Željezne bakterije u vodoopskrbnom sustavu grada Osijeka

Bellian, Uranela

Master's thesis / Diplomski rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:630324

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Uranela Bellian

Željezne bakterije u vodoopskrbnom sustavu grada Osijeka

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2014.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju
Katedra za tehnologiju vode i ekologiju
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija vode i obrada otpadnih voda
Tema rada prihvaćena je na VII. redovnoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 30. travnja 2013.
Mentor: doc. dr. sc. *Mirna Habuda-Stanić*

Pomoć pri izradi: dr. sc. *Željka Romić*

ŽELJEZNE BAKTERIJE U VODOOPSKRBNOM SUSTAVU GRADA OSIJEKA

Uranela Bellian, 158-DI

Sažetak:
Podzemne vode prirodno su stanište željeznih bakterija čija je prisutnost utvrđena i u podzemnim vodama vodocrpilišta "Vinogradi" koja se koristi kao sirovina pri proizvodnji vode za ljudsku potrošnju u vodooopskrbnom sustavu grada Osijeka. Putem metabolizma, željezne bakterije prevode željezo u viši valentni oblik što uzrokuje taloženje željeza u cijevima pri čemu dolazi do smanjenja profila cijevi te smanjenja izdašnosti bunara. U ovome istraživanju ispitana je pojavnost željeznih bakterija u vodoopskrbnom sustavu grada Osijeka, odnosno, u bunarima na vodocrpilištu „Vinogradi“, u pogonu za preradu vode za ljudsku potrošnju te mjestu potrošnje vode. Pri određivanju željeznih bakterija, u ovom radu mjerene su i vrijednosti najznačajnijih fizikalno-kemijskih parametara: koncentracija kisika, pH, vodljivost, koncentracija dvovalentnog i ukupnog željeza te koncentracija mangana. Rezultati ukazuju da je sirova podzemna voda vodocrpilišta „Vinogradi“, uslijed svog fizikalno-kemijskog sastava pogodna za razvoj željeznih bakterija, no pri preradi vode u pogonu, odnosno postupkom aeracije vode, povećava se koncentracija kisika u vodi te nastaju nepovoljni uvjeti za željezne bakterije uslijed čega iste nisu detektirane u pogonu za preradu vode niti na mjestima potrošnje vode.

Ključne riječi: podzemna voda, željezne bakterije, biofilm, kisik, željezo i mangan

Rad sadrži: 65 stranica
60 slika
1 tablica
2 priloga
46 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1.	izv. prof. dr. sc. *Hrvoje Pavlović,*	predsjednik
2.	doc. dr. sc. *Mirna Habuda-Stanić,*	član-mentor
3.	doc. dr. sc. *Dajana Gašo-Sokač*,	član
4.	izv. prof. dr. sc. *Mirela Planinić,*	zamjena člana

Datum obrane: 24. rujan 2014.
Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Applied Chemistry and Ecology
Subdepartment of Water Technology and Ecology
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Foodtechnology
Course title: The Technology of water and wastewater treatment
Thesis subject Was approved by theFaculty Council of the Faculty of Food Technology Osijek at its session no. VII held on April 30, 2013.

Mentor: *Mirna Habuda-Stanić*, PhD, assistant professor
Technicalassistance: *Željka Romić, PhD*

IRON BACTERIA IN THE WATER SUPPLY SYSTEM IN OSIJEK

Uranela Bellian, 158/DI

Summary:
Groundwater is a natural habitat for iron bacteria whose presence was established in the ground water in water pumping site "Vinogradi" which is used as a raw material in the production of water for human consumption in water supply system for city of Osijek. By metabolism, iron bacteria converts iron in the higher valence form which causes deposition of iron in the pipes where there is a reduction of profile pipes and reducing the yield of wells. In this study was examined the appearance of iron bacteria in water supply system of the city of Osijek, respectively, in the wells of the pumping sites "Vinogradi" in the facility for water treatment and in the place of water consumption. In determining iron bacteria in this paper were measured values of most important physic-chemical parameters: oxygen concentration, pH, conductivity, concentration of ferrous and total iron and of manganese. The results indicate that the raw groundwater from wells "Vinogradi", due to its physicochemical composition is suitable for the growth of iron bacteria, but the water treatment by process of aeration, increases the concentration of oxygen in the water and creates unfavorable conditions for iron bacteria due which they are not detected in the water processing plant or in locations of water consumption.

Keywords: groundwater, ironbacteria, biofilm, oxygen, iron and manganese
Thesiscontains: 65 pages
60 figures
1 table
2 supplements
46 references
Original in: Croatian

Defensecommittee:

1.	*Hrvoje Pavlović,* PhD, associate professor	chairperson
2.	*Mirna Habuda-Stanić,* PhD, assistant professor	supervisor
3.	*Dajana Gašo-Sokač,* PhD, assistant professor	member
4.	*Mirela Planinić,* PhD, associate professor	stand-in

Defense date: September 24, 2014.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Mirni Habudi-Stanić, dr. sc. Željki Romić, Mariji Nujić, mag. ing. i dr. sc. Brankici Kalajdžić, na pristupačnosti i stručnoj pomoći pruženoj prilikom provedbe istraživanja te pisanja ovog rada.
Posebno se zahvaljujem mojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju tijekom studiranja.

SADRŽAJ

1.UVOD 1

2.TEORIJSKI DIO 4

2.1.VODOOPSKRBNI SUSTAV "VODOVOD OSIJEK" 5

2.1.1. Crpilište "Vinogradi" 5

2.1.2. Obrada sirove podzemne vode 6

2.2. ŽELJENE BAKTERIJE U PODZEMNIM VODAMA 7

2.3. ŽELJEZNE BAKTERIJE U VODOOPSKRBNOJ MREŽI 8

2.4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 10

3.EKSPERIMENTALNI DIO 11

3.1. ZADATAK 12

3.2. MATERIJALI I METODE 13

3.2.1. Određivanje broja kolonija željeznih bakterija 13

3.2.2. Određivanje kisika 15

3.2.3. Određivanje pH vrijednosti 16

3.2.4. Određivanje vodljivosti 17

3.2.5. Određivanje ukupnog i dvovalentnog željeza 18

3.2.6. Određivanje mangana 19

3.2.7. Određivanje korelacije podataka 19

4.REZULTATI 22

4.1. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KISIKU 23

4.1.1. Uzorkovanje br. 1 23

4.1.2. Uzorkovanje br. 2 24

4.1.3. Uzorkovanje br. 3 25

4.1.4. Uzorkovanje br. 4 26

4.2. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O pH VRIJEDNOSTI 27

4.2.1. Uzorkovanje br. 1 27

4.2.2. Uzorkovanje br. 2 28

4.2.3. Uzorkovanje br. 3 29

4.2.4. Uzorkovanje br. 4 30
4.3. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O VODLJIVOSTI 31
4.3.1. Uzorkovanje br. 1 31
4.3.2. Uzorkovanje br. 2 32
4.3.3. Uzorkovanje br. 3 33
4.2.4. Uzorkovanje br.4 34
4.4. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O UKUPNOM ŽELJEZU 35
4.4.1. Uzorkovanje br. 1 35
4.4.2. Uzorkovanje br. 2 36
4.4.3. Uzorkovanje br. 3 37
4.4.4. Uzorkovanje br. 4 38
4.5. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI DVOVALENTNOG ŽELJEZA 39
4.5.1. Uzorkovanje br. 1 39
4.5.2. Uzorkovanje br. 2 41
4.5.3. Uzorkovanje br. 3 42
4.5.4. Uzorkovanje br. 4 43
4.6. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O MANGANU 44
4.6.1. Uzorkovanje br. 1 44
4.6.2. Uzorkovanje br. 2 45
4.5.3. Uzorkovanje br. 3 46
4.6.4. Uzorkovanje br.4 47
4.7. KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA S MJERENIM PARAMETRIMA 48
4.7.1. Korelacije u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi 48
4.7.2. Korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje 49
5.RASPRAVA 50
5.1. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI KISIKA 51

5.2. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O pH VRIJEDNOSTI VODE 52

5.3. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O VODLJIVOSTI VODE 52

5.4. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI UKUPNOG ŽELJEZA U VODI 53

5.5. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI DVOVALENTNOG ŽELJEZA U VODI 54

5.6. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI MANGANA U VODI 55

5.7. KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA S MJERENIM PARAMETRIMA 56

6.ZAKLJUČCI 57

7.LITERATURA 59

8.PRILOZI 64

1.UVOD

Voda je dio čovjeka, njegova života i civilizacije. Voda je ekonomski resurs koji nam stoji na raspolaganju u ograničenoj količini. Sve civilizacije rasle su i nestajale s vodom tako je i problem našeg opstanka usko povezan s osiguranjem dovoljnih količina vode za piće (Mijatović, 1996.).

Prije gotovo dvije tisuće godina Plinije je ustvrdio:

"Tales sunt aquae qualis est terra per quam fluent"

("Vode su takve kakva je zemlja kojom teku")

sintetizirajući tako odnos između kemijskog sastava vode i kemijskog sastava stijena i tla kao posljedicu sposobnosti vode da otapa sve tvari s kojima dolazi u doticaj, ovisno o stupnju njihove topivosti, temperaturi, trajanju kontakta i nizu drugih čimbenika (Gulić, 2000.).

Voda za ljudsku potrošnju mora biti bez boje, mirisa, okusa i mutnoće, umjerene temperature ljeti i zimi. S obzirom na važnost vode u čovjekovu životu, norme i pravilnici propisuju obvezno poznavanje i praćenje osnovnih čimbenika koji čine njezinu kakvoću i pojavljuju se kroz njezina fizikalna, kemijska, biološka i bakteriološka svojstva (Gulić, 2003.).
Oko ¾ zemljine površine prekriveno je vodom, od čega je samo 0,26% lako dostupna slatka voda. Prema istraživanjima United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO-a) Hrvatska je po bogatstvu i dostupnosti vodenih izvora peta zemlja u Europi, a 42. u svijetu (Ivanković, 2012.).

Vodoopskrbni sustav grada Osijeka jedan je od veoma rijetkih sustava koji ima mogućnost korištenja dva neovisna izvora vode za preradu do kakvoće vode za ljudsku potrošnju:

- crpilište “Vinogradi” s kojeg se trenutno crpi podzemna voda, prerađuje i distribuira potrošačima te
- zahvat vode s otvorenog vodotoka rijeke Drave koje je rezervno crpilište vode (Romić, 2000.).

Crpilište Vinogradi sastoji se od 18 bunara od kojih je, tijekom provođenja ovog istraživanja, u upotrebi bilo jedanaest.

Podzemne vode su prirodno stanište željeznih bakterija i ukoliko se pojavljuju u podzemnim vodama koje se crpe za potrebe prerade, kao što su podzemne vode crpilišta Vinogradi, dolazi do pojave sluzi koja negativno utječe na izdašnost bunara.

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati pojavnost željeznih bakterija u vodoopskrbnom sustavu grada Osijeka, odnosno njihovu pojavnost u bunarima vodocrpilišta „Vinogradi“ te u pogonu za preradu vode za ljudsku potrošnju tvrtke Vodovod-Osijek d.o.o. Praćenjem najznačajnijih fizikalno-kemijskih parametara uzetih uzoraka vode također je ispitana ovisnost pojavnosti željeznih bakterija i koncentracije kisika, ukupnog i dvovalentnog željeza i mangan te pH vrijednosti i vodljivosti. Uzorci vode uzeti su četiri puta pri različitim hidrološkim uvjetima u cilju utvrđivanja utjecaja sezonskih klimatskih promjena na pojavnost željeznih bakterija u vodoopskrbnom sustavu grada Osijeka.

2.TEORIJSKI DIO

2.1.VODOOPSKRBNI SUSTAV "VODOVOD OSIJEK"

Vodoopskrbnim sustavom grada Osijeka vodom za ljudsku potrošnju opskrbljuje se približno 114 000 stanovnika putem ukupno 39 590 priključaka od kojih su 2 022 priključka privrednih subjekata (Vodovod Osijek, 2013.).

2.1.1. Crpilište "Vinogradi"

Podzemna voda je voda koja protječe kroz podzemlje ili se nalazi u podzemlju, u stijenama i tlu nastala infiltracijom, a gubi se istjecanjem na površinu kroz izvore i procjeđivanjem na dnu mora (Bohdziewicz, 2000.). Podzemne vode istočne Hrvatske, posebice na području grada Osijeka, karakterizira visoka tvrdoća vode i povišene koncentracije željeza, mangana, amonijaka i arsena, kao i povećane koncentracije organskih spojeva, prvenstveno prirodnih organskih tvari (Habuda-Stanić i sur., 2007.).

Crpilište Vinogradi nalazi se zapadno od grada Osijeka i obuhvaća 18 bunara. Trenutno je jedini izvor vodoopskrbe. U skladu s izdanim vodoprivrednim i vodopravnim uvjetima, provodi se kontinuirano praćenje ponašanja rada crpilišta i zaliha podzemnih voda. Raspoloživi kapaciteti u graničnim su vrijednostima i iznose instaliranih 710 L/s uz maksimalno iskorištenje od 600 L/s, što trenutno predstavlja i operativnu potrošnju cijelog vodoopskrbnog sustava (Romić, 2000.).

Eksploatacijski bunari su izgrađeni u razdoblju od 1980. do 1986. godine. Bunar B-1 izgrađen je 1980. godine u okviru druge etape hidrogeoloških istraživanja crpilišta. Bunari B-2 do B-15 izgrađeni su u razdoblju od listopada 1982. do listopada 1983.godine čime je kompletiran niz od 15 bunara koji su 1984. godine uključeni u probni rad pogona. Tijekom probnog rada pogona, pokazala se potreba za povećanjem crpnih količina te se, nakon prethodnih analiza, pristupilo proširenju crpilišta za još tri bunara, pri čemu su do kraja 1986. godine izgrađeni bunari B-16, B-17 i B-18 (Urumović, 1987.).

Zahvat vode s rijeke Drave bio je u funkciji do 1984. godine, a po potrebi i kasnije, no danas služi kao rezervni zahvat vode koji se, u vrlo kratkom roku, može aktivirati kao zamjena crpilištu Vinogradi u slučaju remonta ili prirodnih nepogoda, što je i bilo učinjeno 1993. godine potpunom obustavom rada i ponovnim prelaskom vodoopskrbe grada Osijeka na vodu rijeke Drave zbog sanacije i izmjene magistralnog cjevovoda (Novoselić, 1994.).

2.1.2. Obrada sirove podzemne vode

Pogon za obradu sirove podzemne vode sastoji se od bazena za aeraciju, 10 statičkih taložnika, dva brza taložnika - akceleratora, dvije filternice s 11 odnosno 5 filterskih komora, dva bazena za prikupljanje filtrirane vode i strojarnice s pumpama za tlačenje vode u vodoopskrbnu mrežu. U sklopu pogona izgrađena je i opremljena stanica za doziranje kemijskih sredstava, klorna stanica i laboratorij za kontrolu kakvoće vode. U samom pogonu nalaze se i dva bunara (Romić, 2000.).

Obrada sirove vode započinje gravitacijskom aeracijom raspršivanjem u bazenu za aeraciju, gdje se voda raspršuje u tanke mlazove i sitne kapi pomoću mlaznica (**Slika 1**). Ovim se postupkom koncentracija kisika u vodi povećava s 0,2-0,8 mgO_2/L na 6-8 mgO_2/L što uzrokuje oksidaciju otopljenih Fe^{2+} i Mn^{2+} iona koji prelaze u netopive Fe^{3+} i Mn^{4+} što uzrokuje njihovo taloženje na dnu bazena. Osim deferizacije, procesom otvorene aeracije postiže se i otplinjavanje nepoželjnih plinova, sumporovodika i ugljikovog dioksida. Za poboljšanje procesa taloženja instaliran je uređaj za doziranje polielektrolita i željeznog klorida.



Slika 1 Aeracija sirove podzemne vode u bazenu za aeraciju ("Vodovod-Osijek d.o.o.")

U taložnicima se izdvaja samo manji dio željeza te se flokule ferihidroksida uklanjaju filtracijom na filterima od kvarcnog pijeska i antracita, što je sljedeći korak u obradi vode. Na filterskom materijalu nalaze se i nitrificirajuće bakterije *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* koje oksidiraju amonijak preko nitrata u nitrite, uz prisutan otopljeni kisik u vodi. Na taj se način biološkim putem uklanja amonijak iz sirove podzemne vode.

Nakon filtracije, voda odlazi u vodospreme gdje se provodi dezinfekcija klorom pomoću instaliranih klorinatora, nakon čega se voda iz vodospreme pomoću pumpi tlači u gradsku vodovodnu mrežu.

2.2. ŽELJENE BAKTERIJE U PODZEMNIM VODAMA

Dugogodišnja istraživanja raznih autora ukazuju da podzemna voda predstavlja specifičan ekosustav u kojem su željezne bakterije jedan od najznačajnijih čimbenika transformacije, odnosno prevođenja željeza u viši valentni oblik (oksidi, hidroksidi i drugi složeniji spojevi s primjesama) u obliku taloga ili takozvanog „okera“ (Barbič i Savić, 1987., Barbiči sur., 1990.). Sistematizirati kemijsko-mikrobiološke reakcije koje se odnose na problem taloženja okera, odnosno koroziju, vrlo je teško, no većina autora naglašava da je osnova navedenih procesa slijedeća reakcija (Topley i Wilson 1986., Drever, 1985., Znamenskij, 1981.):

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$$

što znači da mikroorganizmi kataliziraju oksidaciju i redukciju željeza kroz sva važna valentna stanja:

$$Fe + 2H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2OH^{-} + H_2$$

Ključnim procesima pripada reakcija taloženja željezova(III) hidroksida:

$$Fe^{2+} + 2OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_2$$

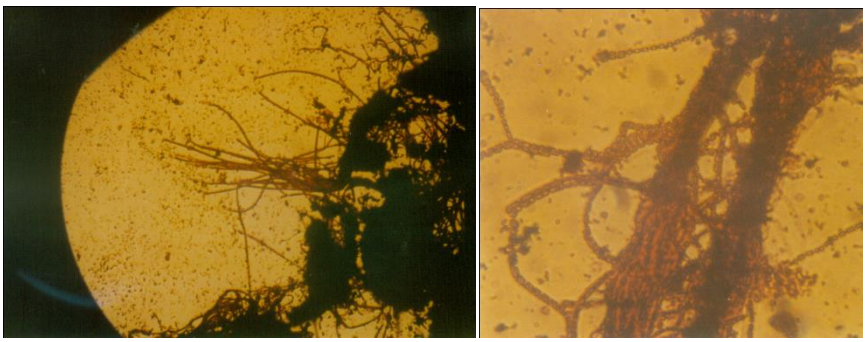
te reakcije gradnje željezovih soli:

$$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$$

Željezov(III) hidroksid može nastati i iz elementarnog željeza, međuprodukata ili djelovanjem bakterija, procesom depolarizacije:

$$2\ H^{+} + 2\ e^{-} \rightarrow H_2$$

pri čemu se odstranjuje vodik s površine željeza i odlazi u otopinu kao feri-ion, koji dalje daje hidrokside (Romić, 2000.).



Slika 2 Izolirane željezne bakterije iz uzorka sirove vode crpilišta "Vinogradi" (Romić, 2000.)

Romić je u svom istraživanju (Romić, 2000.) utvrdila da su u bunarima crpilišta Vinogradi baktrije roda *Gallionella* i *Crenothrix* glavni uzročnici naslaga kao i uzroci pojave spojeva željeza koji zatvaraju perforacije na filterskim dijelovima vodozahvatnih objekata zajedno s drugim čimbenicima (fizikalno - kemijski, hidrogeološki, mehanički).

Obilježje roda *Crenothrix* je da su niti obično povezane u čvrstu osnovu i diferencirane na bazu i vrh. Membrana je jasno vidljiva, tanka i bezbojna na vrhu, a prema bazi je deblja i obložena željezovim oksidom. Oblik stanice varira od cilindričnog do okruglog, a promjer im se kreće od 2 do 9 µm. Stvaraju okrugla nepokretna tjelešca kojima se ove bakterije razmnožavaju. Može doći do pojave lažnog grananja unutar membrane (niti), što se događa kao posljedica klijanja spora (Gazivoda i sur.,1971.).

Za *Crenothrix* je karakteristično da je dominantna vrsta željeznih bakterija za vode s povećanom koncentracijom organskih tvari i dvovalentnog željeza (Barbič i sur., 1990.).

Karakteristično za rod *Gallionella* su spiralne ili ravne niti nalik na vrpcu ili red zrnaca. Bakterije nastaju na vrhu niti i štapićastog su oblika. Karakteristično je da se granaju u dvije niti. Na mjestu dijeljenja razgranati lanci stanica izgledaju kao da je i sam organizam razgranat. Niti dosežu dužinu do 200 i više µm (Barbič i sur.,1990.). Kolonije na podlozi po Vinogradskom su bijele i poput pamuka, ali s vremenom dobiju crvenkasto-smeđu boju hrđe. Kolonije rijetko prelaze promjer od 1 mm (Ljubisavljević, 1981.). Bakterije roda *Gallionella se* često nalaze u relativno čistim vodama, u kojima su, prije svega, povećane koncentracije dvovalentnog željeza, kisik i ugljični dioksid (Drndarski, 1982.).

Prisutnost željeznih bakterija u podzemnim vodama ne predstavlja isključivo problem vodonosnika jer ove bakterije za svoje životne procese koriste dvovalentno željezo, pa prevođenjem željeza u viševalentno stanje, koje se kao takvo taloži, ove bakterije u velikoj mjeri doprinose deferizaciji vode u samom bunaru (Barbič, 1987.).

2.3. ŽELJEZNE BAKTERIJE U VODOOPSKRBNOJ MREŽI

Odavno je poznato kako bioflimovi postoje i rastu u cijelom distribucijskom vodovodnom sustavu, čak i u prisutnosti rezidua dezinfekcijskih sredstava (Block i sur., 1995.; Momba i sur., 1998.; Zhang i Lu, 2006.).

Postoje različiti načini na koje različite vrste onečišćenja mogu dospjeti u vodoopskrbni sustav. One mogu biti suspendirane na izvoru vode, dospjeti u vodu putem kemikalija

dodanim za pročišćavanje vode, tijekom popravljanja cijevi, na mjestima križanja ili pukotina u sustavu, ili kao proizvodi korozije ili erozije cijevi. Unatoč reziduama dezinfekcijskih sredstava, mikroorganizmi se mogu razmnožavati i preživjeti u vodoopskrbnim sustavima tvoreći biofilm na površini cijevi (Lechevallieri sur., 1987.; Szewzyk i sur., 2000.).

Iako su plijesni, virusi i praživotinje također stanovnici vodoopskrbnih sustava, istraživanja su usmjerena na određivanje bakterija koje su, od ukupnih mikroorganizama, dominantne u stvaranju biofilma u vodoopskrbnom sustavu vode za piće zbog njihove veće sposobnosti za proizvodnju ekstracelularne polimerne tvari te brzog rasta i prilagodljivosti (Chaves Simoes i Simoes, 2013.).

Biofilmovi se sastoje od mikroorganizama vezanih na površinu i/ili međusobno povezanih i ugrađenih u polimerni matriks koji se sastoji od proteina, polisaharida, ekstracelularne DNK i dr. (Stoodley i sur., 1997.;. Donlan, 2002.; Hall-Stoodley i sur., 2004.).

Ako smično naprezanje na stjenke cijevi prelazi normalne dnevne vrijednosti, materijal akumuliran na stjenci cijevi uvjetovan normalnim silama će se mobilizirati u rasutom stanju u vodu (Husband i Boxall, 2010). Mobilizacija materijala sa stjenke cijevi neće samo uzrokovati estetski neprihvatljivu obojanost pitke vode (Husband i sur., 2008.), već također i oslobađanje mikroorganizama u vodovodnu mrežu (Lehtola i sur., 2007.). Tipična diskoloracija vode događa se kada postoje značajne promjene u hidrauličkim uvjetima, kao što nastaje pri sezonskoj promjeni potrošnje vode ili kod puknuća cijevi (Prince i sur., 2003.). Najčešće se promjene u boji vode u vodoopskrbnom sustavu povezuju s prisutnošću željeza i mangana (Seth i sur., 2004.).

Kontaminacija vodovodnog sustava može se uočiti promjenom boje vode u narančastu, crvenu do smeđe boje, neugodnom mirisu i okusu te pojavom crvenih sluzavih nakupina na mjestima gdje se voda zadržava duže vrijeme, kao što je, npr., vodokotlić. Promjene u boji, mirisu i okusu najuočljivije su kada vodu uzimamo iz sustava nakon dužeg perioda nekorištenja pri čemu voda duže vrijeme stoji u cijevima (New Hapshire Department of Environmental Services, 2010.).

Željezne bakterije svojim rastom potpomažu stvaranju uvjeta pogodnih za rast sumpornih bakterija koje uzrokuju pojavu neugodnog mirisa vode koji podsjeća na pokvarena jaja (New Hapshire Department of Environmental Services, 2010.).

Do sada nije utvrđena povezanost željeznih bakterija sa zdravstvenim problemima (New Hapshire Department of Environmental Services, 2010.).

2.4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pojava mikrobiološke oksidacije, koja ostavlja štetne posljedice na trajnost objekta i opadanje izdašnosti bunara pri korištenju podzemne vode, stvaranjem tzv. „okera“ na drenažnim cijevima i filtarskim komorama, zapažena je još davno. Prve podatke o pojavi okera u bunarima objavili su Brown (1942.) i Rogers (1954.), koji su, među prvima, uočili taloženje okera na podvodnim cijevima i pripisali ga pojavi željeznih bakterija, a Silverman i Ehrlich (1964.) daju pregled većeg broja mikroorganizama koji sudjeluju u taloženju željeza iz vode.

