

# Mogućnost klasifikacije vode iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora

---

**Avdić, Mirna**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:066892>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**Mogućnost klasifikacije voda iz melioracijskih kanala  
prema koncentraciji dušika i fosfora**

DIPLOMSKI RAD

Mirna Avdić

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Obnovljivi izvori energije u poljoprivredi

**Mogućnost klasifikacije voda iz melioracijskih kanala  
prema koncentraciji dušika i fosfora**

DIPLOMSKI RAD

Mirna Avdić

Mentor:

doc. dr. sc. Lana Filipović

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Mirna Avdić**, JMBAG 0178114247, rođen/a 20.06.1998. u Sisku, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

**Mogućnost klasifikacije voda iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora**

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Potpis studentice*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Mirne Avdić**, JMBAG 0178114247, naslova

**Mogućnost klasifikacije voda iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora**

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Doc. dr. sc. Lana Filipović mentor

\_\_\_\_\_

2. Doc. dr. sc. Igor Bogunović, član

\_\_\_\_\_

3. Doc. dr. sc. Ivan Mustačić, član

\_\_\_\_\_

## Zahvala

Ovime zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Lani Filipović na pruženoj pomoći i savjetima, kao i na razumijevanju i potpori tijekom pisanja rada. Također, zahvaljujem asistentu Luki Hanu, mag. ing. agr. na ukazanoj pomoći prilikom rada u laboratoriju.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na beskonačnoj podršci tijekom studiranja. Posebne zahvale prijateljicama Katarini Matan, Gerdi Rajković, Antoneli Šalić i Antoniji Pavičić na ustupljenoj literaturi i informacijama za pisanje ovog rada.

## Sadržaj

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | Uvod.....  | 1  |
| 1.1.   | Cilj rada.....   | 2  |
| 2.     | Pregled literature .....   | 3  |
| 2.1.   | Podjela voda u prirodi .....   | 3  |
| 2.1.1. | Kruženje vode u prirodi.....   | 5  |
| 2.2.   | Otpadne vode .....   | 6  |
| 2.2.1. | Sanitarne ili kućanske otpadne vode .....  | 7  |
| 2.2.2. | Industrijske ili tehnološke otpadne vode .....   | 7  |
| 2.2.3. | Oborinske otpadne vode .....   | 7  |
| 2.2.4. | Procjedne otpadne vode.....  | 8  |
| 2.3.   | Pročišćavanje otpadnih voda .....  | 9  |
| 2.3.1. | Fizikalni procesi pročišćavanja otpadnih voda.....   | 9  |
| 2.3.2. | Biološki procesi pročišćavanja otpadnih voda .....   | 9  |
| 2.3.3. | Fizikalno-kemijski procesi pročišćavanja otpadnih voda .....   | 10 |
| 2.4.   | Biološki procesi značajni za otpadne vode .....  | 11 |
| 2.4.1. | Potrošnja kisika u vodnom sustavu .....  | 11 |
| 2.4.2. | Eutrofikacija.....   | 12 |
| 2.5.   | Gospodarenje otpadom .....   | 14 |
| 2.5.1. | Gospodarenje otpadom u poljoprivredi.....  | 15 |
| 2.6.   | Zaštita voda .....   | 18 |
| 2.6.1. | Zakon o vodama (NN 66/2019) .....  | 18 |
| 2.6.2. | Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/1998).....  | 19 |
| 2.6.3. | Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019) .....   | 20 |
| 2.6.4. | Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) .....   | 21 |
| 2.6.5. | Direktiva vijeća o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora – Nitratna direktiva (91/676/EEZ) ..... | 21 |
| 2.6.6. | II. Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrede (NN 60/2017).....                              | 22 |
| 3.     | Materijali i metode rada .....   | 23 |
| 3.1.   | Lokacije istraživanja .....  | 23 |
| 3.2.   | Prikupljanje uzoraka vode .....  | 29 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.3.   | Laboratorijske analize koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u uzorcima vode iz melioracijskih kanala.....                            | 32 |
| 3.3.1. | Mjerenje koncentracije nitrata.....  | 32 |
| 3.3.2. | Mjerenje koncentracije amonija .....   | 33 |
| 3.3.3. | Mjerenje koncentracije ortofosfata.....  | 33 |
| 3.3.4. | Statistička obrada podataka .....  | 34 |
| 4.     | Rezultati .....  | 35 |
| 4.1.   | Rezultati mjerenja koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u vodi u melioracijskim kanalima.....  | 35 |
| 4.2.   | Utjecaj lokacije melioracijskih kanala iz kojih su uzeti uzorci vode na koncentracije nitrata, amonijaka i ortofosfata u vodi iz kanala..... | 37 |
| 5.     | Rasprava.....  | 39 |
| 6.     | Zaključak.....   | 42 |
| 7.     | Popis literature .....   | 43 |
|        | Životopis .....  | 46 |



## **Sažetak**

Diplomskog rada studentice **Mirne Avdić**, naslova

### **Mogućnost klasifikacije vode iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora**

U ovom radu istraživane su koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u uzorcima vode iz melioracijskih kanala u Sisačko-moslavačkoj županiji u razdoblju od 15. 12. 2021. do 19. 06. 2022. godine. Cilj rada bio je utvrditi prikladnost koncentracije dušika i fosfora kao samostalnog pokazatelja za klasifikaciju voda u svrhu donošenja odluka o održivom gospodarenju vodama iz melioracijskih kanala. Rezultati upućuju da se voda iz kanala koja sadrži niske koncentracije dušika i fosfora može klasificirati kao voda s mogućnošću upotrebe u poljoprivredi uz zadovoljavajuće ostale parametre kakvoće vode, ali u ovom slučaju koncentracije dušika i fosfora nisu dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode. S druge strane, voda iz kanala koja sadrži visoke koncentracije dušika i fosfora može se klasificirati kao voda koja nema mogućnost izravne upotrebe u poljoprivredi ili s ograničenom mogućnošću upotrebe uz primjenu tretmana pročišćavanja vode te u ovom slučaju koncentracije dušika i fosfora mogu biti dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode za donošenje odluke o njezinu korištenju.

**Ključne riječi:** hranjiva, klasifikacija voda, melioracijski kanali, otpadne vode u poljoprivredi

## Summary

Of the master's thesis – student **Mirna Avdić**, entitled

### **The possibility of classifying water from open drainage systems according to nitrogen and phosphorus concentrations**

In this Thesis, nitrate, ammonium, and orthophosphate concentrations in water samples from open drainage systems located at Sisak-Moslavina County were investigated from December 15, 2021, to June 19, 2022. The aim of the work was to determine suitability of nitrogen and phosphorus concentrations as stand-alone quality indicators of water in open drainage systems with the aim of water classification and making decisions about sustainable management. Results indicate that water from open drainage systems containing low nitrogen and phosphorus concentrations can be classified as water with the possibility of use in agriculture if other water quality parameters are also at acceptable levels, meaning that in this case, nitrogen and phosphorus concentrations cannot be used as stand-alone water quality indicators. On the other hand, water from open drainage systems containing high nitrogen and phosphorus concentrations can be classified as water which cannot be used in agriculture without previous application of wastewater treatments, but in this case, nitrogen and phosphorus concentrations can be used as stand-alone quality indicators of water in open drainage systems.

**Keywords:** nutrients, water classification, open drainage systems, wastewater in agriculture

## 1. Uvod

Povijest ljudske civilizacije isprepletena je s baštinom načina na koji su ljudi naučili manipulirati i koristiti svježu vodu. Prvi poljoprivrednici ovisili su o prirodnim oborinama i otjecanjima, a kako se inženjersko područje sve više razvijalo, tako su se razvijale i brane i kanali za navodnjavanje čiji je cilj bio veći prinos kultura i produžena sezona rasta kultura. Urbanizacija je zahtijevala razvoj sofisticiranih cjevovoda i akvadukata za distribuciju vode do korisnika te inovativnih sustava za uklanjanje otpada od kojih su neki postavljeni prije više tisuća godina. Stoga, proizvodnja hrane koja zadovoljava potrebe ljudi uvelike ovisi o sustavima umjetnog navodnjavanja (Gleick 2003.).

Za vodu možemo reći da je najvažniji resurs na Zemlji. Nju koristimo u svakodnevnim aktivnostima i prijeko potrebna nam je za život. Zbog svoje važnosti, upravo je voda predmet istraživanja mnogih znanstvenih radova (Chaplin 2001.). Pristup sigurnoj pitkoj vodi je međunarodno priznato ljudsko pravo koje proizlazi iz prava na odgovarajući životni standard. U zadnjih nekoliko desetaka godina voda je postala najizloženiji resurs zbog velikog broja antropogenih utjecaja (biološka i kemijska onečišćenja i neodrživa primjena vode). Mnoge su zemlje zbog prevelikog iskorištavanja vodonosnika ostale bez rezerve svježe vode, a kako bi se namirile potrebe za vodom mnoge zemlje primjenjuju tehnologije desalinizacije. Sve veću zabrinutost ukazuje činjenica kako se sve češće onečišćuju lako dostupni resursi vode o kojima direktno ovisimo, a koji su isto tako važni za agroekosustav zbog sve veće proizvodnje hrane (Ondrašek i sur. 2015.).

Agroekosustav je složena zajednica biotskih i abiotskih faktora. Glavni cilj agroekosustava je proizvodnja hrane biljnog ili životinjskog porijekla. Sama proizvodnja hrane iziskuje velike količine vode. Zbog svega navedenog, gospodarenje vodom u agroekosustavima od velike je važnosti za stabilnu i sigurnu proizvodnju hrane (Ondrašek i sur. 2015.). Poljoprivreda može imati negativan utjecaj na okoliš što se prvenstveno odnosi na onečišćenje tla i voda te pridonosenje globalnom zagrijavanju zbog emisije stakleničkih plinova. Zbog sve veće potrebe za hranom šire se proizvodne poljoprivredne površine, koristi se sve veći broj pesticida, a posljedično tomu dolazi do onečišćenja okoliša (Voća 2012.). Utjecaj poljoprivrede na onečišćenja vode i tla ima izravan i neizravan učinak na tehnološka, proizvodna, tržišna i ostala područja u kontekstu proizvodnje zdravstveno ispravne hrane, zaštite tla te površinskih i podzemnih voda. Mnogobrojne poljoprivredne prakse imaju negativan učinak na kakvoću i količinu dostupne vode. Tu ubrajamo gnojidbu mineralnim i organskim gnojivima i primjenu sredstava za zaštitu bilja (Grgić 2014.). Onečišćenja voda u poljoprivredi događaju se uglavnom zbog pretjerane i nestručne primjene dušičnih i fosfornih gnojiva, sredstava za zaštitu te povećanih koncentracija metala (Petošić i sur. 2011.).

Održivo gospodarenje otpadom u poljoprivredi uključuje i gospodarenje otpadnim vodama iz poljoprivrede, uključujući vodu u melioracijskim kanalima. Idealan sustav održivog gospodarenja vodom u poljoprivredi bio bi onaj u kojemu bi voda stalno kružila, primjerice sustav u kojemu se za navodnjavanje poljoprivrednih kultura koristi voda iz melioracijskih kanala u koje je prikupljena procjeđivanjem kroz horizonte tla te površinskim otjecanjem

ukoliko je prisutno. Međutim, mogućnost ponovnog korištenja vode u kanalima uvjetovana je njezinom kakvoćom, odnosno opterećenjem agrokemikalijama, osobito hranjivima. Stoga je hipoteza ovoga rada da koncentracije dušika i fosfora u vodi u kanalima mogu biti dobri inicijalni pokazatelji radi li se samo o slivnoj i procjednoj vodi s poljoprivredne površine s mogućnošću njezina ponovnog korištenja (primjerice za navodnjavanje), ili o otpadnoj vodi iz poljoprivrede za koju su prije ponovne upotrebe potrebni zahtjevniji tretmani pročišćavanja.

## **1.1. Cilj rada**

Cilj rada je utvrditi prikladnost koncentracije dušika i fosfora kao samostalnog pokazatelja za klasifikaciju voda u svrhu donošenja odluka o održivom gospodarenju vodama iz melioracijskih kanala.

## 2. Pregled literature

### 2.1. Podjela voda u prirodi

Vode prema nastanku dijelimo na površinske, podzemne i oborinske (atmosferske). Također, vodu možemo dijeliti prema kakvoći, što je kriterij za njezinu upotrebljivost, pa tako imamo vodu za piće, tehnološku vodu, rashladnu vodu i otpadnu vodu (Novotni 2019.).

Atmosferske ili oborinske vode rezultat su svih padalina koje dopijevaju na zemlju (snijeg, kiša, tuča). Voda dospjela kroz atmosferu sadrži mnogobrojne nečistoće (aerosoli, mikroorganizmi, prašina, krute čestice). U područjima s razvijenom industrijom dolazi do onečišćenja atmosferskih voda radi ispušnih plinova vozila i ispuštanja tvorničkih plinova. Zbog toga se stvaraju vrlo velike količine ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) koji ima negativan utjecaj na vode, kao i ekosustav u kojem se nalazi (Tušar 2009.). Sastav oborinskih voda ovisi o mjestu padanja jer ove vode prolaskom kroz atmosferu otapaju plinove i zagađuju se čađom i prašinom iz atmosfere. Ove vode mogu se koristiti za piće, one su zdravstveno ispravne, ali nemaju okus jer ne sadrže otopljene minerale. U područjima s većim količinama oborina, vode se prikupljaju na posebnim površinama i koriste se u različite svrhe. Takva atmosferska voda poznata je pod imenom kišnica (Štrkalj 2014.).

Površinske vode možemo podijeliti na tekućice (slika 2.1.1.) i stajaćice (slika 2.1.2.), kao i na slanu ili morsku te slatku ili kontinentalnu vodu. U slatke vode spadaju rijeke, jezera, ribnjaci, akumulacije, potoci i dr. (Tušar 2009.). Površinske vode nastaju iz atmosferskih voda i voda koje se sliju s površine u tlo. U odnosu na atmosferske vode, površinske vode imaju bolji okus, jer su u stalnom dodiru s tlom pri čemu dolazi do otapanja djela mineralnih tvari (Štrkalj 2014.). Kao što je ranije navedeno, ova je voda u stalnom doticaju s tlom i može doći do otapanja djela mineralnih tvari pa stoga ove vode mogu biti onečišćene. Površinske vode mogu sadržavati potencijalno toksične tvari (metali, povećane koncentracije hranjivih soli – dušičnih i fosfornih). Autopurifikacija ili samočišćenje je proces karakterističan za površinske vode (Tušar 2009.), a prvenstveno opisuje onečišćenje vode organskim tvarima kada u vodi dolazi do razvitka velikog broja bakterija i ostalih mikroorganizama koji u aerobnim ili anaerobnim uvjetima provode mineralizaciju organske tvari (Štrkalj 2014.).

