Utjecaj poljprivredne proizvodnje na kakvoću podzemnih voda na području Biđ-bosutskog polja u razdoblju 2016.-2018.

Rec, Dorotea

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:782525

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

UTJECAJ POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE NA KAKVOĆU PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU BIĐ-BOSUTSKOG POLJA U RAZDOBLJU 2016. – 2018.

DIPLOMSKI RAD

Dorotea Rec

Zagreb, srpanj, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Melioracije

UTJECAJ POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE NA KAKVOĆU PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU BIĐ-BOSUTSKOG POLJA U RAZDOBLJU 2016. – 2018.

DIPLOMSKI RAD

Dorotea Rec

Mentor:

doc. dr. sc. Vilim Filipović

Zagreb, srpanj, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Dorotea Rec**, JMBAG 0178091988, rođena 15.12.1993 u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE NA KAKVOĆU PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU BIĐ-BOSUTSKOG POLJA U RAZDOBLJU 2016. – 2018.

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

_____

Potpis studenta / studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Dorotee Rec** , JMBAG 0178091988, naslova

UTJECAJ POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE NA KAKVOĆU PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU BIĐ-BOSUTSKOG POLJA U RAZDOBLJU 2016. – 2018.

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo: potpisi:

1. doc.dr.sc. Vilim Filipović mentor _____
2. doc.dr.sc. Ivan Mustać član _____
3. prof.dr.sc. Ivan Šimunić član _____

Zahvala

Ovom prilikom želim se zahvaliti mentoru doc.dr.sc. Vilimu Filipoviću na ukazanoj pomoći i strpljenju prilikom izrade diplomskoga rada.

Posebno se zahvaljujem svojim prijateljima, dečku i obitelji što su me ohrabrivali i poticali.

Na kraju, najveću zahvalu dugujem svojim roditeljima bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć.

Ovaj rad posvećujem svima koji su vjerovali u mene.

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Dorotee Rec**, naslova

UTJECAJ POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE NA KAKVOĆU PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU BIĐ-BOSUTSKOG POLJA U RAZDOBLJU 2016. – 2018.

Povećanje poljoprivredne proizvodnje i primjena agrotehničkih mjera doveli su do negativnih okolišnih posljedica: javljaju se problemi vezani uz eroziju tla, dolazi do smanjenja biološke raznolikosti, onečišćenja tla i voda. Za monitoring podzemnih voda koriste se piezometri koji se lociraju na potencijalno ranjivim područjima i omogućuju motrenje razine podzemne vode i prikupljanje uzoraka za određivanje kakvoće. Agrokemikalije, posebice dušična gnojiva predstavljaju najveću opasnost od onečišćenja podzemnih voda na poljoprivrednim prostorima. Terensko istraživanje je postavljeno na području Bić-Bosutskog polja gdje su na 35 lokacija postavljeni piezometri. Kakvoća podzemne vode u pokrovnom (talnom) dijelu profila praćena je na dubokim (4 m dubine) hidropedološkim piezometrima i na 5 hidrogeoloških piezometara (15 m dubine). Uzorci podzemne vode prikupljeni su svakih 60 dana i dostavljeni u laboratorij Zavoda za melioracije i analizirani na dušične spojeve: NO_3-N i NH_4-N i fosfate PO_4-P. Spojevi su određeni spektrofotometrijski primjenom metode segmentiranog protoka na ionskom analizatoru vode. Na navedenom području analizirala se kakvoća podzemne vode obzirom na Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. U radu su se koristili podaci prikupljeni tijekom razdoblja 2016.- 2018. godine. Tijekom promatranog razdoblja bilježe se povećane koncentracije amonijaka i fosfata u dubokom akviferu. Koncentracije nitrata više od propisane dopuštene koncentracije zabilježene su u plitkom akviferu, ali ne i u dubokom. Uočena je povezanost količine oborina s povećanjem koncentracije dušičnih spojeva i fosfata u podzemnoj vodi.

Ključne riječi: podzemna voda, dušični spojevi, fosfati, monitoring, kakvoća podzemne vode

Summary

Of the master's thesis – student **Dorotea Rec**, entitled

THE IMPACT OF AGRICULTURAL PRODUCTION ON THE GROUNDWATER QUALITY IN THE BIĐ-BOSUT FIELD IN PERIOD 2016. – 2018.

Increased agricultural production and the application of agro-technical measures have led to negative environmental consequences: problem related to soil erosion, reduction in biodiversity, soil and water pollution. Piezometers are used for groundwater monitoring which are located in potentially vulnerable areas and enable monitoring of groundwater levels and collection of samples for quality determination. Agrochemicals, especially nitrogen fertilizers, pose the greatest risk of groundwater pollution in agricultural areas. Field research was set up in the area of Bić-Bosut field where piezometers were installed at 35 locations. Groundwater quality in the upper soil profile was monitored by deep (4 m depth) hydropedological piezometers and 5 hydrogeological piezometers (15 m deep). Groundwater samples were collected every 60 days and delivered to the laboratory of the Department of Soil Amelioration and analyzed for nitrogen compounds: NO_3-N and NH_4-N and phosphates PO_4-P. Compounds were determined spectrophotometrically using the segmented flow method on a water ion analyzer. The thesis use data collected during the period 2016 - 2018. During the observed period, increased concentrations of ammonia and phosphate were recorded in the deep aquifer. Nitrate concentrations higher than the prescribed concentration were recorded in a shallow aquifer but not in a deep aquifer. The connection of precipitation variability with an increase in the concentration of nitrogen compounds and phosphates in groundwater was observed.

Keywords: groundwater, nitrogen compounds, phosphates, monitoring, groundwater quality

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Cilj istraživanja 1

2. PREGLED LITERATURE 2

2.1. Vodonosnik i podzemna voda 2

2.1.1. Pojavljivanje i kretanje vode u podzemlju 3

2.1.2. Karakteristike vodonosnih slojeva 4

2.1.3. Prirodna ranjivost vodonosnika 6

2.2. Monitoring podzemnih voda 10

2.2.1. Monitoring podzemnih voda na području cjeline istočne Slavonije i značajke vodonosnika 14

2.3. Utjecaj poljoprivrede na podzemne vode 16

2.3.1. Onečišćenje podzemnih voda dušikom i fosforom iz gnojiva 16

3. MATERIJALI I METODE 20

3.1. Prirodne značajke i opis lokacije monitoringa 21

3.1.1. Značajke tala na lokacijama monitoringa 21

3.2. Klimatske značajke 27

3.3. Analiza podzemne vode 30

4. REZULTATI I RASPRAVA 31

4.1. Sadržaj amonijaka u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju od 2016. do 2018. godine 31

4.2. Sadržaj nitrata u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju od 2016. do 2018. godine 38

4.3. Koncentracija fosfora u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju od 2016. do 2018. godine 44

5. ZAKLJUČAK 50

6. POPIS LITERATURE 51

1. UVOD

Mnoge aktivnosti modernog društva, uključujući poljoprivrednu proizvodnju, doprinose kontaminaciji podzemnih voda. Sve veća upotreba dušičnih gnojiva nedvojbeno je pospješila poljoprivrednu proizvodnju, ali s druge strane ima štetan učinak na kakvoću vode. S porastom upotrebe dušičnih gnojiva rastu koncentracije dušičnih spojeva, ponajviše nitrata, u podzemnim vodama (Keeney D.R., 1989.). Neiskorištena prirodna područja u prosjeku sadrže < 2 mg NO_3/l u plitkim podzemnim vodama, dok površine pod poljoprivrednom proizvodnjom sadrže i > 10 mg NO_3/l, najčešće sezonski. Najčešća područja u kojima se sve više pojavljuju problemi s povećanom koncentracijom dušika u podzemnim vodama su područja intenzivne ratarske i stočarske proizvodnje te područja s visokim stopama navodnjavanja i fertirigacije voća i povrća ponajviše s plitkim korijenovim sustavom i na teksturno lakšim tlima.
Pitka voda u Republici Hrvatskoj se velikim dijelom pridobiva kao podzemna voda. Hrvatska prednjači pred drugim zemljama jer raspolaže s vrlo velikim količinama obnovljivih zaliha podzemnih voda. Prema metodologiji izračuna koje koristi FAO, Hrvatska je na trećem mjestu u Europi i desetom mjestu u svijetu s obzirom na raspoloživu količinu vode po glavi stanovnika, a gledano po površini državnoga teritorija čak je na prvom mjestu u Europi i trećem mjestu u svijetu (Nakić Z., 2008.). Iz tog razloga potrebno je osigurati visok stupanj kakvoće podzemne vode, a jedan od načina je uspostavljanje mreže monitoringa posebice na mjestima intenzivne poljoprivredne proizvodnje. Poljoprivreda je jedan od najvećih izvora onečišćujućih tvari koje primjenom na tlu dospijevaju u plitki vodonosni sloj, a daljnjim ispiranjem (pomoću oborina, navodnjavanjem i sl.) i u podzemne vode koje se koriste u vodoopskrbi. U tu svrhu uspostavljen je monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala i kakvoće vode na području Bið-Bosutskog polja. Na navedenom području razvijena je ratarska proizvodnja prilikom koje se upotrebljavaju dušična i fosforna gnojiva. Pomoću postavljenih piezometara (bušotina) Zavod za melioracije Agronomskog fakulteta od 2001. godine prati kakvoću podzemnih voda na istraživanom području i utjecaj poljoprivredne proizvodnje na istu.

1.1 Cilj istraživanja

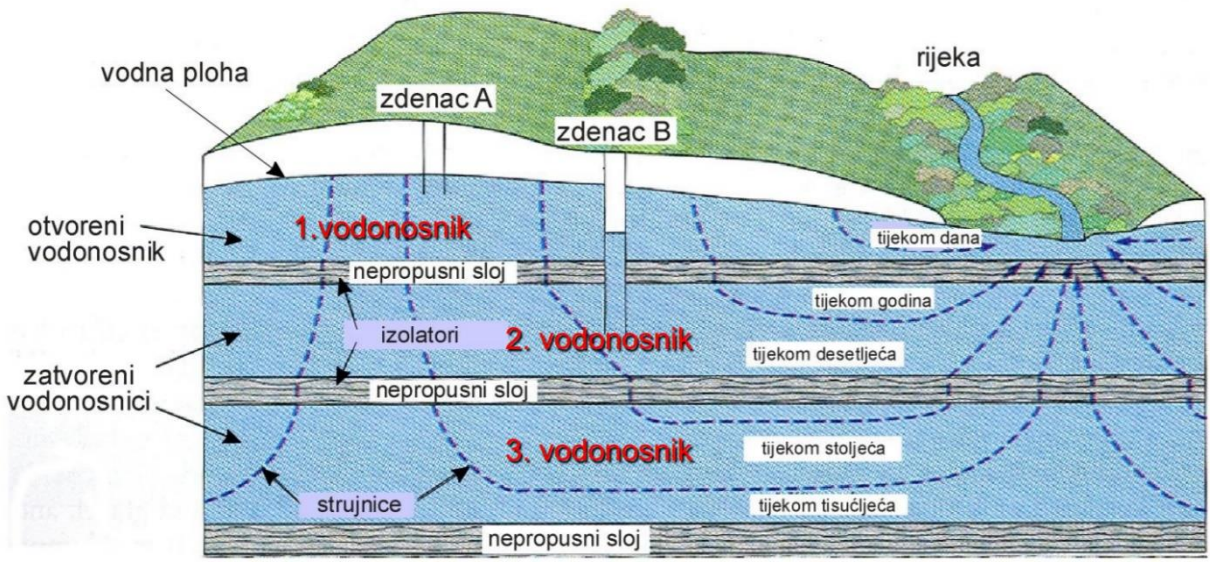
Cilj rada je utvrditi utjecaj poljoprivredne proizvodnje na kakvoću podzemnih voda na području Bið-Bosutskog polja temeljem monitoringa na piezometrima tijekom razdoblja 2016.- 2018. godine.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Vodonosnik i podzemna voda

Vodonosnik, vodonosni sloj ili akvifer je definiran kao sediment ili stijena koja sadrži vodu i kroz koju u prirodnim uvjetima mogu protjecati znatne količine vode. Voda se giba s lakoćom u smislu dotoka vode u zdenac za potrebe zahvaćanja iste (Žugaj R., 2009.). Prema klasifikaciji, može biti otvorenog i zatvorenog tipa (Slika 2.1.1.). Ako je s gornje strane omeđen vodnom plohom, a s donje nepropusnim slojem tj. izolatorom govorimo o otvorenom vodonosniku. Najvažnije karakteristike otvorenog tipa vodonosnika su brzo obnavljanje putem oborina i procjeđivanje s površine. Nivo vodne plohe značajno varira ovisno o količini oborina. Podzemna voda se u otvorenom tipu vodonosnika kreće relativno brzo.

Ako je vodonosnik omeđen nepropusnim slojevima tada se radi o zatvorenom tipu. Njega karakterizira vrlo sporo obnavljanje procjeđivanjem vode kroz polupropusne i nepropusne slojeve te je kretanje podzemne vode vrlo sporo (Bedovec M., 2016.).



Slika 2.1.1. Poprečni prikaz otvorenih i zatvorenih vodonosnika
Izvor: Urumović K., 2003.

Podzemna voda se definira kao voda koja se nalazi ispod površine Zemlje unutar šupljina i pora u tlu i stijenama. Samo je jedan dio vode koji se nalazi u kruženju vode u zemljinoj kori, odnosno u hidrološkom ciklusu vode. Od ukupne količine slatke vode, 30% se nalazi u podzemlju kamo dolazi infiltracijom ili gravitacijskim procjeđivanjem s površine (Urumović K., 2003.). Podzemna voda u Hrvatskoj čini oko 90% svih zahvaćenih količina vode za piće (Brkić i

sur., 2009.). Glavni izvor svih podzemnih voda je meteorska voda koju čine oborine. Na nekim mjestima mogu biti od značaja i vode čije je porijeklo drugačije - to su juvenilna[1] i konatna[2] voda. Količina i raspored podzemnih voda u Hrvatskoj uvjetovani su: geološkom građom, klimatskim i hidrološkim uvjetima i hidrogeološkim značajkama područja (npr. zastupljenost i odnos poroznih, propusnih i nepropusnih stijena) (Brkić i sur., 2009.). Prema geološkoj građi i hidrogeološkim značajkama područje RH može se podijeliti u dva potpuno različita dijela: sjeverna Hrvatska i jugozapadna i južna Hrvatska - krš. Na hidrodinamiku podzemne vode, sjeverne Hrvatske, najjači utjecaj ima međuzrnska poroznost i raspored propusnih i nepropusnih naslaga. Najveći udio naslaga na ovom području je aluvijalno i zaglinjeno, a u nešto manje postotku nalazimo i kompaktne stijene i lapor (šire područje grada Požege). Aluvijalne naslage (šljunci i pijesci) visoko su produktivni vodonosnici dok su zaglinjene naslage srednje do nisko produktivni vodonosnici (Urumović K., 2003.).

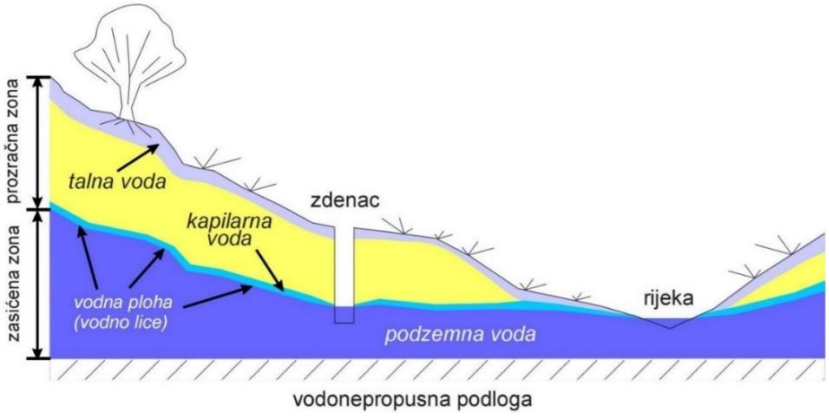
2.1.1. Pojavljivanje i kretanje vode u podzemlju

Podzemlje se dijeli na nesaturiranu i saturiranu zonu koje su odvojene vodnom plohom odnosno vodnim licem (Slika 2.1.1.1.). Vodno lice predstavlja razinu vode u zdencima ili bunarima. **Nesaturirana zona ili zona aeracije** je prostor od površine do vodne plohe. Kroz nju prolazi površinska voda koja napaja podzemnu vodu. Dio koji ne prođe vodnu plohu ostaje zadržan u nesaturiranoj zoni molekularnim i kapilarnim silama u vidu talne i kapilarne vode. **Talna voda** je vlaga koja se zadrži u tlu nakon gravitacijskoga procjeđivanja vode u podzemlje. **Kapilarna voda** zadržava se iznad vodne plohe iz razloga što sile površinske napetosti nadmašuju gravitacijske sile. Na terenima gdje je podzemna voda plitko ispod površine (potoci, rijeke, poplavne ravnice) talna i kapilarna voda se prožimaju. U slučaju da je vodna ploha daleko ispod površine tla, te se kapilarna i talna voda ne prožimaju, stvara se međupojas koji se naziva **vadozna zona** (Aljinović i Matoš prema Tomljenoviću, 2016.).

Saturirana zona ili zasićena zona je zona ispod vodne plohe u kojoj su sve pore i pukotine u stijenama ispunjene vodom. Tu vodu nazivamo **podzemnom vodom ili vodom temeljnicom.** Podzemna voda relativno se sporo kreće kroz pore u stijenama. Brzina kretanja podzemne vode ovisi o nagibu vodne plohe i propusnosti stijene. Što je vodna ploha pod većim nagibom to će brzina kretanja biti veća, a ako je vodna ploha ravna brzina kretanja je jednaka nuli. U nepropusnim stijenama voda se kreće brzinom od nekoliko cm na godinu, a u propusnim i jako propusnim stijenama brzina kretanja može biti >10m/dan.

[1] Juvenilna voda - nastaje sintezom vodika i kisika i kondenzacijom iz magmatskih stijena

[2] Konatna voda - voda „zarobljena“ u sedimentu tijekom taložnoga procesa (Leksikografski zavod Miroslav Krleža)



Slika 2.1.1.1. Shematski prikaz načina pojavljivanja vode u podzemlju

Izvor: Urumović K., 2003.

2.1.2. Karakteristike vodonosnih slojeva

Osnovne funkcije vodonosnika su skladištenje i prijenos vode. Sposobnost skladištenja i toka vode ovisi o svojstvima stijene poput poroznosti, propusnosti, hidrauličkom gradijentu, koeficijentu propusnosti, hidrauličkoj vodljivosti i sl.

Poroznost stijena definirana je kao postotak šupljina u volumenu stijene/tla. Ukupna količina vode koja se može nakupiti u stijeni ovisi o stupnju njezine poroznosti (Aljinović i Matoš prema Tomljenoviću, 2016.). Razlikujemo ukupnu i efektivnu poroznosti. Ukupna poroznost je suma svih šupljina u tlu neovisno jesu li ispunjene vodom ili zrakom (Sraka M., 2005.). Efektivna poroznost predstavlja odnos između volumena slobodne vode u stijeni i njezina volumena. Slobodna voda je ona koja se može kretati u poroznom mediju u šupljinama većim od dimenzija kapilare. Količina vode koja se može dobiti iz stijene ovisi o efektivnoj poroznosti. Ovisi od oblika, veličine i homogenosti čestica tla te njihova međusobna rasporeda (Žugaj R., 2009.).

Prema Hamillu i Bellu (1986.) **propusnost ili permeabilnost** je sposobnost protjecanja fluida u stijeni ili kroz stijenu i određena je hidrauličkom provodljivošću (Bačani A., 2006.). Ona nije proporcionalna poroznosti. Vodopropusne stijene ili vodonosnici, stijene su koje brzo primaju i otpuštaju vodu u mjerljivim količinama u određenom vremenu (šljunak, pijesak, raspucale sedimentne, magmatske i metamorfne stijene). Vodonepropusne stijene ili izolatori, su stijene koje sporo primaju vodu te ne propuštaju zamjetnu količinu vode (gline, lapori, zaglinjene stijene).

Energija vode se izražava kao njezina visina iznad neke referentne ravnine. Ta se visina označava kao piezometarska razina i određuje ukupnu energiju vode. Ako se u jednom kontinuiranom prostoru nalaze mjesta s različitim energijama, onda će se oformiti tok od mjesta veće prema mjestu manje energije. Prema Hamillu i Bellu (1986.) podzemna voda posjeduje tri oblika energije. Potencijalnu energiju koja ovisi o razini podzemne vode, energiju tlaka i kinetičku energiju koja određuje brzinu podzemne vode (Bačani A., 2006.).

Osnovni zakon filtracije podzemne vode opisao je Darcy 1885. godine (Bačani A., 2006. prema Miletiću i Heinrich-Miletić, 1981.) koji kaže da je brzina toka vode po jedinici površine proporcionalna hidrauličkom gradijentu te hidrauličkoj provodljivosti tla. Darcy-ev zakon vrijedi u vodonosnicima s laminarnim strujanjem. U jako propustljivim vodonosnicima gotovo uvijek je prisutno turbulentno protjecanje. Količina vode koja se infiltrira u tlo zavisi o tome kako su oborine raspoređene, koji je dio voda koje perkoliraju po površini, kakva je ET na prostoru infiltracije u podzemlje te kakvi su hidrogeološki odnosi u zoni prihranjivanja vodonosnika.

Hidraulički gradijent (i) bezdimenzionalna je vrijednost (vektor) koja označava gubitak energije, odnosno njime se izražava razlika razina podzemne vode na određenoj udaljenosti i uvijek je pozitivan u smjeru strujanja vode (Szavits-Nossan V., 1999.). Gubitak energije toka vode uzrokovan je otporom materijala. Brzina tečenja ovisi o hidrauličkom gradijentu (Žugaj R., 2009.).

$$i = \frac{\Delta H}{l} \qquad (1)$$

Tečenje kroz tlo je brže što je razlika potencijala (ΔH) veća, a duljina uzorka (l) manja. Kako bi se izjednačila mjerenja pri različitim duljinama uzoraka i različitim padovima potencijala (ΔH), potrebno je izmjerenu brzinu podijeliti s hidrauličkim gradijentom. Rezultat je brzina po jediničnom gradijentu što nazivamo **koeficijentom propusnosti (k).** Voda protječe različitom brzom kroz razne materijale, što znači da su vrijednosti **(k)** različitih materijala različite. Brzina tečenja u poroznom je materijalu vrlo mala, pa je kretanje podzemnih voda najčešće laminarno (Bačani A., 2006.).

Važno je razlikovati koeficijent propusnosti (k) i **koeficijent hidrauličke vodljivosti (K).** Koeficijent propusnosti ovisi samo o određenom tipu tla dok koeficijent hidrauličke vodljivosti ovisi i o svojstvima fluida. Hidraulička vodljivost određena je veličinom i oblikom pora i fizičkim svojstvima fluida – gustoća, temperatura i viskoznost.

Matematički izraz hidrauličke vodljivosti (Bedovec M., 2016.):

$$K = k * \frac{\rho * g}{\mu} \qquad (2)$$

gdje je: k – koeficijent propusnosti
μ - dinamička viskoznost
ρ – gustoća fluida
g – gravitacijsko ubrzanje

Hidrogeološki parametar koji opisuje propusnu moć vodonosne stijene je **koeficijent transmisivnosti (T)** i jednak je umnošku koeficijenta hidrauličke provodljivosti (k) i debljine propusne stijene. Uz koeficijent transmisivnosti važan parametar vodonosnika je i **koeficijent uskladištenja (S)** koji predstavlja volumen vode koju će otpustiti jedinični volumen

vodonosnika pod djelovanjem jediničnog pada piezometarske visine. Bezdimenzionalna je vrijednost te su njime određene elastične karakteristike vodonosnika. Odnosi se na ukupnu debljinu saturiranog vodonosnog horizonta, što znači da je jednak umnošku specifične vrijednosti (Ss) i debljine horizonta (m) (Strelec S. i sur., 2016.).

