Povijesna trajanja vodostaja rijeke Save i njihov utjecaj na razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

Špiko, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:659550

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-27**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

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

POVIJESNA TRAJANJA VODOSTAJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE SAMOBORSKO-ZAPREŠIĆKOG VODONOSNIKA

Diplomski rad

Ana Špiko
GI 318

Zagreb, 2018.

Zahvaljujem se profesoru dr. sc. Kristijanu Posavcu na savjetima i pomoći pri izradi diplomskog rada.

Posebna zahvala Alanu i mojoj obitelji za svu pruženu podršku i ljubav.

Sveučilište u Zagrebu
Diplomski rad
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

POVIJESNA TRAJANJA VODOSTAJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE SAMOBORSKO-ZAPREŠIĆKOG VODONOSNIKA

ANA ŠPIKO

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

Sažetak:

Cilj ovog diplomskog rada je bio analizirati krivulje trajanja na osnovi podataka o vodostajima izmjerenih na jednoj hidrološkoj stanici, te razinama podzemne vode na dva piezometra s lijeve i desne obale rijeke Save u razdoblju od 1993. do 2015. godine, u svrhu utvrđivanja najpovoljnije hidrološke godine. Predmet istraživanja je samoborsko-zaprešićki otvoreni vodonosnik koji je građen od aluvijalnih kvartarnih naslaga međuzrnske poroznosti. Na području ovog vodonosnika zabilježen je višegodišnji kontinuirani negativan trend razina podzemne vode.

Ključne riječi: samoborsko-zaprešićki vodonosnik, krivulja trajanja, razina podzemne vode

Diplomski rad sadrži: 15 stranice, 9 slika i 13 referenci i 3 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF

Doc. dr.sc. Dario Perković, RGNF

Izv. prof. dr.sc. Željko Duić, RGNF

Datum obrane: 28. rujna 2018.

University of Zagreb

Master'thesis
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

THE HISTORICAL DURATIONS OF SAVA RIVER AND THEIR IMPACT ON GROUNDWATER LEVELS OF SAMOBOR – ZAPREŠIĆ AQUIFER

ANA ŠPIKO

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

Abstract

The main goal of this thesis was to analyse flow duration curves, based on water level data measured on one hydrological station, and two monitoring wells on the left and right Sava river bank, between 1993 and 2015 for the purpose to determine the most suitable hydrological year. The subject of research of this thesis is the Samobor-Zaprešić unconfined aquifer, which is made of alluvial quaternary sediments. Aquifer's area is characterized by continuous multiannual negative trend of ground water levels.

Keywords: Samobor-Zaprešić aquifer, flow duration curves, ground water levels

Thesis contains: 15 pages, 9 figures, 13 references, 3 appendixes

Original in: Croatian

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

Supervisor: Professor Kristijan Posavec, PhD

Reviewers: Professor Kristijan Posavec, PhD

Assistant Professor Dario Perković, PhD

Associate Professor Željko Duić, PhD

Date of defense: 28. September 2018.

Sadržaj

1. UVOD *1*

2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE *3*

2.1. Opći podaci 3

2.2. Geološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika *4*

2.3. Hidrogeološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika *7*

3. METODE OBRADE PODATAKA *9*

4. KORIŠTENI PODACI *10*

5. REZULTATI OBRADE PODATAKA *11*

6. ZAKLJUČAK *13*

7. LITERATURA *14*

Popis slika:

Slika 1.1. Negativni trend razina podzemne vode - piezometar 492, smješten na desnoj obali Save 2

Slika 2.1. Položaj samoborsko-zaprešićkog vodonosnika 3

Slika 2.2. Isječak geološke karte na području samoborskog vodonosnika. OGK List Zagreb, M 1:100 000 (Šikić i dr., 1978) 4

Slika 2.3. Shematski prikaz odnosa litofacijesa (Blašković i Dragičević, 1989) 6

Slika 2.4. Shematski profil samoborsko-zaprešićkog vodonosnika (preuzeto iz Posavec,2006) 7

Slika 3.1. Prikaz izrade krivulje trajanja u Microsoft Office Excel-u 9

Slika 5.1. Krivulje trajanja za izdvojene hidrološke godine na hidrološkoj stanici Podsused 11

Slika 5.2. Krivulje trajanja za izdvojene hidrološke godine na piezometru 702 na lijevoj obali rijeke Save 12

Slika 5.3. Krivulje trajanja za izdvojene hidrološke godine na piezometru 492 na desnoj obali rijeke Save 12

1. UVOD

Predmet istraživanja ovog diplomskog rada je samoborsko-zaprešićki vodonosnik, aluvijalni vodonosnik otvorenog tipa i međuzrnske poroznosti, kojeg čine šljunkovito-pjeskovite naslage saturirane vodom. Smješten je između Bregane na zapadu, Podsuseda i Medvednice na istoku, Marijagoričkih brda na sjeveru i Žumberačko-Samoborskog gorja na jugu. Na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika razvijen je vodoopskrbni sustav kojim se zahvaća podzemna voda iz vodonosnika, na crpilištima Bregana, Strmec i Šibice. Kao i na području susjednog zagrebačkog vodonosnika, na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika postoji kontinuirani trend snižavanja podzemne vode, koji može dovesti do otežane vodoopskrbe i ugroženosti ekosustava koji ovise o podzemnih vodama.

