Sadržaj tricija u vodi na području crpilišta Kosnica

Mijatović, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:331029

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 geološkog inženjerstva

SADRŽAJ TRICIJA U VODI NA PODRUČJU CRPILIŠTA KOSNICA

Diplomski rad

Ivona Mijatović
GI-274

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

SADRŽAJ TRICIJA U VODI NA PODRUČJU CRPILIŠTA KOSNICA

IVONA MIJATOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

Mjerenja koncentracije aktivnosti radioaktivnog izotopa tricija mogu dati korisne informacije u hidrogeološkim istraživanjima u svrhu datiranja podzemne vode, procjene brzine obnavljanja podzemne vode, određivanja količine preostalog tricija u odnosu na inicijalnu koncentraciju u nekom razdoblju te ukazivanja na određene kontaminacije. U radu su obuhvaćeni rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane na području crpilišta Kosnica u razdoblju između veljače 2016. i siječnja 2017. godine, kao i kemijske analize uzoraka na temelju kojih je određen hidrogeokemijski facijes podzemne vode. Podaci korišteni u ovom radu proizašli su iz međunarodnog TC projekta IAEA-e (Međunarodne agencije za nuklearnu energiju sa sjedištem u Beču) CRO/7/001 *„Isotope Investigation of the Groundwater-Surface Water Interaction at the Well Field Kosnica in the Area of the City of Zagreb“*.

Ključne riječi: tricij, crpilište Kosnica, hidrogeologija.
Diplomski rad sadrži: 40 stranica, 16 tablica, 31 sliku, 5 priloga i 16 referenci.
Jezik izvornika: hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb
Voditelj: Doc. dr. sc. Jelena Parlov
Pomoć pri izradi: dr. sc. Jadranka Barešić
mag. ing. geol. Zoran Kovač
Ocjenjivači: 1. Doc. dr. sc. Jelena Parlov
2. Prof. dr. sc. Andrea Bačani
3. Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 1. rujna 2017.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

TRITIUM CONTENT IN WATER IN THE AREA OF WELL FIELD KOSNICA

IVONA MIJATOVIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Measurement of radioactive isotope tritium can provide useful information in hydrogeological application of groundwater dating, groundwater recharge velocity assessment, determination of remaining tritium content in comparison to the initial concentration and for the determination of groundwater contamination. This Master's thesis includes the results of measurements of radioactive isotope tritium for samples taken in the area of the Kosnica well field in the period from February 2016 until January 2017, and chemical analysis of samples, which were used for the determination of hydrogeochemical facies of groundwater. The data used in this thesis are taken from the international TC project of IAEA-a (International Atomic Energy Agency whose headquarters are located in Vienna) CRO/7/001 *"Isotope Investigation of the Groundwater-Surface Water Interaction at the Well Field Kosnica in the Area of the City of Zagreb"*.

Keywords: tritium, well field Kosnica, hydrogeology.
Thesis contains: 40 pages, 16 tables, 31 figures, 5 appendixes and 16 references.
Original in: Croatian
Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb
Supervisor: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD
Technical support and assistance: Jadranka Barešić, PhD
Zoran Kovač, MSc.
Reviewers: 1. Assistant Professor Jelena Parlov, PhD
2. Full Professor Andrea Bačani, PhD
3. Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: September 1, 2017

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Geografske značajke istraživanog područja 2
3. Klimatske značajke šireg područja crpilišta Kosnica 5
3.1. Temperatura zraka i oborine 5
3.2. Izračun evapotranspiracije 11
4. Geološke i hidrogeološke značajke šireg područja 12
5. Hidrogeokemijske značajke 15
6. Izotop tricija u podzemnoj vodi 17
6.1. Tricij (^{3}H) 17
6.2. Primjena tricija u hidrogeološkim istraživanjima 18
6.3. Mjerenje koncentracije aktivnosti tricija 20
6.4. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija 25
6.5. Interpretacija podataka 31
7. Zaključak 38
8. Literatura 39

Popis slika

Slika 2-1. Geografski položaj istraživanog područja (engl. Kosnica site). Crvena linija predstavlja granice zagrebačkog vodonosnika (Nakić i dr., 2013)..... 2
Slika 2-2. Lokacija i zdenci crpilišta Kosnica 3
Slika 2-3. Lokacija piezometara u širem području crpilišta Kosnica 4
Slika 3-1. Srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.) 5
Slika 3-2. Srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.) 6
Slika 3-3. Ukupne godišnje oborine na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.)..... 6
Slika 3-4. Srednje mjesečne oborine na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.)..... 7
Slika 3-5. Srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.)..... 7
Slika 3-6. Srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.)..... 8
Slika 3-7. Ukupne godišnje oborine na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.) 8
Slika 3-8. Srednje mjesečne oborine na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.) 9
Slika 3-9. Srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.) 9
Slika 3-10. Srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.)..... 10
Slika 3-11. Ukupne godišnje oborine na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.) 10
Slika 3-12. Srednje mjesečne oborine na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.) 11
Slika 4-1. Pojednostavljena geološka karta zagrebačkog područja (modificirano prema Sollito i dr., 2010)..... 12
Slika 4-2. Generalni smjer toka podzemne vode (plave strelice) (prema Parlov i dr., 2012) 13
Slika 4-3. Shematski profil zagrebačkog vodonosnog sustava (Posavec, 2006)..... 14
Slika 5-1. Piperov dijagram (prema Freeze i Cherry, 1979) 16
Slika 5-2. Piperov dijagram crpilišta Kosnica 16
Slika 6-1. Krivulja radioaktivnog raspada tricija (modificirano prema Mazor, 2004)..... 18
Slika 6-2. Primarna destilacija..... 20
Slika 6-3. Ćelije za elektrolizu vode..... 21

Slika 6-4. Uređaj za elektrolitičko obogaćivanje 22
Slika 6-5. Sekundarna destilacija 23
Slika 6-6. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometrima (A-2-1, Čdp-12/3, Čdp-13/1, Čdp-8/2, Čp-101), oborinama (Grič) i rijeci Savi (Domovinski most) 32
Slika 6-7. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometrima (Čp-8, Mp-5, Pkb-1/1/3, Pkb-3/1/3, Pkb-5/1/3), oborinama (Grič) i rijeci Savi (Domovinski most) 33
Slika 6-8. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru MP-5 i rijeci Savi (Domovinski most) s vremenom zakašnjenja (ΔT) 34
Slika 6-9. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru ČP-8 i rijeci Savi te nivogram piezometra ČP-8 i Save 35
Slika 6-10. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru Čdp-8/2 i rijeci Savi te nivogram piezometra Čdp-8/2 i Save 36
Slika 6-11. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru Čdp-13/1 i rijeci Savi te nivogram piezometra Čdp-13/1 i Save 37

Popis tablica

Tablica 3-1. Evapotranspiracija na području meteoroloških postaja Grič, Maksimir i Pleso 11
Tablica 6-1. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.2.2016. 25
Tablica 6-2. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 31.3.2016. 26
Tablica 6-3. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 2.5.2016. 26
Tablica 6-4. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 27.5.2016. 26
Tablica 6-5. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 28.6.2016. 27
Tablica 6-6. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.7.2016. 27
Tablica 6-7. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.8.2016. 27
Tablica 6-8. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 29.9.2016. 28
Tablica 6-9. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.10.2016. 28
Tablica 6-10. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 24.11.2016. 29
Tablica 6-11. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 19.12.2016. 29
Tablica 6-12. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 23.1.2017. 30
Tablica 6-13. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u oborinama (Grič) 30
Tablica 6-14. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u uzorcima iz rijeke Save (Domovinski most) 30
Tablica 6-15. Srednje vrijednosti rezultata mjerenja koncentracije aktivnosti tricija po piezometrima 31

Popis priloga

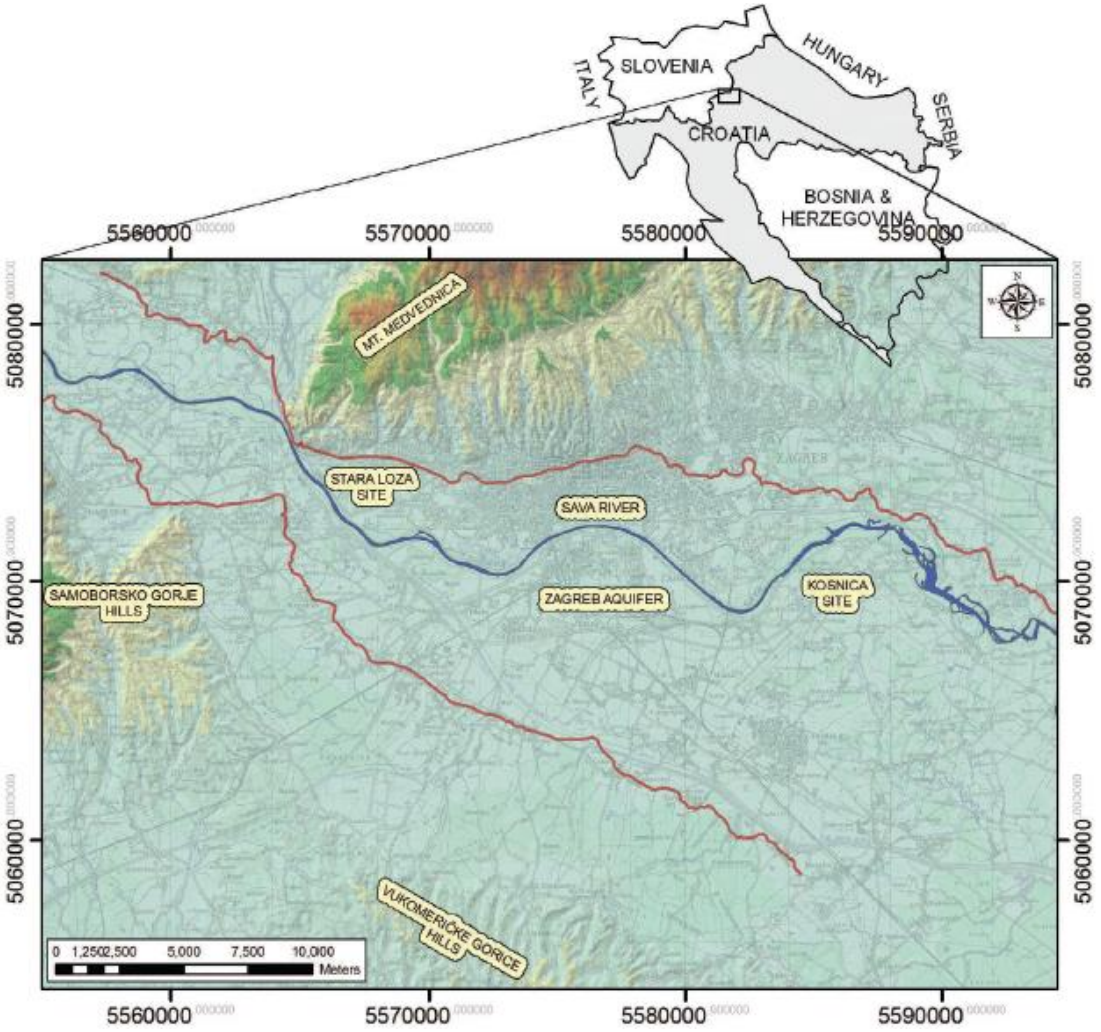
Prilog 1. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-1 – 10-1)
Prilog 2. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-2 – 10-2)
Prilog 3. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-3 – 10-3)
Prilog 4. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-4 – 10-4)
Prilog 5. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-5 – 10-5)

1. Uvod

Mjerenja koncentracije aktivnosti radioaktivnog izotopa tricija mogu dati korisne informacije u hidrogeološkim istraživanjima u svrhu datiranja podzemne vode, procjene brzine obnavljanja podzemne vode, određivanja količine preostalog tricija u odnosu na inicijalnu koncentraciju u nekom razdoblju te ukazivanja na određene kontaminacije. Tricij je radioaktivni izotop vodika koji u atmosferi nastaje uglavnom prirodno, prilikom interakcije između kozmičkog zračenja i atmosferskih komponenti. Atomi kisika reagiraju s radioaktivnim atomima vodika, odnosno tricijem, pri čemu nastaju radioaktivne molekule vode koje do površine Zemlje dolaze putem oborina i procjeđuju se do podzemne vode gdje dolazi do radioaktivnog raspada. Zadatak ovog diplomskog rada bio je analiza sadržaja tricija u vodi i primjena u hidrogeološkim istraživanjima na području crpilišta Kosnica. U radu su obuhvaćeni rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane u razdoblju između veljače 2016. i siječnja 2017. godine, kao i kemijske analize uzoraka na temelju kojih je određen hidrogeokemijski facijes podzemne vode. Podaci korišteni u ovom radu proizašli su iz međunarodnog TC projekta IAEA-e (Međunarodne agencije za nuklearnu energiju sa sjedištem u Beču) CRO/7/001 *„Isotope Investigation of the Groundwater-Surface Water Interaction at the Well Field Kosnica in the Area of the City of Zagreb“*.

2. Geografske značajke istraživanog područja

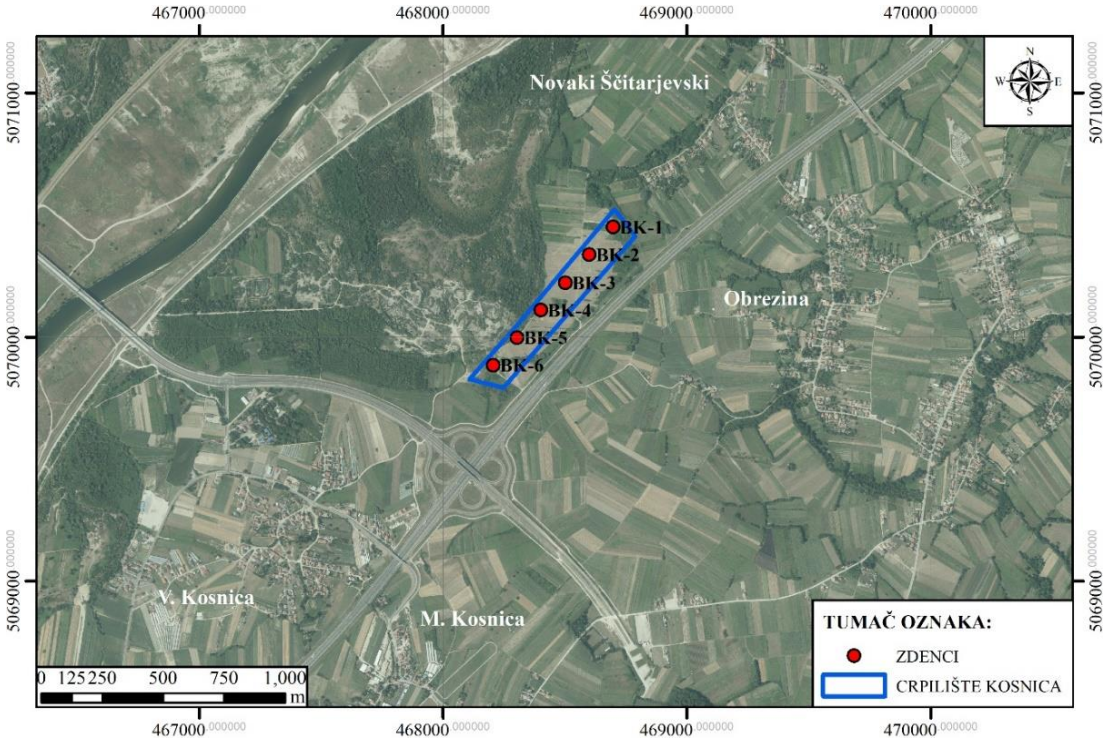
Istraživano područje se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske (Slika 2-1.), odnosno unutar zagrebačkog vodonosnika. Središnjim dijelom zagrebačkog vodonosnika protječe rijeka Sava koja ga drenira i ujedno dijeli na lijevo i desno zaobalje. Vodocrpilište Kosnica se nalazi na desnom zaobalju zagrebačkog vodonosnika.



