

Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkog vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode

Bosanac, Vanja

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:169:431916>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-03**



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 ZAGREBAČKOGA
VODONOSNIKA ANALIZOM KRIVULJA TRAJANJA
RIJEKE SAVE I RAZINA PODZEMNE VODE**

Diplomski rad

Vanja Bosanac

GI-167

Zagreb, 2015.

Velika zahvala mentoru, izvanrednom profesoru dr. sc. Kristijanu Posavcu, na bezrezervnoj pomoći i savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se Borisu Kljajiću, dipl. ing. građ., direktoru Hidroinga d.o.o. i Miši Aničiću, dipl. ing. građ., direktoru Odjela za graditeljstvo, ekologiju i hidrotehniku u Institutu za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb, na podacima o vodostajima rijeke Save za TE-TO Zagreb.

Posebna i najveća zahvala roditeljima, bratu i zaručnici na podršci i strpljenju tijekom svih ovih godina, bez vas ovo ne bi bilo moguće.

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

VANJA BOSANAC

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

Sažetak

U ovom radu analizirani su vodostaji rijeke Save i razine podzemne vode primjenom krivulja trajanja. Cilj rada bio je odrediti zone zagrebačkoga vodonosnika u kojima rijeka Sava pretežito prihranjuje ili drenira podzemne vode. Pomoću karti ekvipotencijala za niske i srednje vode određene su hiporheične zone zagrebačkoga vodonosnika. Odabrano je 45 piezometara u okolini rijeke Save te su, uz pomoć 22 hidrološke postaje, napravljena 22 profila na kojima su izvršene analize. Statistički su obrađeni odabrani piezometri i hidrološke postaje za razdoblje od 2003. do 2012. godine. Izrađene su krivulje trajanja vodostaja i razina podzemne vode koje su prikazani u radu, zajedno s tablicama za dobivene rezultate po pojedinim godinama analiziranog razdoblja.

Ključne riječi: krivulje trajanja, hiporheične zone, rijeka Sava, zagrebački vodonosnik

Diplomski rad sadrži: 60 stranica, 25 tablica, 29 slika, 9 priloga i 17 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

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

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF
Prof. dr. sc. Andrea Bačani, RGNF
Doc. dr. sc. Željko Duić, RGNF

Datum obrane: 17. srpnja 2015., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

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

VANJA BOSANAC

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

In this thesis water levels of Sava River and groundwater levels were analyzed, using the flow duration curves. The main goal was the identification of the predominant recharge or discharge zones of the Zagreb aquifer. Hyporheic zones of the Zagreb aquifer were determined using the head contour maps for low and medium water levels. In the surrounding area of Sava River, 45 piezometers were chosen, and with the help of 22 hydrological stations, 22 cross-sections were made on which the analysis was performed. All of the data from the piezometers and hydrological stations, from the year 2003 until 2012, were statistically analyzed. Flow duration curves were made and shown in this thesis, along with the tables of obtained results from the certain years.

Keywords: flow duration curves, hyporheic zones, Sava River, Zagreb aquifer

Thesis contains: 60 pages, 25 tables, 29 figures, 9 enclosures and 17 references

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 defense: July 17, 2015, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University
of Zagreb

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Područje istraživanja	2
2.1. Geografske i geomorfološke značajke	2
2.2. Geološke značajke	3
2.3. Hidrogeološke značajke	4
3. Metode istraživanja	6
3.1. Alati za obradu i prikaz podataka	6
3.2. Rezultati obrade podataka	7
4. Zone pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika	12
4.1. Hiporheične zone	12
4.2. Određivanje zona pretežitog prihranjivanja i/ili dreniranja zagrebačkoga vodonosnika..	13
4.2.1. Profil 1	15
4.2.2. Profil 2	16
4.2.3. Profil 3	17
4.2.4. Profil 4	19
4.2.5. Profil 5	20
4.2.6. Profil 6	21
4.2.7. Profil 7	22
4.2.8. Profil 8	24
4.2.9. Profil 9	26
4.2.10. Profil 10	28
4.2.11. Profil 11	30
4.2.12. Profil 12	32
4.2.13. Profil 13	34
4.2.14. Profil 14	36
4.2.15. Profil 15	38
4.2.16. Profil 16	40
4.2.17. Profil 17	42
4.2.18. Profil 18	44
4.2.19. Profil 19	46
4.2.20. Profil 20	48
4.2.21. Profil 21	50
4.2.22. Profil 22	52
5. Rasprava	54
6. Zaključak	58
7. Literatura	59

Popis tablica

Tablica 4-1. Rezultati analize za profil 1	15
Tablica 4-2. Rezultati analize za profil 2	16
Tablica 4-3. Rezultati analize za profil 3	18
Tablica 4-4. Rezultati analize za profil 4	19
Tablica 4-5. Rezultati analize za profil 5	20
Tablica 4-6. Rezultati analize za profil 6	21
Tablica 4-7. Rezultati analize za profil 7	23
Tablica 4-8. Rezultati analize za profil 8	25
Tablica 4-9. Rezultati analize za profil 9	27
Tablica 4-10. Rezultati analize za profil 10	29
Tablica 4-11. Rezultati analize za profil 11	31
Tablica 4-12. Rezultati analize za profil 12	33
Tablica 4-13. Rezultati analize za profil 13	35
Tablica 4-14. Rezultati analize za profil 14	37
Tablica 4-15. Rezultati analize za profil 15	39
Tablica 4-16. Rezultati analize za profil 16	41
Tablica 4-17. Rezultati analize za profil 17	43
Tablica 4-18. Rezultati analize za profil 18	45
Tablica 4-19. Rezultati analize za profil 19	47
Tablica 4-20. Rezultati analize za profil 20	49
Tablica 4-21. Rezultati analize za profil 21	51
Tablica 4-22. Rezultati analize za profil 22	53
Tablica 5-1. Količine oborine za Zagreb, mm, 2003.-2012. (www.zagreb.hr)	55
Tablica 5-2. Količine oborine za Republiku Sloveniju, mm, 2003.-2012. (pxweb.stat.si)	55
Tablica 5-3. Metoda krivulje trajanja i metoda izravne usporedbe	56

Popis slika

Slika 2-1. Prostorni položaj zagrebačkoga vodonosnika.....	2
Slika 2-2. Geološka karta područja - OGK Zagreb (Šikić et al., 1972) i OGK Ivanić Grad (Basch, 1981)	3
Slika 2-3. Rubne granice zagrebačkoga vodonosnika.....	5
Slika 3-1. Karta ekvipotencijala niskih voda (23.8.2012.)	8
Slika 3-2. Karta ekvipotencijala srednjih voda (28.5.2009.).....	8

Slika 3-3. Karta ekvipotencijala visokih voda (20.9.2010.)	8
Slika 4-1. Ilustracija hiporheičnih zona (prilagođeno prema www.usgs.gov)	12
Slika 4-2. Krivulje trajanja profila 1	15
Slika 4-3. Krivulje trajanja profila 2	16
Slika 4-4. Krivulje trajanja profila 3	17
Slika 4-5. Krivulje trajanja profila 4	19
Slika 4-6. Krivulje trajanja profila 5	20
Slika 4-7. Krivulje trajanja profila 6	21
Slika 4-8. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 7	22
Slika 4-9. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 8	24
Slika 4-10. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 9	26
Slika 4-11. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 10	28
Slika 4-12. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 11	30
Slika 4-13. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 12	32
Slika 4-14. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 13	34
Slika 4-15. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 14	36
Slika 4-16. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 15	38
Slika 4-17. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 16	40
Slika 4-18. Krivulje trajanja profila 17	42
Slika 4-19. Krivulje trajanja profila 18	44
Slika 4-20. Krivulje trajanja profila 19	46
Slika 4-21. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 20	48
Slika 4-22. Krivulje trajanja profila 21	50
Slika 4-23. Krivulje trajanja profila 22	52

Popis priloga

Prilog 1. Hiporheične zone zagrebačkoga vodonosnika

Prilog 2. Odabrani piezometri uz rijeku Savu

Prilog 3. Profili za određivanje zona prihranjivanja/dreniranja

Prilog 4. Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 3

Prilog 5. Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 5

Prilog 6. Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 9

Prilog 7. Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 13

Prilog 8. Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 16

Prilog 9. Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 22

1. Uvod

Zadatak diplomskog rada bio je analiziranje vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode zagrebačkoga vodonosnika primjenom krivulja 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).

Cilj rada bio je odrediti zone zagrebačkoga vodonosnika u kojima rijeka Sava pretežito prihranjuje i/ili drenira podzemne vode. Osim određivanja zona pretežitog prihranjivanja ili dreniranja, cilj je bio i odrediti kote vodostaja rijeke Save kod kojih dolazi do izmjene tih procesa.

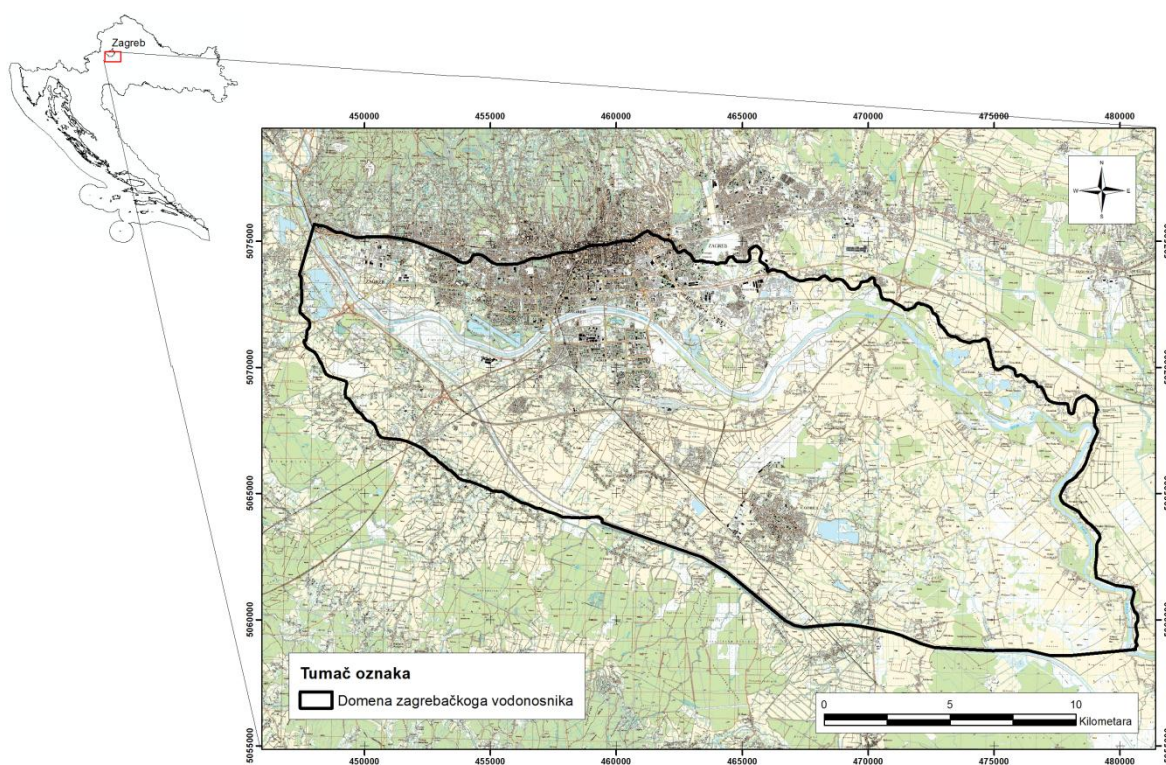
U radu je prikazan kratak pregled područja istraživanja, odnosno njegovih geografskih, geoloških i hidrogeoloških karakteristika. Programima Surfer i ArcMap izrađene su karte ekvipotencijala za niske, srednje i visoke vode, te su pomoću njih određene hiporheične zone zagrebačkoga vodonosnika. Odabrano je 45 piezometara oko područja toka rijeke Save u tim zonama te su, uz pomoć 22 hidrološke postaje, napravljena 22 profila na kojima su izvršene analize. Pomoću Microsoft Excel programa statistički su obrađeni odabrani piezometri i hidrološke postaje za razdoblje od 2003. do 2012. godine te su izrađeni nivogrami i krivulje trajanja vodostaja i razina podzemne vode koje su prikazani u radu, zajedno s tablicama za dobivene rezultate po pojedinim godinama analiziranog razdoblja. Programom AutoCAD izrađeno je šest priloga za šest profila po pojedinim zonama, u kojima je prikazan profil korita rijeke Save, okolni teren, piezometri te pripadajući vodostaji i razine podzemne vode, zajedno s krivuljama trajanja i nivogramima.

Na kraju rada iznesen je osvrt na neke od problema s kojima se susrelo tijekom izrade rada, objašnjeno je zašto po pojedinim obrađenim godinama dolazi do velikih odstupanja rezultata u odnosu na ukupno analizirano razdoblje te je iznesen osvrt na samu metodu i njenu korisnost pri ovakvim analizama.

2. Područje istraživanja

2.1. Geografske i geomorfološke značajke

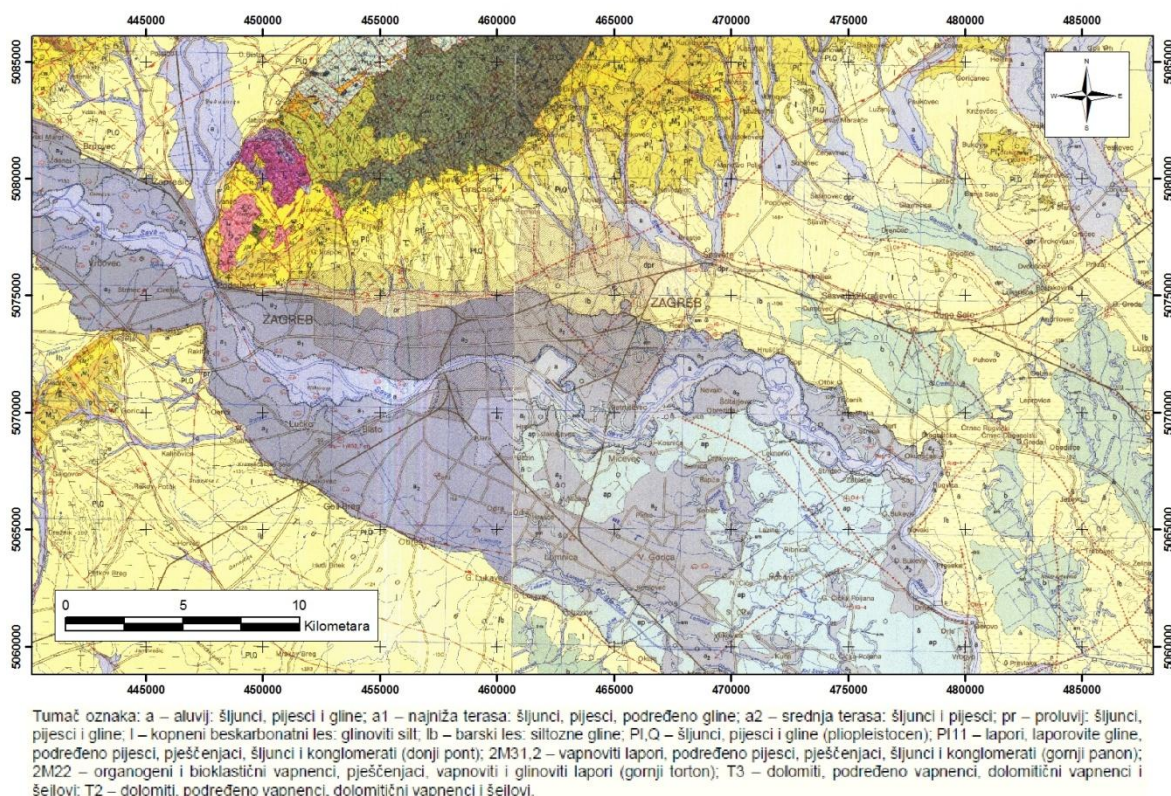
Zagrebački vodonosnik smjestio se u zapadnom dijelu Panonske nizine. Prostire se na području između Medvednice na sjeveru, Vukomeričkih gorica na jugu, podsusedskog praga na zapadu te Rugvice na istoku. Većim dijelom obuhvaća područje grada Zagreba (Slika 2-1). Prostire se duž rijeke Save, pravcem sjeverozapad – jugoistok u dužini od oko 30 km, s prosječnom širinom od 10 do 15 km (Posavec, 2006). Ukupna površina rasprostiranja mu iznosi oko 350 km², a rijeka Sava ga dijeli na desno i lijevo zaobalje. Područje vodonosnika je pretežno ravničarskog karaktera, a na svojim rubovima omeđeno je brežuljcima s vodotocima i uskim dolinama (najviša točka je Sljeme s 1033 m n. m.).



Slika 2-1. Prostorni položaj zagrebačkoga vodonosnika

2.2. Geološke značajke

Zagrebački vodonosnik čine sedimenti koji su se taložili za vrijeme srednjeg i gornjeg pleistocena te holocena (Slika 2-2).



Slika 2-2. Geološka karta područja - OGK Zagreb (Šikić et al., 1972) i OGK Ivanić Grad (Basch, 1981)

Tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena ovo područje bilo je jezersko i močvarno, a okolna gorja Medvednice, Marijagoričkih Brda i Žumberačkog gorja su bila kopna podložna intenzivnoj eroziji i denudaciji te je sav taj trošeni materijal nošen potocima i taložen u jezerima i močvarama (Velić i Saftić, 1991). Klimatski i tektonski procesi koji su se odvijali početkom holocena omogućili su prodor rijeke Save, čime započinje transport materijala s područja Alpa na ove prostore (Velić i Durn, 1993). Upravo ti različiti klimatski procesi i tektonski pokreti su uzrokovali heterogenost i anizotropiju zagrebačkoga vodonosnika te neujednačenu debljinu naslaga.

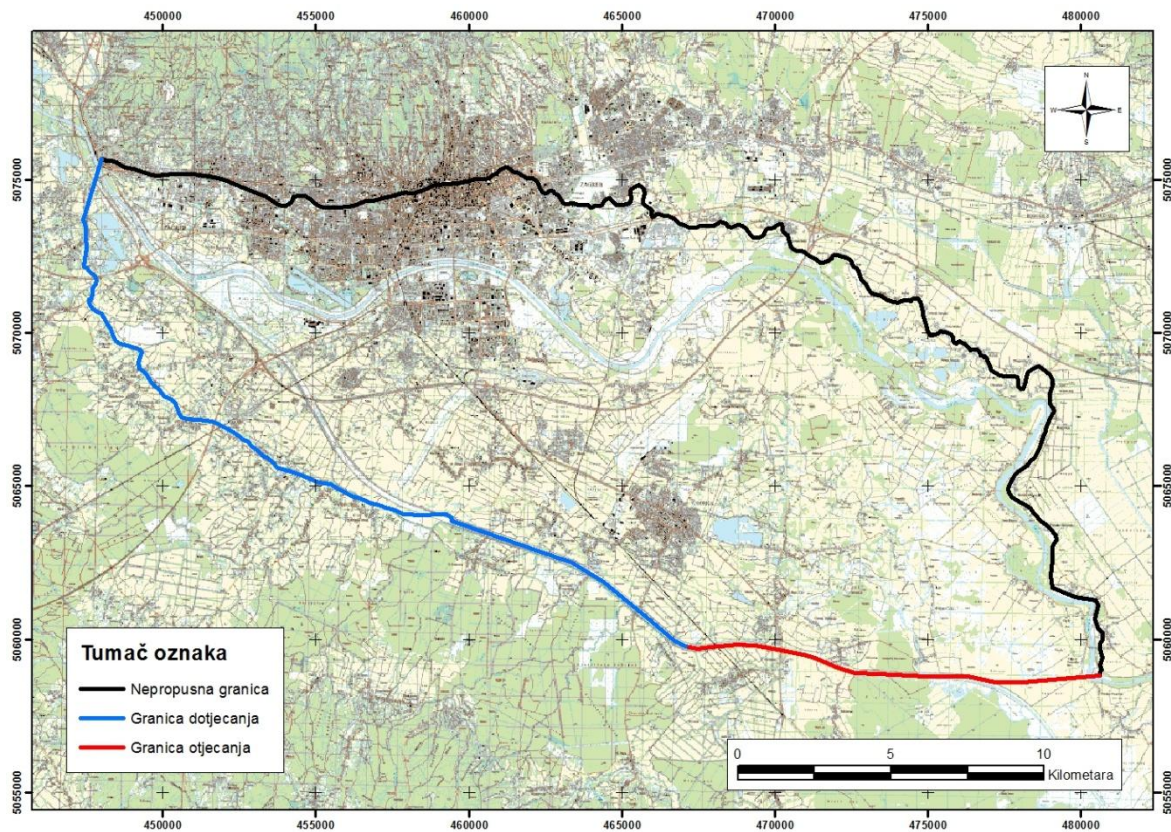
Analiziranjem litoloških podataka izdvojena su tri litofacijesa: proluvijalni, aluvijalni i jezersko-barski (Blašković i Dragičević, 1989): (1) slijed klastičnih sedimenata karakteriziran čestom izmjenom litoloških članova (šljunaka i glina) determiniran je kao

proluvijalni litofacijes; (2) široko rasprostranjeni slijed klastičnih sedimenata formiran meandriranjem toka rijeke Save, između kojih je dominantan šljunak, a sadržani su i pijesci različitih granulacija sve do veličine praha, određen je kao aluvijalni litofacijes; (3) široko rasprostranjeni slijed klastita karakteriziran na širem području učestalom pojavom siltozno–glinovitih sedimenata, praha, treseta te u predjelima dubljeg dosega bušotina znatnim debljinama leća šljunaka, šljunaka–pijesaka, šljunaka–pijesaka–praha, s većim ili manjim primjesama gline, a koji je uvjetno imenovan kao jezersko–barski litofacijes.

2.3. Hidrogeološke značajke

U profilu zagrebačkoga vodonosnika razlikuju se dva vodonosna sloja: prvi vodonosni sloj s dominantno aluvijalnim naslagama rijeke Save i drugi vodonosni sloj s dominantno jezersko–barskim naslagama. Debljina prvog vodonosnog sloja je od 5 do 10 metara u zapadnom dijelu do 40 metara u istočnom dijelu. Debljina drugog vodonosnog sloja se u zapadnom dijelu sustava kreće do 20 metara, a u istočnom dijelu sustava debljina mu je znatno veća i kreće se do 60 metara u području Črnkovca. Slabo propusna krovina ili nije prisutna ili pak dostiže debljinu od svega nekoliko metara na većem dijelu vodonosnog sustava, a tek se u jugoistočnom dijelu ili u rubnim predjelima povećava i do 15 metara. Zagrebački vodonosnik je otvoreni vodonosnik što znači da mu gornju granicu saturacije čini vodna ploha pod atmosferskim tlakom. Rubne granice vodonosnika čine, u hidrauličkom smislu, nepropusna granica na sjeveru, granica dotjecanja na jugozapadu te granica otjecanja na jugoistoku (Slika 2-3). 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 propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže; (4) dotjecanjem po zapadnoj granici iz susjednog samoborskog vodonosnika; te (5) dotjecanjem po južnoj granici vodonosnika s područja Vukomeričkih Gorica (Posavec, 2006).

Rijeka Sava je svojim koritom usječena u aluvijalne holocenske naslage koje su dominantno zastupljene šljuncima izrazito visoke hidrauličke vodljivosti. U zapadnim predjelima vodonosnika hidraulička vodljivost je vrlo visoka i premašuje 3000 m/dan, dok dalje prema istoku opada, pa tako kod Črnkovca iznosi oko 2000 m/dan, a nešto istočnije i manje od 1000 m/dan (Urumović i Mihelčić, 2000).



Slika 2-3. Rubne granice zagrebačkoga vodonosnika

Promjene razina podzemne vode opažaju se na oko 450 piezometara godišnje. Razine podzemne vode su od 1950. godine na području vodonosnika opadale sve do devedesetih godina u prosjeku 1-2 m svakih 10 godina. Početkom devedesetih godina trend opadanja razina nakratko je zaustavljen izgradnjom vodnih stuba na rijeci Savi kod termoelektrane-toplane (TE–TO) Zagreb, ali ubrzo nakon tog vremena nastavljen je sličnim intenzitetom. Sredinom 1993. godine obavljena je sanacija vodnih stuba pa su razine podzemne vode na uzvodnom području u prosjeku dignute za oko 1,5 m te se tako na tom području zaustavio trend pada razina podzemne vode dok se na području nizvodno od vodnih stuba trend opadanja razina nastavio sličnim intenzitetom. Razlozi opadanja razina podzemne vode mogu se najvećim dijelom potražiti u (1) izgradnji nasipa za obranu od poplava duž rijeke Save koji su spriječili povremena plavljenja zaobalnog područja, a time i potencijalnu infiltraciju vode s poplavljenih područja u vodonosnik; (2) procesu snižavanja korita rijeke Save koje je najvećim dijelom uzrokovano izgradnjom akumulacija na rijeci Savi uzvodno od Zagreba, regulacijom pritoka i šljunčarenjem iz korita rijeke Save; te u (3) sve većoj eksploataciji podzemne vode za potrebe vodoopskrbe Grada Zagreba (Posavec, 2006).

3. Metode istraživanja

U ovom diplomskom radu obrađeni su podaci o vodostajima rijeke Save na području zagrebačkoga vodonosnika, čije mjerenje se obavlja svakog dana, a vrši ga Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) na sedam hidroloških postaja te tvrtka Hidroing d.o.o. na tri hidrološke postaje kod TE-TO Zagreb. Također, obrađeni su podaci o razinama podzemnih voda, koji su sastavni dio projekta "Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske" (EGPV) koje se provodi na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u suradnji s Hrvatskim vodama. Na području zagrebačkoga vodonosnika mjerenja razine podzemne vode vrše DHMZ i Vodoopskrba i odvodnja d.o.o., a mjerenja na piezometrima se obavljaju svaka tri do četiri dana. U diplomskom radu obrađeni su podaci za razdoblje od 2003. do 2012. godine.

3.1. Alati za obradu i prikaz podataka

U diplomskom radu korišteni su alati Microsoft Excel, Surfer, ArcMap i AutoCAD.

(1) Microsoft Excel je program razvijen od strane Microsofta i čini sastavni dio programskog paketa Microsoft Office. Služi za analizu i obradu podataka te njihovo grafičko prikazivanje, ali također ima brojne druge funkcije kao što su organizacija podataka, stvaranje baze podataka, rješavanje složenih matematičkih i statističkih problema i slično. Ovaj program korišten je za statističku obradu podataka o razinama podzemne vode, izradu nivograma i krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode.