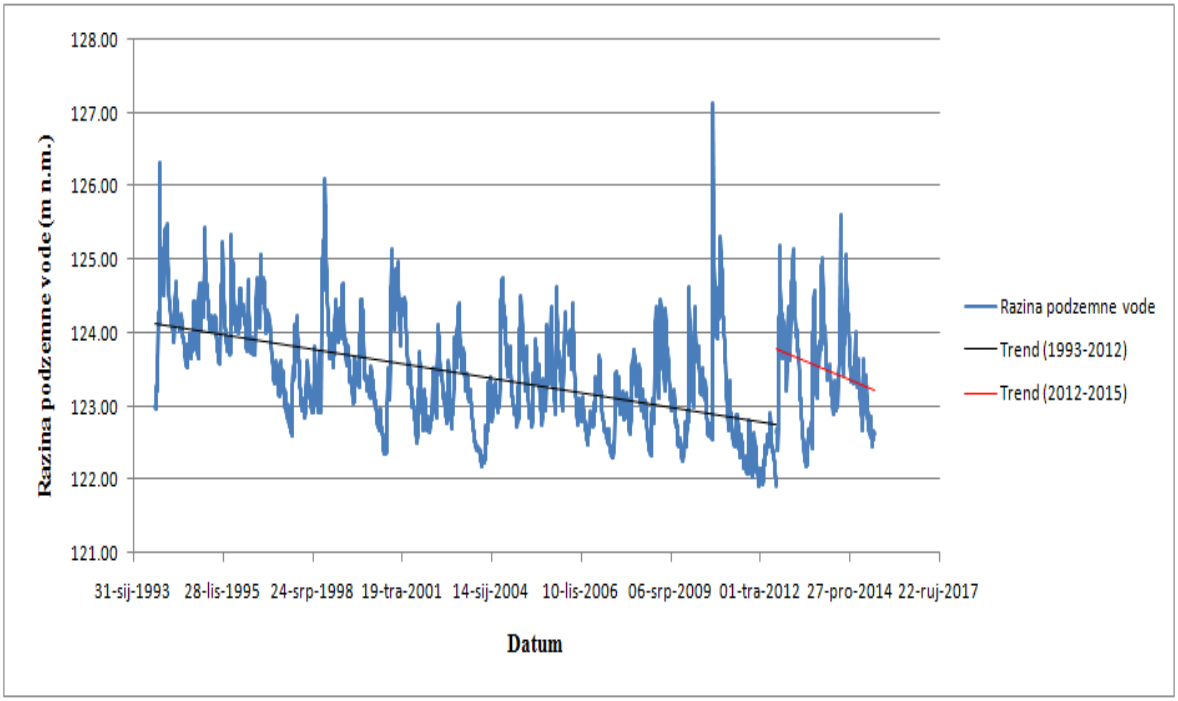
Prema Strategiji upravljana vodama (NN br. 91/08) koja predstavlja dugoročni planski dokument državne politike upravljanja vodnim područjima, podzemne vode samoborsko-zaprešićkog određene su kao strateške zalihe podzemnih voda Hrvatske, na kojima se temelji sadašnja i buduća javna vodoopskrba grada Zagreba i zagrebačke županije. Iz tog razloga je od iznimne važnosti poznavanje trendova razina podzemne vode kako u zagrebačkom, tako u zaprešićko-samoborskom vodonosniku. Analizom razina podzemnih voda mjerenih od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), Vodoopskrbe i odvodnje d.o.o. te Zaprešića d.o.o. utvrđeno je da se razine podzemne vode na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika kontinuirano snižavaju, još od sredine prošlog stoljeća, otkad je njihovo mjerenje sustavno započelo. Godine 2012. i 2013. trajanja natprosječno visokih vodostaja Save su bila duža nego prethodnih godina što je dovelo do generalnog porasta razine podzemne vode u vodonosniku, no negativni trend razina podzemne vode se nakon tog razdoblja ponovno nastavio. Zadatak diplomskog rada bio je analiziranje vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode samoborsko-zaprešićkog vodonosnika primjenom krivulja trajanja, sa svrhom utvrđivanja povijesno najpovoljnije hidrološke godine.

Krivulja trajanja je 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).

Negativni trend razina podzemne vode je obrađivan u nizu znanstvenih radova. Bačani i Miletić (2004.) prognozirali su razine podzemnih voda koristeći srednje recesijske koeficijente dobivene metodom linearne regresije. Na temelju podataka prikupljenih projektom EGPV, Bačani i Posavec (2009.) analizirali su stalne zalihe podzemnih voda u

prethodnom tridesetogodišnjem razdoblju dok su obnovljive zalihe analizirali u razdoblju od 1997. do 2007. godine. Analize su pokazale da su se razine podzemnih voda u prosjeku snižavale 1-2 metra svakih 10 godina, a da se uzroci kontinuiranog snižavanja razina podzemne vode kako zagrebačkog, tako i samoborsko-zaprešićkog vodonosnika uglavnom uzrokovane snižavanjem korita rijeke Save, izgradnji nasipa za obranu od poplava čime se sprječava plavljenje zaobalnog područja i time potencijalna infiltracija vode s plavljenih područja vodonosnika kao i eksploataciji podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe i gospodarstva.

Inženjerske intervencije na rijeci Savi u vidu izgradnje praga TE-TO kao i pojave hidrološki natprosječno povoljnih godina kao što su bile 2012./2013., privremeno su usporili negativne trendove razina podzemne vode, no nisu ih zaustavili (Slika 1).

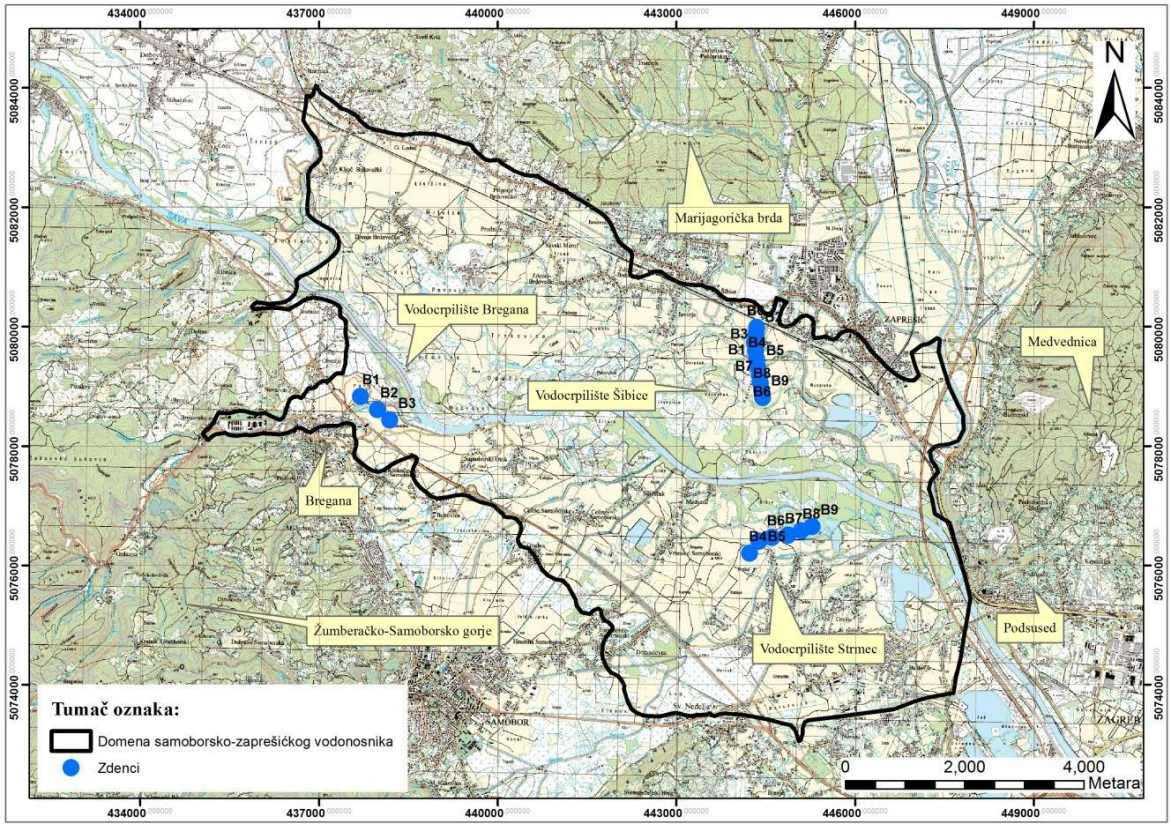


Slika 1.1. Negativni trend razina podzemne vode - piezometar 492, smješten na desnoj obali Save

