

# Ponovna upotreba otpadne vode

---

Šarić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:302683>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

IVAN ŠARIĆ

PONOVNA UPOTREBA OTPADNE VODE  
DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD  
PONOVNA UPOTREBA OTPADNE VODE

KANDIDAT:

Ivan Šarić

MENTOR:

Doc. dr. sc. Siniša Širac

VARAŽDIN, 2019.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: IVAN ŠARIĆ  
Matični broj: 180 - 2017./2018.  
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

PONOVNA UPOTREBA OTPADNE VODE

Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Pročišćavanje otpadnih voda  
3. Ponovna upotreba otpadne vode  
4. Prednosti ponovne upotrebe otpadne vode i upravljanje rizikom  
5. Sustav odvodnje grada Poreča i okolice  
6. Zaključak  
7. Literatura  
8. Popis slika  
9. Popis tablica

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 18.03.2019.

Rok predaje: 04.07.2019.

Mentor:

Doc.dr.sc. Siniša Širac

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

PONOVNNA UPOTREBA OTPADNE VOJE

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Doc. Dr. sc. Siniše Širca**

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

U Varaždinu, 04.07.2019.

IVAN ŠARIĆ

(Ime i prezime)

Siniše

(Vlastoručni potpis)

## **SAŽETAK**

**NASLOV RADA:** Ponovna upotreba otpadne vode

**Autor:** Ivan Šarić

Tema ovog rada je ponovna upotreba otpadne vode i moguća primjena tehnologije u industriji, poljoprivredi i urbanim sredinama s ciljem uštede vode. S obzirom na gospodarski razvoj, porast stanovništva i neodgovorno ljudsko ponašanje prema okolišu primarni izvori prirodne čiste vode su u mnogim slučajevima ugroženi. Ponovna upotreba otpadne vode je kvalitetno rješenje za održivo gospodarenje vodom, to jest vrlo bitan segment za očuvanje okoliša. Da ne bi došlo do onečišćenja prirodnog vodnog sustava, prije ispuštanja u okoliš komunalne otpadne vode potrebno je provesti kroz sustav pročišćavanja kako bi zadovoljile određene uvjete kvalitete. Cilj je s tehnološkim pristupom omogućiti ponovnu upotrebu što bi doprinijelo smanjenju onečišćenja recipijenta i operativnih troškova. U radu će biti obrađen projekt aglomeracije grada Poreča gdje će se na temelju postojećeg stanja i rezultata mjerenja količina otpadnih voda prikazati planirano stanje koje nudi ponovnu upotrebu pročišćene otpadne vode za zalijevanje zelenih i poljoprivrednih površina.

**Ključne riječi:** ponovna upotreba vode, aglomeracija, ušteda vode, recikliranje vode, pročišćavanje otpadnih voda.

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pročišćavanje otpadnih voda .....	2
2.1 Direktiva o pročišćavanju otpadnih komunalnih voda.....	5
2.2 Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda.....	6
3. Ponovna upotreba otpadne vode .....	7
3.1 Stanje u svijetu .....	9
3.2 Mogućnost primjene.....	12
4. Prednosti ponovne upotrebe otpadne vode i upravljanje rizikom.....	16
4.1 Ekološke prednosti .....	16
4.2 Ekonomske prednosti .....	16
4.3 Upravljanje rizikom .....	17
5. Sustav odvodnje grada Poreča i okolice .....	19
5.1 Postojeće stanje .....	21
5.2 Analiza otpadnih voda.....	26
5.3 Planirano stanje .....	33
5.4 Tehnologija membranskog bioreaktora.....	36
6. Zaključak .....	40
8. Popis slika .....	47
9. Popis tablica.....	48

## 1. Uvod

Voda je vrlo bitan i nezamjenjiv resurs kao temeljni čimbenik ljudskog opstanka, gospodarskog i urbanog razvoja. Međutim, zbog gospodarskog razvoja i porasta stanovništva znatno su se povećale količine otpadnih voda koje se ispuštaju u vodotoke te je potrebno zaštititi iskorištavanje vodnih resursa. Današnje gospodarenje vodnim resursima je neodrživo za budućnost i bez odgovarajućeg održivog upravljanja s ciljem štednje i optimizacijom iskorištavanja vode, količine vodnih resursa će biti ugrožene. Da ne bi došlo do onečišćenja prirodnog vodnog sustava, prije ispuštanja u okoliš komunalne otpadne vode potrebno je provesti kroz sustav pročišćavanja kako bi zadovoljile određene uvjete kvalitete.

Projektima aglomeracije koji se provode postiže se napredak u sustavima odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Republici Hrvatskoj je na sustav javne vodoopskrbe priključeno oko 84 % stanovništva, na sustave kanalizacije manje od 54 %, a pročišćava se samo 38 % otpadnih voda. U Republici Hrvatskoj izgrađeno je nešto više od 210 uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda s različitim stupnjevima i različitim tehnološkim postupcima pročišćavanja. Jedna od mjera koja vodi održivom upravljanju vodnih resursa je ponovna upotreba otpadnih voda u svrhe navodnjavanja, komunalnih potreba i u industrijskim procesima. Cilj ponovne upotrebe otpadne vode je smanjivanje eksploatacije vode iz primarnih izvora te financijske uštede [1].



## 2. Pročišćavanje otpadnih voda

Kao posljedica gospodarskog razvoja i porasta stanovništva raste i količina otpadnih voda. Da bi se zaštitila kvaliteta prirodnih vodnih sustava potrebno je prije ispuštanja u recipijent pomoću pročišćavanja zadovoljiti određene uvjete kvalitete. Otpadne vode možemo podijeliti na [2]:

- sanitarne (kućanske)
- tehnološke (industrijske)
- komunalne
- procjedne vode deponija
- potencijalno onečišćene oborinske vode

Uklanjanje onečišćujućih tvari pojedinačnim procesima ili njihovom kombinacijom vrednuje se kao učinak pročišćavanja, tj. odnos postignutog smanjenja koncentracije onečišćujuće tvari prema koncentraciji iste tvari u dotoku otpadnih voda. Učinkovitost rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ovisi o stupnju obrade. Za svaki stupanj obrade predviđaju se pojedinačni objekti i oprema, kao i dopunska oprema koja mora pridonijeti tomu da se otpadne tvari iz onečišćene vode trajno uklone na odgovarajući način. Planiranje linija tehnoloških procesa ovisi o količini i sastavu otpadnih voda, ali i o zahtjevima koji se odnose na vode koje se obrađuju. Kada se pročišćuju gradske otpadne vode najčešće se rabe fizikalni i biološki procesi pročišćavanja uz primjenu različitih procesa obrade mulja [2].

Procesi pročišćavanja kojima se podvrgava otpadna voda mogu biti fizikalni, kemijski i biološki, a u Tablici 1 prikazana je podjela pročišćavanja prema stupnjevima (fizikalno ili primarno pročišćavanje, biološko ili sekundarno, te fizikalno-kemijsko i kemijsko, odnosno tercijarno pročišćavanje) [2].

## **Fizikalni procesi pročišćavanja**

Fizikalni procesi su radnje kojima se iz otpadnih voda uklanjaju krupne raspršene i plutajuće otpadne tvari pomoću rešetki. Daljnji postupci uključuju taloženje (sedimentaciju) krutih čestica pomoću gravitacijske sile u pjeskolovima te flotaciju u mastolovu u kojem se tvari iz tekućine odvajaju izdizanjem na površinu s koje se potom odvajaju. Postupci u pjeskolovu i mastolovu provode se obavezno, a nazivaju se još i prethodni postupci pročišćavanja otpadnih voda [2].

## **Biološki procesi pročišćavanja**

Biološki proces obrade otpadnih voda jest razgradnja organskih tvari uz pomoć zajednice mikroorganizama, a odvija se spontano i u prirodi. Mikroorganizmi, najčešće bakterije, apsorbiraju organsko onečišćenje i hranjive soli koji su raspršeni ili otopljeni u otpadnim vodama. Mikroorganizmi koji obavljaju razgradnju mogu se podijeliti u skupine [2]:

### 1. prema potrebi za kisikom:

- aerobni mikroorganizmi, kojima je kisik otopljen u vodi potreban za život
- anaerobni mikroorganizmi, koji mogu živjeti bez kisika otopljenog u vodi
- fakultativni mikroorganizmi, koji mogu živjeti uz kisik otopljen u vodi ili bez njega

### 2. prema vrsti metabolizma:

- autotrofni organizmi, koji se koriste Sunčevom energijom i anorganskim tvarima te proizvode nove organske spojeve
- heterotrofni organizmi, koji se za život koriste gotovim organskim spojevima

## Fizikalno - kemijski i kemijski procesi pročišćavanja

Fizikalno-kemijski i kemijski postupci pročišćavanja uključuju [2]:

- postupke bez kemijskih promjena sastojaka (filtriranje, adsorpcija, ozračivanje, inverzna osmoza, destilacija)
- postupke s kemijskim promjenama sastojaka (neutralizacija, flokulacija, koagulacija, kemijska precipitacija (taloženje, obaranje), ionska izmjena, oksidacija).

U pročišćavanju komunalnih otpadnih voda koriste se sljedeći procesi: rešetanje, izravnavanje/ujednačavanje (egalizacija), miješanje, taloženje (sedimentacija), isplivavanje (flotacija), cijedenje (filtriranje), adsorpcija, aerobni i anaerobni procesi, nitrifikacija i denitrifikacija te uklanjanje fosfora [2].

Tablica 1. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda [2]

Predtretman	1. stupanj	2. stupanj	3. stupanj
Rešetanje Usitnjavanje Uklanjanje pijeska i masnoća	Uklanjanje raspršene tvari  Taloženje  Isplivavanje	Uklanjanje biorazgradive tvari  Biološki postupci  Fizikalno-kemijski postupci	Uklanjanje dušika i fosfora  Uklanjanje postojane organske tvari  Uklanjanje teških metala i otopljene anorganske tvari

## 2.1 Direktiva o pročišćavanju otpadnih komunalnih voda

Zakonodavstvo EU postavlja obvezujuće standarde svim svojim članicama kako bi se osigurala visoka kvaliteta vode za piće te ograničilo onečišćenje uzrokovano otpadnim vodama. Države članice moraju redovito izvještavati o ključnim parametrima kakvoće vode i osigurati da sva značajna ispuštanja otpadnih voda iz kućanstva i industrije prolaze sakupljanje i obradu. Također, definirana je kvaliteta vode pogodne za kupanje i postavljeni su zahtjevi za kvalitetu pitke vode radi zaštite ljudskog zdravlja. Navedeni akti okosnica su zajedničkih napora država članica u osiguravanju javnog zdravlja i zaštite okoliša u cijeloj Europi u području vodnog gospodarstva. Različite direktive imaju posebne uloge u pružanju njihovih ciljeva. Umjesto ispunjavanja određenog cilja pojedinačne direktive, razmatranja sinergije između direktiva može dovesti do niza prednosti, poput bolje integracije potreba u kreiranju troškovno učinkovitih mjera za poboljšanje statusa i kvalitete naših voda [3].

Direktiva o pročišćavanju otpadnih komunalnih voda (91/271/EEZ) odnosi se na prikupljanje, pročišćavanje i ispuštanje komunalnih otpadnih voda te pročišćavanje i ispuštanje voda iz određenih industrijskih sektora. Najbolji odnos izgrađenih uređaja koji ispunjavaju zahtjeve iz direktive je na područjima Vodnogospodarskih odjela za srednju i donju Savu te Dunav i donju Dravu, dok je najmanji broj uređaja koji ispunjavaju zahtjeve na području Vodnogospodarskog odjela za gornju Savu [1].

Direktiva (91/271/EEZ) također propisuje u članku 12. [3]: „*Pročišćene otpadne vode ponovno će se koristiti kad je god moguće. Načinima ispuštanja otpadnih voda moraju se minimizirati štetni utjecaji na okoliš.*“

## 2.2 Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda

Ovim se pravilnikom propisuju granične vrijednosti emisija u tehnološkim otpadnim vodama (Narodne novine, broj 80/13, 43/14, 27/15 i 3/16) prije njihova ispuštanja u građevine javne odvodnje ili u septičke ili sabirne jame i u svim pročišćenim ili nepročišćenim otpadnim vodama koje se ispuštaju u vode, uvjeti privremenog dopuštenja ispuštanja otpadnih voda iznad propisanih količina i graničnih vrijednosti emisija, kriteriji i uvjeti prikupljanja, pročišćavanja i ispuštanja komunalnih otpadnih voda te iznimno dopuštena ispuštanja u podzemne vode, metodologija uzorkovanja i ispitivanja sastava otpadnih voda, učestalost uzorkovanja i ispitivanja. U pravilniku su propisane granične vrijednosti pokazatelja kvalitete i njihove dopuštene koncentracije te najmanje smanjenje ulaznog opterećenja otpadnih voda koje se ispuštaju u prirodni prijemnik iz uređaja za pročišćavanje nakon određenog stupnja pročišćavanja (Tablica 2.) [4].

