

Kakvoća podzemne vode na području Međimurja

Seleš Muić, Dino

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:169:168498>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



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

KAKVOĆA PODZEMNE VODE
NA PODRUČJU MEĐIMURJA

Diplomski rad

Dino Seleš Muić
GI 231

Zagreb, 2017.

Zahvala

Veliku zahvalnost iskazujem svojoj mentorici Dr.sc. Bačani Andrei, redovnoj profesorici RGNF-a, na stručnom vodstvu, pomoći, suradnji i strljenju prilikom izrade diplomskog rada.

Također, kolegi Kovač Zoranu, mag. ing. geol. te članovima povjerenstva Doc. dr. sc. Duić Željku i Doc. dr. sc. Perković Dariu zahvaljujem na stručnoj pomoći i savjetima pri izradi diplomskog rada.

Posebnu zahvalnost iskazujem cijeloj svojoj obitelji i prijateljima, a ponajviše svojim roditeljima Muić Branki i Seleš Anđelku, baki Zdelar Vlasti te Vincek Valentini na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju tijekom studiranja.

KAKVOĆA PODZEMNE VODE NA PODRUČJU MEĐIMURJA

Dino Seleš Muić

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

SAŽETAK

U diplomskom radu je prikazana ocjena stanja kakvoće podzemne vode na području Međimurja u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) pojedinih parametara u pitkoj vodi definirane prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013) za vremensko razdoblje od veljače 2009. do prosinca 2013. godine. Također, uvrštavanjem vrijednosti najvažnijih kationa i aniona u Piperov dijagram određen je i hidrokemijski sastav podzemne vode na području Međimurja.

Ključne riječi: Međimurje, vodonosnik, kakvoća podzemne vode, MDK, hidrokemijski sastav, Piperov dijagram

Diplomski rad sadrži: 64 stranica, 66 slika, 18 tablica i 14 referenci
Jezik izvornika: hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mentor: Prof. dr. sc. Andrea Bačani
Pomoć pri izradi: Zoran Kovač, mag. ing. geol.
Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Andrea Bačani
Doc. dr. sc. Željko Duić
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 17. veljače, 2017.

GROUNDWATER QUALITY IN THE MEĐIMURJE AREA

Dino Seleš Muić

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

ABSTRACT

The thesis presents the assessment of groundwater quality in the Međimurje area, in relation to the maximum permissible concentration (MPC) of specified parameters in drinking water defined according to the *Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (Narodne novine 125/2013) for a period from February 2009 to December 2013. Also, by inclusion of the value of the most important cations and anions in the Piper diagram the hydrochemical composition of groundwater in the area of Međimurje is determined.

Keywords: Međimurje, aquifer, groundwater quality, MCL,
Hydrochemical composition, Piper diagram

Thesis contains: 64 pages, 66 images, 18 tables and 14 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Full Professor Andrea Bačani, PhD

Assistance in thesis preparation: Zoran Kovač, mag. ing. geol.

Reviewers:

1. Full Professor Andrea Bačani, PhD
2. Assistant Professor Željko Duić, PhD
3. Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defence: 17 February, 2017

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	3
2.1. Geološke značajke	3
2.2. Hidrogeološke značajke.....	6
3. IZVOR PODATAKA I METODOLOGIJA	8
4. KAKVOĆA PODZEMNE VODE	10
4.1. Priljevno područje crpilišta Nedelišće.....	10
4.2. Priljevno područje crpilišta Prelog	24
4.3. Dolina Mure.....	37
5. REZULTATI	49
6. ODREĐIVANJE HIDROKEMIJSKOG FACIJESA	56
6.1. Određivanje hidrokemijskog facijesa podzemne vode na priljevnom području crpilišta Nedelišće.....	59
6.2. Određivanje hidrokemijskog facijesa podzemne vode na priljevnom području crpilišta Prelog.....	60
6.3. Određivanje hidrokemijskog sastava podzemne vode na priljevnom području murske doline	61
7. ZAKLJUČAK.....	62
8. LITERATURA	64

POPIS SLIKA:

Slika 2.1. <i>Geološka karta istraživanog područja s naznačenim piezometrima</i>	4
Slika 2.2. <i>Trodimenzionalni model međimurskog vodonosnog sustava (presjek zapad-istok)</i>	6
Slika 3.1. <i>Geografski smještaj istraživanog područja s naznačenim lokacijama piezometara</i>	9
Slika 4.1. <i>Situacija crpilišta Nedelišće</i>	11
Slika 4.2. <i>Temperatura u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće.....</i>	12
Slika 4.3. <i>Boja u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	12
Slika 4.4. <i>Mutnoća u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	13
Slika 4.5. <i>pH vrijednost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće.....</i>	14
Slika 4.6. <i>Elektrovodljivost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	14
Slika 4.7. <i>Utrošak $KMnO_4$ u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	15
Slika 4.8. <i>Amonij u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	16
Slika 4.9. <i>Nitriti u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće.....</i>	16
Slika 4.10. <i>Nitrati u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	17
Slika 4.11. <i>Kloridi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	18
Slika 4.13. <i>Željezo u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	19
Slika 4.14. <i>Mangan u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	20
Slika 4.15. <i>Ukupni koliformi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće ..</i>	21
Slika 4.16. <i>Heterotrofi kod 22°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	22
Slika 4.17. <i>Heterotrofi kod 37°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	22
Slika 4.18. <i>Enterokoki u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće</i>	23
Slika 4.19. <i>Escherichia coli u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće ...</i>	24
Slika 4.20. <i>Situacija crpilišta Prelog</i>	25
Slika 4.21. <i>Temperatura u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	25
Slika 4.22. <i>Boja u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog.....</i>	26
Slika 4.23. <i>Mutnoća u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	27
Slika 4.24. <i>pH vrijednost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	27
Slika 4.25. <i>Elektrovodljivost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	28

Slika 4.26. <i>Utrošak $KMnO_4$ u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	28
Slika 4.27. <i>Amonij u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	29
Slika 4.28. <i>Nitriti u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	29
Slika 4.29. <i>Nitrati u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	30
Slika 4.30. <i>Kloridi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	31
Slika 4.31. <i>Olovo u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	31
Slika 4.32. <i>Željezo u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	32
Slika 4.33. <i>Mangan u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	33
Slika 4.34. <i>Ukupni koliformi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	34
Slika 4.35. <i>Heterotrofi kod 22°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	34
Slika 4.36. <i>Heterotrofi kod 37°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	35
Slika 4.37. <i>Enterokoki u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	36
Slika 4.38. <i>Escherichia coli u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	36
Slika 4.39. <i>Situacija doline Mure</i>	37
Slika 4.40. <i>Temperatura u podzemnoj vodi murske doline</i>	38
Slika 4.41. <i>Boja u podzemnoj vodi murske doline</i>	38
Slika 4.42. <i>Mutnoća u podzemnoj vodi murske doline</i>	39
Slika 4.43. <i>pH vrijednost u podzemnoj vodi murske doline</i>	40
Slika 4.44. <i>Elektrovodljivost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	40
Slika 4.45. <i>Utrošak $KMnO_4$ u podzemnoj vodi murske doline</i>	41
Slika 4.46. <i>Amonij u podzemnoj vodi murske doline</i>	41
Slika 4.47. <i>Nitriti u podzemnoj vodi murske doline</i>	42
Slika 4.48. <i>Nitrati u podzemnoj vodi murske doline</i>	42
Slika 4.49. <i>Kloridi u podzemnoj vodi murske doline</i>	43
Slika 4.50. <i>Olovo u podzemnoj vodi murske doline</i>	44
Slika 4.51. <i>Željezo u podzemnoj vodi murske doline</i>	44
Slika 4.52. <i>Mangan u podzemnoj vodi murske doline</i>	45
Slika 4.53. <i>Ukupni koliformi u podzemnoj vodi murske doline</i>	46
Slika 4.54. <i>Heterotrofi kod 22°C u podzemnoj vodi murske doline</i>	46
Slika 4.55. <i>Heterotrofi kod 37°C u podzemnoj vodi murske doline</i>	47
Slika 4.56. <i>Enterokoki u podzemnoj vodi murske doline</i>	48
Slika 4.57. <i>Escherichia coli u podzemnoj vodi murske doline</i>	48
Slika 6.1. <i>Piperov dijagram i smještaj točaka koje prikazuju postotni udio aniona i kationa te njihov položaj u rombu</i>	57

Slika 6.2. <i>Prikaz vodnih facijesa u Piperovom dijagramu.....</i>	58
Slika 6.3. <i>Piperov dijagram uzorkovanih podzemnih voda sa priljevnog područja crpilišta Nedelišće.....</i>	59
Slika 6.4. <i>Piperov dijagram uzorkovanih podzemnih voda sa priljevnog područja crpilišta Prelog</i>	60
Slika 6.5. <i>Piperov dijagram uzorkovanih podzemnih voda sa priljevnog područja murske doline</i>	61

POPIS TABLICA:

Tablica 5.1. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti temperature u podzemnoj vodi na području Međimurja	49
Tablica 5.2. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti boje u podzemnoj vodi na području Međimurja	49
Tablica 5.3. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mutnoće u podzemnoj vodi na području Međimurja	50
Tablica 5.4. Minimalne, srednje i maksimalne pH vrijednosti u podzemnoj vodi na području Međimurja	50
Tablica 5.5. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti elektrovodljivosti u podzemnoj vodi na području Međimurja	50
Tablica 5.6. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti utroška KMnO_4 u podzemnoj vodi na području Međimurja	51
Tablica 5.7. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti amonijaka u podzemnoj vodi na području Međimurja	51
Tablica 5.8. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti nitrita u podzemnoj vodi na području Međimurja	51
Tablica 5.9. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi na području Međimurja	52
Tablica 5.10. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti klorida u podzemnoj vodi na području Međimurja	52
Tablica 5.11. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti olova u podzemnoj vodi na području Međimurja	52
Tablica 5.12. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti željeza u podzemnoj vodi na području Međimurja	53
Tablica 5.13. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mangana u podzemnoj vodi na području Međimurja	53
Tablica 5.14. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti ukupnih koliforma u podzemnoj vodi na području Međimurja	53
Tablica 5.15. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti heterotrofnih bakterija kod 22°C u podzemnoj vodi na području Međimurja	54

Tablica 5.16. <i>Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti heterotrofnih bakterija kod 37°C u podzemnoj vodi na području Međimurja</i>	54
Tablica 5.17. <i>Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti enterokoka u podzemnoj vodi na području Međimurja</i>	54
Tablica 5.18. <i>Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti Escherichia-e coli u podzemnoj vodi na području Međimurja</i>	55

1. UVOD

Područje Međimurja prirodno je omeđeno područje i predstavlja jedinstvenu hidrografsku cjelinu. Smješteno je na krajnjem sjeveru Hrvatske, u međurječju Drave i Mure, neposredno uz državne granice sa Slovenijom na zapadu i sjeveru te Republikom Mađarskom na sjeveroistoku. Obuhvaća prostor od oko 735 km². Nalazi se na kontaktu dviju velikih geomorfoloških cjelina, Istočnih Alpi u „gornjem Međimurju“ koje predstavljaju brežuljkasti tip reljefa te Panonske nizine u „donjem Međimurju“ okarakterizirane nizinskim tipom reljefa (Posavec i Bačani, 2014). Granica između „donjeg“ i „gornjeg“ Međimurja podudara se s morfološkim osobinama područja, odnosno s izohipsom od 200 m n.m.

Područje Međimurja je reljefno otvoren prostor prema Panonskoj nizini pa su i panonski utjecaji donekle snažiji od alpskih. Kao rezultat tome, klima područja je kontinentalna uz prosječne godišnje padaline od 900 do 1000 mm na području „gornjeg Međimurja“ odnosno od 800 do 900 mm u ravničarskom dijelu te prosječnu višegodišnju vrijednost tlaka zraka od 996,8 hPa, izmjerenu u razdoblju od 1949. – 1992. na hidrometeorološkoj stanici Varaždin. S geološkog aspekta, primarna značajka Međimurja je prisutnost isključivo sedimentnih naslaga na površini. Najviša točka je vrh Mohokos s 344 metra nadmorske visine, dok nizinski prostor aluvijalnih dolina doseže visine između 120 i 150 m n.m. Hidrološki značajno „donje Međimurje“ je prostor aluvijalnih dolina, blago nagnut prema istoku u smjeru otjecanja glavnih vodotoka Drave i Mure (Posavec i Bačani, 2014). Bogatstvo voda na području Mursko-dravske nizine upotpunjuje lokalna rijeka Trnava te brojni rukavci, meandri i močvarne depresije što upućuje na čestu promjenu riječnih korita spomenutih vodotoka. Hidroelektrane na Dravi, HE Čakovec (1982.) i HE Dubrava (1989.) uz primarnu funkciju opskrbljivanja lokalnog stanovništva i šireg područja Hrvatske električnom energijom, omogućuju i navodnjavanje poljoprivrednih površina te efikasnu kontrolu riječnog toka.

Gospodarsku osnovu na području Međimurja predstavljaju poljoprivredne djelatnosti, šumarstvo, lovstvo, promet, industrija te malo i srednje poduzetništvo. Poljoprivredne površine pokrivaju gotovo 75% područja, smještajući agrarnu djelatnost iznad nacionalnog prosjeka. Privredne grane poput metalo-prerađivačke industrije, građevinarstva i rudarstva te drvne industrije i sl. od velike su važnosti za lokalno stanovništvo i Međimursku županiju. Kao raskršće puteva u svim smjerovima Međimurje

djeluje dinamično i otvoreno, čineći pritom jaki prometni i trgovački centar koji povezuje centralnu Europu sa trgovačkim lukama i turističkim destinacijama duž Jadranske obale.

Uz nepresušne rezerve sirovina za građevinsku industriju (pijesci, šljunci, ciglarske gline i dr.) te hidroenergetskog potencijala, kao prirodna bogatstva koja se pojavljuju na području Međimurja spominju se zlato u pijesku rijeka Drave i Mure, termo-mineralna voda kod mjesta Vučkovec, smeđi ugljen te zemni plin i nafta kod Mihovljana (HGI, 2007).

Cilj ovog diplomskog rada bio je odrediti hidrogeokemijski sastav podzemne vode Međimurja te ocijeniti stanje kakvoće podzemne vode u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) pojedinih parametara u pitkoj vodi definirane prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013) za vremensko razdoblje od veljače 2009. do prosinca 2013. godine. Podaci o kakvoći podzemne vode preuzeti su iz projekta *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske* (Nakić i dr., 2016) provedenog za potrebe Hrvatskih voda od strane Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.

2. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

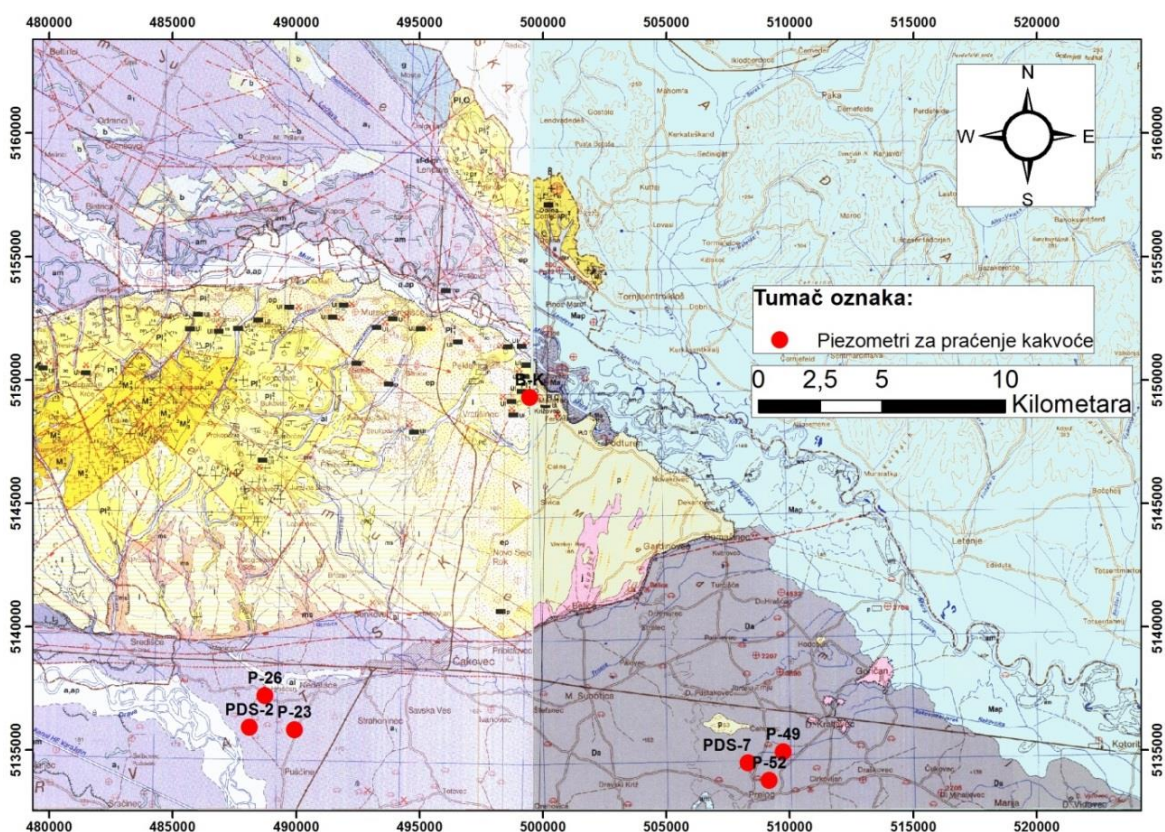
2.1. Geološke značajke

Na području Međimurja se, prema Osnovnoj geološkoj karti 1:100000 – listovi Čakovec, Nađ Kaniža, Varaždin i Koprivnica (neobjavljeno), na površini nalaze miocenske naslage u Međimurskim goricama i naslage kvartara u nizinskom dijelu.

Najstarije naslage na površini nalaze se na području Međimurskih gorica. Sastavljene su od konglomerata, breča, pješčenjaka, lapora i vapnenaca i pripadaju badenskoj starosti (M_2^2 , a prema novoj podjeli miocena M_4). Sarmatske pjeskovite i laporovite naslage (M_3^1 , a prema novoj podjeli miocena M_5) kontinuirano se nastavljaju na baden, a prostiru se prema sjeveroistoku u području Sv. Urbana. Panon ($M_3^2 \rightarrow M_6$) je zastupljen laporima, pjeskovitim laporima i vapnencima, dok se konkordantno na panon površinom protežu naslage donjeg pontaa ($Pl_1^1 \rightarrow M_7^1$), a sastoje se od pijesaka i pjeskovitih lapora zabilježenih na nekoliko manjih lokaliteta. Naslage gornjeg pontaa ($Pl_1^2 \rightarrow M_7^2$) najrasprostranjenije su među neogenskim sedimentima i pretežito ih nalazimo u Međimuskim goricama. U donjem dijelu sadržani su uglavnom pjeskoviti lapori s proslojcima zaglinjenih pijesaka, dok gornji dio karakterizira ritmička izmjena šljunaka, pješčenjaka, pjeskovitih lapora, glina te laporovitih vapnenaca. Nalazimo ih i na cjelokupnom području Varaždinske depresije, gdje su prekriveni mlađim sedimentima. Najveće debljine ovih naslaga na području Hrvatske, koje se prema podacima dubokih bušotina kreću između 1000 i 1500 m, nalaze se na prostoru između Varaždina, Čakovca i Legrada.

Diskordantno na gornjopontske naslage naliježu pliokvartarne naslage (PlQ) sastavljene pretežito od pijeska i šljunka. Granicu između pliocena i pleistocena nije moguće sa sigurnošću utvrditi jer sedimentacijski uvjeti ostaju nepromijenjeni. Tijekom pleistocena (Q_1) i holocena (Q_2) taloženje se odvija u močvarnoj sredini uz stalni donos aluvijalnog materijala (Urumović i dr., 1990). U donjem pleistocenu zastupljeni su šljunci ili pijesci u izmjeni s glinama, u srednjem šljunci, pijeci i gline, dok u gornjem pleistocenu prevladavaju šljunci. Tijekom holocena formiraju se aluvijalne taložine dravskih terasa. Kvartarnim naslagama prekriveno je više od polovine Međimurja.

Pojednostavljen prikaz geološke građe istraživnog područja nalazi se na slici 2.1.



Slika 2.1. Geološka karta istraživanog područja s naznačenim piezometrima

(Izvor: OGK Čakovec, Mioč i Marković, 1988; OGK Nadkaniža, Marković i Mioč, 1988).

Tumač oznaka kvartarnih jedinica: M_2^1 – pjeskoviti lapori, pješčenjaci, pijesci; M_2^2 – breče i konglomerati, litotamnijski vapnenci, pijesci i lapori; M_3^1 – laminirani lapori, pijesci, glinoviti vapnenci; $^1M_3^2$ – lapori; $^2M_3^2$ – pijesci, pjeskoviti lapori; Pl_1^1 – pjeskoviti lapori i gline; Pl_1^2 – pijesci, šljunci, ulošci glina; Pl, Q – kvarcni šljunci i gline, pijesci; pr – glinoviti šljunci; ms – mramorirani siltovi; j – jezerski sedimenti; Ma – aluvijalni nanos Mure, Da – aluvijalni nanos Drave; a_1 – murski i dravski šljunci i pijesci; l – prapor; g – pjeskovite gline; ep, p – eolski pijesci; b – barski sedimenti; ob – organogeno – barski sedimenti; am – facijes mrtvaja; a, ap – povodanjski facijes i facijes korita – šljunci i pijesci, aluvijalni nanos potoka; al – aluvij; $sf - d - pr$ – soliflukcijski, deluvijalni i proluvijalni nanos, dpr – deluvijalno – proluvijalni nanos.

Debljina dravskog aluvija najmanja je uz sjeverni rubni rasjed, nedaleko Ormoža, i iznosi 5 m, dok se prema jugu postupno povećava i uz južni rub doseže preko 15 m. Prema istoku debljina aluvija postupno raste pa se shodno tome kod Svibovca (HE Varaždin) kreće oko 30 m, jugoistočno od HE Čakovec iznosi 112 m, dok južno od Preloga dostiže 150 m. Nizvodno od Svete Marije (HE Dubrava) debljina se smanjuje na 60 m, a uz sjeverni rub kod današnjeg korita nedaleko Legrada iznosi 14 m odnosno kod Đelekovca 12 m. Uz rub Međimurskih gorica i Čakovečkog ravnjaka granica šljunkovito-pjeskovitih naslaga je rasjedna i u tom dijelu najveće debljine naslaga, prema geofizičkim podacima, nalazimo na potezu Pribislavec – Gardinovec u iznosima od oko 40 m.

Debljina murskog aluvija od 25 m kod Letenjskog je mosta ustanovljena bušenjem, dok je najveća debljina prema geofizičkim podacima registrirana istočno od Goričana i iznosi 40 m.

U geotektonskom smislu Međimurje pripada Murskoj potolini, zapadnom rubnom dijelu Panonskog bazena, dok Legradski prag kao nastavak Kalnika čini granicu prema Dravskoj potolini. Murska potolina se sastoji od dvije tektonske jedinice: Međimurskih gorica (antiklinorij) i Varaždinske depresije.

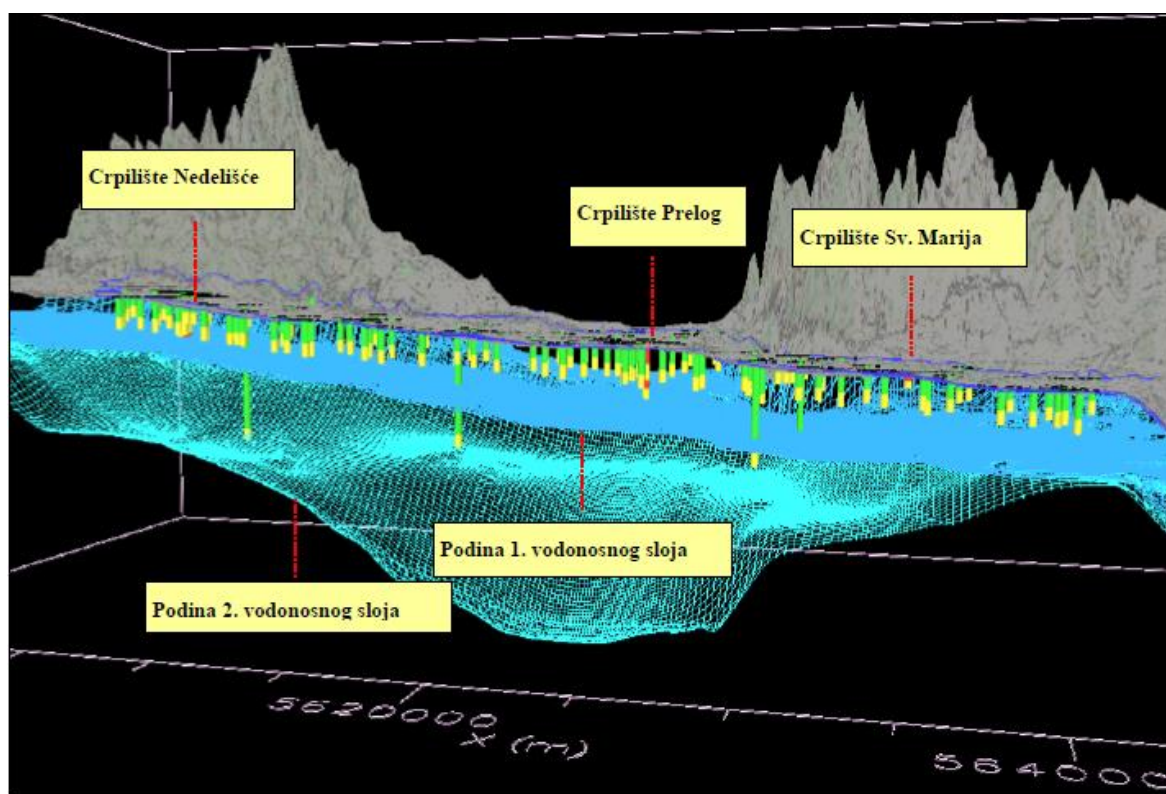
Međimurske gorice obuhvaćaju dolinu Mure te izdignuto područje koje se proteže jugozapadno od doline Mure sve do tektonsko-erozijskog odsjeka Macinec-Pribislavec-Domašinec. Južna granica određena je Čakovečkim rasjedom (zove se i Ormoški rasjed), koji se proteže pravcem istok-zapad od Ormoža do Pribislavca gdje skreće prema sjeveroistoku u smjeru Belice i Domašince. U Međimurskim goricama postoje i dva sustava rasjeda, od kojih se jedan proteže pravcem SI-JZ (Donački rasjed, rasjed Dravsko Središće-Mursko Središće i rasjed Peklenica-Šenkovec), dok su poprečni rasjedi pravca pružanja SZ-JI i dijele primarne strukture na manje blokove. Donački rasjed odvaja dvije strukture unutar tektonske jedinice, antiklinalu Sv. Urban-Veliki Grabrovnik na zapadu, pružanja kao i Donački rasjed te antiklinalu Vučkovec-Selnica-Peklenica na istoku s pravcem pružanja istok-zapad. Tjeme antiklinale na zapadu tvore badenske naslage – najstarije naslage na površini, dok se na površini istočne antiklinale nalaze naslage gornjeg pontaa. Južnije od istočne antiklinale nalazi se sinklinala Dragoslavec-Vučetinec.

