

# Hidrogeokemijske značajke izvora na otoku Krku

---

**Hržina, Nina**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:091911>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**HIDROGEOKEMIJSKE ZNAČAJKE IZVORA NA OTOKU KRKU**

Diplomski rad

Nina Hržina

GI 270

Zagreb, 2017

## HIDROGEOKEMIJSKE ZNAČAJKE IZVORA NA OTOKU KRKU

NINA HRŽINA

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak

Glavni cilj ovog rada je određivanje hidrogeokemijskih značajki vode na otoku Krku. Uzorkovanja vode provedena su na 10 lokacija na otoku Krku, jednom mjesečno kroz četiri mjeseca, od ožujka do lipnja 2017. godine. In situ su mjereni pH, temperatura, oksidativno-redukcijski potencijal i izdašnost. Električna vodljivost mjerena je naknadno u laboratoriju. Hidrogeokemijski facijesi na otoku Krku prikazani su pomoću Piper-ovih dijagrama. Statistički su obrađene koncentracije nitrita, nitrata, natrija, slufida i klorida te je prikazana kvaliteta vode i trendovi. Koncentracije su prikazane u usporedbi s MDK vrijednostima prema „Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2013, 128/15). Laboratorijski su mjereni stabilni izotopi kisika i vodika u vodi. Izotopni sastav podzemne i oborinske vode pokazuje da se vodonosnici na otoku Krku isključivo napajaju oborinama. Također, napravljena je karta propusnosti otoka Krka u programskom paketu GIS, ArcMap 10.1.

Ključne riječi: hidrogeokemijski facijes, karta propusnosti, otok Krk, stabilni izotopi vode

Diplomski rad sadrži: 44 stranice, 10 tablica, 33 slike, 2 priloga i 21 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Jelena Parlov  
Pomoć pri izradi: Zoran Kovač, mag. ing. geol.

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Jelena Parlov  
Prof. dr. sc. Andrea Bačani  
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 27.9.2017

Faculty of Mining, Geology

and Petroleum Engineering

**HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SPRINGS ON THE ISLAND  
OF KRK**  
NINA HRŽINA

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The main objective of this thesis is to determine the characteristics of hydrogeochemical water features on the island of Krk. The sampling of water was carried out on 10 locations on the island of Krk, once a month for four months, from March to June. The temperature, pH, oxidative-reduction potential and yield were measured in situ where possible. The electrical conductivity was subsequently measured in the laboratory. Hydrogeochemical facies on the island of Krk are shown in the Piper diagrams. The statistics of treated concentrations of nitrite, nitrate, sodium, sulphide and chloride, as well as the quality of water and trends were made. Concentrations are shown in comparison to MDK rates according to the "Ordinance on compliance parameters and methods of analysis of water for human consumption" (NN 125/2013, 128/15). The isotopic composition of groundwater and precipitation indicates that aquifers on the island of Krk supply exclusively from precipitation. Meteorological data are also statistically processed. The hydrogeological map of the island of Krk was made in the GIS program ArcMap 10.1

Keywords: hydrogeochemical facies, the island of Krk, permeability map stable isotopes of water

Thesis contains: 44 pages, 10 tables, 33 figures, 21 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Asst. Prof. Jelena Parlov, PhD

Technical support and assistance: Zoran Kovač, mag. ing. geo.

Reviewers: Asst. Prof. Jelena Parlov, PhD  
Full Professor Andrea Bačani, PhD  
Asst. Prof. Dario Perković, PhD

Date of defence: September 27th , 2017

Zahvala:

*Veliku zahvalu, na prvom mjestu, dugujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Jeleni Parlov i mag. ing. geol. Zoranu Kovaču. Hvala Vam na vrijednim savjetima, otvorenom prihvaćanju mojih ideja i velikom strpljenju. Drugo veliko hvala mojim roditeljima; mami Ariani i tati Davorinu na financijskoj i moralnoj potpori tijekom cijelog mog studiranja. Hvala mom Davoru koji je bio u svemu kroz moje godine studiranja kao velika potpora. Hvala ti i na pomoći oko terenskog rada. Zahvaljujem se i svojoj najboljoj prijateljici Anji koja je imala strpljenja slušati sve lijepe i teške događaje s ovog fakulteta. Hvala svim ostalim prijateljima, kolegama i cijeloj obitelji na beskonačnoj moralnoj potpori. Hvala Komunalnom društvu „Ponikve voda.d.o.o.“, posebno dipl. sanit. ing. Majdi Meden i Nadanu Tudoru na velikoj ljubaznosti i otvorenoj suradnji. Bez svih Vas ovog rada ne bi bilo. Hvala Vam što cijeli moj trud tijekom studiranja od sada stoji u ovom diplomskom radu.*

## Sadržaj:

1. UVOD .....	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	2
2.2. KLIMATSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	2
2.3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	7
2.4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	8
3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA .....	11
3.1. PRIKUPLJANJE PODATAKA I UZORKOVANJE.....	11
3.2. PIPER-OVI DIJAGRAMI .....	17
3.3. STABILNI IZOTOPI VODE.....	19
4. REZULTATI.....	23
4.1. TERENSKA I LABORATORIJSKA MJERENJA .....	23
4.2. KVALITETA VODE I TRENDОВI.....	30
4.3. HIDROGEOKEMIJSKI FACIJES .....	35
4.4. STABILNI IZOTOPI VODE NA OTOKU KRKU .....	38
5. ZAKLJUČAK .....	41
6. LITERATURA.....	42

## POPIS SLIKA:

Slika 2.1. – Topografska karta i položaj otoka Krka .....	2
Slika 2.2. – Prikaz prosječnih temperatura zraka po mjesecima u vremenskom razdoblju od 1981. do 1986. godine, te od 1998. do 2015. godine.....	5
Slika 2.3. - Prikaz prosječnih mjesečnih oborina u vremenskom razdoblju od 1981. do 1986. godine, te od 1998. do 2015. godine.....	5
Slika 2.4. - Karta izohijeta otoka Krka (Ponikve Krk, 2005) .....	6
Slika 2.5. – Karta izoterma otoka Krka (Ponikve Krk, 2005).....	6

Slika 3.1. – Izvor Ogreni u okolici Dobrinja u lipnju.....	12
Slika 3.2. - Izvor „Paprata“ u svibnju.....	13
Slika 3.3. - Mjerenje pH, temperature, protoka i ORP-a na izvorištu Žanac .....	14
Slika 3.4. - Uzimanje uzoraka na izvorištu „Pod Jabuke“ .....	15
Slika 3.5. - Mjerenje električne vodljivosti u laboratoriju.....	16
Slika 3.6. – Piperov dijagram i smještaj točaka koje prikazuju postotni udio aniona i kationa te njihov položaj u rombu (Halle, 2004).....	18
Slika 3.7. – Prikaz vodnih facijesa u Piperovu dijagramu (Halle, 2004) .....	18
Slika 3.8. - Izotopi vodika: $^1\text{H}$ (1 proton u jezgri, lijevo), $^2\text{H}$ (1 proton i 1 neutron u jezgri, u sredini), $^3\text{H}$ (1 proton i 2 neutrona u jezgri, desno) (Krajcar Bronić, 2007).....	19
Slika 4.1. – Prikaz promjene ORP-a kroz vrijeme uzorkovanja.....	23
Slika 4.2. – Promjene vrijednosti pH vode u vremenu .....	25
Slika 4.3. - Izmjerene temperature vode u svim točkama uzorkovanja.....	26
Slika 4.4. – Grafički prikaz izmjerenih vrijednosti električne vodljivosti.....	27
Slika 4.5. – Eh-pH dijagram za dušik .....	28
Slika 4.6. - Eh-pH dijagram za mangan .....	28
Slika 4.7. - Eh-pH dijagram za željezo .....	29
Slika 4.8. - Prikaz promjene izdašnosti izvora od ožujka do lipnja.....	30
Slika 4.9. – Prikaz koncentracije nitrita na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni ...	32
Slika 4.10. - Prikaz koncentracije nitrata na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni .	32
Slika 4.11. - Prikaz koncentracije natrija na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni .	33
Slika 4.12. - Prikaz koncentracije klorida na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni	33
Slika 4.13. - Prikaz koncentracije sulfata na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni.	34
Slika 4.14. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB1 za 2012. godinu.....	35
Slika 4.15. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB1 za 2015. godinu.....	36
Slika 4.16. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB1 za 2016. godinu.....	36
Slika 4.17. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB2 za 2015. godinu.....	37
Slika 4.18. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB2 za 2015. godinu.....	37
Slika 4.19. – Grafički prikaz izotopnog sastava za Zagreb, Sloveniju i Krk.....	40
Slika 4.20. – Grafički prikaz izotopnog sastava oborinske vode u Malinskoj 2001. godine i podzemne i oborinske vode u Krku 2017. godine .....	40

## POPIS TABLICA:

Tablica 2.1. - Prikaz godišnjih oborina, prosječnih godišnjih temperatura zraka i evapotranspiracije za otok Krk .....	4
Tablica 3.1. - Točke uzorkovanja s koordinatama u Gauss-Krüger-ovom koordinatnom sustavu .....	11
Tablica 3.2. – Prikaz korištenih standarda.....	21
Tablica 4.1. Vrijednosti ORP-a kroz vrijeme uzorkovanja za svaku točku uzorkovanja....	23
Tablica 4.2. – Prosječne godišnje pH vrijednosti za bušotine EB1, EB2, EP1 i izvor Ogreni za razdoblje od 2007. do 2016. godine .....	24
Tablica 4.3. – Vrijednosti pH vode za svaku točku uzorkovanja .....	25
Tablica 4.4. – Izmjerene temperature vode za svaku točku uzorkovanja.....	26
Tablica 4.5. – Prikaz izmjerenih vrijednosti električne vodljivosti.....	27
Tablica 4.6. – Prikaz promjene izdašnosti uzorkovanih izvora kroz vrijeme uzorkovanja.	30
Tablica 4.7. Prikaz $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti za uzorkovanu vodu.....	38

## POPIS PRILOGA:

Prilog 1. – Geološka karta otoka Krka s lokacijama izvora i bušotina.....	i
Prilog 2. – Karta propusnosti stijena na otoku Krku .....	ii



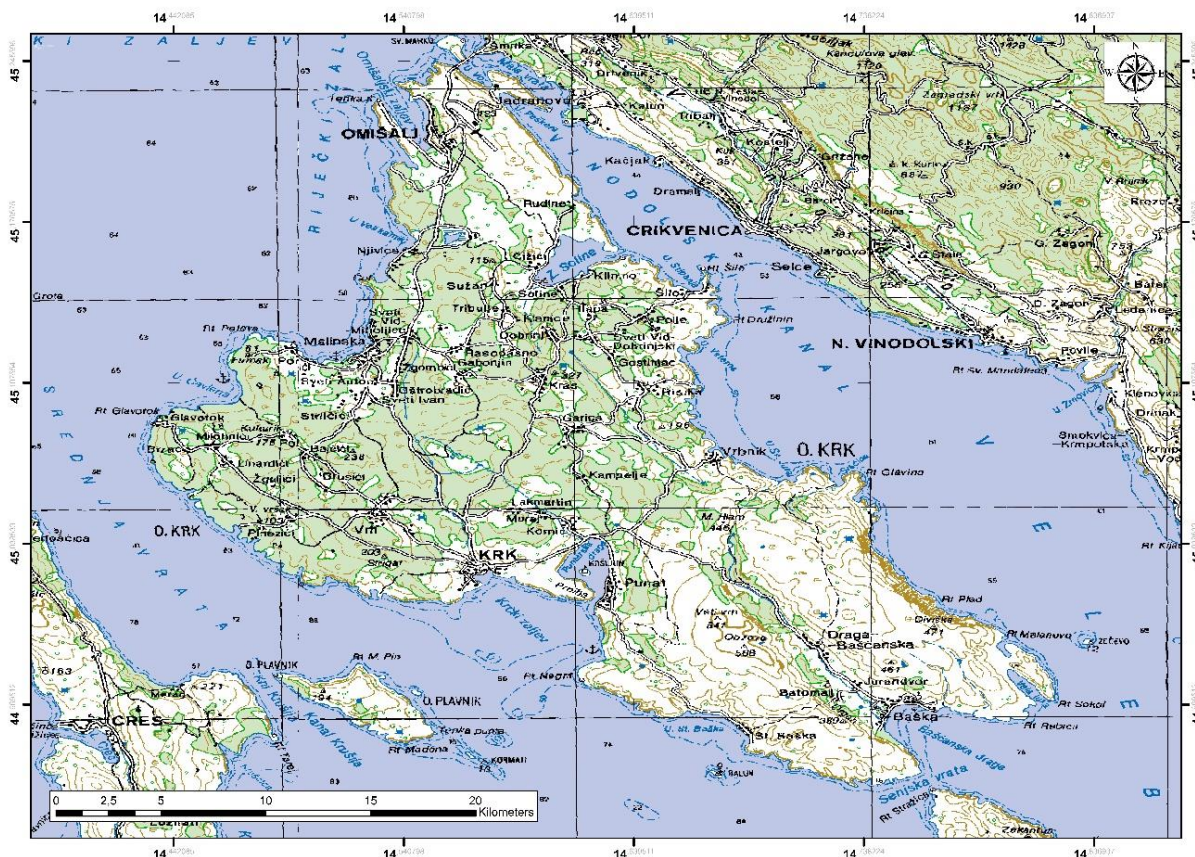
## **1. UVOD**

Otok Krk nalazi se u cijelosti u krškom području, kojeg karakterizira specifični tip reljefa i naslage s pukotinsko-disolucijskom poroznosti. Za razliku od područja sa stijenama s međuzrnskom poroznosti, ovo područje karakterizirano je izrazitom tektonskom oštećenosti, velikim kolebanjima izdašnosti izvora kroz hidrološku godinu te velikom raznolikošću specifičnih krških oblika kao što su: vrtače, jame, ponori, škrape i spilje. Cilj ovog diplomskog rada je prikazati hidrogeokemijski facijes voda istraživanog područja pomoću Piperovih dijagrama, na temelju kemijskih analiza vode koje je ustupilo Komunalno društvo Ponikve voda d.o.o. Nadalje, potrebno je provesti uzorkovanja vode na 10 lokacija, jednom mjesečno kroz četiri mjeseca, uz in-situ mjerenja pH vrijednosti, električne vodljivosti, temperature vode i izdašnosti izvora. Također zadatak je, pomoću laserskog absorpcijskog spektroskopa, odrediti izotopni sastav vode na pojedinoj lokaciji, te ih usporediti međusobno, ali i s izotopnim sastavom oborine. Usporedbom izotopnog sastava pokušat će se zaključiti napajaju li se vodonosnici na otoku Krku isključivo oborinama ili postoje i podzemni dotoci. U tu svrhu potrebno je napraviti i preglednu kartu cijelog otoka Krka s izvojenim naslagama različite propusnosti u GIS programskom paketu, ArcMap 10.1.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Otok Krk je najveći otok u Republici Hrvatskoj s površinom od 409,9 km<sup>2</sup>. Među jadranskim otocima, otok Krk pripada grupi visokih otoka s najvišim vrhom Obzova od 568 metara. Slijede vrhovi niži od Obzove, a to su: Veli vrh (541 m), Orljak (537 m), Veli (482 m) i Mali Hlam (446 m), a gorje Krka ima dinarski pravac pružanja (slika 2.1.).