Slika 2-1. Geografski položaj istraživanog područja (engl. *Kosnica site*). Crvena linija predstavlja granice zagrebačkog vodonosnika (Nakić i dr., 2013)

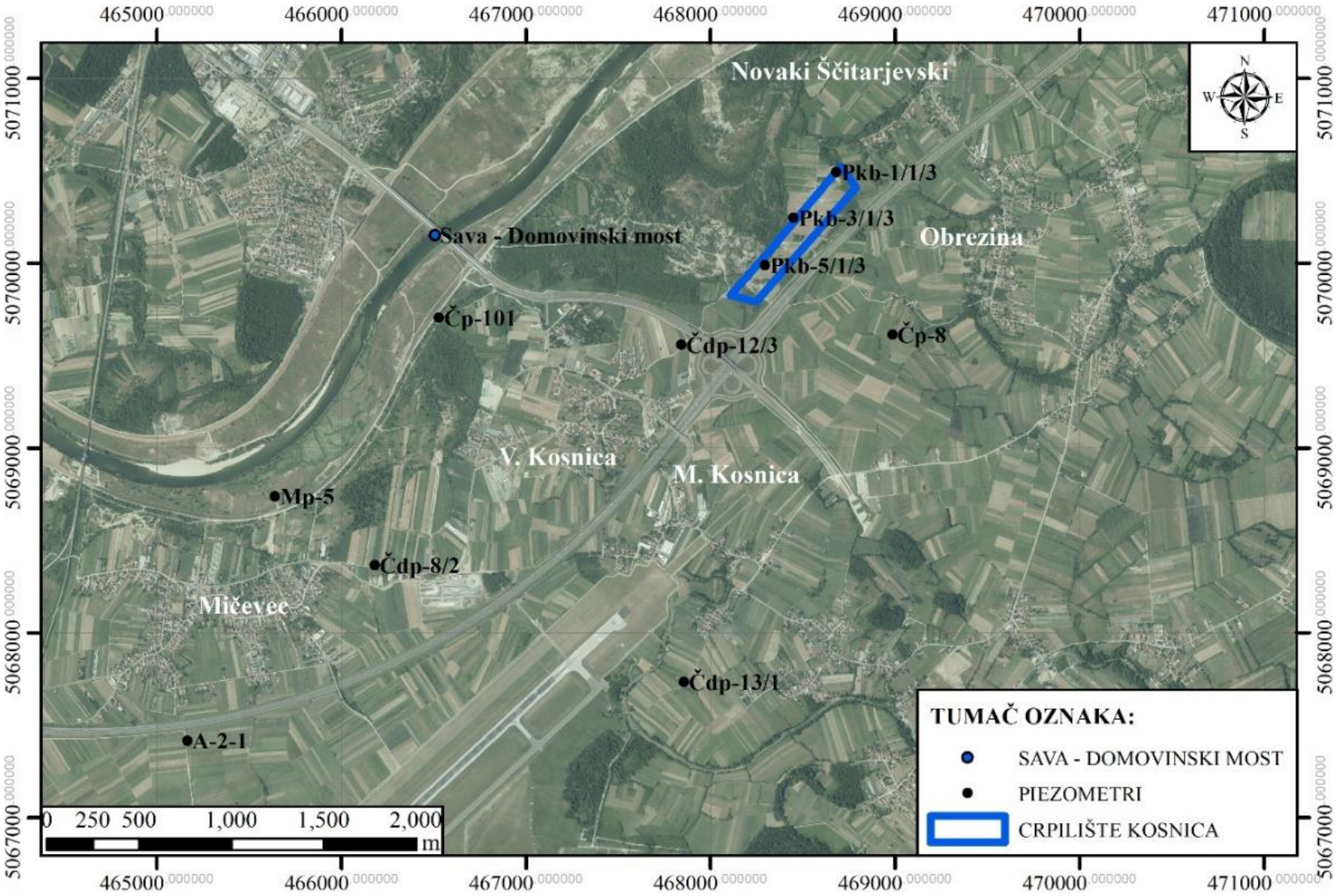
Zagrebački vodonosnik je pretežno ravničarskog karaktera (s prosječnom nadmorskom visinom oko 110 m n.m.), a na rubovima je omeđen brežuljcima s vodotocima i uskim dolinama (najviša točka je Sljeme 1025 m n.m.). Crpilište Kosnica je buduće vodocrpilište na području Zagrebačke županije, a nalazi se između naselja Novaki Ščitarjevski, Obrezina i Velika Kosnica (Slika 2-2.), na približno 106 m n.m.

Na području crpilišta Kosnica je izvedeno šest zdenaca, oznaka BK-1 do BK-6. Na zdencima su provedena pokusna crpljenja kojima je utvrđeno da maksimalna izdašnost iznosi 260 l/s (BK-2), a minimalna 170 l/s (BK-3), odnosno ukupna maksimalna crpna količina u optimalnom slučaju bi iznosila 1380 l/s (Vukojević i dr., 2011).



Slika 2-2. Lokacija i zdenci crpilišta Kosnica

U širem području crpilišta Kosnica postoji desetak piezometara koji su izvođeni tijekom vremena za različite namjene (za praćenje razina i/ili kakvoće podzemne vode, zacijevljene strukturne bušotine...). Za potrebe projekta *„Isotope Investigation of the Groundwater-Surface Water Interaction at the Well Field Kosnica in the Area of the City of Zagreb“* odabrano je 10 piezometara za mjesečno uzorkovanje podzemne vode i određivanje osnovnog ionskog sastava i sadržaja tricija (Slika 2-3.).



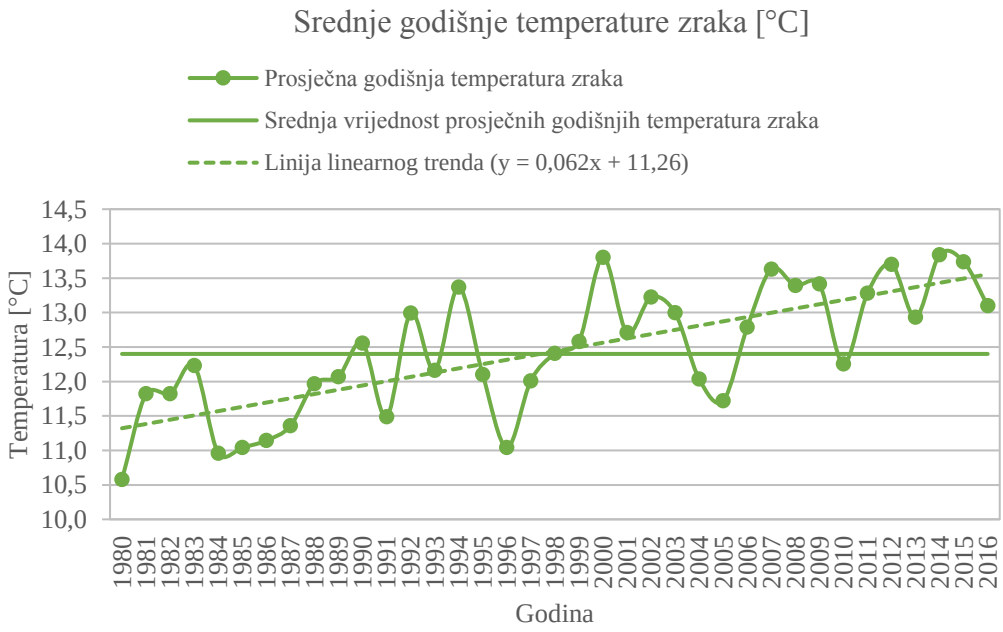
Slika 2-3. Lokacija piezometara u širem području crpilišta Kosnica

3. Klimatske značajke šireg područja crpilišta Kosnica

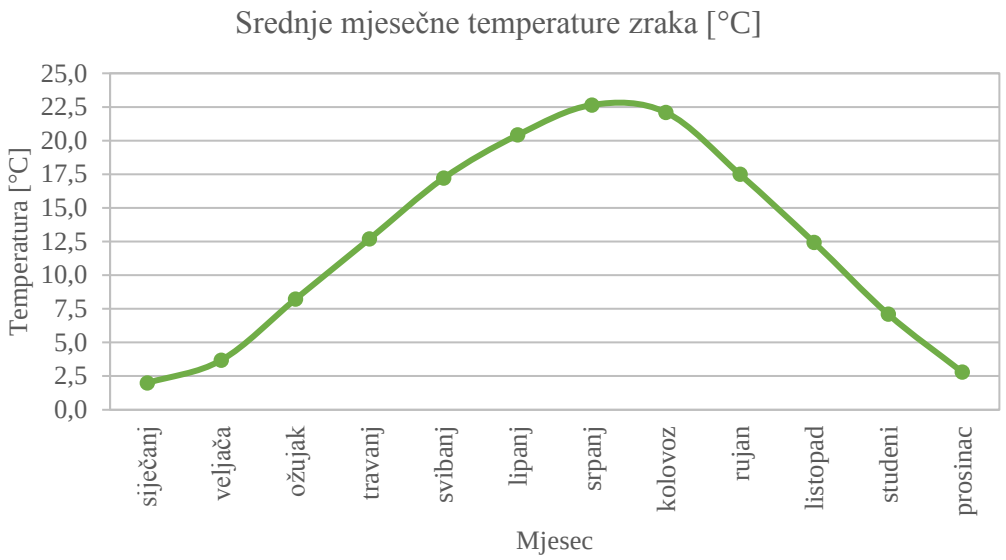
Klima na području grada Zagreba, u koje spada i istraživano područje Kosnice, klasificirana je kao umjereno kontinentalna. Zime su hladne s prosječnim temperaturama od 1 °C, a ljeta su vruća i suha s prosječnim temperaturama od 20 °C. U okolici istraživanog područja se nalaze meteorološke stanice Grič, Pleso i Maksimir. Za potrebe proračuna evapotranspiracije su korišteni podaci o temperaturi i oborinama na meteorološkim postajama Grič i Maksimir u razdoblju od 1980. do 2016. godine, te za meteorološku postaju Pleso u razdoblju od 1981. do 2016. godine (izvor podataka: Državni hidrometeorološki zavod).

3.1. Temperatura zraka i oborine

Srednja godišnja temperatura zraka na meteorološkoj postaji Grič za razdoblje 1980.-2016. godine iznosi 12,4 °C. Minimalna vrijednost srednje godišnje temperature zraka iznosi 10,6 °C (1980. godina), a maksimalna vrijednost iznosi 13,8 °C (2014. godina; Slika 3-1.), pri čemu srednja mjesečna temperatura varira i doseže maksimum u srpnju (22,6°C), a minimum u siječnju (2 °C; Slika 3-2.).

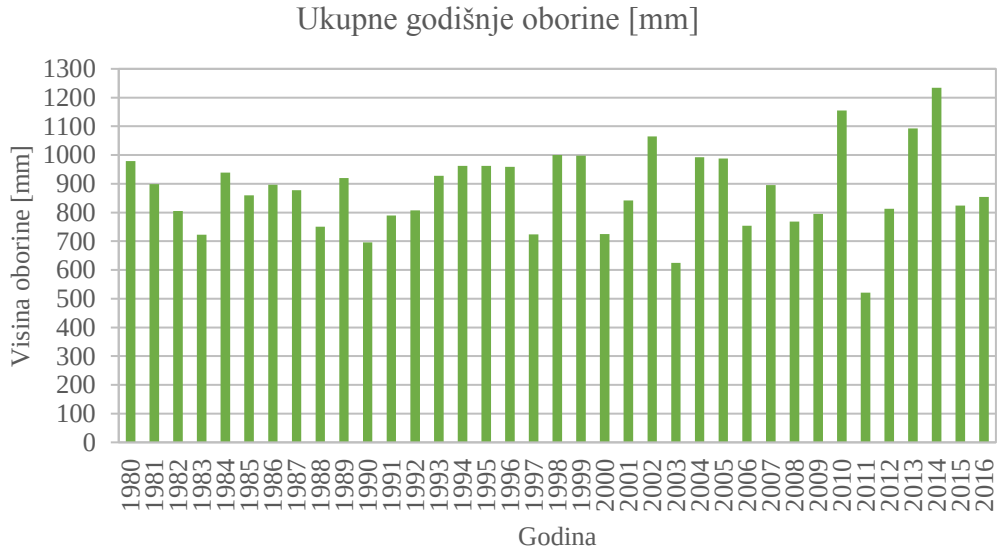


Slika 3-1. Srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.)

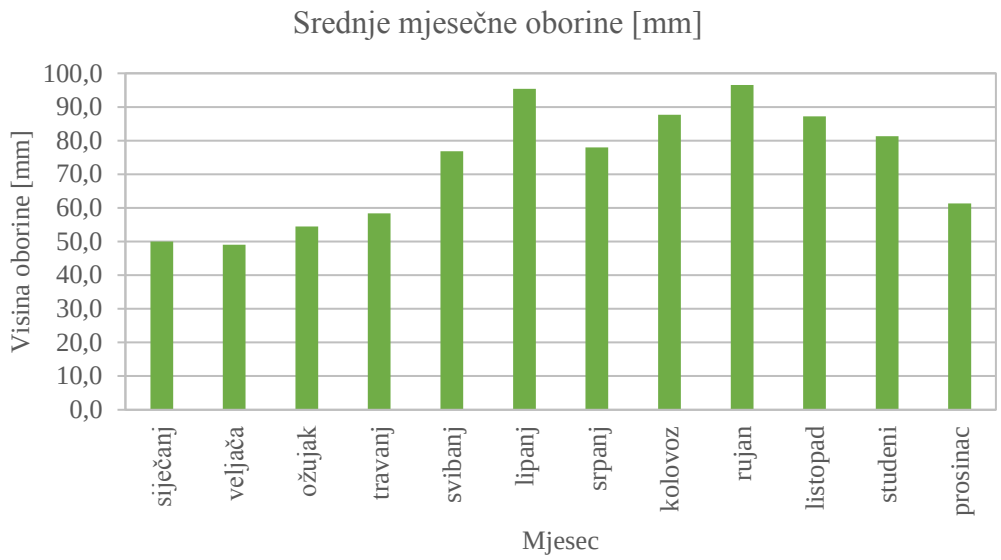


Slika 3-2. Srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.)

Na istoj meteorološkoj postaji, prosječna višegodišnja količina oborina za vremensko razdoblje 1980.-2016. godine iznosi 876,1 mm. Najmanje oborine registrirane su 2011. godine (520,8 mm), a najviše 2014. godine (1233,8 mm; Slika 3-3.). Visina srednjih mjesečnih oborina doseže maksimum u rujnu (96,5 mm), a minimum u veljači (49,0 mm; Slika 3-4.).

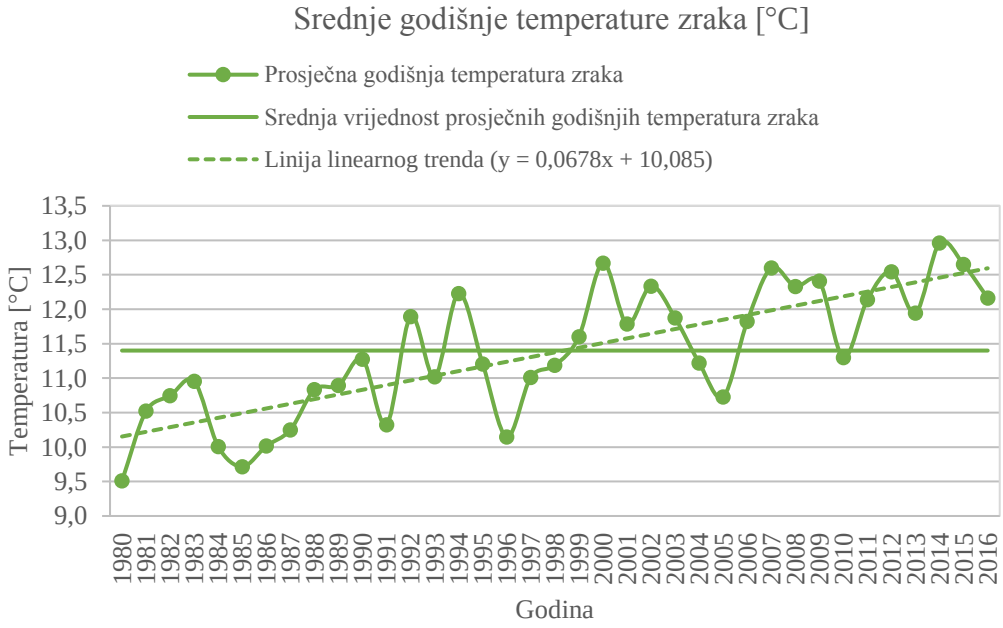


Slika 3-3. Ukupne godišnje oborine na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.)

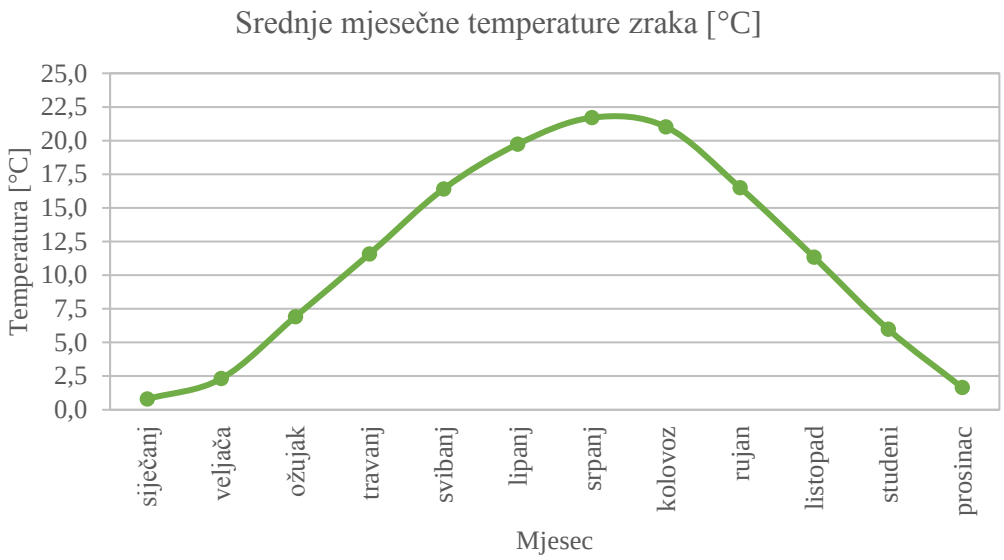


Slika 3-4. Srednje mjesečne oborine na meteorološkoj postaji Grič (1980.-2016.)

