

Određivanje nitrata u vodi za ljudsku potrošnju

Gajski, Liza

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:324846>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

LIZA GAJSKI

ODREĐIVANJE NITRATA U VODI ZA LJUDSKU POTROŠNJU

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2023.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 20.07.2023. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 06.07.2023.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Prof.dr.sc. Saufa Kovčič

Članovi povjerenstva

- 1) 120. prof.dr.sc. Anita Pivčik Simčić
- 2) Prof.dr.sc. Saufa Kovčič
- 3) Prof.dr.sc. Nikola Selac

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

DIPLOMSKI RAD

ODREĐIVANJE NITRATA U VODI ZA LJUDSKU POTROŠNJU

KANDIDAT:

LIZA GAJSKI

Liza Gajski

MENTOR:

izv. prof. dr. sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

VARAŽDIN, 2023.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ODREĐIVANJE NITRATA U VODI ZA LJUDSKU POTROŠNJU

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Izv. prof. dr. sc. Anite Ptiček Siročić**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 27.6.2023.

Liza Gajski

(Ime i prezime)

Liza Gajski

(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

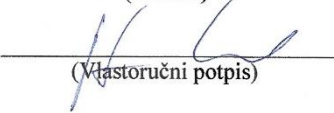
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ODREĐIVANJE NITRATA U VODI ZA LJUDSKU POTROŠNJU

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 27.06.2023.

izu. prof. ANITA PIČEK ŠIBIĆ
(Mentor)


(Vlastoručni potpis)

Zahvala

Zahvaljujem mentorici izv.prof.dr.sc. Aniti Ptiček Siročić na iskazanom provjerenju, vremenu i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem Zavodu za javno zdravstvo Varaždinske županije za pomoć kod izrade eksperimentalnog dijela, posebno dipl. ing. Ivani Boltžar i dipl. ing. Dijani Begić Šinjori.

Veliko hvala mojoj obitelji, dečku i prijateljima na pruženoj podršci i strpljenju tijekom studiranja.

SAŽETAK

Nitrati su bezbojne tvari koje se u okolišu pojavljuju kao rezultat ljudskih aktivnosti. Spajanjem dušika i kisika nastaju nitratni spojevi bez mirisa. Mogu se pojaviti u površinskim i u podzemnim vodama u niskim razinama koje ne uzrokuju zdravstvene probleme dok visoke koncentracije nitrata mogu biti posljedica otjecanja s odlagališta otpada, otjecanja iz poljoprivrede, nepravilne izgradnja bunara ili kontaminacije ljudskim ili životinjskim otpadom. Kada tlo sadrži više nitrata nego što je biljkama potrebno, višak se ispire kišnicom kroz tlo i odlazi u podzemne vode. Ako podzemna voda opskrbljuje izvore koji izviru u potoke ili jezera, nitrati mogu uzrokovati prekomjeren rast korova, cvjetanje algi te biti toksični za cjelokupni biljni i životinjski svijet. Podzemna voda koja se koristi kao izvor pitke vode može predstavljati veliki zdravstveni rizik ako se u njezinom sastavu nalaze visoke koncentracije nitrata. U ovom radu određivana je koncentracija nitrata u vodama za ljudsku potrošnju na 6 lokacija na području Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do veljače 2023. godine u prosjeku 3 puta godišnje. Uzorci površinske vode analizirani su pomoću uređaja Dionex Integrion HPIC. Rezultati su pokazali da su svi analizirani uzorci površinske vode na području županije u skladu s Uredbom o standardu kakvoće vode, odnosno da se vrijednosti nitrata nalaze unutar propisanih graničnih vrijednosti. Najveća koncentracija nitrata u Varaždinskoj županiji zabilježena je u rujnu 2021. godine i iznosila je 30,9 mg/l.

KLJUČNE RIJEČI: nitrati, voda za ljudsku potrošnju, utjecaj na ljudsko zdravlje

ABSTRACT

Nitrates are colourless chemicals that appear in the environment as a result of human activities. Nitrates are odourless compounds which are formed when nitrogen reacts with oxygen. They can occur in surface and groundwater at low levels that do not cause health problems, while high concentrations of nitrates can result from landfill runoff, agricultural runoff, improper well construction, or contamination by human or animal waste. When a soil contains more nitrates than plants need, the excess is washed by rainwater through a soil and they end up in groundwater. If groundwater supplies springs that flow into streams or lakes, nitrates can cause excessive weed growth, algal bloom and they can be toxic to flora and fauna. Groundwater which is used as a source of drinking water can pose a major health risk if it contains high concentrations of nitrates. In this work, the concentration of nitrates in water for human consumption was determined on average three times a year at six locations in the Varaždin County in the period from February 2020 to February 2023. The analysis was carried out by using Dionex Integrion HPIC. The analysis showed that the analysed water samples are in accordance with the Regulation on Water Quality Standards, i.e. the nitrate values are within the prescribed limit values. The highest nitrate concentration in Varaždin was recorded in September 2021 and it was 30.9 mg/l.

KEY WORDS: nitrates, water for human consumption, impact on human health

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Površinske vode	2
2.2. Podzemna voda	3
2.3. Pokazatelji kakvoće vode	5
2.3.1. Fizikalno – kemijski pokazatelji kakvoće vode	6
2.3.2. Mutnoća	7
2.3.3. Boja	8
2.3.4. Temperatura	8
2.3.5. Okus i miris.....	9
2.3.6. Tvrdća vode	10
2.3.7. Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)	11
2.3.8. Metali.....	12
2.3.9. Utrošak kalijevog permanganata.....	12
2.3.10. Amonijak (NH ₃).....	13
2.3.11. Nitriti (NO ₂ ⁻)	14
2.3.12. Kloridi (Cl ⁻)	15
2.3.13. Željezo (Fe).....	16
2.3.14. Elektrovodljivost	18
2.4. Nitrati (NO ₃ ⁻)	19
2.5. Utjecaj na ljudsko zdravlje	20
2.6. Zakonska regulativa	22
3. EKSPERIMENTALNI DIO	24
3.1. Opis lokacije	24
3.2. Uzorkovanje.....	26
3.3. Određivanje nitrata.....	27

4. REZULTATI I RASPRAVA.....	32
4.1. Analiza rezultata nitrata u vodi za ljudsku potrošnju.....	32
5. ZAKLJUČAK.....	38
6. LITERATURA	39

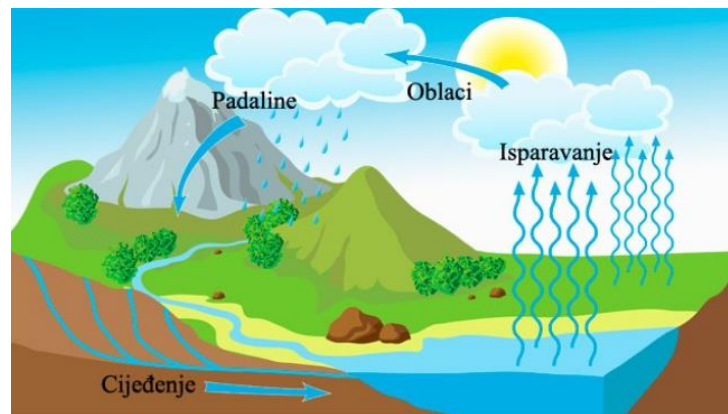
1. UVOD

Voda se možda i ne čini tako posebnom na prvi pogled, nema miris, okus ni boju, ali bez vode ne bi bilo ni života na Zemlji. Voda je molekula koja se sastoji od tri atoma, dva atoma vodika i jednog atoma kisika [1]. Ocean zauzima oko 97 % vode na Zemlji, dok je preostalih 3 % podijeljeno na različita mjesta koja obuhvaćaju ledenjake, led, vode koje se nalaze ispod površine, vode u rijekama, jezerima te vode u atmosferi [2]. Kako broj stanovnika na Zemlji raste, samim time raste i potražnja za vodom koja dovodi do toga da pročišćavanje vode postaje sve važnije. Zanimljiva je činjenica kako zahtjevi za čistoćom vode za industrijsku upotrebu često premašuju one za ljudsku potrošnju, primjerice, voda koja se koristi u visokotlačnim kotlovima mora biti najmanje 99,999998 % čista. Morska voda sadrži velike količine otopljenih soli te se prije upotrebe za ljudsku potrošnju mora desalinizirati. Porastom stanovništva dolazi i do porasta onečišćenja vode [3]. Izvori onečišćenja dolaze iz septičkih jama, životinjskog otpada, industrijskog i prehrambenog otpada te gnojiva u poljoprivredi. Ako voda za piće dolazi iz izvora koji se nalazi blizu navedenih izvora onečišćenja, postoji velika mogućnost kako se u njoj nalaze određene količine nitrata. Nitrati su prirodni organski spojevi koji sadrže atome kisika i dušika te se mogu naći u visokim ili niskim koncentracijama u vodi i u tlu. Nitrati nemaju boju, okus niti miris u vodi za piće. U velikim koncentracijama nitrati mogu biti štetni za dojenčad te starije osobe. Analiza vode jedini je način detektiranja nitrata jer kako je već i navedeno, oni nemaju okus, boju i miris. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, propisana koncentracija nitrata ne smije prelaziti granicu od 50 mg/l [4, 5]. Cilj istraživanja bio je odrediti koncentracije nitrata u vodama za ljudsku potrošnju na nekoliko lokacija na području Varaždinske županije.

2. OPĆI DIO

2.1. Površinske vode

U površinske vode ubrajaju se sve vode koje se nalaze na površini Zemlje. Ovisno o tome, da li one stoje ili teku, nazivaju se vode stajačice ili tekućice. Voda se u prirodi nalazi u tri, već poznata oblika, atmosferska ili oborinska, površinska i podzemna voda. Kruženje vode u prirodi je proces koji se odvija stalno i u kojem voda konstantno prelazi iz jednog oblika u drugi oblik (slika 1) [6]. Površinske vode sudjeluju u hidrološkom ciklusu gdje je uključeno kretanje vode prema Zemljinoj površini i sa Zemljine površine [7].



Slika 1. Kruženje vode u prirodi [8]

Također, površinske vode još se dijele na slane i slatke vode, a u slatke vode ubrajaju se bare, jezera, rijeke i močvare dok se u slane vode ubrajaju oceani, mora i slatke vode izmiješane s morskom vodom, koje se nazivaju bočate vode [9].

Postoje tri glavne kategorije površinskih voda, a to su:

- višegodišnje
- umjetne
- efemerne.

Višegodišnje površinske vode još se nazivaju i stalne površinske vode jer postoje tokom cijele godine i obnavljaju se pomoću podzemne vode kada je prisutna mala količina oborina. Umjetne površinske vode su vode koje je napravio čovjek u određene svrhe kao

što su primjerice brane. Efemerna ili još polutrajna površinska voda prisutna je samo jedan dio godine te u nju pripadaju vodene jame, mali potoci i lagune [8]. S obzirom da je površinska voda lako dostupna, ona je ujedno i važan prirodni resurs koji se koristi svakodnevno u obliku vode za piće, navodnjavanju, industriji, stočarstvu, hidroelektranama i u mnoge druge svrhe [10]. Neke od karakteristika površinskih voda su što su tvrđe od oborinskih, u njima je razvijen život te u sebi sadrže suspendirane tvari [11]. Prilikom korištenja vode dolazi do onečišćenja iste jer štetne tvari dolaze u dodir s vodom te se otapaju ili se pomiješaju s vodom [9]. S obzirom na narušavanje kakvoće vode, ista se može pratiti pomoću površinskih mjerenja i satelita. Praćenje kakvoće vode važno je kako bi se dobio uvid u stanje voda zbog klimatskih promjena i ljudskog utjecaja na površinske vode. Važno je, također, obratiti pažnju i na vegetaciju jer će u suprotnom gubitkom vegetacije doći do povećanog površinskog otjecanja koje može povećati rizik od poplava. Površinska i podzemna voda imaju sposobnost nadopunjavanja. Površinska voda može prodrijeti u podzemlje i postati podzemna voda te isto tako podzemna voda može izaći na površinu i postati površinska voda. Mjesta gdje podzemna voda izlazi na površinu nazivaju se izvori. S obzirom da je površinska voda lakše dostupnija od podzemne, koristi se svakodnevno za ljudsku potrošnju [8].