(2) Surfer je program koji je razvila tvrtka Golden Software Inc., a služi za interpolaciju unesenih podataka, oblikovanje te 2D i 3D prikaze površina terena, površinske analize, kartiranje, izradu razvodnica i još mnogo toga. U ovom radu korišten je za izradu karti ekvipotencijala pomoću unesenih koordinata piezometara i hidroloških stanica te pripadajućih razina podzemnih voda i vodostaja.

(3) ArcMap je glavna komponenta ESRI (ESRI- eng. Enviromental Systems Research Institute) ArcGIS paketa geoprostornih programa za obradu, a koristi se prvenstveno za pregled, uređivanje, stvaranje i analiziranje geoprostornih podataka. ArcMap omogućuje korisniku da istraži podatke unutar skupa podataka, simbolizira njihove značajke i stvori

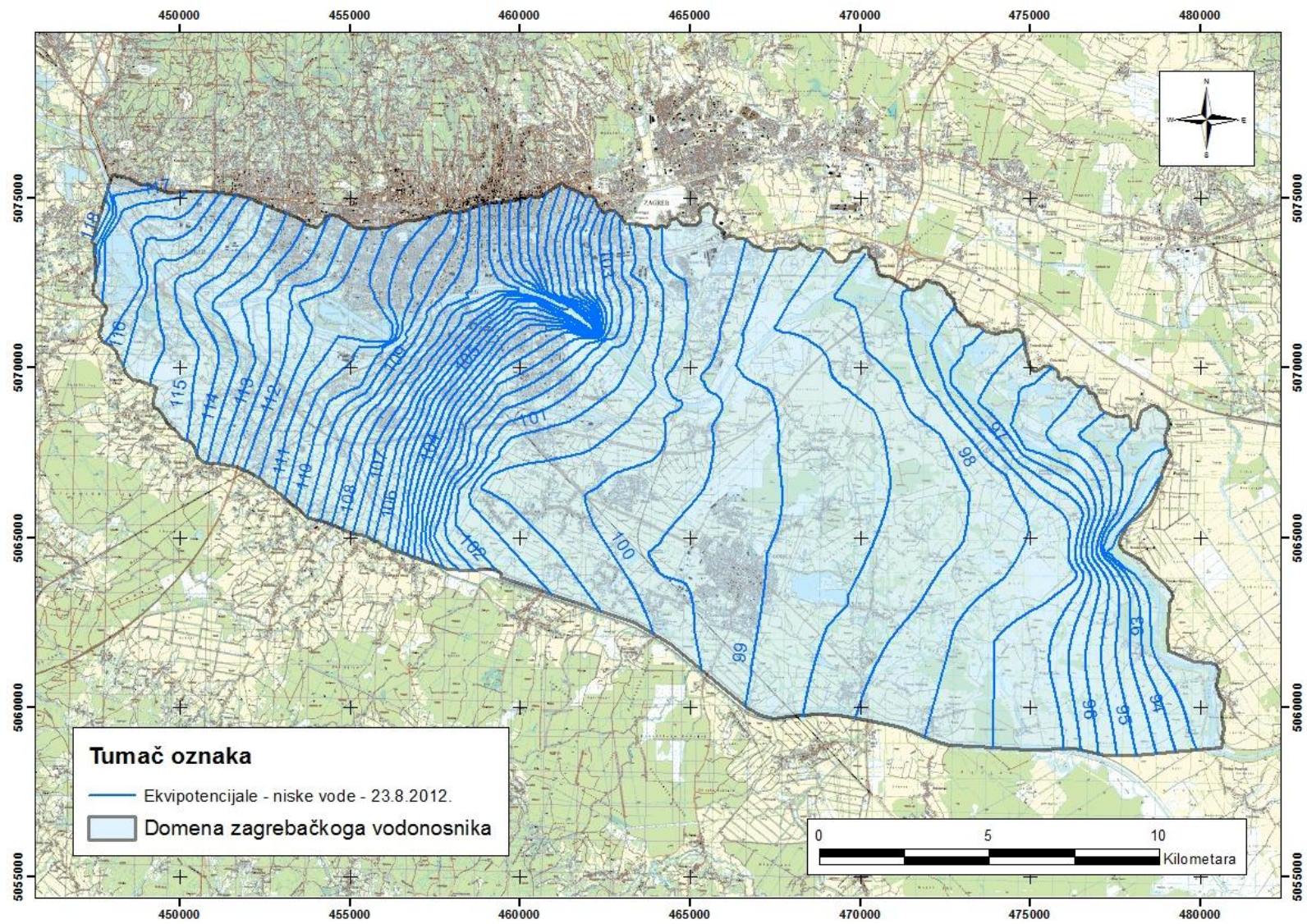
pripadajuće karte koje je kasnije moguće prebaciti u druge programe u grafičkom i negrafičkom obliku. ArcMap je korišten za izradu karti ekvipotencijala na temelju ulaznih datoteka dobivenih u programu Surfer, zatim za identifikaciju i crtanje potencijalnih zona prihranjivanja/dreniranja rijeke Save, za odabir piezometara koji će biti korišteni u daljnjoj analizi te izradu profila na kojima će biti analizirani vodostaji rijeke Save i razine podzemne vode zagrebačkog vodonosnika primjenom krivulja trajanja.

(4) AutoCAD je razvila tvrtka Autodesk, a to je sofisticirani projektantski alat koji omogućava 2D i 3D projektiranje kompleksnih objekata koje je moguće proizvoljno naginjati, okretati i prikazivati u raznim presjecima. Karakterizira ga napredni sustav mjerenja i visoka preciznost te automatski sustav dimenzioniranja. U ovom diplomskom radu, program AutoCAD korišten je za izradu priloga, odnosno prikaz profila korita rijeke Save, okolnog terena, piezometara te pripadajućih vodostaja i razina podzemne vode, zajedno s krivuljama trajanja i nivogramima.

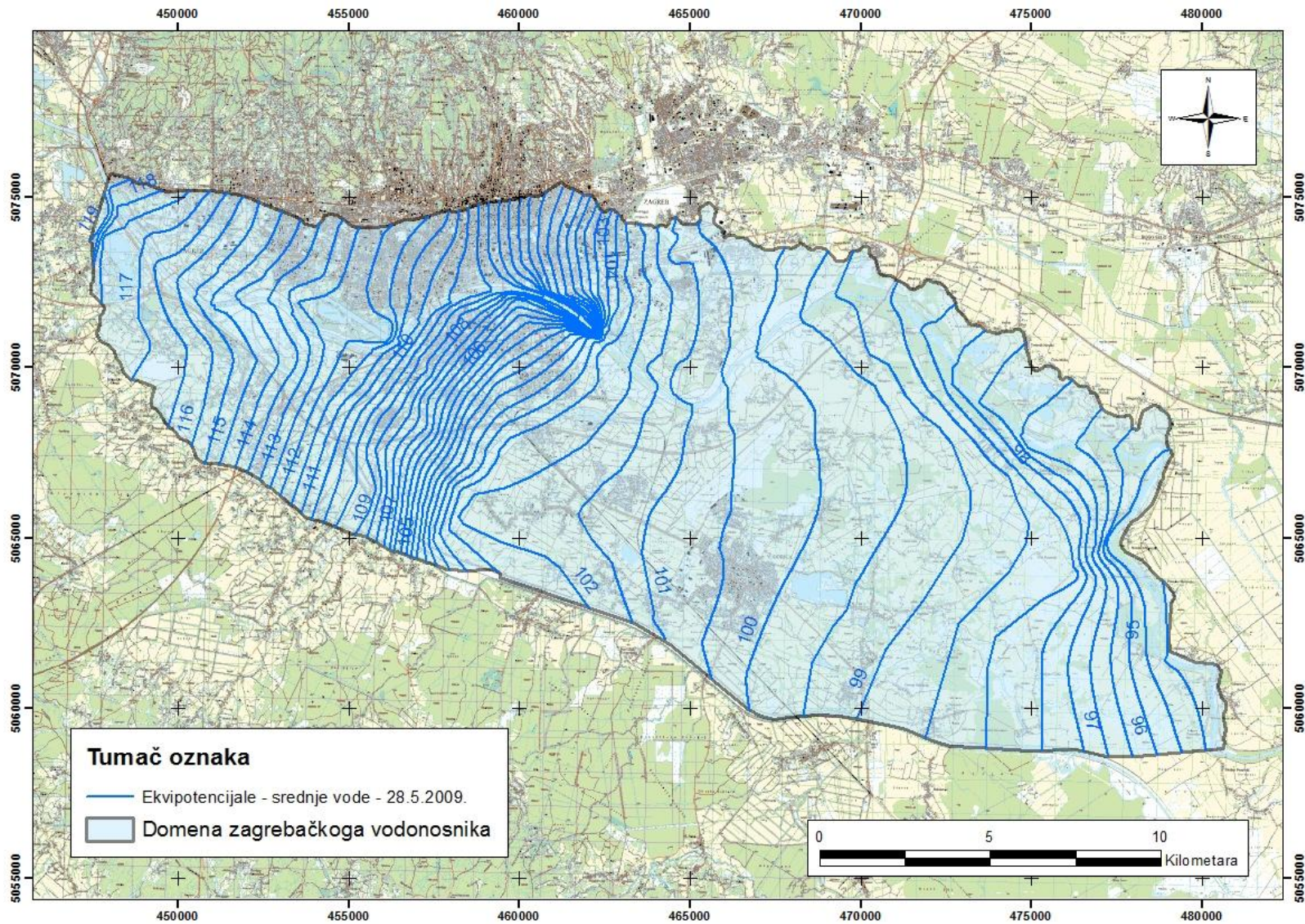
3.2. Rezultati obrade podataka

Podaci koji su korišteni u ovom diplomskom radu obrađeni su ranije navedenim programima.

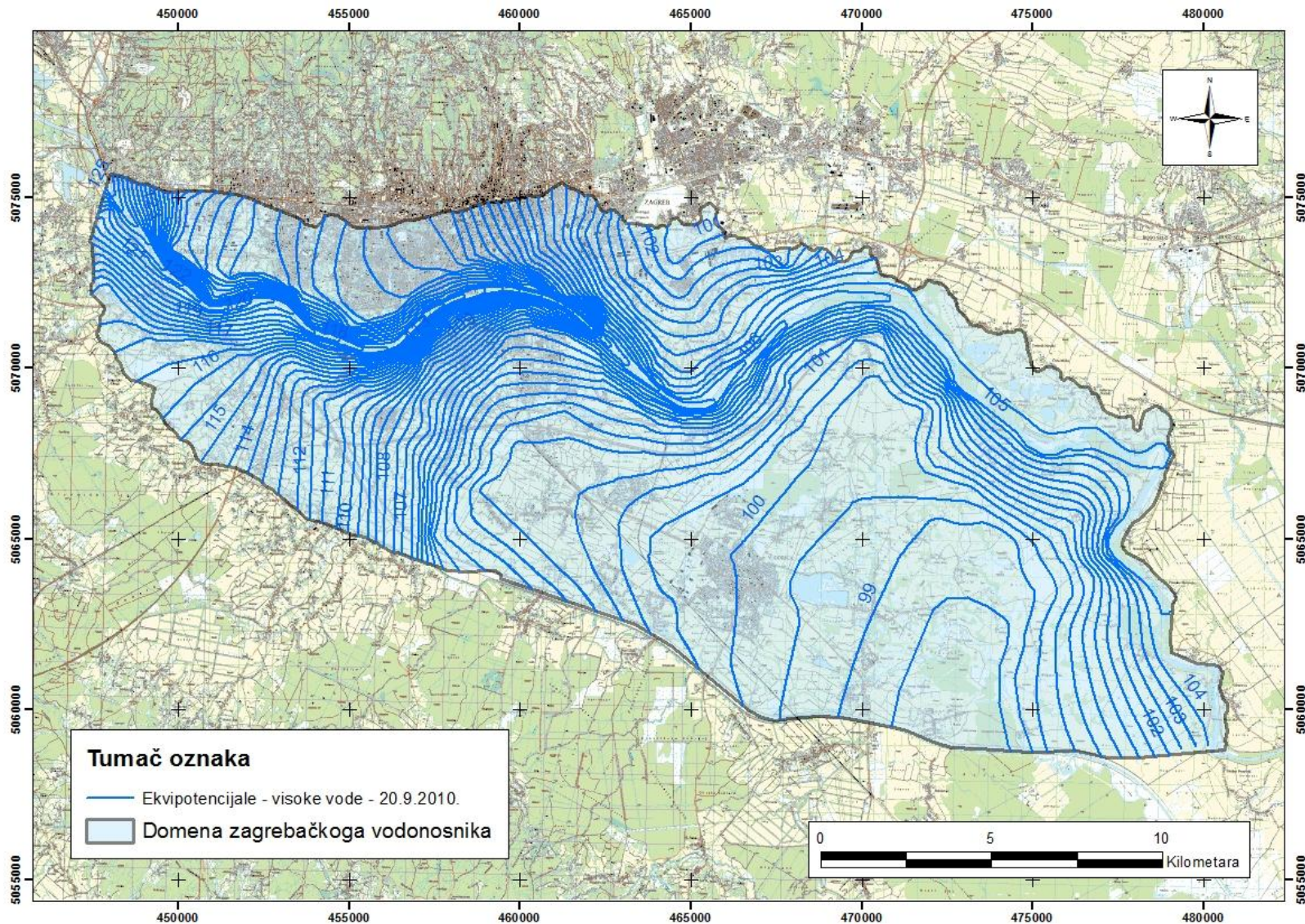
Za izradu karti ekvipotencijala zagrebačkoga vodonosnika korišteni su podaci 315 piezometara, 10 hidroloških postaja (na njih sedam mjerenje vrši DHMZ, a na njih tri Hidroing d.o.o.) te 48 virtualnih hidroloških postaja. Virtualne hidrološke postaje su potrebne s obzirom na nedovoljan broj mjernih postaja na rijeci Savi. Stvorene su između stvarnih mjernih postaja i to na međusobnoj udaljenosti od jednog kilometra. Vodostaj na tim postajama proračunat je linearnom interpolacijom između dvije susjedne hidrološke postaje. Interpolacijom u programu Surfer, a potom grafičkom obradom u programu ArcMap, dobivene su karte ekvipotencijala za niske (Slika 3-1), srednje (Slika 3-2) i visoke vode (Slika 3-3).



Slika 3-1. Karta ekvipotencijala niskih voda (23.8.2012.)



Slika 3-2. Karta ekvipotencijala srednjih voda (28.5.2009.)



Slika 3-3. Karta ekvipotencijala visokih voda (20.9.2010.)

Iz karti ekvipotencijala vidljivo je da je generalni smjer toka podzemnih voda od zapada prema istoku/jugoistoku te da rijeka Sava napaja vodonosnik duž cijelog toka za vrijeme visokih voda, dok kod niskih i srednjih voda dolazi do prihranjivanja i/ili dreniranja vodonosnika na pojedinim dijelovima toka.

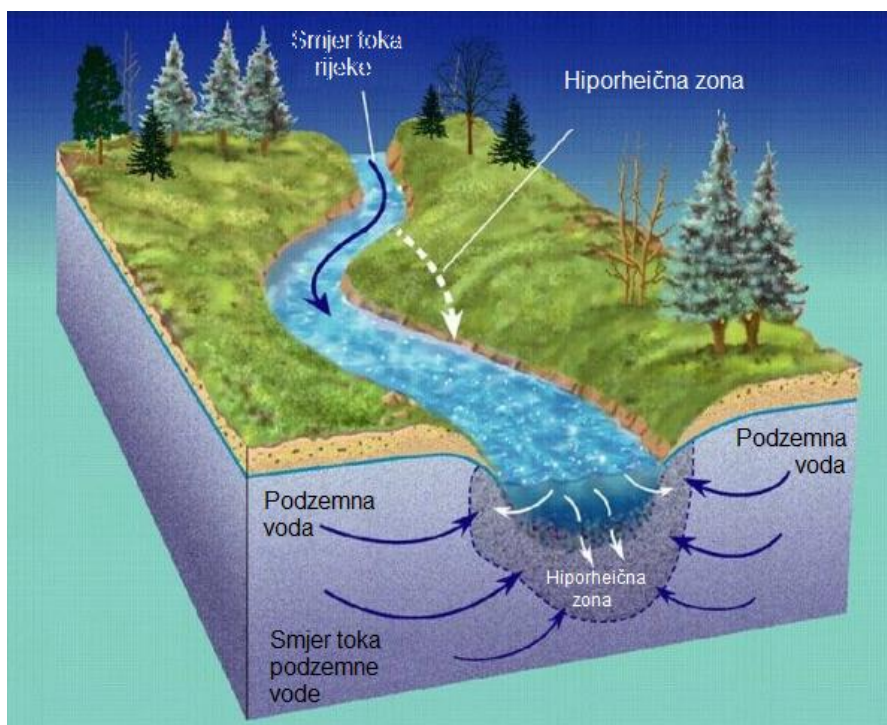
Cilj ovog rada je da se pomoću analiza krivulja trajanja odrede ti dijelovi toka, odnosno zone, te odrede njihove vremenske komponente, odnosno u kojoj mjeri rijeka Sava utječe na određeni dio vodonosnika.

Za konstrukciju krivulje trajanja 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 krivuljama učestalosti vodostaja i protoka, pripada osnovnim grafičkim prikazima u hidrologiji (Žugaj et al., 2011).

4. Zone pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika

4.1. Hiporheične zone

Područje u kojem dolazi do izmjene površinskih i podzemnih voda naziva se hiporheičnom (grč. hypo - ispod i rheo - tok, teći), odnosno prijelaznom ili kontaktnom, zonom. To zona se prostire u području ispod korita rijeke ili jezera, ali jednako tako i u području bočno od njih. Hiporheična izmjena je jedinstvena jer tok vode koji ulazi u podzemni prostor (hiporheičnu zonu), naposljetku izlazi na površinu u nekom trenutku nizvodno od tog područja (Slika 4-1).



Slika 4-1. Ilustracija hiporheičnih zona (prilagođeno prema www.usgs.gov)

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, primjerice meandriranjem rijeke kroz područje tečenja.

Površinske i podzemne vode su se gotovo oduvijek promatrale 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 (Buolton et al., 1998). Sve to doprinosi njihovim različitim kemijskim, fizikalnim i biološkim karakteristikama.

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 u 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).

Izmjena vode kroz hiporheičnu zonu može imati važnu ulogu u promjeni kvalitete vode u oba područja, i u vodotoku i u podzemlju. Ova zona može biti vrlo aktivna, uz odvijanje niza procesa vezanih uz pronos, razgradnju, transformaciju, taloženje i sorpciju raznih tvari. Hiporheična zona ima velika pročišćavajuća svojstva, ali isto tako može propustiti zagađenja iz vodotoka u vodonosnik. I u Republici Hrvatskoj se pri infiltraciji pojedinih površinskih voda u vodonosnik mijenja kvaliteta podzemnih voda, a to ugrožava rad pojedinih crpilišta (Gjetvaj et al., 2011). Zbog toga je vrlo važno razumijevanje cijelog procesa izmjene vode u toj zoni, kako bi se mogli spoznati, a onda kasnije i predvidjeti, učinci pojedinih zahvata u koritu rijeke, primjerice kanaliziranje samog toka radi sprječavanja poplava, ali i da bi se moglo predvidjeti kako će određeni zahvati na području vodonosnika, poput izgradnje vodocrpilišta, utjecati na samu izmjenu, količinu i kvalitetu podzemne vode.

4.2. Određivanje zona pretežitog prihranjivanja i/ili dreniranja zagrebačkoga vodonosnika

S obzirom na to da je u prijašnjem dijelu teksta navedeno da hiporheične zone postoje na mjestima većih geomorfoloških cjelina, kao što je primjerice meandriranje rijeke, na području zagrebačkoga vodonosnika je, uz pomoć ekvipotencijala niskih i srednjih voda, određeno sedam zona na kojima će se analizom krivulja trajanja odrediti kakav je utjecaj rijeke Save na njih (Prilog 1).

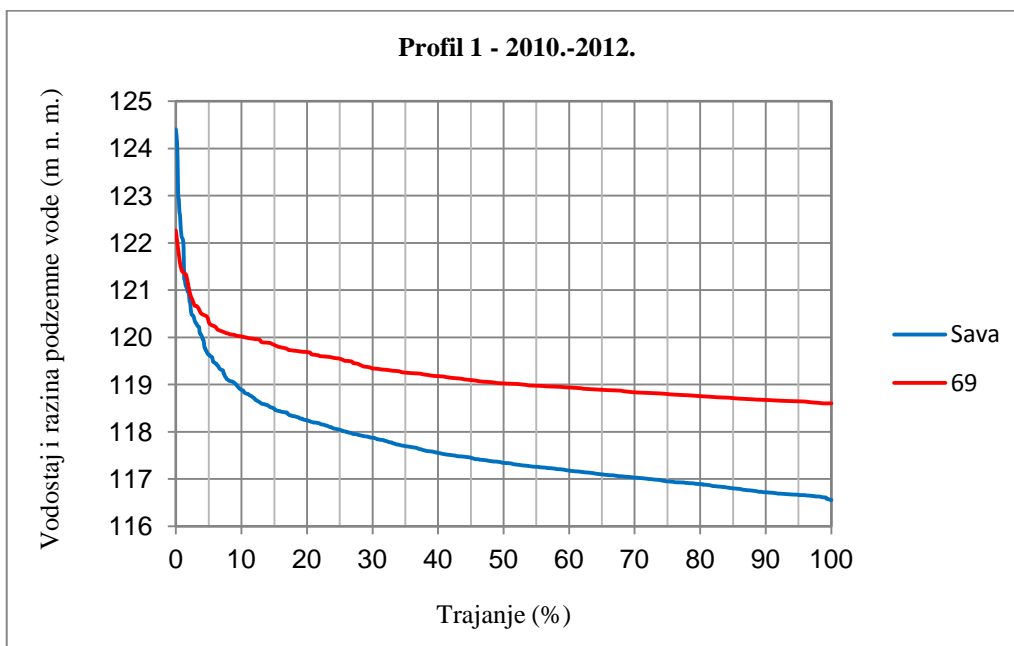
Odabrano je 45 piezometara na udaljenosti od 100 m pa do 2,5 km od rijeke Save (Prilog 2). Pomoću tih ulaznih podataka, napravljena su 22 profila (Prilog 3) duž cijelog toka rijeke Save na promatranom području, na kojima se analizom krivulja trajanja vodostaja i razina podzemne vode, u razdoblju od 2003. do 2012. godine, određivalo u kojoj mjeri rijeka Sava prihranjuje ili drenira određenu zonu u vodonosniku. Za podatke o vodostajima korištene su 22 hidrološke postaje, od čega na jednoj postaji mjerenje vrši DHMZ, na jednoj Hidroing d.o.o., a njih 20 su virtualne hidrološke postaje, stvorene neovisno o prethodno spomenutih 48 virtualnih postaja.

U profilima sa samo jednim piezometrom na istoj obali rijeke Save, analiza je izvršena u odnosima rijeke Save i tog piezometra, a kod profila s više piezometara na istoj obali, izvršena je analiza u odnosima rijeke Save i njoj najbližeg piezometra, a potom je izvršena analiza u odnosima tog piezometra bližeg rijeci Savi i idućih piezometara koji slijede, radi toga što je na taj način točnija procjena vremena prihranjivanja i/ili dreniranja pojedine zone, odnosno profila.

Slijedi prikaz rezultata analize krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode na odabrana 22 profila. Prikazane su krivulje trajanja za cijelo obrađivano razdoblje, navedene su kote vodostaja na kojima dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja između rijeke Save i vodonosnika, odnosno najbližeg analiziranog piezometra, te su prikazane tablice s postotcima vremena u kojima se odvija prihranjivanje i/ili dreniranje za pojedinačno analizirane godine.

4.2.1. Profil 1

Profil 1 ima ukupnu duljinu od 624 metra, a sastoji se od hidrološke postaje Podsused-Žičara na rijeci Savi i piezometra 69 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2010. do 2012. godine (Slika 4-2).



Slika 4-2. Krivulje trajanja profila 1

Vodostaj rijeke Save je 1,8% vremena viši, a 98,2% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 69. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 121,4 m n. m.

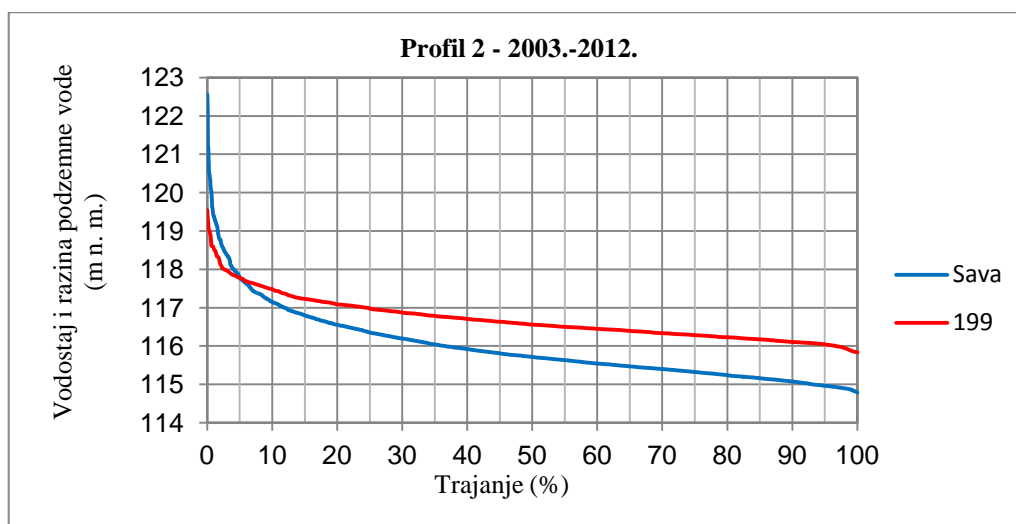
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale iznosi 0,9% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 2,5% i zabilježen je 2012. godine (Tablica 4-1).

Tablica 4-1. Rezultati analize za profil 1

Profil 1		
	Sava	→ 69
2010.-2012.	1,8%	
2010.	2,1%	
2011.	0,9%	
2012.	2,5%	

4.2.2. Profil 2

Profil 2 ima ukupna duljinu od 1124 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 199 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-3).



Slika 4-3. Krivulje trajanja profila 2

Vodostaj rijeke Save je 5,9% vremena viši, a 94,1% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 199. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 117,81 m n. m.