Varaždinska depresija ima alpski pravac pružanja istok-zapad. Granicu na istoku čini Kalnik-Legradski prag, na zapadu antiklinala Ravne Gore i Ormoški prag odnosno Ormoško-Selnička antiklinala, na jugu južni rubni rasjed Murske potoline, a na sjeveru Čakovečki rasjed, točnije rasjedna zona širine 1 – 6 km. Tijekom kvartara Varaždinska depresija je spuštana i ispunjena riječkim sedimentom, pri čemu brzina spuštanja ne prelazi

brzinu taloženja. Vertikalni tektonski pokreti veći su uz južni rub, a manji uz sjeverni, pri čemu je amplituda pokreta taloženja šljunka uz južni rub 60 m, a uz sjeverni 20 m (Posavec i Bačani, 2014).

2.2. Hidrogeološke značajke

Međimurski vodonosni sustav čine kvartarne šljunkovito-pjeskovite naslage koje u geotektonskom smislu pripadaju Varaždinskoj depresiji. Maksimalna debljina spomenutih naslaga na području južno od Preloga premašuje i 100 m. S konceptualnog gledišta, hidrogeološki sustav čine dva vodonosna sloja, odijeljena slabopropusnim međuslojem. Na slici 2.2 prikazan je trodimenzionalni model međimurskog vodonosnog sustava (presjek zapad-istok).



Slika 2.2. Trodimenzionalni model međimurskog vodonosnog sustava (presjek zapad-istok)

(Izvor: Posavec i Bačani, 2014)

Prvi vodonosni sloj sastoji se od šljunkovito-pjeskovitih naslaga i zaliže do prosječne dubine od 20 m na području Nedeliša, do dubine od 36 m na području Preloga te do dubine od 32 m na području Sv. Marije. Prema Urumović i dr. (1990) vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnog sustava Varaždinske depresije kreću se od oko 300 m/dan u zapadnom dijelu do 100 m/dan u istočnom dijelu, dok su na području Nedelišća i Preloga određene na temelju pokusnog crpljenja i iznose 180 m/dan odnosno 590 do 690 m/dan.

Slabopropusni međusloj čine glina i prah u različitim omjerima, debljine do 5 m. Na području Pribislavca isklinjava. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti određene u edometru na uzorcima uzetim iz bušotina za potrebe HE Dubrava i HE Čakovec kreću se od 10^{-4} do 10^{-6} m/dan.

Drugi vodonosni sloj sastoji se od šljunaka i pijesaka sa većim udjelom sitnozrnatih materijala. Zaliže do dubine od 35 m na području Nedelišća, do dubine od 90 m kod Preloga te od oko 60 m kod Sv. Marije. Hidraulička vodljivost dobivena na temelju rezultata pokusnog crpljenja na području Nedelišća iznosi 9 do 12 m/dan, dok se vrijednosti na području Preloga određene na temelju crpljenja bušotine kreću od 0,095 do 0,285 m/dan. Na području HE Dubrava iznosi 173 m/dan. Koeficijent uskladištenja na području Nedelišća kreće se od 5×10^{-4} do 5×10^{-5} , a na području HE Dubrava iznosi 3×10^{-4} .

Krovina vodonosnog sustava sastoji se od humusa i prašinasto-glinovito-pjeskovitih naslaga čija se debljina na području Međimurja kreće od 0,5 do 4 m, a najčešće iznosi 1 do 2 m. Na području između Šenkovca i Belice, zapadno od D. Mihaljevca te uz Dravu krovina nedostaje ili je tanja od 0,5 m, dok na određenim područjima može iznositi i više od 2 m, primjerice kod Ivanca (do 3 m), Podbresta (3 – 3,4 m), Sv. Marije (3 – 4 m) te D. Kraljevca (2 – 4, iznimno do 6 m). Vrijednosti hidrauličke vodljivosti krovine kreću se od 10 m/dan sve do 10^{-4} m/dan.

Podinu vodonosnog sustava čine glina, prah i lapor. Hidraulička vodljivost određivana na uzorcima u edometru na lokaciji HE Dubrava iznosi od 10^{-6} do 10^{-7} m/dan (Posavec i Bačani, 2014).

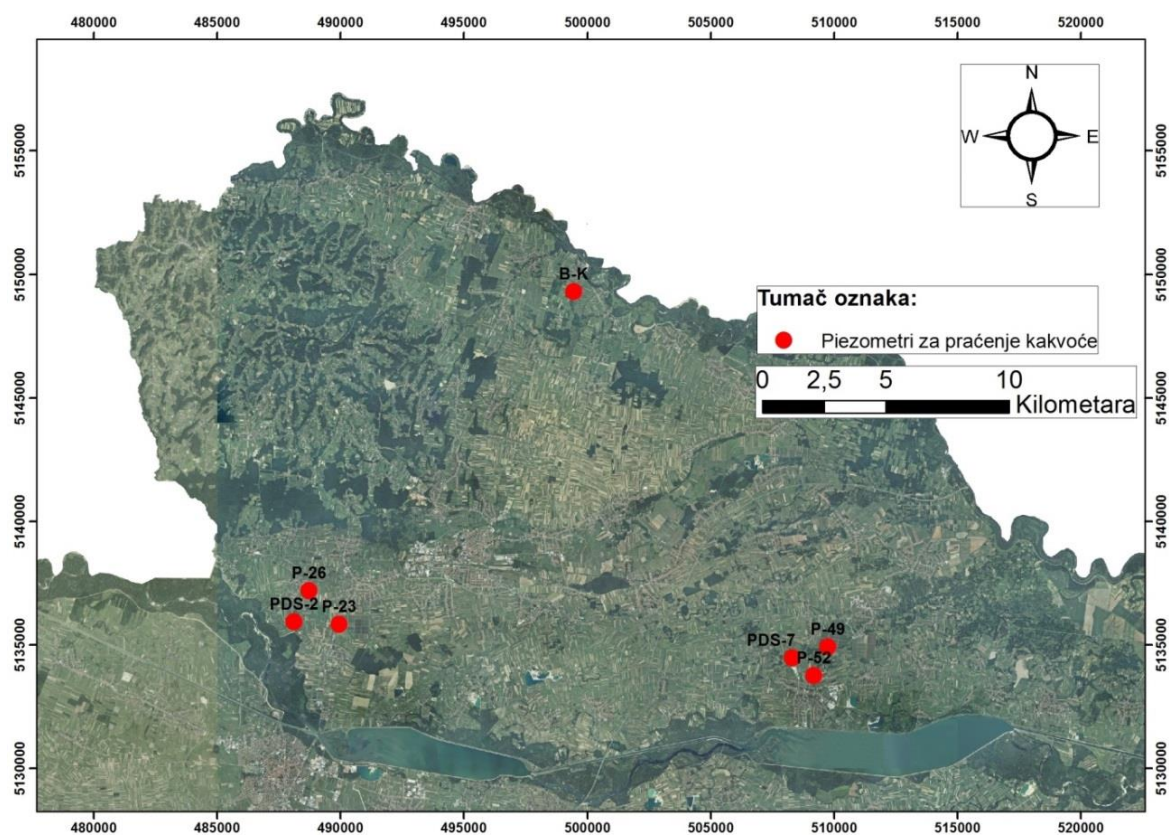
3. IZVOR PODATAKA I METODOLOGIJA

Na području Međimurja redovno se provodi monitoring kakvoće podzemne vode za ljudsku potrošnju od strane Međimurskih voda d.o.o. za javnu vodoopskrbu i javnu odvodnju, Zavoda za javno zdravstvo Međimurske županije i Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo. Monitoring kakvoće podzemne vode može se temeljiti na prikupljanju podataka nužnih za određivanje prirodne kakvoće vode, kao polazišne točke u daljnjem određivanju prostorne i vremenske distribucije te intenziteta mogućeg onečišćenja nastalog uslijed antropogenog utjecaja, ali se može i temeljiti na izravnom pronalaženju pojave onečišćenja koja ugrožava kakvoću vode za ljudsku potrošnju.

Podaci o kakvoći podzemne vode korišteni u pisanju ovog rada preuzeti su iz projekta *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske* (Nakić i dr., 2016), provedenog za potrebe Hrvatskih voda od strane Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, u obliku baze podataka koja kao programsku platformu za organizaciju podataka koristi Microsoft Excel. Ministarstvo zdravstva je još u studenom 2013. donijelo *Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013), kojim su propisane maksimalne dopuštene koncentracije (MDK) parametara zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju, indikatorskih parametara (mikrobioloških i kemijskih) i parametara radioaktivnih tvari, koji se prate u cilju zaštite ljudskog zdravlja od nepovoljnih utjecaja bilo kojeg onečišćenja vode za ljudsku potrošnju i osiguravanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju na području Republike Hrvatske.

U okviru ovog rada provedena je analiza kakvoće podzemne vode na području Međimurja, točnije na priljevnim područjima crpilišta Prelog i Nedelišće te u dolini Mure, za razdoblje od veljače 2009. do prosinca 2013. godine. Obradeni uzorci vode prikupljeni su iz sedam piezometara: P-47, P-49, P-52, PDS-7, P-23, P-26, PDS-2 i B-K (slika 3.1). Fokus je stavljen na promjene koncentracija svih fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških parametara koji se prate u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije u vodi za ljudsku potrošnju prema već spomenutom *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013). Cilj analize bio je prikazivanje vrijednosti određenih parametara te izdvajanje onih parametara čije su koncentracije povišene ili čak prelaze MDK vrijednosti. Prikaz podataka izvršen je i grafički, pri čemu je uz prikazanu liniju maksimalno dopuštene koncentracije (MKD)

prikazan i trend, odnosno pravac koji označava tendenciju kretanja pojave u promatranom razdoblju.



Slika 3.1. *Geografski smještaj istraživanog područja s naznačenim lokacijama piezometara*

4. KAKVOĆA PODZEMNE VODE

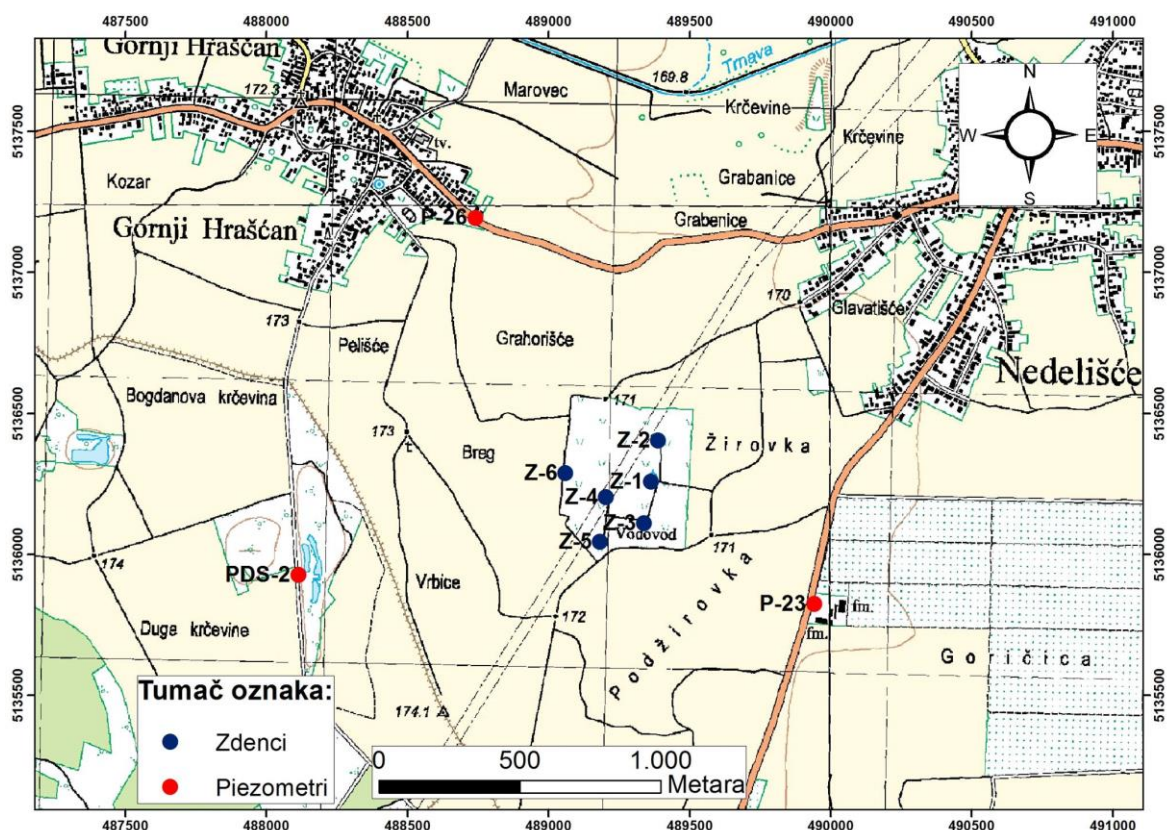
Za prikaz kakvoće vode u priljevnim područjima crpilišta Nedelišće i Prelog te u Dolini Mure prikupljene su analize provedene od strane laboratorija Međimurskih voda, u tri piezometra u priljevnom području crpilišta Nedelišće i tri piezometra u priljevnom području crpilišta Prelog te u jednom piezometru u Dolini Mure. Prikupljene analize provedene su u razdoblju od veljače 2009. do prosinca 2013. na priljevnim područjima crpilišta Nedelišće i Prelog odnosno od rujna 2010. do prosinca 2013. godine na priljevnom području Doline Mure, pri čemu je voda na piezometrima uzorkovana 4 puta godište.

U ovom poglavlju će biti prikazani rezultati kakvoće podzemne vode na području Međimurja u obliku grafičkog prikaza za 18 analiziranih pokazatelja kakvoće podzemne vode, izmjerenih na području svakog od tri spomenuta priljevna područja. U svih sedam obrađenih piezometara analizirani su sljedeći parametri: temperatura, boja, mutnoća, pH vrijednost, elektrovodljivost, utrošak KMnO_4 , amonij, nitriti, nitrati, kloridi, olovo, željezo, mangan, ukupni koliformi, heterotrofi (broj kolonija kod 22°C), heterotrofi (broj kolonija kod 37°C), enterokoki i *Escherichia coli*.

4.1. Priljevno područje crpilišta Nedelišće

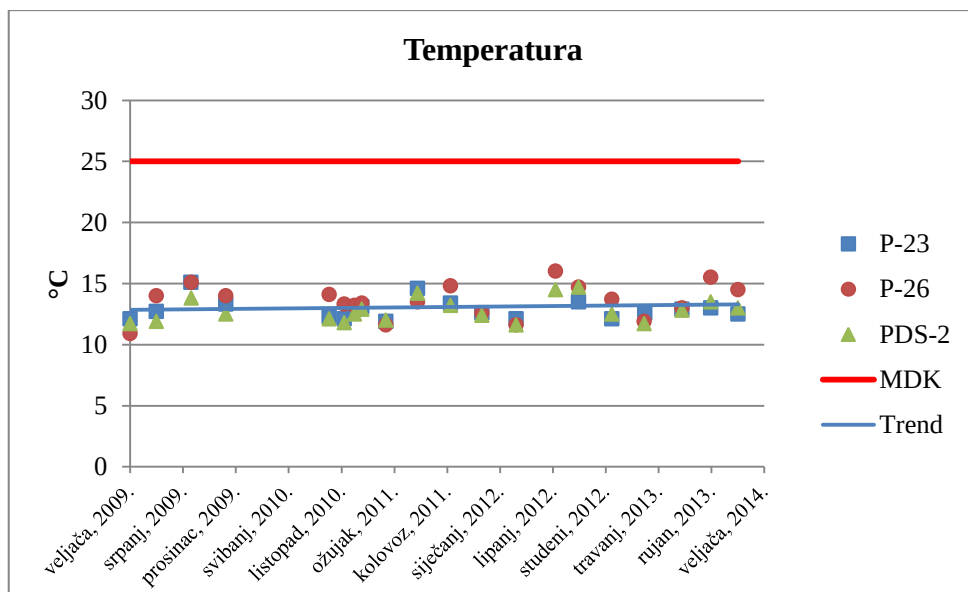
Crpilište Nedelišće smješteno je jugozapadno od Grada Čakovca, između naselja Nedelišće, Gornji Hrašćan i Pušćine (slika 4.1), na svega 2,5 km udaljenosti od rijeke Drave koja ujedno predstavlja i glavni izvor napajanja vodonosnog sustava. Vodonosni sustav sastoji se od dva vodonosna sloja, donjeg u kojem dominira pijesak i gornjeg koji općenito sadrži više šljunka. Granicu između donjeg i gornjeg sloja na dubini od oko 20 do 22 m čini proslojak sadržaja gline i praha.

Crpilište se sastoji od 6 aktivnih zdenaca priključenih na sustav vodoopskrbe, oznaka Z-1 do Z-6. Zdenac Z-1 zahvaća isključivo gornji vodonosni sloj, dok svi ostali zdenci zahvaćaju oba vodonosna sloja. Prosječna crpna količina na crpilištu Nedelišće u razdoblju od 2000. do 2006. godine za koje je izvršena organizacija i obrada podataka iznosila je oko 225 l/s, dok eksploatacijski kapaciteti zdenaca Z-1 do Z-6 iznose 100 l/s (Posavec i Bačani, 2014).



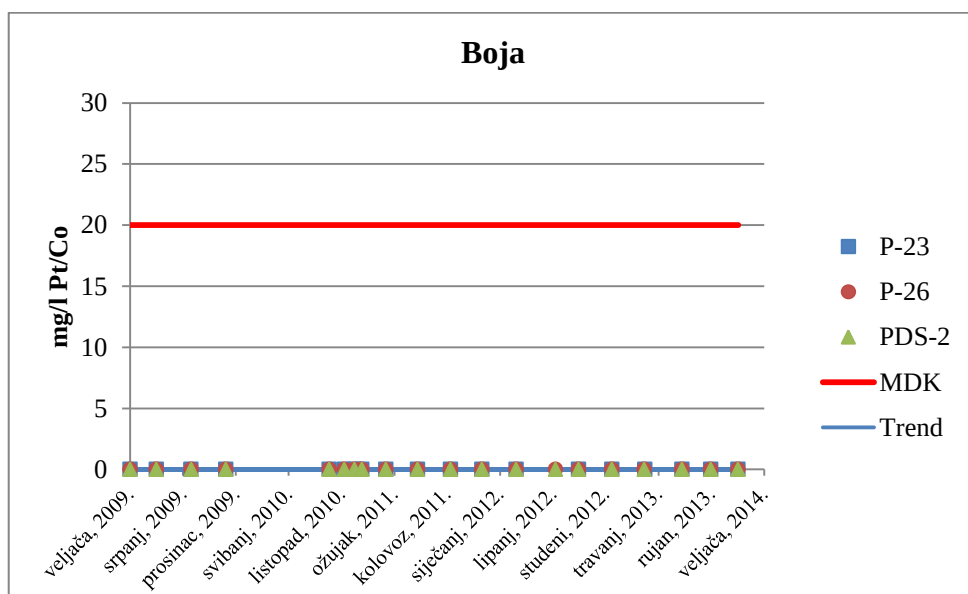
Slika 4.1. *Situacija crpilišta Nedelišće*

Fizikalna i fizikalno-kemijska svojstva vode vrlo su važni čimbenici u određivanju kakvoće vode za ljudsku potrošnju. Temperatura vode uglavnom je povezana sa temperaturom okoline. Promjena temperature utječe na promjenu gustoće vode, a samim time i na dinamiku kemijskih i bioloških procesa. Maksimalno dozvoljena temperatura (MDK) definirana *Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013), iznosi 25 °C. Na slici 4.2, koja prikazuje temperaturu u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće, izraženu u °C, nisu vidljiva odstupanja od MDK uz prisutstvo stalne linije trenda.



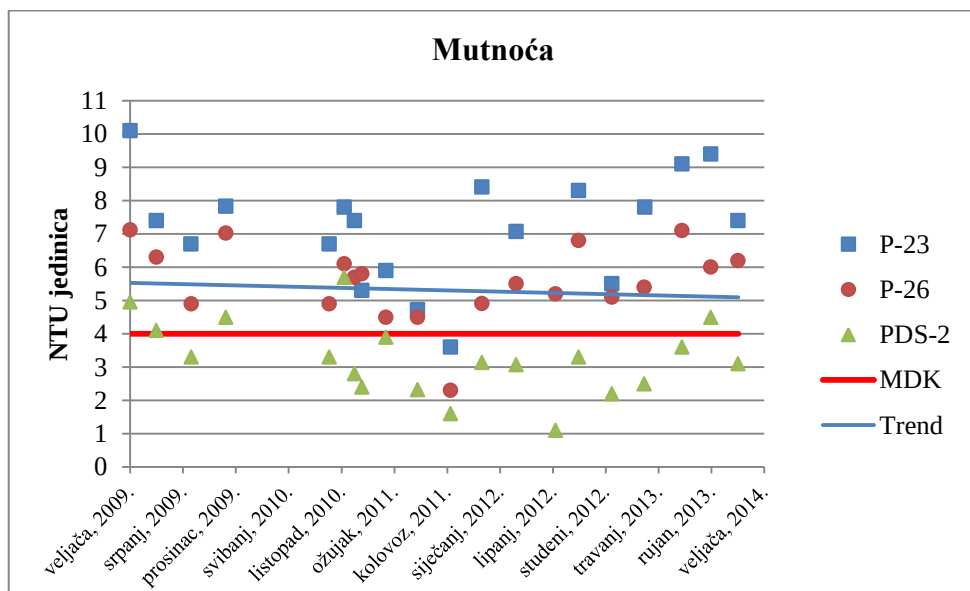
Slika 4.2. Temperatura u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Boja podzemne vode može biti prava, nastala od otopljenih tvari ili prividna, nastala od neotopljenih (suspendiranih) tvari u vodi. Boja se najčešće pojavljuje uslijed raspada organih tvari, željeza, mangana ili nekih drugih industrijskih proizvoda. Na slici 4.3 prikazana je koncentracija boje u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće. U svim piezometrima vrijednosti iznose nula. MDK iznosi 20 mg/l Pt/Co. Linija trenda nije izražena.



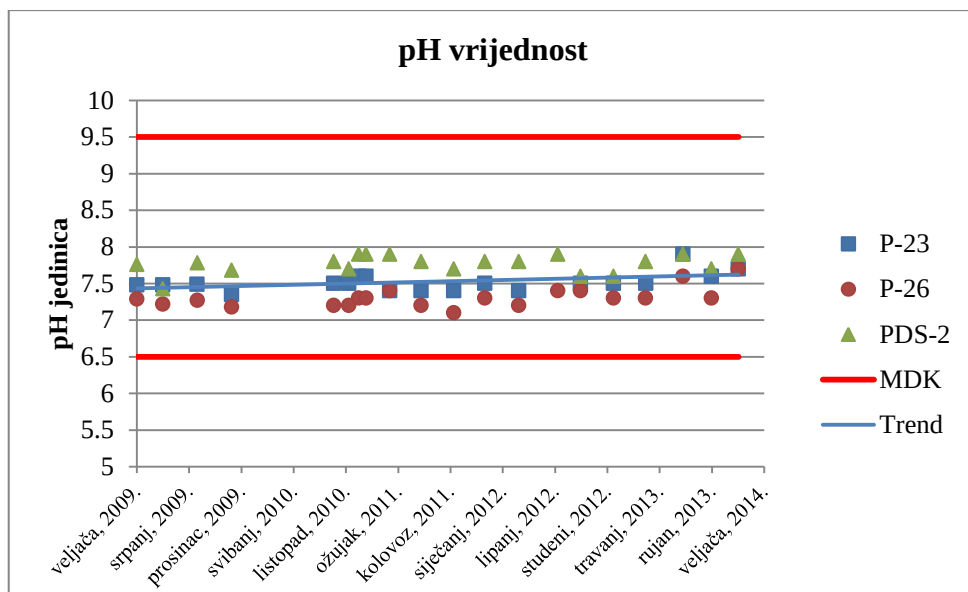
Slika 4.3. Boja u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Mutnoća vode utječe na dubinu prodiranja svjetlosti. Najčešće nastaje otapanjem koloida i mikroorganizama te ispuštanjem otpadnih tvari. Mutnoća predstavlja jedan od glavnih kriterija za određivanje kakvoće vode za ljudsku potrošnju. Vrijednosti mutnoće podzemne vode priljevnog područja crpilišta Nedelišće (slika 4.4) izražene u jedinicama NTU (Nephelometric Turbidity Units), kod sva tri piezometra prelaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 4 NTU za vrijeme trajanja monitoringa, ali uz negativnu liniju trenda. Za razliku od piezometara P-23 i P-26 kod kojih su koncentracije uglavnom više od maksimalno dozvoljenih za cijelo vrijeme monitoringa, kod piezometra PDS-2 je slučaj da one prelaze MDK u manjim izdvojenim periodima. Uzrok mutnoće podzemne vode se najvjerojatnije nalazi u neadekvatno iscrpljenom piezometru prije uzorkovanja.