Srednja godišnja temperatura zraka na meteorološkoj postaji Maksimir za razdoblje 1980.-2016. godine iznosi 11,4 °C. Minimalna vrijednost srednje godišnje temperature zraka iznosi 9,5 °C (1980. godina), a maksimalna vrijednost iznosi 13,0 °C (2014. godina; Slika 3-5.), pri čemu srednja mjesečna temperatura varira i doseže maksimum u srpnju (21,7°C), a minimum u siječnju (0,8 °C; Slika 3-6.).

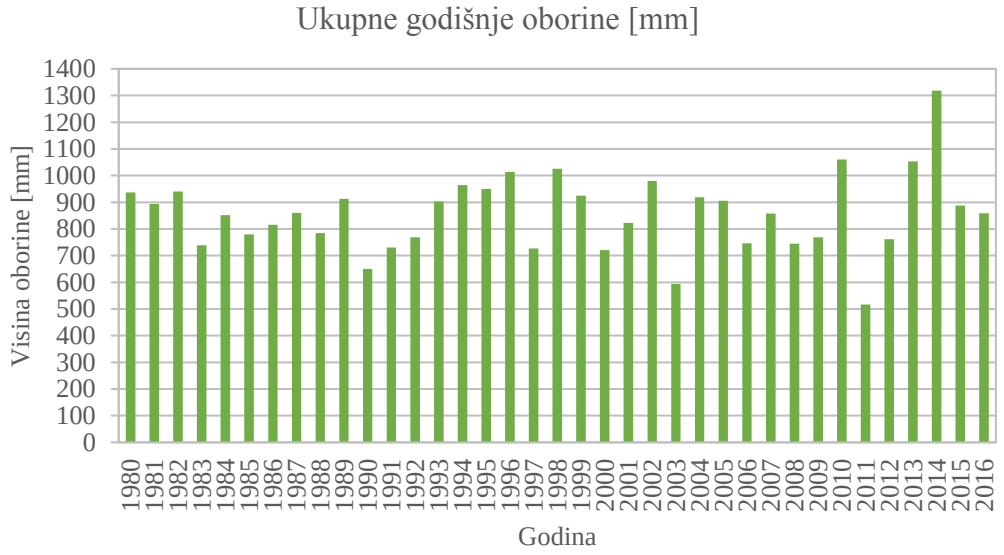


Slika 3-5. Srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.)

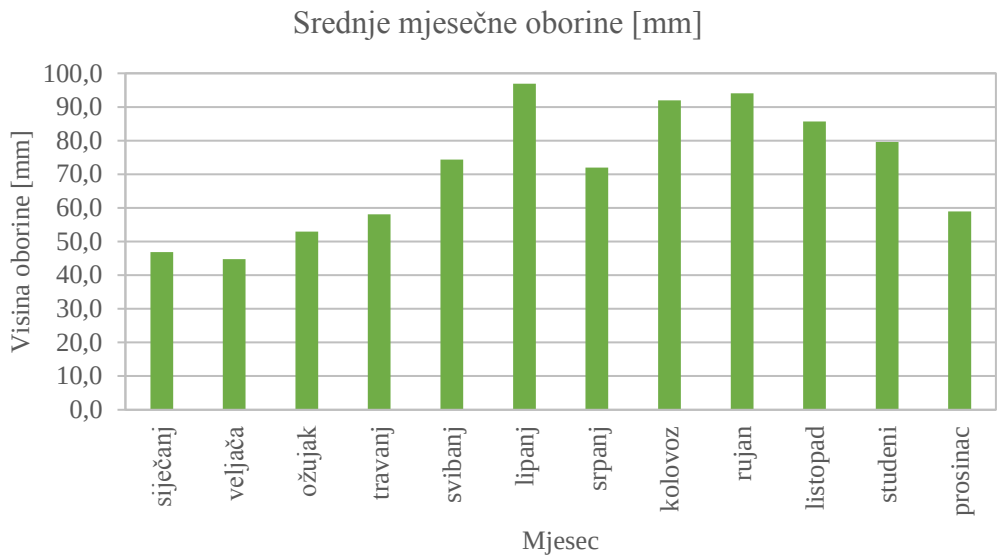


Slika 3-6. Srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.)

Na istoj meteorološkoj postaji, prosječna višegodišnja količina oborina za vremensko razdoblje 1980.-2016. godine iznosi 856,2 mm. Najmanje oborine registrirane su 2011. godine (517 mm), a najviše 2014. godine (1317,8 mm; Slika 3-7.). Visina srednjih mjesečnih oborina doseže maksimum u lipnju (96,9 mm), a minimum u veljači (44,8 mm; Slika 3-8.).

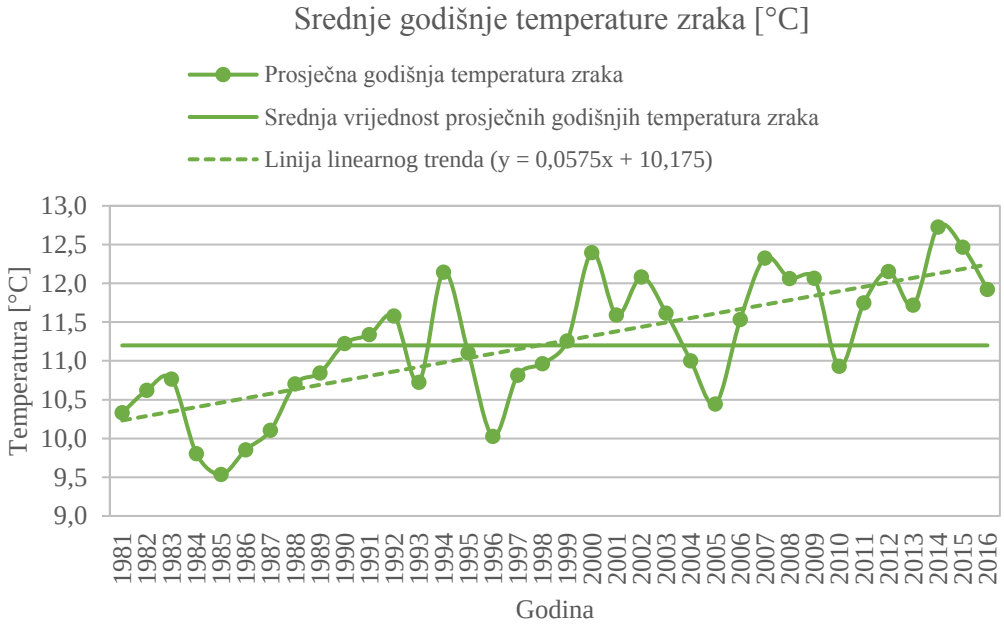


Slika 3-7. Ukupne godišnje oborine na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.)

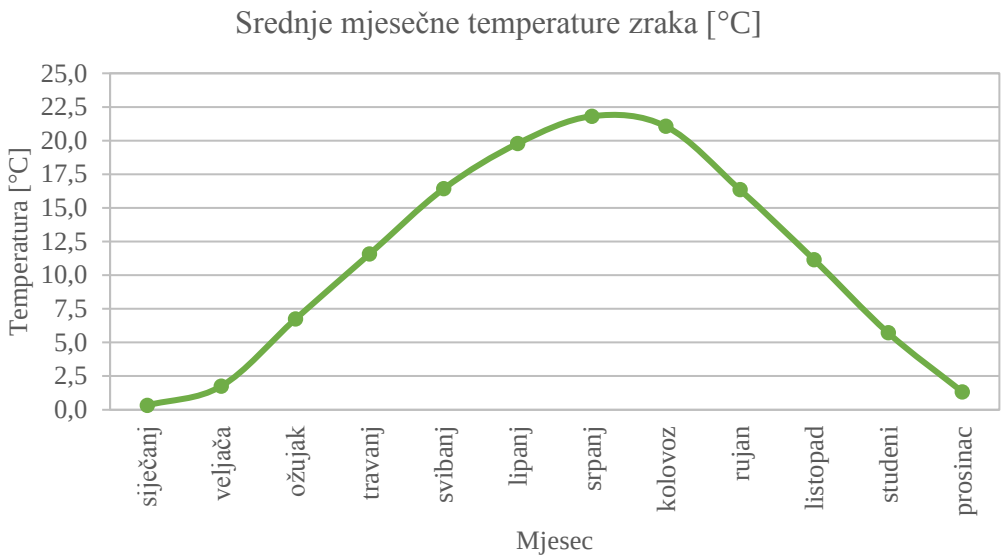


Slika 3-8. Srednje mjesečne oborine na meteorološkoj postaji Maksimir (1980.-2016.)

Srednja godišnja temperatura zraka na meteorološkoj postaji Pleso za razdoblje 1981.-2016. godine iznosi 11,2 °C. Minimalna vrijednost srednje godišnje temperature zraka iznosi 9,5 °C (1985. godina), a maksimalna vrijednost iznosi 12,7 °C (2014. godina; Slika 3-9.), pri čemu srednja mjesečna temperatura varira i doseže maksimum u srpnju (21,8 °C), a minimum u siječnju (0,3 °C; Slika 3-10.).

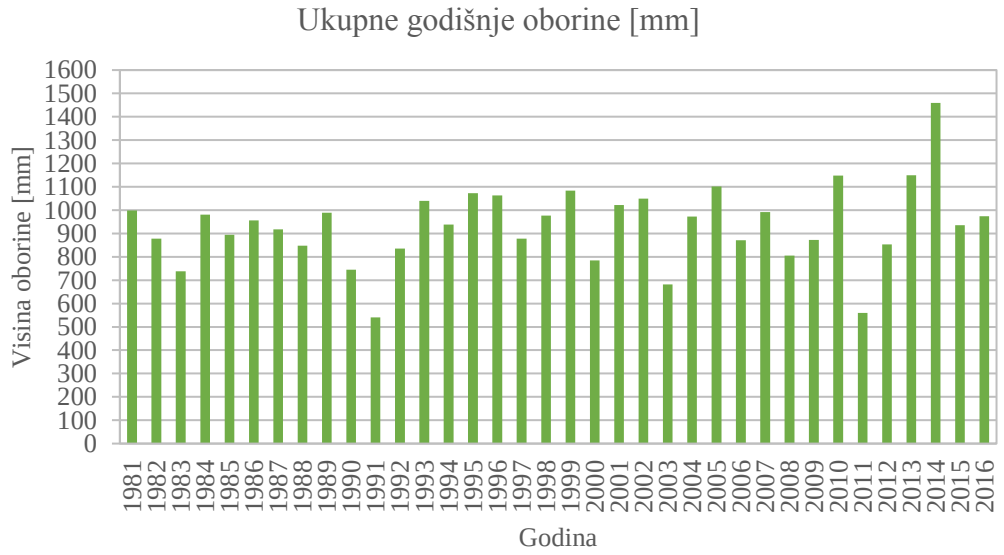


Slika 3-9. Srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.)

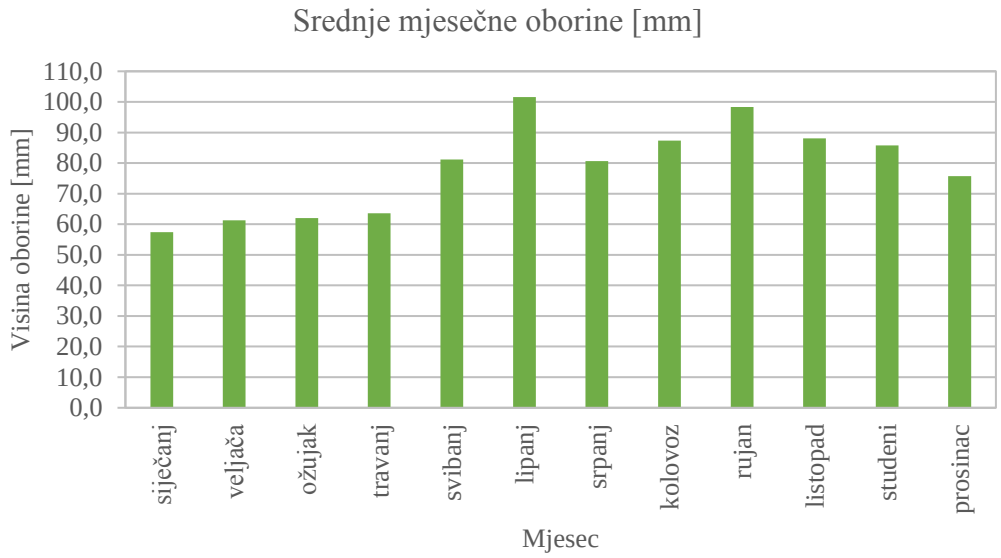


Slika 3-10. Srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.)

Na istoj meteorološkoj postaji, prosječna višegodišnja količina oborina za vremensko razdoblje 1981.-2016. godine iznosi 933,3 mm. Najmanje oborine registrirane su 1991. godine (540 mm), a najviše 2014. godine (1459,5 mm; Slika 3-11.). Visina srednjih mjesečnih oborina doseže maksimum u lipnju (101,6 mm), a minimum u siječnju (57,4 mm; Slika 3-12.).



Slika 3-11. Ukupne godišnje oborine na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.)



Slika 3-12. Srednje mjesečne oborine na meteorološkoj postaji Pleso (1981.-2016.)

3.2. Izračun evapotranspiracije

Za izračunavanje srednje godišnje stvarne evapotranspiracije je korištena formula L. Turc-a (1953):

$$E_T = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}, \qquad (3\text{-}1.)$$

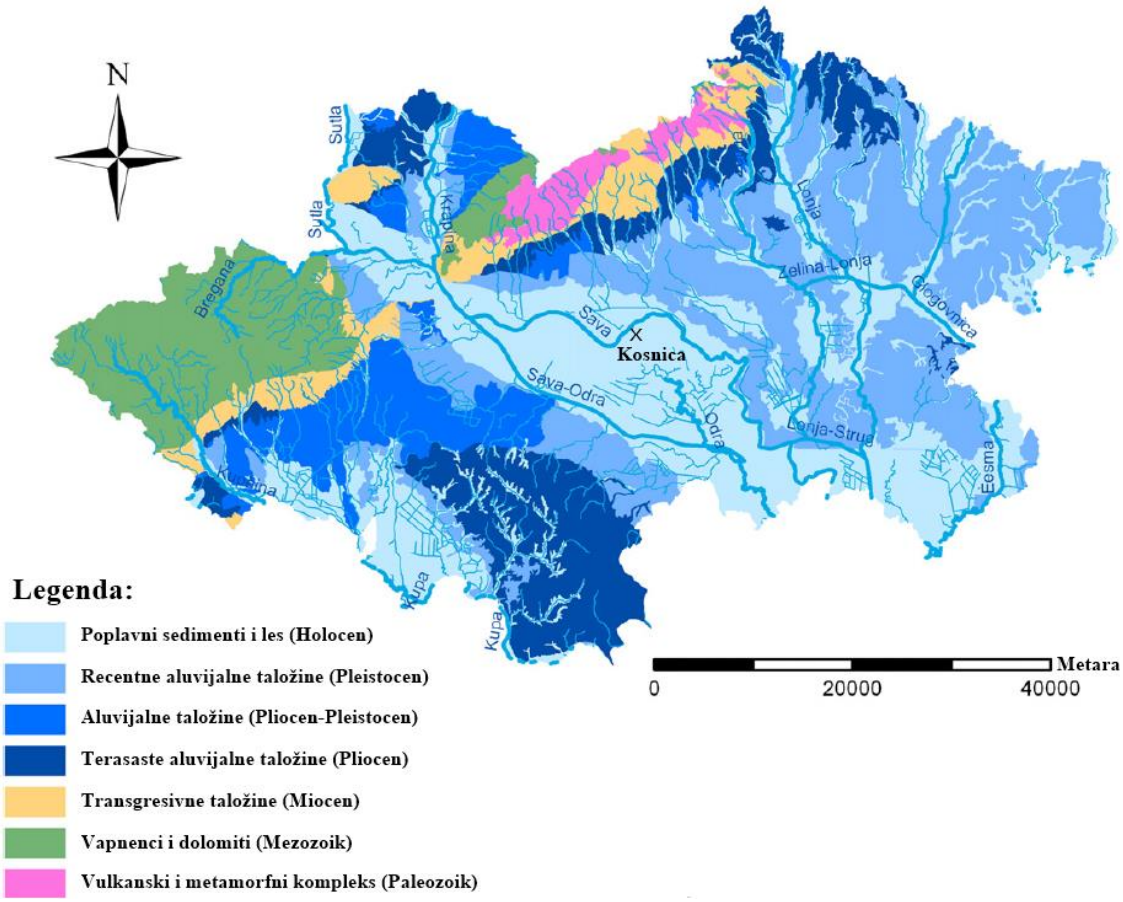
gdje je P visina srednjih godišnjih oborina (mm), $L = 300 + 25 \cdot T + 0{,}05 \cdot T^3$, a T je srednja godišnja temperatura zraka (°C). Izračunata evapotranspiracija za meteorološku postaju Grič iznosi 560,5 mm, Maksimir 532,3 mm, a za postaju Pleso 542,5 mm (Tablica 3-1.). Srednja godišnja stvarna evapotranspiracija se kreće u vrijednostima između 58,1 i 64,0 % oborine. Meteorološka stanica Pleso, gdje je izračunata najniža srednja godišnja stvarna evapotranspiracija, najbliža je crpilištu Kosnica.