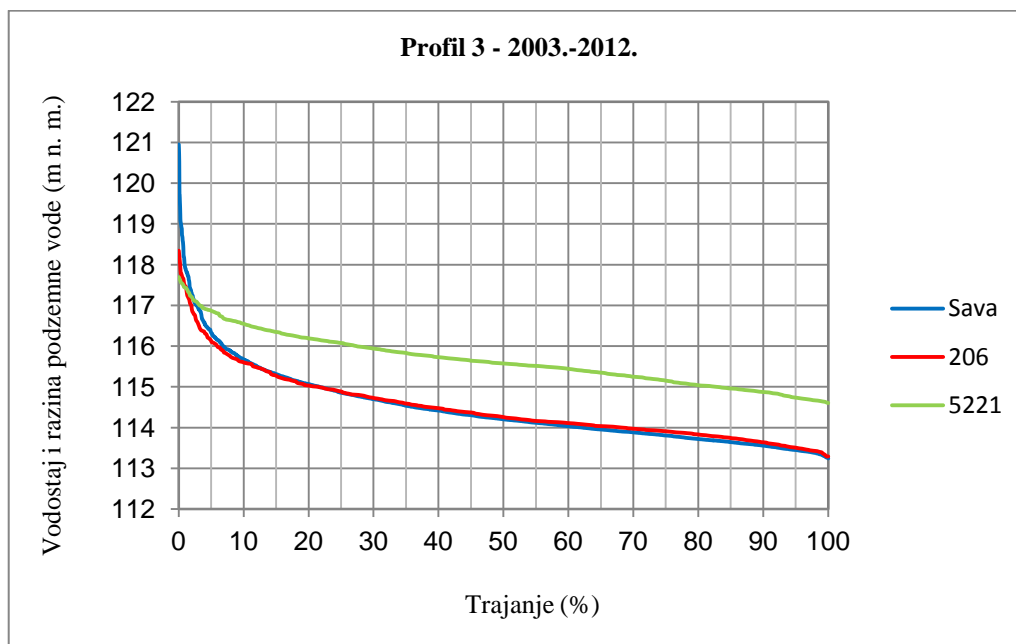
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale iznosi 1,4% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 16% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-2).

Tablica 4-2. Rezultati analize za profil 2

Profil 2	
	199 ← Sava
2003.-2012.	5,9%
2003.	2,5%
2004.	6,6%
2005.	9,1%
2006.	1,7%
2007.	4,6%
2008.	16,0%
2009.	7,1%
2010.	6,1%
2011.	1,4%
2012.	4,6%

4.2.3. Profil 3

Profil 3 ima ukupnu duljinu od 1683 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 206 i 5221 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-4).



Slika 4-4. Krivulje trajanja profila 3

Vodostaj rijeke Save je 27% vremena viši, a 73% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 206, a razina podzemne vode u piezometru 206 je 1,3% vremena viša, a 98,7% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 5221. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika (Prilog 4), a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 114,91 m n. m.

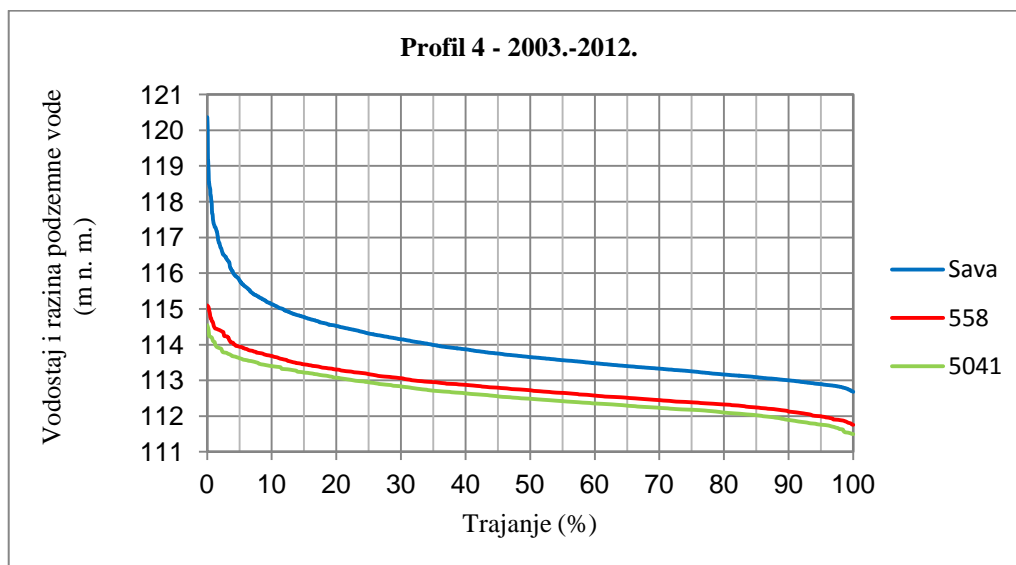
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 206, iznosi 7,3% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 63% i zabilježen je 2008. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 206 i 5221 iznosi 0,0% i zabilježen je 2003., 2007. i 2011. godine, a najveći iznosi 5,1% i zabilježen je 2010. godine (Tablica 4-3).

Tablica 4-3. Rezultati analize za profil 3

Profil 3					
	5221	←	206	←	Sava
2003.-2012.		1,3%		27,0%	
2003.		0,0%		-	
2004.		0,5%		16,0%	
2005.		1,3%		8,2%	
2006.		0,3%		9,1%	
2007.		0,0%		16,0%	
2008.		2,1%		63,0%	
2009.		1,8%		27,0%	
2010.		5,1%		-	
2011.		0,0%		7,3%	
2012.		3,1%		57,0%	

4.2.4. Profil 4

Profil 4 ima ukupnu duljinu od 1479 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 558 i 5041 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-5).



Slika 4-5. Krivulje trajanja profila 4

Vodostaj rijeke Save 100% vremena je viši od razine podzemne vode u piezometru 558, a razina podzemne vode u piezometru 558 je 100% vremena viša od razine podzemne vode u piezometru 5041. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika.

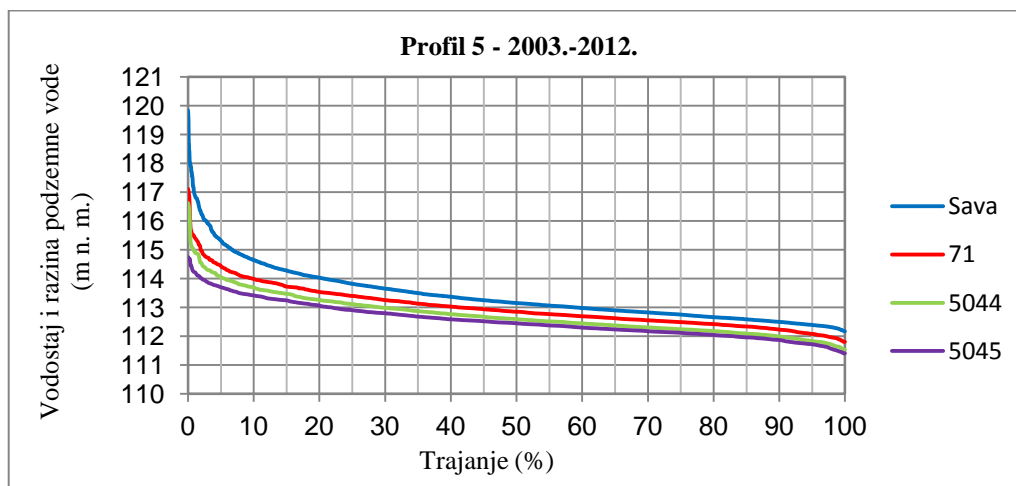
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, vidljivo je da svake godine rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik (Tablica 4-4).

Tablica 4-4. Rezultati analize za profil 4

	Profil 4		
	5041 ←	558 ←	Sava
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%

4.2.5. Profil 5

Profil 5 ima ukupnu duljinu od 1276 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 71, 5044 i 5045 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-6).



Slika 4-6. Krivulje trajanja profila 5

Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 71, razina podzemne vode u piezometru 71 je 100% vremena viša od razine podzemne vode u piezometru 5044, a razina podzemne vode u piezometru 5044 je 100% vremena viša od razine podzemne vode u piezometru 5045. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika (Prilog 5).

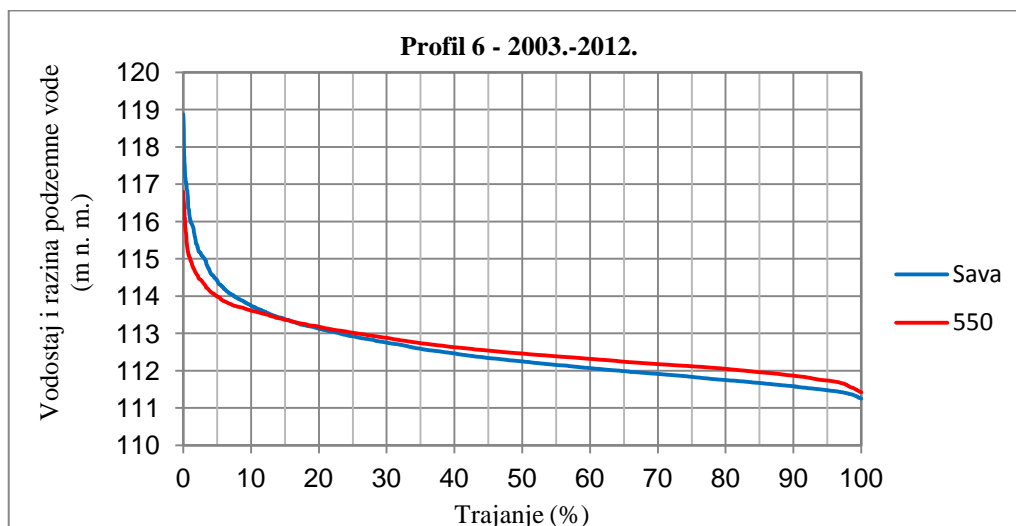
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, vidljivo je da svake godine rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik (Tablica 4-5).

Tablica 4-5. Rezultati analize za profil 5

	Profil 5			
	5045 ←	5044 ←	71 ←	Sava
2003.-2012.	100%	100%	100%	100%
2003.	100%	100%	100%	100%
2004.	100%	100%	100%	100%
2005.	100%	100%	100%	100%
2006.	100%	100%	100%	100%
2007.	100%	100%	100%	100%
2008.	100%	100%	100%	100%
2009.	100%	100%	100%	100%
2010.	100%	100%	100%	100%
2011.	100%	100%	100%	100%
2012.	100%	100%	100%	100%

4.2.6. Profil 6

Profil 6 ima ukupnu duljinu od 182 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 550 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-7).



Slika 4-7. Krivulje trajanja profila 6

Vodostaj rijeke Save je 17% vremena viši, a 83% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 550. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 113,43 m n. m.

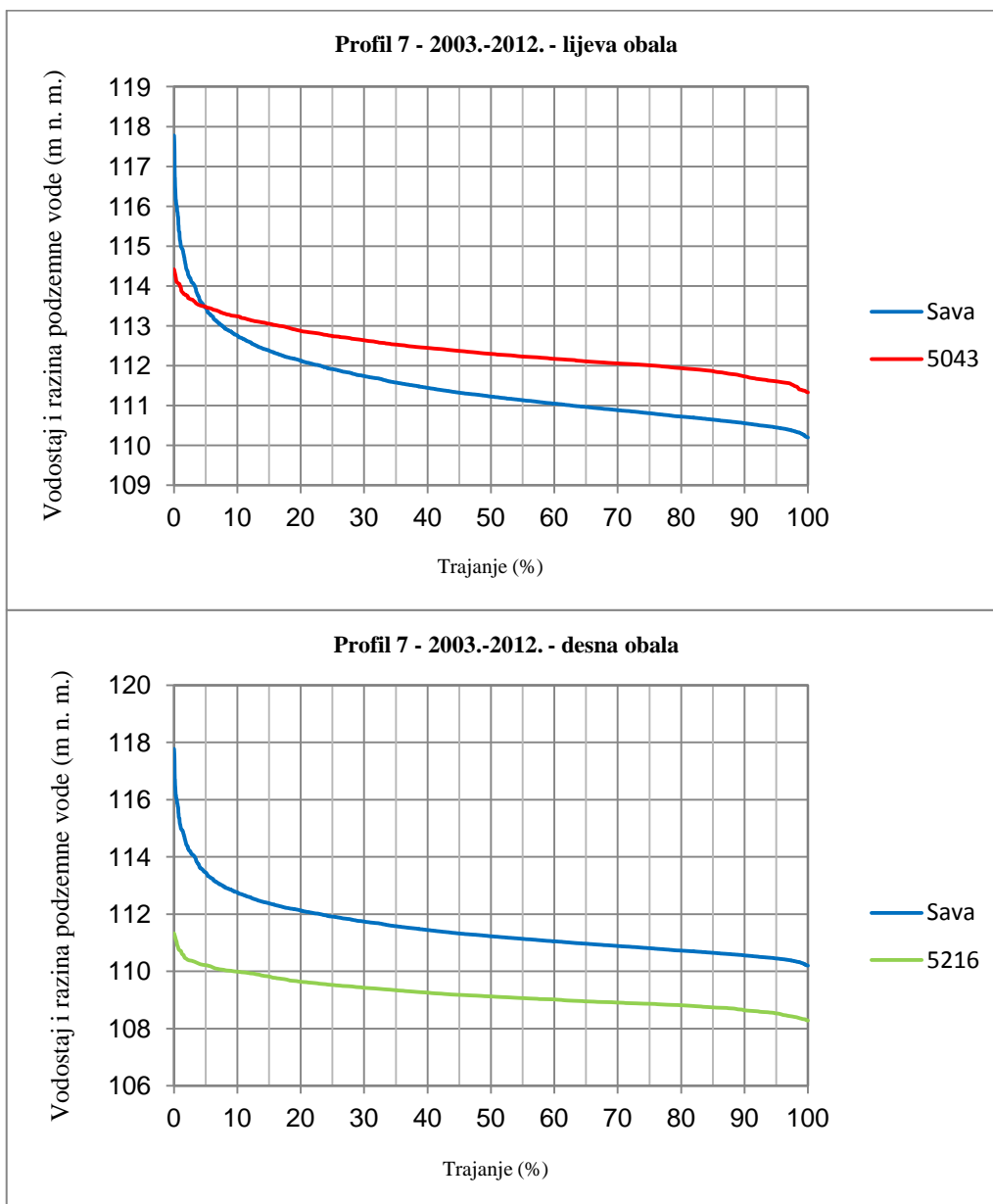
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale iznosi 4,9% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 31% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-6).

Tablica 4-6. Rezultati analize za profil 6

Profil 6	
	550 ← Sava
2003.-2012.	17,0%
2003.	13,0%
2004.	29,0%
2005.	-
2006.	18,0%
2007.	19,0%
2008.	31,0%
2009.	14,0%
2010.	14,0%
2011.	4,9%
2012.	10,0%

4.2.7. Profil 7

Profil 7 ima ukupnu duljinu od 1958 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 5043 na lijevoj obali te piezometra 5216 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-8).



Slika 4-8. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 7

Vodostaj rijeke Save je 5% vremena viši, a 95% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 5043 na lijevoj obali, a 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 5216 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika na svojoj desnoj obali. Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 113,35 m n. m.

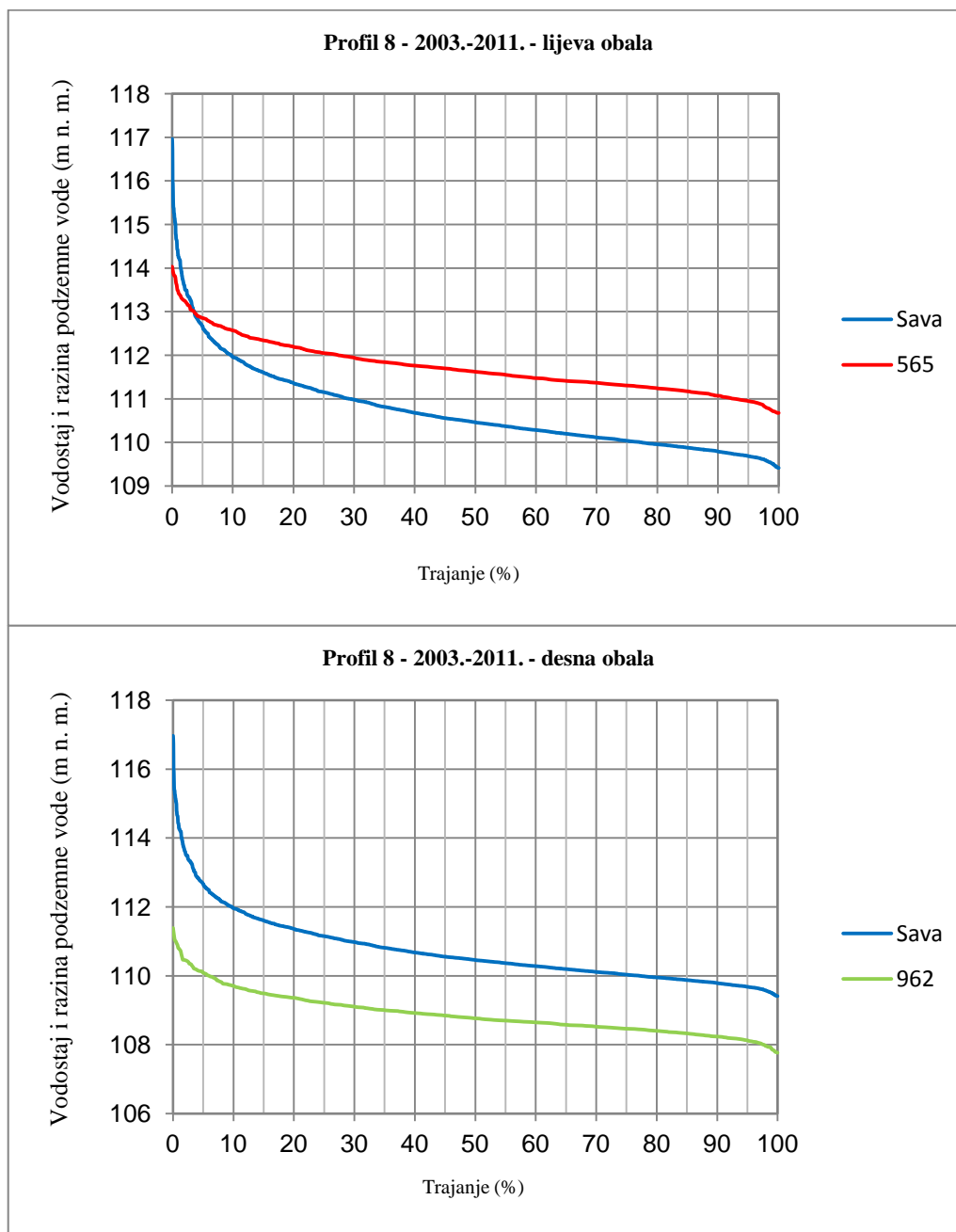
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale iznosi 1% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 9,1% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-7).

Tablica 4-7. Rezultati analize za profil 7

Profil 7	
	5043 ← Sava → 5216
2003.-2012.	5,0% 100%
2003.	1,9% 100%
2004.	6,2% 100%
2005.	8,1% 100%
2006.	3,4% 100%
2007.	4,5% 100%
2008.	9,1% 100%
2009.	6,4% 100%
2010.	6,1% 100%
2011.	1,0% 100%
2012.	5,1% 100%

4.2.8. Profil 8

Profil 8 ima ukupnu duljinu od 2073 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 565 na lijevoj obali te piezometra 962 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2011. godine (Slika 4-9).



Slika 4-9. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 8

Vodostaj rijeke Save je 3,8% vremena viši, a 96,2% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 565 na lijevoj obali, a 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 962 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika na svojoj desnoj obali. Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 113,01 m n. m.

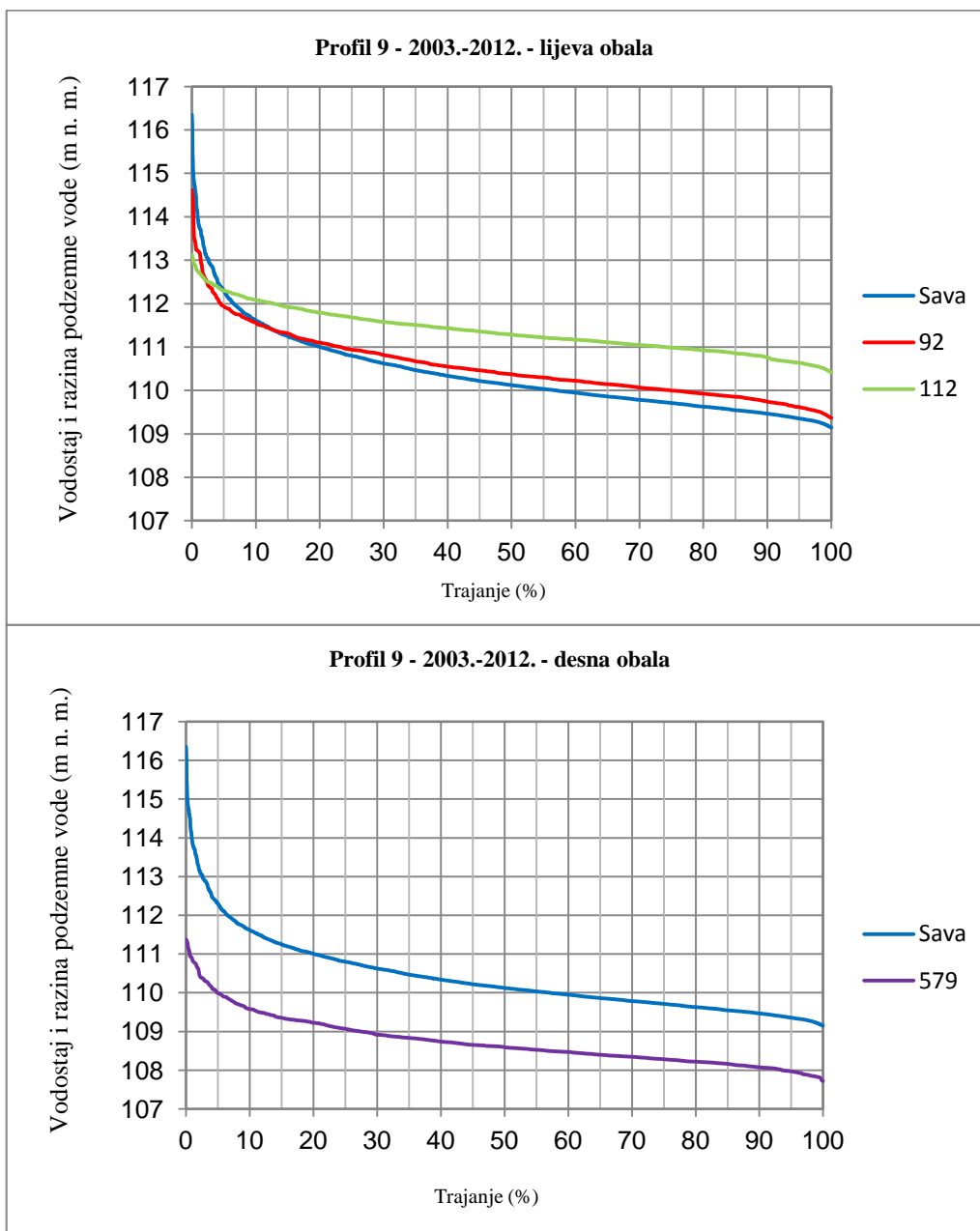
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale iznosi 1,7% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 6% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-8).

Tablica 4-8. Rezultati analize za profil 8

Profil 8					
	565	←	Sava	→	962
2003.-2011.		3,8%		100%	
2003.		2,0%		100%	
2004.		5,6%		100%	
2005.		5,1%		100%	
2006.		2,1%		100%	
2007.		2,3%		100%	
2008.		6,0%		100%	
2009.		5,1%		100%	
2010.		4,9%		100%	
2011.		1,7%		100%	

4.2.9. Profil 9

Profil 9 ima ukupnu duljinu od 1266 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 92 i 112 na lijevoj obali te piezometra 579 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-10).



Slika 4-10. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 9

Vodostaj rijeke Save je 13% vremena viši, a 87% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 92 na lijevoj obali, a razina podzemne vode u piezometru 92 je 2,3% vremena viša, a 97,7% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 112. Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 579 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika na svojoj desnoj obali (Prilog 6). Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 111,38 m n. m.

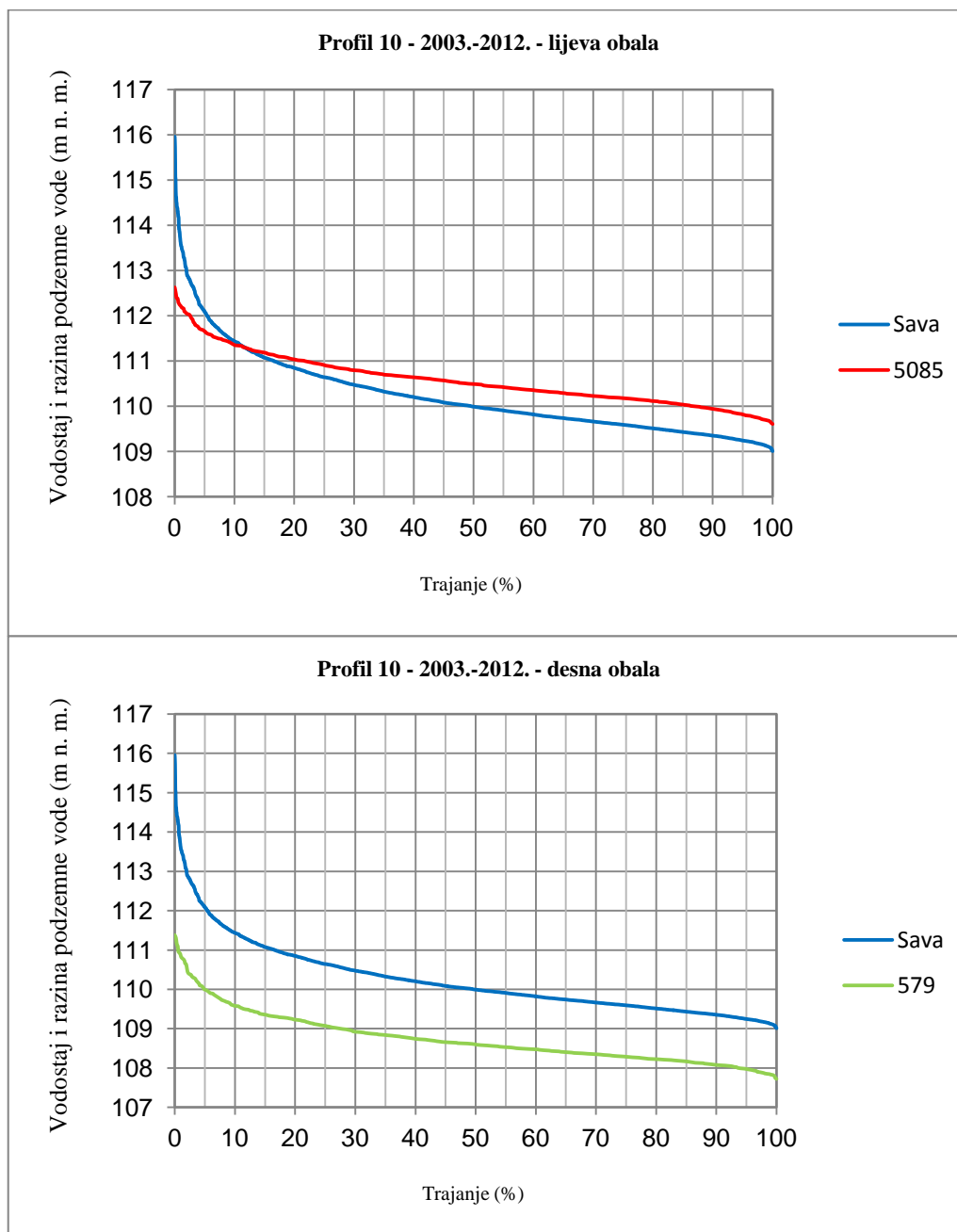
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 92, iznosi 4,8% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 24% i zabilježen je 2008. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 92 i 112 iznosi 0,0% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 4,2% i zabilježen je 2009. godine (Tablica 4-9).