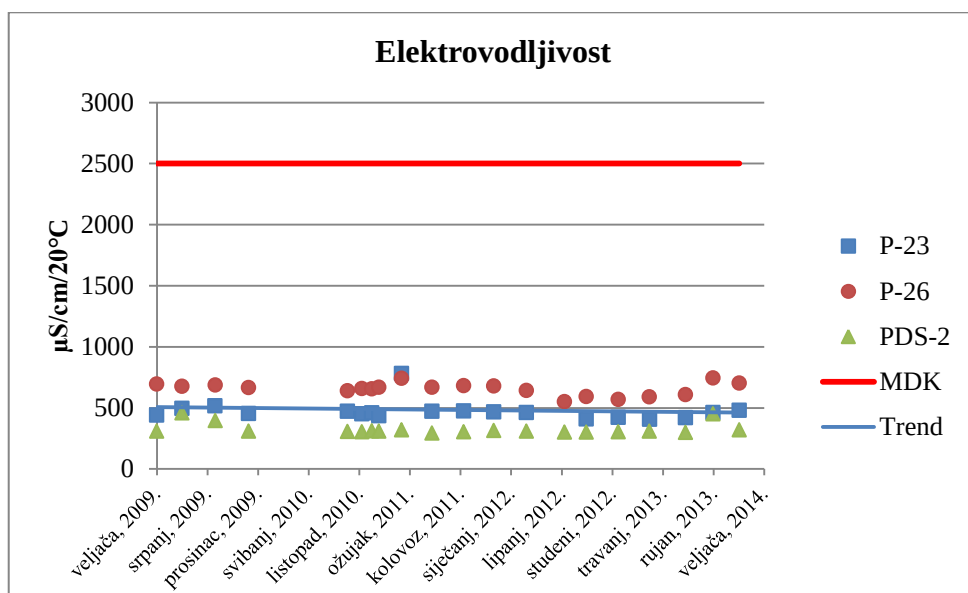
Slika 4.4. Mutnoća u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Na slici 4.5 uočljivo je kako su vrijednosti pH u granicama dopuštenih koncentracija između 6,5 – 9,5, pri čemu je tendencija kretanja pH vrijednosti u porastu. Kako je koncentracija vodikovih iona uglavnom veća od 7, proizlazi kako je podzemna voda priljevnog područja crpilišta Nedelišće blago bazična.



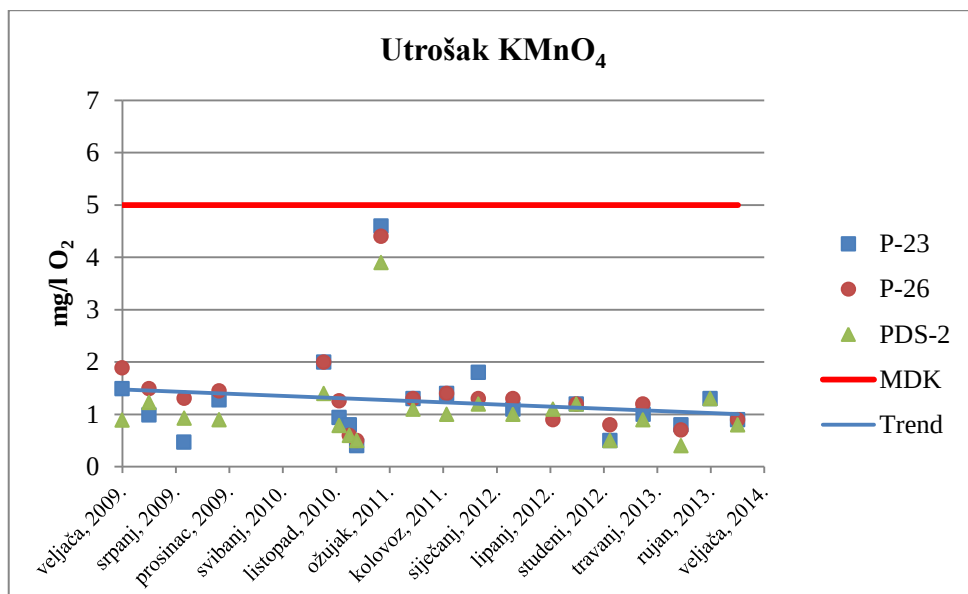
Slika 4.5. *pH vrijednost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće*

Vrijednosti elektrovodljivosti nalaze se uglavnom u granicama između 400 i 800 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ (slika 4.6). Maksimalno dozvoljena vrijednost iznosi 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ i kod piezometara P-23, P-26 i PDS-2 u podzemnoj vodi priljevnog područja Nedelišće nije dosegnuta. Linija trenda u neznatnom je opadanju.



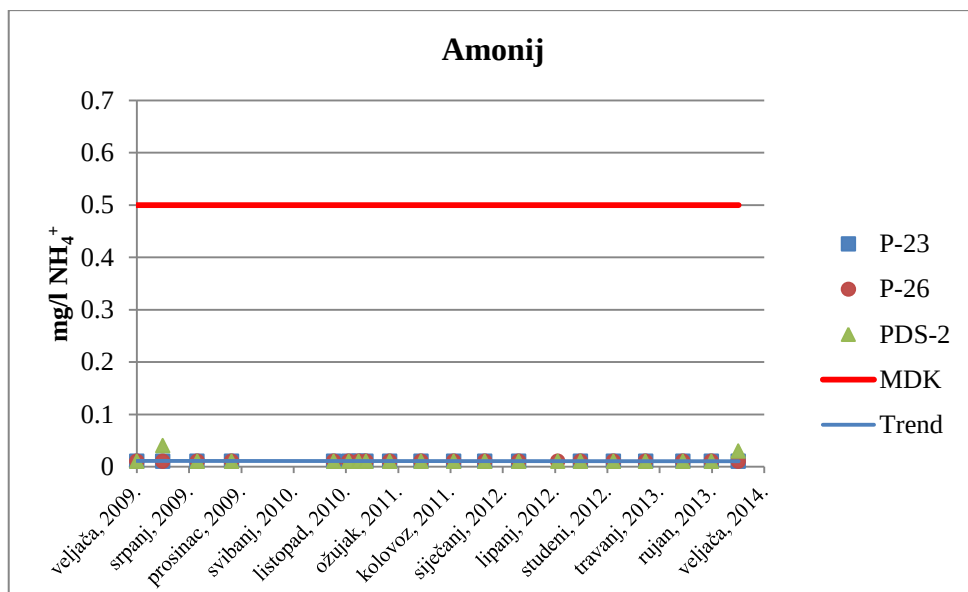
Slika 4.6. *Elektrovodljivost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće*

Na slici 4.7 prikazane su vrijednosti utroška KMnO_4 . MDK za ovaj parametar iznosi 5 mg/l O_2 . Na dan mjerenja 23.02.2011. godine vrijednosti utroška KMnO_4 izmjerene na piezometrima P-23, P-26 i PDS-2 približile su se vrijednosti MDK, dok su u drugim periodima mjerenja iznosile najviše 2 mg/l O_2 . Trend je negativan.



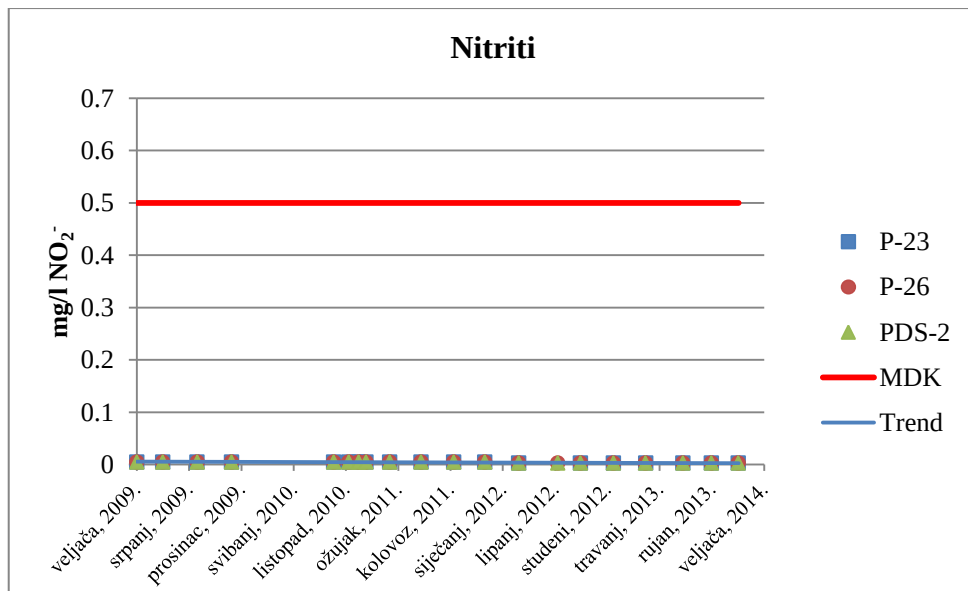
Slika 4.7. *Utrošak KMnO_4 u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće*

Zastupljenost kemijskih tvari u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće vrlo je niska. Vrijednosti amonija izmjerene u piezometrima P-23 i P-26 iznose najviše 0,01 mg/l NH_4^+ , dok se ta vrijednost u piezometru PDS-2 penje do maksimalnih 0,04 mg/l NH_4^+ (slika 4.8). Kako je MDK ovog parametra 0,5 mg/l NH_4^+ , vrijednosti izmjerene u sva tri piezometra su zanemarive. Jedan od razloga izrazito niskih vrijednosti amonija na području priljevnog područja cpilišta Nedelišće je i slaba industrijalizacija, jer glavna uloga amonija je i dalje ta da se koristi kao rashladno sredstvo u velikim industrijskim procesima, kao što su proizvodnja leda u velikim količinama i u prehrambenoj industriji.



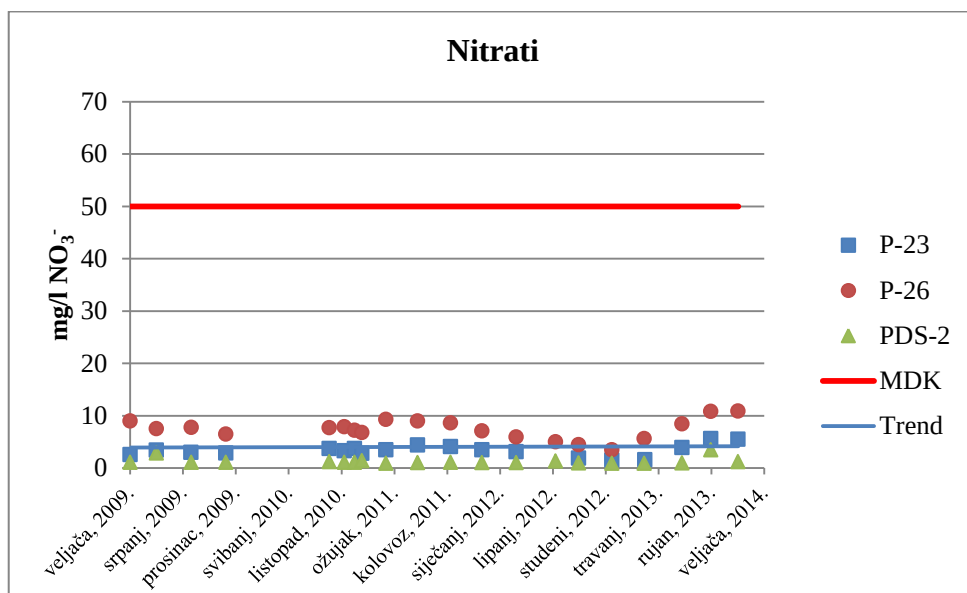
Slika 4.8. Amonij u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Na slici 4.9 prikazane su vrijednosti nitrita. Masimalna dozvoljena koncentracija parametra iznosi 0,5 mg/l NO_2^- . Vrijednosti izmjerene u piezometrima kreću se u vrlo niskom rasponu od 0,003 do 0,005 mg/l NO_2^- . Trend nije izražen.



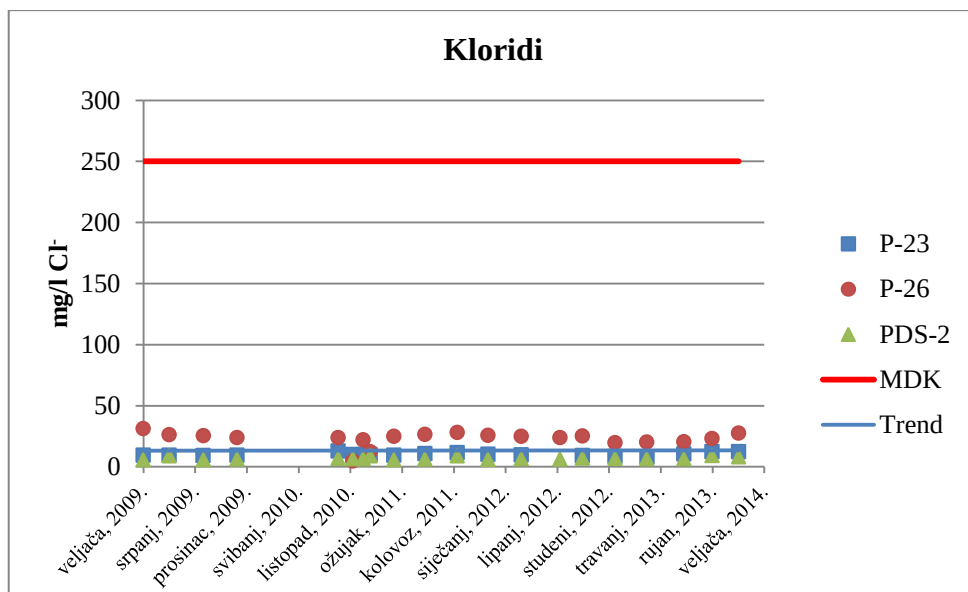
Slika 4.9. Nitriti u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće za vrijeme trajanja monitoringa ne prelaze brojku od 11 mg/l NO_3^- uz nezamjetno rastuću liniju trenda (slika 4.10), dok je iznos maksimalno dozvoljene koncentracije znatno veći i iznosi 50 mg/l NO_3^- . Spomenute vrijednosti ukazuju na iznimno malu upotrebu mineralnih i prirodnih gnojiva te agrokemikalija na poljoprivrednim i vinogradarskim površinama.



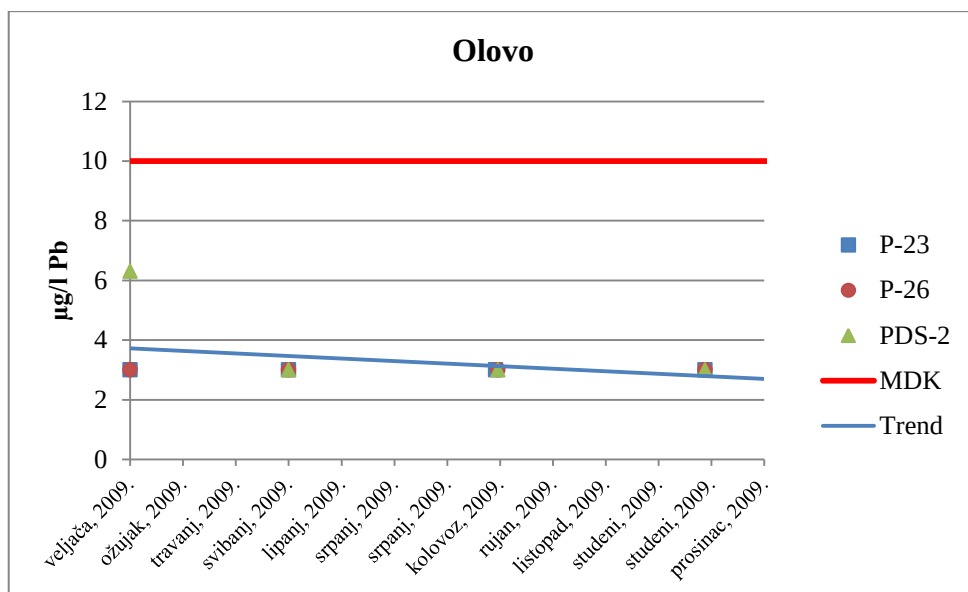
Slika 4.10. Nitrati u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Koncentracija klorida u sva tri piezometra ne prelazi vrijednost maksimalno dozvoljene koncentracije čija vrijednost iznosi 250 mg/l Cl^- . Linija trenda nije izražena (slika 4.11). Blago povišene vrijednosti na piezometru P-26 mogu biti posljedica utjecaja soljenja prometnica u zimskim mjesecima, trošenja minerala koji izgrađuju sediment ili kanalizacijskih otpadnih voda (HGI, 2007).



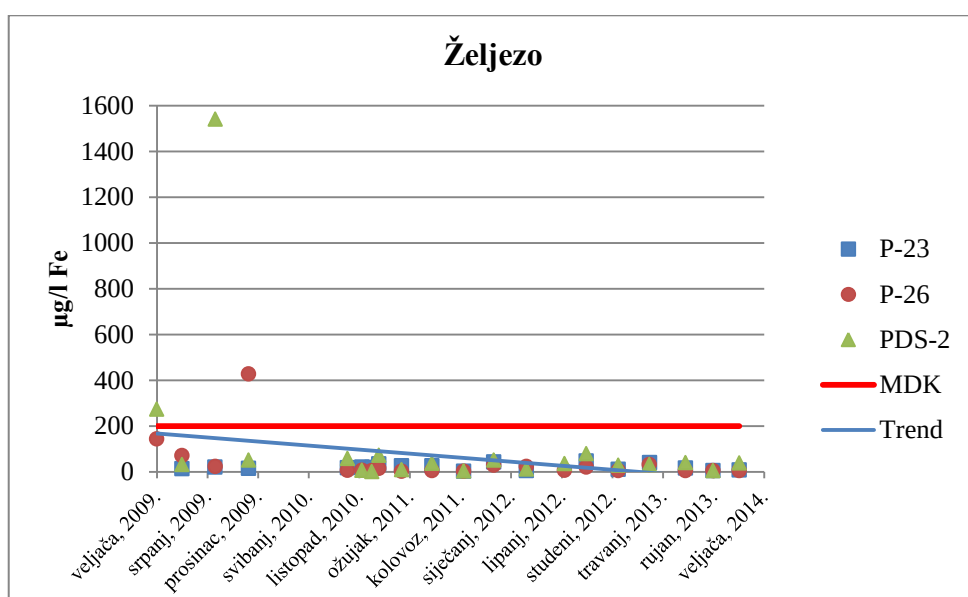
Slika 4.11. Kloridi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Koncentracije esencijalnih teških metala u podzemnoj vodi, naročito olova kao kemijskog parametra zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju te izrazito otrovne supstance, ali i željeza te mangana kao indikatorskih parametara, vrlo su važan čimbenik u određivanju kakvoće vode za piće. U vodu dolaze iz otopljenih minerala, ispiranjem zemljišta, iz otpadnih voda industrije te iz domaćinstava i poljoprivrede. Koncentracije olova u svim su piezometrima relativno niske, uz prosječnu vrijednost od 3 µg/l Pb i prisutstvo negativnog trenda te niti jedan podatak ne premašuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 10 µg/l Pb (slika 4.12).



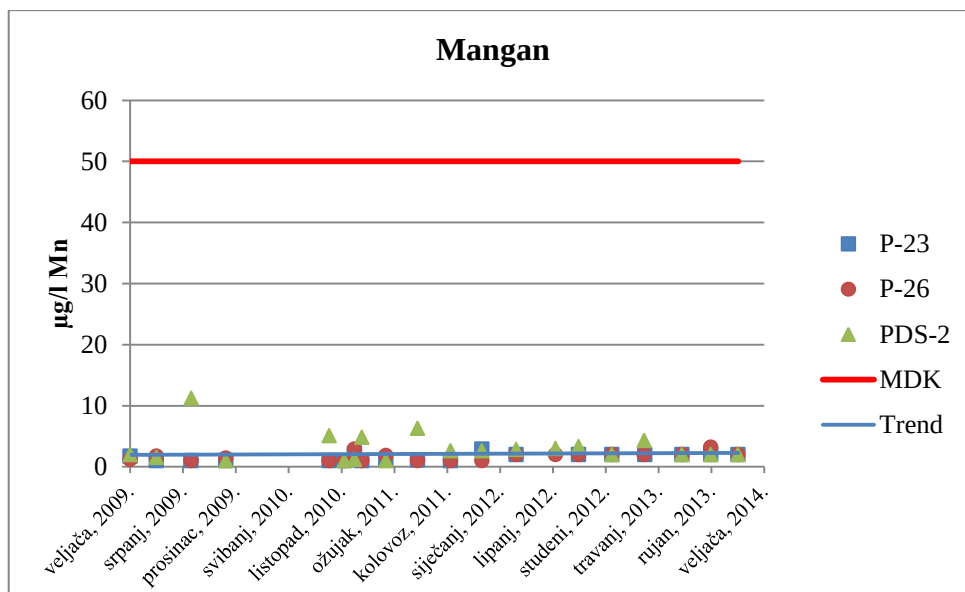
Slika 4.12. Olovo u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Grafički prikaz na slici 4.13. ukazuje na koncentracije željeza u podzemnoj vodi na priljevnom području crpilišta Nedelišće koje u većini ispitivanog razdoblja ne premašuju vrijednost MDK od 200 $\mu\text{g/l}$ Fe. Izuzetak je period od kolovoza do prosinca 2009. kada povećana koncentracija od 428 $\mu\text{g/l}$ Fe na piezometru P-26 i ekstremno visoka koncentracija od 1540 $\mu\text{g/l}$ Fe na piezometru PDS-2 premašuju MDK. Povećana koncentracija željeza u podzemnoj vodi potpomaže razvoj nepoželjnih bakterija unutar distribucijskog sustava, što rezultira pojavom sluzavog biofilma u cijevima (AWWA, 1999). Uslijed ekstremnih vrijednosti na početku ispitivanog razdoblja i kasnijem kretanju koncentracija u granicama maksimalno dozvoljenih, linija trenda je u znatnom opadanju.



Slika 4.13. *Željezo u podzemnoj vodi priljevnom području crpilišta Nedelišće*

Prosječna vrijednost koncentracija mangana u podzemnoj vodi priljevnom području crpilišta Nedelišće iznosi oko 2,1 $\mu\text{g/l}$ Mn, a maksimalna 11,2 $\mu\text{g/l}$ Mn, što je značajno manje od MDK koja iznosi 50 $\mu\text{g/l}$ Mn (slika 4.14). Tendencija kretanja vrijednosti u vrlo blagom je porastu.

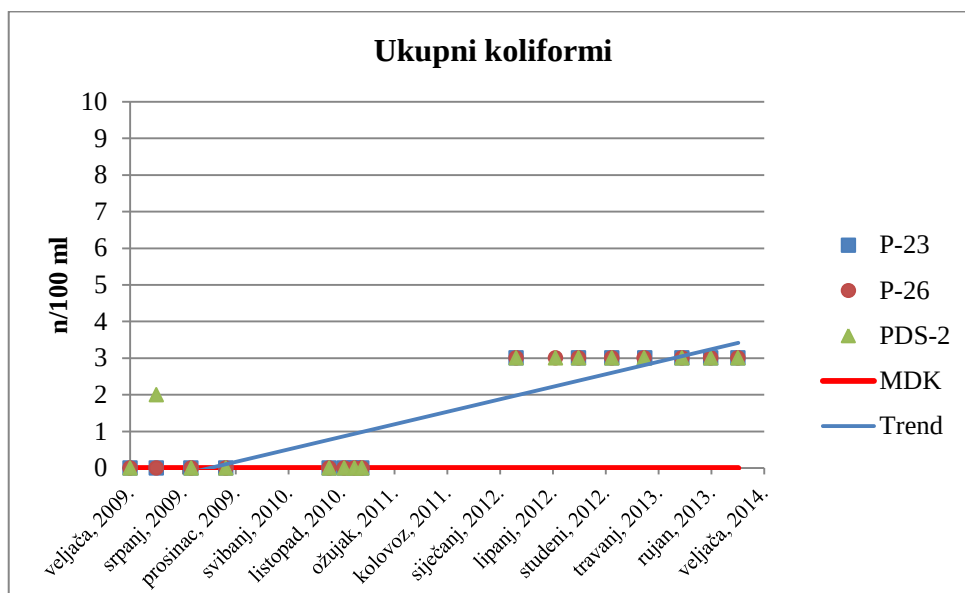


Slika 4.14. *Mangan u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće*

Na priljevnom području crpilišta Nedelišće analiziraju se i mikrobiološki pokazatelji u vodi. Tu skupinu najčešće predvode koliformne bakterije, najčešće one fekalnog podrijetla, kao najpogodnija grupa indikatorskih bakterija za određivanje higijenske kvalitete vode. Slijede heterotrofi koji predstavljaju organizme koji uzimaju gotovu hranu iz okoline te ovisno o tome odakle potječu organski spojevi heterotrofne su bakterije paraziti (sa živih) odnosno saprofiti (s uginulih organizama). Kod heterotrofa se određuje broj kolonija nastao prilikom laboratorijske inkubacije na temperaturama od 22°C i 37°C u vremenima od 72, odnosno 48 sati. Fekalni streptokoki tj. enterokoki široko su rasprostranjeni u okolišu pri čemu se nalaze u fekalijama kralježnjaka. Posljednji parametar analiziran u ovoj grupi pokazatelja je *Escherichia coli*. Ova bakterija predstavlja jedan od najpoznatijih mikroorganizama današnjice te ga kao takvog nalazimo u crijevima čovjeka i brojnih životinja.

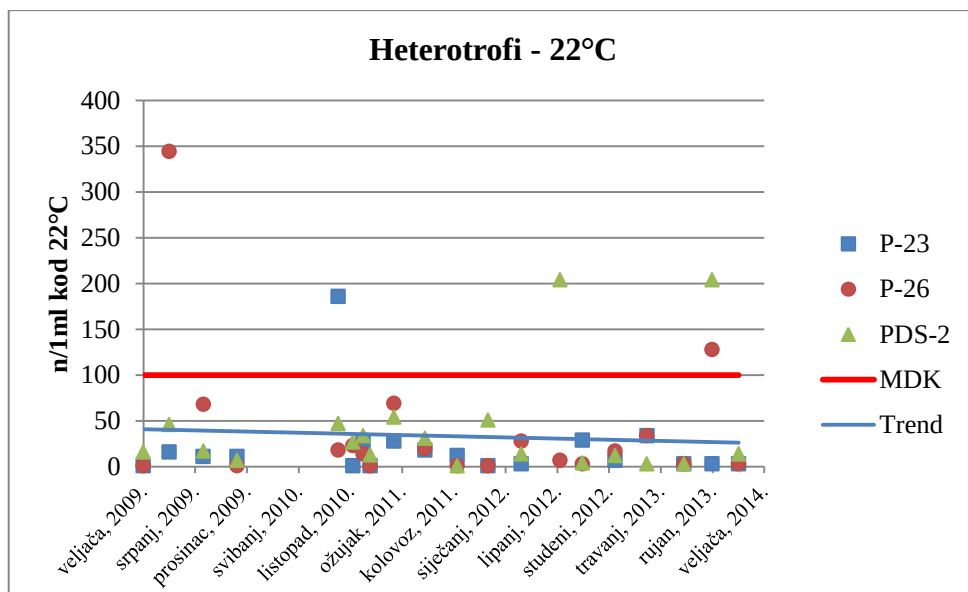
Iz dobivenih analiza sa priljevnog područja crpilišta Nedelišće uočeno je da je podzemna voda ispravna za piće prema fizikalno-kemijskim i kemijskim pokazateljima sadržavala povišene vrijednosti mikrobioloških pokazatelja, ponajviše fekalnih bakterija. Posljedica mikrobiološkog onečišćenja nalazi se u infiltraciji otpadnih voda u podzemlje odnosno postojanju loše izvedenih septičkih jama i nepostojanju kanalizacijskog sustava odvodnje (HGI, 2007).

