

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

DALIA LADIĆ

UTJECAJ IZGRADNJE AUTOCESTE NA
KAKVOĆU PODZEMNIH VODA

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2019.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

DALIA LADIĆ

THE IMPACT OF HIGHWAY CONSTRUCTION ON
GROUNDWATER QUALITY

ZAVRŠNI RAD

Mentor
dr. sc. Silvija Zeman, pred.

ČAKOVEC, 2019.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. sc. Silviji Zeman na prenesenom znanju tijekom studiranja te na danim savjetima i vodstvu prilikom izrade završnog rada. Nadalje, želim zahvaliti dr. sc. Teuti Tompić, voditeljici laboratorija na Bioinstitutu d.o.o. te ostalim djelatnicima na prenesenom znanju iz praktičnog dijela. Također, zahvaljujem obitelji, koja mi je bila podrška i oslonac kroz cijelo moje školovanje.

Sažetak

Iz prometa potječe niz štetnih tvari koje imaju značajan utjecaj na okoliš; tlo, zrak i vodu te na zdravlje ljudi, životinjski i biljni svijet. Pri samoj izgradnji prometnica potrebno je istražiti mnogo parametara te ih projicirati u dugoročne procjene za lokaciju na kojoj se planira izgradnja autocesta kako bi se spriječili neželjeni negativni učinci za okoliš. Ovim radom prikazan je utjecaj izgradnje autoceste na kakvoću podzemne vode, prilikom čega je ispitivana i praćena kakvoća podzemnih voda u razdoblju od dvije godine. U radu su prikazana mjerenja fizikalno-kemijskih parametara, teških kovina te organskih spojeva pomoću kojih će se, na temelju dobivenih rezultata, dobiti uvid kakav utjecaj autoceste stvaraju na podzemne vode.

Ključne riječi: prometnice, izgradnja autocesta, kakvoća podzemnih voda, utjecaj autoceste

Summary

There are a number of harmful substances that have a significant impact on the environment; soil, air and water, and the health of humans, animals and plants. During road construction, many parameters have to be taken to consider and projected into long-term estimates of the location where highway construction is planned to prevent undesirable negative environmental impacts. This final work presents the impact of highway construction on the quality of groundwater, in which groundwater quality is examined and monitored over a period of two years. Also it presents measurements of physico-chemical parameters, heavy metals and organic compounds based on the obtained results to provide an insight into the influence of the highway on groundwater.

Key words: roads, highway construction, groundwater quality, highway influence

SADRŽAJ

1. UVOD	6
2. KAKVOĆA PODZEMNE VODE	7
3. ANALITIČKE METODE ANALIZE VODE	9
3.1. Kvalitativna metoda	9
3.2. Kvantitativna metoda	10
4. METODOLOGIJA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA	12
4.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode	12
4.1.1. Raspršene tvari	12
4.1.2. Mutnoća	12
4.1.3. Boja	13
4.1.4. Miris i okus	14
4.1.5. Temperatura	14
4.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode	14
4.2.1. Ukupno otopljene tvari	16
4.2.2. Koncentracija vodikovih iona	18
4.2.3. Alkalitet	19
4.2.4. Tvrdoća vode	20
4.2.5. Teški metali	20
4.2.6. Otopljeni plinovi	22
4.2.7. Organske tvari	22
4.2.8. Hranjive tvari	23
4.2.9. Ostali kemijski pokazatelji	24
5. UZORKOVANJE PODZEMNE VODE	25
6. REZULTATI ANALIZE	25
6.1. Fizikalno-kemijski parametri	25

6.2. Teški metali	29
6.3. Organski spojevi	32
7. ZAKLJUČAK	36
8. LITERATURA	37
PRILOZI	38

1. UVOD

Među veće probleme današnjice spadaju onečišćene vode, ponajviše podzemne vode. Urbanizacija gradova i industrijalizacija su neizbježni, stoga onečišćenje voda nije moguće u potpunosti otkloniti, već je moguće dovesti onečišćenja na minimum. Veliku ulogu u onečišćenju voda ima izgradnja i upravljanje cestama. Zbog emisija iz prometa i mogućnosti opasnih izlivanja, ceste predstavljaju opasnost za podzemne vode. Stoga ceste predstavljaju ozbiljnu prijetnju za ispuštanje vode koja se isporučuje u podzemne vode. Potrebne su dugotrajne procjene lokacije na kojoj bi se gradile prometnice, kako bi prirodna bogatstva mogla poslužiti i budućim naraštajima.

Izgradnjom autocesta dolazi do brojnih onečišćenja željezom, cinkom, sulfatima, dolazi do nestanka staništa životinjskih i biljnih vrsta, prolijevanja ulja, maziva koja se oborinama mogu lako dovesti do podzemnih voda i time uzrokovati štetu.

Kao što je već spomenuto, izgradnja prometnica je neophodna, ali mogu se donekle smanjiti i spriječiti utjecaji mjerama zaštite, pa ih je nužno primjenjivati. Prometnice u blizini grada koji se širi imaju sve izraženije utjecaje na podzemne vode.

Veličina utjecaja prometa na ekosustave naročito ovisi o vrsti prometnice, hidrogeološkim okolnostima (užeg i šireg prostora oko prometnice), načinu izgradnje prometnice, vrsti prometnog sredstva, upotrebi pogonske energije te sastavu i osobinama tereta koji se prevozi.

U sljedećim poglavljima objasnit će se teorijski dio analitičkih metoda analize, te pojedine analize fizikalno-kemijskih parametara teških metala i organskih spojeva pomoću kojih će se na temelju dobivenih rezultata dobiti uvid kakav utjecaj autoceste stvaraju na podzemne vode.

2. KAKVOĆA PODZEMNE VODE

Podzemna voda je voda ispod površine tla koja ispunjava pore i pukotine u stijenama. Pojava podzemnih voda uvjetovana je postojanjem pora u stijenama i vezanom sloju. Podzemne vode uglavnom nastaju oborinama koje se infiltriraju kroz površinski sloj. Nakon infiltracije, kada sloj vode oko čestica tla postane toliko velik da ga tlo više ne može zadržati, voda postaje slobodna i pod silom gravitacija prodire u dublje slojeve tla do graničnog sloja gdje se nakuplja i ispunjava pore u stijenama. [6]

Razina podzemne vode može varirati tokom cijele godine, što ovisi o količini oborina koje padnu u tom razdoblju, nagibu terena (voda se pomiče s više na nižu površinu) te brzini toka podzemne vode. Kao što je spomenuto, razina podzemne vode može varirati od nekoliko centimetara godišnje u nepropusnim stijenama do nekoliko metara dnevno u propusnim materijalima kao što su šljunak i pijesak. [5]

Podzemna voda veoma je bitna kada se govori o zalihama pitke vode. Negativne aktivnosti kao što su krčenje šuma, industrijski pogoni, usjevi i njihov uzgoj na tlu, opskrba vodom te sanitarni objekti, mogu dovesti do zagađenja i time smanjiti količine vode u gradovima i državama. [6]

Velik utjecaj na vrstu i koncentraciju zagađenja ima sektor prometa prolijevanjem ulja, goriva, onečišćenjima uzrokovanim prometnim nesrećama i dr. (Tablica 1.)