Tablica 4-9. Rezultati analize za profil 9

Profil 9							
	112	←	92	←	Sava	→	579
2003.-2012.							
		2,3%		13,0%		100%	
2003.		0,9%		8,2%		100%	
2004.		4,1%		21,0%		100%	
2005.		2,4%		15,0%		100%	
2006.		1,4%		11,0%		100%	
2007.		1,7%		14,0%		100%	
2008.		1,9%		24,0%		100%	
2009.		4,2%		13,0%		100%	
2010.		3,9%		12,0%		100%	
2011.		0,0%		4,8%		100%	
2012.		2,6%		7,5%		100%	

4.2.10. Profil 10

Profil 10 ima ukupnu duljinu od 1396 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 5085 na lijevoj obali te piezometra 579 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-11).



Slika 4-11. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 10

Vodostaj rijeke Save je 12% vremena viši, a 88% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 5085 na lijevoj obali, a 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 579 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika na svojoj desnoj obali. Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 111,33 m n. m.

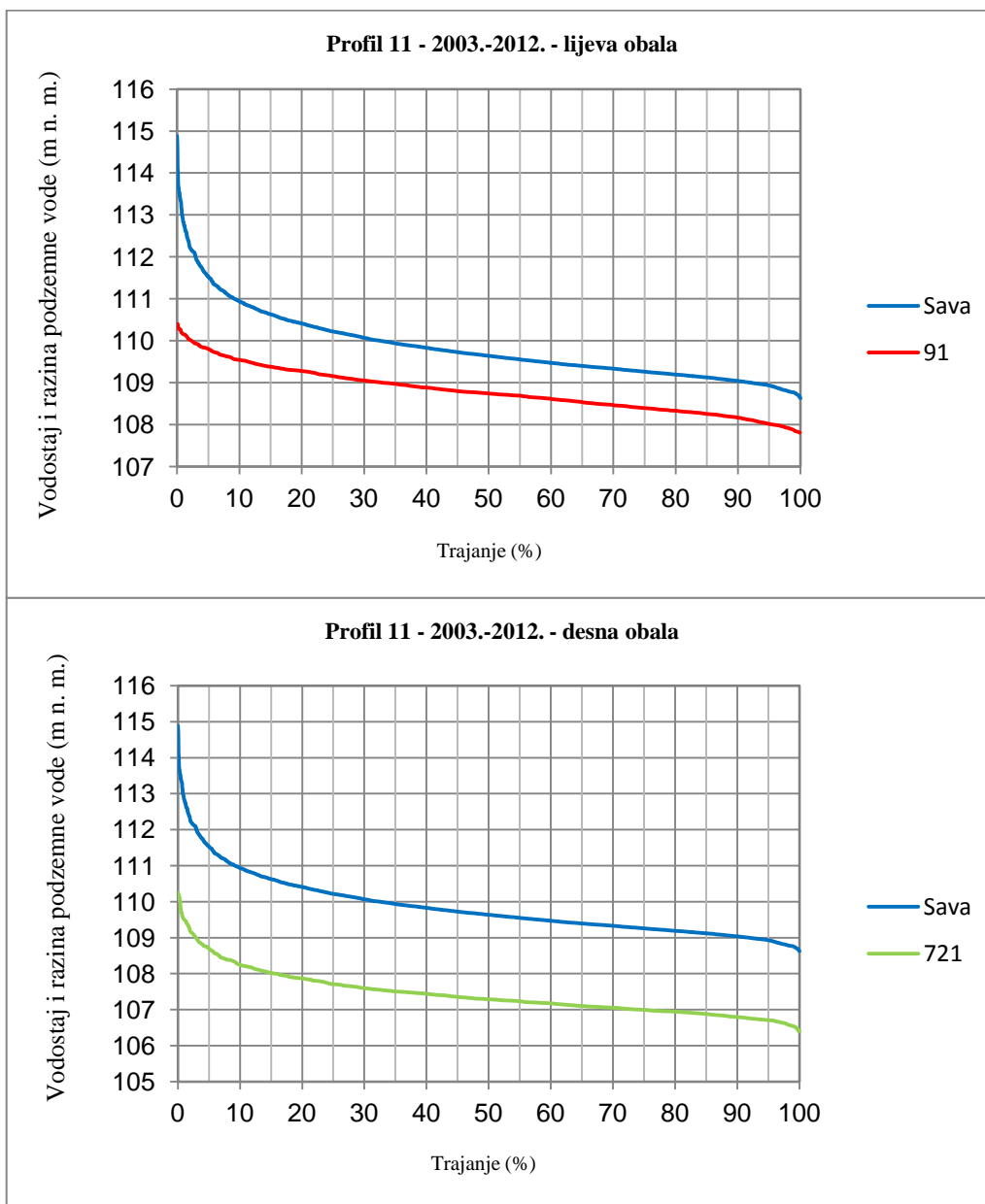
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale iznosi 3,9% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 21% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-10).

Tablica 4-10. Rezultati analize za profil 10

Profil 10	
	5085 ← Sava → 579
2003.-2012.	12,0% 100%
2003.	4,7% 100%
2004.	18,0% 100%
2005.	16,0% 100%
2006.	7,8% 100%
2007.	10,0% 100%
2008.	21,0% 100%
2009.	13,0% 100%
2010.	14,0% 100%
2011.	3,9% 100%
2012.	12,0% 100%

4.2.11. Profil 11

Profil 11 ima ukupnu duljinu od 1663 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 91 na lijevoj obali te piezometra 721 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-12).



Slika 4-12. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 11

Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 91 na lijevoj obali te 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 721 na desnoj obali. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje svoje obje obale.

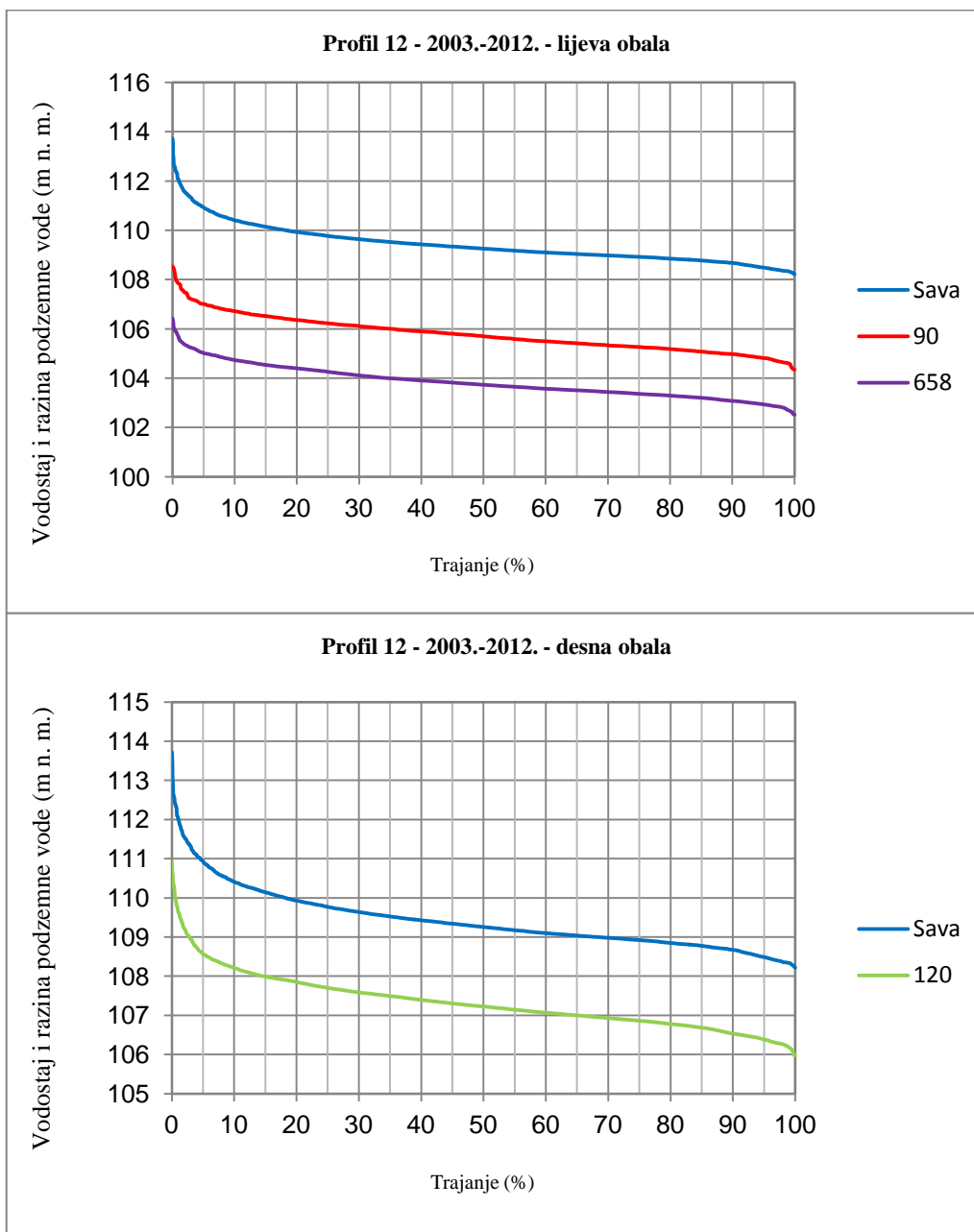
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, vidljivo je da svake godine rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svoje obje obale (Tablica 4-11).

Tablica 4-11. Rezultati analize za profil 11

Profil 11		
	91 ←	Sava → 721
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%

4.2.12. Profil 12

Profil 12 ima ukupnu duljinu od 1933 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 90 i 658 na lijevoj obali te piezometra 120 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-13).



Slika 4-13. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 12

Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 91 na lijevoj obali, a razina podzemne vode u piezometru 90 je 100% vremena viša od razine podzemne vode u piezometru 658. Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 120 na desnoj obali. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje svoje obje obale.

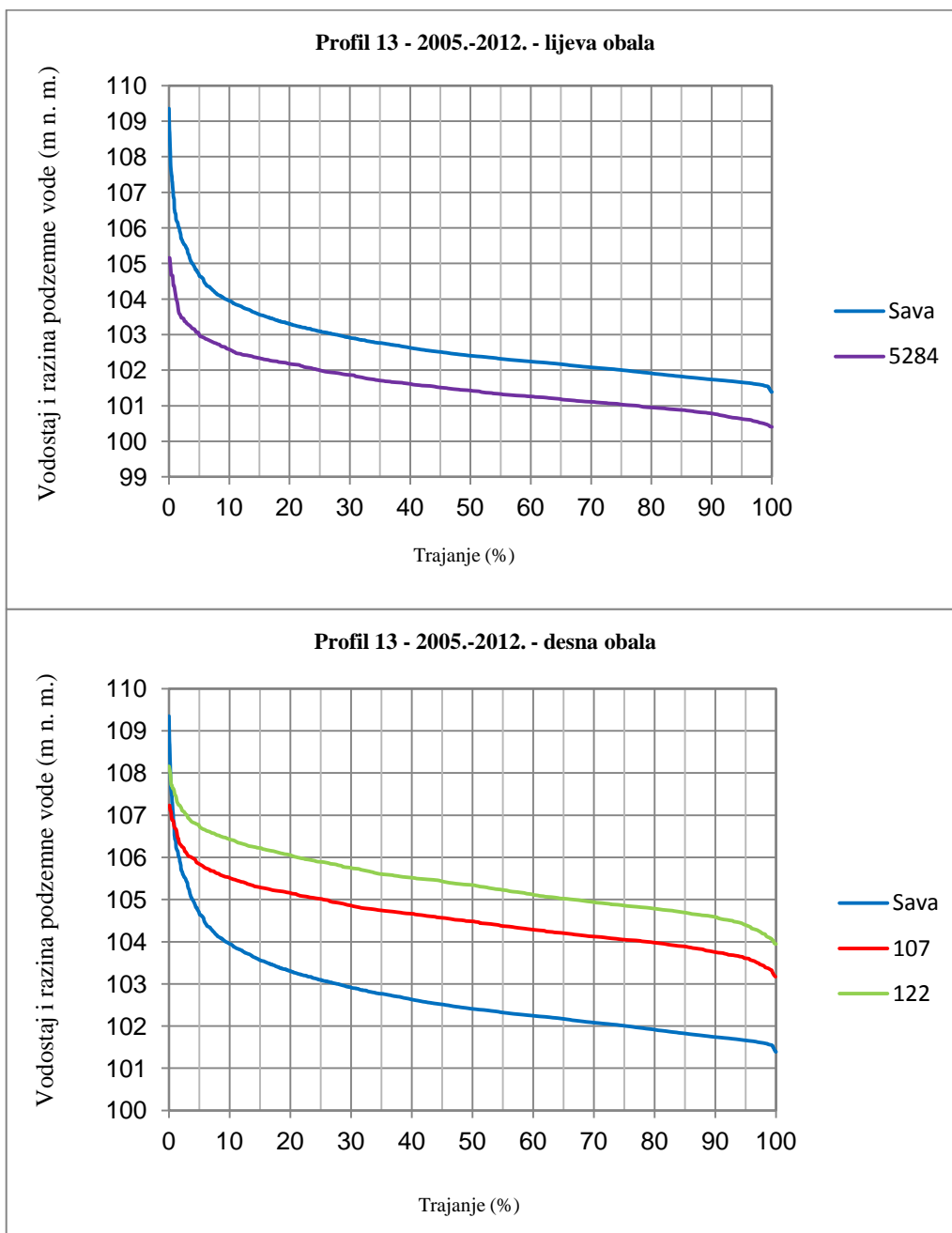
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, vidljivo je da svake godine rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svoje obje obale (Tablica 4-12).

Tablica 4-12. Rezultati analize za profil 12

Profil 12							
	658	←	90	←	Sava	→	120
2003.-2012.		100%		100%		100%	
2003.		100%		100%		100%	
2004.		100%		100%		100%	
2005.		100%		100%		100%	
2006.		100%		100%		100%	
2007.		100%		100%		100%	
2008.		100%		100%		100%	
2009.		100%		100%		100%	
2010.		100%		100%		100%	
2011.		100%		100%		100%	
2012.		100%		100%		100%	

4.2.13. Profil 13

Profil 13 ima ukupnu duljinu od 3760 metara, a sastoji se od hidrološke postaje Toplana d.v. na rijeci Savi i piezometra 5284 na lijevoj obali te piezometara 107 i 122 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2005. do 2012. godine (Slika 4-14).



Slika 4-14. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 13

Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 5284 na lijevoj obali, a 0,9% vremena viši i 99,1% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 107 na desnoj obali. Razina podzemne vode u piezometru 107 je 100% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 122. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svojoj lijevoj obali, a dominantno drenira vodonosnik na svojoj desnoj obali (Prilog 7). Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na desnoj obali je 106,71 m n. m.

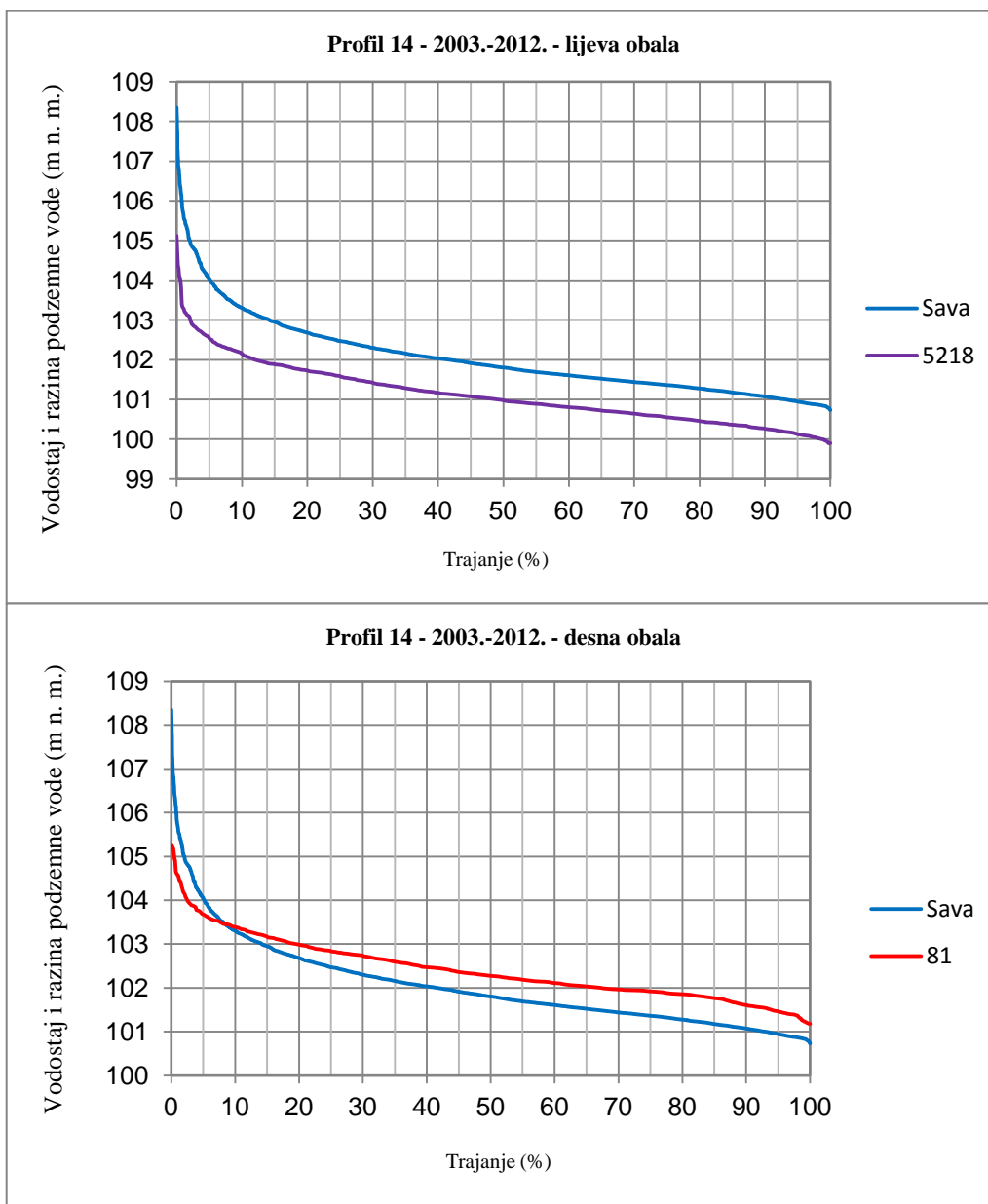
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 107, iznosi 0,0% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 2,1% i zabilježen je 2009. godine (Tablica 4-13).

Tablica 4-13. Rezultati analize za profil 13

Profil 13			
	5284 ←	Sava →	107 → 122
2005.-2012.	100%	0,9%	0,0%
2005.	100%	1,1%	0,0%
2006.	100%	0,3%	0,0%
2007.	100%	1,2%	0,0%
2008.	100%	1,1%	0,0%
2009.	100%	2,1%	0,0%
2010.	100%	1,2%	0,0%
2011.	100%	0,0%	0,0%
2012.	100%	1,2%	0,0%

4.2.14. Profil 14

Profil 14 ima ukupnu duljinu od 1836 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 5218 na lijevoj obali te piezometra 81 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-15).



Slika 4-15. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 14

Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 5218 na lijevoj obali, a 8,7% vremena viši i 91,3% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 81 na desnoj obali. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svojoj lijevoj obali, a dominantno drenira vodonosnik na svojoj desnoj obali. Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na desnoj obali je 103,46 m n. m.

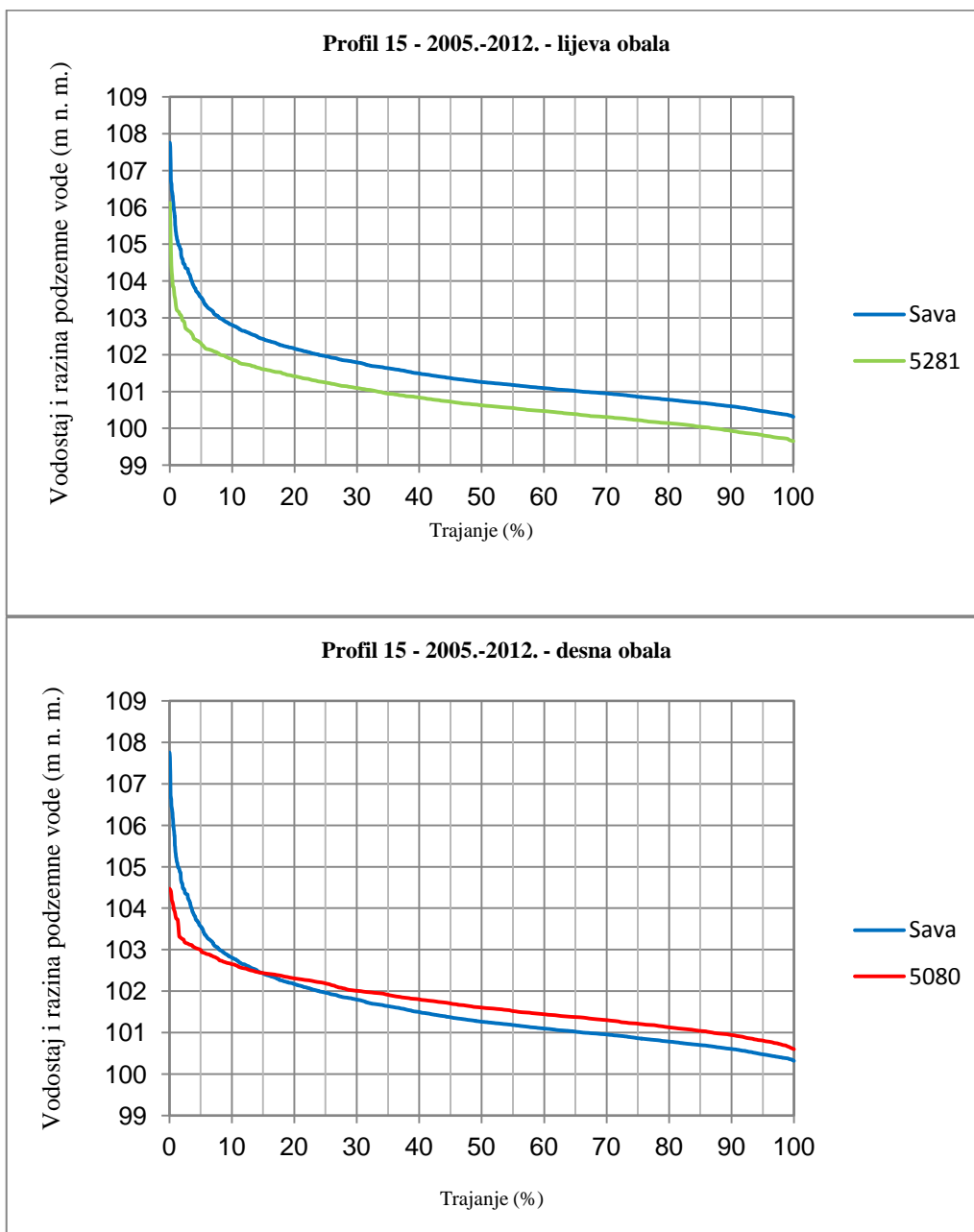
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale iznosi 0,7% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 28% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-14).

Tablica 4-14. Rezultati analize za profil 14

Profil 14					
	5218	←	Sava	→	81
2003.-2012.		100%		8,7%	
2003.		100%		5,9%	
2004.		100%		-	
2005.		100%		14,0%	
2006.		100%		7,5%	
2007.		100%		-	
2008.		100%		28,0%	
2009.		100%		7,7%	
2010.		100%		4,5%	
2011.		100%		0,7%	
2012.		100%		8,2%	

4.2.15. Profil 15

Profil 15 ima ukupnu duljinu od 1660 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 5281 na lijevoj obali te piezometra 5080 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2005. do 2012. godine (Slika 4-16).



Slika 4-16. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 15

Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 5281 na lijevoj obali, a 15% vremena viši i 85% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 5080 na desnoj obali. Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svojoj lijevoj obali, a dominantno drenira vodonosnik na svojoj desnoj obali. Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na desnoj obali je 102,45 m n. m.