Podzemne vode su vode koje se nalaze ispod površine zemlje, a nastale su od površinskih i oborinskih voda, odnosno nastaju kondenzacijom vodene pare u zemlji, oborinama, vode koje poniru s površina. Kvaliteta podzemnih voda ponajviše ovisi o tome koliko su stijene kroz koje voda prolazi topive te o fizikalno – kemijskom sastavu stijena (Tušar 2009.). Prema načinu kretanja mogu se podijeliti na: vode temeljnice i pukotinske kraške vode (Štrkalj 2014.).

Vode temeljnice miruju ili se veoma sporo kreću kroz sitnozrnati materijal. Nalaze se na velikim dubinama u takozvanim vodonosnim slojevima. Ti slojevi nalaze se na nepropusnim slojevima koji su sastavljeni od lapora, gline, ilovače ili njihove smjese. Vode temeljnice još se mogu podijeliti na: arteške, mineralne i ljekovite vode (Štrkalj 2014.).

Pukotinske kraške vode u tlo ulaze preko pukotina u kamenju. Kreću se znatno brže od voda temeljnica. Zbog velike brzine protjecanja nema mogućnosti biološkog pročišćavanja ovog tipa voda. Prema karakteristikama i kakvoći, površinske kraške vode najbližnje su površinskim vodama (Štrkalj 2014.).



Slika 2.1.1. Rijeka Odra  
Fotografirala: Mirna Avdić, 2020.



Slika 2.1.2. More, Cabo da Roca  
Fotografirala: Mirna Avdić, 2022.

### 2.1.1. Kruženje vode u prirodi

Hidrološki ciklus ili recirkulacija vode (slika 2.1.1.1.) je važan proces koji osigurava održavanje života (Gereš 2004.). To je prirodna pojava u kojoj se voda, prije svega zbog svoje specifične kemijske strukture i fizikalnih svojstava, pretvara iz jednog stanja u drugo (čvrsto-tekuće- plinovito), odnosno izmjenjuje se između Zemljine vodene i kopnene površine i nižih slojeva atmosfere. Najvažnije komponente ciklusa su oborine, otjecanje (koje može biti površinsko i podzemno), infiltracija i transpiracija (evapotranspiracija). Svježa, nezaslanjena voda, koja je limitirani resurs, prirodno se revitalizira najčešće oborinama i nešto manjim dijelom, otapanjem ledenjaka i snijega (Ondrašek i sur. 2015.).

Recirkulacija vode prikazuje putovanje vode s površine Zemlje u atmosferu i natrag (Gereš 2004.). Sunčeva toplina dovodi do isparavanja vode. Djelovanjem različitih promjena, kao što su promjene temperature ili tlaka, vlaga se kondenzira i vraća na zemlju u vidu kiše, tuče, snijega i sl. Oko 70 % od prosječne količine oborina isparava, preostali dio se javlja kao tekuća voda na ili ispod površine zemlje. Dio vode može isparavati u zraku između oblaka i kopna. Ostali gubici prezentirani su kroz direktno isparavanje s vlažnih staništa i transpiraciju kroz biljke. Skoro 30 % vode koja se ne vraća direktno u atmosferu čini otjecanje i jamči potencijalnu raspoloživu slatku vodu (Žic i Vasović 2019.).



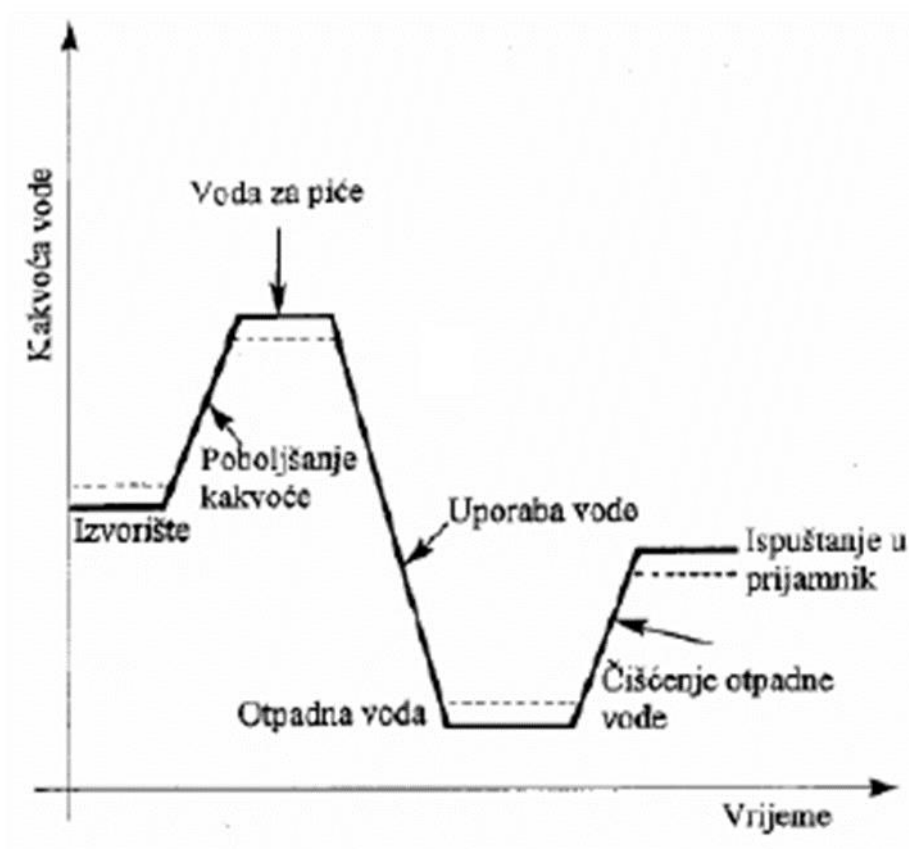
Slika 2.1.1.1. Hidrološki ciklus

Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki\\_ciklus](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus) (pristup 20.07.2022.)

## 2.2. Otpadne vode

Pod otpadnom vodom se općenito podrazumijeva ona voda koja je već korištena u određene svrhe pri čemu su značajno promijenjena njezina fizikalna, kemijska ili biološka svojstva (slika 2.2.1.).

U otpadne vode spadaju onečišćene sanitarne ili kućanske otpadne vode, industrijske ili tehnološke otpadne vode kod kojih postoji mogućnost prisutnosti nepoželjnih i opasnih tvari te zbog toga nisu poželjne za ponovno korištenje te oborinske i procjedne otpadne vode u koje se ubrajaju otpadne vode u poljoprivrednim melioracijskim kanalima (Tušar 2009.). Voda se u praksi okarakterizira kao onečišćena ako je količina otpadnih tvari u njoj veća od propisane državnim standardom o kvaliteti vode (Štrkalj 2014.).



Slika 2.2.1. Prikaz promjene kakvoće vode uporabom



### 2.2.1. Sanitarne ili kućanske otpadne vode

Prema Zakonu o vodama (NN 66/2019), sanitarne otpadne vode su vode koje se nakon primjene ispuštaju iz stambenih i uslužnih objekata, a koje potječu iz ljudskog metabolizma i aktivnosti kućanstva. Ove vode sadrže organske tvari koje služe kao hrana mikroorganizmima što znači da se onečišćenja mogu ukloniti pomoću mikroorganizama (biorazgradnja) (Štrkalj 2014.). No, biorazgradivost zahtjeva znatne količine kisika kako bi došlo do biološke razgradnje organske tvari u vodi zato što mikroorganizmi koriste organsku tvar kao hranu pri čemu se troši kisik.

Sanitarne otpadne vode prema stupnju biološke razgradnje možemo kategorizirati u tri skupine:

1. Svježa voda je voda čija je koncentracija otopljenog kisika gotovo identična onoj u vodovodnoj vodi,
2. Odstajala voda je voda u kojoj je tijekom biološke razgradnje potrošen sav kisik i
3. Trula voda je voda u kojoj je biorazgradnja uznapredovala i odvija su u anaerobnim uvjetima (Štrkalj 2014.).

### 2.2.2. Industrijske ili tehnološke otpadne vode

Prema zakonu o vodama (NN 66/2019), industrijske otpadne vode su vode koje se ispuštaju iz prostora korištenih za obavljanje trgovine ili industrijske djelatnosti. Stupanj njihova onečišćenja može biti nekoliko stotina puta veći od sanitarnih otpadnih voda, to ovisi o vrsti industrije i količini otpadnih voda koje se proizvode (Povrenović i Knežević 2013.).

Prema Tušar (2009.), industrijske otpadne vode mogu se podijeliti u dvije kategorije:

1. Kompatibilne industrijske ili tehnološke otpadne vode su biološki razgradive otpadne vode koje se mogu miješati i kretati istim sustavima sa sanitarnim otpadnim vodama i
2. Nekompatibilne industrijske ili tehnološke otpadne vode, drugog naziva biološki nerazgradive otpadne vode. One se moraju pročistiti na mjestu nastanka, a prije miješanja s otpadnim gradskim vodama. Proces pročišćavanja je važan jer se njime uklanjaju mnogobrojne štetne, korozivne i zapaljive tvari te se kontroliraju koncentracije potencijalno toksičnih tvari koje mogu dovesti do inhibicije biološke razgradnje.

### 2.2.3. Oborinske otpadne vode

Prema Zakonu o vodama (NN 66/2019), oborinske otpadne vode (slika 2.2.3.1.) su vode koje nastaju ispiranjem oborina s prometnih i drugih površina, postupno otapajući onečišćenja s površina. Nastaju zbog direktnog kontakta oborina s površinom tla, krovovima objekata i nižim slojevima atmosfere. Primjer oborinskih otpadnih voda su kisele kiše koje obuhvaćaju

sve vrste oborina koje imaju nižu pH vrijednost od očekivane iz prirodnih izvora (pH oko 5) (Tušar 2009.).



Slika 2.2.3.1. Oborinske otpadne vode

Izvor: <https://emedijimurje.net.hr/vijesti/drustvo/3096017/kisa-i-oborinske-vode-prouzrocile-poplave-u-murskom-srediscu/> (pristup 17.07.2022.)

#### 2.2.4. Procjedne otpadne vode

U procjedne otpadne vode spadaju uglavnom čiste vode koje su filtrirane procjeđivanjem kroz horizonte tla do podzemne vode. Kakvoća ove vode ovisi o kvaliteti tla kroz koje se ova voda procjeđuje. Ovo je važno sa stajališta poljoprivredne proizvodnje gdje se poljoprivredna praksa odražava na kvalitetu poljoprivrednih tala, a samim time i na kakvoću procjedne vode. Odnosno, ako je došlo do onečišćenja poljoprivredne površine, uglavnom zbog nestručne i nepravovremene primjene gnojiva i sredstava za zaštitu bilja, dolazi do onečišćenja procjedne vode i ta voda spada u otpadne vode iz poljoprivrede (Matan 2022.).

Tu spadaju otpadne vode iz melioracijskih kanala koje su nastale procjeđivanjem kroz profil tla drenažnim sustavima. U melioracijskim se kanalima još nalazi slivna voda. Kako se ona slijeva niz poljoprivredne površine ima slične karakteristike kao i procjedna voda. Koncentracije onečišćujućih tvari u slivnoj vodi s poljoprivrednih površina su osjetno veće od koncentracije istih tvari u procjednoj vodi istog područja jer kod slijevanja ne dolazi do njezine filtracije kroz horizonte tla (Matan 2022.).

## 2.3. Pročišćavanje otpadnih voda

Pročišćavanje otpadne vode je postupak redukcije onečišćenja vode do one razine pri kojoj pročišćene otpadne vode ispuštene u prijemnike ne predstavljaju opasnost za zdravlje i život ljudi kao ni za okoliš. Otpadne vode prije ispuštanja u okoliš moraju proći višestruke postupke pročišćavanja kako bi se odstranila sva onečišćenja (Jendričko 2015.).

Postoji nekoliko vrsta uređaja za obradu otpadnih voda (uređaji za pročišćavanje komunalnih, industrijskih i drugih otpadnih voda). Koji tip uređaja se koristi ovisi o podrijetlu, vrsti i sastavu otpadnih voda. Uređaji za pročišćavanje sastoje se od dvije linije: linija otpadne vode i linija mulja (Klemar 2018.). Procesi pročišćavanja voda sastoje se od pet koraka: prethodna obrada (fizikalni procesi), primarna obrada (fizikalno-kemijski i kemijski procesi), sekundarna obrada (kemijski i biološki procesi), tercijarna obrada (fizikalni i kemijski procesi) i obrada nastalog mulja (Crini i Lichtfouse 2018.). Za svaki pojedini stupanj prerade vode sugeriraju se određeni objekti te glavna i dopunska oprema (Klemar 2018.).

### 2.3.1. Fizikalni procesi pročišćavanja otpadnih voda

U fizikalne procese pročišćavanja otpadnih voda spadaju procesi: rešetanja, egalizacije, miješanja, sedimentacije, flotacije, filtriranja i adsorpcije. Rešetanje je glavni i najlakši postupak razdvajanja plutajućih čestica, a provodi se kako bi se zaštitila oprema za pročišćavanje (Klemar 2018.). Sljedeći fizikalni postupak je egalizacija ili izjednačavanje. Ovaj postupak služi za zadržavanje otpadnih voda u spremniku kako bi se izjednačila osnovna svojstva vode radi fizikalnih, bioloških i kemijskih promjena tijekom zadržavanja. Taloženje se koristi za razdvajanje pijeska i drugih krupnih čestica. Taloženje se koristi kako bi se zaštitili svi dijelovi uređaja od abrazije (Markeš 2018.). Flotacija je postupak u kojem se tvari u vodi odvajaju izdizanjem na površinu i zatim se uklanjaju. Razlikujemo prirodnu i umjetnu flotaciju. Kod prirodne flotacije čestice koje imaju manju gustoću od vode izdižu se na površinu, a umjetna flotacija se vrši pomoću raspršenog zraka na koji se vežu tvari koje imaju veću gustoću od vode (Tušar 2009.).