2.2. Podzemna voda

Podzemna voda je voda koja se nalazi ispod zemlje u pukotinama i prostorima u tlu, pijesku i stijenama. Podzemne vode mogu biti mlade i stare. Starim vodama smatra se voda temeljnica koja se ne mijenja, kreće se sporo, ima konstantnu temperaturu i s vremenom postaje tvrđa. Mlada voda je voda koja se u podzemlju nalazi jedan kraći period, nije sigurna za konzumaciju s obzirom da nije dovoljno prirodno pročišćena i do nje može doprijeti nečistoća koja se nalazi na površini [12, 13]. Smještena je u takozvanim vodonosnicima koji se sastoje od propusnog materijala koji imaju sposobnost pohranjivanja određene količine vode (slika 2).



Slika 2. Prisutnost podzemne vode u zasićenoj i nezasićenoj zoni [14]

Vodonosnici se mogu sastojati od nekoliko materijala poput nekonsolidiranih pijesaka i šljunka, razlomljenih vulkanskih i kristalnih stijena ili propusnih sedimentnih stijena kao što su na primjer vapnenci ili pješčenjaci. Podzemna voda nastaje prirodnim putem, odnosno puni se prilikom otapanja snijega i kišnice te vodom koja curi kroz dno pojedinih rijeka i jezera. Podzemne vode prisutne su gotovo svugdje te leže u dubljim ili pak plićim područjima, a to ovisi o faktorima poput meteoroloških uvjeta, fizičke karakteristike regije u kojoj se podzemna voda nalazi te o stopi punjenja i iskorištavanja te vode. Tijekom padanja obilnih kiša, raznima podzemne vode raste, dok suprotno tome, neko dulje sušno razdoblje može biti razlog drastičnog pada razine podzemne vode. Kada podzemna voda dosegne vodonosnik, ona tada ne miruje već nastavlja teći, ali puno manjom brzinom nego što je to bilo prije no što je voda dosegla vodonosnik. Brzina tečenja podzemne vode ovisi o karakteristikama vodonosnika. Kreće se s višeg prema nižem potencijalu zbog gradijenta i kretanje traje sve dok se voda ne ispusti u drugo vodno tijelo poput rijeka, jezera ili oceana ili u neki drugi vodonosnik. Kako bi mogao skladištiti i proizvoditi podzemnu vodu, vodonosnik mora imati određena fizička svojstva, a jedan od njih je i prazan prostor, to jest, pore ili pukotine u kojima se skladišti podzemna voda. Realno gledano, ako postoje prostori koji su međusobno povezani tada je geološka formacija propusna, a kada nema prostora ili oni nisu međusobno povezani, tada je geološka formacija nepropusna. Što je poroznost i propusnost vodonosnika veća, skladišti se više podzemne vode [15].

Podzemne vode predstavljaju oko 30 % svjetske slatke vode. Od preostalih 70 %, 69 % je zarobljeno u ledenim kapama i planinskom snijegu, dok je samo 1 % vode prisutan u jezerima i rijekama. Vrlo su važan prirodni resurs, imaju veliku ulogu u gospodarstvu i kod procesa navodnjavanja te se procjenjuje da se podzemna voda koristi za otprilike oko 43 % ukupne potrošnje vode za navodnjavanje. Prilikom očuvanja kakvoće podzemne vode uvelike doprinosi što je voda pohranjena u slojevima koji se nalaze ispod površine, a ponekad se može naći i na vrlo velikim dubinama. Prilikom korištenja podzemnih voda, vrlo je važno pronaći ravnotežu prilikom procesa puštanja vode i povlačenja vode kako bi se onemogućilo enormno crpljenje i onečišćenje vode te kako bi se razina vodonosnika mogla oporaviti [15].

2.3. Pokazatelji kakvoće vode

Kakvoća vode predstavlja najvažniji pokazatelj kvalitetnog života na Zemlji i osigurava sigurnost vode za ljudsku upotrebu. Vrlo je važno poznavati glavne pokazatelje čistoće vode. Kvalitetna i čista voda najvažniji je indikator zdravlja u nekom ekosustavu. Voda izvanredne kakvoće važna je za život ljudi, za životinjski svijet te za stanovnike u moru. Radnje koje se odvijaju na kopnu uvelike utječu na vodeni ekosustav te iz toga proizlazi potreba za praćenjem razine kakvoće vode. Onečišćenje vode ukazuje na velike probleme koji imaju vrlo štetan utjecaj na ljude i prirodu. Neka od onečišćenja dolaze iz kanalizacije, otpadnih voda, izlivanja goriva, štetnih utjecaja od strane poljoprivrede i industrije te je praćenje kakvoće vode ključno prilikom prepoznavanja raznih potencijalnih ekoloških katastrofa i problema. Kakvoća vode i njezin prirodni sastav uvelike zavisi od poroznosti i propusnosti stijena, hidrološkim i klimatskim obilježjima, kemijskom sastavu tla te vegetacijskim obilježjima. Kakvoća vode opisuje se različitim pokazateljima poput pH vrijednosti, temperature, hranjivih tvari, metala, boje, mutnoće, okusa i mirisa, koncentracije vodikovih iona, utroška KMnO_4 , klorida te različitih vrsta aniona (nitrati, nitriti) [16, 17].

2.3.1. Fizikalno – kemijski pokazatelji kakvoće vode

Monitoring vode za ljudsku potrošnju podijeljen je na monitoring parametara skupine A i parametara skupine B. U skupinu A pripadaju fizikalno – kemijski pokazatelji kakvoće vode i to su:

- mutnoća
- boja
- temperatura
- okus i miris
- tvrdoća vode
- koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)
- metali
- utrošak kalijevog permanganata KMnO_4
- anioni (nitrati, nitriti, kloridi)
- željezo
- elektrovodljivost.

Pomoću kemijskih pokazatelja određuje se upotrebljivost vode, dok se fizikalnim pokazateljima određuju svojstva vode s obzirom na njezin miris, boju, okus i temperaturu. Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće propisane su maksimalne dozvoljene koncentracije za ispitivane pokazatelje (tablica 1) [18].

Tablica 1. Propisane dozvoljene koncentracije za pokazatelje kakvoće vode

Pokazatelj	Propisana dozvoljena vrijednost (MDK)	Mjerna jedinica
Boja	20	mg/PtCo skale
Mutnoća	4	°NTU
Temperatura	25	°C
Miris	bez	-
Okus	bez	-
pH vrijednost	6,5 – 9,5	pH
Elektrovodljivost	2500	$\mu\text{s/cm}$ pri 20 °C
Utrošak KMnO_4	5,0	mg/l

Nitrati NO ₃	<50	mg/l
Nitriti NO ₂	0,50	mg/l
Kloridi Cl	<250	mg/l
Željezo Fe	<200	μg/l

2.3.2. Mutnoća

Mutnoća je mjera stupnja do kojeg voda gubi prozirnost zbog utjecaja i prisutnosti suspendiranih čestica. Što je veća količina suspendiranih krutih tvari, voda postaje sve više mutnija. Na mutnoću vode utječu mnogi faktori, a neki od njih su fitoplanktoni, sedimenti od procesa erozije, glina, mulj, ispuštanje otpada, rast algi, resuspendirani sedimenti s dna – uzburkani nekim hraniteljima s dna kao što su šarani te ubrzano otjecanje [19]. Mutna voda već je na prvi pogled jako odbojna i iz toga se odmah može zaključiti kako se ta voda ne preporučuje za piće jer nije zdravstveno ispravna. Voda s većom mutnoćom zahtjeva temeljitiju filtraciju kako bi se uklonio talog svih veličina te je ujedno i mnogo skuplja od drugih filtracija. Mutnoća se mjeri u NTU-nefelometrijskim jedinicama turbiditeta. Slika 3. prikazuje turbidimetar ili nefelometar, instrument pomoću kojeg se mjeri mutnoća vode na način da uređaj prepoznaje intenzitet svjetlosti koja prolazi kroz uzorak vode [20, 21].



Slika 3. Turbidimetar [22]

2.3.3. Boja

Izvor boje u vodama su raspršene i otopljene tvari. Boja koja nastaje od otopljenih tvari naziva se prava boja, a prividna boja je boja koja nastaje od raspršenih tvari. Boja vode mjeri se kolorimetrom i izražava se u stupnjevima platinsko – kobaltne skale. Svjetska zdravstvena organizacija propisuje kako voda ne bi smjela imati boju intenzivniju od 50 stupnjeva, a granica u Republici Hrvatskoj iznosi 20 stupnjeva platinsko kobaltne skale. U prirodi, boja vode nastaje prilikom dodira lišća ili drveta s vodom te tada dolazi do otapanja tanina, humusne kiseline te dolazi do obojenja vode u žuto – smeđu boju. Voda također može biti i crvena ili smeđa, što prikazuje prisutnost željeza i mangana u vodi. Industrijski otpad često je krivac za obojene vode, posebno tvornice koje proizvode papir, celulozu, tekstil, kemijske i prehrambene proizvode (slika 4). Pravu boju vode uzrokuju organske tvari prilikom dezinficiranja vode klornim spojevima koje stvaraju klor – organske spojeve. Obojene vode također imaju i loš okus i neugodan miris te postoji mogućnost da spojevi klora i organskih kiselina izazovu kancerogene bolesti [13, 23].



Slika 4. Obojena voda iz industrije [24]

2.3.4. Temperatura

Temperatura je jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na vodne sustave. Temperatura ima utjecaj na razne biološke i kemijske procese, na gustoću vode, otopljeni kisik i sastav vrsta, razinu amonijaka u vodi, brzinu fotosinteze i brzinu metabolizma vodenih organizama. Ako temperatura nije unutar odgovarajućeg raspona o kojem ovise vodeni

organizmi, dolazi do negativnog utjecaja na iste te se povećava stres i često dolazi do smrti organizama. Temperatura se mijenja tokom dana i tijekom godišnjih doba. Slatkovodne sustave grije sunce, ali tu su prisutne i oborine te dolazak podzemnih voda i površinska otjecanja koji uvelike utječu na temperaturu vode pa dolazi do gubitka topline ili do porasta putem kondenzacije. Također, temperatura ima utjecaj i na količinu otopljenog kisika s obzirom da se porastom temperature vode količina otopljenog kisika smanjuje. Mjerna jedinica za temperaturu je Celzij (°C) ili Kelvin (K) i mjeri se termometrom (slika 5) [25].



Slika 5. Termometar [26]

2.3.5. Okus i miris

Neobičan okus i miris vode ukazuje na problem s vodom. Ako se identificiraju nepravilnosti, ove se estetske neugodnosti mogu eliminirati raznim metodama. Okus vode dolazi iz otopljenih mineralnih soli. Kada se osjeti jak okus ili miris klora to je znak da je voda bila tretirana u postrojenju kako bi se dezinficirala. Klor se upotrebljava kako bi se uništile bakterije i ostali štetni mikroorganizmi. Metalni okus predstavlja visoku koncentraciju minerala u vodi, poput željeza ili mangana. Kada voda ima miris pokvarenih jaja tada se radi o vodama iz podzemlja te je neugodan miris rezultat raspadanja organskih naslaga. Miris plijesni govori o prisutnosti pesticida u vodi dok miris nafte upućuje na moguću prisutnost metana. Voda za piće ne smije imati niti okus niti miris [27].