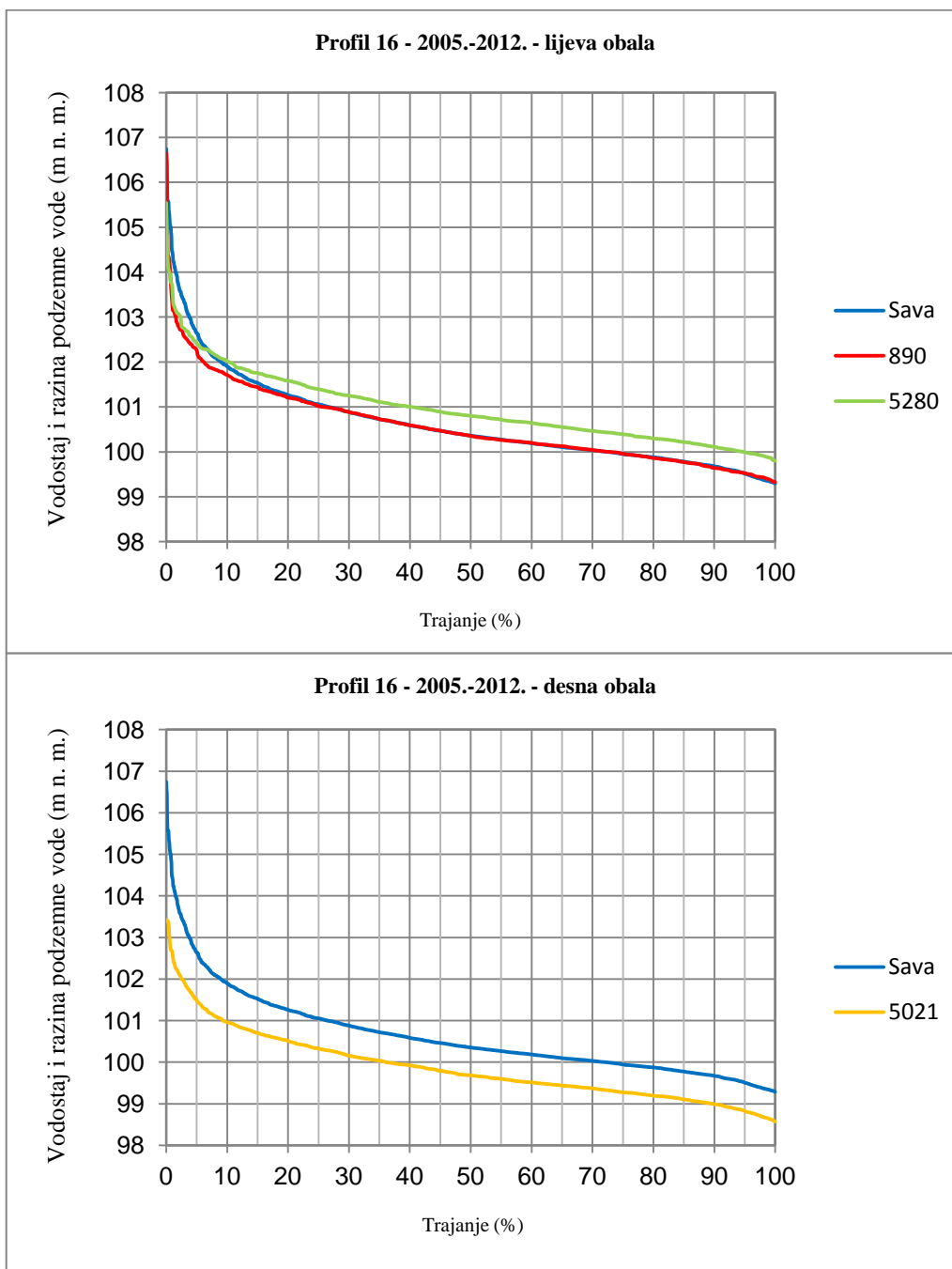
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale iznosi 1,9% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 41% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-15).

Tablica 4-15. Rezultati analize za profil 15

Profil 15					
	5281	←	Sava	→	5080
2005.-2012.		100%		15,0%	
2005.		100%		19,0%	
2006.		100%		14,0%	
2007.		100%		-	
2008.		100%		41,0%	
2009.		100%		14,0%	
2010.		100%		6,9%	
2011.		100%		1,9%	
2012.		100%		13,0%	

4.2.16. Profil 16

Profil 16 ima ukupnu duljinu 3642 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 890 i 5280 na lijevoj obali te piezometra 5021 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2005. do 2012. godine (Slika 4-17).



Slika 4-17. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 16

Vodostaj rijeke Save je 31% vremena viši, a 69% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 890 na lijevoj obali, a razina podzemne vode u piezometru 890 je 1,2% vremena viša i 98,8% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 5280. Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 5021 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika na svojoj desnoj obali (Prilog 8). Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 100,73 m n. m.

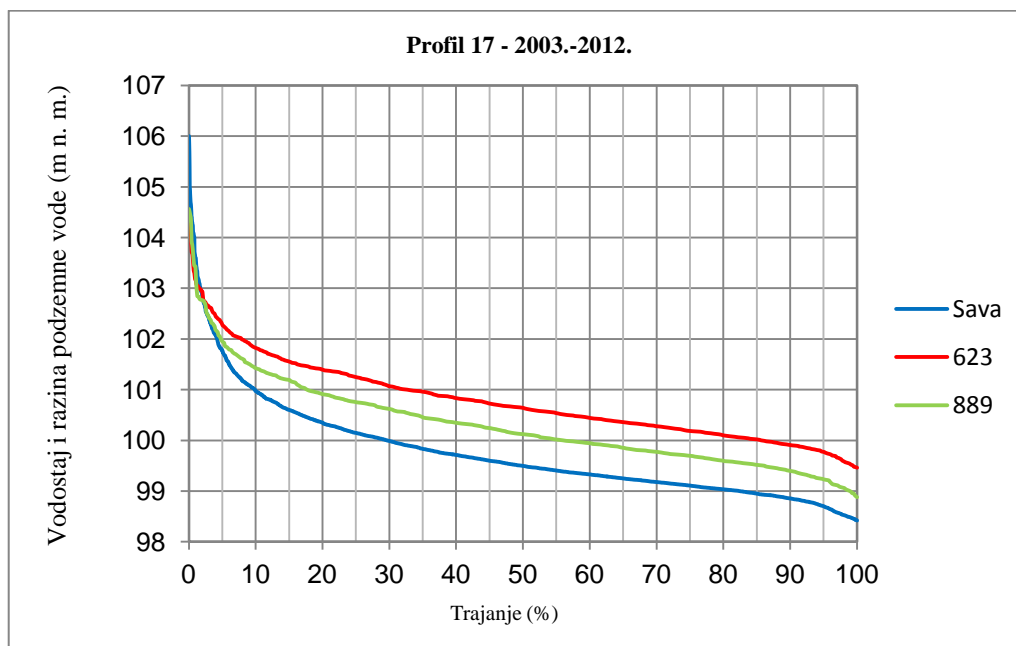
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 890, iznosi 4,2% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 51% i zabilježen je 2012. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 890 i 5280 iznosi 0,0% i zabilježen je 2007. i 2011. godine, a najveći iznosi 3,6% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-16).

Tablica 4-16. Rezultati analize za profil 16

Profil 16				
	5280 ←	890 ←	Sava →	5021
2005.-2012.	1,2%	31,0%		100%
2005.	1,4%	15,0%		100%
2006.	1,6%	31,0%		100%
2007.	0,0%	-		100%
2008.	3,6%	-		100%
2009.	-	41,0%		100%
2010.	-	10,0%		100%
2011.	0,0%	4,2%		100%
2012.	1,9%	51,0%		100%

4.2.17. Profil 17

Profil 17 ima ukupnu duljinu od 1712 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 889 i 623 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-18).



Slika 4-18. Krivulje trajanja profila 17

Vodostaj rijeke Save je 3,1% vremena viši, a 96,9% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 889. Razina podzemne vode u piezometru 889 je 1,1% vremena viša, a 98,9% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 623. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 102,46 m n. m.

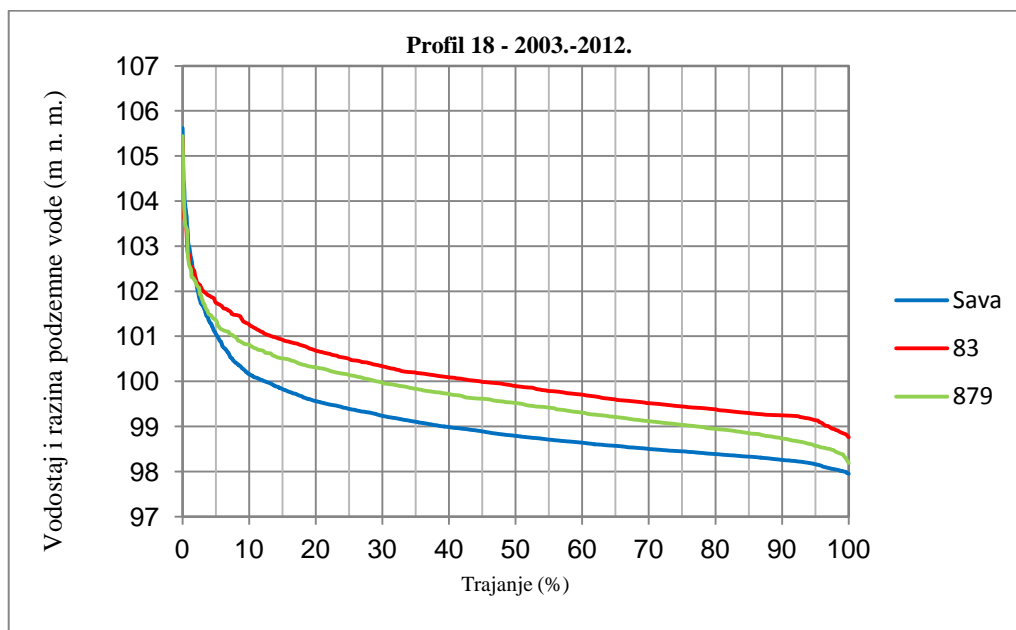
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 889, iznosi 1,1% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 5,9% i zabilježen je 2008. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 889 i 623 iznosi 0,0% i zabilježen je 2004., 2007. i 2011. godine, a najveći iznosi 4,5% i zabilježen je 2008. godine (Tablica 4-17).

Tablica 4-17. Rezultati analize za profil 17

Profil 17					
	623	←	889	←	Sava
2003.-2012.		1,1%		3,1%	
2003.		0,2%		1,5%	
2004.		0,0%		4,5%	
2005.		0,2%		5,7%	
2006.		0,6%		3,4%	
2007.		0,0%		1,8%	
2008.		4,5%		5,9%	
2009.		2,5%		4,1%	
2010.		-		1,3%	
2011.		0,0%		1,1%	
2012.		-		2,3%	

4.2.18. Profil 18

Profil 18 ima ukupnu duljinu od 1749 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 879 i 83 na lijevoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-19).



Slika 4-19. Krivulje trajanja profila 18

Vodostaj rijeke Save je 2,3% vremena viši, a 97,7% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 879. Razina podzemne vode u piezometru 879 je 0,8% vremena viša, a 99,2% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 83. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 102,22 m n. m.

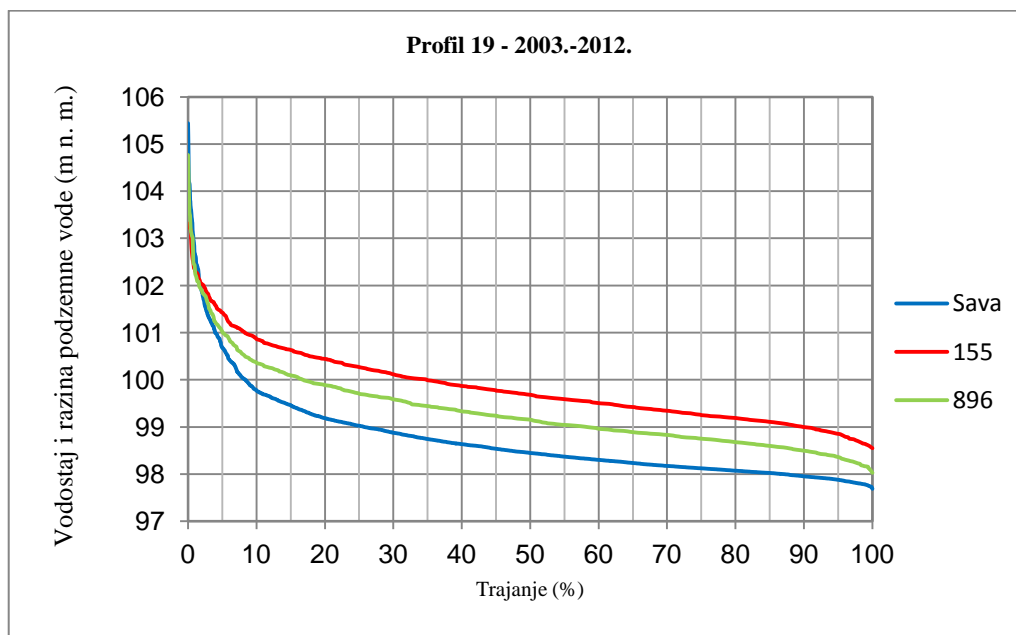
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 879, iznosi 0,9% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 2,9% i zabilježen je 2009. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 879 i 83 iznosi 0,0% i zabilježen je u razdoblju 2003.-2005., 2007. i 2011. godine, a najveći iznosi 2,6% i zabilježen je 2009. godine (Tablica 4-18).

Tablica 4-18. Rezultati analize za profil 18

Profil 18					
	83	←	879	←	Sava
2003.-2012.		0,8%		2,3%	
2003.		0,0%		1,6%	
2004.		0,0%		3,3%	
2005.		0,0%		-	
2006.		0,3%		-	
2007.		0,0%		1,5%	
2008.		0,9%		1,8%	
2009.		2,6%		2,9%	
2010.		2,1%		2,2%	
2011.		0,0%		0,9%	
2012.		-		2,9%	

4.2.19. Profil 19

Profil 19 ima ukupnu duljinu od 1808 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 896 i 155 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-20).



Slika 4-20. Krivulje trajanja profila 19

Vodostaj rijeke Save je 2,4% vremena viši, a 97,6% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 896. Razina podzemne vode u piezometru 896 je 1,1% vremena viša, a 98,9% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 155. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 101,9 m n. m.

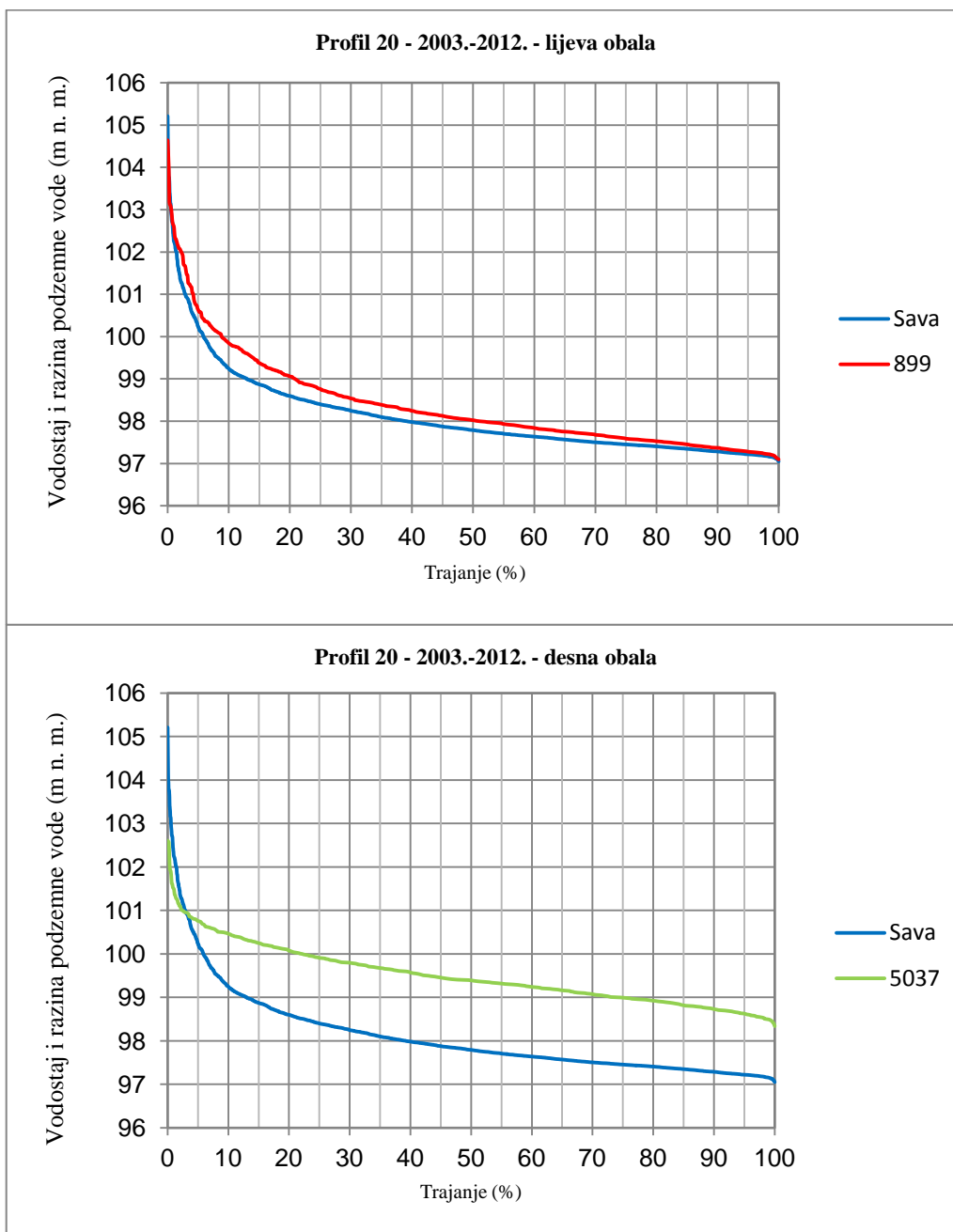
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 896, iznosi 0,8% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 5,3% i zabilježen je 2004. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 896 i 155 iznosi 0,0% i zabilježen je 2003., 2007., 2008. i 2011. godine, a najveći iznosi 2,7% i zabilježen je 2012. godine (Tablica 4-19).

Tablica 4-19. Rezultati analize za profil 19

Profil 19					
	Sava	→	896	→	155
2003.-2012.		2,4%		1,1%	
2003.		1,8%		0,0%	
2004.		5,3%		-	
2005.		3,2%		1,3%	
2006.		2,1%		0,6%	
2007.		1,5%		0,0%	
2008.		1,7%		0,0%	
2009.		2,8%		1,7%	
2010.		2,4%		2,2%	
2011.		0,8%		0,0%	
2012.		3,2%		2,7%	

4.2.20. Profil 20

Profil 20 ima ukupnu duljinu od 2633 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometra 899 na lijevoj obali i piezometra 5037 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-21).



Slika 4-21. Krivulje trajanja lijeve (gore) i desne (dolje) obale profila 20

Vodostaj rijeke Save je 0,9% vremena viši, a 99,1% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 899 na lijevoj obali, a 3,1% vremena viši i 96,9% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 5037 na desnoj obali. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika na obje svoje obale, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 102,63 m n.m., a na desnoj obali 100,95 m n. m.

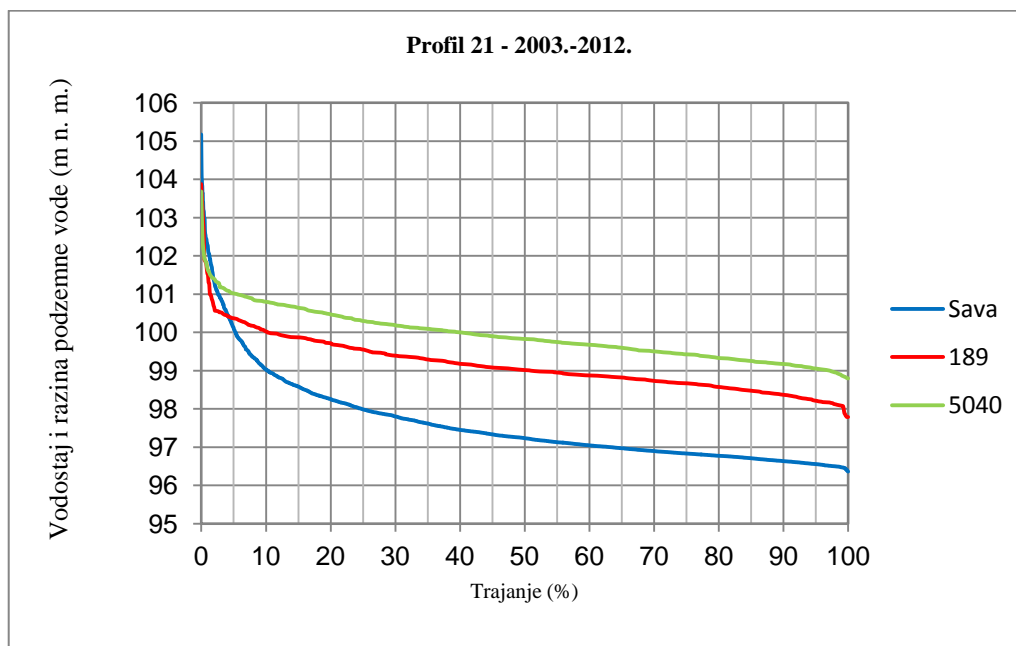
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja lijeve obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 899, iznosi 0,0% i zabilježen je 2004. i 2011. godine, a najveći iznosi 3,7% i zabilježen je 2010. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 5037, iznosi 0,0% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 5,6% i zabilježen je 2012. godine (Tablica 4-20).

Tablica 4-20. Rezultati analize za profil 20

Profil 20					
	899	←	Sava	→	5037
2003.-2012.	0,9%		3,1%		
2003.	-		0,8%		
2004.	0,0%		4,2%		
2005.	0,9%		2,9%		
2006.	2,2%		2,3%		
2007.	-		1,4%		
2008.	-		3,2%		
2009.	1,2%		4,2%		
2010.	3,7%		4,8%		
2011.	0,0%		0,0%		
2012.	-		5,6%		

4.2.21. Profil 21

Profil 21 ima ukupnu duljinu od 2294 metra, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 189 i 5040 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-22).



Slika 4-22. Krivulje trajanja profila 21

Vodostaj rijeke Save je 4,1% vremena viši, a 95,9% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 189. Razina podzemne vode u piezometru 189 je 0,8% vremena viša, a 99,2% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 5040. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika, a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 100,45 m n. m.

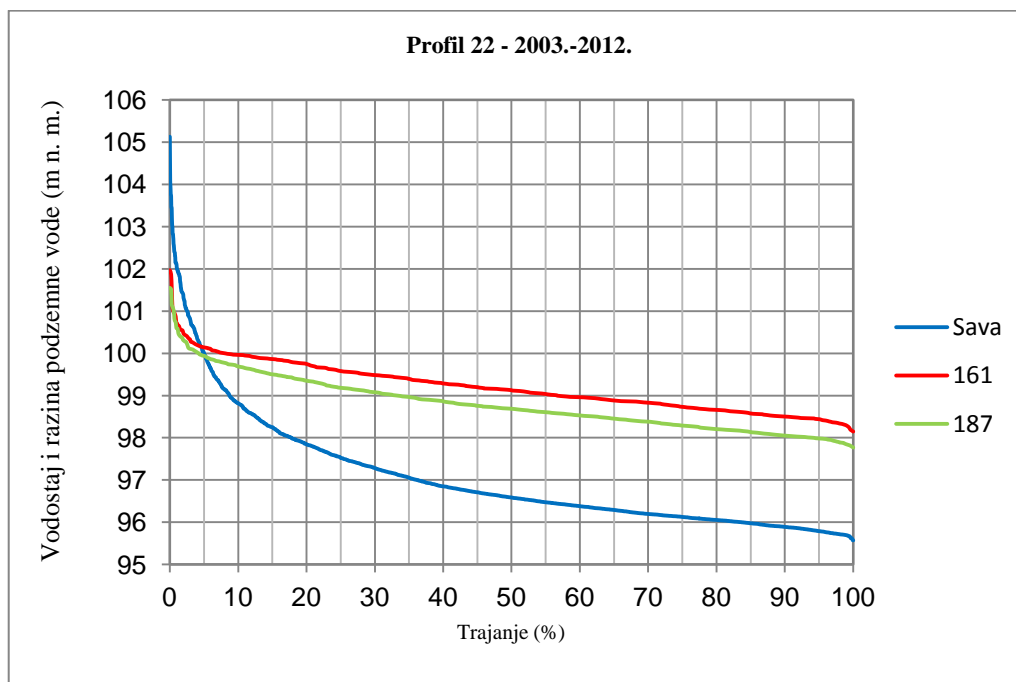
Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 189, iznosi 0,8% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 6,5% i zabilježen je 2009. godine; najmanji postotak vremena prihranjivanja u odnosu piezometara 189 i 5040 iznosi 0,0% i zabilježen je 2003., 2005.-2009., 2011. i 2012. godine, a najveći iznosi 4,7% i zabilježen je 2010. godine (Tablica 4-21).

Tablica 4-21. Rezultati analize za profil 21

Profil 21					
	Sava	→	189	→	5040
2003.-2012.		4,1%		0,8%	
2003.		1,8%		0,0%	
2004.		2,5%		1,8%	
2005.		4,9%		0,0%	
2006.		2,9%		0,0%	
2007.		2,8%		0,0%	
2008.		5,8%		0,0%	
2009.		6,5%		0,0%	
2010.		4,9%		4,7%	
2011.		0,8%		0,0%	
2012.		5,8%		0,0%	

4.2.22. Profil 22

Profil 22 ima ukupnu duljinu od 2560 metara, a sastoji se od virtualne hidrološke postaje na rijeci Savi i piezometara 187 i 161 na desnoj obali. Na njemu je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine (Slika 4-23).



Slika 4-23. Krivulje trajanja profila 22

Vodostaj rijeke Save je 5,2% vremena viši, a 94,8% vremena niži od razine podzemne vode u piezometru 187. Razina podzemne vode u piezometru 187 je 100% vremena niža od razine podzemne vode u piezometru 161. Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika (Prilog 9), a kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 99,93 m n. m.

Ako se promatraju pojedinačno analizirane godine unutar obrađenog razdoblja, najmanji postotak vremena prihranjivanja desne obale, u odnosu rijeke Save i piezometra 187, iznosi 0,4% i zabilježen je 2011. godine, a najveći iznosi 11% i zabilježen je 2010. godine.