### 2.3.2. Biološki procesi pročišćavanja otpadnih voda

Biološko pročišćavanje otpadnih voda temelji se na razgradnji organskih tvari pod utjecajem mikroorganizama (Klemar 2018.). Jedan od osnovnih ciljeva biološkog pročišćavanja je transformacija ili uklanjanje hranjivih tvari poput dušika i fosfora (Tchobanoglous i sur. 2003.). Biološko uklanjanje dušika može se podijeliti u dvije kategorije: aerobni i anaerobni procesi (Klemar 2018.). Aerobna razgradnja je biokemijski postupak u kojem se odvija razgradnja organske tvari pomoću aktivnog mulja uz prisustvo kisika. Mikroorganizmi se miješaju s vodom u otopinu s aerobnim uvjetima. Mikroorganizmi razgrađuju organske tvari te odlaze u taložnik gdje dolazi do taloženja krute tvari. Dio istaloženog mulja se odlaže kao

otpad, a dio vraća u postupak kako bi se zadržala dovoljna koncentracija mikroorganizama (Višić i sur. 2015.). Anaerobna razgradnja je biokemijski proces bez prisustva kisika. O ovom se procesu razgradnja odvija kroz tri faze: hidroliza, kiselo i bakterijsko metansko vrenje. Hidrolitičke bakterije razgrađuju nerazgrađene organske tvari. Zatim acetogene i acidogene bakterije razgrađuju organske tvari u alkohol, CO<sub>2</sub> i vodu. Metanogene bakterije pretvaraju produkte kiselinskog vrenja u bioplin (Višić i sur. 2015.). Nitrifikacija je proces oksidacije koji se odvija u dva koraka pomoću autotrofnih aerobnih mikroorganizama: amonijak se prvo pretvara u nitrit, a zatim u nitrat. Težnja za nitrifikacijom proizlazi zbog njegovog učinka na koncentraciju otopljenog kisika i kontrolu eutrofikacije (Timeco 2008.). Denitrifikacija je biološki postupak redukcije nitrata u dušik i druge plinovite produkte djelovanjem heterotrofnih anaerobnih bakterija (Tchobanoglous i sur. 2003.). Sekundarna biološka obrada fosfora uvelike se oslanja na filtraciju kapanjem i proces aktivnog mulja. Iako je obrada s aktivnim muljem uvelike zamijenila kapajuću filtraciju, zbog izvrsnog uklanjanja organske tvari, do 50% sekundarnih obrada još uključuje kapajuću filtraciju. Uočeno je da je uklanjanje fosfora u kapajućim filtrima oko 30%, iako je Ademoroti (1983.) pronašao smanjenje fosfora od svega 6% nakon filtracije. Ako se ove metode koriste zajedno, kemijska obrada i kapajuća filtracija mogu postići uklanjanje fosfora veće od 90% (Yeoman i sur. 1988.). Phoredox proces omogućuje paralelno uklanjanje dušika i fosfora. Otpadne vode se uzastopno pročišćavaju u anaerobnom, anoksičnom i aerobnom reaktoru. U finalnom koraku mulj se odvaja od pročišćene otpadne vode u taložniku i reciklira u anaerobni reaktor (Blacoh 2015.).

### 2.3.3. Fizikalno-kemijski procesi pročišćavanja otpadnih voda

U fizikalno-kemijske procese pročišćavanja otpadnih voda ubrajamo: neutralizaciju, koagulaciju, flokulaciju, oksidaciju i redukciju, dezinfekciju, ionsku izmjenu i membranske procese (Štrkalj 2014.). Dezinfekcija se definira kao postupak koji se provodi radi smanjenja broja mikroorganizama koji su potencijalno opasni za zdravlje ljudi. Drugim riječima, dezinfekcijom se osigurava zdravstvena ispravnost vode. Postupak dezinfekcije se prema mehanizmu djelovanja mogu podijeliti na metode: s fizikalnim djelovanjem (toplina), s kemijskim sredstvima (klor, brom, ozon), zračenjem i membranskom tehnologijom (Štrkalj 2014.). Koagulacija ili zgrušavanje je postupak u kojem se kontrolira ravnoteža koloidnih otopina koje su nastale ionizacijom. Ioni reagensa reagiraju s električno nabijenim koloidima te se tim postupkom poništava negativni naboj koloida i dovodi do kreiranja pahulja koje se lako mogu izdvojiti iz voda postupcima taloženja, cijeđenja i isplivavanja (Tušar 2009.). Flokulacija ili pahuljičenje je postupak gdje se raspršene tvari u vodama sporo miješaju i spajaju u velike pahulje koje se radi velike gustoće dalje talože (Tušar 2009.). Glavna namjena ovog postupka je bistrenje vode, odstranjivanje algi iz efluenta oksidacijskih laguna i u biološkom pročišćavanju otpadnih voda. Flotacija je postupak odstranjivanja suspendiranih tvari dizanjem na površinu uz pomoć mjehurića. Ovaj proces je dobar za čestice niže gustoće od gustoće vode (Višić i sur. 2015.).

## 2.4. Biološki procesi značajni za otpadne vode

Vodni sustavi akumulacija su vode koje služe za vodoopskrbu naselja, ali istovremeno služi kao prijamnik otpadne vode iz naselja. Otpadna tvar unesena u vodni sustav sklona je mnogobrojnim fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima. Njihov intenzitet ovisi o raznim čimbenicima, prije svega o vremenu i temperaturi, kao i o mnogim drugim čimbenicima koji dovode do uspostave dinamičke ravnoteže u vodnom sustavu (Tušar 2009.).

Otpadna tvar koja dolazi u vodni sustav može se podijeliti u dvije grupe: nekontrolirane veličine ili raspršene izvore i kontrolirane veličine ili točkaste izvore (Tušar 2009.). Indikatori onečišćenja voda iz točkastih izvora baziraju se na procjeni onečišćenja od strane stanovnika koji su priključeni na sustave javne odvodnje i onečišćenja od strane gospodarskih subjekata koji imaju dozvolu za ispuštanje otpadnih voda. Onečišćenje koje stvara stanovništvo motri se pomoću indikatora onečišćenja organskim tvarima (BPK5, KPK) i hranjivim tvarima (ukupni N i P) (Grizelj Šimić 2016.). Dovođenjem većih koncentracija otpadnih voda u poluzatvorene i zatvorene vodene sustave, značajno se povećava koncentracija hranjivih tvari (N i P), kao i primarna produkcija na koju se nadovezuje potrošnja, što dovodi do eutrofnog stanja vodnog sustava (Tušar 2009.). Procjena onečišćenja iz raspršenih izvora je kompleksan proces zato što se najčešće ne mogu u cijelosti objasniti svi postupci u slivu i točno determinirati što iz kojeg raspršenog izvora dopijeva u vodni sustav (Grizelj Šimić 2016.).

### 2.4.1. Potrošnja kisika u vodnom sustavu

Kisik u vodi se stvara otapanjem iz atmosfere i fotosintezom. Kisik se počinje otapati u vodi kada u nju dođe zrak, odnosno, kontaktom površine vode i zraka, i otapa se sve do točke zasićenja. Koncentracija kisika otopljenog u vodi ovisi o temperaturi vode, atmosferskom tlaku i solima otopljenim u vodi. Kisik je važan element za mnogobrojne vodene organizme. Zato se za evaluaciju stanja vode mjeri koncentracija kisika koji se otapa pri određenoj temperaturi i izračunava se postotak zasićenosti kisikom u odnosu na najveću moguću koncentraciju kisika za određenu temperaturu i atmosferski tlak. U slučaju da je atmosferski tlak stalan, zasićenje pri određenoj temperaturi iznosi 100 % (Tušar 2009.). Vrijednosti manje od 100-postotnog zasićenja kisikom mogu biti uzrokovane slabijim prozračivanjem nižih slojeva vode. To se događa ako je razgradnja organske tvari u vodi povećana. Također, može se dogoditi i da zasićenje kisikom bude veće od 100 %. Ta je pojava poznata pod pojmom supersaturacija vode kisikom, a javlja se kada su procesi fotosinteze intenzivni (Tušar 2009.). Mikroorganizmi koji žive u ekosustavu svojim disanjem i razlaganjem organske tvari uzrokuju potrošnju otopljenog kisika. Kada mikroorganizmi svojom aktivnošću potroše kisik, dolazi do potrebe za njegovom obnovom. Taj se postupak zove reaeracija ili postupak obnavljanja kisika. Stupanj reaeracije zavisi o nedostatku kisika otopljenog u vodi. Što je veći sadržaj otopljenog kisika u vodi to je obnavljanje kisika sporije (Tušar 2009.). Čimbenici koji utječu na količinu otopljenog kisika u vodi su: temperatura vode i količina otopljenih soli u vodi. Do smanjenja reaeracije može doći ako se na površini vode nalaze plivajući materijali (ulja, masnoće) koji stvaraju film koji

onemogućava adsorpciju. Na mjestu ispusta otpadne vode dolazi do aerobne razgradnje organske tvari. Dolazi do smanjenja otopljenog kisika, a njegovo smanjenje ovisi o sastavu i količini otpadne tvari, temperaturi vode i aktivnosti mikroorganizama razlagača. Deficit kisika može iznositi 100 posto. Tada se broj živih organizama smanjuje, ostaju samo anaerobne bakterije i protozoe. Kod anaerobne razgradnje razvija se neugodan miris (Tušar 2009.). Postotak zasićenja kisikom jedan je od glavnih kriterija za ocjenjivanje stanja ekosustava. Kada se vrši procjena potrebe za pročišćavanjem otpadnih voda, treba prognozirati što će se desiti s vodnim sustavom kada se u njega ispuste otpadne vode, odnosno koliko će iznositi deficit kisika, hoće li doći do smanjenja koncentracije kisika ispod granice koje se još mogu podnijeti u zadanim prilikama (Tušar 2009.).

Biokemijska potrošnja kisika (BPK5) je najčešći faktor koji se primjenjuje za utvrđivanje organskog onečišćenja prirodnih i otpadnih voda (Perić i sur. 2012.), kao i za uspješnost rada sustava za pročišćavanje vode. Ona označava količinu kisika koja se u određenom periodu potroši na razgradnju organske tvari pomoću mikroorganizama. Za vodni je ekosustav važan odnos kisika i organskog opterećenja, a osnovni faktori i procesi koji imaju utjecaj na taj odnos su idući: Sunčeva energija, dotok otpadne vode (točkasti izvor), dotok površinske vode (raspršeni izvor), hranjive soli (N i P), vodeni organizmi, nitrifikacija i denitrifikacija, fotosinteza i mnogi drugi (Tušar 2009.).

#### 2.4.2. Eutrofikacija

Izraz eutrofikacija (slika 2.4.2.1. i 2.4.2.2.) odnosi se na prirodno i umjetno dodavanje hranjivih tvari u vodna tijela i na učinak koji te hranjive tvari imaju na kvalitetu vode. Karakteristika eutrofikacije je prekomjerni rast algi (Shen i sur. 2012.). Javljanje eutrofikacije u vodnim tijelima je izrazito nepoželjno jer sam proces ima nepovratni karakter (Tušar 2009.). Istraživanja su pokazala kako je oko 50 % svih jezera i akumulacija na svim kontinentima osim Afrike i Oceanije eutrofnog stanja (Sengupta i Pandit 2011.). Do eutrofnog stanja voda dolazi kada se velike količine otpadnih voda iz industrijskih pogona, naselja i poljoprivrednih površina ispušta u poluzatvorene i zatvorene vodene sustave, poput akumulacija, jezera, morskih zaljeva, kanala i dr. te dolazi do povećanja količine hranjivih soli u ekosustavu. Posljedično tome se povećava proizvodnja organske tvari, prvenstveno fitoplanktona (Jendričko 2015.). Antropogenim djelovanjem povećavaju se izvori biogenih elemenata pa je samim time eutrofikacija ubrzana. Biogeni elementi dospijevaju u vodu ispuštanjem otpadnih voda iz naselja, industrijskih pogona, poljoprivrednih površina na kojima se koriste enormne količine mineralnih gnojiva i dr. Utjecajem biogenih soli procesi su intenzivniji i odvijaju se po vertikali na cijeloj dubini i na dnu vodenog sloja. Fitoplankton i zooplankton se nekontrolirano razmnožava i pri uginuću uzrokuje velike količine organske tvari koja je sklona razgradnji i truljenju (Jendričko 2015.). Zbog povećanja primarne proizvodnje, voda postaje onečišćena i mutna, smanjena je dubina prodiranja svjetlosti, sekundarni proizvođači razvijaju se sporije

nego primarni, javlja se manjak potrošnje pa veliki broj fitoplanktona ugiba i taloži se na dnu. Na dnu dolazi do razgradnje mrtve organske tvari. Posljedično tome javlja se povećanje potrošnje kisika sve do anaerobne razgradnje. U tom procesu stvaraju se plinovi i mulj (Tušar 2009.). Kada dođe do eutrofikacije, osjetljive zajednice odlaze iz ekosustava, a u njemu ostaju neke manje osjetljive vrste kojima hranjiva dopijevaju u obliku stalnog dotoka. To vrijedi za sve autotrofne sustave gdje primarni proizvođač, prvenstveno alge rastu neproporcionalno u odnosu na rast potrošača (Tušar 2009.).



Slika 2.4.2.1. Eutrofikacija kanala Ljubljana

Izvor: Mirna Avdić, 2022.



Slika 2.4.2.2. Eutrofikacija rijeke Tajo, Lisabon

Izvor: Mirna Avdić, 2022.

## 2.5. Gospodarenje otpadom

Otkako postoji život na Zemlji, postoji i otpad. Konstantnim povećanjem stanovništva uz industrijalizaciju i tehnološki napredak dolazi do pretjeranog iskorištavanja prirodnih izvora sirovina i energenata što dovodi do sve veće količine otpada nerijetko nepoznatog sastava te emisije plinova koji se ispuštaju u okoliš i tako ga ugrožavaju (Tušar 1992.).

Otpad se definira kao tvar koju vlasnik želi ili mora zbrinuti ili čija je obrada regulirana posebnim propisima. Da bi se otpadne tvari mogle adekvatnim postupcima preraditi i kao neopasne vratiti u prirodni ciklus kruženja, potrebno je odrediti vrstu i sastav otpada prema porijeklu njegova nastanka.

Otpad može biti kruti, tekući ili plinoviti, međutim upravo je najraširenija podjela otpada ona s obzirom na porijeklo njegova nastanka jer takva podjela ujedno daje i informaciju o tomu kakvo potencijalno onečišćenje može predstavljati otpad u okolišu:

- komunalni otpad,
- industrijski otpad,
- bolnički otpad,
- kanalizacijski mulj,
- pepeo iz spalionica otpada te
- ostali otpad (Tušar 1992.).

Problemi onečišćenja glavnih ekosustava (zrak, voda i tlo) otpadom mogu se interpretirati kao posljedica sljedećih uzroka:

- Zbog eksponencijalnog porasta broja stanovnika dolazi do povećane potrebe za hranom što se može postići intenzivnom poljoprivredom uz primjenu velikih količina mineralnih gnojiva i sredstava za zaštitu bilja. Samim time raste i potreba za energijom koja se dobiva iz različitih izvora pa se u okoliš ispušta sve više otpadnih tvari i topline. Vodni sustavi su također ugroženi ispiranjem atmosfere oborinama i procjeđivanjem kroz odlagališta pri čemu dolazi do ugroze vodnih sustava, posebice podzemnih voda koje su namijenjene vodoopskrbi stanovništva,
- Razvojem industrije i unaprjeđivanjem tehnoloških procesa, odnosno industrijskim razvojem podignut je životni standard stanovništva na veću razinu, ali isto tako je prouzročio velike količine različitog otpada.
- Također, dugo vremena se malo pažnje posvećivalo mjestima gdje se odlaže otpad. Odlagališta su bila smještena van gradova, ali njihovim postupnim širenjem, odlagališta su se našla unutar gradova i naselja. Odlagališta još uvijek emitiraju u okoliš cijeli spektar štetnih tvari (Tušar 1992.).

