

Zajednica izvršitelja



Naručitelj



Krajnji korisnik



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA  
IZGRADNJE KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA  
ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – STUDIJA POREČ



# IZVJEŠĆE Zb KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

veljača 2022



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE  
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

# IZVJEŠĆE 2b – dio 1/3

## KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

Ožujak 2019

Zajednica izvršitelja



Naručitelj



Krajnji korisnik



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE  
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

# IZVJEŠĆE 2b – dio 1/3

## KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

5. ožujka 2019

mr.sc. Božidar Deduš, dipl. ing.  
Ovlaštenik Zajednice izvršitelja  
Proning DHI d.o.o.

5. ožujka 2019

  
United Nations Institute for Water Education  
Cultural Organization under the auspices of UNESCO  
IHE Delft  
prof. dr. sc. Damir Brežanović, dipl. ing.  
Voditelj stručnog tima

**Institut Ruđer Bošković  
Centar za istraživanje mora  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju**

**Dio 1: Zimsko razdoblje**

## Rovinj, ožujak 2019.

Marino Korlević, dr. sc.  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju  
Centar za istraživanje mora  
Institut Ruđer Bošković  
G. Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska  
e-mail: [marino.korlevic@irb.hr](mailto:marino.korlevic@irb.hr)

### Sadržaj

1 Uvod.....	1
2 Materijali i metode.....	2
2.1 Uzorkovanje.....	2
2.2 Nabranje bakterija indikatora fekalija.....	2
3 Rezultati.....	5
3.1 Dnevna dinamika.....	5
3.2 Tjedna dinamika.....	5
3.3 Prijamne vode.....	8
4 Rasprava.....	11
5 Zaključci.....	12
6 Literatura.....	13

### Dio 1: Zimsko razdoblje

#### 1 Uvod

Projekt „Sustav odvodnje i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda grada Poreča“ sastoji se od rekonstrukcije i proširenja postojećeg kanalizacijskog sustava i izgradnje četiriju novih kanalizacijskih sustava (WWTP) u gradu Poreču (Hrvatske vode, 2015.). Projekt sufinancira Europska unija i jedan je od najvećih investicija u javnom sektoru u Hrvatskoj. Otpadne vode u postojećem kanalizacijskom sustavu obrađuju se samo mehaničkim i kemijskim metodama prije ispuštanja u Jadransko more (Hrvatske vode, 2015.). Dio projekta je izgradnja četiri nova postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda s tercijarnom obradom koji obuhvaćaju aktivne muljeve i membranske bioreaktore. Četiri nova WWTP-a su:

- Lanterna
- Poreč-Sjever
- Poreč-Jug
- Vrsar.

Projekt Poreč je složen infrastrukturni projekt koji se sastoji od nekoliko faza i potprojekata. Kako bi se poboljšalo razumijevanje cjelovitog sustava koji se sastoji od kanalizacije, WWTP-a i prijamne vode (Jadransko more), u različitim uvjetima, pokrenut je projekt „Studija ocjene i analiza učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču“ (Studija Poreč, Hrvatska.) studija o razvoju i analizi uspješnosti projekta izgradnje

kanalizacijskih mreža i analize učinkovitosti rada sustava za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču. Studija Poreč sastoji se od tri dijela za modeliranje (Hrvatske vode, 2015.):

- a) Modeliranje kanalizacijskog sustava grada Poreča
- b) Novo modeliranje WWTP-a
- c) Modeliranje mora na širem području grada i na odabranim plažama u Poreču.

Za svaki od tri dijela za modeliranje potrebno je odrediti bakterije indikatora fekalija (Hrvatske vode, 2015.). Pokazatelji fekalija su skupine organizama koje ukazuju na prisutnost fekalnog materijala, što upućuje na prisutnost patogenih mikroorganizama (Ashbolt i sur., 2001.). Praćenje različitih indikatorskih mikroorganizama u svrhu procjene kakvoće mikrobiološke vode provodi se od 19. stoljeća i od tada se razvija (Ashbolt i sur., 2001.). Brojanje bakterija *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka određeno je zakonodavstvom Europske unije i Republike Hrvatske za upravljanje kakvoćom vode za kupanje (2006/7/EZ; NN 73/2008).

Budući da kanalizacijski sustav i WWTP moraju zadovoljiti potrebe u dva različita godišnja doba, zimi (niska turistička sezona) i ljeti (visoka turistička sezona), Studija Poreč mora omogućiti razumijevanje cjelovitog rada sustava u ova dva kontrastna razdoblja i osigurati poznavanje rada cjelovitog sustava nakon izgradnje četiri nova postrojenja WWTP (Hrvatske vode, 2015.). Cilj ovog izvješća je osigurati popisivanje odabranih pokazatelja fekalnih bakterija (koliformi, bakterije *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) u zimskom razdoblju kao ulazne podatke za modelni dio projekta.

Dio 1: Zimsko razdoblje

## 2 Materijali i metode

### 2.1 Uzorkovanje

Za određivanje dnevne i tjedne dinamike pokazatelja fekalnih bakterija u kanalizacijskom sustavu na svakom WWTP (Lanterna, Poreč-Sjever, Poreč-Jug i Vrsar), uzeti su uzorci otpadnih voda svakih sat vremena od 8.00 sati 21. siječnja 2019. do 8.00 sati 28. siječnja 2019. s automatskim uzorkivačem otpadnih voda. Kako bi se procijenila dnevna dinamika, satni uzorci od dva sata su bili skupljeni u jedan uzorak. Odabrani zbirni dnevni uzorci za svaki WWTP bili su kako slijedi: WWTP Lanterna od 8.00 sati 27. siječnja 2019. do 8.00 sati ujutro 28. siječnja 2019., WWTP Poreč-Sjever od 8.00 sati 26. siječnja 2019. do 8.00 sati 27. siječnja 2019. godine, WWTP Poreč-Jug od 8.00 sati 25. siječnja 2019. do 8.00 sati 26. siječnja 2019. i WWTP Vrsar od 8.00 sati 24. siječnja 2019. do 8.00 sati 25. siječnja 2019. godine. Za procjenu tjednih dinamika sakupljeni su i analizirani svi uzorci uzeti od 8.00 sati do 8.00 sati sljedećeg dana s jednog WWTP. Za svaki WWTP analiziran je niz od sedam uzoraka. Za određivanje utjecaja ispuštene kanalizacije u morski ekosustav uzorkovana je prijamna voda u blizini svakog ispusta WWTP (Slika 1). Uzorkovanje je započelo na ispustu, 1 - 2 m iznad ispusta (Postaja A). Kako bi se povećala mogućnost otkrivanja ispusta, motor broda je bio isključen i brod je ostavljen plutati 150 m od ispusta gdje je na površini izvedeno drugo uzorkovanje (Postaja B), na 10 m dubine i 1 - 2 m iznad dna. Treća točka uzorkovanja (Postaja C) bila je udaljena 300 m od obale u smjeru Postaje B. Lokacija 300 m od obale odabrana je jer se smatra maksimalnim opsegom zone namijenjene za kupanje i rekreaciju (NN 79/2013). Serija uzorkovanje završila je (Postaja D) na 150 m od ispusta u suprotnom smjeru od Postaje B, gdje su uzeti uzorci na površini, na 10 m dubine i 1 - 2 m iznad dna. Datumi kada je uzorkovana prijamna voda svakog WWTP-a i koordinate svake postaje uzorkovanja prikazani u Tablici 1. Lokacija ispusta u svakoj prijamoj vodi WWTP određena je profiliranjem sonara jer smo primijetili da na navedenoj lokaciji koordinate ne ukazuju na točnu lokaciju ispusta. Kako bi se dodatno povećala mogućnost otkrivanja kanalizacijskog ispusta, izvedene su dvije serije uzorkovanja. Osim toga, procesu uzorkovanja je pomogao zaposlenik Odvodnje Poreč koji je upravljao ispuštanjem otpadnih voda. Svaka serija uzorkovanja započela je odmah nakon što nas je zaposlenik obavijestio da je bazen prazan ili u slučaju WWTP Lanterna, 1 minutu nakon što smo dobili informaciju.

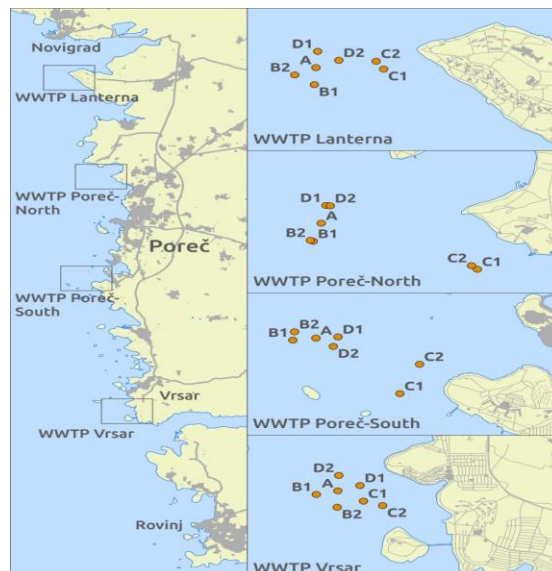
### 2.2 Nabranje bakterija indikatora fekalija

Uzorci morske vode i kanalizacije analizirani su na prisutnost indikatora bakterija fekalija (koliformi, Escherichia coli i crijevni enterokoki) metodom membranske filtracije. Za analizu je uzorkovano 500 ml morske vode i 50 ml otpadne vode i preneseno u laboratorij u tamnim i hladnim uvjetima pomoću hladne kutije. Uzorci su filtrirani na membranskim filterima (0.45  $\mu\text{m}$ ; 47 mm; Millipore, SAD). Za morsku vodu filtrirano je najmanje 100 ml i 10 ml za analizu svih fekalnih indikatora, dok su za kanalizaciju pripremljena razrjeđenja 10-3 i 10-4 za brojanje koliforma i Escherichia coli, odnosno 10-2 za analizu crijevnih enterokoka. Koliformi i Escherichia coli analizirani su inkubiranjem filtra na površini kromogenog koliformnog agara (Biolife, Italija) i inkubirani na  $36 \pm 2$  °C tijekom 18-24 sata. Sve ružičaste do crvene kolonije računale su se kao vjerojatne koliformne bakterije, a sve tamnoplave do ljubičaste kao Escherichia coli. Brojevi koliformnih bakterija izraženi su kao zbroj ružičaste do crvene i tamno-plave do ljubičaste kolonije jer se Escherichia coli smatra koliformnom bakterijom. Za popisivanje crijevnih enterokoka filteri su postavljeni na površinu Slanetz-Bartley agara (Biolife, Italija) i inkubirani na  $36$  °C  $\pm$   $2$  °C tijekom 40 - 48 h. Filtri koji su razvili kolonije preneseni su na prethodno zagrijan Bile Aesculine Agar (Biolife, Italija) i inkubirani na  $44 \pm 0.5$  °C tijekom 2 sata. Sve kolonije koje su razvile tamno smeđi ili crni vijenac, brojane su kao crijevni enterokoki. Brojevi svih bakterija indikatora fekalija izraženi su kao broj jedinica koje formiraju kolonije (CFU) na 100 ml. Ukupno je analizirano 140 uzoraka bakterija indikatora fekalija.

Tablica 1. Datumi kada je uzorkovana prijamne voda svakog WWTP i koordinate svake Postaje uzorkovanja. Da bi se maksimizirala detekcija kanalizacijskog ispusta izvršene su dvije serije uzorkovanja. Naljepnice postaja: A-ispust, B-150 m u smjeru plovidbe broda, C-300 m od obale i D-150 m u suprotnom smjeru od Postaje B. Za detalje pogledajte tekst.

WWTP	Datum	Serije	Postaja	Širina	Dužina
Lanterna	21. siječanj 2019.	1.	A	45° 17.805'	13° 33.594'
			B	45° 17.721'	13° 33.586'
			C	45° 17.798'	13° 33.940'
			D	45° 17.885'	13° 33.603'
		2.	A	45° 17.805'	13° 33.594'
			B	45° 17.769'	13° 33.486'
			C	45° 17.836'	13° 33.902'
			D	45° 17.841'	13° 33.711'
Poreč-sjever	22. siječanj 2019.	1.	A	45° 14.891'	13° 34.649'
			B	45° 14.802'	13° 34.608'
			C	45° 14.664'	13° 35.447'
			D	45° 14.979'	13° 34.673'
		2.	A	45° 14.891'	13° 34.649'
			B	45° 14.807'	13° 34.593'
			C	45° 14.682'	13° 35.417'
			D	45° 14.977'	13° 34.695'
Poreč-jug	23. siječanj 2019.	1.	A	45° 12.129'	13° 34.136'
			B	45° 12.119'	13° 34.018'
			C	45° 11.855'	13° 34.565'
			D	45° 12.135'	13° 34.249'
		2.	A	45° 12.129'	13° 34.136'
			B	45° 12.160'	13° 34.027'
			C	45° 12.000'	13° 34.666'
			D	45° 12.088'	13° 34.225'
Vrsar	24. siječanj 2019.	1.	A	45° 08.320'	13° 35.562'
			B	45° 08.302'	13° 35.452'
			C	45° 08.269'	13° 35.693'
			D	45° 08.346'	13° 35.675'
		2.	A	45° 08.320'	13° 35.562'
			B	45° 08.239'	13° 35.559'
			C	45° 08.247'	13° 35.791'
			D	45° 08.247'	13° 35.791'

			D	45° 08.396'	13° 35.567'
--	--	--	---	-------------	-------------



Slika 1. Položaj WWTP prijemne vode uz zapadnu obalu Istre. Naljepnice postaja: A-ispust, B-150 m u smjeru plovidbe broda, C-300 m od obale i D-150 m u suprotnom smjeru od Postaje B. Da bi se maksimalno otkrio kanalizacijski ispušt izvršene su dvije serije uzorkovanje, označene s 1 i 2 (©OpenStreetMap contributors, [www.openstreetmap.org/copyright](http://www.openstreetmap.org/copyright)). Za detalje pogledajte tekst.