2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

2.1. Opći podaci

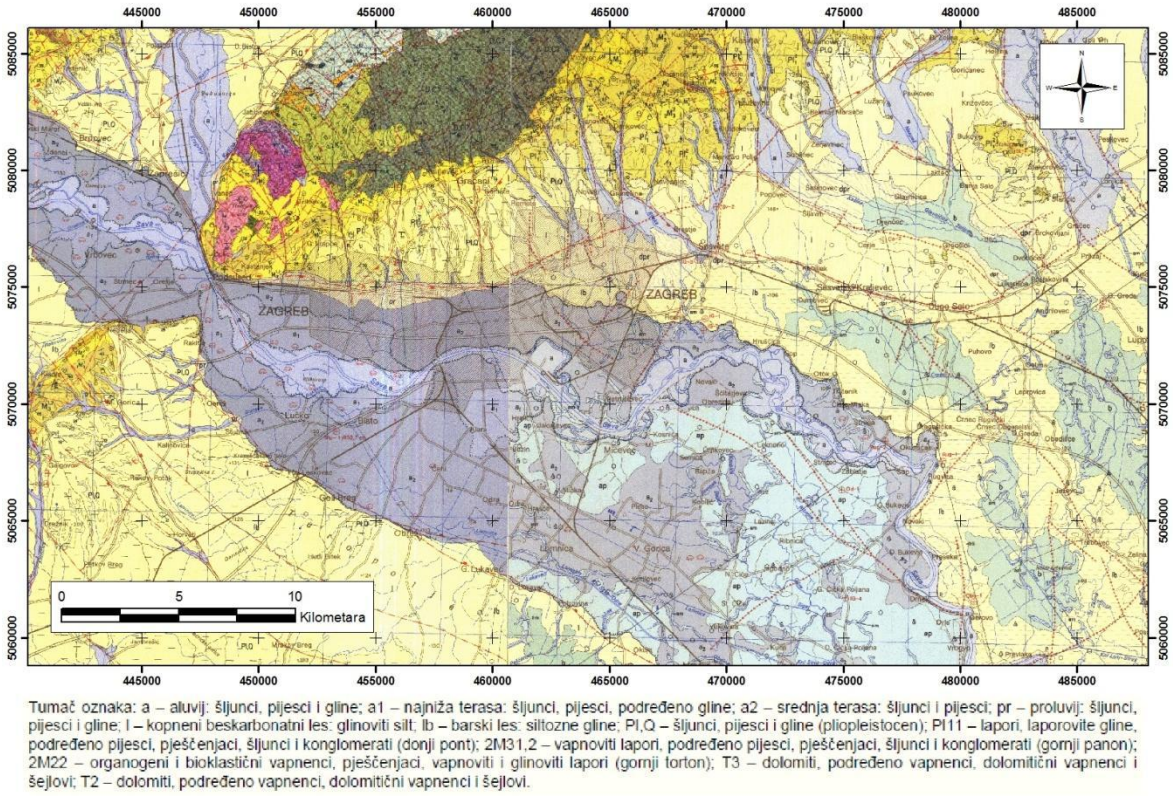
Samoborsko-zaprešićki vodonosnik je aluvijalni vodonosnik otvorenog tipa koji se nalazi između Bregane na zapadu, Podsuseda na istoku, Marijagoričkih brda na sjeveru i Žumberačko-Samoborskog gorja na jugu (slika 2.1). Vodonosnik se prostire duž rijeke Save u dužini od oko 15 km i prosječne je širine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



Slika 2.1. Položaj samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

2.2. Geološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

Područje samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, prema isječku Osnovne geološke karte 1:100 000 – list Zagreb (Šikić i dr., 1978) prikazanom na slici 2.2. određeno je površinskim rasprostiranjem kvartarnih aluvijalnih naslaga koje su na sjeveru u kontaktu s nepropusnim naslagama lapora i laporovitih glina, vapnenačko laporovitim naslagama Marijagoričkih brda miocenske starosti i s propusnim aluvijalnim naslagama koje je istaložila rijeka Krapina. Na granici između samoborsko-zaprešićkog i zagrebačkog vodonosnika koja se nalazi na istoku, rasprostranjenost vodonosnih aluvijalnih naslaga na površini se sužava. Južna granica obilježena je kontaktom kvartarnih aluvijalnih naslaga s nepropusnim naslagama Samoborskog gorja. Zapadnu granicu vodonosnika čine kvartarne aluvijalne naslage koje je istaložila rijeka Sutla.



Slika 2.2. Isječak geološke karte na području samoborskog vodonosnika. OGK List Zagreb, M 1:100 000 (Šikić i dr., 1978)

Unutar domene samoborsko-zaprešićkog vodonosnika na površini se mogu uočiti dvije riječne terase. Prema tumaču Osnovne geološke karte 1:100 000 – list Zagreb (Šikić i dr., 1979) to je stariji aluvijalni nanos druge savske terase (a_2) i mlađi aluvijalni nanos prve savske terase (a_1). Druga savska terasa pruža se cijelim potezom samoborsko-zaprešićkog vodonosnika duž toka rijeke Save. Na lijevom zaobalju pruža se od Ključa do Zaprešića, a

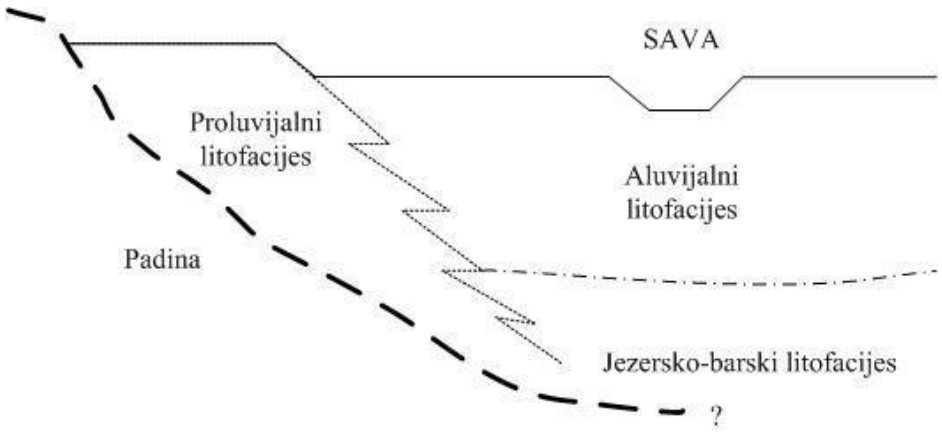
na desnom zaobalju od Bregane do Podsuseda. Druga savska terasa sastoji se od izmjene krupnozrnatih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska u odnosu na šljunak povećava se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. u smjeru toka Save. Prva savska terasa pruža se od Drenja pa do Zaprešića, te je dominantno građena od krupnozrnatog šljunka pomiješanim s pijeskom, dok su slojevi čistog pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Neposredno uz tok rijeke Save može se uočiti aluvijalni nanos recentnih tokova Save (a) u kojem prevladava krupnozrnati pijesak, dok je šljunak slabije zastupljen. Aluvijalni nanosi rijeke Krapine i Sutle (a) nalaze se na rubnim dijelovima samoborsko-zaprešićkog vodonosnika i debljine su od 10-20 m. U gornjem dijelu prevladava glina, glinoviti silt i sitnozrnati pijesak, a u donjem šljunak pomiješan s glinom i pijeskom.