Gospodarenje otpadom je zbir djelatnosti, odluka i mjera koje su usmjerene na:

- Prevenciju stvaranja otpada, reduciranje količine otpada i njegovog negativnog učinka na okoliš,



- Obavljanje skupljanja, transporta, oporabe (postupka uporabe otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale), zbrinjavanja i ostalih djelatnosti vezanih uz otpad, kao i nadzor nad obavljanjem ovih djelatnosti,
- Odgovarajuću skrb za odlagališta koja više nisu u funkciji (FZOEU 2022.).

Gospodarenje otpadom mora se obavljati na način da se u opasnost ne dovodi ljudsko zdravlje i bez primjene postupaka i načina koji bi mogli imati negativan utjecaj na okoliš, a posebno kako bi se izbjegao rizik od:

- onečišćenja mora, vode, tla i zraka,
- pojave buke i neugodnih mirisa,
- narušavanja flore i faune,
- negativnog učinka na prirodne i druge vrijednosti te
- nastanka eksplozije ili požara (FZOEU 2022.).

Prema članku 70. Ustavnog prava Republike Hrvatske (2010.), svatko ima pravo na zdrav život, država mora osigurati uvjete za zdrav okoliš i svatko je dužan, u sklopu svojih ovlasti i djelatnosti, naročitu skrb posvetiti zaštiti zdravlja ljudi, prirode i ljudskog okoliša.

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj temelji se na prihvaćanju određenih načela zaštite okoliša propisanih zakonom kojim se uređuje zaštita okoliša i pravnim odrednicama EU, načelima međunarodnog prava zaštite okoliša i dr. (Zorica 2018.).

Najznačajnija načela gospodarenja otpadom u RH uređena su i usvojena temeljem sljedećih odrednica:

1. Načelo onečišćivač plaća – proizvođač, odnosno vlasnik otpada treba snositi troškove mjera gospodarenja otpadom i financijski je odgovoran za provođenje mjera zaštite od šteta koju je uzrokovao ili može uzrokovati otpad,
2. Načelo blizine – prerada, odnosno obrada otpada se mora odvijati na najbližem adekvatnom mjestu (bilo da je riječ o građevini ili uređaju) s obzirom na mjesto nastanka,
3. Načelo samodostatnosti – gospodarenje otpadom mora se odvijati na racionalan način, uz osiguravanje ostvarivanja propisanih ciljeva gospodarenja otpadom, i
4. Načelo sljedivosti – definiranje porijekla otpada s obzirom na produkt, ambalažu i proizvođača proizvoda kao i posjed otpada uključujući i obradu (El Sabeh i sur. 2019.).

### 2.5.1. Gospodarenje otpadom u poljoprivredi

Ponovno korištenje otpadnih voda u poljoprivredi obično podrazumijeva korištenje pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje kultura (Jaramillo i Restrepo 2017.). Korištenje pročišćenih otpadnih voda u poljoprivredi često se naziva procesom recikliranja kako vode tako i hranjivih tvari (Huibers i Van Lier 2005.). Primjena otpadne vode raste zbog nestašice

vode, rasta broja stanovnika i urbanizacije što dovodi do stvaranja sve većih količina otpadnih voda u urbanim područjima. Otpadne vode mogu se koristiti kao zamjena za druge, kvalitetnije izvore vode, posebice u poljoprivredi. Stoga je glavna prednost korištenja otpadne vode u poljoprivredi povezana sa smanjenjem pritiska na izvore svježije vode. Otpadne vode mogu služiti kao alternativni izvor navodnjavanja, posebice jer se poljoprivreda smatra najvećim svjetskim potrošačem vode. Samim time se povećava poljoprivredna proizvodnja u regijama koje se bore s nedostatkom vode. Ponovna uporaba ove vode predstavlja i izbjegavanje troškova vađenja resursa podzemne vode i njezina dovođenja do poljoprivrednih površina. Važna prednost ponovnog korištenja pročišćene otpadne vode za same poljoprivrednike može biti i ušteda na troškovima gnojiva. Naime, hranjive tvari su prirodno prisutne u otpadnoj vodi pa se ponovnom uporabom može osigurati zatvoren i ekološki povoljan ciklus hranjivih tvari koji izbjegava neizravan povratak makro- i mikroelemenata u vodena tijela. Ovisno o nutrijentima, otpadna voda može biti potencijalni izvor makro- (N, P i K) i mikroelemenata (Ca, Zn, Mg, B, Fe). Dokazano je da ponovna upotreba pročišćenih otpadnih voda kojima su postupcima pročišćavanja postignuta zadovoljavajuća fizikalna i biološka te poželjna kemijska svojstva (npr. optimalne koncentracije elemenata) može poboljšati prinos kultura i rezultirati smanjenom upotrebom gnojiva u poljoprivredi. Stoga bi se smanjili uvjeti eutrofikacije u prirodnim vodnim tijelima, kao i troškovi za agrokemikalije koje koriste poljoprivrednici, a sprječavanje onečišćenja prirodnih vodnih tijela bi bila još jedna ekološka korist povezana s ponovnom uporabom otpadnih voda u poljoprivredi. Povećana uporaba otpadnih voda općenito bi mogla pridonijeti postavljanju i optimizaciji postrojenja za pročišćavanje kako bi se proizvela otpadna voda željene kakvoće za potrebe navodnjavanja što predstavlja ekonomsku korist za sanitarne projekte (Jaramillo i Restrepo 2017.). Međutim, ovakav sustav zahtijeva koordinirani pristup pročišćavanju otpadnih voda na razini zajednice, a koji bi bio prilagođen namjeni pročišćene otpadne vode upravo za korištenje u poljoprivredi, odnosno u svrhu navodnjavanja kultura.

S druge strane, nekontrolirano korištenje nepročišćenih otpadnih voda u poljoprivredi ima važne zdravstvene posljedice za proizvođače, potrošače, poljoprivrednike i zajednice u područjima koja se navodnjavaju otpadnom vodom. Negativni učinci primjene nepročišćene ili neadekvatno pročišćene otpadne vode na zdravlje zabilježeni su u mnogim istraživanjima (Carr i sur. 2004.). Kroz povijest mnoge su civilizacije koristile nepročišćene otpadne vode za navodnjavanje. Otpadne vode transportirane su do poljoprivrednih površina kako bi se koristile kao gnojivo za kulture. Ovakva praksa smatrala se rješenjem za obradu i odlaganje velikih količina otpadnih voda. U 19. stoljeću transport i konačno odlaganje nepročišćene otpadne vode na otvorena peri-urbana polja izazvalo je epidemije bolesti koje se prenose vodom, kao što su tifus i kolera. Zbog epidemije došlo je do prekretnica, međunarodni sanitarni pokret doveo je do niza sanitarnih konferencija o higijeni. Tijekom tog vremena ponovna uporaba otpadnih voda je bila globalna briga zbog rizika povezanih s javnim zdravljem i okolišem. Zato je Svjetska zdravstvena organizacija 1973. godine izradila dokument pod nazivom „Ponovna uporaba otpadnih voda: metode pročišćavanja otpadnih voda i zaštita zdravlja“ s ciljem zaštite javnog zdravlja i omogućavanja racionalnog korištenja otpadnih voda

u poljoprivredi i akvakulturi. Ove smjernice kreirane su u nedostatku epidemioloških studija i na temelju pristupa minimalnog rizika. Nakon niza istraživanja i analiza, smjernice su ažurirane. U smjernicama su utvrđeni parametri mikrobiološke kakvoće otpadnih voda za navodnjavanje (Jaramillo i Restrepo 2017.). Također, korištenje nepročišćene otpadne vode za navodnjavanje kultura može imati i štetan učinak na okoliš, posebno na tlo, točnije na fizikalno-kemijska svojstva tla. Novija istraživanja su pokazala varijacije u strukturi i veličini mikrobne biomase u tlu, kao i povećanje mikrobne aktivnosti uzrokovano ponovnom uporabom otpadnih voda iz poljoprivrede. Promjena fizikalno-kemijskih parametara tla i mikrobiote tla može utjecati na plodnost i produktivnost tla, čime se narušava održivost tla zbog navodnjavanja otpadnom vodom. Dokazane su varijacije u pH tla koje su rezultat navodnjavanja otpadnim vodama iz komunalnih sustava za pročišćavanje otpadnih voda na različitim razinama pročišćavanja (preliminarni, primarni i sekundarni). Dodatno, promjene pH tla su u korelaciji s tri čimbenika: vrsta pokrova tla, tekstura tla i razdoblje navodnjavanja. Promjene pH vrijednosti tla utječu na dostupnost hranjivih tvari i metala te mineralizaciju organske tvari. Nakon navodnjavanja otpadnom vodom obično dolazi do povećanja oblika dušika (N-NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>-N) te fosfora čime dolazi do negativnog utjecaja na mikrobne zajednice u tlu, a posebice na njihove aktivnosti povezane s ciklusom ovih elemenata. Osim navedenog, hranjive tvari poput nitrata i fosfora mogu biti uključene u površinsko otjecanje ili se mogu ispirati prema podzemnim vodama, uzrokujući tako eutrofikaciju i narušavanje kvalitete staništa (Jaramillo i Restrepo 2017.).

U kontekstu ponovnog korištenja otpadne vode iz melioracijskih kanala za navodnjavanje kultura važno je naglasiti i to da povećane koncentracije hranjiva i ostalih potencijalno onečišćujućih tvari u vodi najčešće predstavljaju ograničavajući faktor. Ukoliko nije prisutan i kontinuirano aktivan sustav za crpljenje i pročišćavanje vode uz prateću vodovodnu infrastrukturu jer je brzina otjecanja vode u kanalima značajno sporija od prirodnih vodotokova te uz više temperature, u kanalima vrlo brzo dolazi do eutrofikacije koja vodu od procjedne vode s određenim udjelom hranjivih tvari brzo pretvara u trulu vodu upitne mogućnosti ponovne upotrebe. Ovdje je potrebno spomenuti i to da je pročišćavanje otpadne vode skup proces koji se odvija u za to predviđenim postrojenjima koja zauzimaju vrlo velike površine te koje karakteriziraju tehnološki zahtjevni procesi zbog čega njihova direktna prisutnost na poljoprivrednim površinama najčešće nije izvediva. Stoga bi, a osobito na manjim proizvodnim površinama, za ponovno korištenje vode iz melioracijskih kanala bilo najpoželjnije kada ta voda ne bi sadržavala veće koncentracije hranjiva niti drugih tvari te bi se uz jednostavnije postupke mehaničke filtracije, uz kontrolu bioloških pokazatelja kakvoće vode, mogla koristiti za navodnjavanje kultura, što pak ovisi o primjenjivanoj poljoprivrednoj praksi.

## 2.6. Zaštita voda

Kao što je već ranije navedeno, veliki problem današnjice je opskrba stanovništva s dostatnim količinama pitke vode. Desetljećima se na vodu gledalo kao nepresušni izvor pa se u prošlosti nije posvećivala velika važnost politici gospodarenja vodom (Tušar 2009.). Nekoć se smatralo da će se otpadne vode nakon ispuštanja u prirodni vodeni sustav razrijediti i da će na taj način problem onečišćenja biti riješen. Zbog toga su sanitarne i industrijske otpadne vode bile ispuštane bez da su prošle tretmane obrade ili tek uz minimalnu obradu. Nakon nekog vremena javile su se prve posljedice ovakvog gospodarenja vodom. Nestale su pojedine biljne i životinjske vrste, a javile su se druge vrste koje su se prilagodile novonastalim uvjetima. Promjene su se najviše uočile u zatvorenim dijelovima vodnih sustava, poput jezera, uvala i zaljeva (Tušar 2009.). Na žalost, u nekim dijelovima svijeta još uvijek postoje slučajevi da se otpadne vode ispuštaju u prirodne sustave bez da su prethodno prošli bilo kakav tretman obrade. Djelovanjem prirodnih procesa i oborina otpadne tvari dolaze u prirodna vodna tijela i mijenjaju kakvoću vode, a samim time utječu na mogućnost njezinog korištenja.

Kako bi se spriječila neprimjerena praksa ispuštanja nepročišćene otpadne vode u prirodne vodotoke te na taj način zaštitila voda kao resurs i kao stanište, mnoge su države donijele zakone i propise čija je svrha smanjenje postojećeg i izbjegavanje daljnjeg onečišćenja vodnih tijela pa se tako u Republici Hrvatskoj (RH) primjenjuju Zakon o vodama (NN 66/2019), Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/1998), Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019), Pravilnik o граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) te Direktiva vijeća o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora - Nitratna direktiva (91/676/EEZ) i II. Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrede (NN 60/2017).

### 2.6.1. Zakon o vodama (NN 66/2019)

Zakonom o vodama (NN 66/2019) uređuje se pravni status voda, vodnog dobra i vodnih građevina, upravljanje kakvoćom i količinom voda, zaštita od štetnog djelovanja voda, detaljna melioracijska odvodnja i navodnjavanje, posebne djelatnosti za potrebe upravljanja vodama, institucionalni ustroj obavljanja tih djelatnosti i druga pitanja vezana za vode i vodno dobro.

Prema ovom Zakonu, zaštićena područja su područja gdje je zbog zaštite voda i vodnog okoliša potrebno provesti dodatne mjere zaštite. Područja podložna eutofikaciji i područja ranjiva na nitrate spadaju u zaštićena područja.

Prema članku 57. Zakona o vodama (NN 66/2019), ranjiva područja su područja na kojima je potrebno provesti pojačane mjere zaštite voda od onečišćenja nitratima poljoprivrednog porijekla. Kako bi se postigla opća razina zaštite od onečišćenja nitratima svih površinskih i podzemnih voda, koriste se načela dobre poljoprivredne prakse sukladno s propisima o poljoprivredi, a za čije se korištenje mogu uvesti mjere poticaja.

## 2.6.2. Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/1998)

Prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/1998) determiniraju se vrste voda koje odgovaraju uvjetima kakvoće voda u kontekstu njihove opće ekološke funkcije, kao i o uvjetima primjene voda za određene namjene, a odnosi se na sve površinske i podzemne vode i mora u pogledu zaštite od onečišćenja s kopna i otoka. Iz ove Uredbe su isključene termalne i mineralne vode.

Prema članku 3., Uredbe o klasifikaciji voda (NN 77/1998), pokazatelji za klasifikaciju voda razvrstavaju se u dvije skupine:

- a) Prvu skupinu pokazatelja čine obvezni pokazatelji za ocjenu opće ekološke funkcije voda. Ovu skupinu pokazatelja čine: fizikalno-kemijski pokazatelji, režim kisika, hranjive tvari, mikrobiološki i biološki pokazatelji,
- b) Drugu skupinu pokazatelja čine pokazatelji koji se ispituju temeljem posebnih programa sadržanih u planovima za zaštitu voda i ciljanim programima ispitivanja kakvoće voda te zajedno s obveznim pokazateljima služe za širu ocjenu opće ekološke funkcije voda i utvrđivanju uvjeta korištenja voda za određene namjene. Ovu skupinu pokazatelja čine: metali, organski spojevi i radioaktivnost.