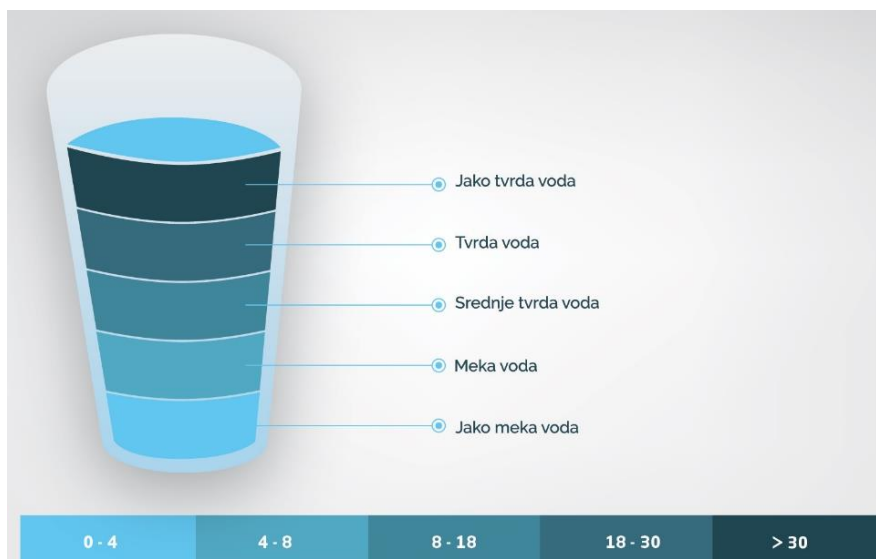
2.3.6. Tvrdoća vode

Tvrdoća vode u prirodi uzrokovana je otapanjem kalcijevih i magnezijevih soli [28]. Ukupna tvrdoća vode zapravo je kombinacija privremene ili karbonatne tvrdoće i stalne ili nekarbonatne tvrdoće. Privremena ili karbonatna tvrdoća povezana je s anionima poput karbonata, hidroksida i bikarbonata. Prilikom zagrijavanja vode, kada voda prokuha, gubi dio karbonata kao CO_2 i otopina postaje prezasićena viševalentnim kationima koji počinju stvarati čestice i talože se iz vode kao karbonatni kamenac. Kamenac je najčešće bijele ili sive boje i može se ukloniti otapanjem u octu. Stalna tvrdoća ili nekarbonatna je tvrdoća povezana s nekarbonatnim anionima kao što su nitrati, kloridi i sulfati. Stupanj tvrdoće postaje sve veći kako se povećava količina dvovalentnih ili viševalentnih kationa otopljenih u vodi. Tvrdoća vode predstavlja veliki problem ako je preniska ili previsoka. Preniska tvrdoća vode, $< 50 \text{ mg/L}$, izaziva korozivnost vode za pojedine uređaje, metalne cijevi i armaturu dok kod previsoke tvrdoće vode viševalentni kationi reagiraju s karbonatima u vodi i stvaraju kemijske taloge. Pranje rublja u tvrdoj vodi dovodi do nakupljanja sapuna u tkanini te je takva tkanina gruba i kruta. Tvrda voda ne predstavlja opasnost za zdravlje, već pijenje tvrde vode može doprinijeti prehranbenim potrebama za magnezijem i kalcijem [29]. Ukupna tvrdoća vode također se izražava pomoću engleskih, njemačkih i francuskih stupnjeva tvrdoće (tablica 2) [30].

Tablica 2. Stupnjevi tvrdoće vode

1 njemački stupanj tvrdoće = $1^\circ\text{d} = 10 \text{ mg/L CaO}$
1 francuski stupanj tvrdoće = $1^\circ\text{f} = 10 \text{ mg/L CaCO}_3$
1 engleski stupanj tvrdoće = $1^\circ\text{e} = 10 \text{ mg}/0,7 \text{ L CaCO}_3$

Iskazivanje tvrdoće najčešće se iskazuje njemačkih stupnjevima (slika 6).



Slika 6. Klasifikacija vode po tvrdoći prema Hartenradenu [31]

2.3.7. Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)

Koncentracija vodikovih iona predstavlja mjeru za kiselost i lužnatost tvari. Lužnatost i kiselost usko su povezani relativnim koncentracijama H^+ iona. Kada alkalne i kisele tvari disociraju u vodi dolazi do oslobađanja vodikovih iona (H^+) i hidroksidnih iona (OH^-). Koncentracija vodikovih iona mjeri se pH ljestvicom na kojoj su vrijednosti predstavljene negativnim logaritmom koncentracije H^+ iona. Stoga, kada je veći višak H^+ iona tada je niža pH vrijednost. Najveći mogući višak H^+ iona predstavlja pH od 0, neutralnu otopinu predstavlja pH 7, dok pH od 14 predstavlja najveći stupanj alkalnosti. pH vrijednost najčešće se mjeri univerzalnim indikatorskim papirom ili pomoću pH metra (slika 7) [32].



Slika 7. pH metar [33]

U prirodnim vodama pH vrijednost kreće se u rasponu od 5,5 do 8,6. Nisku vrijednost pH tj. korozivnost imaju vode koje su onečišćene industrijskim otpadom, a visoke vrijednosti pH moguće je smanjiti postupkom kloriranja prilikom dezinfekcije vode [23].

2.3.8. Metali

Postupcima trošenja stijena i tla u vodenim ekosustavima prirodno se pojavljuju metali. Erozija i sedimentacija uzroci su unosa metala u vodene ekosustave, ali uz njih postoje još neki izvori metala poput industrije, vode iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, rudarske aktivnosti i kanalizacija. Zbog razvoja urbanizacije i industrijalizacije, problem onečišćenja teškim metalima postao je ozbiljan ekološki problem. Teški metali ne utječu samo negativno na vodene organizme, već mogu teško ugroziti i zdravlje ljudi. Vrste teških metala koje se obično nalaze u vodi jesu olovo, arsen, krom, bakar, kadmij i živa dok željezo, mangan, natrij, aluminij i cink spadaju u neotrovnu skupinu metala. Soli željeza i mangana nalaze se u podzemnim vodama i povećane koncentracije ovih dvaju elemenata izazivaju neugodan okus i obojenje vode. Voda koja sadrži preveliku količinu željeza i mangana može se prepoznati prilikom pranja rublja kada se na odjeći pojavljuju žuto smeđe mrlje. Aluminij, bakar i cink u prirodi su prisutni u razmjerno malim dozama te mogu biti otrovni. Pojavljivanje metala u vodi ovisi o mnogim čimbenicima poput temperature, pH vrijednosti, količini otopljenog kisika, alkalitetu, tvrdoći vode te organskim tvarima i biološkim aktivnostima. Koncentracija metala u vodi određuje se spektrofotometrijskim i kromatografskim metodama i izražava se u mg/L [34, 35].

2.3.9. Utrošak kalijevog permanganata

Kalijev permanganat jako je oksidacijsko sredstvo s određenim dezinfekcijskim svojstvima (slika 8). Koristi se prilikom obrade vode, medicinskih tretmana i industrijskih primjena. Prilikom obrada voda, kalijev permanganat koristi se za uklanjanje nečistoća poput željeza, mangana i sumpora. Doziranje ovisi o kakvoći vode i o željenoj razini tretmana. S obzirom da u vodi nije moguće direktno odrediti sadržaj organskih tvari, tada se prati utrošak kalijevog permanganata (KMnO_4) [36, 37].



Slika 8. Kalijev permanganat [38]

Ako su u vodi prisutni sadržaji organske tvari biljnog, životinjskog, industrijskog ili ljudskog porijekla, utrošiti će se određena količina KMnO_4 za njihovu oksidaciju. Nakon toga, u vodi dolazi do razgradnje KMnO_4 te se oslobađa kisik. Kisik koji je nastao oksidira organsku tvar i na temelju količine utrošenog KMnO_4 izračunava se količina organske tvari. Količina utrošenog kalijevog permanganata ovisi o udjelu organskih tvari u vodi i o njihovim kemijskim strukturama. Dozvoljena koncentracija kalijevog permanganata u vodi iznosi 5,0 mg/l [36, 37].

2.3.10. Amonijak (NH_3)

Amonijak, kemijske formule NH_3 , spoj je dušika i vodika. Amonijak je bezbojan plin, oštrog i karakterističnog mirisa te je lako topiv u vodi. Prisutnost amonijaka najbolji je pokazatelj mikrobne razgradnje organskih tvari koje sadrže dušik. Do prisutnosti amonijaka u vodi dolazi najviše zbog kemijskog onečišćenja vode, onečišćenja koja dolaze iz poljoprivredne proizvodnje te onečišćenja vode životinjskim otpadom. Iz podzemnih voda, amonijak može dospjeti u površinske vode i nastaje kao posljedica:

- nekontroliranog korištenja mineralnih i prirodnih gnojiva
- pretjerane upotrebe pesticida
- izgradnje septičkih jama
- razne prenamjene starih bunara u septičke jame
- nepravilnog odlaganja otpada, ispuštanje otpadnih voda i drugih vrsta otpada.

Prisutnost amonijaka u vodama za piće uvelike utječe na kakvoću i svojstva vode, poput mirisa, boje i okusa. Amonijak stvara neugodne mirise, neugodan okus i prisutnost vidljivih sitnih čestica u vodi. Prisutnost amonijaka u vodama za piće uvelike narušava kakvoću vode, ali u minimalnim količinama amonijak nije otrovan za ljude. Gradski sustavi za pročišćavanje vode najčešće koriste klor za dezinfekciju vode, ali često se u tom slučaju ukupna količina amonijaka ne uklanja, već on ostaje u pitkoj vodi u obliku slobodnog amonijaka koji tada utječe na kvalitetu vode. Takav nastali amonijak određuje se spektrofotometrijski. Ukoliko dođe do dugotrajnije konzumacije vode u kojoj se nalaze veće količine amonijaka, tada amonijak ima štetan utjecaj na ljudsko zdravlje. Neki od simptoma trovanja amonijakom su bol u prsima, temperatura, otežano disanje, vrtoglavica, povraćanje i nesvjestica [39]. Vrlo je važno da voda za piće ne sadrži amonijak, to jest da koncentracija amonijaka ne prelazi propisanih 0,50 mg/l [5].

2.3.11. Nitriti (NO_2^-)

Nitriti su soli dušične kiseline koji se mogu pojaviti u vodama. Nitriti dolaze iz gnojiva otjecanjem vode, kroz kanalizaciju i putem mineralnih naslaga (Slika 9). Koriste se u proizvodnji hrane za sušenje mesnih proizvoda jer inhibiraju rast bakterija, ali također mogu potaknuti rast bakterija kada se u prekomjernim koncentracijama unesu u vodu.



Slika 9. Primjer gnojiva u čijem su sastavu prisutni nitriti [40]

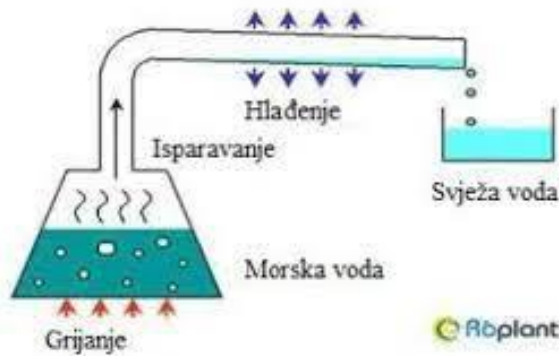
Visoke koncentracije nitrata otrovne su za ljude i životinje. Nitriti su, kao i nitrati, vrlo opasni za dojenčad. U organizam mogu dospjeti u obliku nitrata, ali prelaze u nitrite te time remete sposobnost hemoglobina da isporučuje kisik. Dozvoljena koncentracija nitrita u vodama za ljudsku potrošnju ne smije prelaziti više od 0,50 mg/l [41].

2.3.12. Kloridi (Cl⁻)

Klorid je ion negativnog naboja koji nastaje od elementa klora. Najpoznatiji spoj klora je natrijev klorid (NaCl). Klorid se prirodno pojavljuje te je prisutan u slatkoj i slanoj vodi. Dobiva se najčešće iz otopljenih soli kao što su natrijev klorid i magnezijev klorid. Klorid je neophodan u malim količinama za normalno funkcioniranje stanica kod biljaka i životinja. Klorid je prisutan u kišnici, potocima, podzemnim vodama, morskoj vodi, otpadnim vodama, gradskim otpadnim vodama te u mnogim geološkim formacijama. Povišene razine klorida najčešće su posljedica bušenja nafte ili zemnog plina, prodora slane vode, otjecanja voda na odlagalištima otpada, gnojiva te otpadne vode septičkih sustava [42]. Klorid u vodi pomaže i doprinosi sljedećem:

- ubija štetne bakterije – djeluje kao prirodni čistač, eliminira sve opasne patogene koji uđu u ljudsko tijelo
- održava fluidnost ljudskog tijela – natrijev klorid zadržava vlagu, a kada je u ljudskom tijelu, pomaže u kontroli vode koja prolazi kroz stanice te time osigurava da ispravno funkcioniraju
- pomaže u probavi [43].