Slika 2.1. – Topografska karta i položaj otoka Krka

### 2.2. KLIMATSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Na otoku Krku prevladava sredozemna klima s blagim i vlažnim zimama te toplim i relativno sušnim ljetima. Prema podacima DHMZ-a za meteorološku postaju Krk od 1981. do 1986. godine, te od 1998. do 2015. godine prosjek srednjih godišnjih temperatura zraka iznosi 14,85 °C, dok prosječna količina oborine za isto razdoblje iznosi 1160,54 milimetara. Ove prosječne vrijednosti temperature zraka i količine oborina korištene su za izračun prosječne evapotranspiracije prema Turc-ovoj formuli (Turc, 1953) koja glasi:

(2-1.)

$$E_t = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}, \text{ a}$$

(2-2.)

$$L = 300 + 25T_{sr} + 0,05T_{sr}^3$$

gdje su:  $E_t$  – evapotranspiracija u određenom vremenskom razdoblju (mm)

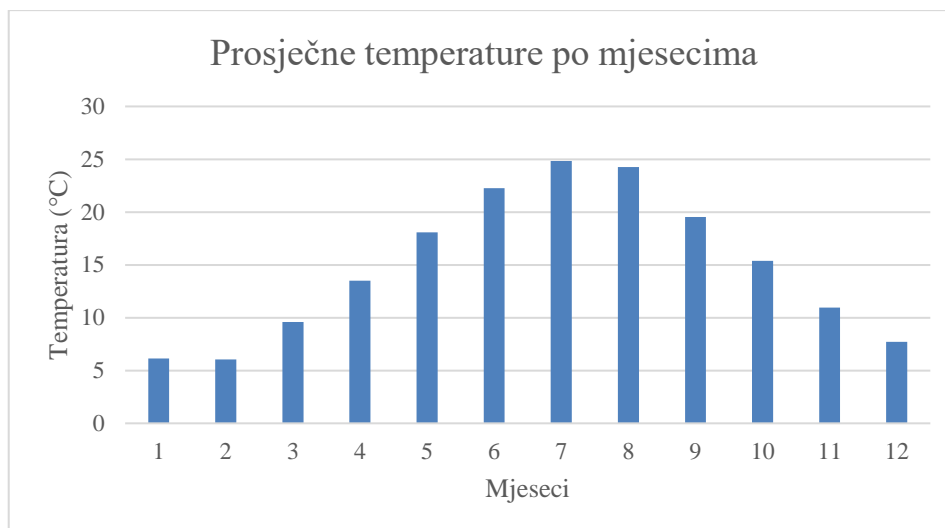
$P$  – oborine u određenom vremenskom razdoblju (mm)

$T_{sr}$  – srednja temperatura zraka ( $^{\circ}\text{C}$ )

Vrijednosti izračunate godišnje evapotranspiracije u milimetrima su prikazani u Tablici 2.1. Maksimalna srednja godišnja temperatura iznosi  $16,06^{\circ}\text{C}$ , a minimalna  $10,58^{\circ}\text{C}$  (Tablica 2.1.). Minimalne temperature javljaju se u siječnju i veljači, a maksimalne u srpnju (Slika 2.2.). Na slici 2.3 prikazane su prosječne mjesečne količine oborine za navedeno razdoblje, a u Tablici 2.1. ukupne godišnje oborine i prosječne godišnje temperature.. Može se uočiti da najviše oborine padne u rujnu, listopadu i studenom, a najmanje u srpnju. Na slikama 2.4. i 2.5. prikazana je prostorna raspodjela oborina i temperatura izrađena na osnovu višestruke regresijske analize podataka s registriranih meteoroloških i oborinskih postaja u funkciji geografske širine i dužine, nadmorske visine, udaljenosti postaja od mora, a razina detaljnosti obrade je s prostornom rezolucijom  $700 \times 700$  m (Ponikve Krk, 2005).

Tablica 2.1. - Prikaz godišnjih oborina, prosječnih godišnjih temperatura zraka  
i evapotranspiracije za otok Krk

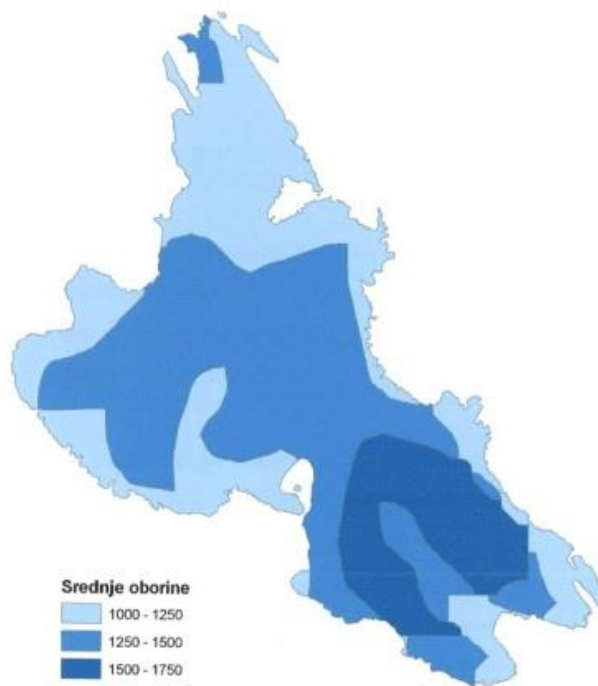
Godina	P (mm)	T <sub>sr</sub> (°C)	L (°C)	E <sub>t</sub> (mm)
1981	1265,40	14,25	800,85	686,60
1982	1015,70	14,80	832,14	657,02
1983	761,70	14,32	804,82	568,42
1984	1580,40	13,58	764,81	695,06
1985	995,60	14,22	799,00	635,72
1986	851,60	14,45	812,29	602,30
1998	962,70	16,06	908,46	676,85
1999	1200,40	14,75	829,00	693,43
2000	1346,10	15,54	875,91	745,34
2001	1109,30	15,23	857,18	691,32
2002	1634,90	15,13	851,25	763,22
2003	842,20	15,39	866,98	620,26
2004	1376,20	14,55	818,00	712,52
2005	1175,10	14,03	788,75	665,32
2006	1043,00	15,08	848,46	671,70
2007	1108,10	15,65	883,10	704,43
2008	1333,30	15,34	864,19	736,16
2009	1400,10	15,56	877,06	753,97
2010	1630,10	14,56	818,58	739,00
2011	916,80	15,79	891,69	655,34
2012	658,80	10,58	623,80	464,06
2013	1368,50	15,01	844,43	728,75
2014	1563,10	15,70	885,98	780,32
2015	713,90	15,64	882,35	572,57
Srednja vrijednost	1160,50	14,85	835,22	689,77



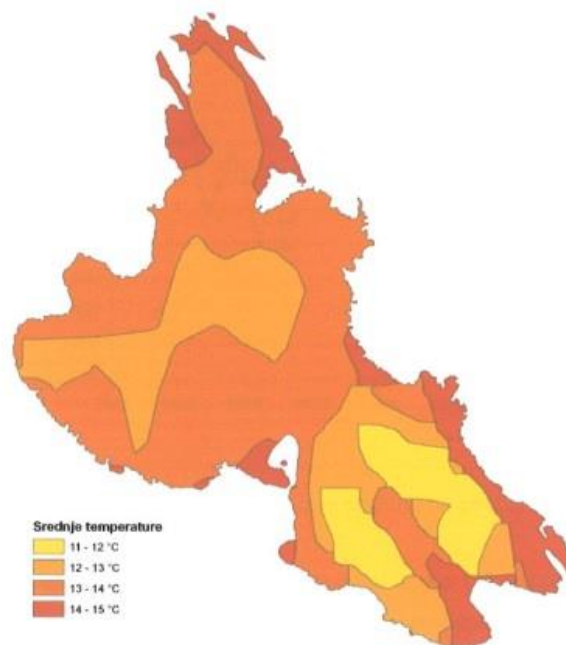
Slika 2.2. – Prikaz prosječnih temperatura zraka po mjesecima u vremenskom razdoblju od 1981. do 1986. godine, te od 1998. do 2015. godine



Slika 2.3. - Prikaz prosječnih mjesečnih oborina u vremenskom razdoblju od 1981. do 1986. godine, te od 1998. do 2015. godine



Slika 2.4. - Karta izohijeta otoka Krka (Ponikve Krk, 2005)



Slika 2.5. – Karta izoterma otoka Krka (Ponikve Krk, 2005)

### 2.3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Temeljni opis geoloških odnosa i jedinica napravljen je prema Tumačima osnovne geološke karte u mjerilu 1:100 000 s listova: Crikvenica (Grimani et al., 1963), Rab (Mamužić & Milan, 1966) i Labin (Šikić & Polšak, 1963). U Prilogu 1. nalazi se geološka karta otoka Krka izrađena pomoću četiri lista OGK: list Crikvenica (Grimani et al., 1963), list Rab (Mamužić et al, 1966), list Labin (Šikić & Polšak, 1963), list Cres (Magaš, 1965).

Na otoku Krku prevladavaju sedimentne stijene donje i gornje krede, paleogena, neogena i kvartara. Donjokredne naslage su otvorene u području Punta, Kornića i zapadno od sela Vrh, i leže transgresivno na malmskim naslagama. Donjokredne naslage mogu se razdvojiti u dva stratigrafska člana: breče s ulošcima vapnenaca bez provodnih fosilnih ostataka ( $^1K_1$ ) i vapnenci s ulošcima breča ( $^2K_1$ ), apt-albske starosti i debljine 200 metara. Gornjokredne naslage raščlanjene su na tri litostratigrafska člana. Prvi član čine vapnenci s dolomitnim brečama i dolomitima cenomanske i turonske starosti ( $^1K^{1,2}_2$ ) debljine od 150 metara. Ovaj član se proteže na list Rab kao dolomitne breče ( $K^{1,2}_2$ ), (Mamužić & Milan, 1966). Drugi član predstavljaju vapnenci s rijetkim ulošcima dolomita također cenomanske i turonske starosti ( $^2K^{1,2}_2$ ), dok treći član čine kristalinični, pretežno grebenski vapnenci bogati faunom rudista s lećama konglomerata turonske starosti s mogućim prijelazom u senon ( $K^2_2$ ). Duž sjeveroistočne obale od Voza do zaljeva Seline, od Omišlja preko Vrbničkog polja do Baške drage te na manjim površinama kod Sv. Nikole zapadno od Krka i jugozapadno od Malinske razvijene su paleogenske naslage. Ove naslage su taložene na okršeni reljef s pojavama boksita, a čine ih: foraminiferski vapnenci ( $E_{1,2}$ ), klastiti ( $E_2$ ) i vapnene breče ( $E_3, O_1$ ). Foraminiferski vapnenci ( $E_{1,2}$ ) leže transgresivno na naslagama gornje krede i debljina im iznosi od 100 do 250 metara. Klastiti ( $E_2$ ) su sastavljeni od lapora, pješčenjaka i vapnenaca (kalkareniti i biokalkareniti), mjestimično breča i konglomerata, koji se često izmjenjuju u lateralnom i vertikalnom smjeru i ponegdje dosežu debljinu od 320 metara. Vapnene breče ( $E_3, O_1$ ) leže transgresivno na krednoj podlozi i zastupljene su u krupnoklastičnim naslagama. Nalazimo ih uz istočnu obalu Puntarske drage. Pojave pješčanih lapora u vapnenim brečama su česte na području otoka Krka. Geološku jedinicu  $E_{2,3}$  čine lapori i pješčenjaci s ulošcima vapnenaca (Mamužić & Milan, 1966). U neposrednoj blizini Šila nalaze se 8 do 10 metara debele naslage kvartarnih pijesaka koji leže na gornjokrednim sedimentima. Naslage kvartarne starosti su vrlo raznolikog litološkog sastava i geneze. Crvenica (ts) se često susreće kao pokrivač na karbonatnim naslagama, posebice vapnencima. Na otoku Krku široko je

rasprostranjena s naslagama različite debljine, od vrlo tankih na uzvišenjima do debljine od više metara u ponikvama. U ovisnosti o sadržaju i vrsti ishodišnih komponenti te organskih primjesa, boja crvenice može varirati od tamnije smeđe, preko ljubičasto smeđe do ciglasto i žućkasto crvene. Nalazimo je u okolici Njivica i Malinske, na potezu od Vrha do Krka, oko akumulacije Ponikve i u njenoj bližoj okolici. Deluvijalnim naslagama (d) pripadaju kvartarne breče koje predstavljaju slabo cementirano stijensko kršje nastalo kombiniranjem tektonike i erozije. Široko su rasprostranjene, a najviše ih se može naći u okolici Jezera kraj Njivica, u zaljevu Soline, u okolici Vrbnika na naslagama srednjeg eocena te u sinklinali na potezu od Bašćanske Drage do Baške. Na mjestima i u uvalama sa strmim liticama mjestimično se talože sipari (s) nastali odronjavanjem kršja pod utjecajem gravitacije i vremenskih prilika, tektonske aktivnosti ili abrazijskog djelovanja valova. Pijesci i granulasti šljunci (p) nalaze se u okolici Šila, na lokaciji Polje. Donedavno su eksploatirani kao građevinski materijal. Pojave boksita (bx) vezane su uz granice krednih i paleogenskih vapnenaca te uz erozijske ostatke kvartarnih breča. Značajnije i nešto češće pojave su uz sjeveroistočni rub sinklinale Omišalj-Dobrinj-Baška, na potezu sinklinale Voz-Vinca, te uz sinklinalu Stara Baška. S obzirom na otkrivene količine ove rudne pojave nisu od većeg ekonomskog značaja (Grimani et al, 1963).

#### 2.4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Samo su tri otoka na Jadranu gdje se vodoopskrba u velikoj mjeri pokriva iz vlastitih zaliha podzemne vode. To su otoci Krk, Cres na sjevernom Jadranu i otok Vis na južnom Jadranu. Otok Krk ima mnogo zahvata i zaliha pitke vode (oko 250 l/s), ali zbog velike potrošnje tijekom ljetnih turističkih sezona ima problem s nedostatkom vode, te zbog toga mora biti povezan s kopnenim vodnim resursima Hrvatskog primorja (Biondić et al., 2009). Ranjivost vodonosnika varira ovisno o prirodi zagađivala, krškim oblicima, pojavi vode u krškom terenu, stupnju kontakta vode koja se infiltrira i uvjetima transporta zagađivala (Parlov, 2015). Iako je ranjivost krčkih vodonosnika srednja do velika, podzemna voda na otoku Krku dobre je i izvrsne kvalitete. Potencijalnu opasnost predstavlja odlagalište otpada „Treskavac“ kod Punta koje se nalazi na dolomitima s ulošcima vapnenaca gornjokredne starosti. U području mogućeg utjecaja ovog odlagališta otpada nema značajnih cjevovoda ni vodocrpilišta javne vodoopskrbe pa se ne očekuje znatan utjecaj na podzemne vode (Biondić et al, 2009).