Samoborsko-zaprešićki vodonosnik općenito čine naslage srednje i gornje pleistocenske starosti i naslage holocenske starosti. U podini vodonosnika se nalaze naslage gornjega ponta koje su zastupljene decimetarskim ili centimetarskim izmjenama glinovitog silta i sitnozrnatog, rjeđe srednjezrnatog, pijeska sive, sivosmeđe i sivoplavkaste boje. Na naslage gornjeg ponta istaložene su naslage srednjeg pleistocena koje čine loše sortirani šljunkovito krupnozrnati pijesak, prahovi i gline sivih i smeđih boja koji tvore tijelo slično plankonveksnoj leći širine oko 200 m i debljine veće od 45 m. Povrh ovih naslaga istaloženi su vapnenački šljunci holocenske starosti.

Područje samoborsko-zaprešićkog vodonosnika je tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena bilo jezersko i močvarno, a okolna gorja (Medvednica, Marijagorička brda i Žumberačko gorje) činila su kopno koje je bilo pod utjecajem intenzivne denudacije i erozije. Nadalje zbog progresivnog zahlađenja i suše u rissu plitke slatkovodne površine presušuju. Hijatus traje i tijekom gornjeg pleistocena jer je upravo würmski glacijal najhladnije i najsušnije razdoblje kvartarnih oledbi uopće.

Početkom holocena mijenja se klima i dolazi do naglog zatopljenja te započinje novi ciklus sedimentacije. Pritom dolazi do otapanja ledenjaka alpskih predjela što zajedno sa stanovitim tektonskim procesima omogućava proboj bujične rijeke Save i transport materijala s područja Alpa te genezu holocenskih aluvijalnih naslaga (Velić i Saftić, 1991). Transport materijala bio je promjenjivog intenziteta zbog čestih klimatskih promjena. Za vrijeme toplih i vlažnih razdoblja bio je intenzivniji u odnosu na hladna i suša razdoblja što je rezultiralo izrazitom heterogenošću i anizotropijom vodonosnika te neujednačenom debljinom naslaga. Najveće debljine vodonosnog sustava od 60 m registrirane su kod Strmca (Bačani i Posavec, 2014).

Prema (Blašković i Dragičević, 1989), na području lijeve i desne obale Save od Bregane do Rugvice mogu se izdvojiti 3 genetska tipa klastičnih sedimenata: *proluvijalni litofacijes, aluvijalni sedimentni kompleks i jezersko-barski litofacijes* (slika 2.3).

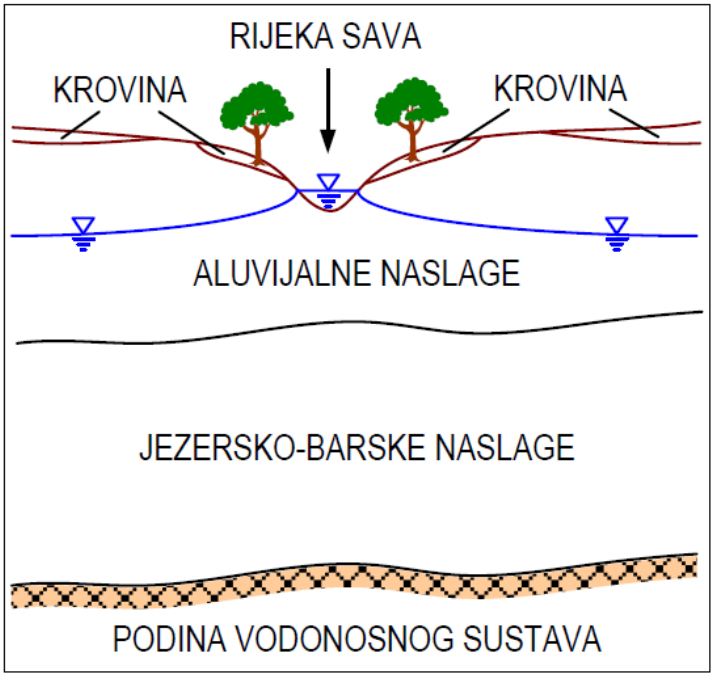


Slika 2.3. Shematski prikaz odnosa litofacijesa (Blašković i Dragičević, 1989)

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

2.3. Hidrogeološke značajke samoborsko-zaprešićkog vodonosnika

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



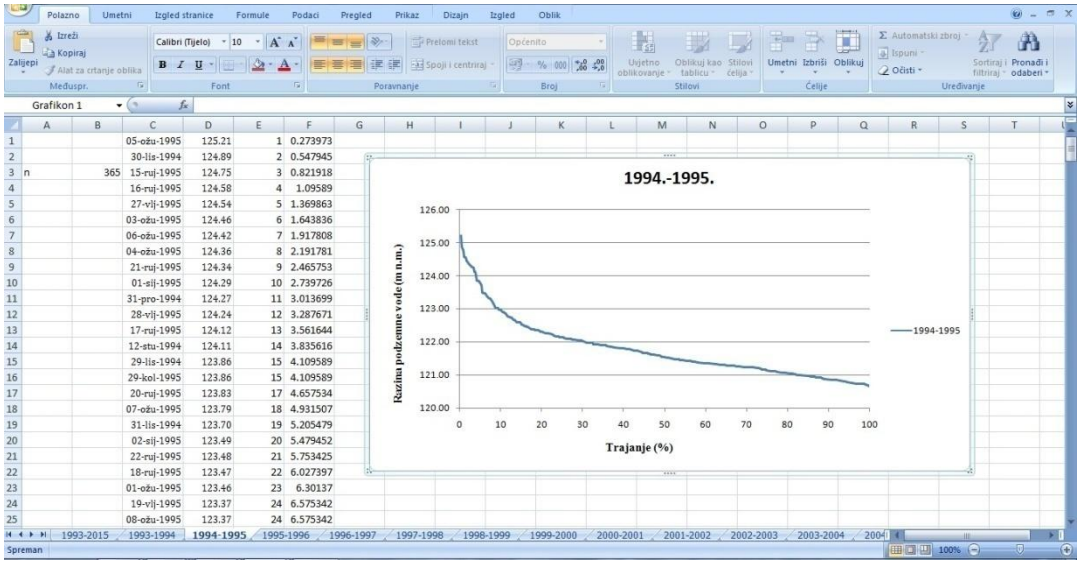
Slika 2.4. Shematski profil samoborsko-zaprešićkog vodonosnika (preuzeto iz Posavec,2006)

Analizom karata ekvipotencijala utvrđeno je da se napajanje vodonosnika u najvećoj mjeri ostvaruje infiltracijom iz rijeke Save, infiltracijom iz rijeke Sutle, dotjecanjem iz aluvija rijeke Krapine, infiltracijom oborina i infiltracijom iz propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže. Rijeka Sava kao glavni izvor napajanja vodonosnika ima bitan utjecaj na razinu podzemne vode, ovisno o periodima visokih i niskih voda. Za vrijeme niskih i srednjih voda na pojedinim dijelovima toka dolazi do dreniranja vodonosnika što nepovoljno utječe na razine podzemne vode, a time i na raspoložive količine za vrijeme dužih sušnih razdoblja.