Tablica 2 Granične vrijednosti pokazatelja u otpadnim vodama nakon pročišćavanja [4]

Stupanj pročišćavanja	Pokazatelj	Granična vrijednost	Najmanje smanjenje ulaznog opterećenja
I.	ukupne suspendirane tvari	-	20%
	biokemijska potrošnja kisika (BPK5) 20°C	-	50%
II.	ukupne suspendirane tvari	35 mg/l (veće od 10 000 ES)	90%
		60 mg/l (2 000 do 10 000 ES)	70%
	biokemijska potrošnja kisika (BPK5) 20°C	25 mg O <sub>2</sub> /l (veće od 10 000 ES) 40 mg O <sub>2</sub> /l (2 000 do 10 000 ES)	70%-90%
III.	kemijska potrošnja kisika (KPK)	125 mg O <sub>2</sub> /l (veće od 10 000 ES) 150 mg O <sub>2</sub> /l (do 10 000 ES)	75%
	ukupni fosfor	2 mg P/l (10 000 do 100 000 ES) 1 mg P/l (veće od 100 000 ES)	80%
III.	ukupni dušik (organski N + NH <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )	15 mg N/l (10 000 do 100 000 ES)	70%-80%
		10 mg N/l (veće od 100 000 ES)	

### 3. Ponovna upotreba otpadne vode

Ponovna upotreba definira se kao radnja ili praksa ponovnog korištenja, bilo za svoju prvobitnu svrhu ili za ispunjavanje različite funkcije. Takva radnja omogućava dostupnost resursa u područjima gdje su sredstva ograničena te pridonosi održivom razvoju koji je bitan za očuvanje okoliša za sljedeće generacije, očuvanje flore i faune te ublaživanje klimatskih promjena. Danas se sve češće pojam održivog razvoja koristi i u procesima obrade otpadnih voda te se uvodi pojam „vodeni otisak“ (WF, engl. Water footprint). Vodeni otisak spada u tzv. „obitelj otisaka“ kao što su ekološki otisak i otisak ugljika [5] [6]. Dugoročno gledano, s ciljem održivosti, svrha obrade otpadnih voda neće biti samo zaštita ljudskog zdravlja i površinskih voda nego i kontrolirano korištenje resursa te smanjenje potrošnje energije i vode.

Otisak ugljika je količina CO<sub>2</sub> i ostalih stakleničkih plinova koji su ispušteni tokom procesa. Procesi obrade otpadne vode iziskuju veliku potrošnju energije te je posljedica toga povećanje ugljikovog otiska, na primjer zbog aeracije tijekom biološke obrade. Vodeni otisak mjeri količinu vode u kubnim metrima na godišnjoj razini (m<sup>3</sup>/god) koja se utroši za neki proces gdje je potrebna izravna ili neizravna upotreba vode. Također uključuje potrošnju i onečišćenje voda tijekom svakog procesa od distribucije do krajnjeg korisnika. Vodeni otisak se sastoji od tri komponente: zelene, plave i sive. Izvori vode kao oborine (zelene vode), površinske/podzemne vode (plave vode) i količine slatke vode koja je potrebna za krajnje korisnike (siva voda). Mjerenjem količine potrošene vode u nekom procesu saznaje se koriste li se resursi pitke vode produktivno to jest koliko je proizašlo onečišćene vode iz svake litre potrošene vode. Ova mjera efikasnosti se može primijeniti na količinu potrošene vode (zeleni i plavi otisak) kao i količine onečišćene vode (sivi otisak) što znači da ako proces završi sa manje sive vode smanjuje se pritisak na zelene i plave vode [7].

Veliku ulogu u smanjenju vodenog otiska imaju uređaji za pročišćavanje otpadnih voda koji sprečavaju ispuštanje neobrađene otpadne vode u okoliš. Vodeni otisak pruža informacije o utjecaju na korištenje resursa pitke vode [7]. U radu „Water footprint assesment in waste water treatment plant“ koji predstavlja procjenu potrošnje vodnih resursa u postrojenjima uzimajući u obzir zelene i plave vode obrađena su 3 scenarija na stvarnom uređaju koji obrađuje 4000 m<sup>3</sup>/dan otpadne vode: (I) bez tretmana (II) sekundarni tretman i (III) tercijalni tretman. Metodologija provedenih mjerenja započela je definiranjem cilja i opsega procjena i odabirom tipova vodenih otisaka. Nakon toga slijedi prikupljanje podataka i računanje vodenog otiska ( $WF=WF_{plavi} + WF_{sivi}$ ). Treća faza uključuje evaulaciju vodenog otiska sa stajališta održivosti, dok zadnja faza služi za prijedlog mjera za smanjenje vodenog otiska. Rezultati mjerenja su pokazali da prvi scenarij ima najveći vodeni otisak jer ne uključuje obradu otpadne vode nego njeno direktno ispuštanje u recipijent (7,479 507 m<sup>3</sup>/mjeseć), dok drugi scenarij koji uključuje sekundarni tretman ispusti manje otpadne vode ( 3,628 295 m<sup>3</sup>/mjeseć). Treći scenarij koji ima tercijalnu obradu ima najniži vodeni otisak (2,062 718 m<sup>3</sup>/mjeseć). Rezultati dokazuju da obrada otpadne vode smanjuje vodeni otisak te da je pročišćavanje otpadnih voda nužan proces u smanjenju vodenog otiska. Također, ponovna upotreba pročišćene otpadne vode smanjuje vodeni otisak i takva vode može se ponovno koristiti u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih i zelenih površina kao i za industrijske procese. Stupanj obrade uvjetuje njenu kasniju upotrebu koja donosi financijske uštede [8].

Posljedica svjetske urbanizacije je povećanje količine otpadnih voda i trošenje sve više Zemljinih resursa. Otpadne vode je potrebno sagledati kao mogući alternativni resurs to jest resurs za ponovnu upotrebu. Iskorištena voda je jedan od najslabije korištenih resursa iako današnja tehnologija i budući razvoj omogućuje ponovnu upotrebu otpadne vode u industriji kao rashladni medij, u poljoprivredi za navodnjavanje i urbanim sredinama za zalijevanje zelenih površina [8].

### 3.1 Stanje u svijetu

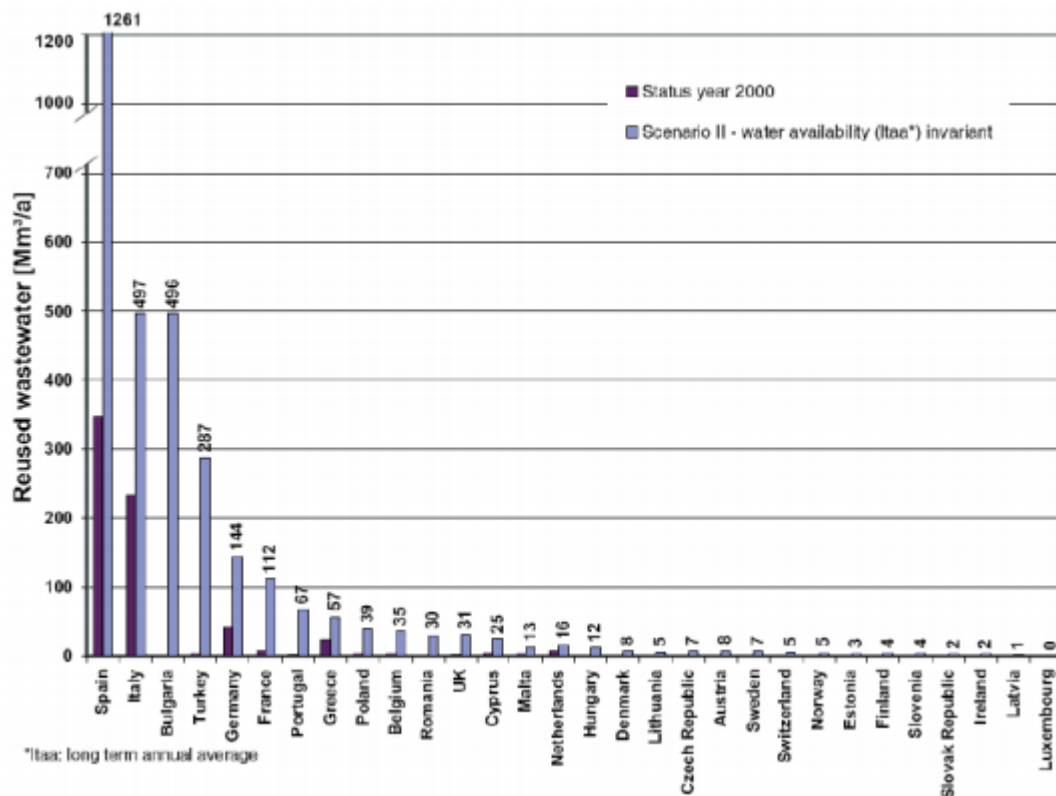
Ponovna upotreba otpadne vode ima mnoge prednosti kao što su manje ispuštanje otpadnih voda u recipient, manja potrošnja pitke vode te financijske uštede. Naravno da ima i nedostataka. Na primjer, mogućnost ugrožavanja ljudskog zdravlja i kontaminacija podzemnih voda. Nedostatci se mogu smanjiti korištenjem membranskih tehnologija koje su vrlo popularne u obradi otpadnih voda, kao i u kasnijoj obradi za ponovnu upotrebu. Membrane imaju veliku prednost, to jest mogućnost uklanjanja otopljenih tvari, organskih spojeva, spojeva s dušikom i fosforom te patogena poput bakterija i virusa [10].

U svijetu su Kina, Meksiko i Sjedinjene Američke Države zemlje s najvećom količinom ponovno upotrijebljene otpadne vode dok su Katar, Izrael i Kuvajt u vrhu tablice zemalja s najvećim stupnjem ponovnog korištenja po glavi stanovnika. Kina je na prvom mjestu u ukupnoj ponovnoj upotrebi vode, a Katar je prvi po ponovnoj upotrebi vode po glavi stanovnika. Kuvajt ima udio ponovno korištene vode u ukupnoj površini od 2,2 % dok SAD obrađuje 7,6 milijuna m<sup>3</sup>/danu za ponovnu upotrebu. U svijetu se trenutno obradi i ponovno upotrijebi 1 milijarda m<sup>3</sup> vode godišnje. Potencijal je puno veći, ali to ovisi o ekonomskoj isplativosti te mogućnosti korištenja takve vode i zakonskoj regulativi. Sulaibiya je najveće svjetsko postrojenje za obradu vode za ponovnu upotrebu pomoću membranske tehnologije. Nalazi se u blizini Kuvajta i obradi 375 000 m<sup>3</sup>/dan. Takva voda nije za piće te se miješa sa boćatom vodom. Influent koji prolazi proces pročišćavanja prvo prolazi primarnu obradu, a zatim slijedi biološka obrada. Cilj biološke obrade je proizvesti efluent s BPK (biološka potrošnja kisika) i TSS (ukupna suspendirana tvar) vrijednostima ne većim od 20 mg/L. Nakon biološke obrade slijedi ultrafiltracija (UF) i reverzna osmoza (RO) gdje efluent postaje upotrebljiv za ponovnu upotrebu. Kombinacija prethodno spomenutih membrana (UF+RO) omogućuje uklanjanje bakterija i patogena i tako nastaje voda zadovoljavajuće kvalitete za ponovnu upotrebu [10].

Ujedinjeni narodi (UN) su za Svjetski dan voda u 2017. godini obrađivali tematiku otpadnih voda što je pomoglo podizanju svijesti za rješavanje tog globalnog problema. Prema ciljevima održivog razvoja koje je predložio UN u svjetskom izvješću „Water Development“ iz 2017., obvezuju se vlade na prepolovljavanje udjela nepročišćenih otpadnih voda i znatno povećanje recikliranja i sigurne ponovne uporabe do 2030. godine.



Danas, oko 80% otpadnih voda bez prethodne obrade završi u vodotocima čime se ugrožava zdravlje ljudi i okoliš. Osim prethodno spomenutog izvješća, o otpadnoj vodi kao alternativnom resursu govori Svjetsko izvješće o razvoju vode iz 2017. godine. To izvješće prikazuje tehničke aspekte otpadne vode, zakone vezane za i ponovnu upotrebu otpadne vode, te regionalne aspekte tog područja za cijeli svijet. U Europi 71% otpadne vode prolazi neki stupanj pročišćavanja, a u Južnoj Americi taj udio čini samo 20%. Svjetsko tržište ponovne upotrebe otpadne vode u 2016. godini doseglo je zaradu od 12,2 milijarde dolara, dok se za 2021. godinu procjenjuje rast za 100%. Ovakav podatak prikazuje velike potrebe za ovakvom industrijom te pogodnosti za okoliš, ekonomiju i klimatske promjene što je razlog da se u Europskoj uniji ponovnoj upotrebi pristupa vrlo ozbiljno. Izvješće o ponovnoj upotrebi vode iz 2013. godine donosi prikaz trendova i trenutne situacije u toj industriji. Slika broj 1 prikazuje potencijal zemalja EU-a za ponovnu upotrebu otpadne vode [11] [12].