### 3 Rezultati

#### 3.1 Dnevna dinamika

Broj koliformnih bakterija u svim WWTP tijekom dana kretao se u rasponu od  $1,91 \times 10^7$  do  $2,35 \times 10^8$  CFU / 100 ml (Slika 2). U prosjeku, najmanji broj koliformnih bakterija zabilježen je u WWTP Vrsar ( $9,69 \times 10^7 \pm 4,71 \times 10^7$  CFU / 100 ml), dok je u WWTP Poreč-Jug utvrđen najveći prosječni broj koliforma ( $1,86 \times 10^8 \pm 3,11 \times 10^7$  CFU / 100 ml). Minimalne dnevne vrijednosti zabilježene su tijekom noći (WWTP Lanterna, WWTP Poreč-Sjever i WWTP Poreč-Jug) ili rano ujutro (WWTP Vrsar), dok su maksimalne vrijednosti zabilježene poslijepodne (WWTP Poreč-Sjever i WWTP Vrsar) ili u večernjim satima (WWTP Lanterna) ili u slučaju WWTP Poreč-Jug od 10.00 do podneva.

Koncentracije *Escherichia coli* bile su u rasponu od  $3,50 \times 10^6$  do  $6,10 \times 10^7$  CFU / 100 ml (Slika 2). U prosjeku, najmanji broj zabilježen je u WWTP Lanterna ( $7,68 \times 10^6 \pm 2,41 \times 10^6$  CFU / 100 ml), dok je najveći prosječan broj zabilježen u WWTP Vrsar ( $2,75 \times 10^7 \pm 1,62 \times 10^7$  CFU / 100 ml). Minimalne dnevne vrijednosti zabilježene su tijekom noći (WWTP Lanterna) ili rano ujutro (WWTP Poreč-Sjever i WWTP Vrsar), s izuzetkom WWTP Poreč-Jug gdje je minimalna dnevna vrijednost zabilježena od 10.00 do podneva. Maksimalne vrijednosti tijekom dana utvrđene su u večernjim satima (WWTP Lanterna, WWTP Poreč-Sjever i WWTP Poreč-Jug) s izuzetkom WWTP Vrsar gdje su utvrđene maksimalne vrijednosti od ponoći do 2.00 sata.

Vrijednosti crijevnih enterokoka bile su u rasponu od  $1,80 \times 10^5$  do  $1,88 \times 10^6$  CFU / 100 ml (Slika 2). U prosjeku, najmanji broj zabilježen je u WWTP Vrsar ( $7,10 \times 10^5 \pm 4,29 \times 10^5$  CFU / 100 ml), dok je u WWTP Poreč-Jug u prosjeku sadržavao najveći broj crijevnih enterokoka ( $1,33 \times 10^6 \pm 2,74 \times 10^5$  CFU / 100 ml). Nije zabilježen jasan uzorak za minimalne dnevne vrijednosti crijevnih enterokoka, dok su maksimalne vrijednosti zabilježene tijekom večeri (WWTP Lanterna, WWTP Poreč-Sjever i WWTP Vrsar) ili noći (Poreč-Jug).

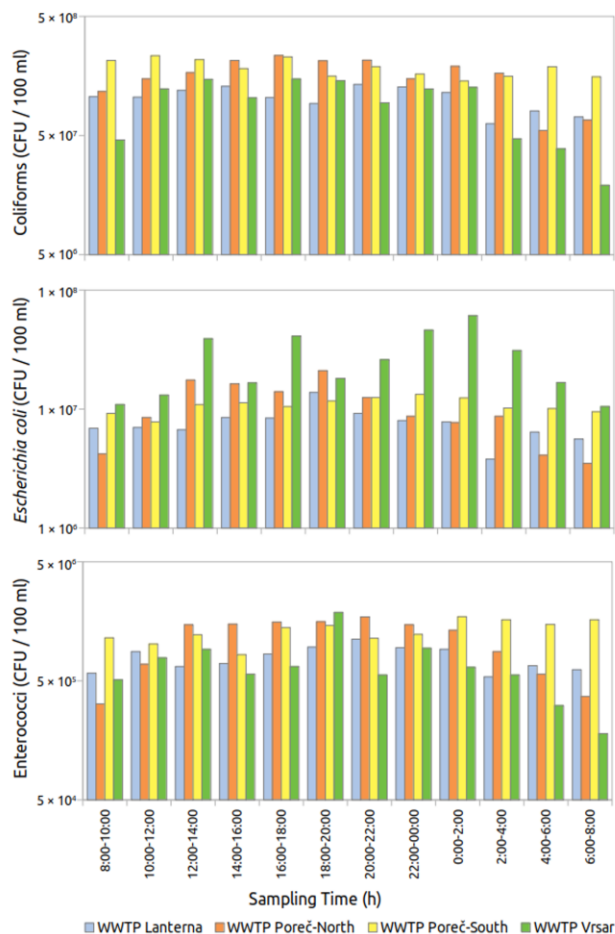


### 3.2 Tjedna dinamika

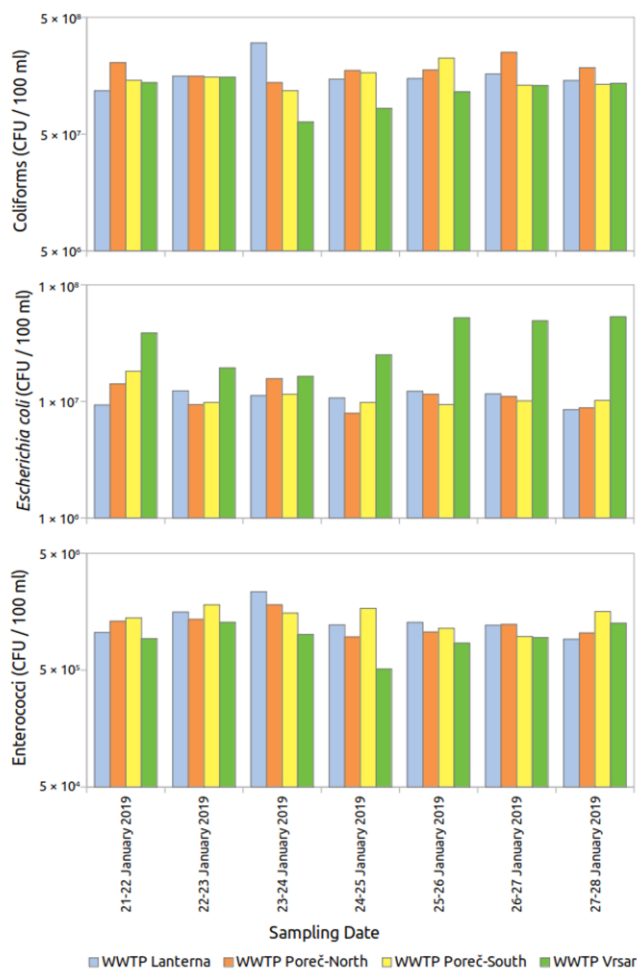
Vrijednosti koliformnih bakterija bile su u rasponu od  $6,34 \times 10^7$  do  $3,01 \times 10^8$  CFU / 100 ml tijekom istraživanih tjedna (Slika 3). U prosjeku, najmanji broj zabilježen je u WWTP Vrsar ( $1,17 \times 10^8 \pm 3,24 \times 10^7$  CFU / 100 ml), dok su najveće prosječne vrijednosti zabilježene na WWTP Poreč-Sjever ( $1,83 \times 10^8 \pm 3,61 \times 10^7$  CFU / 100 ml). Minimalne tjedne vrijednosti zabilježene su u srijedu-četvrtak, 23. - 24. siječnja 2019. godine, s izuzetkom WWTP Lanterna gdje su minimalne vrijednosti utvrđene u ponedjeljak - utorak, 21. - 22. siječnja 2019. godine, dok nije utvrđen jasan uzorak za maksimalne vrijednosti.

Tjedne koncentracije *Escherichia coli* bile su u rasponu od  $7,90 \times 10^6$  do  $5,30 \times 10^7$  CFU / 100 ml (Slika 3). Najniža prosječna vrijednost utvrđena je na WWTP Lanterna ( $1,08 \times 10^7 \pm 1,45 \times 10^6$  CFU / 100 ml), dok su maksimalne vrijednosti utvrđene na WWTP Vrsar ( $3,62 \times 10^7 \pm 1,58 \times 10^7$  CFU / 100 ml). Osim toga, nije opažen jasan tjedni uzorak za maksimalne i minimalne vrijednosti za koncentraciju *Escherichia coli*.

Vrijednosti crijevnih enterokoka kretale su se od  $5,10 \times 10^5$  do  $2,34 \times 10^6$  CFU / 100 ml (Slika 3). U prosjeku, minimalne vrijednosti utvrđene su na WWTP Vrsar ( $9,70 \times 10^5 \pm 2,61 \times 10^5$  CFU / 100 ml), dok su maksimalne vrijednosti karakteristične za WWTP Poreč Jug ( $1,45 \times 10^6 \pm 3,01 \times 10^5$  CFU / 100 ml). Minimalne tjedne vrijednosti zabilježene su tijekom vikenda od 26. do 28. siječnja 2019. godine (WWTP Lanterna i WWTP Poreč-Jug) ili u četvrtak - petak, 24. - 25. siječnja 2019. (WWTP Poreč-Sjever i WWTP Vrsar), dok su maksimalne vrijednosti utvrđene u srijedu - četvrtak, 23. - 24. siječnja 2019. (WWTP Lanterna i WWTP Poreč-Sjever) ili u utorak - srijedu, 22. - 23. siječnja 2019. (WWTP Poreč-Jug i WWTP Vrsar).



Slika 2. Dnevna dinamika indikatora bakterija fekalija (koliformi, bakterije *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) u svakoj otpadnoj vodi WWTP.

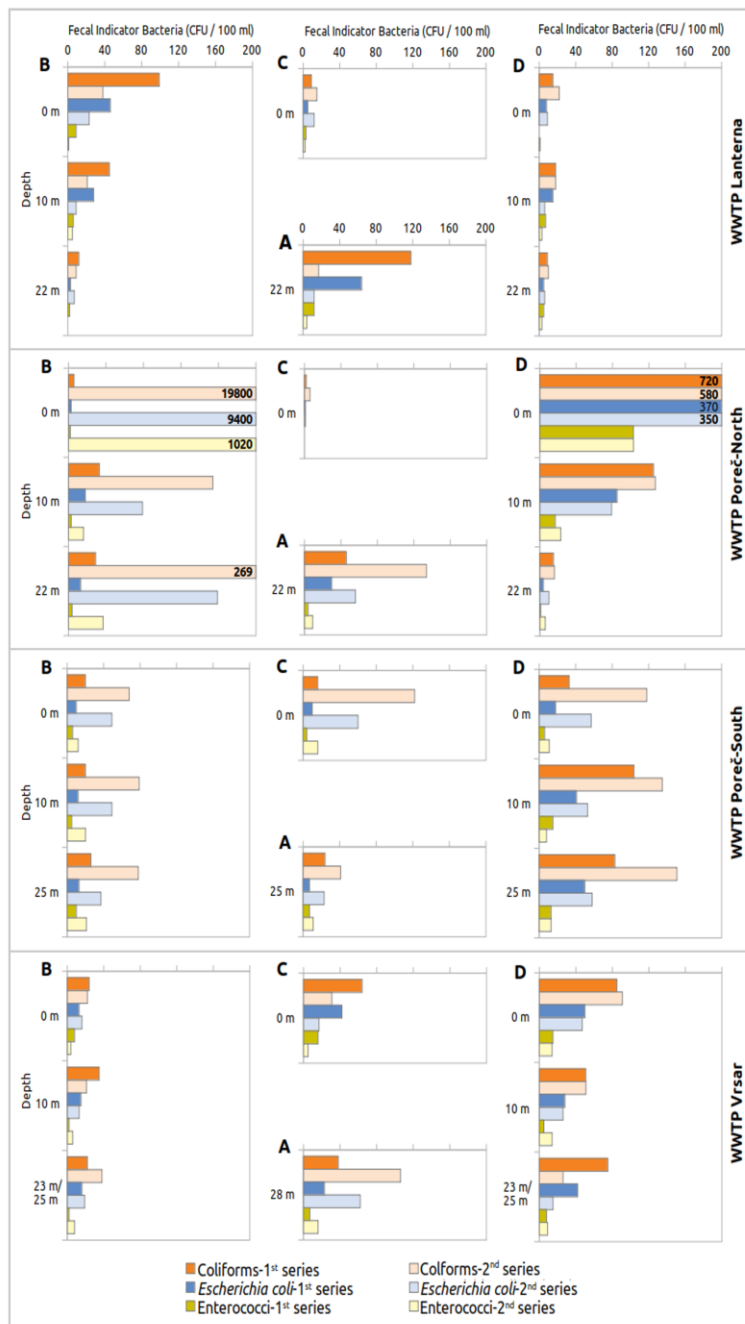


Slika 3. Tjedna dinamika indikatora bakterija fekalija (koliformi, bakterije *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) u svakoj otpadnoj vodi WWTP.