Hässelbarth i Lüdemann (1967.), te Kobrin (1976.), u svojim radovima daju opsežnije prikaze djelovanja željeznih i manganovih bakterija, optimalne uvjete pri kojima je ta pojava najizraženija te posljedice njihove pojave.

Ispitivanja su potvrdila da razvoj populacija željeznih bakterija ovisi, u prvom redu, o ekološkim čimbenicima, fizikalno-kemijskom sastavu vode (koncentracije željeza i mangana, koncentracija kisika).

Romić (2000.) ističe kako voda iz bunara na crpilištu Vinogradi kod Osijeka sadrži malu koncentraciju organskih tvari te broj oligotrofnih bakterija nadmašuje broj eutotrofnih bakterija. Nadalje, ističe da su, od željeznih bakterija, najzastupljenije bakterije rodova *Crenothrix* i *Gallionella* te kako je broj željeznih bakterija, kao i masa istaloženog okera veća u bunarima gdje je veća koncentracija željeza.

Nadalje, Romić (2000.) navodi kako podzemna voda sa izvorišta gradskog vodovoda sadrži povećane vrijednosti amonijaka fosilnog porijekla što nije znak vanjskog zagađenja izvorišta jer se voda zahvaća s dubina od 160 do 200 m.

3.EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog rada bio je ispitati pojavnost željeznih bakterija u vodoopskrbnom sustavu grada Osijeka, odnosno, u bunarima na vodocrpilištu „Vinogradi“, u pogonu za preradu vode za ljudsku potrošnju te na mjestu potrošnje vode u gradu Osijeku. U cilju određivanja ovisnosti pojavnosti željeznih bakterija i koncentracije kisika, ukupnog i dvovalentnog željeza, koncentracije mangana, pH te vodljivosti, vrijednosti navedenih parametara su praćene kroz razdoblje od 12.3.2013. do 9.12.2013., a obuhvaćaju ukupno četiri uzorkovanja u različitim hidrološkim uvjetima (ožujak, srpanj, rujan i prosinac). Navedeno uzorkovanje u daljnjem tekstu označeno je kao:

uzorkovanje br. 1 (12.3.2013.)

uzorkovanje br. 2 (15.7.2013.)

uzorkovanje br. 3 (25.9.2013.)

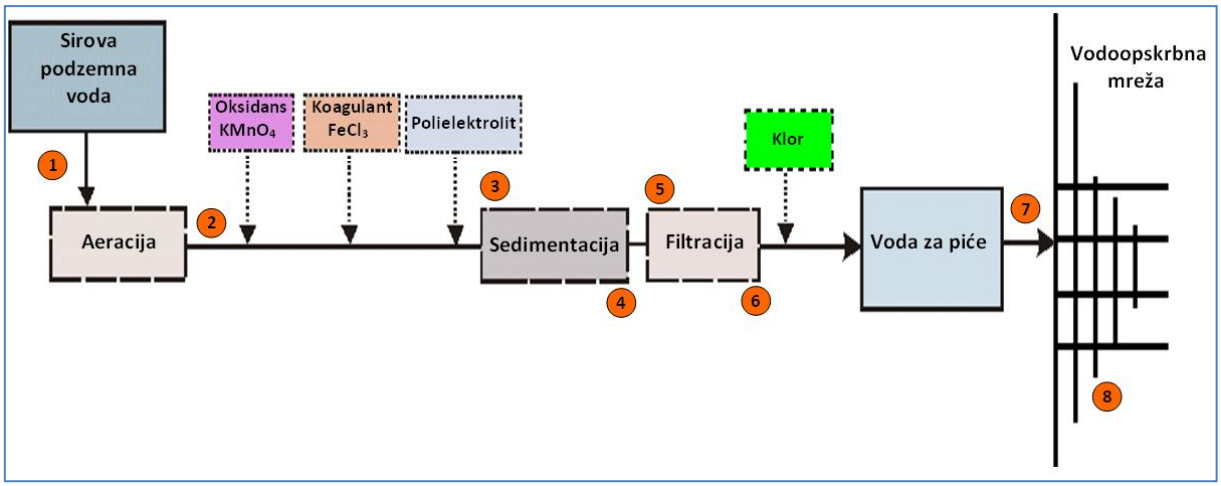
uzorkovanje br. 4 (9.12.2013.).

Kod svakog uzorkovanja prikupljeni su uzorci s jedanaest bunara na crpilištu Vinogradi, sedam mjesta u pogonu za obradu vode i jedan na mjestu potrošnje vode u vodoopskrbnoj mreži.

Uzorci s crpilišta Vinogradi prikupljeni su na bunarima koji su prethodno navedenih datuma bili u pogonu, a to su B-2, B-5, B-6, B-8, B-10, B-11, B-12, B-14, B-16, B-17 i B-18.



Slika 3 Uzorci podzemne vode crpilišta "Vinogradi"



Slika 4 Shematski prikaz pogona za obradu sirove podzemne vode "Vodovod Osijek"

Slika 4 prikazuje mjesta uzorkovanja u pogonu za obradu sirove podzemne vode. Prvi uzorak(1) uzet je na slavini dovoda sirove vode do bazena za aeraciju, a sljedeći(2) u bazenu nakon aeracije. Potom slijedi uzorak iz ulaza u taložnik(3) te ulaza u akcelerator(4). Iz filternice su prikupljeni uzorci s ulaza(5) i izlaza(6). Posljednji prikupljen uzorak u pogonu uzet je na izlazu iz pogona u gradsku vodoopskrbnu mrežu (7).

Sa **Slike 4** je također vidljivo da je prikupljen i uzorak kod potrošača(8).

Uzorci vode prikupljeni su pri aseptičnim uvjetima u staklene boce.
Obrada uzoraka provedena je u bakteriološkom i kemijskom laboratoriju vodoopskrbnog sustava “Vodovod Osijek”.

3.2. MATERIJALI I METODE

3.2.1. Određivanje broja kolonija željeznih bakterija

Uzorci sirove vode nacijepe se na unaprijed pripremljenu podlogu po Vinogradarskom.

Sastav podloge po Vinogradskom (Daubner, 1972.) prikazan je u **Tablici 1**.

Tablica 1 Sastav podloge po Vinogradarskom

destilirana voda	1000,0 mL
K_2HPO_4	0,5 g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 g
NH_4NO_3	0,5 g
$NaNO_3$	0,5 g
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	0,2 g
željezo-amonij citrat	10,0 g
agar	15,0 g
pH podloge	5,5 – 6,0



a) b)

Slika 5 Priprema otopine za podlogu po Vinogradarskom (a) i određivanje pH otopine (b)

Precizno odvagani sastojci miješanjem se otope u destiliranoj vodi. Otopina se kuha dok ne postane bistra, provjeri se pH podloge te se sterilizira u autoklavu. Za sterilizaciju je korišten

digitalni autoklav "Inko" (**Slika 6**). Proces sterilizacije traje 15 minuta na 121˚C. Sterilna se otopina u aseptičnim uvjetima ulijeva u Petrijeve zdjelice i hladi.

Inkubacija nacijepljenih podloga traje 14 dana pri 22˚C.



Slika 6 Autoklav "Inko" 300 mm

3.2.2. Određivanje kisika

Kisik se nalazi u vodi u otopljenom stanju. Mala količina otopljenog kisika u vodi znak je da su prisutni procesi raspadanja organske tvar, a gotovo zasićena ili zasićena voda kisikom ne sadrži organske tvari i ugodnog je okusa.

Određivanje koncentracije otopljenog kisika u vodi provedeno je uređajem Oksimetar WTW340-A (**Slika 7**) koji sadrži elektrokemijske ćelije galvanskog tipa, koje se sastoji od dviju elektroda, anode od cinka ili olova te katode od srebra. I katoda i anoda uronjene su u elektrolit. Membrana propusna za kisik odvaja anodu i katodu od vode koju ispitujemo. Kisik difundira kroz membranu i reagira sa sondom te tako proizvodi električnu struju. Uređaj istovremeno mjeri koncentraciju kisika, zasićenost vode, tlak i temperaturu te se mjereni rezultati očitavaju izravno.



Slika 7 Oksimetar WTW340-A

3.2.3. Određivanje pH vrijednosti

Koncentracija vodikovih iona, odnosno pH, određuju se mjerenjem elektromotorne sile u članku koji sadrži indikatorsku elektrodu (elektroda koja reagira na vodikove ione, staklena elektroda), koja se stavlja u ispitivani uzorak, i referentnu elektrodu. Kontakt između ispitivane i referentne elektrode postiže se spajanjem tekućina koje su sastavni dio referentne elektrode. Razlika od jedne pH jedinice stvara potencijalnu promjenu od 58,16 mV na 20 °C ili 59,16 mV na 25 °C. Elektromotorna sila mjeri se pH-metrom, odnosno voltmetrom visokog otpora podešenim na pH vrijednost. Voda za piće mora reagirati neutralno do slabo alkalno (pH = 7,0 – 7,4) jer kisele vode nagrizaju vodovodne cijevi, dok alkalne vode stvaraju talog. pH vrijednost može se brzo mijenjati kao rezultat kemijskih, fizikalnih ili bioloških reakcija u uzorku vode te određivanje treba obaviti u što kraćem roku, a najkasnije 24 sata nakon uzimanja uzorka. Metoda je primjenjiva u svim vrstama voda: podzemnoj, površinskoj i otpadnoj vodi. Područje mjerenja je od pH 3 do pH 10, uz standardnu devijaciju mjerenja od 0,05 ili nižu (HRN ISO 10523: 2012).

Za određivanje pH uzoraka vode korišten je pH-metar Seven Easy, Mettler Toledo (**Slika 8**).



Slika 8 pH-metar “Seven Easy”, MettlerToledo

3.2.4. Određivanje vodljivosti

Ova metoda obuhvaća mjerenje vodljivosti vode i njezine recipročne vrijednosti – električnog otpora. Vodljivost je recipročna vrijednost otpora u omima, mjerena između dviju suprotnih strana kocke jednoga kubičnog centimetra vodene otopine pri određenoj temperaturi. Standardna jedinica vodljivosti je simens po metru [S/m] ili milisimens po metru [mS/m] Vodljivost za destiliranu vodu je od 0,2 do 0,1 mS/m. Vrijednost se povećava i do dva puta apsorpcijom atmosferskog ugljikovog dioksida. Većina slatkih i pročišćenih voda ima vodljivost od 5 do 50 mS/m, visoko mineralizirane vode dosežu vrijednost 100 i više, a kod nekih industrijskih otpadnih voda vrijednost vodljivosti može prijeći i 1000 mS/m. Standardna temperatura za određivanje vodljivosti je 25°C (HRN EN 27888:2008).

Uzorci s niskom pH vrijednošću također pokazuju veliku vodljivost zbog visoke ekvivalentne vodljivosti vodikovih iona (Kuleš i Habuda-Stanić, 2000.).

Vodljivost je mjerena konduktometrom Sension 5 prikazanim na **Slici 9**.



Slika 9 HACH konduktometar Sension 5

3.2.5. Određivanje ukupnog i dvovalentnog željeza

U sirovoj vodi željezo se nalazi u obliku željezovih(III)-spojeva, trovalentno i netopivo u vodi, i željezovih(II)-spojeva, dvovalentno željezo koje se taloži.

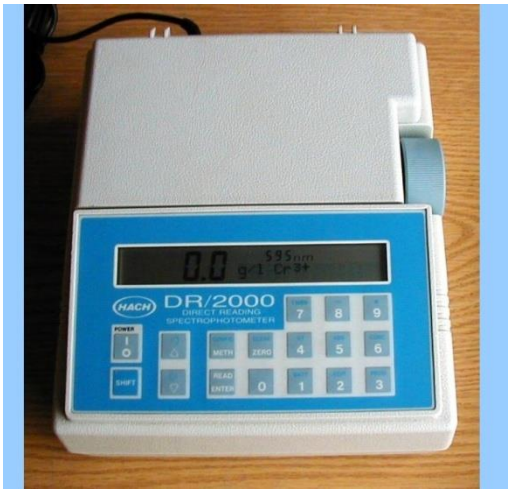
Željezo nije štetno, ali u povećanim koncentracijama uzrokuje gorak okus te je nepoželjno u vodi. Kolajući vodovodnim cijevima dolazi do izdvajanja i taloženja željeza u sustavu raspodjele što omogućava rast željeznih bakterija i razvoj neugodnih mirisa. Prema preporuci Svjetske zdravstvene organizacije (WHO, 2011.), dopuštena koncentracija željeza u vodi iznosi 0,3 mg/L.

Vode koje sadrže otopljeno željezo i koloidne tvari često se zamute u doticaju sa zrakom. Ako je količina željeza u vodi povišena, voda ima metalni, opor okus, a pri pranju rublja ostavlja smeđe mrlje (Gulić, 2000.).

U različitim vrstama voda uključujući i otpadne vode, analizira se: ukupno željezo (suma otopljenog i neotopljenog), direktnim određivanjem i određivanjem nakon razaranja, ukupno otopljeno željezo [suma otopljenog Fe(II) i Fe(III)] i željezo u trovalentnom obliku Fe(III). Metoda je primjenjiva u koncentracijskom području od 0,01 do 5 mg/l, a više koncentracije mogu se odrediti razrjeđivanjem uzorka (Kuleš i Habuda-Stanić, 2000.).

Dodatkom otopine 1,10-fenantrolina u uzorak, nastaje obojeni kompleks kojega se intenzitet fotometrijski izmjeri. Pri određivanju ukupnog željeza ili ukupnog otopljenog željeza, potrebno je Fe(III) prevesti u Fe(II). Pri određivanju netopivih oblika željeza, među kojima su oksidi ili kompleksni spojevi, uzorak treba prethodno razgraditi s kiselinama (vlastita metoda, RU-MET-131, izdanje 1/2013, određivanje elemenata u tragovima GF-AAS).

Najmanja granica detekcije spektrofotometra prikazanog na **Slici 10** iznosi <0,005 .



Slika 10 HACH spektrofotometar DR/2000

3.2.6. Određivanje mangana

Prisutnost mangana u vodi i u manjim količinama negativno djeluje na organoleptička svojstva vode jer u reakciji s kisikom ili klorom nastaje manganov oksid koji, u vidu crnog filma, prekriva unutarnje plohe cjevovoda. Povećane koncentracije mangana u vodi štetne su i po zdravlje te je neophodno njegovo uklanjanje iz vode. Dopuštena koncentracija mangana u vodi iznosi 0,05 mg/L (vlastita metoda, RU-MET-131, izdanje 1/2013, određivanje elemenata u tragovima GF-AAS.).

Za određivanje mangana koristio se spektrofotometar DR/2000 prikazan na **Slici 10.**

3.2.7. Određivanje korelacije podataka

Korelacija je suodnos ili međusobna povezanost između različitih pojava predstavljenih vrijednostima dvaju varijabli. Pri tome povezanost znači kako je vrijednost jedne varijable moguće, s određenom vjerojatnošću, predvidjeti na osnovi saznanja o vrijednosti druge

varijable. Promjena vrijednosti jedne varijable utječe na promjenu vrijednosti druge varijable. Varijabla koja svojom vrijednošću utječe na drugu varijablu naziva se neovisna varijabla. Mogući su slučajevi kada dvije varijable istovremeno utječu jedna na drugu, pa su u tom slučaju obje varijable istovremeno i ovisne i neovisne. Varijabla na koju se utječe naziva se ovisna varijabla, što su u ovom ispitivanju željezne bakterije.

Koeficijenti korelacije izražavaju mjeru povezanosti između dvije varijable u jedinicama neovisnima o konkretnim jedinicama mjere u kojima su iskazane vrijednosti varijabli. Postoji više koeficijenata korelacije, a u praksi se prilikom rada s linearnim modelima najčešće koristi Pearsonov koeficijent korelacije.

Pearsonov koeficijent korelacije koristi se u slučajevima kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Vrijednost Pearsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do –1 (savršena negativna korelacija). Predznak koeficijenta nas upućuje na smjer korelacije, je li pozitivna ili negativna, ali nas ne upućuje na snagu korelacije. Pearsonov koeficijent korelacije bazira se na usporedbi stvarnog utjecaja promatranih varijabli jedne na drugu u odnosu na maksimalni mogući utjecaj dviju varijabli. Označava se malim latiničnim slovom r. Za izračun koeficijenta korelacije potrebna su tri različite sume kvadrata (SS): suma kvadrata varijable X, suma kvadrata varijable Y i suma umnožaka varijabli X i Y.

Suma kvadrata varijable X jednaka je sumi kvadrata odstupanja vrijednosti varijable X od njezine prosječne vrijednosti:

$$SS_{XX} = \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2$$

Prosječna vrijednost varijable X jednaka je:

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i$$

Suma kvadrata varijable Y jednaka je sumi kvadrata odstupanja vrijednosti varijable Y od njezine prosječne vrijednosti:

$$SS_{YY} = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \overline{Y})^2$$

Prosječna vrijednost varijable Y jednaka je:

$$\overline{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} Y_i$$

Suma umnožaka varijabli X i Y jednaka je sumi umnožaka odstupanja vrijednosti varijabli X i Y od njihovih prosjeka:

$$SS_{XY} = \sum (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})$$

Koeficijent korelacije jednak je omjeru:

$$r = \frac{SS_{XY}}{\sqrt{SS_{XX} \cdot SS_{YY}}}$$

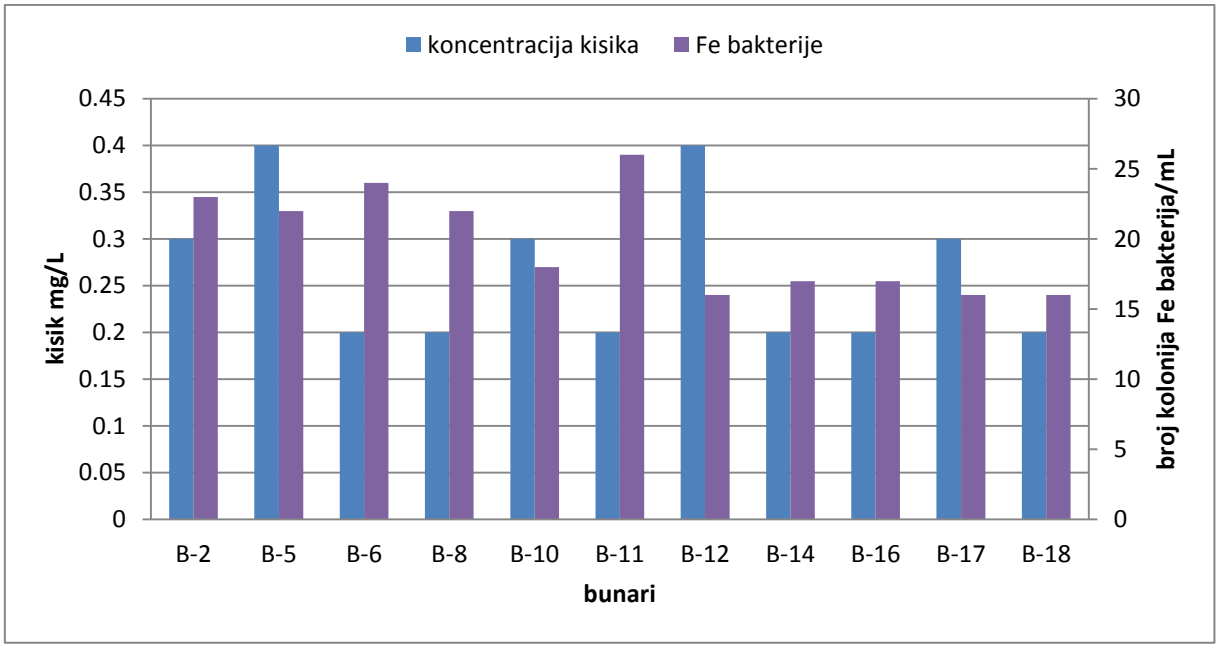
Pomoću Pearsonovog koeficijenta korelacije odredili smo ovisnost pojavnosti željeznih bakterija s mjerenim fizikalno-kemijskim parametrima. Korelacija je rađena u uzorcima iz bunara te posebno za uzorke uzetim u pogonu i kod potrošača.

4.REZULTATI

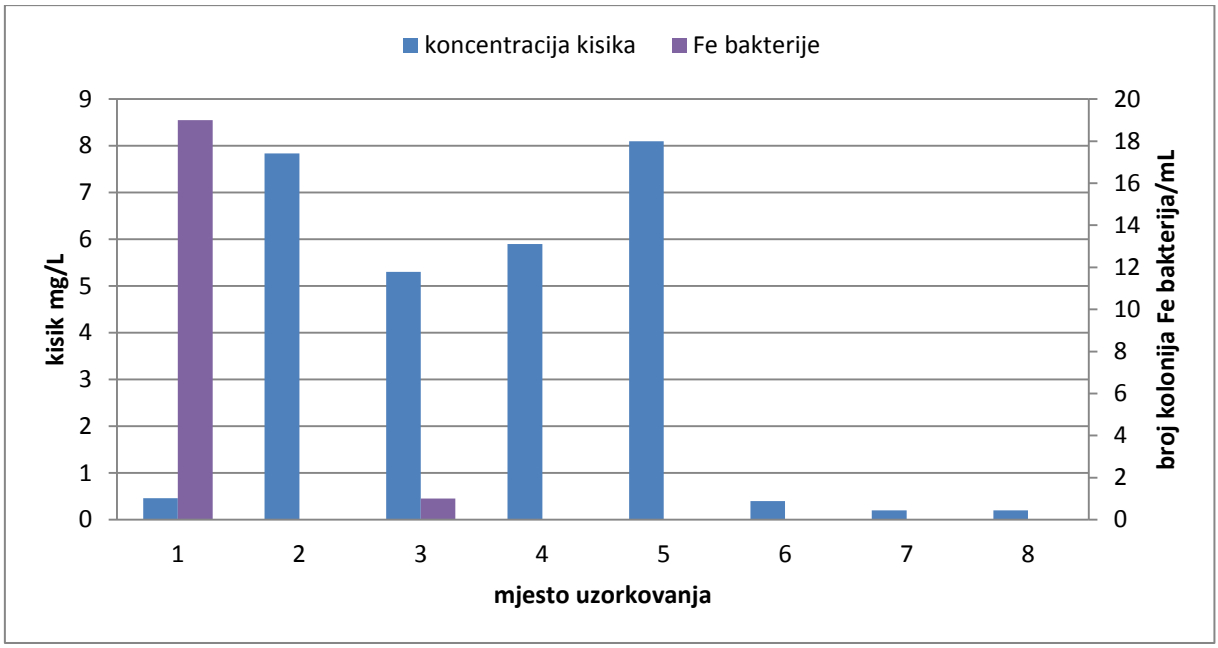
4.1. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KISIKU

4.1.1. Uzorkovanje br. 1

Rezultati uzorkovanja br. 1 prikazani su **Slikama 11** i **12**. Rezultati su izraženi u mgO_2/L. Uzorkovanje je provedeno 12.3.2013.



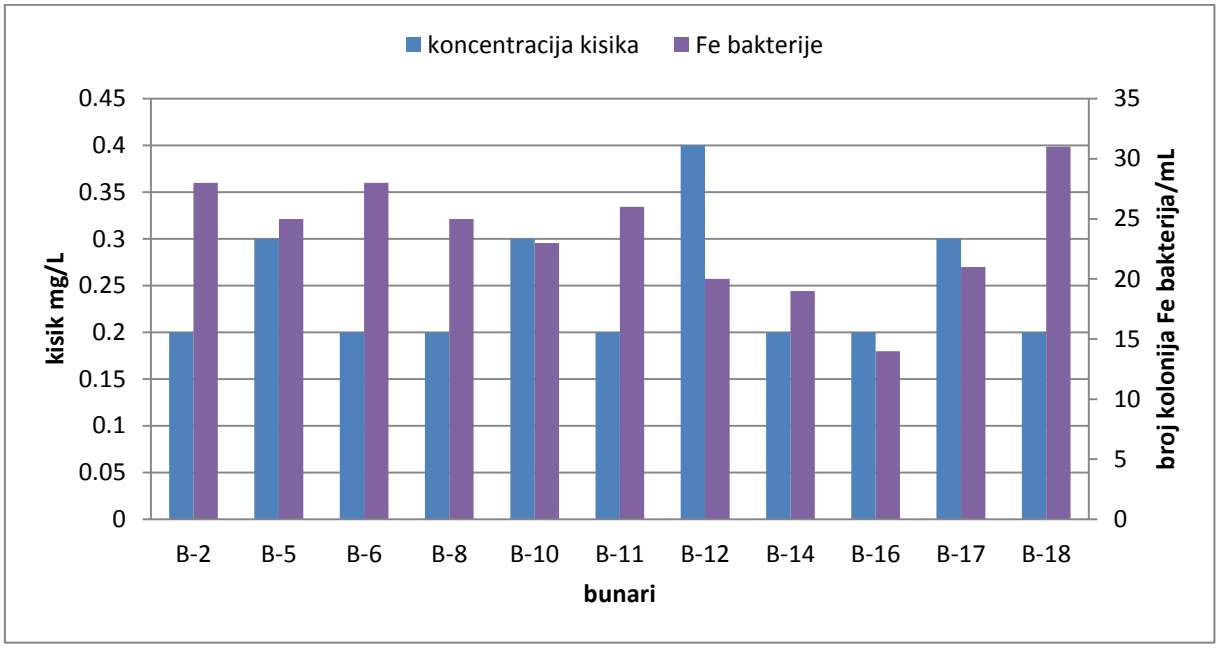
Slika 11 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u podzemnoj vodi bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br.1



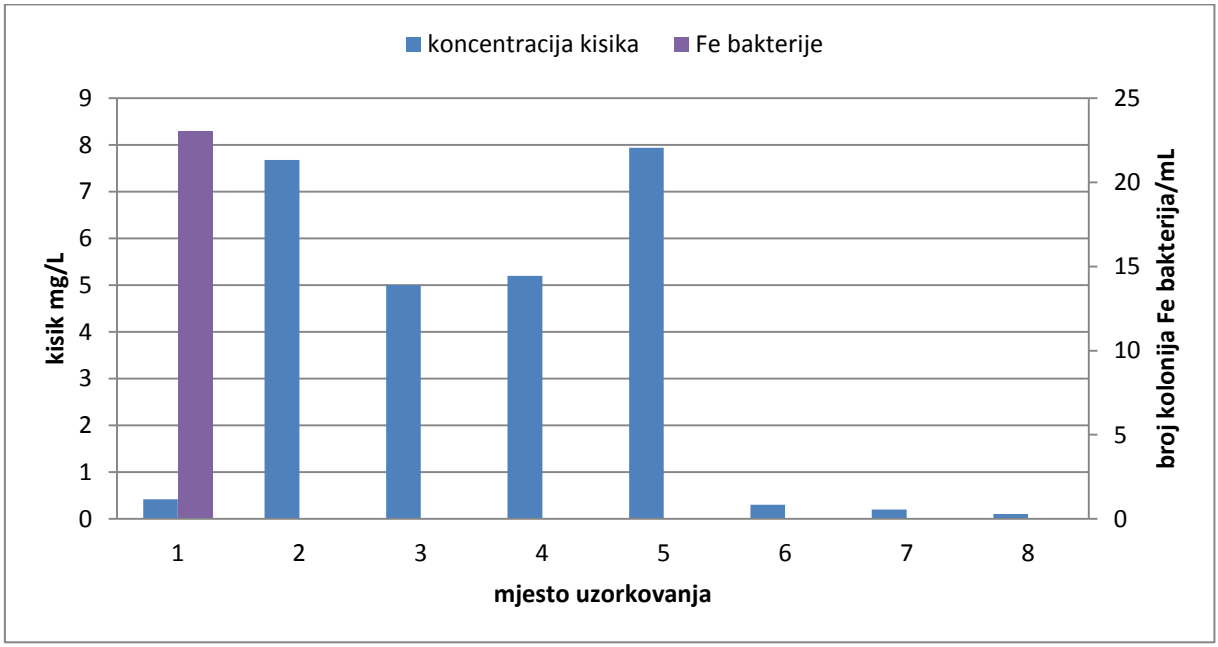
Slika 12 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br.1

4.1.2. Uzorkovanje br. 2

Rezultati uzorkovanja br. 2 prikazani su **Slikama 13** i **14**. Rezultati su izraženi u mgO_2/L. Uzorkovanje je provedeno 15.7.2013.