Tablica 1. Vrste i izvori onečišćenja

VRSTE ONEČIŠĆENJA	OSNOVNI IZVORI
Krute čestice	Trošenje kolnika, vozila, atmosfera
Dušik, fosfor	Atmosfera, korištenje umjetnih gnojiva za travnate površine
Olovo	Gorivo s olovom, trošenje autoguma, ulja i masti za
Cink	Trošenje auto-guma, motorno ulje
Željezo	Čelične konstrukcije autoceste, dijelovi motora
Bakar	Trošenje ležajeva, dijelovi motora, trošenje kočionih obloga
Kadmij	Trošenje auto-guma
Krom	Kromirani metali, dijelovi motora, trošenje kočionih obloga
Nikal	Diesel gorivo i benzin, ulja za podmazivanje, asfalt
Sulfati	Gorivo, soli, prometnice
Kloridi	Soli
Mangan	Dijelovi motora

Izvor: Malus 2000. Malus, D., Odvodnja prometnica – zaštita okoliša od negativnog utjecaja, Studija, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2000.

Kakvoća vode ocjenjuje se prema fizikalnim, kemijskim i biološkim pokazateljima.

3. ANALITIČKE METODE ANALIZE

U analitičkoj metodi analize razlikuju se kvantitativna i kvalitativna metoda analize. Kvalitativnom analizom prikupljaju se saznanja o kemijskom identitetu sastojka u uzorku, dok se kvantitativna analiza bazira na podacima o količinama jednog ili više sastojaka. [1]

Da bi se odabrala metoda analize, potrebno je poznavati podatke o materiji uzroka kao što su agregatno stanje, porijeklo molekula i dr. da ne bi došlo do neželjenih reakcija prilikom dokazivanja ili određivanja nekih tvari. Kvalitativnom analizom pribavljaju se saznanja o kemijskom identitetu analita u uzorku, a kvantitativna analiza daje brojčane podatke o relativnim količinama jednog ili više analita. Prije izvođenja kvantitativne analize potrebni su kvalitativni podaci. [7]

3.1. Kvalitativna metoda analize

Pod kvalitativnim metodama analize podrazumijeva se ispitivanje fizikalnim i kemijskim metodama, koje omogućuju da se odrede kemijski elementi ili spojevi u ispitivanoj tvari. Kvalitativne analize otopine temelje se na ravnotežnim kemijskim reakcijama, ionskim reakcijama te svojstvima spojeva nastalih reakcijama, koja mogu biti kemijska i fizikalna. Ovisno o količini, masi uzorka i reagensa, postoji sljedeća podjela kvalitativne analize: [7]

- ❖ Gramska metoda analize (makroanaliza): masa supstancije iznosi 0,5 – 1 g odnosno oko 20 ml otopine, koriste se posude većega volumena i talog se odvaja pomoću filter papira.
- ❖ Makro(gramska): masa supstancije iznosi 0,5 – 1 g odnosno oko 20 ml otopine (posude većeg volumena).
- ❖ Semimikro (centigramska): masa uzorka iznosi 0,01 – 0,1 g odnosno oko 1ml otopine (koriste se kušalice, kivete).
- ❖ Mikro (miligramska): masa uzorka iznosi 0,001 – 0,01 g, volumena oko 0,1 ml otopine (reakcije se izvode u jažicama i na satnim stakalcima).

- ❖ Ultramikro (mikrogramska): masa uzorka iznosi do 0,001 g, volumena do 0,01 ml otopine (dokazne reakcije prate se mikroskopom).

Kvalitativne kemijske analize moguće je vršiti na čvrstom uzorku, tzv. suhi postupak, ili u otopini, tzv. mokri postupak. Ispitivanja u otopini češće se koriste jer su pouzdanija, dok se suhi postupak većinom koristi kao prethodna ispitivanja ili kao pomoćne dokazne reakcije. [2]

Kvalitativne kemijske analize otopine temelje se na:

- ❖ ionskim reakcijama
- ❖ ravnotežnim kemijskim reakcijama
- ❖ svojstvima spojeva nastalih reakcijama, koja mogu biti:
 - kemijska: topljivost, stabilnost, amfoternost i dr.
 - fizikalna: boja taloga i otopine, miris, kristalna struktura taloga i dr.

3.3. Kvantitativne metode analize

Kvantitativna metoda analize temelji se na određivanju mase ili volumena, te mjerenju svojstva nekog uzorka koje je razmjerno količini sastojaka u tom uzorku. Tipična kvantitativna analiza sastoji se od nekoliko faza, a to su: [8]

- ❖ tijek analize postupka
- ❖ uzorkovanje
- ❖ uklanjanje interferencija
- ❖ priprava laboratorijskog uzorka
- ❖ validacija.

Prva faza kvantitativne analize je odabir metode kojom će se analizirati uzorak. Odabir metode ovisi o mnogim čimbenicima, npr. da li se radi o vodi, tlu ili nečem drugom. Druga faza je uzorkovanje. Da bi se osiguralo dobivanje uzorka potrebno je: [8]

- ❖ identificirati populaciju koja se uzorkuje
- ❖ osigurati odgovarajući broj uzoraka
- ❖ odrediti učestalost i vrijeme uzorkovanja
- ❖ definirati plan uzorkovanja
- ❖ pravilno provesti postupak uzorkovanja.

Interferencija je nazočna u kemijskoj analizi kada matrica uzorka sadrži vrstu koja proizvodi signal koji se ne razlikuje od signala analita ili na neki drugi način utječe na signal analita. Zbog toga je jako važno ukloniti kemijske vrste koje interferiraju odnosno smetaju. Masa velikog heterogenog uzorka može iznositi nekoliko stotina kilograma ili čak i više. Zbog toga je bitno takav uzorak smanjiti i pretvoriti u homogeni laboratorijski uzorak. Priprava tekućih i plinovitih uzoraka relativno je jednostavna jer se laboratorijski uzorak homogenizira miješanjem ili mućkanjem, dok čvrsti uzorci zahtijevaju složeniji pristup jer se laboratorijski uzorak prije otapanja mora usitniti i homogenizirati. [8]

Validacijom se potvrđuje da je odabrana analitička metoda prikladna za namijenjenu svrhu. Postupak validacije osigurava da ispitna metoda zadovolji zahtjeve za određenu uporabu, pri čemu se izvedbeni parametri metode uspoređuju s postavljenim zahtjevima.

Validacija obuhvaća: [8]

- ❖ provjeru ispravne identifikacije uzorka
- ❖ provjeru svih pogrešaka
- ❖ provjeru sastava uzorka.

4. METODOLOGIJA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

Na uzorcima podzemnih voda ispitivani su fizikalno-kemijski parametri, organski spojevi te teške kovine. Kod fizikalno-kemijskih parametara ispitat će se elektrolitička vodljivost, mutnoća, KPK (kemijska potrošnja kisika), kloridi te sulfati. Kod teških kovina ispitat će se olovo, željezo i mangan, a kod organskih spojeva mineralna i ukupna ulja te fenoli.