Hydrografska mreža nije jako razvijena, ali u usporedbi s većinom ostalih jadranskih otoka vrlo dobra. Značajna hidrografska čvorišta su na pozicijama sinklinala: Baška Draga sa Suhom Ričinom, Vrbničko polje s Potokom i Dobrinjsko-solinska udolina s Velikim potokom. Akumulacija Ponikve i Jezero kraj Njivica su najveći izvori pitke vode na otoku s kapacitetom od približno 200 l/s. Za vodoopskrbu se koriste sljedeća izvorišta:

1. Akumulacija Ponikve (pokriva 70% potrebnih količina vode),
2. Izvorišta u Bašćanskoj kotlini (bunari EB-1, EB-2 i EB-3; samo za Bašćansku kotlinu, nisu povezani s vodoopskrbnim sustavom preostalog dijela otoka, pokriva 15% ukupnih potreba za vodom),
3. Izvorište Jezero (od 1.9.2008. godine koristi se samo za potrebe opskrbe DINE tehnološkom vodom),
4. Izvorište Paprata (za opskrbu naselja Garica, Risika, Kampelje i Vrbnik, pušteno u pogon u srpnju 2008. godine),
5. Izvorište Stara Baška (za opskrbu naselja Stara Baška, pušteno u pogon svibnju 2010. godine),
6. Komunalno društvo Vodovod i kanalizacija d.o.o. (od 9.7.2008. godine vodoopskrbni sustav otoka Krka povezan je s riječkim vodovodom).

Izvorišta vode na Krku kvalitetom i količinom zadovoljavaju godišnje potrebe, a problematično razdoblje je vrhunac turističke sezone kada se potrošnja vode poveća do šest puta. Kako bi potrebna količina vode koja zadovoljava propise za pitku vodu došla do svih potrošača, u vodoopskrbnom se sustavu nalazi: uređaj za pročišćavanje vode (Ponikve, kapaciteta 200 l/s), dva uređaja za desalinizaciju vode (Stara Baška kapaciteta 20 m<sup>3</sup>/h), 17 crpnih stanica, 33 vodospreme ukupnog kapaciteta 26.905 m<sup>3</sup> i više od 521 km cjevovoda. Vodoopskrbni sustav nadzire se i upravlja iz dispečerskoga centra putem sustava telemetrije (Ponikve Krk).

Pomoću listova Osnovne geološke karte (Rab, Crikvenica, Cres i Labin) u programskom paketu GIS, ArcMap 10.1 izdvojeni su litološki članovi različite propusnosti (Prilog 2). Stijene su prema propusnosti klasificirane u tri grupe: slabo, srednje i dobro propusne stijene. Naslage eocenske starosti u koje pripadaju: klastiti (E<sub>2</sub>) i vapnene breče (E<sub>3</sub>, Ol<sub>1</sub>), lapori i pješčenjaci s ulošcima vapnenaca (E<sub>2,3</sub>). svrstane su u grupu slabopropusnih stijena. Srednjepropusnim stijenama pripadaju sve kredne naslage, osim rudistnih vapnenaca (K<sup>2</sup><sub>2</sub>), i foraminiferski vapnenci (E<sub>1,2</sub>). Rudistni gornjokredni vapnenci vapnenci (K<sup>2</sup><sub>2</sub>) jedini su

klasificirani kao dobropropusne stijene. Posebnu grupu čine naslage s međuzrnskom poroznošću koje također predstavljaju slabopropusne stijene. To su kvartarne naslage koje čine naslage: crvenice (ts), deluvijalne naslage (d), sipari (s), naslage pijesaka i granulastih šljunaka (p) te naslage boksita (bx). Na karti su ove naslage označene šrafurom svjetloplave boje, dok su naslage s pukotinskom poroznošću prikazane šrafurom crne boje. Koordinatni sustav u kojem je rađena karta propusnosti je MGI Balkan 5 što odgovara petoj zoni Gauss-Krüger-ovog koordinatnog sustava. Na karti su prikazani i izvori iz kojih su uzimani uzorci vode, te još 3 izvora koja nisu uzorkovana zbog nepristupačnosti terena, a to su izvori: Stara Baška, Sopot i Grabovnik.

### 3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. PRIKUPLJANJE PODATAKA I UZORKOVANJE

Uzorkovanje vode izvršeno je na 10 lokacija (K1-K10) kroz 4 mjeseca, od ožujka do lipnja 2017. godine, jednom mjesečno (Prilog 1). Sedam lokacija su izvori, a tri lokacije su bušotine, a to su: Paprata EP1, EB1 i EB2. U tablici 3.1. prikazane su koordinate svih točaka uzorkovanja. Izvor K7 – Santis dolje presušio je već nakon prvog uzorkovanja pa za njega postoje samo rezultati iz ožujka. Po velikom smanjenju izdašnosti i prijašnjim iskustvima od lokalnih stanovnika očekivano je bilo da će do lipnja sigurno presušiti izvori Ogreni i Paprata, no to se dogodilo samo s izvorom Paprata. Dogodilo bi se i s izvorom Ogreni, ali dva dana prije uzorkovanja je padala kiša pa je uzorkovanje u lipnju ipak provedeno (Slika 3.1.). Na slici 3.2. prikazan je izvor Paprata u svibnju, zadnjem uzorkovanju gdje je bilo moguće mjeriti izdašnost.

Oborinska voda sakupljena je u pet navrata: 17. travnja, 27. travnja, 28. travnja, 18. svibnja i 19. svibnja 2017. godine.

Tablica 3.1. - Točke uzorkovanja s koordinatama u Gauss-Krüger-ovom koordinatnom sustavu

Ime točke	Ime izvora	Koordinate	
		X	Y
K1	Paprata EP1	5471495	4995028
K2	Paprata-izvor	5471375	4995062
K3	Rovoznik	5471888	4993777
K4	Ogreni	5469544	4997955
K5	Žanac	5475306	4986460
K6	EB2	5477265	4983526
K7	Santis dolje	5480349	4981094
K8	EB1	5478683	4980900
K9	Pod jabuke	5479181	4980758
K10	Santis gore	5480332	4981280



Slika 3.1. – Izvor Ogreni u okolici Dobrinja u lipnju



Slika 3.2. - Izvor „Paprata“ u svibnju

In situ je izmjeren pH, oksidativno-redukcijski potencijal (ORP), temperatura vode i izdašnost izvora (Slika 3.3. i 3.4.).

Za stvarne vrijednosti oksidativno-redukcijskog potencijala potrebno je mjerene vrijednosti s terena standardizirati u odnosu na vodikovu elektrodu. Standardna vodikova elektroda univerzalna je referentna elektroda prema kojoj se iskazuju potencijali svih ostalih elektroda. Redoks-potencijal standardne vodikove elektrode, pri svim temperaturama, dogovorno je uzet kao 0. Pri mjerenjima je korištena srebro/srebrov klorid elektroda (Ag/AgCl elektroda), a potencijal ove elektrode iznosi 204 mV pri temperaturi od 20 °C što znači da je mjerenim vrijednostima dodano 204 mV (Generalić, 2017).

Stabilnost mnogo otopljenih mineralnih faza ovisi o redoks uvjetima. Ravnoteža mnogih redoks reakcija ovisi o pH. Radi bolje preglednosti svih međusobnih odnosa u podzemnim vodama rabe se redoks dijagrami. Redoks dijagrami označuju stabilnost otopljenih kemijskih vrsta kao funkcije Eh i pH. Cilj konstruiranja redoks dijagrama jest brzo identificiranje mogućih stabilnih faza u određenim Eh i pH uvjetima.



Slika 3.3. - Mjerenje pH, temperature, protoka i ORP-a na izvorištu Žanac



Slika 3.4. - Uzimanje uzoraka na izvorištu „Pod Jabuke“

Električna vodljivost nije mjerena na terenu već u laboratoriju (Slika 3.5.). Mjera za količinu iona u vodi naziva se električna vodljivost te je određuje koncentracija otopljenih soli u vodi. Porastom temperature vode za 1°C električna vodljivost poraste za 2%. Stoga se vodljivost općenito odnosi na utvrđenu temperaturu. Električna vodljivost vode varira

od cca 0,054  $\mu\text{S}/\text{cm}$  za demineraliziranu vodu, do 200 – 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kod uobičajne vode za piće, sve do 1500 – 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kod bočate vode, a više vrijednosti pokazuje morska voda. Mjerna jedinica električne vodljivosti je mikrosiemens po centimetru,  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ljoljo, 2012). S obzirom na to da je električna vodljivost mjerena naknadno u laboratoriju, temperatura svih uzoraka pri mjerenju je ista. Ipak, nije ista početna temperatura pa promjena od temperature vode izmjerene na terenu i one pri mjerenju nisu iste i vjerojatno utječu na rezultate.



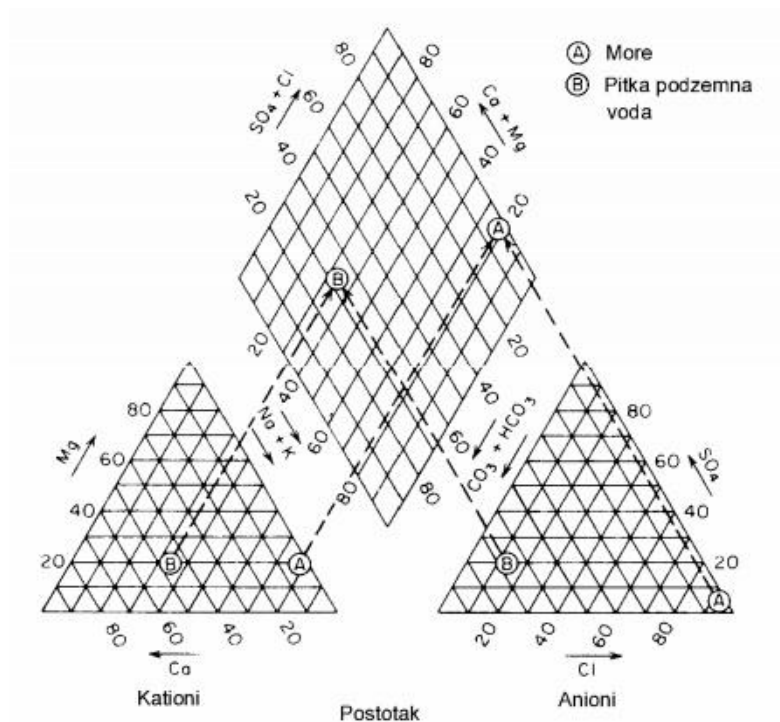
Slika 3.5. - Mjerenje električne vodljivosti u laboratoriju



Podaci o povijesnim kemijskim analizama vode dobiveni su od Komunalnog društva „Ponikve voda d.o.o.“. S obzirom na to da se većina točaka uzorkovanja više ne koristi za javnu vodoopskrbu, ti podaci postoje samo za bušotine i izvor „Ogreni“ koji se povremeno koristi. Iz tog razloga za ostale izvore nije bilo moguće prikazati kvalitetu vode. Također, za većinu izvora dobivene su samo minimalne i maksimalne vrijednosti koncentracije kemijskih elemenata od velikog broja mjerenja pa dobivene srednje vrijednosti nisu reprezentativne. Stoga, dosta prikupljenih podataka nije uzeto u obzir.

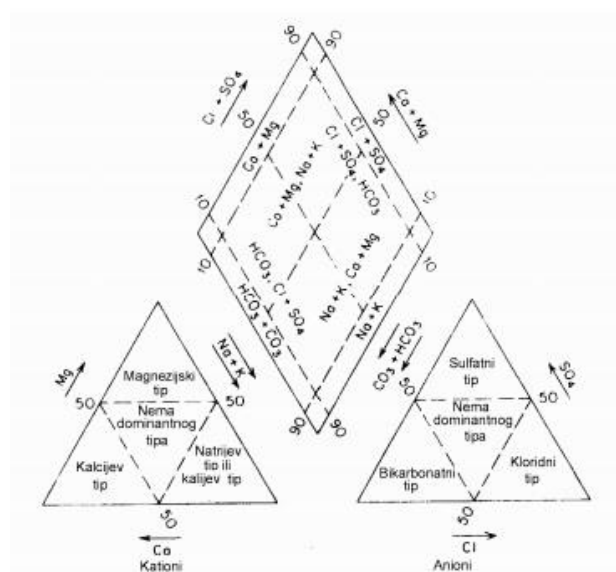
### 3.2. PIPER-OVI DIJAGRAMI

U hidrogeologiji se za grafičko prikazivanje sastava vode najčešće koristi Piperov dijagram (Piper, 1953). Riječ je o trokutastom dijagramu; u lijevi trokut se nanose postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih kationa ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ ), a u desni trokut udjeli ekvivalenata najvažnijih aniona ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Između njih je smješten romb, na čijim su nasuprotnim stranicama nanosene sume postotnih udjela grupe kationa i aniona. Sastav nekog uzorka određuju dvije točke, jedna u trokutu kationa i druga u trokutu aniona. Upravo ove dvije točke određuju kationski i anionski facijes vode. Od obje točke se povlači pravac prema rombu paralelan s vanjskom stranicom odnosnoga trokuta. Sjecište dvaju pravaca u rombu označuje ukupan sastav vode (Slika 3.6., Halle, 2004).



Slika 3.6. – Piperov dijagram i smještaj točaka koje prikazuju postotni udio aniona i kationa te njihov položaj u rombu (Halle, 2004)

Na ovaj način se na dijagram, u obliku točaka, mogu nanijeti sastavi mnogih uzoraka i odmah jasno vidjeti razlike u njihovom kemizmu. Svaka točka na rombu odgovara sastavu jednog uzorka vode (Slika 3.7.). Ovim se dijagramom može lako razlučiti i kojem hidrokemijском facijesu pripada pojedini uzorak vode (Halle, 2004).



Slika 3.7. – Prikaz vodnih facijesa u Piperovu dijagramu (Halle, 2004)

### 3.3. STABILNI IZOTOPI VODE

Izotopi su atomi istog kemijskog elementa koji se razlikuju po broju neutrona u jezgri. Broj protona u jezgri određuje kemijski element, a masa kemijskog elementa predstavlja zbroj protona i neutrona u jezgri. Stabilne izotope karakterizira to što im se jezgra tijekom vremena ne mijenja, za razliku od radioaktivnih izotopa kod kojih jezgra nakon određenog vremena doživi radioaktivni raspad.

Vodik ima dva stabilna izotopa i radioaktivni  $^3\text{H}$  tricij. Jedan stabilni izotop je  $^1\text{H}$  koji je ujedno i najčešće zastupljen, čak 99,985% , a drugi stabilni izotop je  $^2\text{H}$  deuterij (slika 3.8.).



Slika 3.8. - Izotopi vodika:  $^1\text{H}$  (1 proton u jezgri, lijevo),  $^2\text{H}$  (1 proton i 1 neutron u jezgri, u sredini),  $^3\text{H}$  (1 proton i 2 neutrona u jezgri, desno) (Krajcar Bronić, 2007)

Najznačajniji izotopi kisika su:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  i  $^{17}\text{O}$  od kojih je najzastupljeniji  $^{16}\text{O}$  s 99,76%. Koncentracija stabilnih izotopa izražava se omjerom manje zastupljenog izotopa u odnosu na zastupljeniji, na primjer  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , a koristi se veličina  $\delta$  ( $\delta^{18}\text{O}$ ) koja predstavlja relativno odstupanje omjera danih izotopa u nekom materijalu od omjera u standardnom materijalu i to odstupanje se izražava u promilima. Standard za neki izotop ima vrijednost  $\delta = 0\text{‰}$ . Materijali koji sadrže manje težeg izotopa imaju negativne  $\delta$  vrijednosti, a materijali koji sadrže više težeg izotopa imaju pozitivne  $\delta$  vrijednosti. Za mjerenje  $\delta$  vrijednosti za  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  se koristi međunarodni standard VSMOW (engl. Vienna Standard Mean Ocean Water). Izotopi imaju sva svojstva određenog kemijskog elementa, ali zbog različitih masa različite kemijske i fizikalne reakcije različito utječu na pojedine izotope istog kemijskog elementa. Upravo se zbog toga može zaključiti o podrijetlu ili uvjetima postanka izotopa. Razlika između izotopnog sastava početnog i krajnjeg produkta neke reakcije se naziva frakcionacija. Posebno je izražena frakcionacija izotopa kod promjene agregatnog stanja.