2.1.3. Prirodna ranjivost vodonosnika

Karta prirodne ranjivosti vodonosnika na području panonskoga dijela RH (Brkić i sur., 2009.) načinjena je primjenom SINTACS postupka (Civita i De Maio, 1997.) koji pripada skupini svjetski priznatih „point count" modela. Definirano je sedam tematskih slojeva koji predstavljaju ocjenu prirodnih svojstava hidrogeološkog sustava: **(1) dubina do podzemne vode (S), (2) efektivna infiltracija padalina (I), (3) obilježja nesaturirane (N) i (4) saturirane zone vodonosnika (A), (5) svojstva tla (T), (6) hidraulička vodljivost vodonosnika (C) i (7) nagib topografske površine (S)**.

(1) Dubina do podzemne vode

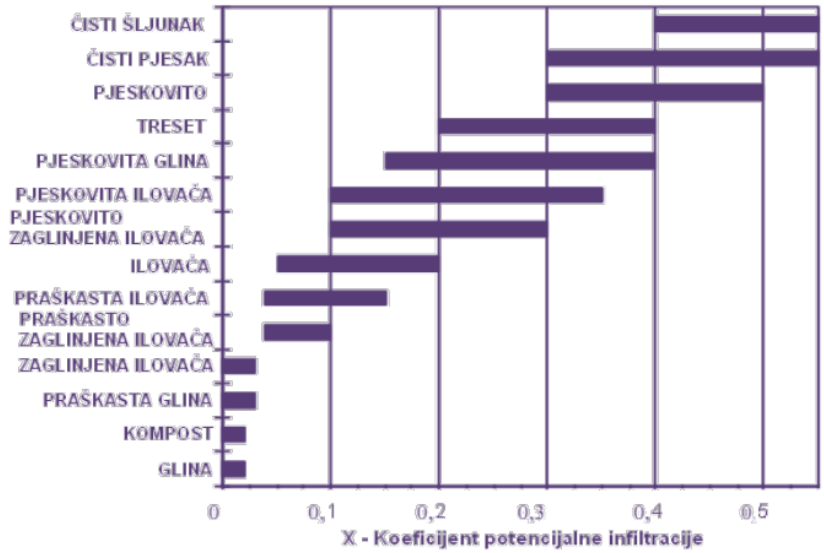
Definirana je kao dubina piezometarske razine koja zajedno sa značajkama nesaturirane zone, određuje vrijeme procjeđivanja onečišćenoga fluida i trajanje procesa razrjeđenja uslijed različitih sorpcijskih procesa (Loborec, 2013.). Vrijednost procjene koja se odnosi na dubinu do podzemne vode se s porastom dubine smanjuje jer je s većom dubinom potreban i dulji put prolaska onečišćenja s površine do podzemne vode i time je veća mogućnost razrjeđenja (Lisičak, 2018.).

(2) Efektivna infiltracija padalina

Efektivna infiltracija se izračunava na temelju fluktuacije razine vode ili metodom infiltracije oborinskih voda (Lisičak, 2018.). Indeks potencijalne infiltracije ovisi o: površinskoj litologiji vodonosnika, hidrauličkim značajkama tla (Slika 2.1.3.1.), nagibu površine terena i tipu relativne propusnosti medija izdanka stijene vodonosnika na površini. Vrijednost infiltracije uvrštava se u dijagram kojim dobivamo iznos parametra infiltracije. Do određene vrijednosti ranjivost raste (300 mm/god), no nakon dodatnih infiltriranih količina krivulja pada i ranjivost se smanjuje. Taj učinak rezultat je razrjeđenja, odnosno smanjenja koncentracije onečišćenja do kojeg dolazi uslijed velikih količina oborina jer nakon određene količine oborina i vremena, velika količina vode se više ne može infiltrirati nego otječe površinski (Lisičak, 2018.).

(***3) Obilježja nesaturirane zone vodonosnika***

Nesaturirana zona bogata je organskom tvari i glinom koji pospješuju sorpciju, biološku degradaciju i imaju sposobnost mijenjanja svojstva onečišćivača. U poljoprivrednim područjima, gdje je površina tla izložena gnojivima i pesticidima, nesaturirana zona predstavlja filter koji štiti vodonosnik na način da zadržava ili razrjeđuje onečišćenja s površine. U velikoj mjeri kontrolira prihranjivanje podzemnih i površinskih voda (Loborec, 2013.).



Slika 2.1.3.1. Dijagram određivanja koeficijenta infiltracije ovisno o hidrauličkim značajkama tla

Izvor: Urumović K., 2003.

(4) Obilježja saturirane zone vodonosnika

Predstavljaju hidrološke značajke vodonosnika i procese koji se odvijaju u saturiranoj zoni prilikom miješanja onečišćenja i podzemne vode nakon što se koncentracija onečišćenja smanjila procjeđivanjem kroz pokrovne naslage i nesaturiranu zonu (Loborec, 2013.).

(***5) Svojstva tla***

Tlo i pokrovne naslage imaju sposobnost usporavanja ili zadržavanja kretanja onečišćenja. Filtracijsko djelovanje tla ovisi o njegovoj adsorpcijskoj sposobnosti. Najveći kapacitet adsorpcije imaju humus u tlu i minerali gline (Lisičak, 2018.). Bitni procesi koji se događaju u tlu te utječu na ponašanje potencijalnih onečišćivača, a ovise o svojstvima tla i pokrovnih naslaga mogu se podijeliti u dvije skupine parametara: fizikalna i kemijska svojstva (Kapelj, 2013.). Fizikalna svojstva imaju izravan utjecaj na adsorpciju, filtraciju, drenažni kapacitet, sadržaj vode i brzinu procjeđivanja. Svojstva su: granulometrijski sastav, tekstura, dubina, gustoća, ukupna poroznost, hidraulička vodljivost tla i raspoloživa količina vode u tlu. Kemijska svojstva omogućuju sorpciju nekog kemijskog spoja ili elementa na čestice tla.

(6) Hidraulička vodljivost vodonosnika

Predstavlja brzinu procjeđivanja u poroznom mediju te ima dimenziju brzine. Određuje brzinu protoka onečišćenja unutar sustava podzemnih voda. Hidraulička vodljivost ovisi o vrsti materijala i fizikalnim karakteristikama fluida koji prolazi kroz porozni medij. Visoka vodljivost često je indikator prilikom procjene ranjivosti podzemnih voda na veliku ranjivost na onečišćenje (Lisičak, 2018.).

(7) Nagib topografske površine

Nagib terena važan je faktor u procjeni ranjivosti jer uvjetuje zadržavanje otjecanja na površini, a samim time i mogućnost procjeđivanja onečišćivača. Vrijednost parametra raste sa smanjenjem nagiba terena.

Ranjivost vodonosnika panonskog dijela Hrvatske

Indeks ranjivosti vodonosnika za svaki rasterski element postignut je sumiranjem tematskih slojeva, koji su prethodno pomnoženi težinskim faktorima, prema formuli (Brkić i sur., 2009.):

$$I_{SINTACS} = 5S + 4I + 5N + 4T + 3A + 3C + 2S \quad (3)$$

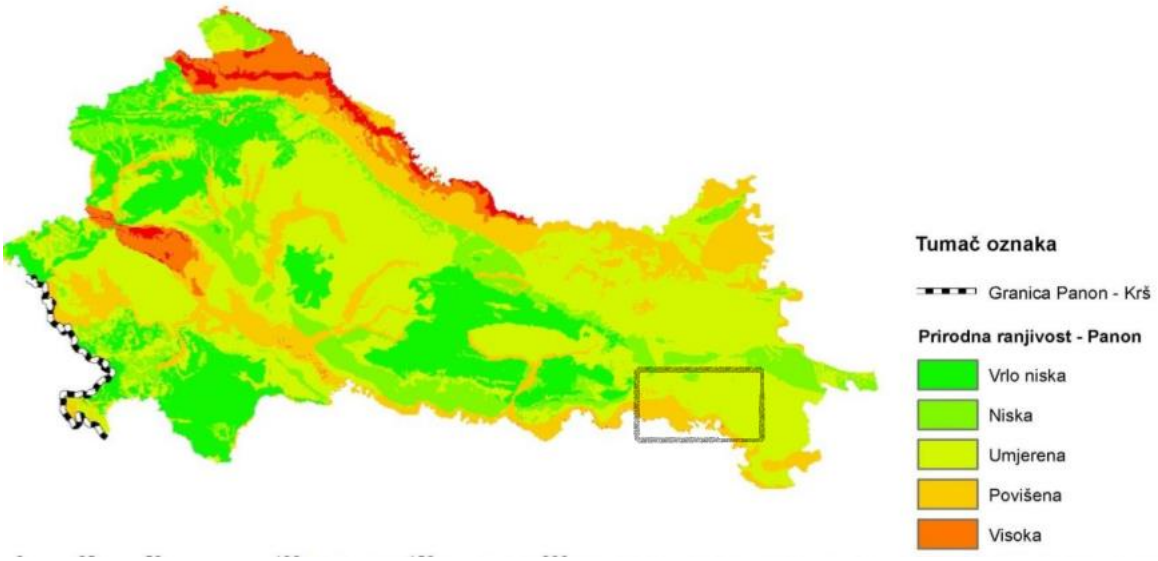
Gdje je: S – dubina do podzemne vode
I – efektivna infiltracija padalina
N - obilježja nesaturirane zone vodonosnika
T – svojstva tla
A – obilježja saturirane zone vodonosnika
C – hidraulička vodljivost vodonosnika
S – nagib topografske površine

Kategorije prirodne ranjivosti vodonosnika na području panonskog dijela Hrvatske sažete su u Tablici 2.1.3.1.

Tablica 2.1.3.1. Kategorija prirodne ranjivosti vodonosnika na području panonskog dijela Hrvatske
Izvor: Brkić i sur., 2009.

Kategorije ranjivosti	Površina (km^2)
Vrlo niska	5590.9
Niska	4041.91
Umjerena	12301.8
Povišena	5197.3
Visoka	1432.7
Vrlo visoka	438.9

Iz Tablice 2.1.3.1. se može zaključiti kako je najveća površina na području panonskog dijela Hrvatske kategorizirana kao umjereno ranjiva dok je najmanji dio površine promatranog područja u kategoriji vrlo visoke ranjivosti.
Na temelju provedenih analiza načinjena je karta prirodne ranjivosti koja je prikazana na Slici 2.1.3.2.



Slika 2.1.3.2. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika panonskog dijela Hrvatske
Izvor: prilagođeno prema Brkić i sur., 2009.

Na području Bid-Bosutskog polja prisutna je u najvećoj mjeri umjerena do povišena prirodna ranjivost vodonosnika. Povišena ranjivost zastupljena je u dolinama rijeke Save na područjima manjih aluvijalnih vodonosnika slabijih hidrauličkih svojstava. Umjerena ranjivost dominantno se nalazi na području istočne Slavonije te slivova rijeke Orljave i Lonje-Ilove-Pakre. Vodonosnici su aluvijalni, razmjerno dobrih do slabih hidrauličkih svojstava. Niska ranjivost je također karakteristična i za aluvijalne vodonosnike s povoljnom zaštitnom funkcijom tla i debljinom krovine većom od 30 m na području zapadne i istočne Slavonije u slivu rijeke Save (Brkić i sur., 2009.).

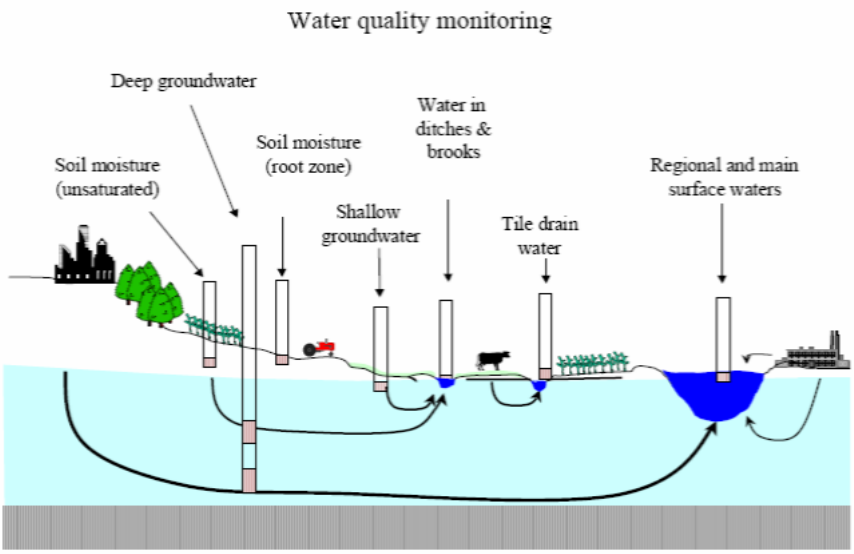
2.2. Monitoring podzemnih voda

Potreba za motrenjem količine i kakvoće podzemnih voda u svim aspektima ljudskog djelovanja svakim danom postaje sve izraženija (Loborec J. i sur., 2019. prema Fouillac i sur., 2009.). Hrvatska, kao vodom bogata zemlja, ima posebnu obvezu brinuti se za održavanje visokog stupnja kakvoće podzemne vode te odgovarajućim upravljanjem osigurati dostatne količine za sve veću potrebu u turizmu, sigurnu vodoopskrbu, poljoprivredu i energetiku (Loborec J., i sur., 2019. prema Biondić i sur., 1998.). Praćenje podzemnih voda prema Okvirnoj direktivi o vodama Europske komisije usmjereno je prvenstveno na cjelinu podzemnih voda, ali uključuje i općenito upravljanje vodnim područjem i ostvarivanje ciljeva zaštite okoliša. Pri određivanju ciljeva monitoringa potrebno je identificirati dijelove okoliša, odrediti prirodne i/ili antropogene uzročnike promjena u okolišu te njihove međusobne interakcije (Mateković V., 2018.). **Monitoring daje cjelovit i sveobuhvatan pregled stanja voda za riječni sliv, njime se utvrđuje postojanje dugoročnih trendova u koncentraciji onečišćujućih tvari izazvanih antropogenim aktivnostima** (Zajednička strategija provedbe Okvirne direktive o vodama, 2007.)**.**

Pojam cjelina podzemne vode definira se kao određena količina podzemnih voda u vodonosniku ili vodonosnicima. Grupiraju se u mreže za potrebe praćenja, a gustoća mreže mora biti takva da uzima u obzir prirodne karakteristike cjeline podzemnih voda i rizike onečišćenja u cilju usmjeravanja aktivnosti na ona područja gdje postoje znatni pritisci i veća osjetljivost vodonosnika. Cjeline podzemnih voda se grupiraju u one koje „nisu pod rizikom“ i one koje su „pod rizikom“. Grupiraju se prema sličnosti u pogledu karakteristika vodonosnika, podložnosti puteva i pritisaka.

Prilikom pokretanja monitoringa važno je odabrati reprezentativnu lokaciju monitoringa podzemnih voda, postaviti opremu i imati provjeren sustav obrade prikupljenih podataka (Marijanović i sur., 2008.). Odabir lokacije uzorkovanja i njihovo funkcioniranje važno je za rezultate kasnijeg postupka procjene. Proces odabira odvija se na temelju tri čimbenika: procjena hidroloških, hidrogeoloških i hidokemijskih karakteristika cjelina podzemnih voda, procjena rizika i laki pristup i sigurnost lokacije. Prilikom odabira vrlo je važna reprezentativnost lokacije. Lokacija odgovarajućih točaka uzorkovanja i odabir odgovarajuće gustoće točaka uzorkovanja temelje se na hidrogeološkim karakteristikama i pritiscima. Monitoring podzemnih voda se u pravilu odnosi na uzimanje uzoraka iz prethodno postavljene mreže bušotina (Mateković V., 2018.). Prilikom postavljanja bušotina treba paziti na lokaciju u svrhu dobivanja što reprezentativnijih i homogenijih rezultata. Uzorkovanje na lokacijama se mora vršiti u jednakim vremenskim razmacima zbog mogućnosti promjene u obrascima koncentracije povezanih s vremenom, naročito u dinamičnim sustavima. Uzorkovanje za potrebe praćenja podzemnih voda zahtijeva planiranje i odabir najprikladnije opreme i metoda. Prilikom uzorkovanja uzimaju se u obzir: hidrogeološki uvjeti (slojeviti vodonosnik, poroznost, raspucanost, tečenje, propusnost), fizičko-kemijska svojstva (hlapivost tvari, apsorpcijska svojstva) i karakteristike točke uzorkovanja (promjer zdenca, dužina rešetke, dubina uzorkovanja) (Zajednička strategija provedbe Okvirne direktive o vodama, 2007.).

Na Slici 2.2.1. prikazani su antropogeni utjecaji iz poljoprivrede, stočarstva, industrije i kućanstva na kakvoću podzemne vode. Postoje razne mogućnosti praćenja stanja podzemne vode: putem vlažnosti nesaturirane zone tla, u zoni korijena, u dubokim i plitkim podzemnim vodama, u drenažnim cijevima kao i putem vode u jarcima i potocima te regionalne i glavne površinske vode.



Slika 2.2.1. Monitoring kakvoće vode
Izvor: Zajednička strategija provedbe Okvirne direktive o vodama, 2007.

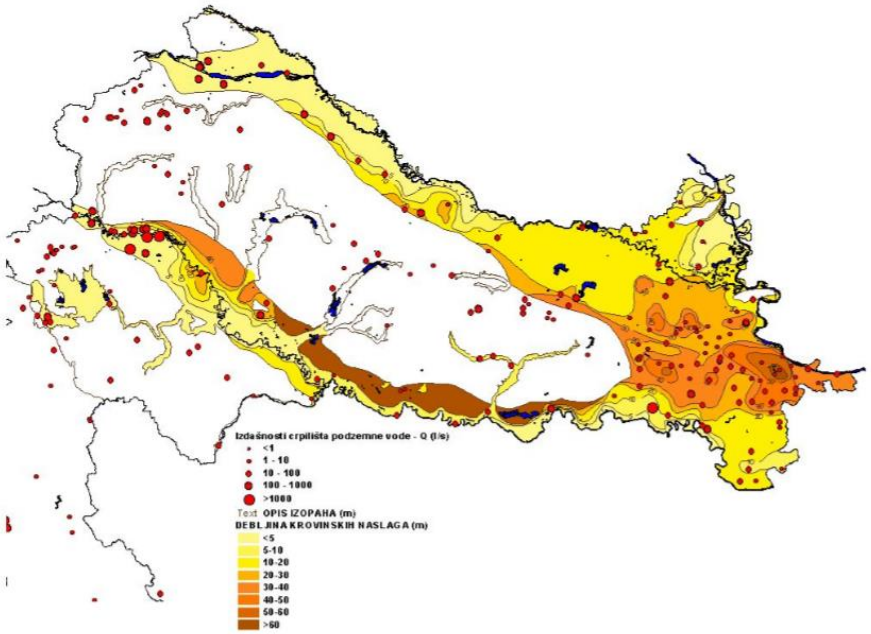
Nujić i sur. (2013.) vršili su trogodišnji monitoring (2004.- 2006.) nitrata u plitkom akviferu na ruralnom području Međimurja i mogućnosti njihova uklanjanja. Ispitivana je koncentracija nitrata iz uzoraka vode uzetih na 14 privatnih bunara. Mogućnost uklanjanja nitrata ispitivana je koristeći filter sa selektivnim ionskim izmjenjivačem Relite A490 – ionska smola. Nitrati su određeni spektrofotometrijskom metodom s 2,6-dimetilfenolom u prisutnosti sumporne i fosforne kiseline. Tijekom trogodišnjeg monitoringa na tri lokacije (bunara) zabilježeno je smanjenje koncentracije nitrata dok na ostatku lokacija nije bilo moguće odrediti trend zbog kraćeg vremena monitoringa. Zbog promjenjivosti vrijednosti i vrlo heterogenih rezultata nije ih bilo moguće povezati sa starosti, dubinom ili nivoom vode u bunarima. Koncentracije nitrata na svim lokacijama bile su više od dopuštene MDK za nitrate (50 mg NO_3/l), a na nekim lokacijama i tri puta veće (166,08 mg NO_3/l). Nakon propuštene prve količine vode zabilježena je visoka učinkovitost uklanjanja nitrata od gotovo 95% do saturacije smole kada ista opada. Zaključak istraživanja je da je kapacitet filtera od smole za izmjenu iona prilično nizak i zahtjeva čestu regeneraciju, ali je ekološki prihvatljiva i jednostavna te produktivna metoda uklanjanja nitrata (Nujić i sur., 2013.). Kovač i sur. (2016.) analizirali su, tijekom 2016. godine, koncentracije nitrata u gornjem i donjem sloju varaždinskog vodonosnika. Ispitivana su tri crpilišta na varaždinskom području i dva crpilišta na području Međimurja. Kakvoća podzemne vode pratila se uzorkovanjem vode u pravilu jednom tjedno. Izračunat je godišnji prosjek koncentracije nitrata te je za svako crpilište izrađen vremenski niz koji prikazuje promjene tijekom promatranog razdoblja. Na svim lokacijama utvrđena je veća koncentracija u gornjem

vodonosnom sloju u odnosu na donji. Pomoću t-testa ispitano je da li je razlika između godišnjih prosjeka koncentracija nitrata u gornjem i donjem vodonosnom sloju značajna u statističkom smislu. Zaključak analize je da je razlika bila statistički značajna, odnosno da je koncentracija nitrata u gornjem vodonosnom sloju bila značajno viša u odnosu na koncentraciju u donjem sloju. To u konačnici ukazuje na veću izloženost gornjeg sloja onečišćenju i veću zaštitu donjeg sloja od onečišćenja koju pruža slabopropusni međusloj. Nemčić-Jurec i Vadla (2010.) u razdoblju od 2002. do 2007. godine vršili su monitoring nitrata u vodi za piće iz plitkih bunara na području Koprivničko-križevačke županije. U istraživanom području razvijena je intenzivna poljoprivredna proizvodnja s primjenom visokih količina organskih i mineralnih gnojiva. Na području Koprivničko-križevačke županije podzemna voda koristi se kao jedini izvor vode za piće. Analizirana je voda iz 104 bunara s ukupno 1170 uzoraka (tijekom cijele godine), a uzorkovanje je provedeno prema normi HRN ISO 5667-3. Koncentracija nitrata u vodi za piće utvrđena je metodom ionske kromatografije. Podaci su analizirani deskriptivno (aritmetička sredina, medijan, koeficijent korelacije), te su uspoređivani s MDK od 50 mg/l Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Na temelju rezultata mjerenja koncentracije nitrata u vodi za piće iz plitkih bunara na području Koprivničko-križevačke županije, raspon aritmetičkih sredina kretao se od 0,1 do 279 mg/l, a ukupna prosječna koncentracija iznosila je 41,7 mg/l. Koncentracije nitrata razlikovale su se ovisno o području županije što je rezultat djelovanja specifičnih stambenih čimbenika. Koncentracija nitrata iznad MDK u 38% uzoraka zabilježena je na Križevačkom području gdje je razvijena biljna i stočarska proizvodnja. Zaključci monitoringa su da je prostornim rasporedom utvrđen različit udio uzoraka u vodi za piće iz plitkih bunara s koncentracijom nitrata iznad MDK; na području Križevaca 38%, na području Koprivnice 23%, a na području Đurđevca 6%. Nadalje, utvrđeno je da blizina točkastih izvor onečišćenja do 10 metara značajno utječe na kvalitetu vode za piće iz plitkih bunara. U pojedinim bunarima utvrđene su statistički značajne pozitivne (r=0,45 do 0,87) ili negativne (r=-0,30 do -0,66) korelacijske veze, dok u trećoj skupini bunara nije utvrđena korelacija (r=-0,14 do -0,24) količine oborina i koncentracije nitrata. Na području samoborskog vodonosnika uzimanje uzoraka za analizu kakvoće vode na piezometrima te sustavno praćenje rezultata vršilo se od 1991. do 2010. godine. Prema Okvirnoj direktivi o vodama analizirani su, uz niz drugih pokazatelja, nitrati, amonijak i fosfati u podzemnoj vodi. Dobiveni rezultati obrade kemijskih analiza podzemne vode svrstani su u 3 grupe, a nitrati i amonijak su svrstani u pokazatelje čije zabilježene vrijednosti nisu premašivale MDK. Koncentracije amonijaka u piezometrima registrirane su u vrlo malim iznosima i ne dosežu granične vrijednosti. Mjerenja su pokazala da se na predmetnom području izmjerene količine nitrata pojavljuju u ujednačenim i niskim koncentracijama (do 10 mg/l). Mjerene koncentracije fosfata u piezometrima na motrenom području pokazuju vrijednosti koje su dosta ispod graničnih vrijednosti (Martinuš A., 2011.). Vidaček i sur. (2005.) provode istraživanja na agroekološkoj postaji Kapelna na dreniranom močvarno glejnom tlu, u razdoblju od 2001. do 2004. godine. Nitrati u kompozitnim mjesečnim uzorcima procjedne i podzemne vode analizirani su metodom Chapman-a i Pratt-a (1961.). Koncentracije nitrata u procjednoj vodi bile su u uvjetima uzgoja i gnojidbe ozimog