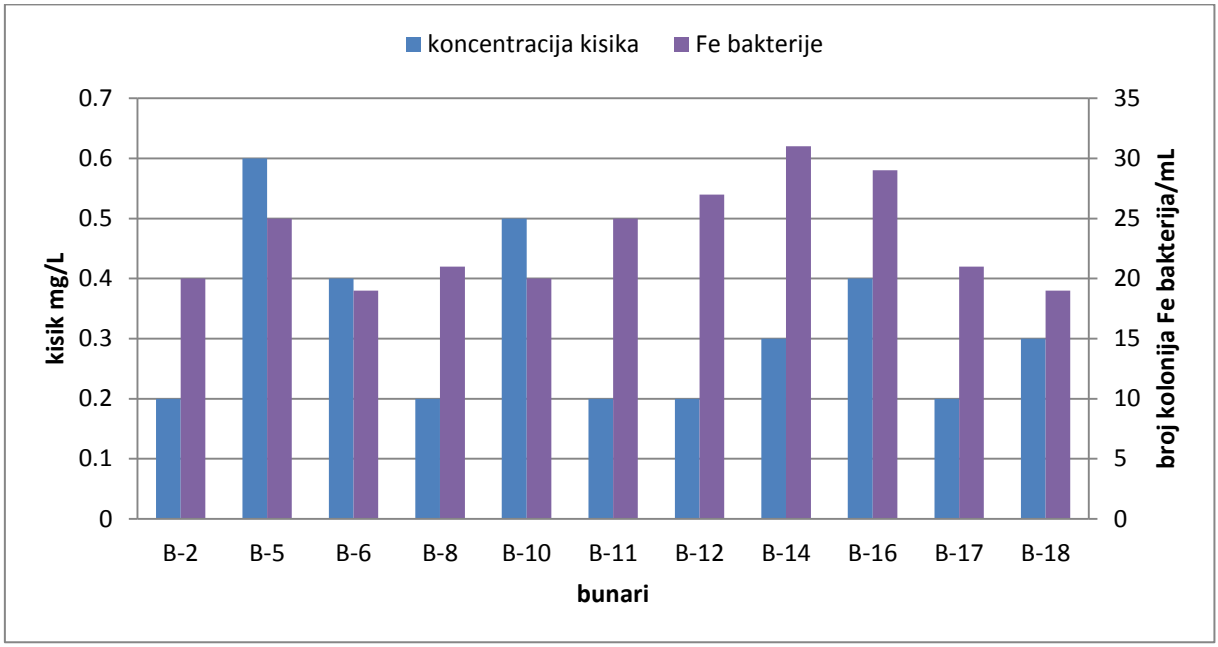
Slika 13 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u podzemnoj vodi bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 2



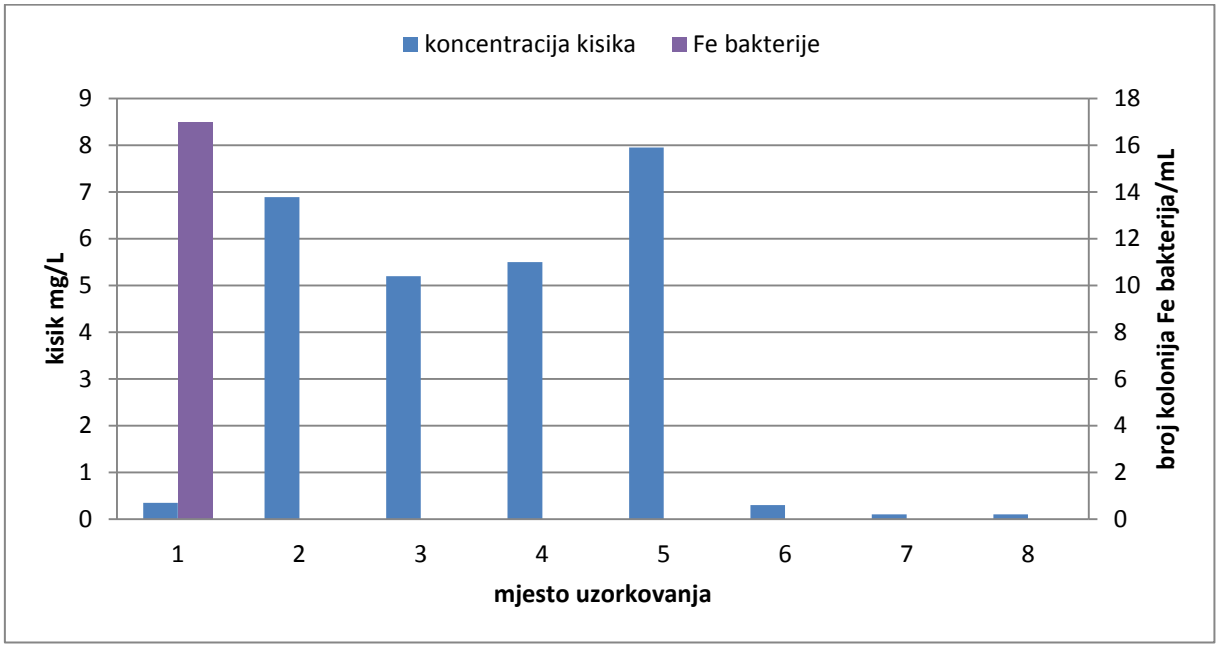
Slika14 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 2

4.1.3. Uzorkovanje br. 3

Rezultati uzorkovanja br. 3 prikazani su **Slikama 15** i **16**. Rezultati su izraženi u mgO_2/L. Uzorkovanje je provedeno 25.9.2013.



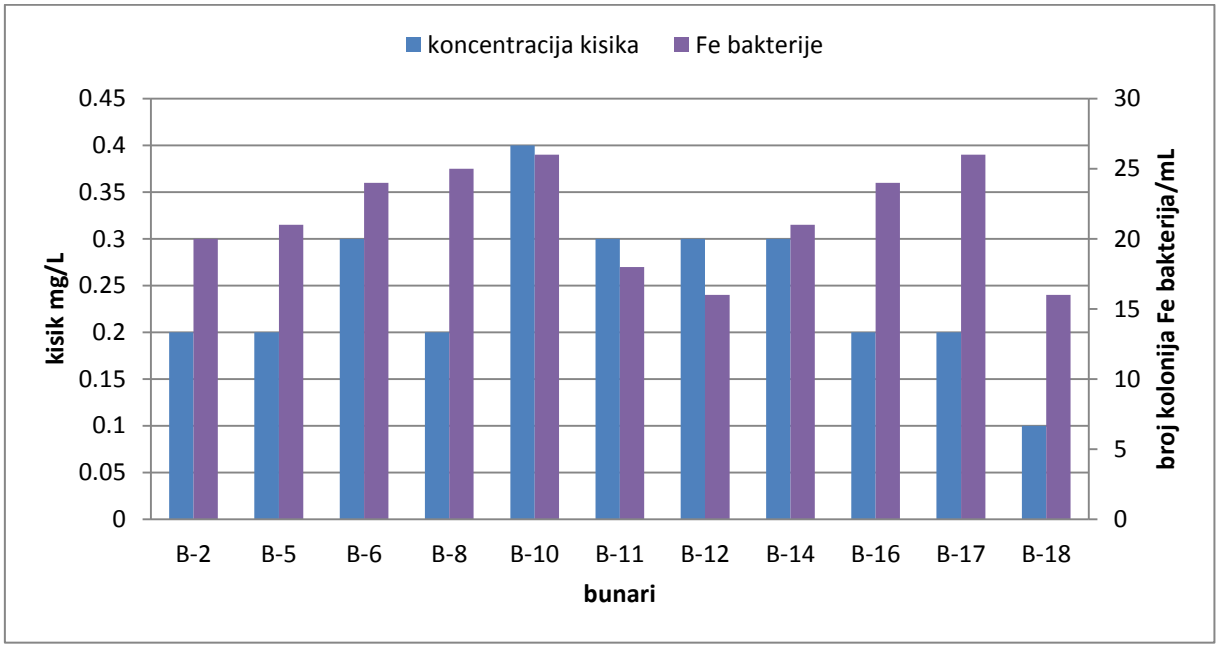
Slika 15 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u podzemnoj vodi bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 3



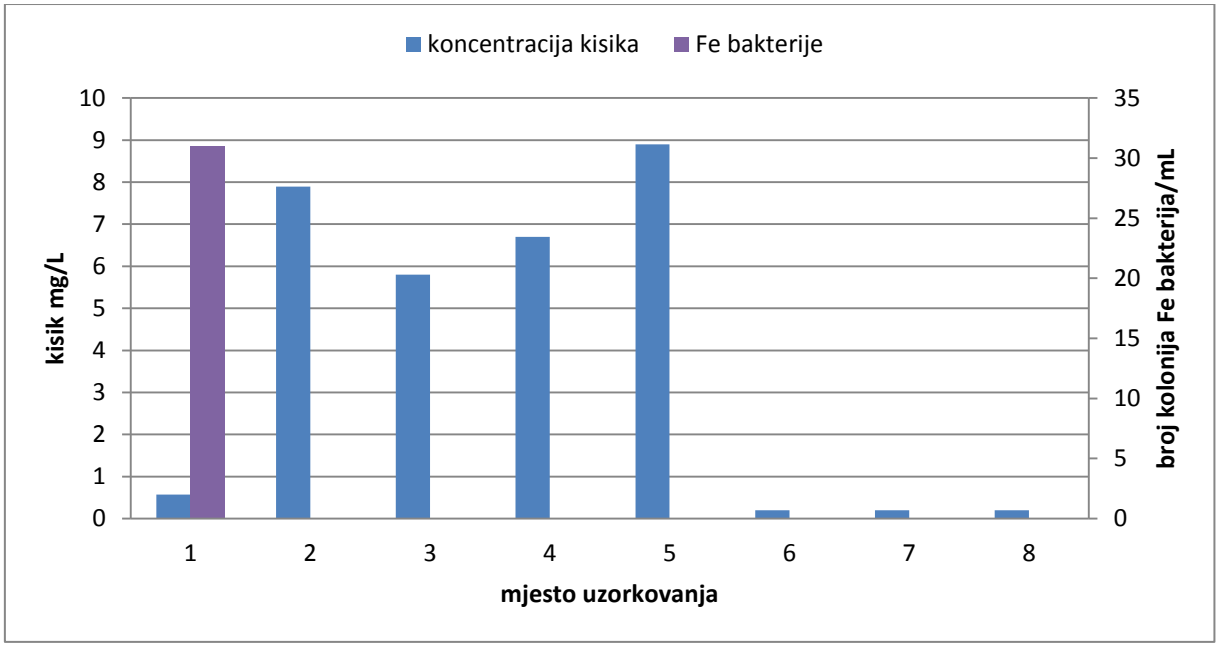
Slika 16 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 3

4.1.4. Uzorkovanje br. 4

Rezultati uzorkovanja br. 4 prikazani su **Slikama 17** i **18**. Rezultati su izraženi u mgO_2/L. Uzorkovanje je provedeno 9.12.2013.



Slika 17 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u podzemnoj vodi bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 4

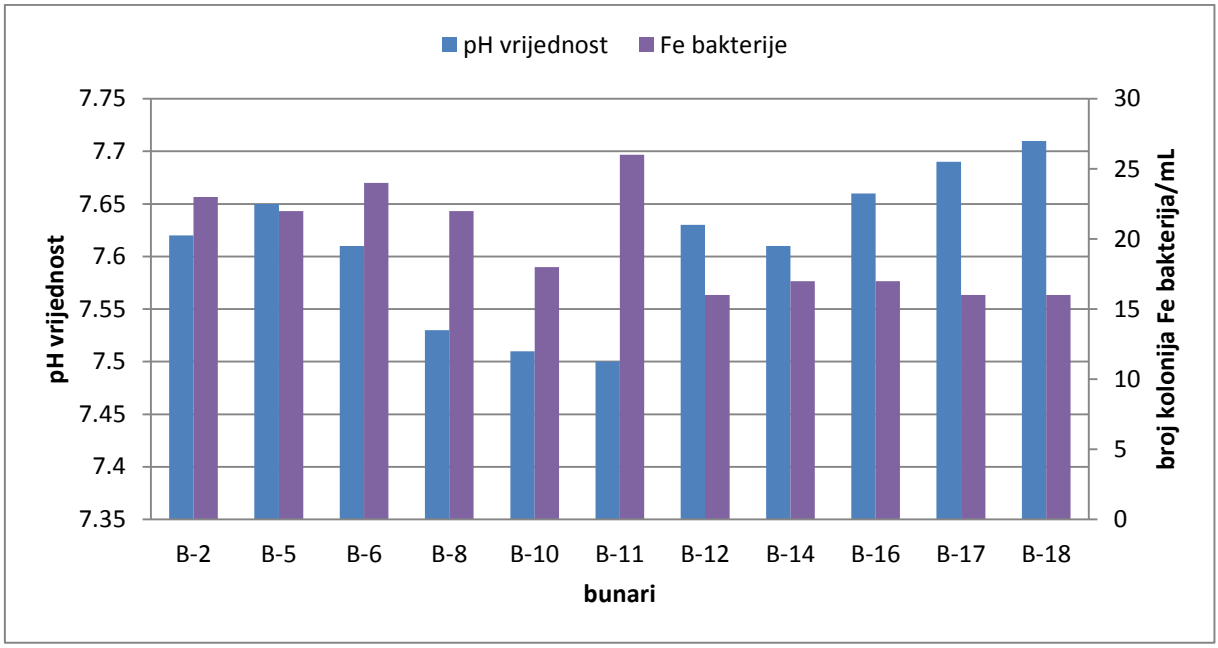


Slika 18 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji kisika u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 4

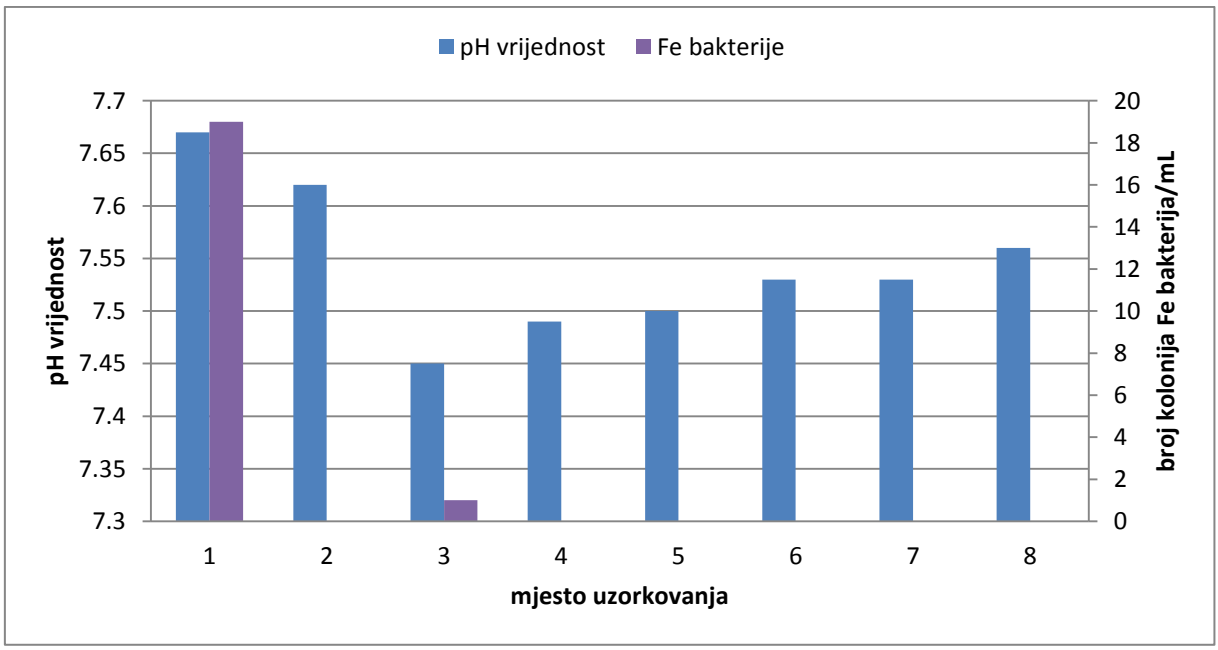
4.2. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O pH VRIJEDNOSTI

4.2.1. Uzorkovanje br. 1

Rezultati uzorkovanja br. 1 prikazani su **Slikama 19** i **20**. Uzorkovanje je provedeno 12.3.2013.



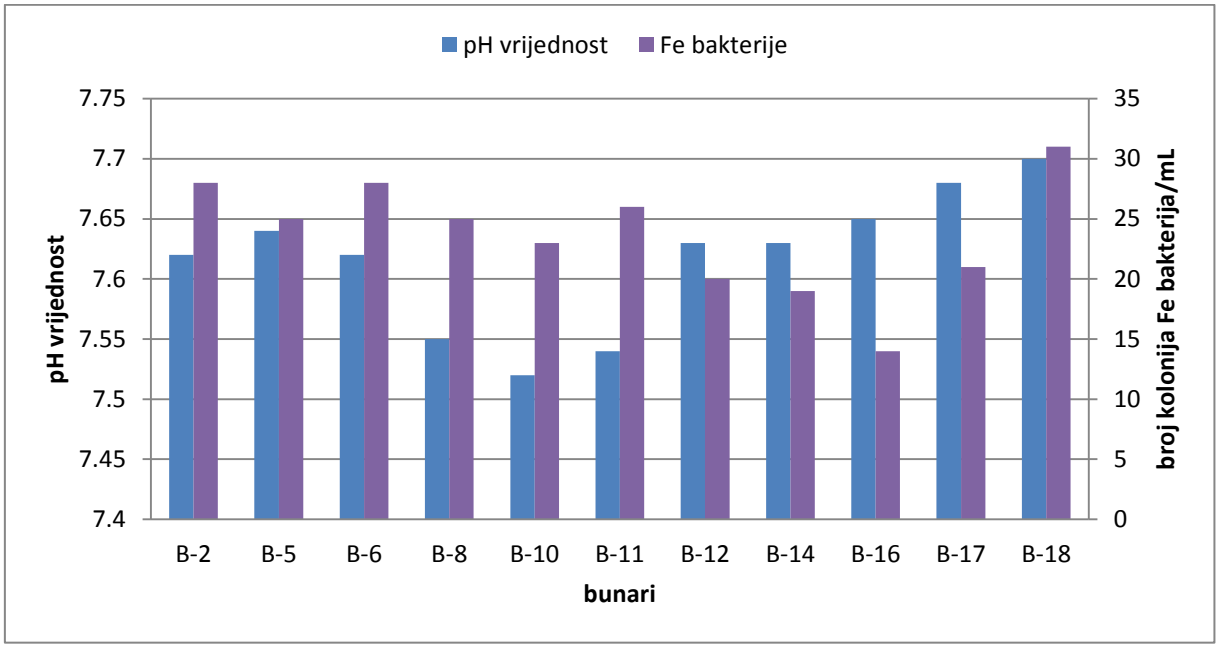
Slika 19 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 1



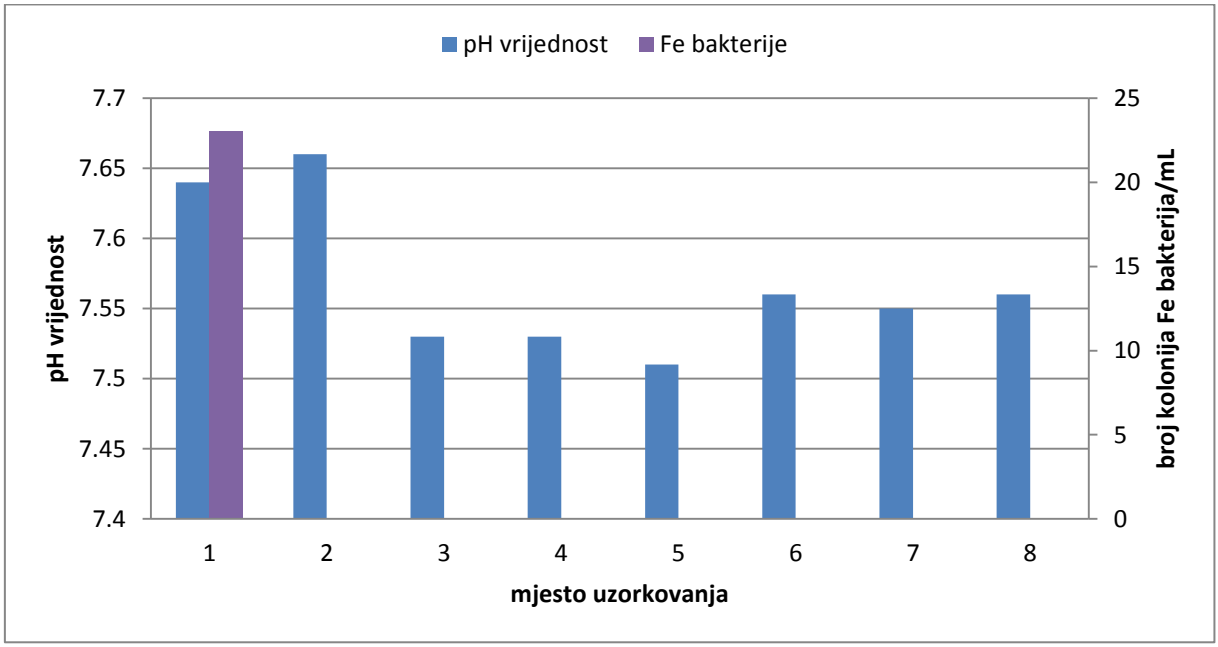
Slika 20 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 1

4.2.2. Uzorkovanje br. 2

Rezultati uzorkovanja br. 2 prikazani su **Slikama 21** i **22**. Uzorkovanje je provedeno 15.7.2013.