Na slici 4.15. prikazane su vrijednosti ukupnih koliformnih bakterija. MDK iznosi 0/100 ml. Izuzev jednog podatka izmjenjenog na piezometru PDS-2 na dan 13.05.2009. kada je vrijednost iznosila 2/100 ml, vrijednosti izmjerene na ostalim piezometrima su do veljače 2012. iznosile 0/100 ml. Od veljače 2012. do završetka mjerenog razdoblja, vrijednosti su se na svim piezometrima kretale oko 3/100 ml, što je više od MDK.



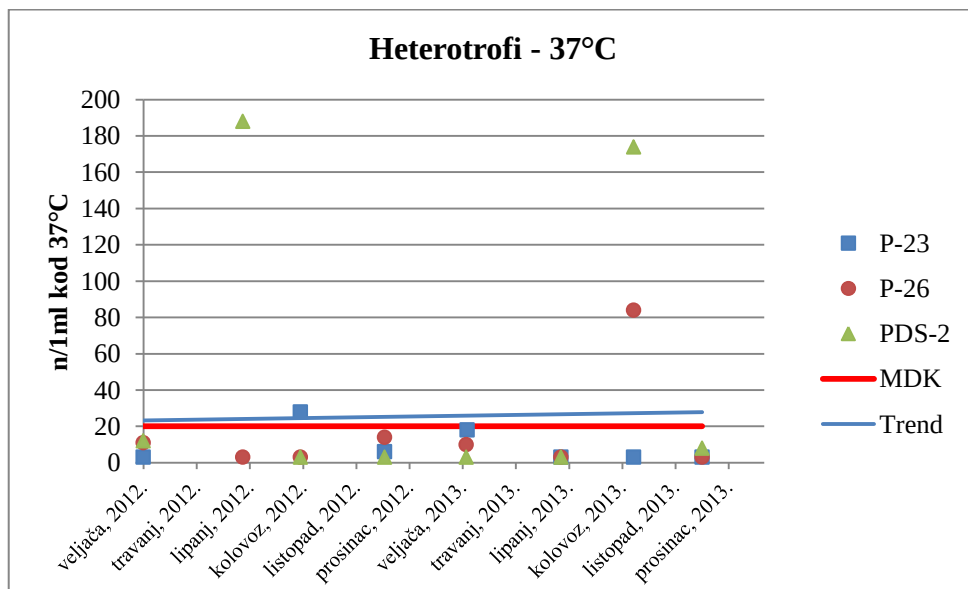
Slika 4.15. Ukupni koliformi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Broj kolonija heterotrofni bakterija nastao prilikom inkubacije na temperaturi od 22°C većinom se kretao ispod MDK od 100 kolonija po ml uz negativnu liniju trenda, izuzev određenih anomalija kada je broj kolonija po ml na piezometru P-26 iznosio maksimalnih 344. Vrijednosti na ostala dva piezometra, P-23 i PDS-2, dosezale su maksimalnih 200-tinjak kolonija po ml (slika 4.16).



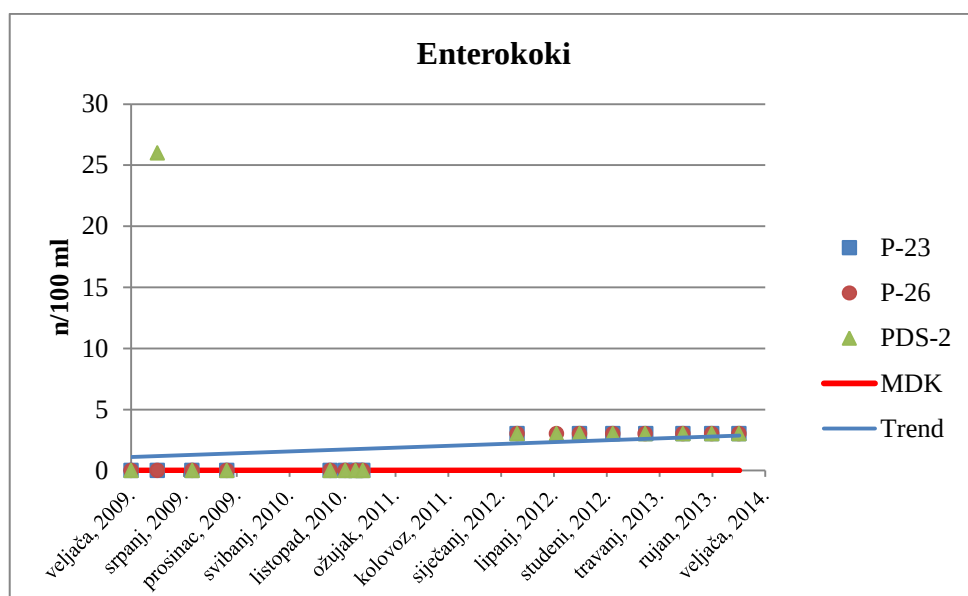
Slika 4.16. *Heterotrofi kod 22°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće*

Na slici 4.17 prikazane su vrijednosti broja kolonija heterotrofnih bakterija na 37°C. Većina mjerenih podataka nalazi se ispod granice MDK od 20 kolonija po ml, no određeni podaci i u ovom slučaju odstupaju od MDK, dosežući maksimalne vrijednosti od 188 kolonija po ml kod piezometra PDS-2 te 84 kolonije po ml izmjereno na piezometru P-26. Linija trenda je u blagom porastu.



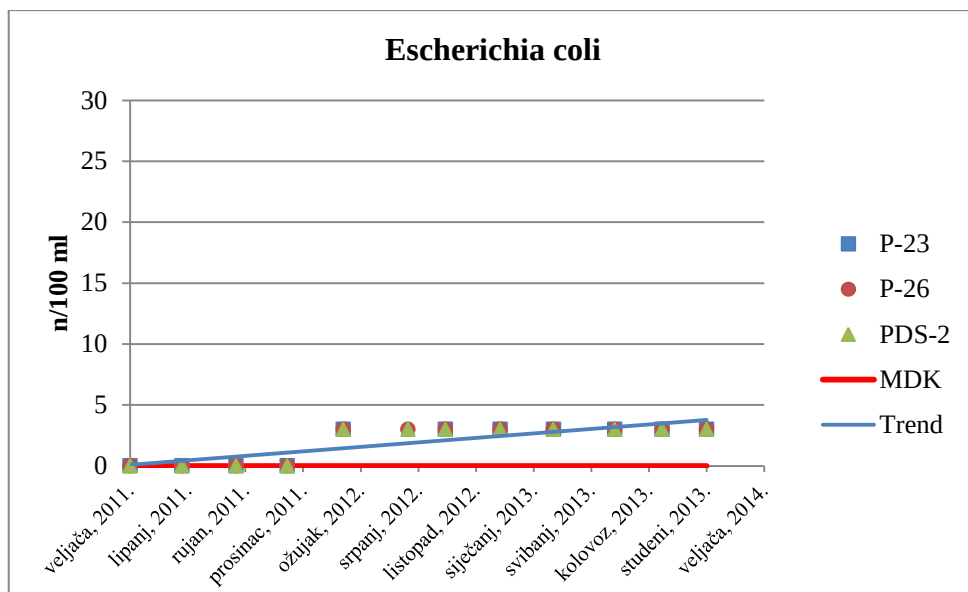
Slika 4.17. *Heterotrofi kod 37°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće*

Izmjerene vrijednosti enterokoka prikazane su na slici 4.18. Gotovo isto kao i u slučaju koliformnih bakterija, izuzev jednog podatka izmjenog na piezometru PDS-2 na dan 13.05.2009. kada je vrijednost iznosila 26 bakterija na 100 ml, na ostalim piezometrima do veljače 2012. nije utvrđena prisutnost enterokoka, što udovoljava MDK od 0/100 ml. Od veljače 2012. do završetka mjerenog razdoblja vrijednosti su se na svim piezometrima nalaze iznad MDK i iznosile su do 3/100 ml, što ujedno dovodi i do porasta linije trenda.



Slika 4.18. Enterokoki u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

Broj bakterija *Escherichia-e coli* na 100 ml uzorka do dana mjerenja 28.02. 2012. je iznosio 0 na svim promatranim piezometrima. Vrijednosti izmjerene nakon spomenutog datuma kreću se do 3 bakterije na 100 ml uzorka, čime se izmjereni podaci nalaze iznad MDK (slika 4.19).



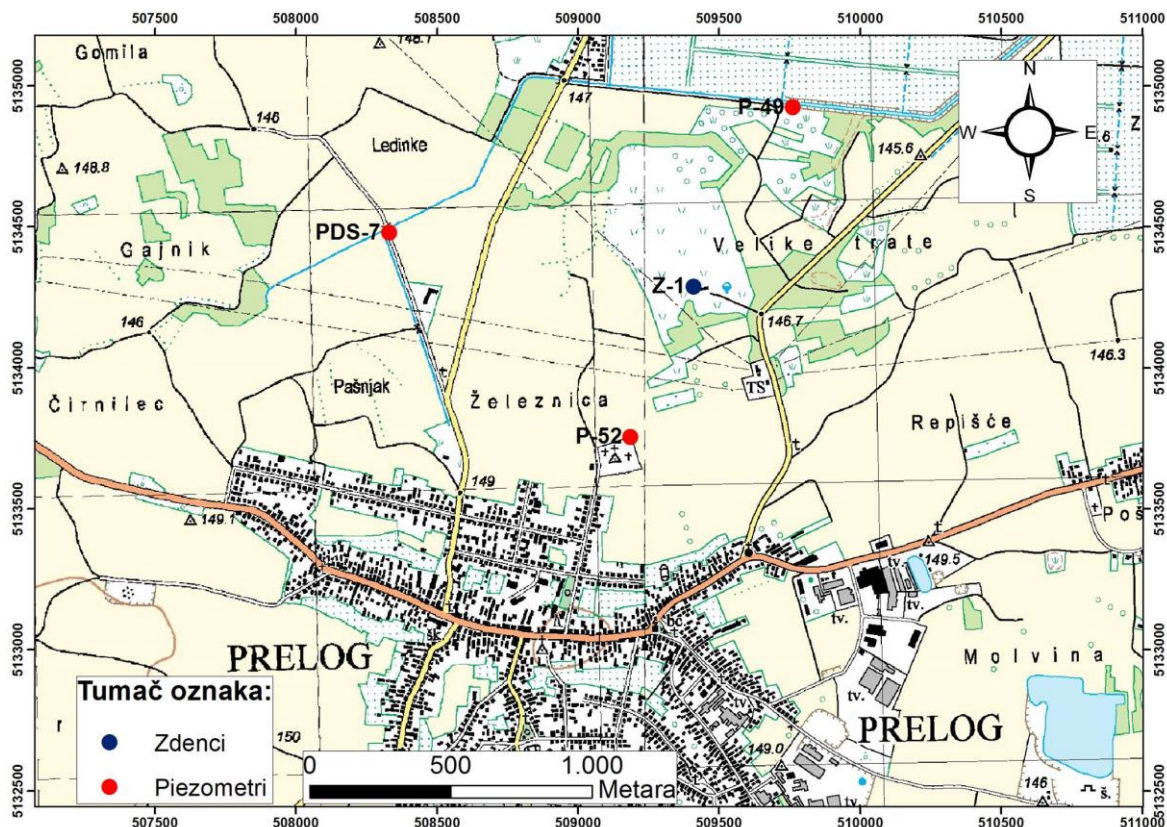
Slika 4.19. *Escherichia coli* u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Nedelišće

4.2. Priljevno područje crpilišta Prelog

Crpilište Prelog nalazi se između grada Preloga i naselja Čehovec te Cirkovljan (slika 4.20). Vodonosni sustav se sastoji od dva vodonosna sloja. Gornji vodonosni sloj se sastoji od rastresitih krupnozrnih do sitnozrnih šljunaka, dok donji čine sitno do srednjezrnati šljunci, više pjeskoviti i naročito zaglinjeni u najdubljim dijelovima. Na dubini od oko 36 m nalazi se prašinasto-glinoviti proslojak koji predstavlja granicu između gornjeg i donjeg vodonosnog sloja.

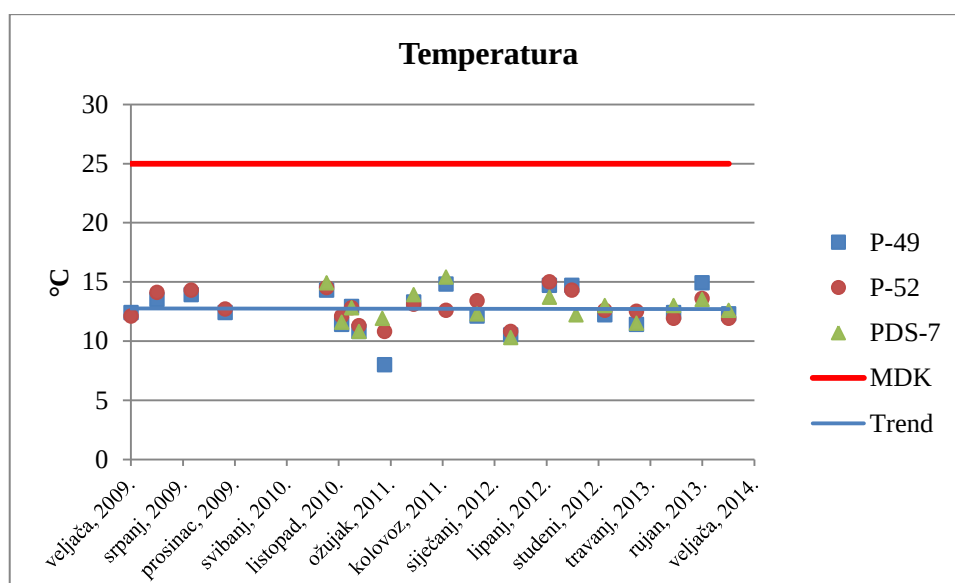
Crpilište se sastoji od 1 aktivnog zdenca priključenog na vodoopskrbni sustav, oznake Z-1, koji zahvaća gornji šljunčani vodonosni sloj. Prosječna crpna količina na crpilištu Prelog u periodu od 2000. do 2006. iznosila je oko 35 l/s, dok su maksimalne dosežale i do vrijednosti od oko 70 l/s. Eksploatacijski kapacitet spomenutog zdenca iznosi 130 l/s (Posavec i Bačani, 2014).

Podzemne vode crpilišta Prelog su antropogeno opterećenije od voda na crpilištu Nedelišće, a posljedica toga je intenzivnija poljoprivredna proizvodnja i to što je crpilište Prelog smješteno u naseljenijem području. Pritom je kanalizacijski sustav izgrađen jedino na području grada Preloga i nije nepropusan (HGI, 2007).



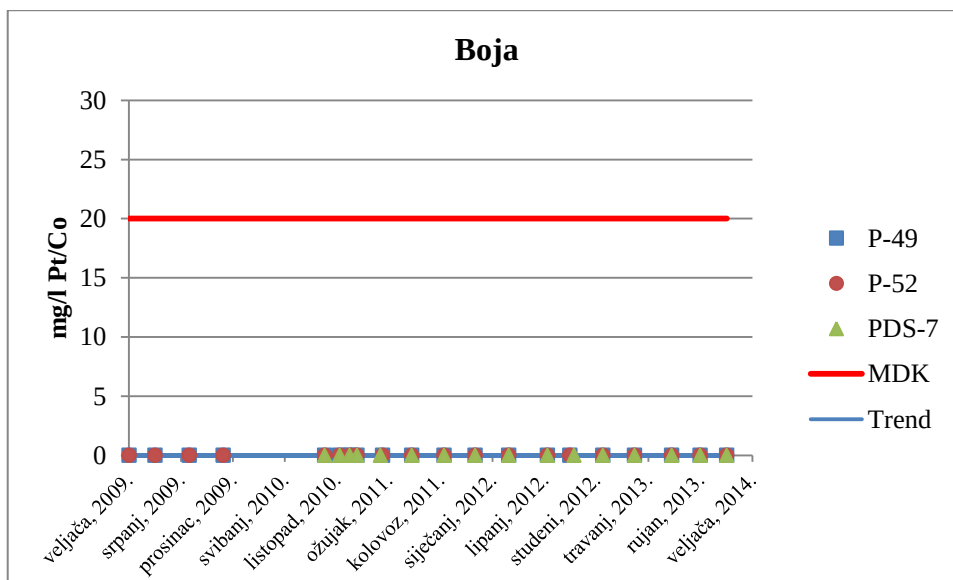
Slika 4.20. Situacija crpilišta Prelog

Na slici 4.21, koja prikazuje temperaturu u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog, izraženu u °C, nisu vidljiva odstupanja od MDK, dok je uočljiv blagi porast linije trenda.



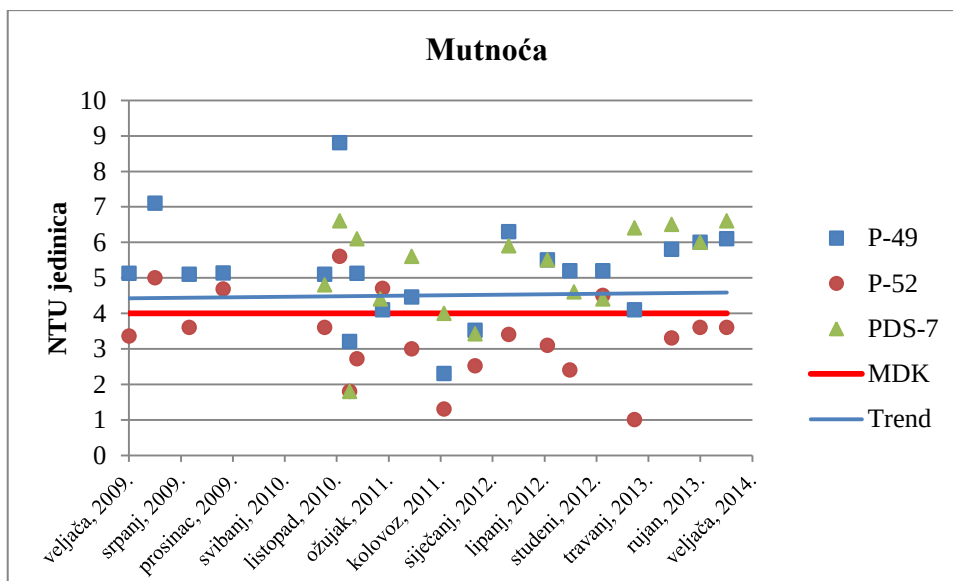
Slika 4.21. Temperatura u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Vrijednosti koncentracije boje mjerene u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog iznose 0, što mjerene vrijednosti svrstava ispod MDK od 20 mg/l Pt/Co (slika 4.22). Konstantne vrijednosti koncentracije boje doprinjele su neizraženosti linije trenda.



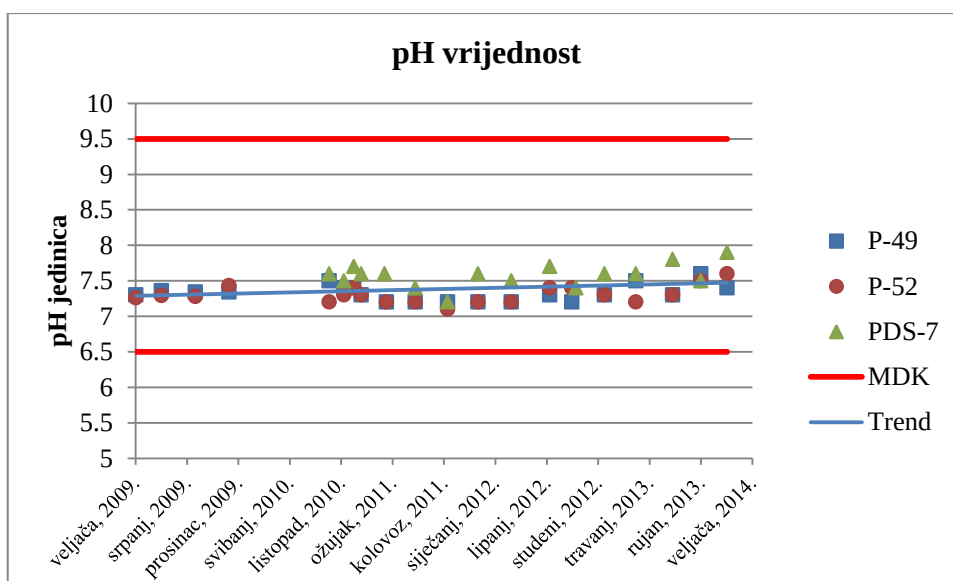
Slika 4.22. Boja u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.23 prikazane su vrijednosti mutnoće podzemne vode. Kao i u slučaju priljevnog područja crpilišta Nedelišće, kod sva tri piezometra izmjerene su vrijednosti koje prelaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 4 NTU, ali sada i uz lagani porast linije trenda.



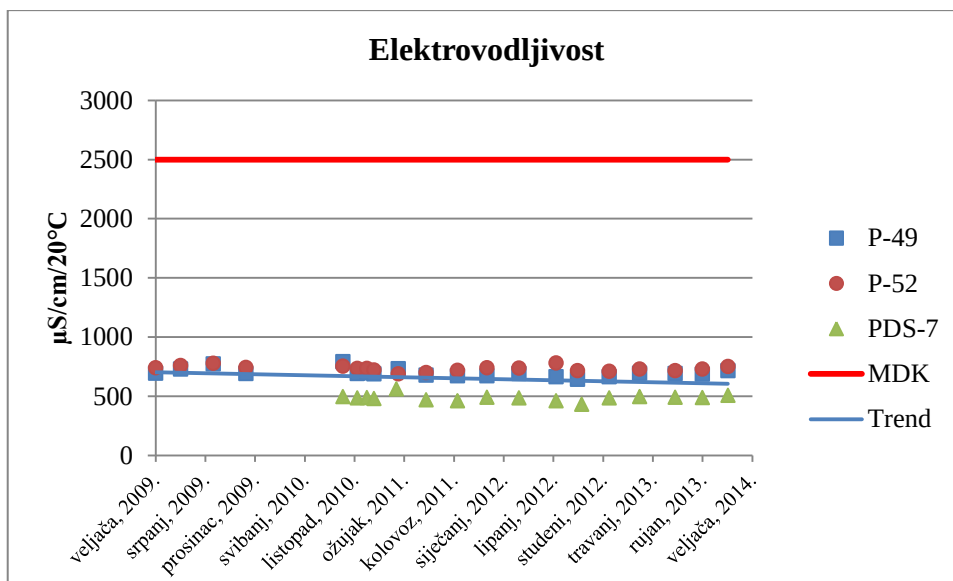
Slika 4.23. Mutnoća u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Vrijednosti pH nalaze se u granicama dopuštenih koncentracija između 6,5 – 9,5. Izmjerene vrijednosti vodikovih iona na svim piezometrima veće su od 7, iz čega proizlazi kako je podzemna voda priljevnog područja crpilišta Prelog blago bazična (slika 4.24).



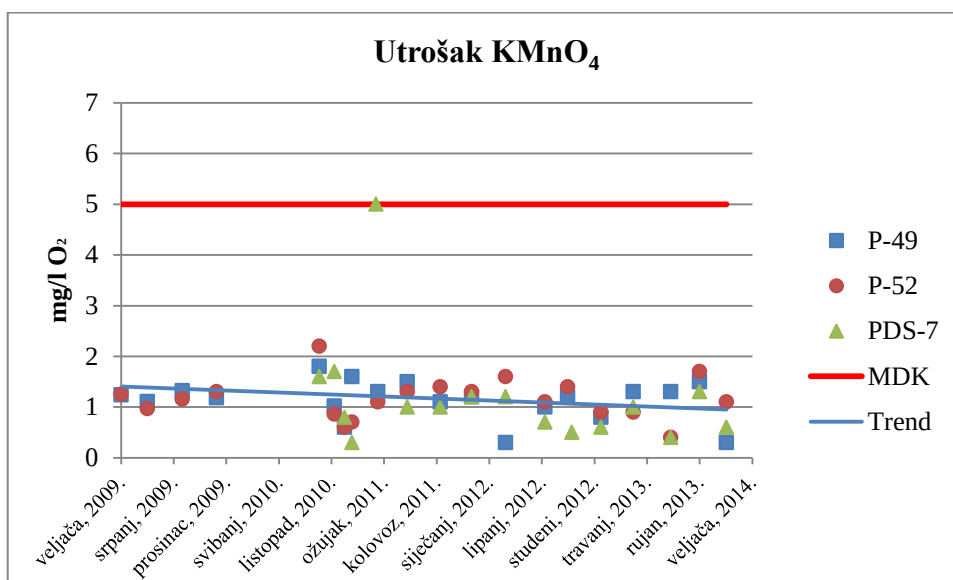
Slika 4.24. pH vrijednost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.25 prikazane su vrijednosti elektrovodljivosti. Maksimalno dozvoljena koncentracija za elektrovodljivost iznosi 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ i unatoč tome što kod piezometara P-49, P-52 i PDS-7 nije dosegnuta vrijednosti ukazuju na određene količine otopljenih krutih tvari u podzemnim vodama. Linija trenda nalazi se u blagom opadanju.