### 3.3 Prijamna voda

Bakterije indikatora fekalija nabrojane su u prijamnoj vodi svakog WWTP. Vrijednosti koliformnih bakterija u svim vodama kretale su se od 2 do 19,800 CFU / 100 ml (Slika 4). U prosjeku, maksimalne vrijednosti zabilježene su u Poreču-Sjeveru ( $1.378,88 \pm 4916,80$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti karakteristične za Lanternu ( $29,69 \pm 32,55$  CFU / 100 ml). Na temelju dvije serije uzorkovanja utvrdili smo raspored distribucije bakterija indikatora fekalija. Maksimalne vrijednosti u Lanterni zabilježene su na ispustu (Postaja A, 22 m dubine,  $67,50 \pm 71,42$  CFU / 100 ml) i u površinskim vodama Postaje B ( $68,50 \pm 43,13$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti utvrđene u blizini dna (dubina 22 m) Postaje D ( $9,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml) i Postaje B ( $10,50 \pm 2,12$  CFU / 100 ml) te u površinskim vodama Postaje C ( $12,00 \pm 4,24$  CFU / 100 ml). Prijamna voda Poreča-Sjever karakterizira ekstremna prosječna vrijednost u površinskim vodama Postaje B ( $9.903,00 \pm 13.996,47$  CFU / 100 ml), visoke vrijednosti u površinskim vodama Postaje D ( $650,00 \pm 98,99$  CFU / 100 ml), i minimalne vrijednosti na površini Postaje C ( $4,00 \pm 2,83$  CFU / 100 ml). U usporedbi s prijašnjim vodama, prijamna voda WWTP-a Poreč-Jug pokazala je drugačiji uzorak. Maksimalne vrijednosti bile su karakteristične za srednji stup (10 m,  $119,50 \pm 21,92$  CFU / 100 ml) i blizu

dna (25 m,  $117,00 \pm 48,08$  CFU / 100 ml) površine Postaje D, dok su minimalne vrijednosti zabilježene na ispustu ( $32,50 \pm 12,02$ ). Prijamna voda WWTP Vrsar sadržavala je veći broj koliformnih bakterija na ispustu (dubina 28 m,  $72,00 \pm 48,08$  CFU / 100 ml) i na površini Postaje D ( $88,00 \pm 4,24$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti otkrivene na površini Postaje B ( $23,00 \pm 1,41$  CFU / 100 ml). Koncentracije bakterije *Escherichia coli* u svim prijamnim vodama bile su u rasponu od 1 do 9,400 CFU / 100 ml (Slika 4). Najniži prosječni brojevi zabilježeni su u Lanterni ( $16,13 \pm 16,90$  CFU / 100 ml), dok su maksimalne vrijednosti karakteristične za Poreč-Sjever ( $666,13 \pm 2331,94$  CFU / 100 ml). Raspored distribucije bakterije *Escherichia coli* u Lanterni bio je sličan koliformnim bakterijama, pri čemu su maksimalne vrijednosti zabilježene na ispustu ( $38,00 \pm 36,77$  CFU / B 100 ml) i u površinskim vodama Postaje B ( $34,50 \pm 16,26$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti bile karakteristične za donji sloj na Postaji B ( $5,00 \pm 2,83$  CFU / 100 ml) i D ( $5,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml) i površinskim vodama Postaje C ( $8,50 \pm 4,95$  CFU / 100 ml) i Postaje D ( $8,50 \pm \pm$ ).  $0,71$  CFU / 100 ml). *Escherichia coli* u prijemnoj vodi WWTP-a Poreč-Sjever također je pokazala sličan raspored raspodjele koliforma s ekstremnim vrijednostima u površinskim vodama Postaje B ( $4,701.50 \pm 6,644.68$  CFU / 100 ml), visoke vrijednosti na površini Postaje D ( $360.00 \pm 14.14$ ) CFU / 100 ml), a niske vrijednosti u površinskim vodama Postaje C ( $1,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml). U skladu s raspodjelom koliforma u Poreč-Jugu, *Escherichia coli* pokazala je sličan uzorak, s maksimalnim vrijednostima na sredini stupa ( $47,00 \pm 8,49$  CFU / 100 ml) i blizu dna ( $54,00 \pm 5,66$  CFU / 100 ml) Postaje D i minimalne vrijednosti na ispustu ( $15,00 \pm 11,31$  CFU / 100 ml). Također, uzorak distribucije bakterije *Escherichia coli* u Vrsaru bio je sličan obrascu distribucije koliforma, s najvišim vrijednostima na ispustu ( $42,50 \pm 27,58$  CFU / 100 ml) i površini Postaje D ( $48,50 \pm 2,12$  CFU / 100 ml) i minimalnim vrijednosti detektirane na površini ( $14,50 \pm 2,12$  CFU / 100 ml) i na sredini stupa ( $14,00 \pm 1,41$  CFU / 100 ml) Postaje B. Intestinalni enterokoki u svim prijamnim vodama bili su u rasponu od 0 do 1,020 CFU / 100 ml (slika 4). U prosjeku, najniže vrijednosti zabilježene su u Lanterni ( $3,94 \pm 3,32$  CFU / 100 ml), dok su maksimalne vrijednosti karakteristične za vodu primatelja WWTP Poreč-Sjever ( $84,25 \pm 251,75$  CFU / 100 ml). Intestinalni enterokoki u Lanterni pokazali su slične vrijednosti u svim uzorcima s nešto većim količinama na ispustu. U skladu s raspodjelom prethodnih fekalnih pokazatelja, crijevni enterokoki u Poreču-Sjeveru imali su sličan raspored raspodjele. Površinske vode Postaje B ( $511,00 \pm 719,83$  CFU / 100 ml) i D ( $103,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml) karakterizirane su visokim vrijednostima, voda s dna Postaje D ( $3,50 \pm 3,54$  CFU / 100 ml) sadržavala je niske vrijednosti, dok na površini Postaje C nisu otkriveni crijevni enterokoki. U prijemnoj vodi postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda Poreč-Jug otkrivene su slične vrijednosti u svim uzorcima s nešto višim vrijednostima uočenim u vodi s dna postaja B i D. U skladu s raspodjelom u Lanterni i Poreč-Jug, slične vrijednosti intestinalnih enterokoka zabilježene su u svim uzorcima Vrsara s nešto višim vrijednostima na ispustu i površini Postaje D.



Slika 4. Raspodjela bakterija indikatora fekalija (koliformi, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) u prijamnoj vodi svakog WWTP. Naljepnice postaja: A-ispust, B-150 m u smjeru plovidbe broda, C-300 m od obale i D-150 m u suprotnom smjeru od Postaje B. Da bi se maksimalno otkrio kanalizacijski ispuist izvedene su dvije serije uzorkovanja. Uzorci koji su pokazali više od 200 CFU / 100 ml označeni su točnim brojem CFU / 100 ml. Pogledajte tekst za pojedinosti.

#### 4 Rasprava

Studija Poreč pokrenuta je s ciljem poboljšanja razumijevanja cjelovitog sustava otpadnih voda koji se sastoji od kanalizacije, WWTP-a i prijamne vode u gradu Poreču. Razumijevanje će biti pojačano modeliranjem kanalizacijskih sustava, novim modeliranjem WWTP-a i modeliranjem mora. Nabrojanje bakterija indikatora fekalija iznesenih u ovom izvješću (koliformi, *Escherichia coli* i intestinalni enterokoki) jedan je od ulaznih podataka za modeliranje.

Broj fekalnih indikatora nabrojanih u uzorcima otpadnih voda bio je u okviru prethodno prijavljenih vrijednosti za otpadne vode. Sirova otpadna voda obično sadrži od 107 do 108 koliformnih bakterija (Koivunen i sur., 2003.), 106 do 107 *Escherichia coli* (Lucas i sur., 2014.) i 105 do 106 crijevnih enterokoka (Lucas i sur., 2014.), što je u skladu s našim podacima. Dnevna fluktuacija bakterija indikatora fekalija pokazala je nešto niže vrijednosti tijekom noći i ujutro, što je u skladu s prethodno opisanim uzorkom dnevne defekacije (Lucas i sur., 2014.). Poznata je velika varijabilnost podataka dobivenih iz nabrojanja fekalnih indikatora u sirovom kanalizacijskom sustavu te se predlaže reprezentativno uzorkovanje za rješavanje ove pojave (Lucas i sur., 2014.).

Brojnost fekalnih pokazatelja u prijamnoj vodi bila je niska, izuzev Poreča-Sjevera. Ova se rasprostranjenost može objasniti većim protokom, a time i većom učestalošću ispuštanja u WWTP Poreč-Sjever, kao posljedica velikog broja stalnih stanovnika u Poreču čija se kanalizacija uglavnom veže na WWTP Poreč-Sjever. Nasuprot tome, Lanterna, Poreč-Jug i Vrsar su WWTP-i koji uglavnom prerađuju otpadne vode s turističkih mjesta čija je populacija izrazito sezonska. Ipak, općenito u svim prijamnim vodama veće su vrijednosti utvrđene u površinskim vodama, i na Postaji B i na Postaji D, s izuzetkom Poreča-Juga gdje su povišene vrijednosti pronađene na sredini stupa i na dnu Postaje D. Ova razlika između Poreča-Juga i drugih područja mogu se pripisati vremenskim uvjetima tijekom uzorkovanja koje su obilježene iznenadnom promjenom vremena. Veća koncentracija fekalnih indikatora bakterija u površinskim vodama tijekom zime, kada se miješa stup vode, uočena je prije (Paliaga i sur., 2017.). Odsustvo toplinske stratifikacije omogućuje da otpadne vode manje gustoće prelaze čitav vodeni stup i rasipaju se na površini. Ako su protok i ispust na WWTP-i visoki, može se utjecati na cijelu površinu oko ispusta kao što smo vidjeli u Poreču-Sjeveru. Uz izuzetak Poreča-Sjevera, na što su utjecale površinske vode na obje Postaje, i Poreč-Jug, gdje na površini nisu uočene maksimalne vrijednosti, općenito jedna postaja (B ili D) sadržavala je veću zastupljenost fekalnih indikatora. U Lanterni to je bila postaja B i na Vrsaru Postaja D. Ta se razlika može objasniti utjecajem vjetrova na plovilo koje je plutalo tijekom uzorkovanja.

Zakonodavstvo Republike Hrvatske (NN 73/2008) definira raspone crijevnih enterokoka i *Escherichia coli* za razvrstavanje morske vode s ciljem upravljanja kvalitetom vode za kupanje. Zakonodavstvo definira četiri kategorije: izvrsna kvaliteta, dobra kvaliteta, dostatna kvaliteta i nedovoljna kvaliteta (Tablica 2). Svi testirani uzorci iz postaja C (kupališna zona, 300 m od obale) prema rasponu navedenom u Tablici 2 kategorizirani su kao izvrsna kvaliteta. Osim toga, svi analizirani uzorci iz svih prijamnih voda WWTP-a kategorizirani su kao izvrsna kvaliteta, s izuzetkom Poreča-Sjevera. Uzorak morske vode s površine Postaje B u Poreč-Sjeveru uzorkovanoj u prvoj seriji pokazao je ekstremno visok broj *Escherichia coli* (9 400 CFU / 100 ml) i crijevnih enterokoka (1,020 CFU / 100 ml) koji kategoriziraju ovaj uzorak u 11 kategoriji nedovoljne kvalitete. Također, uzorci površinskih voda u Poreču-Sjeveru iz Postaje D iz obje serije svrstani su u kategoriju nedovoljne kvalitete. Osim toga, samo još jedan uzorak (Poreč-Sjever, druga serija, donji sloj Postaje B) nije klasificiran kao izvrsna kvaliteta i spada u kategoriju dobre kvalitete.

Tablica 2. Referentne vrijednosti za procjenu mikrobiološke kakvoće mora nakon svakog ispitivanja koje je utvrdila Republika Hrvatska (NN 73/2008).

Parametar	Izvrсна kvaliteta	Dobra kvaliteta	Dovoljno	Referentne metode analize
Crijevni enterokoki (cfu/100 ml)	<60	61 – 100	101 – 200	HRN EN ISO 7899-1 ili HRN EN ISO 7899-2
<i>Escherichia coli</i> (cfu/100 ml)	<100	101 – 200	201 – 300	HRN EN ISO 9308-1 ili HRN EN ISO 9308-3

## 5 Zaključci

Na temelju zbrajanja odabranih bakterija indikatora fekalija (koliformi, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) može se izvesti sljedeći zaključak:

- a) Procijenjene vrijednosti odabranih bakterija indikatora fekalija u otpadnim vodama bile su unutar prethodno prijavljenih vrijednosti za otpadne vode.
- b) Dnevne dinamike indikatora fekalija bakterija općenito pokazuju nešto niže vrijednosti tijekom noći i ujutro.
- c) Brojnost pokazatelja fekalija u prijamnoj vodi bila je niska, s izuzetkom Poreča-Sjevera gdje su na površini pronađene vrlo visoke vrijednosti.
- d) Općenito, na površini su nađene veće količine bakterija indikatora fekalija, što odražava odsustvo toplinske stratifikacije tijekom zime.
- e) Velika većina uzoraka klasificirana je kao izvrsna kvaliteta, na temelju zakonodavstva Republike Hrvatske, s izuzetkom površinskih voda u Poreču-Sjeveru, gdje su uzorci podrijetlom iz ovog sloja kategorizirani kao nedovoljno kvalitetni.