Tablica 3-1. Evapotranspiracija na području meteoroloških postaja Grič, Maksimir i Pleso

Parametar / **Postaja**	**Grič**	**Maksimir**	**Pleso**
P_i (mm)	876,1	856,2	933,3
T_i (°C)	12,4	11,4	11,2
L (-)	705,3	659,1	650,2
E_T (mm)	560,5	532,3	542,5
E_T (%)	64,0	62,2	58,1

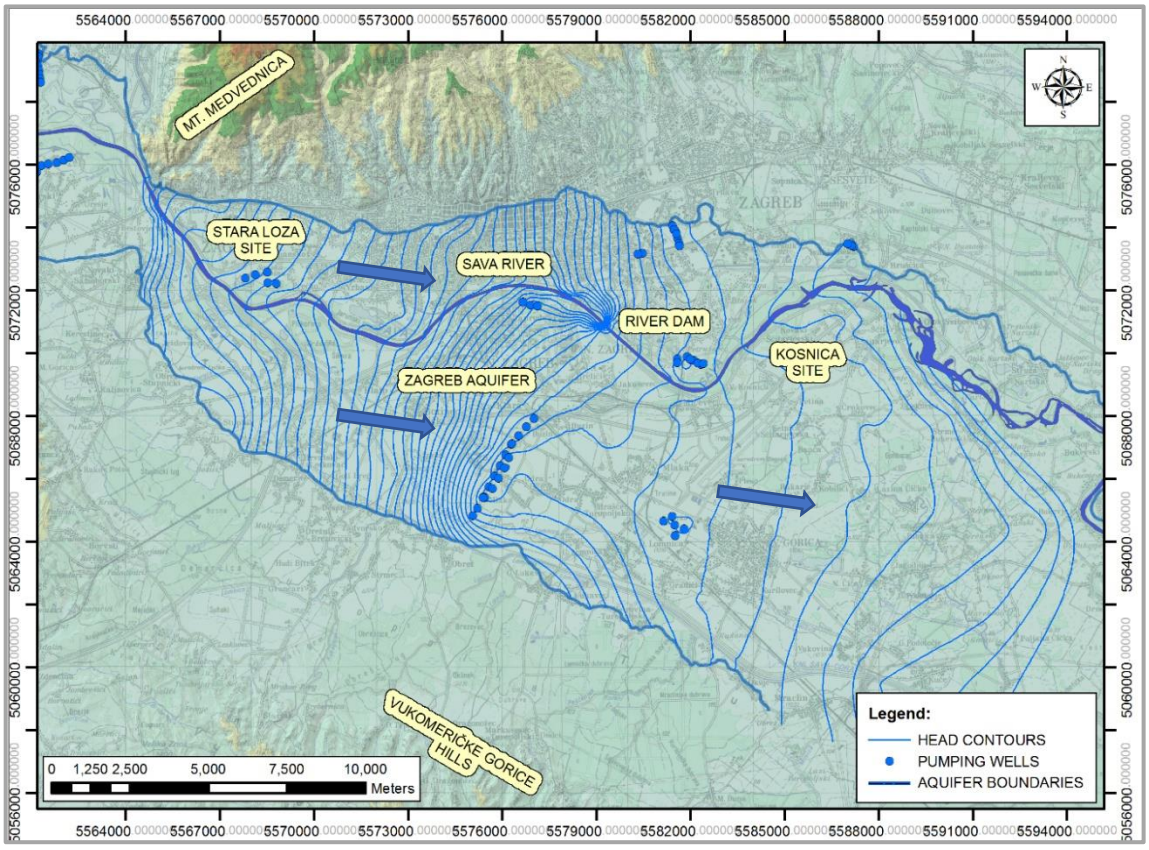
4. Geološke i hidrogeološke značajke šireg područja

Najstarije stratigrafske jedinice šireg područja su paleozojski magmatski i metamorfni kompleksi Medvednice, izgrađeni uglavnom od dijabaza, gabra, zelenog škriljavca i plavog škriljavca (Slika 4-1.). Mezozojske karbonatne stijene su dolomiti i vapnenci na području Samoborskog gorja i Žumberka. Paleozojsko-mezozojski masiv je okružen miocenskim sedimentima, koji su sastavljeni od transgresivne izmjene vapnenačkih breča, konglomerata, lapora, glina, pijeska i praha. Glavna litološka karakteristika ovog područja su pliocenski i kvartarni aluvijalni sedimenti rijeke Save u središnjem i sjevernom dijelu. Terasasti sedimenti se nalaze većinom u zapadnim i jugozapadnim dijelovima područja, a čine ih šljunci i pijesci, s podređenim pjeskovitim i prašinastim glinama. Sedimenti poplavne ravnice i korita se sastoje od pjeskovito-glinovitih prahova i prahovitih glina, sa slojevima drvenog ugljena. Pleistocenske sedimente čine jezerski sedimenti i les s pijeskom i šljunkom (Sollito i dr., 2010).



Slika 4-1. Pojednostavljena geološka karta zagrebačkog područja (modificirano prema Sollito i dr., 2010)

Zagrebački vodonosnik je otvoreni vodonosnik, odnosno gornju granicu saturacije mu čini vodna ploha pod atmosferskim tlakom. Rubne granice vodonosnika čine u hidrauličkom smislu nepropusna granica na sjeveru, granica dotjecanja na zapadu i jugu te granica otjecanja na istoku. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku/jugoistoku (Slika 4-2.).



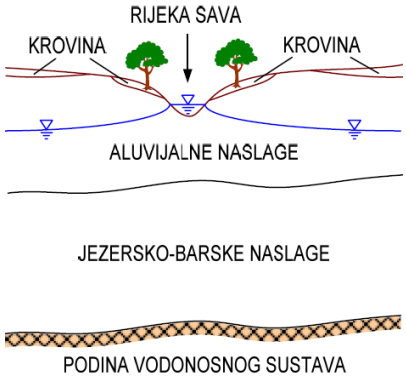
Slika 4-2. Generalni smjer toka podzemne vode (plave strelice) (prema Parlov i dr., 2012)

Napajanje vodonosnika se u najvećoj mjeri ostvaruje (Bačani, 2009):

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,
5. dotjecanjem po južnoj granici vodonosnika s područja Vukomeričkih Gorica.

Za vrijeme visokih voda Sava napaja vodonosnik duž cijelog toka, dok za vrijeme srednjih i niskih voda na pojedinim dijelovima toka dolazi do dreniranja vodonosnika. U profilu se razlikuju dva vodonosna sloja: prvi vodonosni sloj s dominantno aluvijalnim naslagama rijeke Save i drugi vodonosni sloj s dominantno jezersko-barskim naslagama (Slika 4-3.).

Debljina prvog vodonosnog sloja je od 5 do 10 metara u zapadnom dijelu do 40 metara u istočnom dijelu. Širina mu se mijenja od stotinjak metara do 10 000 metara. Debljina drugog vodonosnog sloja se u zapadnom dijelu kreće do 20 metara, a u istočnom dijelu je debljina znatno veća i iznosi do 60 metara. Slabo propusna krovina ili nije prisutna ili dostiže debljinu od nekoliko metara u većem dijelu vodonosnog sustava, dok se u jugoistočnom dijelu ili u rubnim predjelima povećava i do petnaestak metara. Podinu vodonosnog sustava čine slabo propusne naslage (Bačani, 2009).



Slika 4-3. Shematski profil zagrebačkog vodonosnog sustava (Posavec, 2006)

Na površini terena, na lokaciji crpilišta Kosnica, nalazi se humusni pokrivač, nakon toga slijedi prvi vodonosni sloj neujednačene debljine koji se sastoji od zbijenih šljunaka sa sadržajem pijeska i praha. Ipak prvi vodonosni sloj je uglavnom homogen s ponekim proslojcima i lećama prahovitog pijeska. Hidraulička vodljivost se smanjuje od najvećih vrijednosti kod rijeke Save ($K=1x10^{-2}$ m/s), prema manjim u središnjim dijelovima ($K=4\text{-}8x10^{-3}$ m/s), te najnižima na rubnim dijelovima sloja gdje je udio sitnozrnih komponenti najveći, te generalno od zapada prema istoku. Prvi i drugi vodonosni sloj razdvojeni su slabo propusnim slojem glinovitih naslaga debljine od 1 do 11 m, prosječne debljine 2,5 m i hidrauličke vodljivosti $K=1x10^{-6}$ m/s. Drugi vodonosni sloj s hidrauličkom vodljivosti $K=2\text{-}4x10^{-3}$ m/s doseže do podinskih slabo propusnih naslaga na dubini od oko 100 m (IRES EKOLOGIJA d.o.o., 2014).

Smjer toka vode na vodocrpilištu Kosnica je dominantno u smjeru sjeveroistoka. Zdenci zahvaćaju prvi vodonosni sloj, dosegnuvši dubinu prvog sloja gline na otprilike 30 m dubine. Voda zadovoljava uvjete propisane trenutno važećim Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13) i Pravilnikom o izmjenama Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 128/15).

5. Hidrogeokemijske značajke

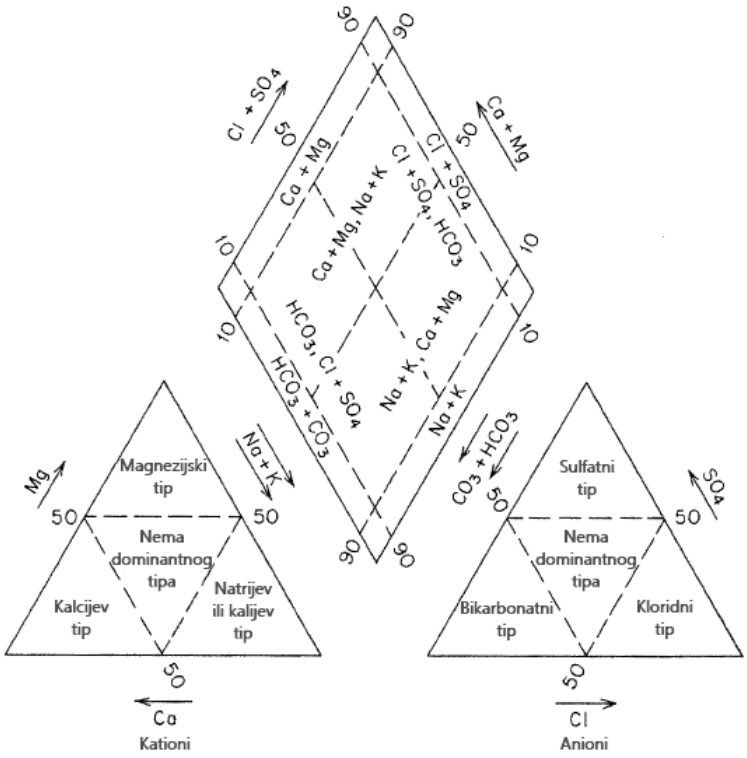
Hidrogeokemijske značajke na istraživanom području su određene na temelju kemijske analize provedene na 50 uzoraka (Prilozi 1-5) iz deset piezometara: A-2-1, Čdp-12/3, Čdp-13/1, Čdp-8/2, Čp-101, Čp-8, Mp-5, Pkb-1/1/3, Pkb-3/1/3, Pkb-5/1/3 (Slika 2-3.).

Za potrebe određivanja hidrokemijskog facijesa na temelju Piperovih trokomponentnih dijagrama je bilo nužno odrediti masenu koncentraciju otopljenih aniona i kationa Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}. Otopljeni sastojci u podzemnoj vodi se promatraju kao kemijski sustav s kationima i anionima u međusobnoj ravnoteži. Ravnoteža se odražava na razini ekvivalenata:

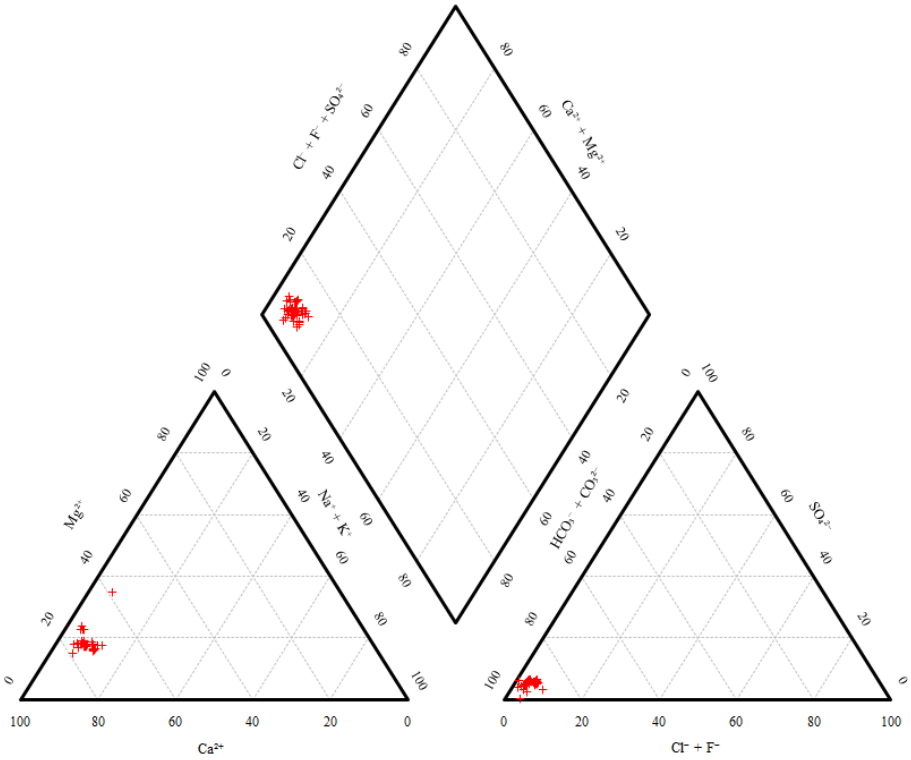
$$miliekvivalent\ (mmol\ ekv/L) = \frac{masena\ koncentracija\ u\ mg/l}{ekvivalent}. \qquad (5\text{-}1.)$$

Piperov dijagram je sastavljen od tri dijela: donji lijevi dijagram kojim se određuje tip vode s obzirom na katione, donji desni dijagram kojim se određuje tip vode s obzirom na anione i dijagram koji se nalazi između njih, a pomoću njega se određuje tip vode s obzirom na anione i katione (Slika 5-1.). Postoje četiri tipa vode s obzirom na katione (kalcijev tip, natrijev ili kalijev tip, magnezijski tip i miješana voda, odnosno voda u kojoj nema dominantnog tipa) te četiri tipa vode s obzirom na anione (bikarbonatni tip, kloridni tip, sulfatni tip i miješana voda, odnosno voda u kojoj nema dominantnog tipa).

Za lijevi trokut su potrebni postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih kationa (Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^+ + K^+$), dok su za desni trokut potrebni postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih aniona ($Cl^- + F^-$, SO_4^{2-}, $HCO_3^- + CO_3^{2-}$). Između trokuta se nalazi romb, za koji su potrebne sume postotnih udjela ekvivalenata odgovarajućih kationa i aniona ($Cl^- + F^- + SO_4^{2-}$, $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, $HCO_3^- + CO_3^{2-}$, $Na^+ + K^+$). Na slici 5-2. je prikazan ionski sastav svih uzoraka pomoću Piperovog dijagrama. S obzirom na to da ne postoji značajnija razlika u hidrokemijskim facijesima uzoraka, nije učinjeno daljnje raščlanjivanje hidrokemijskih facijesa s obzirom na pojedini piezometar. Prema kationima, podzemna voda na crpilištu Kosnica pripada kalcijevom tipu vode, dok prema anionima pripada bikarbonatnom tipu vode.



Slika 5-1. Piperov dijagram (prema Freeze i Cherry, 1979)



Slika 5-2. Piperov dijagram crpilišta Kosnica

6. Izotop tricija u podzemnoj vodi

Izotopi su atomi čija jezgra sadrži jednak broj protona, ali se broj neutrona razlikuje. Kemijski element je određen brojem protona, a maseni broj elementa je određen zbrojem protona i neutrona u jezgri. Izotopi se označavaju simbolom kemijskog elementa i masenim brojem u eksponentu, pr. ^{2}H. Prema stabilnosti jezgre se razlikuju stabilni i nestabilni (odnosno radioaktivni) izotopi. Vodik ima tri izotopa: ^{1}H (procij), ^{2}H (deuterij) i ^{3}H (tricij). Izotopi ^{1}H (99,9885%) i ^{2}H (0,0115%) su stabilni, dok je ^{3}H radioaktivan izotop.