Slika 1. Potencijal ponovne upotrebe otpadnih voda zemalja EU-a [12]

Ponovna uporaba vode u EU-u trenutačno je daleko od ostvarivanja svojeg potencijala, unatoč činjenici da su utjecaj na okoliš i energija potrebna za zahvaćanje i distribuciju slatke vode puno veći. Štoviše, trećina područja EU-a suočava se s problemima u opskrbi vodom tijekom cijele godine, a nestašica vode i dalje je važno pitanje za mnoge države članice EU-a. Sve nepredvidljiviji meteorološki uvjeti, uključujući velike suše, također će vjerojatno imati negativne posljedice na količinu i kvalitetu slatkovodnih resursa. Novim se pravilima nastoji osigurati da se na najbolji način iskoristi pročišćena voda iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda te se na taj način omogući pouzdan alternativni način opskrbe vodom. Iskorištavanjem otpadne vode koja nije za piće kao novog načina opskrbe vodom pridonijet će se i ostvarivanju financijskih ušteda i koristi za okoliš. Europska komisija predlaže [12] [13]:

- minimalne zahtjeve za ponovnu upotrebu vode, koji obuhvaćaju mikrobiološke elemente te zahtjeve za rutinsko i validacijsko praćenje. Utvrđivanjem minimalnih zahtjeva jamčit će se da je pročišćena voda proizvedena u skladu s novim pravilima sigurna za navodnjavanje
- upravljanje rizicima na temelju kojeg se moraju ukloniti sve dodatne opasnosti kako bi ponovna uporaba vode bila sigurna.
- povećanu transparentnost pomoću koje će javnost ~~će~~ na internetu imati pristup informacijama o praksi ponovne uporabe vode u svojoj državi članici

Hrvatska je u samom vrhu po količini pitke vode u Europi, ali to ne opravdava činjenicu da je ponovna upotreba otpadne vode minimalno zastupljena. U Planu upravljanja vodnim područjima 2016-2021. koji je donijela Vlada Republike Hrvatske ponovna upotreba se spominje samo kod priprema programa poticanja provođenja mjera smanjenja opterećenja voda u kojem se također spominje program ponovne upotrebe vode (industrija, poljoprivreda i sl.). Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina je dokument upravljanja vodama propisan člankom 37. Zakona o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 130/11, 56/13, 14/14) te opisuje okvirni program provedbe projekta, financiranja, kadrovskih i informacijskih resursa. Strategija upravlja vodama 2008-2028. spominje održivo korištenje vodama gdje između ostalog spominje ponovnu upotrebu otpadnih voda za navodnjavanje. U Hrvatskoj postoji primjer ponovne upotrebe otpadne vode [14, 15, 16]. Na otoku Pagu u Autokampu Šimuni je tvrtka Tea medicina instalirala liniju za obradu otpadnih voda tzv. „vodena petlja“. Vodena petlja je sto posto biološki proces obrade otpadne vode, siguran za okoliš uz poštivanje svih standarda.

Omogućava ponovnu upotrebu ili ispuštanje u prirodni recipijent. Sustav ima kapacitet za 5000 osoba te se sastoji od 4 BioReaktora 150, dva AL band filtera (za odvajanje smeća iz vode i za odvajanje biološkog mulja), sustava 12 UV lampi i pužne preše za mulj. U autokampu Šimuni se dnevno obradi 300-400m<sup>3</sup>/dan vode koja se nakon dezinfekcije UV lampama vraća u sanitarne prostore za ispiranje toaletnih školjki i time se na godišnjoj razini uštedi 60 000 eura. Obradena voda je mikrobiološki čista te se može koristiti u svrhe zalijevanje zelenih površina, vrtova ili pranje automobila i ulica [17].

### **3.2 Mogućnost primjene**

Poljoprivreda je jedan od najvećih potrošača vode u svrhu navodnjavanja te će se u budućnosti trebati sagledati održive opcije kao što je ponovna uporaba otpadne vode. Za ponovnu upotrebu u poljoprivredi otpadna voda zahtjeva proces pročišćavanja da zadovolji određenu kvalitetu s namjerom zaštite zdravlja ljudi i okoliša. Ponovna upotreba vode je povoljnija od korištenja sanitarno ispravne vode i ekološki gledano je prihvatljivije da se ne opterećuju primarni izvori. Poljoprivredno navodnjavanje znači navodnjavanje sljedećih vrsta poljoprivrednih kultura [13]:

- prehrambenih poljoprivrednih kultura koje se konzumiraju sirove, a to su poljoprivredne kulture namijenjene prehrani ljudi koje se jedu sirove ili neprerađene,
- prehrambenih poljoprivrednih kultura koje se prerađuju, a to su poljoprivredne kulture namijenjene prehrani ljudi koje se ne jedu sirove nego nakon postupka obrade (npr. kuhane, industrijski prerađene),
- neprehrambenih poljoprivrednih kultura, a to su poljoprivredne kulture koje nisu namijenjene prehrani ljudi (npr. pašnjaci, krmno bilje, vlakna, ukrasno bilje, sjemenski usjevi, energetske usjevi i livadske kulture).

Europska komisija predlaže državama članicama EU-a ponovnu upotrebu otpadne vode te donosi prijedlog uredbe o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode gdje su definirani razredi kvalitete obnovljene vode te dopuštene uporabe i metode navodnjavanja za svaku kategoriju (Tablica 3) i minimalni zahtjevi za kvalitetu vode (Tablica 4) [1].

Tablica 3 Razredi kvalitete obnovljene vode te dopuštena upotreba u poljoprivredi i metoda navodnjavanja [13]

Razred minimalne kvalitete obnovljene vode	Kategorije poljoprivrednih kultura	Metoda navodnjavanja
A	Sve prehrambene poljoprivredne kulture, uključujući korjenaste kulture koje se konzumiraju sirove te prehrambene poljoprivredne kulture čiji jestivi dio dolazi u izravan dodir s obnovljenom vodom	Sve metode navodnjavanja
B	Prehrambene poljoprivredne kulture koje se konzumiraju sirove i čiji jestivi dio raste iznad zemlje i ne dolazi u izravan dodir s obnovljenom vodom, prehrambene poljoprivredne kulture koje se prerađuju i neprehrambene poljoprivredne kulture	Sve metode navodnjavanja
C	uključujući kulture kojima se hrane životinje od kojih se proizvodi mlijeko ili meso	Samo navodnjavanje kapanjem
D	Industrijski, energetski i sjemenski usjevi	Sve metode navodnjavanja

Tablica 4 Zahtjevi za kvalitetu obnovljene vode namijenjene poljoprivrednom navodnjavanju [13]

Razred kvalitete obnovljene vode	Okvirni tehnološki cilj	Zahtjevi za kvalitetu				
		E. coli (cfu/100 ml)	BPK5 (mg/l)	UST (mg/l)	Mutnoća (NTU)	Ostalo
<b>A</b>	Drugi stupanj pročišćavanja, filtriranje i dezinfekcija	≤ 10 ili ispod granice detekcije	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 cfu/l ako postoji rizik od aerosolizacije u staklenicima
<b>B</b>	Drugi stupanj pročišćavanja i dezinfekcija	≤ 100	U skladu s Direktivom Vijeća 91/271/EEZ 1 (Prilog I. tablica 1.)	U skladu s Direktivom Vijeća 91/271/EEZ 1 (Prilog I. tablica 1.)	-	Crijevne nematode (jajašca helminta): ≤ 1 jajašce/l za navodnjavanje pašnjaka ili krmnog bilja
<b>C</b>	Drugi stupanj pročišćavanja i dezinfekcija	≤ 1 000			-	
<b>D</b>	Drugi stupanj pročišćavanja i dezinfekcija	≤ 10 000			-	

Otpadne vode se također mogu ponovno upotrijebiti u komunalne svrhe za održavanje grada kao što je zalijevanje javnih zelenih površina, pranje ulica, protupožarna zaštita, snabdijevanje fontana vodom. Za ponovnu upotrebu u urbanim sredinama je potreban 3. stupanj pročišćavanja da bi se zadovoljila kvaliteta vode. Jedan od problema je distribucija pročišćene otpadne vode jer to zahtijeva odvojeni sustav distribucije i može biti samo sezonski u svrhe navodnjavanja tijekom sušnog razdoblja, ali korištenjem otpadnih voda za ponovnu upotrebu dolazi do znatnih financijskih ušteda na troškovima za vodoopskrbu i odvodnju [18].

Voda je neizbježan resurs u industriji i ima funkciju hlađenja, prijenosa i pranja te za mora biti financijski prihvatljiva cijena vode i dostupna u potrebnoj količini. Dakle, voda koja je sanitarno ispravna (voda za piće) preskupa je za industrijsku namjenu pa se s ciljem smanjenja troškova javlja trend ponovne upotrebe vode. Za ispuštanje otpadnih voda postoji zakonska regulativa koja će postajati sve stroža, pa je za očekivati odgovornije raspolaganje s vodom u industriji. Investitorima je najvažnija financijska isplativost i dostupnost vode za pojedine tehnološke tokove u slučaju redukcija. Međutim, iz baze podataka vodopravnih i okolišnih dozvola moguće je izvući pokoji podatak o izvedenim sustavima ponovne uporabe vode. Neki od primjera u Hrvatskoj su betonare, praonice rublja ili vozila, obrada metala te kotlovnice [18].

## **4. Prednosti ponovne upotrebe otpadne vode i upravljanje rizikom**

### **4.1 Ekološke prednosti**

Biljni i životinjski svijet ovise o dovoljnoj količini prirodne vode kako bi živjeli u svojim staništima i razmnožavali se. Posljedica prekomjernog korištenja vode iz primarnog izvora za poljoprivredne, urbane i industrijske svrhe može uzrokovati pogoršanje kvalitete vode i zdravlja ekosustava. Ljudi koji ponovno koriste vodu mogu nadopuniti svoje zahtjeve korištenjem pouzdanog izvora reciklirane vode koja može osloboditi znatne količine vode za okoliš i povećati količine prirodne vode u ekosustavima. U nekim slučajevima, poticaj za recikliranje vode ne dolazi iz potrebe za vodoopskrbom, nego iz potrebe da se eliminira ili smanji ispuštanje otpadnih voda u recipijente. Tvari koje su dio sastava otpadnih vode mogu biti dobar izvor dušika i fosfora kao alternativa za gnojidbu u poljoprivredi, dok ponovna upotreba vode povećava zalihe vode iz primarnih izvora za ljudsku upotrebu. Močvarna područja pružaju mnoge pogodnosti, uključujući staništa divljih životinja i divljih ptica, poboljšanje kvalitete vode, smanjenje poplava i uzgoj ribarskih područja. Za potoke koji su ugroženi ili osušeni zbog preusmjerenja vode, protok vode se može povećati ponovnom upotrebom vode kako bi se održala i poboljšala vodena staništa i staništa divljih životinja [9].

### **4.2 Ekonomske prednosti**

Kako potražnja za vodom raste, više se vode izdvaja, tretira i ponekad prevozi na velike udaljenosti, što može zahtijevati mnogo energije. Ako je lokalni izvor vode podzemna voda, razina podzemnih voda se smanjuje kako se više vode eksploatira i to povećava energiju potrebnu za pumpanje vode na površinu. Recikliranje vode na licu mjesta ili u blizini smanjuje energiju potrebnu za premještanje vode na veće udaljenosti ili pumpanje vode iz vodonosnika. Prilagođavanje kvalitete vode određenoj uporabi vode također smanjuje energiju potrebnu za tretiranje vode. Kvaliteta vode potrebna za ispiranje WC-a je manje stroga od kvalitete vode potrebne za pitku vodu i zahtijeva manje energije za postizanje. Korištenje reciklirane vode niže kvalitete za uporabu koja ne zahtijeva visoku

kvalitetu vode štedi energiju i novac smanjenjem zahtjeva za tretmanom. Energija je najprije potrebna u prikupljanju, vađenju, prijenosu i distribuciji vode krajnjim korisnicima, a druga u obradi i zbrinjavanju otpadnih voda nakon što krajnji korisnici završe s njome. Iako zahtijeva dodatnu energiju za obrada otpadnih voda za recikliranje, količina energije potrebna za pročišćavanje i transport drugih izvora vode je općenito mnogo veća [9].

### **4.3 Upravljanje rizikom**

U obzir treba uzeti moguće rizike ponovne upotrebe vode kao što je opasnost za zdravlje ljudi ako nije zadovoljena određena kvaliteta vode, kontaminacija podzemne vode i reakcija javnost. Europska komisija propisuje ključne zadaće za upravljanje rizicima, a jedna od njih je opisati sustav ponovne uporabe vode, od trenutka kada otpadne vode uđu u uređaj za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda do trenutka uporabe, uključujući izvore otpadnih voda, faze pročišćavanja i tehnologije u postrojenju za obnovu vode, infrastrukturu za opskrbu i skladištenje, predviđenu uporabu, mjesto uporabe te količine obnovljene vode koja se isporučuju. Cilj je ovog rada pružiti detaljan opis čitavog sustava ponovne uporabe vode, zatim utvrditi potencijalne opasnosti, posebno prisutnost onečišćujućih tvari i patogena, te mogućnosti nastajanja opasnih događaja kao što su neuspješno pročišćavanje, slučajna curenja ili kontaminacija u opisanom sustavu ponovne uporabe vode. Također, potrebno je utvrditi okoliše, populacije i pojedince za koje postoji rizik od izravne ili neizravne izloženosti utvrđenim potencijalnim opasnostima, uzimajući u obzir posebne okolišne čimbenike kao što su lokalni hidrogeološki uvjeti, topografski uvjeti, vrsta tla i ekologija te čimbenici povezani s vrstom poljoprivredne kulture i poljoprivrednim praksama. Moraju se razmotriti i mogući nepovratni ili dugotrajni negativni učinci obnavljanja vode [13].