ječma od 22,5 do 121,5 mg NO_3/l, kukuruza 13,5 do 62,0 mg NO_3/l, suncokreta 13,5 do 45,0 mg NO_3/l i ozime pšenice 7,1 do 161,9 mg NO_3/l. U istim uvjetima uzgoja i gnojidbe koncentracije nitrata u podzemnoj vodi bile su za ozimi ječam 2,7 do 81,2 mg NO_3/l, kukuruz 28,4 do 65,1 mg NO_3/l, suncokret 30,1 do 42,5 mg NO_3/l i ozimu pšenicu 33,0 do 113,2 mg NO_3/l. U agroekološkim uvjetima postaje Kapelna pri gnojidbi ozimog ječma i kukuruza koncentracije nitrata u procjednoj vodi dreniranog močvarno glejnog tla povremeno su prelazile MDK od 50 mg NO_3/l, dok su istovremeno koncentracije nitrata u podzemnoj vodi konstantno bile ispod navedene MDK. Šimunić i sur. (2010.) provode trogodišnja istraživanja (2007. – 2009.) utjecaja razmaka drenažnih cijevi na kakvoću vode na hidromelioriranim površinama. Istraživanja su provedena na pokusnom polju „Jelenščak“ Kutina, na hidromelioriranom psuedoglej-glejnom tlu. Tlo je drenirano sa četiri različita razmaka drenažnih cijevi (15 m, 20 m, 25 m i 30 m), postavljenih u četiri ponavljanja. Uzorci drenažne vode uzimani su na izljevu drenažnih cijevi u kanal, u kojoj su, uz brojne parametre određivane i koncentracije nitrata. Na temelju analize drenažne vode utvrđeno je da je u svakoj godini, na svim varijantama, koncentracija nitrata bila viša od MDK vrijednosti. U vremenu od 1. rujna 2009. do 31. kolovoza 2010. godine na istom pokusnom polju i za iste razmake drenažnih cijevi, Šimunić i sur. (2012.) istražuju utjecaj razmaka cijevi na količinu ispiranja nitrata i prinos uljane repice. Pri uzgoju bile su primjenjivane jednake agrotehničke mjere na svim razmacima cijevi. Zaključeno je da su manji razmaci cijevi bili učinkovitiji u odvodnji suvišne vode iz tla, što je prouzročilo veće ispiranje nitrata, ali i veći prinos uljane repice u odnosu na veće razmake cijevi. Na tipičnim poljoprivrednim i šumskim ekosustavima Kine, Zhang X. i sur. (2013.) proveli su šestogodišnji (2004.- 2010.) monitoring nitrata u plitkim podzemnim vodama. Koncentracije nitrata iz plitkih bunara analizirane su s 43 bušotine. Rezultati su pokazali da je većina lokacija poljoprivrednih i šumskih ekosustava imala koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi ispod dopuštene MDK. Prosječne koncentracije nitrata bile su značajno više u poljoprivrednim ekosustavima (4.1 mg/l) u odnosu na šumske ekosustave (0.5 mg/l). Na 10 od 43 bušotine, koncentracije su prelazile 10 mg/l što se povezuje s visokom stopom navodnjavanja na poljima koja su smještena u sušnim i polu-sušnim područjima. Istraživanja, koja su proveli Rozemeijer i sur. (2009.) u Nizozemskoj, na eksperimentalnoj farmi De Marke pokazala su veliku povezanost između oborina i koncentracija nitrata na dubini do 1 m. Njihovi su rezultati pokazali da su koncentracije nitrata u podzemnoj vodi varirale između 55% i 153% u odnosu na prosječne koncentracije te da su se niže vrijednosti javljale u vlažnijem dijelu godine u kojem je dolazilo do intenzivnijeg razrjeđenja (Filipović V., 2012.). Pauwels i sur. (2000.) proveli su istraživanja kojima su utvrdili razlike u koncentraciji nitrata na različitim dubinama u tlu. Utvrdili su da na koncentracije nitrata u podzemnoj vodi utječu procesi denitrifikacije i razrjeđenja. Navode kako se s povećanjem oborina povećava koncentracija nitrata, ali prilikom većih količina oborina dolazi do smanjenja koncentracija nitrata u podzemnoj vodi (Filipović V., 2012.). Više vrijednosti nitrata prisutne su u proljeće i ljeto, što potvrđuju i Seong-Chun i sur. (2005.) što se povezuje s povećanim unosom dušičnih gnojiva u tom razdoblju.

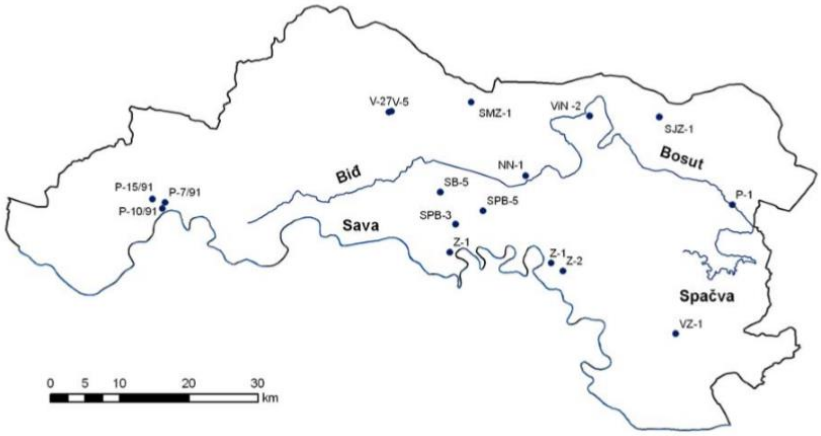
2.2.1. Monitoring podzemnih voda na području cjeline istočne Slavonije i značajke vodonosnika

Motrenje razina podzemnih voda u panonskom dijelu Hrvatske provodi se u okviru nacionalne mreže motrenja od strane Državnog hidrometeorloškog zavoda Hrvatske. Motrenje je uspostavljeno na više stotina piezometara u dolinama rijeke Drave i Save. Istočna Hrvatska pripada južnom rubu Panonskog bazena kojim dominiraju prostrane ravnice rijeke Drave i Save u kojima su formirani vodonosnici primarne (intergranularne) poroznosti. Debljina krovinskih naslaga u pridravskoj i prisavskoj ravnici najmanja je na zapadu, a najveća na istoku (Slika 2.2.1.1.). Na krajnjem zapadu u obje ravnice, krovinske naslage uglavnom imaju debljinu manju od jednog metra. Idući nizvodno prema istoku, debljine su u pravilu znatno veće, a na krajnjem istoku dosežu čak i 50-70 m. Povećanje debljine uvjetovano je geološkim obilježjima terena i reljefom. U istočnoj Hrvatskoj reljef je uglavnom blag i spušten, pa su stvoreni uvjeti za taloženje najsitnijeg materijala. U litološkom sastavu prisavske ravnice dominira glinovita komponenta. Analizom prosječnih vrijednosti hidrauličke vodljivosti pojedinih tipova tala, koji se obično nalaze u sastavu krovinskih naslaga, dobiva se prosječna hidraulička vodljivost gline između 10^{-5} i 10^{-3} m/dan. Aluvijalni vodonosnici u prisavskoj ravnici istočne Hrvatske poluzatvorenog do zatvorenog su tipa zbog debljine krovinskih naslaga. Napajanje vodonosnika odvija se infiltracijom padalina kroz naslage. Unutar naslaga je formiran procjedni vodonosni sloj u kojem se akumulira voda dospjela infiltracijom padalina i koji predstavlja „izvorni“ sloj u procesu napajanja dublje položenog vodonosnika (Brkić i sur., 2009.). Osnova za izdvajanje cjelina podzemnih voda brojni su elementi: geološka građa terena, poroznost, geokemijski sastav vodonosnika, hidrogeološke karakteristike, krovinske naslage iznad vodonosnika, smjer toka podzemne vode, izdašnost izvora i zdenaca, napajanje podzemnih voda i odnos s površinskim tokovima. Grupiranje cjelina provedeno je na temelju sličnosti hidrogeoloških karakteristika vodonosnika i opće sheme "napajanje - tok podzemne vode – istjecanje“. Cjelina istočna Slavonija nalazi se u slivu Save (Slika 2.2.1.2.). Provedena je analiza opterećenja i utjecaja ljudske djelatnosti na podzemne vode. Raspoloživi izvori onečišćenja razvrstani su u skupine točkastih i raspršenih izvora. Raspršeni izvori, poznati i kao difuzni, proizlaze iz široke grupe ljudskih aktivnosti, gdje nije moguće precizno utvrditi točku izvora onečišćenja. Točkasti izvori, predstavljaju one aktivnosti iz kojih onečišćenje izravno ulazi u vodu (Romić D., 2003.). Kao najznačajniji raspršeni izvori onečišćenja ističu se područja s poljoprivrednom proizvodnjom. Karakteristike cjeline su međuzrnska poroznost i vrlo heterogen litološki sastav (šljunak, pijesak, prah i glina). Korištenje prostora je u najvećoj mjeri za poljoprivredne djelatnosti, a tek nešto manji udio imaju industrijske djelatnosti, šumarstvo i rudarstvo.



Slika 2.2.1.1. Debljina krovinskih naslaga iznad aluvijalnih vodonosnika panonske Hrvatske
Izvor: Brkić, 1999.

Za ocjenu stanja kakvoće podzemne vode korišteni su podaci dobiveni iz Hrvatskih voda (mjerenja u sklopu nacionalnog motrenja) i Vodovoda – Slavonski Brod. pH vrijednosti se nalaze u intervalu od 7.0 do 9.5 i reakcija im je neutralna do alkalna. EC vrijednosti nalaze se u intervalu od 277 do 1177 µS/cm. Samo 4% motrenih uzoraka podzemne vode vrlo su dobro zasićeni kisikom, a 86% uzoraka su slabo zasićeni kisikom. Slaba zasićenost kisikom podzemnih voda je posljedica prirodnih uvjeta u vodonosnicima. Aluvijalni vodonosnici u kojima ima pjeskovito – glinovite i organske komponente osiromašeni su kisikom. Koncentracije nitrata na području daleko su ispod vrijednosti MDK i kreću se ispod granice detekcije do 19mg/l (HGI, „Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu RH“, 2009.)



Slika 2.2.1.2. Kartografski prikaz sliva Save za cjelinu istočna Slavonija
Izvor: Hrvatski geološki institut, Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu RH, 2009.

2.3. UTJECAJ POLJOPRIVREDE NA PODZEMNE VODE

Utjecaj poljoprivrede na podzemne vode očituje se kroz njihovo onečišćenje. Onečišćenje se može definirati kao smanjenje kakvoće uslijed unošenja primjesa (Romić D., 2003.). Kada govorimo o izvorima onečišćenja razlikujemo raspršene i točkaste izvore. Raspršenim izvorima nije moguće precizno utvrditi točku izvora onečišćenja. S druge strane, točkasti izvori predstavljaju one aktivnosti iz kojih onečišćenje izravno ulazi u vodu te im je poznata točka izvora onečišćenja. Poljoprivreda spada u skupinu i raspršenih i točkastih izvora onečišćenja. Najveće onečišćenje iz poljoprivrede događa se nakon obilnih kiša. Najbolji primjer kako poljoprivreda može biti i točkasti i raspršeni izvor onečišćenja je stajski gnoj. Kada se stajski gnoj iznosi iz staja i neodgovarajuće zbrinjava možemo govoriti o točkastom izvori, a njegovim razbacivanjem po tlu postaje raspršeni izvor.
Mnoge poljoprivredne aktivnosti utječu na podzemne vode. Kada govorimo o gnojidbi, bilo mineralnim ili stajskim gnojem najveći neminovni problem je ispiranje nitrata u podzemnu vodu, danas jedan od najvećih (uz stakleničke plinove) ako ne i najveći problem poljoprivredne proizvodnje. Razvojem kemijske industrije razvijaju se i broji pesticidi koji mogu biti isprani u podzemnu vodu i time onečistiti izvore vode za piće. Navodnjavanje također šteti podzemnim vodama u vidu salinizacije i obogaćivanja hranjivima.

2.3.1. Onečišćenje podzemnih voda dušikom i fosforom iz gnojiva

Dušik

Dušik spada u grupu neophodnih elemenata za biljku. Podrijetlom je iz atmosfere, ali se usvaja u mineralnom obliku i prema tome se svrstava u grupu mineralnih elemenata. Kemija dušika smatra se najvažnijim dijelom agrokemije jer je sastavni dio proteina, nukleinskih kiselina, fotosintetskih pigmenata, amina, amida i drugih spojeva koji čine osnovu života. Biljke dušik ne mogu koristit u molekularnom obliku. Za prevođenje molekularnog oblika dušika do amonijaka ili nitrata, u kojim ih oblicima biljke usvajaju, potrebna je ogromna količina energije (946 kJ). S druge strane, lako se vraća u molekularno stanje u kojem je i najstabilniji pa se lako gubi iz tla (Vukadinović V., 2011.). U svim agroekološkim uvjetima dušik prolazi kroz brojne promjene u nizovima složenih procesa i reakcija. Jedni procesi sudjeluju u nakupljanju dušika (npr. mikrobiološka fiksacija), dok drugi sudjeluju u gubicima dušika (npr. denitrifikacija odnosno ispiranje). Povećanje unosa dušika gnojidbom poljoprivrednih kultura povećalo je količine dušika, ali nije promijenilo smjerove kruženja tog elementa. Kada se radi o ispiranju dušika tada to povećanje ima posljedice na podzemne vode u obliku povećanja koncentracije nitrata (NO_3^-). Mineralni dušik je skupni izraz za NO_3^- i NH_4^+, a podrazumijeva i ureu jer hidrolizom nastaje NH_4^+ (Romić D., 2003).
Dušik u tlu može biti u obliku organskih i anorganskih spojeva. Osnovni oblici dušika u tlu su amonijski (NH_4^+), nitratni (NO_3^-) i organske tvari. Većina dušika u tlu nalazi se vezana u organskoj tvari, koju mikrobi u tlu sporo razgrađuju do NH_4^+. Proces mikrobiološke

transformacije NH_4^+ u NO_3^- je znatno brži, a oba su oblika izravno pristupačna biljkama. Biljke mogu primiti i male količine plinovitog NH_3 i topljivih organskih spojeva s dušikom kao što su urea i amino kiseline. Dušik vezan u drugim organskim spojevima može postati pristupačan tek nakon njihove razgradnje (Romić D., 2003). Amonijak u tlu može postati iz više izvora. Jedan način je mineralizacija organskog dušika iz stajskog gnoja, biljnih ostataka ili humusa, no na taj način NH_4^+ vrlo sporo postaje pristupačan biljci. Drugi način je primjenom gnojiva koji sadrže NH_4^+ i na taj način izravno je pristupačan biljci. Ostali načini su hidrolizom uree i atmosferskom depozicijom.

NH_4^+ može biti adsorbiran na minerale gline ili organske koloide čime se smanjuje njegova mobilnost u tlu. S druge strane, nitratni oblik dušika (NO_3^-) mobilniji je u tlu i jedan je od najmobilnijih iona. Razlog tome je što u tlima prevladava adsorpcija kationa dok adsorpcija aniona ovisi o tipu tla i vrsti aniona (neki se anioni vežu čvršće npr. fosfati, a neki slabije – nitrati). Iz tog razloga oni su u većoj mjeri podložni ispiranju ukoliko su koncentracije u tlu veće od potrebe biljke. Ukupna količina dušika u tlu ovisi o nizu čimbenika kao što su: klima, vegetacija, topografija terena, matični supstrat, starost tla itd. U poljoprivrednim tlima ukupna količina dušika je najčešće 0,1 do 0,3% od čega je za ishranu bilja pristupačno tijekom jedne vegetacijske sezone svega 1 do 3% (Vukadinović V., 2011).

<u>Procesi u ciklusu dušika</u>

Azam i sur. (1995.) navode kako od ukupnog dušika dodanog u tlo oko 50% uzima biljka, oko 25% se veže u tlu i oko 25% se gubi putem ispiranja, denitrifikacije i drugih mehanizama. Iz tog razloga važno je razumjeti procese koji se javljaju u ciklusu kruženja dušika, a to su: nitrifikacija, dentirifikacija, ispiranje nitrata ili volatizacija amonijaka (Slika 2.3.1.1.) (Filipović, V., 2012.).
Nitrifikacija je proces mikrobiološke transformacije NH_4^+ u NO_3^-. Događa se u aerobnim uvjetima, a posljedica je zakiseljavanje tla uslijed oslobađanja vodikova protona. Proces je dvostupanjski jer se amonijak prvo oksidira u nitritni oblik, a nitrite oksidirajuće bakterije oksidiraju do nitrata.

1. Amonijak oksidirajuće bakterije oksidiraju amonijak do nitrita prema reakciji (Mušić M., 2012.):

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O \quad (4)$$

2. Nitrit oksidirajuće bakterije oksidiraju nitrite do nitrata (Mušić M., 2012.):

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^- \quad (5)$$

3. Ukupna reakcija oksidacije amonijaka do nitrata (Mušić M., 2012.):

$$NH_4^+ + O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O \quad (6)$$

Na proces nitrifikacije utječe niz čimbenika okoline: kakvoća otpadne vode, temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH vrijednosti vodenog okoliša, prisustvo toksičnih sastojaka, alkalitet vodenog okoliša te vrste mikroorganizama. Optimalna pH vrijednost vodenog okoliša je približno 7,2, temperatura između 25 i 30° C, a koncentracija otopljenog kisika 3 do 7 mg O_2/L. Visoke koncentracije otopljenog kisika ne utječu znatno na stopu nitrifikacije, dok niske koncentracije otopljenog kisika znatno smanjuju stopu nitrifikacije (Mušić M., 2012.).

Denitrifikacija je transformacija NO_3^- u dušik (N_2) i njegov povratak u atmosferu. Anaeroban je proces tijekom kojega mikrobi denitrifikatori koriste lako razgradljivu organsku tvar kao izvor energije (Romić D., 2003). Proces je deasimilacijske redukcije jednog ili oba iona dušikova oksida (NO_3^- ili NO_2^-) do plinovitog oksida (NO ili N_2O) i zatim do plinovitog dušika.

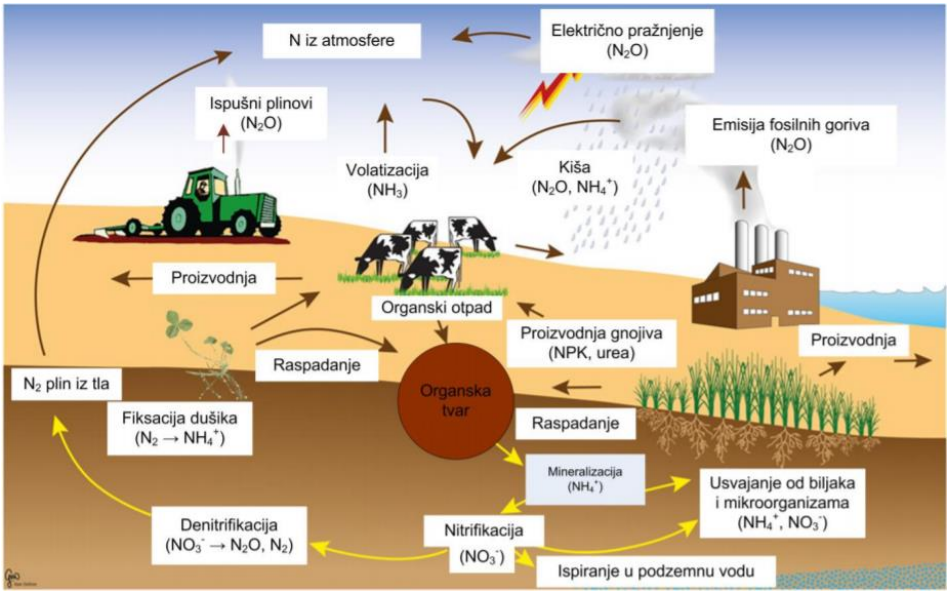
Redukcija nitrata do plinovitog dušika (Mušić M., 2012.):

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \quad (7)$$

Volatizacija amonijaka je prisutna kod svih dušičnih gnojiva na bazi amonijaka (urea, NPK) (Jones, 2006.). Primjena uree na površinu tla može dovesti do procesa volatizacije u tlu u obliku NH_3 (Filipović V., 2012.). Nakon primjene, urea se vrlo brzo razgrađuje do amonijaka jer je jako topljiva u vodi. Topljivost i brzina razgradnje uree se povećavaju s povećanjem temperature, a kisela tla također utječu na proces. Volatizacija uree nakon primjene na tlo usko je povezana sa sadržajem vode u tlu, ali i s količinom oborina (Filipović V., 2012). Sadržaj vode u tlu utječe na razgradnju i kretanje uree u tlu, proces hidrolize i kretanje produkata hidrolize uree (Ferguson i Kissel, 1986.). Sadržaj vode u tlu je pod utjecajem oborina i već se pri malim količinama oborina (<15 mm) povećava volatizacija i smanjuje ispiranje u dublje slojeve tla. Uz količinu, na proces volatizacije utječe i raspored oborina pa se tako većina gubitaka NH_3 događa u prvih nekoliko dana nakon primjene uree (Filipović V., 2012).

Ispiranje nitrata je posljedica nakupljanja NO_3^- u tlu u vrijeme kad na površini nema kulture i kada je vrijeme obilnih oborina. Ispiranje nitrata najvažniji je način gubitka elementa dušika iz tla. Hooda i sur. (2000.) iznose zaključke da je 97 do 98 % dušika koji se ispire u obliku nitrata. Na koncentraciju NO_3^- u podzemnoj vodi utječu procesi denitrifikacije i razrjeđenja (Filipović V., 2012 prema Pauwels i sur., 2000.). Količina i ispiranje nitrata ovisi o količini, rasporedu i intenzitetu oborina, načinu korištenja tla i procesima mineralizacije organske tvari. S povećanjem oborina povećava se i koncentracija dušika u podzemnim vodama (Filipović V., 2012.). Koncentracije nitrata u podzemnim vodama variraju između 55 i 153% od prosječe koncentracije uslijed varijacije u količini oborina (Rozemeijer i sur., 2009.). Vremenska varijabilnost koncentracije NO_3^- u podzemnoj vodi ovisi o aktivnostima na poljoprivrednim površinama, rasporedu i intenzitetu oborina, prihrani vodonosnika, navodnjavanju, unosu dušika, uzgajanoj kulturi itd., a svi navedeni faktori variraju tijekom godine (Filipović V., 2012. prema Hallberg, 1987., Haycock i Burt, 1993., Kelly, 1997., Macpherson, 1998.).

