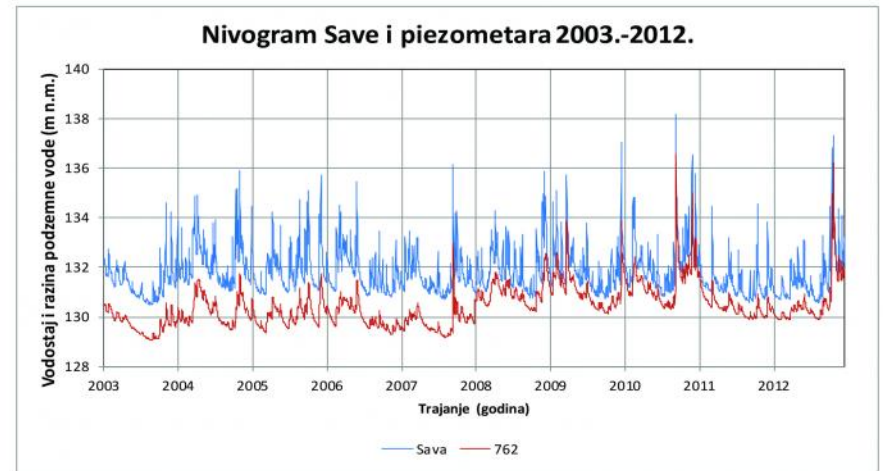
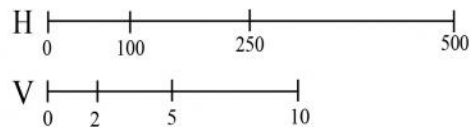
# Profil 1



Vodostaj rijeke Save 100% vremena je viši od razine podzemne vode u piezometru 762.

Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika.

**MJERILO**  
H : V = 1 : 30

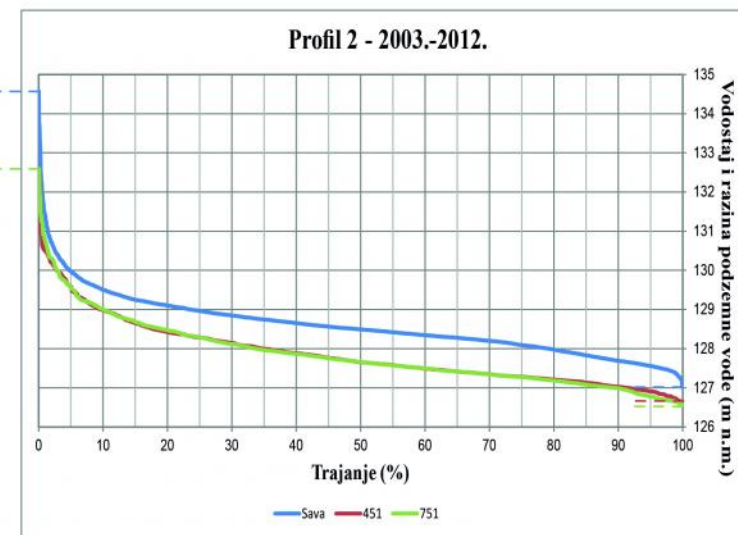
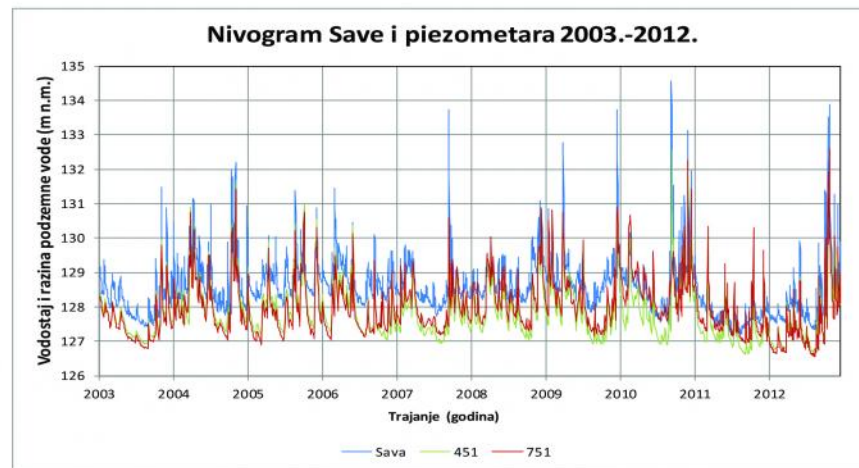
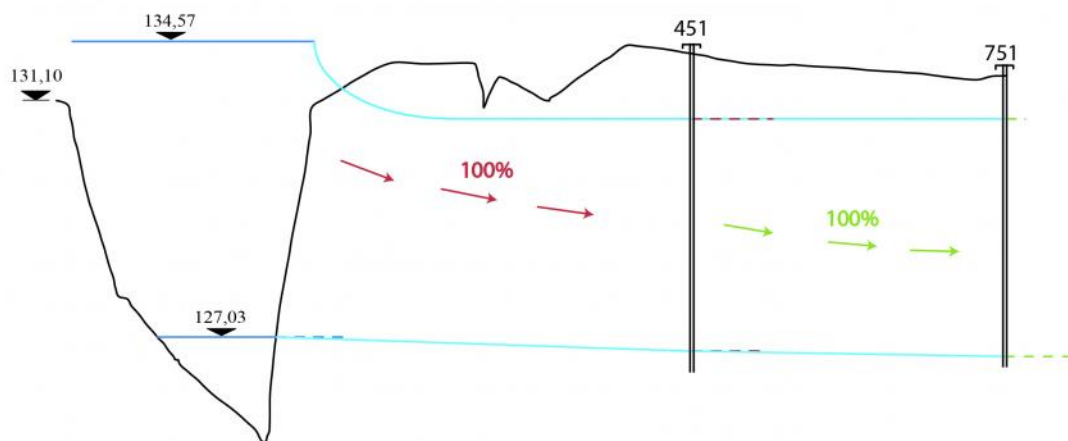


