Povijesna trajanja rijeke Save i njihov utjecaj na razine podzemne vode zagrebačkog vodonosnika

Blažok, Lovro

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:169:342525

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij hidrogeologije i inženjerske geologije

POVIJESNA TRAJANJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA

Diplomski rad

Lovro Blažok

GI 311

POVIJESNA TRAJANJA RIJEKE SAVE I NJIHOV UTJECAJ NA RAZINE PODZEMNE VODE ZAGREBAČKOG VODONOSNIKA

LOVRO BLAŽOK

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

Sažetak

U okviru izrade diplomskog rada načinjene su analize povijesnih trajanja rijeke Save te analize razina podzemne vode zagrebačkog vodonosnika. Svrha ovih analiza bila je utvrditi hidrološki najpovoljniju godinu u povijesti s obzirom na trajanja srednjih i visokih vodostaja Save i posljedični utjecaj na razine podzemne vode zagrebačkog vodonosnika. Analize su provedene na vremenskim nizovima vodostaja rijeke Save u razdoblju od 1993. do 2015. godine na mjernoj postaji Zagreb, te na vremenskim nizovima razina podzemne vode dva piezometra,, jednog na lijevoj obali rijeke Save, a drugog na desnoj obali rijeke Save, u istom vremenskom razdoblju. Analizom razina podzemne vode utvrđen je negativan trend razina podzemne vode dok se u razdoblju od 2012. do 2014. godine primjećuje porast u razini podzemne vode zbog dužih trajanja visokih vodostaja rijeke Save, ali negativni trend razina podzemne vode i dalje se nastavlja poslije tog razdoblja.

Ključne riječi: krivulja trajanja, zagrebački vodonosnik, razine podzemne vode

Diplomski rad sadrži: 17 stranica, 13 slika, 3 priloga, 20 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-nafnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Prof. dr. sc. Kristijan Posavec

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Izv. Prof. dr. sc. Željko Duić
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 28.09.2018.

THE HISTORICAL DURATIONs OF THE SAVA RIVER AND THEIR IMPACT ON THE GROUNDWATER LEVEL OF ZAGREB AQUIFER

LOVRO BLAŽOK

Master thesis was created: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

In this master thesis analyses of historical durations of the Sava river and groundwater levels of Zagreb aquifer were made. The purpose of these analyses was to establish the historically most hydrologically favorable year in regard regard to the duration of medium and high-water levels of the Sava river and the consequent influence on the groundwater levels of Zagreb aquifer. The analyzes were conducted on the time series of the Sava river water levels in the period from 1993 to 2015 at the Zagreb measuring station and on the time series of groundwater levels of two piezometers, one on the left bank of the Sava river and the other on the right bank of the Sava river in the same time period. By analysing the groundwater level, a negative trend has been identified, while in the period from 2012 to 2014 an increase in groundwater level due to the longer duration of the high Sava water levels is noted, but the negative trend of groundwater levels continues after that period.

Key words: duration curves, Zagreb aquifer system, groundwater levels

Master thesis contains: 17 pages, 13 pictures, 3 attachments, 20 references

Original language: Croatian

Master thesis stored: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Mentor: Kristijan Posavec, Phd, Full Professor

Evaluators: Kristijan Posavec, Phd, Full Professor
Željko Duić, Phd, Associate professor
Dario Perković, Phd, Assistant professor

Date: 28.09.2018.

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Istraživano područje 3

3. Metode obrade podataka 5

4. Korišteni podaci 8

5. Rezultati obrade podataka 11

6. Zaključak 15

7. Literatura 16

Popis slika:

Slika 2.1 Područje istraživanja 4
Slika 2.2 Geološka karta istraživanog područja - OGK list Zagreb (Šikić i dr., 1972) i OGK list Ivanić Grad (Basch, 1980) 4
Slika 3.1 Nivogram rijeke Save na mjernoj postaji Zagreb u razdoblju od 1993.-2015. godine. 6
Slika 3.2 Krivulja trajanja vodostaja rijeke Save na mjernoj postaji Zagreb u razdoblju 1993.-2015. godine. 6
Slika 3.3 Teorijske krivulje trajanja protoka za vlažnu, približno prosječnu i sušnu godinu (Nikolić, 1984.) 7
Slika 4.1 Lokacije piezometra i mjerne postaje Zagreb 8
Slika 4.2 Nivogram rijeke Save na mjernoj postaju Zagreb u razdoblju 1993.-2015. godine. 9
Slika 4.3 Razine podzemne vode piezometra 5045 na lijevoj obali rijeke Save. 9
Slika 4.4 Razine podzemne vode piezometra 722 na desnoj obali rijeke Save. 10
Slika 5.1 Negativni trend razina podzemne vode – piezometar 5045 koji se nalazi na lijevoj obali rijeke Save 11
Slika 5.2 Krivulje trajanja vodostaja rijeke Save – mjerna postaja Zagreb 12
Slika 5.3 Krivulje trajanja razina podzemne vode – piezometar 5045 na lijevoj obali rijeke Save 13
Slika 5.4 Krivulje trajanja razina podzemne vode – piezometar 722 na desnoj obali rijeke Save 14

Popis priloga:

Prilog 1. Krivulje trajanja vodostaja rijeke Save
Prilog 2. Krivulje trajanja razina podzemne vode – piezometar 722 na desnoj obali rijeke Save
Prilog 3. Krivulja trajanja razina podzemne vode – piezometar 5045 na lijevoj obali rijeke Save

1. Uvod

Tema ovog diplomskog rada su povijesna trajanja rijeke Save i njihov utjecaj na razine podzemne vode zagrebačkog vodonosnika. Analizirani su vremenski nizovi vodostaja rijeke Save kao i razine podzemne vode dva piezometra u razdoblju od 1993.-2015. godine kako bi se utvrdila hidrološki najpovoljnija godina u povijesti s obzirom na trajanja srednjih i visokih vodostaja Save i posljedični utjecaj na razine podzemne zagrebačkog vodonosnika. U radu su korištene krivulje trajanja koje opisuju hidrološke režime. Krivulja trajanja je krivulja koja prikazuje 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. Informacije koje pružaju krivulje trajanja mogu se koristiti u kvantitativnoj procjeni vodnih resursa, projektiranju hidroelektrana (Warnick, 1984), procjeni o kvaliteti vode (Vogel i Fennessey, 1995) i pouzdanosti izdašnosti nekog vodocrpilišta (McMahon, 1993).

Podzemne vode su značajan resurs koji se koristi za javnu vodoopskrbu, navodnjavanje i potrebe industrije. Zbog velikog značaja podzemne vode brojni autori su istraživali uzroke snižavanja razina podzemne vode. Machiwal i dr., 2011. su istraživanjem u zapadnoj Indiji pokazali da su razine podzemne vode uvjetovane prisutnošću površinskih tokova i topografijom, a Panda i dr., 2012. analizama razina podzemne vode navode da su porast temperature i učestale suše glavni razlog sniženja razina podzemne vode. Li i dr. 2014. navodi daje glavni razlog sniženja razina podzemne vode na sjeveru Kine potrošnja vode. Borčić i dr., 1968. razmatraju zavisnost vodostaja Save i razina podzemne vode zagrebačkog vodonosnika, dok Bonacci i Trninić 1986. analiziraju uzroke promjena vodostaja Save i razina podzemne vode. Chouaib 2018. razmatra utjecaj klime i svojstva terena na oblik krivulje trajanja u istočnom SAD-u, dok Castellarin 2014. godine primjenjuje trodimenzionalnu kriging metodu za predviđanje regionalnih krivulja trajanja u centralnoj Italiji. Brown i dr. 2013. godine proučavali su utjecaj šuma na promjene krivulja trajanja u Novom Zelandu, Australiji i južnoj Africi.

U sklopu ovog rada analizirana su povijesna trajanja rijeke Save te utjecaj koji ona imaju na razine podzemne vode zagrebačkog vodonosnika. Analizirani su vodostaji rijeke Save na mjernoj postaji Zagreb u razdoblju od 1993. do 2015. godine, te su analizirane razine podzemne vode na 2 piezometra u istom razdoblju. Izradom krivulja trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode utvrđena su trajanja napajanja i dreniranja vodonosnika. Najpovoljnije hidrološke godine za vodonosnik bile su od 2012. do 2014. godine kada su