Prema Uredbi (NN 77/1998, članak 7.) determinirano je pet vrsta voda prema zatečenim uvjetima kvalitete, a u smislu opće ekološke funkcije i uvjeta primjene vode za određene namjene:

- Vrsta 1. – podzemne i površinske vode koje se u svome prirodnom stanju ili nakon dezinfekcije mogu koristiti za piće ili u prehrambenoj industriji te površinske vode koje se mogu koristiti za uzgoj plemenitih vrsta riba (pastrva).
- Vrsta 2. – vode koje se u prirodnom stanju mogu koristiti za kupanje i rekreaciju, za sportove na vodi, za uzgoj drugih vrsta riba ili koje se nakon odgovarajućeg pročišćavanja mogu koristiti za piće i druge namjene u industriji i sl.
- Vrsta 3. – vode koje se mogu koristiti u industrijama koje nemaju posebne zahtjeve za kakvoćom vode, te u poljoprivredi. To su vode koje se pročišćavaju da bi se koristile za određene namjene.
- Vrsta 4. – vode koje se mogu koristiti isključivo uz pročišćavanje na područjima gdje je veliko pomanjkanje vode.
- Vrsta 5. – vode koje se gotovo ne mogu koristiti ni za kakve namjene jer ne zadovoljavaju kriterije za namjene po ovoj Uredbi.

Kako bi se zadržala kvaliteta prirodnih voda ključna je racionalna uporaba vodnih resursa slivnih područja i štititi ih. To se ostvaruje na niz načina. Ključnu ulogu igra politička odgovornost Vlade RH i mjerodavnih institucija jer su osnova donošenja odgovarajućih zakonskih propisa koji osiguravaju kakvoću vode. Također, ovo se odnosi i na županije i općine koje su dužne kreirati prostorne planove s obrađenom infrastrukturom gdje važnu ulogu ima izgradnja sustava odvodnje i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Tušar 2009.).

### 2.6.3. Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019)

Prema članku 64., stavka 4., Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/2019), onečišćene vode i vode kojima prijeti onečišćenje ako se ne poduzmu mjere smanjenja onečišćenja nitratima poljoprivrednog porijekla (ranjiva područja) određuju se aktom iz članka 57. stavka 4. Zakona o vodama (NN 66/2019) primjenom sljedećih kriterija:

1. Ako površinske kopnene vode, osobito one koje se koriste ili su namijenjene korištenju za zahvaćanje vode za ljudsku potrošnju, sadrže ili bi mogle sadržavati koncentraciju nitrata višu od 50 mg L<sup>-1</sup>, izraženog kao NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,
2. Ako podzemne vode sadrže ili bi mogle sadržavati koncentraciju nitrata višu od one utvrđene u Prilogu 6. Uredbe (tablica 2.6.3.1.),
3. Ako se utvrdi da su prirodna slatkovodna jezera, ostale površinske kopnene vode, estuariji, prijelazne, priobalne i morske vode eutrofne ili bi u skorijoj budućnosti mogle postati eutrofne prema prilogu 10. Uredbe (tablice 2.6.3.2. i 2.6.3.3.).

Tablica 2.6.3.1. Standardi kakvoće podzemne vode (Uredba o standardu kakvoće vode, NN 96/2019)

| Pokazatelj  | Mjerna jedinica | Standard kakvoće              |
|---|-----------------|-------------------------------|
| Podzemne vode, osim mineralnih i geotermalnih voda  |                 |                               |
| Nitrati (NO <sub>3</sub> )  | mg/l            | 50                            |
| Aktivne tvari u pesticidima uključujući njihove relevantne metabolite, produkte razgradnje i reakcije | µg/l            | 0,1 pojedinačno<br>0,5 ukupno |

Tablica 2.6.3.2.: Granične vrijednosti pokazatelja eutrofikacije u rijekama (Uredba o standardu kakvoće vode, NN 96/2019)

| KATEGORIJA STANJA | Vrijednost 50-tog percentila |               |           |
|-------------------|------------------------------|---------------|-----------|
|                   | Nitrati                      | Ukupni fosfor | Klorofila |
|                   | mg N/l                       | mg P/l        | µg/l      |
| Vrlo dobro        | 0,4-1,0                      | 0,02-0,15     | 5,9-20,0  |
| Dobro             | 0,7-2,5                      | 0,06-0,35     | 10,0-40,0 |

Tablica 2.6.3.3.: Granične vrijednosti pokazatelja eutrofikacije u jezerima (Uredba o standardu kakvoće vode, NN 96/2019)

| KATEGORIJA STANJA           | Prosječna godišnja koncentracija |          |
|-----------------------------|----------------------------------|----------|
|                             | Ukupni fosfor                    | Klorofil |
|                             | mg P/l                           | µg/l     |
| Jezera Dinaridske ekoregije |                                  |          |
| Vrlo dobro                  | 0,009-0,03                       | 1,2-4,0  |
| Dobro                       | 0,02-0,07                        | 2,5-7,0  |

#### 2.6.4. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020)

U Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (Tablica 2.6.5.1.) usvojene su norme, odnosno standardi ispuštene vode kojima se određuje stupanj pročišćavanja, tj. granične vrijednosti pojedinih pokazatelja otpadne vode koje ne smiju biti prekoračene prilikom ispuštanja u prijemnik (Tušar 2009.). Granične vrijednosti pojedinih pokazatelja ovise o veličini naselja i karakteristikama prijemnika. Pomoću tih parametara utvrđuje se masa otpadnih tvari koje se u jedinici vremena smiju ispustiti u prijemnik (Tušar 2009.).

Prema ovom Pravilniku (članak 3.) razlikujemo četiri stupnja pročišćavanja, a koja glase:

- Prethodno pročišćavanje je predobrada otpadnih voda s lokacije onečišćivača u skladu sa zahtjevima za ispuštanje otpadnih voda u sustav javne odvodnje,
- Prvi stupanj pročišćavanja je obrada komunalnih otpadnih voda fizikalnim i/ili kemijskim postupkom koji obuhvaća taloženje suspendiranih tvari ili druge postupke u kojima se BPK5 ulaznih otpadnih voda smanjuje za najmanje 20 % prije ispuštanja, a ukupne suspendirane tvari ulaznih otpadnih voda za najmanje 50 %,
- Drugi stupanj pročišćavanja je obrada komunalnih otpadnih voda postupkom koji općenito obuhvaća biološku obradu sa sekundarnim taloženjem i/ili druge postupke,
- Treći stupanj pročišćavanja je stroža obrada komunalnih otpadnih voda postupkom kojim se uz drugi stupanj pročišćavanja postižu zahtjevi za i/ili fosfor i/ili dušik.

#### 2.6.5. Direktiva vijeća o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora – Nitratna direktiva (91/676/EEZ)

S ciljem reduciranja onečišćenja voda uzrokovanog nitratima iz poljoprivrede i sprječavanja daljnjeg onečišćenja, Europska komisija je izdala 1991. Direktivu o zaštiti voda od onečišćenja koje uzrokuju nitrati poljoprivrednog podrijetla (Nitratna direktiva, 91/676/EEZ). Prema navedenoj Direktivi, sve članice EU moraju na svom području utvrditi ranjiva područja

prema koncentraciji nitrata u vodama (Ondrašek i sur. 2019.). Sukladno Direktivi, ranjiva područja su sva područja unutar kojih je ustanovljeno da:

- a) Površinske vode, posebice one koje se koriste ili su namijenjene zahvatu vode za piće, sadrže ili bi mogle sadržavati veću koncentraciju nitrata od one utvrđene u skladu s Direktivom o kakvoći potrebne površinske vode namijenjene za zahvaćanje pitke vode,
- b) Podzemne vode sadrže više od 50 mg L<sup>-1</sup> nitrata ili bi mogle sadržavati više od 50 mg L<sup>-1</sup> nitrata,
- c) Prirodna slatkovodna jezera, ostale slatke vode, estuariji, obalne i morske vode su sutrofna ili bi u skorij budućnosti mogla postati (Ondrašek i sur. 2019.).

#### 2.6.6. II. Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrede (NN 60/2017)

Prema članku 2. II. Akcijskog programa zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrede (NN 60/2017), cilj je zaštita voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog porijekla zbog postizanja dobrog stanja vodnih tijela površinskih i podzemnih voda i sprječavanja pogoršanja već dostignutog stanja vodnih tijela u pogledu onečišćenja nitratima poljoprivrednog porijekla.

Prema navedenom Programu (članak 10.), u cilju smanjivanja gubitka dušika ispiranjem i isparavanjem zabranjuje se:

- gnojenje gnojnicom ili gnojovkom na svim poljoprivrednim površinama bez obzira na pokrov u razdoblju od 15. studenoga do 15. veljače,
- gnojenje gnojnicom i gnojovkom raspodjelom po površini bez unošenja u tlo na svim poljoprivrednim površinama u razdoblju od 1. svibnja do 1. rujna.

Također, člankom 11. ovog Programa, zabranjena je primjena gnojiva:

- na tlu zasićenom vodom,
- na tlu prekrivenom snježnim prekrivačem,
- na zamrznutom tlu,
- na poplavljenom tlu,
- na nepoljoprivrednim zemljištima,
- na 20 m udaljenosti od vanjskog ruba korita jezera ili druge stajaće vode,
- na 3 m udaljenosti od vanjskog ruba korita vodotoka širine korita 5 metara ili više,
- na nagnutim terenima uz vodotokove s nagibom većim od 10 % na udaljenosti manjoj od 10 m od vanjskog ruba korita vodotoka,
- pomiješanog s otpadnim muljem,
- ako je gnoj porijeklom s poljoprivrednih gospodarstava na kojima su utvrđene bolesti s uzročnicima otpornim na uvjete u gnojnoj jami.

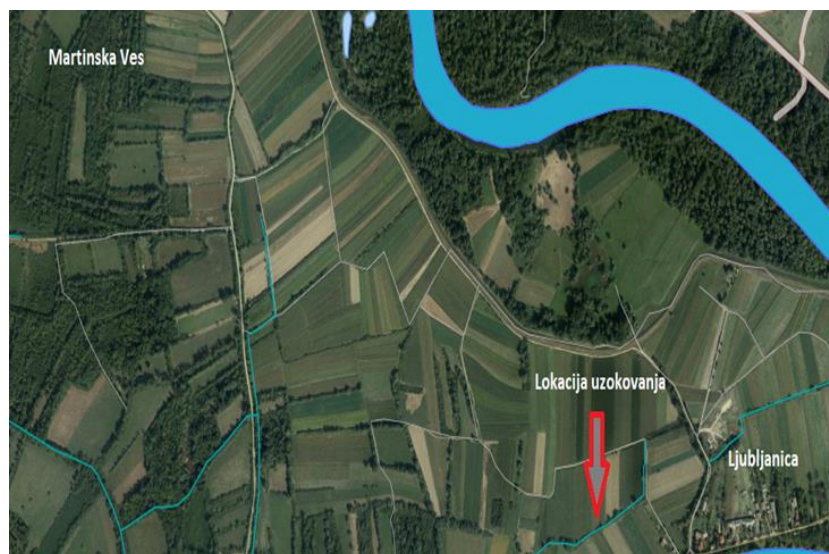


### 3. Materijali i metode rada

#### 3.1. Lokacije istraživanja

Uzorci vode iz melioracijskih kanala uzeti su sa šest lokacija na području Sisačko-moslavačke županije, a to su: Ljubljanica (Slika 3.1.1. i 3.1.2.), Luka Lijeva (slika 3.1.3. i 3.1.4.), Setuš (slika 3.1.5. i 3.1.6.) koji su u sastavu općine Martinska Ves, te Odra (slika 3.1.7. i 3.1.8.), Budaševo (slika 3.1.9. i 3.1.10.) i Prelošćica (slika 3.1.11. i 3.1.12.), a koji su u sastavu grada Siska. Voda iz kanala Odra ulijeva se u rijeku Odru, a iz kanala Budaševo u rijeku Lonju.

Poljoprivredne kulture koje se najviše uzgajaju u okolnom području su: kukuruz, pšenica, ječam, nešto manje zob i raž.



Slika 3.1.1. Lokacija Ljubljanica u odnosu na Martinsku Ves

Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.2. Melioracijski kanal Ljubljanica i mjesta uzorkovanja

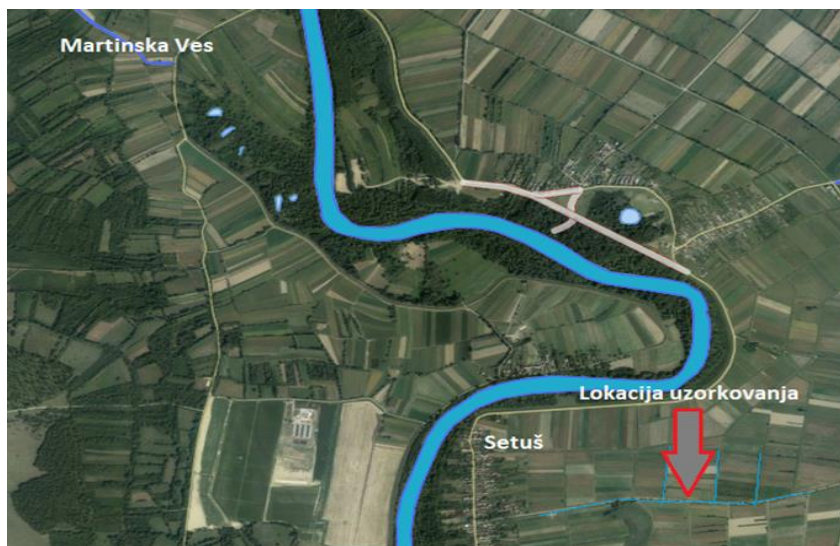
Izvor: Geoportal DGU



3.1.3. Lokacija Lijeva Luka u odnosu na Martinsku Ves  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.4. Melioracijski kanal Lijeva Luka i mjesta uzorkovanja  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.5. Lokacija Setuš u odnosu na Martinsku Ves  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.6. Melioracijski kanal Setuš i mjesta uzorkovanja  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.7. Lokacija Odra u odnosu na Sisak  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.8. Melioracijski kanal Odra Sisačka i mjesta uzorkovanja  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.9. Lokacija Budaševo u odnosu na Sisak  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.10. Melioracijski kanal Budaševo i mjesta uzorkovanja  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.11. Lokacija Prelošćica u odnosu na Sisak  
Izvor: Geoportal DGU



Slika 3.1.12. Melioracijski kanal Prelošćica i mjesta uzorkovanja  
Izvor: Geoportal DGU

### 3.2. Prikupljanje uzoraka vode

Uzorci vode iz melioracijskih kanala prikupljeni su u bočice od 200 mL u periodu od 15. prosinca 2021. godine do 19. lipnja 2022. godine. Provedeno je ukupno pet uzorkovanja na način da je prikupljan po jedan uzorak po lokaciji (ukupno 6 uzoraka po uzorkovanju) na lokacijama Ljubljanica (slika 3.2.1.), Lijeva Luka (slika 3.2.2.), Setuš (slika 3.2.3.), Odra (slika 3.2.4.), Budaševo (slika 3.2.5.) i Preloščica (slika 3.2.6.).