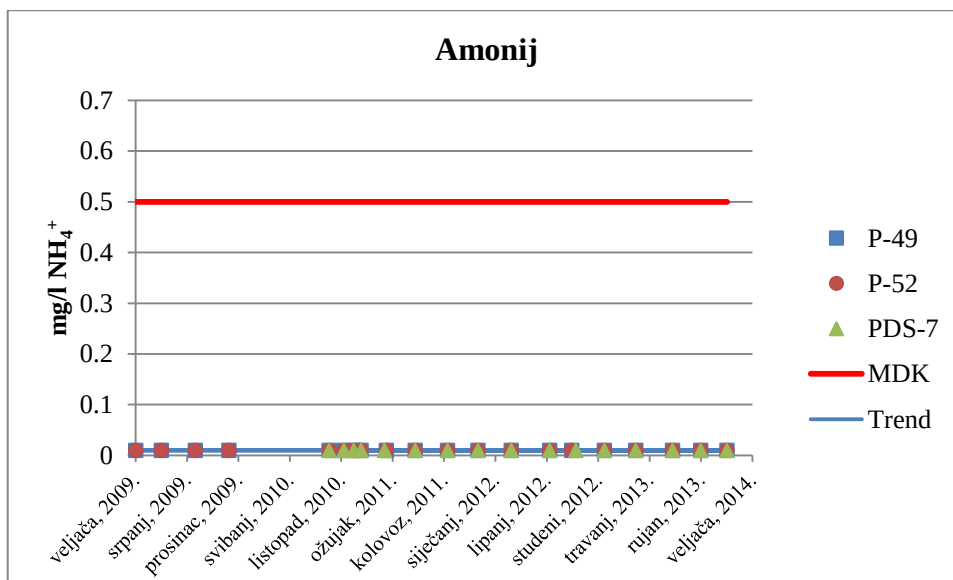
Slika 4.25. Elektrovodljivost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Vrijednosti utroška KMnO_4 prikazane su slikom 4.26. Tijekom razdoblja mjerenja nisu zabilježene vrijednosti iznad MDK koja za ovaj pokazatelj iznosi 5 mg/l O_2 te je jasno izražena negativna tendencija kretanja. 23.02.2011. vrijednost utroška KMnO_4 izmjerena na piezometru PDS-7 iznosila je graničnih 5 mg/l O_2 te kao takva predstavlja i maksimalnu vrijednost izmjerenu u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog.



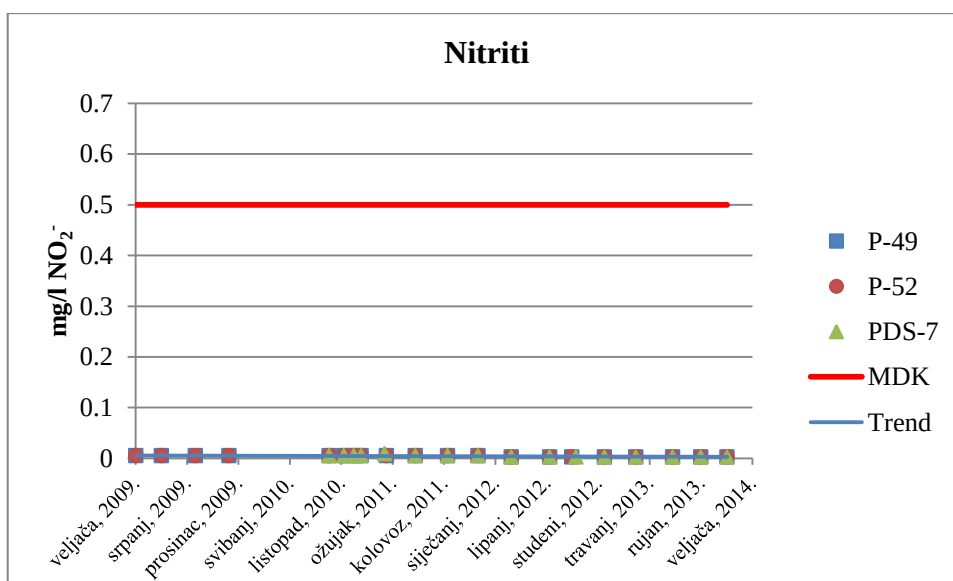
Slika 4.26. Utrosak KMnO_4 u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.27. prikazane su vrijednosti amonija izmjerene u piezometrima P-49, P-52 i PDS-7. Vrijednosti se kreću do najviše 0,01 mg/l NH_4^+ uz neizraženu liniju trenda. Maksimalno dozvoljena koncentracija ovog parametra iznosi 0,5 mg/l NH_4^+ pa su vrijednosti izmjerene u sva tri piezometra zanemarive.



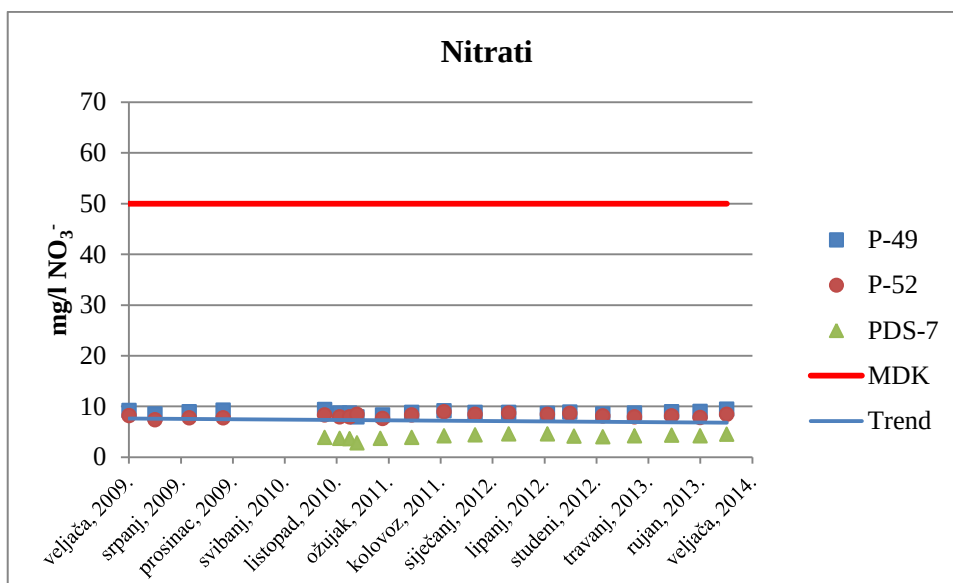
Slika 4.27. Amonij u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Koncentracije nitrita kreću se u granicama znatno nižim od MDK iznosa 0,5 mg/l NO_2^- (slika 4.28). Za vrijeme perioda mjerenja one su se kretale u intervalu od 0,003 do 0,009 mg/l NO_2^- uz negativnu liniju trenda.



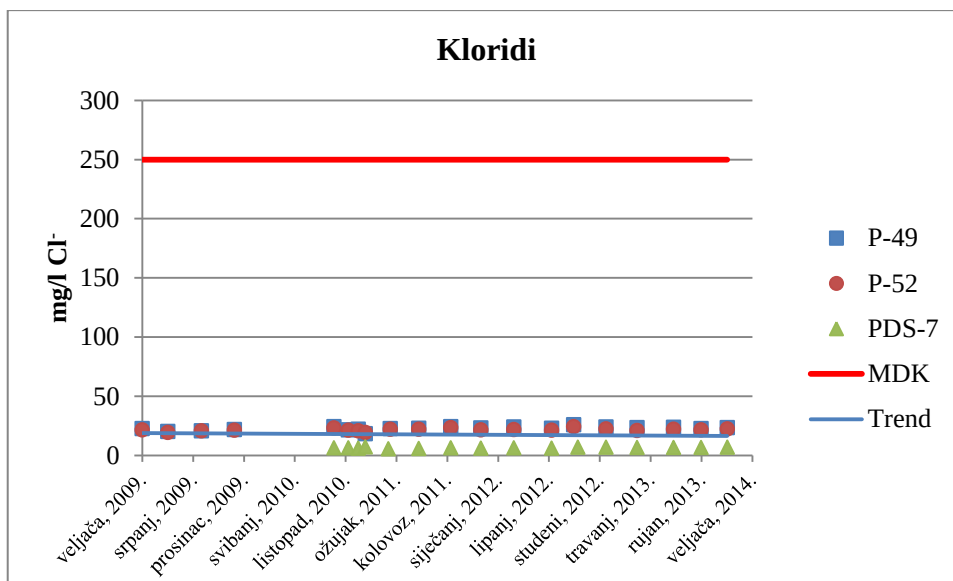
Slika 4.28. Nitriti u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.29 prikazane su vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog. Iz analize proizlazi da vrijednosti nitrata niti na jednom piezometru ne prelaze vrijednosti od 10 mg/l NO_3^- uz negativan trend, što je slučaj i u podzemnim vodama priljevnog područja Nedelišće. Kako je MDK znatno veći od mjerenih vrijednosti i iznosi 50 mg/l NO_3^- može se zaključiti kako je i na ovom području utjecaj poljoprivredne proizvodnje iznimno nizak te kako je upotreba mineralnih i prirodnih gnojiva svedena na minimum.



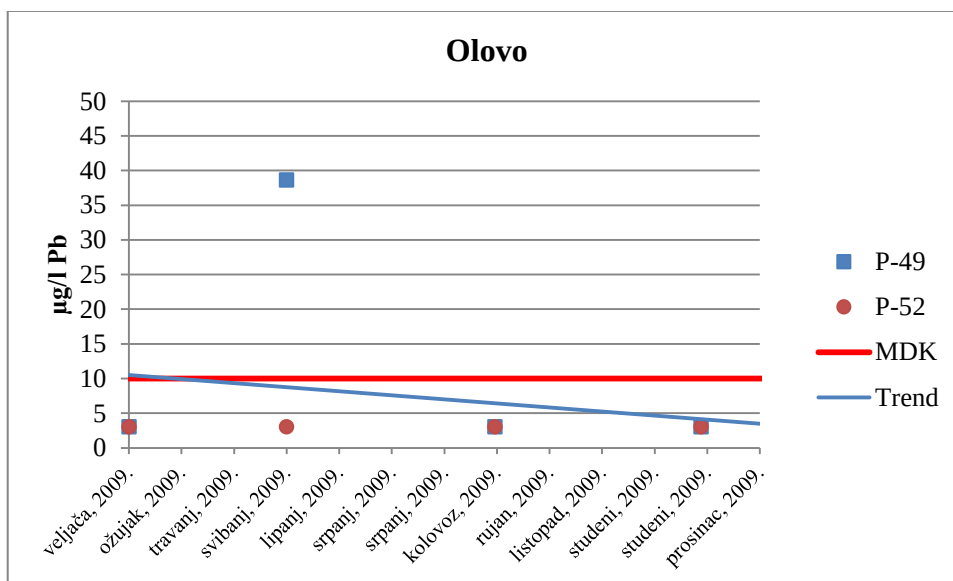
Slika 4.29. Nitrati u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.30. prikazane su mjerene koncentracije klorida u sva tri piezometra pri čemu niti kod jednog ne prelaze vrijednost maksimalno dozvoljene koncentracije koja iznosi 250 mg/l Cl^- . Iznad prosječno zabilježene vrijednosti na piezometrima P-49 i P-52 mogu upućivati na trošenje minerala koji tvori sediment, ali i na neadekvatan sustav odvodnje i utjecaj soljenja prometnica u zimskim mjesecima. Tendencija kretanja pojave ovog parametra u podzemnoj vodi priljenog područja crpilišta Prelog je u opadanju.



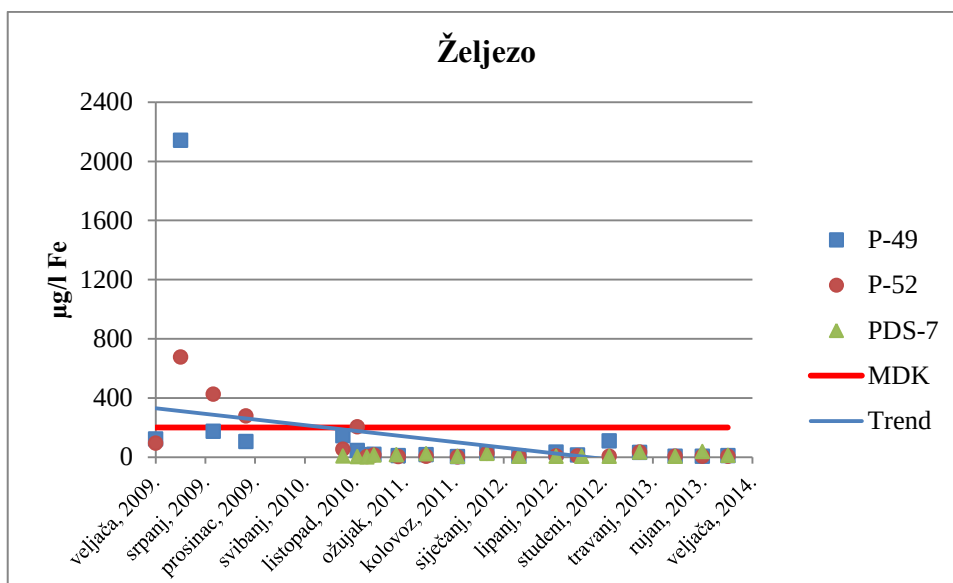
Slika 4.30. Kloridi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Koncentracije olova u podzemnoj vodi na priljevnom području crpilišta Prelog analizirane su u piezometrima P-49 i P-52. U većini slučajeva tijekom perioda dugogodišnjeg mjerenja ne premašuju vrijednost MDK od 10 $\mu\text{g/l Pb}$, izuzev na dan mjerenja 13.05.2009. kada je koncentracija olova u piezometru P-49 iznosila visokih 38,6 $\mu\text{g/l Pb}$ (slika 4.31). Kako se zabilježena vrijednost viša od MDK pojavila na samom početku perioda mjerenja i kako su kasnije uslijedile koncentracije u granicama maksimalno dozvoljene, linija trenda se i ovdje nalazi u znatnom opadanju.



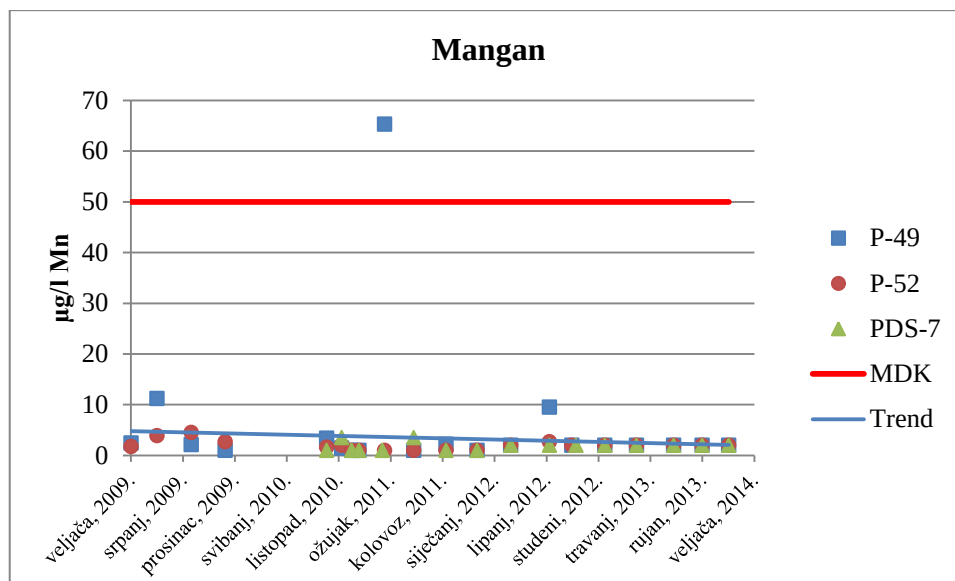
Slika 4.31. Olovo u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Koncentracija željeza izmjerena na piezometru P-49 na dan 13.05.2009. te one izmjerene u periodu između svibnja 2009. i kraja 2010. na piezometru P-52 bile su u pravilu više od MDK pri čemu je maksimum dosegnut već na samom početku mjerenja, u svibnju 2009., kada je vrijednost iznosila golemih 2140 $\mu\text{g/l}$ Fe. Od početka 2011. do kraja vršenja monitoringa, vrijednosti koncentracija željeza imale su tendenciju pada vrijednosti i nisu prelazile razinu MDK, koja u podzemnoj vodi za ovaj parametar iznosi 200 $\mu\text{g/l}$ Fe (slika 4.32).



Slika 4.32. Željezo u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

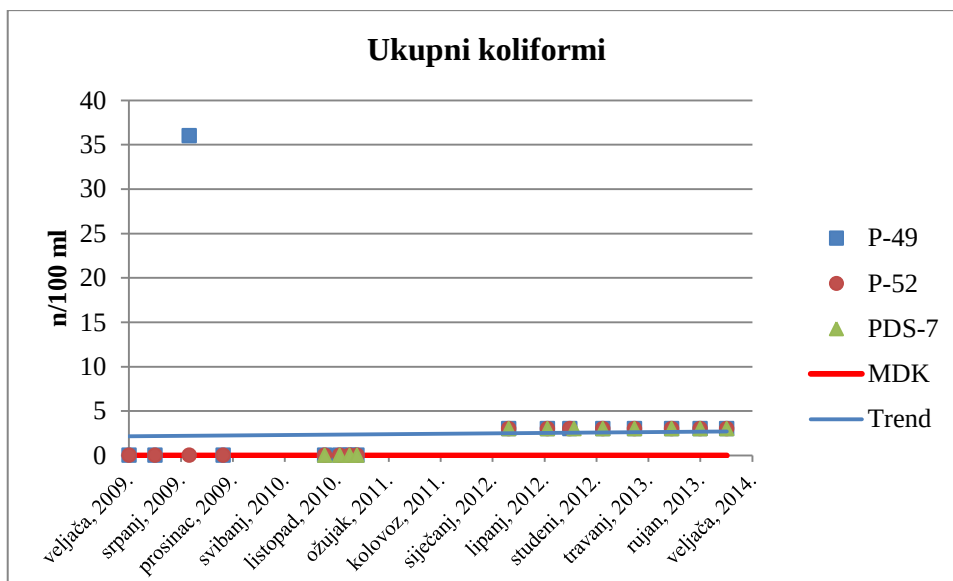
Na slici 4.33 prikazane su vrijednosti mangana u podzemnoj vodi priljevnog područja Prelog. Proječna vrijednost koncentracije mangana u podzemnoj vodi spomenutog područja kreće se oko 3,2 $\mu\text{g/l}$ Mn. Vrijednosti izmjerene na na piezometrima P-52 i PDS-7 nalaze se ispod razine MDK tijekom cijelog perioda mjerenja i maksimalno dosežu vrijednost od 4,5 $\mu\text{g/l}$ Mn, dok iznimku čini jedan podatak izmjeren na dan 01.03.2011. na piezometru P-49, kada se vrijednost koncentracije mangana nalazila nešto iznad granice MDK i iznosila 65,3 $\mu\text{g/l}$ Mn. Tendencija opadanja vrijednosti koncentracija primijećena je i kod ovog pokazatelja.



Slika 4.33. Mangan u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

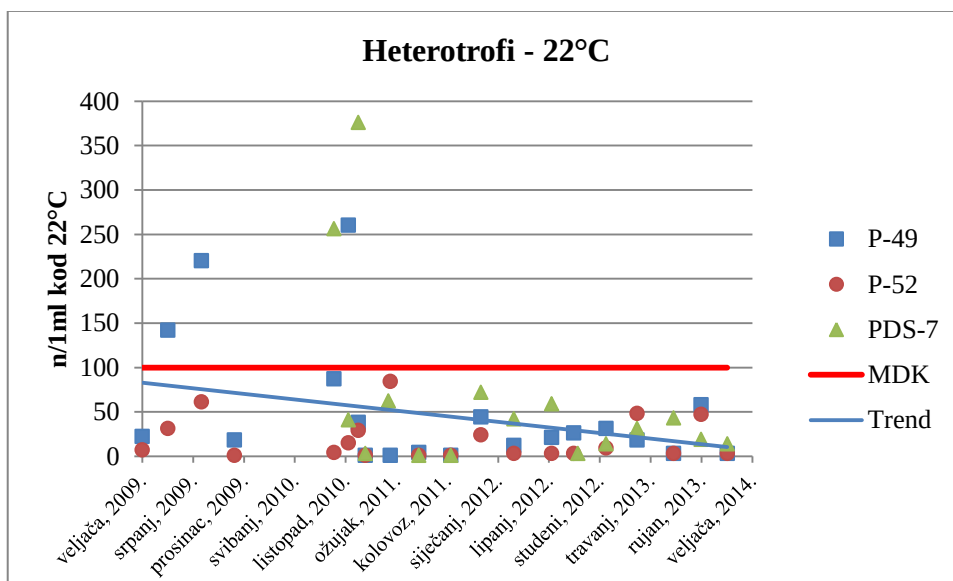
Koncentracije mikrobioloških pokazatelja u podzemnoj vodi Preloga također su blago povišene u odnosu na MDK. Razlog tome, kao i u podzemnoj vodi Nedelišća, ponajviše leži u infiltraciji otpadnih voda u podzemlje i nepostojanju kanalizacijske infrastrukture.

Koncentracije ukupnih koliformnih bakterija za vremensko razdoblje od veljače 2009. do prosinca 2013. prikazane su na slici 4.34. MDK koliformnih bakterija u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 0/100 ml, odnosno ne bi ih smjelo biti u ispravnoj vodi za ljudsku potrošnju. Vrijednosti izmjerene na piezometrima P-52 i PDS-7 su do veljače 2012. iznosile 0/100 ml, da bi nakon toga vrijednosti porasle na oko 3 bakterije po 100 ml tekućine. Vrijednosti izmjerene na piezometru P-49 su gotovo identične kao i na prethodno spomenuta dva piezometra, uz iznimku koncentracije izmjerene na dan 20.08.2009. kada je vrijednost iznosila 36/100 ml. Tendencija kretanja vrijednosti koncentracija koliformnih bakterija je u blagom porastu.



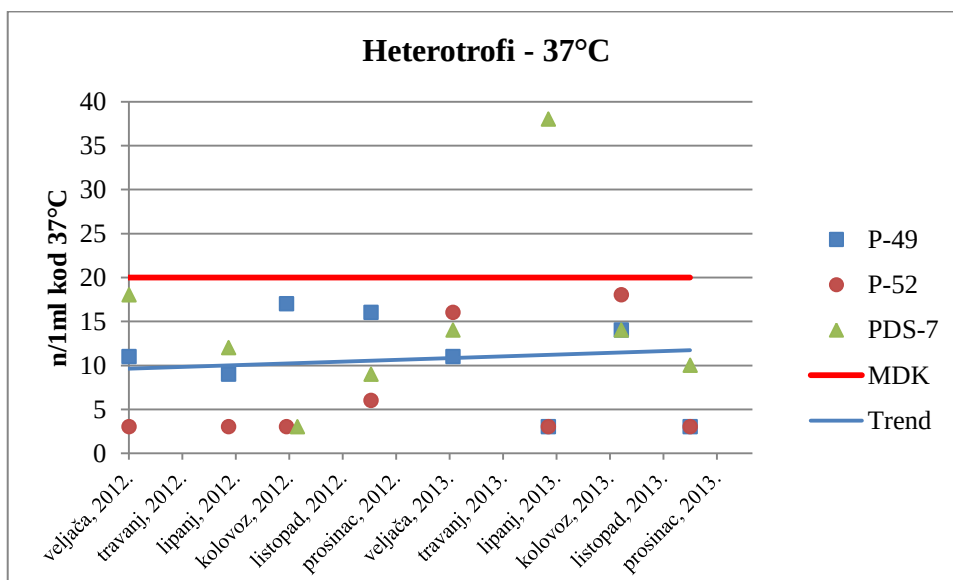
Slika 4.34. Ukupni koliformi u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Slika 4.35 prikazuje broj kolonija heterotrofnih bakterija na temperaturi od 22°C. Kod većine mjerenja broj kolonija se kretao ispod MDK od 100 kolonija po ml uz negativan trend, ali do prosinca 2010. na piezometrima P-49 i PDS-7 vrijednosti su znale odskakati od granice dozvoljene koncentracije. Maksimalna vrijednost zabilježena je na piezometru PDS-7 na dan 26.11.2010. i iznosila je 376 kolonija po ml, dok se prosječna vrijednost koncentracija heterotrofnih bakterija na priljevnom području crpilišta Prelog kreće oko 43,30 kolonija po ml.



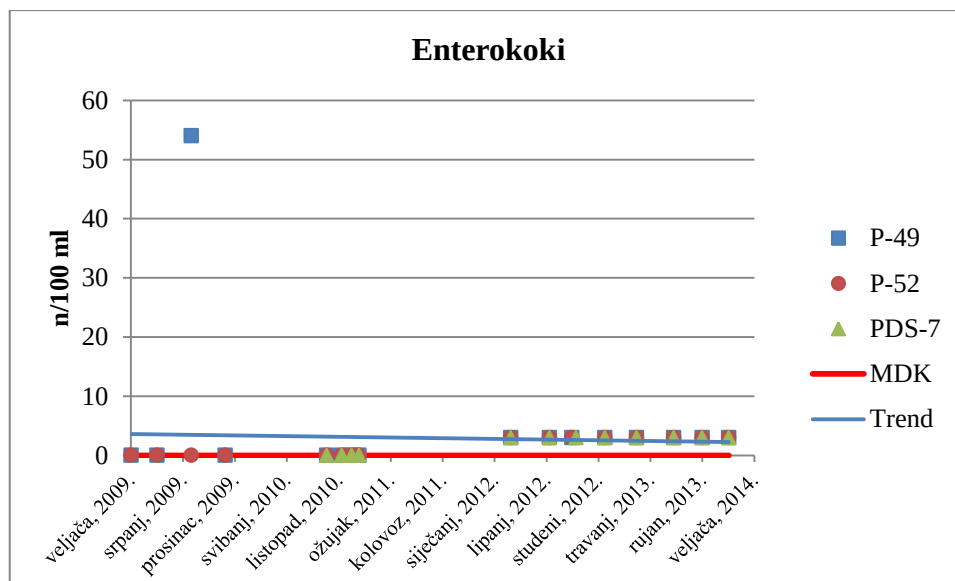
Slika 4.35. Heterotrofi kod 22°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Vrijednosti broja kolonija heterotrofnih bakterija nastalih prilikom inkubacije na 37°C kretale su se generalno ispod granice MDK od 20 kolonija po ml. Maksimalna koncentracija zabilježena je na piezometru PDS-7 i iznosila je 38 kolonija po ml te je ujedno to i jedini podatak koji je viši od MDK. Tendencija kretanja vrijednosti koncentracija heterotrofnih bakterija je i ovdje u blagom porastu.