Tablica 4-22. Rezultati analize za profil 22

Profil 22					
	Sava	→	187	→	161
2003.-2012.		5,2%		0,0%	
2003.		1,2%		0,0%	
2004.		8,5%		0,0%	
2005.		6,9%		0,0%	
2006.		2,7%		0,0%	
2007.		2,2%		0,0%	
2008.		7,8%		0,0%	
2009.		6,5%		0,0%	
2010.		11,0%		0,0%	
2011.		0,4%		0,0%	
2012.		5,9%		0,0%	

5. Rasprava

Valjanost i raspoloživost podataka, posebno onih o razinama podzemne vode, bila je ograničavajući čimbenik u odabiru većeg broja piezometara za obradu. Posavec (2006) navodi da su od raspoloživih 597 piezometara na području zagrebačkoga vodonosnika mjerenih u razdoblju između 1950. i 2003. godine, izdvojena samo 278 piezometara s pouzdanim mjerenjima izvršenim u razdoblju od 1994. do 2003. godine, što ukazuje da veliki broj postojećih piezometara uopće ne može biti iskorišten u daljnjim obradama. Također, na nekim područjima zagrebačkoga vodonosnika, posebno na području desne obale rijeke Save od Podsuseda do Remetinca, postoji mali broj piezometara, a na udaljenosti od 1,5 km od toka rijeke Save, postoji samo jedan.

Kao što je već ranije navedeno, krivulje trajanja su jedan od osnovnih grafičkih prikaza u hidrologiji. Međutim, Žugaj et al. (2011) navodi da su one često u stručnoj literaturi obrađene vrlo sažeto, ponekad i samo djelomično, a također postoje i neki nedostaci takvog načina prikazivanja ako je razdoblje obrade hidroloških podataka kratko, odnosno ako je obrađena samo jedna ili nekoliko godina.

U diplomskom radu obrađeni su podaci na 22 odabrana profila za razdoblje od 10 godina, odnosno negdje i za kraće vremensko razdoblje, ovisno o raspoloživosti i procjeni valjanosti podataka. Analiza je rađena za razdoblje od svih 10 godina zajedno, ali i za svaku godinu pojedinačno, da bi se vidjelo kako rijeka Sava utječe, odnosno prihranjuje i/ili drenira vodonosnik i po pojedinim godinama. U grafičkom prikazu ponekad je do izražaja došao navedeni nedostatak krivulja trajanja u slučaju kada postoji prekratko obrađeno razdoblje, odnosno u konkretnom slučaju u ovom radu, kada postoji premali broj podataka. Naime, već je u ranijem dijelu rada napomenuto da se vodostaj rijeke Save mjeri svaki dan, što nam daje dovoljno podataka, ali da se razina podzemne vode u piezometrima mjeri svaka tri do četiri dana što uzrokuje nedostatak podataka na godišnjoj razini. Taj nedostatak ne dolazi do izražaja u razdoblju od 10 godina, ali kod nekih profila u pojedinačno analiziranim godinama se pojavio problem da se ne može procijeniti točno vremensko razdoblje prihranjivanja i/ili dreniranja vodonosnika jer se krivulje trajanja u više navrata preklapaju i presijecaju.

Pregledom analize po pojedinačnim godinama, kod profila u kojima dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja rijeke Save i vodonosnika, može se uočiti da postoji nekoliko karakterističnih godina u kojima postoji velika razlika između postotka vremena

prihranjivanja i/ili dreniranja u toj godini, u odnosu na prosječni postotak vremena cjelokupnog promatranog razdoblja. Kod takvih profila, kao razdoblja najvećeg postotka vremena dreniranja vodonosnika, a najmanjeg postotka vremena prihranjivanja, ističu se 2003. i 2011. godina, dok se kao razdoblja najvećeg postotka vremena prihranjivanja vodonosnika, a najmanjeg postotka vremena dreniranja, ističu 2004., 2005. i 2008. godina. Za objašnjenje zašto je tome tako, potrebno je pogledati podatke o količini oborine u tom razdoblju, ali ne smije se ograničiti samo na podatke o količini oborina na području Zagreba, s obzirom da se područje sliva rijeke Save do zagrebačkoga vodonosnika gotovo u cijelosti nalazi u Republici Sloveniji.

U tablicama su prikazani podaci o mjesečnim i godišnjim količinama oborine za grad Zagreb (Tablica 5-1) i za Republiku Sloveniju (Tablica 5-2). S obzirom na to da gotovo 60% površine Republike Slovenije spada u sliv rijeke Save (www.savacommission.org), podaci o količini oborine za cijelu državu mogu se smatrati mjerodavnima.

Tablica 5-1. Količine oborine za Zagreb, mm, 2003.-2012. (www.zagreb.hr)

	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Siječanj	73,1	63,4	22,0	39,4	62,8	8,2	88,0	86,1	13,6	17,3
Veljača	30,5	53,2	71,7	42,3	42,2	9,1	38,9	74,9	13,3	42,2
Ožujak	8,1	67,3	47,9	56,4	75,0	104,5	43,4	60,3	39,6	4,3
Travanj	28,9	126,0	62,2	110,9	4,2	33,9	66,3	65,7	40,5	45,6
Svibanj	19,8	55,5	73,1	84,6	64,6	48,1	27,5	124,0	37,1	89,8
Lipanj	75,2	91,7	68,1	36,7	86,1	123,5	81,9	90,1	85,3	144,0
Srpanj	78,6	102,5	164,4	38,3	66,5	92,0	80,1	122,0	75,0	39,8
Kolovoz	17,4	60,4	175,7	183,8	109,7	58,3	97,3	113,9	16,4	14,7
Rujan	106,6	81,7	72,0	63,2	160,2	48,3	28,3	192,8	57,3	131,1
Listopad	103,2	195,8	31,7	17,8	109,7	69,7	72,2	38,9	72,0	96,3
Studeni	54,4	45,4	86,9	46,4	57,5	75,8	87,8	119,7	0,7	111,1
Prosinac	28,6	50,0	112,4	34,1	57,4	97,1	83,1	66,7	70,0	76,5
Ukupno	624,4	992,9	988,1	753,9	895,9	768,5	794,8	1155,1	520,8	812,7

Tablica 5-2. Količine oborine za Republiku Sloveniju, mm, 2003.-2012. (pxweb.stat.si)

	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Siječanj	86	91	15	57	97	81	122	95	45	29
Veljača	46	116	52	73	107	43	98	132	28	36
Ožujak	4	100	53	136	120	149	165	54	96	10
Travanj	89	131	145	121	11	142	111	72	48	136
Svibanj	57	138	102	167	119	102	72	161	106	135
Lipanj	79	181	86	50	98	166	180	128	163	118
Srpanj	85	107	192	50	132	198	134	116	152	112
Kolovoz	80	131	243	226	135	144	108	167	52	58
Rujan	132	119	168	88	247	59	105	326	87	212
Listopad	170	257	77	69	123	127	93	106	184	229
Studeni	161	90	148	70	49	140	123	235	10	219
Prosinac	105	123	122	87	55	256	243	195	116	103
Ukupno	1094	1584	1403	1194	1293	1607	1554	1787	1087	1397

Iz tablica se može vidjeti razlog zašto se kao razdoblja najvećeg postotka vremena dreniranja, a najmanjeg postotka vremena prihranjivanja, ističu 2003. i 2011. godina. To su bile godine s najnižim prosječnim količinama oborina i na području Zagreba, ali i na području Republike Slovenije, a rijeka Sava brže reagira na takve meteorološke prilike od podzemlja, odnosno zagrebačkoga vodonosnika, pa s nižim vodostajem rijeke Save dolazi do većeg dreniranja vodonosnika u kojem sporije opada razina podzemne vode.

Objašnjenje zašto se kao razdoblja najvećeg postotka vremena prihranjivanja, a najmanjeg postotka vremena dreniranja, ističu 2004., 2005. i 2008. godina, nešto je kompleksnije. Za 2004. i 2005. godinu je vidljivo da su bile prosječne po količini oborina, ali s obzirom na to da je u prethodnoj 2003. godini došlo do znatnijeg dreniranja cijelog vodonosnika, razine podzemne vode su bile niže, te je rijeka Sava već pri nižim vodostajima nego inače znatnije prihranjivala cijeli vodonosni sustav. Za objašnjenje 2008. godine, u kojoj je na većini profila zabilježen najveći postotak vremena prihranjivanja vodonosnika, potrebno je pogledati i 2007. godinu. Iako je 2007. godina bila prosječna po količini oborina, studeni i prosinac su bili neuobičajeno sušni za to doba godine, a to je razdoblje kada rijeka Sava dostiže svoje godišnje maksimume i najviše prihranjuje vodonosnik. S obzirom da doprinos rijeke Save na obnavljanje količina podzemne vode iznosi oko 73% (Bačani i Miletić, 2004), jasno je da je došlo do znatnijeg dreniranja vodonosnika u tom razdoblju te sniženja razine podzemne vode. S obzirom na to da su proljeće i ljeto 2008. godine u Republici Sloveniji bili iznadprosječni po količini oborina, vodostaj rijeke Save se brzo povisio te je zbog toga došlo do znatnijeg prihranjivanja zagrebačkoga vodonosnika.

Na kraju se može postaviti pitanje procjene ove metode, odnosno valjanosti analiziranja krivulja trajanja vodostaja i razine podzemne vode u svrhu određivanja zona prihranjivanja i/ili dreniranja. Na profilu 3 (piezometar 206), profilu 6 (piezometar 550) i profilu 16 (piezometar 890) izvršena je provjera tako što su izravno uspoređene vrijednosti razine podzemne vode i vodostaja rijeke Save na iste datume mjerenja (Tablica 5-3).

Tablica 5-3. Metoda krivulje trajanja i metoda izravne usporedbe

	Krivulje trajanja	Izravna usporedba
Profil 3 (Sava → piezometar 206)	23%	22,70%
Profil 6 (Sava → piezometar 550)	17%	17,43%
Profil 16 (Sava → piezometar 890)	35%	36,08%

Uočava se da su dobivene vrijednosti gotovo identične i da su razlike u razini statističke pogreške. Postavlja se pitanje zašto onda uopće koristiti krivulje trajanja vodostaja Save i razine podzemne vode ako je rezultate moguće dobiti i izravnom usporedbom? Izravna usporedba vodostaja i razina podzemne vode moguća je samo za one piezometre koji su u neposrednoj blizini rijeke Save, kao što je slučaj s piezometrima navedenim u tablici 5-3. Udaljavanjem od nje, već na udaljenosti od nekoliko stotina metara, opada točnost takve metode jer podzemnoj vodi treba određeno vrijeme da dođe do udaljenog piezometra, a pogrešno je utvrditi da, primjerice, rijeka Sava prihranjuje piezometar na udaljenosti od nekoliko kilometara od toka, samo zato što ima nešto viši vodostaj od razine podzemne vode u tom piezometru u nekom trenutku mjerenja. Već za nekoliko sati taj piezometar može imati veću razinu podzemne vode od vodostaja rijeke Save pa bi zapravo trebali imati satne vodostaje i satne razine podzemne vode, a s obzirom na intenzitet mjerenja od svaka tri do četiri dana u piezometrima na području zagrebačkoga vodonosnika, to je nemoguće.

Bitno je još napomenuti da kada se govori o pojmovima kao što su dominantno prihranjivanje ili dominantno dreniranje vodonosnika, u ovom radu se ne misli na obujam vode kojom je vodonosnik prihranjivan ili dreniran, već se misli samo na vremensku komponentu, odnosno koji proces je bio vremenski dominantan u obrađenom razdoblju. Za dobivanje obujma vode koja je iz rijeke Save prihranjena u vodonosnik, a također i iz vodonosnika izdrenirana u rijeku Savu, nije dovoljna samo vremenska komponenta, nego i hidraulički gradijenti, odnosno razlike u potencijalima rijeke Save i razine podzemne vode u točno promatranom vremenu, a tu se opet dolazi do problema o nedostatku podataka, pogotovo iz piezometara, odnosno dugom vremenskom intervalu između mjerenja razine podzemne vode.

Zbog svih tih navedenih razloga, pokazuje se prava vrijednost metode analize krivulja trajanja jer kod nje nije važan vremenski slijed podataka, već samo njihova vrijednost, pa je zapravo idealan alat za provođenje ovakvih vrsta analiza, gdje ne postoje podaci mjereni u kraćim vremenskim intervalima od svakog sata, odnosno dana, ali zato postoje podaci od višegodišnjih razdoblja pomoću kojih se mogu dobiti vjerodostojne krivulje trajanja i točniji prikazi željenih rezultata.

6. Zaključak

Iz karti ekvipotencijala koje su izrađene za ovaj diplomski rad, vidljivo je da je generalni smjer toka podzemnih voda na području zagrebačkoga vodonosnika od zapada prema istoku/jugoistoku te da rijeka Sava napaja vodonosnik duž cijelog toka za vrijeme visokih voda, dok kod niskih i srednjih voda dolazi do prihranjivanja ili dreniranja vodonosnika na pojedinim dijelovima toka. Cilj ovog rada je bio da se pomoću analize krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode odrede koji su to dijelovi toka, odnosno dijelovi hiporheičnih zona, te odrede njihove vremenske komponente, odnosno u kojoj mjeri rijeka Sava utječe na određeni dio vodonosnika. Potrebno je napomenuti da je u ovom radu analiziran samo vremenski utjecaj rijeke Save na pojedina područja vodonosnika, odnosno koji proces, bilo prihranjivanje i/ili dreniranje, je vremenski bio dominantan u promatranom razdoblju, a nije se ulazilo u to koji obujam vode pri tim procesima ulazi u vodonosnik ili izlazi iz njega.

Odabrano je 45 piezometara i 22 hidrološke postaje, od kojih su napravljena 22 profila na kojima je izvršena analiza krivulja trajanja vodostaja i razina podzemne vode za razdoblje od 2003. do 2012. godine. Rezultati su prikazani grafički za cijelo razdoblje od 10 godina, kod nekih profila i nešto manje, a u tablicama su prikazani i rezultati po pojedinim godinama.

Neki od osnovnih problema s kojima se susrelo u ovom radu su premali broj piezometara uz samu rijeku Savu, pogotovo na nekim područjima, te nedostatak podataka o razinama podzemnih voda na godišnjoj razini, s obzirom da se izmjera vrši svaka tri do četiri dana.

Ako se pogleda dobivene rezultate po godinama, uočavaju se velike razlike u odnosu na cjelokupno promatrano razdoblje. S obzirom da je gotovo cijeli sliv rijeke Save do zagrebačkoga vodonosnika smješten u Republici Sloveniji, količina oborina na području te države je odlučujući čimbenik koji objašnjava takvo ponašanje. Rijeka Sava puno brže od podzemlja reagira na povećane ili smanjene količine oborine, pa se time može objasniti povećanje ili smanjenje prihranjivanja i dreniranja u pojedinim analiziranim godinama.

Metoda analize krivulja trajanja se pokazala dobrom za ovakve vrste prikaza jer kod nje nije važan vremenski slijed podataka, već samo njihova vrijednost, pa nam čak i uz nedostatak podataka na godišnjoj razini omogućava ovakve vrste prikaza, sve dok imamo podatke iz dužeg vremenskog razdoblja.

7. Literatura

- BAČANI, A., MILETIĆ, P. (2004): *Prognoze vodostaja podzemnih voda*. Hrvatska vodoprivreda (1330-321X), XII, 142, 22–23.
- BASCH, O. (1981): *Osnovna geološka karta 1:100 000. List Ivanić-Grad L 33-81*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- 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*. RGN fakultet, Zagreb.
- BOANO, F., HARVEY, J. W., MARION, A., PACKMAN, A. I., REVELLI, R., RIDOLFI, L., WÖRMAN, A. (2014): *Hyporheic flow and transport processes: Mechanisms, models, and biogeochemical implications*. *Reviews of Geophysics*, 52, 603–679
- BOULTON, 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.
- GJETVAJ, G., LONČAR, G., MALUS, D., OCVIRK, E. (2011): *Primjeri međoutjecaja površinskih i podzemnih voda*. *Građevinar*, 63 (11), 941-951
- POSAVEC, K. (2006): *Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja*. Doktorska disertacija. RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1977): *Osnovna geološka karta 1:100 000. List Zagreb L 38–80*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- URUMOVIĆ, K., MIHELČIĆ, D. (2000): *Podzemne vode savskoga vodonosnika*. Hidrologija i vodni resursi Save u novim uvjetima, zbornik radova, okrugli stol, Slavonski Brod.
- VELIĆ, J., DURAN, G. (1993): *Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia*. *Geologia Croatica*, vol. 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:

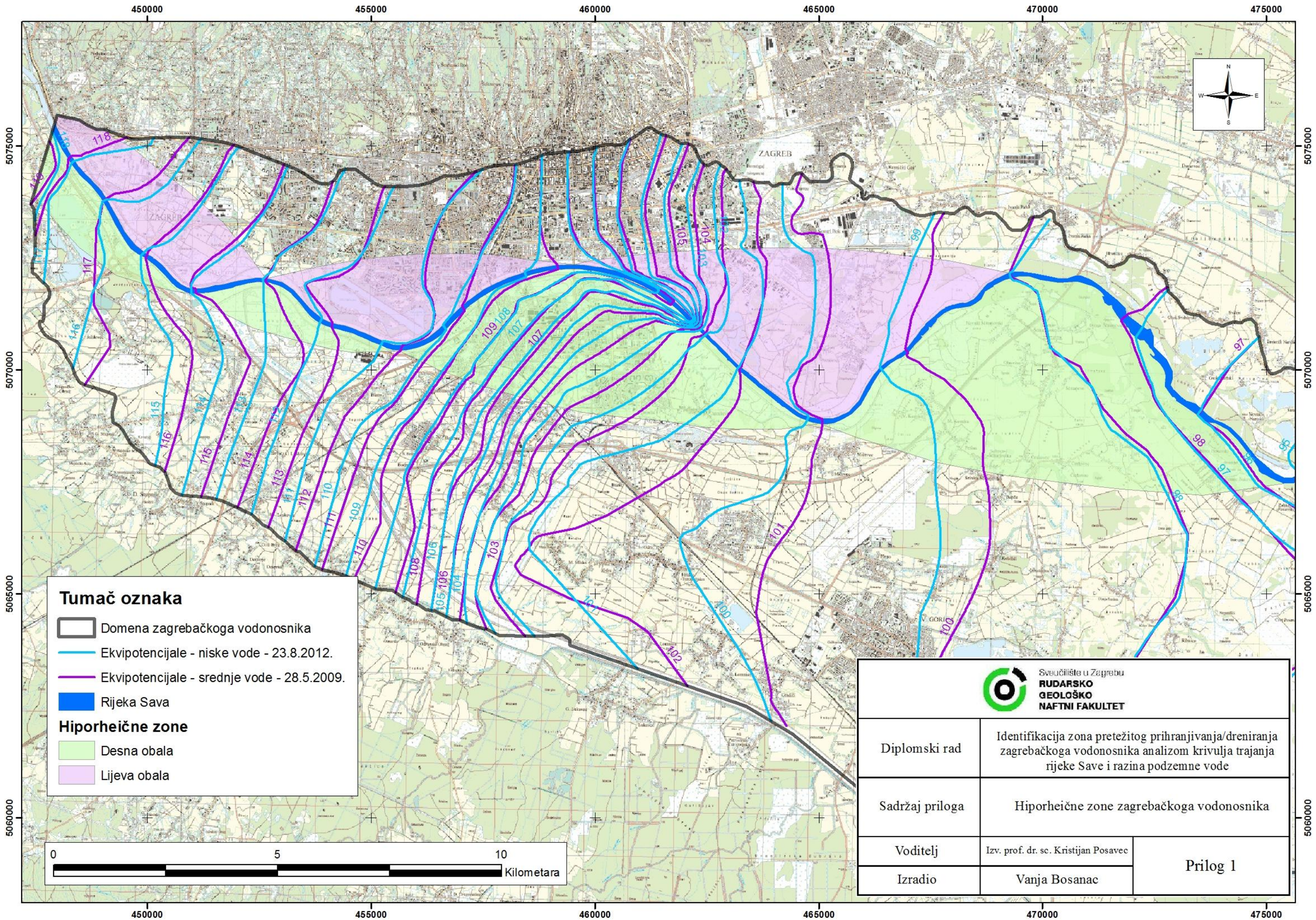
International Sava River Basin Commission - www.savacommission.org (27.6.2015.)

Statistični urad RS - pxweb.stat.si (22.6.2015.)

U.S. Geological Survey - www.usgs.gov (13.6.2015.)

Zagreb.hr - www.zagreb.hr (22.6.2015.)

Prilozi

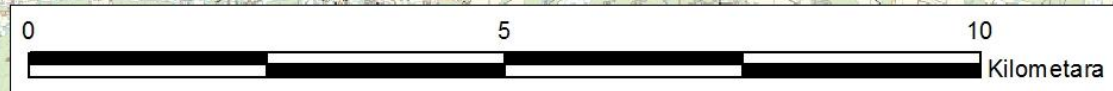


Tumač oznaka

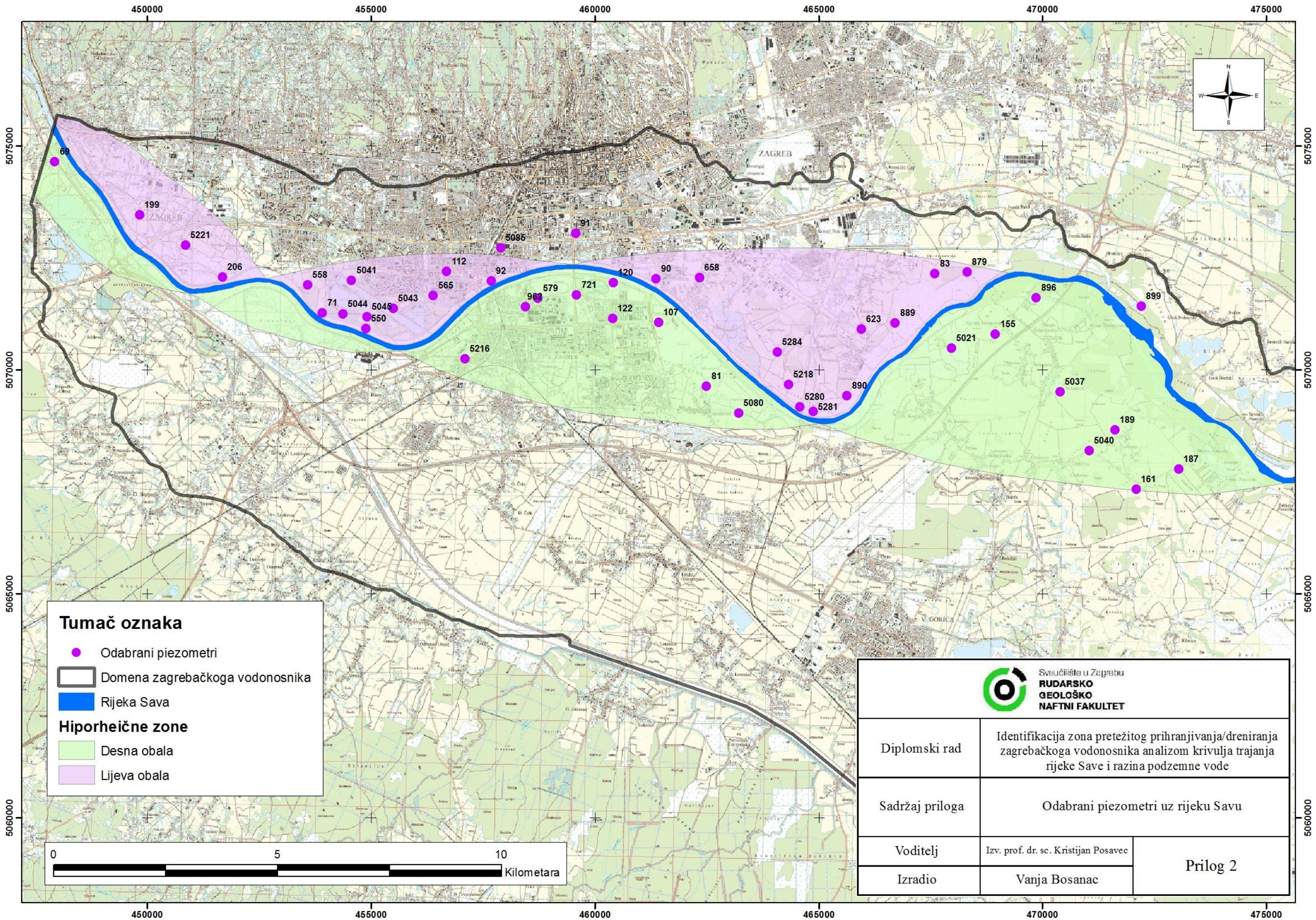
- Domena zagrebačkoga vodonosnika
- Ekvipotencijale - niske vode - 23.8.2012.
- Ekvipotencijale - srednje vode - 28.5.2009.
- Rijeka Sava

Hiporheične zone

- Desna obala
- Lijeva obala



Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode	
Sadržaj priloga	Hiporheične zone zagrebačkoga vodonosnika	
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec	Prilog 1
Izradio	Vanja Bosanac	