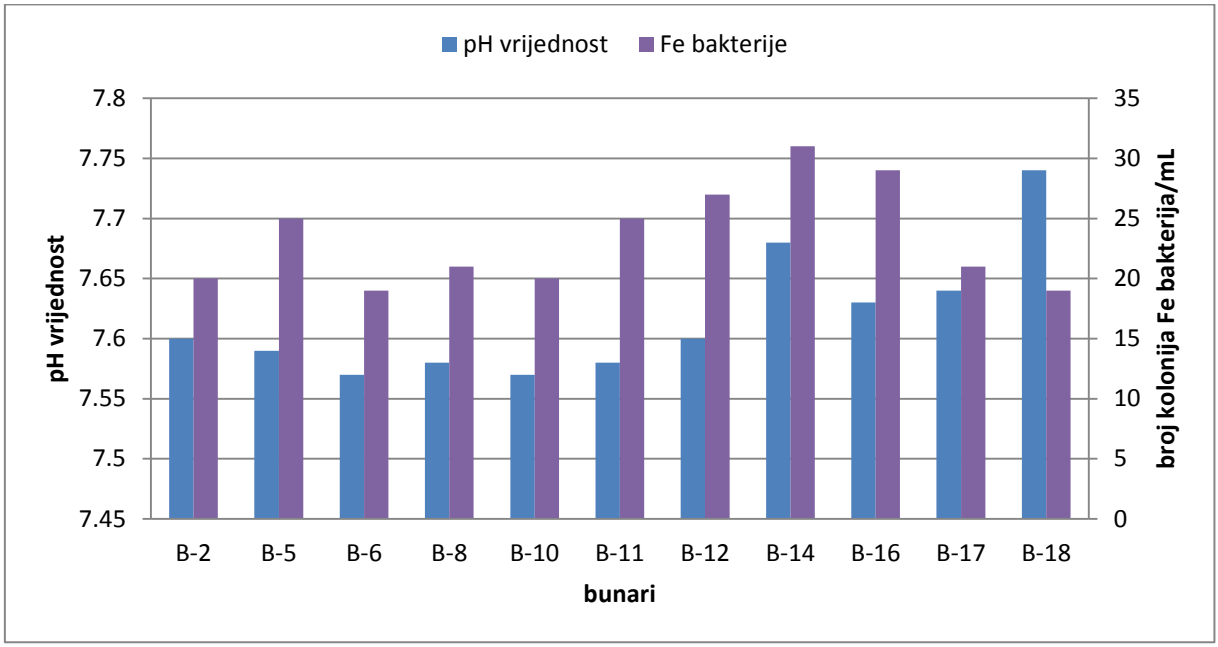
Slika 21 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 2



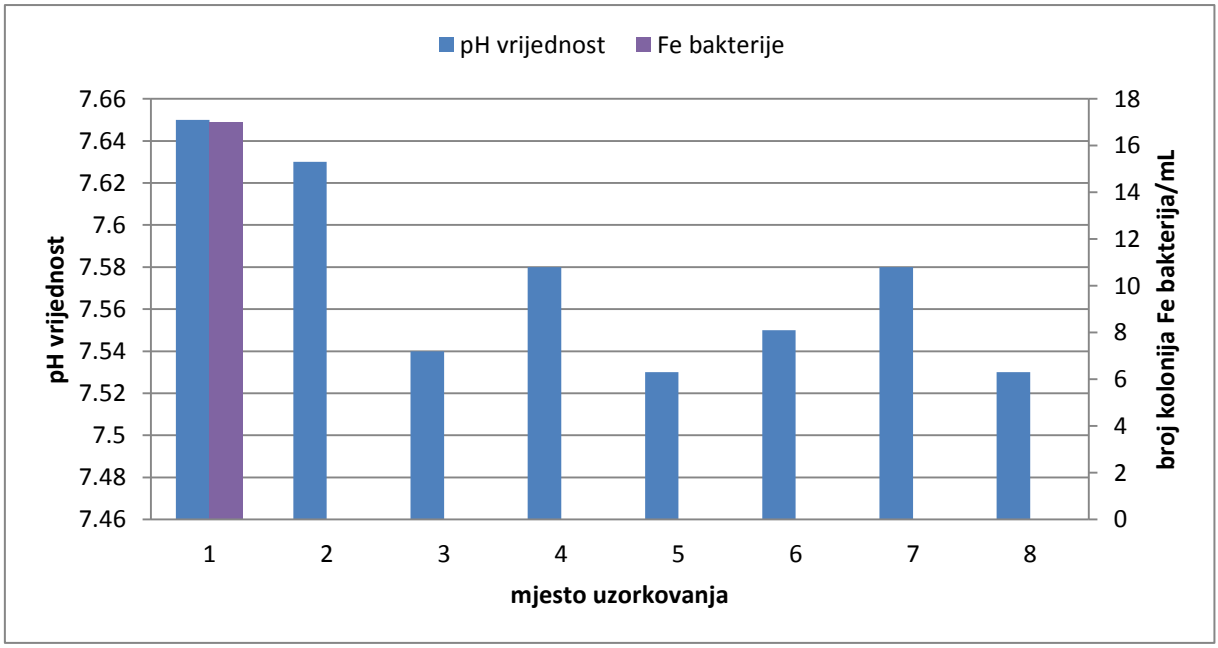
Slika 22 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 2

4.2.3. Uzorkovanje br. 3

Rezultati uzorkovanja br. 3 prikazani su **Slikama 23** i **24**. Uzorkovanje je provedeno 25.9.2013.



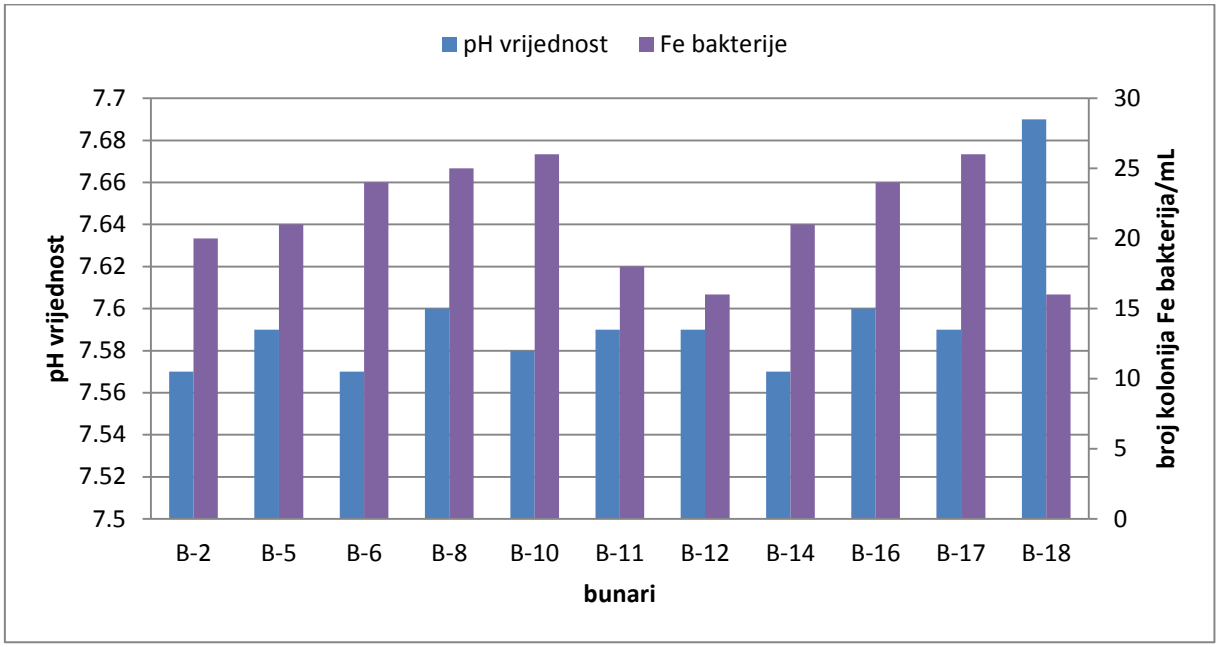
Slika 23 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 3



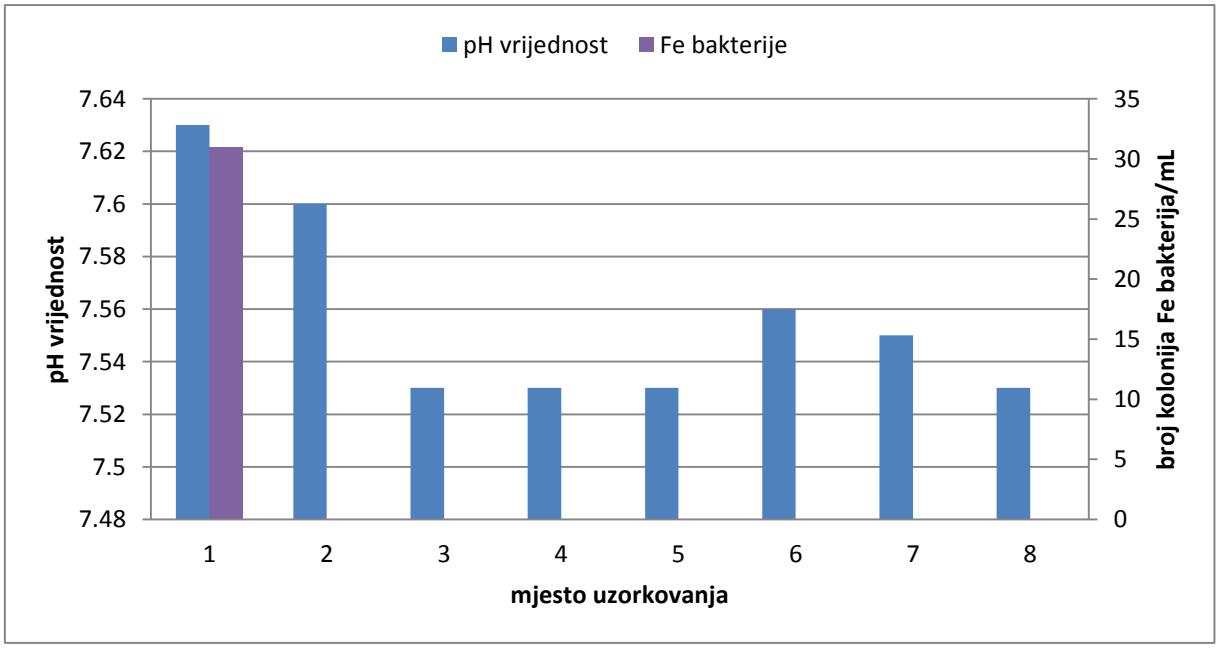
Slika 24 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 3

4.2.4. Uzorkovanje br. 4

Rezultati uzorkovanja br. 4 prikazani su **Slikama 25** i **26**. Uzorkovanje je provedeno 9.12.2013.



Slika 25 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 4

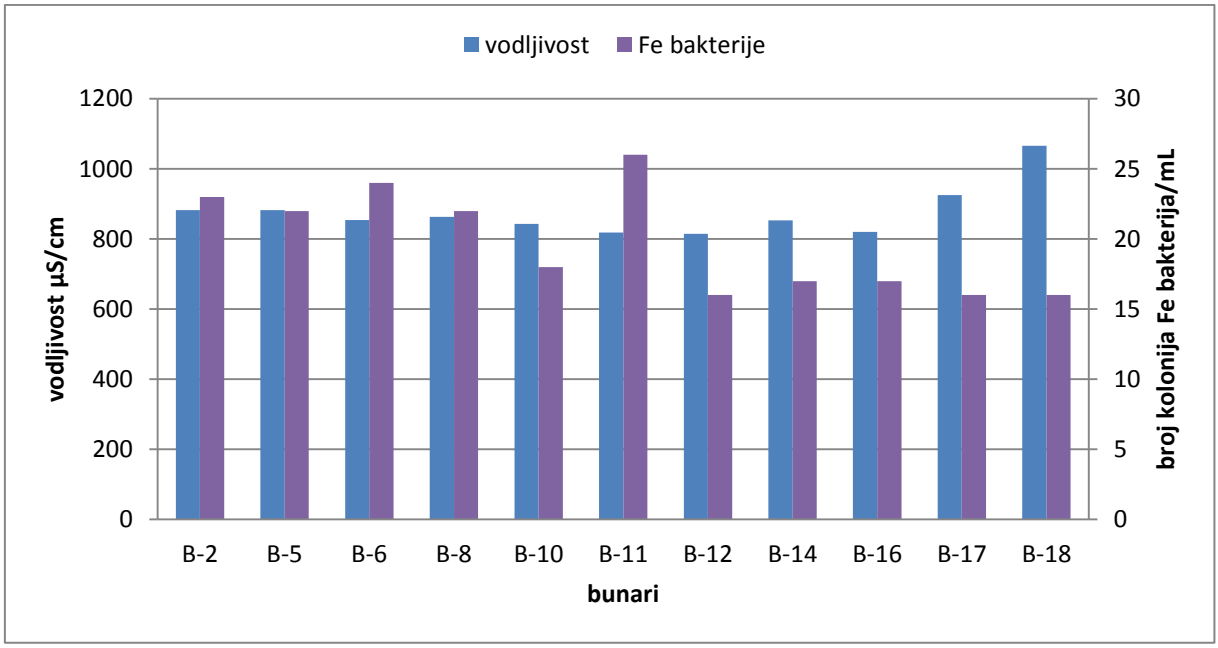


Slika 26 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o pH vrijednosti vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 4

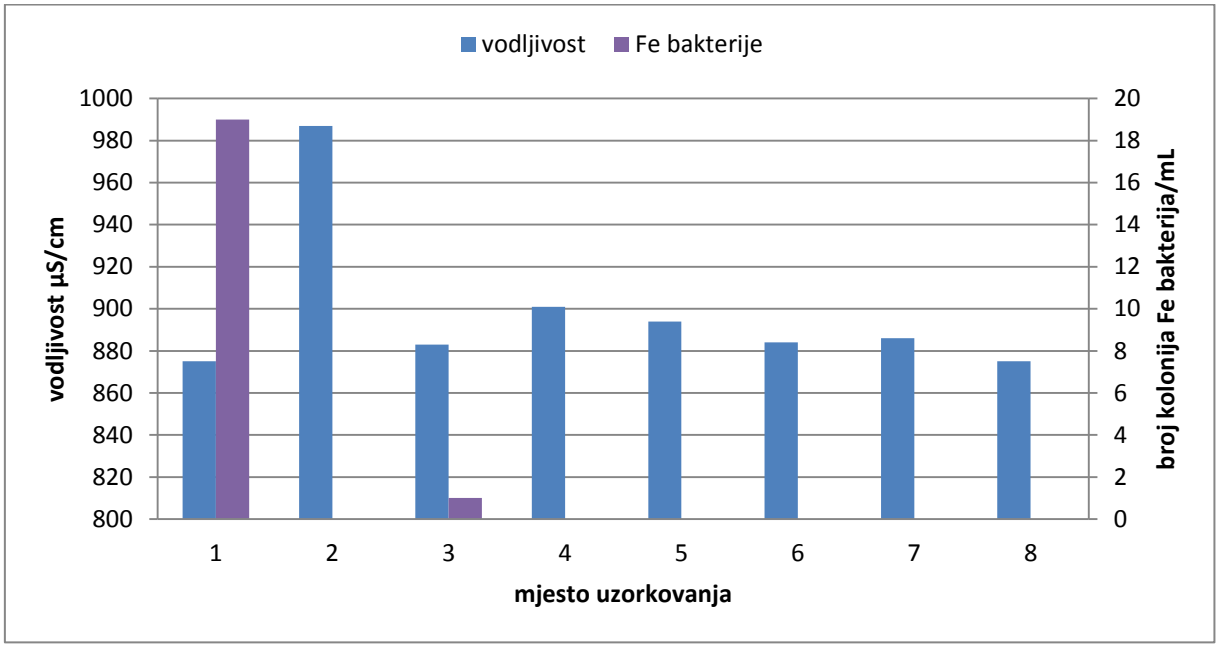
4.3. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O VODLJIVOSTI

4.3.1. Uzorkovanje br. 1

Rezultati uzorkovanja br. 1 prikazani su **Slikama 27** i **28**. Uzorkovanje je provedeno 12.3.2013.



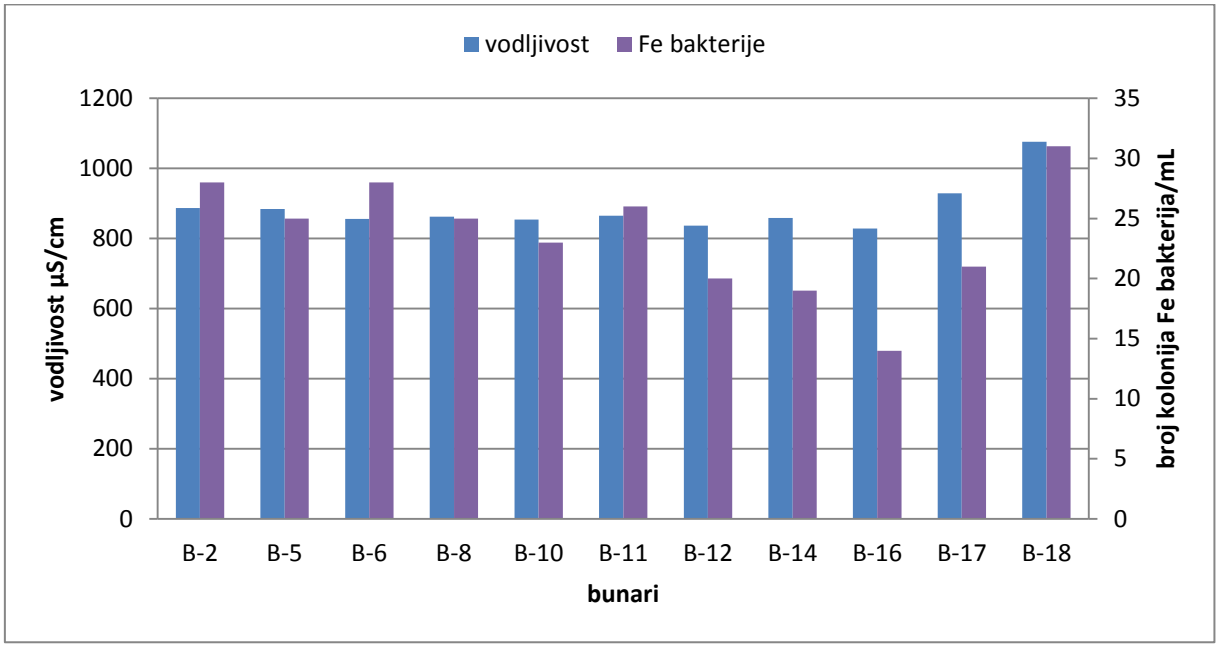
Slika 27 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 1



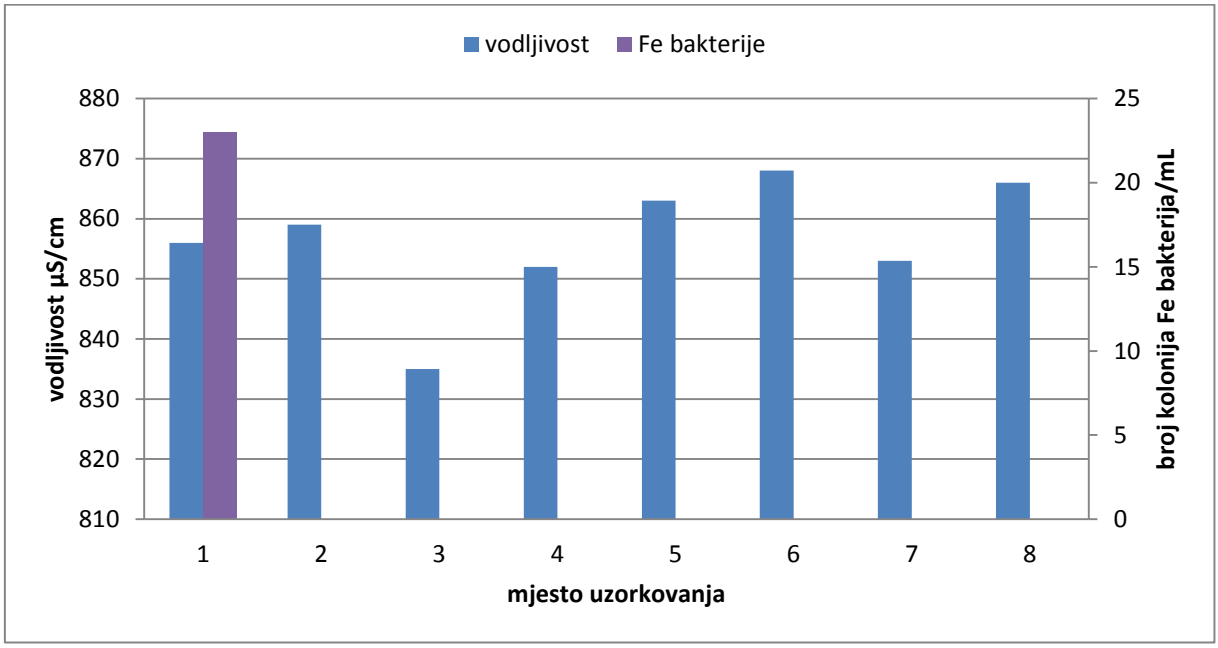
Slika 28 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivost vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 1

4.3.2. Uzorkovanje br. 2

Rezultati uzorkovanja br. 2 prikazani su **Slikama 29** i **30**. Uzorkovanje je provedeno 15.7.2013.



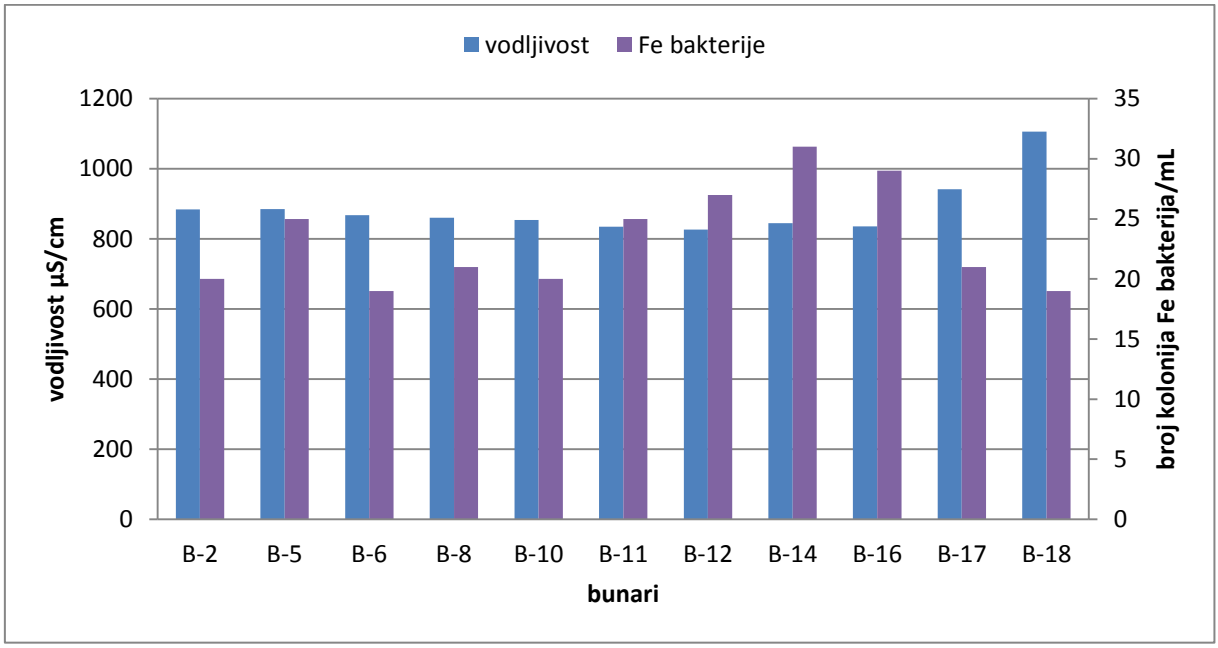
Slika 29 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 2



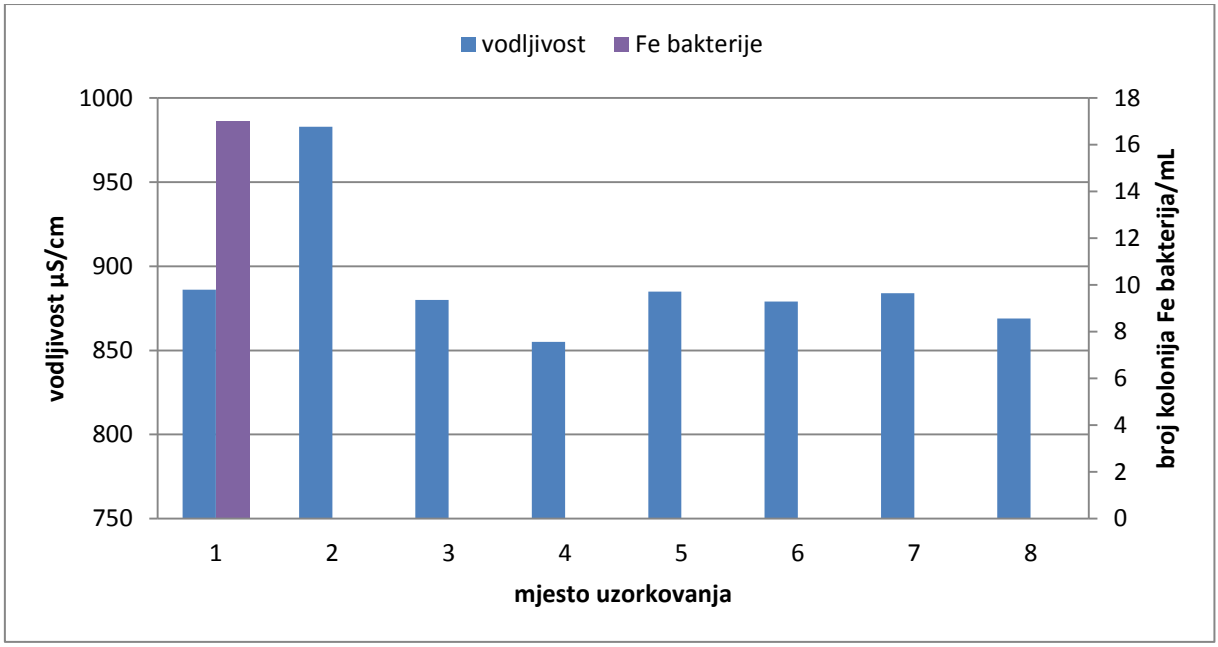
Slika 30 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivost vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 2

4.3.3. Uzorkovanje br. 3

Rezultati uzorkovanja br. 3 prikazani su **Slikama 31** i **32**. Uzorkovanje je provedeno 25.9.2013.