Iako je pijenje vode s povišenim razinama klorida sigurno za konzumaciju, svejedno može uzrokovati pojedine manje zdravstvene probleme poput povećanja krvnog tlaka. Ako su prisutni problemi s kloridima u vodi, dostupne su mnoge metode i tehnologije za obradu vode koje mogu smanjiti problem. Tri glavne metode koje se najčešće koriste su destilacija, deionizacija i obrnuta osmoza. Destilacija je postupak prokuhavanja vode kod kojeg se u komori kondenzirane čestice pretvaraju u vodu za piće (Slika 10). Destilacija zahtijeva stalno održavanje i rezultat je vrlo kratkoročan s obzirom na količinu posla koju postupak zahtijeva.



Slika 10. Postupak destilacije [44]

Deionizacija djeluje poput omekšivača vode. Deionizacija vode je postupak kojim se iz vode uklanjaju gotovo svi ioni minerala. Točnije, to je kemijski postupak u kojem se uporabom posebne ionske mase vrši izmjena vodikovih i hidroksidnih iona s otopljenim mineralima, a potom se vodikovi i hidroksidni ioni rekombiniraju i stvaraju molekule vode. Budući da većinu tvari u vodi čine otopljene soli, postupkom deionizacije proizvodi se voda vrlo visoke čistoće. Postupak obrnute osmoze smatra se najpraktičnijom metodom koja odstranjuje i najsitnije čestice iz vode. Reverzna osmoza koristi intenzivan pritisak za uklanjanje kontaminanata kroz membranu, materijal membrane je polupropustan, propušta molekule vode, a prepreka je otopljenim tvarima. Kada voda prolazi kroz membranu, molekule prodiru u nju i oko spirale prikupljaju čestice vode u centru cijevi, a zatim se na kraju ispuštaju kroz drugi ventil [45]. Dopuštena propisana koncentracija klorida ne smije prelaziti 250 mg/l [5].

2.3.13. Željezo (Fe)

Željezo se prirodno nalazi u stijenama i tlima koja se lako otapaju u vodi te se stoga obično nalazi i u vodama iz bunara. Iako ne predstavlja zdravstveni problem, željezo daje vodi metalni okus i može zaprljati odjeću prilikom pranja. Jedan izvor željeza u vodi iz bunara su bakterije željeza. Ove prirodne bakterije žive na željezu koje se nalazi u vodi ili dijelovima vodovoda. Bakterije stvaraju sloj sluzi koji se naziva biofilm na unutrašnjoj strani cijevi i spremnika za vodu. Potrebna je samo mala količina željeza da podrži rast bakterija željeza. Za kontrolu željeznih bakterija, bunare je potrebno s vremena na vrijeme

„šokirati“ klorom. Bakterije željeza je teško uništiti, budući da sloj sluzi daje određenu razinu zaštite od klora. Također, željezne bakterije uvijek ponovno rastu, tako da je potrebno redovito klorirati sustave vode. Mjesta na kojima se voda ne koristi toliko često, poput kuća za odmor, zahtijevaju češće tretiranje vode. Drugi izvor željeza u bunarima je željezo otopljeno u vodi. Duboko u tlu podzemna voda ne sadrži kisik te se u takvim anaerobnim uvjetima željezo koje se nalazi u stijeni, pijesku ili šljunku lako otapa. Nakon što se podzemna voda ispumpa na površinu i izloži zraku, polako se stvaraju male zahrđale crvene čestice. Navedena promjena iz bistrog, otopljenog željeza u crvene čestice željeza naziva se oksidacija te se isti proces događa kada željezo ili čelik počnu hrđati.



Slika 11. Prisutnost željeza u vodi [46]

Količina željeza otopljenog u vodi pomaže odrediti najučinkovitiju metodu sanacije. Mala količina bezbojnog željeza može se izdvojiti pomoću polifosfata ili korištenjem omekšivača vode. Ako se testiranjem vode otkrije da je niska koncentracija željeza otopljena u vodi, ono se može „uhvatiti“ prije nego oksidira i pocrveni. Fosfati se ponekad dodaju deterdžentima kako bi odvojili minerale koji ometaju čišćenje. Filter za željezo radi na principu da se prvo koristi kemikalija za brzu oksidaciju željeza u čestice, a zatim se te čestice filtriraju. Željezni filter se naziva filter zelenog pijeska i dizajniran je za obavljanje dva koraka u jednom spremniku. Zeleni pijesak se prvo tretira tamnoljubičastom otopinom kalijevog permanganata. Kalijev permanganat je jako oksidacijsko sredstvo koji će brzo prenamijeniti otopljeno željezo u velike crne čestice koje se lako zarobe na filteru. Kako bi se održao sustav, filter se ispiru kako bi se uklonile čestice, a zatim se dodaje još kalijevog permanganata. Prilikom korištenja KMnO_4 , važno je biti oprezan te koristiti svu zaštitnu odjeću s obzirom na korozivnost kemikalije [47].

Dozvoljena propisana koncentracija željeza u vodama za piće u RH ne smije prelaziti 200 $\mu\text{g/l}$ [5].

2.3.14. Elektrovodljivost

Elektrovodljivost vode mjeri sposobnosti otopine da provodi električnu struju. Kako električnu struju provode ioni u otopini, provodljivost se povećava kako se povećava i koncentracija iona. Struju dobro provode otopine većine anorganskih spojeva, dok je slabo provođenje struje prisutno kod molekula organskih spojeva. Elektrovodljivost vode ovisi o pH vrijednosti, ukupnoj tvrdoći, temperaturi, alkalnosti, koncentraciji kalcija, kemijskom potrebom za kisikom te koncentraciji klorida i željeza u vodi. Elektrovodljivost se mjeri konduktometrom, koji može biti prijenosni ili stolni (slika 12).



Slika 12. Stolni konduktometar [48]

Konduktometar mora biti postavljen na ravnu površinu i ne smije biti izložen jakom svjetlu i izvoru topline. Radi na principu prijenosa električne struje kroz otopinu putem iona. Pozitivni ioni se kreću prema negativnoj elektrodi, dok se negativni ioni kreću prema pozitivnoj elektrodi. Elektrode su izrađene od platine ili legure platine [18, 49].

2.4. Nitrati (NO_3^-)

Nitrati su soli dušične kiseline i njihova formula glasi NO_3^- . Sadrže tri atoma kisika i u prirodi se transformiraju u nitrite koji sadrže dva atoma dušika. Nitrati su prisutni u okolišu, hrani, zraku i u svim površinskim i podzemnim vodama. Veće koncentracije nitrata prisutne su na zemljištima gdje se koriste gnojiva te gdje je ljudska aktivnost uvelike povećala koncentracije nitrata u okolišu uzgojem stoke i intenzivnom gnojidbom. Izvori nitrata još mogu biti postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, odlagališta otpada, hranilišta za životinje i neispravne septičke jame. Nitrati nastaju tijekom prirodnog raspadanja biljne tvari u tlu. Padaline mogu ispirati nitrate koji se nalaze u tlu te nitrati na taj način dospijevaju u površinske vode poput jezera, rijeka i potoka, ali nitrati također mogu procuriti kroz tlo i dospjeti u podzemne vode. Nitrati su vrlo važna hranjiva za biljke, ali u prevelikim količinama mogu uzrokovati velike probleme s kakvoćom vode. U prekomjernim količinama nitrati mogu ubrzati proces eutrofikacije, koji tada ima štetan utjecaj na biljke i životinje u vodenim ekosustavima. Jedan od štetnih utjecaja prevelike koncentracije nitrata je hipoksija to jest niska razina otopljenog kisika. S obzirom da nitrati iz kopnenih izvora relativno brzo završe u potocima i rijekama, oni mogu poslužiti kao indikator mogućih izvora onečišćenja kanalizacijom ili stajskim gnojem tijekom suhog vremena [47, 48]. Visoke razine nitrata u pitkoj vodi predstavljaju veliki zdravstveni rizik za dojenčad jer mogu uzrokovati methemoglobinemiju, odnosno stanje poznato kao „sindrom plave bebe“. Previsoke razine nitrata u organizmu prekidaju normalne tjelesne procese beba, nitrat tada postaje toksičan i reducira se u nitrit te se cijeli proces odvija u želucu ili u slini. Nitrit se u krvi spaja s hemoglobinom i na taj način smanjuje normalan prijenos kisika u sve dijelove tijela te bebina koža tada poprima plavu boju. Navedeno stanje karakteristično je za dojenčad iz razloga što njihovi želučani sokovi još ne proizvode dovoljno jake kiseline i zbog toga pogoduju rastu bakterija. Odrasli ljudi mogu konzumirati veće količine nitrata u obliku hrane ili kroz vodu bez nekih većih štetnih utjecaja s obzirom na jake želučane kiseline koje ne potiču rast bakterija. Zanimljiva činjenica je da se prokuhavanjem vode neće smanjiti koncentracija nitrata već će se ona povećati [50, 51].

Nitrati se iz vode mogu ukloniti na tri načina:

- sustavima destilacije
- reverznom osmozom

- deionizacijom.

Sustavi destilacije imaju stopostotni učinak prilikom uklanjanja nitrata, energetski su intenzivni, ali imaju ograničen kapacitet za kućnu upotrebu. Sustavi reverzne osmoze mogu ukloniti većinu nitrata te poput sustava za destilaciju imaju ograničen kapacitet za kućnu upotrebu. Kod postupka deionizacije jedinice za deionizaciju propuštaju vodu kroz spremnik koji je ispunjen smolom koja apsorbira nirate. Smola se mora povremeno regenerirati kako bi se održala odgovarajuća razina uklanjanja nitrata te je ponekad potrebno ukloniti željezo i omekšati vodu kako bi se smola održala čistom. Navedeni postupci vrlo su skupi i zahtjevni [52, 53].

2.5. Utjecaj na ljudsko zdravlje

Danas je onečišćenje nitratima postalo jedno od najvećih problema u upravljanju vodama. Kontaminacija nitratima negativno utječe na kakvoću vode kada su nitrati prisutni u prekomjernim koncentracijama. Nitrati se mogu pronaći u različitim izvorima poput podzemnih voda, većih vodonosnika ili bunara. Nitrati imaju različite negativne učinke na Zemlju i važno je poduzeti potrebne mjere kako bi se izbjeglo onečišćenje istima. Kada je poljoprivredno tlo koje sadrži životinjski gnoj i gnojiva bogata dušikom, izloženo obilnim padalinama, ono je sklono navodnjavanju i ispiranju što u konačnici uzrokuje apsorpciju nitrata kroz tlo i odnosi ih u podzemnu vodu. Stalna kontaminacija nitratima može dovesti do već spomenute eutrofikacije. Eutrofikacija nastaje zbog nekontroliranog unosa organskih tvari te spojeva s dušikom i fosforom poput poljoprivredne gnojidbe (slika 13) [54, 55].



Slika 13. Posljedice eutrofikacije [56]

Otopljeno gnojivo potiče rast algi i na taj način sprječava da svjetlost prodire do biljaka koje se nalaze ispod površine. Zatim aerobne bakterije troše sav kisik za razgradnju organske tvari biljaka i riba te drugi organizmi umiru bez kisika i razgradnju preuzimaju anaerobne bakterije koje za produkt daju spojeve neugodnih mirisa. Kako koncentracija nitrata u vodama raste, predstavlja veliku prijetnju slatkovodnim životinjama poput riba i vodozemaca. Još jedan čest čimbenik onečišćenja vode nitratima je upravo otpad koji nastaje kao proizvod ljudi. Pod ljudskim otpadom podrazumijeva se urin i izmet koji sadrži velike količine dušika koje kasnije mogu postati nitrati. Ako dođe do istjecanja nastalih nitrata izvan cjevovodna ili kanalizacijskih sustava, tada nitrati mogu dospjeti u podzemne vode i mogu ih onečistiti. Djelomično učinkovit sustav koji se koristi kako bi se smanjila mogućnost istjecanja nitrata iz organskog otpada su septičke jame. Sustavi septičkih jama su oblik podzemnih sustava koji se koriste za pročišćavanje otpadnih voda u kućanstvima koja se najčešće nalaze u ruralnim područjima. Kada se sustav septičke jame pravilno postavi, može biti vrlo koristan i dovesti do pozitivnih rezultata prilikom smanjenja količine organskih spojeva, ali pak s druge strane, ako je septički sustav star ili neispravan tada velike količine toksina i nitrata mogu iscuriti iz njega u obližnje izvore vode kontaminirajući bunare i podzemne vode. Dugotrajna izloženost visokim količinama nitrata može dovesti do uništavanja čitavih ekosustava i može dovesti do izumiranja određenih vrsta.