Posljedice ispiranja iz tla su povećanje njihove koncentracije u podzemnoj vodi i vodi za piće. Europska unija i Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) postavile su granicu koncentracije od 11,3 mg dušika (N) po litri što je jednako 50 mg $NO_3^- l^{-1}$ (Filipović V., 2012.).



Slika 2.3.1.1. Procesi u ciklusu dušika, izvori i produkti razgradnje
Izvor: Filipović V., 2012.

Fosfor

Fosfor se u prirodi nalazi najvećim dijelom u obliku fosfata. Zadovoljavajuća opskrba fosforom postiže se primjenom organskih i mineralnih gnojiva. Primjena fosfornih gnojiva, kao i dušičnih, ima određene posljedice u vidu transporta do vodotoka i njihove eutrofikacije. Raspon koncentracija fosfora u tlima kreće se od 0.1 do 3 g kg^{-1}, ali bez obzira na relativno dobru zastupljenost u tlu pristupačnost fosfora biljkama je vrlo često slaba (Romić D., 2003.). U tlu je najvećim dijelom vezan za čvrstu fazu, a njegova koncentracija u otopini je vrlo niska. Količina fosfora u mineralima tla i brzina otpuštanja u labilni pol, količina organske tvari u tlu, sadržaj i vrste minerala gline, pH i sadržaj kalcija, željeza i aluminija čimbenici su koji utječu na pristupačnost i pokretljivost fosfora u tlu (Vukadinović V., 2011.). Fosfor se iz tla gubi iznošenjem kulturom, površinskim otjecanjem, erozijom tla te ispiranjem. Najviše fosfora iz tla gubi se površinskim otjecanjem, tako da obilne oborine neposredno nakon gnojidbe mineralnim ili stajskim gnojem mogu uzrokovati značajne gubitke. Gubici fosfora vertikalnim procjeđivanjem kroz tlo su manji od gubitaka površinskim otjecanjem. Do procjeđivanja izvan rizosfere može doći kada se fosfor nalazi u topljivom organskom obliku (npr. stajski gnoj) i kada je premašen kapacitet tla da zadrži anorganske oblike fosfora (Romić D., 2003.). Fosfati u vodama javljaju se iz različitih izvora. Velike količine polifosfata mogu potjecati iz sredstava za čišćenje. Ortofosfati koji se koriste u poljoprivredi kao umjetna gnojiva, također ispiranjem dospijevaju u površinske vode. Organski fosfor dospijeva u vodene sustave ekskrecijom vodenih organizama te otpadnim vodama (Vukadinović V., 2011.).

3. MATERIJALI I METODE

Jedan od ciljeva „Monitoringa vodnog režima poljoprivrednih tala i kakvoće vode na području dovodnog Melioracijskog kanala za navodnjavanje Bić–Bosutskog polja za razdoblje 2014.-2018. godine“ je utvrđivanje (analiza) utjecaja poljoprivredne proizvodnje na podzemne vode u promatranom području. Kakvoća podzemne vode u pokrovnom (talnom) dijelu profila tla praćena je u prosjeku na ukupno 35 lokacija, dubokih (4 m dubine) hidropedoloških piezometara i na 5 hidrogeoloških piezometara dubine 15,0 m. Uzorkovanje vode iz piezometara vršeno je svakih 60 dana, odnosno 6 puta godišnje. U navedenom razdoblju detaljno su prikazani rezultati kakvoće i onečišćenja podzemne vode u plitkom talnom akviferu do 4,0 m dubine. Rezultati analize kakvoće vode u dubokom akviferu, djelomično su analizirani na užem području dovodnog Melioracijskog kanala, koje pokrivaju vrlo duboki (hidrogeološki) piezometri I, II, III, IV i V. Zbog „suhoće“ piezometara tijekom 2017. i 2018. godine prikazani su nepotpuni rezultati (ne kroz cijelu godinu) samo u zimsko-proljetnom razdoblju kada je bilo vode u piezometrima. U svim uzorcima vode analizirani su standardni pokazatelji: nitrati, amonijak i fosfati, prikazani u vrijednostima kao: NH_4-N, NO_3- N, ukupni N i PO_4 – P (fosfor iz ortofosfata). U opažanju kakvoće podzemne vode tijekom 2016. godine analizirano je ukupno 207 uzorka vode, 2017. godine 35 uzoraka, a 2018. godine 54. Temeljni razlog manjeg broja uzoraka je nedostatak vode zbog „suhoće“ piezometara.

Interpretacija onečišćenja podzemnih voda amonijakom, nitratima, ukupnim dušikom i fosforom izvršena je na temelju Uredbe o klasifikaciji voda, N.N. br. 77/98 i 137/08 (Tablica 3.1.) i Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće N.N. 47/2008.

Tablica 3.1. Dopuštene granične vrijednosti pokazatelja za pojedine vrste voda
Izvor: Uredba o klasifikaciji voda, N.N. br. 77/98 i 137/08

	Mjerna jedinica	**MDK[3]**	**I.**	**II.**	**III.**	**IV.**	**V.**
Amonijak /NH_4^+	mg N/l	0.50	< 0.10	0.10 – 0.25	0-25 – 0.60	0.60 – 1.50	> 1.50
Nitrati /NO_3^-	mg N/l	50	< 0.5	0.5 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 10.0	> 10.0
Ukupni dušik /N	mg N/l	11.3	< 1.0	1.0 – 3.0	3.0- 10.0	10.0– 20.0	> 20.0
Ukupni fosfor /P -tekućice	mg P/l	300[4]	< 0.10	0.10 – 0.25	0-25 – 0.60	0.60 – 1.50	> 1.50
Ukupni fosfor /P -stajaćice			< 0.01	0.01 – 0.025	0.025 – 0.06	0.06 – 0.15	> 0.15

[3] MDK – maksimalno dopuštena granica
[4] Mjerna jedinica za MDK je P μg/l i odnosi se na fosfate

3.1. Prirodne značajke i opis lokacije monitoringa

Sliv Bid-Bosuta u savskoj nizini najistočniji je u Hrvatskoj, a dijelom se rasprostire i u Srbiji. Čini ga ravni reljef te brojni meandri nastali zbog malih padova vodotoka. Bid-Bosutsko polje nalazi se većim dijelom u istočnoj Slavoniji, a manjim dijelom u zapadnom Srijemu na lijevoj obali rijeke Save. Polje je dobilo naziv po glavnim recipijentima koji prolaze područjem, vodotocima Biđu i Bosutu. Slivno područje Bid-Bosutskog polja prostire se na 343 200 ha (Plišić i sur., 2014.). Prije izgradnje savskih nasipa Bosut je bio drugi paralelni tok rijeke Save, što je razlog meandriranja toka Bosuta niskim terenima, velike dubine i malih uzdužnih padova (od 0,025‰ do 0,050‰). Ukupna dužina rijeke Bosut je 132 km, a njezin sliv predstavlja nizinsko područje s visinama od 85 do 90 m.n.m. i mjestimičnim depresijama ispod 80 m.n.m. Bid je rijeka duga 66 km, pritok je Bosuta i izvire na padinama Dilj-gore.

Prema svojim obilježjima izrazito je poljoprivredno područje gdje čak 75% stanovništva živi u ruralnim sredinama, pretežito se baveći poljoprivredom. U strukturi zemljišnih površina prevladavaju oranice, voćnjaci, vinogradi i šume. Na oraničnim površinama se u glavnom uzgajaju ratarske kulture: pšenica, kukuruz, soja, ječam, zob, suncokret i šećerna repa. Uz oraničnu proizvodnju razvija se tradicionalno zastupljeno stočarstvo s naglaskom na uzgoj krava i svinja (Filipović, Mustać, Petošić i sur., 2018.).

3.1.1. Značajke tala na lokacijama monitoringa

U sklopu projekta „ Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala i kakvoće vode na području dovodnog Melioracijskog kanala za navodnjavanje Bid – Bosutskog polja za razdoblje 2014.-2018. godine“ provedeno je utvrđivanje (analiza) utjecaja poljoprivredne proizvodnje na onečišćenje tla, površinske i/ili podzemne vode na 6 proizvodnih jedinica (Slika 3.1.1.1.).

Proizvoda jedinica 1 – Babina Greda - Kladavac

Tlo na proizvodnoj jedinici (u daljnjem tekstu p.j.) je hidromeliorirano drenažom iz močvarno glejnog, hipogleja tla i veličine je oko 30 ha. Parcela se koristi kao oranica za proizvodnju osnovnih ratarsko – industrijskih i/ili krmnih kultura. Zbog veličine parcele tijekom godine se uzgaja više poljoprivrednih kultura. U 2016. godini uzgajani su zob i uljana repica, 2017. godine uljana repica i 2018. godine soja.

U Tablici 3.1.1.1. prikazana su osnovna kemijska svojstva proizvodne jedinice u 2016., 2017. i 2018. godini.

Proizvodna jedinica 2 – Babina Greda – Konjsko

Tlo na p.j. je hidromeliorirano drenažom iz hipogleja i veličine je oko 20 ha. Trasa dovodnog Melioracijskog kanala prolazi sredinom područja između p.j. 1 i 2. U 2016. godini uzgajan je pir, 2017. godine soja i 2018. godine soja i tritikale.

U Tablici 3.1.1.2. prikazana su osnovna kemijska svojstva proizvodne jedinice u 2016., 2017. i 2018. godini.

Proizvodna jedinica 3 – Gundinci – Jasinje

Tlo na p. j. je hidromeliorirano drenažom iz livadskog pseudoglejnog tla. Izvršeni su i hidromelioracijski zahvati blažeg intenziteta odvodnje (djelomično drenirano). U 2016. godini uzgajan je stočni ozimi ječam, 2017. i 2018. godine lucerna.

U Tablici 3.1.1.3. prikazana su osnovna kemijska svojstva proizvodne jedinice u 2016., 2017. i 2018. godini.

Proizvodna jedinica 4 – Gundinci – Dobrovo

Tlo na p.j. je djelomično hidromeliorirano (jedan oblik nepotpune otvorene kanalske mreže) močvarno glejno hipoglejno, mineralno. U 2016. i 2017. godini uzgajani su uljana repica i ozimi ječam, a 2018. godine uljana repica.

U Tablici 3.1.1.4. prikazana su osnovna kemijska svojstva proizvodne jedinice u 2016., 2017. i 2018. godini.

Proizvodna jedinica 5 – Gundinci – crpilište

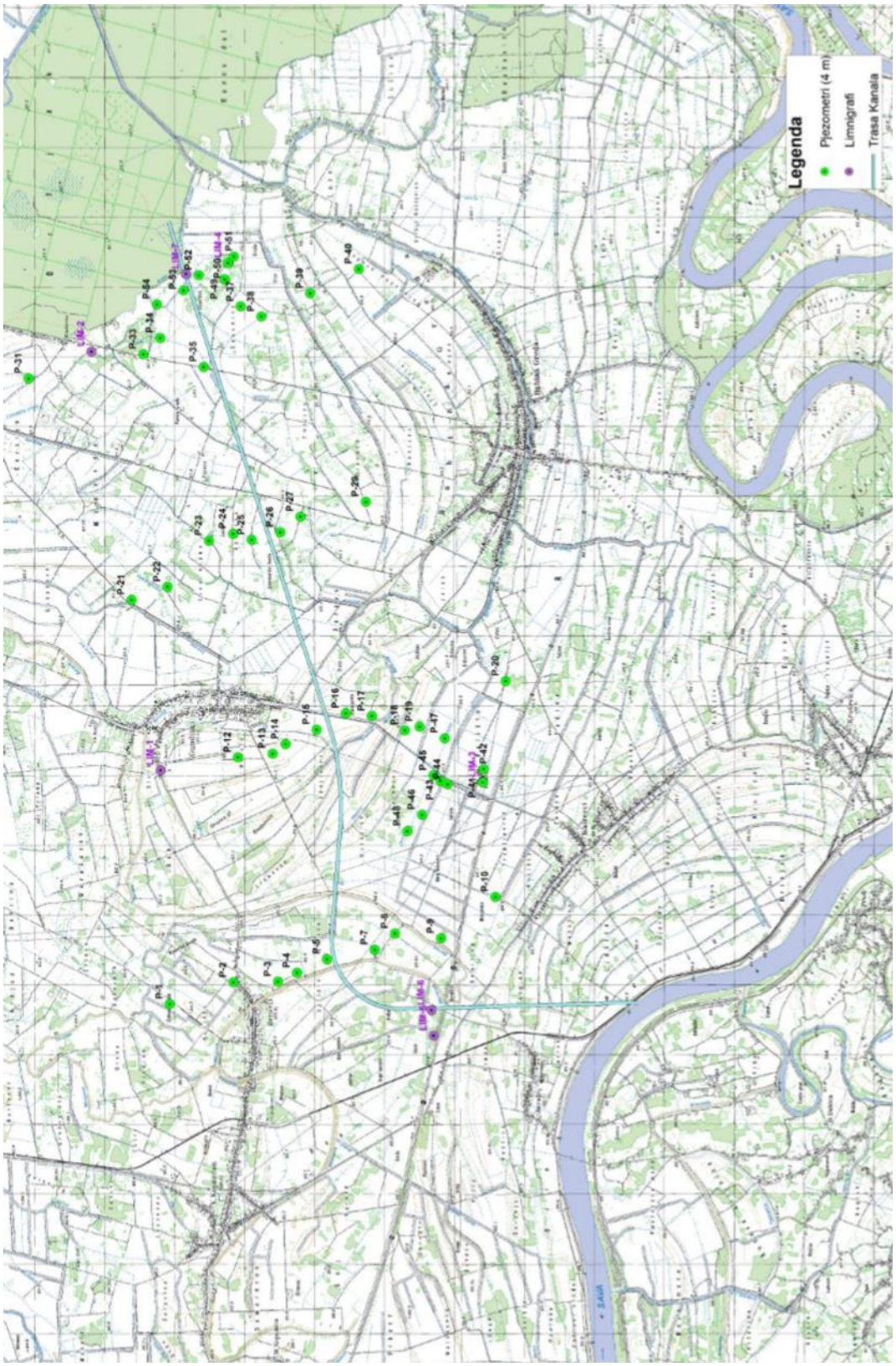
Tlo na p.j. je hidromeliorirano drenažom iz amfigleja. U 2016. godini uzgajan je ozimi ječam, 2017. godine šećerna repa i 2018. godine suncokret.

U Tablici 3.1.1.5. prikazana su osnovna kemijska svojstva proizvodne jedinice u 2016., 2017. i 2018. godini.

Proizvodna jedinica 6 – Gundinci – kanal

Tlo na proizvodnoj jedinici je močvarno glejno-hipoglejno. Parcela se koristi kao oranica, 2016. godine uzgajana je pšenica, 2017. godine kukuruz i 2018. godine soja i pšenica.

U Tablici 3.1.1.6. prikazana su osnovna kemijska svojstva proizvodne jedinice u 2016., 2017. i 2018. godini.



Slika 3.1.1.1. Karta istraživanog područja s lokacijama motrenja podzemnih voda
Izvor: Petošić i sur., 2018.

Tablica 3.1.1.1. Osnovna kemijska svojstva tla na p.j. 1 tijekom 2016., 2017. i 2018. godine

Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Godina	Dubina	pH		Humus	N	mg / 100 g	
	cm	H_2O	1M-KCl	%	%	P_2O_5	K_2O
2016	0-30	8,03	7,65	2,06	0,17	52,6	36,0
	30-60	8,00	7,60	1,99	0,14	14,5	20,3
	0-60	**8,01**	**7,62**	**2,02**	**0,15**	**33,5**	**28,2**
2017	0-30	8,12	7,54	1,31	0,14	7,00	9,54
	30-60	8,19	7,55	1,10	0,10	4,95	8,29
	0-60	**8,16**	**7,55**	**1,20**	**0,12**	**5,97**	**8,91**
2018	0-30	8,10	7,50	1,95	0,16	29,00	12,00
	30-60	8,15	7,54	1,13	0,12	7,32	8,30
	0-60	**8,13**	**7,52**	**1,54**	**0,14**	**18,16**	**10,15**

Iz Tablice 3.1.1.1. se može zaključiti kako je reakcija tla u promatranom razdoblju osrednje alkalična u 1 M-KCl-u te se nije znatno mijenjala. Sadržaj humusa se tijekom razdoblja smanjio za 0,50% i prema tome je svrstano u slabo humozno tlo. Opskrbljenost tla s dušikom također se smanjila kroz trogodišnje razdoblje, ali je svejedno bila zadovoljavajuća. Opskrbljenost tla s fiziološki aktivnim fosforom je 2016. godine bila 52,6 mg P_2O_5 / 100 g tla (vrlo bogata). Tijekom 2018. godine opskrbljenost je pala na 29 mg/ 100 g tla, ali i dalje se tlo klasificira kao tlo vrlo bogato fosfatima. Opskrbljenost kalijem je 2016. godine također bila vrlo bogata (36,0 mg K_2O / 100 g) dok je 2018. godine pala na umjerenu opskrbljenost s 12,00 mg K_2O / 100 g.

Može se uočiti određeni trend smanjena mineralnih tvari čemu može biti razlog iznošenja iz tla prilikom žetve ili nedovoljan unos istih u tlo.

Tablica 3.1.1.2. Osnovna kemijska svojstva tla na p.j. 2 tijekom 2016., 2017. i 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Godina	Dubina	pH		Humus	N	mg / 100 g	
	cm	H_2O	1M-KCl	%	%	P_2O_5	K_2O
2016	0-30	8,09	7,38	1,91	0,17	22,8	8,32
	30-60	7,96	7,30	1,65	0,15	11,1	5,40
	0-60	**8,02**	**7,34**	**1,78**	**0,16**	**16,9**	**6,86**
2017	0-30	7,98	7,11	2,88	0,20	43,4	11,2
	30-60	7,98	7,12	2,62	0,19	38,3	11,6
	0-60	**7,98**	**7,12**	**2,75**	**0,20**	**40,8**	**11,4**
2018	0-30	8,10	7,30	2,42	0,18	29,00	8,00
	30-60	7,98	7,20	2,31	0,15	17,14	7,13
	0-60	**8,04**	**7,25**	**2,36**	**0,17**	**23,07**	**7,56**

Iz Tablice 3.1.1.2. zapažamo da je obradivi horizont tla (0-30) tijekom 2016. godine imao srednje alkaličnu reakciju koja se nije značajno promijenila tijekom promatranog razdoblja. Kao i na p. j. 1 tlo je slabo humozno no sadržaj se povećao tijekom vremena. Opskrbljenost tla dušikom nije se značajno mijenjala i kroz sve tri godine bila je dobra (od 0,17% do 0,20%). Opskrbljenost tla s fiziološki aktivnim fosforom je 2016. i 2018. godine bila bogata dok je 2017. godine ona iznosila 43,4 mg / 100 g i klasificirala se kao vrlo bogata. Opskrbljenost tla s kalijem na proizvodnoj jedinici je slaba izuzev 2017. godine kada je bila umjerena.

Tlo na p.j. 2 ima povoljniju sliku u vidu količine humusa u odnosu na p.j. 1, ali nešto lošiju u vidu opskrbljenosti kalijem.

Tablica 3.1.1.3. Osnovna kemijska svojstva tla na p.j. 3 tijekom 2016., 2017. i 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Godina	Dubina	pH		Humus	N	mg / 100 g	
	cm	H_2O	1M-KCl	%	%	P_2O_5	K_2O
2016	0-30	7,76	7,07	3,03	0,18	45,10	17,30
	30-60	7,20	7,01	1,76	0,12	16,20	12,20
	0-60	**7,48**	**7,04**	**2,39**	**0,15**	**30,65**	**14,75**
2017	0-30	7,46	6,48	2,97	0,18	44,5	16,0
	30-60	7,53	6,42	2,36	0,13	30,4	13,5
	0-60	**7,49**	**6,45**	**2,66**	**0,16**	**37,5**	**14,7**
2018	0-30	7,70	6,80	2,86	0,17	30,01	10,10
	30-60	7,75	6,83	2,27	0,13	15,70	7,25
	0-60	**7,72**	**6,82**	**2,56**	**0,15**	**22,85**	**8,67**

Reakcija tla na p.j. 3 kroz promatrano razdoblje uglavnom je neutralna, a 2017. i slabo kisela do neutralna. Opskrbljenost dušikom je bila dobra, a opskrbljenost fosforom vrlo

bogata. Prema sadržaju humusa u tlu, tlo na p.j. je s dosta humoznog tla (2016.) palo na slabo humozno tlo (2018.). Opskrbljenost tla s fiziološki aktivnim kalijem bila je dobra do umjerena.

Tablica 3.1.1.4. Osnovna kemijska svojstva tla na p.j. 4 tijekom 2016., 2017. i 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Godina	**Dubina**	**pH**		**Humus**	**N**	**mg / 100 g**	
	cm	H_2O	1M-KCl	**%**	**%**	P_2O_5	K_2O
2016	0-30	6,93	5,90	1,80	0,17	24,5	8,34
	30-60	7,00	6,10	1,50	0,12	8,5	5,11
	0-60	**6,96**	**6,00**	**1,65**	**0,14**	**16,5**	**6,75**
2017	0-30	6,54	5,16	3,36	0,20	13,8	8,65
	30-60	6,57	5,24	3,10	0,14	10,1	8,54
	0-60	**6,55**	**5,20**	**3,23**	**0,17**	**11,9**	**8,59**
2018	0-30	7,10	6,02	2,97	0,19	17,00	8,65
	30-60	7,25	6,10	2,25	0,12	11,15	8,01
	0-60	**7,17**	**6,06**	**2,61**	**0,16**	**14,07**	**8,33**

Za razliku od ostalih p.j. reakcija tla na p.j. 4 slabo kisele je do kisele reakcije. Opskrbljenost dušikom kao i fiziološki aktivnim fosforom u promatranom razdoblju bila je dobra, ali opskrbljenost fiziološki aktivnim kalijem je kroz cijelo razdoblje bila slaba, u prosjeku 8,5 mg K_2O / 100 g tla.

Tablica 3.1.1.5. Osnovna kemijska svojstva tla na p.j. 5 tijekom 2016., 2017. i 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Godina	**Dubina**	**pH**		**Humus**	**N**	**mg / 100 g**	
	cm	H_2O	1M-KCl	**%**	**%**	P_2O_5	K_2O
2016	0-30	7,05	6,28	2,76	0,19	38,4	19,1
	30-60	7,15	6,40	1,92	0,10	9,5	10,2
	0-60	**7,10**	**6,34**	**2,34**	**0,14**	**23,9**	**14,6**
2017	0-30	6,48	5,52	2,71	0,19	36,2	18,8
	30-60	6,64	5,49	2,42	0,11	29,9	15,6
	0-60	**6,56**	**5,50**	**2,56**	**0,15**	**33,0**	**17,2**
2018	0-30	6,00	4,90	2,72	0,18	25,00	13,20
	30-60	6,30	5,15	2,39	0,12	17,10	9,80
	0-60	**6,15**	**5,02**	**2,55**	**0,15**	**21,05**	**11,50**

Tlo na p.j. 5 karakterizira slabo kisela do kisela reakcija. Sadržaj humusa odgovara klasi slabo humoznih tala (do 3%). Opskrbljenost tla s dušikom kroz razdoblje je bila dobra. Opskrbljenost tla s fiziološki aktivnim fosforom je bila bogata do vrlo bogata, dok je opskrbljenost s fiziološki aktivnim kalijem bila dobra do umjerena.