6.1. Tricij (^{3}H)

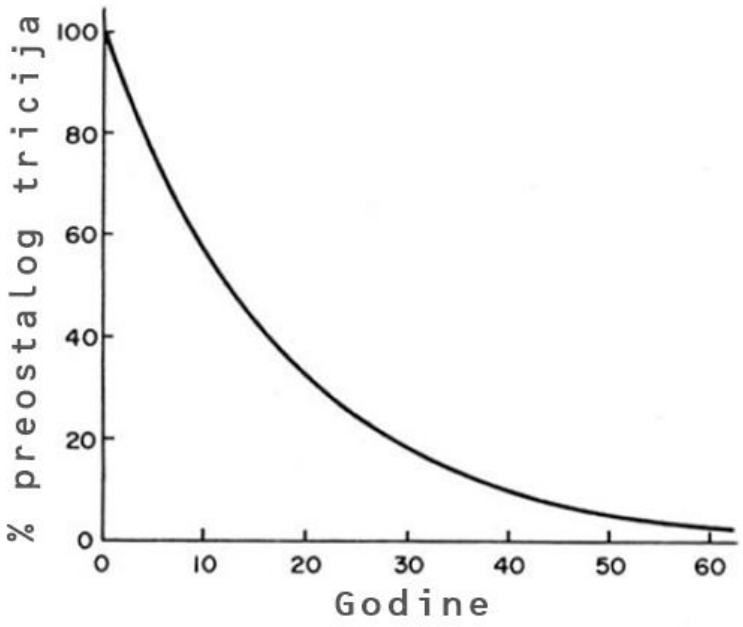
Tricij u atmosferi nastaje uglavnom prirodno, prilikom interakcije između kozmičkog zračenja i atmosferskih komponenti. ^{3}H nastaje u gornjim slojevima atmosfere u reakciji neutrona i dušika, pri čemu nastaje ^{15}N. ^{15}N je radioaktivan i raspada se u ugljik i tricij:

$$^{14}\mathrm{N} + \mathrm{n} \rightarrow {}^{15}\mathrm{N} \rightarrow {}^{3}\mathrm{H} + {}^{12}\mathrm{C} \qquad (6\text{-}1.)$$

Tricij se raspada putem beta raspada. Rezultat raspada radioaktivnog tricija je stabilni atom helija (kćer), a raspad se događa prema sljedećoj jednadžbi:

$$^{3}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}\mathrm{He} + \beta^{-} + \mathrm{energija} \qquad (6\text{-}2.)$$

Vrijeme radioaktivnog raspada se iskazuje kao vrijeme poluraspada, odnosno $T_{1/2}$, a definira se kao vrijeme potrebno da se koncentracija radioaktivnog elementa smanji na polovicu početne vrijednosti. Vrijeme poluraspada tricija iznosi 12,3 godine. Krivulja koja prikazuje radioaktivni raspad tricija je prikazana na slici 6-1.



Slika 6-1. Krivulja radioaktivnog raspada tricija (modificirano prema Mazor, 2004)

Jedinica za koncentraciju aktivnosti tricija u vodi je Bq/L vode, ali se u primjenama najčešće koristi jedinica TJ (engl. *Tritium Unit*, tricijeva jedinica) koja je definirana kao omjer jednog atoma ^{3}H prema 10^{18} atoma ^{1}H, što odgovara koncentraciji aktivnosti:

1 TJ = 7,2 raspad/min/L vode = 0,118 Bq/L.

Prirodnim putem nastaje oko 200 g tricija godišnje, a u atmosferi ga ima oko 3,6 kg. Tricij nastaje i u nuklearnim reaktorima (oko 25 g godišnje), kao i termonuklearnim eksplozijama. Procjenjuje se da je u razdoblju od 1952. do 1962. godine oko 600 kg tricija ubačeno u atmosferu, a kasnije, u razdoblju od 1967. do 1980. godine još oko 20 kg (Rožanski i dr., 1991). Koncentracija tricija u atmosferi je zbog toga porasla nekoliko tisuća puta. Nakon prekida nuklearnih testova, količina tricija u atmosferi postupno pada i danas se približava prirodnim vrijednostima.

6.2. Primjena tricija u hidrogeološkim istraživanjima

Mjerenja radioaktivnog izotopa tricija mogu dati korisne informacije u hidrogeološkim istraživanjima u svrhu datiranja podzemne vode, procjene brzine obnavljanja podzemne vode, određivanja količine preostalog tricija u odnosu na inicijalnu koncentraciju u nekom periodu te ukazivanja na određene kontaminacije.

Metode datiranja se oslanjaju na jedinstveno svojstvo radioaktivnog raspada, a uključuju komparativno mjerenje promjene radioaktivnosti između točke ulaza radioaktivnog elementa i točke na kojoj se vrši istraživanje. Datiranje pomoću tricija se vrši determiniranjem vremena prisutnosti tricija u plitkoj podzemnoj vodi i izvorskoj vodi, pri čemu je ograničenje starost do 150 godina. Klasična ^{3}H metoda se odnosi na aktivnost okolišnog kozmogenog tricija u kišnici. Ta metoda je imala limitiranu primjenjivost zbog drastičnog porasta koncentracije tricija između ranih 1950-ih i 1963./1964., nastalog kao rezultat testiranja nuklearnih oružja. Ovaj ulaz ^{3}H u hidrosferu se koristi za određivanje srednjeg vremena prisutnosti tricija. Za dobivanje preciznijih rezultata je poželjno koristiti podatke koji su mjereni kroz duži vremenski period, zato što pojedinačna mjerenja koncentracije tricija uglavnom pokazuju nesigurno srednje vrijeme prisutnosti tricija (Geyh, 2000).

U svrhu grube procjene starosti podzemne vode, odnosno semikvantitativnog datiranja, može poslužiti sljedeća podjela (Mazor, 2004):

- voda gotovo bez tricija (u praksi < 0,5 TJ) se odnosi na vodu koja se akumulirala u podzemlju prije 1952. godine,
- voda sa značajnim koncentracijama tricija (u praksi > 10,0 TJ) se odnosi na vodu koja se akumulirala u podzemlju nakon 1952. godine,
- voda s malo tricija (0,5-10,0 TJ) se odnosi na vodu koja je mješavina vode akumulirane u podzemlju prije i poslije 1952. godine.

Koncentracija tricija se može koristiti za procjenu brzine obnavljanja podzemne vode pomoću pomicanja maksimuma (engl. *peak*) trasera (tricija). Pretpostavke koje se koriste su: traser i sva voda u tlu se kreću simultano. *Peak* trasera na poziciji z u vremenu t je rezultat integriranog utjecaja kretanja prema dolje (odnosno infiltracije) i kretanja prema gore (evaporacije) koji su se dogodili tijekom razdoblja t-t_0 (t_0 je početno vrijeme). Količina vode uskladištena u sekciji tla između pozicije z i z_0 predstavlja stvarno obnavljanje ili stvaran gubitak nastao evaporacijom, ako se pozicija z nalazi iznad početne pozicije z_0 (Geyh, 2000). Određivanje količine preostalog tricija nakon određenog razdoblja uz poznatu inicijalnu koncentraciju se vrši iščitavanjem postotka preostalog tricija nakon određenog razdoblja (Slika 6-1.).

Povišene koncentracije aktivnosti ^{3}H u prirodnim vodama mogu ukazivati na određene kontaminacije, kao što je bilo značajno povišenje ^{3}H u atmosferi, odnosno oborinama, uslijed termonuklearnih eksplozija šezdesetih godina prošlog stoljeća, dok povišene koncentracije

^{3}H u površinskim i podzemnim vodama mogu biti posljedica većih ispusta iz nuklearnih elektrana (Horvatinčić i dr., 2011).

Još neke od primjene tricija u hidrogeološkim istraživanjima su: procjena brzine infiltracije, određivanje lokalnog režima obnavljanja podzemne vode, određivanja količine obnavljanja podzemne vode preko oborina, određivanje postotka kontaminacije termalnih voda (u kojima je sadržaj tricija izuzetno nizak) izvorskim i površinskim vodama (u kojima je sadržaj tricija, u odnosu na termalne vode, visok).

6.3. Mjerenje koncentracije aktivnosti tricija

Mjerenje koncentracije aktivnosti tricija u uzorcima vode se vrši pomoću elektrolitičkog obogaćenja i tekuće scintilacijske spektrometrije. Voda se uzorkuje i sprema u plastičnim bocama čiji je volumen jedna litra. Jedan ciklus mjerenja koncentracije tricija pomoću elektrolitičkog obogaćenja traje osam dana. Uzorci vode se trebaju destilirati prije elektrolitičkog obogaćenja (Slika 6-2.). Nakon primarne destilacije se mjeri električna vodljivost vode i ona treba biti ispod 50 $\mu S\ cm^{-1}$.



Slika 6-2. Primarna destilacija

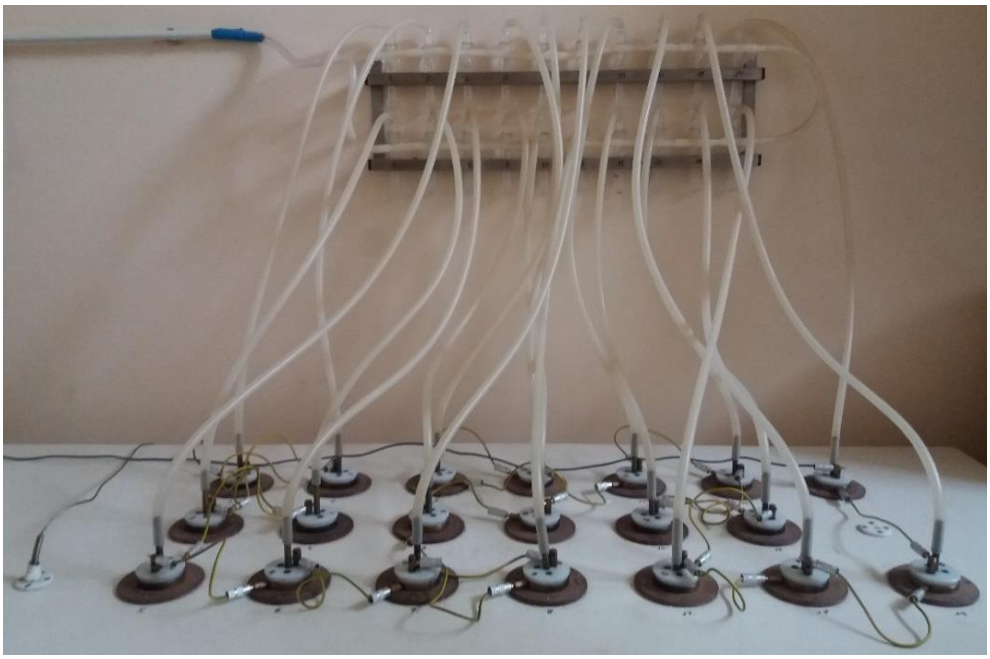
Uređaj za elektrolitičko obogaćenje vode tricijem se sastoji od 20 ćelija volumena 500 mL (katoda od nehrđajućeg čelika i anoda od mekog čelika). U svakom procesu obogaćenja se elektrolizira 15 uzoraka nepoznate aktivnosti, 3 uzroka poznate aktivnosti ^{3}H (engl. "*spike*" voda) i 2 uzorka koji ne sadrže ^{3}H (mrtva voda, engl. "*background*" uzorci) radi kontrole

sustava (Slika 6-3.). Za jedan postupak elektrolize se troši 1420 Ah tijekom 8 dana, a početni volumen uzorka se prilikom procesa elektrolize smanji s 500 mL na 18±1 mL. Ćelije se važu dok su prazne, odnosno prije ulijevanja vode i nakon ulijevanja vode. Podaci o početnoj i konačnoj masi uzorka se koriste za određivanje faktora i parametra obogaćenja koji definiraju uspješnost elektrolize (Barešić i dr., 2011).



Slika 6-3. Ćelije za elektrolizu vode

Prilikom svakog ciklusa elektrolitičkog obogaćenja vode se ćelije raspoređuju po unaprijed određenom rasporedu na način da se prati sljedeći raspored: mrtva voda – uzorci – "*spike*" voda. Ćelije se smještaju u hladnjaku radi hlađenja ćelija tijekom elektrolize (Slika 6-4.).



Slika 6-4. Uređaj za elektrolitičko obogaćivanje

Nakon elektrolize se važu ćelije, a zatim se provodi sekundarna destilacija (Slika 6-5.). Po završetku sekundarne destilacije slijedi priprema uzoraka za mjerenje koncentracije aktivnosti u tekućinskom scintilacijskom brojaču *Quantulus 1220*. Potrebno je pripremiti 24 bočice. U bočice označene s brojevima 1 do 20 se ulijevaju obogaćeni uzorci, 3 "*spike*" uzorka i 2 "*background*" uzorka. Na poziciji 21 se nalazi "*spike*" uzorak prije obogaćenja, na poziciji 22 i 23 se nalaze tricijski standardi, a na poziciji 24 se nalazi uzorak vode u kojoj nema tricija. U bočice se ulijeva 8 mL uzorka i 12 mL scintilacijskog koktela. Nakon protresanja bočice s uzorkom i koktelom, bočice se transportiraju do brojača. Mjerenje u tekućinskom scintilacijskom brojaču se obično provodi u ciklusima i prosječno vrijeme mjerenja po uzorku iznosi 500 minuta.



Slika 6-5. Sekundarna destilacija

Nakon mjerenja je potrebno odrediti srednje vrijednosti očitanja za sve uzorke. Na temelju početne i konačne mase uzorka te odbroja (cpm – *count rate/minute*) "*spike*" uzoraka prije i poslije elektrolize, određuju se faktor obogaćenja *E* i parametar obogaćenja *P* koji ujedno definiraju i uspješnost elektrolize (Barešić i dr., 2011).

Aktivnost tricijevog strandarda se računa po formuli:

$$A_{TC} = A_T \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \qquad (6\text{-}3.)$$

gdje je:

A_{TC} – aktivnost tricija u standardu, korigirana za vrijeme mjerenja,

A_T – početna aktivnost tricijevog standarda (za datum pripreme),

λ – konstanta raspada za tricij, $\lambda = 0{,}056262$ [god^{-1}],

t – vrijeme proteklo između pripreme tricijevog standarda i mjerenja [god].

Faktor kalibracije [TU/cpm] se računa tako što se podijeli aktivnost standarda (u TU), korigirana za raspad na datum mjerenja, s prosječnim iznosom odbroja.

Individualan faktor obogaćenja (E_{SP}) za "*spike*" ćelije je omjer iznosa odbroja za "*spike*" uzorke nakon obogaćenja i srednje vrijednosti iznosa odbroja prije obogaćenja. Individualni *P* parametri obogaćenja za tri "*spike*" ćelije se računa po formuli:

$$P_{SP} = \frac{(W_i - W_f)}{\frac{Q}{2{,}975}} \cdot \frac{\ln(E_{SP})}{\ln(\frac{W_i}{W_f})} \qquad (6\text{-}4.)$$

gdje je:

P_{SP} – parametar obogaćenja za "*spike*" ćeliju,

W_i, W_f – početna/krajnja efektivna masa vode u ćeliji,

Q – ukupni naboj korišten za ciklus obogaćenja [Ah],

2,975 – Faradejeva konstanta,

E_{SP} – faktor obogaćenja za "*spike*" ćeliju.

Iz individualnih P-parametara se računa prosječni P-faktor (P_{AV}) za sve tri "*spike*" ćelije. Individualni faktori obogaćenja se za obogaćene uzorke (E_S) računaju po formuli:

$$E_S = exp\left\{\frac{P_{AV} \cdot Q}{(W_i - W_f) \cdot 2{,}975} \cdot \ln\frac{W_i}{W_f}\right\} \qquad (6\text{-}5.)$$

gdje je:

E_S – individualni faktor obogaćenja za obogaćeni uzorak vode,

P_{AV} – prosječni parametar obogaćenja za "*spike*" ćelije,

W_i, W_f – početna/krajnja efektivna masa vode u ćeliji,

Q – ukupni naboj korišten za ciklus obogaćenja [Ah],

2,975 – Faradejeva konstanta.

Tricijev sadržaj u pojedinom uzorku se računa po sljedećoj formuli:

$$A_T = \frac{N_{SA} \cdot A_{ST}}{N_{ST} \cdot E_S} \qquad (6\text{-}6.)$$

gdje je:

A_T – sadržaj tricija u uzorku,

N_{SA} – iznos odbroja uzorka [cpm],

N_{ST} – iznos odbroja standarda [cpm],

A_{ST} – aktivnost tricija u standardu na dan mjerenja [TJ],

E_S – faktor obogaćenja uzorka.

Izračunata aktivnost tricija se korigira za datum uzorkovanja koristeći sljedeću formulu:

$$A_{TC} = A_T \cdot \exp(\lambda \cdot t) \qquad (6\text{-}7.)$$

gdje je:

A_{TC} – aktivnost tricija u uzorku, korigirana za vrijeme uzorkovanja,

A_T – mjerena aktivnost tricija u uzorku,

λ – konstanta raspada za tricij, $\lambda = 0{,}056262$ [god^{-1}],

t – vrijeme proteklo između uzorkovanja i mjerenja [god].

6.4. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija

Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u uzorcima uzorkovanima u piezometrima u razdoblju između veljače 2016. godine i siječnja 2017. godine su prikazani u tablicama 6-1 do 6-12. Osim u uzorcima iz piezometara, mjerena je koncentracija aktivnosti tricija u oborinama na postaji Zagreb-Grič (Tablica 6-13) te u uzorcima iz rijeke Save (Tablica 6-14), uzorkovanim na lokaciji Domovinski most (Slika 2-3.). Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija na postaji Zagreb-Grič su uključeni u bazu podataka GNIP (engl. *Global Network of Isotopes in Precipitation*). U 2016. godini nedostaju mjerenja za srpanj i prosinac zato što u tim mjesecima nije bilo oborina, kao niti u siječnju 2017. godine. Sva mjerenja koncentracije aktivnosti tricija obavljena su u Laboratoriju za mjerenje niskih radioaktivnosti Instituta Ruđer Bošković.