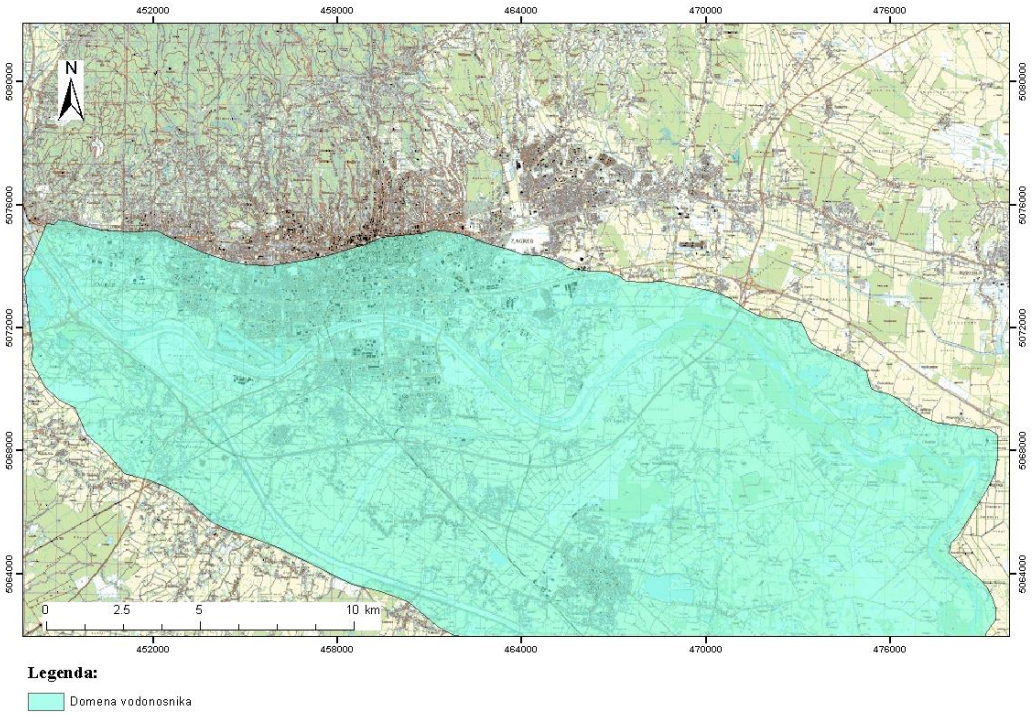
vodostaji s 60 postotnim i kraćim trajanjem bili od 0,5 do 1,5 m viši od prosječnih trajanja vodostaja rijeke Save u razodblju od 1993. do 2015. godine. 2012./2014. godine uočava se porast razina podzemne vode, ali se negativni trend razina podzemne vode nastavlja i dalje.

2. Istraživano područje

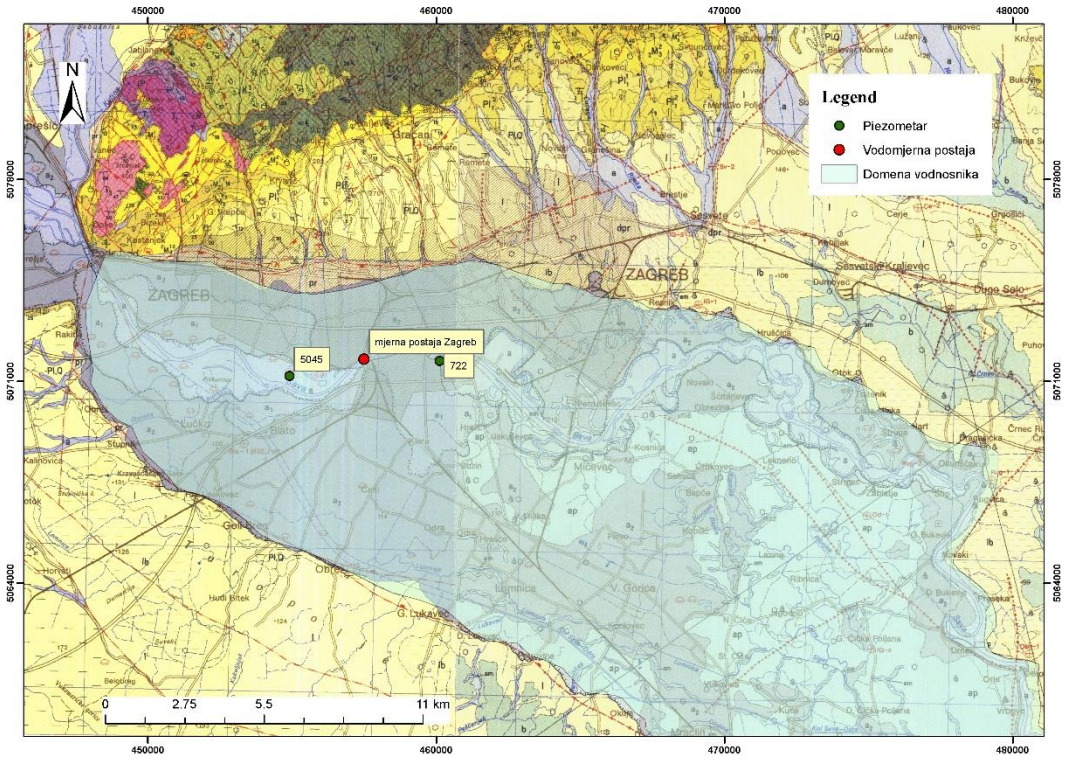
Područje istraživanja nalazi se na području sjeverozapadne Hrvatske u nizinskom dijelu rijeke Save. Zagrebački vodonosnik proteže se od Podsusedskog praga na zapadu do Rugvice na istoku, sjevernu granicu čine južni obronci Medvednice dok južnu granicu predstavljaju Vukomeričke Gorice (slika 2.1). Zagrebački vodonosnik dužine je oko 30 km i širine 10-15 km. (Vujević i Posavec, 2018.).

Vodonosnik izgrađuju srednje i mlađe pleistocenske te holocenske taložine. Geneza, litološki sastav, prostorni raspored i dimenzija vodonosnika posljedica su paleogeografskih, klimatskih i tektonskih procesa koji su vladali tijekom kvartara. Istraživano područje tijekom srednjeg i mlađeg pleistocena bilo je jezersko i močvarno dok je okolno brežuljkasto i gorsko područje bilo kopno izloženo intenzivnoj eroziji i denudaciji. Potocima je nošen trošeni materijal i taložen u jezerima i močvarama (Velić i Saftić, 1991). Krajem pleistocena i početkom holocena tektonska aktivnost rezultira rasjedanjem i spuštanjem terena što omogućuje prodor rijeke Save u Zagrebački bazen. Prodorom rijeke Save započinje transport velikih količina krupnog klastičnog materijala s područja Alpa (Velić i Durn, 1993, Velić i dr. 1999). Rijeka Sava, ovisno o snazi toka, istovremeno donosi materijal i erodira i premješta već istaloženi materijal, kao posljedicu takvih uvjeta taloženja imamo izraženu heterogenost i anizotropiju vodonosnika i neujednačenu debljinu naslaga unutar zagrebačkog vodonosnika. Vodonosni sloj izgrađuju aluvijalne naslage koje su dominantno zastupljene šljuncima (Vujević i Posavec, 2018) (slika 2.2).

Zagrebački vodonosnik se napaja u najvećoj mjeri infiltracijom iz rijeke Save, koja je u hidrauličkoj vezi s vodonosnikom, a manjim dijelom infiltracijom oborina te dotjecanjem po rubovima vodonosnika. Rijeka Sava za vrijeme srednjih i niskih vodostaja na pojedinim dijelovima toka drenira vodonosnik dok za vrijeme visokih vodostaja napaja vodonosnik. Napajanje vodonosnika iz rijeke Save najviše ovisi protoku, trajanju vodostaja, brzini toka i temperaturi koja utječe na hidrauličku vodljivost naslaga korita rijeke Save i razini podzemne vode kao i karakteristikama vodonosnika (Posavec, 2006).



Slika 2.1 Područje istraživanja



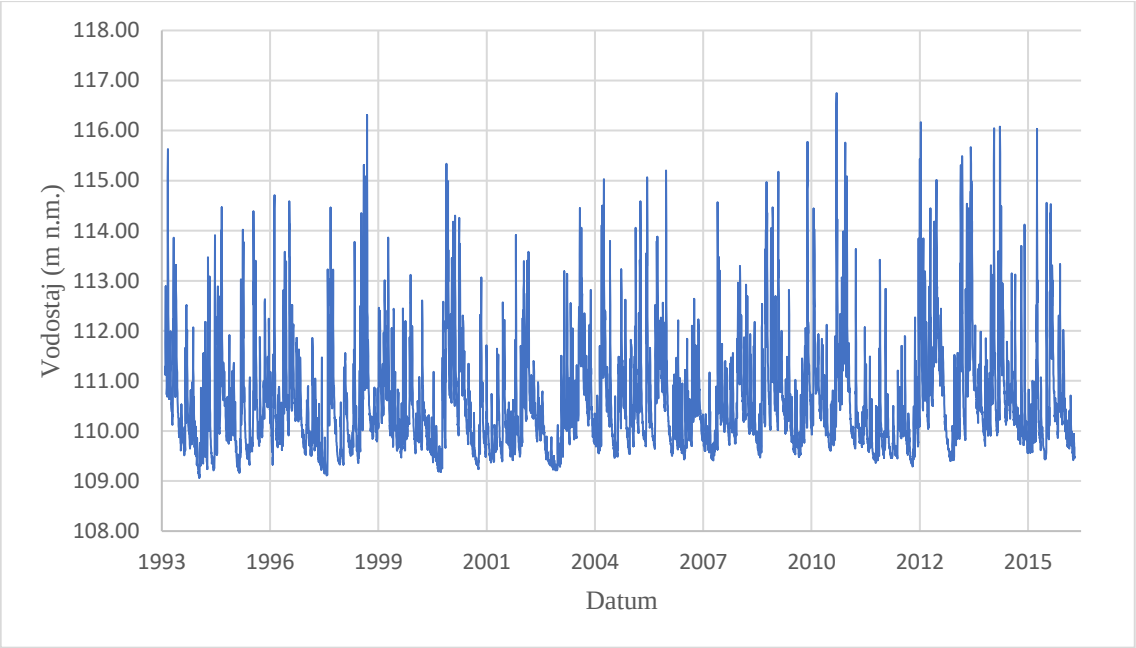
Slika 2.2 Geološka karta istraživanog područja - OGK list Zagreb (Šikić i dr., 1972) i OGK list Ivanić Grad (Basch, 1980)