## 6 Literatura

Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K., i Snozzi, M. (2001.) Pokazatelji mikrobne kvalitete vode. U, *Kvaliteta vode: Smjernice, standardi i zdravlje.*, Str. 289–316.

DIREKTIVA 2006/7/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 15. veljače 2006. o upravljanju kakvoćom voda za kupanje i stavljanju izvan snage Direktive 76/160/EEZ.

Hrvatske vode (2015) Dokumentacija za nadmetanje za provedbu postupka javne nabave velike vrijednosti s namjerom sklapanja ugovora o uslugama: Studija ocjene i praćenje učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču. Zagreb, str. 24–46.

Koivunen, J., Siitonen, A., i Heinonen-Tanski, H. (2003.) Eliminacija crijevnih bakterija u biološko-kemijskoj obradi otpadnih voda i jedinicama tercijarne filtracije. *Water Res.* 37: 690-698.

Lucas, F.S., Therial, C., Gonçalves, A., Servais, P., Rocher, V., i Mouchel, J.-M. (2014.) Varijacija mikrobiološke kakvoće sirove otpadne vode u suhim i vlažnim vremenskim uvjetima. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21: 5318-5328.

NN 73/2008 (26.6.2008.), Uredba o kakvoći mora za kupanje.

NN 79/2013 Pravilnik o sigurnosti pomorske plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske.

Paliaga, P., Korlević, M., Ivančić, I., i Najdek, M. (2017.) Ograničeni utjecaj primarno obrađenih otpadnih voda na brojnost bakterija, proizvodnju i sastav zajednice u priobalnim morskim vodama. *Mar. Environ. Res.* 131: 215-226.

STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE  
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

# IZVJEŠĆE 2b - dio 2/3

## KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

Zajednica izvršitelja  
Rujan 2019



Naručitelj



Krajnji korisnik



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE  
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

# IZVJEŠĆE 2b - dio 2/3

## KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

20. rujan 2019

mr.sc. Božidar Deduš, dipl. ing.  
Ovlaštenik Zajednice izvršitelja  
Proning DHI d.o.o.

16. rujan 2019

  
United Nations  
Institute for Education  
under the auspices  
of UNESCO  
IHE  
DELFT



Institut Ruđer Bošković  
Centar za istraživanje mora  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju

## 2. dio: Ljetni period i brzina smanjenja fekalnih indikatora

Rovinj, rujan 2019. godine

Marino Korlević, dr. fil.  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju  
Centar za istraživanje mora  
Institut Ruđer Bošković  
G. Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska  
e-mail: [marino.korlevic@irb.hr](mailto:marino.korlevic@irb.hr)

Marsej Markovski, mag. ing. maricult.  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju  
Centar za istraživanje mora  
Institut Ruđer Bošković  
G. Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska  
e-mail: [marsej.markovski@irb.hr](mailto:marsej.markovski@irb.hr)

## Sadržaj

1 Ljetni period.....	1
1.1 Uvod.....	1
1.2 Materijali i metode .....	2
1.2.1 Uzorkovanje .....	2
1.2.2 Brojanje fekalnih indikatorskih bakterija .....	2
1.3 Rezultati .....	6
1.3.1 Dnevna dinamika.....	6
1.3.2 Tjedna dinamika .....	6
1.3.3 Recipijenti otpadnih voda.....	9
1.4 Diskusija.....	12
1.5 Zaključci.....	14
2 Brzina smanjenja fekalnih indikatora .....	15
2.1 Uvod.....	15
2.2 Materijali i metode .....	16
2.2.1 Plan eksperimenta.....	16
2.2.2 Brojanje fekalnih indikatorskih bakterija .....	16
2.3 Rezultati .....	17
2.4 Diskusija.....	21
2.5 Zaključci.....	21
3 Literatura.....	22

# 1 Ljetni period

## 1.1 Uvod

Projekt “Sustav odvodnje i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda grada Poreča” (Projekt Poreč; eng. “Sewerage system and wastewater treatment plants of the town of Poreč”) sastoji se iz obnove i proširenja postojećeg sustava odvodnje i izgradnje četiri nova Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV-a) u gradu Poreču (Hrvatske vode, 2015.). Projekt sufinancira Europska unija i jedno je od najvećih ulaganja javnog sektora u Hrvatskoj. U sadašnjem sustavu odvodnje otpadne vode se tretiraju mehaničkom i kemijskom metodom prije nego što ih se ispusti u Jadransko more (Hrvatske vode, 2015. godine). Dio projekta je izgradnja četiri nova UPOV-a koji su u stanju izvršiti terciarno pročišćavanje korištenjem aktiviranog mulja i membranskih bioreaktora. Četiri nova UPOV-a su:

- a) Lanterna
- b) Poreč-sjever
- c) Poreč-jug
- d) Vrsar.

Projekt Poreč je složeni infrastrukturni projekt koji se sastoji od nekoliko faza i podprojekata. Kako bi se poboljšalo razumijevanje objedinjenog sustava koji se sastoji od odvodnje, UPOV-a i recipijenata otpadnih voda (Jadransko more), u različitim uvjetima, pokrenut je projekt “Studija ocjene i analiza učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču” (Studija Poreč, eng. “Assessment and efficiency monitoring study for the project implementation of sewerage network construction and Waste Water Treatment Plant efficiency analysis in the town of Poreč”). Studija Poreč obuhvaća tri dijela modeliranja (Hrvatske vode, 2015.):

- a) Modeliranje sustava odvodnje grada Poreča
- b) Modeliranje novog UPOV-a
- c) Modeliranje mora u širem području grada i na odabranim plažama u Poreču.

Za svaki od gore navedenih segmenata potrebno je utvrđivanje fekalnih indikatorskih bakterija (Hrvatske vode, 2015.).

Fekalni indikatori su grupa organizama koji ukazuju na prisutnost fekalnog materijala čime ukazuju na prisutnost patogenih mikroorganizama (Ashbolt i sur., 2001.). Praćenje različitih indikatorskih mikroorganizama u svrhu mikrobiološkog ispitivanja kvalitete vode provodi se od 19. stoljeća i otad se neprekidno razvijalo (Ashbolt i sur., 2001.). Brojanje *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka specificirano je zakonskim propisima Europske unije i Republike Hrvatske za upravljanje kvalitetom vode za kupanje (2006/7/EZ; NN 73/2008).

Budući da sustav odvodnje i UPOV-i moraju zadovoljiti potrebe u dvije različite sezone, zima (sezona s malo turista) i ljeto (sezona s puno turista), Studija Poreč treba osigurati razumijevanje rada objedinjenog sustava u ta dva različita perioda te ujedno osigurati poznavanje rada objedinjenog sustava nakon izgradnje četiri nova UPOV-a (Hrvatske vode, 2015.). Cilj ovog izvještaja je osigurati brojanje odabranih fekalnih indikatorskih bakterija (koliformnih bakterija, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) tijekom ljeta, čime bi se dobili ulazni podaci za dio projekta vezan uz modeliranje.

## 1.2 Materijali i metode

### 1.2.1 Uzorkovanje

Kako bi se utvrdila dnevna i tjedna dinamika fekalnih indikatorskih bakterija u sustavu odvodnje na svakom UPOV-u (Lanterna, Poreč-sjever, Poreč-jug i Vrsar), uzeti su uzorci otpadnih voda svakog sata od 8:00 19. srpnja 2019. do 8:00 26. srpnja 2019. pomoću automatskog uzorkivača otpadnih voda. Kako bi se procijenila dnevna dinamika, satni uzorci uzeti u dva sata objedinjeni su u jedan uzorak. Odabrani objedinjeni uzorci za svaki UPOV bili su kako slijedi: UPOV Lanterna od 8:00 25. srpnja 2019. do 8:00 26. srpnja 2019., UPOV Poreč-sjever i UPOV Poreč-jug od 8:00 24. srpnja 2019. do 8:00 25. srpnja 2019. i UPOV Vrsar od 8:00 22. srpnja 2019. do 8:00 23. srpnja 2019. Kako bi se procijenile tjedne dinamike svi su uzorci uzeti od 8:00 do 8:00 narednog dana iz jednog UPOV-a objedinjeni i analizirani. Za svaki UPOV analiziran je niz od nekoliko uzoraka.

Kako bi se utvrdio utjecaj ispuštenih otpadnih voda na morski ekosustav, uzorkovani su recipijenti otpadnih voda u blizini odvoda svakog UPOV-a (**Slika 1**). Uzorkovanje je počelo na odvodu, 1–2 m iznad njega (Stanica A). Kako bi se krajnje povećali izgledi za detektiranje isparenja, motor čamca je ugašen i čamac je pušten da pluta 150 m od odvoda gdje je izvršeno drugo uzorkovanje (Stanica B) na površini, na dubini od 10 m i 1–2 m iznad dna. Treća točka uzorkovanja (Stanica C) nalazila se 300 m od obale u smjeru Stanice B. Položaj 300 m od obale odabran je jer se smatra maksimalnim opsegom zone namijenjene za plivanje i rekreaciju (NN 79/2013). Serija uzorkovanja završila je (Stanica D) na 150 m od odvoda u smjeru suprotnom od Stanice B gdje su uzorci uzeti na površini, na dubini od 10 m i 1–2 m iznad dna. Datumi uzorkovanja recipijenata otpadnih voda svakog UPOV-a i koordinate svake Stanice za uzorkovanje dati su u **Tablica 1**. Položaj odvoda recipijenta otpadnih voda svakog UPOV-a utvrđen je profiliranjem pomoću sonara tijekom zimske kampanje jer smo na položaju primijetili da date koordinate ne pokazuju na točan položaj odvoda. Kako bi se daljnje povećali izgledi za detektiranje isparenja otpadnih voda, izvršene su dvije serije uzorkovanja. Osim toga, procesu uzorkovanja pomagao je zaposlenik Odvodnje Poreč koji je vodio i pratio ispuštanje otpadnih voda. Svaka serije uzorkovanja izvršena je odmah nakon što nas je taj zaposlenik obavijestio da je bazen prazan ili, u slučaju UPOV-a Lanterna, 1 min nakon što smo dobili tu informaciju.

### 1.2.2 Brojanje fekalnih indikatorskih bakterija

Morska voda i uzorci otpadnih voda ispitani su na prisutnost fekalnih indikatorskih bakterija (koliformnih bakterija, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) pomoću metode membranske filtracije. Za analizu, 500 ml morske vode i 50 ml otpadnih voda uzorkovani su i prevezeni u laboratorij u tamnim i hladnim uvjetima pomoću prijenosnog hladnjaka. Uzorci su filtrirani na membranske filtere (0,45 µm; 47 mm; Millipore, SAD). Za analizu morske vode, filtrirano je barem 100 ml. Ako se sumnjalo na veće koncentracije fekalnih indikatora, filtrirane su manje količine. Za analizu otpadnih voda pripremljene su razrijeđene otopine  $10^{-3}$  i  $10^{-4}$  kako bi se dobili brojevi *Escherichia coli* i koliformnih bakterija, redom, i  $10^{-2}$  za analizu crijevnih enterokoka. Koliformne bakterije i *Escherichia coli* analizirane su inkubacijom filtera na površinu kromogenog koliformnog agara (Biolife, Italija) i inkubirane na  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  kroz 18–24 h. Sve ružičaste do crvene kolonije brojane su kao vjerojatne koliformne bakterije, a sve tamno plave do ljubičaste kolonije kao *Escherichia coli*.