Tablica 6-1. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.2.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4656	A-2-1, 25.2.16.	12,8	1,5
Čdp-12/3	T-4651	ČDP 12/3, 25.2.16.	15,3	1,6
Čdp-13/1	T-4655	ČDP 13/1, 25.2.16.	8,6	1,3
Čdp-8/2	T-4654	ČDP 8/2, 25.2.16.	19,8	1,7
Čp-101	T-4650	G-ČP 101, #4	8,7	1,6
Čp-8	T-4652	ČP 8, 25.2.16.	12,2	1,5
Mp-5	T-4653	MP 5, 25.2.16.	8,0	1,3
Pkb-1/1/3	T-4647	G-PKB 1/1/3, #1	9,9	1,8
Pkb-3/1/3	T-4648	G-PKB 3/1/3, #2	11,5	2,0
Pkb-5/1/3	T-4649	G-PKB 5/1/3, #3	11,7	2,1

Tablica 6-2. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 31.3.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4666	A-2-1 31.3.2016	12,7	2,0
Čdp-12/3	T-4661	ČDP 12/3, 31.3.16	16,3	1,6
Čdp-13/1	T-4665	ČDP-13/1, 31.3.16	10,2	1,3
Čdp-8/2	T-4663	ČDP-8/2, 31.3.16	9,4	1,3
Čp-101	T-4660	ČP-101, 31.3.16	10,7	1,4
Čp-8	T-4662	ČP-8, 31.3.16	15,5	5,1
Mp-5	T-4664	MP-5, 31.3.16	16,0	1,6
Pkb-1/1/3	T-4657	PKB 1/1/3, 31.3.16	11,9	1,4
Pkb-3/1/3	T-4658	PKB 3/1/3, 31.3.16.	13,4	1,5
Pkb-5/1/3	T-4659	PKB 5/1/3, 31.3.16.	11,2	1,4

Tablica 6-3. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 2.5.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4691	A-2-1, 2.5.2016.	14,7	2,5
Čdp-12/3	T-4686	ČDP 12/3, 2.5.2016.	16,7	3,1
Čdp-13/1	T-4690	ČDP 3/1/1, 2.5.2016.	8,8	1,6
Čdp-8/2	T-4689	ČDP 8/2, 2.5.2016.	16,3	3,0
Čp-101	T-4685	ČP-101, 2.5.2016.	10,8	2,0
Čp-8	T-4687	ČP 8, 2.5.2016.	13,1	2,3
Mp-5	T-4688	MP5, 2.5.2016.	10,1	1,9
Pkb-1/1/3	T-4682	PKB 1/1/3, 2.5.2016.	11,8	2,3
Pkb-3/1/3	T-4683	PKB 3/1/3, 2.5.2016.	13,9	2,5
Pkb-5/1/3	T-4684	PKB 5/1/3, 2.5.2016.	12,6	2,2

Tablica 6-4. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 27.5.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4701	T-4701, A-2-1, 27.5.16.	14,9	2,1
Čdp-12/3	T-4696	T-4696, ČDP 12/3, 27.5.16.	17,9	2,5
Čdp-13/1	T-4700	T-4700, ČDP 13/1/, 27.5.16.	10,6	1,6
Čdp-8/2	T-4699	T-4699, ČDP 8/2, 27.5.16.	18,5	2,7
Čp-101	T-4695	ČP-101, 27.5.2016	11,5	1,8
Čp-8	T-4697	T-4697, ČP-8, 27.5.16.	13,2	1,9
Mp-5	T-4698	T-4698, MP5, 27.5.16	10,8	1,6
Pkb-1/1/3	T-4692	PKB 1/1/3, 27.5.2016	10,6	2,1
Pkb-3/1/3	T-4693	PKB 3/1/3, 27.5.2016	13,9	2,3
Pkb-5/1/3	T-4694	PKB 5/1/3, 27.5.2016	12,5	2,2

Tablica 6-5. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 28.6.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4719	A-2-1, 28.6. 2016	14,1	2,2
Čdp-12/3	T-4714	T-4714, ČDP 12/3, 28.6.16.	16,9	2,2
Čdp-13/1	T-4718	T-4718, ČDP 13/1, 28.6.16.	8,9	1,3
Čdp-8/2	T-4717	T-4717, ČDP 8/2, 28.6.16.	18,0	2,4
Čp-101	T-4713	T-4713, ČP 101, 28.6.16.	12,6	2,0
Čp-8	T-4715	T-4715, ČP 8, 28.6.16.	13,7	1,9
Mp-5	T-4716	T-4716, MP-5, 28.6.16.	11,6	1,7
Pkb-1/1/3	T-4710	T-4710, PKB 1/1/3, 28.6.16.	12,1	1,8
Pkb-3/1/3	T-4711	T-4711, PKB 3/1/3, 28.6.16.	16,2	2,4
Pkb-5/1/3	T-4712	T-4712, PKB 5/1/3, 28.6.16.	13,7	1,8

Tablica 6-6. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.7.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4729	A-2-1, 25.7.2016.	13,2	1,9
Čdp-12/3	T-4724	ČDP 12/3, 25.7.2016.	16,0	2,4
Čdp-13/1	T-4728	ČDP 13/1, 25.7.2016.	8,3	1,5
Čdp-8/2	T-4727	ČDP 8/2, 25.7.2016.	11,8	1,9
Čp-101	T-4723	ČP 101, 25.7.2016.	11,9	1,9
Čp-8	T-4725	ČP 8, 25.7.2016.	13,0	1,9
Mp-5	T-4726	MP 5, 25.7.2016.	16,1	2,2
Pkb-1/1/3	T-4720	PKB 1/1/3, 25.7.2016.	12,2	1,8
Pkb-3/1/3	T-4721	PKB 3/1/3, 25.7.2016..	13,6	1,8
Pkb-5/1/3	T-4722	PKB 5/1/3, 25.7.2016.	12,7	3,8

Tablica 6-7. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.8.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4796	A-2-1, 25.8.2016.	13,5	1,8
Čdp-12/3	T-4791	ČDP 12/3, 25.8.2016.	11,2	1,6
Čdp-13/1	T-4795	ČDP 13/1, 25.8.2016.	8,9	1,4
Čdp-8/2	T-4794	ČDP 8/2, 25.8.2016.	14,3	1,8
Čp-101	T-4790	ČP 101, 25.8.2016.	11,3	1,7
Čp-8	T-4792	ČP 8, 25.8.2016.	13,2	1,9
Mp-5	T-4793	MP 5, 25.8.2016.	12,6	1,8
Pkb-1/1/3	T-4787	PKB 1/1/3, 25.8.2016.	11,8	1,6
Pkb-3/1/3	T-4788	PKB 3/1/3, 25.8.2016.	14,2	1,8
Pkb-5/1/3	T-4789	PKB 5/1/3, 25.8.2016.	13,0	1,7

Tablica 6-8. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 29.9.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4806	A21, ČDP 13/1, 29.9.2016.	14,8	1,9
Čdp-12/3	T-4801	ČDP, 12/3. 29.9.2016.	17,4	2,1
Čdp-13/1	T-4805	ČDP 13/1, 29.9.2016.	10,3	1,4
Čdp-8/2	T-4804	ČDP 8/2, 29.9.2016.	17,5	2,2
Čp-101	T-4800	ČP 101, 29.9.2016.	12,6	1,7
Čp-8	T-4802	ČP 8, 29.9.2016.	14,5	1,8
Mp-5	T-4803	MP5, 29.9.2016.	14,1	1,7
Pkb-1/1/3	T-4797	PKB 1/1/3, 29.9.2016.	8,6	1,2
Pkb-3/1/3	T-4798	PKB 3/1/3, 29.9.2016.	9,0	1,1
Pkb-5/1/3	T-4799	PKB 5/1/3, 29.9.2016.	8,9	1,2

Tablica 6-9. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 25.10.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4816	G-A21, 25.10.2016.	11,8	2,3
Čdp-12/3	T-4811	G-ČDP 12/3, 25.10.2016.	12,4	2,3
Čdp-13/1	T-4815	G-ČDP 13/1, 25.10.2016.	8,8	1,7
Čdp-8/2	T-4814	G-ČDP 8/2, 25.10.2016.	16,2	2,7
Čp-101	T-4810	G-ČP 101, 25.10.2016.	11,0	1,9
Čp-8	T-4812	G-ČP 8, 25.10.2016.	9,7	1,9
Mp-5	T-4813	G-MP5, 25.10.2016.	13,2	2,5
Pkb-1/1/3	T-4807	PKB 1/1/3, 25.10.2016.	11,0	1,3
Pkb-3/1/3	T-4808	G-PKB 3/1/3, 25.10.2016.	15,6	1,8
Pkb-5/1/3	T-4809	G-PKB 5/1/3, 25.10.2016.	13,6	1,9

Tablica 6-10. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 24.11.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4842	G-A21, 24.11.2016.	12,4	1,9
Čdp-12/3	T-4837	G-ČDP 12/3, 24.11.2016.	17,3	2,5
Čdp-13/1	T-4841	G-ČDP 13/1, 24.11.2016.	7,9	1,2
Čdp-8/2	T-4840	G-ČDP 8/2, 24.11.2016.	13,4	2,0
Čp-101	T-4836	G-ČP 101, 24.11.2016.	8,8	1,4
Čp-8	T-4838	G-ČP 8, 24.11.2016.	14,0	2,0
Mp-5	T-4839	G-MP5, 24.11.2016.	19,9	2,9
Pkb-1/1/3	T-4833	G-PKB, 1/1/3, 24.11.2016.	11,2	2,2
Pkb-3/1/3	T-4834	G-PKB, 3/1/3, 24.11.2016.	9,0	1,8
Pkb-5/1/3	T-4835	G-PKB 5/1/3, 24.11.2016.	14,8	3,1

Tablica 6-11. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 19.12.2016.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4852	G-A21, 19.12.2016.	12,9	1,9
Čdp-12/3	T-4847	G-ČDP 12/3, 19.12.2016.	15,0	2,0
Čdp-13/1	T-4851	G-ČDP13/1, 19.12.2016.	8,5	1,3
Čdp-8/2	T-4850	G-ČDP 8/2, 19.12.2016.	14,4	1,9
Čp-101	T-4846	G-ČP-101, 19.12.2016.	11,2	1,6
Čp-8	T-4848	G-ČP 8, 19.12.2016.	13,5	1,8
Mp-5	T-4849	G-MP5, 19.12.2016.	31,2	4,0
Pkb-1/1/3	T-4843	G-PKB, 1/1/3, 19.12.2016.	11,5	1,7
Pkb-3/1/3	T-4844	G-PKB, 3/1/3, 19.12.2016.	14,4	1,9
Pkb-5/1/3	T-4845	G-PKB, 5/1/3, 19.12.2016.	13,7	2,2

Tablica 6-12. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija za uzorke uzorkovane 23.1.2017.

Piezometar	Kôd uzorka	Opis uzorka	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
A-2-1	T-4868	G-A21, 23.01.17.	12,7	1,8
Čdp-12/3	T-4863	G-ČDP 12/3, 23.01.17.	14,7	2,1
Čdp-13/1	T-4867	G-ČDP 13/1, 23.01.17.	7,7	1,1
Čdp-8/2	T-4866	G-ČDP 8/2, 23.01.17.	14,7	2,2
Čp-101	T-4862	G-ČP-101, 23.01.17.	10,9	1,6
Čp-8	T-4864	G-ČP 8, 23.01.17.	13,1	2,0
Mp-5	T-4865	G-MP5, 23.01.17.	27,2	3,5
Pkb-1/1/3	T-4859	G-PKB, 1/1/3, 23.01.17.	12,2	1,6
Pkb-3/1/3	T-4860	G-PKB, 3/1/3, 23.01.17.	14,1	2,1
Pkb-5/1/3	T-4861	G-PKB, 5/1/3, 23.01.17.	13,5	1,9

Tablica 6-13. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u oborinama (Grič)

Kôd uzorka	Opis uzorka	Datum uzorkovanja	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
T-4636	P-GRIČ, 2/2016	28.2.2016	7,7	1,1
T-4678	P-GRIČ, 3/2016	31.3.2016	10,4	1,4
T-4679	P-GRIČ, 4/2016	30.4.2016	9,8	1,3
T-4708	P-GRIČ, 5/2016	31.5.2016	9,9	1,4
T-4709	P-GRIČ, 6/2016.	30.6.2016	9,1	1,3
T-4736	P-GRIČ, 8/2016	31.8.2016	8,8	1,3
T-4780	P-GRIČ, 9/2016	30.9.2016	8,1	1,1
T-4781	P-GRIČ, 10/2016	31.10.2016	5,5	0,8
T-4828	P-GRIČ, 11/2016	30.11.2016	4,5	0,8

Tablica 6-14. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u uzorcima iz rijeke Save (Domovinski most)

Kôd uzorka	Opis uzorka	Datum uzorkovanja	Aktivnost [TJ]	St. dev. [TJ]
T-4634	S-Sava, Dom. Most	24.2.2016.	5,7	1,3
T-4646	S-Sava, Dom. Most	30.3.2016.	4,9	0,9
T-4680	S-SAVA, DOM. M. 01.06.2016	1.6.2016.	44,5	5,5
T-4702	S-SAVA, DOM. M. 05.07.2016	5.7.2016.	5,4	0,9
T-4760	S-SAVA, DOM. M. 06.10.2016	6.10.2016.	168,6	20,9
T-4771	S-SAVA, DOM. M. 04.11.2016	4.11.2016.	5,9	0,8
T-4779	S-D. MOST, 6.12.2016.	6.12.2016.	6,2	0,9
T-4825	S-D. MOST, 12.1.2017.	12.1.2017.	5,2	0,7

6.5. Interpretacija podataka

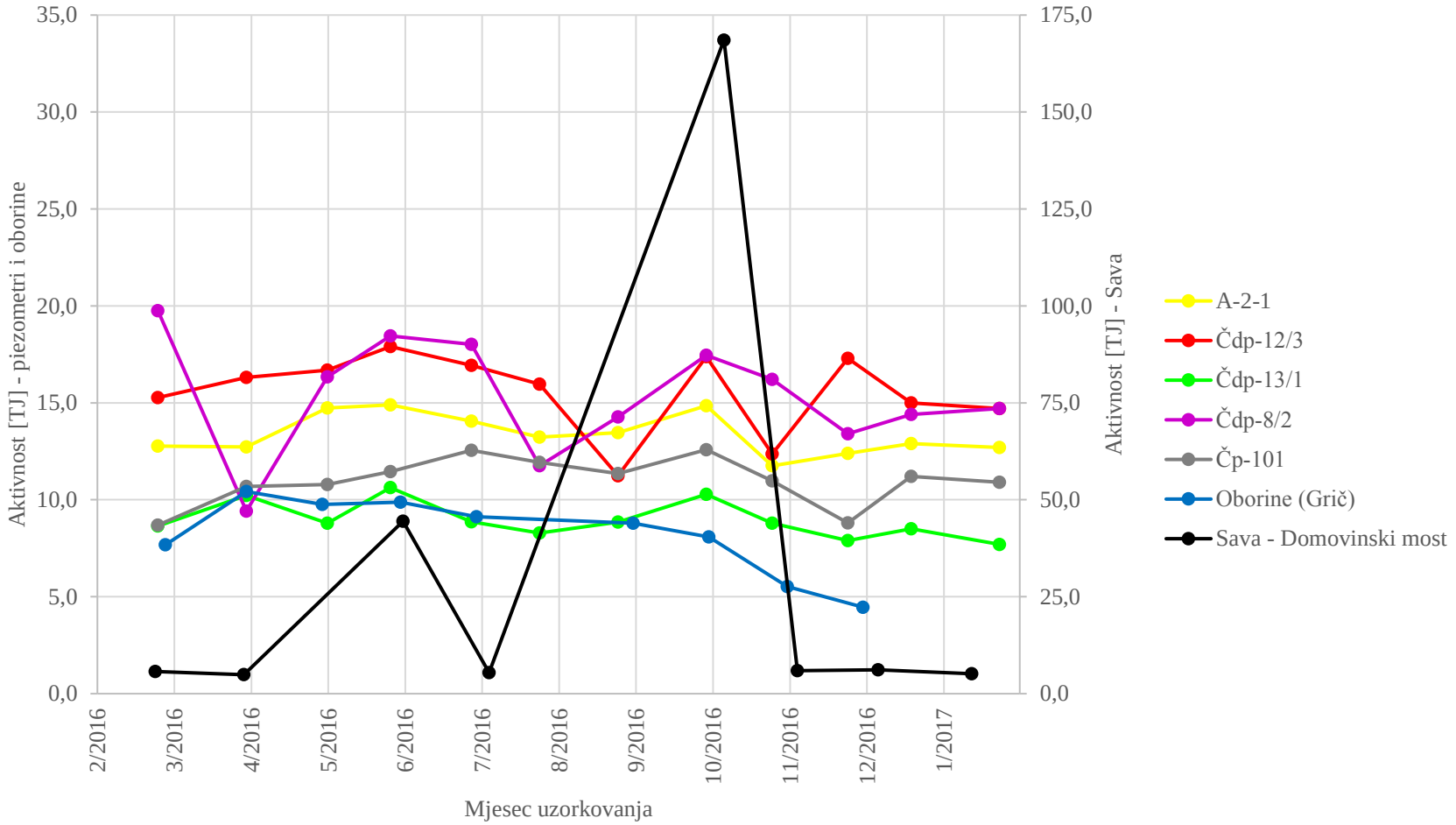
U svrhu grube procjene starosti podzemne vode, odnosno semikvantitativnog datiranja, izračunate su srednje vrijednosti rezultata mjerenja koncentracije aktivnosti tricija po piezometrima, i prikazane u tablici 6-15. Prema podjeli koju je naveo Mazor (2004), voda u svim piezometrima, osim u piezometru Čdp-13/1 se može datirati kao voda sa značajnim koncentracijama tricija, odnosno kao voda koja se akumulirala u podzemlju nakon 1952. godine (> 10,0 TJ). U piezometru Čdp-13/1 je izmjerena nešto manja koncentracija aktivnosti tricija (9,0 TJ), te je takva voda datirana kao voda s malo tricija, odnosno kao voda koja je mješavina vode akumulirane u podzemlju prije i poslije 1952. godine.