U razdobljima visokih voda rijeka Sava napaja vodonosnik duž cijelog toka. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku/jugoistoku. U hidrauličkom smislu, na području desnog zaobalja Save utvrđena je nepropusna granica vodonosnika na zapadu i na jugu (slabopropusne naslage Samoborskog gorja), a na istoku je granica otjecanja, tj. hidraulički kontakt s drugom poroznom sredinom (zagrebačkim vodonosnikom). Na području lijevog zaobalja Save zapadnu granicu, tj. granicu stalnog potencijala čini rijeka Sutla, a sjeverna granica je djelomično opisana nepropusnom i djelomično granicom dotjecanja zbog dotjecanja iz aluvija Krapine, dok je istočna granica rijeka Krapina.

3. METODE OBRADE PODATAKA

U radu su analizirani vodostaji rijeke Save na hidrološkoj stanici Podsused, te razine podzemne vode u dva piezometra s lijeve i desne obale. Na osnovi prikupljenih podataka o vodostajima i razinama podzemne vode u razdoblju od 1993. do 2015. godine, u računalnom programu Microsoft Office Excel su konstruirane krivulje trajanja za svaku godinu, te prosječna krivulja trajanja za cijelo analizirano razdoblje. Na slici je prikazan primjer izrade krivulje trajanja u Microsoft Office Excel-u.



Slika 3.1. Prikaz izrade krivulje trajanja u Microsoft Office Excel-u

Općenito, krivulja trajanja je 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. Krivulja trajanja protoka je u hidrotehnici jedna od najvažnijih hidroloških podloga jer predstavlja osnovu za definiranje krivulje snaga-trajanje (eng. power duration curve) na temelju koje se određuje moguća snaga vodotoka (Žugaj, 2010.) Jedinica koja se koristi za obračun trajanja je godina dana ili 100 posto trajanja. Krivulje trajanja su široko korištene u inženjerskoj praksi, od upravljanja zalihama voda do upravljanja kakvoće voda. 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).

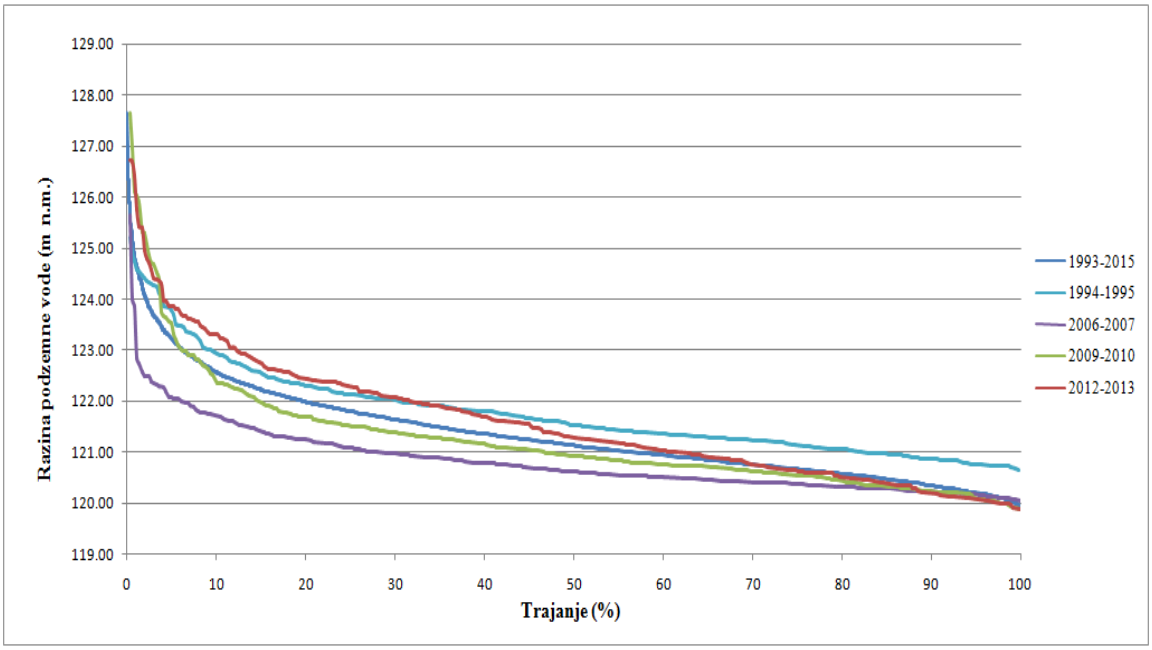
4. KORIŠTENI PODACI

U radu su analizirane razine podzemne vode na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika. Mjerenja razine podzemne vode na zadanom području obavlja Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. i Zaprešić d.o.o. Podaci o razinama podzemne vode, podaci o vodostajima rijeke Save i podaci o tehničkim značajkama preuzeti su iz baze podataka i baze znanja projekta *Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama* (EGPV) koji je zajednički projekt Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Hrvatskih voda.

Analiza obuhvaća 2 piezometra s lijeve i desne obale Save u kojem su mjerene razine podzemne vode, te vodostaj rijeke Save na hidrološkoj stanici Podsused. Vodostaj ili razina podzemne vode (RPV) je okomita udaljenost vodene površine od pretpostavljene mjere (kota nule vodokaza). Visina vodostaja (H) očitava se jednom dnevno uvijek u isto vrijeme. Dnevno opažanje i bilježenje vodostaja prikazuje se na osnovnom hidrološkom grafikonu koji se zove hod vodostaja ili nivogram. Nivogram je grafički prikaz visine vodostaja u vremenu na određenom vodomjernom profilu. Iz nivograma se dalje dobiju dvije temeljne hidrološke krivulje, a to su krivulja učestalosti vodostaja i krivulja trajanja vodostaja. Učestalost nekog vodostaja je broj koji prikazuje koliko puta se taj vodostaj pojavio u nekom određenom razdoblju opažanja, dok je trajanje nekog vodostaja broj koji pokazuje koliko puta se pojavio taj i od njega viši vodostaj. Trajanje vodostaja je bitno iz razloga što na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, kao i zagrebačkog vodonosnika postoji direktna hidraulička veza između Save i podzemne vode. To znači da prihranjivanje podzemnih voda u samom vodonosniku ovisi o vodostaju Save. Ako je Sava visoka, ona hrani podzemlje, ako je Sava niska, ona drenira podzemlje. Ako visoki vodostaj Save traje kratko, utjecaj na podzemne vode bit će nezamjetan ili nikakav, ali ako traje duže dolazi do prihranjivanja podzemne vode, tj. porasta razina podzemne vode (Bačani, 2006).