Na kontaminaciju vodenih organizama utječu razni čimbenici poput dubine, vrste vodenih organizama, vrste tla, način korištenja zemljišta i starost podzemne vode. Vrlo je važno poznavati učinke koje će ti čimbenici imati na kontaminaciju različitih izvora vode. Primjer su plitki vodonosnici koji najčešće imaju višu koncentraciju nitrata nego duboki jer kako se dubina povećava, koncentracija nitrata se smanjuje i čini površinske vode osjetljivijima na onečišćenje nitratima. Razine toksičnosti nitrata također imaju tendenciju da budu mnogo niže u većim vodnim tijelima, ali također mogu biti i više u manjim i plićim vodama jer lakše dolazi do koncentracije nitrata. Osim toga, povećane razine nitrata u pitkim vodama najčešće se povezuju s plitkim, privatnim bunarima koji su okruženi propusnim tlima. Bunari su najčešće onečišćeni ako imaju plitku, izbušenu ili iskopanu strukturu unutar neograničenog vodonosnika što vodu za piće čini vrlo opasnom. Velika koncentracija nitrata također je prisutna u bunarima koji se nalaze u blizini poljoprivrednih zemljišta te takva voda predstavlja ozbiljan problem jer su izvori pitke vode vrlo ugroženi. Konzumacija vode koja sadrži prevelike koncentracije nitrata

kod ljudi može imati ozbiljne posljedice jer ljudi nisu prilagođeni konzumiranju nitrata u velikim koncentracijama. Glavni i već spomenut poremećaj koji se veže za vode s previsokim koncentracijama nitrata je methemoglobinemija, to jest sindrom plave bebe, no osim methemoglobinemije, onečišćenje nitratima dovodi i do nastanka raka, bolesti štitnjače i drugih akutnih poremećaja.

Važno je poznavati i razumjeti glavne uzroke onečišćenja nitratima jer će se na taj način olakšati sanacija i daljnje onečišćenje. Jedan od glavnih i najučinkovitijih načina za sprječavanje kontaminacije podzemnih voda nitratima u blizini poljoprivrednih površina je takozvana rotacija usjeva ili plodored. Ovim se načinom na određenom dijelu zemlje smanjuje stalna izloženost velikim količinama nitrata i smanjuje se mogućnost i učestalost istjecanja nitrata u podzemne vode [54].

2.6. Zakonska regulativa

U Republici Hrvatskoj za sigurnost i politiku vode za ljudsku potrošnju nadležno je Ministarstvo zdravstva. Ministarstvo zdravstva ima zadatak obavljati stručne i upravno – pravne poslove u području vode za ljudsku potrošnju te provoditi postupke ovlašćivanja službenih laboratorija za obavljanje analiza i provođenje monitoringa te mnogih drugih kontrola vode za ljudsku potrošnju. Vode za ljudsku potrošnju regulirane su sljedećim propisima:

- Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN br. 56/13, 64/15, 104/17, 115/18)
- Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN br. 125/17)
- Pravilnikom o sanitarno tehničkim i higijenskim te drugim uvjetima koje moraju ispunjavati vodoopskrbni objekti (NN br. 44/14).

Zdravstvena ispravnost vode za ljudsku konzumaciju utvrđuje se Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN 64/15, 115/18). Pravne osobe zadužene su za izdavanje i propisivanje parametara za provjeru sukladnosti, opseg i vrstu analiza uzoraka, učestalost uzimanja uzoraka za analizu i razne metode laboratorijskih ispitivanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju. Ovim se Zakonom još uređuju i zahtjevi za zaštitu ljudskog zdravlja od mikrobiološkog onečišćenja u vodi namijenjenoj za piće. Kako bi se

izraz i poimanje vode za ljudsku potrošnju usuglasilo, Zakon je definirao vodu za ljudsku potrošnju kao „svu vodu koja je u svom izvornom stanju ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge potrebe kućanstva, vodu koja se radi u industrijama za proizvodnju hrane, u svrhu proizvodnje, obrade, očuvanja ili stavljanja na tržište proizvoda ili tvari namijenjenih za ljudsku potrošnju, neovisno o njezinom porijeklu te neovisno o tome potječe li iz sustava javne vodoopskrbe, iz cisterni ili iz boca odnosno posuda za vodu“. Prema članku 5., Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (NN 64/15, 115/18), voda koja u sebi ne sadrži mikroorganizme i štetne tvari te ne prelazi vrijednosti maksimalno dopuštenih koncentracija, smatra se kao zdravstveno ispravna voda koja ne predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje. Ukoliko se tokom praćenja ili druge propisane kontrole, utvrde nepravilnosti to jest, kako voda ne zadovoljava propisane parametre, odgovorna osoba dužna je ograničiti isporuku vode, napraviti analizu i istražiti što je do toga dovelo. Prema Zakonu, ako je isporuka vode ograničena više od 24 sata, pravna osoba mora osigurati potrošačima drugi način isporuke vodom [57].

Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe, propisuje se obveza da pravne osobe koje koriste ili isporučuju vodu za ljudsku potrošnju prilikom pripreme i proizvodnje hrane moraju poštivati odredbe ovog Pravilnika. Monitoring vode za piće vrlo je važan te mu je glavni cilj propisno pratiti indikatorske parametre s naglaskom na cilj zaštite ljudskog zdravlja od kojekakvih negativnih i nepovoljnih utjecaja na onečišćene vode koja je namijenjena ljudskoj potrošnji te osigurava ispravnost iste [57].

Pravilnik o sanitarno tehničkim i higijenskim te drugim uvjetima koje moraju ispunjavati vodoopskrbni objekti, izdan je 2014. godine od strane Ministarstva zdravstva. Pravilnikom su propisani opći uvjeti za vodoopskrbne objekte, posebni zahtjevi za preradu i dezinfekciju, skladištenje i distribuciju vode za ljudsku potrošnju, prijevoz vode za ljudsku potrošnju putem cisterni, zahtjevi koji se odnose na ostalu opremu, otpad nastao u poslovanju s vodom za ljudsku potrošnju te osobna higijena. Prema članku 1. Pravilnik se primjenjuje na sve faze vezane za vodu za ljudsku potrošnju, od prerade, proizvodnje te do distribucije vode [5].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Opis lokacije

Varaždinska županija (slika 14) nalazi se na sjeveru Hrvatske i zauzima 2,23 % ukupne površine države Hrvatske te je treća najmanja županija u državi. Prostire se na 1261,29 km² i broji 159 487 stanovnika [58].



Slika 14. Položaj Varaždinske županije u Republici Hrvatskoj [59]

Varaždinska županija sastoji se od 6 gradova, 22 općine i 302 naselja. Gradovi koji se nalaze u Varaždinskoj županiji su Lepoglava, Ivanec, Novi Marof, Ludbreg, Varaždinske Toplice i Varaždin, a općine su Bednja, Beretinec, Breznica, Breznički Hum, Cestica, Donja Voća, Gornji Kneginec, Jalžabet, Klenovnik, Ljubešćica, Mali Bukovec, Martijanec, Maruševac, Petrijanec, Sračinec, Sveti Đurđ, Sveti Ilija, Trnovec Bartolovečki, Veliki Bukovec, Vidovec, Vinica i Visoko (slika 15). Sjedište Županije, kako i sam naziv županije govori, je grad Varaždin [58].



Slika 15. Gradovi i općine u Varaždinskoj županiji [60]

Varaždinska županija na sjeveru graniči s Međimurskom županijom, na zapadu graniči s Republikom Slovenijom, na jugu s Krapinsko – zagorskom i Zagrebačkom županijom, dok na istoku graniči s Koprivničko – križevačkom županijom. Županija je smještena na rubnom pojasu panonskog područja i okružena je rijekom Dravom, Macejskim pobrđem, Kalničkim gorjem, Ivanščicom i istočnim Halozama te ju karakterizira ravničarsko i brežuljkasto reljefno područje s gorskim masivima. Varaždinska županija vrlo je važno hidrografsko čvorište države Hrvatske jer se na njezinom području nalaze akumulacijska jezera, jezera koja su nastala eksploatacijom šljunka, vodotoci raznih rijeka i potoka, izvori i podzemne vode u vodonosniku dravskog aluvija i gorskog masiva Ivanščice [58].

Prostor Varaždinske županije dijeli se na četiri glavna vodoopskrbna područja, a to su Ivanec, Ludbreg, Novi Marof i Varaždin (tablica 3). Godišnje se isporuči 8.000.000 m³ vode za ljudsku potrošnju od kojih 30 % koristi industrija, a 70 % kućanstva. Vodovodna mreža prostire se na 1500 km bez samih priključaka i u sistemu vodoopskrbe prisutno je 17 vodosprema i 11 precrpnih stanica pomoću kojih se voda precrpljuje u viša geografska područja. Cjelokupni sustav, postupci koji se provode poput dezinfekcije, distribucije i ostalo, nalaze se pod konstantnim 24 – satnim video nadzorom [61].

Tablica 3. Vodoopskrbna područja grada Varaždina

Vodoopskrbno područje	Lokacije koje obuhvaća	
	Grad	Općina
Ivanec	Ivanec, Lepoglava	Bednja, Donja Voća, Klenovnik, Maruševac
Novi Marof	Novi Marof, Varaždinske Toplice	Breznica, Hum Breznički, Ljubeščica, Visoko
Ludbreg	Ludbreg	Donji Martijanec, Mali Bukovec, Sveti Đurđ
Varaždin	Varaždin	Beretinec, Cestica, Donji Kneginec, Gornji Kneginec, Jalžabet, Petrijanec, Sračinec, Sv. Ilija, Trnovec Bartolovečki, Vidovec, Vinica

3.2. Uzorkovanje

Prije nego što započne proces uzorkovanja, važno je obratiti pažnju na kojem mjestu će se uzorkovanje provesti i na koji način. Ako se uzorkuje vodovodna voda ili voda koja dolazi iz cisterne ili vodospreme, potrebno je obratiti pažnju na neke čimbenike poput godišnjeg doba, količinu potrošnje te vanjske uvjete te u skladu s time, uzeti različite slojeve vode za daljnje analize. Postupak uzorkovanja vode za ljudsku potrošnju proveden je na vodovodnoj vodi tako da su se prvo sa slavine uklonili svi nastavci poput metalne mrežice ili crijeva. Nakon toga, voda se pušta da slobodno teče iz slavine otprilike 5 do 10 minuta. Slavina se zatim zatvara, dezinficira alkoholom ili dezinficijensom ili se samo otvor slavine spali upaljačem. Voda se zatim ponovno pušta iz slavine, a u međuvremenu se pažljivo skine čep sa sterilizirane boce kako ne bi došlo do onečišćenja boce. Boca se postavlja odmah ispod slavine i napuni sve dok ne ostane 1 cm zraka u boci. Vrlo je važno bocu ne napuniti do vrha te rukama ne dirati grlo boce, otvor slavine i unutrašnji dio čepa ili boce. Nakon završetka punjenja, uzorci su obilježeni analitičkim brojem kako bi se u laboratoriju mogli lakše raspoznati i analizirati. Tijekom postupka uzorkovanja važno je

na mjestu uzorkovanja zabilježiti datum, vrijeme i lokaciju uzorkovanja. Uzorke je potrebno dostaviti u laboratorij isti dan, ali ako to nije moguće, uzorak je potrebno skladištiti u hladnjaku na +4 °C i odnijeti u laboratorij unutar 48 h. U ovom slučaju, svaki uzorak bio je dostavljen u laboratorij odmah nakon provedenog postupka uzimanja uzorka. Postupak transporta od velike je važnosti s obzirom da prilikom lošeg transporta može doći do razbijanja boce, gubitka određene količine uzorka ili pogoršanja sastava uzorka. Uzorcima nisu bili izloženi izvorima svjetlosti te su transportirani u posebnim komorama za mikrobiološke analize kako im se ne bi narušila kvaliteta [62, 63].