4.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode

Fizikalni parametri ne određuju u potpunosti kakvoću i mogućnost upotrebe vode, ali određuju njena svojstva s obzirom na izgled, boju, miris, temperaturu te okus. U vodama se često nalaze raspršene tvari anorganskog i organskog podrijetla. [3]

4.1.1. Raspršene tvari

Kada se govori o anorganskom podrijetlu, misli se na pijesak, ilovaču te glinu, dok se u organsko podrijetlo ubrajaju mikroorganizmi. Raspršene tvari uobičajene su za površinske i otpadne vode, te djeluju kao onečišćivač vode. [3]

Raspršene tvari čine vodu neprihvatljivom i neupotrebljivom u vodoopskrbnom sustavu. Velike količine raspršenih tvari i koloida uzrokuju mutnoću, a voda može biti neupotrebljiva za opskrbu bez daljnje obrade, manje prikladna za neke sustave za navodnjavanje i upitna za druge svrhe, kupanje, rekreaciju. Uklanjanje takvih materijala povećava troškove opskrbe vodom, a njihova prisutnost može dovesti do oštećenja sustava. [5]

4.1.2. Mutnoća

Kao i suspendirane tvari, utjecaj na mutnoću vode imaju i koloidi, mikroorganizmi te mjehurići plinova. Pokazatelj mutnoće vode služi pri određivanju kakvoće vode za piće, kao i vode koja se koristi općenito ili za kupanje.

Mjerenje mutnoće izvodi se pomoću posebne sprave koja se naziva turbidimetar. Njime se mjeri postotak svjetlosti određene jakosti koja se upija ili raspršuje u uzorku vode. [3]

4.1.3. Boja vode

Boja vode ovisi o suspendiranim i otopljenim tvarima. Kod voda čiji sastav sadrži okside željeza i mangana, prisutna je crvenkasta do smeđa boja (Slika 1). Ukoliko dođe do dodira drveta, lišća i drugog, dolazi do obojenja vode u žuto-smeđu (Slika 2.) zbog otapanja tanina i huminske kiseline koje su zaslužne za obojenje. [3]

Čest uzrok obojenih voda nepravilno je odlaganje otpada iz prehrambenih i kemijskih industrija, tvornica tekstila, papira te kao takve nisu povoljne za vodoopskrbu. Kada se govori o vodama u kojima je otopljena organska tvar, tada je bitno napomenuti da su takve vode većinom neugodnog mirisa i okusa, a istovremeno se sumnja da mogu izazvati kancerogenost. Obojena voda općenito je neupotrebljiva za vodoopskrbu i neke druge svrhe, a transparentnost je smanjena. Boja se mjeri fotometrijskim načinom. [5]



Slika 1. Voda koja sadrži okside željeza i mangana

Izvor: <https://aquapur.hr/o2xidizer-pro/>



Slika 2. Obojenje vode u dodiru s lišćem

Izvor: https://travel.mongabay.com/us/kauai/images/kauai_0095.html

4.1.4. Miris i okus

Okus i miris važna su svojstva vode, osobito ukoliko je riječ o opskrbi pitkom vodom. Vode koje obično izazivaju neugodne mirise odnosno okuse posljedica su razgradnje organskih tvari, osobito algi, industrijskog otpada, otopljenih plinova i otopljenih soli. Voda s posebnim mirisom ili okusom ne može se koristiti kao pitka voda. Okus je određen samo za bakteriološki i kemijski čistu vodu. Sam miris odnosno okus činu vodu neupotrebljivom za piće. [5]

4.1.5. Temperatura

Temperatura je stupanj termalnog stanja vode koji ima velik značaj kada se radi o fizikalnim pokazateljima kakvoće vode. Temperatura vode varira tijekom cijele godine stoga je temperatura površinskih voda promjenjiva, a temperatura podzemnih voda veoma oscilira. Hoće li će se temperatura vode smanjiti ili povećati, ovisi o brojnim čimbenicima kao što su npr. industrija, oborine, objekti za proizvodnju energije. [5]

4.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode

Kemijski pokazatelji vode zapravo ukazuju na samu kakvoću vode odnosno je li voda upotrebljiva za određenu svrhu. U vodi se mogu nalaziti razne otopljene tvari koje mogu imati opasne učinke za žive organizme ili bitno utjecati na ekosustav povećanjem biološke proizvodnje. Štetan učinak vode može ugroziti biljnu i životinjsku zajednicu ali i cjelokupni vodni sustav.

Kemijske primjese u vodi mogu se podijeliti u 3 skupine: [3]

- ❖ tvari koje prema svom sastavu vodu čine neupotrebljivom za određene namjene, a uz to mogu imati otrovan učinak
- ❖ tvari koje po svom sastavu bitno ne pogoršavaju mogućnost uporabe vode, ali su nepoželjne u većim količinama
- ❖ tvari koje se nalaze u prirodnim vodama.

Kemijski spojevi koji se mogu naći u vodi većinom su produkt industrijske proizvodnje, prehrambene industrije i ponajviše kemijske industrije. Kemijski parametri koji se ispituju kod vode su:

- ❖ ukupno otopljene tvari
- ❖ koncentracija vodikovih iona
- ❖ organske tvari
- ❖ kovine
- ❖ hranjive tvari
- ❖ alkalitet
- ❖ tvrdoća
- ❖ otopljeni plinovi
- ❖ ostali kemijski pokazatelji.

Od kemijskih pokazatelja kakvoće vode, ispitane su organske tvari, teške kovine te otopljeni plinovi. [3]

4.2.1. Ukupno otopljene tvari

Kada se govori o ukupno otopljenim tvarima u vodi, misli se na tvari koje ostaju nakon cijedenja vode i utvrđuju isparavanjem na temperaturi od 50 °C, pa se to često naziva i suhi ostatak procijedene vode. Nakon što se voda procijedi, suhi ostatak potrebno je žariti u peći (Slika 3.) na temperaturi od 600 °C.

Od cjelokupne otopljene tvari u vodi, za neke tvari se može reći da su opasne, neke nepoželjne. Prilikom pečenja izgori sva organska tvar, a žareni ostatak čine anorganske tvari. Voda je pogodno otapalo čvrstih tvari, plinova i tekućina, stoga u se u njoj nalaze otopljene tvari anorganskog i organskog podrijetla. Otopljene tvari nalazimo u više oblika kao što su molekule, ioni i spojevi koji nisu ionizirani. Najčešći ioni u prirodnim vodama nalaze se u Tablici 1. [3]



Slika 3. Laboratorijska peć

Izvor: https://koncar-termotehnika.com/hr/proizvodi/peci-i-susare/laboratorijska_pec_600c/

Tablica 2. Ioni u prirodnim vodama

Glavni sastojci od 1,0 - 1000 mg/l	Ostali sastojci 0,01 - 10,0 mg/l
Natrij	Željezo
Kalcij	Stroncij
Magnezij	Kalij
Hidrogenkarbonati	Karbonati
Sulfati	Fluoridi
Kloridi	Nitrati
	Bor
	Silicij