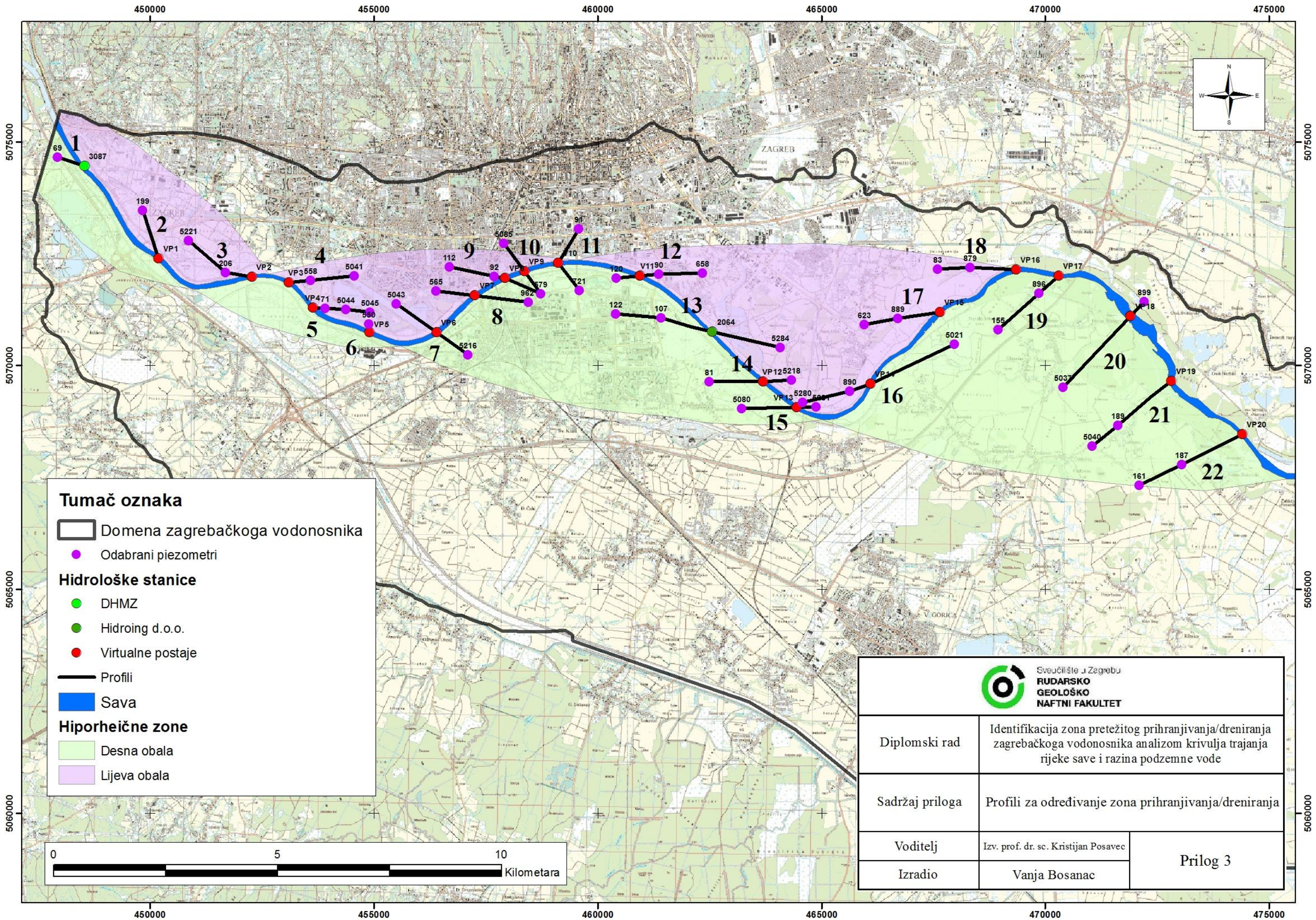


Tumač oznaka

- Odabrani piezometri
- Domena zagrebačkoga vodonosnika
- █ Rijeka Sava
- Hiporheične zone**
- Desna obala
- Lijeva obala

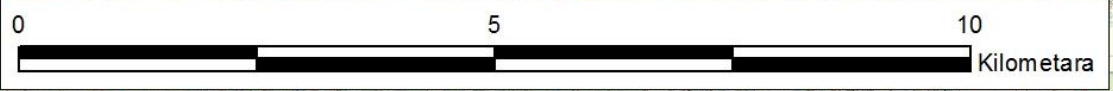


Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razina podzemne vode	
Sadržaj priloga	Odabrani piezometri uz rijeku Savu	
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec	Prilog 2
Izradio	Vanja Bosanac	



Tumač oznaka

- Domena zagrebačkoga vodonosnika
- Odabrani piezometri
- Hidrološke stanice**
- DHMZ
- Hidroing d.o.o.
- Virtualne postaje
- Profili
- Sava
- Hiporheične zone**
- Desna obala
- Lijeva obala

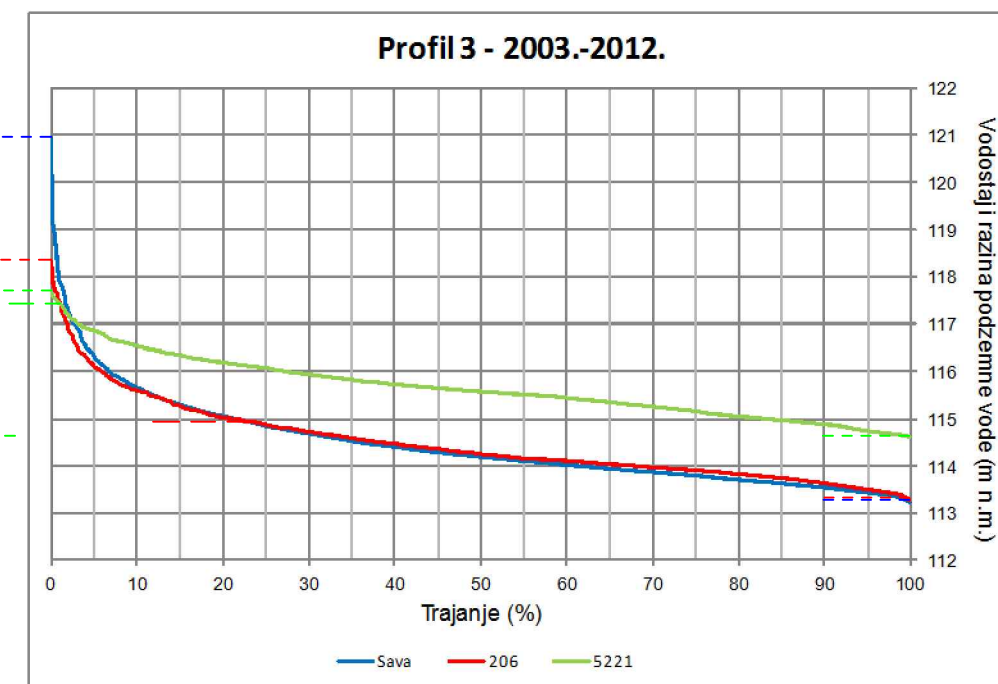
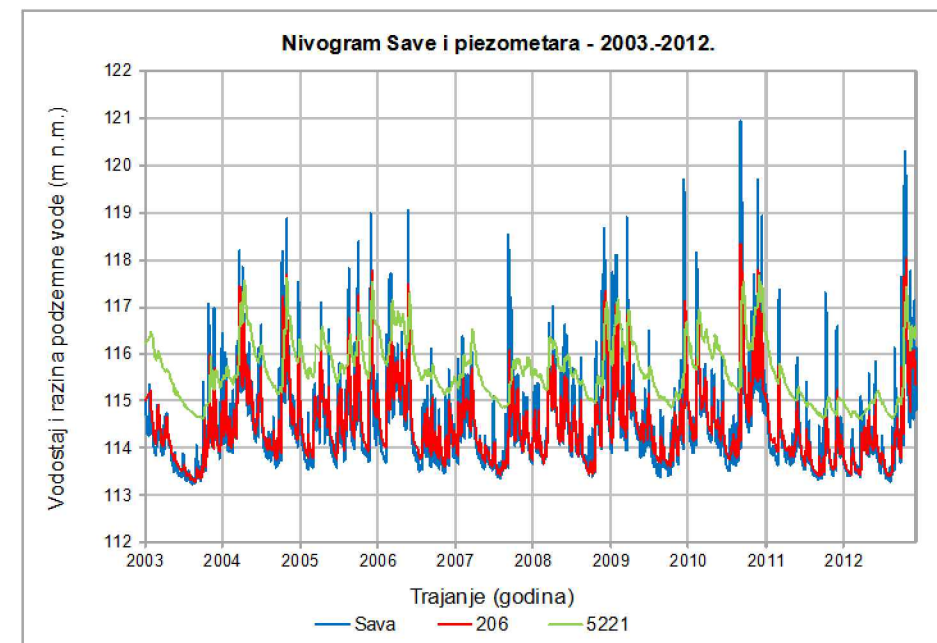
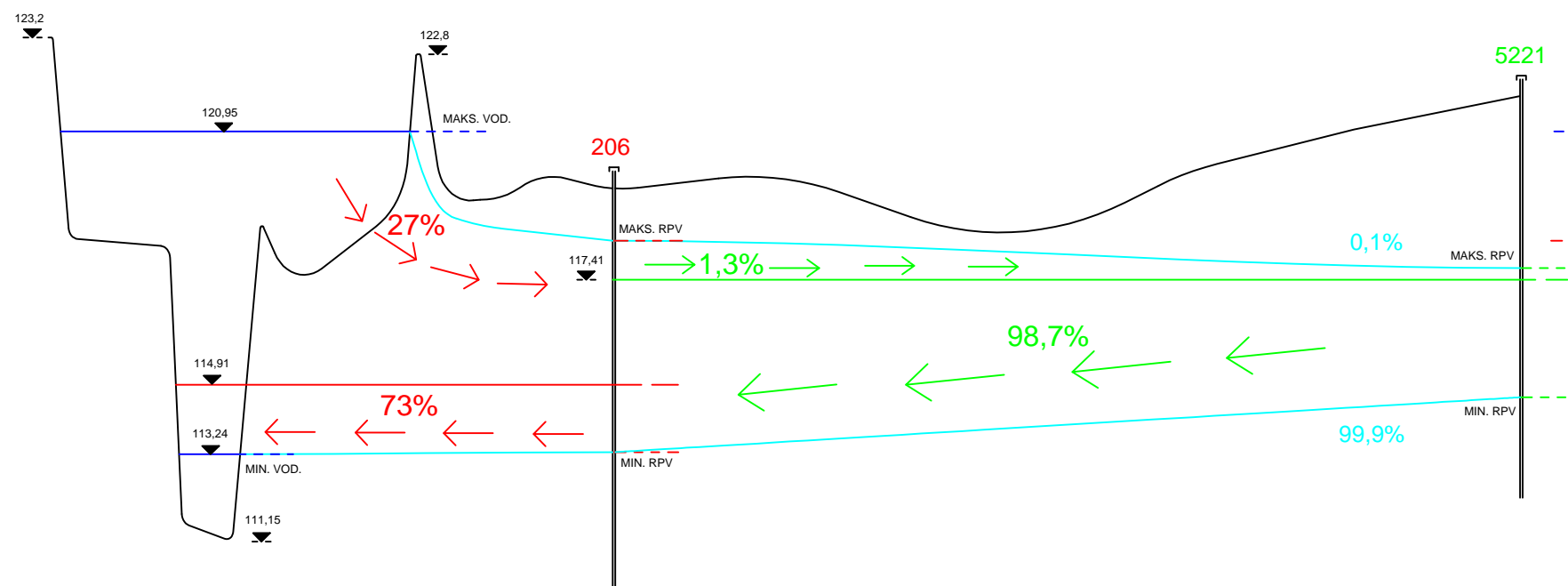


Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke save i razina podzemne vode
Sadržaj priloga	Profili za određivanje zona prihranjivanja/dreniranja
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Izradio	Vanja Bosanac
Prilog 3	

Profil 3

Sava

Lijeva obala



Vodostaj rijeke Save je **27%** vremena viši, a **73%** vremena niži od razine podzemne vode u piezometru **206**.

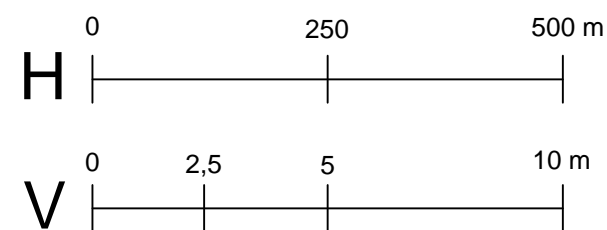
Razina podzemne vode u piezometru **206** je **1,3%** vremena viša, a **98,7%** vremena niža od razine podzemne vode u piezometru **5221**.

Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 114,91 m n.m.

Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika.

Mjerilo

H:V = 1:50

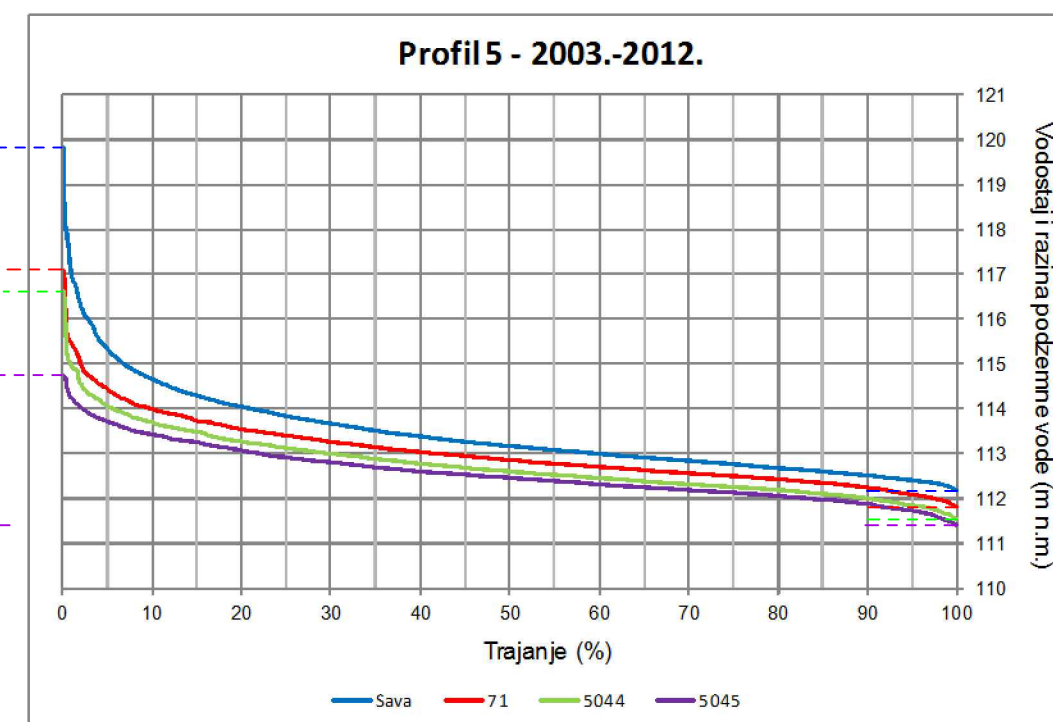
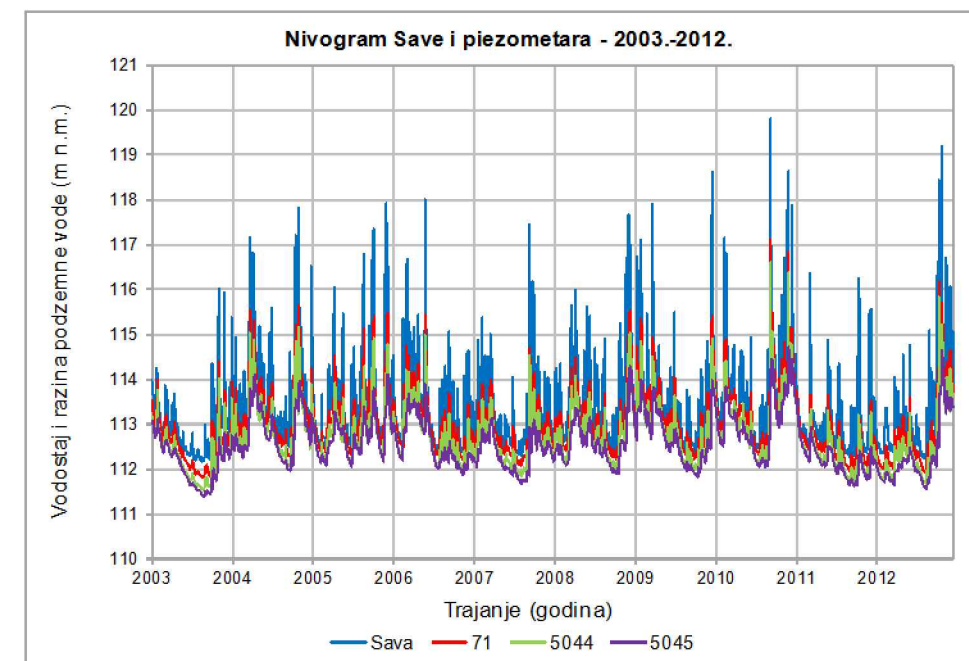
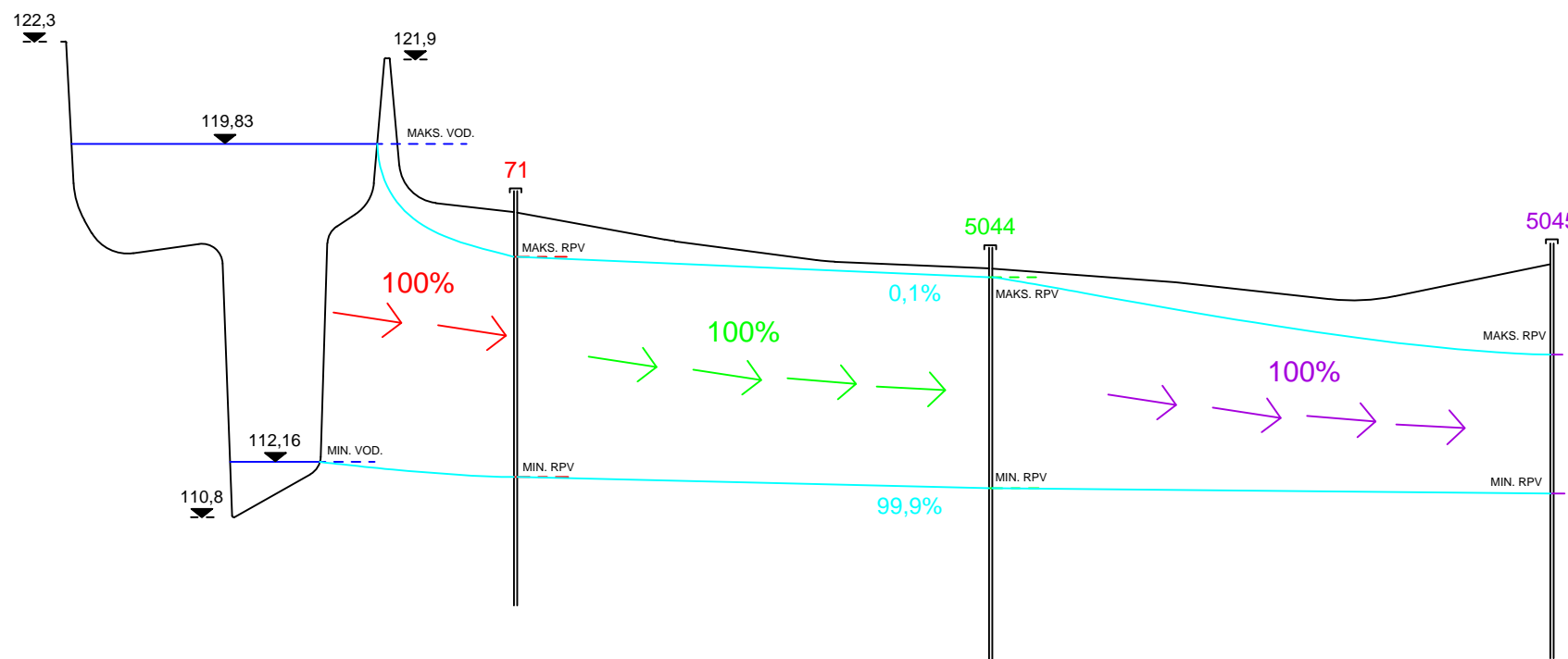


Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razine podzemne vode	
Sadržaj priloga	Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 3	
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec	Prilog 4
Izradio	Vanja Bosanac	

Profil 5

Sava

Lijeva obala



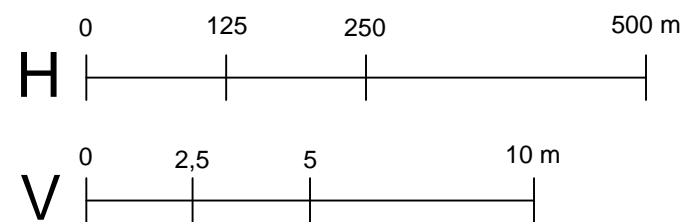
Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru 71.


Razina podzemne vode u piezometru 71 je 100% vremena viša od razine podzemne vode u piezometru 5044.

Razina podzemne vode u piezometru 5044 je 100% vremena viša od razine podzemne vode u piezometru 5045.

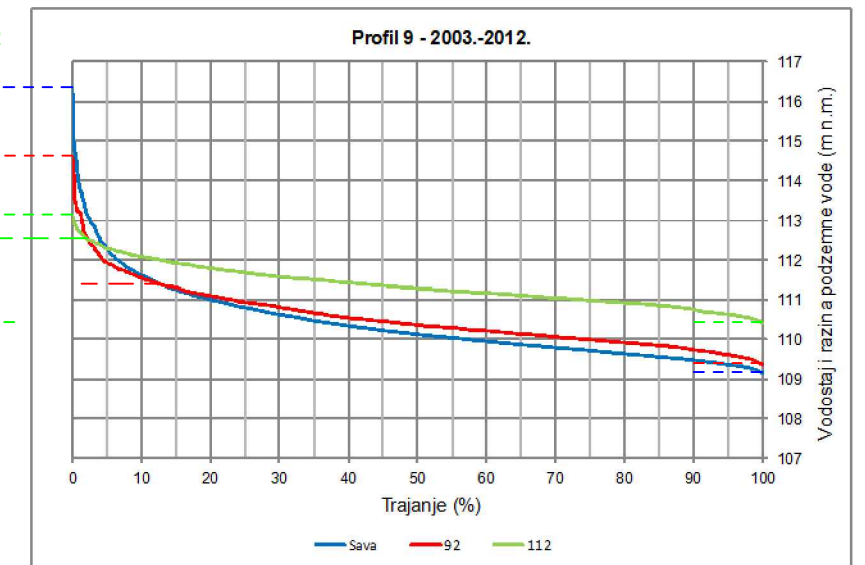
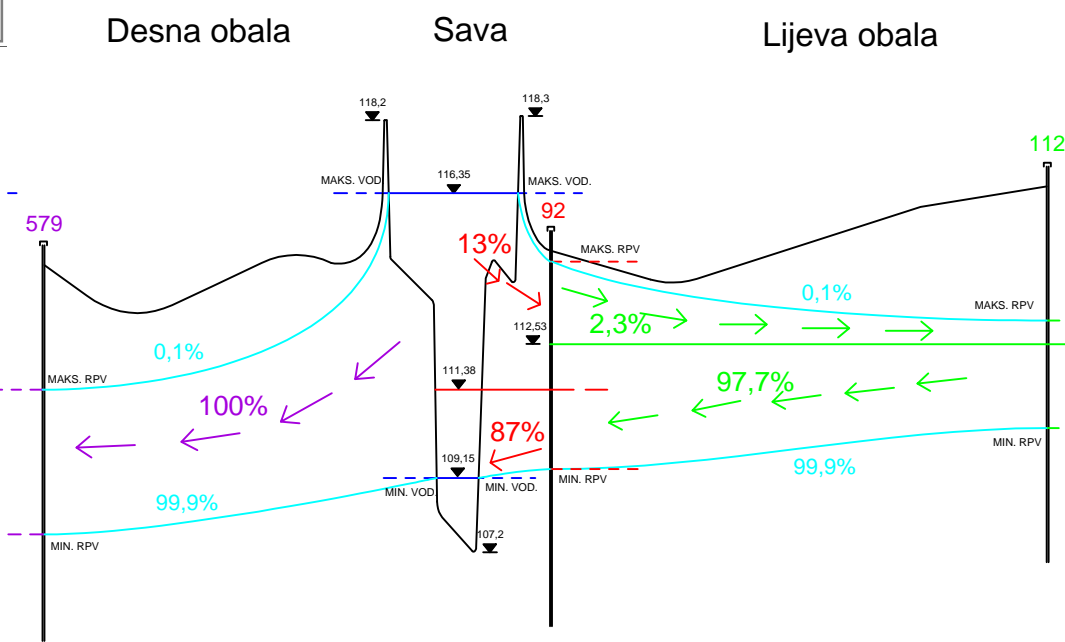
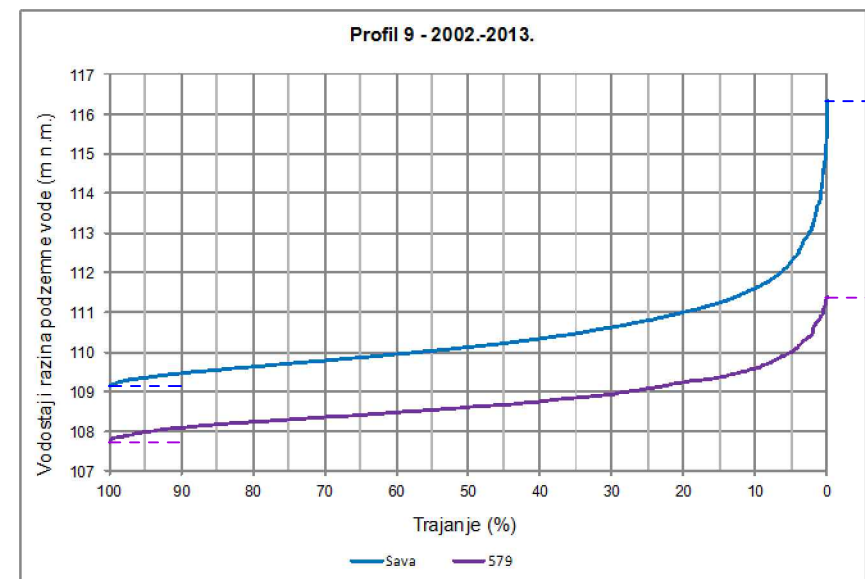
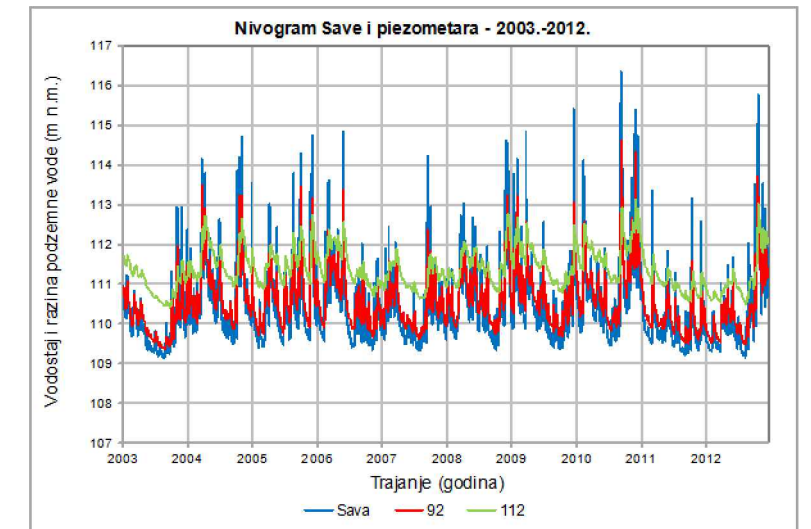
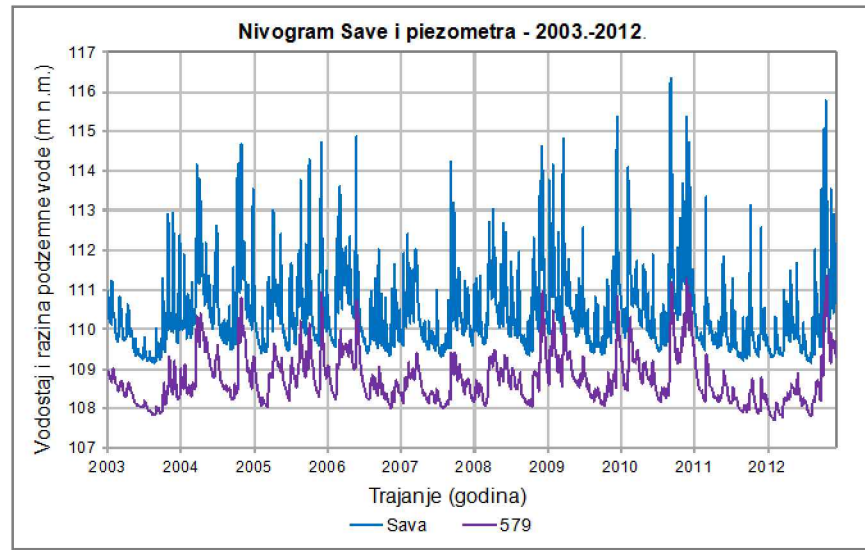
Rijeka Sava u potpunosti prihranjuje ovaj dio vodonosnika.