Potrebno je provesti procjenu rizika kojom će se obuhvatiti rizici za okoliš i rizici za zdravlje ljudi i životinja, uzimajući u obzir prirodu utvrđenih potencijalnih opasnosti, utvrđene okoliše, populacije i pojedince za koje postoji rizik od izloženosti tim opasnostima te težinu mogućih učinaka tih opasnosti, kao i relevantno zakonodavstvo Unije i nacionalno zakonodavstvo, smjernice i minimalne zahtjeve u pogledu hrane, hrane za životinje i sigurnosti radnika. Znanstvena nesigurnost u određivanju značajki rizika



rješava se u skladu s načelom predostrožnosti. Procjena rizika sastoji se od sljedećih elemenata [13]:

a) procjene rizika za okoliš, koja uključuje sve sljedeće [13]:

- potvrđivanje prirode opasnosti uključujući, prema potrebi, predviđenu razinu opasnosti bez učinka;
- procjenu mogućeg raspona izloženosti;
- određivanje značajki rizika.

b) procjene rizika za zdravlje ljudi, koja uključuje sve sljedeće [13]: .

- potvrđivanje prirode opasnosti uključujući, prema potrebi, odnos između doze i odgovora;
- procjenu mogućeg raspona doze ili izloženosti;
- određivanje značajki rizika.

Utvrđiti preventivne mjere koje su već na snazi ili koje bi trebalo poduzeti radi ograničavanja rizika tako da se svim utvrđenim rizicima može upravljati na odgovarajući način. Te preventivne mjere mogu uključivati [13]:

- kontrolu pristupa;
- dodatnu dezinfekciju ili mjere uklanjanja onečišćujućih tvari;
- posebnu tehnologiju navodnjavanja kojom se ublažuje rizik od stvaranja aerosola (npr. navodnjavanje kapanjem);
- poticanje odumiranja patogena prije žetve/berbe;
- utvrđivanje minimalnih sigurnosnih udaljenosti.

## 5. Sustav odvodnje grada Poreča i okolice

Sustav odvodnje se može definirati kao skup građevina i uređaja kojim se otpadne vode skupljaju sa urbanog područja te se nakon tretmana se ispuštaju u recipijent na zdravstveni i ekološki prihvatljiv način. Sustav se sastoji od kanalizacijske mreže kojom se otpadne i oborinske vode transportiraju do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda gdje prolaze kroz proces pročišćavanja na određenu razinu da bi bile ekološke prihvatljive prije ispuštanja u recipijent [19, 20, 21, 22].

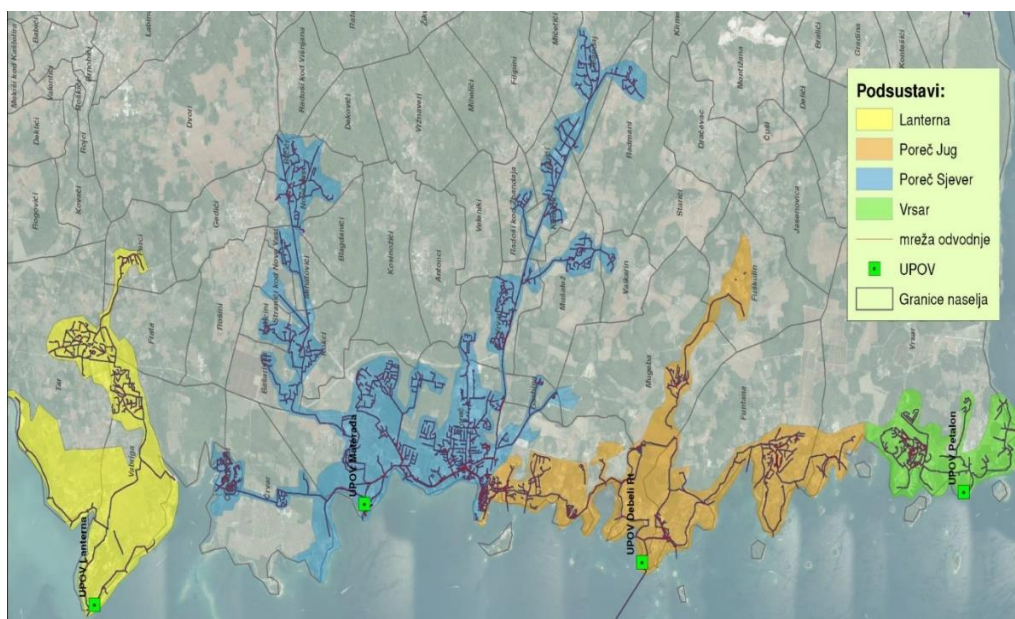
Na području aglomeracije Poreča su predviđena ukupno 4 zasebna sustava odvodnje, a to su [19, 20, 21, 22]:

- Sjeverni aglomeracijski pojas Lanterna koji je prostorno smješten u krajnjem sjevernom dijelu područja aglomeracije i obuhvaća područje Općine Tar – Varbriga, gdje je formiran sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda Lanterna;
- Središnji aglomeracijski pojas Poreč Sjever koji je smješten u središnjem dijelu aglomeracije, južno od sustava Lanterna te obuhvaća sjeverno područje grada Poreča, na kojem je formiran sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda Materada;
- Središnji aglomeracijski pojas Poreč Jug koji je prostorno smješten u središnjem dijelu područja aglomeracije, južno od sustava Materada i obuhvaća južno područje Grada Poreča i Općine Funtana, na kojem je formiran sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda Debeli rt;
- Južni aglomeracijski pojas Vrsar koji je prostorno smješten u krajnjem južnom dijelu područja aglomeracije, južno od sustava Funtana i obuhvaća područje Općine Vrsar, na kojem je formiran sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda Petalon.

U tablici 5 je prikazana podjela aglomeracija prema pripadajućem području s pripadajućim sustavima odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda.

Tablica 5 Podjela sustava odvodnje na području aglomeracije Poreča

Aglomeracija	Područje	Sustav odvodnje i pročišćavanja
Lanterna	Općina Tar – Varbriga	Lanterna
Poreč Sjever	Grad Poreč	Materada
Poreč Jug	Grad Poreč, Općina Funtana	Debeli rt
Vrsar	Općina Vrsar	Petalon

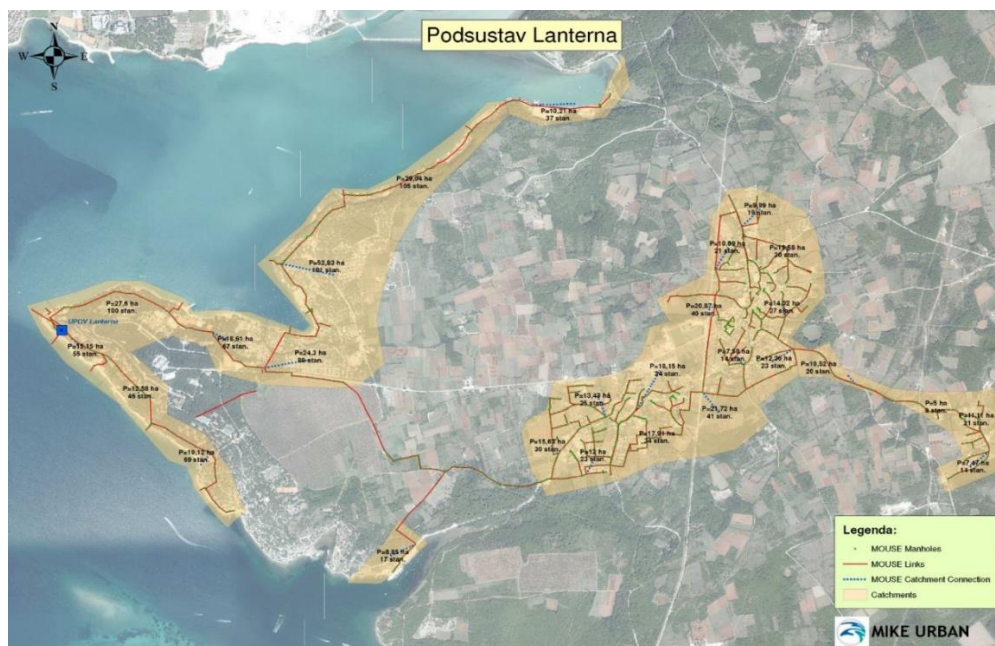


Slika 2 Postojeći sustavi odvodnje na području aglomeracije Poreča [23]

## 5.1 Postojeće stanje

### Sustav odvodnje Lanterna

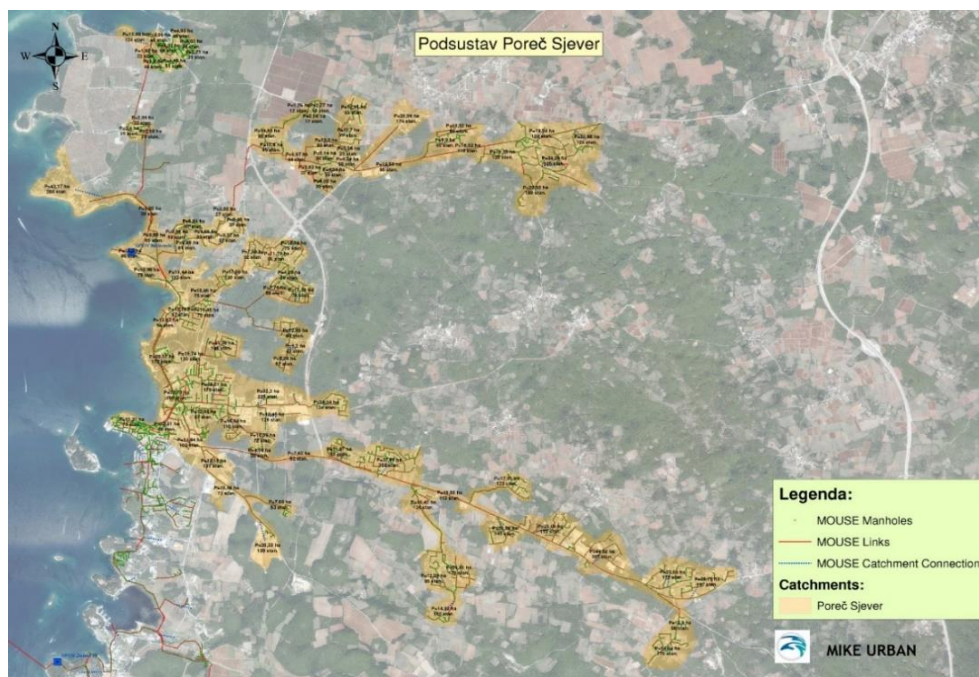
Sustav odvodnje Lanterna se nalazi sjeverno od grada Poreča i obuhvaća dio područja Tar – Varbriga uključujući priobalni pojas turističke aktivnosti od uvale Tarska vala do uvale Sv. Marina. Dužina kanalizacijske mreže je 24,5 km s cijevima različitih materijala veličinama profila DN200 do DN500 te duž kanalizacijske mreže postoji 13 crpnih stanica. Otpadne vode koje se prikupe kanalizacijskom mrežom završe na postojećem uređaju za pročišćavanje smještenom u priobalnom pojasu na poluotoku Lanterna te se ispuštaju u more podvodnim ispustom na dubini od 25 m. Poluotok Lanterna je veliko turističko naselje s raznim sadržajima te se u sustav odvodnje priključuju naselja Tar, Varbriga i Frata. Sustav odvodnje Lanterna se sastoji od tri glavna pravca na koja se povezuje mreža sekundarnih kanala. Prema raspoloživim podacima izgrađeni sustav odvodnje pokriva 90% stanovništva dok je priključenost izuzetno visoka i iznosi 90%. Uređaj za pred tretman Lanterna ima kapacitet od 16400 ES i protok 110 l/s. Zimski kapacitet iznosi 1400 ES. Uređaj je sagrađen 1979. godine s mehaničkim pred tretmanom, a sastoji se od crpne stanice, ulazne grube rešetke, finog kosog sita i mjernog kanala. Bitno je napomenuti da manji dio kućanstva nije priključen na sustav odvodnje, nego se voda prikuplja u sabirnim jamama. Slika br. 3 prikazuje sustav odvodnje Lanterna [19].