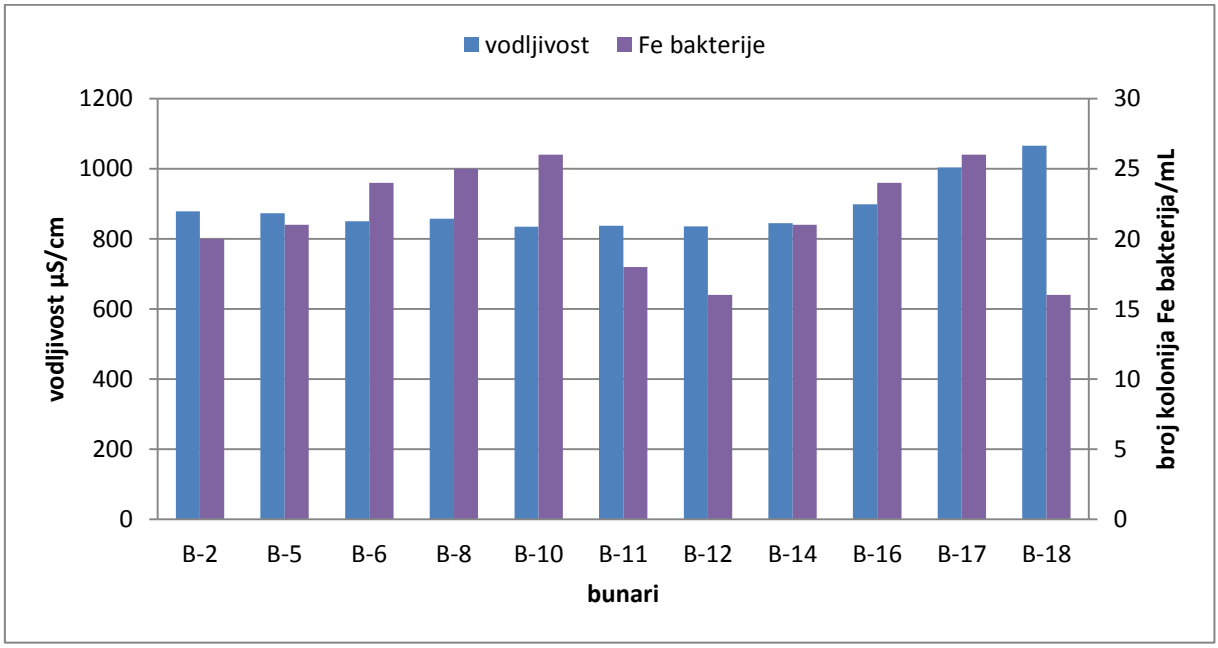
Slika 31 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 3



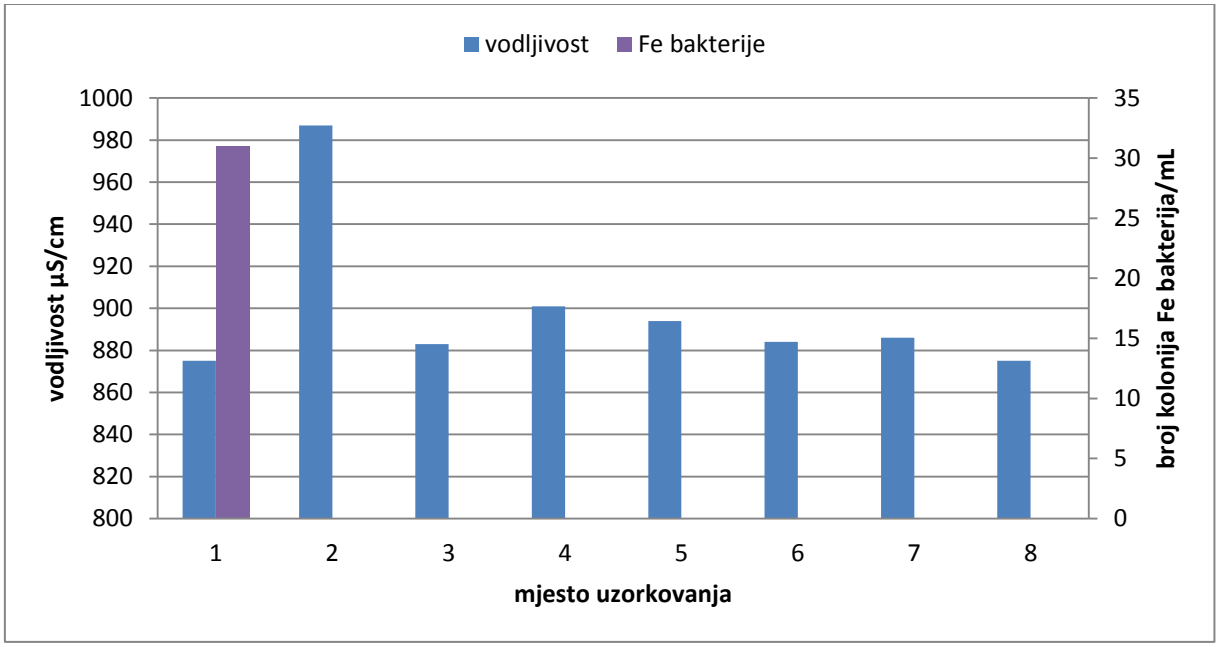
Slika 32 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivost vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 3

4.2.4. Uzorkovanje br.4

Rezultati uzorkovanja br. 4 prikazani su **Slikama 33** i **34**. Uzorkovanje je provedeno 9.12.2013.



Slika 33 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivosti podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 4

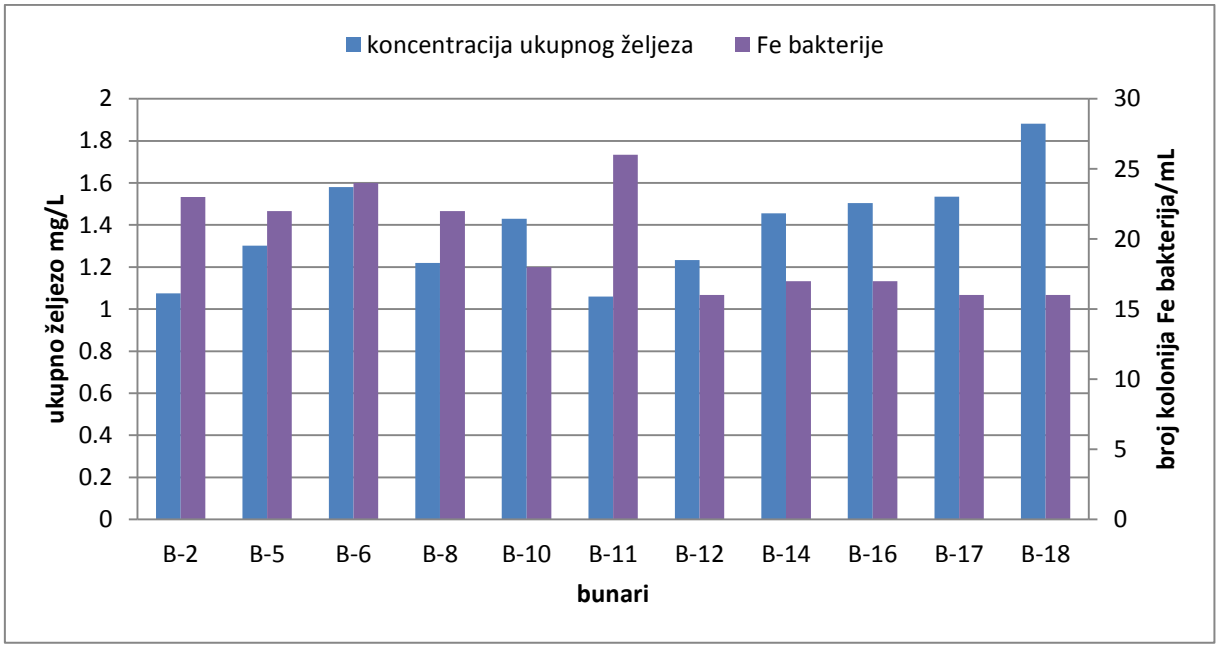


Slika 34 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o vodljivost vode iz pogona i vode na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 4

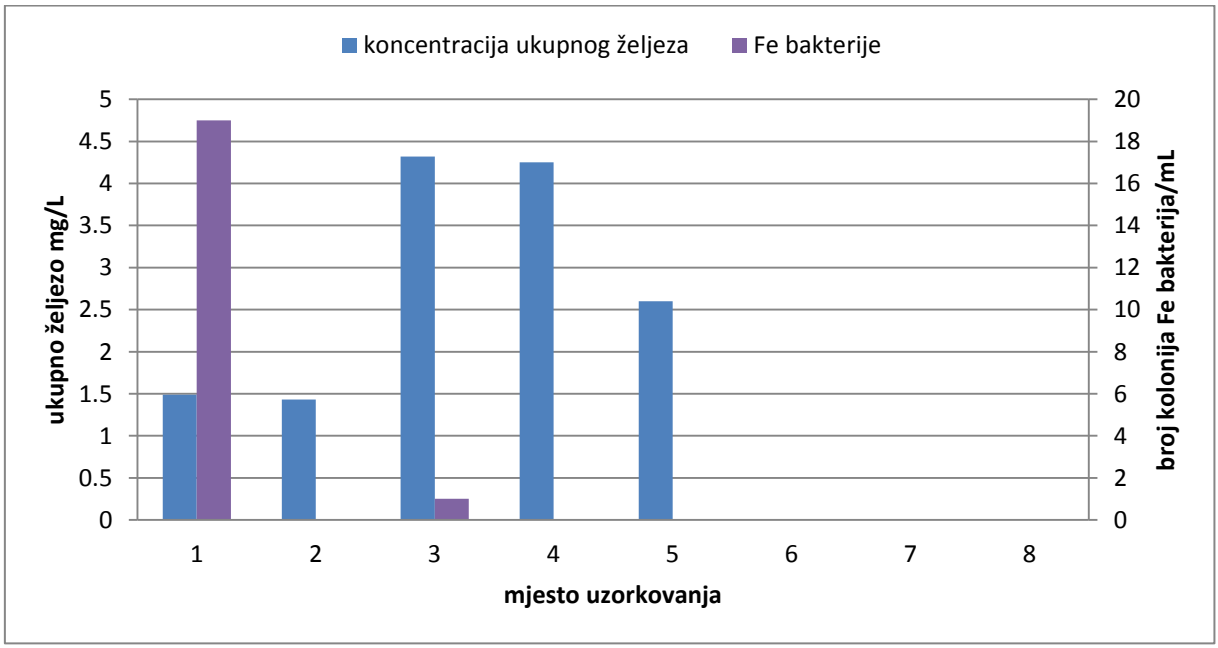
4.4. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O UKUPNOM ŽELJEZU

4.4.1. Uzorkovanje br. 1

Rezultati uzorkovanja br. 1 prikazani su **Slikama 35** i **36**. Uzorkovanje je provedeno 12.3.2013.



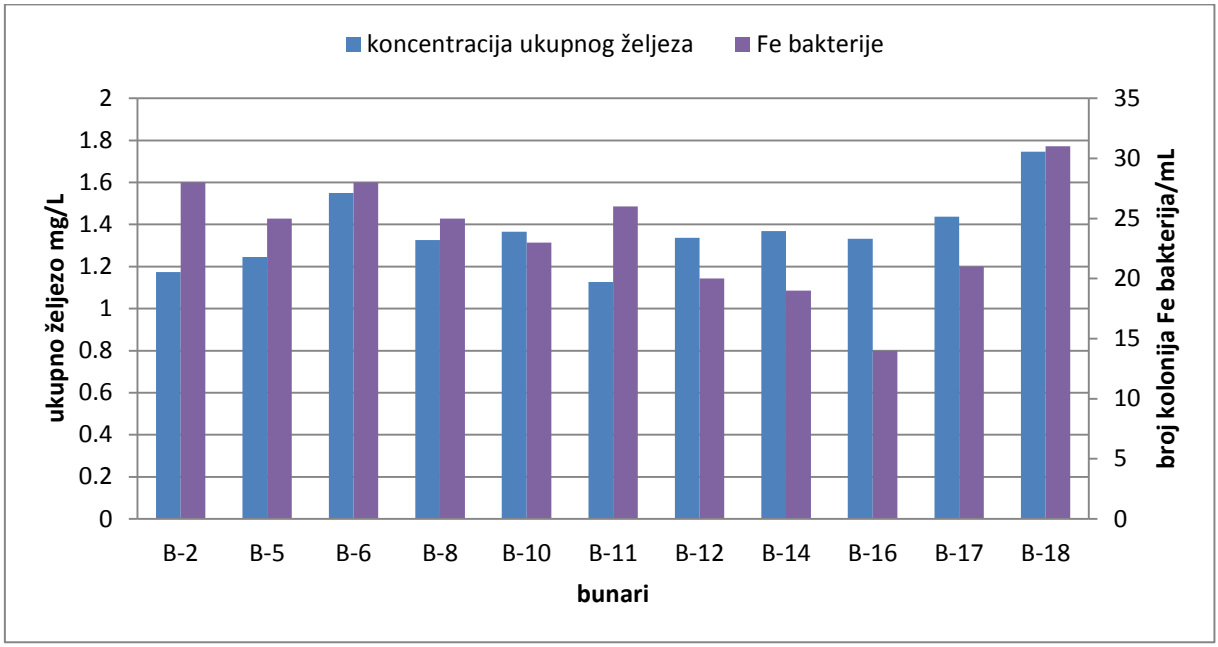
Slika 35 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 1



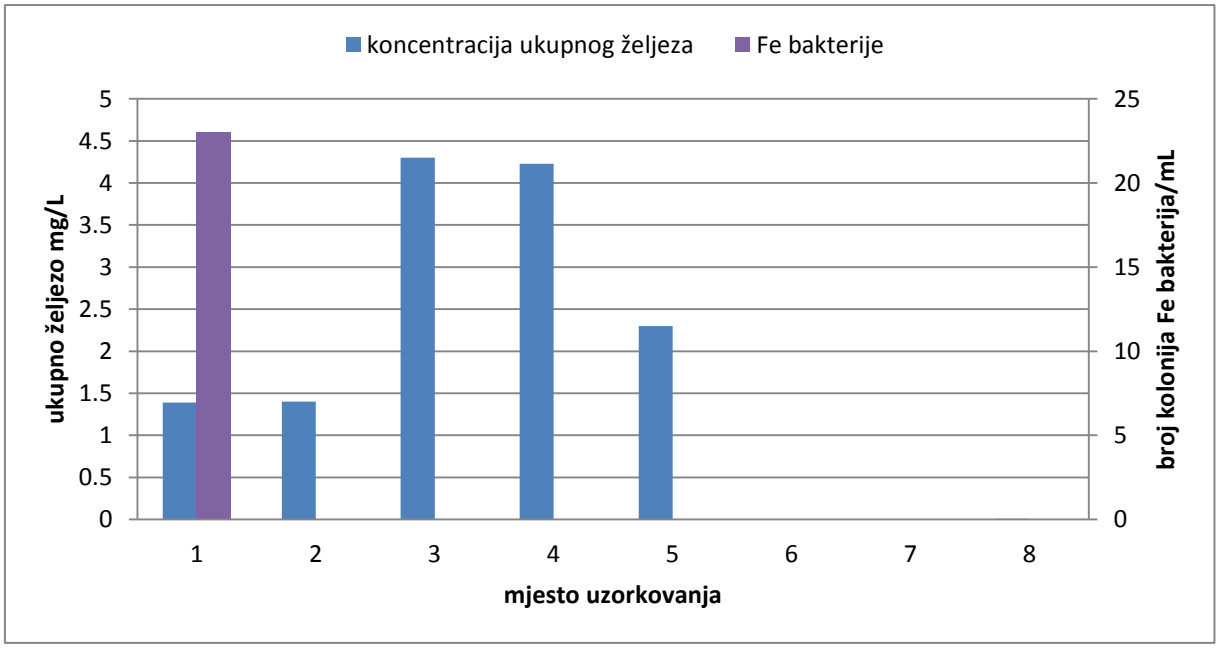
Slika 36 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 1

4.4.2. Uzorkovanje br. 2

Rezultati uzorkovanja br. 2 prikazani su **Slikama 37** i **38**. Uzorkovanje je provedeno 15.7.2013.



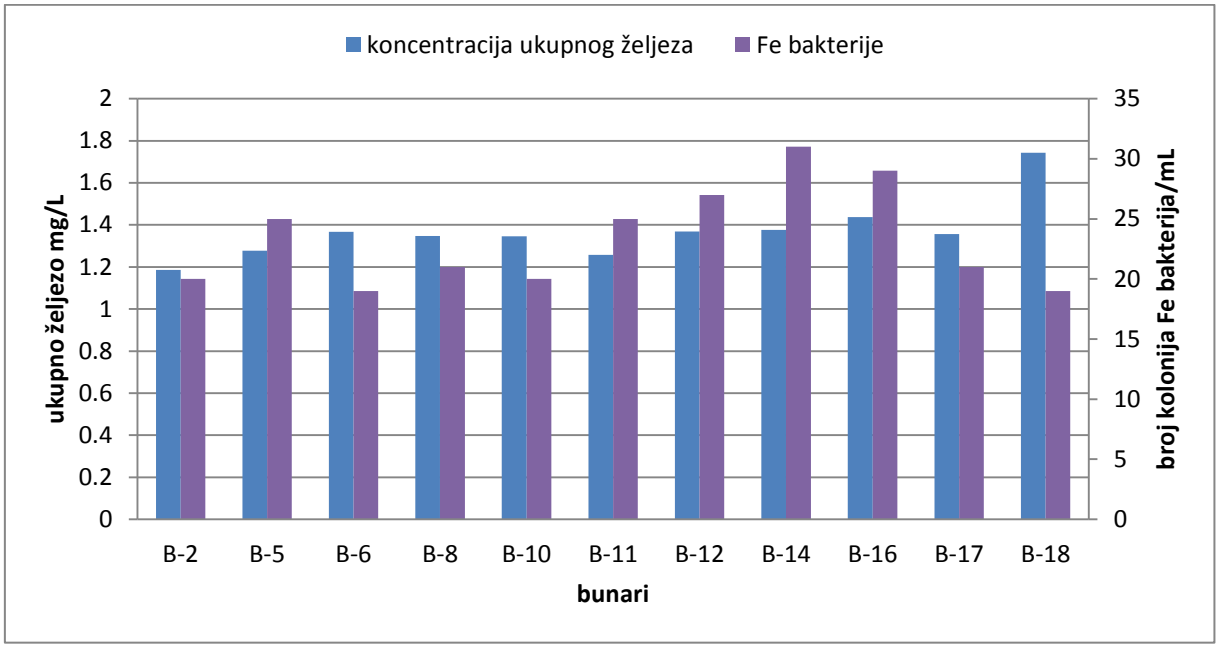
Slika 37 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 2



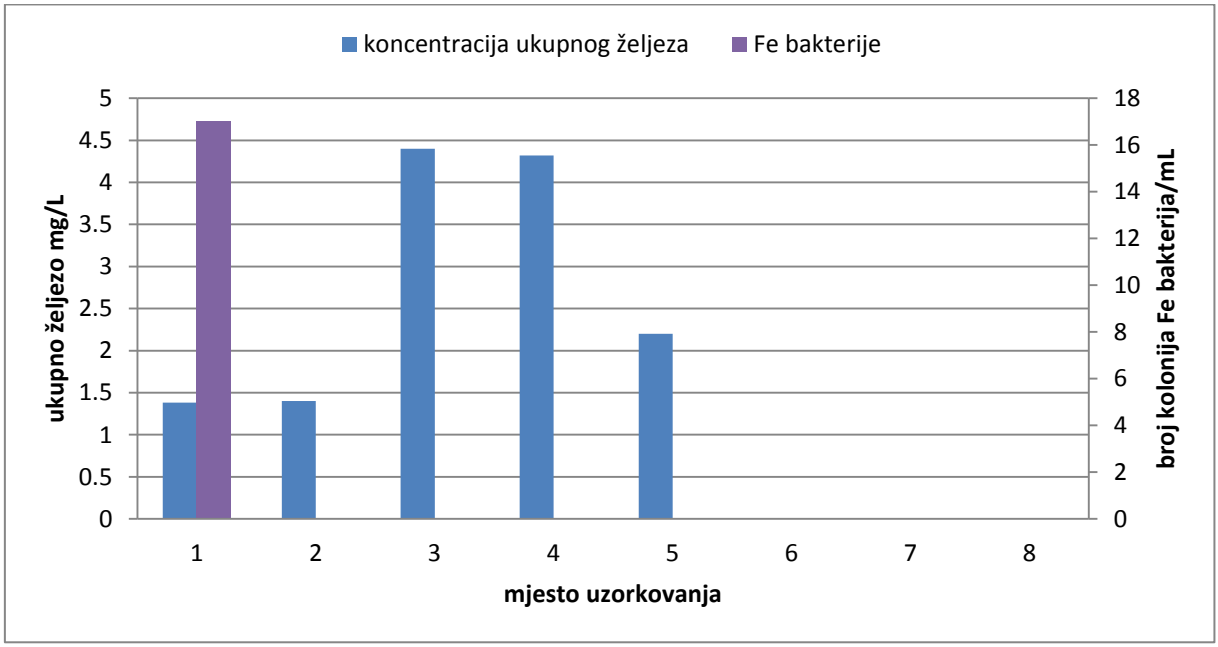
Slika 38 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 2

4.4.3. Uzorkovanje br. 3

Rezultati uzorkovanja br. 3 prikazani su **Slikama 39** i **40**. Uzorkovanje je provedeno 25.9.2013.



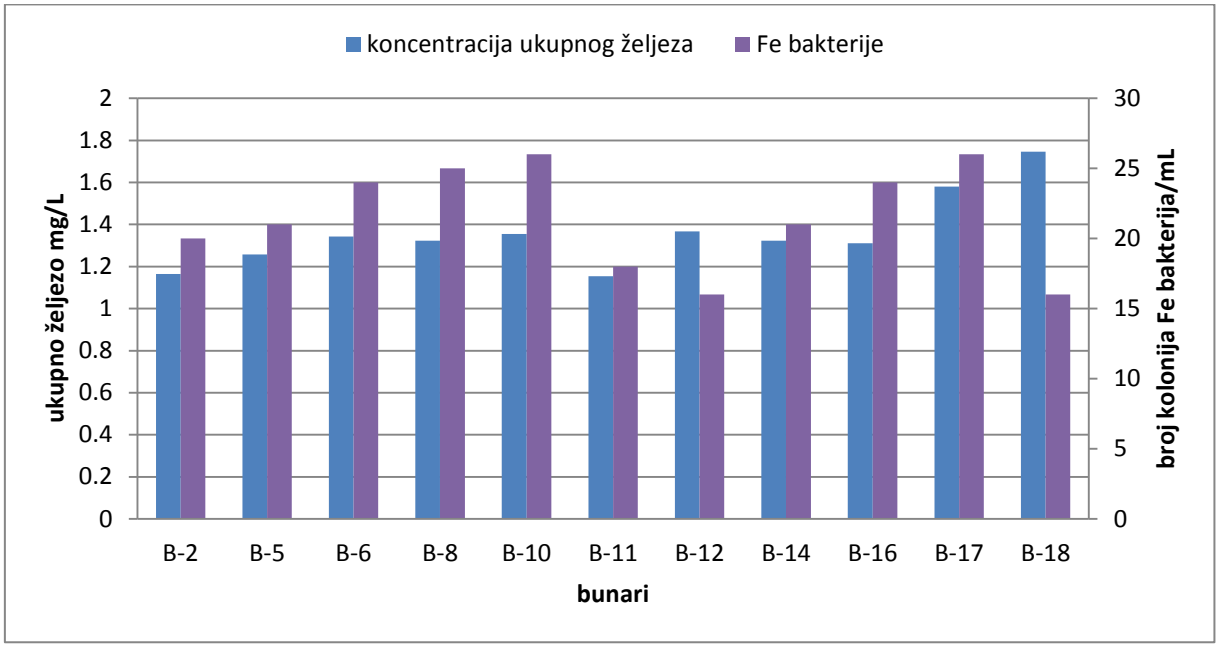
Slika 39 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 3



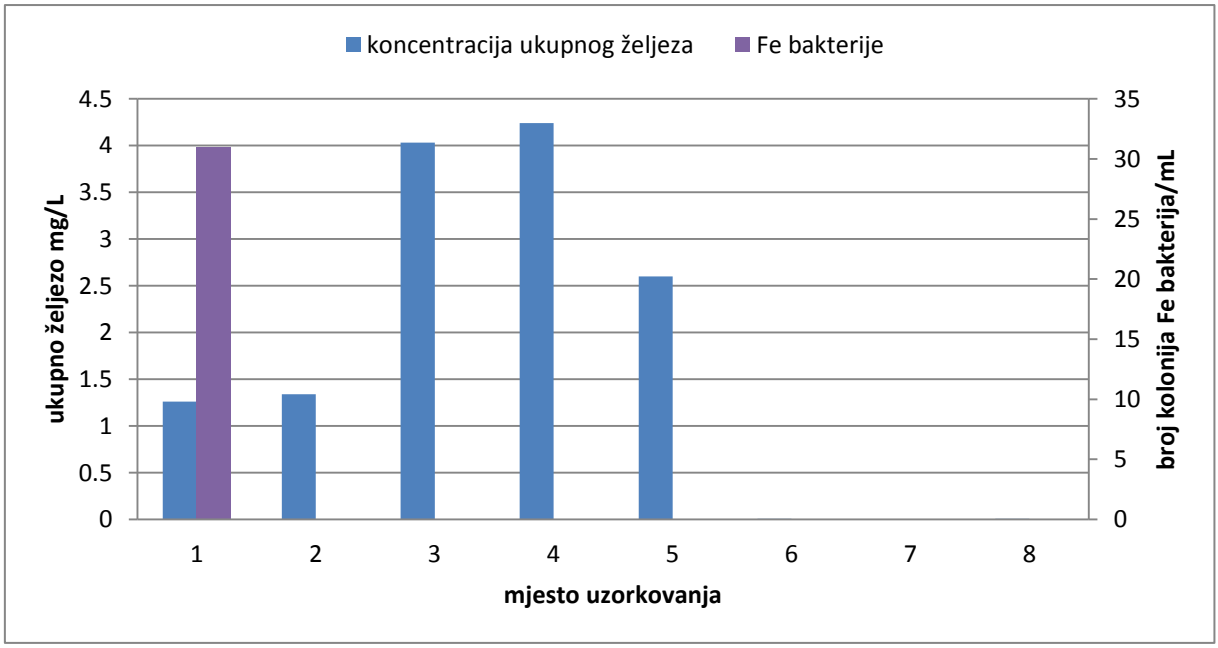
Slika 40 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br.3

4.4.4. Uzorkovanje br. 4

Rezultati uzorkovanja br. 4 prikazani su **Slikama 41** i **42**. Uzorkovanje je provedeno 9.12.2013.