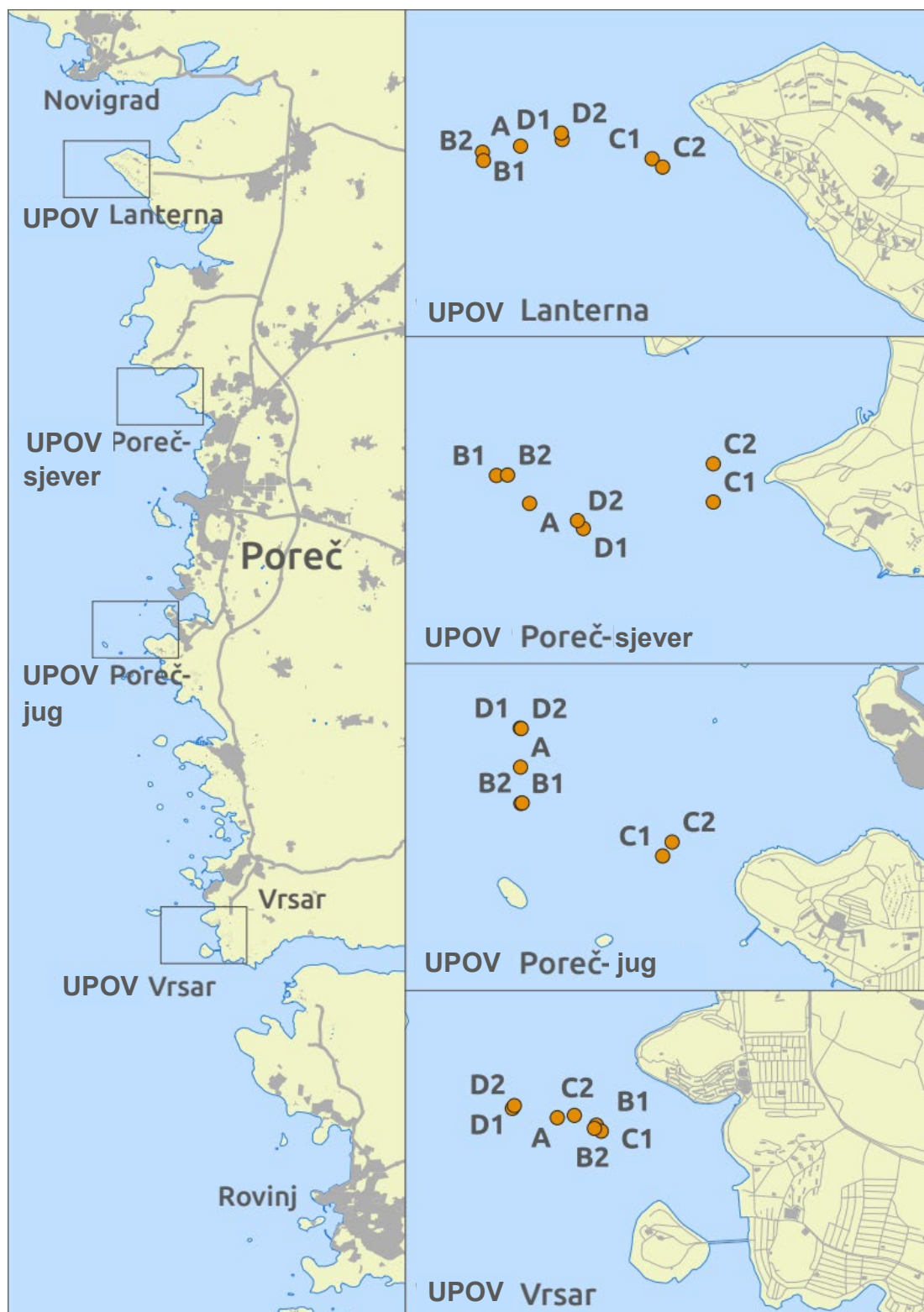
## 2. dio: Ljetni period i brzina smanjenja fekalnih indikatora

---

Brojevi koliformnih bakterija izraženi su kao zbroj ružičastih do crvenih kolonija i tamno plavih do ljubičastih kolonija jer se *Escherichia coli* smatra koliformnom bakterijom. Za brojanje crijevnih enterokoka filteri su stavljani na površinu agara Slanetz-Bartley (Biolife, Italija) i inkubirani na  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  kroz 40–48 h. Filteri koji su razvijali kolonije preneseni su na unaprijed zagrijani Žučni eskulin agar (Biolife, Italija) i inkubirani na  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$  kroz 2 h. Sve kolonije koje su stvorile tamno smeđi ili crni prsten brojane su kao crijevni enterokoki. Brojevi svih fekalnih indikatorskih bakterija izraženi su kao broj jedinica koje stvaraju koloniju (CFU) na 100 ml. Ukupno je analizirano 140 uzoraka.

**Tablica 1.** Datumi uzorkovanja recipijenata otpadnih voda svakog UPOV-a i koordinate svake Stanice za uzorkovanje. Kako bi se povećala detekcija isparenja otpadnih voda, izvršene su dvije serije uzorkovanja. Oznake stanice: A - odvod, B - 150 m u smjeru plutanja čamca, C - 300 m od obale i D - 150 m u suprotnom smjeru od Stanice B. Za pojedinosti pogledajte tekst.

UPOV	Datum	Serija	Stanica	Zemljopisna širina	Zemljopisna dužina
Lanterna	20 srpanj 2019	1.	A	45° 17.805'	13° 33.594'
			B	45° 17.792'	13° 33.478'
			C	45° 17.778'	13° 33.995'
			D	45° 17.819'	13° 33.721'
		2.	A	45° 17.805'	13° 33.594'
			B	45° 17.774'	13° 33.481'
			C	45° 17.760'	13° 34.027'
			D	45° 17.833'	13° 33.718'
Poreč-sjever	21 srpanj 2019	1.	A	45° 14.891'	13° 34.649'
			B	45° 14.951'	13° 34.548'
			C	45° 14.894'	13° 35.209'
			D	45° 14.837'	13° 34.813'
		2.	A	45° 14.891'	13° 34.649'
			B	45° 14.952'	13° 34.582'
			C	45° 14.976'	13° 35.209'
			D	45° 14.854'	13° 34.795'
Poreč-jug	24 srpanj 2019	1.	A	45° 12.129'	13° 34.136'
			B	45° 12.051'	13° 34.137'
			C	45° 11.938'	13° 34.569'
			D	45° 12.213'	13° 34.135'
		2.	A	45° 12.129'	13° 34.136'
			B	45° 12.052'	13° 34.141'
			C	45° 11.968'	13° 34.598'
			D	45° 12.212'	13° 34.138'
Vrsar	22 srpanj 2019	1.	A	45° 08.320'	13° 35.562'
			B	45° 08.304'	13° 35.681'
			C	45° 08.291'	13° 35.696'
			D	45° 08.340'	13° 35.425'
		2.	A	45° 08.320'	13° 35.562'
			B	45° 08.297'	13° 35.675'
			C	45° 08.325'	13° 35.614'
			D	45° 08.346'	13° 35.431'



**Slika 1.** Položaj recipijenta otpadnih voda UPOV-a duž zapadne obale Istre. Oznake stanice: A - odvod, B - 150 m u smjeru plutanja čamca, C - 300 m od obale i D - 150 m u suprotnom smjeru od Stanice B. Kako bi se povećala detekcija isparenja otpadnih voda, izvršene su dvije serije uzorkovanja, označene s 1 i 2. (© OpenStreetMap contributors, [www.openstreetmap.org/copyright](http://www.openstreetmap.org/copyright)). Za pojedinosti pogledajte tekst.



## 1.3 Rezultati

### 1.3.1 Dnevne dinamike

Brojnosti koliformnih bakterija u svim UPOV-ima tijekom dana kretale su se od  $1,90 \times 10^8$  do  $4,66 \times 10^8$  CFU / 100 ml (**Slika 2**). Prosječno, najniži broj koliforma primijećen je kod UPOV-a Vrsar ( $2,84 \times 10^8 \pm 6,40 \times 10^7$  CFU / 100 ml), dok je UPOV Poreč-jug pokazao maksimalnu prosječnu koncentraciju koliforma ( $3,41 \times 10^8 \pm 5,18 \times 10^7$  CFU / 100 ml). Minimalne dnevne vrijednosti uočene su tijekom jutra (UPOV Lanterna, UPOV Poreč-sjever i UPOV Poreč-jug) ili popodne (UPOV Vrsar), dok su maksimalne vrijednosti zabilježene u kasno popodne/rano navečer (UPOV Poreč-jug i UPOV Lanterna) ili tijekom noći (UPOV Poreč-jug i UPOV Vrsar).

Koncentracije *Escherichia coli* kretale su se od  $1,12 \times 10^7$  do  $6,30 \times 10^7$  CFU / 100 ml (**Slika 2**). Prosječno, najniže brojnosti detektirane su kod UPOV-a Poreč-sjever ( $3,32 \times 10^7 \pm 1,09 \times 10^7$  CFU / 100 ml), dok je najveća prosječna vrijednost zabilježena kod UPOV-a Poreč-jug ( $4,12 \times 10^7 \pm 9,21 \times 10^6$  CFU / 100 ml). Minimalne dnevne vrijednosti detektirane su tijekom jutra (UPOV Lanterna i UPOV Poreč-sjever) ili u kasno popodne/rano navečer (UPOV Vrsar i UPOV Poreč-jug), dok su maksimalne vrijednosti karakterizirale popodne (UPOV Poreč-sjever, UPOV Poreč-jug i UPOV Vrsar) ili ranu večer (UPOV Lanterna).

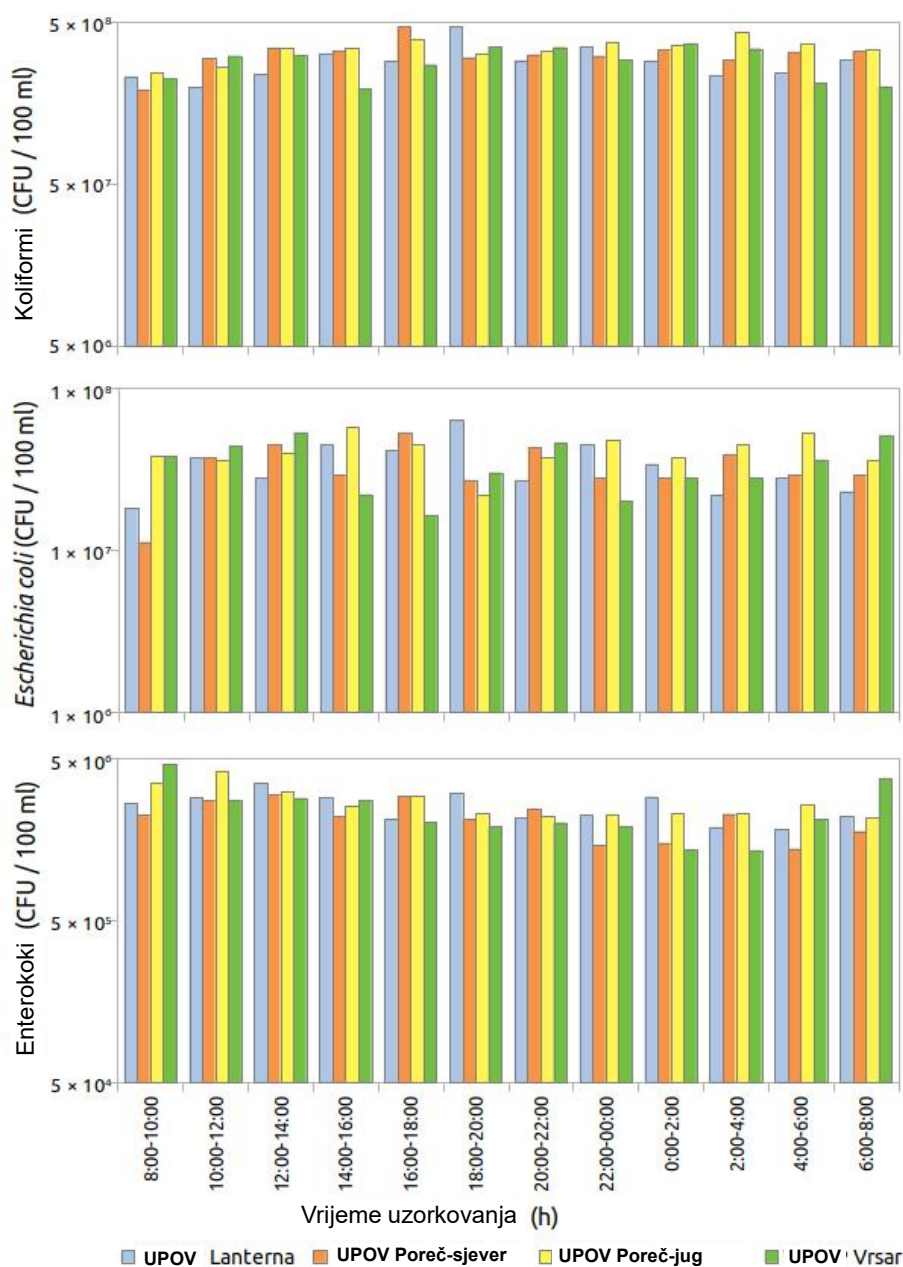
Brojnosti crijevnih enterokoka kretale su se od  $1,35 \times 10^6$  do  $4,58 \times 10^6$  CFU / 100 ml (**Slika 2**). Prosječno, najniža vrijednost zabilježena je kod UPOV-a Poreč-sjever ( $2,16 \times 10^6 \pm 5,51 \times 10^5$  CFU / 100 ml), dok je UPOV Poreč-jug pokazao, prosječno, najveći broj crijevnih enterokoka ( $2,69 \times 10^6 \pm 6,41 \times 10^5$  CFU / 100 ml). Minimalne dnevne vrijednosti detektirane su tijekom noći (UPOV Lanterna, UPOV Poreč-sjever i UPOV Vrsar) ili rano ujutro (UPOV Poreč-jug), dok su maksimalne vrijednosti bile karakteristične za jutro (UPOV Poreč-jug i UPOV Vrsar) ili rano popodne (UPOV Lanterna i UPOV Poreč-sjever).