Slika 3.2.1. Melioracijski kanal Ljubljanica

Izvor: Mirna Avdić, 2022.



Slika 3.2.2. Melioracijski kanal Lijeva Luka

Izvor: Mirna Avdić, 2022.



Slika 3.2.3. Melioracijski kanal Setuš  
Izvor: Mirna Avdić, 2022.



Slika 3.2.4. Melioracijski kanal Odra  
Izvor: Mirna Avdić, 2022.





Slika 3.2.5. Melioracijski kanal Budaševo

Izvor: Mirna Avdić, 2022.



Slika 3.2.6. Melioracijski kanal Preloščica

Izvor: Mirna Avdić, 2022.

### 3.3. Laboratorijske analize koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u uzorcima vode iz melioracijskih kanala

Uzorci vode iz melioracijskih kanala odmah po uzorkovanju su spremljeni i čuvani u hladnjaku na 4°C do provođenja analiza. Prvi korak je bila priprema uzoraka za provođenje analiza, odnosno filtracija uzoraka kroz filter papir „color code – bijela“, s karakteristikama zadržavanja čestica veličine 8-12 µm i brzine filtracije od 20 sekundi/10 mL.

#### 3.3.1. Mjerenje koncentracije nitrata

Za mjerenje koncentracije nitrata u uzorcima vode iz melioracijskih kanala korišten je multiparametarski fotometar (HI83300, Hanna Instruments; slika 3.3.1.1.). Za određivanje nitrata korištena je metoda prilagodbe redukcije kadmija.

Postupak mjerenja koncentracija nitrata u uzorcima vode metodom prilagodbe redukcije kadmija korištenjem fotometra:

- U izborniku metoda na fotometru odabere se nitratna metoda.
- U praznu kivetu dodaje se 10 mL filtriranog uzorka, stavi se čep i uređaj se nulira (na uređaju se pritisne tipka „Zero“ i uzorak prikazuje koncentraciju 0).
- Ukloni se čep s kivete i dodaje se paket nitratnog reagensa (HI93728-0). Snažno se mućka točno 10 sekundi u smjeru gore-dolje, a nakon toga lagano miješanje okretanjem kivete 50 sekundi, pazeći da ne nastaju mjehurići zraka.
- Kiveta se ponovno stavlja u fotometar, uređaj se zatvori i nakon 4 minute i 30 sekundi očita se vrijednost nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) izraženih u  $\text{mg L}^{-1}$ .



Slika 3.3.1.: Fotometar (HI83300 Multiparameter Photometer)

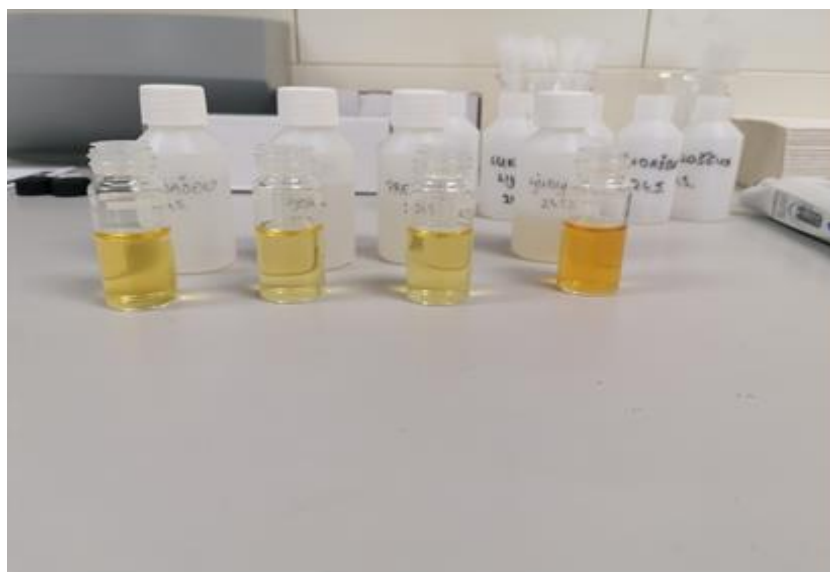
Izvor: Mirna Avdić, 2022.

### 3.3.2. Mjerenje koncentracije amonija

Za mjerenje koncentracije amonija u uzorcima iz melioracijskih kanala korišten je multiparametarski fotometar (HI83300, Hanna Instruments). Za određivanje koncentracije amonija korištena je D1426 Nesslerova metoda (slika 3.3.2.1.).

Postupak mjerenja koncentracija amonija u uzorcima vode Nesslerovom metodom korištenjem fotometra:

- U izborniku metoda na fotometru odabere se Ammonia MR metoda.
- U praznu kivetu dodaje se 10 mL filtriranog uzorka, stavi se čep i uređaj se nulira (na uređaju se pritisne tipka „Zero“ i uzorak prikazuje koncentraciju 0).
- Ukloni se čep s kivete i dodaje se 4 kapi reagensa A „HI93715A-0 Ammonia Medium Range Reagent A“ i promućka se.
- Nakon reagens A dodaju se 4 kapi reagens B „HI93715B-0 Ammonia Medium Range Reagent B“ i promućka se.
- Kiveta se ponovno stavlja u fotometar, uređaj se zatvori i nakon 3 minute i 30 sekundi očita se vrijednost amonija ( $\text{NH}_4^+$ ) izraženih u  $\text{mg L}^{-1}$ .



Slika 3.3.2.1.: Uzorci vode iz melioracijskih kanala s dodanim reagensima nakon očitavanja koncentracije amonija na fotometru

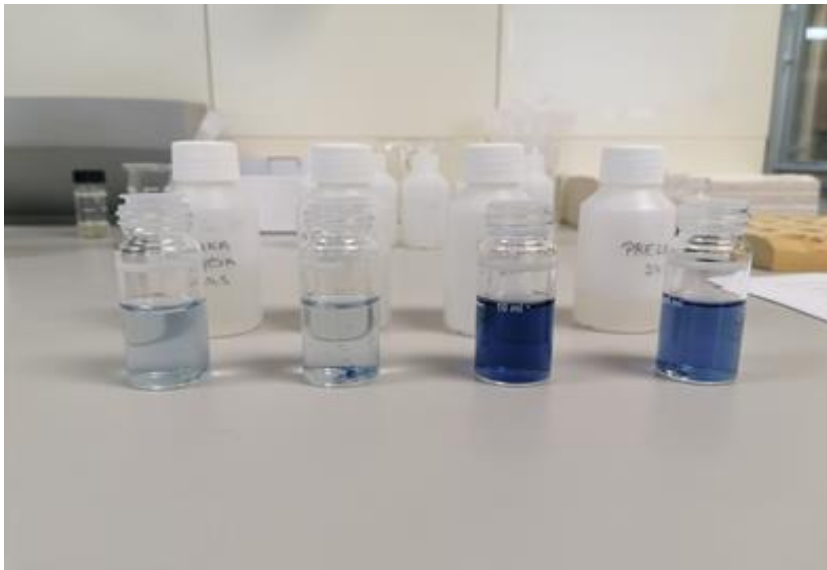
Izvor: Mirna Avdić, 2022.

### 3.3.3. Mjerenje koncentracije ortofosfata

Za mjerenje koncentracije ortofosfata u uzorcima iz melioracijskih kanala korišten je multiparametarski fotometar (HI83300, Hanna Instruments). Za određivanje koncentracije ortofosfata korištena je metoda prilagodbe askorbinske kiseline (slika 3.3.3.1.).

Postupak mjerenja koncentracije ortofosfata u uzorcima vode metodom prilagodbe askorbinske kiseline korištenjem fotometra:

- U izborniku metoda na fotometru odabere se Phosphate LR metoda.
- U praznu kivetu dodaje se 10 mL filtriranog uzorka, stavi se čep i uređaj se nulira (na uređaju se pritisne tipka „Zero“ i uzorak prikazuje koncentraciju 0).
- Ukloni se čep s kivete i dodaje se 1 paket fosfatnog reagensa niskog raspona (HI93713-0). Uzorak se lagano mućka potezima gore-dolje, otprilike 2 minute dok se reagens skroz ne otopi.
- Uzorak se ponovno stavlja u fotometar, uređaj se zatvara i nakon 3 minute se očitava koncentracija ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).



3.3.3.1.: Uzorci vode iz melioracijskih kanala s dodanim reagensima nakon očitavanja koncentracije ortofosfata na fotometru

Izvor: Mirna Avdić, 2022.

### 3.3.4. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka provedena je s obzirom na lokaciju melioracijskih kanala iz kojih su uzeti uzorci vode (Budaševo, Ljubljana, Lijeva Luka, Odra, Prelošćica i Setuš). Statistička obrada podataka provedena je korištenjem SAS programa (Statistical Analysis Software, SAS Institute Inc., Version 8.3 Update 1, Cary NC USA, 2019-2020). Za određivanje značajnosti razlike između srednjih vrijednosti korištena je One-Way ANOVA i Tukeyev test (Tukey's Studentized Range Honest Significant Difference - HSD Test) pri  $P < 0,05$ .

## 4. Rezultati

### 4.1. Rezultati mjerenja koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u vodi u melioracijskim kanalima

Rezultati mjerenja koncentracija  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  u vodi iz kanala prikupljenoj s 5 lokacija u Sisačko-moslavačkoj županiji (15.12.2021. – 19.06.2022.), prikazani su u Tablici 4.1.1.

Tablica 4.1.1. Rezultati mjerenja koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u uzorcima vode iz melioracijskih kanala prikupljenim u razdoblju od 15. prosinca 2021. godine do 19. lipnja 2022. godine s 5 lokacija na području Sisačko-moslavačke županije.

| DATUM<br>UZORKOVANJA   | LOKACIJA<br>UZORKOVANJA | $\text{NO}_3^-$    | $\text{NH}_4^+$    | $\text{PO}_4^{3-}$ |
|--|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  |                         | mg L <sup>-1</sup> | mg L <sup>-1</sup> | mg L <sup>-1</sup> |
| 15.12.2021.  | Ljubljanica             | 151                | 3,60               | 16,0               |
|  | Lijeva Luka             | 2,50               | 0,77               | 0,40               |
|  | Setuš                   | 15,0               | 0,90               | 1,60               |
|  | Odra                    | 4,20               | 0,71               | 0,13               |
|  | Budaševo                | 10,0               | 1,50               | 0,26               |
|  | Prelošćica              | 3,30               | 0,82               | 0,92               |
| 01.04.2022.  | Ljubljanica             | 41,1               | 2,88               | 6,50               |
|  | Lijeva Luka             | <0,080*            | 1,42               | 0,08               |
|  | Setuš                   | 1,70               | 1,29               | 0,06               |
|  | Odra                    | <0,080*            | 3,35               | 0,03               |
|  | Budaševo                | <0,080*            | 1,22               | 0,15               |
|  | Prelošćica              | <0,080*            | 1,41               | 0,07               |
| 06.05.2022.  | Ljubljanica             | <0,080*            | 2,44               | 1,96               |
|  | Lijeva Luka             | <0,080*            | 2,85               | 0,60               |
|  | Setuš                   | **                 | **                 | **                 |
|  | Odra                    | **                 | **                 | **                 |
|  | Budaševo                | <0,080*            | 2,30               | 0,11               |
|  | Prelošćica              | <0,080*            | 2,37               | 4,06               |
| 24.05.2022.  | Ljubljanica             | <0,080*            | 5,85               | 16,70              |
|  | Lijeva Luka             | <0,080*            | 1,59               | 0,65               |
|  | Setuš                   | **                 | **                 | **                 |
|  | Odra                    | **                 | **                 | **                 |
|  | Budaševo                | <0,080*            | 2,10               | 0,45               |
|  | Prelošćica              | <0,080*            | 1,88               | 3,02               |
| 19.06.2022.  | Ljubljanica             | 1,90               | 6,67               | 18,3               |
|  | Lijeva Luka             | <0,080*            | 1,71               | 0,73               |
|  | Setuš                   | <0,080*            | 1,19               | 0,16               |
|  | Odra                    | **                 | **                 | **                 |
|  | Budaševo                | <0,080*            | 1,59               | 0,60               |
|  | Prelošćica              | <0,080*            | 2,03               | 0,82               |
| <i>*granica kvantifikacije instrumenta</i>                         |                         |                    |                    |                    |
| <i>**nije bilo moguće uzeti uzorak jer nije bilo vode u kanalu</i> |                         |                    |                    |                    |

Iz tablice 4.1.1. vidljivo je da se dana 15.12.2021. koncentracija nitrata kretala u rasponu od 2,5 mg L<sup>-1</sup> (Lijeva Luka) do 151 mg L<sup>-1</sup> (Ljubljana). Koncentracije amonija kretale su se od 0,71 mg L<sup>-1</sup> (Odra) pa sve do 3,6 mg L<sup>-1</sup> (Ljubljana). Istog datuma najniža koncentracija ortofosfata zabilježena je u Odri, gdje je iznosila 0,13 mg L<sup>-1</sup>, a najviša u Ljubljani, gdje je iznosila 16 mg L<sup>-1</sup> (Tablica 4.1.1.).

Dana 01.04.2022. koncentracija nitrata na području Lijeve Luke, Odre, Budaševa i Preloščice bila je ispod 0,080 mg L<sup>-1</sup>, odnosno ispod granice kvantifikacije, dok je u Ljubljani iznosila 41,1 mg L<sup>-1</sup>. Najniža koncentracija amonija zabilježena je u Budaševu, gdje je iznosila 1,22 mg L<sup>-1</sup>, a najviša je bila u Odri, gdje je iznosila 3,35 mg L<sup>-1</sup>. Istog datuma, koncentracija amonijaka kretala se od 1,15 mg L<sup>-1</sup> (Budaševu) do 3,17 mg L<sup>-1</sup>. Najniža koncentracija ortofosfata zabilježena je u Odri, gdje je iznosila 0,03 mg L<sup>-1</sup>, a najviša koncentracija je bila zabilježena u Ljubljani, a iznosila je 6,5 mg L<sup>-1</sup> (Tablica 4.1.1.).

Dana 06.05.2022. koncentracija nitratnih iona je na lokacijama Ljubljana, Lijeva Luka, Budaševu i Preloščica bila ispod 0,080 mg L<sup>-1</sup>, odnosno, bila je ispod granice kvantifikacije. Koncentracije amonija kretale su se od 2,3 mg L<sup>-1</sup> (Budaševu) sve do 2,85 mg L<sup>-1</sup> (Lijeva Luka). Istog datuma, koncentracije ortofosfata kretale su se od 0,1073 mg L<sup>-1</sup> (Budaševu) do 4,06 mg L<sup>-1</sup> (Preloščica) (Tablica 4.1.1.).