Lakši izotopi brže isparavaju, dok se teži izotopi lakše kondenziraju. Frakcionacija u procesima promjena faza ovisi o temperaturi. Teže molekule vode koje sadrže  $^2\text{H}$  ili  $^{18}\text{O}$  teže će isparavati iz oceana i time će oceani ostati bogatiji težim izotopima, dok će vodena para zbog zaostalih težih izotopa u oceanima postati osiromašena i imat će negativnije  $\delta$  vrijednosti. Pri kondenzaciji najprije kondenziraju teže molekule, pa vodena para također postane osiromašena težim izotopima. Ovi procesi rezultiraju značajnim promjenama u vremenskoj i prostornoj raspodjeli izotopnog sastava oborina. Zato oborine koje padaju sve kasnije na putu zračnih masa od obale oceana preko kontinenta imaju sve negativnije  $\delta$  vrijednosti. Najnegativnije  $\delta$  vrijednosti imaju polarna područja jer su jače osiromašene težim izotopima nego ekvatorijalna područja. Isto se dešava kod sezonskih varijacija pa se tako ljeti očekuju pozitivnije vrijednosti nego zimi. Oborine na većim nadmorskim visinama su negativnije nego na nižim. Površinske vode, pogotovo stajaće vode lakše gube izotope, zbog isparavanja pa voda u njima poprima pozitivnije  $\delta$  vrijednosti. Općenito se može reći da se povećanjem temperature povećavaju  $\delta$  vrijednosti i obrnuto. Atmosfera sadrži oko  $13\,000\text{ km}^3$  vode. Prosječna molekula vode se u atmosferi zadržava 9 dana prije nego što padne na Zemlju kao oborina, a u oceanu „živi“ oko 3000 godina prije ponovnog uključenja u fazu isparavanja hidrološkog ciklusa. Najčešća molekula vode se sastoji od vodika  $^1\text{H}$  i kisika  $^{16}\text{O}$ . Molekule s jednim težim izotopom  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  ili  $\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$  se lako i precizno mogu mjeriti. Oblici u kojima su istovremeno dva teža izotopa izrazito su rijetki. Međunarodna agencija za atomsku energiju (engl. International Atomic Energy Agency - IAEA) i Svjetska meteorološka organizacija (engl. World Meteorological Organization - WMO) 1961. godine su pokrenule program praćenja izotopnog sastava mjesečnih oborina uz klimatološke podatke kao što su: količina oborina, temperatura zraka i vlažnost te je dosada skupljeno 90 000 izotopnih podataka. Upravo na temelju brojnih izmjerenih podataka o izotopnom sastavu oborina došlo se do nekoliko značajnih korelacija koje se primjenjuju u klimatološkim i hidrogeološkim istraživanjima. Utvrđena je dobra korelacija između  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  koja se opisuje kao  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  i naziva se „globalna linija oborinske vode“ (engl. Global Meteoric Water Line - GMWL). Odstupanja izotopnog sastava podzemnih i površinskih voda od GMWL ukazuju na povećano isparavanje iz stajaćih voda ili neke druge izmjene u vodonosnicima. Dokazana je veza između srednje temperature zraka i  $\delta^{18}\text{O}$  oborina, stoga izotopni sastav može ukazati na područje prihranjivanja i sezonsku ovisnost prihranjivanja vodonosnika (Krajcar Bronić, 2007). Osim GMWL, za prikaz omjera  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  može se koristiti i „lokalna linija oborinske vode LMWL (engl. Local Meteoric Water Line - LMWL).

U novije vrijeme se često za mjerenje izotopa  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  u vodi koristi LAS metoda (engl. Laser Absorption Spectrometers). Uređaj koji se koristi za LAS mjerenja zove se laserski absorpcijski spektroskop (Slika 3.9.) Za mjerenja su potrebni standardi koji moraju biti kalibrirani; standard s najvišom  $\delta$  vrijednosti (pozitivni  $\delta$ ) i najnižom  $\delta$  vrijednosti (negativni  $\delta$ ). U ovom radu korišteni su radni standardi tvrtke LGR (engl. Los Gatos Research; Tablica 3.2). Uzorci na kojima se izvode mjerenja trebaju biti, čuvani na tamnom i hladnom mjestu te treba izbjegavati zaslanjene uzorke (Wassenar et al, 2014) Soli i nečistoće mogu oštetiti šprice na uređaju pa se uzorci najčešće filtriraju (Slika 3.10.). Pripremljeni uzorci prikazani su na Slici 3.11.



Slika 3.9. – Uređaj za mjerenje stabilnih izotopa vode

Tablica 3.2. – Prikaz korištenih standarda

Ime standarda	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ VSMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ VSMOW)
LGR 1C	$-19,49 \pm 0,15$	$-154 \pm 0,5$
LGR 2C	$-16,24 \pm 0,15$	$-123,7 \pm 0,5$
LGR 3C	$-13,39 \pm 0,15$	$-97,3 \pm 0,5$
LGR 4C	$-7,94 \pm 0,15$	$51,6 \pm 0,5$
LGR 5C	$-2,69 \pm 0,15$	$-9,2 \pm 0,5$



Slika 3.10. – Filtriranje uzorka



Slika 3.11. – Pripremljeni uzorci

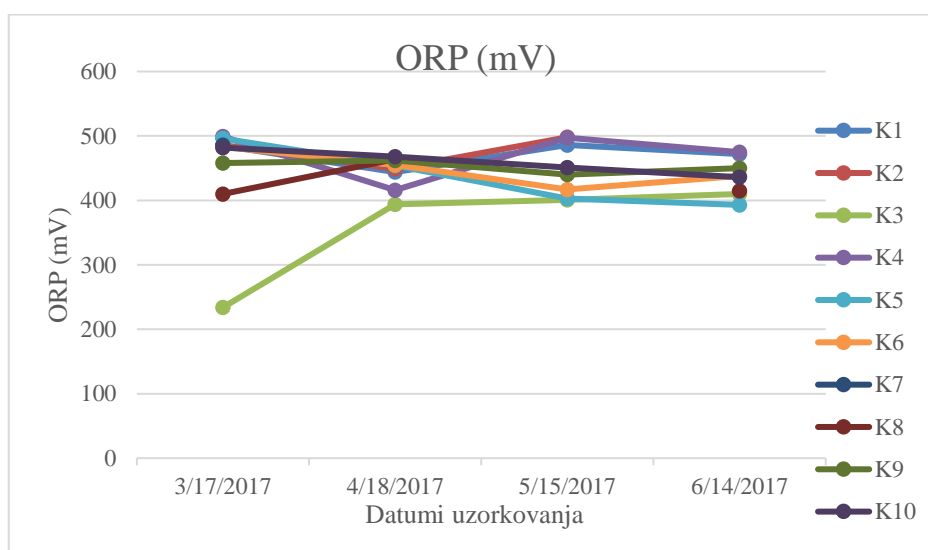
## 4. REZULTATI

### 4.1. TERENSKA I LABORATORIJSKA MJERENJA

Tablica 4.1. prikazuje vrijednosti ORP-a kroz vrijeme uzorkovanja za svaku točku uzorkovanja. Na Slici 4.1. vidljivo je da svi uzorci pokazuju vrijednosti koje se kreću u rasponu od 390 i 500 mV. Jedino, vrijednost uzorka K3 s izvorišta Rovožnik uvelike odskae od ovih vrijednosti za prvo uzorkovanje u ožujku. S obzirom na to da se ova vrijednost pojavila samo jednom i da se vrijednosti ORP-a na ovom izvoru kreću u navedenom rasponu sa svim ostalima u svim kasnijim uzorkovanjima, moguće je da je došlo do greške u mjerenju ili posebnih uvjeta u tom trenutku koje se ne mogu objasniti jer nije uzorkovana cijela hidrološka godina.

Tablica 4.1. Vrijednosti ORP-a kroz vrijeme uzorkovanja za svaku točku uzorkovanja

ORP (mV)										
Datum uzorkovanja	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
17.03.2017.	485	486	234	499	496	483	486	410	458	482
18.04.2017.	444	449	394	416	454	455		464	462	468
15.05.2017.	486	498	401	497	403	417			440	451
14.06.2017.	472		410	475	393	438		415	450	436



Slika 4.1. – Prikaz promjene ORP-a kroz vrijeme uzorkovanja

Podaci s pH vrijednostima za prijašnje godine za bušotine: EB1 (K8), EB2 (K6) i EP1 (K1) te izvor Ogreni (K4), koji su ustupljeni od Komunalnog društva Ponikve voda d.o.o. prikazani su u Tablici 4.2. Neka polja u tablici su prazna jer ustupljene podatke nije bilo moguće obraditi zbog nedostatka podataka kako bi se dobile srednje godišnje vrijednosti. Vrijednosti pH koje su izmjerene na terenu od ožujka do lipnja na svim točkama uzorkovanja na kojima je to bilo moguće, jer su neki izvori presušili, prikazani su na Tablici 4.3. Sa Slike 4.2. na kojoj su u obliku grafa prikazane promjene pH vrijednosti za svaku točku uzorkovanja vidi se da se pH većine uzoraka mijenja u rasponu od 7 do 8 i da jedini uzorak koji se ističe manjim pH od 7 je K3, izvor Rovoznik koji je pokazao odstupanje i kod mjerenja ORP vrijednosti. Ipak, vrijednosti s Rovoznika u pH vrijednosti odstupaju u svibnju i lipnju, a ne u ožujku kako je bio slučaj s ORP-om. Usporedbom mjerenih pH vrijednosti s terena i onih dobivenih od Komunalnog društva Ponikve d.o.o. nisu utvrđena veća odstupanja. Gledajući linearne trendove od 2007. godine do uzorkovanja u 2017. godini zamjećuje se kontinuirani pad pH vrijednosti na bušotini EP1, sa 7,6 na 7,2.

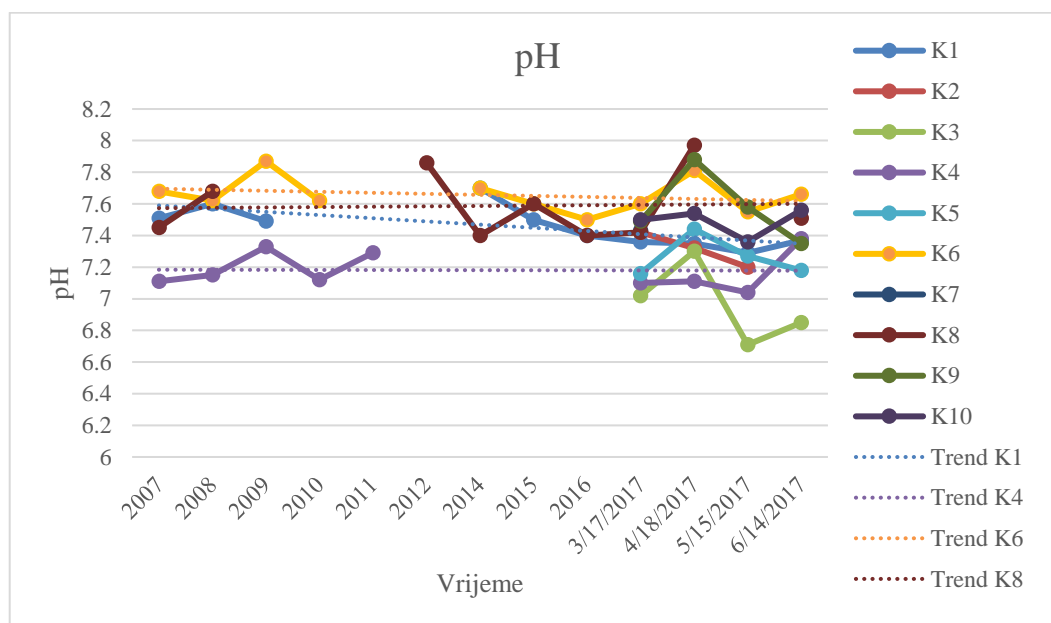
Tablica 4.2. – Prosječne godišnje pH vrijednosti za bušotine EB1, EB2, EP1 i izvor Ogreni za razdoblje od 2007. do 2016. godine

Ph				
	EB1 (K8)	EB2 (K6)	Ogreni (K4)	EP1 (K1)
2007	7,45	7,68	7,11	7,51
2008	7,68	7,62	7,15	7,6
2009		7,87	7,33	7,49
2010		7,62	7,12	
2011			7,29	
2012	7,86			
2014	7,4	7,7		7,7
2015	7,6	7,6		7,5
2016	7,4	7,5		7,4



Tablica 4.3. – Vrijednosti pH vode za svaku točku uzorkovanja

Ph										
Datum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
17.03.2017.	7,36	7,42	7,02	7,1	7,16	7,6	7,43	7,42	7,49	7,5
18.04.2017.	7,35	7,32	7,3	7,11	7,44	7,81		7,97	7,88	7,54
15.05.2017.	7,29	7,2	6,71	7,04	7,27	7,55			7,58	7,36
14.06.2017.	7,37		6,85	7,38	7,18	7,66		7,51	7,35	7,56

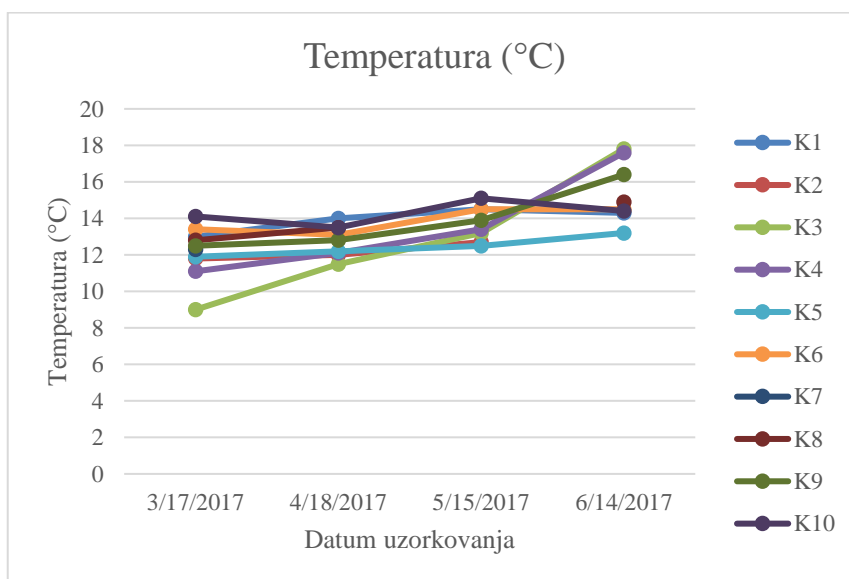


Slika 4.2. – Promjene vrijednosti pH vode u vremenu

U Tablici 4.4. prikazane su promjene temperature vode od početka do kraja uzorkovanja. Na svim točkama uzorkovanja uočava se porast temperature vode iz mjeseca u mjesec, što je logično, jer se i temperatura zraka u navedenim mjesecima povećava (Slika 4.3.). Većina izmjerenih temperatura vode se kreće od 10,5 do 16 °C. Maksimalne temperature od 17,6°C i 17,8 °C zabilježene su 14.6.2017. godine na K3 – izvor Rovoznik i K4 – izvor Ogreni. Najveću temperaturnu promjenu u navedena četiri mjeseca, s 8,5 °C na 17,8 °C, ima K3 – izvor Rovoznik.