Tablica 6-15. Srednje vrijednosti rezultata mjerenja koncentracije aktivnosti tricija po piezometrima

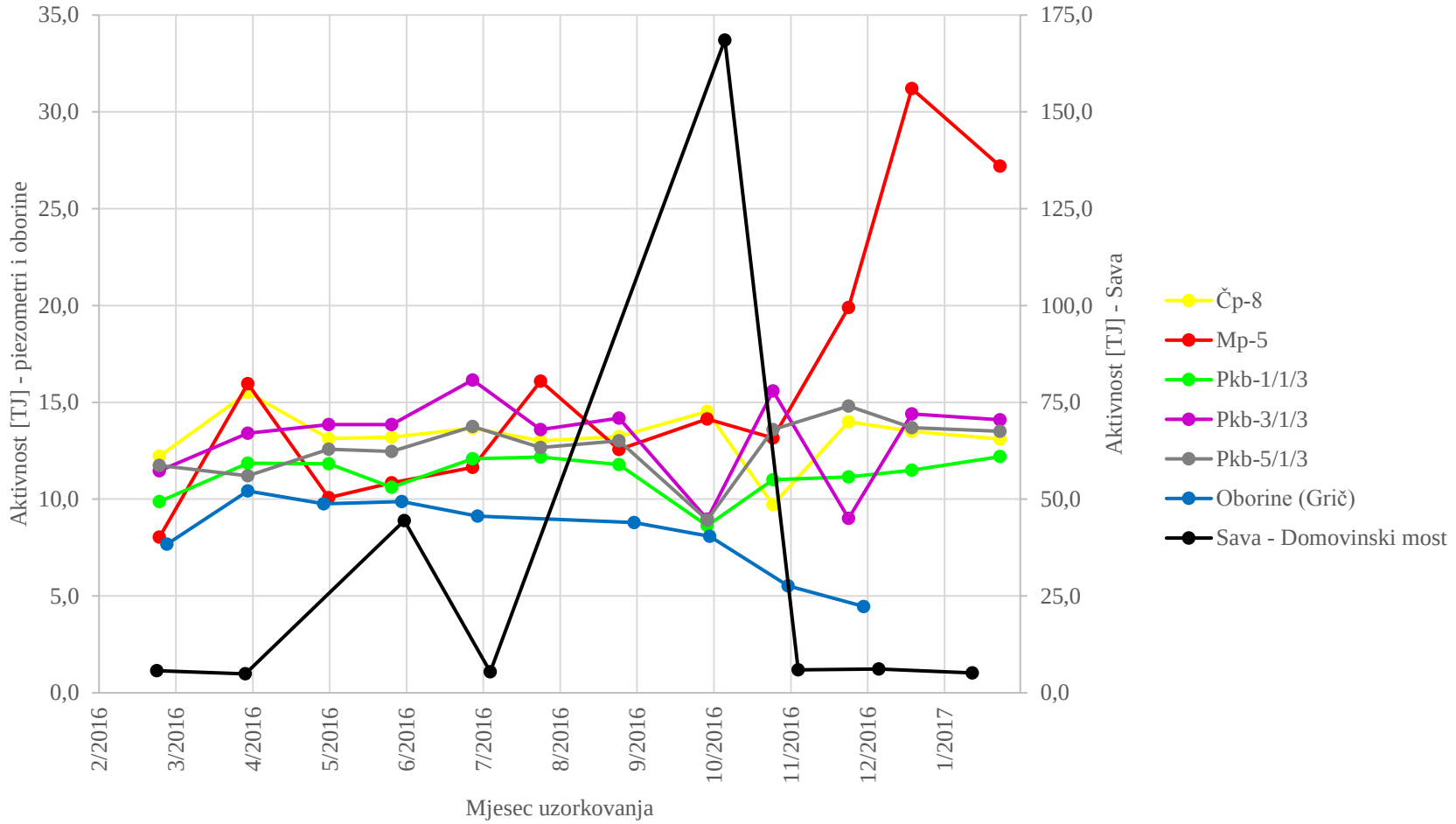
Piezometar	Aktivnost [TJ]
A-2-1	13,4
Čdp-12/3	15,6
Čdp-13/1	9,0
Čdp-8/2	15,3
Čp-101	11,0
Čp-8	13,2
Mp-5	15,9
Pkb-1/1/3	11,2
Pkb-3/1/3	13,2
Pkb-5/1/3	12,7

Na slikama 6-6. i 6-7. su prikazani svi rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u mjesečnim oborinama, rijeci Savi te na području crpilišta Kosnica. Koncentracija aktivnosti tricija u oborinama varira u rasponu 4,5 do 10,4 TJ, pri čemu je vidljivo da su veće vrijednosti izmjerene tijekom proljetnih mjeseci, a niže vrijednosti tijekom jesenskih mjeseci.

Savska voda ima koncentracije aktivnosti tricija više za nekoliko desetaka TJ i kreću se u širokom rasponu od 4,9 do 168,6 TJ. Nagli porast aktivnosti tricija u savskoj vodi se pojavio u listopadu 2016. godine (168,6 ± 20,9 TJ; uzorak uzorkovan 6.10.2016.), a već u studenom se aktivnost tricija vratila na niže vrijednosti (5,9 ± 0,8 TJ) i u idućim mjesecima je ostala na sličnim vrijednostima. Znatan porast koncentracije aktivnosti tricija u Savi u listopadu ukazuje na kontaminaciju putem ispuštene vode obogaćene tricijem iz nuklearne elektrane Krško. S obzirom na to da nedostaju mjerenja za kolovoz i rujan 2016., postoji mogućnost da je ta koncentracija bila znatno veća od izmjerene koncentracije aktivnosti tricija.

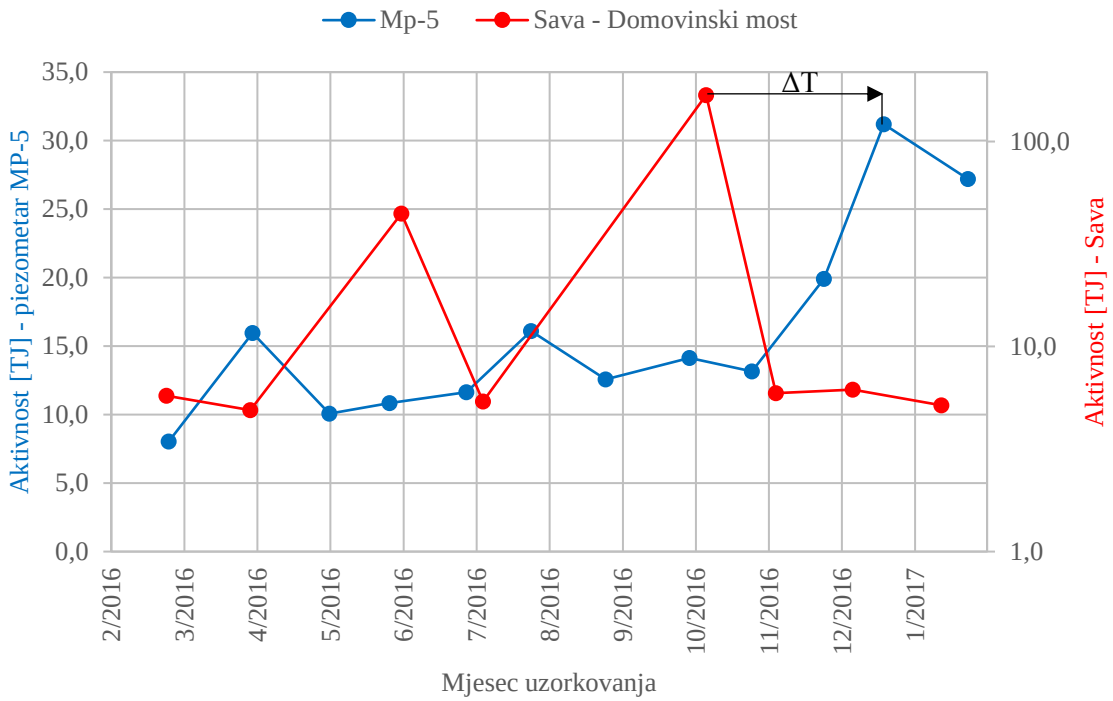


Slika 6-6. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometrima (A-2-1, Čdp-12/3, Čdp-13/1, Čdp-8/2, Čp-101), oborinama (Grič) i rijeci Savi (Domovinski most)



Slika 6-7. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometrima (Čp-8, Mp-5, Pkb-1/1/3, Pkb-3/1/3, Pkb-5/1/3), oborinama (Grič) i rijeci Savi (Domovinski most)

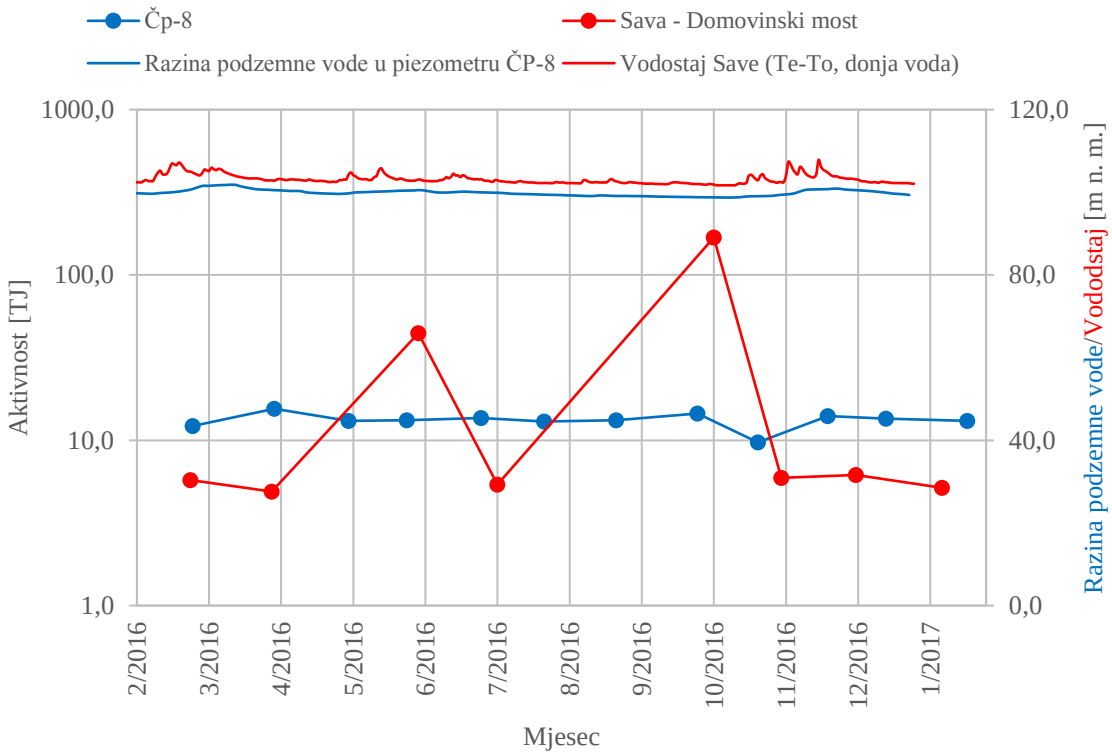
Porast koncentracije aktivnosti tricija je zamijećen i u podzemnim vodama na području crpilišta Kosnica, ali sa znatno manjim intenzitetom nego u savskoj vodi. Najveći porast je vidljiv u piezometru MP-5 (Slika 6-8.), gdje je vidljiva pojava *peak*-a u mjerenjima koncentracije aktivnosti tricija, dok na ostalim piezometrima nije vidljiva ovako nagla promjena koncentracije aktivnosti tricija. S obzirom na to da su uzorkovanja na rijeci Savi provođena relativno rijetko, za određivanje vremenskog zakašnjenja je korištena isključivo maksimalna vrijednost koncentracije tricija na piezometru MP-5 (31,2 ± 4,0 TJ, uzorak uzorkovan 19.12.2016.), te je procijenjeno vrijeme zakašnjenja od 2,5 mjeseca u odnosu na rijeku Savu. Piezometar MP-5 je najbliži rijeci Savi, te je očekivano odaziv na povišenu aktivnost tricija najizraženiji.



Slika 6-8. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru MP-5 i rijeci Savi (Domovinski most) s vremenom zakašnjenja (ΔT)

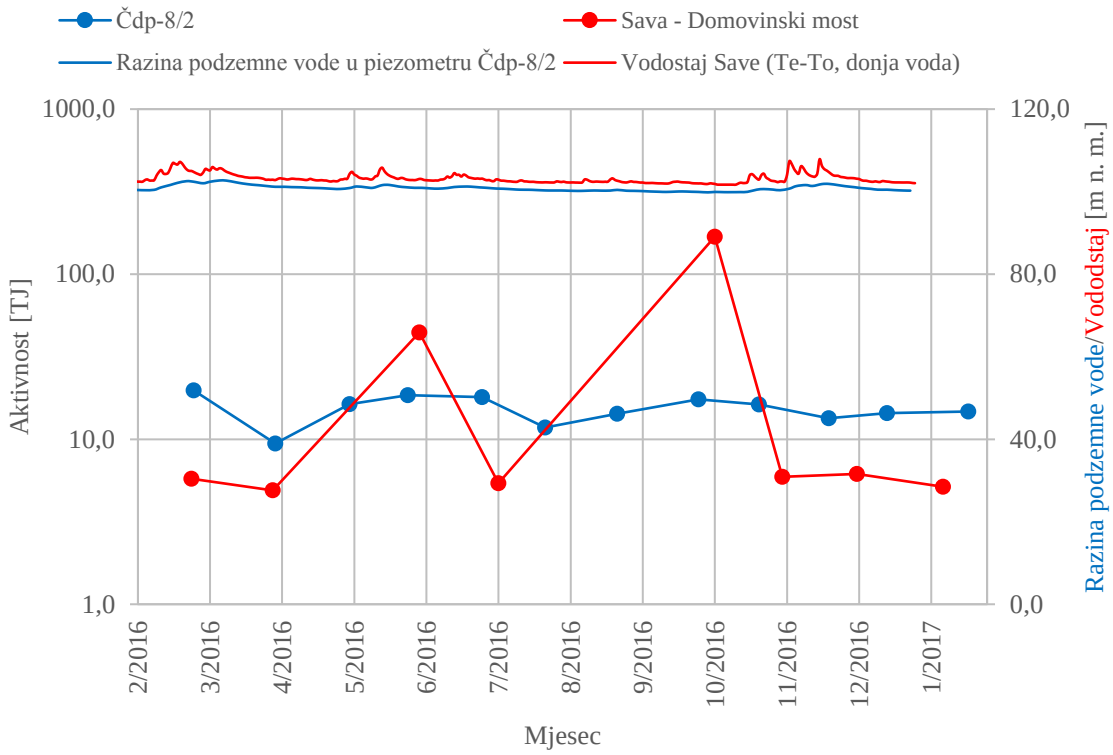
Na piezometrima ČP-8, Čdp-8/2 i Čdp-13/1 se vrši kontinuirano mjerenje razine podzemne vode, dok to nije slučaj za preostalih sedam piezometara. Kreirani grafovi su prikazani na slikama 6-9 do 6-11, a koji prikazuju mjerene koncentracije aktivnosti tricija u spomenutim piezometrima i rijeci Savi te nivogram piezometara i Save, pri čemu je vodostaj mjeren na lokaciji hidroelektrane Te-To, na postaji Donja Voda.

Na slici 6-9 su prikazane mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru ČP-8 i rijeci Savi te nivogram piezometra ČP-8 i Save. Na nivogramu je vidljivo da razina podzemne vode reagira s procijenjenim zakašnjenjem od mjesec dana na porast vodostaja na rijeci Savi, pri čemu je vidljiv blagi porast razine podzemne vode. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru su relativno konstantne, te nije vidljiv odaziv na povišenu aktivnost tricija u savskoj vodi.