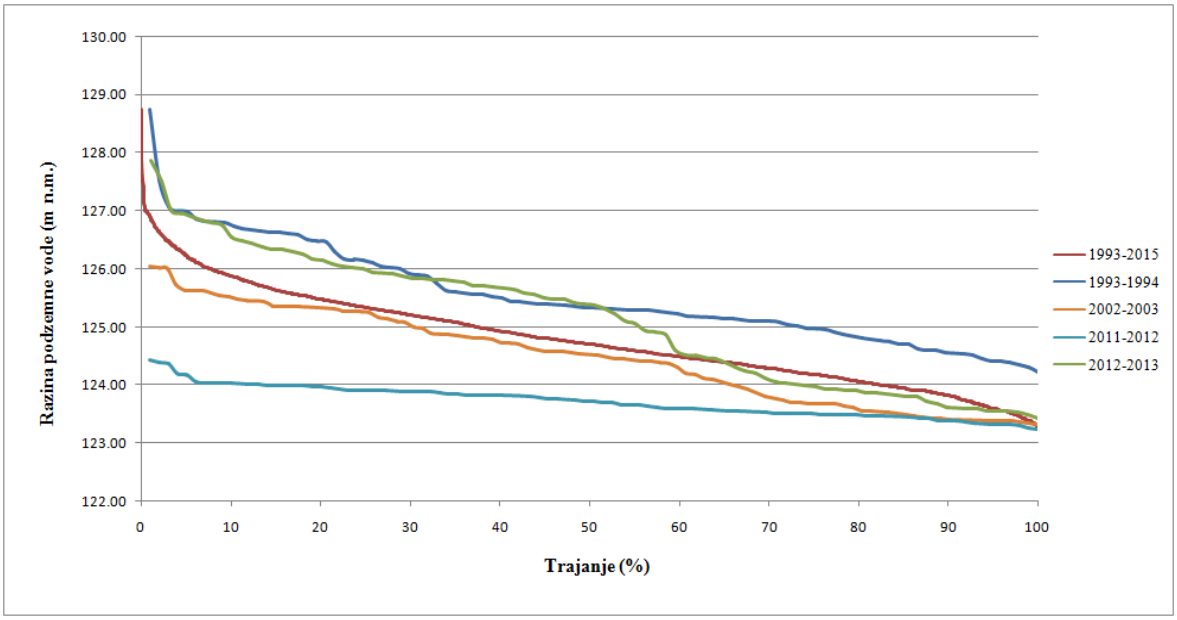
5. REZULTATI OBRADE PODATAKA

Na temelju izmjerenih razina podzemne vode na dva piezometra s lijeve i desne obale rijeke Save, te izmjerenih vodostaja na hidrološkoj stanici Podsused, konstruirane su krivulje trajanja za zadano razdoblje od 1993. do 2015. godine. Iz nivograma razina podzemne vode se jasno može vidjeti negativni dugogodišnji trend razina podzemne vode, koji je uzrokovan brojnim čimbenicima. Posebno hidrološki povoljna je 2012., te 2013. godina, kada je došlo do naglog povećanja razina podzemne vode na svim piezometrima samoborsko-zaprešićkog vodonosnika, što se može uočiti i na krivuljama trajanja vodostaja. Na slici 5.1. možemo vidjeti krivulje trajanja izrađene na osnovi podataka s hidrološke stanice Podsused. Konstruirana je jedna krivulja (1993-2015) koja je zajednička krivulja za cijelo promatrano razdoblje. Nakon izrade svih krivulja trajanja, za svaku godinu pojedinačno, izdvojene su dvije karakteristične krivulje, koje prikazuju hidrološke godine kada je trajanje vodostaja bilo iznad prosjeka trajanja za cijelo promatrano razdoblje, te dvije krivulje trajanja kad je trajanje vodostaja bilo ispod prosjeka za razdoblje 1993.-2015. Tako možemo zaključiti da su hidrološki iznimno povoljne godine bile 1994.-1995, te 2012.-2013., dok su 2006.-2007., te 2009.-2010. ispod prosječne razine. U prilogu 1. možemo vidjeti sve krivulje trajanja na hidrološkoj stanici Podsused za svaku od navedenih godina.

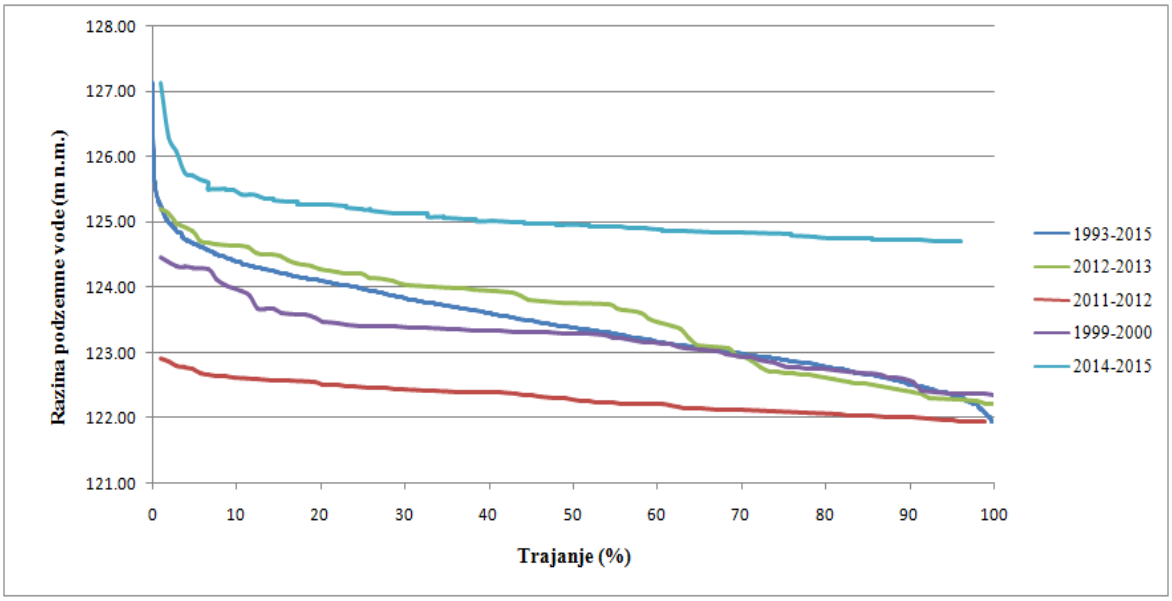


Slika 5.1. Krivulje trajanja za izdvojene hidrološke godine na hidrološkoj stanici Podsused

Na slikama 5.2. i 5.3. se mogu vidjeti izdvojene krivulje trajanja konstruirane na temelju podataka o razinama vode u piezometrima smještenim na lijevoj i desnoj obali rijeke Save, te usporedba krivulja trajanja za određene hidrološke godine, s prosječnom krivuljom trajanja za cijelo analizirano razdoblje. Iz analize se može potvrditi da je osim 2013.godine koja je bila hidrološki vrlo povoljna, što se moglo vidjeti iz nivograma piezometara, također vrlo povoljna bila i 1993.-1994., što nam zapravo ukazuje na negativni trend, jer se nakon tih godina razina vode postupno smanjivala, sve do 2013., nakon kojeg se pad razina podzemne vode dodatno povećao.