Izvor: Tedeschi S., *Zaštita voda*; Zagreb, 1997

4.2.2. Koncentracija vodikovih iona

Koncentracija vodikovih iona je indikator lužnatosti ili kiselosti vode. Definira se kao negativan logaritam vodikovih iona. Kako bi se provela odgovarajuća metoda prilikom dokazivanja koncentracije vodikovih iona, potrebno je znati pH vrijednost. pH vrijednost moguće je izmjeriti pH metrom (Slika 4.) koji sadrži staklenu ionsku indikatorsku elektrodu i jednu referentnu Ag/AgCl elektrodu. pH metar mora se isključivo usmjeriti na dva pufera kojima se održava stabilnost i ispravnost elektrode, tako da se iz izmjerenih vrijednosti potencijala i vrijednosti pH standardnih pufera izračuna nagib pravca, koji bi za staklenu elektrodu trebao biti oko 59,1 mV. [4]

U prirodnim vodama pH kreće se od 4,5 do 8,5, ovisi o ravnoteži ugljikovog dioksida i CaCO_3 . Nezagađene vode s niskim pH posljedica su otopljenih proizvoda razgradnje biljnih tvari i samih biljaka. Takve su vode korozivne.[3]

Potrebno je na licu mjesta izmjeriti pH uzorka vode ili ga prenijeti u laboratorij u boci s čepom napunjenom do vrha kako se ne bi izgubio CO_2 .



Slika 4. pH metar

Izvor: <http://www.amt-metriks.ba/cms/index.php?ph-metar>

4.2.3. Organske tvari

Organska tvar definirana je kao proizvod biokemijskih procesa koji se zbivaju u vodi. Nastaje raspadanjem biljnih i životinjskih ostataka te drugih tvari. Organska tvar u vodi odnosi se na sve supstance koje se nalaze u prirodnoj vodi u otopljenom ili suspendiranom obliku. Skupine organskih tvari u otpadnim vodama su:

- ❖ bjelančevine (40 – 60 %)
- ❖ ugljikohidrati (25 – 50 %)
- ❖ masnoće (oko 10 %).

Mogu sintetičke molekule kao što su površinski aktivne tvari, hlapljive organske tvari i pesticidi. [3] Raspadanjem organske tvari u vodi povećava se udio CO₂, što znači da će doći do promjene pH vrijednosti.

Ukupna organska tvar dijeli se na biološki razgradive i nerazgradive tvari. Prema svom porijeklu, organska tvar u vodi može biti produkt biokemijskih procesa ili proizvod ljudskih aktivnosti. Onečišćenje voda nastaje prilikom oborina, kada dolazi do ispiranja tla, a štetan učinak imaju i procjedne vode iz odlagališta koje sadrže štetne tvari i time mogu imati negativan učinak na sve sastavnice okoliša. [5]

Pojedine organske tvari mogu povećati udio teških metala, a to dovodi do promjene pH vrijednosti i lošije kakvoće vode. Biokemijska potrošnja kisika (BPK) definirana je kao potrošnja kisika potrebna da se biološki razgradi organska tvar pod utjecajem mikroorganizama. Potpuna razgradnja organske tvari traje duže, stoga je za praktične potrebe uveden BPK5, takozvana petodnevna biološka potrošnja kisika koja se odvija pri 20 °C. [3]

4.2.4. Teški metali

Metali u vodi posljedica su ispiranja tla i otapanja minerala. Velike količine metala mogu se ispuštati u otpadne vode iz industrije, kućanstava i poljoprivrede. Visoke koncentracije metala u prirodnim vodama onečišćuju sustave vode i ugrožavaju žive organizme, metali se općenito mogu podijeliti na netoksične i toksične. [5]

Toksičnost metala ovisi o njihovim fizikalno-kemijskim oblicima. Poznato je da su pojedini metali kao što su Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn i Mo te polumetali kao što su Si, Be i Se neophodni za održavanje života te sastojci koji imaju važnu ulogu kod fizioloških funkcija, a neki služe i za uporabu u medicini. [4]

Njihov suvišak ili manjak može dovesti do posljedica po živi organizam. Kovine kao što su željezo, mangan, aluminij, bakar i cink nužne su za život organizama, stoga ih je potrebno unositi u malim količinama kako bi organizam dobio sve potrebne elemente za daljnji razvitak ili ravnotežu.

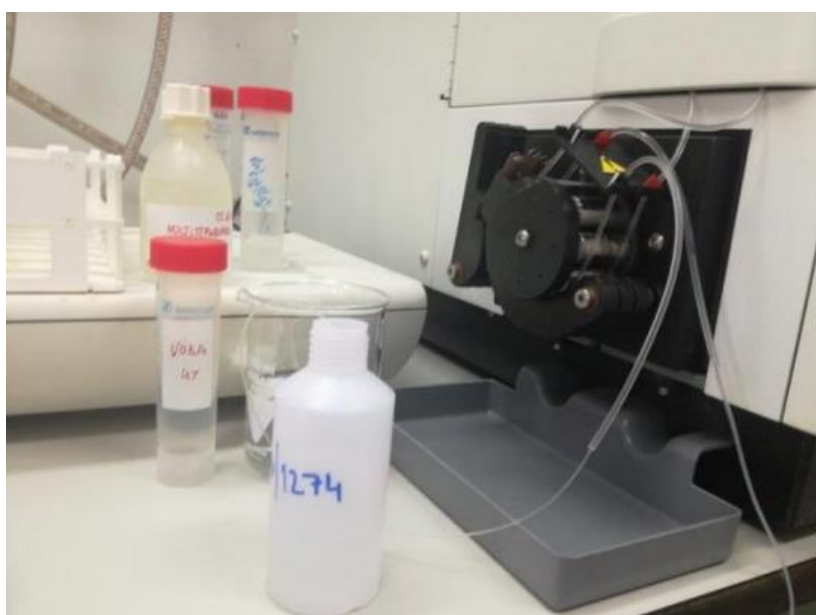
Ovisno o fizikalno-kemijskim svojstvima vode, metali se mogu nalaziti u vodi otopljeni kao kompleksni spojevi ili slobodni ioni, i to vezani s anorganskim (OH⁻, CO₃, CL[']) i organskim ligandima (amini, proteini). Promjena oblika u kojemu će se metali pojaviti može ovisiti o temperaturi, tvrdoći vode, alkalitetu, količini otopljenog kisika, organskim tvarima i biološkoj aktivnosti. Otrovní metali koji su u vodi (ili mogu biti prisutni u vodi) su arsen, kadmij, barij, živa, koji su posebice otrovni. [3]

U radu su ispitivani sljedeći teški metali: olovo, željezo, i mangan. Ispitivanje teških metala vršeno je HRN EN ISO metodama (normama za kadmij).