Tablica 4.4. – Izmjerene temperature vode za svaku točku uzorkovanja

Temperatura (C)										
Datum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
17.03.2017	13	11,8	9	11,1	11,9	13,4	12,3	12,8	12,5	14,1
18.04.2017	14	12	11,5	12,1	12,2	13,1		13,5	12,8	13,5
15.05.2017	14,5	12,7	13,2	13,4	12,5	14,5			13,9	15,1
14.06.2017	14,3		17,8	17,6	13,2	14,5		14,9	16,4	14,4

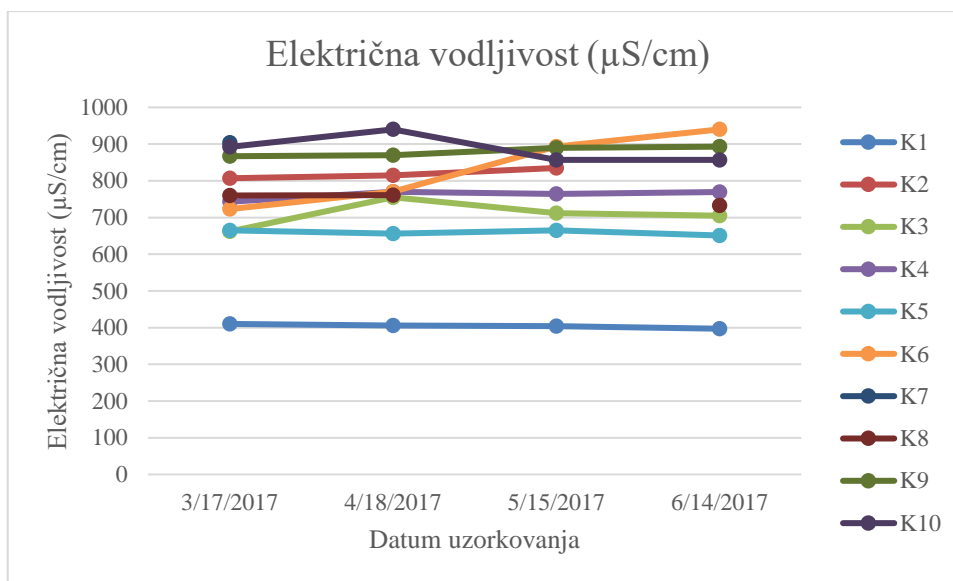


Slika 4.3. - Izmjerene temperature vode u svim točkama uzorkovanja

U tablici 4.5. prikazane su izmjerene vrijednosti električne vodljivosti uzorkovane vode za sve točke uzorkovanja od ožujka do lipnja. Na grafu je vidljivo da se većina vrijednosti kreće u rasponu od 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  što je malo iznad očekivanih. Osim na lokacijama K6 – EB2 i K10 – izvor Santis gore ne uočavaju se značajnije promjene električne vodljivosti u razdoblju uzorkovanja. Znatno manju električnu vodljivost, oko 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pokazuje K1 – EP1, ali također bez značajnih promjena kroz vrijeme uzorkovanja. Izvor Rovoznik (K3), koji se prema ORP-u, pH i temperaturi vode izdvajao od ostalih točaka uzorkovanja, ne pokazuje veća odstupanja u električnoj vodljivosti; bilježi blagi porast kroz vrijeme uzorkovanja, najvjerojatnije zbog porasta temperature vode.

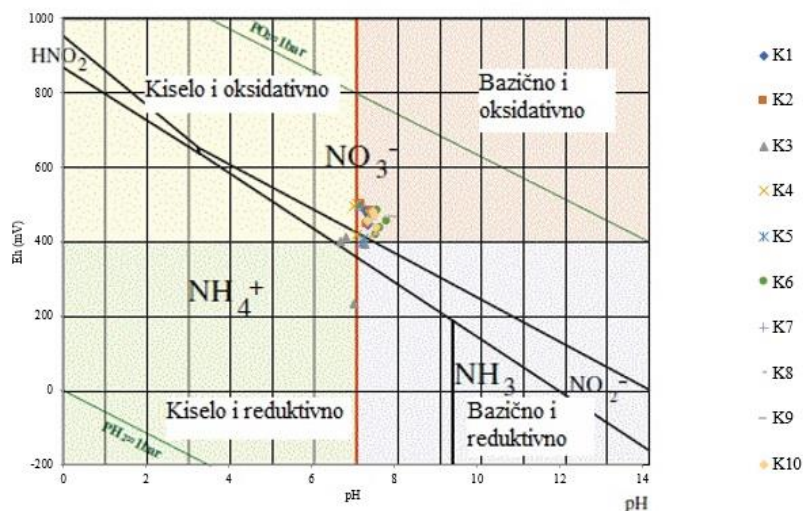
Tablica 4.5. – Prikaz izmjerenih vrijednosti električne vodljivosti

Električna vodljivost ( $\mu\text{S/cm}$ )										
Datum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
17.03.2017.	410	807	662	743	665	723	904	760	867	892
18.04.2017.	406	815	755	770	656	770		761	870	940
15.05.2017.	404	835	712	764	665	893			890	857
14.06.2017.	397		705	769	651	940		733	893	857

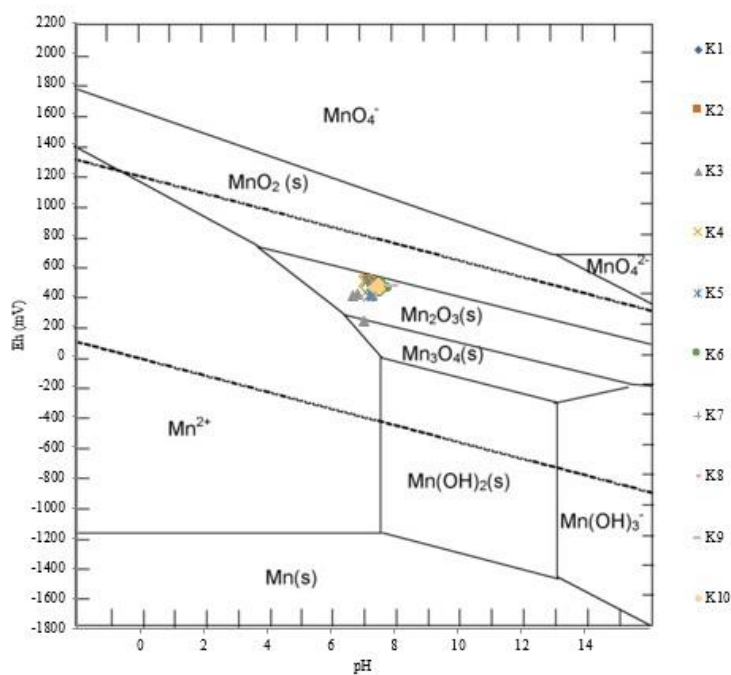


Slika 4.4. – Grafički prikaz izmjerenih vrijednosti električne vodljivosti

U nastavku su prikazani Pourbaix-ovi Eh-pH dijagrami za dušik, mangan i željezo. Što se tiče dušika i njegovih spojeva, svi uzorci se nalaze u blago oksidativnom i neutralnom polju gdje egzistiraju nitrati, osim K3- izvor Rovoznik. (Slika 4.5.) Iz dijagrama sa Slike 4.6. je odmah vidljivo da je Mn (II) najstabilnije oksidacijsko stanje mangana.  $\text{MnO}_4^-$  je jako oksidacijsko sredstvo. U bazičnim uvjetima ne postoji  $\text{Mn}^{2+}$  već netopljivi  $\text{Mn(OH)}$ . Svi uzorci vode, osim onog s K3-izvor Rovoznik, pripadaju polju u kojem je mangan stabilan u obliku  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . To znači da u vodonosniku prevladavaju blago oksidativni i skoro neutralni uvjeti. Uspoređujući to s Pourbaix-ovim dijagramom za željezo, uočava se slična vodonosna sredina. I u ovom slučaju svi uzorci osim s K3-izvor Rovoznik, pripadaju istom polju u dijagramu u kojem je željezo stabilno u obliku amorfnog željezovog hidroksida  $\text{Fe(OH)}_3$  (Slika 4.7.). Generalno se može reći da su svi uzorci, osim uzorka s točke K3, sličnih oksidativno-reduktivnih svojstava s obzirom na dušik, željezo i mangan.

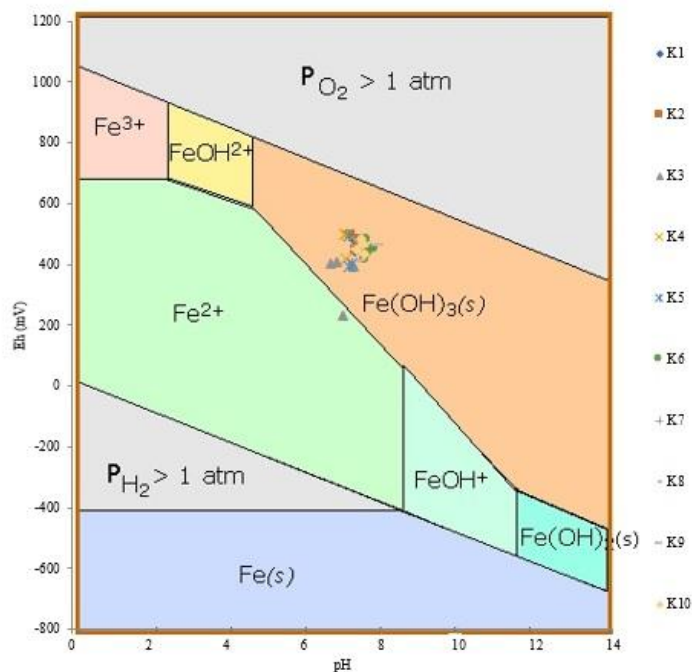


Slika 4.5. – Eh-pH dijagram za dušik (podloga preuzeta iz Husson, 2013)



Slika 4.6. - Eh-pH dijagram za mangan (podloga preuzeta sa:

[https://en.wikibooks.org/wiki/Introduction\\_to\\_Inorganic\\_Chemistry/Redox\\_Stability\\_and\\_Redox\\_Reactions](https://en.wikibooks.org/wiki/Introduction_to_Inorganic_Chemistry/Redox_Stability_and_Redox_Reactions))



Slika 4.7. - Eh-pH dijagram za željezo (podloga preuzeta sa:

[https://chem.libretexts.org/Textbook\\_Maps/General\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Map%3A\\_Chem1\\_\(Lower\)/16%3A\\_Electrochemistry/24.04%3A\\_The\\_Nernst\\_Equation\)](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/General_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Chem1_(Lower)/16%3A_Electrochemistry/24.04%3A_The_Nernst_Equation)

Krške terene karakterizira velika promjena izdašnosti izvora kroz hidrološku godinu. Bez obzira na to što su uzorkovanja rađena samo kroz četiri mjeseca, na izvorima se vidi promjena izdašnosti. Svi izvori na kojima je bila mogućnost mjerenja izdašnosti pokazuju smanjenje izdašnosti u razdoblju od ožujka do lipnja (Slika 4.8.). Posebno se ističe K4 – izvor Ogreni koji je kroz 4 mjeseca sa izdašnosti od 7 l/s dosegao samo 0,004 l/s. Kako bi se bolje vidjele izdašnosti svih izvora prikazane su u logaritamskom mjerilu. Nekoliko dana nakon uzorkovanja Ogreni je potpuno presušio. Na izvoru Rovoznik – K3 u lipnju nije izmjerena izdašnost zbog tehničkih poteškoća. Izvor Žanac je jedini od uzorkovanih izvora kojem izdašnost varira manje nego kod ostalih i jedino ovaj izvor ne presuši kroz ljetne mjesece (Tablica 4.6.).

Tablica 4.6. – Prikaz promjene izdašnosti uzorkovanih izvora kroz vrijeme uzorkovanja

Izdašnost (l/s)					
Ime izvora	Ime točke	17.03.2017.	18.04.2017.	15.05.2017.	14.06.2017.
Paprata-izvor	K2	0,11	0,03	0,01	/
Rovoznik	K3	0,50	0,45	0,67	/
Ogreni	K4	7,00	5	0,2	0,004
Žanac	K5	0,17	0,2	0,14	0,14
Santis dolje	K7	0,25	/	/	/
Pod jabuke	K9	0,50	0,09	0,11	0,05