3. Metode obrade podataka

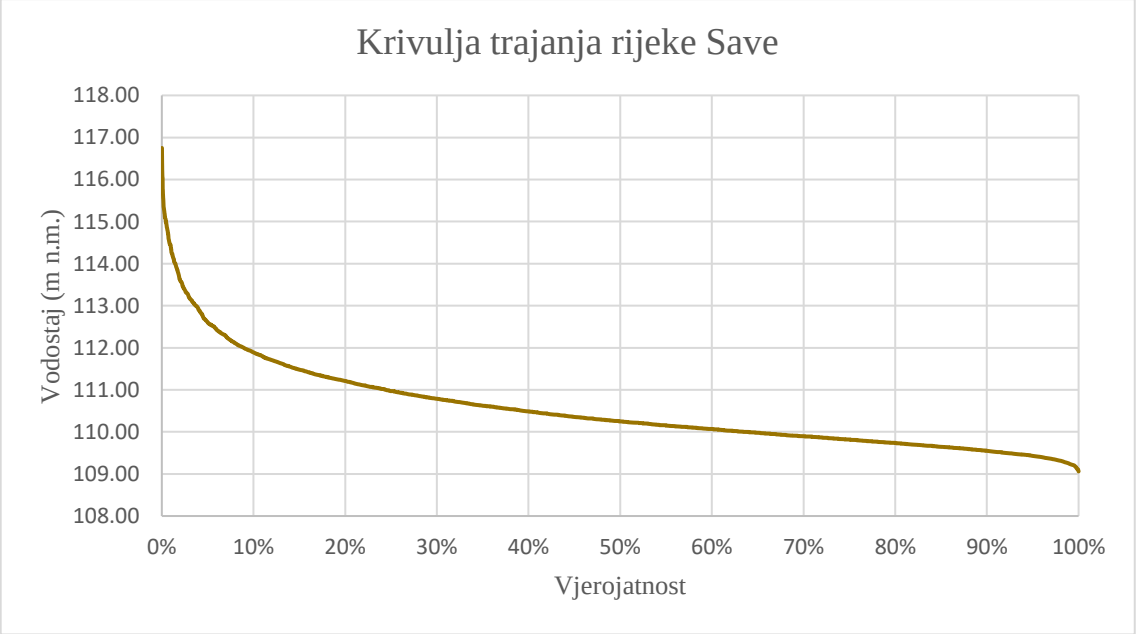
U ovom radu za obradu podataka korišten je računalni program „Excel“ u kojem su izrađeni nivogrami i krivulje trajanja vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode zagrebačkog vodonosnika na 2 piezometra.

Nivogram ili hod vodostaja je osnovni hidrološki graf koji prikazuje vodostaje u ovisnosti u vremenu (slika 3.1). Srednji dnevni vodostaji prikazuju se u slučaju jednokratnog očitavanja vodostaja, a u slučaju kada postoji limnigraf na mjernoj stanici tada se poslije obrade limnigrafskih traka određuje srednji dnevni vodostaj (Žugaj, 2015).

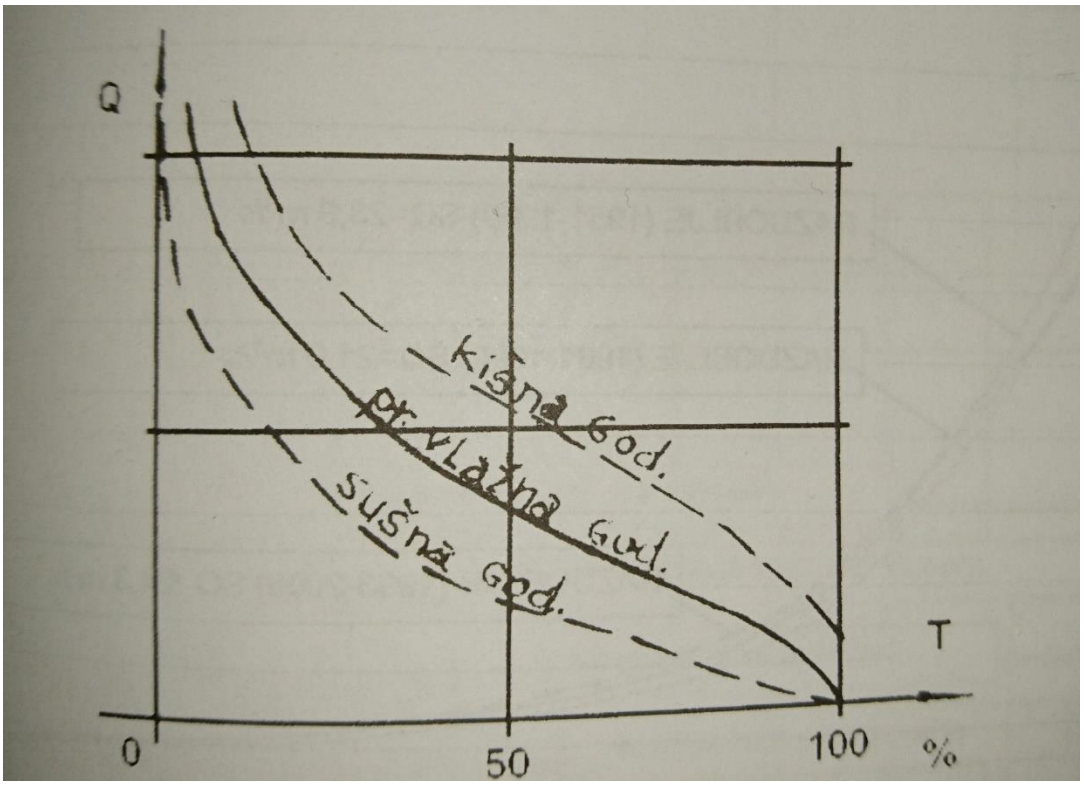
Krivulja trajanja je krivulja koja prikazuje postotak vremena ili broj dana u godini, tijekom kojih je vodostaj ili protok jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronološki slijed (slika 3.2). Za konstrukciju krivulja trajanja najispravnije je koristiti srednje dnevne vodostaje ili protoke, jer takvi podaci daju zaglađene krivulje (Žugaj, 2015). Krivulje trajanje su važne na područjima na kojima postoji hidraulička veza rijeke i vodonosnika (npr. Zagrebački vodonosnik). Ako je rijeka visoka , ona hrani podzemlje, ako je rijeka niska onda drenira podzemlje. Utjecaj na podzemlje ovisit će o visini vodostaja, ali i trajanju vodostaja. Ako rijeka ima visok vodostaj, ali taj vodostaj traje kratko, utjecaj na podzemlje biti će manje značajan, ali ako vodostaj traje duže tada dolazi do značajnijeg prihranjivanja podzemlja, tj. razina podzemne vode značajnije raste. Krivulja trajanja nam direktno ukazuje na sušne, prosječne i vlažne godine (slika 3.3).



Slika 3.1 Nivogram rijeke Save na mjernoj postaji Zagreb u razdoblju od 1993.-2015. godine.