### 1.3.2 Tjedna dinamika

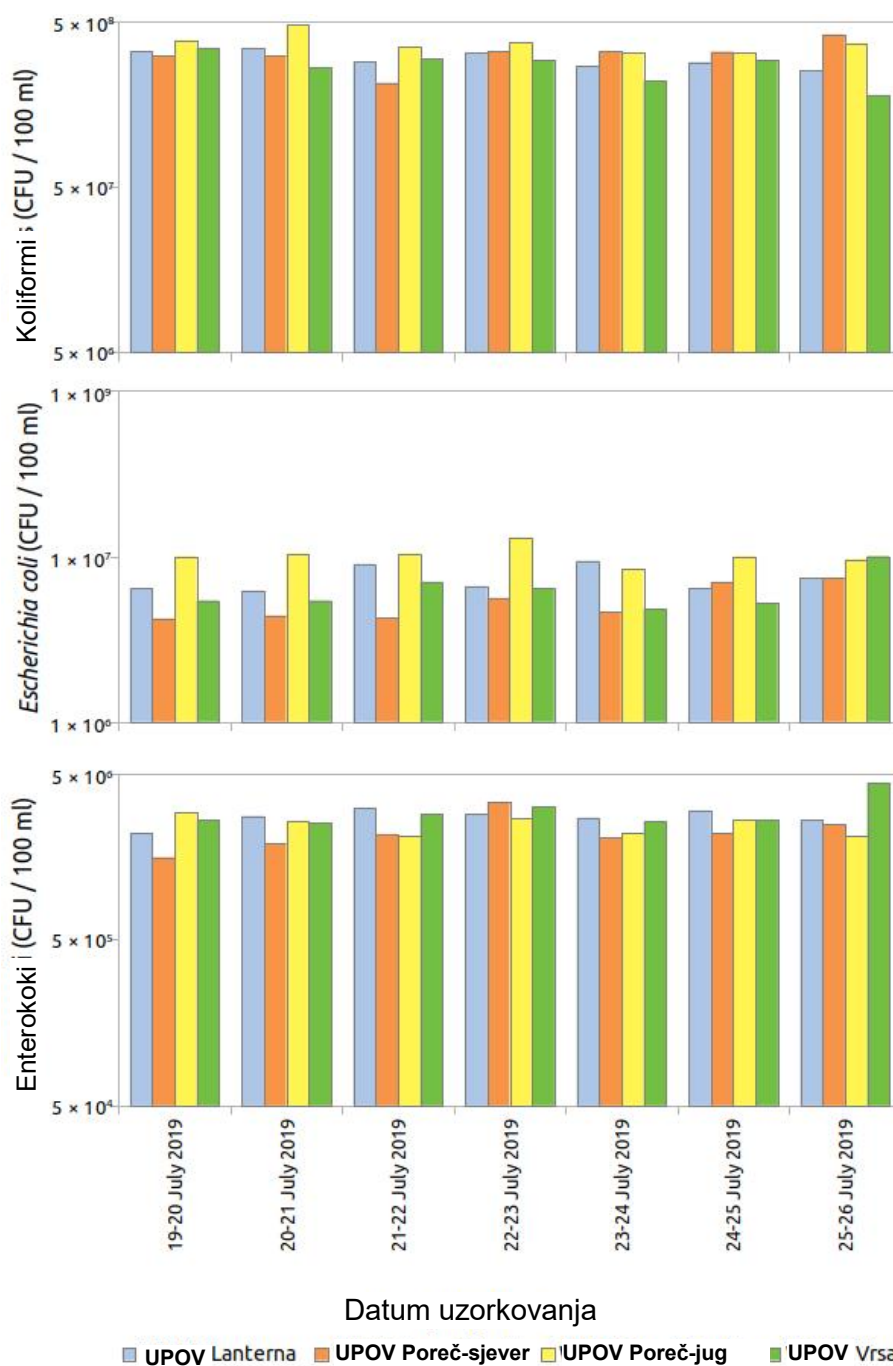
Koncentracije koliformnih bakterija tijekom tjedna su se kretale od  $1,79 \times 10^8$  do  $4,75 \times 10^8$  CFU / 100 ml (**Slika 3**). Prosječno, najniže brojnosti detektirane su na UPOV-u Vrsar ( $2,69 \times 10^8 \pm 5,52 \times 10^7$  CFU / 100 ml), dok je najveća prosječna vrijednost bila karakteristika UPOV-a Poreč-jug ( $3,71 \times 10^8 \pm 5,16 \times 10^7$  CFU / 100 ml). Nije uočen nijedan jasni tjedni obrazac minimalnih i maksimalnih vrijednosti.

Tjedne koncentracije *Escherichia coli* kretale su se od  $2,10 \times 10^7$  do  $6,50 \times 10^7$  CFU / 100 ml (**Slika 3**). Najniža prosječna vrijednost detektirana je na UPOV-u Poreč-sjever ( $2,67 \times 10^7 \pm 6,78 \times 10^6$  CFU / 100 ml), dok su maksimalne vrijednosti detektirane na UPOV-u Poreč-jug ( $5,13 \times 10^7 \pm 6,95 \times 10^6$  CFU / 100 ml). Osim toga, koncentracija *Escherichia coli* nije pokazala jasni tjedni obrazac minimalnih i maksimalnih vrijednosti.

Brojnosti crijevnih enterokoka kretale su se od  $1,57 \times 10^6$  do  $4,43 \times 10^6$  CFU / 100 ml (**Slika 3**). Prosječno, minimalne vrijednosti uočene su kod UPOV-a Poreč-sjever ( $2,25 \times 10^6 \pm 5,71 \times 10^5$  CFU / 100 ml) dok su maksimalne vrijednosti detektirane na UPOV-u Vrsar ( $2,98 \times 10^6 \pm 6,76 \times 10^5$  CFU / 100 ml). I opet, nije uočen nikakav jasni tjedni obrazac maksimalnih i minimalnih vrijednosti.



**Slika 2.** Dnevna dinamika fekalnih indikatorskih bakterija (koliformi, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) u otpadnim vodama svakog UPOV-a.



**Slika 3.** Tjedna dinamika fekalnih indikatorskih bakterija (koliiformi, *Escherichia coli* and crijevni enterokoki) u otpadnim vodama svakog UPOV-a.

### 1.3.3 Recipijenti otpadnih voda

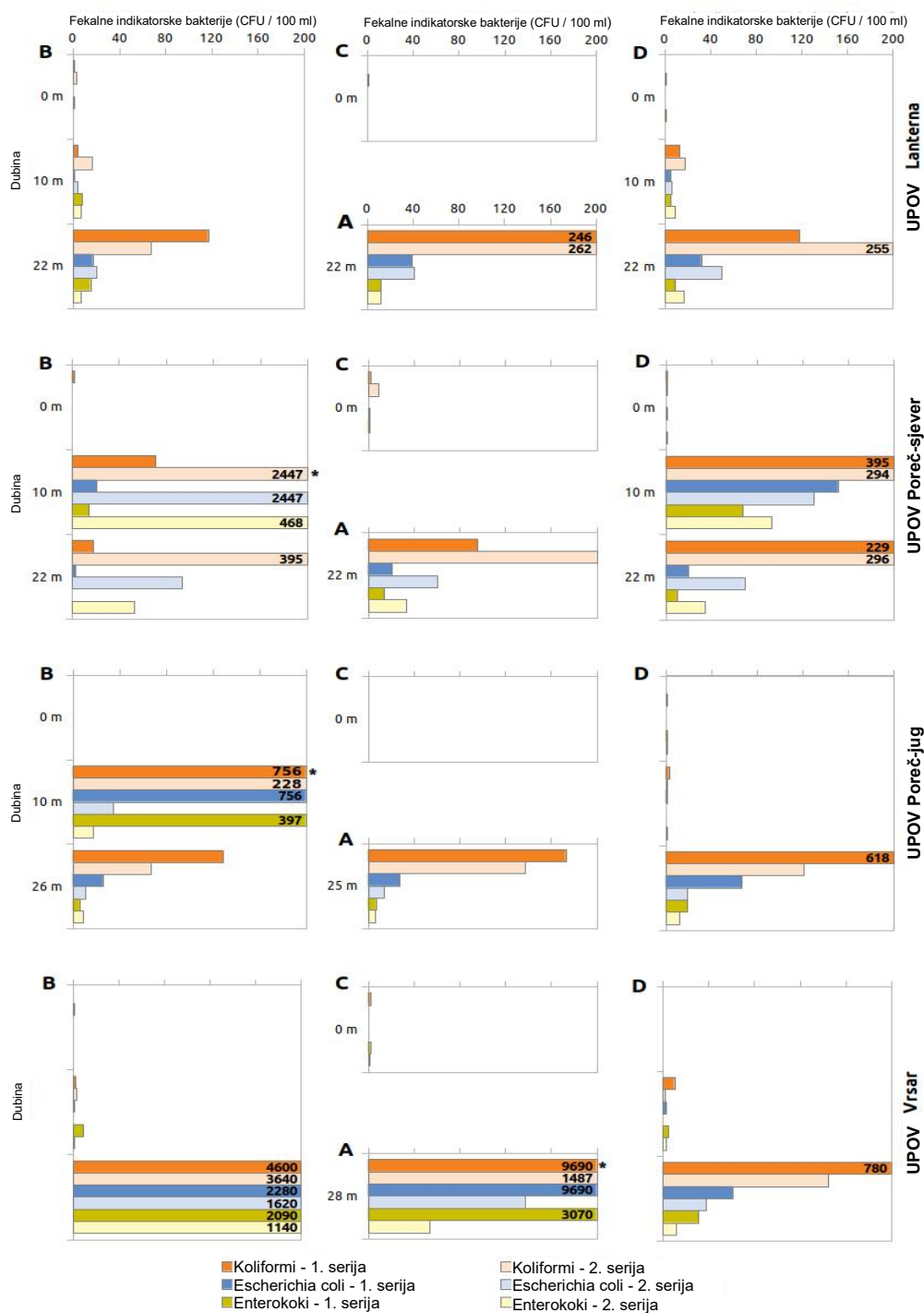
Fekalne indikatorske bakterije pobrojane su u recipijentima otpadnih voda svakog UPOV-a. Brojnosti koliformnih bakterija u svim vodama kretale su se od 0 to 9.690 CFU / 100 ml (**Slika 4**). Prosječno, maksimalne vrijednosti uočene su u Vrsaru ( $1.272,63 \pm 2.648,69$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti bile karakteristične za Lanternu ( $70,06 \pm 99,33$  CFU / 100 ml). Na temelju dvije serije uzorkovanja utvrdili smo obrazac distribucije bakterija. Maksimalne vrijednosti u Lanterni uočene su na odvodu ( $253,75 \pm 10,96$  CFU / 100 ml) i u donjem sloju Stanice B ( $92,00 \pm 35,36$  CFU / 100 ml) i D ( $186,25 \pm 96,52$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti detektirane u površinskim vodama 300 m od obale (Stanica C,  $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml) i u površinskoj vodi Stanice D ( $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml). Recipijenta otpadnih voda UPOV-a Poreč-sjever karakterizirao je veći broj koliformnih bakterija na sredini stupca i u donjem sloju, te minimalne vrijednosti na površini. Površinske vode Stanice D ( $1,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml) i Stanice B ( $1,00 \pm 1,41$  CFU / 100 ml) sadržavale su minimalne koncentracije koliformnih bakterija, dok maksimalne bile karakteristične za sredinu stupca Stanice B. Koncentracija se nije mogla utvrditi u jednoj seriji uzorkovanja budući da je koliformnih bakterija bilo previše za brojanje. Mogla se odrediti samo *Escherichia coli*, kao dio grupe koliformnih bakterija. Unatoč tome, uz uzimanje u obzir brojnosti *Escherichia coli* u jednoj od serija, vode sredine stupca Stanice B sadržavale su najveću koncentraciju koliformnih bakterija ( $1.258,90 \pm 1.679,94$  CFU / 100 ml). Maksimalne vrijednosti u Poreču-jug uočene su na sredini stupca Stanice B ( $492,00 \pm 373,35$  CFU / 100 ml), veće vrijednosti bile su karakteristične za dublje slojeve vode, dok su minimalne vrijednosti detektirane u površinskim vodama (Stanica B,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml; Stanica C,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i Stanica D,  $0,50 \pm 0,71$ ). Maksimalne vrijednosti na sredini stupca Stanice B također su utvrđene na temelju samo jedne serije i brojnosti *Escherichia coli*, jer je koliforma bilo previše za brojanje. Slično drugim vodama, recipijent otpadnih voda UPOV-a Vrsar sadržavao je veće vrijednosti koliformnih bakterija u donjem sloju. Maksimalna prosječna vrijednost dviju serija zabilježena je na odvodu ( $5.588,50 \pm 5.800,40$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti opet bile karakteristične za površinske vode (Stanica B,  $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml; Stanica C,  $1,00 \pm 1,41$  CFU / 100 ml i Stanica D  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml). Slično maksimalnim vrijednostima u Poreču-sjever i Poreču-jug, opažena maksimalna vrijednost u Vrsaru također je bila na temelju samo jedne serije i brojnosti *Escherichia coli*, budući da je koliformnih bakterija bilo previše za brojanje.

Koncentracije *Escherichia coli* kod svih recipijenata otpadnih voda kretale su se od 0 to 9.690 CFU / 100 ml (**Slika 4**). Minimalne prosječne brojnosti detektirane su u Lanterni ( $13,50 \pm 17,47$  CFU / 100 ml), dok su maksimalne bile karakteristične za Vrsar ( $864,38 \pm 2.446,61$  CFU / 100 ml). Obrazac distribucije *Escherichia coli* u Lanterni bio je sličan koliformnim bakterijama, uz maksimalne vrijednosti opažene na odvodu ( $40,00 \pm 1,41$  CFU / 100 ml) i u donjem sloju Stanice B ( $18,50 \pm 2,12$  CFU / 100 ml) i D ( $41,00 \pm 12,73$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti bile karakteristične za površinske vode (Stanica B,  $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml; Stanica C,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i Stanica D,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml). *Escherichia coli* u recipijentu otpadnih voda UPOV-a Poreč-sjever također je pratila slične obrasce distribucije, pokazujući veće vrijednosti na sredini stupca (Stanica B,  $1.233,90 \pm 1.715,30$  CFU / 100 ml i Stanica D,  $140,50 \pm 14,85$  CFU / 100 ml) i donjim slojevima (odvod,  $41,00 \pm 28,28$  CFU / 100 ml; Stanica B,  $48,00 \pm 63,64$  CFU / 100 ml i Stanica D,  $44,50 \pm 34,65$  CFU / 100 ml), te niže vrijednosti na površini (Stanica B,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i

Stanica C i D,  $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml). U Poreču-jug, *Escherichia coli* je pokazala maksimalne vrijednosti na sredini stupca Stanice B ( $395,00 \pm 509,82$  CFU / 100 ml) i minimalne vrijednosti na površini (Stanica B, C i D,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml). Osim toga, obrazac distribucije *Escherichia coli* u Vrsaru bio je sličan koliformnim bakterijama, s time da su veće vrijednosti bile karakteristične za donji sloj. Maksimalna vrijednost pronađena je na odvodu ( $4.913,50 \pm 6.754,99$  CFU / 100 ml), dok su minimalne vrijednosti detektirane na površini (Stanica B, C i D,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml).