 Sveučilište u Zagrebu <b>RUDARSKO          GEOLOŠKO          NAFTNI FAKULTET</b>	
<b>Diplomski rad</b>	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja samoborsko-zaprešičkog vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode
<b>Sadržaj priloga</b>	Analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode na profilu 1
<b>Voditelj</b>	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
<b>Izradila</b>	Saneta Šahdanović
<b>Prilog 4</b>	

# Profil 2

Sava

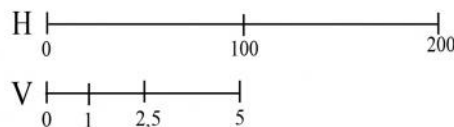
Desna obala



Vodostaj rijeke Save 100% vremena je viši od razine podzemne vode u piezometru 451 i 751.

Rijeka Sava u potpunosti napaja ovaj dio vodonosnika.

**MJERILO**  
H : V = 1 : 20

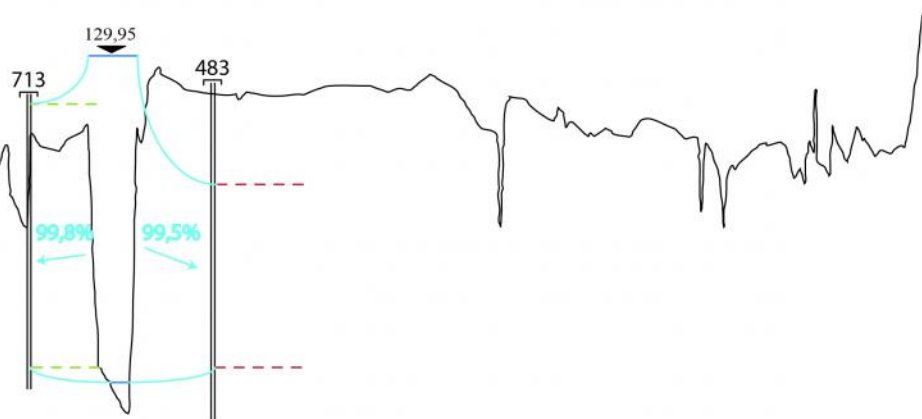


 <small> Sveučilište u Zagrebu  <b>RUDARSKO          GEOLOŠKO          NAFTNI FAKULTET</b> </small>	
<b>Diplomski rad</b>	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja samoborsko-zaprešićkog vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode
<b>Sadržaj priloga</b>	Analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode na profilu 2
<b>Voditelj</b>	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
<b>Izradila</b>	Sanela Šahdanović
<b>Prilog 5</b>	

# Profil 3

Sava

Desna obala

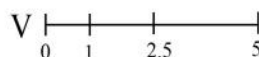
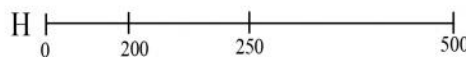


Vodostaj rijeke Save je 99,5 % vremena viši a 0,5 % vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 483 na desnoj obali.