Slika 3 Sustav odvodnje Lanterna [23]

### **Sustav odvodnje Poreč Sjever**

U postojećem stanju sustav odvodnje Poreč sjever je riješen izgradnjom dva neovisna sustava, sa zasebnim uređajima za pročišćavanje u priobalnom pojasu poluotoka Materada i uvale Červar. Sustav odvodnje Materada obuhvaća priobalno područje od uvale Sv. Marine do sjevernog dijela starog grada Poreča. Granica sustava s južne strane je glavna porečka ulica Decumanus koja presijeca staru gradsku jezgru. Kanalizacijska mreža od različitih cijevnih materijala s veličinama profila DN200 do DN500 je dugačka 43 km i sadrži 10 crpnih stanica koje transportiraju otpadnu vodu na uređaj za pročišćavanje Materada te se efluent ispušta u more. Uz crpne stanice koje su dio podsustava Materada važno je napomenuti da je izvedeno više kišnih rasterećenja što znači da je dio kanalizacije izveden kao mješoviti tip kojem je predviđena zajednička odvodnja sanitarnih i oborinskih otpadnih voda. Dio oborinskih voda se nakon propisanog miješanja s otpadnim vodom može duž kanalizacijske mreže rasteretiti. U ovom slučaju je izvedeno 11 rasterećenja, od toga 10 ih je izvedeno s ispustom preljevniha količina u more dok se kod jednog prelijevaju na zelene površine. Uređaj za prethodno pročišćavanje Materada ima kapacitet od  $Q = 180$  l/s. Uređaj je sagrađen 1979. godine te se sastoji od grube rešetke, fine automatske rešetke i dozažnog bazena. Nakon pročišćavanja otpadnih voda, vode se ispuštaju u more podmorskim ispustom na dubini od 24 m [20].



Slika 4 Sustav Poreč Sjever [23]

Sustav odvodnje koji se odnosi na područje naselja Červar Porat je manji sustav koji funkcionira kao zasebna cjelina. To je turističko naselje s kanalskom mrežom od 3500 m, gravitacijskog razdjelnog tipa. U sustavu postoje 2 crpne stanice pomoću kojih se otpadna voda odvodi na lokaciju pročišćavanja. Proces pročišćavanja se obavlja biološkim uređajem te se nakon obrade ispušta u more. Uređaj je sagrađen 1978. godine s kapacitetom za zimski period od 1400 ES [20].

## Sustav odvodnje Poreč Jug

Ovaj sustav obuhvaća južno područje grada Poreča uključujući i turistička naselja Plava i Zelena laguna te područje Općine Funtane. Priključenost stanovništva na sustav odvodnje je vrlo visoka i iznosi 94% . Kanalizacijski sustav Poreč jug se sastoji od 2 podsustava: Sjeverni krak na području grada Poreča i južni krak na području Općine Funtante s pripadnim sustavom kolektora, crpnih stanica i sekundarne mreže. Kanalizacijska mreža je dugačka 27 km pretežno od PVC cijevi profila DN 200-600 i ima 19 crpnih stanica [21].



Slika 5 Sustav odvodnje Poreč Jug [23]

Navedenim sustavom otpadna voda se dovodi na uređaj za pročišćavanje te se nakon obrade ispušta u more putem podmorskog ispusta. Uz crpne stanice koje se nalaze duž sustava izvedeno je 5 kišnih rasterećenja koja imaju ispuste preljevnih količina u more. Postojeći uređaj Debeli rt ima samo pred tretman to jest osigurava samo mehaničku obradu. Ima kapacitet od 44 000 ES i  $Q=240$  l/s. Sastoji se od fine rešetke, aeriranog pjeskolova-mastolova i dozažnog bazena [21].

## Sustav odvodnje Vrsar

Kanalizacijski sustav obuhvaća područje od uvale Fajban na Sjeveru te se prostire preko naselja Vrsar do Limskog kanala. Navedeno područje predstavlja južnu granicu aglomeracije. Kanalizacijska mreža je dugačka 20 km s cijevnim profilima DN 200-500, te 7 crpnih stanica. Navedenim sustavom otpadna voda se transportira na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Petalon koji je smješten na istoimenom poluotoku te se putem podmorskog ispusta ispušta u more. Postojeći uređaj za pročišćavanje je isključivo namijenjen za područje Vrsara i turističke komplekse kao što su turistička naselja Petalon, Belvedere, Autokamp Turist i hoteli Pineta i Panorama. Uređaj za pročišćavanje posjeduje samo pred tretman te sadrži fino sito, aerirani pjeskolov-mastolov i dozažni bazen [22].



Slika 6 Sustav odvodnje Vrsar [23]



## 5.2 Analiza otpadnih voda

Za određivanje potrebnog kapaciteta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te za procjenu učinkovitosti pročišćavanja potrebno je analizirati postojeće stanje sustava odvodnje gdje treba uzeti potrebne podatke o količini otpadnih voda, veličini sustava, o kakvoći vode kao što su temperatura, ph, slanost, koncentraciju spojeva ugljika, dušika i fosfora, BPK i KPK. U ovom poglavlju će biti prikazani podaci o protocima otpadnih voda, koncentracijama BPK i KPK te varijacije u kakvoći i količini otpadnih voda u sustavu odvodnje u Poreču. Uzorkovanje i analiza će se provoditi na 4 mjerodavne lokacije to jest na 4 ispusta otpadnih voda. Lokacije ispusta su Lanterna, Poreč Sjever, Poreč Jug i Vrsar koje su prikazane na slici 1.

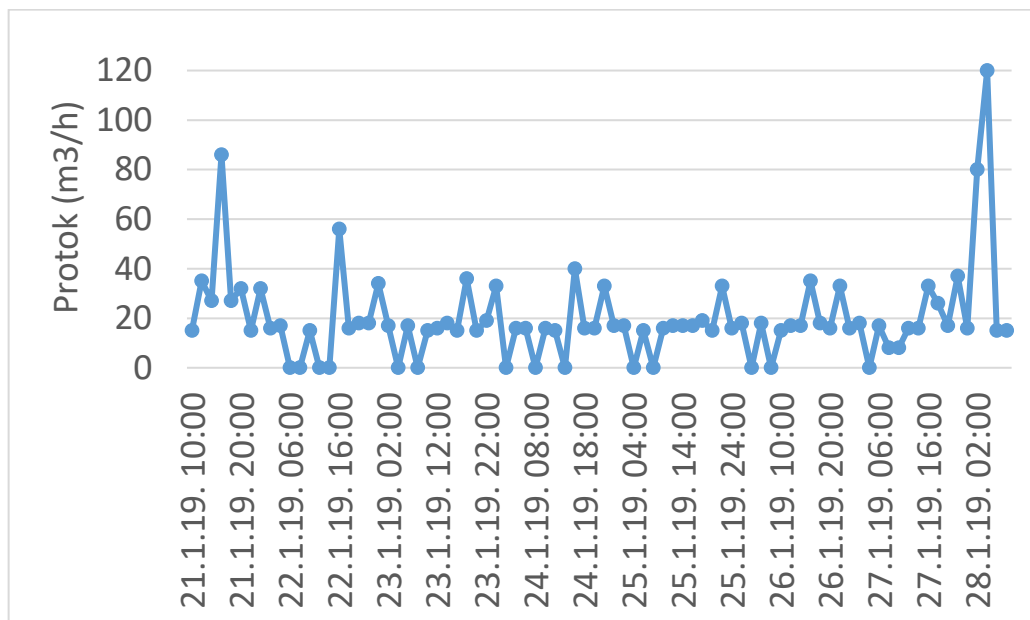


Slika 7 Lokacije za uzorkovanje [23]

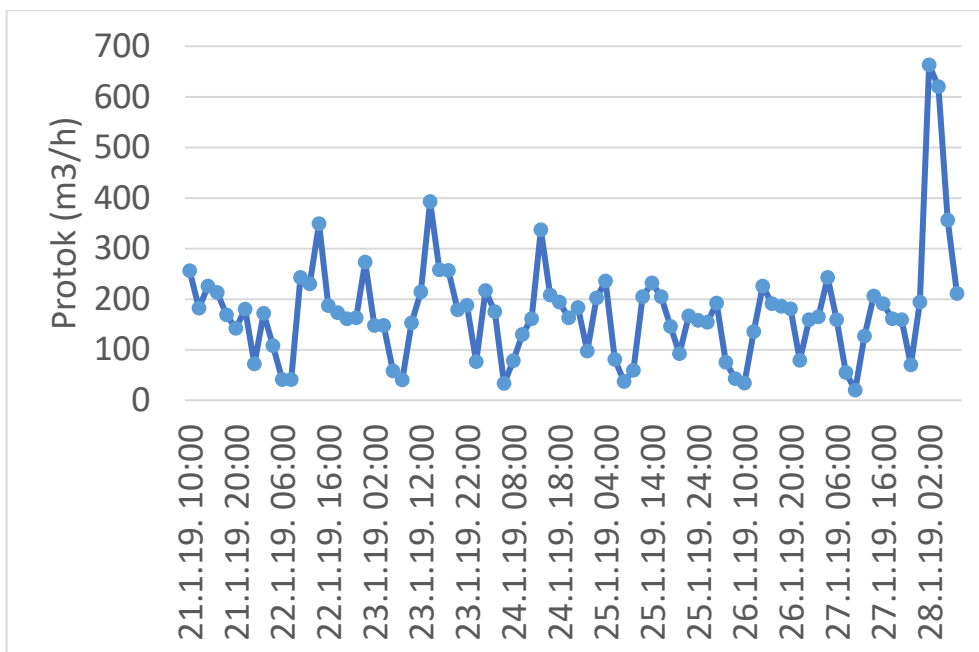
Nakon provedenih uzorkovanja i analize otpadnih voda na tim lokacija dobit ćemo podatke o kakvoći i količini otpadnih voda za vremenske periode ljeti i zimi koji će uključivati minimalno 4 podsustava odvodnje.

## Mjerenje protoka

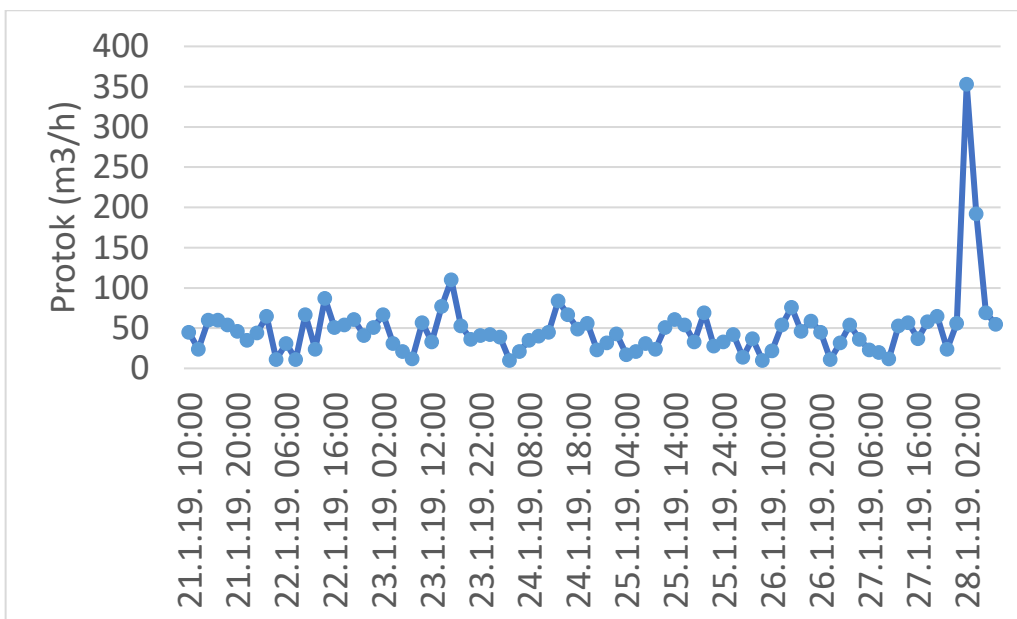
Protoci koji dolaze na uređaje za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) nisu ujednačeni te je prilikom projektiranja novog uređaja potrebno uzeti u obzir podatke dobivene mjerenjem ili procijeniti količine otpadnih voda i njihove varijacije odnosno prognozirati njihovo kretanje ubuduće. Količine otpadnih voda ovise o: broju stanovnika, industriji, vrsti kanalizacije i infiltraciji. Protok će u sustavu odvodnje varirati između zime i ljeta budući da se broj krajnjih korisnika tijekom turističke sezone znatno povećava. Važno je prikazati godišnje varijacije ukupnog opterećenja jer to utječe na rad uređaja za pročišćavanje voda. Mjerenje protoka će se provesti na 4 ispusta za svaki sustav odvodnje u trajanju od najmanje 7 dana kontinuirano te će se uzeti u obzir srednja satna vrijednost za period od 24 h. Pošto se monitoring provodio u zimskom periodu, u sljedećim grafovima se može vidjeti protok vode kroz 2 sata na svakom ispustu, te možemo zaključiti da je zimi na lokaciji Poreč sjever najveći protok jer stanovništvo u tom dijelu grada živi tijekom cijele godine. Dok je na ostale 3 lokacije puno manji protok jer su to turistička naselja i broj krajnjih korisnika je manji tijekom zime.