Crijevni enterokoki u svim recipijentima otpadnih voda kretali su se od 0 to 3.070 CFU / 100 ml (**Slika 4**). Prosječno, najniže vrijednosti detektirane su u Lanterni ( $6,38 \pm 5,78$  CFU / 100 ml), dok su najveće bile karakteristične za recipijent otpadnih voda UPOV-a Vrsar ( $401,06 \pm 913,71$  CFU / 100 ml). Crijevni enterokoki u Lanterni bili su brojniji u donjem sloju (odvod,  $12,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml; Stanica B,  $11,00 \pm 5,66$  CFU / 100 ml i Stanica D,  $13,00 \pm 5,66$  CFU / 100 ml) i manje brojni u površinskoj vodi (Stanica B i C,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i Stanica D,  $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml). Sukladno distribuciji prethodnih fekalnih indikatora, crijevni enterokoki u Poreču-sjever imali su slični obrazac distribucije. Sloj sredine stupca Stanice B karakterizirale su najveće koncentracije crijevnih enterokoka ( $241,00 \pm 321,00$  CFU / 100 ml), dok su one najniže bile karakteristične za površinsku vodu (Stanica B,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i Stanica C i D,  $0,50 \pm 0,71$ ). Recipijent otpadnih voda UPOV-a Poreč-jug karakterizirale su veće koncentracije na sredini stupca Stanice B ( $207,50 \pm 267,99$  CFU / 100 ml) i minimalne brojnosti na površini (Stanica B i C,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i Stanica D  $1,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml). Sukladno distribuciji koliformnih bakterija i *Escherichia coli*, veće koncentracije crijevnih enterokoka uočene su u dubokom sloju Vrsara, posebno na odvodu ( $1.562 \pm 2.163,63$  CFU / 100 ml) i Stanici B ( $1.615,00 \pm 671,75$  CFU / 100 ml), dok su minimalne brojnosti bile karakteristične za površinu (Stanica B i D,  $0,00 \pm 0,00$  CFU / 100 ml i Stanica C  $1,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml).

## 2. dio: Ljetni period i brzina smanjenja fekalnih indikatora



**Slika 4.** Distribucija fekalnih indikatorskih bakterija (koliforma, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) u recipijentima svakog UPOV-a. Oznake Stanice: A - odvod, B - 150 m u smjeru plutanja čamca, C - 300 m od obale i D - 150 m u suprotnom smjeru od Stanice B. Kako bi se povećala detekcija isparenja otpadnih voda, izvršene su dvije serije uzorkovanja. Uzorci koji su pokazali više od 200 CFU / 100 ml označeni su točnim brojem CFU / 100 ml. \*Previše koliforma za brojanje; brojnost temeljena na koncentraciji *Escherichia coli*. Pogledajte tekst za pojedinosti.

## 1.4 Diskusija

Studija Poreč pokrenuta je s ciljem povećanja razumijevanja objedinjenosti sustava otpadnih voda koji se sastoji od odvodnje, UPOV-a i recipijentata otpadnih voda u gradu Poreču. To razumijevanje bit će povećano modeliranjem sustava odvodnje, modeliranjem novog UPOV-a i morskog okoliša. Brojanje fekalnih indikatorskih bakterija iz ljeta 2019. godine, zajedno s podacima dobivenim u zimu 2019. godine (Korlević, 2019.), čini ulazne podatke za korak modeliranja mora.

Brojnost fekalnih indikatora pobrojana u uzorcima otpadnih voda bila je unutar prethodno izviještenih vrijednosti za otpadne vode. Sirove otpadne vode obično sadrže od  $10^7$  do  $10^8$  koliformnih bakterija (Koivunen i sur., 2003.),  $10^6$  do  $10^7$  *Escherichia coli* (Lucas i sur., 2014.) i  $10^5$  do  $10^6$  crijevnih enterokoka (Lucas i sur., 2014.), što je u skladu s našim podacima. Osim toga, detektirane su neznatno veće koncentracije svih fekalnih indikatora u usporedbi s kampanjom zimskog uzorkovanja (Korlević, 2019.). Također, za razliku od zimskog perioda, nije opažen nikakav jasni obrazac dnevnih fluktuacija (Korlević, 2019.). Visoka promjenjivost fekalnih indikatora brojnosti u sirovim otpadnim vodama (Paliaga i sur., 2017.), opažena također i u zimskoj kampanji, već je dobro poznata i predlaže se reprezentativno uzorkovanje kako bi se poradilo na toj pojavi (Lucas i sur., 2014.).

Brojnosti fekalnih indikatora u recipijentima otpadnih voda bile su niske u usporedbi s otpadnim vodama i općenito veće nego zimi (Korlević, 2019.). Veće brojnosti tijekom ljeta mogle su se opaziti u Poreču-jug i Vrsaru i u nešto manjem stupnju (odvod) u Lanterni. Turistička sezonalnost mogla bi objasniti veće brojnosti u tim površinama tijekom ljeta. UPOV Lanterna, UPOV Poreč-jug i UPOV Vrsar uglavnom tretiraju otpadne vode iz turističkih ljetovališta u kojima boravi velika većina turista tijekom srpnja i kolovoza. Naprotiv, Poreč-sjever, koji prima otpadne vode uglavnom iz grada Poreča, nije pokazao takvu razliku između zimskih i ljetnih kampanja uzorkovanja. Unatoč tome, u svim recipijentima otpadnih voda veće brojnosti detektirane su u donjem sloju ili na sredini stupca što je suprotno zimskom periodu, kad su veće vrijednosti uočene u površinskoj vodi. Ta razlika mogla bi se objasniti različitom toplinskom stratifikacijom i posljedičnim razlikama u gustoći vode koje sprečavaju otjecanje otpadnih voda na morsku površinu tijekom ljeta. Veće brojnosti fekalnih indikatora na površini tijekom zime i na sredini stupca ili u dubokom sloju tijekom ljeta uobičajene su za taj dio Jadranskog mora (Paliaga i sur., 2017.).

Zakonodavstvo Republike Hrvatske (NN 73/2008) definiralo je opsege koncentracije crijevnih enterokoka i *Escherichia coli* kako bi osiguralo bolje upravljanje kvalitetom vode za plivanje. Zakonodavstvo je utvrdilo četiri kategorije: izvrsna, dobra, zadovoljavajuća i nezadovoljavajuća kvaliteta (**Tablica 2**). Prema opsezima navedenim u **Tablica 2**, svi ispitani uzorci iz Stanica C (zona za plivanje, 300 m od obale) ispitivanjem su pokazali izvrsnu kvalitetu. Isto vrijedi za sve površinske uzorke. Samo tri uzorka ispitivanjem su pokazala dobru kvalitetu, uzorci sredine stupca za Poreč-sjever na Stanici D iz obje serije i uzorak iz odvoda iz druge serije u Vrsaru. Osim toga, pet uzoraka kategorizirano je da su nezadovoljavajuće kvalitete, uzorci sredine stupca za Poreč-sjever na Stanici B iz obje serije, uzorak iz odvoda za Vrsar iz prve serije i uzorci dubokog sloja za Vrsar na Stanici B iz obje serije.

**Tablica 2.** Referentne vrijednosti za ocjenu mikrobne kvalitete mora nakon svakog ispitivanja koje je specificirala Republika Hrvatska (NN 73/2008).

Parametar	Izvrсна kvaliteta	Dobra kvaliteta	Zadovoljavajuća	Referentne metode analize
Crijevni enterokoki (CFU / 100 ml)	< 60	61 – 100	101–200	HRN EN ISO 7899-1 ili HRN EN ISO 7899-2
<i>Escherichia coli</i> (CFU / 100 ml)	< 100	101–200	201 – 300	HRN EN ISO 9308-1 ili HRN EN ISO 9308-3



## 1.5 Zaključci

Na temelju brojanja odabranih fekalnih indikatorskih bakterija (koliformnih bakterija, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka), mogu se izvući sljedeći zaključci:

- a) Procijenjene brojnosti odabranih fekalnih indikatorskih bakterija u otpadnim vodama tijekom ljetne kampanje uzorkovanja bile su u okviru koncentracija otpadnih voda o kakvima je prethodno izviješteno.
- b) U usporedbi sa zimskom kampanjom uzorkovanja, uočene su nešto veće brojnosti fekalnih indikatorskih bakterija.
- c) Brojnosti fekalnih indikatora u recipijentima otpadnih voda bile su veće na sredini stupca i/ili u dubokom sloju. Nasuprot tome, površinske vode su karakterizirale minimalne koncentracije što odražava prisutnost termalne stratifikacije.
- d) U usporedbi sa zimskom kampanjom uzorkovanja, svi recipijenti otpadnih voda bili su pod većim ulaznim pritiskom otpadnih voda kao posljedica turističkog ljetnog vrhunca.
- e) Velika većina uzoraka morske vode, posebno iz površinskih voda, bila je klasificirana kao izvrsne kvalitete na temelju zakonodavstva Republike Hrvatske. Uzorci nezadovoljavajuće kvalitete dolazili su iz sredine stupca i/ili dubokog sloja morske vode.

## 2 Brzina smanjenja fekalnih indikatora

### 2.1 Uvod

Kako je već navedeno, Projekt Poreč je složeni infrastrukturni projekt koji se sastoji od nekoliko faza i podprojekata. Kao dio većeg projekta, “Studija ocjene i analiza učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču” (Studija Poreč, eng. “Assessment and efficiency monitoring study for the project implementation of sewerage network construction and Waste Water Treatment Plant efficiency analysis in the town of Poreč”) pokrenut je s ciljem povećanja razumijevanja objedinjenog sustava koji se sastoji od odvodnje, UPOV-a i recipijenata otpadnih voda (Jadransko more) u različitim uvjetima. Osim toga, Studija Poreč obuhvaća tri segmenta modeliranja (Hrvatske vode, 2015.):

- a) Modeliranje sustava odvodnje grada Poreča
- b) Modeliranje novog UPOV-a
- c) Modeliranje mora u širem području grada i na odabranim plažama u Poreču.

Za dio projekta nazvan Modeliranje mora, osim utvrđivanja fekalnih indikatorskih bakterija, trebalo je izvršiti eksperiment smanjenja fekalnih indikatora u kontroliranim uvjetima i u okruženjima koja su što je više moguće slična uvjetima na moru u realnom vremenu (Hrvatske vode, 2015.).

Fekalne indikatorske bakterije, kao grupa mikroorganizama koji ukazuju na prisutnost fekalnog materijala (Ashbolt i sur., 2001.), imaju ograničeni životni vijek nakon ispuštanja u morski okoliš (Rozen i Belkin, 2001.). Utvrđen je broj okolišnih čimbenika koji su odgovorni za smanjenje koncentracije fekalnih bakterija u morskom okolišu. Među abiotičkim čimbenicima, na preživljavanje utječu svjetlost, salinitet, pH, temperatura, hidrostatski tlak, taloženje, povijest ranijeg rasta i križna zaštita od stresa, dok su među biotičkim čimbenicima glavni elementi ispaša, nadmetanje, liza bakteriofaga i prisutnost antibiotika koje su proizveli mikroorganizmi ili toksina koji proizlaze iz algi (Rozen i Belkin, 2001.). Od svih tih čimbenika čini se da odumiranju bakterija u moru najviše doprinosi svjetlost (Fujioka i sur., 1981.; Sinton i sur., 1994.; Rozen i Belkin, 2001.; Jozić i sur., 2014.). Osim toga, unutar solarnog spektra, pokazuje se da područje između 318 nm i 340 nm u UV području i valne dužine > 400 nm u vidljivom području uglavnom doprinose inaktivaciji fekalnih indikatora u morskoj vodi (Sinton i sur., 1994). Za mehanizam kojim svjetlost inaktivira enterične bakterije na valnim dužinama većim od 320 nm (izvan UV-B područja) ukazuje se da su to fotokemijski procesi, koji uglavnom djeluju kroz fotosenzibilizatore, te da su opasniji u prisutnosti kisika (Kapuscinski i Mitchell, 1981.; Sinton i sur., 1994.; Rozen i Belkin, 2001.).

Utvrđivanje brzine smanjenja fekalnih indikatora, kao jednog od ulaznih podataka za dio Modeliranje mora Studije Poreč, tražilo je eksperimentalni pristup koji je utvrđen u Centru za istraživanje mora u Rovinju, u svrhu ocjenjivanja brzine inaktivacije i glavnih čimbenika koji doprinose smanjenju.