Slika 5. Ispitivanje teških metala (1)

Izvor: Bioinstitut



Slika 6. Ispitivanje teških metala (2)

Izvor: Bioinstitut

4.2.5. Tvrdoća vode

Tvrdoća vode zavisi od učestalosti metalnih kationa kao što su kalcij, magnezij, aluminij, željezo i dr. U prirodnim vodama nalaze se ponajviše kalcij i magnezij. Od ukupne tvrdoće vode razlikuju se stalna i prolazna odnosno nekarbonatna i karbonatna. Karbonatnu tvrdoću čine karbonati i hidrogenkarbonati magnezija i kalcija, dok nekarbonatnu tvrdoću čine sulfati i kloridi. Pokazatelj tvrdoće bitan je radi industrijske upotrebe vode, a ponajviše kad se grije. [3]

4.2.6. Alkalitet

Alkalitet vode čine hidroksidi, karbonati i bikarbonati alkalnih i zemnoalkalijskih metala. U prirodnim vodama nalaze se sljedeći ioni koji čine alkalitet:

- ❖ silikati
- ❖ borati
- ❖ karbonati
- ❖ hidrogenkarbonati
- ❖ hidroksidi
- ❖ fosfati

Ioni koji čine alkalitet nastaju otapanjem mineralnih tvari u tlu i atmosferi. Alkalitet se uobičajeno upotrebljava kao pokazatelj kod prirodnih voda. Izražava u mg/l CaCO₃. [3]

4.2.7. Otopljeni plinovi

Kod otopljenih plinova analizira se ugljikov dioksid, kisik te vodik-sulfid, ovisno o porijeklu vode. Kisik u vodu dopijeva procesom fotosinteze, koja je važna kako bi se omogućio život organizama koji se nalaze u vodi. Ugljikov dioksid u vodi može se naći kao slobodan ili vezan u spojevima karbonata i hidrogenkarbonata. [3]

Slobodan ugljikov dioksid nalazi se otopljen u vodi. Kada su otopljene veće količine od 15 mg/l djeluje korozivno na metalne te betonske konstrukcije. Ostatak CO₂ koji se nalazi u vodi zapravo je agresivni CO₂. U kišnici nema hidrogenkarbonata, stoga je kišnica vrlo korozivna. [3]

4.2.8. Hranjive tvari

Hranjive tvari u vodi uglavnom se odnose na otopljene dušikove i fosforne spojeve. Povećana koncentracija hranjivih tvari u vodenim kasetama pojačala je proizvodnju primarnih organskih tvari odnosno eutrofikaciju. [5]

Te tvari nalaze se u vodi formirane u različitim oblicima i mijenjaju se ovisno o količini kisika u vodi. Dušik iz atmosfere uzimaju posebne vrste bakterija, biljaka i algi, dok se najveći dio dušikovih spojeva nalazi kao produkt raspadanja organske tvari, a neki dušikovi sojevi dolaze u vode ispiranjem poljoprivrednih površina. [5]

U aerobnim uvjetima, kada je u vodi dovoljno otopljenog kisika, procesi nitrifikacije se nastavljaju od dušika, amonijaka, nitrita do nitrata, uz sudjelovanje aerobnih autotrofnih bakterija. Denitrifikacijski procesi odvijaju se s anaerobnim heterotrofnim bakterijama pod anaerobnim uvjetima. [5]

4.2.9. Ostali kemijski pokazatelji

Neki od primjera kemijskih pokazatelja su fluoridi, kloridi i sulfati koji pri visokim koncentracijama mogu narušiti zdravlje životinja i ljudi. Na fluoride možemo naići u površinskim vodama. Ukoliko se koriste u manjoj količini, fluoridi sprječavaju karijes zuba. [3]

Sulfate u vodi nalazimo kao posljedicu otapanja minerala te prilikom procesa oksidacije sulfida. Kloridi su sastavni dio prirodnih voda i u većim koncentracijama mogu dovesti do korozije metalnih objekata i do onečišćenja voda. [4]

5. UZORKOVANJE PODZEMNE VODE

Uzorkovanje podzemnih voda dužan je voditi ovlaštenu laboratorij koji je namijenjen analiziranju voda. Kako bi se uzorkovanje provelo što kvalitetnije, laboratorij mora sadržavati odgovarajuću opremu, posebne radne prostorije, uvjete koji omogućuju analizu te educirano osoblje za provedbu tih analiza. Potrebno je odrediti plan uzorkovanja vode, mjesto uzimanja uzorka, vrijeme, način uzorkovanja, vozilo za transport te opremu kao što su boce s čepom, pH metar i drugo. [4]

Uzimanje uzorka podzemnih voda vrši se iz zdenaca ili piezometrima iz posebnih bušotina, te je potrebno uzeti što veći volumen vode. Bitno je napomenuti da oprema koja se koristi mora biti čista, kako ne bi došlo do grešaka kod ispitivanja. O načinu uzorkovanja ovisi dubina vode iz koje se uzima uzorak, pa se tako voda iz zdenca prikuplja sondom ili sisaljkom, a ponekad je dovoljna odgovarajuća boca za ručno uzorkovanje. [4]

Uzorak je potrebno što prije dostaviti u laboratorij, jer što se duže voda nalazi u zatvorenoj boci, to je više sklona raslojavanju zbog različite gustoće sastojaka. Tada slijede analize kemijskih, fizikalni te mikrobioloških parametara.

6. REZULTATI ANALIZE

Ispitivani su uzorci vode iz različitih piezometara u razdoblju od dvije godine, koji će biti prikazani na sljedećim tablicama. Analizirani su fizikalno-kemijski parametri, teški metali te organski spojevi u podzemnoj vodi.

6.1. Fizikalno-kemijski parametri

Tablica 3. *Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 1*

Analitički broj	Dubina (m):	Vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Mutnoća (NTU)	KPK (mgO_2/l)	Kloridi (mg/l)	Sulfati (mg/l)
1	8,19	793	18,4	2	19,1	< 10
2	8,6	796	13	3	21,95	< 10
3	8,18	828	9,01	3	17,65	< 10
4	8,1	808	2,02	2	23,68	< 10
5	8,08	830	8,42	5	30,99	< 10
6	8,09	803	4,16	4	11,07	17,7
7	8,16	762	0,88	3	10,45	18,23
8	8,18	710	1,4	3	8,18	13,11
9	8,22	427	1,45	3	9,24	16,13
10	8,32	401	1,78	3	10,79	17,86
11	8,16	750	1,95	4	14,35	16,68
12	8,08	773	0,71	2	24,11	21,62
13	8,07	881	0,88	2	10,04	27,88
14	8,08	855	0,76	2	11,51	18,93
15	8,12	739	1,01	3	12,43	15,8

Izvor: Bioinstitut

Tablica 4. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 2

Analitički broj	Dubina (m):	Vodljivost ($\mu\text{S/cm}$)	Mutnoća (NTU)	KPK (mgO_2/l)	Kloridi (mg/l)	Sulfati (mg/l)
1	8,43	741	0,88	< 2	26,74	< 10
2	8,37	758	1,75	< 2	32,71	< 10
3	8,46	789	0,75	< 2	16,79	< 10
4	8,37	805	0,64	< 2	21,95	< 10
5	8,49	787	1,56	4	25,83	< 10
6	8,61	750	1,2	3	7,54	15,28
7	8,7	730	0,38	< 2	7,4	14,9
8	8,63	673	0,88	< 2	5,87	11,58
9	8,5	317	0,96	2	7,09	14,5
10	8,48	386	0,85	< 2	8,1	15,33
11	7,13	751	1,05	2	15,82	16,4
12	6	728	0,96	< 2	23,24	20,18
13	5,47	712	0,78	< 2	10,85	13,15
14	6,78	614	0,82	< 2	8,72	39,58
15	7,73	716	1,2	4	10,4	14,54