Slika 41 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 4

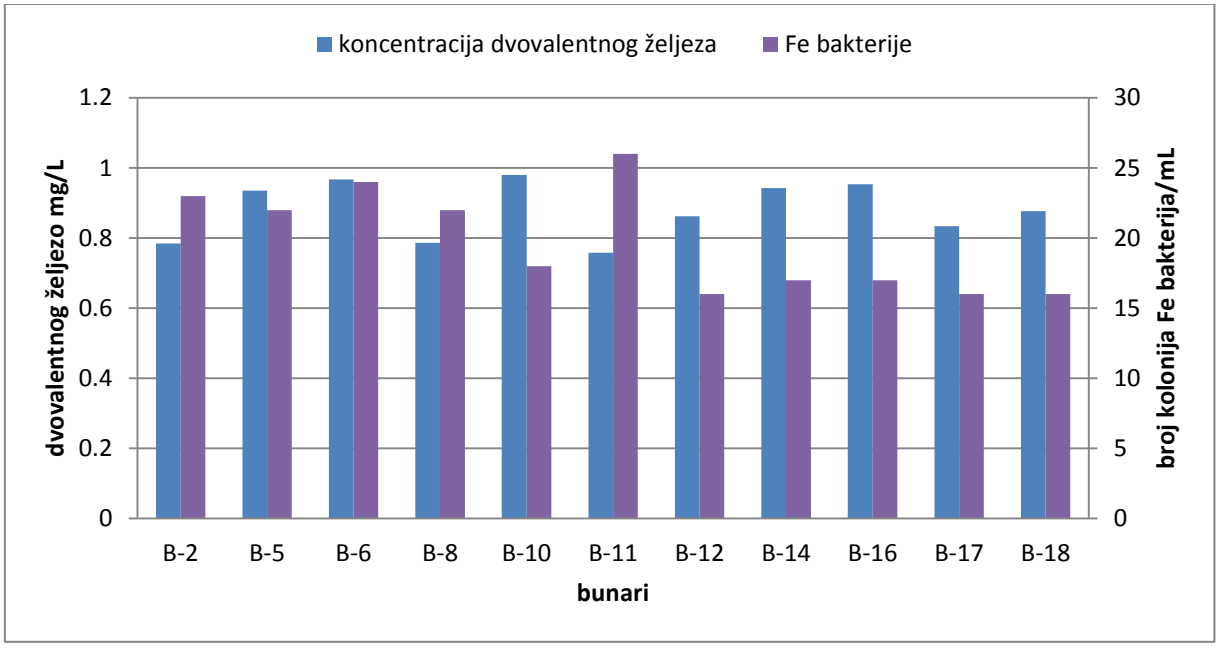


Slika 42 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji ukupnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 4

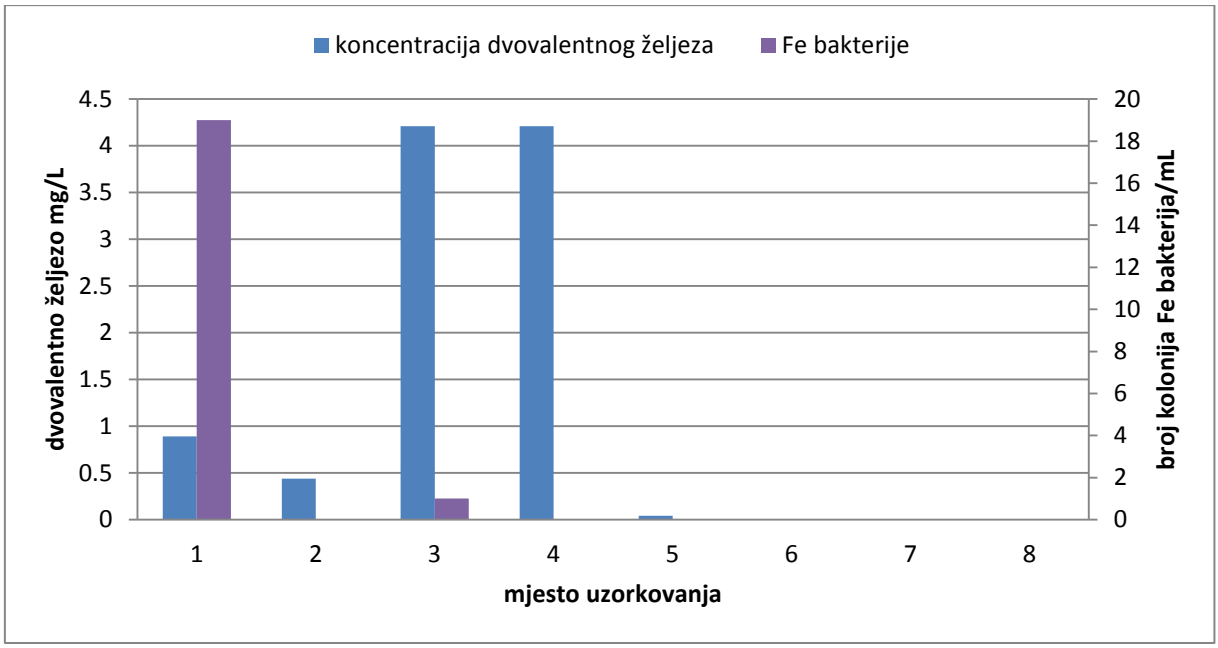
4.5. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI DVOVALENTNOG ŽELJEZA

4.5.1. Uzorkovanje br. 1

Rezultati uzorkovanja br. 1 prikazani su **Slikama 43** i **44**. Uzorkovanje je provedeno 12.3.2013.



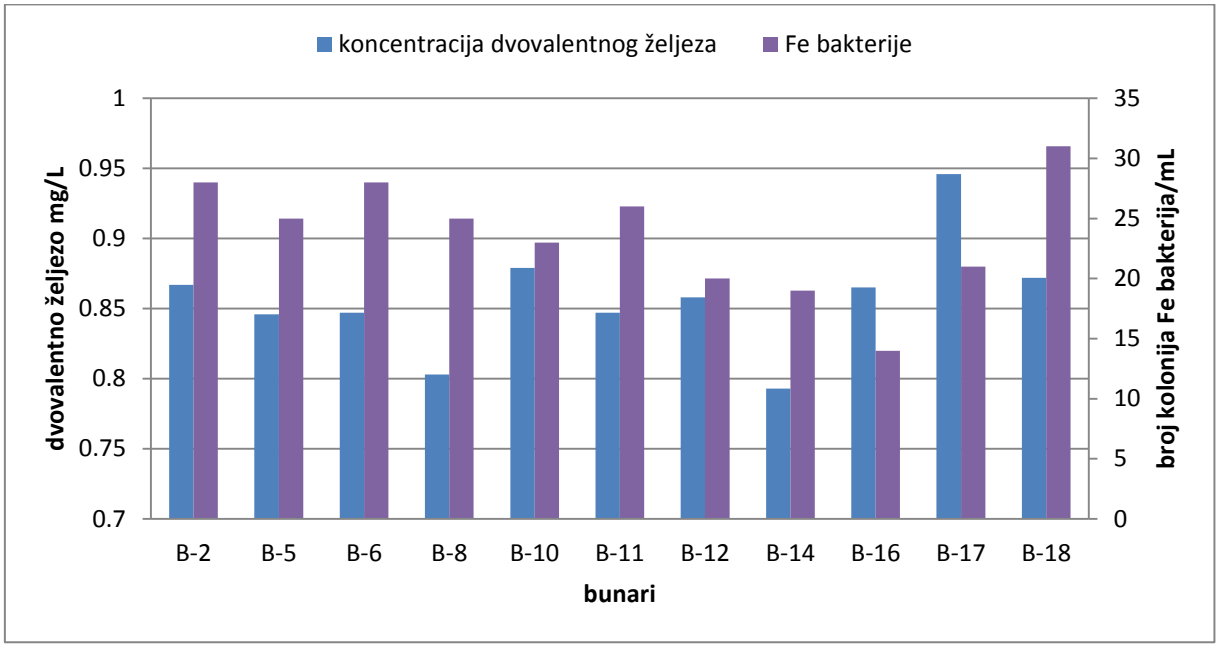
Slika 43 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 1



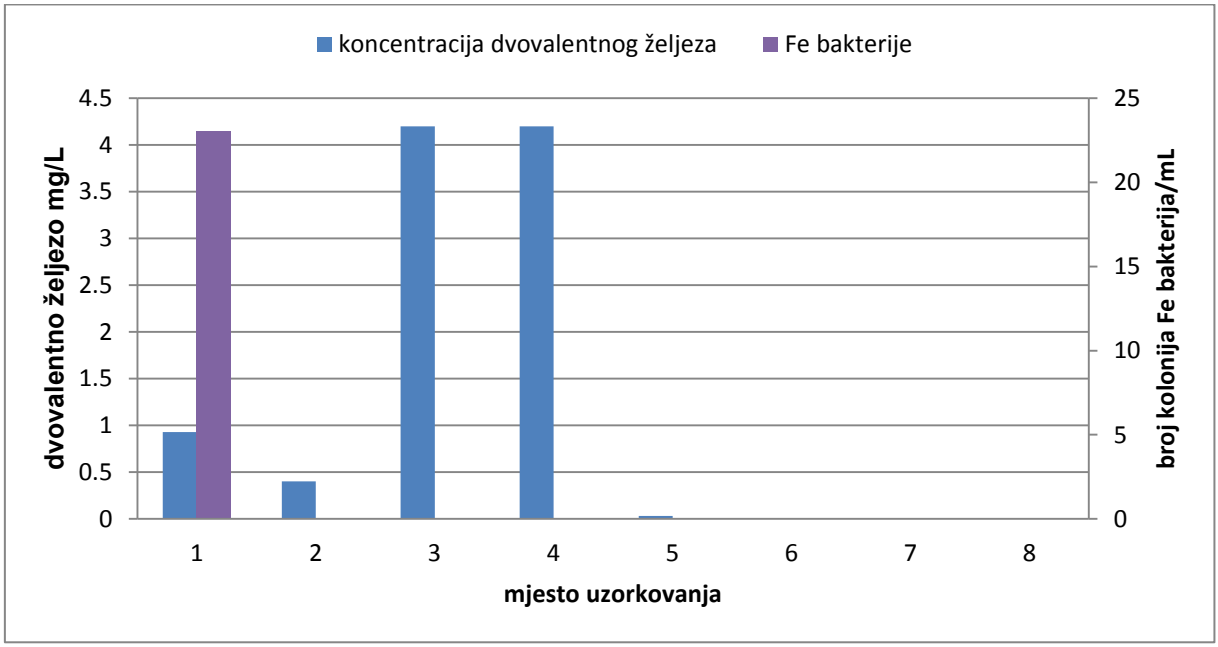
Slika 44 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 1

4.5.2. Uzorkovanje br. 2

Rezultati uzorkovanja br. 2 prikazani su **Slikama 45** i **46**. Uzorkovanje je provedeno 15.7.2013.



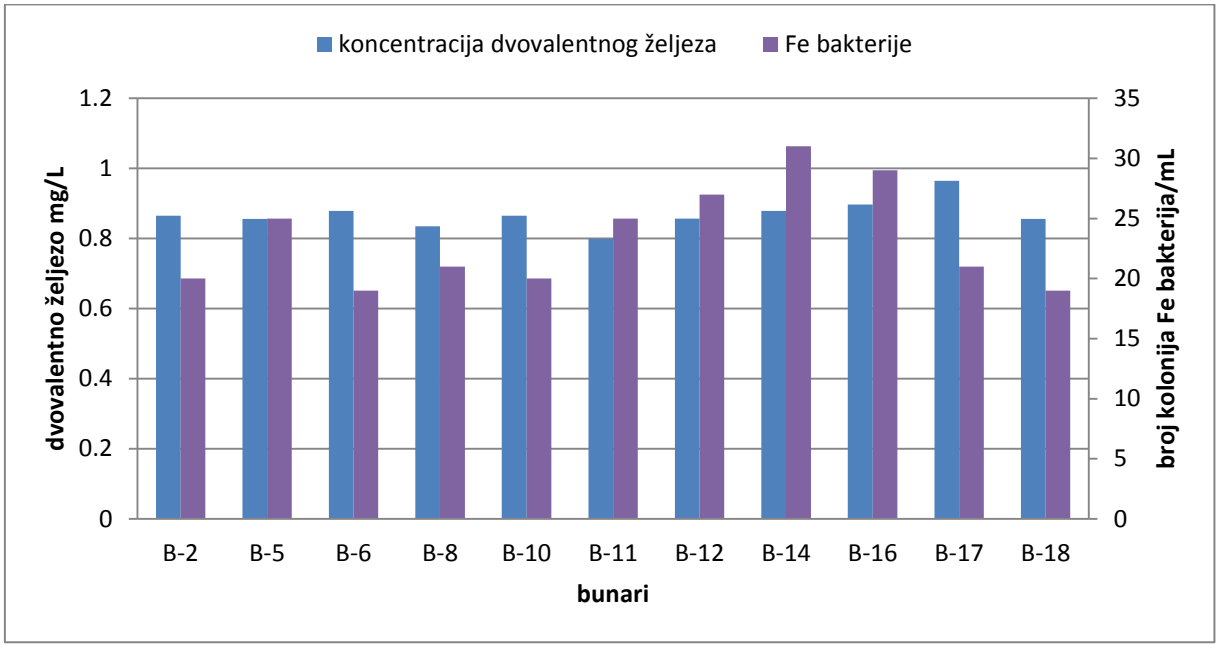
Slika 45 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 2



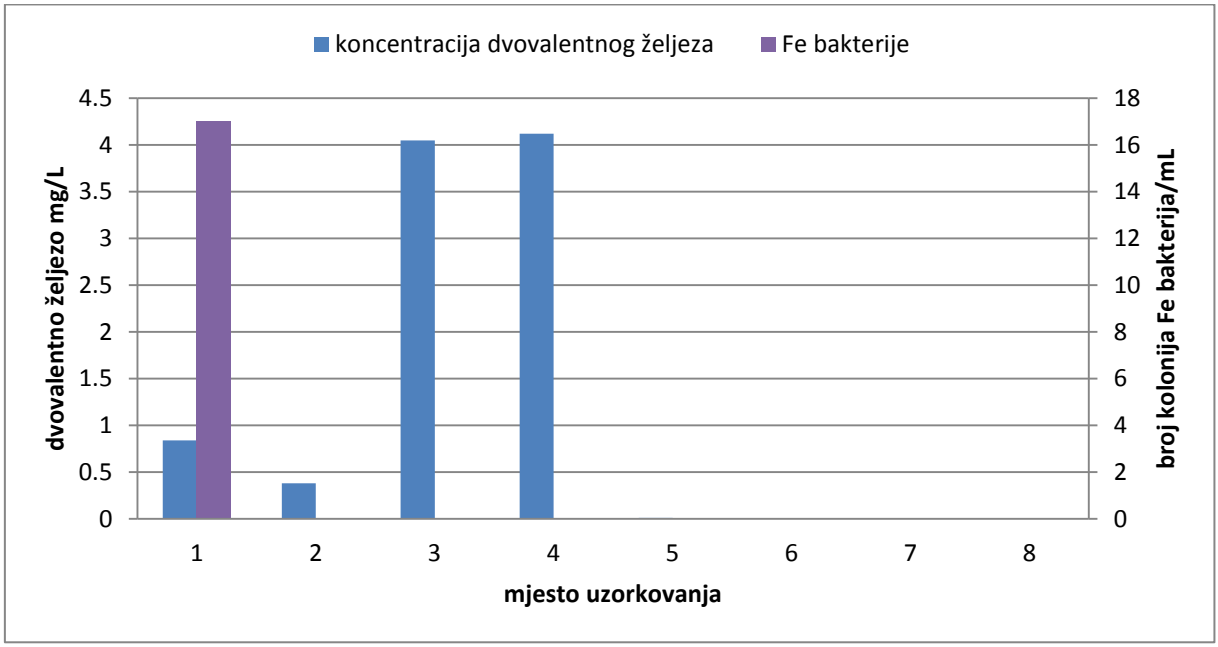
Slika 46 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 2

4.5.3. Uzorkovanje br. 3

Rezultati uzorkovanja br. 3 prikazani su **Slikama 47** i **48**. Uzorkovanje je provedeno 25.9.2013.



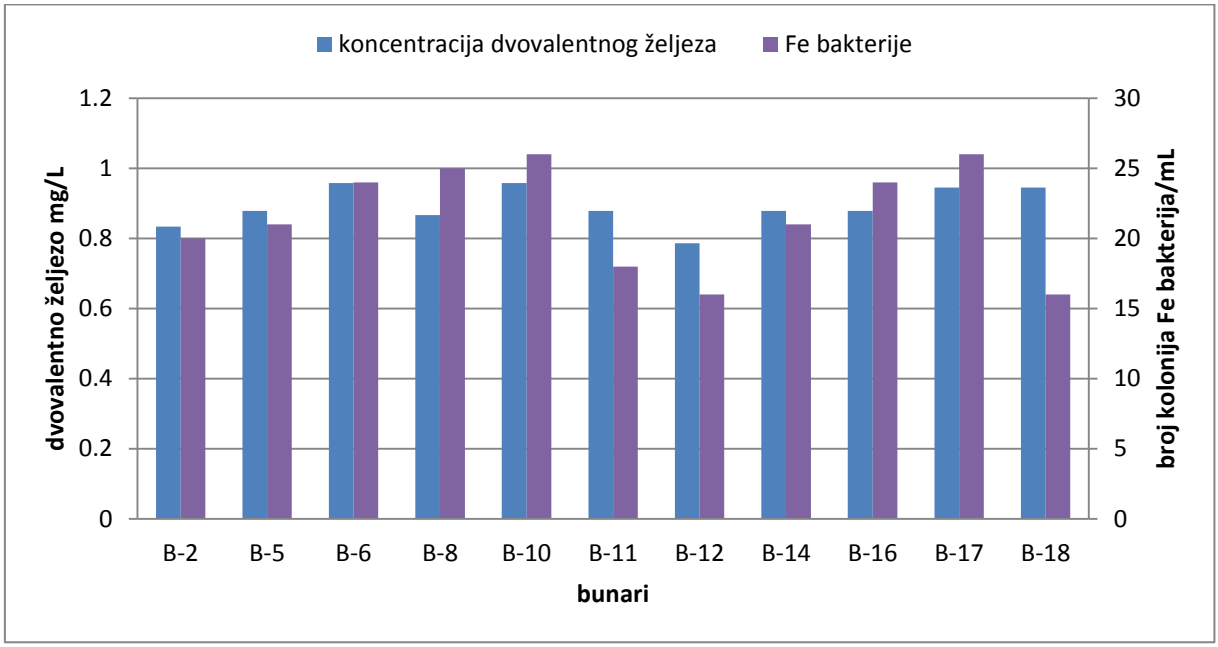
Slika 47 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 3



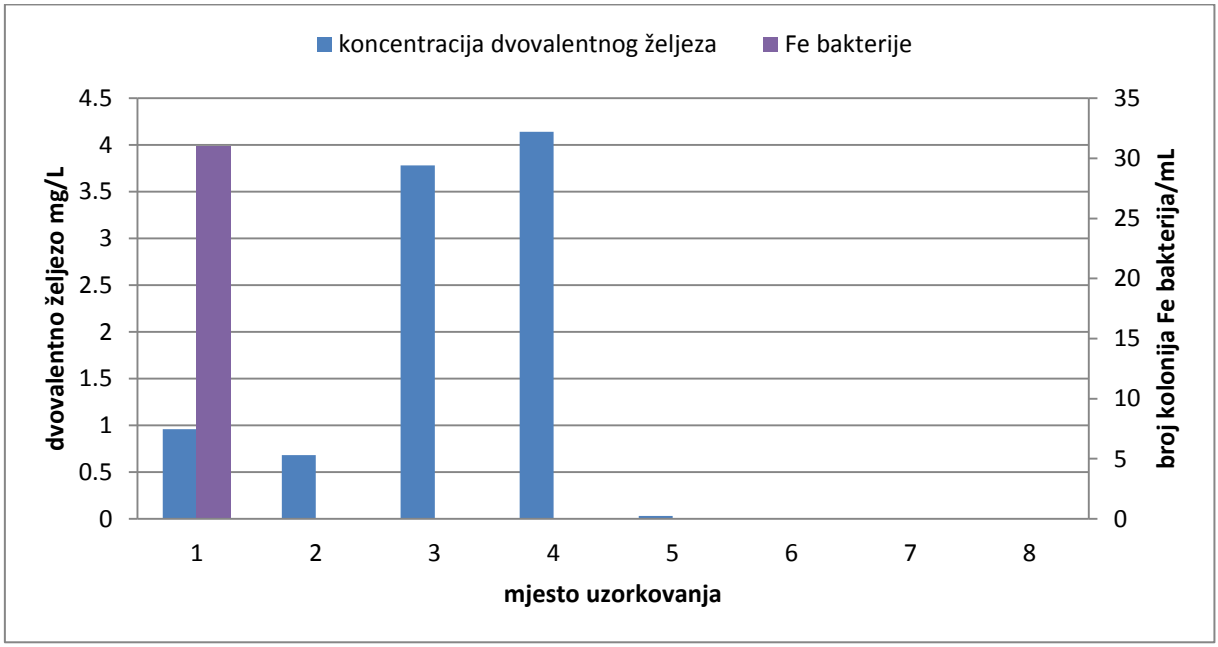
Slika 48 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 3

4.5.4. Uzorkovanje br. 4

Rezultati uzorkovanja br. 4 prikazani su **Slikama 49** i **50**. Uzorkovanje je provedeno 9.12.2013.



Slika 49 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 4

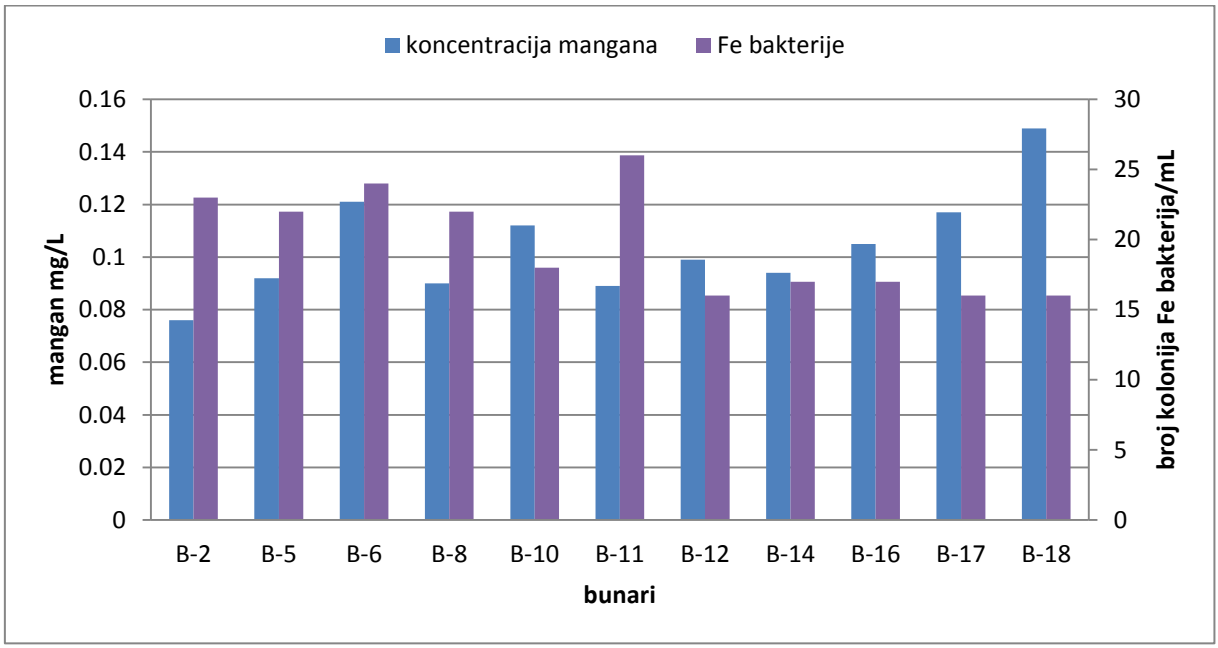


Slika 50 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji dvovalentnog željeza u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 4

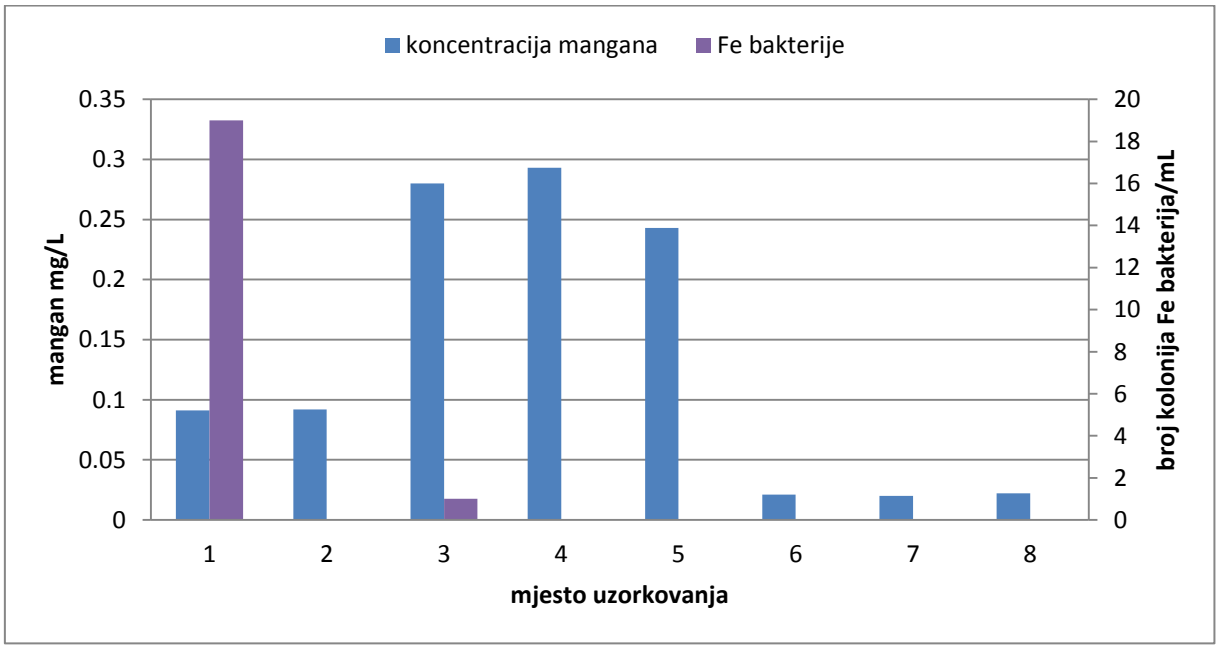
4.6. OVISNOST POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O MANGANU

4.6.1. Uzorkovanje br. 1

Rezultati uzorkovanja br. 1 prikazani su **Slikama 51** i **52**. Uzorkovanje je provedeno 12.3.2013.