Faktori koji se određuju prilikom analize vode su miris, boja, temperatura, okus, pH, kloridi, mutnoća, elektrovodljivost, amonijak, nitriti, utrošak KMnO₄, nitrati, željezo, slobodni klor te ukupni klor. Uzorci koji se analiziraju moraju zadovoljiti parametre koji su propisani u:

- Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13),
- Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15, 104/17),
- Pravilniku o sanitarno tehničkim i higijenskim te drugim uvjetima koje moraju ispunjavati vodoopskrbni objekti (NN 44/14),
- Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17).

Analiza vode za ljudsku potrošnju provodi se u svrhu inspekcijskog nadzora ili za druge potrebe krajnjeg korisnika kako bi se dobila stvarna slika o trenutnom stanju određene vodoopskrbne mreže [64].

3.3. Određivanje nitrata

Koncentracija nitrata određivana je na ionskom kromatografu *Dionex Integrion HPIC* (slika 16).



Slika 16. Ionski kromatograf Dionex Integrion HPIC

Navedeni uređaj sastoji se od sljedećih dijelova:

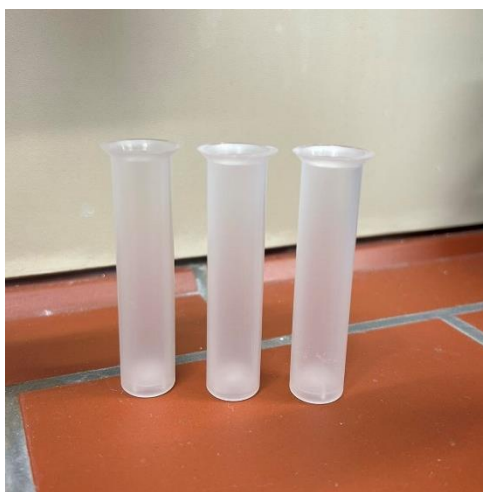
- predkolona AG 14A
 - glavna separacijska kolona A 14A, 4 mm
 - supresor ASRS 300, 4 mm
 - pećnica LC 30 (termostatirana kolona – temperature kolone 30° C),
- izokratna pumpa IP 20 (protok eluensa 1,0 mL/min)
- konduktivni detektor CD 20
- automatski uzorkivač (autosampler AS40)
 - boca inertnog plina (Helium 4,6)
- računalo – software Chromeleon 7,3
- pisač HP Laser Jet P2035 [67].

Analiza se radila na uzorcima vode za ljudsku potrošnju, demi vodi i CRM – anionskom standardu. Svaki pojedini uzorak je profiltriran pomoću šprice na sljedeći način: u špricu je bio uvučen uzorak vode, a na vrhu šprice nalazio se filter kroz koji se filtrirao uzorak vode u čašu (slika 17).



Slika 17. Filteri za filtriranje vode kod ionske kromatografije [68]

Ponekad je bilo potrebno promijeniti filter čak dva do tri puta po jednom uzorku s obzirom na količinu suspendiranih čestica u vodi. Zatim su pripremljene viala volumena 5 ml (slika 18) te je svaka viala označena analitičkim brojem.



Slika 18. Viala

Svaka viala je prije uzorkovanja isprana uzorkom vode te je u vialu ponovno stavljen uzorak i viala je zatvorena gumenim čepom. Prije početka daljnje analize, napravljen je eluens te je pokrenut uređaj Dionex Integrion HPIC te program Chromeleon 7.3 Licence Code.

Priprema eluensa

Za pripremu radnog eluensa mogu se koristiti gotove koncentrirane otopine Na_2CO_3 i NaHCO_3 firme Dionex, Dionex AS23 Eluent Concentrate (4,5 M sodium carbonate concentrate i 0,8 M sodium bicarbonate concentrate) ili se mogu koristiti suhe (praškaste) kemikalije p. a. čistoće. U ovom slučaju, prilikom tvorbi kalibracijskih krivulja i provedbe drugih validacijskih verifikacijskih eksperimenata koristile su se koncentrirane otopine Na_2CO_3 firme Dionex, Dionex AS23 Eluent Concentrate. Radni eluens pripremljen je pomoću Merckovih p. a. kemikalija: Na_2CO_3 (M = 105,99 g/mol) i NaHCO_3 (M = 84,01 g/mol).

Prvi korak pripreme eluensa je priprema 0,5 M otopina karbonata i bikarbonata.

- **Priprema 0,5 M otopine Na_2CO_3** - izvagano je 26,4975 g natrijevog karbonata i otopljeno u ultra čistoj demi vodi te nadopunjeno do oznake u odmjerne tikvici volumena 500 ml.
- **Priprema 0,5 M otopine NaHCO_3** - izvagano je 21,0025 g natrijevog bikarbonata i otopljeno u ultra čistoj demi vodi te nadopunjeno do oznake u odmjerne tikvici volumena 500 ml.

Nadalje, iz pripremljenih 0,5 M otopina karbonata i bikarbonata pripremljen je radni eluens sukladno uputama proizvođača opreme.

Radni eluens: 4,5 mM natrij karbonat / 0,8 mM natrij bikarbonat

9 ml 0,5 M otopine Na_2CO_3 i 1,6 ml 0,5 M otopine NaHCO_3 ulivene su do oznake u odmjernu tikvici volumena 1000 ml. Stabilnost ovako pripremljenog eluensa je tri dana [69].

Viale s uzorcima stavljene su u autosampler po rednom broju (slika 19).



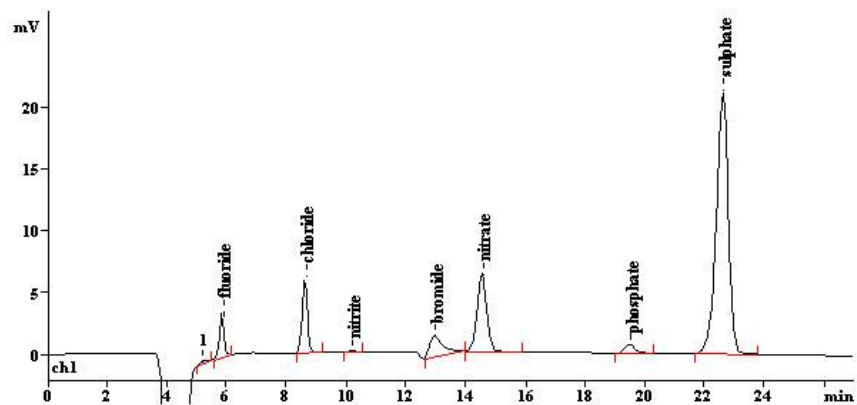
Slika 19. Autosampler (dio ionskog kromatografa)

Zatim se u Chromeleonu odabrala sekvenca za određivanje aniona i točnim redoslijedom upisivali su se uzorci to jest njihove pozicije na autosampleru, s time da je prvi uzorak na poziciji 1 uvijek demi voda, a na drugom mjestu u nizu CRM – anionski standard CPA Chem sljedećeg sastava (tablica 4):

Tablica 4. Sastav CPA Chem standarda

Sastojak	Potvrđena vrijednost i odstupanje (mg/l)
F ⁻	1,001 ± 0,003
Cl ⁻	20,092 ± 0,043
SO ₄ ²⁻	19,901 ± 0,040
PO ₄ ³⁻	3,010 ± 0,010
NO ₃ ⁻	9,996 ± 0,022
NO ₂ ⁻	1,002 ± 0,003

Nakon vremenskog perioda od 2 sata, analiza je završena te su dobiveni grafovi iz kojih su očitane vrijednosti (slika 20).



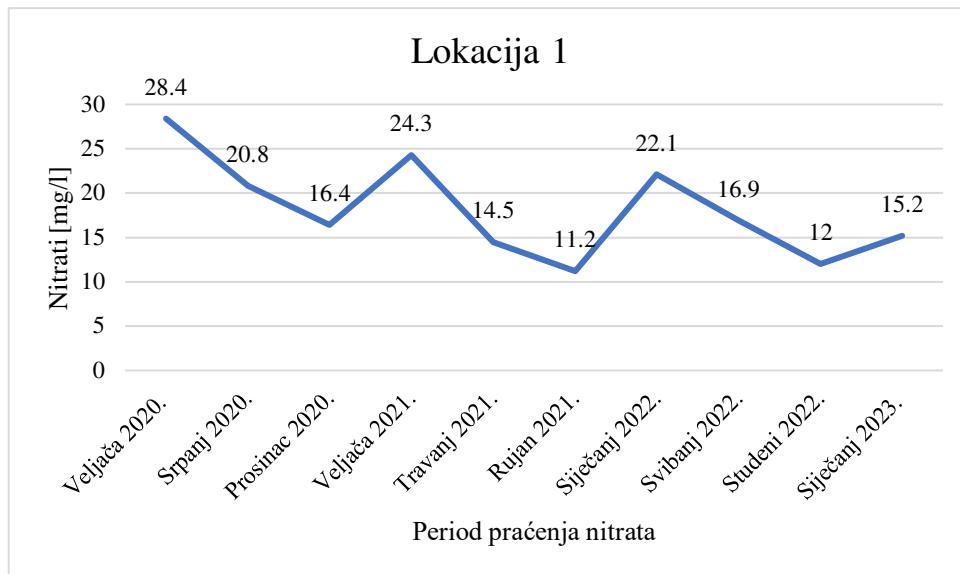
Slika 20. Primjer rezultata ionske kromatografije [70]

4. REZULTATI I RASPRAVA

Ispitivanje nitrata u vodama za ljudsku potrošnju provedeno je na 6 javnih vodovoda na području Varaždinske županije u periodu od 1.2.2020. do 1.2.2023., a u obzir su uzete samo lokacije na kojima je uzorkovanje provedeno više od 5 puta kroz navedeni vremenski period.

4.1. Analiza rezultata nitrata u vodi za ljudsku potrošnju

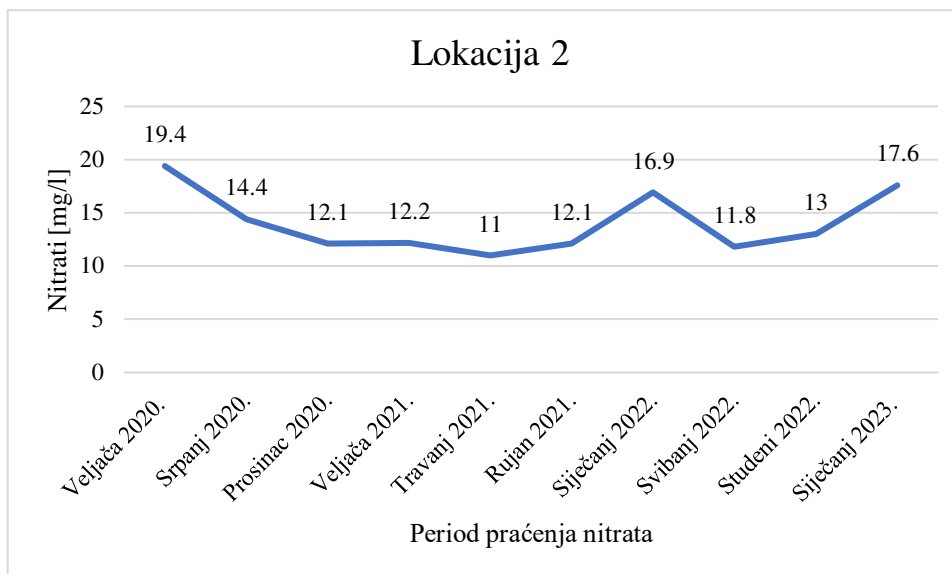
Na području Varaždinske županije, na šest različitih lokacija, analizirana je voda za ljudsku potrošnju s vodoopskrbnog područja „Varaždin“. Izmjerene vrijednosti koncentracije nitrata prikazane su na slikama od 21 do 26 za svaku lokaciju u određenom periodu.