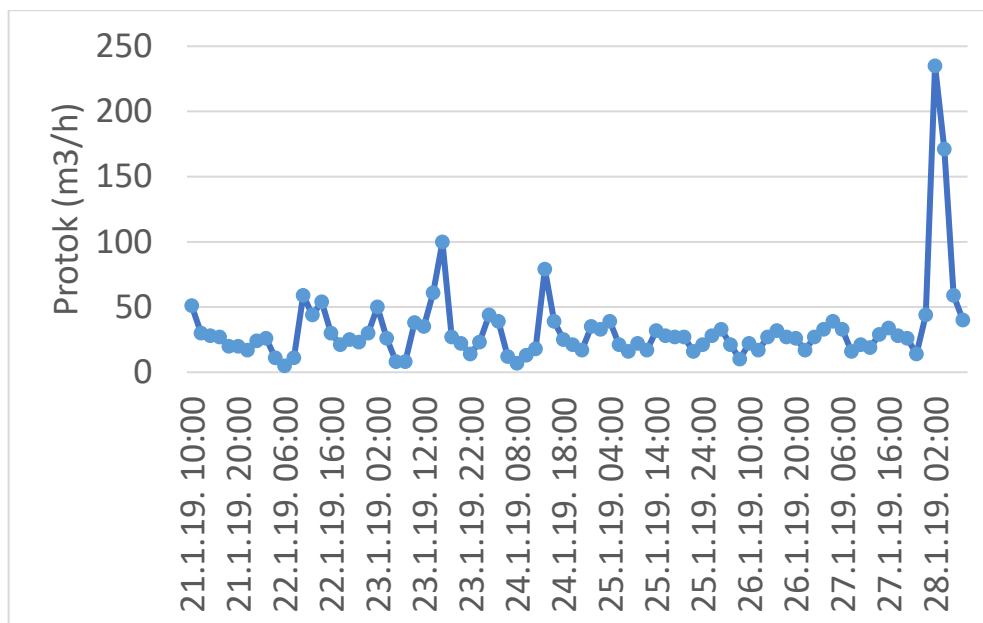
Slika 8 Protok vode na ispustu Lanterna [23]



Slika 9 Protok vode na ispustu Poreč Sjever [23]



Slika 10 Protok vode na ispustu Poreč Jug [23]



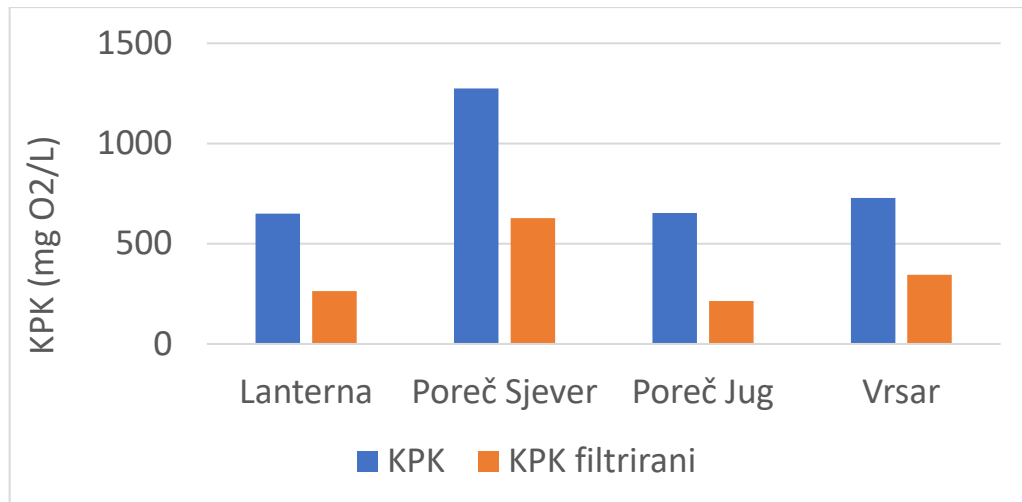
Slika 11 Protok vode na ispustu Vrsar [23]

### **Određivanje BPK i KPK**

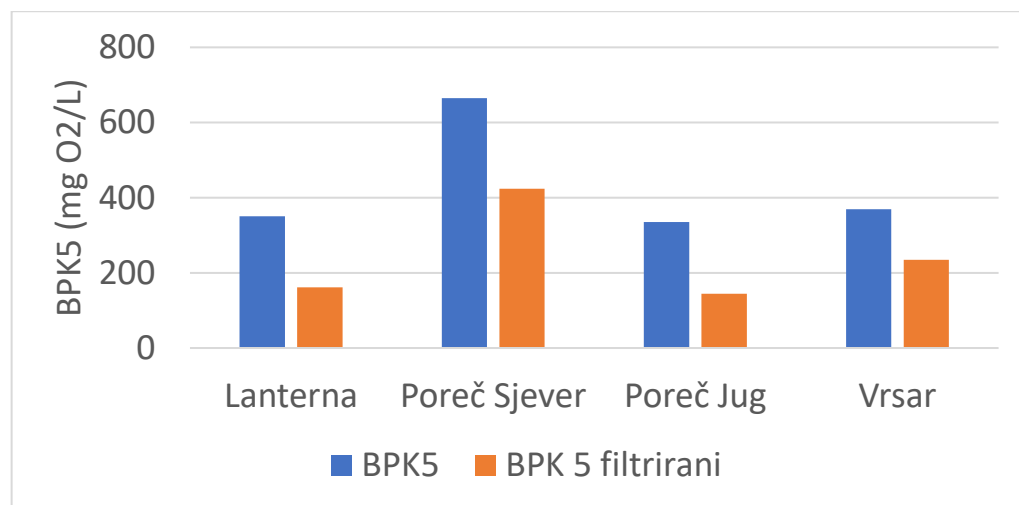
Biološka potrošnja kisika (BPK<sub>5</sub>) jedan je od najčešće korištenih parametara za određivanje organskog onečišćenja prirodnih i otpadnih voda. Organske tvari podliježu mikrobiološkim procesima razgradnje zbog čega predstavljaju neposrednu opasnost za prirodnim recipijent jer se procesima oksidacije troši kisik (O<sub>2</sub>) otopljen u vodi. BPK predstavlja količinu kisika potrebnu za biološku razgradnju organskih tvari u vodi djelovanjem mikroorganizama pri 20 °C. Izražava se u mg O<sub>2</sub> u litri vode te se najčešće određuje za period biološke razgradnje od 5 dana.

Kemijska potrošnja kisika (KPK) određuje ukupnu koncentraciju anorganskog onečišćenja kojeg oksidiraju u otpadnoj vodi jake oksidacijske tvari kao što su otopine kalijevog bikromata (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) ili kalijevog permanganata (KMnO<sub>4</sub>) uz dodatak sulfatne kiseline (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pri temperaturi vrenja i dodaje se katalizator te nakon hlađenja slijedi titracija. Prednost KPK nad BPK<sub>5</sub> je da se mnogi spojevi ne mogu oksidirati biološki, a mogu kemijskim putem, te neki organski sastojci mogu biti toksini ili inhibitori za mikroorganizame korištene prilikom određivanja BPK<sub>5</sub>. Omjer BPK<sub>5</sub> i KPK vrijednost nam pokazuje koliko je otpadna voda biorazgradiva. U sljedećim grafovima se može vidjeti rezultati mjerenja za srednje tjedne koncentracije BPK<sub>5</sub> i KPK za svaki ispust, te možemo zaključiti da su najveće koncentracije za lokaciju Poreč Sjever a manje za ostala

3 ispusta zato jer se uzorkovanje provodilo u zimskom periodu kada su manje količine otpadnih voda na ostalim ispustima koji su vezani uz djelatnost turizma.



Slika 12 Srednje tjedne koncentracije BPK [23]



Slika 13 Srednje tjedne koncentracije za BPK<sub>5</sub> [23]

Na temelju podataka o broju noćenja i turista koji su prikazani u Tablici 6 i na Slici 14 možemo zaključiti da je potrošnja vode znatno veća tijekom ljetnog perioda te da će na

uređajima za pročišćavanje otpadnih vode biti veće količine otpadnih voda koje će trebati obraditi na zdravstveno i ekološki prihvatljiv način. Uređaji za pročišćavanje će svoj puni kapacitet ostvariti tijekom ljetnog perioda kada traje turistička sezona. Prema podacima tvrtke koja se bavi javnom odvodnjom na području aglomeracije Poreča maksimalni kapaciteti svakog sustava iznose [19, 20, 21, 22]:

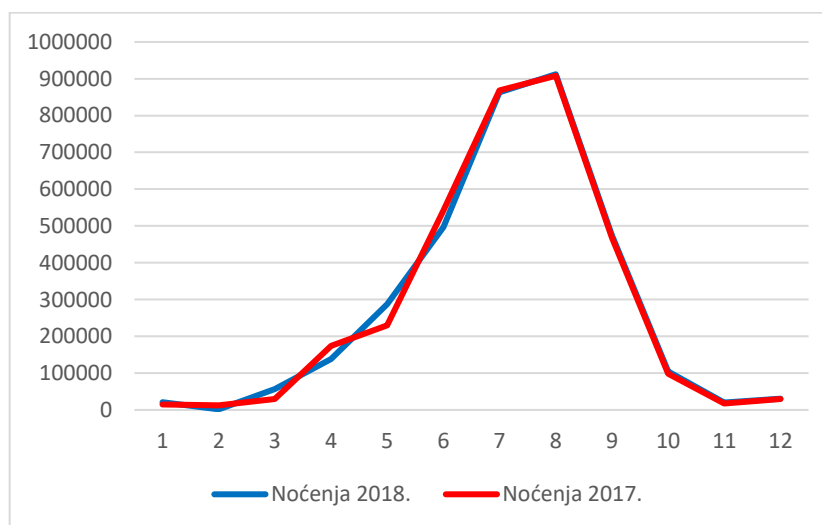
- Sustav Lanterna: 30 000 ES
- Sustav Poreč Sjever: 37 000 ES
- Sustav Poreč Jug: 48 000 ES
- Sustav Vrsar: 22 500 ES

Prema broju ekvivalenta stanovnika (ES) je izračunata procijenjena količina otpadnih voda i opterećenje uređaja tijekom ljetnog perioda (Tablica 7). Bitno je napomenuti da izračunate procijenjene vrijednosti tijekom ljetnog perioda mogu odstupati od stvarnog stanja jer direktno ovise o broju turista i vremenskim uvjetima. Za izračun smo koristili da je utrošak vode 1 ES 0,2 m<sup>3</sup>/dan i da je opterećenje BPK= 60g/dan/ES, KPK =120g/dan/ES.

..

Tablica 6 Statistika turističkih dolazaka i noćenja u Poreču

Mjesec	Dolasci		Noćenja	
	2018.	2017.	2018.	2017.
Siječanj	5149	3774	21 023	14 622
Veljača	5635	5093	1573	12 409
Ožujak	18 054	10 645	56 413	29 578
Travanj	40 157	49 348	138 090	173 673
Svibanj	65 583	50 611	286 977	229 384
Lipanj	81 977	93 306	496 716	54 193
Srpanj	117 784	123 684	863 172	868 114
Kolovoz	118 596	119 931	912 146	908 068
Rujan	70 845	67 282	475 429	469 014
Listopad	28 254	25 333	104 733	98 260
Studeni	7422	6249	20 005	17 689
Prosinac	11 151	11 606	30 420	29 606



Slika 14 Prikaz varijacije broja noćenja tijekom godine

Tablica 7 Procijenjena količina otpadne vode i opterećenje tijekom ljetnog perioda

Lokacija	Lanterna	Poreč sjever	Poreč jug	Vrsar
Protok (m <sup>3</sup> /d)	6000	7400	9600	4500
BPK (kg/d)	1800	2220	2880	1350
KPK (kg/d)	3600	4440	5760	2700

### 5.3 Planirano stanje

Iako je postojeće stanje da je izgrađen veći dio odvodnje, može se zaključiti da sva 4 sustava nisu u cijelosti izvedena i kao takvi ne zadovoljavaju sanitarnim uvjetima i kriterijima zaštite okoliša. Sustavi odvodnje su prvenstveno namijenjeni očuvanju okoliša i ljudskog zdravlja, na način da se otpadne vode na odgovarajući način sakupe te pročiste na zadovoljavajući stupanj pročišćavanja koji odgovara sanitarnim uvjetima. Sustav odvodnje trenutno ima sagrađen veći dio kanalizacijske mreže s pratećim objektima, naime potrebno je osigurati rekonstrukciju i nadogradnju kanalizacijske mreže. Postojeći uređaji za pročišćavanje ne zadovoljavaju mjerodavne kapacitete te nepovoljno utječu na okoliš. Izgradnja cjelovitog sustava na području aglomeracije Poreč koji sadrži 4 zasebna sustava (Lanterna, Poreč-sjever, Poreč-jug i Vrsar) će ostvariti jedan od temeljnih uvjeta održivog razvoja koji će pridonijeti poboljšanju kakvoće okoliša, a posebno poboljšanja kakvoće mora koje je glavni recipijent. Rješavanje tog problema će se postići primjenom III. stupnja pročišćavanja to jest primjenom membranskih tehnologija gdje će biti moguća ponovna upotreba otpadne vode što se s ekonomskog i ekološkog aspekta čini povoljno [19, 20, 21, 22].