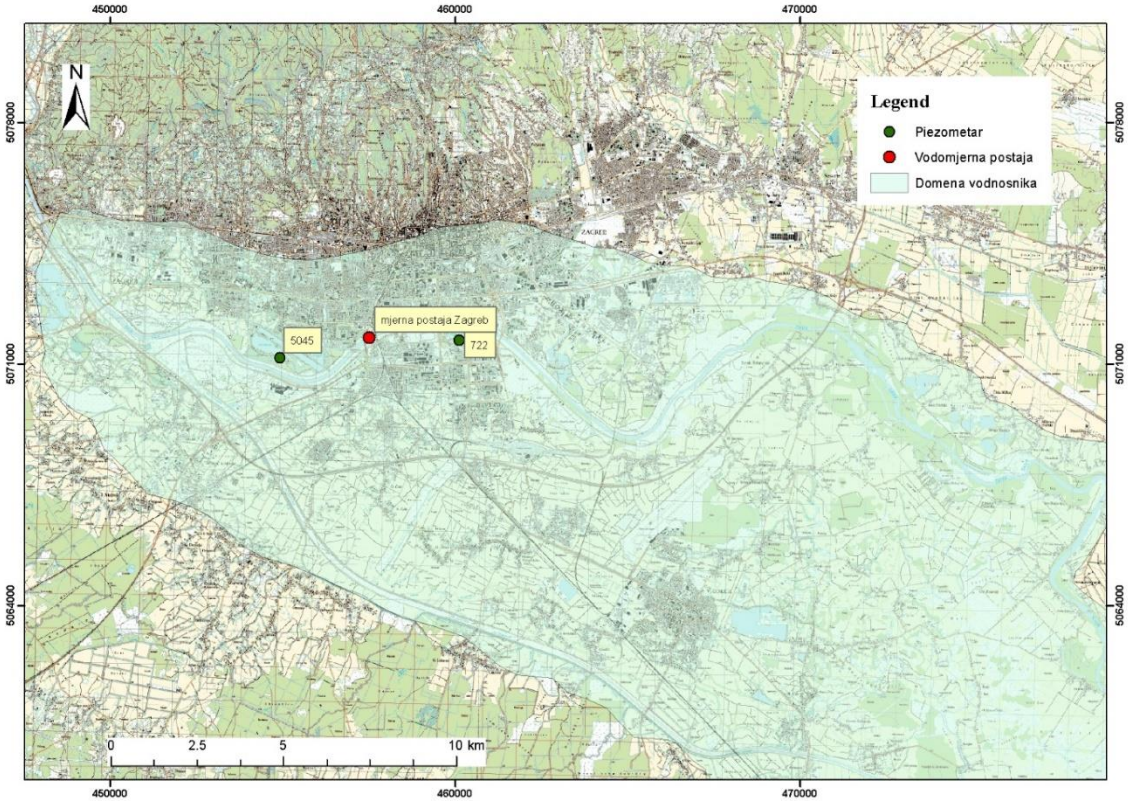
Slika 3.2 Krivulja trajanja vodostaja rijeke Save na mjernoj postaji Zagreb u razdoblju 1993.-2015. godine.



Slika 3.3 Teorijske krivulje trajanja protoka za vlažnu, približno prosječnu i sušnu godinu (Nikolić, 1984.)

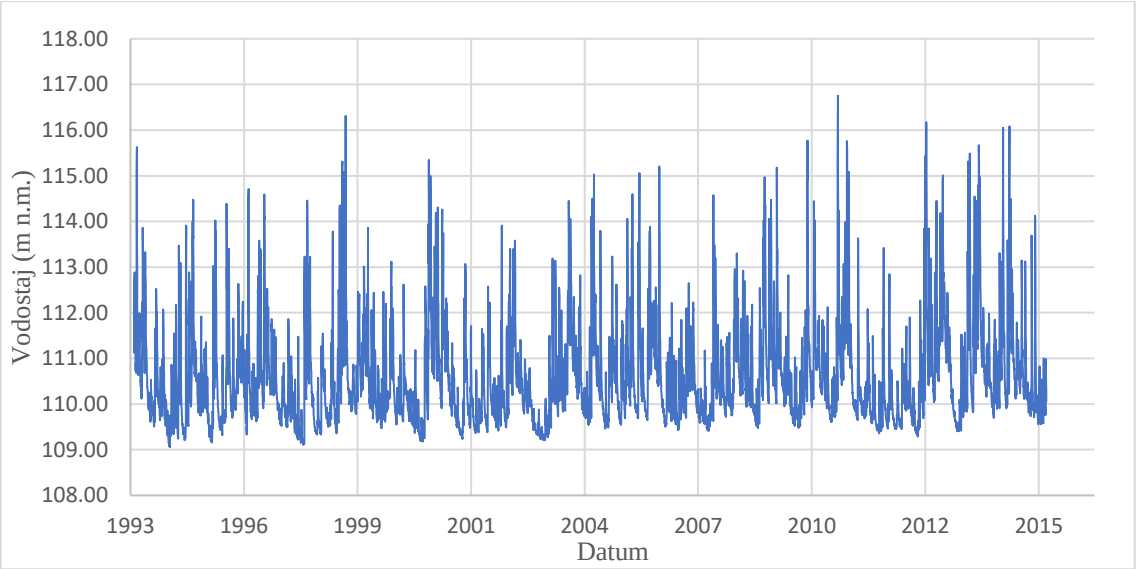
4. Korišteni podaci

Analizirane su razine podzemne vode u 2 piezometra na području zagrebačkog vodonosnika. Jedan piezometar (5045) se nalazi na lijevoj obali Save, a drugi (722) na desnoj obali rijeke Save. Također su korišteni podaci o vodostaju rijeke Save na mjernom profilu Zagreb (slika 4.1). Podaci korišteni u ovom radu mjereni su od 1993.-2015. godine od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ).



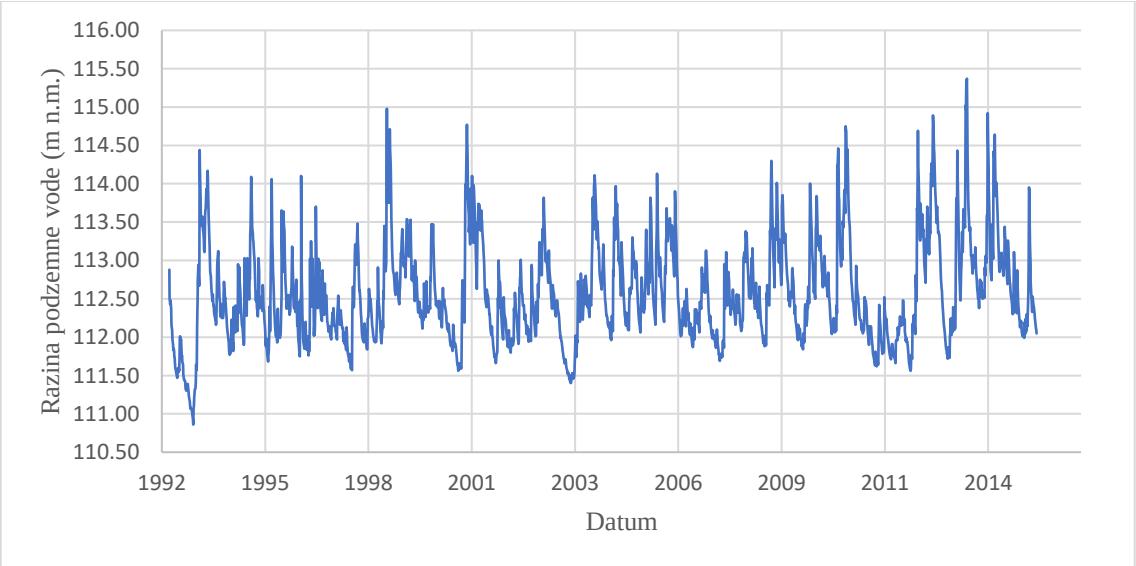
Slika 4.1 Lokacije piezometra i mjerne postaje Zagreb

Analizirani su vodostaji rijeke Save na mjernoj postaji Zagreb, te su isti prikazani na nivogramu (slika 4.2). Najniži zabilježeni vodostaj izmjeren u razdoblju 1993.-2015. godine iznosio je 109,06 m n.m., najviši vodostaj iznosio je 116,75 m n.m., a prosječni vodostaj iznosio je 110,54 m n.m.

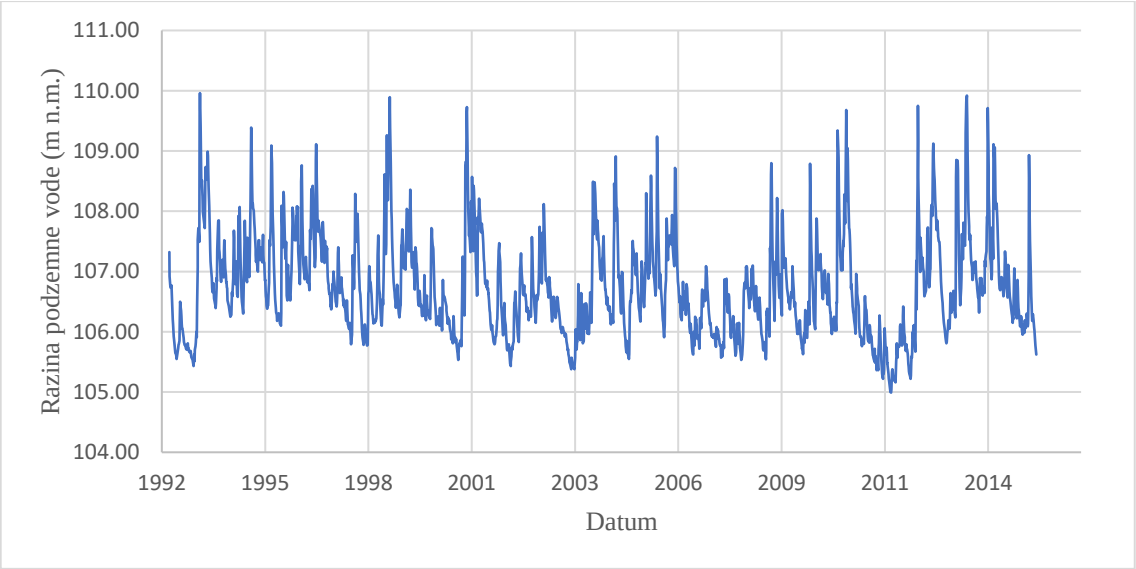


Slika 4.2 Nivogram rijeke Save na mjernoj postaju Zagreb u razdoblju 1993.-2015. godine.