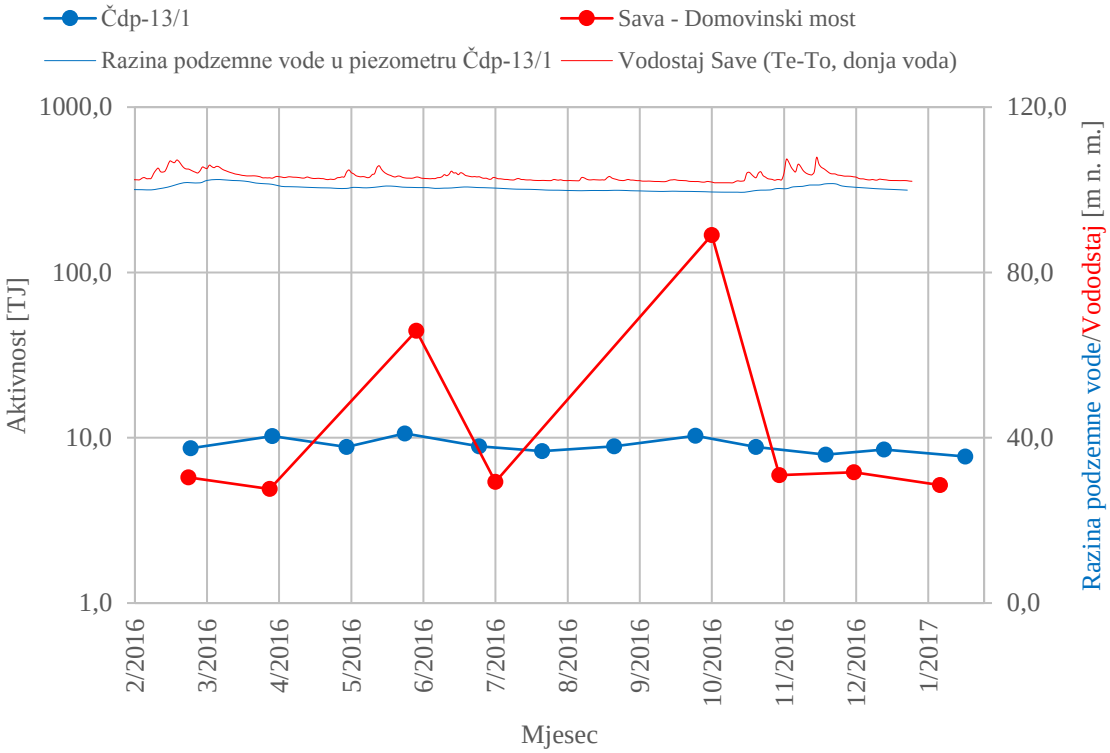
Slika 6-9. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru ČP-8 i rijeci Savi te nivogram piezometra ČP-8 i Save

Na slici 6-10 su prikazane mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru Čdp-8/2 i rijeci Savi te nivogram piezometra Čdp-8/2 i Save. Na nivogramu je vidljivo da razina podzemne vode reagira s procijenjenim zakašnjenjem od tri dana na porast vodostaja na rijeci Savi. Vidljiv je odaziv na povišene koncentracije aktivnosti tricija u savskoj vodi, ali je porast postupan i bez izraženog maksimuma.



Slika 6-10. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru Čdp-8/2 i rijeci Savi te nivogram piezometra Čdp-8/2 i Save

Na slici 6-11 su prikazane mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru Čdp-13/1 i rijeci Savi te nivogram piezometra Čdp-13/1 i Save. Na nivogramu je vidljivo da razina podzemne vode reagira s procijenjenim zakašnjenjem od tjedan dana na porast vodostaja na rijeci Savi, pri čemu je vidljiv blag porast razine podzemne vode u slučaju naglog porasta vodostaja rijeke Save. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru su relativno konstantne, te nije vidljiv značajan odaziv na povišenu aktivnost tricija u savskoj vodi.



Slika 6-11. Mjerene koncentracije aktivnosti tricija u piezometru Čdp-13/1 i rijeci Savi te nivogram piezometra Čdp-13/1 i Save

7. Zaključak

Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u oborinama (na postaji Zagreb-Grič), rijeci Savi (na lokaciji Domovinski most) i podzemnim vodama u piezometrima na području crpilišta Kosnica, pokazali su sljedeće:

- Koncentracija aktivnosti tricija u oborinama varira u rasponu 4,5 do 10,4 TJ, pri čemu su veće vrijednosti izmjerene tijekom proljetnih mjeseci, a niže vrijednosti tijekom jesenskih mjeseci.
- Znatan porast koncentracije aktivnosti tricija u Savi u listopadu 2016. (168,6 ± 20,9 TJ; uzorak uzorkovan 6.10.2016.) ukazuje na kontaminaciju putem ispuštene vode obogaćene tricijem iz nuklearne elektrane Krško.
- Porast koncentracije aktivnosti tricija u podzemnim vodama na području Kosnice je najizraženiji u piezometru MP-5, koji je najbliži rijeci Savi. Pomoću mjerenja koncentracije aktivnosti tricija u piezometru MP-5 i rijeci Savi procijenjeno je vremensko zakašnjenje maksimalne vrijednosti koncentracije aktivnosti tricija u piezometru od 2,5 mjeseca u odnosu na rijeku Savu.
- Kreirani su grafovi koji prikazuju mjerene koncentracije aktivnosti tricija u rijeci Savi i piezometrima ČP-8, Čdp-8/2 i Čdp-13/1 te nivogram tih piezometara i Save, pri čemu je vodostaj rijeke Save mjeren na lokaciji hidroelektrane Te-To, na postaji Donja Voda. Iz grafova je vidljivo da je prijenos tlaka različit u tim piezometrima, odnosno da razine podzemne vode reagiraju sa zakašnjenjem od tri dana (Čdp-8/2), tjedan dana (Čdp-13/1) i mjesec dana (ČP-8) na porast vodostaja na rijeci Savi. Iz istih grafova je vidljivo da intenzitet i vremensko zakašnjenje u porastu koncentracije aktivnosti tricija mogu biti korelirani s udaljenosti piezometara od rijeke Save. Od navedena tri piezometra, piezometar Čdp-8/2 se nalazi najbliže rijeci Savi i na njemu je vidljiv odaziv na povišene koncentracije aktivnosti tricija u savskoj vodi s postupnim porastom, dok u piezometrima ČP-8 i Čdp-13/1 nije vidljiv značajan odaziv na povišenu aktivnost tricija u savskoj vodi.

8. Literatura

BAČANI, A. (2009): Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Velika Gorica. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

BAREŠIĆ, J., KRAJCAR BRONIĆ, I., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., SIRONIĆ, A., KOŽAR-LOGAR, J. (2011): Mjerenje tricija u uzorcima voda tekućim scintilacijskim brojačem uz elektrolitičko obogaćenje. Zbornik radova osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, p. 461-468

FREEZE, R. A., CHERRY, J. A. (1979): Groundwater, Prentice-Hall, New Jersey, str. 604.

GEYH, M. A. (2000): Environmental isotopes in the hydrological cycle. International Atomic Energy Agency and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Volume IV.

HORVATINČIĆ, N., BAREŠIĆ, J., SIRONIĆ, A., KRAJCAR BRONIĆ, I., OBELIĆ, B. (2011): Tricij u oborinama, površinskim i podzemnim vodama na području Zagreba. Zbornik radova osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, p. 387-392

IRES EKOLOGIJA d.o.o. (2014): Studija Glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu za "Regionalni vodoopskrbni sustav Zagrebačke Županije-Zagreb istok". Zagreb.

MAZOR, E. (2004): Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. Weizmann Institute of Science, Third edition.

NAKIĆ, Z., RUŽIČIĆ, S., POSAVEC, K., MILEUSNIĆ, M., PARLOV, J., BAČANI, A., DURN, G. (2013): Conceptual model for groundwater status and risk assessment – case study of Zagreb aquifer system. Geologia Croatica, vol. 66, no. 1, p. 55-76

PARLOV, J., NAKIĆ, Z., POSAVEC, K., BAČANI, A. (2012): Origin and dynamics of aquifer recharge in Zagreb area. The Fifth International Scientific Conference on Water, Climate and Environment, BALWOIS 2012.

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

ROŽANSKI, K., GONFIANTINI, R., ARGAUAS, L. (1991): Tritium in the global atmosphere: distribution patterns and recent trends. J. Phys. 17 , S523 – S536.

SOLLITTO, D., ROMIĆ, M., CASTRIGNANÒ, A., ROMIĆ, D., BAKIĆ, H. (2010): Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics. Catena 80, p. 182-194

TURC, L. (1953): Le bilan d'eau des sols: relations entre lec précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Institut national de la recharge agronomique, 1-252, Paris

VUKOJEVIĆ, P., PUĐA, G., SVETINA, B. (2011): Izvještaj o izvođenju hidrotehničkih radova na lokaciji budućeg vodocrpilišta "Kosnica" – I faza. FIL.B.IS. Projekt d.o.o.Zagreb.

Službeni dokumenti:

Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13)

Pravilnik o izmjenama Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 128/15).

PRILOZI

Naziv piezometra	Pkb-1/1/3	Pkb-3/1/3	Pkb-5/1/3	Čp-101	Čdp-12/3	Čp-8	Mp-5	Čdp-8/2	Čdp-13/1	A-2-1
Naziv uzorka	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1
Datum uzorkovanja	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.	25.2.2016.
Dubina do vode (m)	3,86	4,4	4,43	6,45	4,59	4,22	5,56	5,27	3,69	5,73
Cl (mg/l)	19,82	11,18	13,55	7,96	9,13	14,92	4,64	19,55	7,72	42,95
NO_3 (mg/l)	9,02	7,33	6,56	6,38	0,43	7,66	25,60			15,91
SO_4 (mg/l)	19,14	19,96	23,37	19,19	13,47	18,96	36,76	11,02	0,35	16,47
HCO_3 (mg/l)	533,45	433,87	448,09	462,32	298,73	348,52	547,67	405,42	177,82	448,09
NH_4 (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na (mg/l)	6,35	7,00	8,74	7,06	6,58	8,94	6,38	10,42	2,90	16,37
K (mg/l)	1,65	1,68	1,94	2,01	1,68	1,61	4,02	3,12		2,97
Mg (mg/l)	28,84	22,97	24,54	22,94	17,03	20,50	26,31	21,77	16,23	27,48
Ca (mg/l)	125,62	96,26	101,60	104,67	66,01	82,52	139,54	87,87	27,37	110,24
suma aniona (meq/l)	9,85	7,96	8,32	8,31	5,44	6,65	10,29	7,43	3,14	9,16
suma kationa (meq/l)	8,96	7,04	7,52	7,47	5,02	6,23	9,51	6,71	2,83	8,55
IB (%)	-4,72	-6,14	-5,06	-5,30	-3,99	-3,24	-3,93	-5,08	-5,25	-3,43

Prilog 1. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-1 – 10-1)

Naziv piezometra	Pkb-1/1/3	Pkb-3/1/3	Pkb-5/1/3	Čp-101	Čdp-12/3	Čp-8	Mp-5	Čdp-8/2	Čdp-13/1	A-2-1
Naziv uzorka	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2
Datum uzorkovanja	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.	31.3.2016.
Dubina do vode (m)	6,28	6,23	6,21	8,35	6,18	5,58	7,04	6,48	4,48	6,37
Cl (mg/l)	15,64	11,93	14,09	10,13	10,98	19,38	11,04	26,18	8,87	20,60
NO_3 (mg/l)	9,31	8,46	7,02	5,14	6,74	10,43	4,07	7,47		11,08
SO_4 (mg/l)	21,17	22,37	24,15	16,11	21,40	23,16	16,41	33,09	16,84	18,75
HCO_3 (mg/l)	401,59	350,48	452,71	288,42	313,97	328,58	292,07	438,10	233,65	299,37
NH_4 (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na (mg/l)	7,52	7,65	9,07	6,96	7,43	9,70	8,65	11,99	3,07	6,12
K (mg/l)	1,72	1,75	1,96	1,73	1,86	1,69	2,36	5,48		1,40
Mg (mg/l)	25,31	22,36	28,25	17,83	20,12	21,70	16,65	26,27	17,39	21,14
Ca (mg/l)	106,61	92,52	116,44	76,19	83,89	87,81	76,15	119,82	55,68	82,09
suma aniona (meq/l)	7,62	6,68	8,44	5,43	6,01	6,58	5,51	8,73	4,43	6,06
suma kationa (meq/l)	7,77	6,83	8,58	5,62	6,21	6,63	5,61	8,80	4,34	6,14
IB (%)	1,02	1,11	0,85	1,66	1,65	0,37	0,90	0,41	-1,01	0,66

Prilog 2. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-2 – 10-2)

Naziv piezometra	Pkb-1/1/3	Pkb-3/1/3	Pkb-5/1/3	Čp-101	Čdp-12/3	Čp-8	Mp-5	Čdp-8/2	Čdp-13/1	A-2-1
Naziv uzorka	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-3	7-3	8-3	9-3	10-3
Datum uzorkovanja	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.	2.5.2016.
Dubina do vode (m)	6,66	6,64	6,61	8,1	6,58	6,11	7,03	6,76	5,05	6,86
Cl (mg/l)	16,61	12,31	15,77	10,16	11,25	17,47	11,32	24,34	8,08	19,11
NO_3 (mg/l)	9,85	8,83	11,70	4,86	6,61	9,47	3,92	4,75		10,43
SO_4 (mg/l)	22,19	21,49	25,15	16,94	21,03	21,44	15,75	28,70	15,78	16,84
HCO_3 (mg/l)	350,48	335,88	408,90	313,97	321,27	328,58	299,37	423,50	233,65	299,37
NH_4 (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	2,39	-	-
Na (mg/l)	8,51	7,70	9,82	7,10	7,55	9,61	9,14	11,61	3,11	6,01
K (mg/l)	1,44	1,62	1,86	1,71	1,70	1,51	2,26	5,07	0,80	1,44
Mg (mg/l)	22,36	21,20	26,30	18,62	20,07	21,38	17,17	24,66	17,49	21,03
Ca (mg/l)	92,93	87,43	108,84	80,62	83,89	85,96	77,02	113,20	55,67	81,21
suma aniona (meq/l)	6,84	6,44	7,86	5,86	6,13	6,48	5,62	8,30	4,39	5,97
suma kationa (meq/l)	6,88	6,48	8,07	5,91	6,21	6,51	5,71	8,45	4,37	6,08
IB (%)	0,36	0,31	1,31	0,36	0,66	0,21	0,82	0,84	-0,16	0,96

Prilog 3. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-3 – 10-3)

Naziv piezometra	Pkb-1/1/3	Pkb-3/1/3	Pkb-5/1/3	Čp-101	Čdp-12/3	Čp-8	Mp-5	Čdp-8/2	Čdp-13/1	A-2-1
Naziv uzorka	1-4	2-4	3-4	4-4	5-4	6-4	7-4	8-4	9-4	10-4
Datum uzorkovanja	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.	27.5.2016.
Dubina do vode (m)	6,29	6,23	6,26	8,34	6,25	5,71	7,1	6,57	4,72	6,59
Cl (mg/l)	13,33	13,06	16,06	11,05	11,86	21,40	10,63	24,54	8,25	20,28
NO_3 (mg/l)	8,94	8,97	10,62	5,15	6,67	11,39	5,00	4,92		10,98
SO_4 (mg/l)	20,23	21,96	25,85	17,19	21,21	22,40	14,43	29,73	16,06	17,25
HCO_3 (mg/l)	405,24	328,58	419,85	299,37	328,58	335,88	277,46	423,50	226,35	299,37
NH_4 (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	2,21	-	-
Na (mg/l)	6,73	7,36	9,72	7,12	7,66	10,22	8,58	11,61	2,94	6,04
K (mg/l)	1,49	1,44	1,79	1,54	1,68	1,57	2,16	5,09	0,73	1,39
Mg (mg/l)	23,84	20,74	26,50	18,07	20,02	22,43	15,92	24,44	17,37	20,97
Ca (mg/l)	101,46	85,53	110,09	77,62	84,10	90,33	71,54	112,77	55,47	80,92
suma aniona (meq/l)	7,59	6,36	8,05	5,66	6,27	6,76	5,23	8,33	4,28	6,02
suma kationa (meq/l)	7,36	6,33	8,14	5,71	6,22	6,84	5,31	8,40	4,34	6,06
IB (%)	-1,53	-0,20	0,60	0,43	-0,40	0,57	0,75	0,38	0,76	0,38

Prilog 4. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-4 – 10-4)

Naziv piezometra	Pkb-1/1/3	Pkb-3/1/3	Pkb-5/1/3	Čp-101	Čdp-12/3	Čp-8	Mp-5	Čdp-8/2	Čdp-13/1	A-2-1
Naziv uzorka	1-5	2-5	3-5	4-5	5-5	6-5	7-5	8-5	9-5	10-5
Datum uzorkovanja	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.	28.6.2016.
Dubina do vode (m)	6,44	6,42	6,4	8,2	6,38	5,87	7,06	6,64	4,84	6,7
Cl (mg/l)	12,47	12,04	17,70	10,12	12,29	19,12	10,21	22,44	7,91	18,98
NO_3 (mg/l)	8,13	8,31	10,98	5,00	6,89	9,89	4,25	2,94		9,83
SO_4 (mg/l)	19,29	20,47	24,24	16,80	21,01	20,94	13,63	25,41	13,41	15,97
HCO_3 (mg/l)	401,59	328,58	416,20	335,88	335,88	328,58	277,46	408,90	226,35	299,37
NH_4 (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	2,12	-	-
Na (mg/l)	7,14	7,34	9,76	6,98	7,69	10,11	8,37	11,25	2,87	5,87
K (mg/l)			1,82	1,60	1,71	1,57	2,04	3,65		0,73
Mg (mg/l)	23,20	20,36	25,42	18,83	20,23	21,42	15,45	23,16	16,48	19,91
Ca (mg/l)	97,73	83,02	104,71	82,96	84,14	85,60	68,57	103,28	50,36	77,33
suma aniona (meq/l)	7,47	6,29	8,00	6,22	6,40	6,52	5,19	7,91	4,21	5,93
suma kationa (meq/l)	7,10	6,14	7,79	6,03	6,24	6,51	5,11	7,76	3,99	5,77
IB (%)	-2,55	-1,20	-1,37	-1,54	-1,26	-0,05	-0,78	-0,98	-2,67	-1,40

Prilog 5. Masene koncentracije otopljenih aniona i kationa u uzorcima vode na istraživanom području (uzorci 1-5 – 10-5)