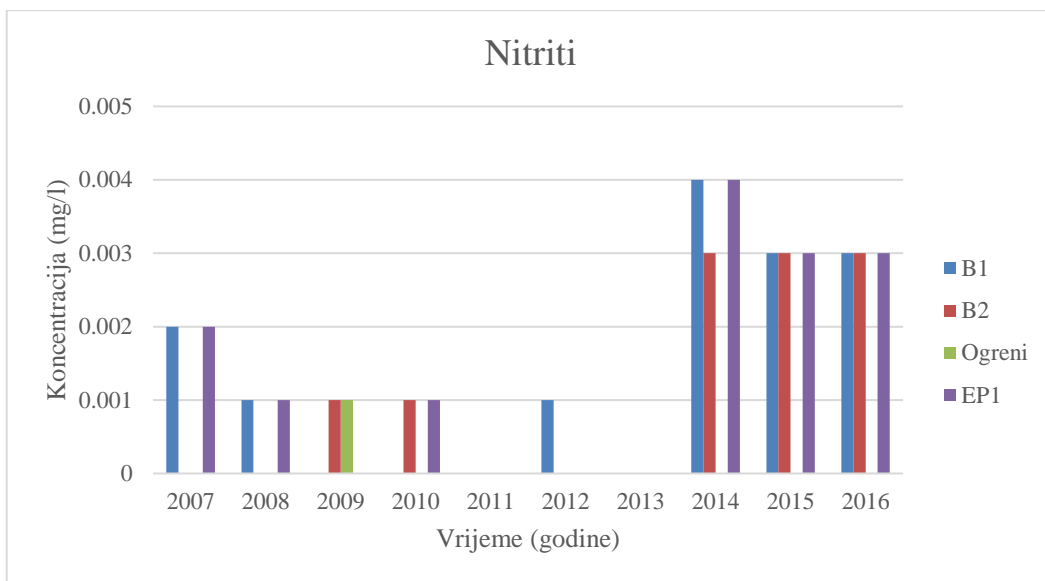


Slika 4.8. - Prikaz promjene izdašnosti izvora od ožujka do lipnja

#### 4.2. KVALITETA VODE I TRENDOVI

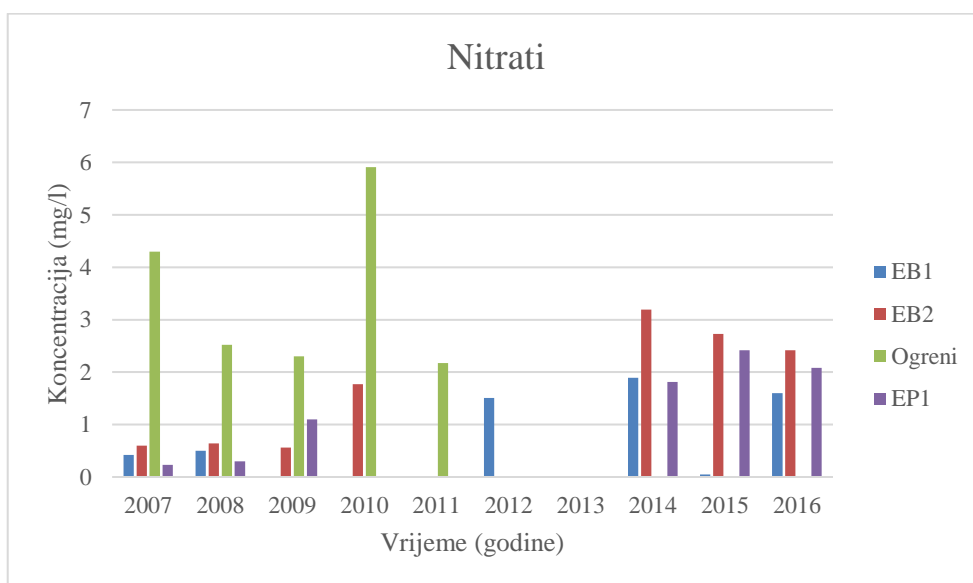
Izvešća s redovnih analiza podzemne vode s bušotina EB1 i EB2, koja su dobivena na uvid od Komunalnog društva Ponikve voda d.o.o., nisu pokazala odstupanja niti jednog praćenog parametra koji premašuje maksimalne dopuštene koncentracije (MDK) prema „Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2013, 128/15, dalje u tekstu Pravilnik). Dobiveni parametri dali su općenitu sliku da voda na otoku Krku ne premašuje, niti se približava MDK vrijednostima. Neki parametri nisu prikazani jer je dobivena samo jedna minimalna i jedna maksimalna vrijednost za određeni parametar koji je mjeren više puta. Nije bilo moguće izračunati srednju vrijednost

koja bi bila reprezentativna za taj parametar. Ipak, vrijednosti nitrita, nitrata, natrija, klorida i sulfata od 2007. godine do 2016. godine za četiri lokaliteta, su stavljeni u tablice Microsoft Excel. U tablicama su izdvojeni podaci kojima je moguće izračunati srednju vrijednost te su prikazani grafovima. Na slici 4.9. vide se koncentracije nitrita na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni od 2007. do 2016. godine, koje su daleko ispod MDK vrijednosti (prema Pravilniku MDK iznosi 0,5 mg/l). MDK za nitrata je 50 mg/l, a na slici 4.10. jasno se vidi da koncentracije nitrata nigdje ne premašuju 6,4 mg/l, a većinom su ispod 5 mg/l što nije upozoravajuće niti potencijalno opasno. Što se tiče koncentracije natrija, najviše koncentracije, do 118 mg/l, sadrži bušotina EB2, a najmanje EP1 (Slika 4.11.). Koncentracije navedenih parametara za izvor Ogreni prikazane su do 2011. godine jer se nakon 2011. nisu provodila mjerenja. Izvor Ogreni od tada nije u sustavu opskrbe vodom za piće jer akumulacija Ponikve zadovoljava sve potrebe tog dijela otoka. Općenito se može reći da ni za jedan parametar, osim što ne premašuje MDK vrijednosti prema Pravilniku, se ne uočava značajni uzlazni trend koji bi ukazivao na mogući problem u skoroj budućnosti. Jedini parametar koji je blizu MDK vrijednosti su kloridi (Slika 4.12.). Vidljivo je da voda iz EB1 i EB2 varira većinom od 150 do 220 mg/l te se približava MDK vrijednosti koja prema Pravilniku iznosi 250 mg/l. Što se tiče sulfata, ni na jednom izvoru, ni bušotini, ne premašuju koncentraciju od 43 mg/l, što je daleko ispod MDK vrijednosti koja kao i za kloride iznosi 250 mg/l (Slika 4.13.).



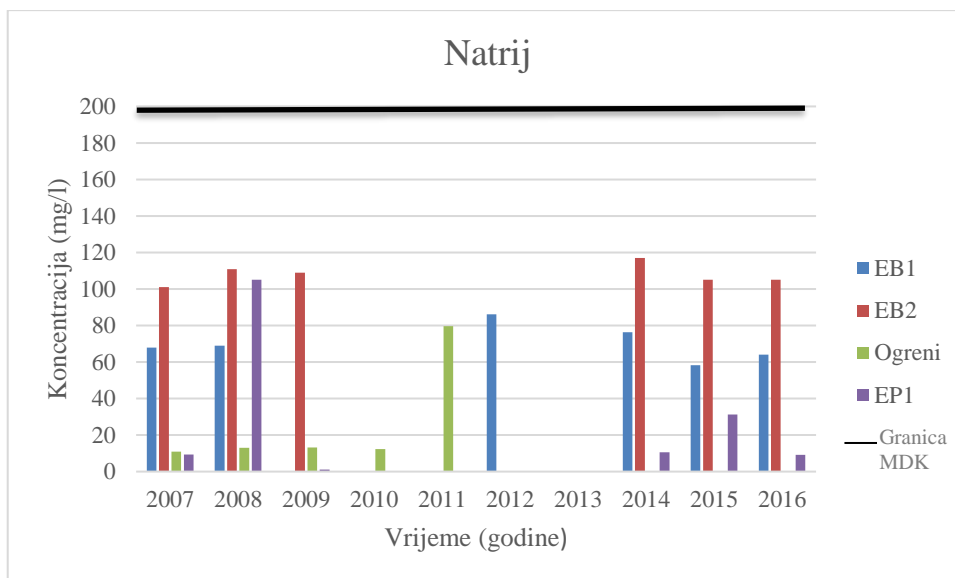
Slika 4.9. – Prikaz koncentracije nitrita na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru

### Ogreni

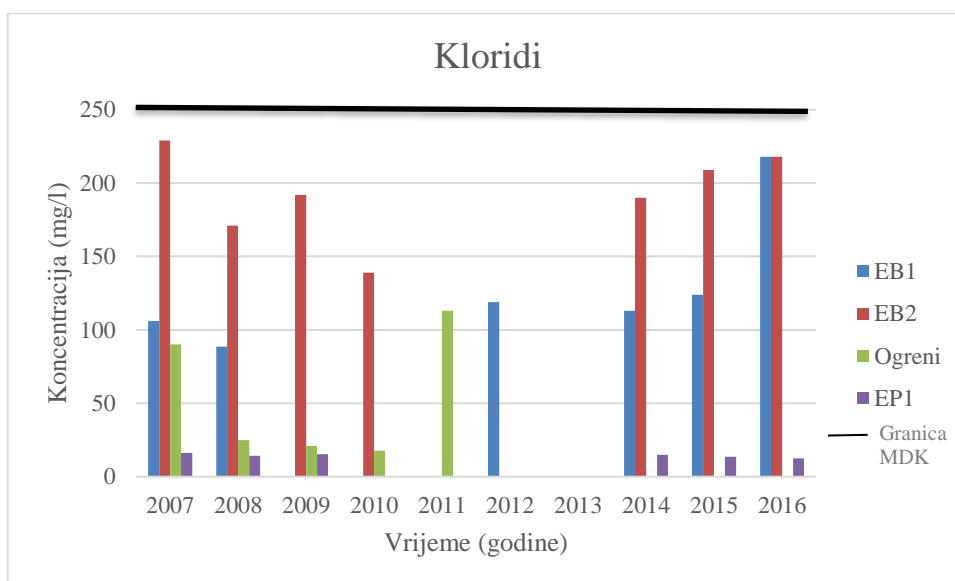


Slika 4.10. - Prikaz koncentracije nitrata na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni

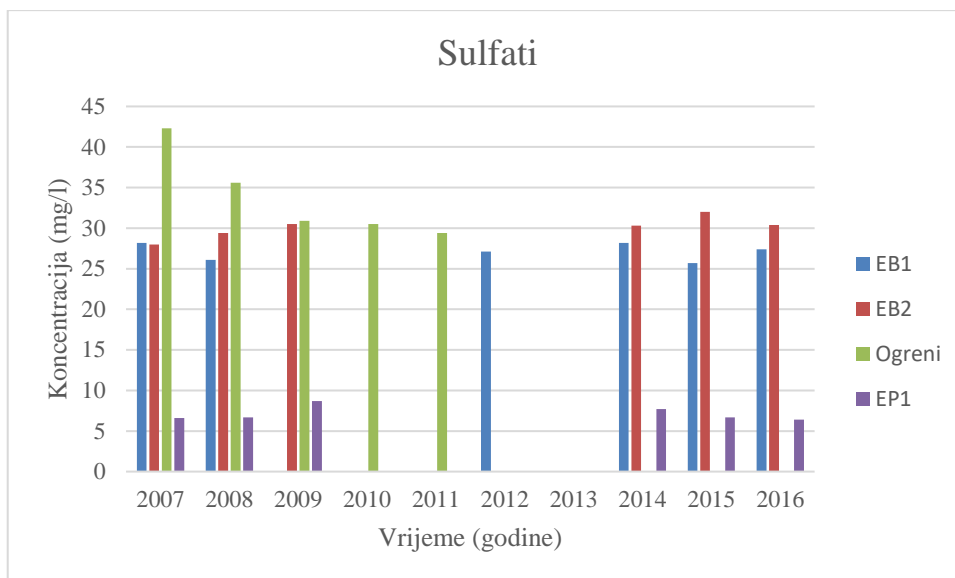




Slika 4.11. - Prikaz koncentracije natrija na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni



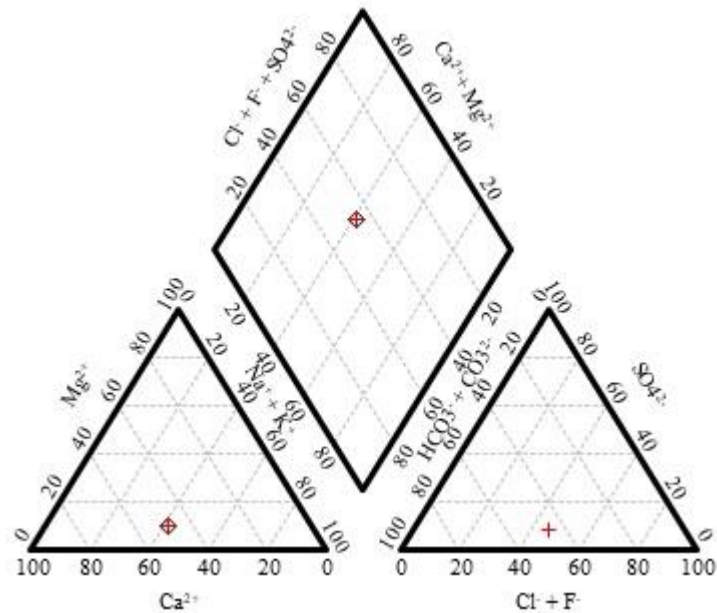
Slika 4.12. - Prikaz koncentracije klorida na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni



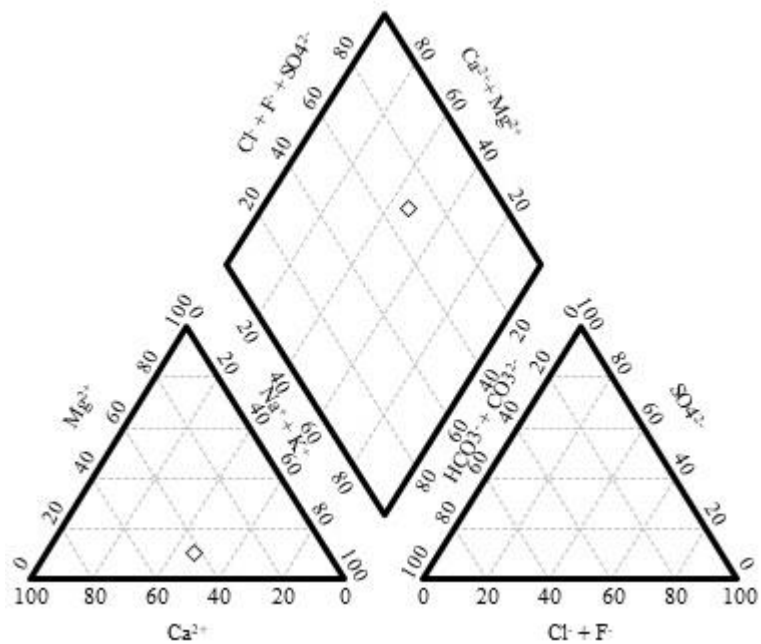
Slika 4.13. - Prikaz koncentracije sulfata na bušotinama EB1, EB2, EP1 i izvoru Ogreni

#### 4.3. HIDROGEOKEMIJSKI FACIJES

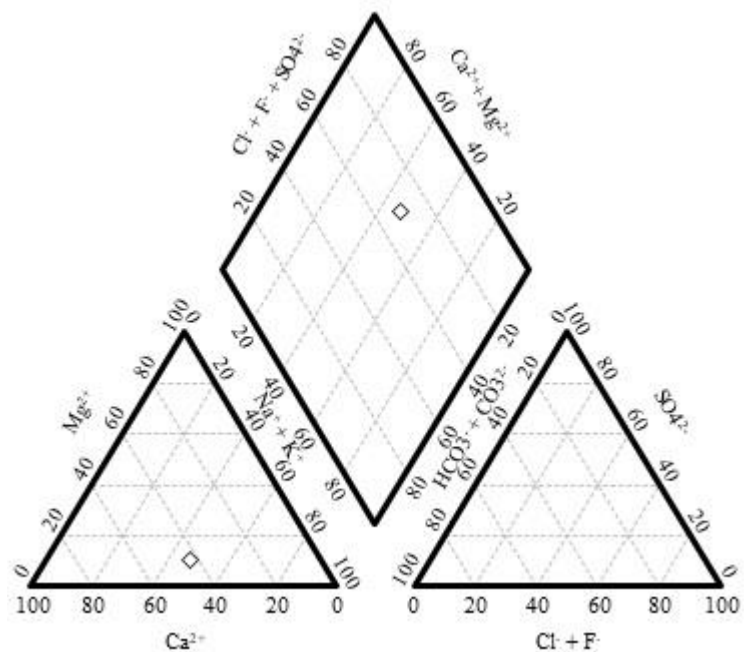
Na slikama 4.14., 4.15. i 4.16. prikazane su vrijednosti sastava vode za EB1 za 2012., 2015. i 2016. godinu. Vidljivo je da uzorak iz 2012. godine malo odstupa od ostala dva i nalazi se gotovo na sredini dijagrama na granici između Ca + Mg, Na + K i Na + K, Ca + Mg. Uglavnom, uzorci iz EB1 mogu se svrstati dominantno u CaNaHCO<sub>3</sub>Cl tip hidrogeokemijskog facijesa.