Slika 21. Vrijednosti koncentracije nitrata za lokaciju 1 u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

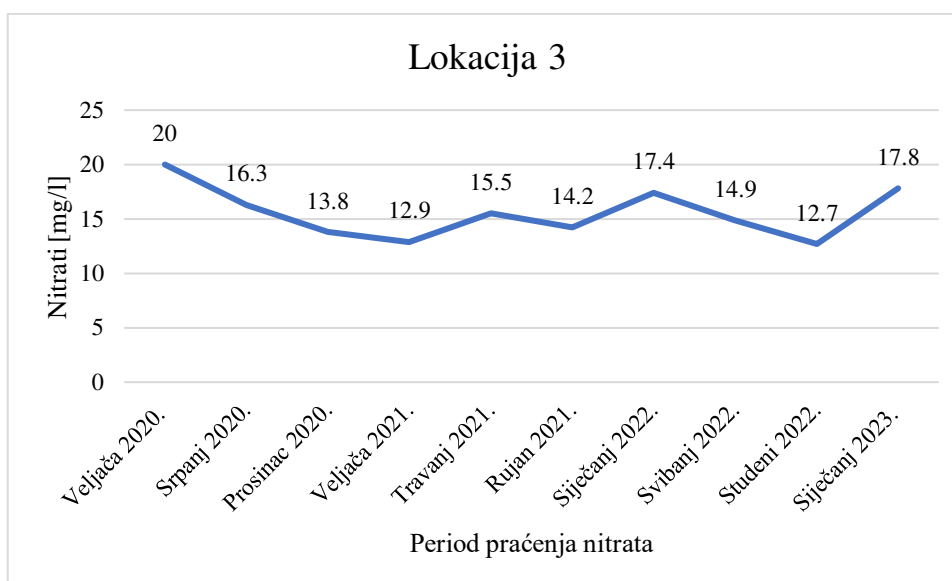
Kao što se može vidjeti iz slike 21, tijekom prva tri mjerenja provedena u 2020. godini, koncentracija nitrata se smanjuje, a zatim u 2021. godini dolazi do naglog porasta te ponovnog pada koncentracije nitrata. Sličan trend može se primijetiti i za rezultate dobivene u 2022. godini. Vrijednosti koncentracije nitrata kreću se u rasponu od 11.2 mg/l do 28.4 mg/l. Oscilacije u vrijednostima koncentracije nitrata moguće su zbog različitih količina oborina tijekom godine kao i zbog upotrebe gnojiva na poljoprivrednim zemljištima.

Na lokaciji 2 (slika 22) nisu zabilježene značajne promjene u koncentraciji nitrata, a vrijednosti se kreću u rasponu od 11 mg/l do 19,4 mg/l. Promjene koje su vidljive na grafu, događale su se postepeno, bez značajnijih porasta i padova. Navedena lokacija se ne nalazi u blizini poljoprivrednog područja i jedini utjecaj na promjenu koncentracije nitrata bile bi količine oborina ili utjecaj septičkih jama, ali s obzirom na uređenost infrastrukture, pretpostavlja se da u blizini lokacije 2 septičke jame nisu prisutne.



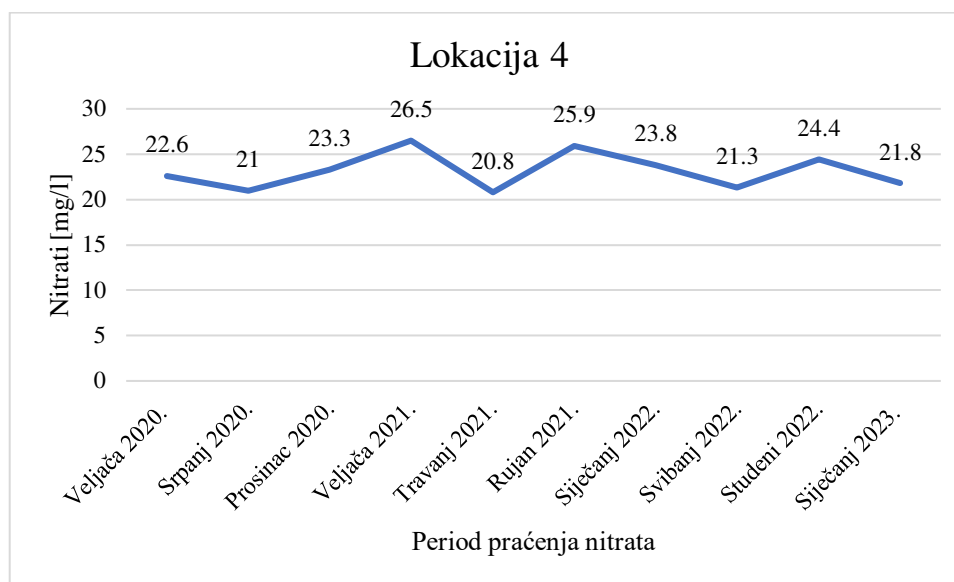
Slika 22. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 2 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Rezultati analize uzoraka dobiveni na lokaciji 3, (slika 23) slični su rezultatima dobivenim za uzorke na lokaciji 2. Dobivene vrijednosti nitrata kreću se od 12,7 mg/l do 20 mg/l. Lokacija 3 također se ne nalazi u blizini poljoprivrednih područja i pretpostavlja se kako ne bi trebalo doći do značajnih promjena u koncentracijama nitrata s obzirom na područje na kojem se lokacija 3 nalazi.



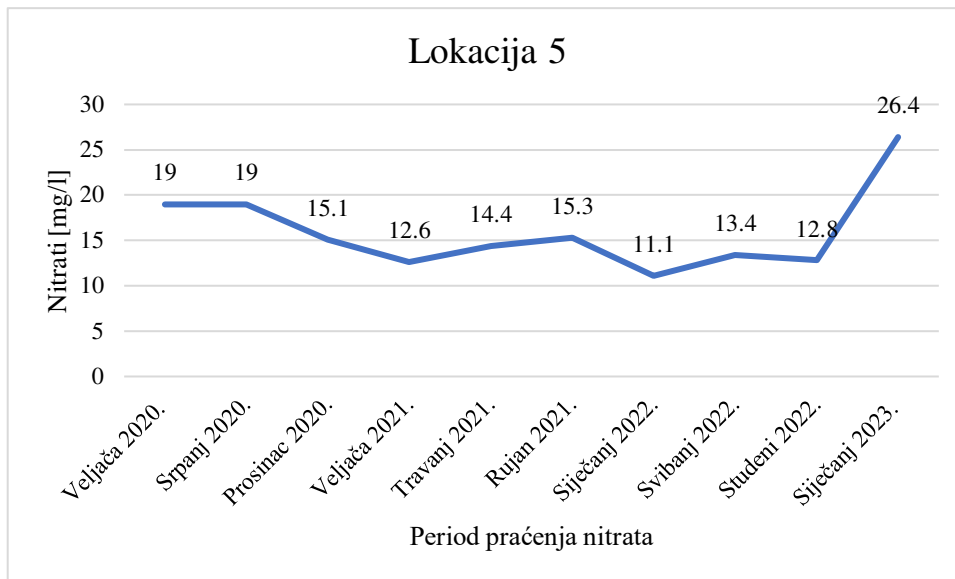
Slika 23. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 3 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Rezultati koncentracije nitrata na lokaciji 4 prikazani su na slici 24. Vrijednosti koncentracije nitrata se kreću od 20,8 mg/l do 26,5 mg/l. Usporede li se vrijednosti na lokaciji 4 s vrijednostima na lokacijama 2 i 3, vidljivo je da su koncentracije nitrata nešto više što se može objasniti činjenicom da se na toj lokaciji nalaze poljoprivredne površine na kojima se uzgaja voće i povrće te je upotreba umjetnih gnojiva stalna i povećana.



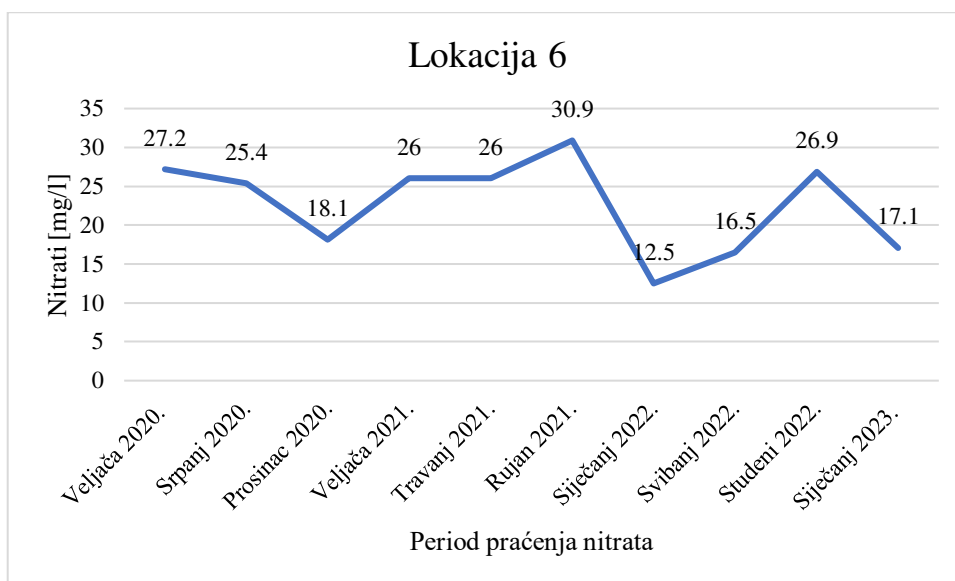
Slika 24. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 4 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023

Slika 25 prikazuje grafički prikaz koncentracije nitrata na lokaciji 5. Kao što je vidljivo na slici, u siječnju i srpnju 2020. godine, vrijednosti koncentracije nitrata bile su jednake. Tijekom 2021. godine i 2022. godine, vrijednosti koncentracije nitrata približno su jednake odnosno nema značajnijih odstupanja. Nagli porast koncentracije nitrata primijećen je u siječnju 2023. godine (26,4 mg/l). S obzirom da se navedena lokacija nalazi vrlo daleko od poljoprivrednih zemljišta, septičkih jama, bunara i industrije, uzrok naglom porastu koncentracije nitrata mogao bi biti veća količina padalina u tom periodu.



Slika 25. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 5 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Rezultati dobiveni na lokaciji 6 (slika 26) variraju i značajno su viši u odnosu na prethodne lokacije. Vrijednosti koncentracija nitrata kreću se u rasponu od 12,5 mg/l do maksimalnih 30,9 mg/l. S obzirom da se lokacija 6 nalazi u blizini poljoprivrednih zemljišta, za pretpostaviti je da su visoke koncentracije nitrata posljedica korištenja pesticida i gnojiva tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci.



Slika 26. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 6 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Rezultati analize na uzorcima vode na šest lokacija u Varaždinskoj županiji ukazuju na prisutnost nitrata, ali u dozvoljenim koncentracijama odnosno unutar propisanih graničnih vrijednosti. Prosječna vrijednost koncentracije nitrata analiziranih uzoraka iznosila je 18,5 mg/L. Najviša koncentracija nitrata dobivena je za uzorak na lokaciji 6 u rujnu 2021. godine, a iznosila je 30,9 mg/l, ali je i dalje zadovoljavajuća jer dozvoljena koncentracija nitrata u vodi za piće prema Pravilniku iznosi < 50 mg/l. Najniža vrijednost nitrata u vodi za piće iznosila je 11 mg/l, a izmjerena je na lokaciji 2 u travnju 2021. godine.

Na temelju dobivenih rezultata, može se zaključiti da je kakvoća vode za piće u distributivnoj mreži zadovoljavajuća jer su koncentracije nitrata sukladne vrijednostima iz Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće.

5. ZAKLJUČAK

Porast broja stanovništva uvelike utječe na smanjenje količina pitke vode svakog dana. Samim time, uz to dolazi i do onečišćenja vode koje ima štetno djelovanje po ljudsko zdravlje te je iz tog razloga potrebno kontinuirano pratiti kakvoću vode. Kakvoća vode odnosno određivanje fizikalno-kemijskih pokazatelja, vrlo je važan čimbenik kvalitetnog i zdravog života živih organizama. Dobiveni rezultati koncentracije nitrata kreću se u rasponu od 11 mg/l do 30,9 mg/l. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/2008.) koncentracija nitrata u vodi za piće ne smije prelaziti vrijednost od 50 mg/l. Na temelju propisane granične vrijednosti, može se zaključiti da su dobiveni rezultati zadovoljavajući. U Republici Hrvatskoj, zakonima i podzakonskim aktima regulira se kakvoća vode i na taj način osigurava sigurna i zdravstveno ispravna voda. Onečišćenja voda su sve češća i veća te je potrebno educirati ljude kako bi se sačuvala voda bez koje nema života na Zemlji.