Tablica 3.1.1.6. Osnovna kemijska svojstva tla na p.j. 6 tijekom 2016., 2017. i 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

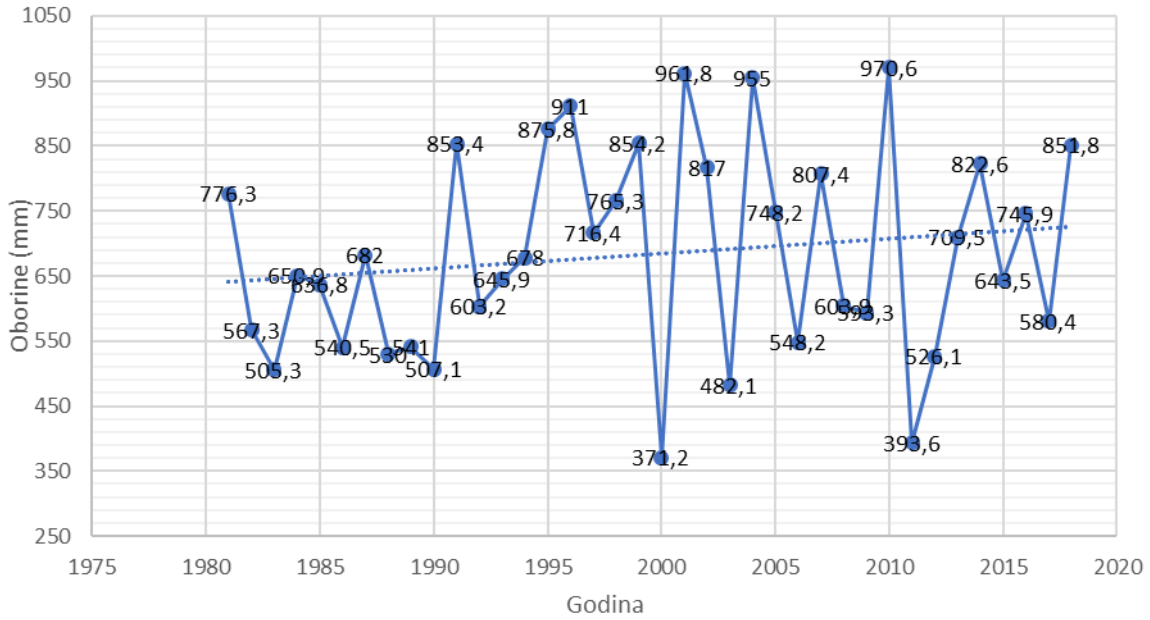
Godina	Dubina	pH		Humus	N	mg / 100 g	
	cm	H_2O	1M-KCl	%	%	P_2O_5	K_2O
2016	0-30	8,01	7,38	2,07	0,16	12,82	10,1
	30-60	8,10	7,45	1,06	0,11	3,70	6,3
	0-60	**8,05**	**7,41**	**1,56**	**0,14**	**8,26**	**8,2**
2017	0-30	8,18	7,46	1,71	0,15	8,97	8,98
	30-60	8,05	7,39	2,15	0,10	12,60	10,40
	0-60	**8,11**	**7,42**	**1,93**	**0,13**	**10,78**	**9,69**
2018	0-30	8,10	7,45	1,65	0,13	12,00	8,60
	30-60	8,35	7,40	2,10	0,11	12,30	9,20
	0-60	**8,22**	**7,24**	**1,87**	**0,12**	**12,15**	**8,90**

Tlo na p.j. 6 karakterizira alkalična reakcija. Sadržaj humusa odgovara klasi slabo humoznih tala (do 3%). Opskrbljenost tla s dušikom kroz razdoblje je bila dobra. Opskrbljenost tla s fiziološki aktivnim fosforom i kalijem bila je slaba do umjerena.

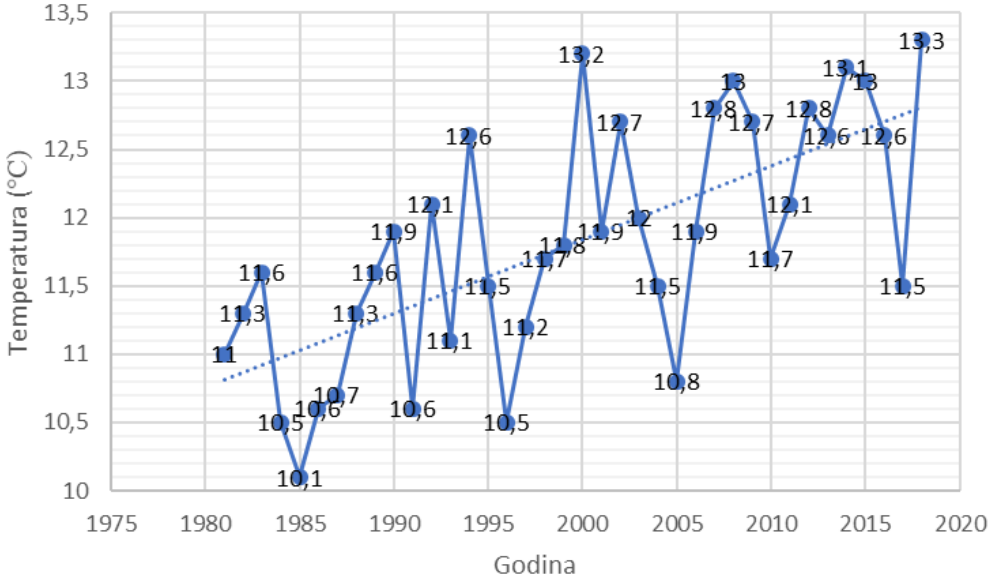
3.2 Klimatske značajke

Područje istraživanja nalazi se na prijelazu iz semiaridne u semihumidnu umjerenu kontinentalnu klimu (Petošić i sur., 2002.). Prosječna količina godišnjih oborina (za razdoblje od 1981. do 2018. godine) za meteorološku postaju Gradište kod Županje je iznosila 682,7 mm dok na vegetacijsko razdoblje, travanj-listopad, otpada prosječno 439 mm, što čini 64,3% od prosječnih ukupnih godišnjih količina oborina (Grafikon 3.2.1.). Vrijednost srednje godišnje temperature zraka (za isto vremensko razdoblje i istu meteorološku postaju) iznosila je 12,4°C (Grafikon 3.2.2.). Prosječna vrijednost relativne vlage zraka (za razdoblje od 1981. do 2018. godine) za meteorološku postaju Gradište iznosila je 74,2%. U analiziranom razdoblju maksimalna mjesečna količina oborina pala je u lipnju 257,4 mm (2018.), a najmanja u listopadu 0,2 mm (1995.).

U 2016. godini u prosjeku je najviše oborina palo u mjesecu lipnju 77,7 mm, a najmanje u veljači 38,3 mm. Srednja mjesečna temperatura zraka u prosjeku je najveća u srpnju 22,2°C, a najmanja u siječnju 0,8°C. U mjesecu prosincu srednja mjesečna relativna vlaga zraka bila je najveća (85%), a u travnju najmanja (66%). Tijekom 2017. godine najviše oborina je u prosjeku palo u mjesecu lipnju 76,7 mm, a najmanje u veljači 38,5 mm. Srednja mjesečna temperatura zraka u prosjeku je najveća u srpnju 22,3°C, a najmanja u siječnju 0,7°C. U prosjeku, u 2018. godini, najviše oborina je palo u mjesecu lipnju 81,5 mm, a najmanje u veljači 39,3 mm. Srednja mjesečna temperatura zraka u prosjeku je najveća u srpnju 22,3°C, a najmanja u siječnju 0,8°C.



Grafikon 3.2.1. Dinamika ukupnih godišnjih oborina na području Gradišta, mm (1981.-2018.)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.



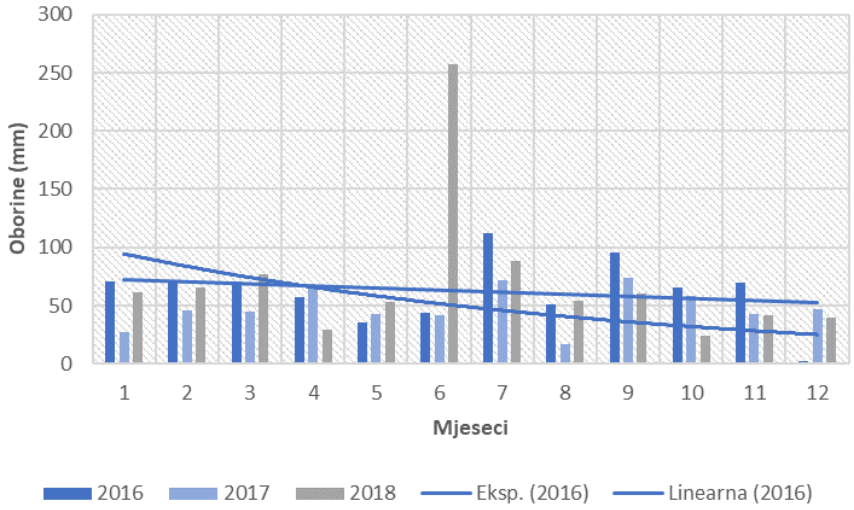
Grafikon 3.2.2. Dinamika prosječnih godišnjih temperatura zraka na području Gradišta (1981.-2018.)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Oborine

Suma godišnjih oborina u 2016. godini iznosila je 745,9 mm, što je 63,2 mm više od višegodišnjeg razdoblja za promatrano razdoblje. Raspored oborina po mjesecima tijekom 2016. godine bio je prilično neravnomjeran, s maksimumom u srpnju (112,0 mm) te minimumom u prosincu (2,2 mm). Tijekom 2017. godine suma godišnjih oborina bila je manja za 165,5 mm u odnosu na prošlu godinu. Raspored je također bio prilično neravnomjeran, s maksimumom u kolovozu (71,6 mm) i minimumom u siječnju (27 mm). Suma godišnjih oborina u 2018. godini iznosila je 851,8 mm što je za 271,4 mm više u odnosu na prethodnu godinu i 169,1 mm više od višegodišnjeg prosjeka promatranog razdoblja. Maksimum oborina zabilježen je u lipnju (257,4 mm) što je znatno više od prethodne dvije godine, te minimum u listopadu (24 mm). Na Grafikonu 3.2.3. prikazan je godišnji hod mjesečnih oborina (mm) za meteorološku postaju Gradište u 2016., 2017. i 2018. godini.

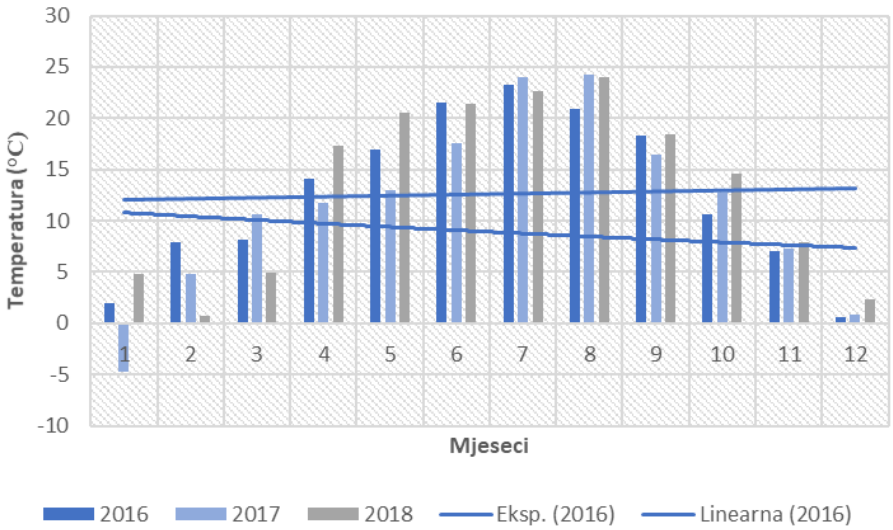
Temperatura

Srednja godišnja temperatura zraka u 2016. godini iznosila je 12,6°C, i bila je za 0,2°C viša od višegodišnjeg prosjeka za promatrano razdoblje. Kolebanje vrijednosti srednje mjesečne temperature zraka kretalo se od 0,6°C u prosincu do 23,3°C u srpnju. Tijekom 2017. godine srednja godišnja temperatura zraka bila je za 1,1°C niža nego prethodne godine. Najniža vrijednost zabilježena je u siječnju (-4,7°C), a najviša u kolovozu (24,2°C). Srednja godišnja temperatura zraka u 2018. godini bila je za 0,9°C veća od prosjeka i za 1,8°C viša od temperature prethodne godine. Kolebanje vrijednosti se kretalo od 0,7°C u veljači do 24°C u kolovozu. Na Grafikonu 3.2.4. prikazan je godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (°C) za meteorološku postaju Gradište u 2016., 2017. i 2018. godini.



Grafikon 3.2.3. Godišnji hod mjesečnih oborina (mm) za meteorološku postaju Gradište u 2016., 2017. i 2018. godini

Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.



Grafikon 3.2.4. Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (°C) za meteorološku postaju Gradište u 2016., 2017. i 2018. godini
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

3.3. Analiza podzemne vode

Podzemna voda na području Bid-Bosut polja mjerena je iz postavljenih piezometara. Plitki piezometri izgrađeni su od cijevi promjera 50 mm, a duboki od cijevi promjera 110 mm. Plitki piezometri na dnu imaju filter veličine 50 cm, a duboki 200 cm. Prostor oko cijevi ispunjen je šljunkom uz sam filter te obložen geotekstilom i zabrtvljen glinom (od filtra do površine tla) i na kraju fiksiran materijalom na bazi cementa (površina terena) (Filipović V., 2012.). Razine podzemne vode u piezometrima mjerene su ručno mjernom vrpcom tijekom svake mjesečne dekade. Prilikom postavljanja piezometara provedene su detaljne fizikalne analize tla. Uzorkovanje podzemne vode vršeno je svaka dva mjeseca tijekom cijelog razdoblja istraživanja. Amonijak i nitrati u uzorcima vode određeni su spektrofotometrijski primjenom metode segmentiranog protoka na instrumentu San + (Skalar) (HRN EN ISO 15681-2:2008). Ukupni dušik određen je prilagođenom Kjedahlovom metodom u svježim uzorcima tla (HRN ISO 11261:2004). Fosfor se također određivao spektrofotometrijski. Uzorkovanje podzemne vode vršeno je s pomoću posude za uzorkovanje, nakon ispumpavanja tri do pet volumena vode iz piezometara (Filipović V., 2012. prema Barcelona i sur., 1985.) s uranjajućom pumpom Gigant (Eijkelkamp), nakon čega je posuda u koju je prikupljen uzorak spuštena do razine filtra u piezometru. Uzorci su pohranjivani u plastične boce od 0,5 l i čuvani do analitičkog postupka na temperaturi od 4 do 6 °C (Filipović V., 2012.).

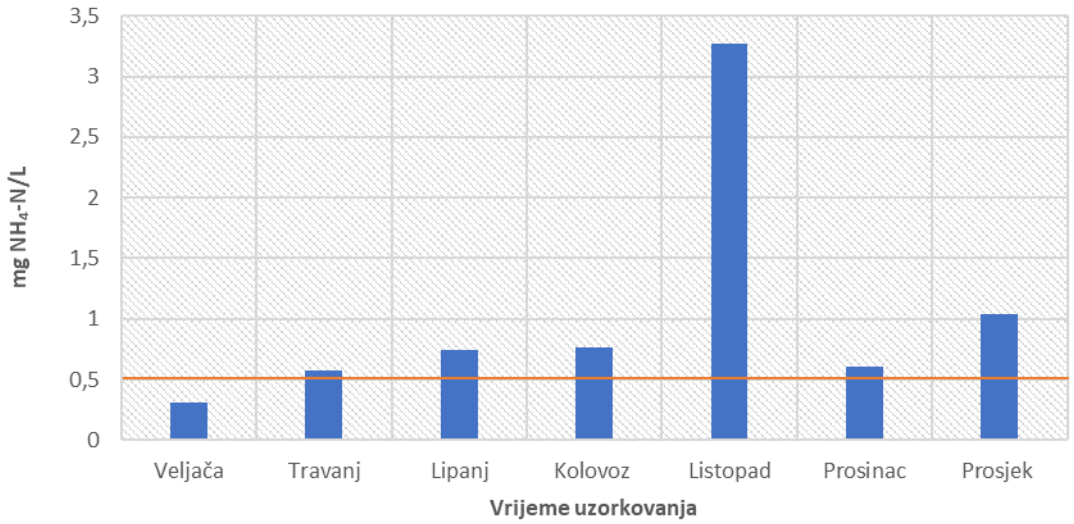
4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Sadržaj amonijaka u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju od 2016. do 2018. godine

Analiza rezultata: 2016. godina

Monitoring dušika iz amonijaka (NH_4-N) u podzemnoj vodi na istraživanom području tijekom 2016. godine vršen je na ukupno 46 lokacija (piezometara). Od toga je u prosjeku na 41 lokaciji motrenje vršeno u vodi uzorkovanoj iz piezometara do 4,0 m dubine (plitki talni akvifer), a na 5 dodatnih lokacija u podzemnoj vodi iz piezometara do 15 m dubine. Ukupno je tijekom 2016. godine analizirano 207 uzoraka podzemne vode. U navedenom razdoblju izvršeno je ukupno 6 uzorkovanja vode. U Grafikonu 4.1.1. prikazane su srednje vrijednosti (mg NH_4-N/l) u podzemnoj vodi na istraživanom području dovodnog Melioracijskog kanala (piezometri 1 do 54).

Plitki talni akvifer – do 4 m



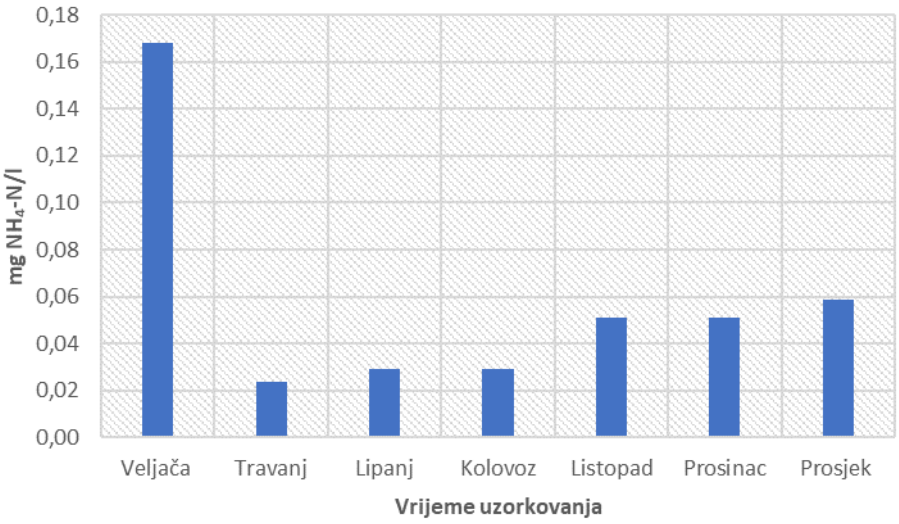
Grafikon 4.1.1. Koncentracije srednjih vrijednosti NH_4-N u podzemnoj vodi tijekom 2016. godine (piezometri br. 1 do 54)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2016.

Iz Grafikona 4.1.1. možemo vidjeti kako su srednje vrijednosti koncentracije NH_4-N, tijekom cijele 2016. godine izuzev u mjesecu veljači, bile veće od vrijednosti MDK prema „Pravilniku“ (0,50 mg/l). Koncentracije NH_4-N iznad vrijednosti MDK bile su u prosjeku prisutne na 9,0 odnosno 30% lokacija monitoringa. Prosjek za mjesec listopad iznosi 3,27 mg NH_4-N/l što ga svrstava u mjesec s najvećom zabilježenom koncentracijom za cijelo razdoblje (2016. do 2018. godine). Temeljem izmjerenih srednjih vrijednosti koncentracija mg NH_4-N/l,

podzemna je voda na istraživanom području bila jače onečišćena amonijakom i odgovarala je u prosjeku III. do V. vrsti ekološke kakvoće prema odredbi Uredbe o klasifikaciji voda (N.N. 77/98 i 137/08).

Duboki akvifer – do 15 m

Tijekom 2016. godine vršena su motrenja podzemne vode u vrlo dubokim hidrogeološkim piezometrima do 15 m dubine. Motrenje je vršeno na 5 lokacija tj. 5 piezometara. Iz Grafikona 4.1.2. možemo zaključiti da podzemna voda u dubokom akviferu u 2016. godini nije bila onečišćena, izuzev zabilježenih vrijednosti u veljači. Srednja vrijednost za veljaču iznosila je 0,168 mg NH_4-N/l što pripada kategoriji II. vrste. Razlog tome su visoke koncentracije amonijaka u piezometru I (0.750 mg NH_4-N). Na ostalim piezometrima nije zabilježena koncentracija viša od 0,10 mg NH_4-N/l.



Grafikon 4.1.2. Koncentracije srednjih vrijednosti NH_4-N u podzemnoj vodi tijekom 2016. godine (duboki akvifer)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2016.

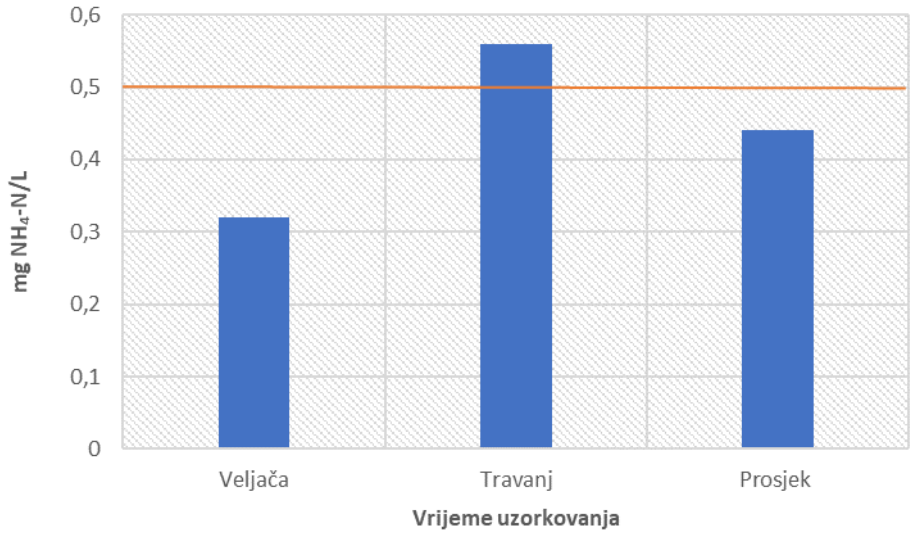
Analiza rezultata: 2017. godina

Monitoring se u 2017. godini vršio na istom broju lokacija i piezometara kao i prethodne godine. Voda se uzorkovala svakih 60 dana. Zbog „suhoće" piezometara rezultati za plitki talni akvifer dobiveni su samo za zimsko-proljetno razdoblje u kojem je bilo vode u piezometrima. U Grafikonu 4.1.3. prikazane su srednje vrijednosti (mg NH_4-N/l) u podzemnoj vodi na istraživanom području dovodnog Melioracijskog kanala.