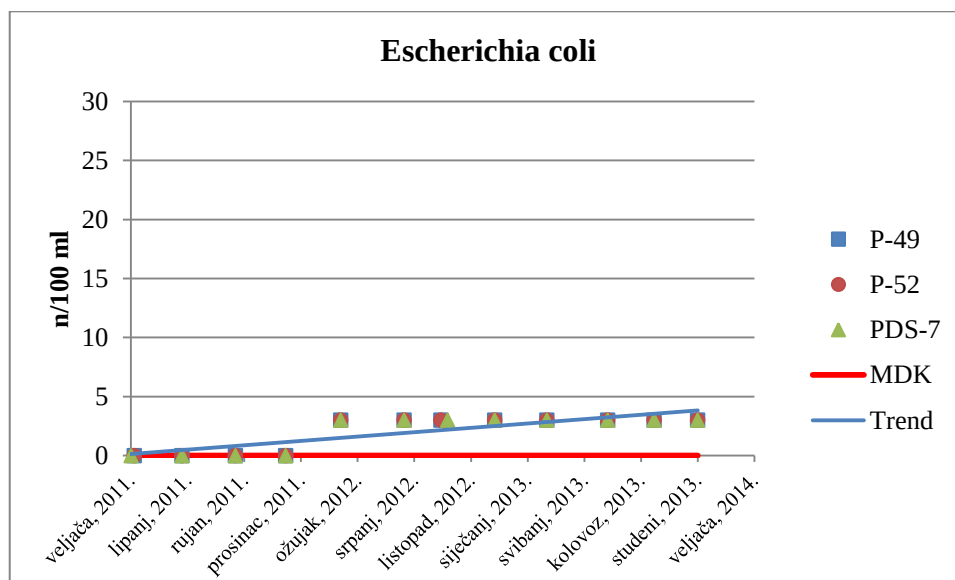
Slika 4.36. Heterotrofi kod 37°C u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.37 prikazane su zabilježene vrijednosti enterokoka na piezometrima P-49, P-52 i PDS-7. Gotovo sve vrijednosti koncentracija enterokoka zabilježe do veljače 2012. iznosile su 0/100 ml, osim podatka zabilježenog 20.08.2009. na piezometru P-49 koji je značajno prelazio iznos MDK od 0 bakterija na 100 ml. Od veljače 2012. pa sve do kraja promatranog intervala praćenja kakvoće podzemne vode na području crpilišta Prelog, vrijednosti su se na svim piezometrima kretale iznad MDK i iznosile su oko 3/100 ml. Trend linija zabilježenih koncentracija enterokoka u blagom je opadanju.



Slika 4.37. Enterokoki u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Maksimalna dozvoljena koncentracija *Escherichia-e coli* u podzemnoj vodi iznosi 0/100 ml. Do veljače 2012. zabilježene koncentracije na svim promatranim piezometrima iznosile su 0/100 ml, da bi vrijednosti izmjerene nakon toga iznosile u prosjeku oko 3 bakterije na 100 ml uzorka (slika 4.38).

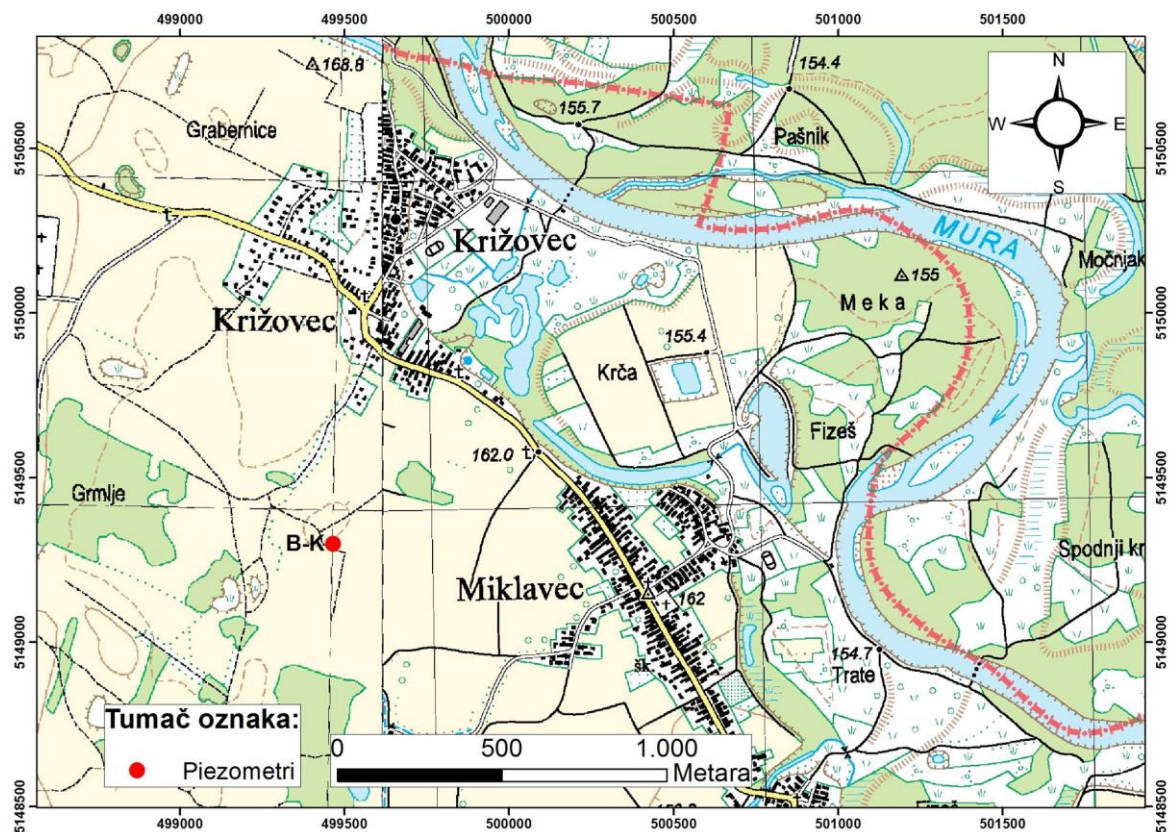


Slika 4.38. *Escherichia coli* u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

4.3. Dolina Mure

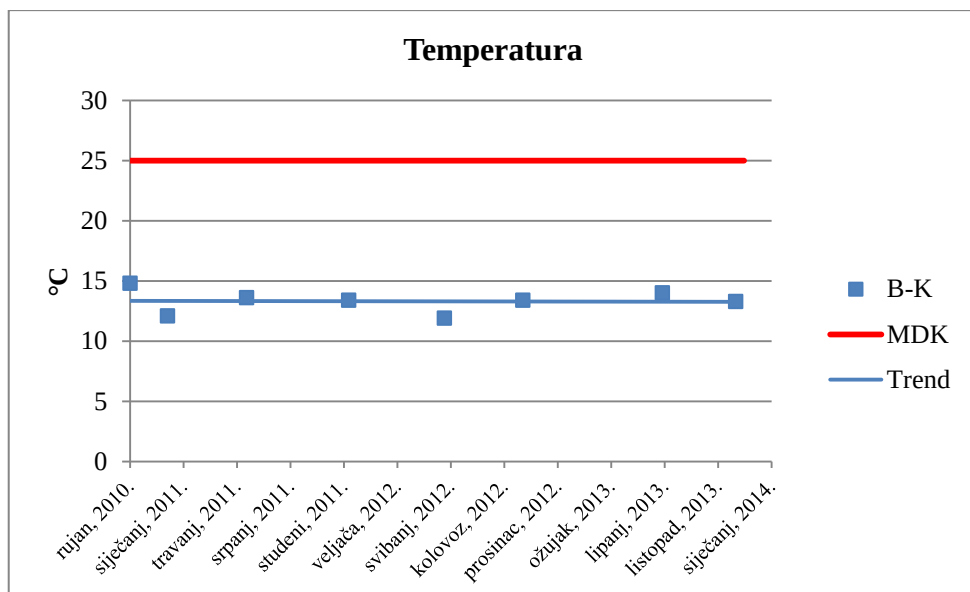
Vodonosni sloj izgrađen je pretežito od pjeskovito-šljunkovitih naslaga i istaložen je na dubini od 0,5 – 9 m. Krovinu vodonosnog sloja čine naslage praha i gline, a ponegdje i samo slabopropusne naslage humusa (HGI, 2007).

Za potrebe uzorkovanja podzemnih voda s područja murske doline izveden je piezometar oznake B-K, smješten južno od mjesta Križovec te zapadno od Miklaveca.



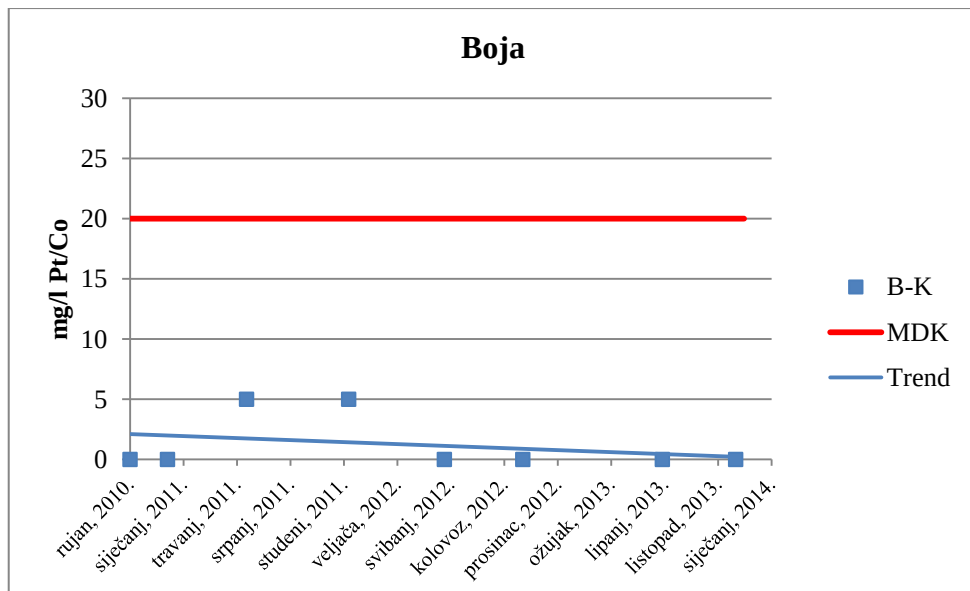
Slika 4.39. Situacija doline Mure

Na slici 4.40 prikazane su vrijednosti temperature u °C. Na području murske doline izmjerene vrijednosti temperature uzorkovanih voda kreću se od 11,9 do 14,8 °C te nisu vidljiva odstupanja od MDK. Tendencija kretanja nije izražena.



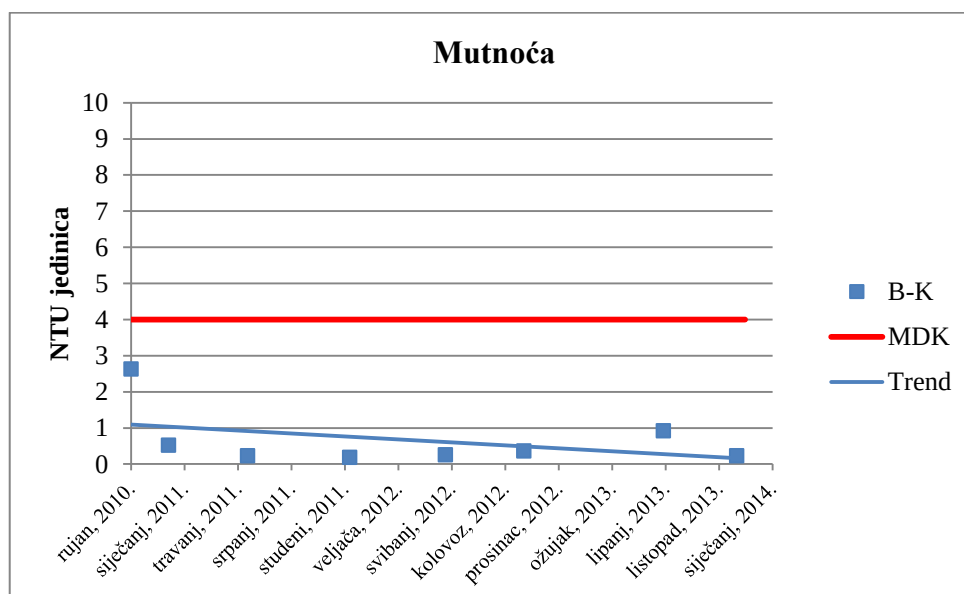
Slika 4.40. Temperatura u podzemnoj vodi murske doline

Maksimalno dozvoljena koncentracija boje u podzemnoj vodi iznosi 20 mg/l Pt/Co. Vrijednosti izmjerene u podzemnoj vodi murske doline ne prelaze vrijednosti MDK te je prisutan negativan trend (slika 4.41).



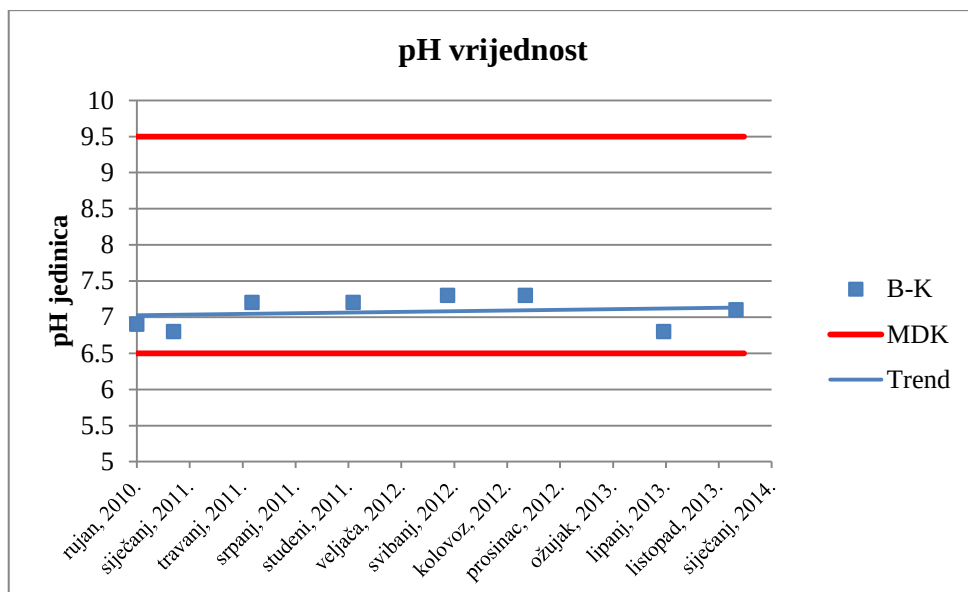
Slika 4.41. Boja u podzemnoj vodi murske doline

Na slici 4.42 prikazane su vrijednosti mutnoće podzemne vode izmjerene na piezometru B-K. Makimalno zabilježena koncentracija iznosila je 2,63 NTU te nije zabilježen niti jedan podatak koji prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 4 NTU. Linija trenda je u opadanju. Prema izmjerenim pH vrijednostima na piezometru B-K voda na području murske doline je blago kisela do bazična, što zasigurno doprinosi i manjoj mutnoći podzemne vode od one na područjima Nedelišća i Preloga.



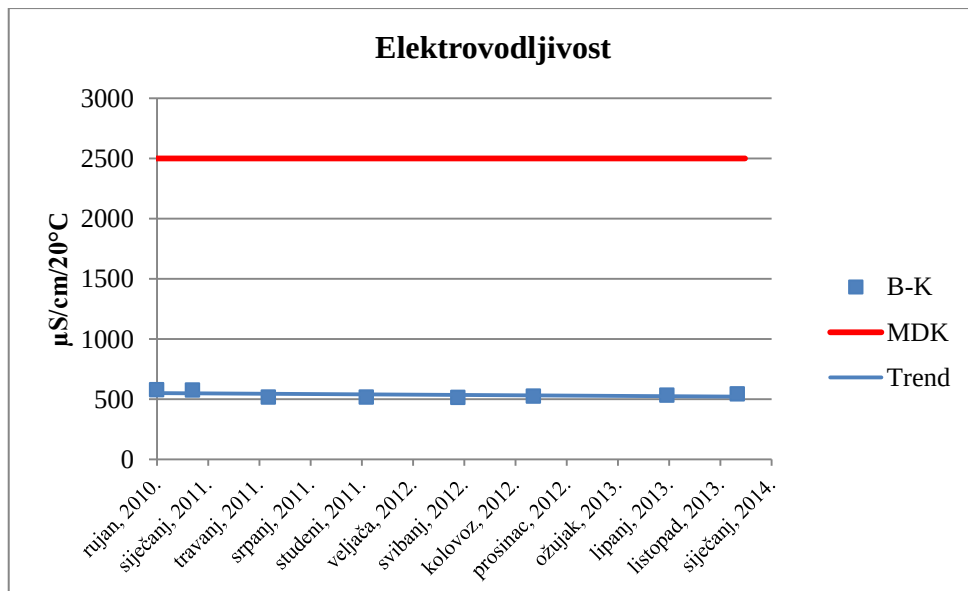
Slika 4.42. *Mutnoća u podzemnoj vodi murske doline*

pH vrijednosti nalaze se u granicama dopuštenih koncentracija između 6,5 – 9,5. Vrijednosti izmjerene na piezometru B-K kreću se u intervalu od 6,8 do 7,3 uz blagi porast tendencije kretanja vrijednosti, na temelju kojih je podzemna voda murske doline okarakterizirana kao blago kisela do bazična (slika 4.43).



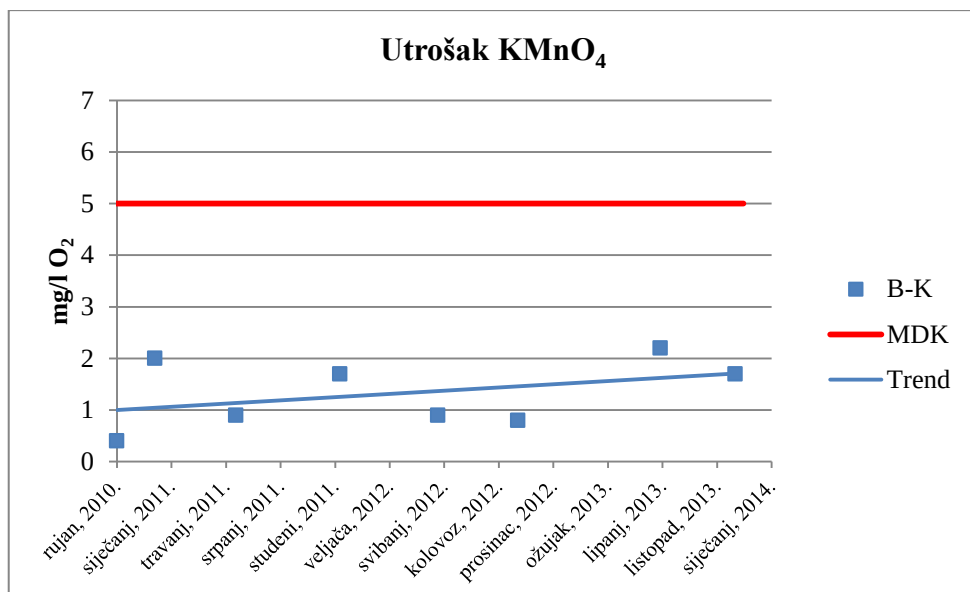
Slika 4.43. pH vrijednost u podzemnoj vodi murske doline

Maksimalno dozvoljena elektrovodljivost u podzemnoj vodi iznosi 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$. Elektrovodljivosti izmjerene u podzemnoj vodi murske doline na piezometru B-K iznosile su između 515 i 578 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ uz negativan trend (slika 4.44).



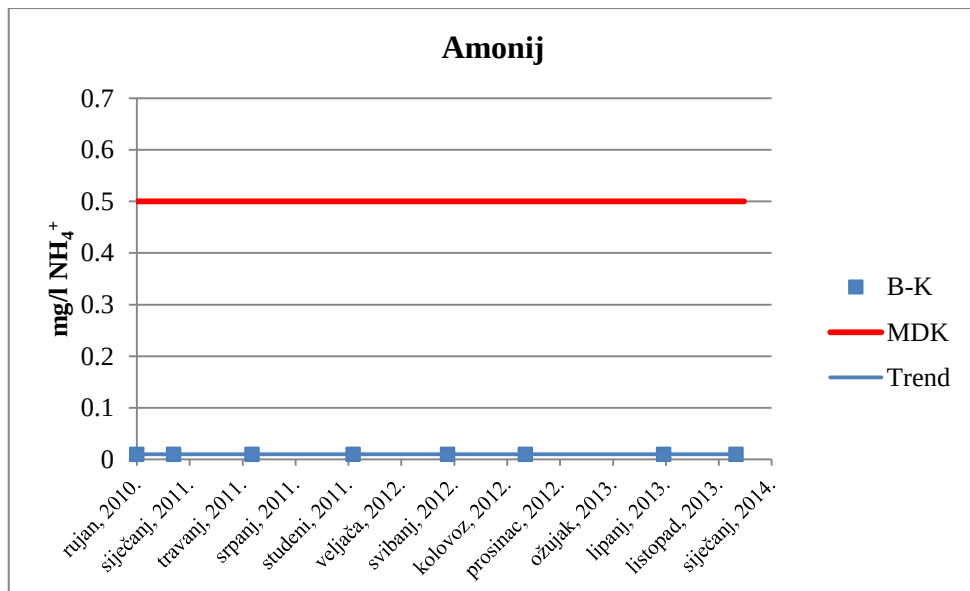
Slika 4.44. Elektrovodljivost u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Prelog

Na slici 4.45 prikazane su vrijednosti utroška KMnO_4 . Koncentracije se kreću u granicama od 0,4 do 2,2 $\text{mg}/\text{l O}_2$ uz povišenu liniju trenda, što je manje od 5 $\text{mg}/\text{l O}_2$ koliko iznosi MDK ovog pokazatelja.



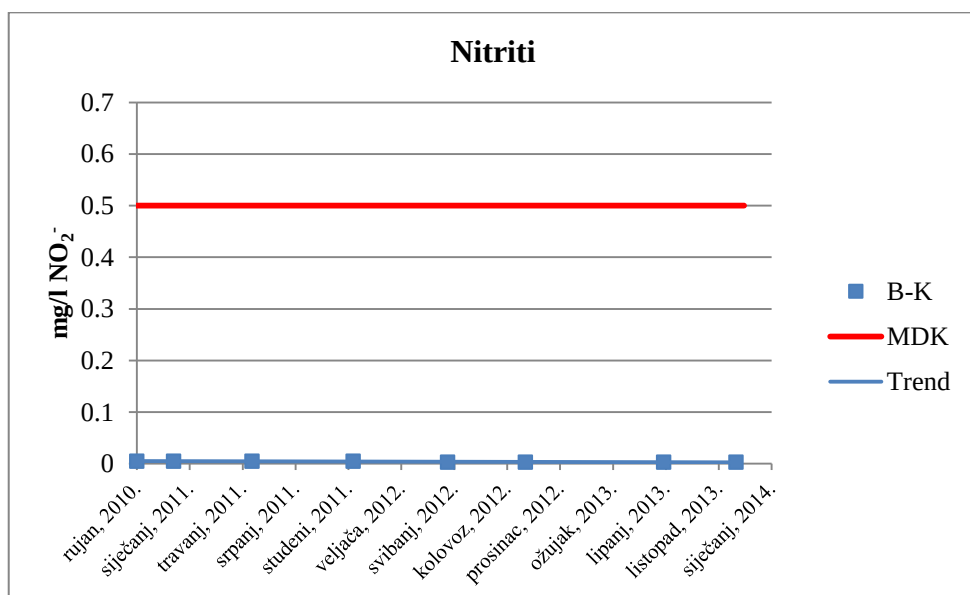
Slika 4.45. *Utrošak KMnO_4 u podzemnoj vodi murske doline*

Vrijednosti amonija izmjerene u piezometru B-K na području murske doline iznose do najviše 0,01 mg/l NH_4^+ uz prisutnost neizraženog trenda (slika 4.46). Izmjerene vrijednosti su iznimno niske i MDK iznosa 0,5 mg/l NH_4^+ nije dosegnuta.



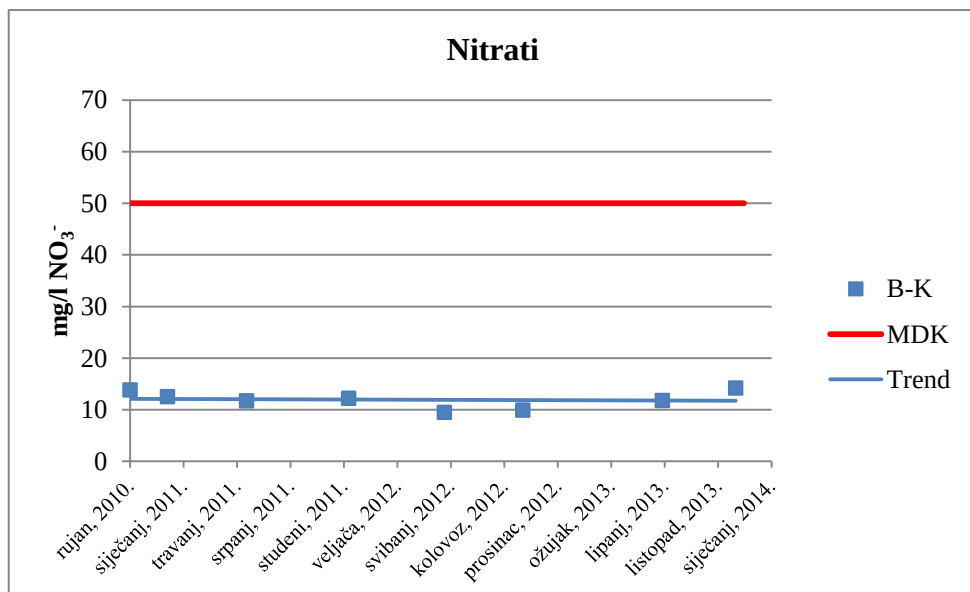
Slika 4.46. *Amonij u podzemnoj vodi murske doline*

Zabilježene koncentracije nitrita nisu prelazile granicu MDK koja iznosi 0,5 mg/l NO_2^- (slika 4.47). Vrijednosti su se kretale u intervalu od 0,003 do 0,005 mg/l NO_2^- . Tendencija kretanja vrijednosti koncentracija nitrita je u gotovo neprimjetnom smanjivanju.