Slika 4.14. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB1 za 2012. godinu

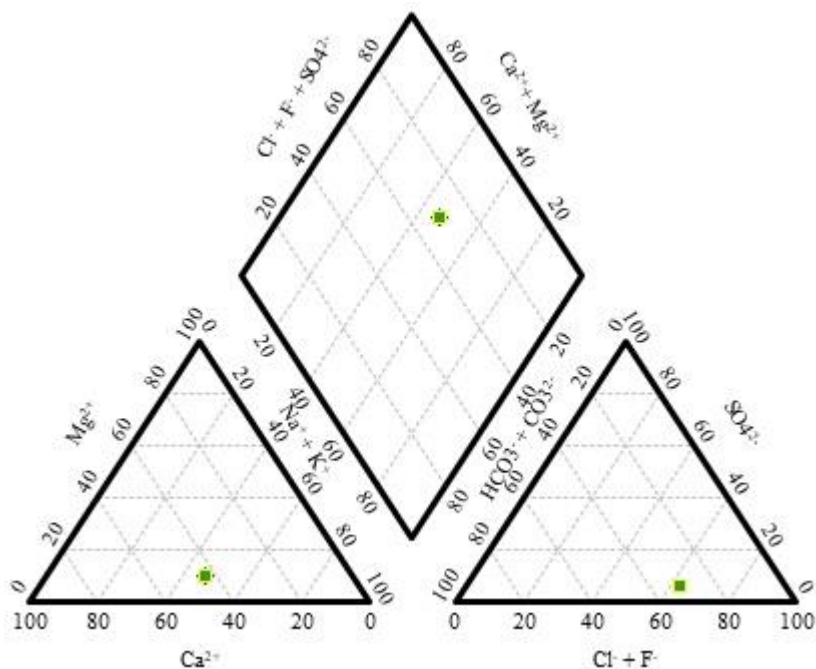


Slika 4.15. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB1 za 2015. godinu

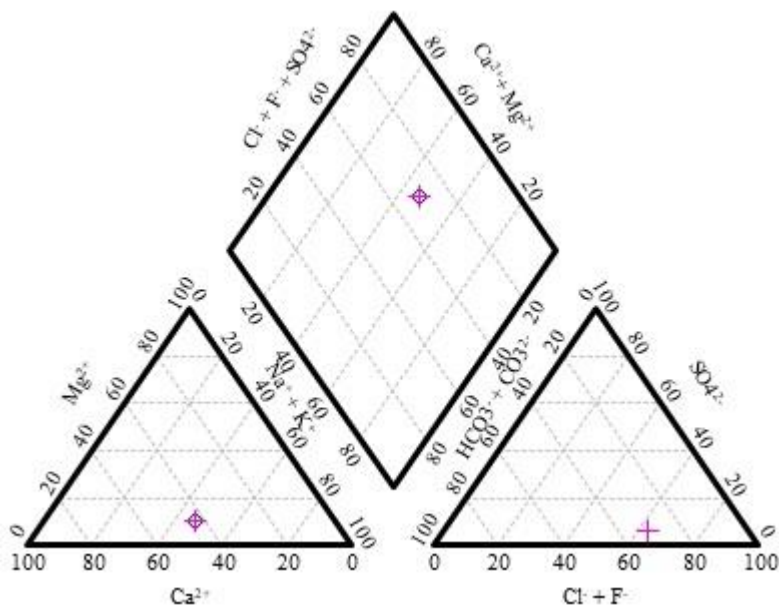


Slika 4.16. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB1 za 2016. godinu

Uzorci vode s EB2 iz 2015. i 2016. godine gotovo se poklapaju, a uzorci se na Piperovom dijagramu nalaze na granici tipova  $\text{Ca}^{2+}\text{Na}^+\text{HCO}_3^-\text{Cl}^-$  i  $\text{Ca}^{2+}\text{Na}^+\text{Cl}^-$  (Slike 4.17. i 4.18.).



Slika 4.17. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB2 za 2015. godinu



Slika 4.18. - Sadržaj glavnih kationa i aniona za EB2 za 2015. godinu

#### 4.4. STABILNI IZOTOPI VODE NA OTOKU KRKU

U Tablici 4.7. prikazan je izotopni sastav podzemne vode na točkama uzorkovanja od ožujka do lipnja (K1-K10), te izotopni sastav oborinske vode sakupljene 17., 27. i 28. travnja te 18. i 19. svibnja 2017. godine (O1-O5).

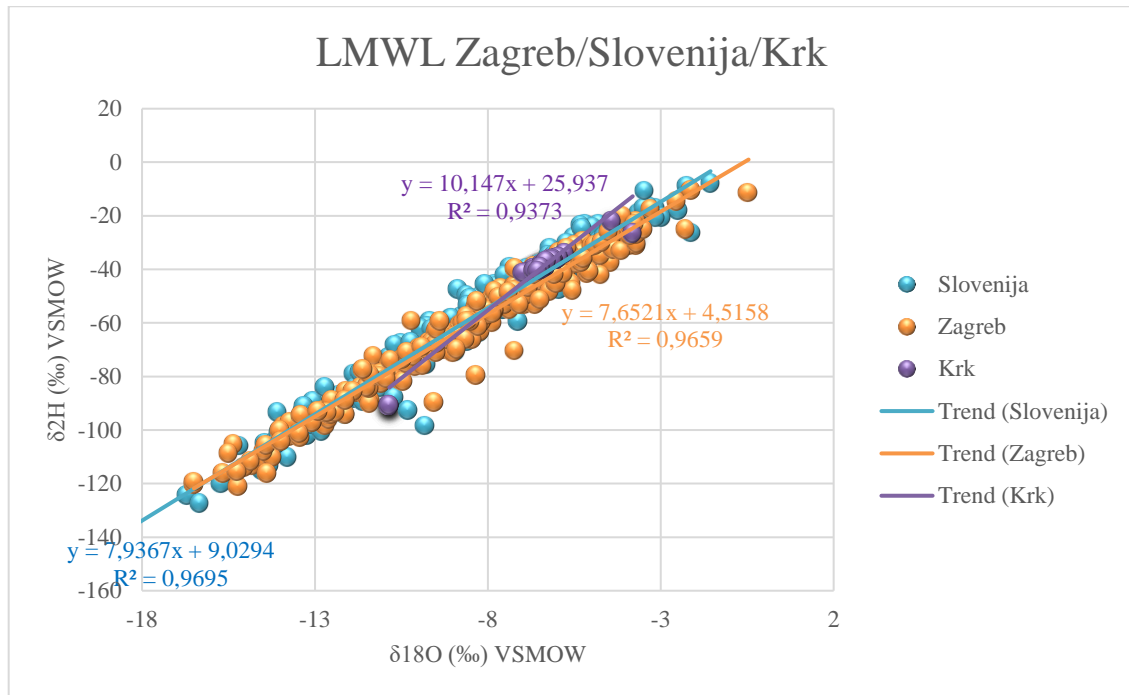
Tablica 4.7. Prikaz  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  vrijednosti za uzorkovanu vodu

Ime izorka	Datum uzorkovanja	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
K1	17.03.2017	-39,12	-6,48
K2	17.03.2017.	-35,95	-6,05
K3	18.03.2017	-33,92	-5,78
K4	17.03.2017.	-36,08	-6,19
K5	19.03.2017	-39,55	-6,59
K6	17.03.2017.	-41,44	-6,84
K7	20.03.2017	-39,43	-6,34
K8	17.03.2017.	-40,54	-6,7
K9	21.03.2017	-39,52	-6,54
K10	17.03.2017.	-39,94	-6,53
K1	18.04.2017	-6,48	-6,42
K2	18.04.2017	-6,05	-6,02
K3	18.04.2017	-5,78	-6,09
K4	18.04.2017	-6,19	-6,25
K5	18.04.2017	-6,59	-6,59
K6	18.04.2017	-6,84	-6,87
K8	18.04.2017	-6,34	-6,61
K9	18.04.2017	-6,7	-6,45
K10	18.04.2017	-6,54	-6,45
K1	15.05.2017	-6,53	-6,38
K2	15.05.2017	-36,1	-6,01
K3	15.05.2017	-35,46	-5,95
K4	15.05.2017	-36,33	-6,11
K5	15.05.2017	-39,61	-6,66
K6	15.05.2017	-41,36	-6,89
K9	15.05.2017	-39,28	-6,49
K10	15.05.2017	-39,83	-6,56
K1	14.06.2017	-38,7	-6,4
K3	14.06.2017	-36,68	-6,13
K4	14.06.2017	-37,02	-6,31
K5	14.06.2017	-40,54	-6,7
K6	14.06.2017	-41,26	-6,97
K8	14.06.2017	-40,25	-6,66
K9	14.06.2017	-39,11	-6,47
K10	14.06.2017	-40,47	-6,55

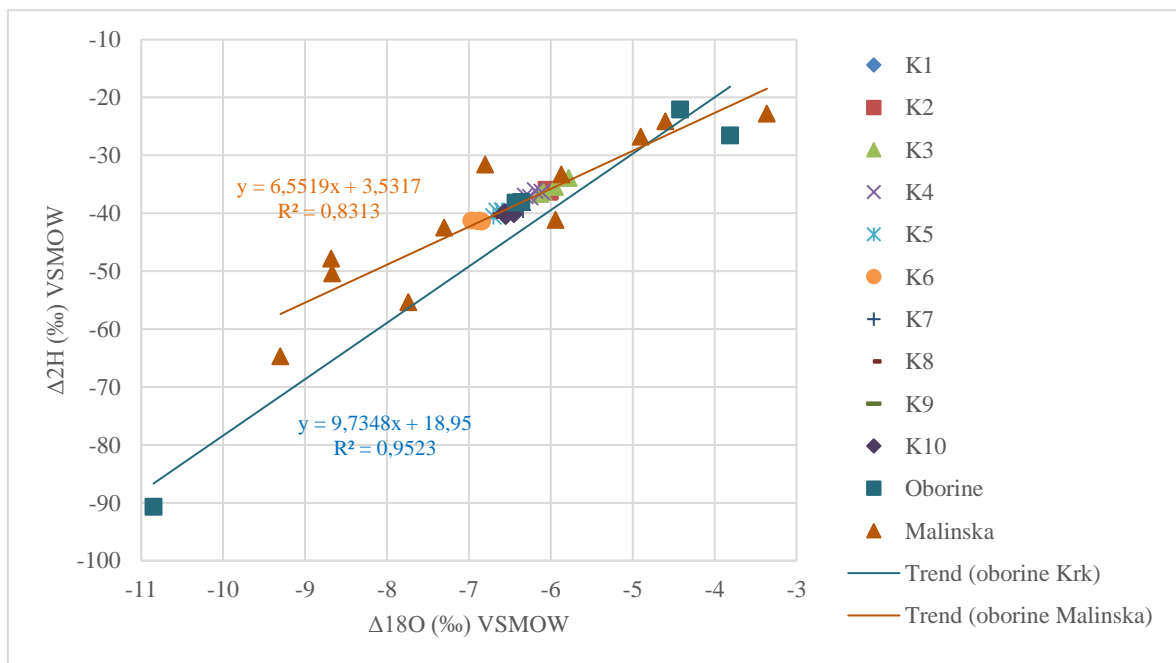
Nastavak Tablice 4.7.			
O1	17.04.2017	-90,66	-10,85
O2	27.04.2017	-38,16	-6,43
O3	28.04.2017.	-38,07	-6,36
O4	18.05.2017	-26,53	-3,81
O5	19.05.2017	-22,08	-4,42

Na Slici 4.19. prikazane su linije oborinske vode za zagrebačko područje i područje Slovenije te oborinske vode s otoka Krka (četiri uzorka) i podzemne vode s otoka Krka (uzorci K1-K10). U prvoj fazi sve točke uzorkovanja su uzete u obzir i stavljene na jednu liniju. Trendovi pokazuju da izotopni sastav uzorkovane vode ima najveći nagib, a jedna točka, odstupa od ostalih vrijednosti, a odnosi se na oborinsku vodu koja je sakupljena 17.4.2017. godine. S obzirom na to da su oborinske vode uvijek sakupljane na isti način, u istu posudu i na istom mjestu, ovo odstupanje se može pojasniti na dva načina. Postoji mogućnost da je na dan sakupljanja oborine, 17.4.2017. godine bila oluja koja je došla iz suprotnog smjera od ostalih oluja. No, da bi se potvrdila ova pretpostavka, potrebno je detaljno pratiti nadolazeće oluje i sakupljati oborinsku vodu dulje vremena. Drugo objašnjenje zašto taj uzorak tako jako odstupa od ostalih je nedovoljna pažnja prilikom transporta ili je oborina predugo bila na prevelikoj temperaturi pa je došlo do isparavanja. Nagib linije izotopnog sastava vode s Krka, u usporedbi s LMWL linijama za Sloveniju i Zagreb, pokazuje veći nagib, najvjerojatnije zbog većih temperatura. No, ovaj zaključak ne može se provesti sa sigurnošću jer su LMWL linije za Zagreb i Sloveniju rađene kroz dulje vrijeme nego za Krk pa bi se prateći cijelu hidrološku godinu na Krku moguće dobila veća podudarnost. Za otok Krk su korišteni podaci s uzorkovanja (Tablica 4.7.). te podaci oborinske vode za Malinsku iz 2001. godine iz IAEA baze podataka. Slika 4.20. prikazuje izotopni sastav podzemne vode uzorkovane od ožujka do lipnja 2017. godine na lokalitetima K1-K10, oborinske vode sakupljene u Krku u istom periodu te izotopni sastav oborinske vode u Malinskoj koji je izmjeren 2001. godine. Na grafu se može uočiti velika korelacija između navedenih rezultata. Rezultati uzoraka iz 2017. godine i 2001. godine ne razlikuju se mnogo. Jedini uzorak koji narušava isti trend je uzorak oborine sakupljen 17.4.2017. S obzirom na rezultate iz oborinske vode iz Malinske i ostale rezultate oborinske vode iz Krka koji odlično koreliraju, ovaj uzorak definitivno ne treba uzeti u obzir pri interpretaciji. Ono što su istraživanja izotopnog sastava podzemne i oborinske vode na otoku Krku dokazala je da se vodonosnici na Krku isključivo napajaju oborinama. Izotopni sastav oborinske vode se jako dobro poklapa s izotopnim sastavom podzemne

vode. Treba napomenuti da su svi dobiveni rezultati LAS metodom bili izvedeni s visokom razinom točnosti bez mnogo odstupanja u rezultatima ponovljenih mjerenja.