Plitki talni akvifer – do 4 m

U prva tri mjeseca 2017. godine izmjerene vrijednosti dušika iz amonijaka (mg NH_4-N/l) u podzemnoj vodi bile su znatno ispod propisane vrijednosti MDK. Od ukupno 20 piezometara, u kojima je bilo vode, u tri piezometra (17, 31, 49) zabilježena je veća vrijednost mg NH_4-N/l

od propisane. Tijekom mjeseci travnja i svibnja izmjerene vrijednosti dušika iz amonijaka bile su veće i kretale su se u rasponu od 0,09 do 1,53, s prosječnom vrijednošću od 0,56 mg NH_4-N/l. Temeljem izmjerenih srednjih vrijednosti koncentracija mg NH_4-N/l, podzemna je voda na istraživanom području bila onečišćena amonijakom i odgovarala je u prosjeku III. vrsti ekološke kakvoće prema odredbi Uredbe o klasifikaciji voda (N.N. 77/98 i 137/08).



Grafikon 4.1.3. Koncentracije srednjih vrijednosti NH_4-N u podzemnoj vodi tijekom 2017. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2017.

Duboki akvifer – do 15 m

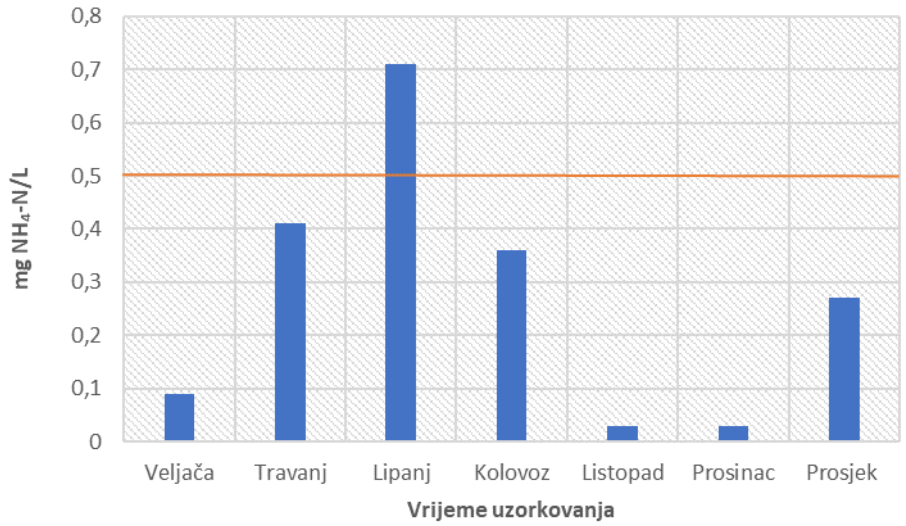
Tijekom 2017. godine vršena su motrenja podzemne vode u vrlo dubokim hidrogeološkim piezometrima do 15 m dubine. Motrenje je vršeno na 5 lokacija tj. 5 piezometara. Vrijednosti više od propisanih za MDK zabilježene su jedino tijekom mjeseca lipnja gdje je na dva piezometra zabilježeno 1,23 mg NH_4-N/l (Grafikon 4.1.4.). U jesensko-zimskom razdoblju (listopad, prosinac, veljača) podzemna voda je bila tek neznatno onečišćena amonijakom i odgovarala je u prosjeku I. vrsti ekološke kakvoće. Za proljetno-ljetno razdoblje te vrijednosti znatno rastu i iznose u prosjeku između 0,4 do 0,7 mg NH_4-N/l (III. do IV. vrsta ekološke kakvoće).

Analiza rezultata: 2018. godina

Monitoring se u 2018. godini vršio na istom broju lokacija i piezometara kao i prethodne godine. Voda se uzorkovala svakih 60 dana. Jednako kao i 2017. godine zbog „suhoće“ piezometara i nedostatka vode u istima, rezultati kakvoće i onečišćenja podzemne vode u plitkom talnom akviferu su nepotpuni. Za razliku od prethodne godine obuhvaćaju cijelu godinu, ali na manjem broju piezometara.

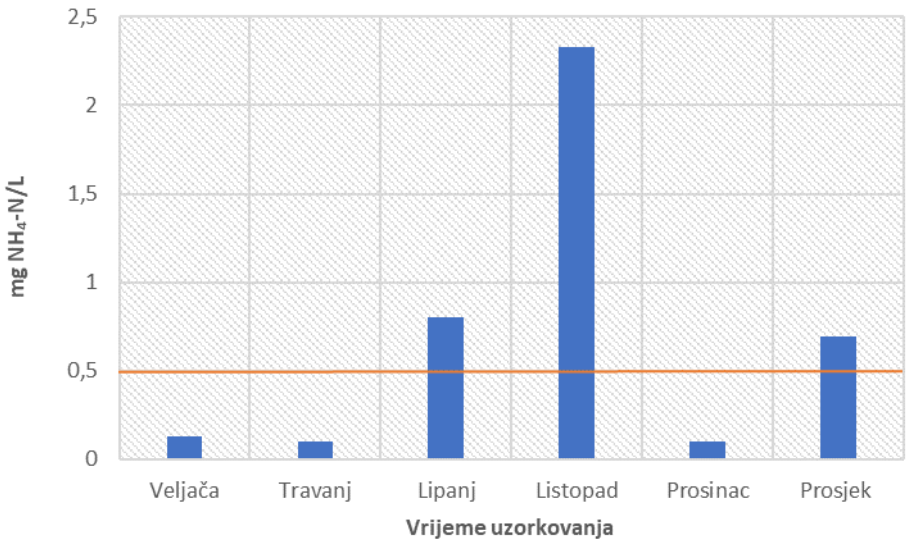
Plitki talni akvifer – do 4m

Tijekom 2018. godine zbog „suhoće“ piezometara u veljači i prosincu vode za uzorkovanje je bilo u samo 3 piezometra, a u travnju, lipnju i listopadu u prosjeku duplo više. Za mjesece veljaču, travanj i prosinac vrijednosti koncentracije mg NH_4-N/l bile su daleko ispod



Grafikon 4.1.4. Koncentracije srednjih vrijednosti NH_4-N u podzemnoj vodi tijekom 2017. godine (duboki akvifer)

Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2017.



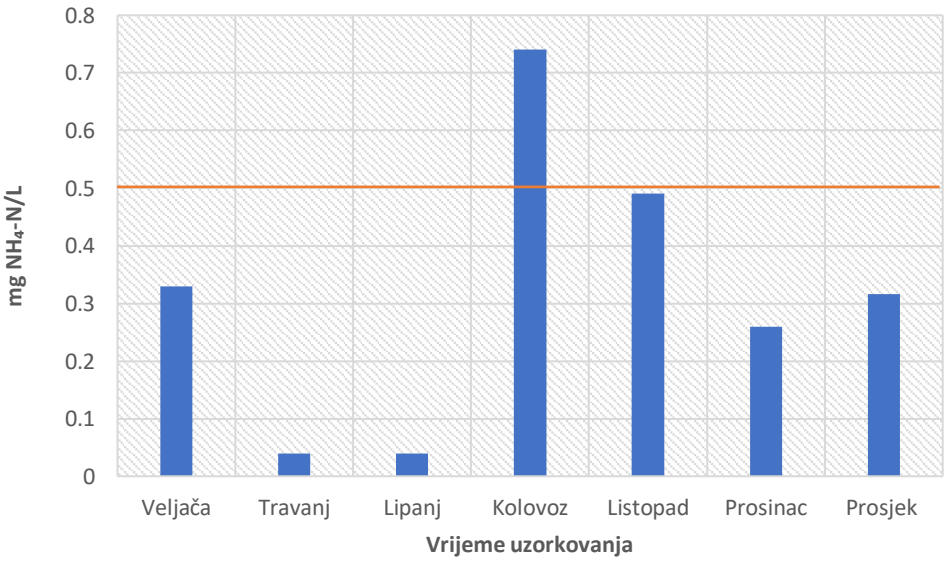
Grafikon 4.1.5. Koncentracije srednjih vrijednosti NH_4-N u podzemnoj vodi tijekom 2018. godine

Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

propisanih vrijednosti MDK te je voda odgovarala I. i II. vrsti ekološke kakvoće (od 0,10 do 0,13 mg NH_4-N/l). U mjesecu lipnju srednja vrijednost mg NH_4-N/l bila je viša od propisane vrijednosti (0,80 mg NH_4-N/l) zbog velikih odstupanja na dva piezometra (43 i 50). Na piezometru 50 zabilježeno je 3,26 mg NH_4-N/l. U listopadu je zabilježena najveća koncentracija amonijaka. U 4 od 5 piezometara vrijednosti su se kretale oko 3 mg NH_4-N, a srednja vrijednost za mjesec iznosi 2,33 mg NH_4-N/l. Prema srednjoj vrijednosti za listopad voda je bila izrazito onečišćena amonijakom i odgovarala je V. vrsti ekološke kakvoće. Za cijelu godinu prosjek mg NH_4-N/l iznosi 0,7 što je više od dopuštene koncentracije MDK, a voda odgovara IV. vrsti ekološke kakvoće. Vrijednosti su prikazane u Grafikonu 4.1.5.

Duboki akvifer – do 15 m

Motrenje je vršeno na jednakom broju lokacija i piezometara kao prethodnih godina. Tijekom svih mjeseci uzorkovanja srednja vrijednost veća od MDK zabilježena je samo u kolovozu (0,74 mg NH_4-N/l). U listopadu na piezometrima I, II, III i IV koncentracija amonijaka u podzemnoj vodi bila je veća od MDK, ali zbog izrazito malih vrijednosti na piezometru V (0,05 mg NH_4-N/l) srednja vrijednost je iznosila 0,49 mg NH_4-N/l (Grafikon 4.1.6.). U 2018. godini u dubokom akviferu analizirana voda prema srednjim vrijednostima (0,31 mg NH_4-N/l) odgovarala je III. vrsti ekološke kakvoće.



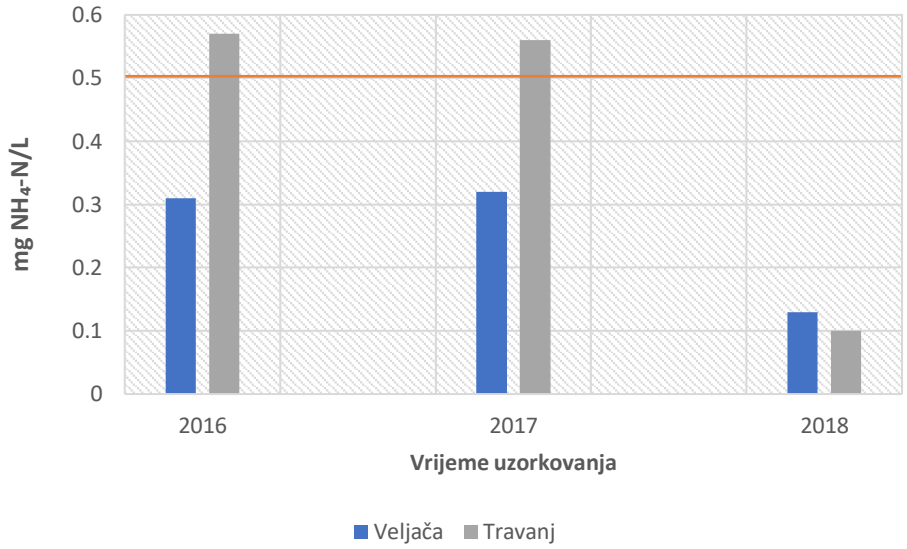
Grafikon 4.1.6. Koncentracije srednjih vrijednosti NH_4-N u podzemnoj vodi tijekom 2018. godine (duboki akvifer)

Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Usporedba promatranog razdoblja

Obzirom da su 2017. godine podatci bili nepotpuni zbog „suhoće“ piezometara, usporediti se mogu samo mjeseci čiji podatci postoje za sve tri godine (veljača i travanj). To se odnosi na plitki talni akvifer do 4 m dok se za duboki akvifer do 15 m može napraviti usporedba za sve analizirane mjesece tijekom promatranog razdoblja.

Plitki talni akvifer

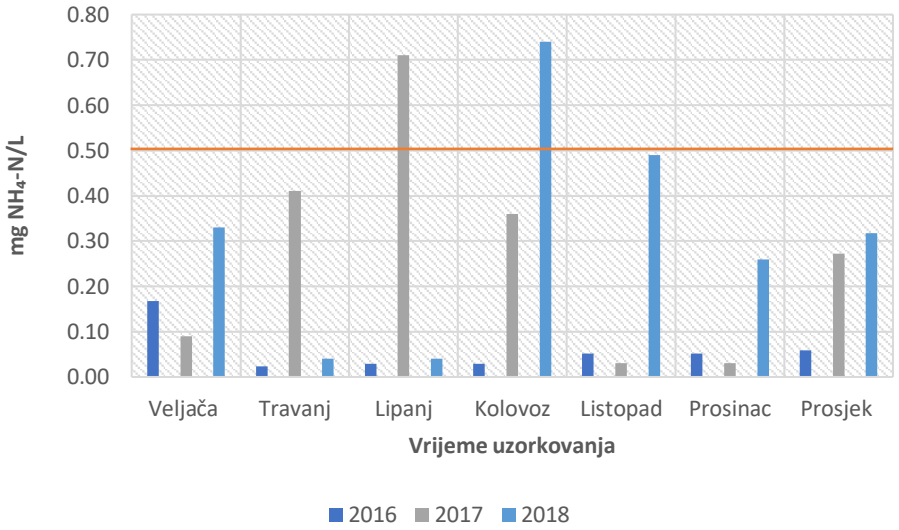


Grafikon 4.1.7. Usporedba koncentracija mg NH_4-N/l u veljači i travnju promatranog razdoblja (2016. do 2018. godina) u plitkom talnom akviferu do 4 m
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

U Grafikonu 4.1.7. su prikazane srednje vrijednosti koncentracija mg NH_4-N/l. Može se uočiti kako vrijednosti u analiziranim mjesecima 2016. i 2017. godine nisu znatno odstupale, štoviše bile su gotovo jednake. Koncentracije amonijaka u plitkom talnom akviferu nisu bilježile ni pad ni rast u godini dana tijekom promatranih mjeseci. U veljači je koncentracija mg NH_4-N/l iznosila nešto više od 0,3 što znači da nije prijeđena MDK, a voda je odgovarala III. vrsti ekološke kakvoće. Već u travnju koncentracija amonijaka u plitkom talnom akviferu raste i skoro je duplo veća u odnosu na prethodno mjerenje i veća je od propisane MDK. Ekološka kakvoća vode je bila III. vrste, ali zbog viših koncentracija vrlo je blizu kategoriji IV. vrste. U 2018. godini zabilježeni su daleko bolji rezultati i pad koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi. U oba mjeseca srednje vrijednosti (0,10 do 0,13 mg NH_4-N/l) su bile daleko ispod propisane MDK, a voda je odgovarala II. vrsti ekološke kakvoće (0,10 do 0,25 mg NH_4-N/l).

Duboki akvifer – do 15 m

Srednje vrijednosti koncentracije amonijaka veće od propisane MDK zabilježene su tijekom lipnja 2017. godine i kolovoza 2018. godine. Iz Grafikona 4.1.8. možemo zaključiti kako je 2016. godine akvifer bio najmanje onečišćen amonijakom. Štoviše, tijekom cijele godine (izuzev veljače) voda je odgovarala I. vrsti ekološke kakvoće. Tijekom prva tri promatrana mjeseca u 2017. godini bilježi se linearni porast koncentracije koja nakon mjeseca lipnja opada gotovo proporcionalno i najmanje vrijednost se bilježi u prosincu (0,03 mg NH_4-N/l). Tijekom 2018. godine vrijednosti su obrnuto proporcionalne u odnosu na 2017. godinu. Tamo gdje su 2017. godine bile visoke u 2018. godini su bile niske i obratno. Iz ovakvih kolebanja vrijednosti po mjesecima teško je uočiti budući trend. Gledajući prosjeke godina koncentracija amonijaka u dubokom akviferu je u porastu (od 0,06 do 0,32 mg NH_4-N/l), ali i dalje ne prelazi propisanu vrijednost MDK (0,50 mg NH_4-N/l).



Grafikon 4.1.8. Usporedba koncentracija mg NH_4-N/l promatranog razdoblja (2016. do 2018. godina) u dubokom akviferu do 15 m

Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

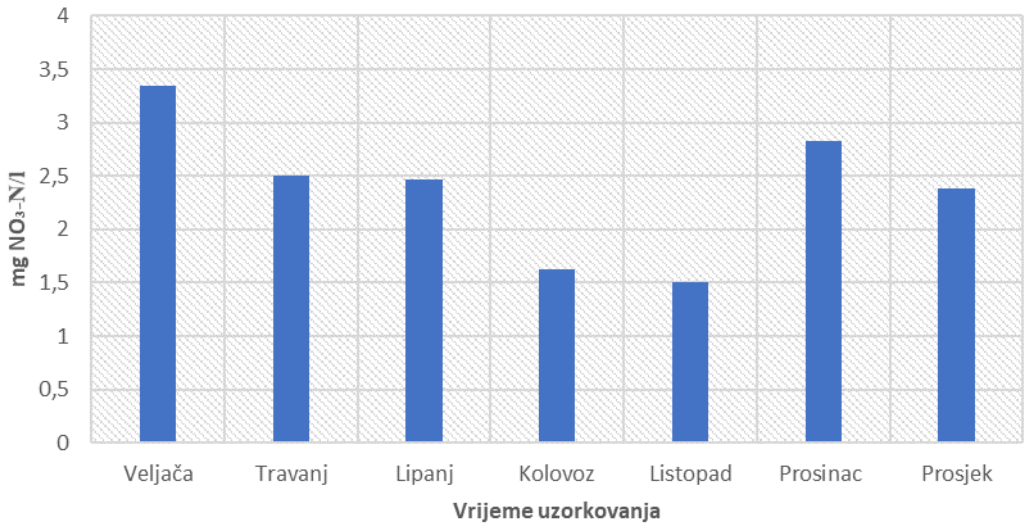
4.2. Sadržaj nitrata u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju od 2016. do 2018. godine

Analiza rezultata: 2016. godina

Monitoring dušika iz nitrata (NO_3-N) u podzemnoj vodi u plitkom i dubokom akviferu vršen je na isti način i u isto vrijeme kao i monitoring dušika iz amonijaka (NH_4-N).

Plitki talni akvifer – do 4 m

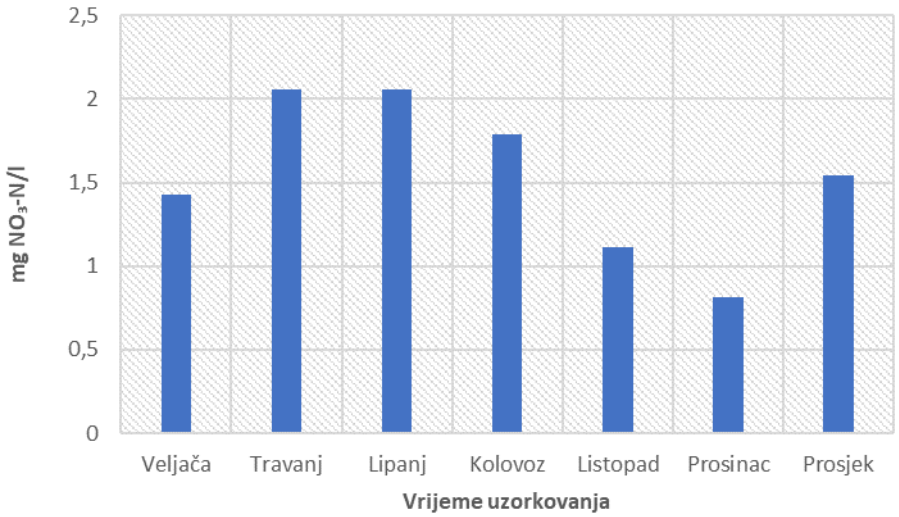
Srednje vrijednosti koncentracije NO_3-N tijekom cijele godine su na najvećem broju piezometara (92,6%) bile znatno ispod propisane vrijednosti MDK (11,3 mg NO_3-N/l). U prosjeku na 2,2, odnosno 7,4 % motrenih lokacija (piezometara) izmjerene su koncentracije nitrata u rasponu vrijednosti od 10,49 do 17,83 mg NO_3-N/l. Najviše pojedinačne vrijednosti zabilježene su u mjesecu veljači na 6 od ukupno 45 motrenih piezometara. To je ujedno i razlog zašto je srednja vrijednost koncentracije nitrata bila najveća u veljači (Grafikon 4.2.1.). Srednje vrijednosti za mjesece u promatranoj godini nisu prelazile propisanu vrijednost MDK. U prosjeku srednja vrijednost koncentracije mg NO_3-N/l u 2016. godini u plitkom talnom akviferu je bila 2,38 mg i odgovarala je vodi III. vrste ekološke kakvoće.



Grafikon 4.2.1. Koncentracije srednjih vrijednosti NO_3-N u podzemnoj vodi tijekom 2016. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2016.

Duboki akvifer – do 15 m

Ni u jednom zasebnom piezometru nije zabilježena vrijednost MDK veća od one propisane Pravilnikom. Najveće srednje vrijednosti koncentracije nitrata zabilježe su u travnju i lipnju (2,055 mg NO_3-N/l) (Grafikon 4.2.2.). Prosjek srednjih vrijednosti koncentracije nitrata u 2016. godini u dubokom akviferu do 15 m iznosio je 1,54 mg NO_3-N/l i prema tome je voda odgovara III. vrsti ekološke kakvoće.



Grafikon 4.2.2. Koncentracije srednjih vrijednosti NO_3-N u podzemnoj vodi tijekom 2016. godine (duboki akvifer)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2016.

Analiza rezultata: 2017. godina

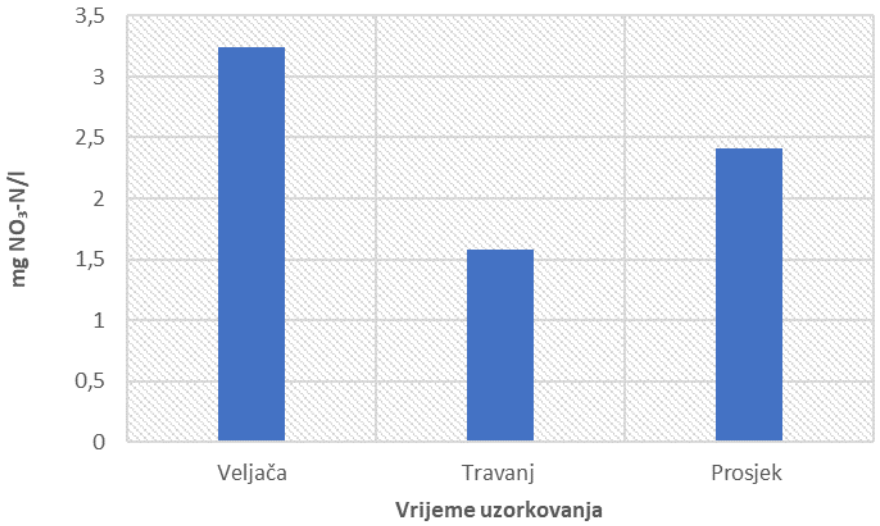
Kao i kod amonijaka monitoring se u 2017. godini vršio na istom broju lokacija i piezometara kao i prethodne godine. Voda se uzrokovala svakih 60 dana. Zbog „suhoće" piezometara rezultati za plitki talni akvifer dobiveni su samo za zimsko-proljetno razdoblje u kojem je bilo vode u piezometrima.