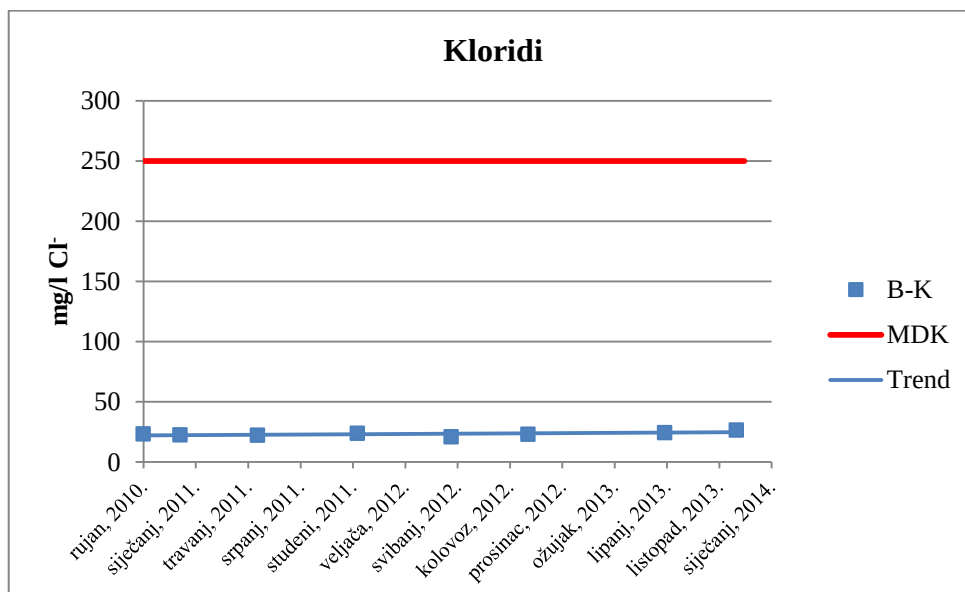
Slika 4.47. Nitriti u podzemnoj vodi murske doline

Vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi murske doline prikazane su na slici 4.48. Izmjerene koncentracije nitrata iznosile su od 9,5 do 14,2 mg/l NO₃⁻ uz neprimjetan pad trend linije te nisu prelazile maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 50 mg/l NO₃⁻. Na području murske doline uviđa se lagani porast vrijednosti nitrata kao posljedice lokalnog utjecaja, tj. zapažene povišene koncentracije posljedica su intenzivnije poljoprivredne proizvodnje nego u ostalim dijelovima Međimurja te neizgrađenog kanalizacijskog sustava.



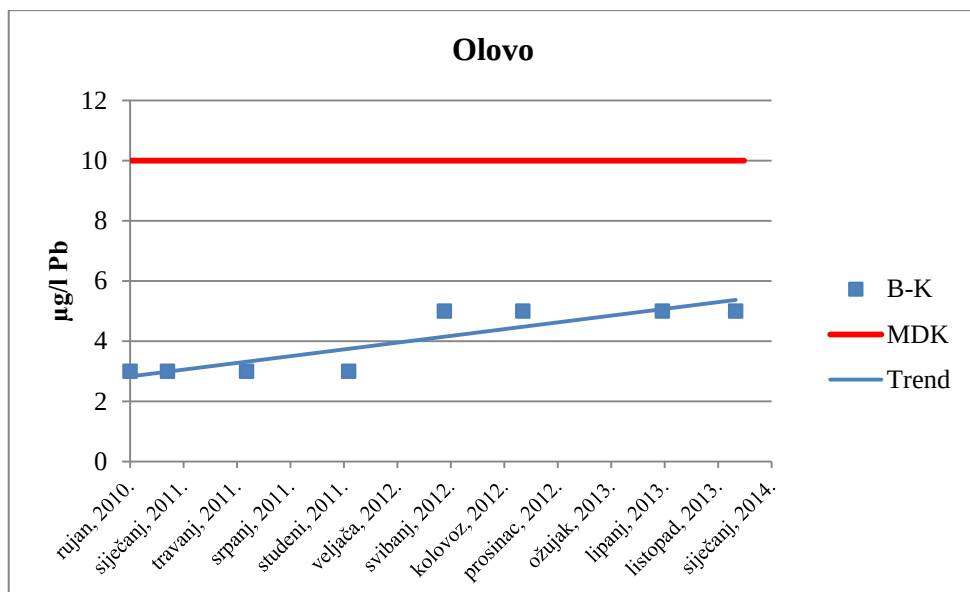
Slika 4.48. Nitrati u podzemnoj vodi murske doline

Na slici 4.49. prikazane su koncentracije klorida u podzemnoj vodi murske doline izmjerene na piezometru B-K. Vrijednosti se nalaze u rasponu od 20,9 i 26,5 mg/l Cl⁻ pri čemu niti jedan zabilježeni podatak ne prelazi vrijednost maksimalno dozvoljene koncentracije koja iznosi 250 mg/l Cl⁻, ali njegova blago povišena vrijednost može biti rezultat već ranije spomenutog trošenja minerala, soljenja prometnica ili otpadnih voda. Linija trenda je u minimalnom porastu.



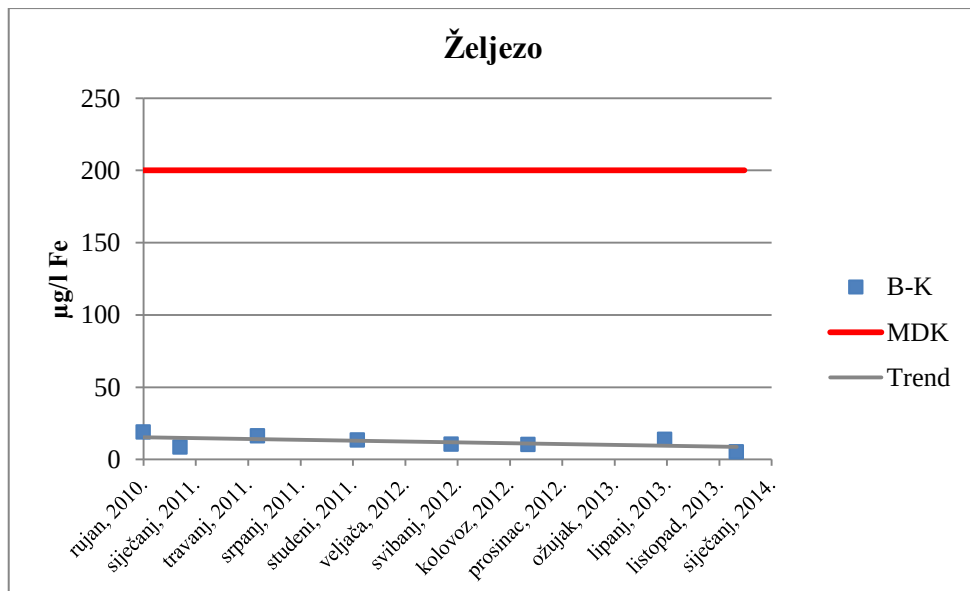
Slika 4.49. Kloridi u podzemnoj vodi murske doline

Na slici 4.50 prikazane su koncentracije olova u podzemnoj vodi murske doline zabilježene na piezometru B-K. Iako se sve izmjerene vrijednosti nalaze ispod granice MDK od 10 µg/l Pb, iz grafičkog prikaza vidljiv je nagli porast vrijednosti koncentracija nakon 08.05.2012. Jedan od razloga se zasigurno nalazi i u metalurškoj proizvodnji te intenzivnom rudarenju u Austriji i Sloveniji, prilikom kojih se otpadne industrijske i rudničke vode ispuštaju u rijeku Muru. Otpadne vode u sebi sadržavaju i teške metale u obliku finih sedimenata, koji se nošeni Murom onda talože na području istraživanja (HGI, 2007).



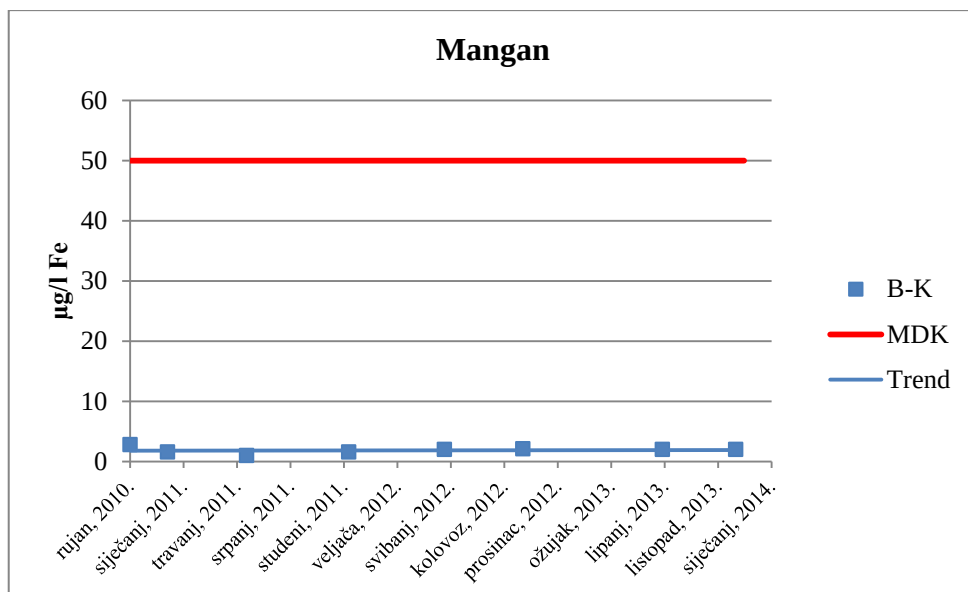
Slika 4.50. Olovo u podzemnoj vodi murske doline

Koncentracije željeza zabilježene na području murske doline nisu prelazile granicu od 20 µg/l Fe, odnosno 10% maksimalno dozvoljene koncentracije od 200 µg/l Fe (slika 4.51). Trend linija vrijednosti koncentracija željeza nalazi se u blagom padu.



Slika 4.51. Željezo u podzemnoj vodi murske doline

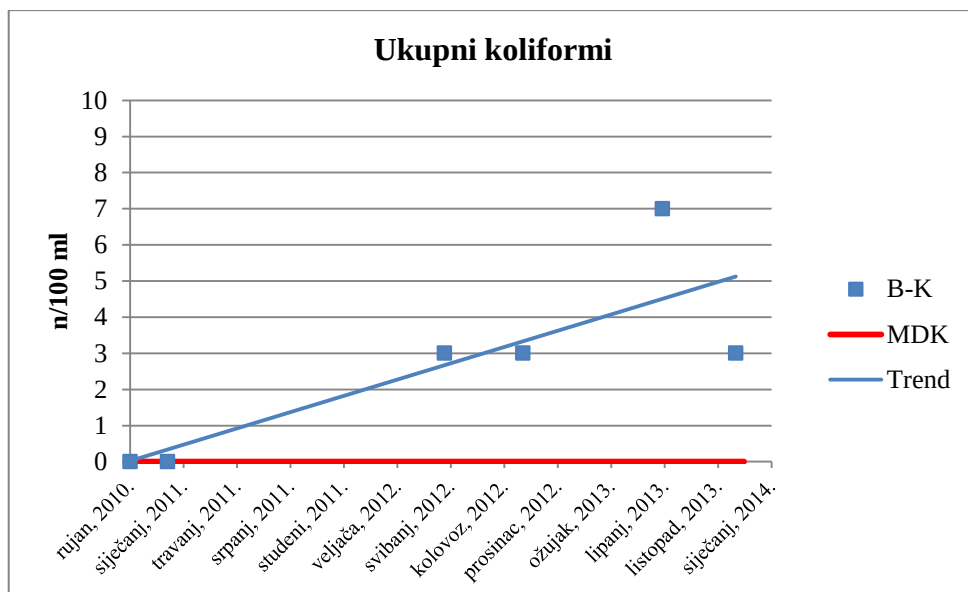
Proječna vrijednost izmjerenih koncentracija mangana u podzemnoj vodi murske doline iznosi oko 1,9 µg/l Mn, dok je maksimalno zabilježena vrijednost iznosila za MDK niskih 2,8 µg/l Mn (slika 4.52).



Slika 4.52. *Mangan u podzemnoj vodi murske doline*

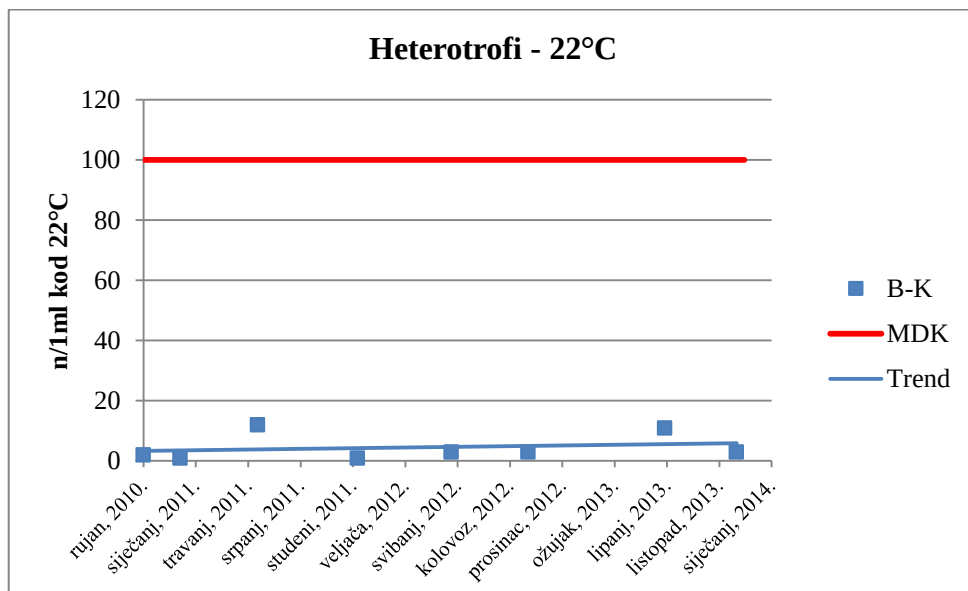
Na temelju dobivene analize iz piezometra B-K, vidljivo je mikrobiološko opterećenje vode murske doline. Ova konstatacija je posljedica toga što je na području aluvija i rijeke Mure najrazvijenija industrija i poljoprivredna proizvodnja te nije izgrađen adekvatan kanalizacijski sustav odvodnje. Također, lošijoj kvaliteti podzemne vode u pojedinim dijelovima aluvija te murske doline pridonose i prirodni geokemijski uvjeti koji vladaju u ovim vodonosnicima. Statistički gledano, u području murske doline samo je 14% uzoraka podzemne vode ispravno za piće (HGI, 2007).

Na slici 4.53 prikazane su koncentracije ukupnih koliformnih bakterija. Koncentracije izmjerene na piezometru B-K do svibnja 2012. iznosile su po pravilniku zadovoljavajućih 0/100 ml, da bi nakon mjerenja 08.05.2012. one prelazile MDK koliformnih bakterija u vodi za ljudsku potrošnju te dosezale i maksimalne vrijednosti od 7/100 ml. Tendencija kretanja vrijednosti koncentracija koliformnih bakterija je u značajnom porastu.



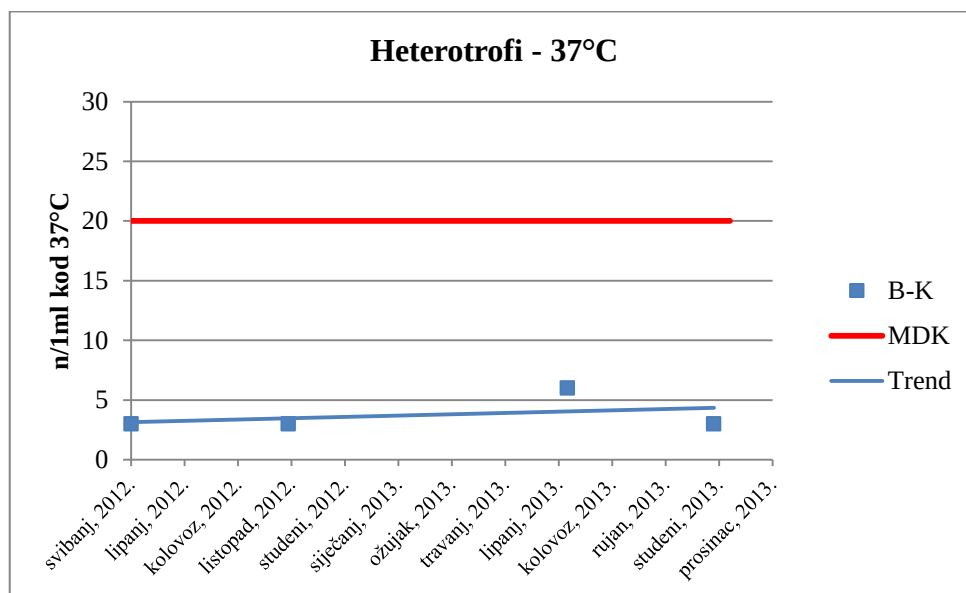
Slika 4.53. Ukupni koliformi u podzemnoj vodi murske doline

Broj kolonija heterotrofnih bakterija na temperaturi od 22°C u podzemnoj vodi murske doline prikazan je na slici 4.54. Izmjereni podaci ne odstupaju od maksimalno dozvoljene koncentracije iznosa 100 kolonija po ml, no uočen je lagani porast trend linije. Maksimalna zabilježena vrijednost kolonija iznosila je 12/ml, dok je prosječna vrijednost izmjerenih koncentracija heterotrofa kod 22°C iznosila oko 4,5 kolonija po ml.



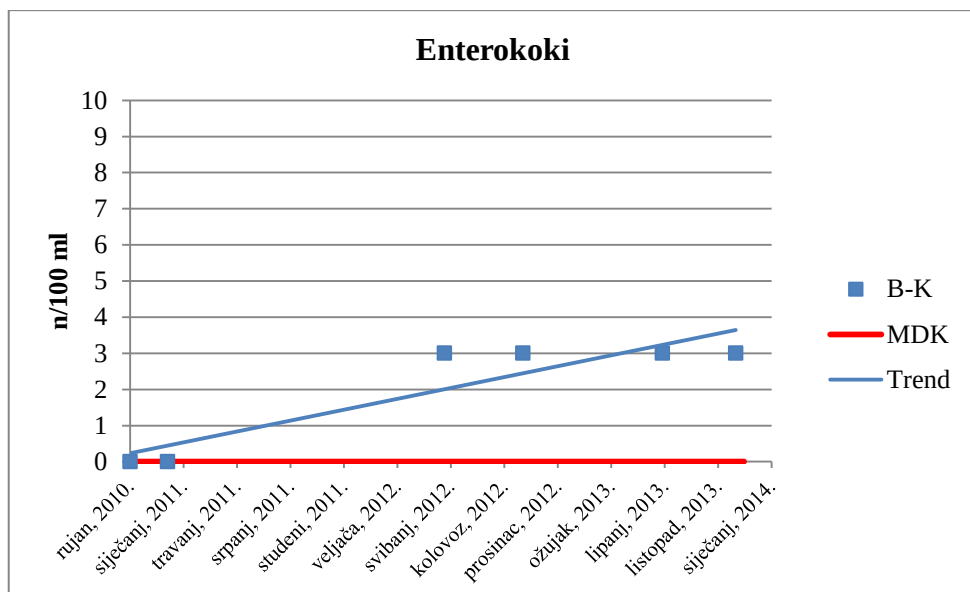
Slika 4.54. Heterotrofi kod 22°C u podzemnoj vodi murske doline

Na slici 4.55 prikazane su vrijednosti broja kolonija heterotrofnih bakterija nastalih prilikom inkubacije na 37°C. Koncentracije mjerene u uzorcima podzemne vode uzetih sa piezometra B-K ukazuju na lagani porast broja kolonija heterotrofa kod 37 °C, ali te vrijednosti se i dalje kreću dosta ispod razine MDK od 20 kolonija po ml. Maksimalna koncentracija zabilježena je 20.06.2013. i iznosila je 6 kolonija po ml.



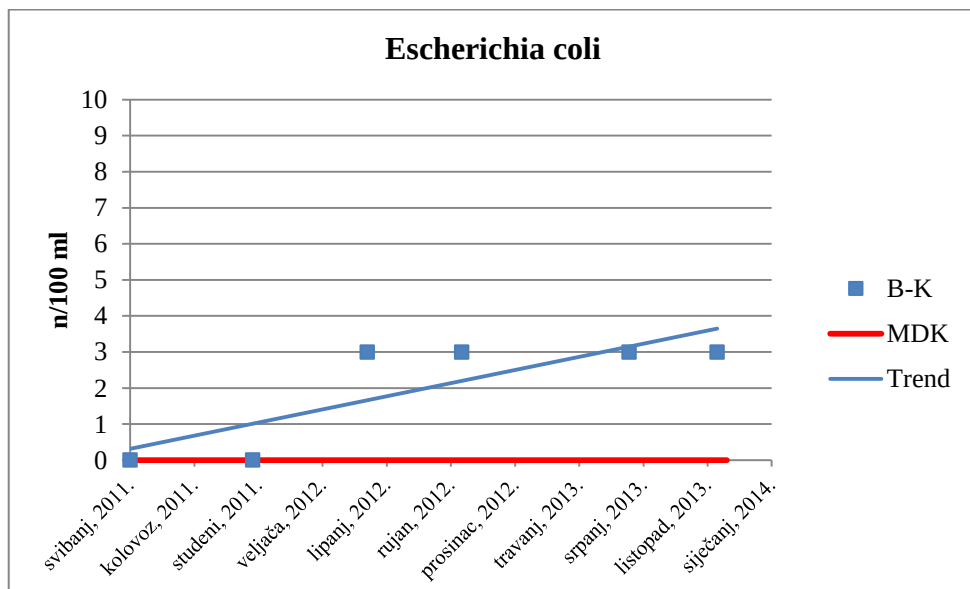
Slika 4.55. Heterotrofi kod 37°C u podzemnoj vodi murske doline

Vrijednosti bakterije *Enterococcus faecalis* izmjerenih na piezometru B-K nalazile su se u granicama maksimalno dozvoljene koncentracije od 0/100 ml do svibnja 2012. Koncentracije enterokoka zabilježene nakon toga prelaze MDK pri čemu vrijednosti iznose oko 3 bakterije na 100 ml uzorka uz povećani porast trend linije (slika 4.56).



Slika 4.56. Enterokoki u podzemnoj vodi murske doline

Gotovo identično koncentracijama enterokoka izmjerene su i koncentracije *E. coli*. Do svibnja 2012. zabilježene koncentracije imale su ekvivalentnu vrijednost MDK od 0/100 ml, da bi nakon toga one porasle i iznosile oko 3 bakterije na 100 ml uzorka (slika 4.57). Trend linija je i ovdje, uslijed naglog povećanja vrijednosti koncentracija, u značajnijem porastu.



Slika 4.57. *Escherichia coli* u podzemnoj vodi murske doline

5. REZULTATI

Rezultati analize kakvoće podzemne vode, načinjene u odnosu na maskimalno dopuštene koncentracije pojedinih parametara u vodi za piće, u ovom su poglavlju izraženi uz pomoć tablica sa minimalnim, srednjim i maksimalnim vrijednostima parametara (tablica 5.1 do tablica 5.18) zabilježenih tijekom promatranog razdoblja pri čemu je kakvoća vode svakog pojedinog piezometra prikazana zasebnom tablicom. Crvenom bojom u tablici biti će označena ćelija u kojoj vrijednost pojedinog parametra u vodi za piće prelazi maksimalno dopuštenu koncentraciju (MDK), dok će žutom bojom biti označena ćelija sa pozitivnim trendom.