Razine podzemne vode mjerene su na 2 piezometra na području zagrebačkog vodonosnika. Najniža zabilježena razina podzemne vode na piezometru 5045 koji se nalazi na lijevoj obali rijeke Save iznosi 110,86 m n.m., a najviša razina podzemne vode iznosila je 115,37 m n.m. dok je prosječna razina podzemne vode iznosila 112.57 m n.m. (slika 4.3). Najniža zabilježena razina podzemne vode na piezometru 722 koji se nalazi na desnoj obali Save iznosila je 104,99 m n.m., najviša razina podzemne vode iznosila je 109,96 m n.m., a prosječna razina podzemne vode iznosila je 106.74 m n.m. (slika 4.4).



Slika 4.3 Razine podzemne vode piezometra 5045 na lijevoj obali rijeke Save.

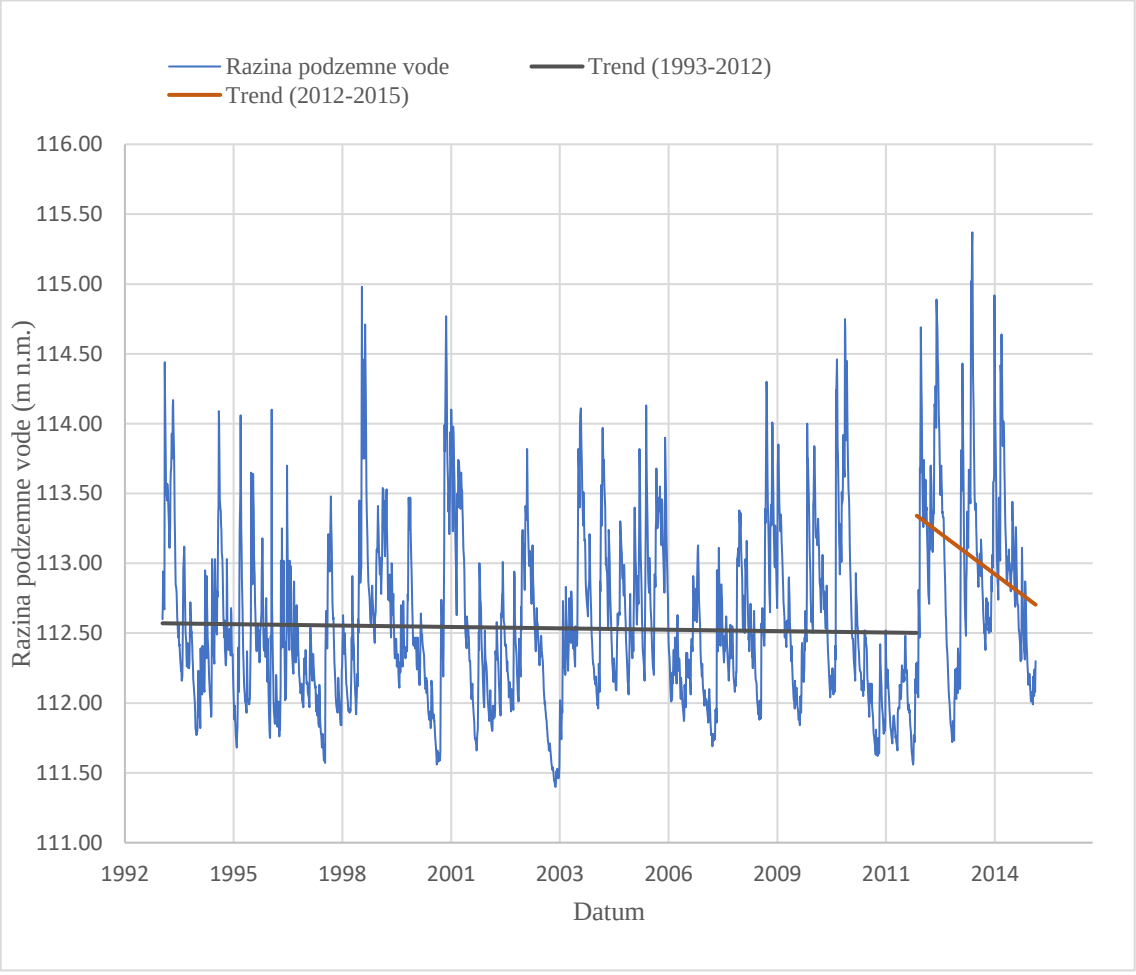


Slika 4.4 Razine podzemne vode piezometra 722 na desnoj obali rijeke Save.

5. Rezultati obrade podataka

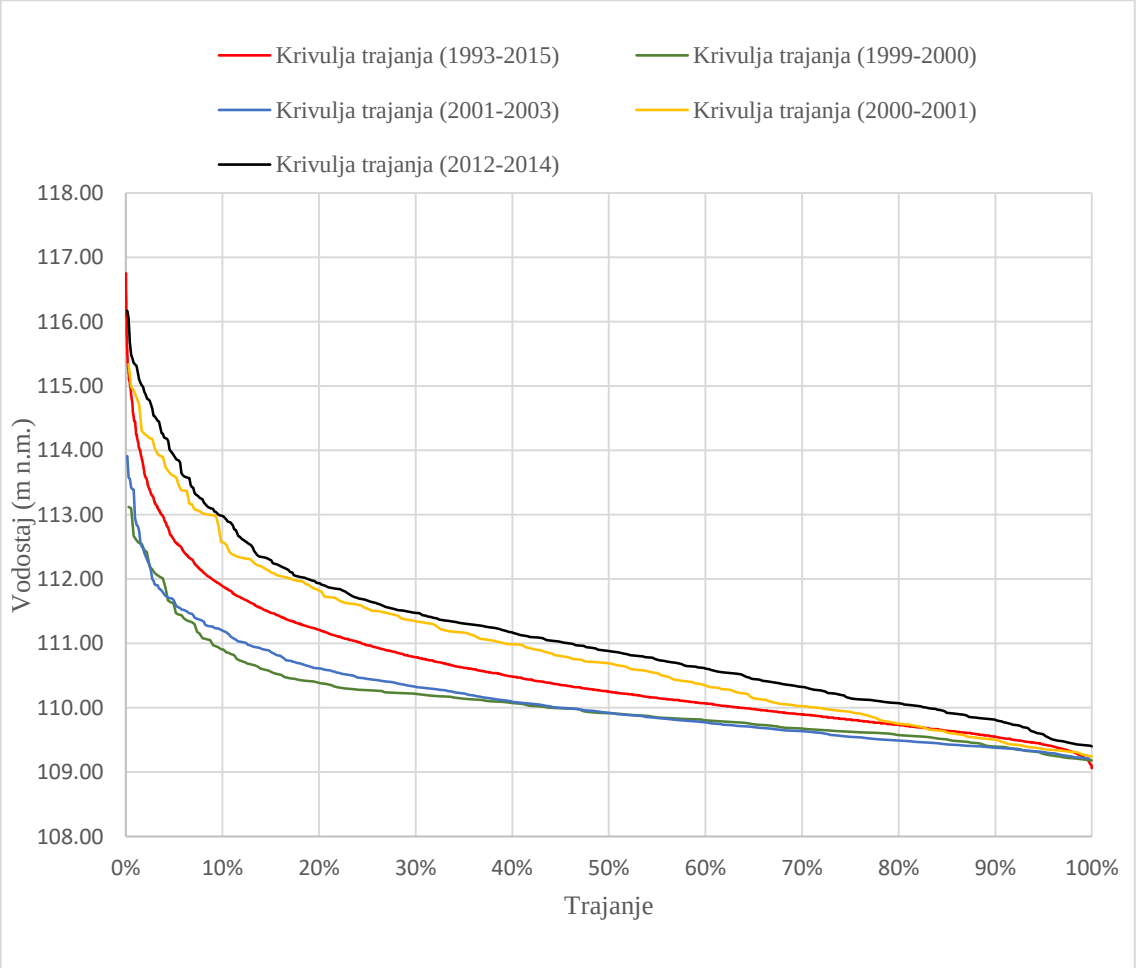
U ovom radu analizirani su vodostaji rijeke Save i dva piezometra u razdoblju do 1993. do 2015. godine. Analizom su dobivene krivulje trajanja za svaku hidrološku godinu te su one prikazane u prilozima 1, 2 i 3. Detaljnije će biti opisane samo krivulje koje opisuju sušne i vlažne godine to jest one krivulje koje odstupaju od prosječne krivulje u razdoblju od 1993. do 2015. godine.

Analizom razina podzemne vode piezometra 5045 na lijevoj obali rijeke Save vidi se negativan trend razina podzemne vode. Negativni trend u razdoblju od 1993.-2012. godine blagog je nagiba. Značajniji porast razine podzemne vode vidljiv je za razdoblje od 2012. do 2014. godine, no nakon tog razdoblja razina podzemne vode opada, a što doprinosi nastavku negativnog trenda razina podzemne vode koji se i dalje nastavlja (slika 5.1).