### **Sustav odvodnje Lanterna**

U sustavu odvodnje Lanterna se planira rekonstrukcija postojeće kanalizacijske mreže kao i nadogradnja te izgradnja novog uređaja za pročišćavanje na novoj lokaciji u unutrašnjosti poluotoka. Nova lokacija uređaja za pročišćavanje je smješтана izvan obalnog pojasa otprilike 1300 m od postojeće lokacije. Planirani uređaj će biti smješten između turističkog naselja Solaris i uvale Valeta. Prema definiranim opterećenjima predviđen je uređaj III. stupanj pročišćavanja s membranskom tehnologijom ukupnog kapaciteta 30 000 ES. Radi velikih varijacija sezonskih opterećenja treba sagraditi uređaja s većim brojem modulskih cjelina od kojih svaka može raditi neovisno. Uređaj mora podnositi nagle promjene opterećenje, stoga treba biti fleksibilniji uz minimalne promjene kvalitete efluenta. Uređaj je predviđen u izvedbi s tri modula, od kojih je jedan modul veličina 6000 ES (zimski period), a dva modula su veličine 12 000 ES (ljetni period). Gradnjom uređaja u unutrašnjosti poluotoka na novoj lokaciji koja je na najvišoj visinskoj koti dobiva se gravitacijski pad te će tako biti izbjegnuti dodatni troškovi za električnu energiju. U sklopu uređaja će se graditi spremnik veličine 2200m<sup>3</sup> koji će se puniti za pročišćenom otpadnom vodom iz sva tri modula. Zatim će se pročišćena otpadna voda distribuirati krajnjim korisnicima za navodnjavanje [19].

### **Sustav odvodnje Poreč-sjever**

U ovom sustavu se planira odvodnja cijelog područja sa primjenom dva različita tipa odvodnje (mješoviti i razdjelni). Planirani zahvat obuhvaća nadogradnju postojećeg sustava na području grada Preča i gravitirajućih naselja i izgradnju novog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Materada na novoj lokaciji, između naselja Červar-Porat i Poluotoka Materada, s III. stupnjem pročišćavanja uz korištenje postojećeg podmorskog ispusta. Planirani uređaj će imati kapacitet od 37 000 ES. Velike varijacije između ljeta i zime čine racionalnim izgradnju uređaja s više modulskih cjelina te uređaj treba biti fleksibilan i imati jednaku kvalitetu efluenta u bilo koje doba godine. Uređaj Materada predviđen s 3 modula pojedinačnog kapaciteta od 12 350 ES. Također je predviđen spremnik u koji će se puniti sa pročišćenom otpadnom vodom i volumen spremnik je 1800 m<sup>3</sup>. Iz spremnika voda će se distribuirati krajnjim korisnicima [20].

### **Sustav odvodnje Poreč-jug**

Unutar granica planiranog sustava i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracija Poreč-jug, uz grad Poreč i turistička naselja Plava i zelena Laguna obuhvaćeno je i naselje Funtana. U ovom sustavu se također planira rekonstrukcija i nadogradnja postojeće kanalizacijske mreže na području grada Poreča i Općine Funtana. Planira se izgradnja novog uređaja za pročišćavanja otpadnih voda Debeli rt izvan obalnog pojasa s III. stupnjem pročišćavanja. Uređaj će imati kapacitet od 48 000 ES i koristit će membransku tehnologiju te je predviđen u modulskoj izvedbi sa 4 modulskih cjelina pojedinačnog kapaciteta 12 000ES. Na taj način je omogućeno fazno opterećenje uređaja. Uređaj Debeli rt će imati spremnik pročišćene otpadne vode i imat će volumen od 3600 m<sup>3</sup>. Ovaj volumen treba biti sasvim dovoljan da bi zadovoljio količine vode za navodnjavanje zelenih površina [21].

### **Sustav odvodnje Vrsar**

U aglomeracijskoj pojasi Vrsar koji obuhvaća naselje Vrsar zajedno sa turistički kompleksima planirana je nadogradnja postojeće kanalizacijske mreže te izgradnja centralnog uređaja za pročišćavanje otpadne vode Petalon. Uređaj će biti u priobalnom pojasi s visokim učinkom pročišćavanja i koristit će postojeći podmorski ispust. Lokacija uređaja je na poluotoku Petalon te će imati kapacitet od 22 500 ES i predviđen je više modulskih cjelina tako da bude omogućeno fazno opterećenje na uređaju radi velikih godišnji varijacija. Uređaj je predviđen u izvedbi od 2 modula po 12 250 Es. Pročišćena otpadna voda će se spremati u spremnik volumena 1500 m<sup>3</sup> [22].

## 5.4 Tehnologija membranskog bioreaktora

Tehnologijom membranskog bioreaktora (MBR) se omogućuje visok stupanj pročišćavanja te postiže najbolja učinkovitost pročišćavanja među svim ostalim tehnologijama. Iz sustava izlazi efluent visoke kakvoće koji premašuje kriterije za ispuštanje u okoliš te omogućuje ponovnu upotrebu otpadne vode za različite svrhe. Kao što bi se na području aglomeracije Poreča pročišćena otpadna voda koristila za navodnjavanje poljoprivrednih i zelenih površina. U sljedećoj tablici možemo vidjeti očekivanu učinkovitost MBR uređaja.

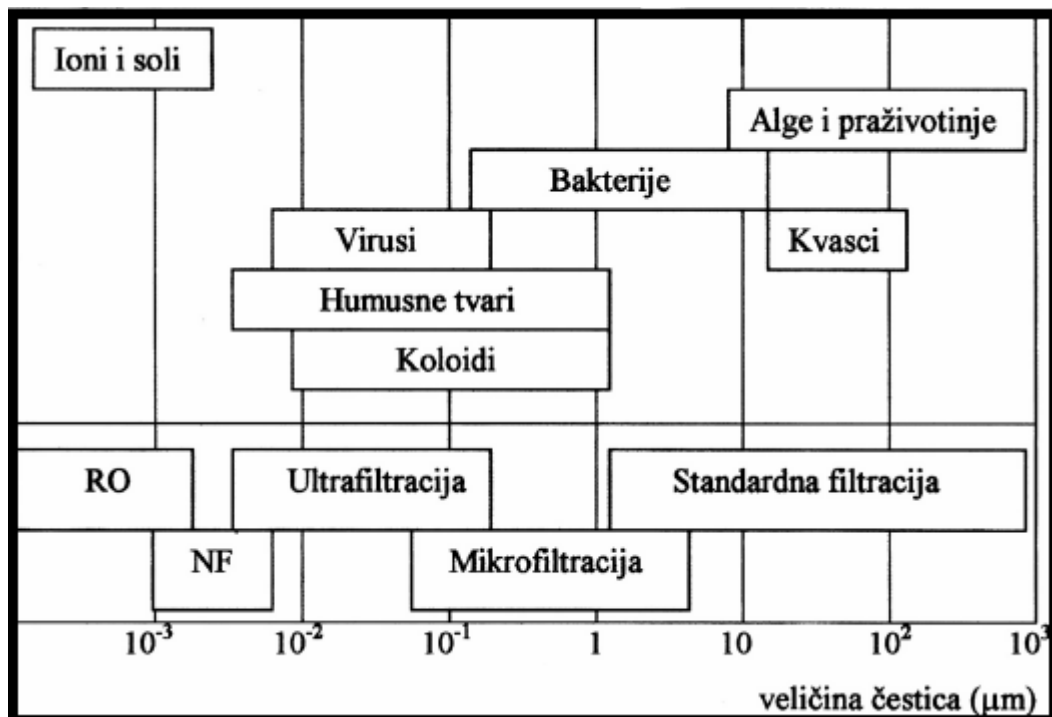
Tablica 8 Očekivana učinkovitost MBR uređaja za pročišćavanje otpadnih voda [22]

Parametar	Kakvoća efluenta	Učinak čišćenja (%)
BPK <sub>5</sub>	<2mg/l	>99
KPK	<20mg/l	>98
Suspendirana tvar	<1mg/l	>99
NH <sub>3</sub>	<1mg N/l	>97
N <sub>uk</sub>	Hladna klima: <10mg N/l	-
	Topla klima: <3mg N/l	-
P <sub>uk</sub>	<0,1 mg P/l	>99
Mutnća	< 1 NTU	>99
Ukupni koliformi	<100 be/100 ml	>6log
Fekalni koliformi	<20 fe/100 ml	>6log

Neke od prednosti MBR tehnologije su: viša koncentracija biomase u u bioreaktoru, usporen rast biomase, pročišćena voda je ujedno i dezinficirana, zauzima malo mjesta i ono najvažnije voda se može ponovno koristiti. Nedostaci su: začepljenje membrana i velika potrošnja energije. Membrane ovisno o veličini pora razlikujemo u upotrebi za:

- Mikrofiltraciju
- Ultrafiltraciju
- Nanofiltraciju
- Reverzna osmoza

Sljedeća slika prikazuje podjelu membrana prema veličina pora.



Slika 15 Prikaz membrana po veličini pora

U istraživanju „Application of reverse osmosis for reuse of secondary treated urban wastewater in agricultural irrigation“ (2014.) se proučavala primjena reverzne osmoze na komunalne otpadne vode koje su prošle sekundarnu obradu kako bi ih ponovno koristili za poljoprivredno navodnjavanje. Pratila se koncentracija natrija, hranjivih tvari te slanost vode koja utječe na rast biljaka i svojstva tla. Voda koja je biološki obrađena aktivnim muljem sadržavala je visoke koncentracije koloidnih, suspendiranih čestica i otopljenih organskih tvari. Takva voda nije pogodna za direktnu obradu reverznom osmozom jer može doći do začepjenja otpadnih voda pa se preporuča njeno prefiltriranje. U istraživanju su koristili dvije različite membrane (AKBWRD i ADSWRD) i uspoređivali njihovu efikasnost. ADSWRO membrana je pokazala bolju efikasnost pri tlaku od 10 bara. Budući da je voda sekundarno obrađena, sadržavala je puno soli te je reverzna osmoza pokazivala nebalansirano uklanjanje  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$ . Takve vode nisu bile upotrebljive za navodnjavanje. Iz tog razloga provedeno je istraživanje najboljeg omjera njihovog miješanja kako bi se dobila voda zadovoljavajuće kvalitete. Rezultati su pokazali da miješanje vode 20-30 % sekundarno obrađena vode i 70-80 % obrađene vode reverznom osmozom daje vodu zadovoljavajuće kvalitete za poljoprivredno navodnjavanje [24].

Još jedan primjer korištenja komunalne otpadne vode za pripremu vode za ponovnu upotrebu su obradili u istraživanju „Industrial water reuse with integrated membrane system increases the sustainability of the chemical manufacturing“ (2010.). Oni su proučavali DECO postrojenje za obradu voda koje se sastoji od kontinuirane mikrofiltracije i sustava reverzne osmoze s FILMTEC membrana koje proizvode vodu za industriju. Influent koji dolazi u postrojenje se dezinficira natrijevim hipokloritom i amonijevim kloridom, a pH vrijednost mu se podešava sa sumpornom kiselinom prije odlaska na mikrofiltraciju. U tom postrojenju se nalaze dva sustava reverzne osmoze s kapacitetom 150-175 m<sup>3</sup>/h. Glavni problem predstavlja začepljivanje membrana te kao rješenje se koristi preventivno čišćenje membrana. Pravilnim odabirom robusnih membrana spriječilo se smanjenje životnog vijeka zbog učestalog čišćenja. Permeat sustava se miješa s demineraliziranom vodom proizvedenom ionskom izmjenom, a koncentrat integriranog membranskog sustava ispušta se u rijeku. Takva praksa je omogućila smanjenje troškova za 50 %. Možemo zaključiti da obrada otpadne vode sa membranskim tehnologijama smanjuje rizik od bakterija i patogenih virusa te primjenom te tehnologije omogućuje ponovnu upotrebu otpadne vode. Gdje dolazimo do financijske

uštede jer ponovnom upotrebom otpadna voda postaje resurs koji se može distribuirati. Primjenom membranske tehnologije u aglomeraciji Poreč na 4 sustava (Lanterna, Poreč-sjever, Poreč-jug i Vrsar) moguća je ponovna upotreba otpadne vode. Puni kapacitet za sva 4 sustava iznosi 137 500 ES koji je planiran tijekom turističke sezone koja traje 90 dana. Pročišćena otpadna voda će se distribuirati krajnjim korisnicima (turistička naselja, hoteli, poljoprivrednici itd.) tijekom sušnog razdoblja za navodnjavanje poljoprivrednih i zelenih površina [25].

Ekonomska učinkovitost za ta 4 sustava je izračunata na temelju sljedećih vrijednosti:

- Moguća cijena pročišćene otpadne vode 3,5 kn/m<sup>3</sup>
- Cijena obrade otpadne vode 1 kn/m<sup>3</sup>
- Uređaj radi 90 dana punim kapacitetom
- Specifična potrošnja po 1 ES iznosi 0,2 m<sup>3</sup>
- 70 % iskoristivost pročišćene otpadne vode

Tablica 9 Ekonomska bilanca

Količina pročišćene otpadne vode	Ukupni iznos	Dobit
1,729 000 m <sup>3</sup>	6,051 500 kn	4,322 500 kn

Čak i uz 70 % iskoristivosti i na temelju prethodno spomenutih pretpostavki možemo zaključiti da bi se mogao pokriti značajan dio operativnih troškova (el. energija, djelatnici, kemikalije). Također možemo pretpostaviti da se neće sva pročišćena otpadna voda ponovno upotrijebiti nego će se ispustiti u recipijent koji je u ovom slučaju more. Primjenom membranske tehnologije smanjuje se rizik od onečišćenja mora i okolnih plaža te se postiže zadovoljavajuća kakvoća vode za kupanje.