Izvor: Bioinstitut

Tablica 5. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 3

Analitički broj	Dubina (m):	Vodljivost ($\mu\text{S/cm}$)	Mutnoća (NTU)	KPK (mgO_2/l)	Kloridi (mg/l)	Sulfati (mg/l)
1	8,38	794	1,27	< 2	27,58	< 10
2	8,4	769	0,72	< 2	36,16	< 10
3	8,38	746	0,72	< 2	15,5	< 10
4	8,27	751	0,8	3	20,66	< 10
5	8,24	786	1,02	< 2	26,26	< 10
6	8,26	790	0,96	2	17,38	24,24
7	8,35	772	0,5	< 2	16,43	23,6
8	8,4	735	0,71	< 2	12,64	17,08
9	8,47	611	0,61	< 2	14,89	21,93
10	8,46	599	0,9	< 2	16,59	23,37
11	8,38	606	0,91	2	20,65	23,03
12	8,3	701	1,55	2	25,83	19,39
13	8,29	739	0,56	< 2	17,25	27,59
14	8,3	731	0,63	< 2	25,46	25,55
15	8,63	736	0,79	< 2	15,83	23,95

Izvor: Bioinstitut

Tablica 6. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 4

Analitički broj	Dubina (m):	Vodljivost ($\mu\text{S/cm}$)	Mutnoća (NTU)	KPK (mgO_2/l)	Kloridi (mg/l)	Sulfati (mg/l)
1	8,64	643	2,95	3	28,01	< 10
2	8,65	652	1,82	< 2	31,85	< 10
3	8,63	667	0,9	< 2	13,34	< 10
4	8,53	699	0,72	< 2	17,22	< 10
5	8,5	705	0,94	3	21,95	< 10
6	8,51	744	1,12	3	18,15	24,17
7	8,59	764	0,42	< 2	17,07	23,61
8	8,64	706	1,06	3	6,02	11,54
9	8,7	408	0,8	< 2	16,39	22,74
10	8,72	442	0,76	< 2	18,79	24,18
11	8,64	603	1,88	3	20,76	22,55
12	8,56	631	1,48	2	21,09	15,6
13	8,55	596	0,96	< 2	12,73	15,44
14	8,57	588	0,75	< 2	13,93	17,51
15	8,61	636	0,74	< 2	20,19	22,64

Izvor: Bioinstitut

Tablica 7. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 5

Analitički broj	Dubina (m):	Vodljivost ($\mu\text{S/cm}$)	Mutnoća (NTU)	KPK (mgO_2/l)	Kloridi (mg/l)	Sulfati (mg/l)
1	8,6	645	9,42	< 2	29,71	10
2	8,62	658	3,02	2	29,27	10
3	8,37	679	1,62	< 2	14,21	10
4	8,49	679	2,18	3	16,79	10
5	8,48	699	1,52	3	19,8	10
6	8,49	729	0,89	2	21,54	25,76
7	8,58	708	0,67	< 2	21,99	25,82
8	8,66	673	6,81	5	18,03	19,56
9	8,72	502	2,11	4	22,29	25,59
10	8,71	518	3,11	6	25,21	27,83
11	8,64	568	0,56	< 2	< 5,00	8,48
12	8,57	693	1,84	3	21,09	15,44
13	8,55	672	2	4	15,61	17,13
14	8,57	625	1,61	3	18,7	22,18
15	8,63	618	0,82	< 2	20,9	22,14

Izvor: Bioinstitut

Iz priloženih tablica možemo uvidjeti konačne rezultate mjerenja fizikalno-kemijskih parametara iz piezometra 1, piezometra 2, piezometra 3, piezometra 4 i piezometra 5.

U Tablici 3. možemo očitati kako je na najmanjoj dubini od 8,07 m vodljivost iznosila 881 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što je više negoli na dubini od 8,32 m, čija vodljivost iznosi 401 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što daje prikaz kako vodljivost varira. Isto vrijedi i za tablice 3., 5., 6. i 7. Vrijednosti vodljivosti piezometara iz navedenih tablica iznose približno 400 – 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, stoga se onečišćenje podzemne vode nalazi ispod granične vrijednosti koja iznosi 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mutnoća se izražava u NTU-ima (*Nephelometric Turbidity Units*). Vrijednost mutnoće vode kod svakog piezometra varira neovisno na kojoj se dubini nalaze, te je kod svakog piezometra vidljivo kako je koncentracija raspršenih tvari u podzemnoj vodi izvan maksimalnih vrijednosti. Prilikom izgradnje autocesta dolazi do prekomjernog nastanka raspršenih čestica te otpadnih supstanci, koje tada dolaze u podzemne vode te dolazi do povećanja mutnoće.

KPK (kemijska potrošnja kisika) u piezometrима nalazi se između vrijednosti 2 i 6, iz čega se može zaključiti da je kemijska potrošnja kisika relativno dobra do vrlo dobra. U piezometrима 1, 2, 3, 4 i 5 prisutni su kloridi i sulfati koji su između vrijednosti 6 i 35 mg/l, što prikazuje kako se ne prelazi maksimalni dozvoljeni iznos od 250 mg/l.

6.2. Teški metali

Tablica 8. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 1

Analitički broj	Dubina (m):	Olovo ($\mu\text{g/l}$)	Željezo ($\mu\text{g/l}$)	Kadmij ($\mu\text{g/l}$)	Mangan ($\mu\text{g/l}$)
1	8,19	0,12	136	0,07	6
2	8,6	< 0,05	69,2	0,044	2,3
3	8,18	0,076	95	< 0,03	2,2
4	8,1	2,02	68	0,033	1
5	8,08	0,4	< 5	0,04	< 0,5
6	8,09	0,19	< 5	< 0,03	< 0,5
7	8,16	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
8	8,18	< 0,05	7	0,044	< 0,5
9	8,22	0,19	13	0,06	2
10	8,32	0,19	6	< 0,03	< 0,5
11	8,16	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
12	8,08	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
13	8,07	0,11	< 5	< 0,03	2,3
14	8,08	< 0,05	< 5	< 0,03	1,3
15	8,12	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5

Izvor: Bioinstitut

Tablica 9. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 2

Analitički broj	Dubina (m):	Olovo ($\mu\text{g/l}$)	Željezo ($\mu\text{g/l}$)	Kadmij ($\mu\text{g/l}$)	Mangan ($\mu\text{g/l}$)
1	8,43	0,07	< 5	< 0,03	< 0,5
2	8,37	< 0,05	9,4	< 0,03	0,7
3	8,46	< 0,054	11	< 0,03	< 0,5
4	8,37	0,983	8	0,033	< 0,5
5	8,49	0,9	< 5	< 0,03	< 0,5
6	8,61	0,49	< 5	< 0,03	< 0,5
7	8,7	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
8	8,63	< 0,05	< 5	< 0,03	1
9	8,5	0,44	< 5	0,06	< 0,5
10	8,48	0,33	< 5	< 0,03	< 0,5
11	7,13	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
12	6	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
13	5,47	0,16	< 5	< 0,03	< 0,5
14	6,78	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
15	7,73	< 0,05	< 5	< 0,03	0,8