Tablica 5.1. *Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti temperature u podzemnoj vodi na području Međimurja*

TEMPERATURA (°C)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	25	25	25
MINIMUM	10,9	8,00	11,9
MAKSIMUM	16,0	15,4	14,8
SREDNJA VRIJEDNOST	13,1	12,7	13,3
TREND	+		

Tablica 5.2. *Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti boje u podzemnoj vodi na području Međimurja*

BOJA (mg/l Pt/Co)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	20	20	20
MINIMUM	0	0	0
MAKSIMUM	0	0	5,00
SREDNJA VRIJEDNOST	0	0	1,25
TREND			-

Tablica 5.3. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mutnoće u podzemnoj vodi na području Međimurja

MUTNOĆA (NTU jedinica)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	4	4	4
MINIMUM	1,10	1,00	0,190
MAKSIMUM	10,1	8,80	2,63
SREDNJA VRIJEDNOST	5,31	4,51	0,670
TREND	-	+	-

Tablica 5.4. Minimalne, srednje i maksimalne pH vrijednosti u podzemnoj vodi na području Međimurja

pH VRIJEDNOST (pH jedinica)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5
MINIMUM	7,10	7,10	6,80
MAKSIMUM	7,90	7,90	7,30
SREDNJA VRIJEDNOST	7,53	7,39	7,08
TREND	+	+	+

Tablica 5.5. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti elektrovodljivosti u podzemnoj vodi na području Međimurja

ELEKTROVODLJIVOST (µS/cm/20°C)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	2500	2500	2500
MINIMUM	293	431	515
MAKSIMUM	780	790	578
SREDNJA VRIJEDNOST	484	649	538
TREND	-	-	-

Tablica 5.6. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti utroška $KMnO_4$ u podzemnoj vodi na području Međimurja

UTROŠAK $KMnO_4$ (mg/l O_2)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	5	5	5
MINIMUM	0,400	0,300	0,400
MAKSIMUM	4,60	5,00	2,20
SREDNJA VRIJEDNOST	1,24	1,16	1,33
TREND	-	-	+

Tablica 5.7. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti amonijaka u podzemnoj vodi na području Međimurja

AMONIЈAK (mg/l NH_4^+)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	0,5	0,5	0,5
MINIMUM	0,010	0,010	0,010
MAKSIMUM	0,040	0,010	0,010
SREDNJA VRIJEDNOST	0,011	0,010	0,010
TREND	-		

Tablica 5.8. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti nitrita u podzemnoj vodi na području Međimurja

NITRITI (mg/l NO_2)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	0,5	0,5	0,5
MINIMUM	0,003	0,003	0,003
MAKSIMUM	0,005	0,009	0,005
SREDNJA VRIJEDNOST	0,004	0,004	0,004
TREND	-	-	-

Tablica 5.9. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi na području Međimurja

NITRATI (mg/l NO₃)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	50	50	50
MINIMUM	0,900	2,80	9,50
MAKSIMUM	10,9	9,40	14,2
SREDNJA VRIJEDNOST	4,04	7,21	12,0
TREND	+	-	-

Tablica 5.10. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti klorida u podzemnoj vodi na području Međimurja

KLORIDI (mg/l Cl)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	250	250	250
MINIMUM	4,80	5,60	20,9
MAKSIMUM	31,2	25,9	26,5
SREDNJA VRIJEDNOST	13,4	17,6	23,4
TREND		-	+

Tablica 5.11. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti olova u podzemnoj vodi na području Međimurja

OLOVO (µg/l Pb)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	10	10	10
MINIMUM	3,00	3,00	3,00
MAKSIMUM	6,30	38,6	5,00
SREDNJA VRIJEDNOST	3,28	7,45	4,00
TREND	-	-	+

Tablica 5.12. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti željeza u podzemnoj vodi na području Međimurja

ŽELJEZO (µg/l Fe)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	200	200	200
MINIMUM	1,80	1,00	5,30
MAKSIMUM	1540	2140	19,1
SREDNJA VRIJEDNOST	62,6	90,9	12,3
TREND	-	-	-

Tablica 5.13. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mangana u podzemnoj vodi na području Međimurja

MANGAN (µg/l Mn)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	50	50	50
MINIMUM	1,00	1,00	1,00
MAKSIMUM	11,2	65,3	2,80
SREDNJA VRIJEDNOST	2,12	3,30	1,89
TREND	+	-	+

Tablica 5.14. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti ukupnih koliforma u podzemnoj vodi na području Međimurja

UKUPNI KOLIFORMI (n/100 ml)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	0	0	0
MINIMUM	0	0	0
MAKSIMUM	3,00	36,0	7,00
SREDNJA VRIJEDNOST	1,51	2,46	2,67
TREND	+	+	+

Tablica 5.15. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti heterotrofnih bakterija kod 22°C u podzemnoj vodi na području Međimurja

HETEROTROFI - 22°C (n/1 ml)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	100	100	100
MINIMUM	1.00	1.00	1.00
MAKSIMUM	344	376	12.0
SREDNJA VRIJEDNOST	33,6	43,3	4,50
TREND	-	-	+

Tablica 5.16. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti heterotrofnih bakterija kod 37°C u podzemnoj vodi na području Međimurja

HETEROTROFI - 37°C (n/1 ml)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	20	20	20
MINIMUM	3,00	3,00	3,00
MAKSIMUM	188	38,0	6,00
SREDNJA VRIJEDNOST	25,6	10,7	3,75
TREND	+	+	+

Tablica 5.17. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti enterokoka u podzemnoj vodi na području Međimurja

ENTEROKOKI (n/100 ml)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	0	0	0
MINIMUM	0	0	0
MAKSIMUM	26,0	54,0	3,00
SREDNJA VRIJEDNOST	2,02	2,86	2,00
TREND	+	-	+

Tablica 5.18. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti *Escherichia-e coli* u podzemnoj vodi na području Međimurja

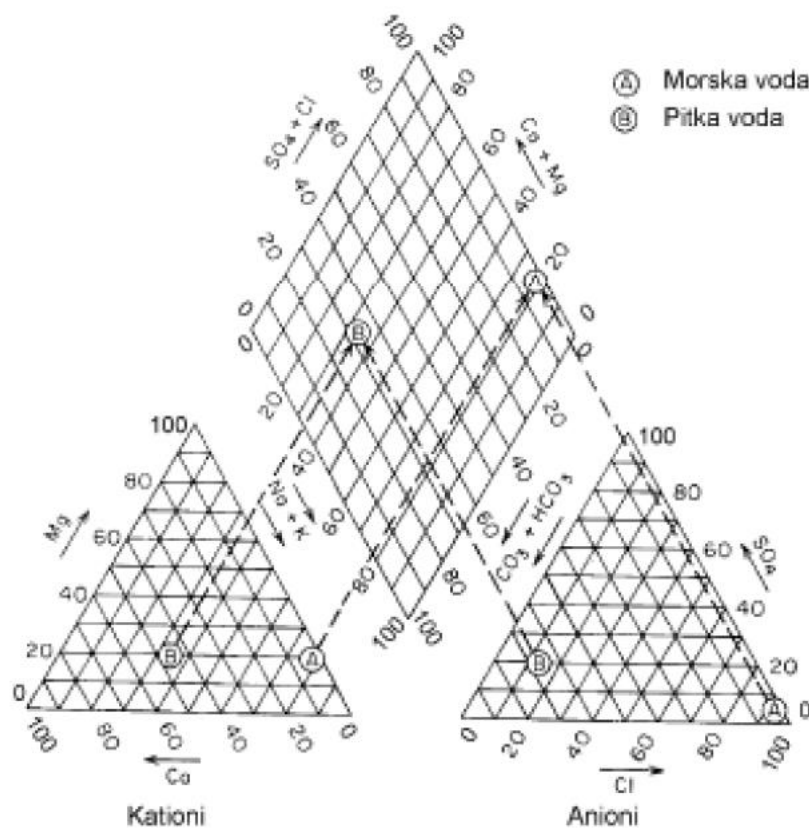
ESCHERICHIA COLI (n/100 ml)	NEDELIŠĆE	PRELOG	DOLINA MURE
MDK	0	0	0
MINIMUM	0	0	0
MAKSIMUM	3,00	3,00	3,00
SREDNJA VRIJEDNOST	1,97	2,00	2,00
TREND	+	+	+

6. ODREĐIVANJE HIDROKEMIJSKOG FACIJESA

Prilikom istraživanja sastava podzemne vode u prirodi vrlo je važno prikazati i njezine kemijske karakteristike na jednostavan način.

Sastav se općenito iskazuje koncentracijama ili masenim omjerima, dok su jedinice koje se najviše upotrebljavaju za iskazivanje sastava mg/L ili mmol ekv/L ili udjeli ekvivalenata (mmol ekv %). Prikazivanje rezultata analize u mmol ekv omogućuje uvid u točnost analize i to na temelju jednakog zbroja kationa i aniona. Klasifikacija vode prema sastavu olakšana je uz izražavanje u udjelima ekvivalenata koje omogućuje uvid u relativnu zastupljenost pojedinih iona u vodi. Rezultati sastojaka u tragovima izražavaju se u ppm (pars per milion, odnosno dio na milijun dijelova), jedinicama za maseni omjer, ali u vrlo razrijeđenim otopinama kakve su vode kojima se hidrolozi uglavnom bave, gdje jedna litra takve vode otprilike odgovara masi od jednog kilograma, može se bez velike pogreške jedinica za maseni omjer ppm poistovjetiti s jedinicama masene koncentracije mg/l odnosno mg/m³.

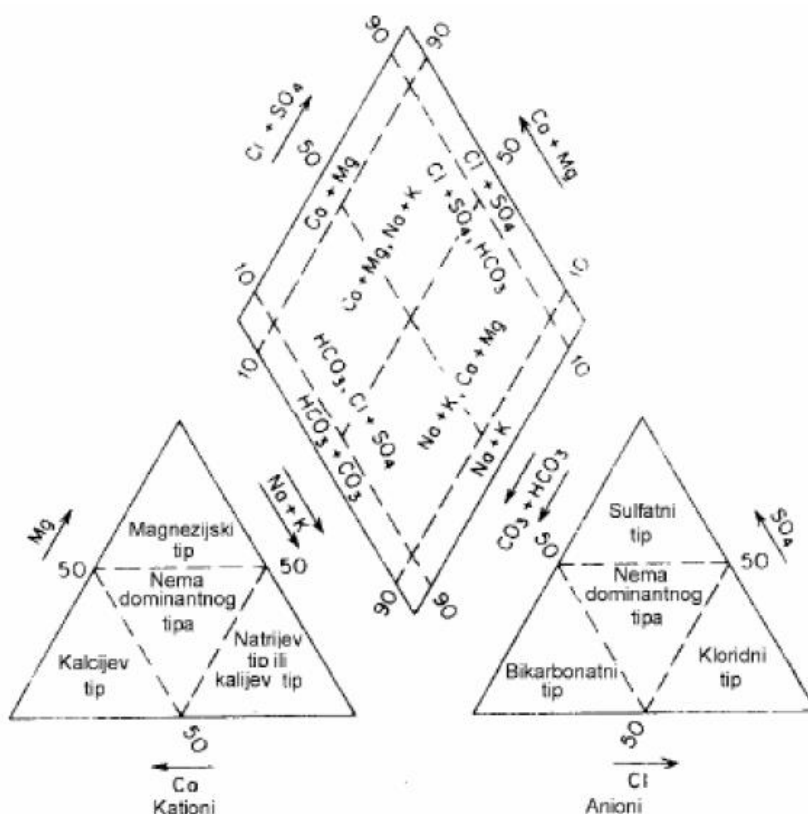
U hidrogeologiji se za prikazivanje kemijskog sastava vode najčešće upotrebljava Piperov dijagram (slika 6.1). Dijagram se sastoji od dva trokuta, lijevog u koji se nanose postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih kationa (Ca^{2+} , Mg^{2+} i $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) i desnog u koji se nanose udjeli ekvivalenata najvažnijih aniona (Cl^{-} , SO_4^{2-} i $\text{HCO}_3^{-}+\text{CO}_3^{2-}$), dok je između njih smješten romb na čijim su suprotnim stranicama nanesene sume postotnih udjela ekvivalenata grupe kationa i aniona. Uvrštavanjem odgovarajućih vrijednosti u trokut kationa i trokut aniona dobiju se točke koje određuju kationski i anionski facijes vode. Točke se potom projeciraju pravcima paralelnim vanjskim stranicama odnosnoga trokuta u središnji romb u kojem sjecište tih dvaju pravaca označava ukupan kemijski sastav vode (Halle, 2004).



Slika 6.1. Piperov dijagram i smještaj točaka koje prikazuju postotni udio aniona i kationa te njihov položaj u rombu

(Izvor: Freeze i Cherry, 1979)

Piperov dijagram omogućuje jasno uviđanje razlika u kemizmu brojnih uzoraka, jer svaka točka odgovara sastavu jednog uzorka vode. Uz to dijagramom se relativno lako može razlučiti i kojem hidrochemijskom facijesu pripada pojedini uzorak podzemne vode (slika 6.2). Daje nam i jasan uvid u procese koji su se događali u vodonosniku i koji su utjecali na sastav vode, a prikladan je i za prikazivanje miješanja dviju voda iz različitih izvora (npr. morske i slatke vode) (Halle, 2004).



Slika 6.2. Prikaz vodnih facijesa u Piperovom dijagramu

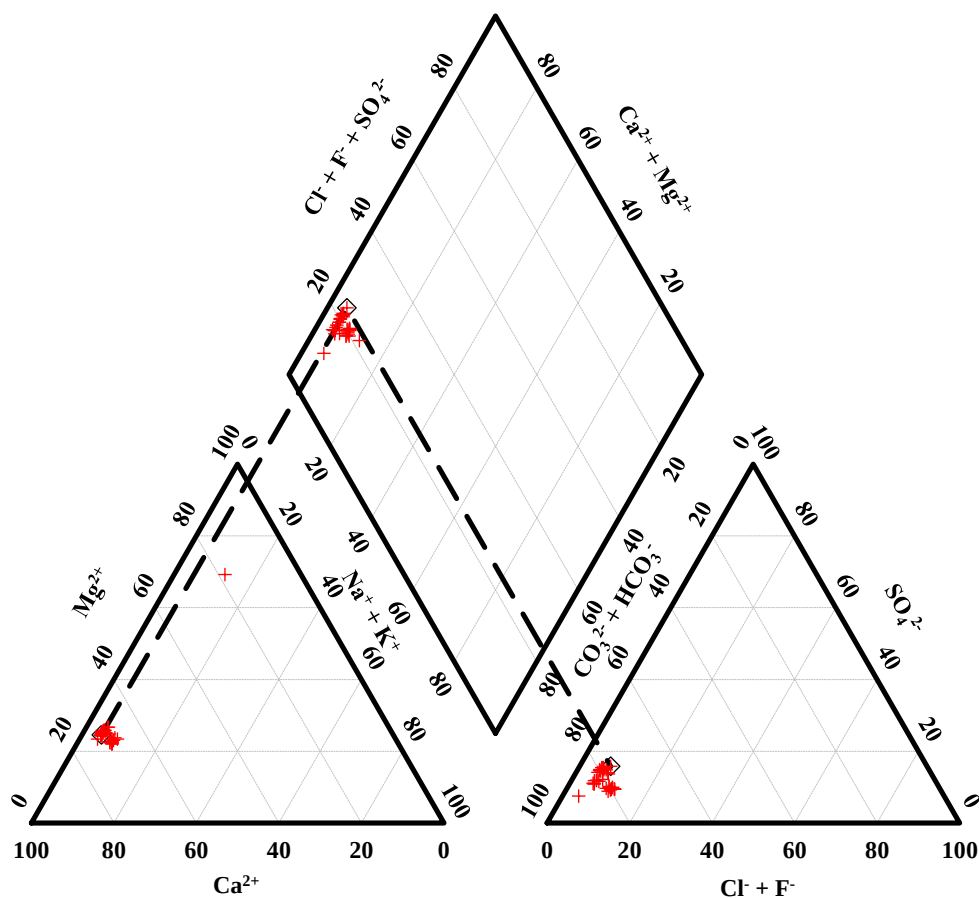
(Izvor: Freeze i Cherry, 1979)

Hidrokemijski facijes podzemne vode na području Međimurja određen je na temelju 77 provedenih kemijskih analiza kakvoće podzemne vode sa ukupno 7 piezometara, od čega je 35 analiza provedeno na području Nedelišća, 36 na području Preloga te 6 na području murske doline. Analizama dobivene vrijednosti koncentracija kemijskih elemenata bitnih za određivanje kemizma podzemne vode unesene su u Excel datoteku (USGS, 2005), a time i uvrštene u Piperov dijagram unutar same datoteke na temelju kojeg se odredio hidrokemijski facijes podzemne vode za svako od istraživanih priljevnih područja.

U poglavljima 6.1, 6.2 i 6.3 biti će prikazani hidrokemijski facijesi određeni na temelju spomenutog postupka za cjelokupno razdoblje ispitivanja kakvoće podzemne vode na području Međimurja, od veljače 2009. do prosinca 2013. godine.

6.1. Određivanje hidrokemijskog facijesa podzemne vode na priljevnom području crpilišta Nedelišće

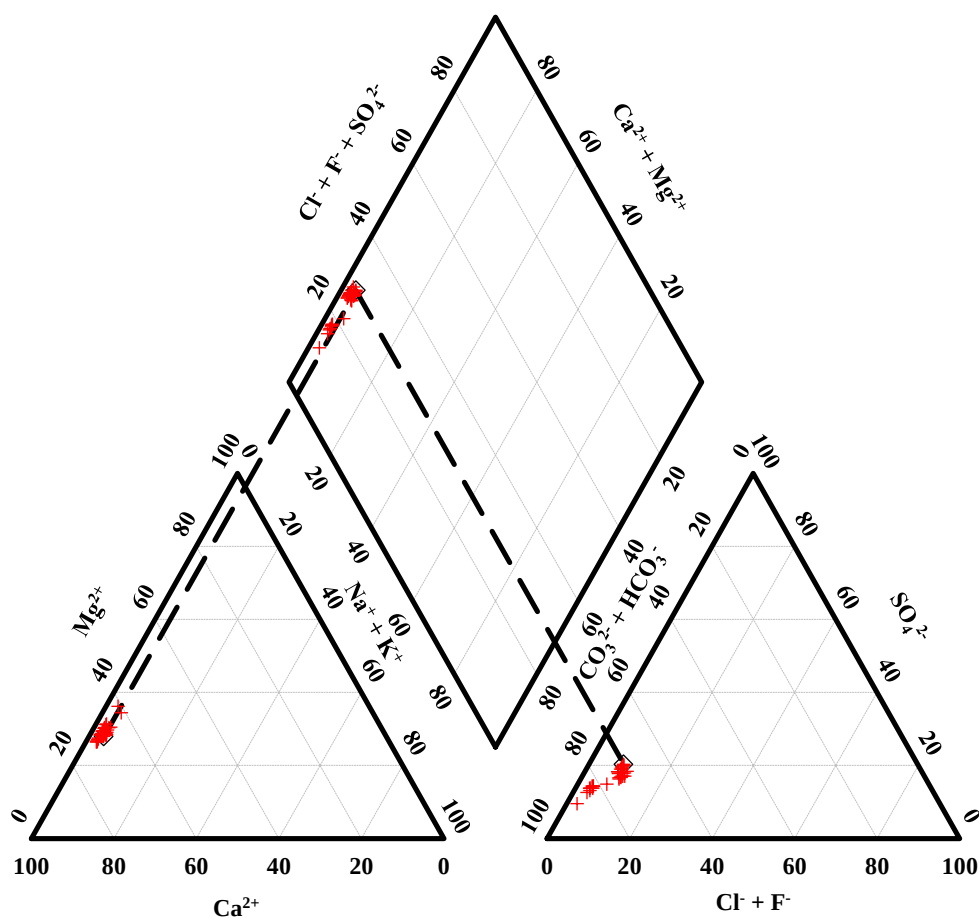
Iz Piperovog dijagrama (slika 6.3) vidljivo je da uzorkovane podzemne vode sa priljevnog područja crpilišta Nedelišće prema svom ionskom sastavu pripadaju CaMg-HCO₃ (kalcijsko-magnezijsko-hidrogenkarbonatnom) tipu voda.



Slika 6.3. Piperov dijagram uzorkovanih podzemnih voda sa priljevnog područja crpilišta Nedelišće

6.2. Određivanje hidrokemijskog facijesa podzemne vode na priljevnom području crpilišta Prelog

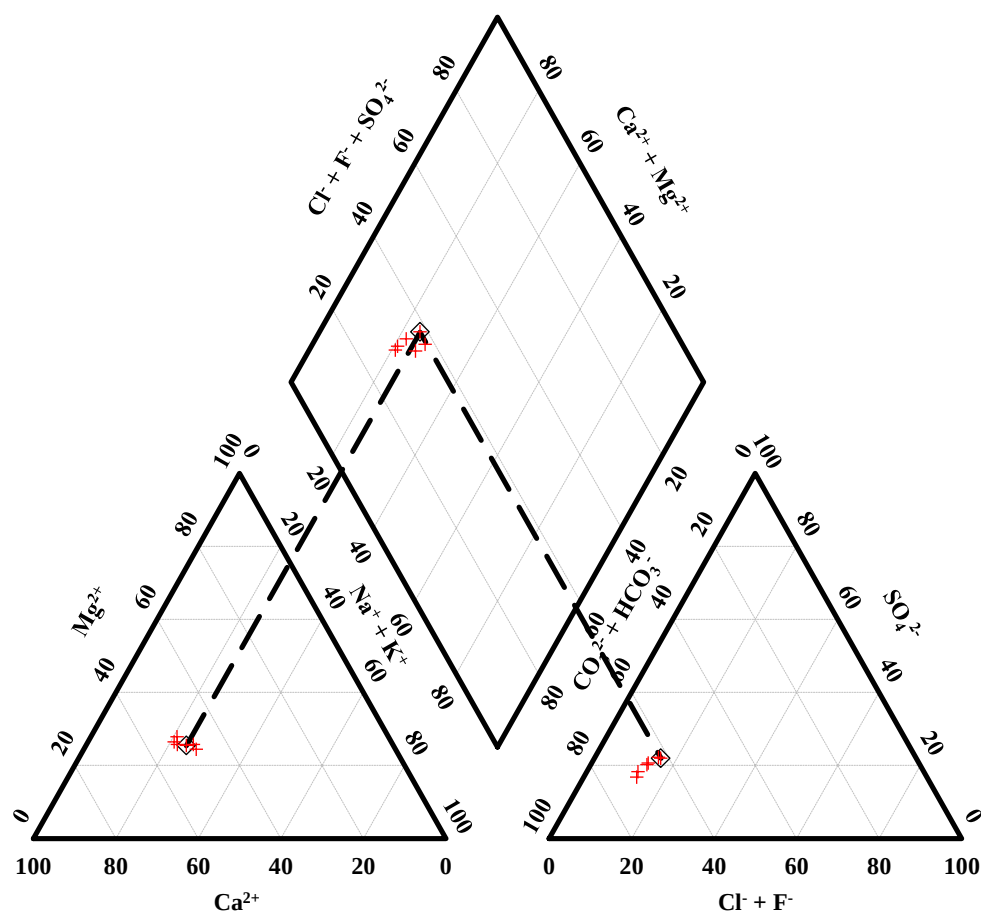
Iz Piperovog dijagrama (slika 6.4) vidljivo je da uzorkovane podzemne vode sa priljevnog područja crpilišta Prelog prema svom ionskom sastavu pripadaju CaMg-HCO_3 (kalcijsko-magnezijsko-hidrogenkarbonatnom) tipu voda.



Slika 6.4. Piperov dijagram uzorkovanih podzemnih voda sa priljevnog područja crpilišta Prelog

6.3. Određivanje hidrokemijskog sastava podzemne vode na priljevnom području murske doline

Iz Piperovog dijagrama (slika 6.5) vidljivo je da uzorkovane podzemne vode sa priljevnog područja murske doline prema svom ionskom sastavu pripadaju CaMgNa-HCO₃ (kalcijsko-magnezijsko-natrijsko-hidrogenkarbonatnom) tipu voda.



Slika 6.5. Piperov dijagram uzorkovanih podzemnih voda sa priljevnog područja murske doline

7. ZAKLJUČAK

Na temelju provedene analize može se zaključiti da područje Međimurja obiluje podzemnom vodom razmjerno dobre kakvoće. Najveća količina podzemnih voda akumulirana je u dravskom aluvijalnom vodonosniku izgrađenom od šljunaka i pijesaka, kojeg ujedno zahvaćaju i dva crpilišta javne vodoopskrbe Nedelišće i Prelog. Podzemna voda akumulirana u murskom kvartarnom vodonosniku trenutno se ne koristi za potrebe javne vodoopskrbe zbog manje transmisivnosti u odnosu na dravski vodonosnik.

Na priljevnom području crpilišta Nedelišće izvedeno je tri piezometra, oznaka P-23, P-26 i PDS-2 na kojima se prati kakvoća podzemne vode. U razdoblju od veljače 2009. do prosinca 2013. na svim piezometrima zabilježene su maksimalne i srednje vrijednosti mutnoće, ukupnih koliforma, heterotrofa pri inkubaciji od 37 °C, enterokoka te *escherichia-e coli* iznad maksimalno dozvoljene koncentracije. Na piezometrima P-26 i PDS-2 maksimalne vrijednosti za željezo te na svim piezometrima za heterotrofne bakterije kod 22°C također su bile iznad MDK.

Na priljevnom području crpilišta Prelog u svrhu praćenja kakvoće podzemne vode izvedeno je također tri piezometra, oznaka P-49, P-52 i PDS-7. Kakvoća podzemne vode nešto je lošije kvalitete u odnosu na onu u priljevnom području crpilišta Nedelišće. Maksimalne vrijednosti koncentracija mutnoće, teških metala te gotovo svih mikrobioloških pokazatelja u vodi nalaze se iznad MDK. Srednje vrijednosti mutnoće, ukupnih koliforma, enterokoka te *escherichia-e coli* također su iznad MDK.

Kakvoća podzemne vode u dravskom vodonosniku na području Međimurja rezultat je prirodnih hidrogeoloških uvjeta. Prvenstveno se to odnosi na smanjenju debljinu slabopropusnih krovinskih naslaga koje omogućuju izravan utjecaj onečišćivača na kakvoću podzemne vode. U većini slučajeva se u podzemnoj vodi zapaža utjecaj tretiranja poljoprivrednih površina te utjecaj otpadnih voda.

U podzemnoj vodi murske doline jedino vrijednosti bakterija ne zadovoljavaju sve uvjete definirane *Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013). U piezometru B-K maksimalne i srednje vrijednosti ukupnih koliforma, enterokoka i *escherichia-e coli* nalaze se iznad maksimalno dozvoljene koncentracije.

Da bi se poboljšala kvaliteta podzemne vode potrebno je dovršiti izgradnju kanalizacijske infrastrukture na mjestima gdje ona nedostaje, naročito iz kućanstava te

industrijskih postrojenja. Potrebno je vršiti i provjeru testiranja na vodopropusnost sabirnih jama te osigurati sanacije istih ako ne zadovoljavaju zakonske standarde. Poljoprivredno stanovništvo treba dodatno educirati oko upotrebe prirodnih i mineralnih gnojiva, ponajviše radi zaštite voda od onečišćenja uzrokovanih nitratima poljoprivrednog podrijetla. Saniranje sustava kontrolirane odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda na prometnicama, kao i smanjenje upotrebe soli i drugih kemijskih preparata obaveza su nadležnih institucija koje njima upravljaju.

Hidrokemijski facijes podzemne vode na području Međimurja određen je pomoću Piperovog dijagrama na temelju 77 provedenih kemijskih analiza kakvoće podzemne vode sa ukupno sedam piezometara. Iz Piperovih dijagrama vidljivo je da uzorkovane podzemne vode sa područja Međimurja prema svom ionskom sastavu pripadaju CaMg-HCO_3 (kalcijsko-magnezijsko-hidrogenkarbonatnom) te CaMgNa-HCO_3 (kalcijsko-magnezijsko-natrijsko-hidrogenkarbonatnom) tipu voda. Takav hidrokemijski facijes podzemnih voda sa područja Međimurja posljedica je otapanje karbonatnih minerala te antropogenog utjecaja.

8. LITERATURA

- American Water Works Association (1999): Water Quality & Treatment, McGraw-Hill Inc., Sjedinjene Američke Države.
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A. (1979): Groundwater, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Halle, R. (2004): Kemizam i obradba vode, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- HGI (2007): Resursna osnova za pitku i geotermalnu vodu u Međimurskoj županiji, Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb
- Mioč P. & Marković S. (1988): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Čakovec, Savezni geološki zavod Beograd
- Mioč P. & Marković S. (1988): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Nađkaniža, Savezni geološki zavod, Beograd
- Nakić, Z., Bačani, A., Parlov, J., Duić, Ž., Perković, D., Kovač, Z., Tumara, D., Mijatović, I., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D. & Slavinić, P. (2016): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske, Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Posavec K. & Bačani A. (2014): Elaborat o zonama zaštite izvorišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija (Pročišćeni tekst), Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E. & Mayer, D. (1990): Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika, Geol. Vjesnik, vol. 43, 149-158, Zagreb.

Službeni dokumenti:

Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013).

Web stranice:

URL: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Međimurje_\(regija\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Međimurje_(regija)) (27.11.2016.).

URL: https://hr.wikipedia.org/wiki/Međimurska_županija (27.11.2016.).

URL: https://hr.wikipedia.org/wiki/Kakvoća_vode (17.12.2016.).

URL: <http://nevada.usgs.gov/tech/excelforhydrology/WaterQualityTools/PiperPlot-QW.XLS> (03.01.2017.).