## 6. Zaključak

Voda je vrlo bitan i nezamjenjiv resurs kao temeljni čimbenik ljudskog opstanka, gospodarskog i urbanog razvoja. Međutim, zbog gospodarskog razvoja i porasta stanovništva znatno su se povećale količine otpadnih voda. Današnje gospodarenje vodnim resursima je neodrživo za budućnost i bez odgovarajućeg održivog upravljanja sa ciljem štednje i optimalizacijom iskorištavanja vode, količine vodnih resursa će biti ugrožene. Da ne bi došlo do onečišćenja prirodnog vodnog sustava prije ispuštanja u okoliš, komunalne otpadne vode potrebno je provesti kroz sustav pročišćavanja kako bi zadovoljile određene uvjete kvalitete. Sve se više pažnje posvećuje zaštiti okoliša i održivom razvoju te možemo reći da ponovna upotreba otpadne vode može pozitivno utjecati na količine pitke vode, smanjenje onečišćenja u vodotocima i donijeti financijske uštede.

U ovom radu na temelju analize postojećeg stanja 4 sustava odvodnje (Lanterna, Poreč-sjever, Poreč-jug i Vrsar) i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te rezultata stvarnih mjerenja, prikazano je planirano stanje za sva 4 sustava odvodnje sa ponovnom upotrebom otpadne vode. Sva 4 sustava će zadovoljiti minimum efikasnosti propisan zakonom. Uz postojeće zakone i pravilnike smo prikazali da jedino membranska tehnologija može zadovoljiti propisane parametre. Također primjena membranske tehnologije će pridonijeti znatnom smanjenju unosa onečišćenja i održanju kakvoće mora na širom području obuhvata. Membranske tehnologije omogućuju visok stupanj pročišćavanja kojim se ne ugrožava ljudsko zdravlje i okoliš to jest nema rizika od bakterija i patogenih virusa. Predviđena je ponovna upotreba otpadne vode za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina i zalijevanje zelenih površina. Postojeći podmorski ispusti će zadržati funkciju ispusta tijekom zimskog perioda kada su potrebe za navodnjavanjem manje. Ponovnom upotrebom se postiže ekonomska učinkovitost kojom se smanjuju operativni troškovi.

Ponovna upotreba otpadne vode je put k održivom razvoju te se može na siguran način primijeniti za razne svrhe kao što je poljoprivreda i industrija. Obradenu otpadnu vodu treba gledati kao alternativni resurs koji se može ponovno iskoristi i pridonijeti očuvanju prirodnih izvora vode.

## 7. Literatura

[1] Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, Siječanj/Ožujak 2019., Broj 226

Dostupno na:

[https://www.voda.hr/sites/default/files/casopis/226\\_hrvatska\\_vodoprivreda\\_web.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/casopis/226_hrvatska_vodoprivreda_web.pdf)

Datum pristupa: 12.3.2019.

[2] Tušar Božena (2009), Pročišćavanje otpadnih voda

[3] Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda

Dostupno na:

[https://www.voda.hr/sites/default/files/direktiva\\_o\\_odvodnji\\_i\\_prociscavanju\\_komunalnih\\_otpadnih\\_voda\\_-\\_91\\_271\\_eec\\_-\\_1991\\_0.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/direktiva_o_odvodnji_i_prociscavanju_komunalnih_otpadnih_voda_-_91_271_eec_-_1991_0.pdf)

Datum pristupa: 10.3.2019.

[4] Ministarstvo poljoprivrede, Pravilnik o graničnim vrijednostima otpadnih voda

Dostupno na:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2013\\_06\\_80\\_1681.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2013_06_80_1681.html)

Datum pristupa: 10.3.2019.

[5] Daly, Toward some operational principles of sustainable development

Dostupno na:

[https://www.academia.edu/5024984/Commentary\\_TOWARD\\_SOME\\_OPERATIONAL\\_PRINCIPLES\\_OF\\_SUSTAINABLE\\_DEVELOPMENT\\_](https://www.academia.edu/5024984/Commentary_TOWARD_SOME_OPERATIONAL_PRINCIPLES_OF_SUSTAINABLE_DEVELOPMENT_)

Datum pristupa: 24.5.2019.



[6] P. K. Cornejo, M. V. E. Santana, D. R. Hokanson, J. R. Mihelcic i Q. Zhang , Carbon footprint of water reuse and desalination: a review of greenhouse gas emissions and estimation tools

Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/277676134\\_Carbon\\_footprint\\_of\\_water\\_reuse\\_and\\_desalination\\_A\\_review\\_of\\_greenhouse\\_gas\\_emissions\\_and\\_estimation\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/277676134_Carbon_footprint_of_water_reuse_and_desalination_A_review_of_greenhouse_gas_emissions_and_estimation_tools)

Datum pristupa : 20.4.2019.

[7] A. Y. Hoekstra, Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis

Dostupno na:

<http://www.ayhoekstra.nl/pubs/Hoekstra-2009.pdf>

Datum pristupa: 20.4.2019

[8] S. Morera, Water footprint assessment in wastewater treatment plants

Dostupno na:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615006794>

Datum pristupa: 20.4.2019.

[9] EPA, Water Reuse and Recycling: Community and Environmental Benefits

Dostupno na:

<https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/>

Datum pristupa: 12.3.2019

[10] Where Is the Most Water Reuse Taking Place, Fluence 2017

Dostupno na:

<https://www.fluencecorp.com/where-is-the-most-water-reuse-taking-place/>

Datum pristupa: 20.4.2019.

[11] IWA, Wasterwater report 2018

Dostupno na:

<http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2018/02/OFID-Wastewater-report-2018.pdf>

Datum pristupa: 10.3.2019.

[12] Optimising water reuse in the EU, 2013

Dostupno na:

[http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO\\_IA%20on%20water%20reuse\\_Final%20Part%20I.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO_IA%20on%20water%20reuse_Final%20Part%20I.pdf)

Datum pristupa 20.4.2019

[13] Prijedlog uredbe europskog parlamenta i vijeća o minimalnim zahtjevima za ponovnu uporabu vode

Dostupno na:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/ALL/?uri=COM:2018:0337:FIN>

Datum pristupa: 12.3.2019.

[14] Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021.

Dostupno na:

[https://www.voda.hr/sites/default/files/plan\\_upravljanja\\_vodnim\\_podrucjima\\_2016.\\_-\\_2021\\_0.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/plan_upravljanja_vodnim_podrucjima_2016._-_2021_0.pdf)

Datum pristupa: 15.3.2019.

[15] Višegodišnji programi gradnje 2013.-2023.

Dostupno na:

[https://www.voda.hr/sites/default/files/nn\\_117\\_2015\\_visegodisnji\\_program\\_gradnje\\_komunalnih\\_vodnih\\_gradevina\\_0.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/nn_117_2015_visegodisnji_program_gradnje_komunalnih_vodnih_gradevina_0.pdf)

Datum pristupa: 15.3.2019

[16] Strategija upravljanja vodama

Dostupno na:

[https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/strategija\\_upravljanja\\_vodama.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/strategija_upravljanja_vodama.pdf)

Datum pristupa 15.3.2019

[17] Varaždin riješio problem otpadnih voda u autokampu Šimuni, Poslovni dnevnik 2014.

Dostupno na:

<http://www.poslovni.hr/hrvatska/varazdin-rijesio-problem-otpadnih-voda-u-autokampu-simuni-272760>

Datum pristupa 15.4.2019.

[18] Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, Siječanj/Ožujak 2017., Broj 218

Dostupno na :

[https://www.voda.hr/sites/default/files/casopis/hr\\_vodoprivreda\\_218\\_web.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/casopis/hr_vodoprivreda_218_web.pdf)

Datum pristupa: 12.3.2019

[19] Studija utjecaja na okoliš javne odvodnje i pročišćavanje otpadnih voda Tar-Varbriga (Lanterna)

Dostupno na:

[https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO\\_PUO/SUO\\_Lanterna\\_Vrsar\\_Porec\\_sjever\\_jug/Lanterna/SUO\\_Lanterna.pdf](https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/SUO_Lanterna_Vrsar_Porec_sjever_jug/Lanterna/SUO_Lanterna.pdf)

Datum pristupa 15.5.2019.

[20] Studija utjecaja na okoliš javne odvodnje i pročišćavanje otpadnih voda Poreč-sjever (Materada)

Dostupno na:

[https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO\\_PUO/SUO\\_Lanterna\\_Vrsar\\_Porec\\_sjever\\_jug/Porec\\_sjever/SUO\\_Materada.pdf](https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/SUO_Lanterna_Vrsar_Porec_sjever_jug/Porec_sjever/SUO_Materada.pdf)

Datum pristupa: 15.5.2019

[21] Studija utjecaja na okoliš javne odvodnje i pročišćavanje otpadnih voda Poreč-jug (Debeli rt)

Dostupno na:

[https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO\\_PUO/SUO\\_Lanterna\\_Vrsar\\_Porec\\_sjever\\_jug/Porec\\_jug/SUO\\_Debeli\\_rt.pdf](https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/SUO_Lanterna_Vrsar_Porec_sjever_jug/Porec_jug/SUO_Debeli_rt.pdf)

Datum pristupa: 15.5.2019

[22] Studija utjecaja na okoliš javne odvodnje i pročišćavanje otpadnih voda Vrsar (Petalon)

Dostupno na:

[https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO\\_PUO/SUO\\_Lanterna\\_Vrsar\\_Porec\\_sjever\\_jug/Vrsar/SUO\\_Petalon.pdf](https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/SUO_Lanterna_Vrsar_Porec_sjever_jug/Vrsar/SUO_Petalon.pdf)

Datum pristupa : 15.5.2019.

[23] Studija ocjene i praćenja učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču - Studija Poreč. Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Laboratorij za tehnologiju vode, 2019. (Projekt u tijeku)

[24] S. Bunani, E. Yörüko, Ü. Yüksel, N. Kabay, M. Yüksel, G. Sert, Application of reverse osmosis for reuse of secondary treated urbanwastewater in agricultural irrigation

Dostupno na:

[https://www.academia.edu/28300533/Application\\_of\\_reverse\\_osmosis\\_for\\_reuse\\_of\\_secondary\\_treated\\_urban\\_wastewater\\_in\\_agricultural\\_irrigation](https://www.academia.edu/28300533/Application_of_reverse_osmosis_for_reuse_of_secondary_treated_urban_wastewater_in_agricultural_irrigation)

Datum pristupa : 20.5.2019.

[25] K. Majamaa, Industrial water reuse with integrated membrane system increases the sustainability of the chemical manufacturing

Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/261660231\\_Industrial\\_water\\_reuse\\_with\\_integrated\\_membrane\\_system\\_increases\\_the\\_sustainability\\_of\\_the\\_chemical\\_manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/261660231_Industrial_water_reuse_with_integrated_membrane_system_increases_the_sustainability_of_the_chemical_manufacturing)

Datum pristupa : 20.5.2019

## 8. Popis slika

Slika 1 Potencijal ponovne upotrebe otpadnih voda zemalja EU-a [12]

Slika 2 Postojeći sustavi odvodnje na području aglomeracije Poreča [23]

Slika 3 Sustav odvodnje Lanterna [19]

Slika 4 Sustav Poreč Sjever [20]

Slika 5 Sustav odvodnje Poreč Jug [21]

Slika 6 Sustav odvodnje Vrsar [22]

Slika 7 Lokacije za uzorkovanje [23]

Slika 8 Protok vode na ispustu Lanterna [23]

Slika 9 Protok vode na ispustu Poreč Sjever

Slika 10 Protok vode na ispustu Poreč Jug [23]

Slika 11 Protok vode na ispustu Vrsar [23]

Slika 12 Srednje tjedne koncentracije KPK [23]

Slika 13 Srednje tjedne koncentracije za BPK [23]

Slika 14 Prikaz varijacije broja noćenja tijekom godine

Slika 15 Prikaz membrana po veličini pora

## **9. Popis tablica**

Tablica 1 Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda [2]

Tablica 2 Granične vrijednosti pokazatelja u otpadnim vodama nakon pročišćavanja [4]

Tablica 3 Razredi kvalitete obnovljene vode te dopuštena upotreba u poljoprivredi i metoda navodnjavanja [13]

Tablica 4 Zahtjevi za kvalitetu obnovljene vode namijenjene poljoprivrednom navodnjavanju [13]

Tablica 5 Podjela sustava odvodnje na području aglomeracije Poreča

Tablica 6 Statistika turističkih dolazaka i noćenja u Poreču

Tablica 7 Procijenjena količina otpadne vode i opterećenje tijekom ljetnog perioda

Tablica 8 Očekivana učinkovitost MBR uređaja za pročišćavanje otpadnih voda [20]

Tablica 9 Ekonomska bilanca