Izvor: Bioinstitut

Tablica 10. *Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 3*

Analitički broj	Dubina (m):	Olovo (µg/l)	Željezo (µg/l)	Kadmij (µg/l)	Mangan (µg/l)
1	8,38	0,06	5	0,07	< 0,5
2	8,27	< 0,05	17	< 0,03	< 0,5
3	8,4	0,207	12	0,038	< 0,5
4	8,3	0,837	19	0,035	< 0,5
5	8,41	1,1	< 5	< 0,03	0,9
6	8,57	< 0,05	< 5	< 0,03	1
7	8,67	0,25	< 5	< 0,03	0,6
8	8,42	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
9	8,62	0,33	< 5	0,04	< 0,5
10	8,24	0,17	< 5	< 0,03	< 0,5
11	7,05	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
12	5,93	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
13	5,45	< 0,05	< 5	< 0,03	2,6
14	7,12	< 0,05	14	< 0,03	1,1
15	7,68	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5

Izvor: Bioinstitut

Tablica 11. *Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 4*

Analitički broj	Dubina (m):	Olovo (µg/l)	Željezo (µg/l)	Kadmij (µg/l)	Mangan (µg/l)
1	8,64	< 0,05	0,28	< 0,03	3
2	8,65	< 0,05	20	< 0,03	1
3	8,63	< 0,054	20	< 0,03	< 0,5
4	8,53	8,08	66	0,046	1,3
5	8,5	0,8	< 5	< 0,03	< 0,5
6	8,51	0,23	< 5	< 0,03	< 0,5
7	8,59	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
8	8,64	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
9	8,7	0,49	< 5	0,07	< 0,5
10	8,72	0,37	< 5	< 0,03	2
11	8,64	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
12	8,56	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
13	8,55	0,37	< 5	< 0,03	< 0,5
14	8,57	< 0,05	< 5	0,04	1,1
15	8,61	< 0,05	13	< 0,03	< 0,5

Izvor: Bioinstitut

Tablica 12. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 5

Analitički broj	Dubina (m):	Olovo (µg/l)	Željezo (µg/l)	Kadmij (µg/l)	Mangan (µg/l)
1	8,6	< 0,05	64	0,04	2
2	8,49	< 0,05	36	< 0,03	5,5
3	8,66	0,344	119	< 0,03	6
4	8,57	0,948	54	< 0,03	0,7
5	8,7	1,2	< 5	0,05	< 0,5
6	8,84	< 0,05	5	< 0,03	< 0,5
7	9,83	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
8	8,89	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
9	8,7	0,09	6	0,03	< 0,5
10	8,48	0,15	< 5	< 0,03	< 0,5
11	7,32	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
12	6,13	< 0,05	< 5	< 0,03	< 0,5
13	5,58	0,12	10	< 0,03	4
14	6,83	< 0,05	< 5	< 0,03	0,93
15	7,93	< 0,05	8	< 0,03	0,8

Izvor: Bioinstitut

Olovo, kao i ostali teški metali u većim koncentracijama, može biti veoma toksično. Dopuštena koncentracija olova je do 10 µg/l te ukoliko se prekorači može dovesti do nepoželjnih posljedica po ljude, životinje i biljke.

U tablici 11. vidi se da je koncentracija olova u podzemnih vodama dosegla 8,08 µg/l, što je blizu graničnih vrijednosti, ali još uvijek je ispod dopuštene vrijednosti, dok u ostalim piezometrima koncentracija varira 0,01 – 8 µg/l. Iz priloženih tablica može se zaključiti da je koncentracija olova niska.

Koncentracija dopuštenih maksimalnih vrijednosti željeza ne smije prelaziti 200 µg/l. Iz priloženog se može očitati najveći unos teških metala kod piezometra 1 u Tablici 8., čija koncentracija iznosi 136 µg/l, što je poprilično visoka koncentracija s obzirom na ostale piezometre.

Maksimalna koncentracija kadmija iznosi 5 µg/l, pa se iz priloženih tablica može zaključiti da je niska jer iznosi < 3 – 0,04 µg/l i time ne prekoračuje maksimalne dopuštene vrijednosti.

U podzemnoj vodi u piezometru 5 (Tablica 12.) nalazi se maksimalna vrijednost koncentracije mangana, koja iznosi 6 µg/l. S obzirom na ostale piezometre, zabilježene su niske koncentracije mangana.

6.3. Organski spojevi

Tablica 13. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 1

Analitički broj	Dubina (m):	Mineralna ulja (mg/l)	Ukupna ulja (mg/l)	Fenoli (mg/l)
1	8,19	< 0,005	< 1,0	< 0,002
2	8,6	< 0,005	< 1,0	< 0,002
3	8,18	< 0,005	< 1,0	< 0,002
4	8,1	< 0,005	2,06	< 0,002
5	8,08	< 0,005	< 1,0	< 0,002
6	8,09	< 0,005	< 1,0	< 0,002
7	8,16	< 0,005	3,26	< 0,002
8	8,18	< 0,005	3,1	< 0,002
9	8,22	< 0,005	< 5	< 0,002
10	8,32	< 0,005	< 5	< 0,002
11	8,16	< 0,005	< 5	< 0,002
12	8,08	< 0,005	< 5	< 0,002
13	8,07	< 0,005	< 5	< 0,002
14	8,08	< 0,005	< 5	< 0,002
15	8,12	< 0,005	< 5	< 0,002

Izvor: Bioinstitut

Tablica 14. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 2

Analitički broj	Dubina (m):	Mineralna ulja (mg/l)	Ukupna ulja (mg/l)	Fenoli (mg/l)
1	8,43	< 5	< 1,0	< 0,002
2	8,37	< 5	< 1,0	< 0,002
3	8,46	< 5	< 1,0	< 0,002
4	8,37	< 5	1,09	< 0,002
5	8,49	< 5	< 1,0	< 0,002
6	8,61	< 5	< 1,0	< 0,002
7	8,7	< 5	1,33	< 0,002
8	8,63	< 5	3,7	< 0,002
9	8,5	< 5	< 5	< 0,002
10	8,48	< 5	< 5	< 0,002
11	7,13	< 5	< 5	< 0,002
12	6	< 5	< 5	< 0,002
13	5,47	< 5	< 5	< 0,002
14	6,78	< 5	< 5	< 0,002
15	7,73	< 5	< 5	< 0,002