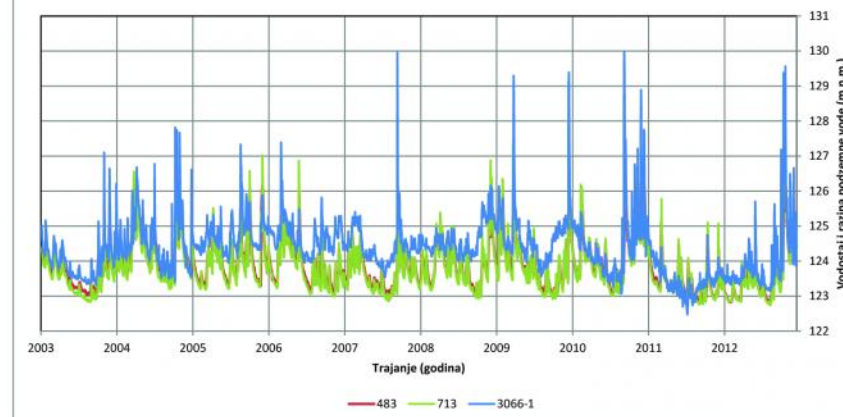
Vodostaj rijeke Save je 99,8% vremena viši, a 0,2 % vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 713 na lijevoj obali.

**Rijeka Sava dominantno prihranjuje ovaj dio vodonosnika.**

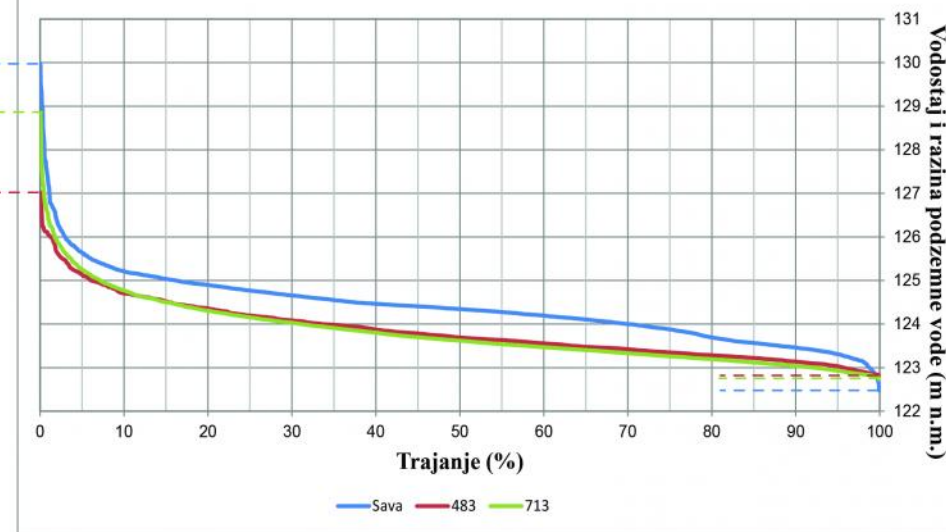
**MJERILO**  
H : V = 1 : 100



Nivogram Save i piezometara 2003.-2012.



Profil 3 - 2003.-2012.



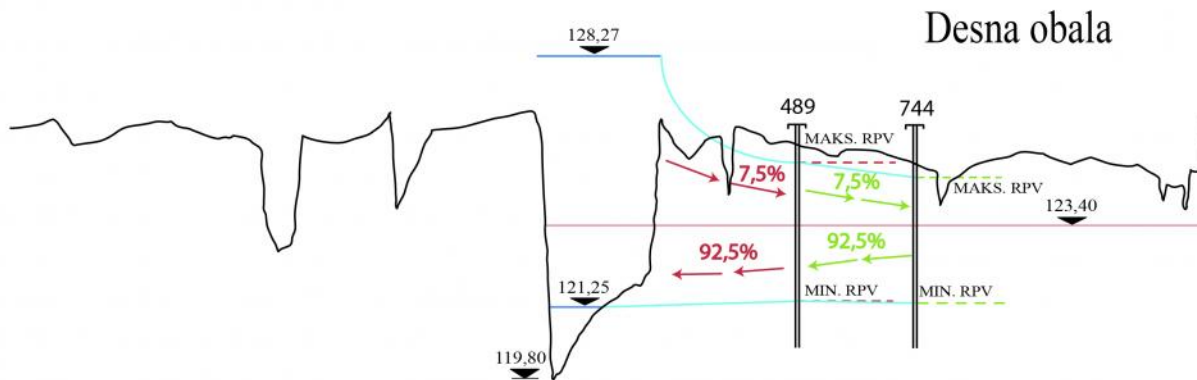
Sveučilište u Zagrebu  
 RUDARSKO  
 GEOLOŠKO  
 NAFTNI FAKULTET

Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja samoborsko-zaprešićkog vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode	
Sadržaj priloga	Analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode na profilu 3	
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec	Prilog 6
Izradila	Sanela Šahdanović	

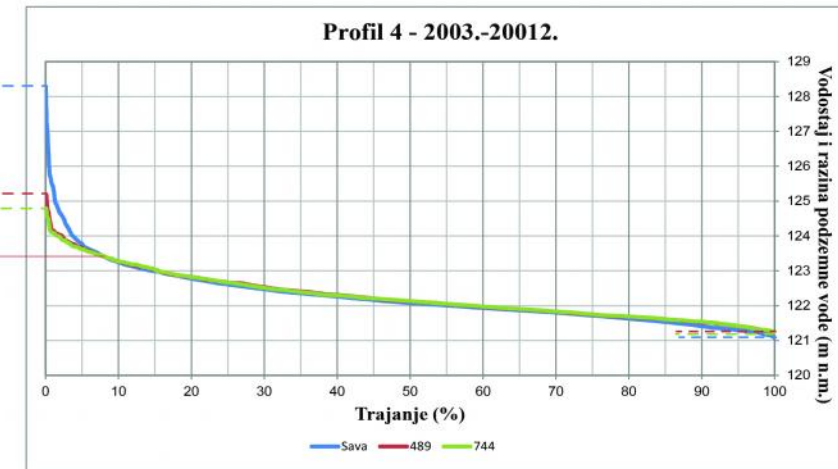
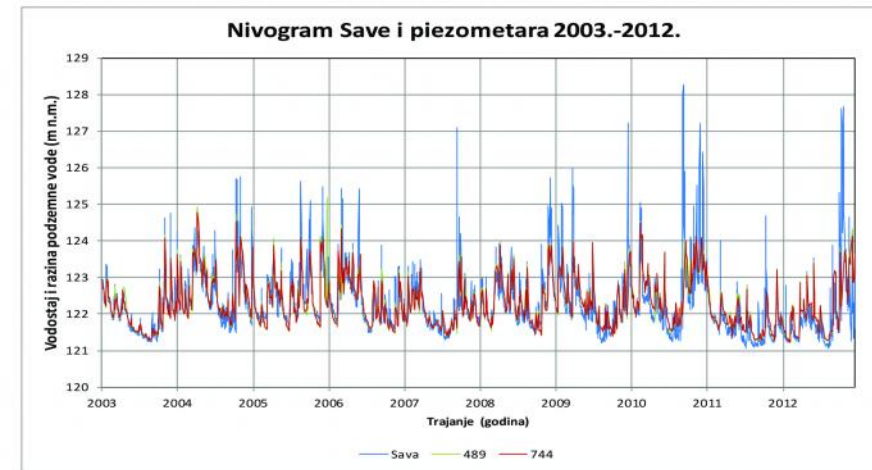


# Profil 4

Sava



Desna obala

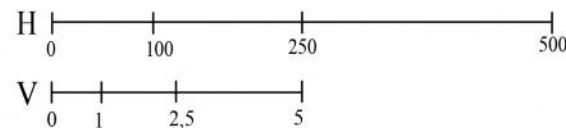


Vodostaj rijeke Save 7,5% vremena je viši, a 92,5% je niži od razine podzemne vode u piezometrima 489 i 744.

Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na desnoj obali je 123,4 m n.m.

**Rijeka Sava drenira ovaj dio vodonosnika.**

**MJERILO**  
H : V = 1 : 50



 Sveučilište u Zagrebu <b>RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</b>	
<b>Diplomski rad</b>	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja samoborsko-zaprešićkog vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode
<b>Sadržaj priloga</b>	Analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode na profilu 4
<b>Voditelj</b>	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
<b>Izradila</b>	Saneta Šahdanović
<b>Prilog 7</b>	