Mjerilo
H:V = 1:40



 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET	
Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razine podzemne vode
Sadržaj priloga	Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 5
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Izradio	Vanja Bosanac
Prilog 5	

Profil 9



Vodostaj rijeke Save je **13%** vremena viši, a **87%** vremena niži od razine podzemne vode u piezometru **92**.

Razina podzemne vode u piezometru **92** je **2,3%** vremena viša, a **97,7%** vremena niža od razine podzemne vode u piezometru **112**.

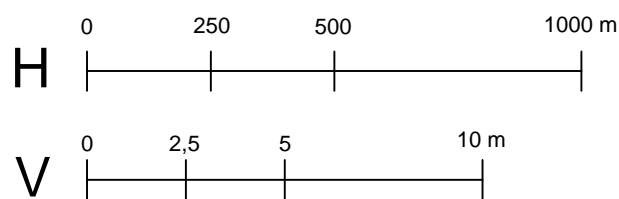
Vodostaj rijeke Save je **100%** vremena viši od razine podzemne vode u piezometru **579**.


Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 111,38 m n.m.

Rijeka Sava dominantno drenira vodonosnik na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svojoj desnoj obali.

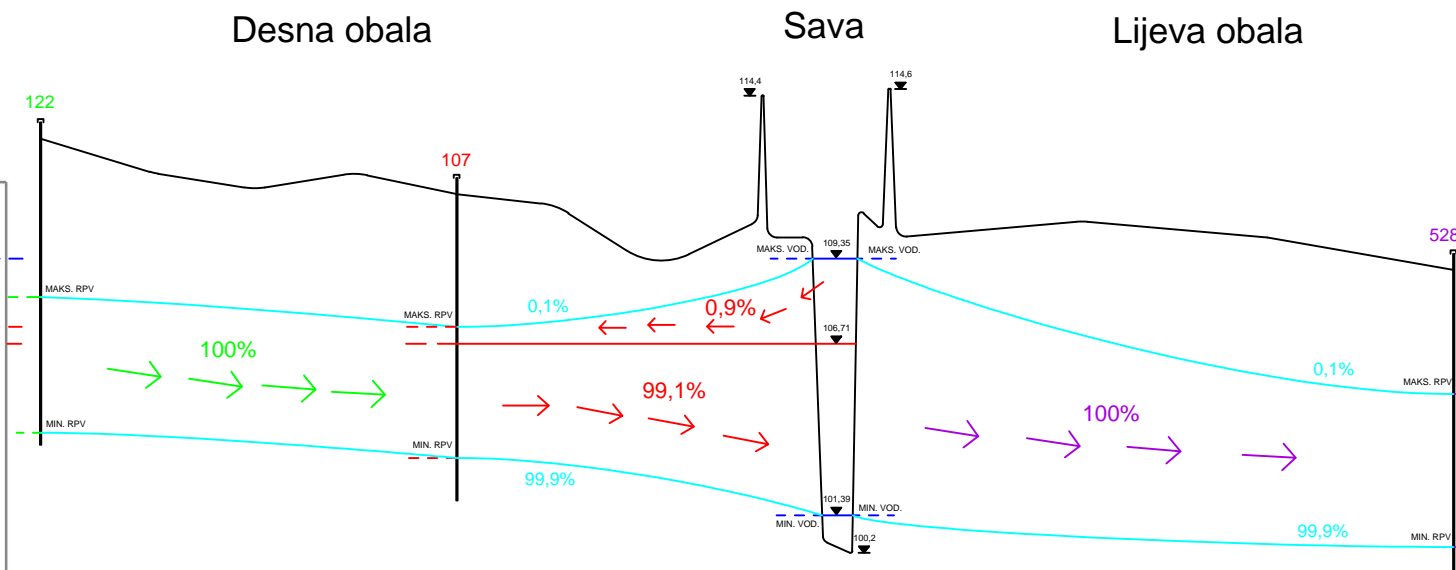
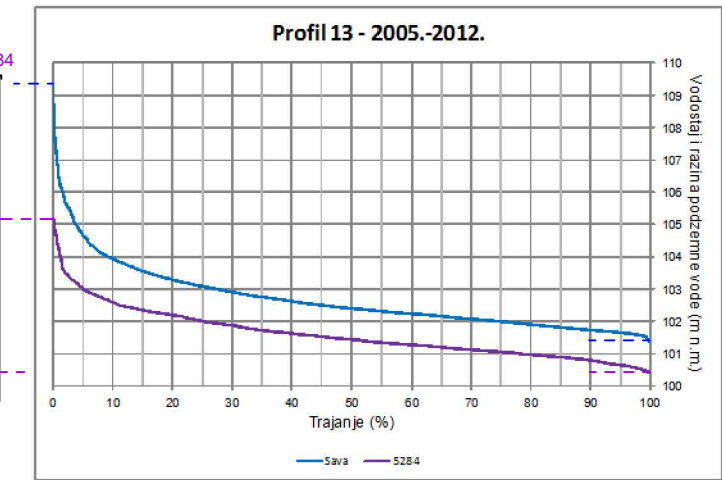
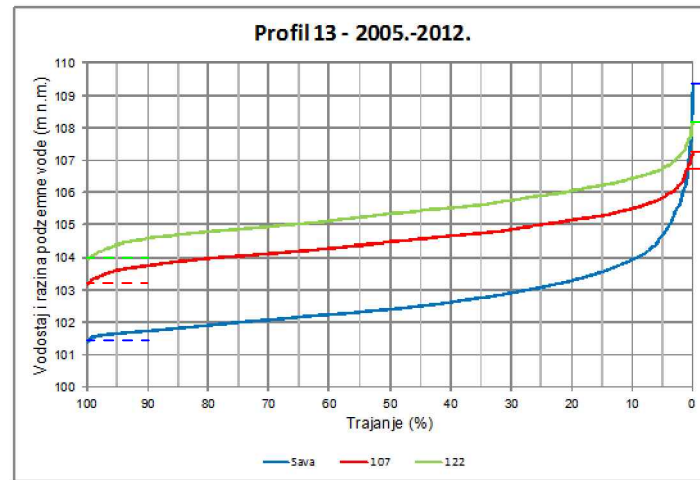
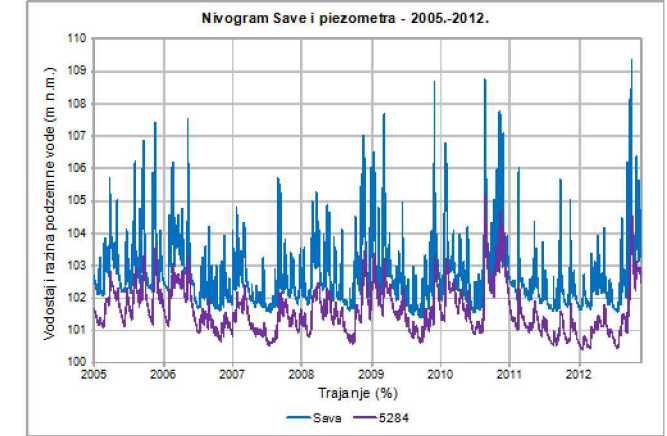
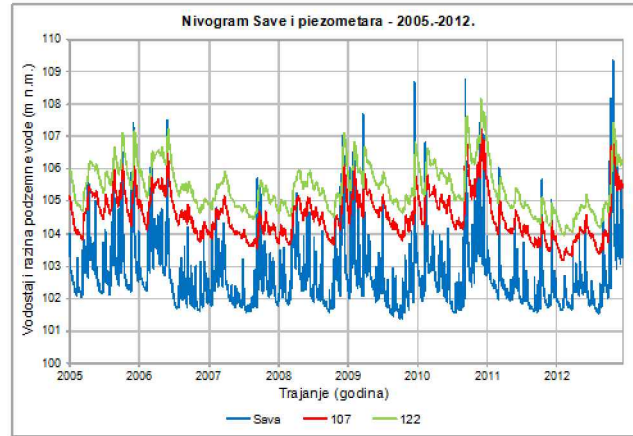
Mjerilo

H:V = 1:80



	
Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razine podzemne vode
Sadržaj priloga	Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 9
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Izradio	Vanja Bosanac
Prilog 6	

Profil 13



Vodostaj rijeke Save je **0,9%** vremena viši, a **99,1%** vremena niži od razine podzemne vode u piezometru **107**.

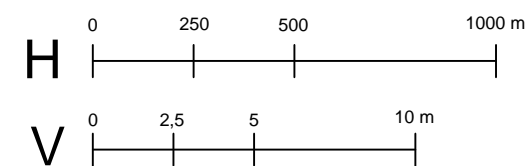
Razina podzemne vode u piezometru **122** je **100%** vremena viša od razine podzemne vode u piezometru **107**.


Vodostaj rijeke Save je **100%** vremena viši od razine podzemne vode u piezometru **5284**.

Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na desnoj obali je 106,71 m n.m.

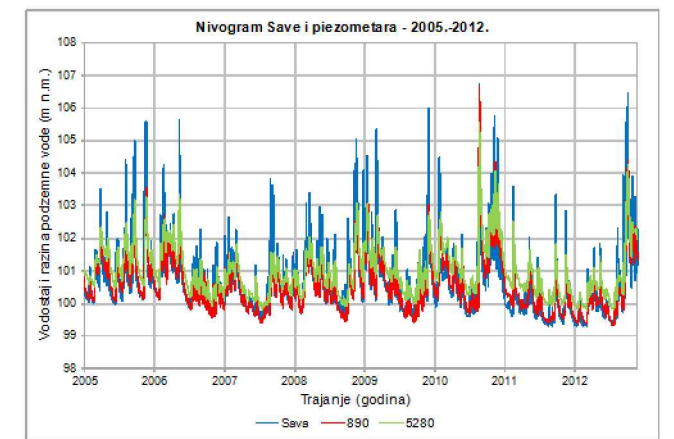
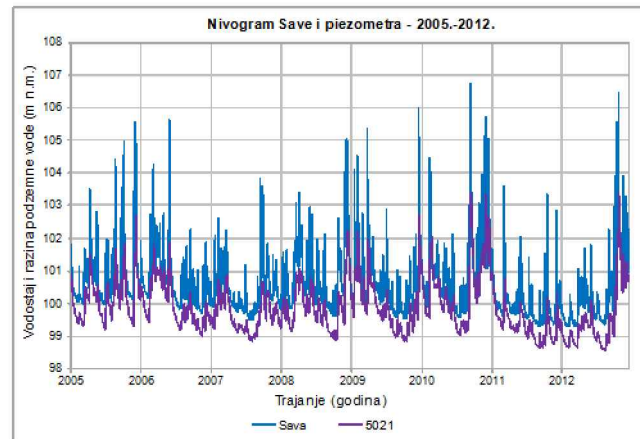
Rijeka Sava dominantno drenira vodonosnik na svojoj desnoj obali, a u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svojoj lijevoj obali.

Mjerilo
H:V = 1:80

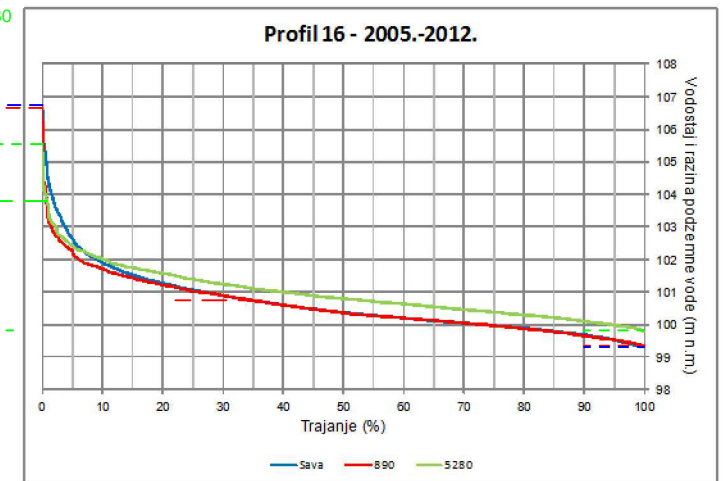
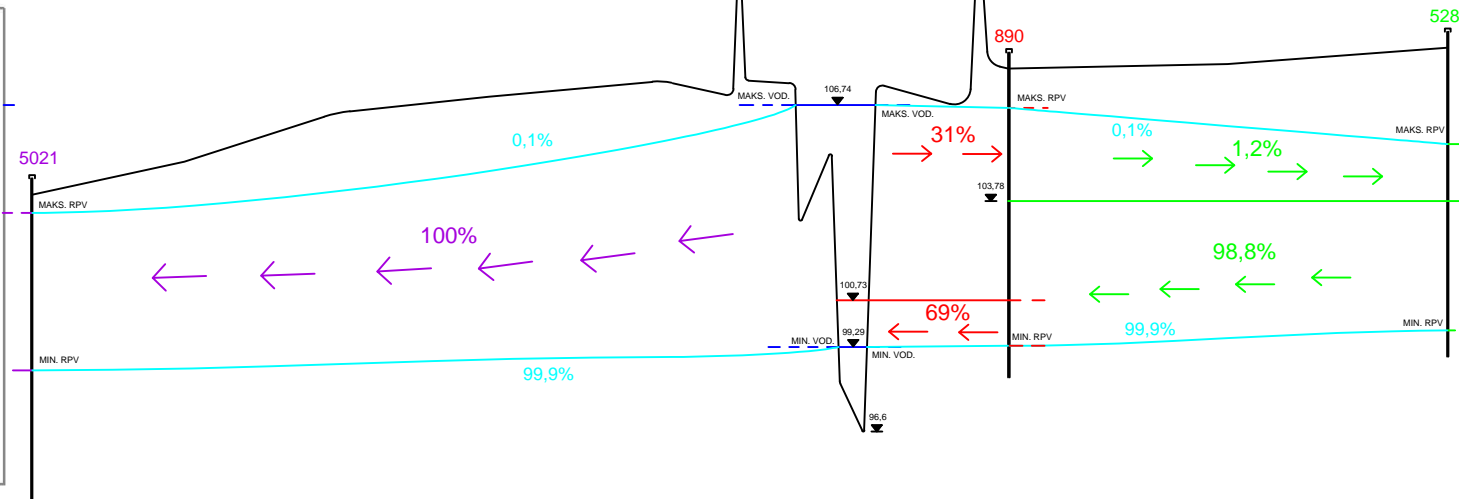
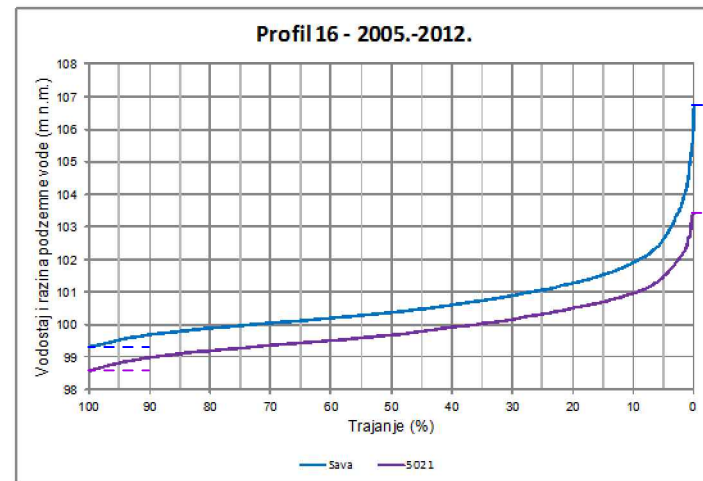


	
Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razine podzemne vode
Sadržaj priloga	Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 13
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Izradio	Vanja Bosanac
Prilog 7	

Profil 16



Desna obala Sava Lijeva obala



Vodostaj rijeke Save je **31%** vremena viši, a **69%** vremena niži od razine podzemne vode u piezometru **890**.

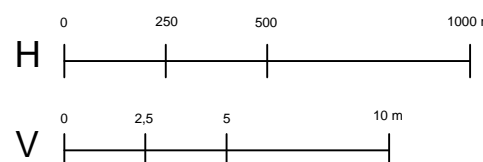
Razina podzemne vode u piezometru **890** je **1,2%** vremena viša, a **98,8%** vremena niža od razine podzemne vode u piezometru **5280**.


Vodostaj rijeke Save je 100% vremena viši od razine podzemne vode u piezometru **5021**.

Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja na lijevoj obali je 100,73 m n.m.

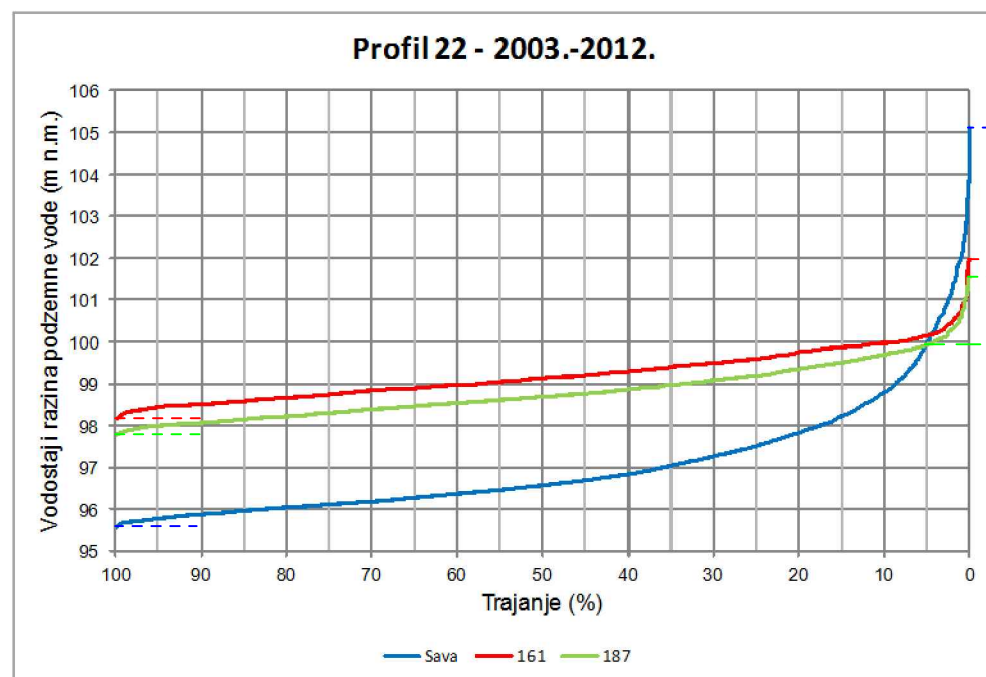
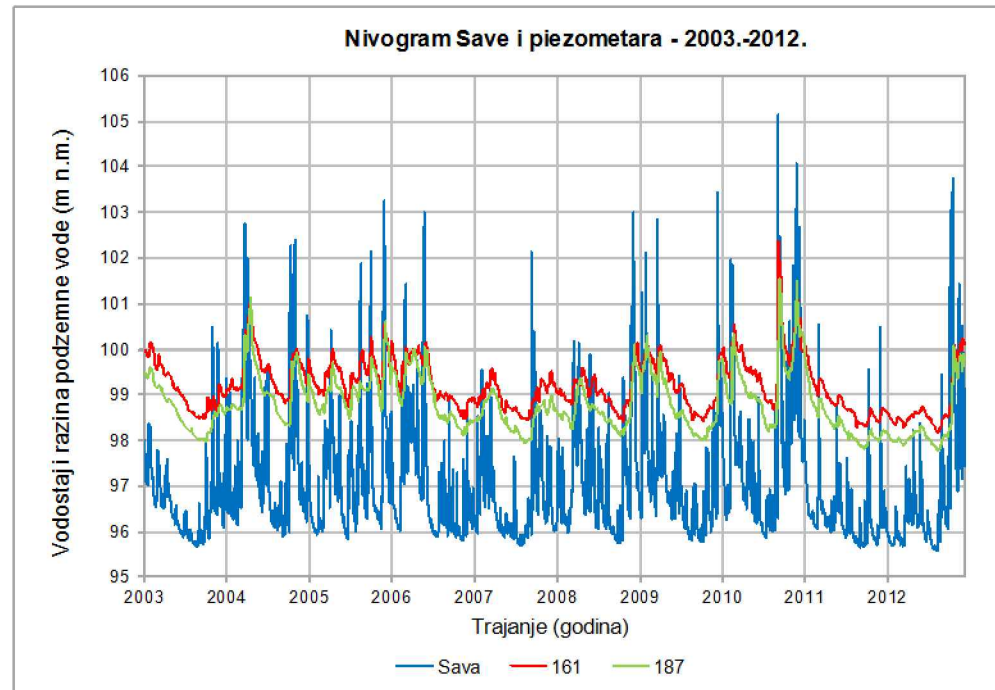
Rijeka Sava dominantno drenira vodonosnik na svojoj lijevoj obali, a u potpunosti prihranjuje vodonosnik na svojoj desnoj obali.

Mjerilo
H:V = 1:80



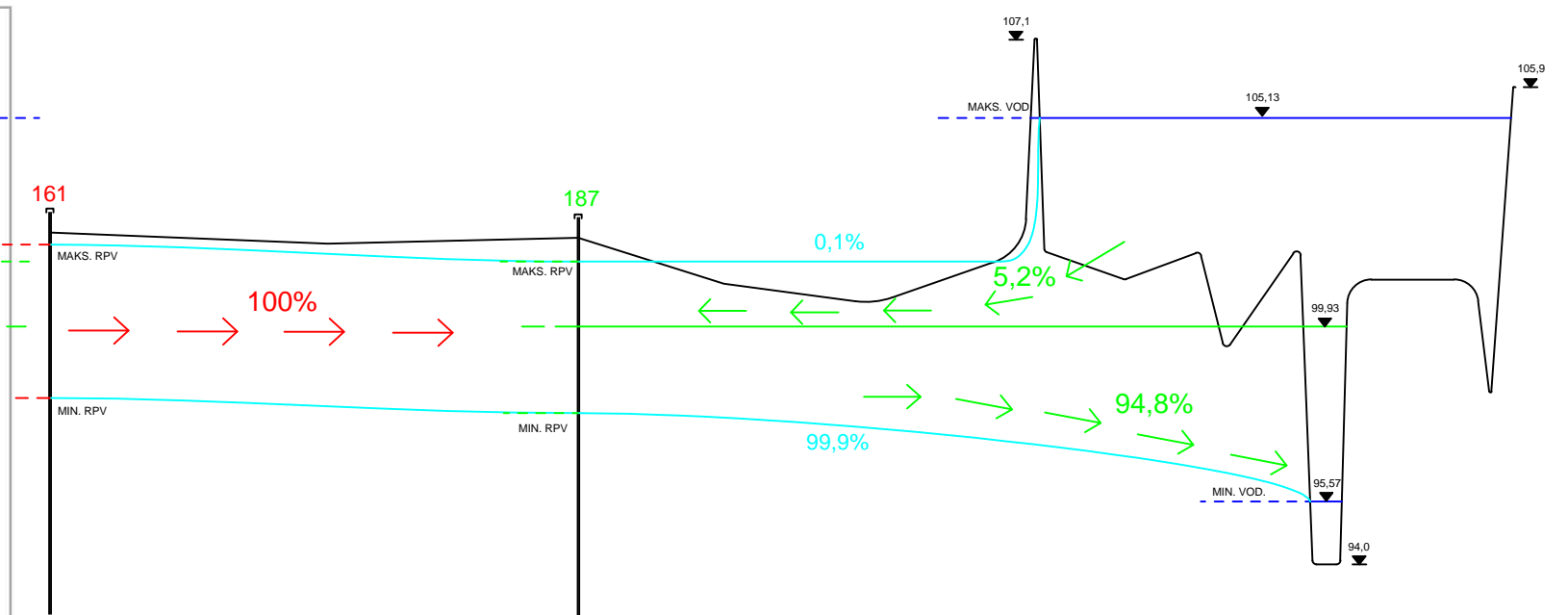
 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET	
Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razine podzemne vode
Sadržaj priloga	Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 16
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Izradio	Vanja Bosanac
Prilog 8	

Profil 22



Desna obala

Sava



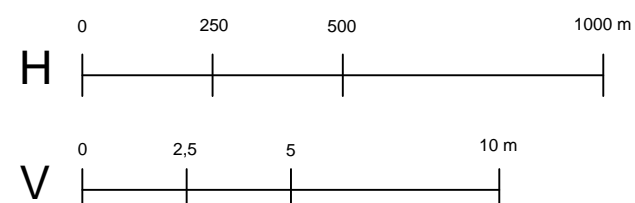
Vodostaj rijeke Save je **5,2%** vremena viši, a **94,8%** vremena niži od razine podzemne vode u piezometru **187**.

Razina podzemne vode u piezometru **161** je **100%** vremena viša od razine podzemne vode u piezometru **187**.

Kota vodostaja na kojoj dolazi do izmjene prihranjivanja i dreniranja je 99,93 m n.m.

Rijeka Sava dominantno drenira ovaj dio vodonosnika.

Mjerilo
H:V = 1:80



Diplomski rad	Identifikacija zona pretežitog prihranjivanja/dreniranja zagrebačkoga vodonosnika analizom krivulja trajanja rijeke Save i razine podzemne vode	
Sadržaj priloga	Analiza krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode na profilu 22	
Voditelj	Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec	Prilog 9
Izradio	Vanja Bosanac	