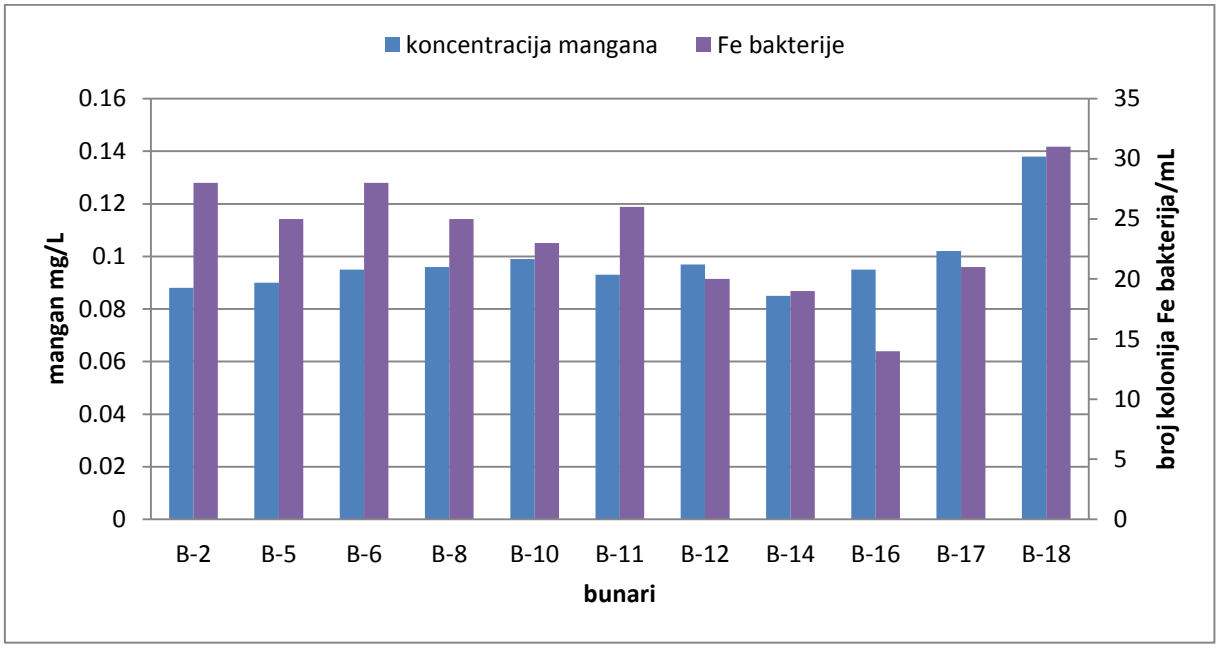
Slika 51 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 1



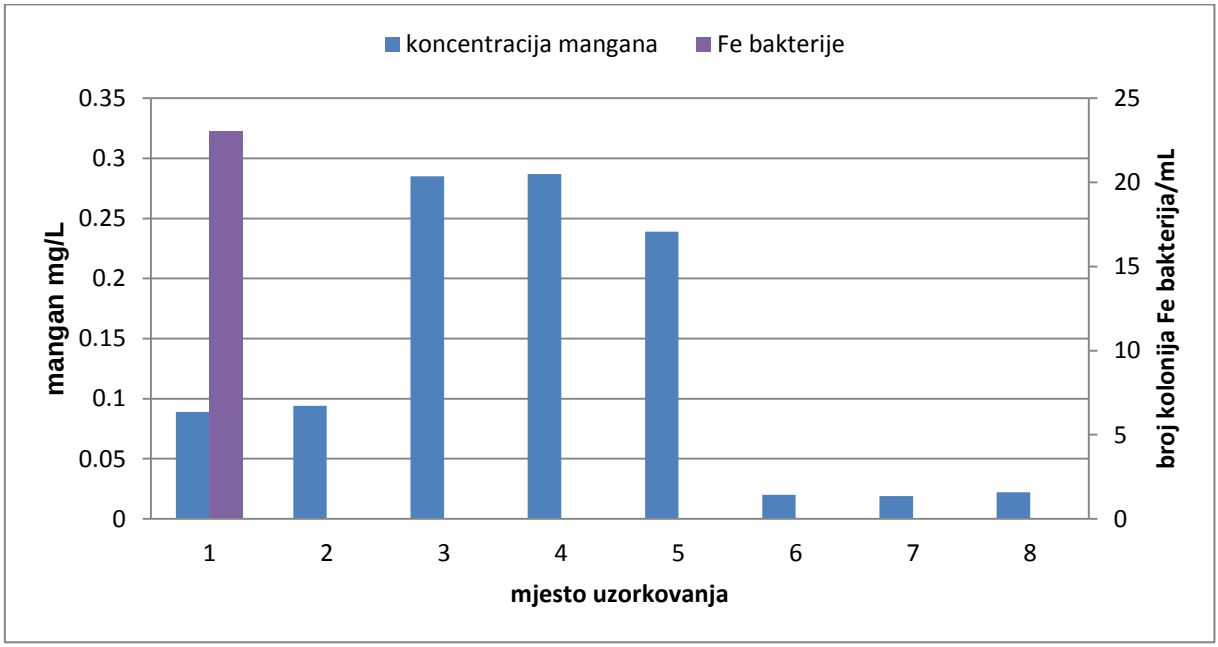
Slika 52 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 1

4.6.2. Uzorkovanje br. 2

Rezultati uzorkovanja br. 2 prikazani su **Slikama 53** i **54**. Uzorkovanje je provedeno 15.7.2013.



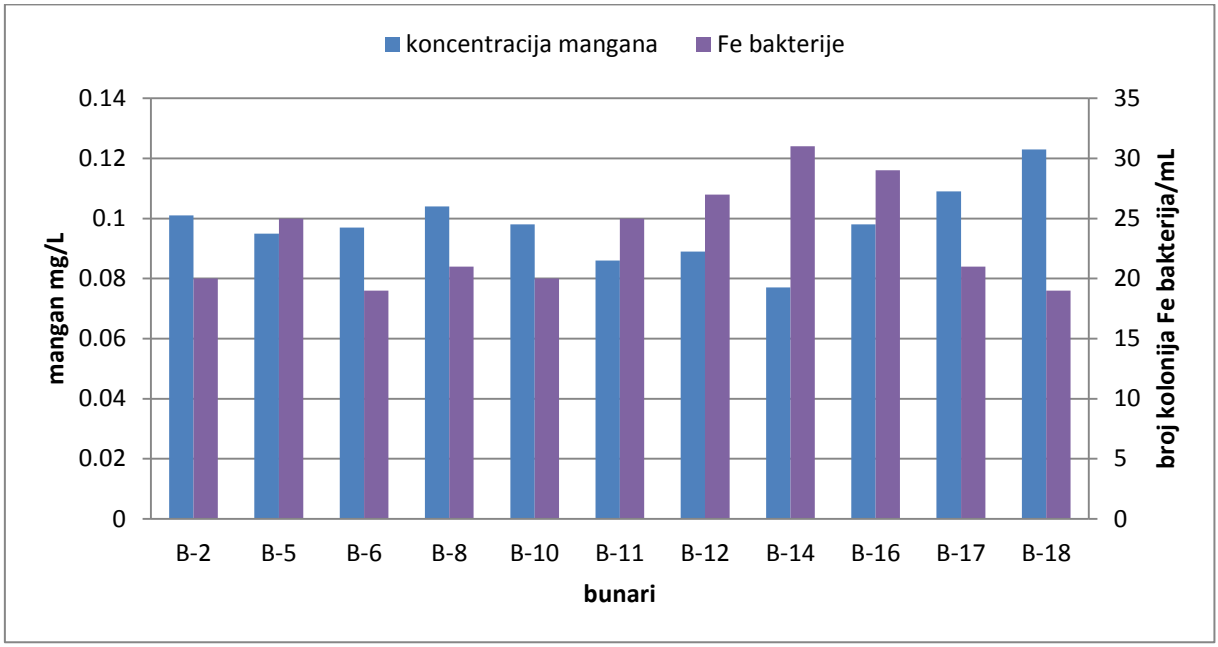
Slika 53 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 2



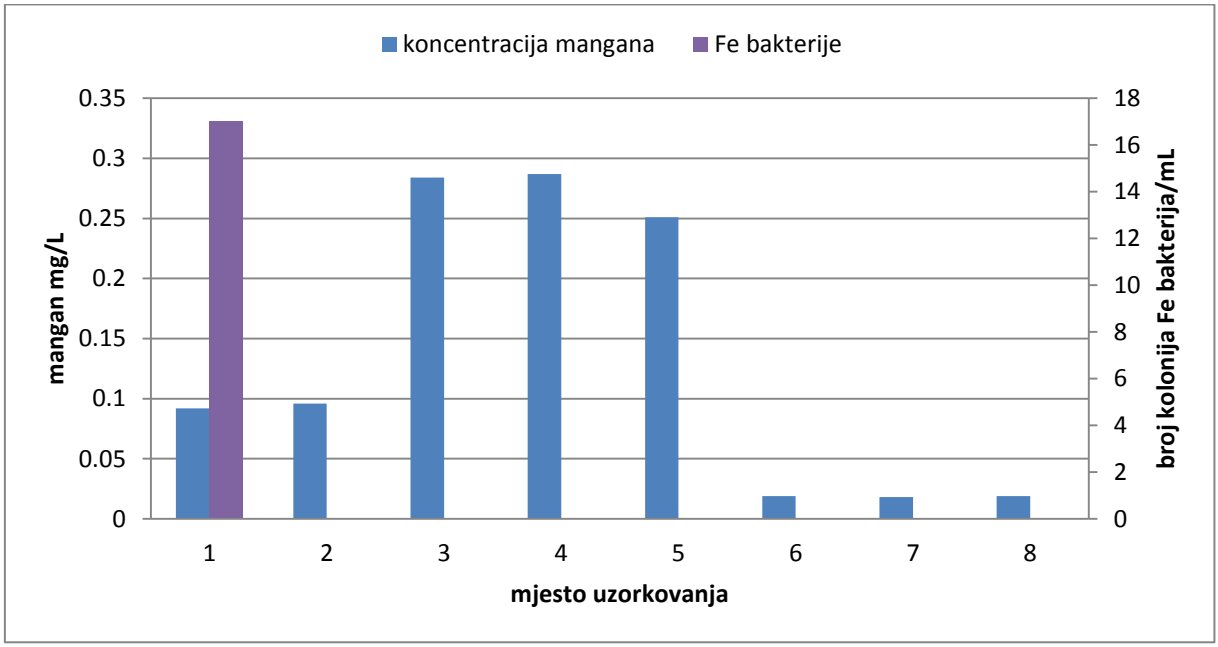
Slika 54 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 2

4.5.3. Uzorkovanje br. 3

Rezultati uzorkovanja br. 3 prikazani su **Slikama 55** i **56**. Uzorkovanje je provedeno 25.9.2013.



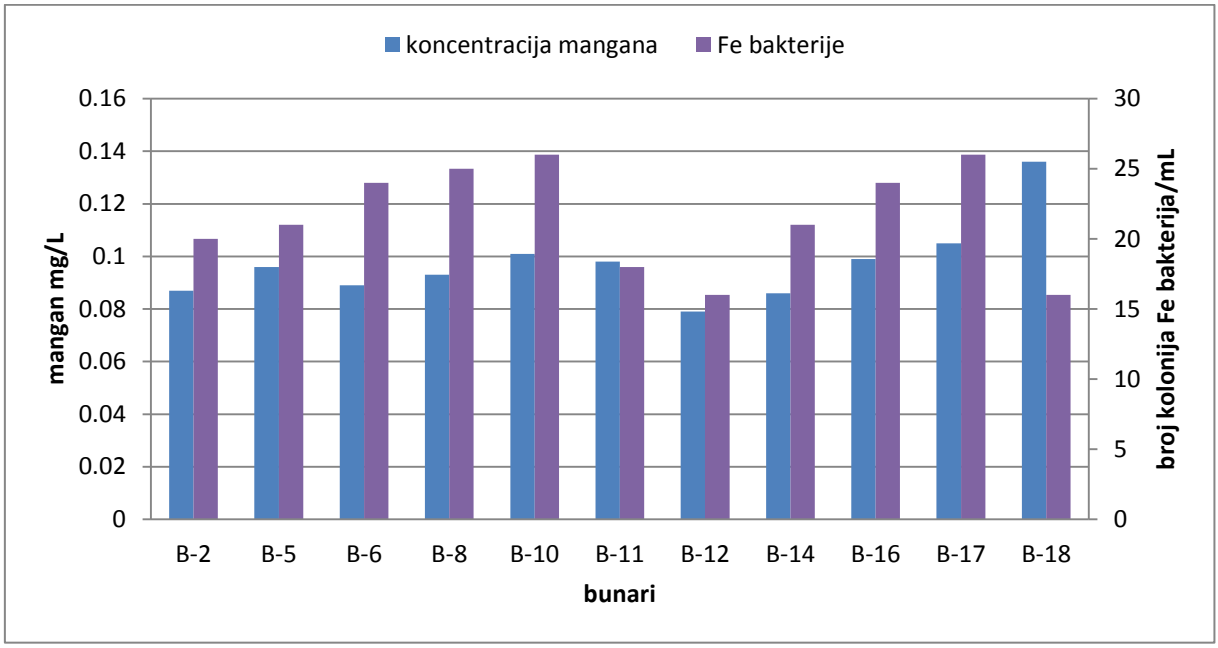
Slika 55 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 3



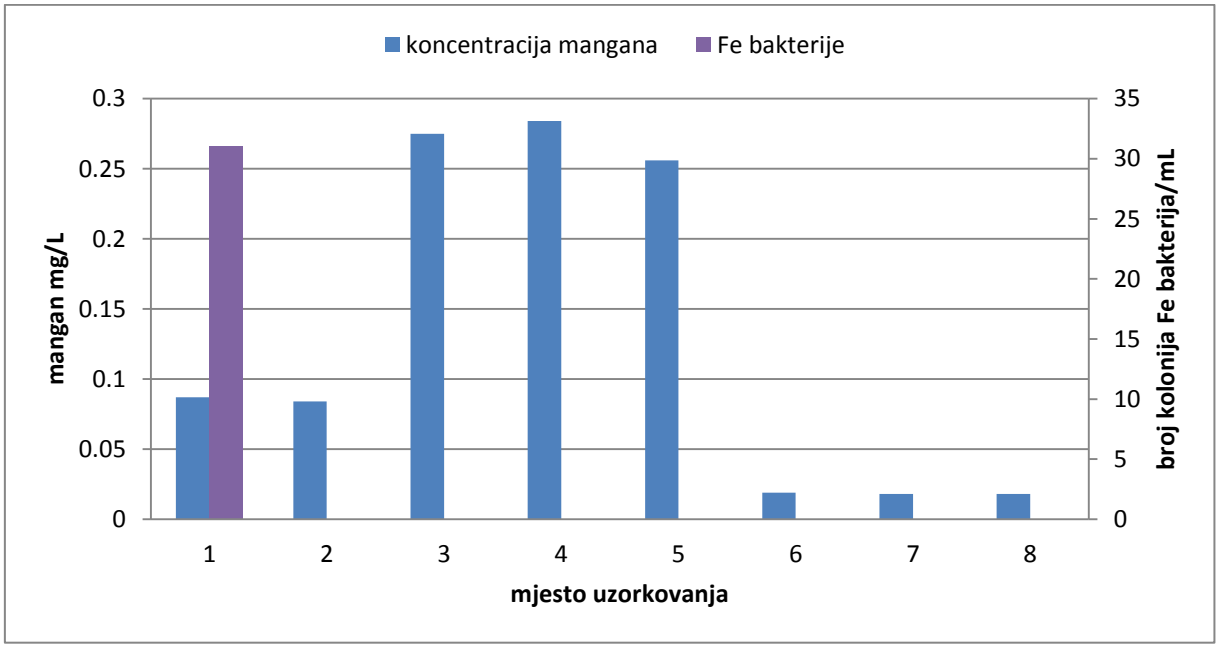
Slika 56 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 3

4.6.4. Uzorkovanje br.4

Rezultati uzorkovanja br. 4 prikazani su **Slikama 57** i **58**. Uzorkovanje je provedeno 9.12.2013.



Slika 57 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u podzemnoj vodi iz bunara vodocrpilišta Vinogradi pri uzorkovanju br. 4

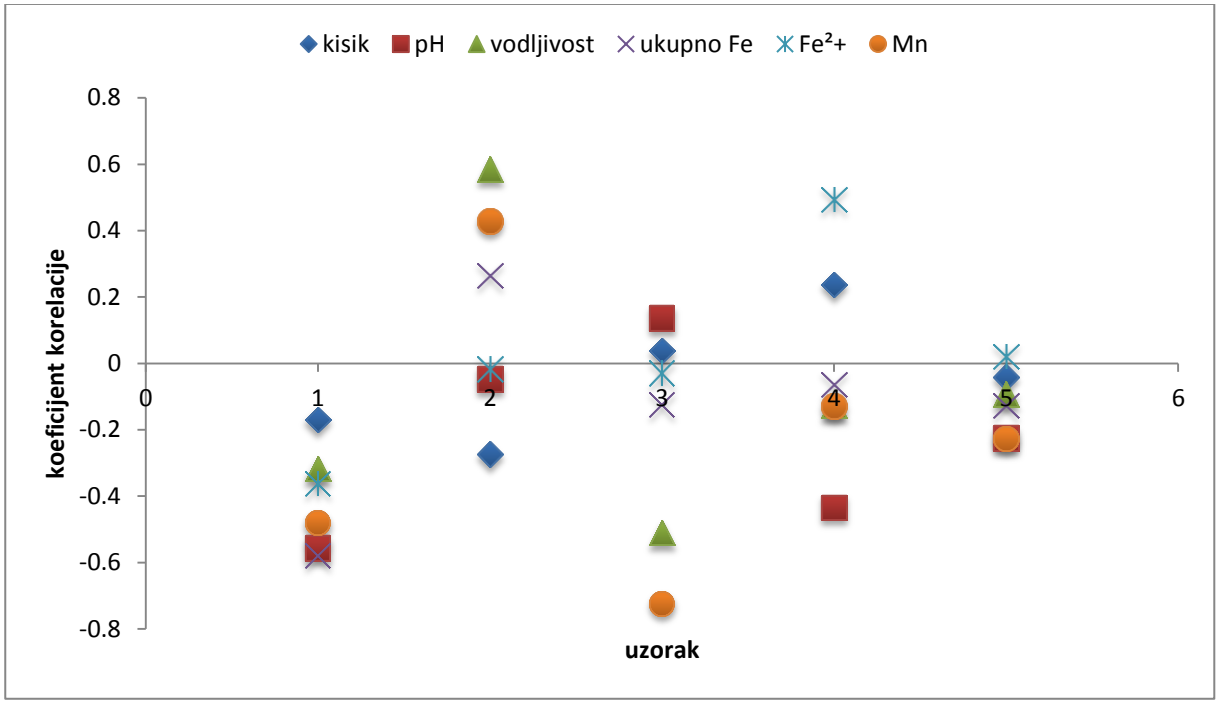


Slika 58 Ovisnost pojavnosti željeznih bakterija o koncentraciji mangana u vodi iz pogona za preradu vode i vodi na mjestu potrošnje pri uzorkovanju br. 4

4.7. KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA S MJERENIM PARAMETRIMA

4.7.1. Korelacije u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi

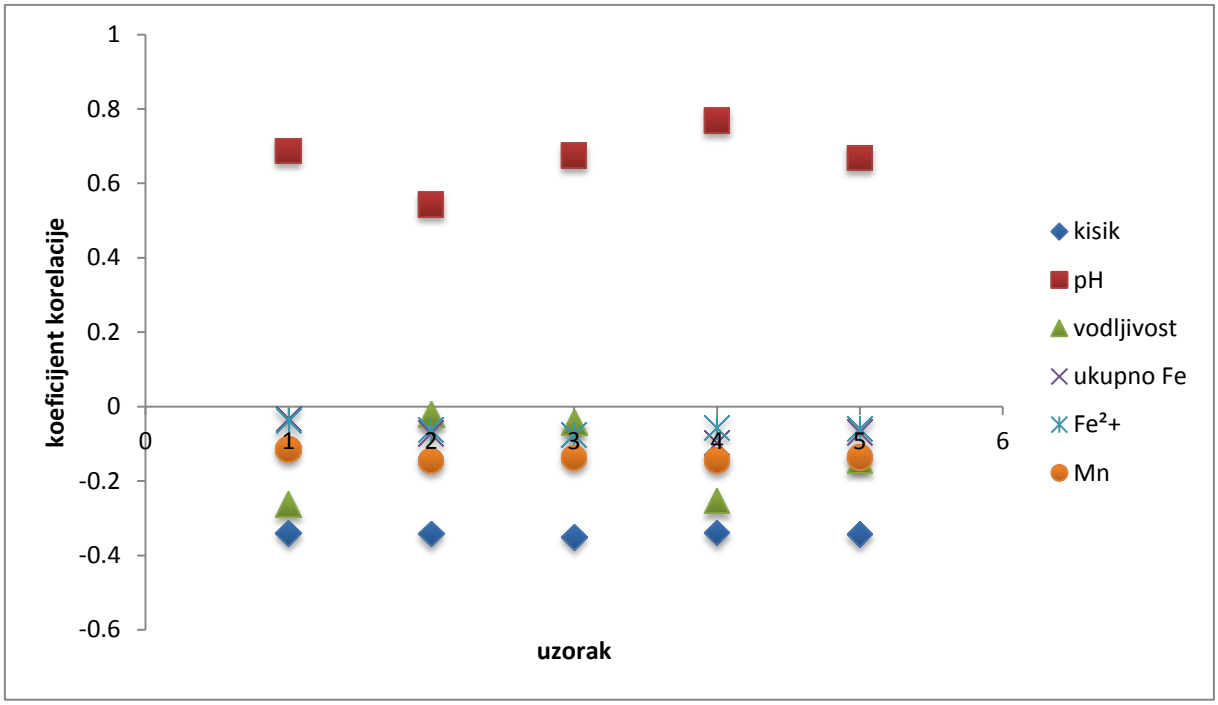
Rezultati su prikazani **na Slici 59** i **u Prilogu 1**.



Slika 59 Grafički prikaz korelacije pojavnosti željeznih bakterija i vrijednosti praćenih fizikalno kemijskih parametara u uzorcima podzemne vode vodocrpilišta Vinogradi

4.7.2. Korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje

Rezultati su prikazani**.** na **Slici 60** i **u Prilogu 2**.



Slika 60 Grafički prikaz korelacije pojavnosti željeznih bakterija i vrijednosti praćenih fizikalno- kemijskih parametara u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i na mjestu potrošnje

5.RASPRAVA

5.1. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI KISIKA

Rezultati uzorkovanja (**Slika 11**, **Slika 13**, **Slika 15** i **Slika 17**) pokazuju da se koncentracija kisika u uzorcima podzemne bunarske vode kreće u rasponu od 0,1 do 0,6 mg/L uz pojavu od 14 do 31 kolonije željeznih bakterija na podlozi po Vinogradskom.

Mjerenjem koncentracije kisika u uzorcima vode iz pogona (**Slika 12**, **Slika 14**, **Slika 16** i **Slika 18**) dobiveni su rezultati iz kojih je vidljivo kako se koncentracija kisika tijekom procesa obrade mijenja; na ulazu u pogon za obradu koncentracija je iznosila od 0,35 do 0,57mg/L, nakon aeracije od 6,89 do 7,89mg/L, na ulazu u taložnik od 5,0 do 5,8mg/L, na ulazu u akcelerator od 5,2 do 6,7mg/L, na ulazu u filternicu od 7,94 do 8,9mg/L, na izlazu iz filtrnice od 0,2 do 0,4 mg/L te na izlazu u grad od 0,1 do 0,2 mg/L.