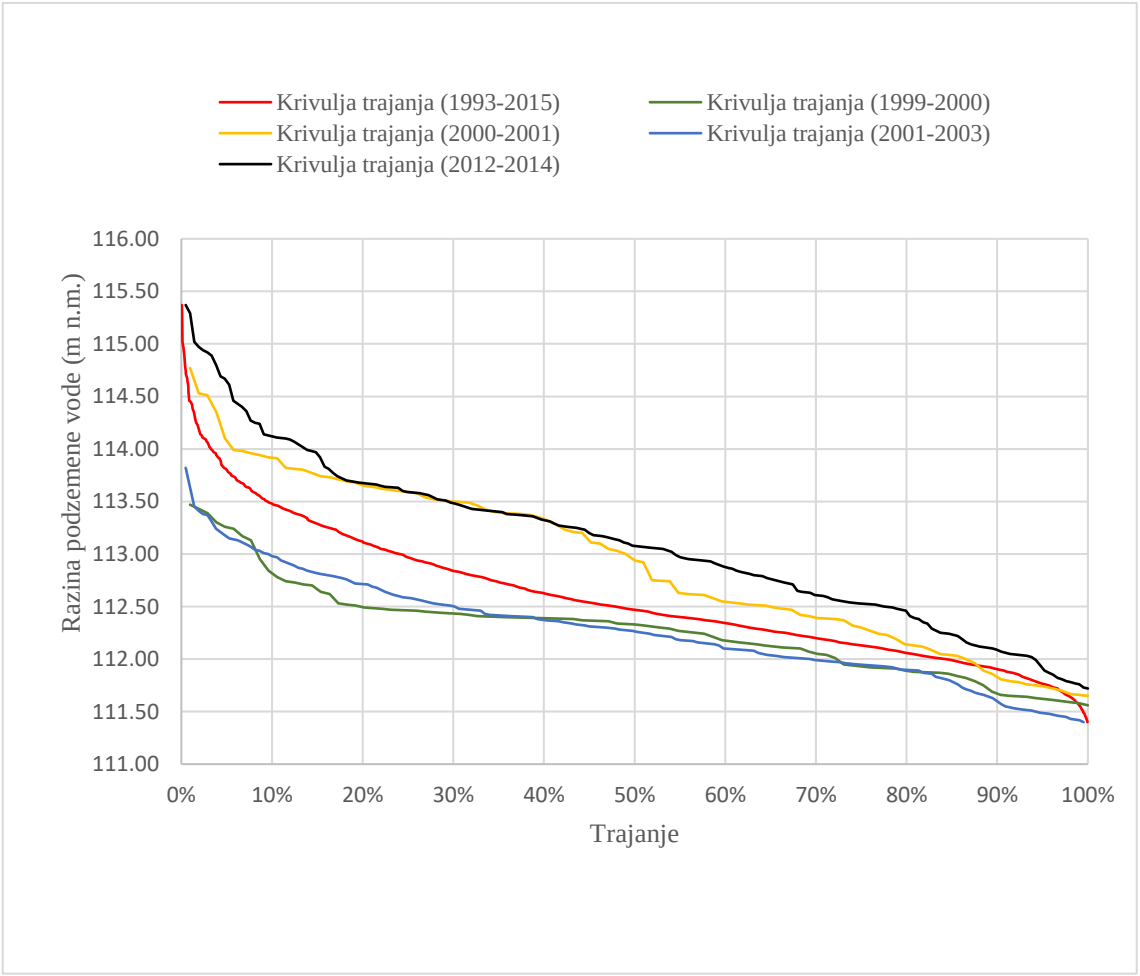
Slika 5.1 Negativni trend razina podzemne vode – piezometar 5045 koji se nalazi na lijevoj obali rijeke Save

Analizirani su vremenski nizovi vodostaja rijeke Save i izrađene su krivulje trajanja vodostaja. Izrađena je krivulja trajanja vodostaja rijeke Save u razdoblju 1993.-2015. godine koja služi kao referentna krivulja. U ovom radu bit će prikazane samo anomalije tj. sušne i vlažne godine tj. veća odstupanja od referentne krivulje. Uočene su 4 anomalije od kojih su dvije pozitivne (vodostaj je viši od referentne krivulje) i dvije negativne anomalije (vodostaj je niži od referentne krivulje). Krivulje pozitivnih anomalija dobivene su analizom vremenskog niza 2000.-2001. te 2012.-2014. godine. Vodostaji pozitivnih anomalija s 60 postotnim i kraćim trajanjima od pola pa do gotovo metar i pol viši od referentne krivulje. Krivulje pozitivnih anomalija dobivene su analizom vremenskog niza 2000-2001 i 2012-2014 godine, dok su krivulje negativnih anomalija dobivene analizom vremenskog niza 1999-2000 i 2001-2003 godine. Vodostaji negativnih anomalija s 60 postotnim i kraćim trajanjima od 0,1 pa do gotovo 1 metar niži od referentne krivulje (slika 5.2).



Slika 5.2 Krivulje trajanja vodostaja rijeke Save – mjerna postaja Zagreb

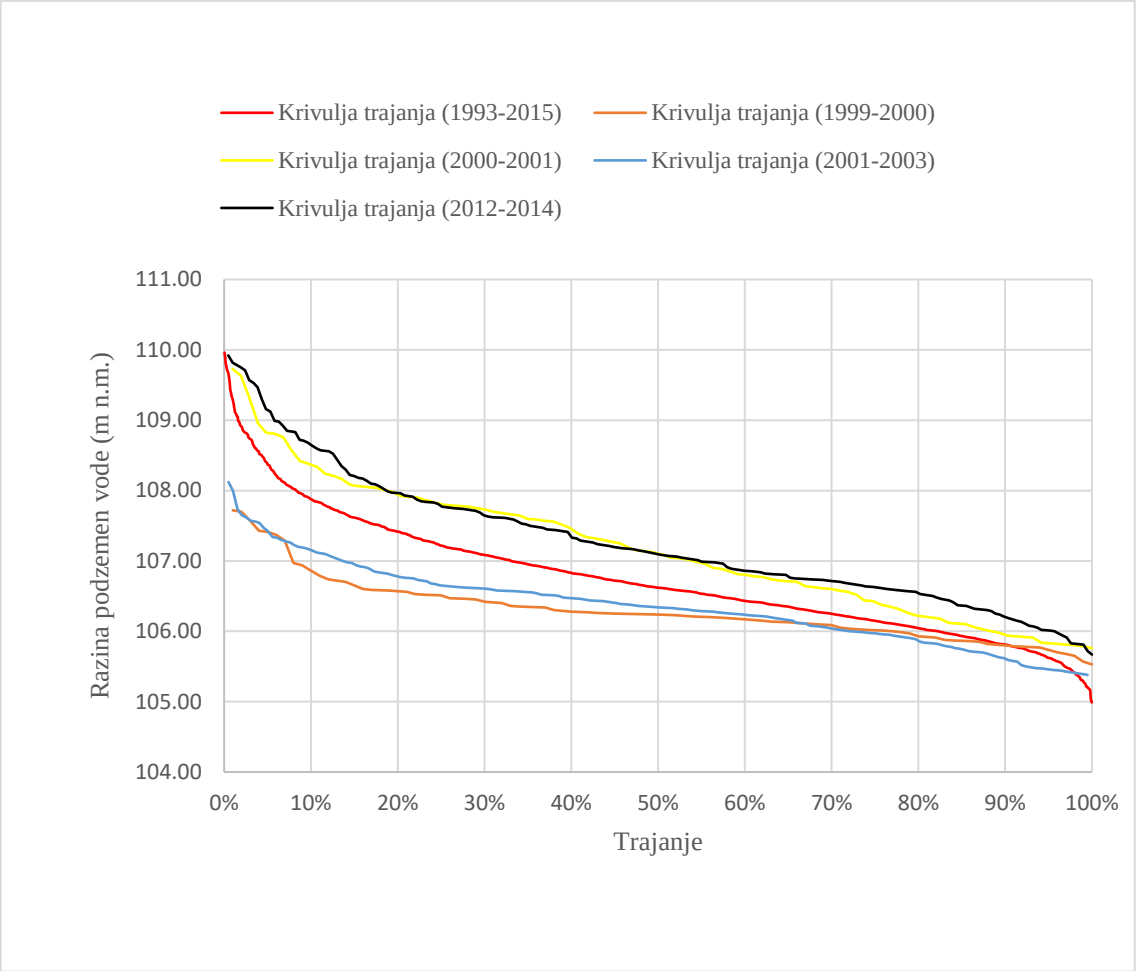
Analizirane su razine podzemne vode na dva piezometra, te su analizom dobivene krivulje trajanja razina podzemne vode koje pokazuju sličnu situaciju kakva je i na krivuljama trajanja vodostaja rijeke Save. Razine podzemne vode, piezometra 5045 na lijevoj obali rijeke Save, pozitivnih anomalija s 60 postotnim i kraćim trajanjem od 0,2 do skoro 1,5 metara više od prosječnih vodostaja rijeke Save zabilježenih u razdoblju od 1993. do 2015. godine. Krivulje pozitivnih anomalija dobivene su analizom vremenskog niza 2000.-2001. i 2012.-2014. godine, dok su krivulje negativnih anomalija dobivene analizom vremenskog niza 1999.-2000. i 2001.-2003. godine. Krivulje negativnih anomalija s 60 postotnim i kraćim trajanjem od 0,2 do skoro 1,5 metara niže od referentne krivulje dane su na slici 5.3.