Slika 5.2. Krivulje trajanja za izdvojene hidrološke godine na piezometru 702 na lijevoj obali rijeke Save



Slika 3.3. Krivulje trajanja za izdvojene hidrološke godine na piezometru 492 na desnoj obali rijeke Save

6. ZAKLJUČAK

Analizom povijesnih razina podzemne vode utvrđeno je da se razina podzemne vode od sedamdesetih godina prošlog stoljeća na području samoborsko-zaprešićkog vodonosnika generalno snizila za oko 2 m. Na temelju nivograma piezometra zaključili smo da su hidrogeološke godine 2013. i 2014. do značajnog porasta razine podzemne vode na svim piezometrima na području samoborsko – zaprešićkog vodonosnika. Pretpostavka je bila da su za to zaslužna duga trajanja visokih vodostaja rijeke Save. Na temelju toga je napravljena analiza trajanja vodostaja i razine podzemne vode, kako bi potvrdili hipotezu. Tijekom dužih trajanja visokih vodostaja Save, do kojih dolazi intenzivnijim oborinama u uzvodnom dijelu sliva Save, dolazi i do značajnijeg napajanja vodonosnika i porasta razine podzemne vode. Međutim, analizirajući razdoblje nakon 2013. godine kada se dogodio značajni porast razina podzemne vode, može se zapaziti da su trajanja vodostaja Save ponovno u skladu s onim prosječnim, što je dovelo do pražnjenja vodonosnika. Negativan trend razina podzemne vode nastavljen je nešto bržim tempom s obzirom na veće hidrauličke gradijente koji su posljedica viših razina podzemne vode nastalih uslijed intenzivnijeg napajanja vodonosnika u 2013. hidrološki iznimno povoljnoj godini.

7. LITERATURA

BAČANI, A., 2006. Hidrogeologija 1., Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

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

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

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

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

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

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

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

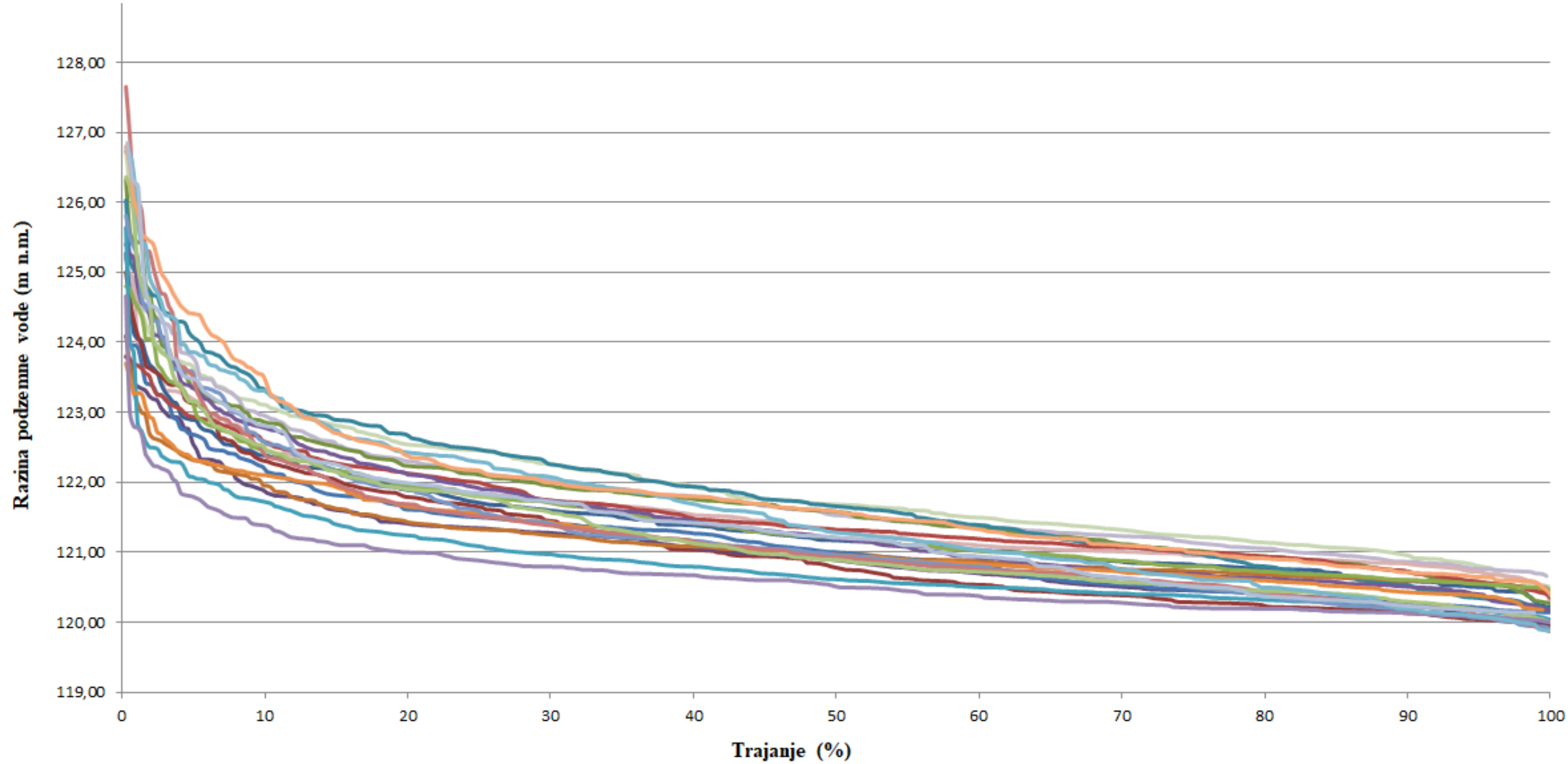
ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 – list Zagreb. Institut geoloških istraživanja Zagreb.