Dana 24.05.2022. koncentracija nitrata na lokacijama Ljubljana, Lijeva Luka, Budaševu i Preloščica je bila ispod granice kvantifikacije. Koncentracija amonija kretala se od 1,59 mg L<sup>-1</sup> (Lijeva Luka) sve do 5,85 mg L<sup>-1</sup> (Ljubljana). Najniža koncentracija amonijaka zabilježena je na području Lijeve Luke, gdje je iznosila 1,50 mg L<sup>-1</sup>, a najviša koncentracija je zabilježena u Ljubljani, gdje je iznosila 16,7 mg L<sup>-1</sup>. Koncentracija ortofosfata kretala se od 0,45 mg L<sup>-1</sup> (Budaševu) do 12,5 mg L<sup>-1</sup> (Ljubljana) (Tablica 4.1.1.).

Dana 19.06. 2022. zabilježena je najviša koncentracija nitrata na području Ljubljane, gdje je iznosila 1,9 mg L<sup>-1</sup>, dok su na lokacijama Lijeva Luka, Budaševu i Preloščica bile ispod granice kvantifikacije. Koncentracije amonijaka kretale su se od 1,13 mg L<sup>-1</sup> u Setušu do 6,3 mg L<sup>-1</sup> u Ljubljani. Koncentracije ortofosfata kretale su se od 0,16 mg L<sup>-1</sup> u Setušu do 18,3 mg L<sup>-1</sup> u Ljubljani (Tablica 4.1.1.).

Promatrajući sveukupne rezultate mjerenja koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u uzorcima vode iz melioracijskih kanala za cijelo razdoblje istraživanja (od 15. prosinca 2021. - 19. lipnja 2022.) sa svih 5 lokacija istraživanja na području Sisačko-moslavačke županije - Ljubljana, Lijeva Luka, Setuš, Odra, Budaševu i Preloščica, vidljivo je da su najviše koncentracije i nitrata (151 mg L<sup>-1</sup>, izmjeren 15.12.2021.), i amonija (6,67 mg L<sup>-1</sup>, izmjeren 19.06.2022.), i ortofosfata (18,3 mg L<sup>-1</sup>, izmjeren 19.06.2022.) izmjerene na lokaciji Ljubljana (Tablica 4.1.1.).

## **4.2. Utjecaj lokacije melioracijskih kanala iz kojih su uzeti uzorci vode na koncentracije nitrata, amonijaka i ortofosfata u vodi iz kanala**

Utjecaj lokacije melioracijskih kanala iz kojih su uzeti uzorci vode u razdoblju od 15. 12. 2021. do 19. 06. 2022. na koncentracije nitrata, amonijaka i ortofosfata u vodi iz kanala prikazan je u Tablici 4.2.1.

Statistički značajna razlika s obzirom na lokaciju melioracijskog kanala iz kojega su uzeti uzorci vode utvrđena je za koncentracije amonijaka i ortofosfata (Tablica 4.2.1.).

U razdoblju istraživanja (od 15. 12. 2021. do 19. 06. 2022.), koncentracija amonijaka u uzorcima vode iz melioracijskog kanala bila je statistički značajno viša na lokaciji Ljubljana od koncentracija amonijaka izmjerenih u uzorcima vode uzetim s lokacija Budašev, Lijeva Luka, Prelošica i Setuš, dok se koncentracija amonijaka u uzorcima vode iz melioracijskog kanala s lokacije Odra nije statistički značajno razlikovala od koncentracija amonijaka u uzorcima vode uzetim s nijedne druge lokacije (Tablica 4.2.1.).

Koncentracija ortofosfata u uzorcima vode iz melioracijskog kanala s lokacije Ljubljana bila je statistički značajno viša od koncentracija ortofosfata izmjerenih u uzorcima vode uzetim iz kanala sa svih ostalih istraživanih lokacija uzorkovanja (Budašev, Lijeva Luka, Odra, Prelošica i Setuš), dok među njima nije utvrđena statistički značajna razlika u koncentracijama ortofosfata u vodi u melioracijskom kanalu, u razdoblju od 15. 12. 2021. do 19. 06. 2022. (Tablica 4.2.1.).

Za koncentracije nitrata nije utvrđena statistički značajna razlika s obzirom na lokaciju melioracijskog kanala iz kojega su uzeti uzorci vode jer, iako je dana 15. 12. 2021. na lokaciji Ljubljana izmjerena vrlo visoka koncentracija nitrata ( $151 \text{ mg L}^{-1}$ ), iz Tablice 4.2.1. je također vidljivo i to da je analizirajući podatke o koncentracijama nitrata za cijelo razdoblje istraživanja (od 15. 12. 2021. do 19. 06. 2022.) utvrđena i velika varijabilnost u koncentraciji nitrata na istoj lokaciji (npr. Varijanca - Ljubljana) (Tablica 4.2.1.).

Tablica 4.2.1. Utjecaj lokacije melioracijskih kanala iz kojih su uzeti uzorci vode u razdoblju od 15. 12. 2021. do 19. 06. 2022. na koncentracije nitrata, amonijaka i ortofosfata u vodi iz kanala.

| <i>Statistički parametar</i>  | <b>LOKACIJA UZORKOVANJA</b> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |
|---|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|   |                             | mg L <sup>-1</sup>           | mg L <sup>-1</sup>           | mg L <sup>-1</sup>            |
|   | Budaševo                    | 2,06 <i>a</i>                | 1,74 <i>b</i>                | 0,31 <i>b</i>                 |
|   | Ljubljana                   | 38,83 <i>a</i>               | 4,29 <i>a</i>                | 11,89 <i>a</i>                |
|   | Luka lijeva                 | 0,56 <i>a</i>                | 1,67 <i>b</i>                | 0,49 <i>b</i>                 |
|   | Odra                        | 2,14 <i>a</i>                | 2,03 <i>ab</i>               | 0,08 <i>b</i>                 |
|   | Preloščica                  | 0,72 <i>a</i>                | 1,70 <i>b</i>                | 1,78 <i>b</i>                 |
|   | Setuš                       | 5,59 <i>a</i>                | 1,13 <i>b</i>                | 0,61 <i>b</i>                 |
| <b>Statistička značajnost</b>   |                             | <i>n.s.</i>                  | <i>P&lt;0,001</i>            | <i>P&lt;0,001</i>             |
| <b>Standardna devijacija</b>  | Budaševo                    | 4,44                         | 0,45                         | 0,21                          |
|   | Ljubljana                   | 65,10                        | 1,87                         | 7,22                          |
|   | Luka lijeva                 | 1,08                         | 0,75                         | 0,26                          |
|   | Odra                        | 2,91                         | 1,87                         | 0,07                          |
|   | Preloščica                  | 1,44                         | 0,60                         | 1,68                          |
|   | Setuš                       | 8,19                         | 0,20                         | 0,86                          |
| <b>Standardna pogreška</b>  | Budaševo                    | 1,98                         | 0,20                         | 0,09                          |
|   | Ljubljana                   | 29,12                        | 0,84                         | 3,23                          |
|   | Luka lijeva                 | 0,48                         | 0,34                         | 0,12                          |
|   | Odra                        | 2,06                         | 1,32                         | 0,05                          |
|   | Preloščica                  | 0,64                         | 0,27                         | 0,75                          |
|   | Setuš                       | 4,73                         | 0,12                         | 0,50                          |
| <b>Varijanca</b>  | Budaševo                    | 19,68                        | 0,20                         | 0,04                          |
|   | Ljubljana                   | 4238,55                      | 3,49                         | 52,18                         |
|   | Luka lijeva                 | 1,17                         | 0,57                         | 0,07                          |
|   | Odra                        | 8,49                         | 3,48                         | 0,01                          |
|   | Preloščica                  | 2,07                         | 0,36                         | 2,83                          |
|   | Setuš                       | 67,02                        | 0,04                         | 0,74                          |
| <b>Minimalna vrijednost</b>   | Budaševo                    | *                            | 1,22                         | 0,11                          |
|   | Ljubljana                   | *                            | 2,44                         | 1,96                          |
|   | Luka lijeva                 | *                            | 0,77                         | 0,08                          |
|   | Odra                        | *                            | 0,71                         | 0,03                          |
|   | Preloščica                  | *                            | 0,82                         | 0,07                          |
|   | Setuš                       | *                            | 0,90                         | 0,06                          |
| <b>Maksimalna vrijednost</b>  | Budaševo                    | 10,00                        | 2,30                         | 0,60                          |
|   | Ljubljana                   | 151,00                       | 6,67                         | 18,30                         |
|   | Luka lijeva                 | 2,50                         | 2,85                         | 0,73                          |
|   | Odra                        | 4,20                         | 3,35                         | 0,13                          |
|   | Preloščica                  | 3,30                         | 2,37                         | 4,06                          |
|   | Setuš                       | 15,00                        | 1,29                         | 1,60                          |
| * niže od granice kvantifikacije analitičkog instrumenta<br><i>n.s.</i> – nije značajno (engl. non-significant)<br>Srednje vrijednosti označene istim slovom nisu značajno različite pri <i>P&lt;0,05</i> |                             |                              |                              |                               |



## 5. Rasprava

Uzorci iz melioracijskih kanala prikupljeni u razdoblju od 15. prosinca 2021. godine do 19. lipnja 2022. godine, analizirani su u laboratoriju Zavoda za melioracije, Odsjeka za agroekologiju, na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) utvrđene su dozvoljene koncentracije onečišćujućih tvari i/ili opterećenjima u otpadnim vodama. Prema pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) dozvoljena koncentracija nitrata u otpadnim vodama iznosi  $2 \text{ mg L}^{-1}$ . Temeljem analiziranih podataka možemo utvrditi da je srednja vrijednost koncentracije nitrata na području Ljubljance iznosila  $38,83 \text{ mg L}^{-1}$  (tablica 4.2.1.), što je značajno povišena vrijednost. Također na lokaciji Setuš srednja vrijednost koncentracije nitrata iznosila je  $5,59 \text{ mg L}^{-1}$ , dok su na ostalim lokacijama koncentracije bile ispod dozvoljene granične vrijednosti (tablica 4.2.1.). Prema prethodno spomenutom pravilniku (NN 26/2020), granična vrijednost za amonij iznosi  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , a sve izmjerene srednje vrijednosti koncentracija amonija na svim lokacijama uzorkovanja bile su ispod dozvoljene granične vrijednosti, dok su srednje vrijednosti koncentracija ortofosfata u razdoblju istraživanja bile značajno više na području Ljubljance ( $11,89 \text{ mg L}^{-1}$ ) te blago povišene u Prelošćici ( $1,78 \text{ mg L}^{-1}$ ), a na ostalim lokacijama uzorkovanja koncentracije ortofosfata bile su ispod granične vrijednosti koja iznosi  $1 \text{ mg L}^{-1}$  (tablica 4.1.1.).

Prema podacima prikazanim u tablici 4.1.1., vidljivo je dana 15.12.2021. koncentracija nitrata na svim lokacijama uzorkovanja bila višestruko premašena u odnosu na granične vrijednosti navedene u Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020), što nam pokazuje da takva voda nije adekvatna za ponovnu upotrebu u vidu navodnjavanja jer će u kanalu ubrzo doći do pojave eutrofikacije zbog povećanih koncentracija hranjivih tvari, odnosno ovakva voda ne bi se trebala primjenjivati bez kemijskih tretmana pročišćavanja.

Dana 01.04.2022. na lokaciji Ljubljance također je zabilježena višestruko povišena koncentracija nitrata, kao i ortofosfata (tablica 4.1.1.), što ukazuje da ta voda nije adekvatna za ponovnu uporabu bez tretmana pročišćavanja. Na ostalim lokacijama istog datuma uzorkovanja vrijednosti nitrata, amonija i ortofosfata bile su unutar dozvoljenih graničnih vrijednosti prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020), no preporuka bi bila provesti dodatne analize ostalih kemijskih, ali i fizikalnih i bioloških parametara kako bi sa sigurnošću mogli utvrditi da se voda može ponovno koristiti za navodnjavanje kultura.

Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020), dana 06.05.2022. i 24.05.2022. na području Ljubljance i Prelošćice zabilježene su povećane koncentracije ortofosfata te voda s tih lokacija i u navedenom razdoblju nije pogodna za ponovno korištenje (tablica 4.1.1.).

Dana 19.06.2022. jedino je na lokaciji Ljubljance bila izmjerena višestruko povećana vrijednost koncentracije ortofosfata (tablica 4.1.1.), a prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

Do povišenih vrijednosti koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u vodi u melioracijskim kanalima najčešće dolazi zbog nepoštivanja načela dobre poljoprivredne prakse, odnosno zbog nepravilne i nepravovremene primjene gnojiva na okolnom poljoprivrednom tlu. Poznato je da ukoliko se gnojidba ne provodi u optimalnom vremenskom razdoblju ili se provodi u prekomjernim količinama, u procjednoj vodi u tlu te u slivnoj vodi s takvih poljoprivrednih površina koje čine vodu koja se skuplja u melioracijskim kanalima, može doći do povišenih vrijednosti hranjiva, a osobito dušika (nitrata, amonija) i fosfata.

Upravo primjer za nepoštivanje dobre poljoprivredne prakse predstavlja lokacija Ljubljana gdje je prilikom uzorkovanja primijećeno da lokalni poljoprivrednici gnoje poljoprivredne površine gnojnicom i u prosincu, što se kosi s načelima II. Akcijskog programa zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrede, koji govori da je zabranjeno u periodu od 15. studenog do 15. veljače gnojiti gnojnicom ili gnojivkom na svim poljoprivrednim površinama bez obzira na pokrov. Također, spremnici za stajski gnoj moraju biti izgrađeni na način da se izbjegne moguće otjecanje u okoliš, odnosno da se izbjegne nepravilno skladištenje.

U ovome radu razmatrana je i ideja da se za navodnjavanje koristi voda iz melioracijskih kanala koja sadrži povećane koncentracije hranjiva (dušika, fosfora) te na taj način smanji potreba za gnojidbom kultura, međutim prema podacima iz tablice 4.1.1. vidljivo je da koncentracije nitrata, amonija i ortofosfata značajno variraju između istraživanih lokacija te na istoj lokaciji na različite datume uzorkovanja (tablica 4.1.1.). Primjer navedenog predstavlja lokacija Ljubljana gdje su koncentracije nitrata u razdoblju istraživanja varirale u rasponu od  $<0,080 \text{ mg L}^{-1}$  (01. 04. – 24. 05. 2022.) pa sve do  $151 \text{ mg L}^{-1}$  na dan 15. 12. 2021. (tablica 4.1.1.). Zbog takvih odstupanja u koncentracijama hranjiva teško je kontrolirati unesene količine pojedinih hranjiva zbog čega bi bilo vrlo teško osigurati optimalnu gnojidbu uzgajanih poljoprivrednih kultura te se također povećava mogućnost onečišćenja okoliša. Stoga bi se uz primjenu vode iz melioracijskih kanala koja sadrži povećane koncentracije dušika i fosfora u svrhu fertirigacije kultura (navodnjavanja uz dodavanje hranjiva), trebao provoditi i kontinuirani monitoring kakvoće te vode kako bi se postigla optimalna gnojidba te izbjeglo onečišćenje okoliša što bi svakako povećalo složenost procesa i troškove proizvodnje te moguće zahtijevalo dodatnu infrastrukturu. Navedeno upućuje na zaključak da kada su koncentracije dušika (nitrata, amonija) i fosfora u vodi u melioracijskim kanalima višestruko povećane, takva voda će imati određena ograničenja prilikom njezine ponovne upotrebe u svrhu navodnjavanja kultura. Također, potrebno je uzeti u obzir i to da kada voda u melioracijskim kanalima sadrži visoke koncentracije hranjiva, osobito pri višim temperaturama zraka, brzo dolazi do eutrofikacije i stvaranja trule vode jer je brzina tečenja vode u kanalima smanjena, a postoji i mogućnost začepjenja sustava za navodnjavanje (osobito ukoliko se radi o navodnjavanju kapanjem) zbog povećanih koncentracija soli. Stoga, u slučaju višestruko povećanih koncentracija dušika i fosfora u vodi u melioracijskim kanalima, takva voda se ne bi trebala ponovno koristiti za navodnjavanje kultura bez tretmana pročišćavanja vode.