Plitki talni akvifer – do 4 m

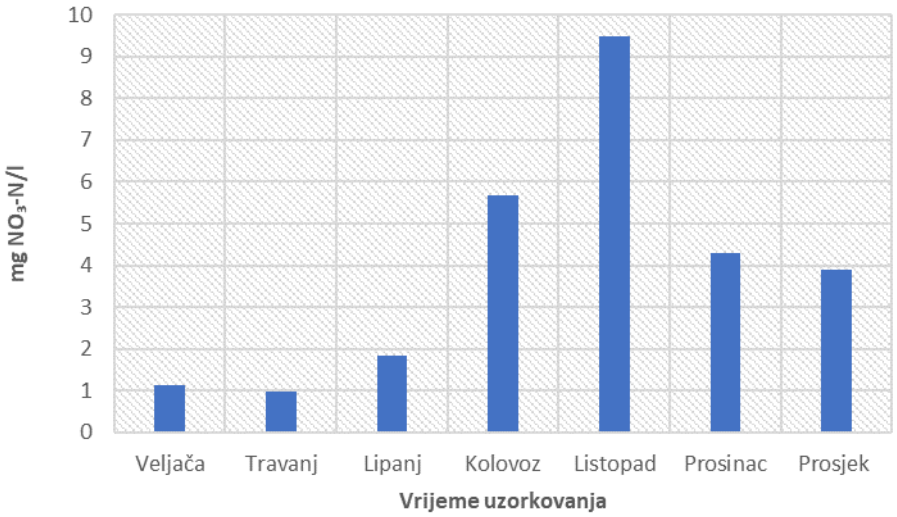
Kao što je bio slučaj i kod monitoringa amonijaka, za plitki talni akvifer zbog nedostatka vode u piezometrima dobivene su vrijednosti koncentracija nitrata samo za mjesece veljaču i travanj. Srednja vrijednost koncentracije NO_3-N u veljači iznosi 3, 24 mg i ne prelazi propisanu vrijednost MDK za nitrate. Od ukupno 20 izmjerenih piezometara samo na 2 (17 i 18) su utvrđene vrijednosti veće od propisanih. U travnju, srednja vrijednost koncentracije nitrata u plitkom talnom akviferu je iznosila 1,6 mg (Grafikon 4.2.3.). Nije bila zabilježena viša vrijednost od dopuštene ni na jednom pojedinačnom piezometru. Prosjek koncentracije nitrata u plitkom talnom akviferu do 4 m za cijelu godinu je iznosio 2,41 mg NO_3-N/l i voda je odgovarala III. vrsti ekološke kakvoće.

Duboki akvifer – do 15 m

Koncentracije nitrata u dubokom akviferu ni na jednom pojedinačnom piezometru nisu prelazile vrijednost MDK, ali im je srednja vrijednost značajno veća u odnosu na 2016. godinu (Grafikon 4.2.4.). Najviša vrijednost je zabilježena u mjesecu listopadu kada je iznosila 9,48 mg NO_3-N/l. Prosjek koncentracije nitrata u dubokom akviferu do 15 m za cijelu godinu je iznosio 3,9 mg NO_3-N/l što je više nego vrijednost za plitki talni akvifer. Voda je bila na granici III. i IV. vrste ekološke kakvoće.



Grafikon 4.2.3. Koncentracije srednjih vrijednosti NO_3-N u podzemnoj vodi tijekom 2017. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2017.



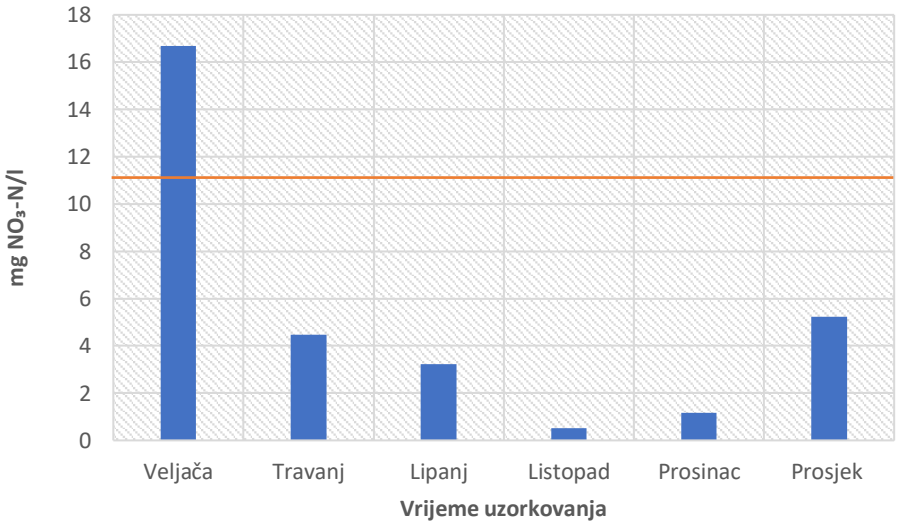
Grafikon 4.2.4. Koncentracije srednjih vrijednosti NO_3-N u podzemnoj vodi tijekom 2017. godine (duboki akvifer)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2017.

Analiza rezultata: 2018. godina

Monitoring dušika iz nitrata se vršio na istom broju lokacija i piezometara kao i prethodnih godina. Jednako kao i 2017. godine zbog „suhoće“ piezometara rezultati kakvoće i onečišćenja podzemne vode u plitkom talnom akviferu su nepotpuni. Za razliku od prethodne godine obuhvaćaju cijelu godinu, ali na manjem broju piezometara.

Plitki talni akvifer – do 4 m

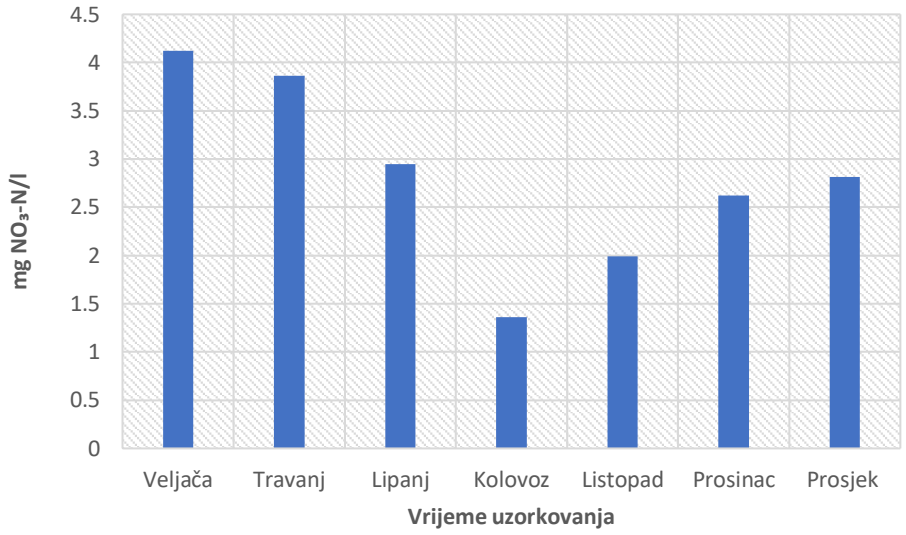
Od ukupno 24 piezometara u kojima je bilo vode za analizu, u dva su izmjerene koncentracije nitrata više nego je propisano Pravilnikom. U piezometrima 17 i 35 u mjesecu veljači zabilježene su vrijednosti od 24,90 i 23,17 mg NO_3-N/l. Taj mjesec ujedno ima i izmjerenu srednju vrijednost višu od propisane. Tijekom ostatka godine nije zabilježena vrijednost koja bi bila viša od MDK za nitrate (Grafikon 4.2.5.). Prosjek koncentracije nitrata za cijelu godinu u plitkom talnom akviferu do 4 m iznosi je 5,22 mg NO_3-N /l i odgovara IV. vrsti ekološke kakvoće.



Grafikon 4.2.5. Koncentracije srednjih vrijednosti NO_3-N u podzemnoj vodi tijekom 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Duboki akvifer – do 15 m

U piezometrima dubokog akvifera nije zabilježena nijedna vrijednost veća od propisane MDK. Najviša vrijednost zabilježena je u mjesecu veljači kao i u plitkom talnom akviferu, ali svega 4,12 mg NO_3-N/l. U piezometru III zabilježena je vrijednost od 10,77 mg NO_3-N/l i to je najveća vrijednost tijekom 2018. godine. Godišnji prosjek koncentracije iznosio je 2,82 mg NO_3-N/l (Grafikon 4.2.6.) i prema tome voda odgovara III. vrsti ekološke kakvoće.



Grafikon 4.2.6. Koncentracije srednjih vrijednosti NO_3-N u podzemnoj vodi tijekom 2018. godine (duboki akvifer)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Usporedba promatranog razdoblja

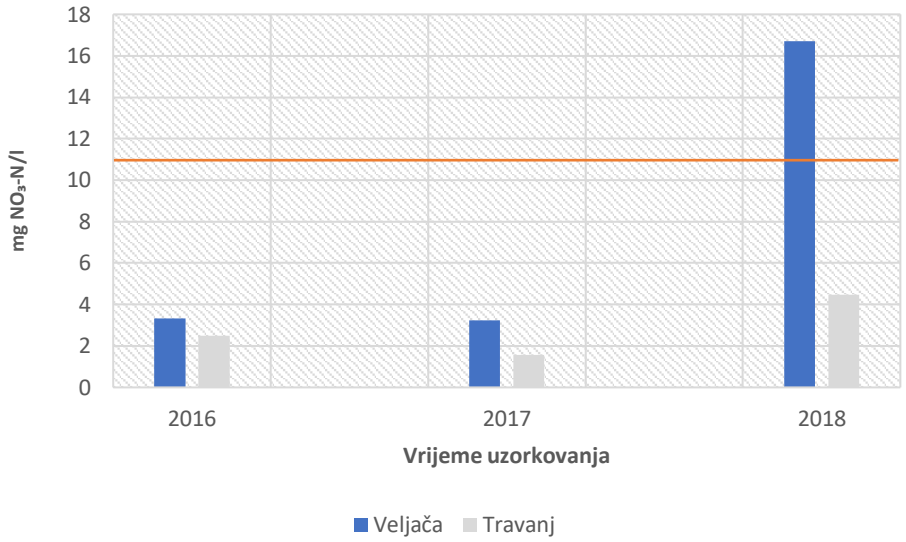
Mjerenja dušika iz nitrata vršena su na istim lokacijama i u isto vrijeme kao i mjerenja dušika iz amonijaka. Iz tog razloga se i u slučaju nitrata za plitki talni akvifer do 4 m mogu usporediti samo mjeseci veljača i travanj. U slučaju dubokog akvifera do 15 m postoje kompletni podaci za sve tri godine i moguće je napraviti kompletnu usporedbu.

Plitki talni akvifer – do 4 m

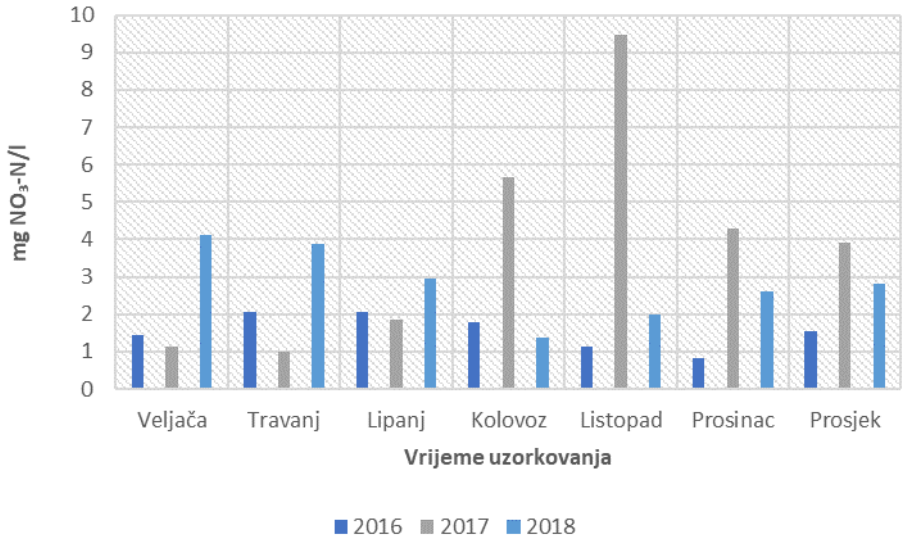
U Grafikonu 4.2.7. prikazane su srednje vrijednosti koncentracija nitrata u veljači i travnju tijekom promatranog razdoblja. U sve tri godine vrijednosti u veljači bile su više od vrijednosti u travnju. Koncentracija nitrata u oba mjeseca tijekom 2016. i 2017. godine nije se znatno razlikovala (bilježe se manja odstupanja). Vrijednosti nisu prelazile 4 mg NO_3-N/l, a podzemna voda je odgovarala III. vrsti ekološke kakvoće. Tijekom 2018. godine zabilježen je značajniji porast koncentracije nitrata u plitkom talnom akviferu, naročito u mjesecu veljači. U prosjeku je iznosio 16,69 mg NO_3-N što je više od dopuštene MDK za nitrate (V. vrsta ekološke kakvoće vode). U travnju 2018. godine također bilježimo porast, ali ne toliko značajan (4,46 mg NO_3-N). Za razliku od amonijaka, čija koncentracija u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju za analizirane mjesece opada, koncentracija nitrata u veljači i travnju od 2016. do 2018. godine raste.

Duboki akvifer pitke vode – do 15 m

Kao i u slučaju koncentracije amonijaka, srednje vrijednosti koncentracija nitrata u prosjeku su bile najmanje u 2016. godini (1,54 NO_3-N/l) (Grafikon 4.2.8.). Najviša vrijednost zabilježena je u listopadu 2017. godine (9,48 mg NO_3-N/l), a najmanja u prosincu 2016. godine (0,813 mg NO_3-N/l).



Grafikon 4.2.7. Usporedba koncentracija mg NO_3-N/l u veljači i travnju promatranog razdoblja (2016. do 2018. godina) u plitkom talnom akviferu do 4 m
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.



Grafikon 4.2.8. Usporedba koncentracija mg NO_3-N/l promatranog razdoblja (2016. do 2018. godina) u dubokom akviferu do 15 m
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

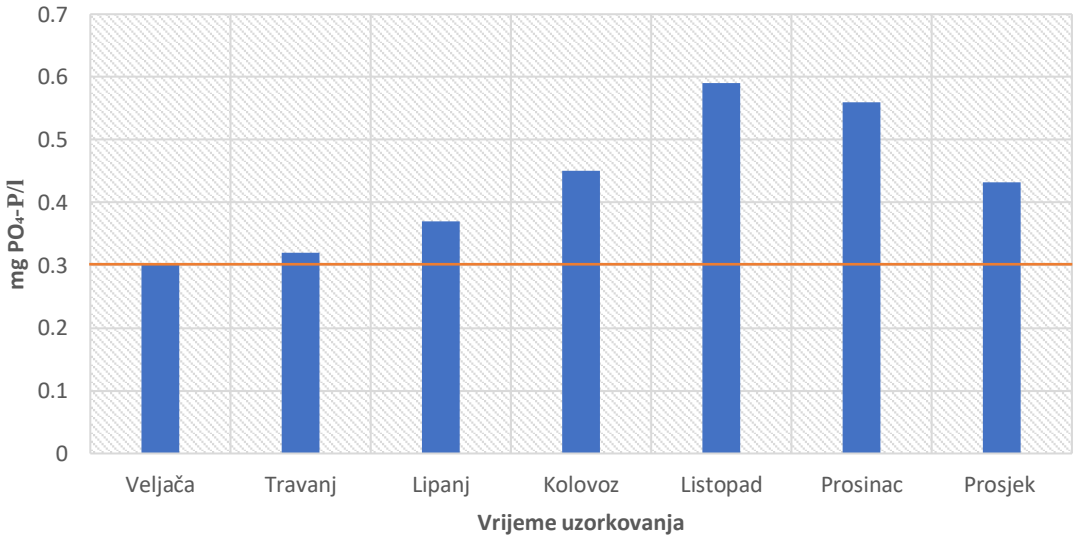
4.3. Koncentracija fosfora u podzemnoj vodi u promatranom razdoblju od 2016. do 2018. godine

Analiza rezultata: 2016. godina

U monitoringu kakvoće podzemne vode tijekom 2016. godine na području dovodnog Melioracijskog kanala, pored nitrata i amonijaka, analizirani su i fosfati. Lokacije, kao i datumi uzorkovanja su bili isti kao i kod uzorkovanja amonijaka i nitrata. Vrijednost MDK za fosfate u podzemnoj vodi iznosi 0,30 mg P/l. Vrijednosti su analizirane u plitkom talnom akviferu do 4 m i dubokom akviferu do 15 m.

Plitki talni akvifer – do 4 m

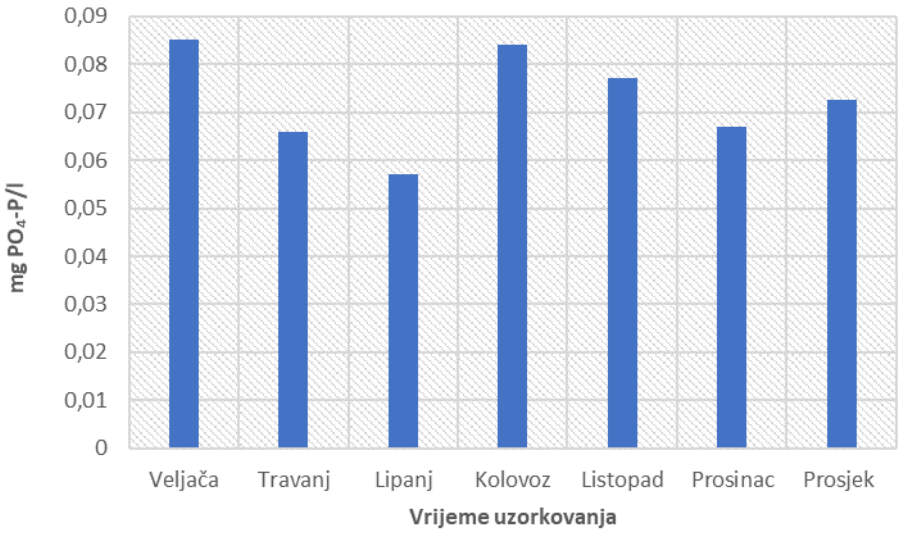
Srednje vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi promatranih lokacija tijekom cijele godine su bile više od propisanih vrijednosti MDK (0,30 mg PO_4-P/l). Vrijednost je bila najmanja u veljači (0,30 mg PO_4-P/l) te je linearno rasla sve do listopada kada se bilježi najveća koncentracija fosfora u podzemnoj vodi (0,59 mg PO_4-P/l). U prosincu se vrijednost neznatno smanjuje (0,56 mg PO_4-P/l). U lipnju je na ukupno 12 lokacija (piezometara) izmjerena vrijednost veća od vrijednosti MDK i to je ujedno mjesec s najvećim brojem onečišćenih piezometara, 26% od ukupno analiziranih lokacija. Godišnji prosjek vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi u plitkom talnom akviferu do 4 m iznosi 0,43 mg PO_4-P/l (Grafikon 4.3.1.). Voda, prema Pravilniku, odgovara V. vrsti ekološke kakvoće (>0,15 mg P/l).



Grafikon 4.3.1. Koncentracije srednjih vrijednosti PO_4-P/l u podzemnoj vodi tijekom 2016. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2016.

Duboki akvifer – do 15 m

Podzemna voda je analizirana u 5 dubokih hidrogeoloških piezometara do 15 m dubine. U rezultatima analiza fosfora u podzemnoj vodi u prosjeku mjeseci nisu zabilježene vrijednosti veće od propisane MDK. Najviša prosječna zabilježena vrijednost bila je u veljači (0,085 mg PO_4-P/l).



Grafikon 4.3.2. Koncentracije srednjih vrijednosti PO_4-P/l u podzemnoj vodi tijekom 2016. godine (duboki akvifer)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2016.

Najviša pojedinačna vrijednost iznosila je 0,333 mg PO_4-P/l i zabilježena je također u veljači na piezometru IV. Godišnji prosjek vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi dubokog akvifera iznosio je 0,073 mg PO_4-P/l (Grafikon 4.3.2.) Voda je odgovarala IV. vrsti ekološke kakvoće.

Analiza rezultata: 2017. godina

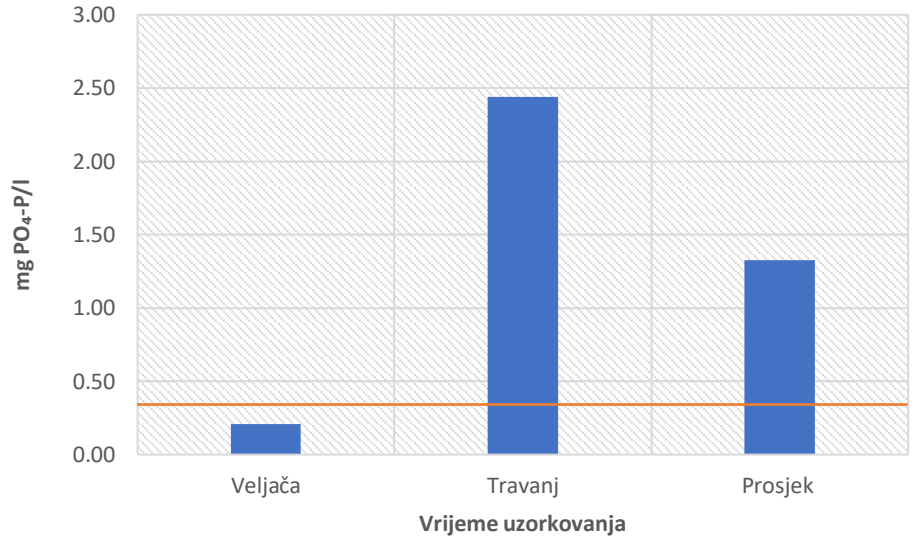
Koncentracije fosfora u podzemnoj vodi, jednako kao i amonijaka i nitrata, analizirane su na određenim piezometrima u plitkom talnom akviferu do 4 m (u kojima je bilo vode) u zimsko-proljetnom razdoblju (veljača, travanj). Za duboki akvifer do 15 m dobiveni su rezultati kroz cijelu godinu.

Plitki talni akvifer – do 4 m

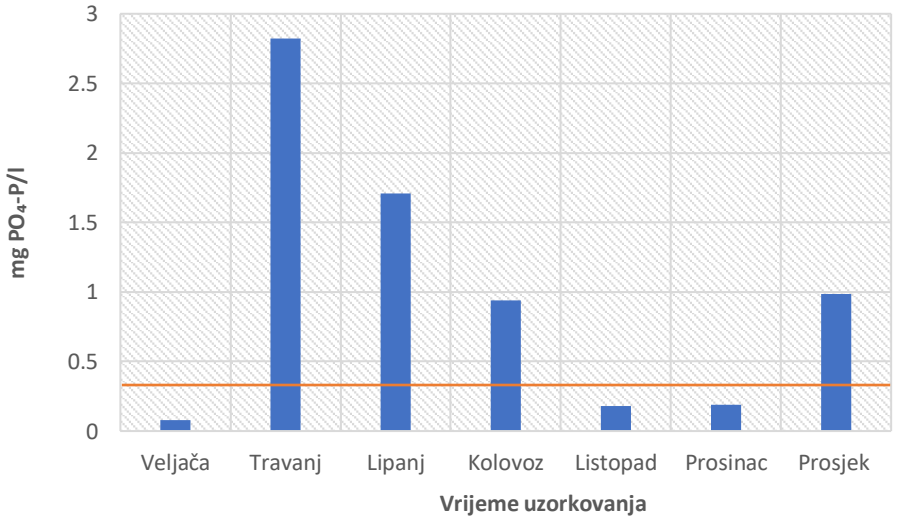
Koncentracija fosfora u veljači analizirana je iz 20 piezometara i njezina srednja vrijednost je bila 0,21 mg PO_4-P/l te ne prelazi vrijednost MDK za fosfor u podzemnoj vodi. U travnju je zabilježen značajniji porast koncentracije na 2,44 mg PO_4-P/l na ukupno 15 piezometara i na svakom je zabilježena koncentracija viša do propisane MDK. Godišnji prosjek, odnosno prosjek dva promatrana mjeseca, iznosio je 1,32 mg PO_4-P/l (Grafikon 4.3.3.) i voda je odgovarala V. vrsti ekološke kakvoće.