Izvor: Bioinstitut

Tablica 15. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 3

Analitički broj	Dubina (m):	Mineralna ulja (mg/l)	Ukupna ulja (mg/l)	Fenoli (mg/l)
1	8,38	< 5	< 1,0	< 0,002
2	8,27	< 5	< 1,0	< 0,002
3	8,4	< 5	< 1,0	< 0,002
4	8,3	< 5	1,97	< 0,002
5	8,41	< 5	< 1,0	< 0,002
6	8,57	< 5	< 1,0	< 0,002
7	8,67	< 5	< 5	< 0,002
8	8,42	< 5	< 5	< 0,002
9	8,62	< 5	< 5	< 0,002
10	8,24	< 5	< 5	< 0,002
11	7,05	< 5	< 5	< 0,002
12	5,93	< 5	< 5	< 0,002
13	5,45	< 5	< 5	< 0,002
14	7,12	< 5	< 5	< 0,002
15	7,68	< 5	< 5	< 0,002

Izvor: Bioinstitut

Tablica 16. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 4

Analički broj	Dubina (m):	Mineralna ulja (mg/l)	Ukupna ulja (mg/l)	Fenoli (mg/l)
1	8,64	< 5	< 1,0	< 0,002
2	8,65	< 5	< 1,0	< 0,002
3	8,63	< 5	< 1,0	< 0,002
4	8,53	< 5	1,07	< 0,002
5	8,5	< 5	< 1,0	< 0,002
6	8,51	< 5	< 1,0	< 0,002
7	8,59	< 5	0,12	< 0,002
8	8,64	< 5	3	< 0,002
9	8,7	< 5	< 5	< 0,002
10	8,72	< 5	< 5	< 0,002
11	8,64	< 5	< 5	< 0,002
12	8,56	< 5	< 5	< 0,002
13	8,55	< 5	< 5	< 0,002
14	8,57	< 5	< 5	< 0,002
15	8,61	< 5	< 5	< 0,002

Izvor: Bioinstitut

Tablica 17. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 5

Analički broj	Dubina (m):	Mineralna ulja (mg/l)	Ukupna ulja (mg/l)	Fenoli (mg/l)
1	8,6	< 5	< 1,0	< 0,002
2	8,49	< 5	< 1,0	< 0,002
3	8,66	< 5	< 1,0	< 0,002
4	8,57	< 5	2,57	< 0,002
5	8,7	< 5	< 1,0	< 0,002
6	8,84	< 5	< 1,0	< 0,002
7	9,83	< 5	< 5	< 0,002
8	8,89	< 5	< 5	< 0,002
9	8,7	< 5	< 5	< 0,002
10	8,48	< 5	< 5	< 0,002
11	7,32	< 5	< 5	< 0,002
12	6,13	< 5	< 5	< 0,002
13	5,58	< 5	< 5	< 0,002
14	6,83	< 5	< 5	< 0,002
15	7,93	< 5	< 5	< 0,002

Izvor: Bioinstitut

Na svakom piezometru može se uočiti kako je koncentracija mineralnih ulje manja od 5 mg/l, iz čega se može zaključiti da je nizak unos mineralnih ulja. Mineralna ulja uglavnom potječu iz nafte i naftnih derivata, stoga su veoma prisutna kod izgradnje prometnica.

Ukoliko se istjecanje nafte u podzemne vode ne spriječi na vrijeme, može uzrokovati veliku štetu za biljni i životinjski svijet. Takvo onečišćenje bi rezultiralo brojnim posljedicama, a uz to podzemna voda se ne bi više mogla vratiti u svoje izvorno stanje.

Najveća koncentracija ukupnih ulja iznosi malo manje od 5 mg/l dok je kod ostalih piezometra ispod 1 mg/l.

Fenoli su po svojim osobinama veoma toksični već u koncentracijama od 0,1 µg/l te imaju značajan utjecaj na kakvoću vode, miris i boju. Mogu izazvati štetne posljedice za okoliš i štetan učinak na zdravlje čovjeka i životinja.

Iz priloženih tablica vidljivo je da su vrijednosti ispod 0,002 mg/l, što dokazuje minimalno prisustvo fenola u podzemnim vodama prilikom izgradnje autocesta.

7. ZAKLJUČAK

Odnos između cesta i podzemnih voda obično je vrlo raznolik i složen. Za klasifikaciju i koncepciju odnosa između podzemnih voda i autoceste mogu se utvrditi tri skupine problema važnih za hidrogeološka istraživanja:

- a) zaštita podzemnih voda od utjecaja autoceste
- b) zaštita prostora autoceste od podzemnih voda
- c) ekonomska upotreba podzemnih voda za upravljanje autocestama.

Mjere zaštite vodnih resursa od utjecaja s cesta utvrđuju se određenim propisima, pravilnicima, direktivama i konkretno, lokalnim zakonima o zaštiti vodnih resursa. Ta su ograničenja definirana vrlo različito i odnose se ovisno o kojoj kategoriji cesta je riječ.

Posljednjih godina povećala se svijest o štetnim učincima mnogih antropocentričnih aktivnosti na biološku raznolikost i kvalitetu resursa te njegovu dostupnost. Voda je trenutno jedan od najkritičnijih resursa potrebnih za preživljavanje, stoga je važno uzeti u obzir sve mjere zaštite kod izgradnje prometnica, ali i drugih objekata kako bi se sačuvale prirodne vrijednosti, zaštitile biljne i životinjske vrste, a time i spriječila onečišćenja površinskih i podzemnih voda.

8. LITERATURA

1. Štrkalj A., Tehnike kemijske analize. Skripta. Sisak: Metalurški fakultet; 2014
2. D. A. Skoog, D. M. West, F. J. Holler: Osnove analitičke kemije, Školska knjiga, Zagreb 1999., 1.izdanje
3. Tedeschi S.,Zaštita voda; Zagreb, 1997.
4. Kaštelan-Macan M, Petrovic M.:Analitika okoliša, Zagreb, 2013
5. Šimunić I.,Regulation and protection of water, University of Zagreb, Faculty of agriculture, Zagreb, 2016.
6. Zelenika Mladen, Groundwater quality and observation wells Zagreb, 1997.
7. Radić Nj. Kukoč Modun L. Uvod u analitičku kemiju. Zagreb: Školska knjiga; 2013.
8. Jurčević, Matilda. "Kemijske metode analize materijala." Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2017.

PRILOZI

POPIS SLIKA

Slika 1. Voda koja sadrži okside željeza i mangana	13
Slika 2. Obojenje vode u dodiru s lišćem	14
Slika 3. Laboratorijska peć	17
Slika 4. pH metar	18
Slika 5. Ispitivanje teških metala (1)	21
Slika 6. Ispitivanje teških metala (2)	21

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste i izvori onečišćenja	8
Tablica 2. Ioni u prirodnim vodama	17
Tablica 3. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 1	25
Tablica 4. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 2	26
Tablica 5. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 3	26
Tablica 6. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 4	27
Tablica 7. Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih parametara piezometra 5	27
Tablica 8. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 1	29
Tablica 9. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 2	29
Tablica 10. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 3	30
Tablica 11. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 4	30
Tablica 12. Rezultati ispitivanja teških metala piezometra 5	31

Tablica 13. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 1	32
Tablica 14. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 2	33
Tablica 15. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 3	33
Tablica 16. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 4	34
Tablica 17. Rezultati ispitivanja organskih spojeva piezometra 5	34