S druge strane, u slučaju da koncentracije dušika i fosfora u vodi u melioracijskim kanalima zadovoljavaju prihvatljive granične vrijednosti, voda se može ponovno upotrijebiti u

svrhu navodnjavanja kultura ukoliko i ostali kemijski te fizikalni i biološki parametri kakvoće vode također zadovoljavaju granične vrijednosti. Dodatne analize ostalih pokazatelja kakvoće vode su potrebne iz razloga što niske koncentracije dušika i fosfora, iako upućuju na ispravnu i pravovremenu gnojidbu te time i na povoljnu kakvoću vode, ipak nisu dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode s obzirom da se u poljoprivrednoj praksi mogu primjenjivati različite formulacije gnojiva te pesticidi. Stoga bi se voda iz melioracijskih kanala koja sadrži dušik i fosfor u koncentracijama unutar prihvatljivih graničnih vrijednosti može klasificirati kao voda za koju postoji mogućnost njezine ponovne upotrebe za navodnjavanje, ali uz obaveznu provjeru ostalih značajnih pokazatelja kakvoće vode.

Stoga rezultati ovoga rada upućuju na mogućnost klasifikacije vode iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora na sljedeći način:

1. Kada su koncentracije dušika i fosfora u vodi u melioracijskom kanalu unutar prihvatljivih granica, to upućuje na povoljnu kemijsku kakvoću vode za njezinu ponovnu upotrebu u poljoprivrednoj proizvodnji, uz obveznu provjeru ostalih kemijskih te fizikalnih i bioloških parametara te ukoliko i oni zadovoljavaju, voda se može koristiti (za primjerice navodnjavanje kultura).
2. Kada su koncentracije dušika i fosfora u vodi u melioracijskom kanalu višestruko povećane, to upućuje na to da se takva voda ne bi trebala koristiti bez prethodnog tretmana pročišćavanja vode, a osobito za navodnjavanje kultura jer je vrlo teško osigurati optimalnu gnojidbu kultura te postoji mogućnost začepjenja sustava za navodnjavanje, kao i onečišćenja okoliša.

Iz navedenog proizlazi sljedeća klasifikacija vode iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora u vodi:

1. Voda iz melioracijskog kanala koja sadrži niske koncentracije dušika i fosfora:
  - voda s mogućnosti upotrebe u poljoprivrednoj proizvodnji uz zadovoljavajuće vrijednosti ostalih fizikalnih, kemijskih i bioloških parametara kakvoće vode,
  - koncentracije dušika i fosfora nisu dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode za donošenje odluke o njezinu ponovnom korištenju;
2. Voda iz melioracijskog kanala koja sadrži visoke koncentracije dušika i fosfora:
  - voda nema mogućnost izravne upotrebe u poljoprivrednoj proizvodnji ili je s ograničenom mogućnosti upotrebe isključivo uz prethodnu primjenu odgovarajućih tretmana pročišćavanja vode,
  - koncentracije dušika i fosfora mogu biti dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode za donošenje odluke o njezinu korištenju.

## 6. Zaključak

Nestašica vode je sve veći problem današnjice uzrokovan klimatskim promjenama i prekomjernim crpljenjem vodnih resursa. Poljoprivredni sektor je najveći potrošač vode, ali i jedan od značajnijih onečišćivača okoliša. Naime, brojne poljoprivredne prakse imaju loš utjecaj na kakvoću i količinu dostupne vode. Navedeno se prvenstveno odnosi na pretjeranu i nestručnu primjenu dušičnih i fosfornih gnojiva. Kako bi se smanjio problem nedostatka vode, odnosno kako bi se smanjila potreba za crpljenjem zaliha pitke vode, poželjno je provoditi održivo gospodarenje otpadnom vodom iz poljoprivrede, što uključuje upotrebu vode iz melioracijskih kanala. Međutim, mogućnost ponovne primjene vode iz kanala ovisi o njezinoj kakvoći, prvenstveno opterećenjem hranjivima.

U ovom radu proveden je istraživački dio koji je uključivao laboratorijske analize koncentracija nitrata, amonija i ortofosfata u uzorcima vode iz 6 melioracijskih kanala s područja Sisačko-moslavačke županije (Budaševo, Ljubljana, Lijeva Luka, Odra, Prelošćica i Setuš), prikupljenih u razdoblju od 15. prosinca 2021. godine do 19. lipnja 2022. godine. Rezultati ovoga rada upućuju na mogućnost klasifikacije vode iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora na način da kada su koncentracije dušika i fosfora u vodi u melioracijskom kanalu unutar prihvatljivih granica (primjeri lokacija Budaševo, Lijeva Luka, Odra i Setuš) što upućuje na povoljnu kemijsku kakvoću vode, uz obveznu provjeru ostalih kemijskih te fizikalnih i bioloških parametara, takva voda bi se mogla koristiti za primjerice navodnjavanje kultura. Međutim, kada su koncentracije dušika i fosfora u vodi u melioracijskom kanalu višestruko povećane (primjeri lokacija Ljubljana i Prelošćica), to upućuje na to da se takva voda ne bi trebala koristiti bez prethodnog tretmana pročišćavanja vode, a osobito za navodnjavanje kultura jer je vrlo teško osigurati optimalnu gnojidbu kultura te postoji mogućnost začepjenja sustava za navodnjavanje, kao i onečišćenja okoliša.

Iz svega navedenog proizlazi sljedeća mogućnost klasifikacija vode iz melioracijskih kanala prema koncentraciji dušika i fosfora u vodi.

1. Voda iz melioracijskog kanala koja sadrži niske koncentracije dušika i fosfora može se klasificirati kao voda s mogućnosti upotrebe u poljoprivrednoj proizvodnji uz zadovoljavajuće vrijednosti ostalih kemijskih te fizikalnih i bioloških parametara kakvoće vode, međutim u ovome slučaju koncentracije dušika i fosfora nisu dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode za donošenje odluke o njezinu ponovnom korištenju;
2. Voda iz melioracijskog kanala koja sadrži visoke koncentracije dušika i fosfora može se klasificirati kao voda koja nema mogućnost izravne upotrebe u poljoprivrednoj proizvodnji ili s ograničenom mogućnosti upotrebe isključivo uz prethodnu primjenu odgovarajućih tretmana pročišćavanja vode, a u navedenom slučaju koncentracije dušika i fosfora mogu biti dovoljan samostalan pokazatelj kakvoće vode za donošenje odluke o njezinu korištenju.

## 7. Popis literature

1. II. Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla (NN 60/2017).
2. Blacoh University (2015). 'All Things Water Course I, Nutrient Removal, Part 2 of 2 <https://www.youtube.com/watch?v=yUiVdZ-H4sE> (pristup 01.08.2022.).
3. Carr R.M., Blumenthal U.J., Duncan Mara D. (2004). Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. *Water Science and Technology*. 55(2): 31-38.
4. Chaplin M. F. (2001). Water: its importance to life. *Biochemistry and molecular biology education*. 29(2): 54-59.
5. Crini G., Lichtfouse E. (2018). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*. [online] 17(1): 145-155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9> (pristup 01.08.2022.)
6. Direktiva vijeća o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora (91/676/EEZ)
7. El Sabeh K., Novak Mavar K., Gaurina-Međimurec N. (2019). Bioremedijacija zauljenog otpada i procesa naftnog rudarstva. *Nafta i plin*. 39(159-160): 123-131.
8. FZOEU (2022). Gospodarenje otpadom. <https://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje-otpadom/1345> (pristup 25.07.2022.).
9. Gereš D. (2004). Kruženje vode u zemljinom sustavu. *Građevinar*. 56(06): 355-365.
10. Gleick P. (2003). Water Use. *Annual review of environment and resources*. [online] 28(1):275-314. [https://www.academia.edu/902672/Water\\_Use?auto=citations&from=cover\\_page](https://www.academia.edu/902672/Water_Use?auto=citations&from=cover_page) (pristup 25.07.2022.).
11. Grgić P. (2014). Utjecaj poljoprivrednih aktivnosti na stanje okoliša, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet. <https://repositorij.fazos.hr/islandora/object/pfos%3A396/datastream/PDF/view> (pristup 26.07.2022.)
12. Grizelj-Šimić V. (2016). Kontrola izvora onečišćenja voda. *Hrvatske vode*. 24(96): 147-160
13. Huibers F. P., Van Lier J. B. (2005). Use of Wastewater in Agriculture: The Water Chain Approach. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. [online]. 54(S1): 3-9 <https://doi.org/10.1002/ird.181> (pristup 30.07.2022.)
14. Jaramillo M. F., Restrepo I. (2017). Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about Its Limitations and Benefits. *Sustainability*. [online]. 9(10): 1-19 <https://doi.org/10.3390/su9101734> (pristup 05.08.2022.)
15. Jendričko V. (2015). Pročišćavanje otpadnih voda. Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:252> (pristup 29.07.2022.)

16. Klemar L. (2018). Obrada otpadnih muljeva iz procesa pročišćavanja otpadnih voda. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/simet%3A172> (pristup 29.07.2022.)
17. Markeš R. (2018). Otpadne vode u farmaceutskoj industriji. Završni rad, Sveučilište u Karlovcu, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:464347> (pristup 01.08.2022.)
18. Matan K. (2022). Utjecaj dušika iz pročišćene otpadne vode na ekološko stanje rijeke Kupe. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
19. Novotni M. (2019). Sustavi za pročišćavanje otpadnih voda zemljišta. Završni rad, Sveučilište u Karlovcu, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:016470> (pristup 02.08.2022.)
20. Ondrašek G., Petošić D., Tomić F., Mustać I., Filipović V., Petek M., Lazarević B., Bubalo M. (2015). Voda u agroekosustavima. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet. 13-22.
21. Ondrašek G., Romić D., Bakić Begić H., Bubalo Kovačić M., Husnjak S., Mesić M., Šestak I., Salajpal K., Barić K., Bažok R., Pintar A., Romić M., Krevh V., Konjačić M., Vnućec I., Zovko M., Brkić Ž., Žiža I., Kušan V. (2019). Određivanje prioriteta područja motrenja podzemnih voda unutar intenzivnog poljoprivrednog prostora (SARGA 2). Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb. 298-306.
22. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020)
23. Perić J., Vukojević Medvidović N., Nuić I. (2012). Inženjerstvo otpadnih voda. Priručnik za laboratorijske vježbe. Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Zavod za inženjerstvo okoliša. 60. str.
24. Petošić D., Mustać I., Filipović V. (2011). Utjecaj poljoprivredne proizvodnje na onečišćenje voda u Biđ-Bosutskom polju. Šumarski list, Hrvatsko šumarsko društvo. 518-519. str.
25. Povrenović D., Knežević M. (2013). Osnove tehnologije prečišćavanja otpadnih voda. Tehnološko-metalurški fakultet Beograd.
26. Sengupta S., Pandit A. (2011). Selective removal of phosphorus from wastewater combined with its recovery as a solid-phase fertilizer. Water research. 45(11): 3318-3330.
27. Shen Z., Niu J., Wang Y., Wang H., Zhao X. (2012). Distribution and Transformation of Nutrients in Large-scale Lakes and Reservoirs. Springer, Berlin, Heidelberg. 17. str.
28. Štrkalj A. (2014). Onečišćenje i zaštita voda. Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet.
29. Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse. American Water Works Association. Journal. [online]. 95(5), 551.str. <https://www.proquest.com/openview/82d18bbd088cd47b8eee58569f8f6a36/1?pg-origsite=gscholar&cbl=25142> (pristup 05.08.2022.)
30. Timeco (2008). Biološka obrada otpadnih voda. Meso, Vol. 10. 114. str. <https://hrcak.srce.hr/file/53001> (pristup 08.08.2022.)

31. Tušar B. (1992). Gospodarenje otpadom. Socijalna ekologija: časopis za ekološku misao i sociologijska istraživanja okoline. 1(4): 547-554
32. Tušar B. (2009). Pročišćavanje voda. Kigen d.o.o. i Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
33. Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/98).
34. Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019).
35. Ustav Republike Hrvatske - pročišćeni tekst (NN 85/2010).
36. Višić K., Vojnović B., Pušić T. (2015). Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda – zakonski propisi. Tekstil. 64(3-4): 109-121.
37. Voća N. (2012). Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2005.-2008. Agencija za zaštitu okoliša. [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/06\\_integrirane/dokumenti/niso/Izvjescje%20o%20stanju%20okolisa%20u%20RH\\_2005-2008.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/06_integrirane/dokumenti/niso/Izvjescje%20o%20stanju%20okolisa%20u%20RH_2005-2008.pdf) (pristup 09.08.2022.)
38. Yeoman S., Stephenson T., Lester J. N., Perry R. (1988). The removal of phosphorus during wastewater treatment: A review. Environmental Pollution. 49(3): 183-223.
39. Zakon o vodama (NN 66/2019).
40. Zorica M. (2018). Gospodarenje otpadom. Završni rad. Veleučilište u Šibeniku. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:143:132048> (pristup 02.08.2022.)
41. Žic E., Vasović D. (2019). Podrijetlo vode i njeno značenje na planeti Zemlji. Zbornik radova, Stručni rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. XXII(1): 141-158. 10.32762/zr.22.1.9 (pristup 26.07.2022.)

## Životopis

Mirna Avdić rođena je 20. 06. 1998. godine u Sisku gdje je pohađala Osnovnu školu braće Ribar. Za vrijeme osnovnoškolskog obrazovanja bila je članica KUD-a Ivan Goran Kovačić. Godine 2013. upisuje Tehničku školu Sisak, smjer ekološki tehničar. Maturirala je 2017. godine. Iste godine upisuje preddiplomski studij Zaštita bilja na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. Tijekom treće godine studija bila je članica izvannastavne aktivnosti Vrtlarska grupa, s kojom je sudjelovala na različitim događanjima (Agroadvent, Smotra Sveučilišta). Godine 2020. upisuje diplomski studij Obnovljivi izvori energije u poljoprivredi. Tijekom diplomskog studija priključila se izvanastavnoj aktivnosti Agroenergetska grupa te postaje Student-tutor.