Duboki akvifer - do 15 m

Iz Grafikona 4.3.4. možemo uočiti kako su u tri promatrana mjeseca (veljača, listopad, prosinac) u jesensko-zimskom razdoblju vrijednosti koncentracije fosfora u dubokom akviferu bile ispod vrijednosti MDK i kretale se u rasponu od 0,08 do 0,19 mg PO_4-P/l. U proljetno-ljetnom razdoblju (travanj, lipanj, kolovoz) vrijednosti naglo rastu i kreću se u rasponu od 0,94 do 2,82 mg PO_4-P/l što je značajno više od propisane vrijednosti MDK. Godišnji prosjek u 2017. godini za duboki akvifer iznosio je 0,99 mg PO_4-P/l i voda je odgovarala V. vrsti ekološke kakvoće.



Grafikon 4.3.3. Koncentracije srednjih vrijednosti PO_4-P/l u podzemnoj vodi tijekom 2017. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2017.



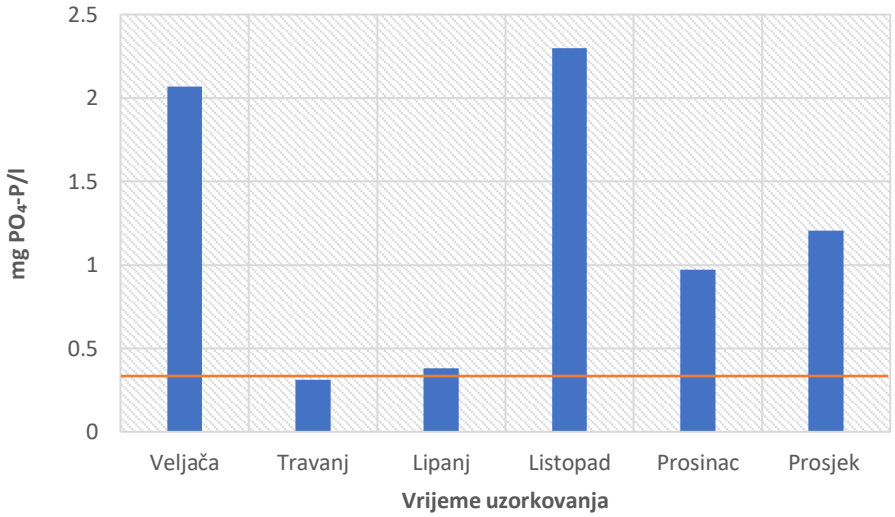
Grafikon 4.3.4. Koncentracije srednjih vrijednosti PO_4-P/l u podzemnoj vodi tijekom 2017. godine (duboki akvifer)I
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2017.

Analiza rezultata: 2018. godina

Kao i prethodnih godina, zbog „suhoće“ piezometara rezultati kakvoće podzemne vode u plitkom talnom akviferu do 4 m su nepotpuni. Napravljeni su za cijelu godinu, ali na manjem broju piezometara (24). Rezultati za duboki akvifer do 15 m su kompletni.

Plitki talni akvifer – do 4 m

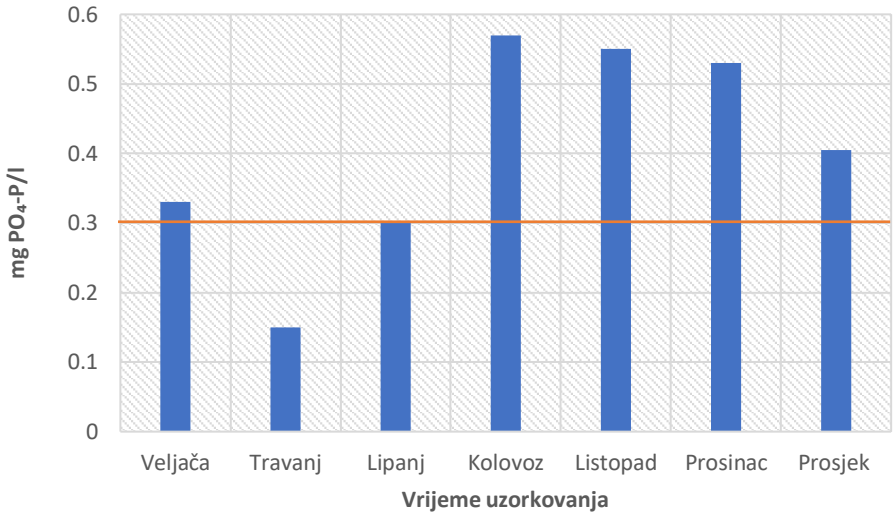
Vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi analizirane su na ukupno 24 piezometara tijekom cijele godine. Analizom je utvrđeno da je u svih 5 mjeseci uzorkovanja podzemna voda bila onečišćena fosforom i da su vrijednosti koncentracija prelazile propisanih 0,30 mg PO_4-P/l. Najviša srednja vrijednost zabilježena je u mjesecu listopadu (2,30 mg PO_4-P/l), a najniža u mjesecu travnju (0,31 mg PO_4-P/l). Godišnji prosjek vrijednosti koncentracija prikazan je u Grafikonu 4.3.5. i veći je od propisane MDK, voda odgovara V. vrsti ekološke kakvoće.



Grafikon 4.3.5. Koncentracije srednjih vrijednosti PO_4-P/l u podzemnoj vodi tijekom 2018. godine
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Duboki akvifer – do 15 m

Kao i kod plitkog talnog akvifera, tijekom cijele godine (izuzev mjeseca travnja) vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi bile su veće od propisane MDK. Na ukupno 22% svih piezometara vrijednosti koncentracija su bile veće od 0,30 mg PO_4-P/l. Najviša srednja vrijednost zabilježena je u kolovozu (0,53 mg PO_4-P/l), a najniža u travnju (0,15 mg PO_4-P/l). Godišnji prosjek koncentracije fosfora u podzemnoj vodi dubokog akvifera iznosi 0,40 mg PO_4-P/l i prelazi propisane vrijednosti MDK (Grafikon 4.3.6.). Voda odgovara V. vrsti ekološke kakvoće.



Grafikon 4.3.6. Koncentracije srednjih vrijednosti PO_4-P/l u podzemnoj vodi tijekom 2018. godine (duboki akvifer)
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

Usporedba promatranog razdoblja

Mjerenja fosfora u podzemnoj vodi vršena su na istim lokacijama i u isto vrijeme kao i mjerenja dušika iz amonijaka i nitrata. Iz tog razloga se i u slučaju fosfora za plitki talni akvifer do 4 m mogu usporediti samo mjeseci veljača i travanj. U slučaju dubokog akvifera do 15 m postoje kompletni podaci za sve tri godine i moguće je napraviti kompletnu usporedbu.

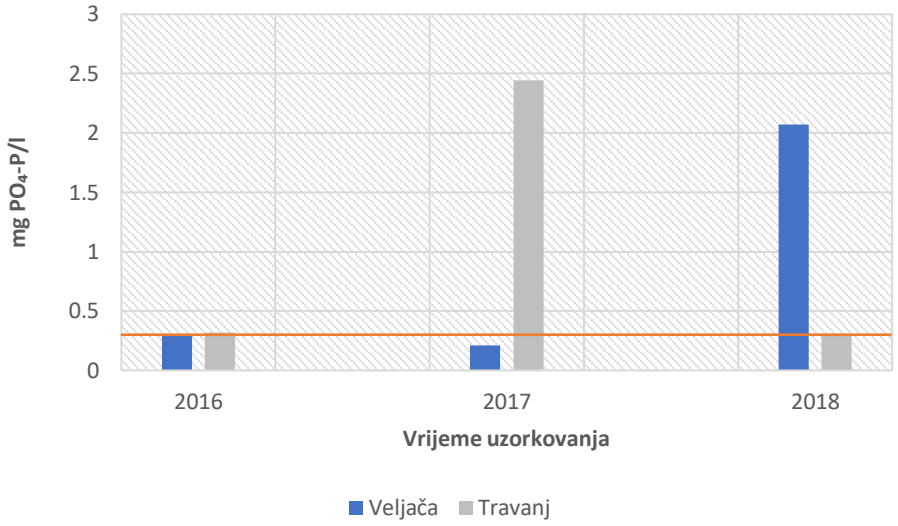
Plitki talni akvifer – do 4 m

U 2016. godini vrijednosti koncentracija fosfora u podzemnoj vodi bile su najniže u analiziranim mjesecima za sve tri promatrane godine (0,31 mg PO_4-P/l), no i dalje su bile iznad propisane vrijednosti MDK. U 2017. i 2018. godini zabilježena su velika odstupanja u mjesecima. U veljači 2017. godine vrijednost koncentracije je iznosila 0,21 mg PO_4-P/l dok je u tom istom razdoblju 2018. godine vrijednost iznosila 2.07 mg PO_4-P/l. U travnju je zabilježena obratna situacija, 2017. godine vrijednost koncentracije je bila 2,44 mg PO_4-P/l dok je za 2018. ona iznosila 0,31 mg PO_4-P/l (Grafikon 4.3.7.). Iz dobivenih podataka i velikih kolebanja u mjesecima, kao i zbog malog broja istih teško je utvrditi trend kretanja onečišćenja fosforom u podzemnim vodama. U prosjeku je voda odgovarala V. vrsti ekološke kakvoće.

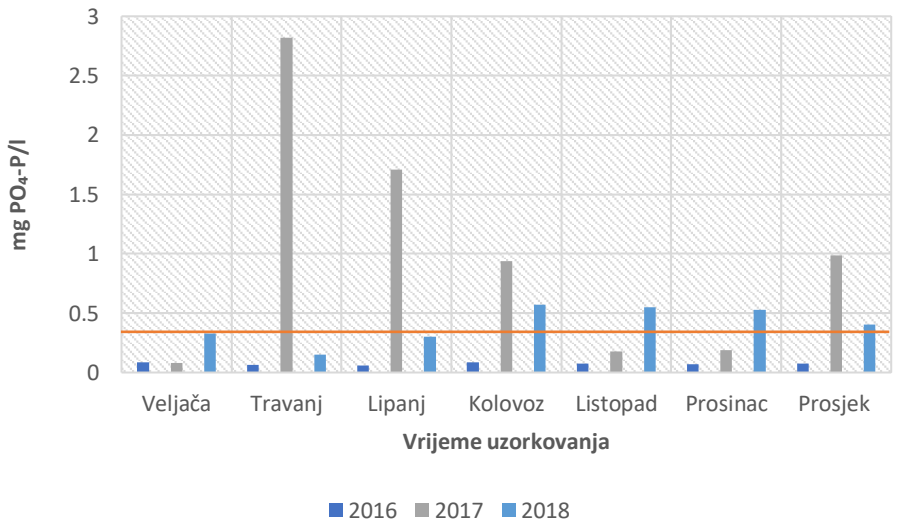
Duboki akvifer - do 15 m

Najbolji rezultati zabilježeni su u 2016. godini, jednako kao i u plitkom talnom akviferu (Grafikon 4.3.8.) Tijekom cijele godine vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi nisu prelazile 0,30 mg PO_4-P/l. Od veljače 2017. godine do travnja 2017. godine (koji je ujedno i mjesec s najvećom vrijednosti koncentracije) zabilježen je porast s 0,08 na 2,82 mg PO_4-P/l te nakon toga slijedi pad koji se nastavlja do kraja godine. U prosjeku, u 2017. godini podzemna voda dubokog akvifera bila je najonečišćenija fosforom tijekom promatranog razdoblja, a vrijednost koncentracije (0,99 mg PO_4-P/l) bila je viša od propisane MDK. Tijekom 2018. godine

vrijednosti koncentracija su se kretale u rasponu od 0,15 do 0,57 mg PO_4-P/l i godišnji prosjek je iznosio 0,41 mg PO_4-P/l, više od propisane MDK.



Grafikon 4.3.7. Usporedba koncentracija mg PO_4-P/l u veljači i travnju promatranog razdoblja (2016. do 2018. godina) u plitkom talnom akviferu do 4 m
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.



Grafikon 4.3.8. Usporedba koncentracija mg PO_4-P/l promatranog razdoblja (2016. do 2018. godina) u dubokom akviferu do 15 m
Izvor: prilagođeno prema Petošić i sur., 2018.

5. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza podzemne vode i njena kakvoća na 6 lokacija na području Bić-Bosutskog polja. Analiziran je sadržaj i koncentracija nitrata, amonijaka i fosfata koji se unose u tlo primjenom gnojiva za potrebe ratarske proizvodnje tijekom razdoblja 2016. do 2018. godine.

Koncentracije amonijaka, nitrata i fosfata u uzorcima vode određeni su spektrofotometrijski primjenom metode segmentiranog protoka. Srednje vrijednosti koncentracije amonijaka bile su veće od propisane MDK tijekom lipnja 2017. godine i kolovoza 2018. godine. Iz kolebanja vrijednosti po mjesecima teško je uočiti budući trend, no gledajući prosjeke godina koncentracija amonijaka u dubokom akviferu je u porastu (od 0,06 do 0,32 mg NH_4-N/l), ali i dalje ne prelazi propisanu vrijednost MDK (0,50 mg NH_4-N/l). Povišena koncentracija nitrata u podzemnoj vodi do 4 m zabilježena je samo tijekom mjeseca veljače u 2018. godini (16,69 mg NO_3-N/l). U dubokom akviferu tijekom promatranog razdoblja nisu zabilježene koncentracije dušika iz nitrata više od dopuštenih prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće N.N. 47/2008 (11,3 mg NO_3 -N/l). U prosjeku, u 2017. godini podzemna voda dubokog akvifera bila je najonečišćenija fosforom tijekom promatranog razdoblja, a vrijednost koncentracije (0,99 mg PO_4-P/l) bila je viša od propisane MDK (0,30 mg PO_4-P/l). Tijekom 2018. godine vrijednosti koncentracija su se kretale u rasponu od 0,15 do 0,57 mg PO_4-P/l i godišnji prosjek je iznosio 0,41 mg PO_4-P/l, više od propisane MDK. Najviša koncentracija zabilježena je u mjesecu travnju 2017. godine (2,82 mg PO_4-P/l).

Visoke koncentracije amonijaka u dubokom akviferu tijekom lipnja 2017. i kolovoza 2017. i 2018. godine mogu biti povezane s velikom količinom oborina koje su bile najviše u navedenim mjesecima. Također, velika količina oborina u kolovozu 2017. godine mogla je utjecati na povišene koncentracije nitrata u podzemnoj vodi, kao i u lipnju 2018. godine.

Tla na promatranim lokacijama spadaju u hidromorfne tipove tla koja su teksturno teža i procjeđivanje vode kroz solum je otežano što može biti razlog manje koncentracije onečišćivača u dubokom akviferu u odnosu na plitki akvifer.

Može se zaključiti kako se primjenom gnojiva na proizvodnim parcelama povećavaju koncentracije onečišćivača, ali njihovo ispiranje u duboki akvifer zavisi o podudarnosti vremena primjene, vremenskih prilika kao i samih fizikalno-kemijskih parametara tla.

6. POPIS LITERATURE

1. Bačani A. (2006.). Hidrogeologija I. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
2. Bedovec M. (2016.). Primjena slug testa u formacijama visoke hidrauličke vodljivosti (Diplomski rad). Geotehnički fakultet, Varaždin
3. Brkić Ž., Larva O., Husnjak S. (2014.). Prirodna ranjivost vodonosnika u RH i osjetljivost tla na propuštanje onečišćivača iz poljoprivrednog zemljišta. Agronomski fakultet, Zagreb: 247-252
4. Filipović V. (2012.). Primjena numeričkog modeliranja u procjeni kretanja vode i koncentracije nitrata u uvjetima hidromorfnih tala. (Doktorski rad). Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet. Zagreb: 3-11, 32-38
5. Hrvatski geološki institut (2009.). Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske. Zagreb: 6-22, 118-122
6. Hrvatske vode (2014.). Provedbeni plan obrade od poplava branjenog područja, sektor D-srednja i donja Sava, branjeno područje 1: područje malog sliva Biđ-Bosut. Zagreb: 5-6
7. Hrvatske vode (2008.). Strategija upravljanja vodama. Zagreb: 20-27
8. Kapelj S., Loborec J., Kapelj J. (2013.). Assessment of aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method. Geologia Croatica. Vol 10.4154/ GC 2013.09 No. 66/2, 119-128
9. Kenney D.R. (1989.). Sources of Nitrate to Ground Water. Nitrogen Management and Ground Water protection, volume 21. New York. USA.
10. Kovač I., Mesec J., Kovačev-Marinčić B., Novotni-Horčička N., Vugrinec J. (2016.). Komparativna analiza koncentracije nitrata u gornjem i donjem sloju varaždinskog vodonosnika (Članak). Sveučilište u Zagrebu. Geotehnički fakultet Varaždin. Varaždin
11. Lisičak A. (2018.). Primjena SINTACS metode procjene ranjivosti podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika (Diplomski rad). Geotehnički fakultet, Varaždin. Varaždin
12. Loborec J. (2013.). Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području slivova Jadra i Žrnovnice. (Doktorski rad). Rudarsko geološko naftni fakultet. Zagreb
13. Loborec J., Dogančić D. i Kapelj S. (2019.). Monitoring podzemnih voda u krškom vodonosniku izradom istražnih bušotina. 7. Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode. Opatija, str. 503-511
14. Nakić Z. (2008.). Vrednovanje i zaštita podzemnih voda Hrvatske. II. regionalno savjetovanje o pitkoj vodi. Šibenik
15. Narodne novine (79/1998, 137/2008). Uredba o klasifikaciji voda
16. Narodne novine (47/2008). Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće
17. Nemčić-Jurec J., Vadla D. (2010.). Nadziranje nitrata u vodi za piće na području Koprivničko-križevačke županije (Izvješće). Zavod za javno zdravstvo Koprivničko-križevačke županije. Koprivnica

18. Nujić M., Kalajdžić B., Habuda-Stanić M. (2013.). Nitrate ih shallow groundwater source in a rural area and its removal. Proceedings of the 13th International Conference of Environmental Science and Technology. Atena
19. Marijanović Rajčić M., Širac S. (2008.). Sadašnji i budući monitoring podzemnih voda. Hrvatske vode, god. 16, broj 63: str 99-103.
20. Martinuš A. (2011.). Kvalitativno stanje podzemne vode na samoborskom području (Pregledni rad). Hrvatske vode, god. 2011, broj 78: str 271-280.
21. Mateković V. (2018.). Modeliranje sezonske dinamike toka vode u nesaturiranoj zoni hidromorfnih tala (Diplomski rad). Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet. Zagreb.
22. Mušić M. (2012.). Optimiranje procesa uklanjanja dušika i fosfora u laboratorijskom SBR-u (Diplomski rad). Sveučilište u Zagrebu. Prehrambeno-biotehnološki fakultet. Zagreb: 16-19
23. Petošić D., Mustać I., Filipović V. i sur. (2016.) Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala i kakvoće vode na području dovodnog melioracijskog kanala za navodnjavanje Bid-Bosutskog polja za 2016. godinu (Izvješće). Agronomski fakultet. Zagreb
24. Petošić D., Mustać I., Filipović V. i sur. (2017.) Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala i kakvoće vode na području dovodnog melioracijskog kanala za navodnjavanje Bid-Bosutskog polja za 2017. godinu (Izvješće). Agronomski fakultet. Zagreb
25. Petošić D., Mustać I., Filipović V. i sur. (2018.) Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala i kakvoće vode na području dovodnog melioracijskog kanala za navodnjavanje Bid-Bosutskog polja za 2018. godinu (Izvješće). Agronomski fakultet. Zagreb
26. Romić D. (2003.). Zaštita tla i voda (Interna skripta). Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet. Zagreb: 27-42
27. Sraka, M. (2005): Pedološka istraživanja. Vježbe iz Pedologije. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb.
28. Strelec S., Golub M., Grabar K., Marciuš M. (2016.). Aquifer Parameters for the Purpose of Heating Pump System. Međunarodni kongres Energija i okoliš 2016. Rijeka.
29. Szavits-Nossan V.(1999.). Nastavni materijal iz procesa tečenja u tlu i stijeni. Voda u tlu. Interna skripta. Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet. Zagreb
30. Šimunić I., Senta Marić A., Orlović-Leko P., Likso T., Tomić F., Filipović V. (2010.). Kakvoća voda u hidromelioriranim poljoprivrednim površinama (Znanstveni rad). XI. Kongres hrvatskog tloznanstvenog društva s međunarodnim sudjelovanjem. Perspektive gospodarenja tla u budućnosti. Plitvička jezera: str. 111
31. Šimunić I., Cvetković D., Senta Marić A., Tomić F., Jurišić A., Bubalo M., Filipović V.m Zovko M. (2012.). Utjecaj razmaka cijevi na drenažno istjecanje, ispiranje nitrata i prinos uljane repice (Znanstveni rad). Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo, 20 (2012), 82; 189-200

32. Tomljenović B. (2016.). Petrologija s geologijom. Površinske i podzemne vode (Interna skripta).Dostupnona:https://rudar.rgn.hr/~bruntom/nids_bruntom/PDF%20Sumarstvo/3_Povr%20i%20podzem-voda.pdf, pristupljeno: 29. travnja 2020. Rudarsko geološko naftni fakultet. Zagreb
33. Urumović K. (2003.). Fizikalne osnove dinamike podzemnih voda. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb
34. Vidaček Ž., Bogunović M., Bensa A. (2005.). Nitrati u procjednoj i podzemnoj vodi dreniranog tla dravskog sliva. Sveučilište u Zgrebu. Agronomski fakultet. Zagreb
35. Vukadinović V., Vukadinović V. (2011.). Ishrana bilja (Udžbenik). Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek: 161-174, 186-192
36. Zajednička strategija provedbe okvirne direktive o vodama (2007.). Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/20_vodic_o_iznimkama_od_ciljeva_zastite_okolisa_-_hrv.pdf , pristupljeno: 16. svibnja 2020
37. Žugaj R. (2009.). Hidrologija za agroekologe (Skripta). Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb: 39-51
38. Zhang X., Xu Z., Sun X., Dong W., Ballantine D. (2013.). Nitrate in shallow groundwater in typical agriculture and forest ecosystem in China, 2004.-2010. Journal of Environmental Sciences. Volume 25, Issue 5, str: 1007-1014

ŽIVOTOPIS

Dorotea Rec rođena je 15. prosinca 1993. godine u Zagrebu. Od 2008. do 2012. godine pohađa Prirodoslovnu školu Vladimira Preloga smjer Ekološki tehničar i obranom završnog rada stječe zvanje Ekološkog tehničara. Preddiplomski studij Agrarna ekonomika na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu upisuje u akademskoj godini 2012./2013., a završava u akademskoj godini 2015./2016. obranom završnog rada na temu Zakonodavstva u ribarstvu. Diplomski studij iste godine nastavlja na smjeru Agrobiznis i ruralni razvitak te se 2018. godine prebacuje na smjer Melioracije.

Pohađanjem škole stranih jezika stekla je znanje portugalskog jezika na A1 razini te također posjeduje certifikat B1 razine engleskog jezika. Služi se Microsoft Office paketom, a 2019. godine pohađa tečaj Excela te dobiva certifikat. Barata osnovnim znanjima programa AutoCAD i HEC-RAC.

Tijekom srednjoškolskog i fakultetskog obrazovanja radila je niz poslova preko Učeničkog i Student servisa. Stručnu praksu, u trajanju od 4 mjeseca, odradila je u konzultantskoj firmi Genius Consulting d.o.o. gdje radi na projektnim prijavama za poljoprivredu, akvakulturu i ruralni razvoj.