Porast željeznih bakterija na podlozi po Vinogradskom bilježi se samo kod uzoraka vode uzorkovanih na ulazu u pogon prije postupka aeracije (od 17 do 31 kolonije) te u uzorku uzetom pri uzorkovanju br. 1 na ulazu u taložnik (1 kolonija).

Uzorci vode prikupljeni na mjestu potrošnje, odnosno kod potrošača (**Slika 12**, **Slika 14**, **Slika 16** i **Slika 18**) pokazuju da se koncentracija kisika kreće od 0,1 do 0,2 mg/L te da željezne bakterije nisu prisutne.

Općenito, možemo zaključiti da karakteristična niska koncentracija kisika u podzemnim vodama pogoduje rastu željeznih bakterija, dok postupak aeracije kojim se voda obogaćuje zrakom, a koji je prvi korak u obradi sirove vode u pogonu "Vodovoda Osijek", utječe nepovoljno na rast željeznih bakterija te se one ne pojavljuju u daljnjim fazama obrade vode za ljudsku potrošnju.

Romić (2000.) je određivanjem koncentracije kisika u podzemnoj vodi bunara vodocrpilišta "Vinogradi" zaključila kako se koncentracija kreće u intervalu od 0,2 do 0,8 mg/L, što je karakteristično za podzemne vode, a što je i potvrđeno u ovom radu.

Prema rezultatima korelacije pojavnosti željeznih bakterija i koncentracije kisika u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica2**, **Slika 59**) vidljivo je kako vrijednost koncentracije kisika korelira uz velika odstupanja u intervalu od -0,2746 do 0,0382, dok rezultati korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica3**, **Slika 60**) pokazuju negativnu korelaciju (u intervalu od -0,3386 do -0,3500), što znači kako porastom koncentracije kisika, broj se željeznih bakterija smanjuje.

5.2. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O pH VRIJEDNOSTI VODE

Rezultati uzorkovanja podzemne bunarske vode (**Slika 19**, **Slika 21**, **Slika 23** i **Slika 25**) prikazuju da se pH vrijednost kreće u intervalu od 7,50 do 7,74 što pogoduje rastu željeznih bakterija. Na podlozi po Vinogradskom za navedene uzorke naraslo je od 14 do 31 kolonija željeznih bakterija.

Mjerenjem pH vrijednosti uzoraka vode iz pogona (**Slika 20**, **Slika 22**, **Slika 24** i **Slika 26**) dobiveni su rezultati iz kojih je vidljivo da se pH vrijednost kreće u intervalu od 7,45 do 7,67 te da je vrijednost promjenjiva tijekom obrade vode.

Željezne bakterije rasle su na podlozi po Vinogradskom samo za uzorke vode prikupljene na ulazu u pogon prije postupka aeracije (od 17 do 31 kolonije) te u uzorku s ulaza u taložnik uzorkovanom pri uzorkovanju br. 1(1 kolonija).

Uzorci vode prikupljeni kod potrošača (**Slika 20**, **Slika 22**, **Slika 24** i **Slika 26**) pokazuju da se pH vrijednost kreće od 7,53 do 7,56 te da željezne bakterije nisu prisutne.

Općenito, možemo zaključiti da pH sirove podzemne vode, koji iznosi od 7,50 do 7,74 pogoduje rastu željeznih bakterija te da se pH vrijednost tijekom obrade mijenja ali unutar navedenog intervala za sirovu vodu.

Romić (2000.) praćenjem pH vrijednosti za uzorke podzemne bunarske vode s crpilišta Vinogradi zaključila je da se pH vrijednost kreće od 7,10 do 7,60 što je približno rezultatima dobivenim ovim radom.

Prema rezultatima korelacije pojavnosti željeznih bakterija i pH vrijednosti u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica2**, **Slika 59**) vidljivo je kako pH vrijednost korelira uz velika odstupanja u intervalu od -0,5573 do -0,0484, dok rezultati korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica3**, **Slika 60**) pokazuju pozitivnu korelaciju (u intervalu od 0,5433 do 0,7693), što znači kako porastom pH vrijednosti raste i broj željeznih bakterija.

5.3. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O VODLJIVOSTI VODE

Rezultati uzorkovanja podzemne bunarske vode (**Slika 27**, **Slika 29**, **Slika 31** i **Slika 33**) prikazuju da se vodljivost kreće u intervalu od 827 do 1106 µS/cm. Na podlozi po Vinogradskom za navedene uzorke naraslo je od 14 do 31 kolonija željeznih bakterija.

Mjerenjem vodljivosti u uzorcima vode iz pogona (**Slika 28**, **Slika 30**, **Slika 32** i **Slika 34**) dobiveni su rezultati koji ukazuju da se vrijednost vodljivosti kreće u intervalu od 815 do 1066 µS/cm te da tijekom obrade vode ne dolazi do značajne promjene u mjerenoj vrijednosti.

Željezne bakterije porasle su na podlozi po Vinogradskom samo kod uzoraka vode prikupljenih s ulaza u pogon prije postupka aeracije (od 17 do 31 kolonije) te u uzorku uzetom na ulazu u taložnik pri uzorkovanju br. 1(1 kolonija).

Uzorci vode prikupljeni kod potrošača (**Slika 28**, **Slika 30**, **Slika 32** i **Slika 34**) pokazuju da se vrijednost vodljivosti kreće od 866 do 875 µS/cm te da željezne bakterije nisu prisutne.

Općenito možemo zaključiti da vodljivost sirove vode koja iznosi od 827 do 1106 µS/cm pogoduje rastu željeznih bakterija te da se vrijednost vodljivosti tijekom obrade mijenja ali unutar navedenog intervala za sirovu vodu.

Prema rezultatima korelacije pojavnosti željeznih bakterija i vrijednosti vodljivosti u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica2**, **Slika 59**) vidljivo je kako vrijednost vodljivosti korelira uz velika odstupanja u intervalu od -0,5104 do 0,5845, dok rezultati korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica3**, **Slika 60**) pokazuju negativnu korelaciju (u intervalu od -0,2630 do -0,0193), što znači kako se porastom vrijednosti vodljivosti, broj željeznih bakterija smanjuje.

5.4. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI UKUPNOG ŽELJEZA U VODI

Rezultati uzorkovanja podzemne bunarske vode (**Slika 35**, **Slika 37**, **Slika 39** i **Slika 41**) prikazuju da se koncentracija ukupnog željeza kreće u intervalu od 1,0598 do 1,8821 mg/L. Na podlozi po Vinogradskom za navedene uzorke naraslo je od 14 do 31 kolonija željeznih bakterija.

Mjerenjem koncentracije ukupnog željeza u uzorcima vode iz pogona (**Slika 36**, **Slika 38**, **Slika 40** i **Slika 42**) dobiveni su rezultati iz kojih je vidljivo da se koncentracija ukupnog željeza tijekom procesa obrade mijenja; na ulazu u pogon za obradu koncentracija je iznosila od 1,26 do 1,49mg/L, nakon aeracije od 1,34 do 1,43mg/L, na ulazu u taložnik od 4,03 do 4,40mg/L, na ulazu u akcelerator od 4,23 do 4,32mg/L, na ulazu u filternicu od 2,2do 2,6mg/L, na izlazu iz filtrnice od 0,0054 do 0,0084mg/L te na izlazu u grad od 0,0050 do 0,0058mg/L. Željezne

bakterije rasle su na podlozi po Vinogradskom samo za uzorke vode prikupljene sa ulaza u pogon prije postupka aeracije (od 17 do 31 kolonije) te u uzorku prikupljenom 12.3.2013. sa ulaza u taložnik (1 kolonija).

Uzorci vode prikupljeni kod potrošača(**Slika 36**, **Slika 38**, **Slika 40** i **Slika 42**) pokazuju kako se koncentracija ukupnog željeza kreće od 0,0061 do 0,0079 mg/L te da željezne bakterije nisu prisutne.

Općenito, možemo zaključiti kako željezo u podzemnim vodama pogoduje rastu željeznih bakterija. Obradom sirove vode u pogonu "Vodovoda Osijek" postupno se uklanja željezo iz vode do koncentracije od 0,0050 do 0,0058 mg/L čime se stvaraju nepovoljni uvjeti za rast željenih bakterija.

Romić (2000.) zaključila je da nema veće oscilacije u koncentraciji željeza u sirovoj vodi iz bunara crpilišta "Vinogradi" te se kreće od 0,75 do 2,70 mg/L što je ovim istraživanjem potvrđeno.

Prema rezultatima korelacije pojavnosti željeznih bakterija i koncentracije ukupnog željeza u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica2**, **Slika 59**) vidljivo je kako vrijednost koncentracije ukupnog željeza korelira uz velika odstupanja u intervalu od -0,5797 do 0,2643, dok rezultati korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica3**, **Slika 60**) pokazuju negativnu korelaciju (u intervalu od -0,0980 do -0,0313), što znači kako se porastom koncentracije ukupnog željeza, broj željeznih bakterija smanjuje.

5.5. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI DVOVALENTNOG ŽELJEZA U VODI

Rezultati uzorkovanja podzemne bunarske vode (**Slika 43**, **Slika 45**, **Slika 47** i **Slika 49**) prikazuju da se koncentracija dvovalentnog željeza kreće u intervalu od 0,758 do0,980 mg/l. Na podlozi po Vinogradskom za navedene uzorke poraslo je od 14 do 31 kolonija željeznih bakterija.

Mjerenjem koncentracije ukupnog željeza u uzorcima vode iz pogona (**Slika 44**, **Slika 46**, **Slika 48** i **Slika 50**) dobiveni su rezultati iz kojih je vidljivo da se koncentracija dvovalentnog željeza tijekom procesa obrade mijenja; na ulazu u pogon za obradu koncentracija je iznosila od 0,89 do 0,96mg/L, nakon aeracije od 0,38 do 0,68mg/L, na ulazu u taložnik, uslijed

prethodno doziranog koagulanta na bazi željeza od 3,78 do 4,21mg/L, na ulazu u akcelerator od 4,12 do 4,21mg/L, na ulazu u filternicu od 0,01 do0,04mg/L, na izlazu iz filternice te na izlazu u grad manje od 0,005mg/L. Željezne bakterije porasle su na podlozi po Vinogradskom samo kod uzoraka vode uzetih na ulazu u pogon prije postupka aeracije (od 17 do 31 kolonije) te 1 kolonija u uzorku uzetom na ulazu u taložnik uzorkovanom 12.3.2013. (uzorkovanje br. 1).

Uzorci vode uzorkovani na mjestu potrošnje vode kod potrošača (**Slika 44**, **Slika 46**, **Slika 48** i **Slika 50**) pokazuju da je koncentracija dvovalentnog željeza manja o 0,005 mg/L te da željezne bakterije nisu prisutne.

Prema rezultatima korelacije pojavnosti željeznih bakterija i koncentracije dvovalentnog željeza u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica2**, **Slika 59**) vidljivo je da vrijednost koncentracije dvovalentnog željeza korelira uz velika odstupanja u intervalu od -0,3630 do 0,4934, dok rezultati korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica3**, **Slika 60**) pokazuju negativnu korelaciju (u intervalu od -0,0747 do -0,0387), što znači kako se porastom koncentracije dvovalentnog željeza, broj željeznih bakterija smanjuje.

5.6. OVISNOST I KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA O KONCENTRACIJI MANGANA U VODI

Rezultati uzorkovanja podzemne bunarske vode (**Slika 51**, **Slika 53**, **Slika 55** i **Slika 57**) prikazuju da se koncentracija mangana kreće u intervalu od 0,076 do 0,149 mg/L. Na podlozi po Vinogradskom za navedene uzorke naraslo je od 14 do 31 kolonija željeznih bakterija.

Mjerenjem koncentracije mangana u uzorcima vode iz pogona (**Slika 52**, **Slika 54**, **Slika 56** i **Slika 58**) dobiveni su rezultati iz kojih je vidljivo da se koncentracija mangana tijekom procesa obrade mijenja; na ulazu u pogon za obradu koncentracija mangana je iznosila od 0,087 do 0,092mg/L, nakon aeracije od 0,084 do 0,096mg/l, na ulazu u taložnik od 0,275 do 0,285mg/L, na ulazu u akcelerator od 0,284 do 0,293mg/L, na ulazu u filternicu od 0,239 do 0,256mg/L, na izlazu iz filternice od 0,019 do 0,021mg/l te na izlazu u grad od 0,018 do 0,020 mg/L. Željezne bakterije porasle su na podlozi po Vinogradskom samo kod uzoraka vode prikupljene s ulaza u pogon prije postupka aeracije (od 17 do 31 kolonije) te u uzorku prikupljenom 12.3.2013. s ulaza u taložnik (1 kolonija).

Uzorci vode prikupljeni kod potrošača (**Slika 52**, **Slika 54**, **Slika 56** i **Slika 58**) pokazuju da se koncentracija mangana kreće od0,018 do 0,022 mg/L te da željezne bakterije nisu prisutne. Romić (2000.) je zaključila da se u sirovoj podzemnoj vodi crpilišta Vinogradi koncentracija mangana uglavnom kreće od 0,040 do 0,160 mg/L što je u skladu s rezultatima ovog rada. Prema rezultatima korelacije pojavnosti željeznih bakterija i koncentracije mangana u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica2**, **Slika 59**) vidljivo je da vrijednost koncentracije mangana korelira uz velika odstupanja u intervalu od -0,7241 do 0,4277, dok rezultati korelacije u uzorcima vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica3**, **Slika 60**) pokazuju negativnu korelaciju (u intervalu od -0,1444 do -0,1154), što znači kako koncentracija mangana raste, broj željeznih bakterija smanjuje se.

5.7. KORELACIJA POJAVNOSTI ŽELJEZNIH BAKTERIJA S MJERENIM PARAMETRIMA

Rezultati korelacije u uzorcima podzemne vode bunara vodocrpilišta Vinogradi (**Tablica 2**, **Slika 59**) pokazuju da je odnos pojavnosti željeznih bakterija i mjerenih parametara vrlo promjenjiv. Najveća korelacija je zabilježena kod kisika gdje se vrijednosti kreću u intervalu od -0,2746 do 0,0382. Najmanja korelacija zabilježena je kod vodljivosti gdje se rezultati kreću u intervalu od -0,5104 do 0,5845.

Iz rezultati korelacije uzoraka vode iz pogona za preradu vode i vode na mjestu potrošnje (**Tablica 3**, **Slika 60**) vidljivo je kako negativnu korelaciju prema pojavnosti željeznih bakterija pokazuju kisik, vodljivost, ukupno i dvovalentno željezo te mangan. Od navedenih parametara najveću korelaciju pokazuje kisik, čije se vrijednost kreću u intrevalu od -0,3386 do -0,3500. Vidljivo je i kako je pH vrijednost jedini parametar s pozitivnom korelacijom.

6.ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovome radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci.

- Podzemne vode prirodno su stanište željeznih bakterija te se nalaze i u podzemnoj vodi bunara vodocrpilišta "Vinogradi"
- Vrlo male koncentracije kisika u sirovoj podzemnoj vodi pogoduju rastu i razmnožavanju željeznih bakterija. U pogonu za preradu vode se procesom aeracije povećava koncentracija kisika u vodi uslijed čega nastaju nepovoljni uvjeti za rast željeznih bakterija te se one više ne detektiraju u uzorcima prikupljenim u sljedećim fazama procesa obrade vode. Prethodno navedeno ukazuje kako je koncentracija kisika u vodi ključni čimbenik pojave i rasta željeznih bakterija.
- pH vrijednost podzemne vode pogoduje rastu željeznih bakterija, no kako se tijekom obrade vode ista ne mijenja značajno, može se zaključiti kako pH nije ključni čimbenik pojave željeznih bakterija.
- Vodljivost podzemne vode vodocrpilišta Vinogradi također pogoduje rastu željeznih bakterija, no kako se ista značajno ne mijenja tijekom daljnjih faza obrade vode, može se zaključiti kako vodljivost nije ključni parametar pojave željeznih bakterija.
- Koncentracije ukupnog i dvovalentnog željeza te mangana u podzemnoj bunarskoj vodi kreću se u intervalima koji pogoduju rastu željeznih bakterija, ali se procesima obrade vode te koncentracije smanjuju do mjere koje nisu povoljne za rast i razmnožavanje željeznih bakterija.
- Uzorci obrađene vode na izlazu iz pogona i na mjestu potrošnje u vodoopskrbnoj mreži sadrže koncentracije kisika koje ne pogoduju rastu željeznih bakterija, no u slučaju rekonstrukcije ili popravaka vodoopskrbne mreže, uz kontaminaciju željeznim bakterijama iz tla, moguć je razvoj biofilma u željeznim cijevima.

7.LITERATURA

Barbič F: Iron and Manganase Bacteria in Ranney Wells. *Water Research* , 8:895-898, 1987.

Barbič F,Savić I: Uticaj preparata za kemijsku regeneraciju vodozahvatnih objekata na populacije gvožđevitih bakterija u izdanskim vodama. *Arhiv bioloških nauka* 38:1-4, 45-54, 1987.

Barbič F, Savić I, Koković D: Mogućnost i značaj modeliranja bioloških faktora u izdanim podzemne pijače vode. *Zbornik II jugoslavenski simpozij mikrobne biologije*. Zagreb, 1990.

Block JC, Bois FY, Reasoner D, Dutang M, Mathieu L, Paquin JL, Maillard J: Disinfection of drinking water distribution systems. *Water Supply* 13:1-11, 1995.

Bohdziewicz J: Removal of chromium ions (VI) from underground water int he hybrid complexation-ultrafiltration process. *Desalination* 129:227-235, 2000.

Brown DE: Restoring Well Capacity With Chlorine. *JAWWA* 34 (5):698, 1942.

Chaves Simoes L, Simoes M: Biofilms in drinking water: problems and solutions. *RSC Advances* 3:2520-2533, 2013.

Daubner I: *Mikrobiologie des Wassers*. Akad. - Ver*.,* Berlin, 1972.

Donlan RM: Biofilms: Microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases* 8:881-890, 2002.

Douterelo I, Husband S, Boxall J: The bacteriological composition of biomass recovered by flushing an operational drinking water distribution system. *Water Research,* 2014.

Drever J: *The geochemistry of natural Waters*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1985.

Drndarski N: Istraživanja bunarskih voda u području Bačke. *Voda i sanitarna tehnika* 6:3-7, 1982.

Gazivoda V, Putz L, Stilinović B : Kemijsko i biološko istraživanje taloga i vode po ASTM-u primijenjeno prilikom utvrđivanja stupnja agresivnosti ili štetnosti. *Voda i sanitarna tehnika* 6:29-44, 1971.

Gulić I: *Kondicioniranje vode*. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, 2003.

Gulić I: *Opskrba vodom*. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, 2000.

Habuda-Stanić M, Kuleš M, Kalajdžić B, Romić Ž: Quality of groundwater in eastern Croatia. The problem of arsenic pollution. *Desalination* 210:157-163. 2007.

Hall-Stoodley L, Costerton JW, Stoodley P: Bacterial biofilms: From the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology* 2:95-108, 2004.

Hässelbarth U, Lüdemann D: Die biologische Verockerung von Brunen durch Messenentwicklung von Eisen - und Mangan bakterien . *Bahrtecnik - Brunnenbau* 10 :363 - 368 , 11, 401 – 406, 1967.

Husband S, Boxall J.B: Field studies of discoloration in water distribution systems: model verification and practical implications. *Journal of Environmental Engineering-Asce* 136:86-94, 2010.

Husband PS, Boxall JB, Saul AJ: Laboratory studies investigating the processes leading to discolouration in water distribution networks. *Water Research* 42:4309-4318, 2008.

Ivanković I: Utjecaj pH-vrijednosti podzemne vode na učinak koagulanata u procesu obradbe vode za piće. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2012.

Kobrin B: Corrosion by microbiological organisms in natural waters . *Materials performance* 15:38-43. 1976.

Kuleš M, Habuda-Stanić M: *Analiza vode.* Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2000.

LeChevallier MW, Babcock TM, Lee RG: Examination and Characterization of Distribution-System Biofilms. *Applied and Environmental Microbiology* 53:2714-2724, 1987.

Lehtola MJ, Torvinen E, Kusnetsov J, Pitkänen T, Maunula L, Von Bonsdorff CH, Martikainen PJ, Wilks SA, Keevil W, Miettinen IT: Survival of *Mycobacterium avium*, *Legionella pneumophila*, *Escherichiacoli*, and caliciviruses in drinking water-associated biofilms grown under high-shear turbulent flow. *Applied and Environmental Microbiology* 73:2854-2859, 2007.

Ljubisavljević D : Odgvožđavanje podzemne vode u izdani. *Voda i sanitarna tehnika* 5:3-7, 1981.

Mijatović I: *Tehnologija vode (interna skripta),* Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 1996.

Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi RH: Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Narodne novine, 117/03, 130/03 i 48/04, 2004.

Momba MNB, Cloete TE, Venter SN, Kfir R: Evaluation of the impact of disinfection processes on the formation of biofilms in potable surface water distribution systems. *Water Science and Technology* 38:283-289, 1998.

New Hapshire Department of Environmental Services: *Iron Bacteria in Drinking Water*. New Hampshire, 2008.

http://des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/dwgb/documents/dwgb-3-21.pdf [5.7.2014.]

Novoselić LJ: Magistralni cjevovod sirove vode, *Hrvatska vodoprivreda* 26:20-22, 1994.

Prince RA, Goulter I, Ryan G: What causes customer complaints about discoloured drinking water? Correlating customer complaints with online monitoring of flow rate and turbidity. *Wate,* 30 (2): 62-67, 2003.

Rogers EM: Restoring pipeline capacity at Wichita, Kansas. *JAWWA* 37 (8):713-723, 1954.

Romić Ž: Prisutnost organotrognih i kemotrofnih bakterija u bunarima crpilišta "Vinogradi" kod Osijeka. *Magistarski rad*. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2000.

Savić I, Bačanac M: Morfologija i taksonomija gvožnevitih i manganskih bakterija u izdanskim vodama beogradskog izvorišta*. Voda i sanitarna tehnika* 1:19-25, 1986.

Seth A, Bachman R, Boxall J, Saul A, Edyvean R: Characterization of materials causing discolouration in potable water systems. *Water Science and Technology* 49:27-32, 2004.

Silverman MP, Ehrlich HL: Microbial formation and degradation of minerals, Advan. *Applied and Environmental Microbiology* 6:153-506, 1964.

Stoodley P, Boyle JD, Dodds I, Lappin-Scott HM: Consensus model of biofilm structure. In: Biofilms: community interactions and control, pp. 1-9., Cardiff, 1997.

Szewzyk U, Szewzy, R, Manz W, Schleifer K.H: Microbiological safety of drinking water. *Annual Review of Microbiology* 54:81-127, 2000.

Topley WWC, Wilson G: Principles of bacteriology, virolgy and immunity. *Edvard Arnold*, London,1986.

Urumović K: *Hidrogeološka studija trogodišnjeg rada crpilišta Vinogradi*. Rudarsko-geološko-nafni fakultet, Zagreb, 1987.

Vajgand V, Kastratović R, Vučetić J, Vrvić M: Izolovanje i identifikacija gvožđevitih bakterija tipa Sphaerotilus-Leptothrix. *Voda i sanitarna tehnika* 2:53-57, 1983.

Vodovod Osijek: Projekt Osijek
http://www.scribd.com/fullscreen/151180209?access_key=keyzlal1h6e6m2immmh038&allow_share=true&escape=false&view_mode=scroll[3.7.2014]

WHO, Guidelines for drinking-water quality, 2011.

http://www.mps.hr/UserDocsImages/HRANA/Rje%C5%A1enje%20slu%C5%BEbeni%20-%20Euroinspekt%20Croatiakontrola%20.pdf [12.9.2014.]

Znamenskij VA: Gidrologičeskije procesi i ih rolj v formirovaniikačestva vodi. Gidrometeoizdat, Lenjingrad, 1981.

Zhang XJ, Lu W: Control of biofilm growth in drinking water distribution system by biodegradable carbon and disinfectant residuals. *Water Science and Technology* 6:147- 151, 2006.

8.PRILOZI

Prilog 1 Tablični prikaz korelacije pojavnosti željeznih bakterija i vrijednosti praćenih fizikalno-kemijskih parametara podzemne vode vodocrpilišta Vinogradi

	kisik	pH	vodljivost	ukupno Fe	Fe^{2}+	Mn
uzorkovanje br. 1	-0,1693	-0,5573	-0,3182	-0,5797	-0,3630	-0,4816
uzorkovanje br. 2	-0,2746	-0,0484	0,5845	0,2643	-0,0176	0,4277
uzorkovanje br. 3	0,0382	0,1348	-0,5104	-0,1235	-0,0298	-0,7241
uzorkovanje br. 4	0,2364	-0,4345	-0,1281	-0,0647	0,4934	-0,1304
srednja vrijednost	-0,04233	-0,22635	-0,09305	-0,1259	0,02075	-0,2271

Prilog 2 Tablični prikaz korelacije pojavnosti željeznih bakterija i vrijednosti praćenih

	kisik	pH	vodljivost	ukupno Fe	Fe^{2}+	Mn
uzorkovanje br. 1	-0,3407	0,6879	-0,2630	-0,0313	-0,0387	-0,1154
uzorkovanje br. 2	-0,3417	0,5433	-0,0193	-0,0712	-0,0630	-0,1452
uzorkovanje br. 3	-0,3500	0,6749	-0,0428	-0,0743	-0,0747	-0,1376
uzorkovanje br. 4	-0,3386	0,7693	-0,2527	-0,0980	-0,0556	-0,1444
srednja vrijednost	-0,34275	0,66885	-0,14445	-0,0687	-0,058	-0,13565

fizikalno-kemijskih parametara vode iz pogona za preradu i na mjestu potrošnje