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

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

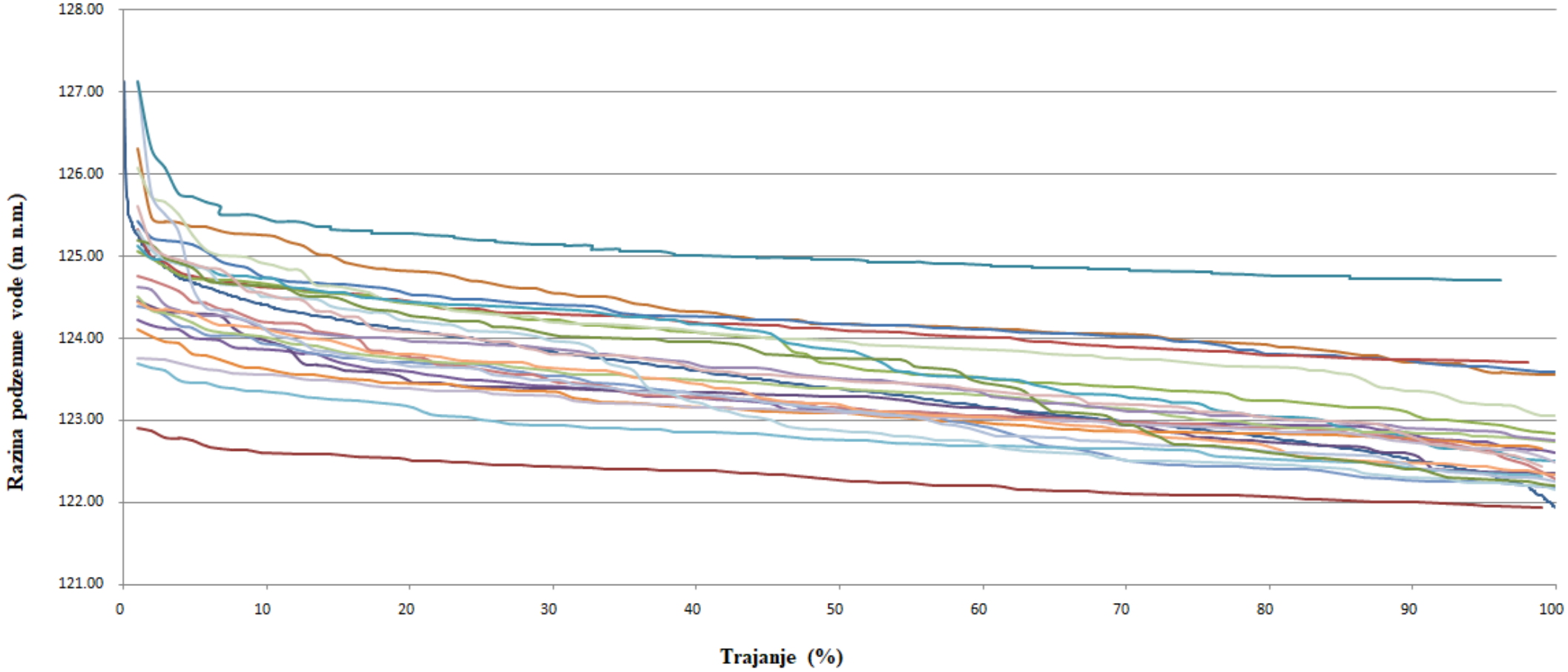
ŽUGAJ, R. (2000): *Hidrologija*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu.

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



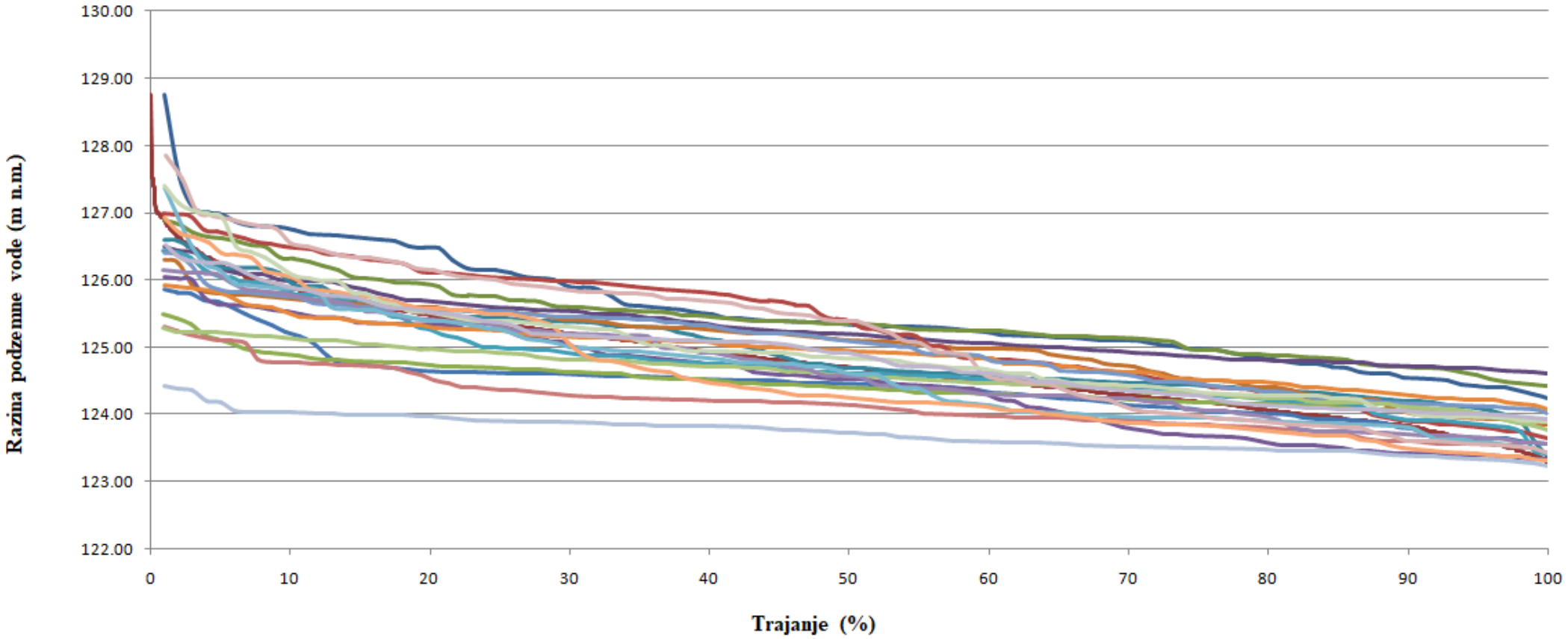
Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET

Diplomski rad	POVIJESNA TRAJANJA VODOSTAJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE SAMOBORSKO-ZAPREŠIĆKOG VODOSNIKA	
Sadržaj priloga	KRIVULJE TRAJANJA VODOSTAJA NA HIDROLOŠKOJ STANICI PODSUSED U RAZDOBLJU OD 1993.-2015. GODINE	
Voditelj	PROF. DR. SC. KRISTIJAN POSAVEC	Prilog 1
Izradila	ANA ŠPIKO	



1993-2015 1993-1994 1994-1995 1995-1996 1996-1997 1997-1998 1998-1999 1999-2000
2000-2001 2001-2002 2002-2003 2003-2004 2004-2005 2005-2006 2006-2007 2007-2008
2008-2009 2009-2010 2010-2011 2011-2012 2012-2013 2013-2014 2014-2015

Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET		
Diplomski rad	POVIJESNA TRAJANJA VODOSTAJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE SAMOBORSKO-ZAPREŠIĆKOG VODOSNIKA	
Sadržaj priloga	KRIVULJE TRAJANJA VODOSTAJA NA PIEZOMETRU 492 NA DESNOJ OBALI RIJEKE SAVE	
Voditelj	PROF. DR. SC. KRISTIJAN POSAVEC	Prilog 2
Izradila	ANA ŠPIKO	



1993-2015 1993-1994 1994-1995 1995-1996 1996-1997 1997-1999 1999-2000 2000-2001
2001-2002 2002-2003 2003-2004 2004-2005 2005-2006 2006-2007 2007-2008 2008-2009
2009-2010 2010-2011 2011-2012 2012-2013 2013-2014 2014-2015

	Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET	
Diplomski rad	POVIJESNA TRAJANJA VODOSTAJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE SAMOBORSKO-ZAPREŠIĆKOG VODOSNIKA	
Sadržaj priloga	KRIVULJA TRAJANJA VODOSTAJA NA PIEZOMETRU 702 NA LIJEVOJ OBALI RIJEKE SAVE	
Voditelj	PROF. DR. SC. KRISTIJAN POSAVEC	Prilog 3
Izradila	ANA ŠPIKO	