Slika 5.3 Krivulje trajanja razina podzemne vode – piezometar 5045 na lijevoj obali rijeke Save

Razine podzemne vode, piezometra 722 na desnoj obali rijeke Save, pozitivnih anomalija s 60 postotnim i kraćim trajanjem od 0,2 do gotovo 1 metar više od prosječne

krivulje razina podzemne vode zabilježene u razdoblju do 1993. do 2015. godine. Krivulje pozitivnih anomalija dobivene su analizom vremenskog niza 2000-2001 i 2012-2014 godine, dok su krivulje negativnih anomalija dobivene analizom vremenskog niza 1999-2000 i 2001-2003 godine. Krivulje negativnih anomalija s 60 postotnim i kraćim trajanjem od 0,2 do skoro 1,5 metara niže od referentne krivulje dane su na slici 5.4.



Slika 5.4 Krivulje trajanja razina podzemne vode – piezometar 722 na desnoj obali rijeke Save

6. Zaključak

Podzemne vode su značajan resurs koji se koristi za javnu vodoopskrbu, navodnjavanje i potrebe industrije zbog toga je važno razumjeti čimbenike koji utječu na sniženje razine podzemne vode. Brojnim ekonomskim i ekološkim problemima je uzrok sniženje podzemne vode, jer sniženje podzemne vode negativno utječe na vodonosnik i vodoopskrbu.

Ukupne zalihe podzemne vode se smanjuju sa sniženjem razina podzemne vode, također sniženje podzemne vode negativno utječe na javnu vodoopskrbu. Padom razina podzemne vode ispod gornje kote ruba filtra u zdencima dolazi do smanjenja kapaciteta zdenca. Također postoji situacija kada je potrebno bušiti nove zdence ili pak graditi nova vodocrpilišta što zahtjeva velika financijska izdvajanja.

Analizom povijesnih vodostaja rijeke Save i razina podzemne vode zagrebačkog vodostaja utvrđen je negativni trend razina podzemne vode u razdoblju od 1993. do 2015. godine. Negativni trend uzrokovan je erozijom korita rijeke Save te dužim periodima niskih vodostaja rijeke Save kao na primjer od 2001.-2003. godine kada su vodostaji s 60 postotnim i kraćim trajanjem za 0,1 do 1 m niži od prosječnih vodostaja. Niski i srednji vodostaji za posljedicu imaju i dreniranje zagrebačkog vodonosnika što također snižava razine podzemne vode. Do porasta razina podzemne vode došlo je 2012.-2014. godine kada su vodostaji rijeke Save s 60 postotnim i kraćim trajanjem bili 0,2 do 1,5 m viši od prosječnih vodostaja što je za posljedicu imalo pojačanu infiltraciju vode iz Save u zagrebački vodonosnik i posljedično značajniji porast razina podzemne vode na području cijelog vodonosnika. Porast razine podzemne vode uočen je i na lijevoj i na desnoj obali rijeke Save. Prestankom visokih vodostaja rijeke Save nastavljen je negativni trend razina podzemne vode, ali ovog puta sniženje je brže nego u periodu od 1993. do 2012. godine što je i vidljivo na grafu na slici 5.1.

7. Literatura

Basch O. (1980): Osnovna geološka karta 1:100.000 list Ivanić Grad L 33−81. Institut za geološka istraživanja Zagreb , Savezni geološki zavod, Beograd.

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

Borčić, D., Capar, A., Čakarun, I., Kostović, K., i P. Miletić (1968): Noviji podaci o zavisnosti vodostaja podzemne vode i vodostaja Save na području Zagreba. Geološki vjesnik Instituta za geološka istraživanja u Zagrebu i Hrvatskog geološkog društva, 21, 311-316

Brown A. E., Western A. W., McMahon T. A., Zhang L. (2013): Impact of forest cover on annual streamflow and flow duration curves, , Journal of Hydrology, 483, 39-50.

Castellarin A. (2014): Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional kriging, Journal of Hydrology, 513, 179-191.

Chouaib W., Caldwell P. V., Alila Y. (2018): Regional variation of flow duration curves in the eastern United States: Process-based analyses of the interaction between climate and landscape propertis, Journal of Hydrology, 559, 327-346.

Li, Xue, Guomin Li, Yuan Zhang (2014): Identifying major factors affecting groundwater change in the North China Plain with grey relational analysis. Water 6, 1581-1600.

Machiwal D., Mishra A., Jha M. K., Sharma A., Sisodia S. S. (2011). Modeling short-term spatial and temporal variability of groundwater level using geostatistics and GIS. Natural resources research, 21(1), 117-136.

McMahon T.A. (1993): Hydrologic design for water use. In: Maidment, D.R. (Ed.), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York.

Nikolić M. (1984): Hidrološki aspekti određivanja instalisane snage hidroelektrana, Zbornik radova, IV Jugoslavensko savjetovanje „Energetsko iskorišćavanje malih vodotoka i izgradnja malih hidroelektrana“, Aranđelovac, 52-64.

Panda D. K., Mishra A., Kumar A. (2012): Quantification of trends in groundwater levels of Gujarat in western India. Hydrological sciences journal, 57(7), 1325-1336.

Posavec K. (2006): Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja. Disertacija. RGN fakultet. Zagreb. str. 1–89.

Šikić K., Basch O., Šimunić A. (1972): Osnovna geološka karta 1:100.000 list Zagreb L 33−80. Institut za geološka istraživanja Zagreb , Savezni geološki zavod, Beograd.

Velić J., Durn G. (1993): Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologia Croatica, 46, 1, 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.

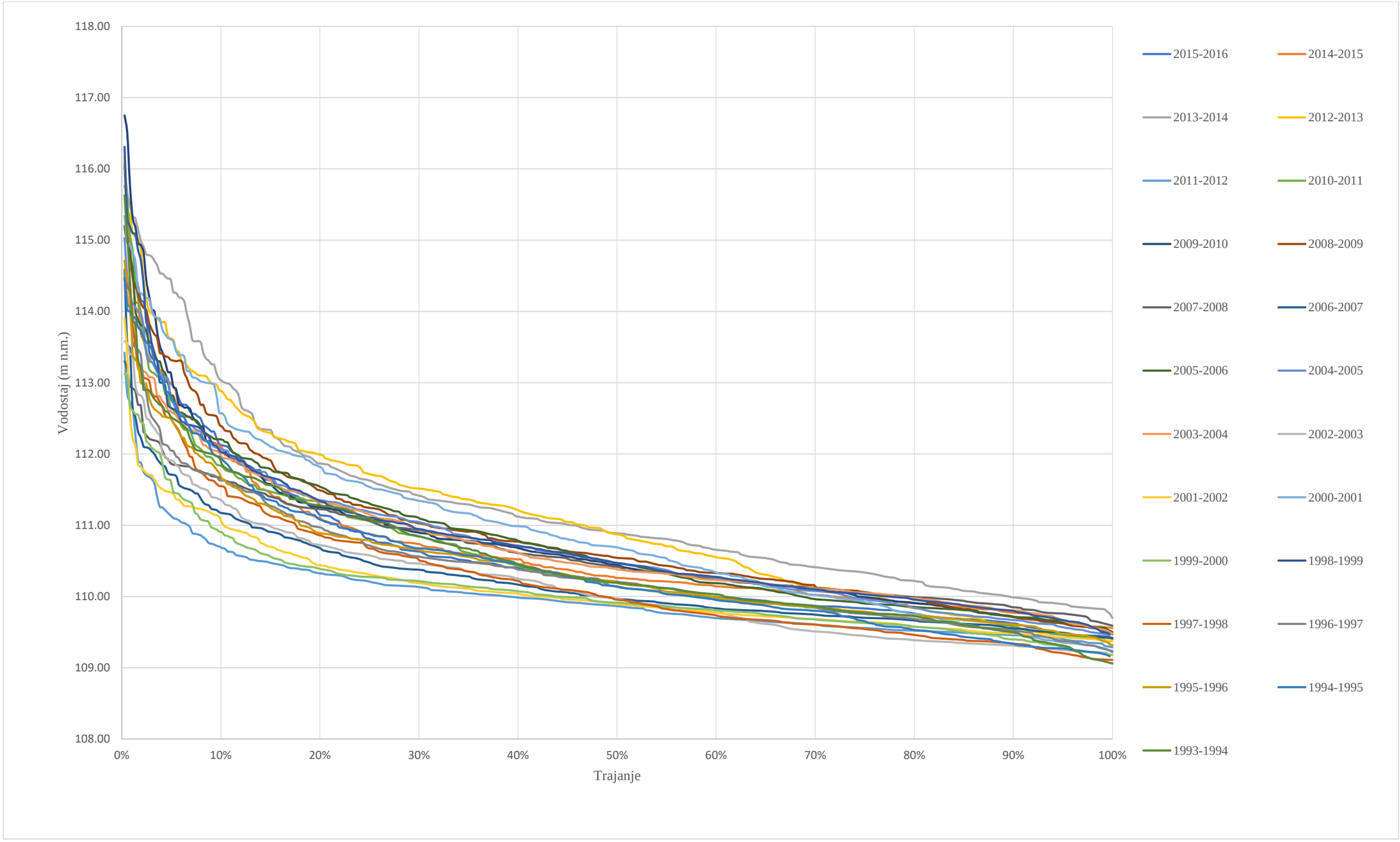
Velić, J., Saftić B., Malvić T.: (1999): Lithologic Composition and Stratigraphy of Quaternary Sediments in the Area of the "Jakuševec" Waste Depository (Zagreb, Northern Croatia). Geologia Croatica, 52, 2, 119–130.