6. LITERATURA

- [1] What is water, dostupno na: <https://www.amnh.org/explore/ology/water/what-is-water> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [2] NOAA, Where is all of the Earth's water, dostupno na: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/wherewater.html> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [3] Steven S. Zumdahl, Water, dostupno na: <https://www.britannica.com/science/water> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [4] Health risks of nitrates in drinking water, dostupno na: <https://www.cph.co.nz/health-risks-of-nitrates-in-drinking-water/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [5] Narodne novine, (2008). Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/2008) Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_47_1593.html Datum pristupa: 2.5.2023.
- [6] Jurčević, I. (2020): Praćenje odabranih parametara kakvoće površinske vode rijeke Mure, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet Varaždin. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/gfv%3A714/datastream/PDF/view> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [7] National Geographic Society, Surface Water. Dostupno na: <https://education.nationalgeographic.org/resource/surface-water/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [8] Slika kruženja vode u prirodi. Dostupno na: <https://vodaizvorzivota.weebly.com/kru381enje-vode-u-prirodi.html> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [9] Mayer, D. (2004). Voda – od nastanka do upotrebe, Prosvjeta, Zagreb
- [10] Corrosion Pedia, Surface Water. Dostupno na: <https://www.corrosionpedia.com/definition/1059/surface-water> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [11] Voda. Dostupno na: <https://vodaizvorzivota.weebly.com/vrste-voda.html> Datum pristupa: 2.5.2023.

- [12] Groundwater Foundation, What is groundwater. Dostupno na: <https://groundwater.org/what-is-groundwater/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [13] Koščak, D. (2022): Ispitivanje kakvoće vode na jezeru Šoderica, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/gfv%3A714/datastream/PDF/view> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [14] IGRAC – International Groundwater Resources Assessment Centre. Dostupno na: <https://www.un-igrac.org/what-groundwater> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [15] Slika prisutnosti podzemne vode u zasićenoj i nezasićenoj zoni. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/gfv%3A714/datastream/PDF/view> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [16] SINAY – maritime data solution, What Are the Main Indicators of Water Quality? Dostupno na: <https://sinay.ai/en/what-are-the-main-indicators-of-water-quality/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [17] Atlas Scientific, What Are The 6 Main Indicators Of Water Quality. Dostupno na: <https://atlas-scientific.com/blog/what-are-the-main-indicators-of-water-quality/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [18] Matić, A. (2021): Usporedba fizikalno – kemijskih parametara pitkih voda grada Zagreba i grada Rijeke u 2020. godini, Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, 10 - 17.
- [19] Lenntech, Turbidity. Dostupno na: <https://www.lenntech.com/turbidity.htm> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [20] Water Science School, (2018)., Turbidity and Water. Dostupno na: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/turbidity-and-water> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [21] Campebl, B. (2021)., What is Turbidity? Dostupno na: <https://www.wwdmag.com/editorial-topical/what-is-articles/article/10939754/what-is-turbidity> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [22] Slika turbidimetra. Dostupno na: <https://selectscientific.com.au/products/photometers/turbidity-meter.html> Datum pristupa: 2.5.2023.

- [23] Šaško, I. (2017)., Analiza mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode za kupanje, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. Dostupno na: <https://repozitorij.gfv.unizg.hr/islandora/object/gfv%3A205/datastream/PDF/view>
Datum pristupa: 2.5.2023.
- [24] Slika obojene vode iz industrije. Dostupno na: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/af0509d5-844b-4eea-bf1f-aede697f1e0a/oneciscenje-okolisa.html> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [25] Apure, (2022)., Main water quality indicator. Dostupno na: <https://apureinstrument.com/blogs/main-water-quality-indicators/#temperature-and-dissolved-oxygen-do> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [26] Slika termometra. Dostupna na: <https://www.austscientific.com.au/product/digital-thermometer-temp-range-40200c-stainless-steel-water-resistant-probe-length-120mm/>
Datum pristupa: 2.5.2023.
- [27] KURANTAS. Dostupno na: <http://kurantas.lt/en/physical-indicators-of-water-quality/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [28] Ansell, R. O. (2005): Ion selective electrodes – Water Applications, Glasgow Caledonian University, Glasgow, UK, 540 – 545. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0123693977002983> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [29] Know your H₂O – Water Research Center, Hardness. Dostupno na: <https://www.knowyourh2o.com/indoor-6/hardness> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [30] Varkom, tvrdoće. Dostupno na: <https://www.varkom.hr/stranica/tvrdoce> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [31] Slika Klasifikacija vode po tvrdoći prema Hartengradenu. Dostupno na: <https://www.kamenac.com/kvaliteta-vode/tvrdoca-vode/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [32] APA – American Psychological Association, hydrogen - ion concentration. Dostupno na: <https://dictionary.apa.org/hydrogen-ion-concentration> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [33] Slika pH metra. Dostupno na: <https://www.probus.hr/kategorija/analiza-vode/ph-metri/> Datum pristupa: 2.5.2023.

- [34] RAMP – Regional Aquatic Monitoring Program. Water Quality Indicators: Metals. Dostupno na: <http://www.ramp-alberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/metals.aspx> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [35] Brelje & Race Laboratories, The Top 5 Heavy Metals You Should Be Testing Your Water For. Dostupno na: <https://www.brllabsinc.com/the-top-5-heavy-metals-you-should-be-testing-your-water-for/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [36] Howard, D. B. (2008)., The Travel and Tropical Medicine Manual, Elsevier, 112 – 131. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781416026136100084> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [37] Water Solutions Unlimited, Potassium Permanganate. Dostupno na: <https://www.getwsu.com/potassium-permanganate/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [38] Slika kalijevog permanganata. Dostupno na: <https://www.indiamart.com/proddetail/potassium-permanganate-crystal-24950559091.html> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [39] Amonijak u vodi za piće. Dostupno na: <https://www.multilab.ba/2022/10/06/amonijak-u-vodi-za-pice/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [40] Slika gnojiva. Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Gnojivo> Datum pristupa: 29.5.2023.
- [41] H₂O Distributors, Nitrites in Drinking Water and Its Effects. Dostupno na: <https://www.h2odistributors.com/pages/contaminants/contaminant-nitrite.asp> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [42] Know your H₂O – Water Research Center, Chloride. Dostupno na: <https://www.knowyourh2o.com/indoor-6/chloride> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [43] Lewin, P (2023)., Chloride in Drinking Water: Health Effects and 3 Ways to Remove It. Dostupno na: <https://homewaterresearch.com/chloride-in-drinking-water/> Datum pristupa: 2.5.2023.

- [44] Slika postupka destilacije. Dostupno na: <https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A90/datastream/PDF/view> Datum pristupa: 29.5.2023.
- [45] Effects of Chloride in Well Water, and How To Remove It. Dostupno na: <https://www.cleanwaterstore.com/blog/effects-of-chloride-in-well-water-and-how-to-remove-it/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [46] Slika željeza u vodi. Dostupno na: <https://rt82.ru/hr/the-job-of-a-firefighter/kak-ochistit-vodu-ot-zheleza-samomu-ochistka-vody-ot-zheleza-iz-skvazhiny/> Datum pristupa: 29.5.2023.
- [47] Ohionline, Iron in Drinking Water. Dostupno na: <https://ohionline.osu.edu/factsheet/aex-323> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [48] Slika stolnog konduktometra. Dostupno na: <https://www.superlab.com/product/konduktometri/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [49] Mijačević, M (2016)., Određivanje kemijske kakvoće pitke vode, Veleučilište u Požegi. Dostupno na: <https://repozitorij.vup.hr/islandora/object/vup%253A256/datastream/PDF/view> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [50] Illinois Department of Public Health, Division of Environmental Health. Nitrates in Drinking Water. Dostupno na: <http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/NitrateFS.htm> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [51] HAPIH – Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu, Nitrati u zelenom povrću. Dostupno na: <https://www.hapih.hr/nitrati-u-zelenom-povrcu/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [52] EPA – Environmental Protection Agency, Nitrates. Dostupno na: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms57.html> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [53] Nitrate. Dostupno na: <https://www.dwi.gov.uk/consumers/learn-more-about-your-water/nitrate/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [54] Public Health, (2016)., Nitrate in drinking water. Dostupno na: https://www.health.wa.gov.au/Articles/N_R/Nitrate-in-drinking-water Datum pristupa: 2.5.2023.

- [55] Kaur, H (2020)., Nitrate Water Pollution. Dostupno na: <https://storymaps.arcgis.com/stories/e7e6ec676acb4cc58d3d35e914efc207> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [56] Slika eutrofikacije. Dostupno na: <https://blog.hannaservice.eu/hr/ucinak-eutrofikacije-na-uzgoj-ribe-u-cijelom-svijetu/> Datum pristupa: 29.5.2023.
- [57] Slunjski, L (2020)., Određivanje ukupnim koliforma i Escherichie Colli u vodi za ljudsku potrošnju, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin.
- [58] Varaždinska županija. Dostupno na: <https://www.varazdinska-zupanija.hr/o-nama/zupanija-u-brojkama.html> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [59] Slika položaja Varaždinske županije. Dostupno na: <https://webhosting-wmd.hr/varazdinska-zupanija/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [60] Slika gradova i općina u Varaždinskoj županiji. Dostupno na: <https://proleksis.lzmk.hr/2653/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [61] Varkom, Vodovod. Dostupno na: <https://www.varkom.hr/stranica/vodovod> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [62] Zavod za javno zdravstvo zagrebačke županije, Ispitivanje voda. Dostupno na: <https://www.zzjz-zz.hr/usluge/ispitivanje-voda/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [63] Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Upute za uzimanje uzoraka. Dostupno na: <https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/upute-za-uzimanje-uzorka-vode/> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [64] Inspecto, Analiza vode za piće i otpadne vode. Dostupno na: <https://www.inspecto.hr/hr/laboratorij/analiza-vode-za-pice-i-otpadne-vode> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [65] Radna uputa Zavoda za javno zdravstvo Varaždin za rad u laboratoriju.
- [66] Khan, S. (2017)., University of Swabi, Anbar, Pakistan, Chemical analysis of air and water, 21 – 39. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128118610000024> Datum pristupa: 2.5.2023.
- [67] Radna uputa Zavoda za javno zdravstvo Varaždin za uređaj Dionex Integrion HPIC.

[68] Slika filtera za filtriranje vode kod ionske kromatografije. Dostupno na: <https://kemolab.hr/kategorija-proizvoda/potrosni-materijal/filter-bio/> Datum pristupa: 2.5.2023.

[69] Radna uputa Zavoda za javno zdravstvo Varaždin za pripremu radnog eluensa.

[70] Slika primjera rezultata ionske kromatografije. Dostupno na: https://serc.carleton.edu/microbelife/research_methods/biogeochemical/ic.html Datum pristupa: 29.5.2023.

Popis slika

Slika 1. Kruženje vode u prirodi

Slika 2. Prisutnost podzemne vode u zasićenoj i nezasićenoj zoni

Slika 3. Turbidimetar

Slika 4. Obojena voda iz industrije

Slika 5. Termometar

Slika 6. Klasifikacija vode po tvrdoći prema Hartengradenu

Slika 7. pH metar

Slika 8. Kalijevermanganatet 13

Slika 9. Stolni konduktometar

Slika 10. Položaj Varaždinske županije u Republici Hrvatskoj **Error! Bookmark not defined.**

Slika 11. Gradovi i općine u Varaždinskoj županiji

Slika 12. Ionski kromatograf Dionex Integrion HPIC

Slika 13. Filteri za filtriranje vode kod ionske kromatografije

Slika 14. Viale

Slika 15. Autosampler (dio ionskog kromatografa)

Slika 16. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 1 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Slika 17. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 2 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Slika 18. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 3 Varaždinske županije u eriod od veljače 2020. Do siječnja 2023.

Slika 19. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 4 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Slika 20. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 5 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Slika 21. Grafički prikaz vrijednosti nitrata za lokaciju 6 Varaždinske županije u periodu od veljače 2020. do siječnja 2023.

Popis tablica

Tablica 1. Propisane dozvoljene koncentracije za pokazatelje kakvoće vode

Tablica 2. Stupnjevi tvrdoće vode

Tablica 3. Vodoopskrbna područja grada Varaždina

Tablica 4. Sastav CPA Chem standarda