Slika 4.19. – Grafički prikaz izotopnog sastava za Zagreb, Sloveniju i Krk



Slika 4.20. – Grafički prikaz izotopnog sastava oborinske vode u Malinskoj 2001. godine i podzemne i oborinske vode u Krku 2017. godine



## 5. ZAKLJUČAK

Na otoku Krku prevladavaju sedimentne stijene donje i gornje krede, paleogena, neogena i kvartara, te je u skladu s utvrđenim naslagama izrađena karta propusnosti otoka Krka u programskom paketu GIS, ArcMap 10.1. Voda je uzorkovana na tri bušotine i sedam izvora na otoku Krku kroz četiri mjeseca. Sakupljeno je i pet uzoraka oborinske vode. In situ su izmjereni pH vrijednost, ORP, temperatura vode i izdašnost izvora. U laboratoriju je izmjerena električna vodljivost. pH vrijednosti uzorkovane vode se kreću između 7 i 8, osim na izvoru Rovoznik gdje je izmjerena pH od 6,8. Prosjek srednjih godišnjih temperatura zraka iznosi 14,85 °C, a temperature vode se kreću od 10,5 °C do 16 °C, što se i očekivalo. Većina uzoraka pokazuje vrijednosti oksidativno-redukcijskog potencijala koje se kreću u rasponu od 390 i 500 mV. Električna vodljivost vode varira od 200 do 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kod uobičajne vode za piće, a na uzorcima su izmjerene vrijednosti od 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  što je malo iznad očekivanih. Pourbaix-ovim Eh-pH dijagramima za dušik, mangan i željezo pokazana su polja stabilnosti dušika, mangana i željeza. Svi uzorci se nalaze u blago oksidativnom i neutralnom polju gdje egzistiraju nitrati, u polju u kojem je mangan stabilan u obliku  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , te u polju u kojem je željezo stabilno u obliku amorfnog željezovog hidroksida  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Svi izvori na kojima je bila mogućnost mjerenja izdašnosti pokazuju smanjenje izdašnosti u periodu od ožujka do lipnja. Jedini izvor koji ne pokazuje tendencije da bi presušio kroz sušni dio godine je izvor Žanac. Prema Piper-ovim dijagramima uzorci iz EB1 mogu se svrstati dominantno u  $\text{CaNaHCO}_3\text{Cl}$  tip hidrogeokemijskog facijesa. Uzorci vode s EB2 iz 2015. i 2016. godine se nalaze na granici  $\text{CaNaHCO}_3\text{Cl}$  i  $\text{CaNaCl}$ . Istraživanja izotopnog sastava podzemne i oborinske vode na otoku Krku dokazala su da se vodonosnici na Krku isključivo napajaju oborinama.

## 6. LITERATURA

Biondić R., Biondić B., Rubinić J., Meaški H., Kapelj S., Tepeš P. (2009): „Ocjena stanja i rizika cjelina na krškom području u Republici Hrvatskoj“, završno izvješće, naručitelj: Hrvatske vode, Geotehnički fakultet u Zagrebu, Zagreb, lipanj 2009

Generalić, Eni. "Potenciometrijski senzori." *EniG. Periodni sustav elemenata*. KTF-Split, 30 Aug. 2017. Web. 12 Sep. 2017.: [https://www.periodni.com/enig/potenciometrijski\\_senzori.html](https://www.periodni.com/enig/potenciometrijski_senzori.html).

Grimani I, Šušnjar M, Bukovac J., Milan A., Nikler L, Crnolatac I., Šikić D, Blašković I. (1963.): „Tumač za osnovnu geološku kartu 1:100 000, list Crikvenica“, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Beograd 1973.

Grimani I, Šušnjar M, Bukovac J., Milan A., Nikler L, Crnolatac I., Šikić D, Blašković I., Vulić Ž. (1963): „Osnovna geološka karta 1:100 000, list Crikvenica“, Institut za geološka istraživanja Zagreb

Halle R. (2004): „Kemizam i obradba vode“, Sveučilište u Zagrebu, RGN Fakultet, Zagreb

Husson O. (2013): „Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy“, 389-417

Krajcar Bronić I. (2007): „Kruženje ugljika i vode u prirodi praćeno izotopima“, Institut Ruđer Bošković, Zagreb  
Ponikve Krk (2005): „Hidrološke značajke izvorišta vodoopskrbe na području otoka Krka“, Hidrološka analiza u svrhu novelacije zaštitnih zona izvorišta vodoopskrbe, Rijeka

Ljoljo D. (2012): „Završni rad“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

Magaš N. (1965): „Osnovna geološka karta 1:100 000, list Cres“, Institut za geološka istraživanja Zagreb

Mamužić P., Milan A. (1966.): „Tumač za osnovnu geološku kartu 1:100 000, list Rab“, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Beograd 1973.

Mamužić P., Milan A., Korolija B., Borović I., Majcen Ž. (1966.): „Osnovna geološka karta 1:100 000, list Rab“, Institut za geološka istraživanja Zagreb

Parlov J. (2015): „Hidrogeologija krša“, interna skripta za 2015/2016. godinu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Piper, A.M. (1953): „A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis“. Washington D.C.: United States Geological Survey, Note 12

Ponikve Krk d.o.o. (2005): „Hidrološke značajke izvorišta vodoopskrbe na području otoka Krka; Hidrološka analiza u svrhu novelacije zaštitnih zona izvorišta vodoopskrbe, Rijeka, lipanj 2005.

Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2013, 128/15

Šikić D., Polšak A.: (1963.): „Tumač za osnovnu geološku kartu 1:100 000, list Labin“, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Beograd 1973.

Šikić D., Polšak A., Magaš N: (1963.): „Osnovna geološka karta 1:100 000, list Labin“, Institut za geološka istraživanja Zagreb

Turc L. (1953): Le bilan d'eau des sols: relations entre les precipitation, l'evaporation et l'ecoulement, Institut national de la recherche agronomique, Paris 252

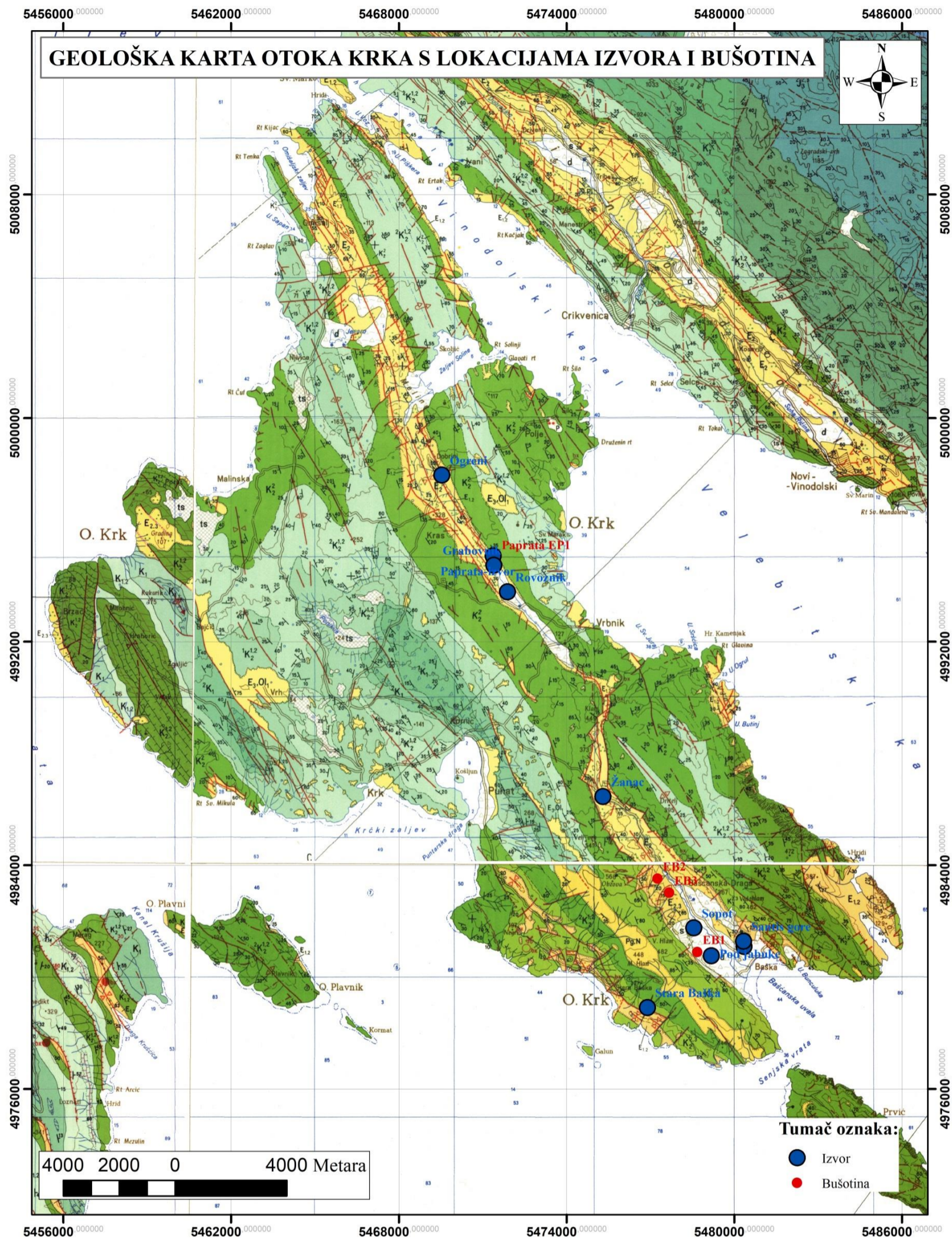
Wassenaar L.I., Coplen T., Aggarwal K. (2014): „Approaches for achieving long-term accuracy and precision of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  for waters analyzed using laser absorption spectrometers“, Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 1123-1131

WEB IZVORI:

[https://en.wikibooks.org/wiki/Introduction\\_to\\_Inorganic\\_Chemistry/Redox\\_Stability\\_and\\_Redox\\_Reactions](https://en.wikibooks.org/wiki/Introduction_to_Inorganic_Chemistry/Redox_Stability_and_Redox_Reactions)

[https://chem.libretexts.org/Textbook\\_Maps/General\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Map%3A\\_A\\_Chem1\\_\(Lower\)/16%3A\\_Electrochemistry/24.04%3A\\_The\\_Nernst\\_Equation](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/General_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_A_Chem1_(Lower)/16%3A_Electrochemistry/24.04%3A_The_Nernst_Equation)

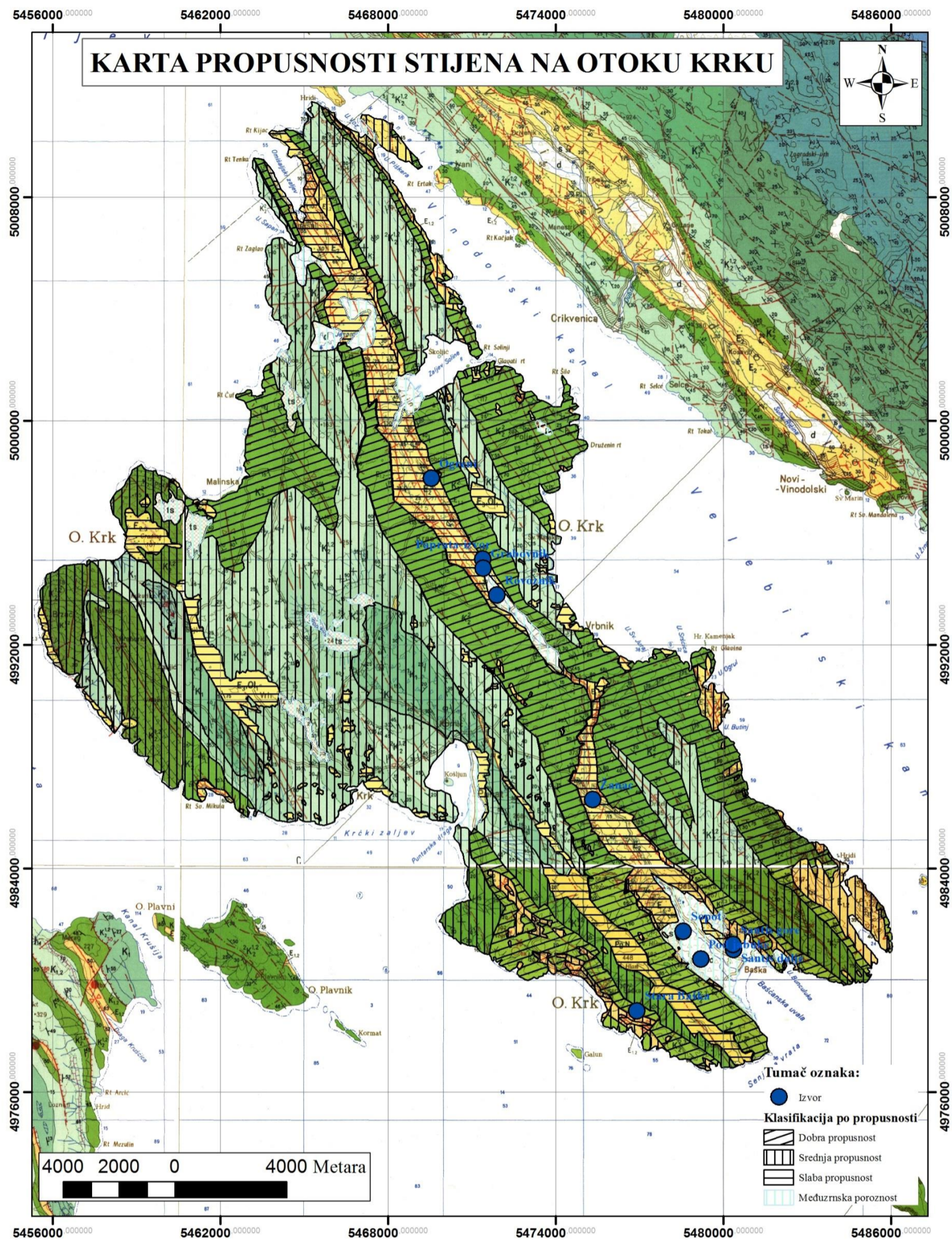
Prilog 1. – Geološka karta otoka Krka s lokacijama izvora i bušotina



Prilog 1. :  $^1K_1$  - breče s ulošcima vapnenaca bez provodnih fosilnih ostataka,  $^2K_1$  - vapnenci s ulošcima breča,  $^1K^{1,2}_2$  - vapnenac, dolomiti, dolomitne breče,  $^2K^{1,2}_2$  - dolomiti s ulošcima vapnenaca,  $K^2_2$  - grebensi vapnenci turona,  $E_{1,2}$  - foraminiferski vapnenci,  $E_2$  - klastiti,  $E_3$ ,  $Ol_1$  - vapnenene breče, p - pijesci, d - deluvij, ts - terra rossa (Grimani et al 1963),  $K^{1,2}_2$  - svjetlosivi i bijeli rudistni vapnenci, ),  $E_{2,3}$  lapori i pješčenjaci s ulošcima vapnenaca

(Mamužić & Milan, 1966)

Prilog 2. – Karta propusnosti stijena na otoku Krku



Prilog 2. - <sup>1</sup>K<sub>1</sub> - breče s ulošcima vapnenaca bez provodnih fosilnih ostataka, <sup>2</sup>K<sub>1</sub> - vapnenci s ulošcima breča, <sup>1</sup>K<sup>1,2</sup><sub>2</sub> - vapnenac, dolomiti, dolomitne breče, <sup>2</sup>K<sup>1,2</sup><sub>2</sub> - dolomiti s ulošcima vapnenaca, K<sup>2</sup><sub>2</sub> - grebensi vapnenci turona, E<sub>1,2</sub> - foraminiferski vapnenci, E<sub>2</sub> - klastiti, E<sub>3</sub>, Ol<sub>1</sub> - vapnenene breče, p - pijesci, d - deluvij, ts - terra rossa (Grimani et al 1963), K<sup>1,2</sup><sub>2</sub> - svjetlosivi i bijeli rudistni vapnenci, E<sub>2,3</sub> lapori i pješčenjaci s ulošcima vapnenaca (Mamužić & Milan, 1966)