Vogel R.M., Fennessey N.M. (1995): Flow duration curves II: a review of applications in water resources planning. J. Am. Water Resour. Assoc. 31, 1029–1039.

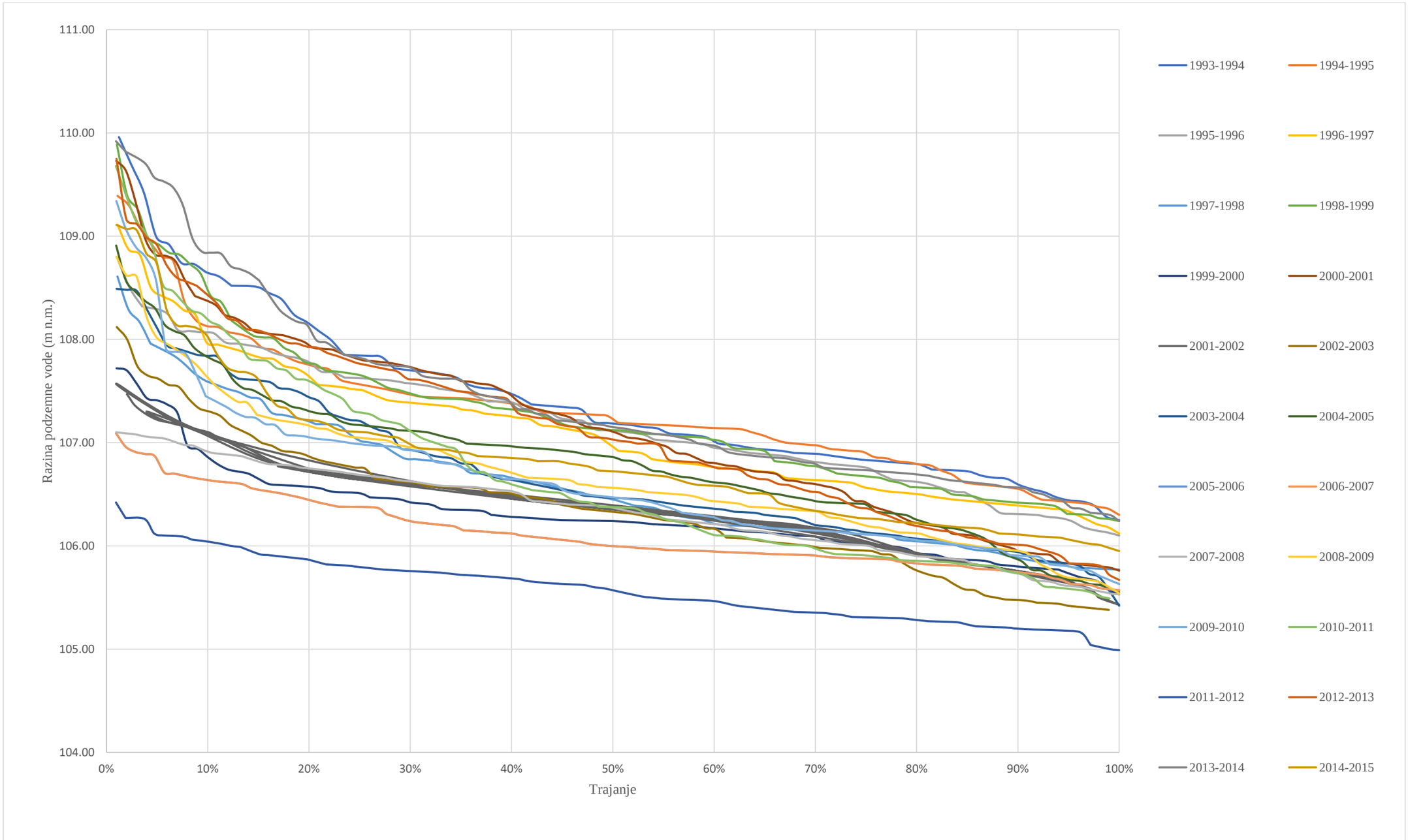
Vujević M., Posavec K. (2018): Identification of Groundwater Level Decline in Zagreb and Samobor-Zaprešić Aquifers since the Sixties of the Twentieth Century. The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 55-64.

Warnick C.C. (1984): Hydropower Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 59–73.

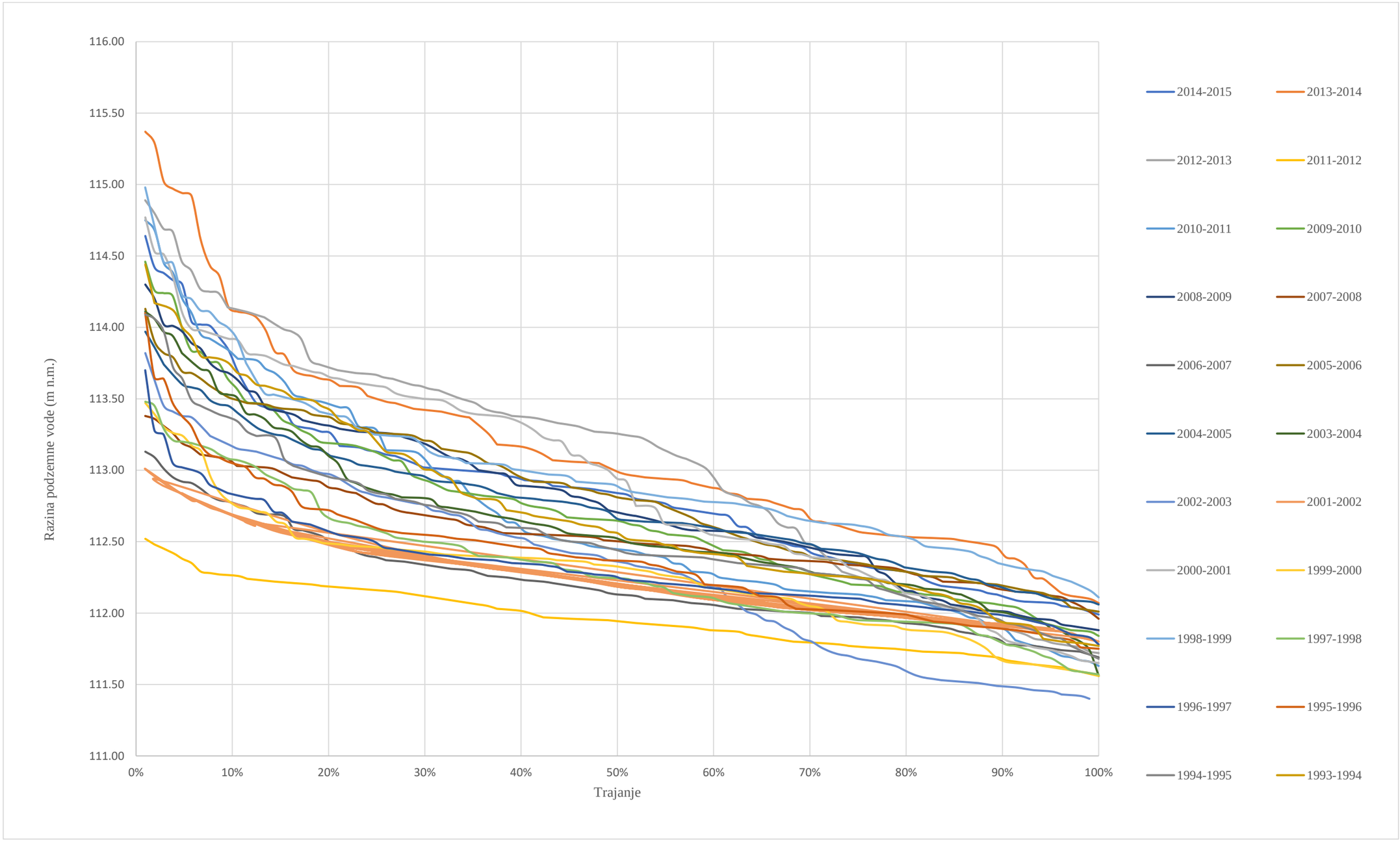
Žugaj R. (2015): Hidrologija, RGN fakultet



Prilog 1. Krivulje trajanja vodostaja rijeke Save



Prilog 2. Krivulje trajanja razina podzemne vode – piezometar 722 na desnoj obali rijeke Save



Prilog 3. Krivulja trajanja razina podzemne vode – piezometar 5045 na lijevoj obali rijeke Save