## 2.2 Materijali i metode

### 2.2.1 Plan eksperimenta

Kako bi se utvrdila brzina fekalnog smanjenja<sup>1</sup>, uspostavljen je eksperiment u Centru za istraživanje mora u Rovinju. Sirove otpadne vode uzorkovane su u jutro 16. srpnja 2019. na UPOV-u Poreč-jug i prevezene u laboratorij u prijenosnom hladnjaku, uz održavanje tamnih i hladnih uvjeta. U isto jutro uzorkovana je površinska morska voda u zaljevu Valdibora, Rovinj i također je prevezena u laboratorij. Za inkubaciju su korištene boce od 500 ml od borosilikatnog stakla 3.3 jer je, prema specifikacijama proizvođača, apsorpcija borosilikata 3.3 iznad 310 nm zanemarivo mala. Sirove otpadne vode inokulirane su u morsku vodu u tri različite razrijeđene otopine, 100 ×, 1.000 × i 10.000 ×, kako bi se detektirala brzina smanjenja kad je materijal sirovih otpadnih voda u morskom okolišu prisutan u velikoj (100 ×), srednjoj (1.000 ×) i visokoj koncentraciji (10.000 ×). Boce inokulirane otpadnim vodama inkubirane su u jednom spremniku postavljenom na dnevnom svjetlu i u drugom postavljenom u mrak. Oba kontejnera bila su izložena kontinuiranom protoku morske vode iz obližnjeg zaljeva Valdibora. Eksperiment je započeo 16. srpnja 2019. u 10:30 i završio 18. srpnja 2019. u 10:30. Kako bi se utvrdila brzina smanjenja, uzorkovane su tri boce iz svakog spremnika, koje predstavljaju tri razrijeđene otopine, nakon 30 min., 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 6 h, 12 h, 24 h i 48 h nakon što su započele inkubacije. Osim toga, kako bi se kontinuirano pratila temperatura i osvijetljenost dnevnim svjetlom, u svaki je spremnik stavljen uređaj HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger (*HOBO viseći zapisivač podataka o temperaturi/svjetlosti*) (Onset, USA) i podešen da bilježi podatke svake minute (**Slika 5**). Prije ispisivanja, uzet je prosjek podataka kroz intervale od 30 min.

### 2.2.2 Brojanje fekalnih indikatorskih bakterija

Brojanje fekalnih indikatorskih bakterija (koliforma, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) izvršeno je pomoću metode membranske filtracije. Prije početka eksperimenta, utvrđene su brojnosti fekalnih indikatora u morskoj vodi korištenoj za inkubacije (pozadinske brojnosti) i također u materijalu otpadnih voda inokuliranom u morsku vodu. Za svaki medij agara filtrirano je 100 ml morske vode iz zaljeva Valdibora kako bi se utvrdile pozadinske brojnosti. Materijal sirovih otpadnih voda razrijeđen je i razrijeđene otopine od 10<sup>-3</sup> i 10<sup>-4</sup> filtrirane su za brojanje *Escherichia coli* i koliformnih bakterija, redom, a 10<sup>-2</sup> za analizu crijevnih enterokoka. Osim toga, kako bi se procijenila brojnost fekalnih indikatora na početku eksperimenta (0 h), tri inokulirana uzorka koji sadrže tri različite razrijeđene otopine filtrirana su odmah nakon dodavanja fekalnog materijala. U svakoj vremenskoj točki iz svakog su spremnika (dnevno svjetlo i mrak) uzorkovane tri boce, koje predstavljaju tri različite razrijeđene otopine, te su analizirane pomoću iste metode membranske filtracije. Uzorci su filtrirani na membranske filtere (0,45 μm; 47 mm; Millipore, USA) čim je to bilo moguće nakon uzorkovanja. Ako je došlo do odgode između uzorkovanja i filtracije, uzorci su pohranjeni na 4°C u mraku. Filtrirana količina ili razrijeđene otopine za svaki uzorak utvrđene su na temelju brzina smanjenja o kojima je ranije izviješteno (Fujioka i sur., 1981.; Noble i sur., 2004.). Koliformne bakterije i *Escherichia coli* analizirane su stavljanjem filtera na površinu Kromogenog koliformnog agara (Biolife, Italija) i njihovim inkubiranjem na 36 ± 2°C kroz 18–24 h. Sve ružičaste do crvene kolonije brojane su kao vjerojatne koliformne bakterije, a sve tamno plave do ljubičaste

<sup>1</sup> Nap. prev.: *Moguća greška i vjerojatno se mislilo: "smanjenja fekalnih indikatora"*

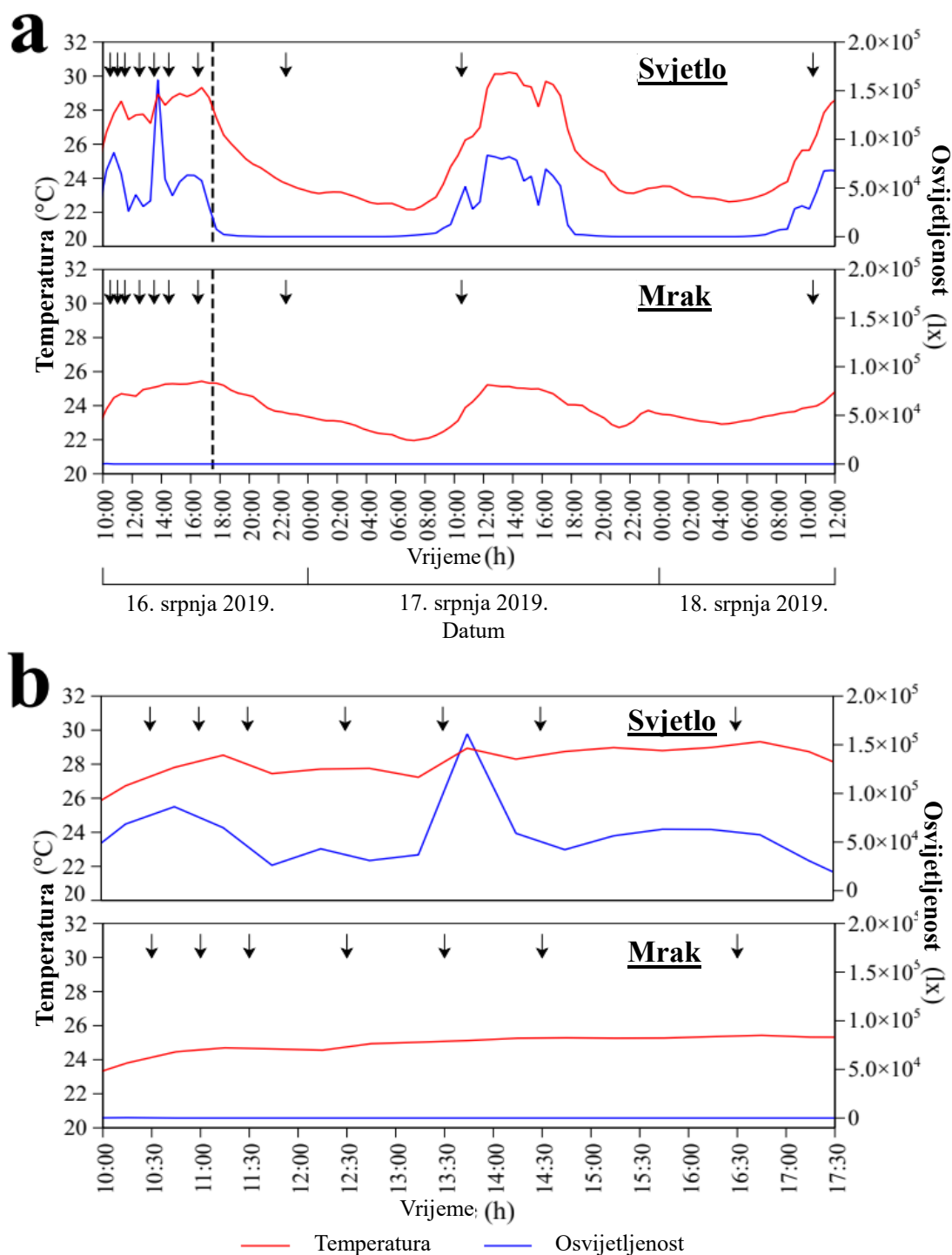
kolonije kao *Escherichia coli*. Koncentracije koliformnih bakterija izražene su kao zbroj ružičastih do crvenih kolonija i tamno plavih do ljubičastih kolonija jer se *Escherichia coli* smatraju koliformnim bakterijama. Za brojanje crijevnih enterokoka filteri su stavljeni na površinu agara Slanetz-Bartley (Biolife, Italija) i inkubirani na  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  kroz 40–48 h. Filteri koji su razvijali kolonije preneseni su na unaprijed zagrijani Žučni eskulin agar (Biolife, Italija) i inkubirani na  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$  kroz 2 h. Sve kolonije koje su stvorile tamno smeđi ili crni prsten brojane su kao crijevni enterokoki. Brojevi svih fekalnih indikatorskih bakterija izraženi su kao broj jedinica koje stvaraju koloniju (CFU) na 100 ml. Sveukupno je analizirano 59 uzoraka za fekalne indikatorske bakterije. Smanjenja različitih indikatora u različitim uvjetima uspoređena su proračunavanjem  $T_{90}$ , vremena potrebnog da se inaktivira 90% početnih bakterija (Fujioka i sur., 1981.; Noble i sur., 2004.; Jozić i sur., 2014.).

### 2.3 Rezultati

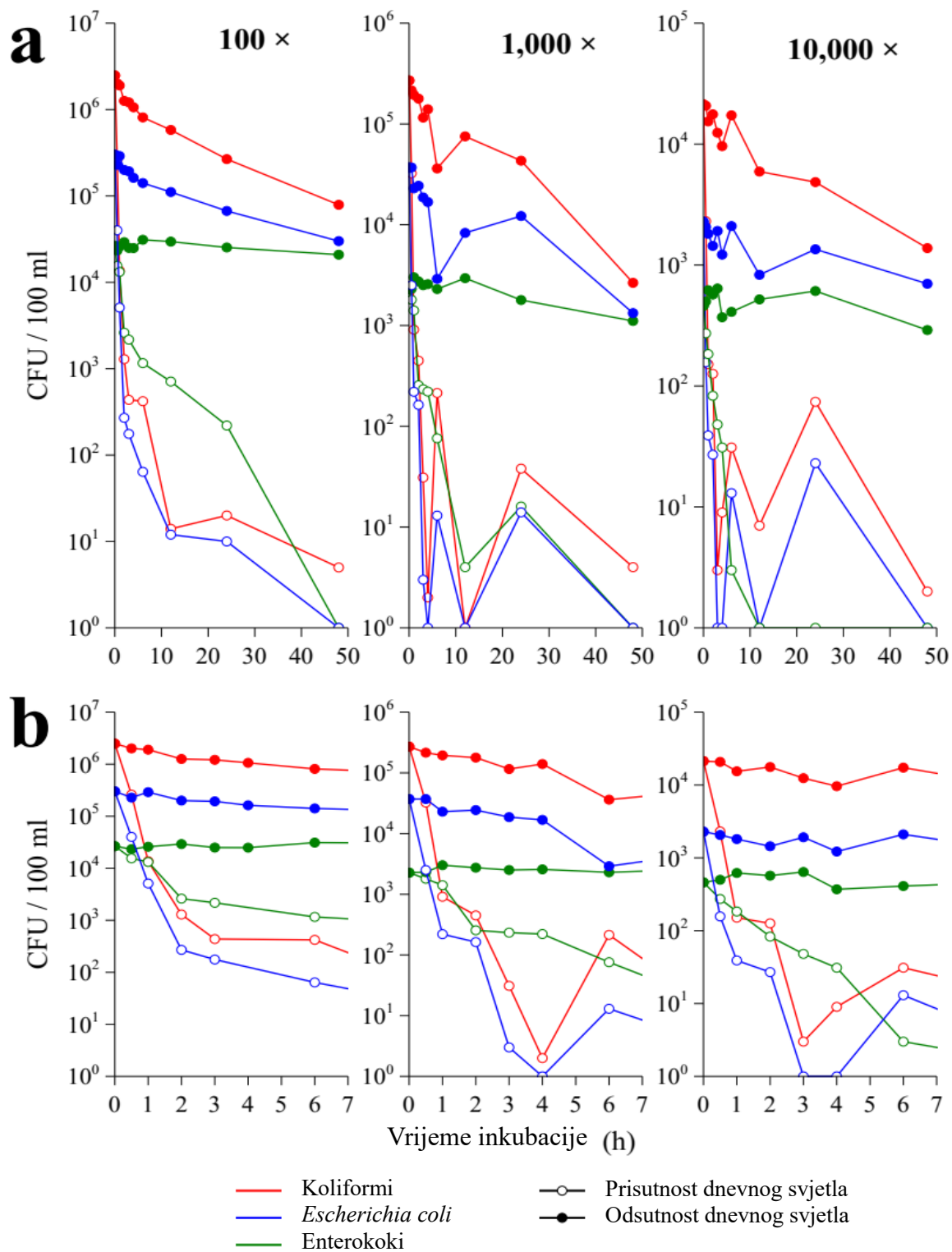
Tijekom eksperimenta inkubacije u svaki spremnik stavljeni su zapisivači podataka koji mjere temperaturu i osvjetljenost (**Slika 5a**). U spremniku izloženom dnevnom svjetlu temperature su se kretale od  $22,14^\circ\text{C}$  do  $30,36^\circ\text{C}$ , dok je u inkubacijskom spremniku koji je držan u mraku raspon bio manji, od  $21,95^\circ\text{C}$  do  $25,51^\circ\text{C}$ . Osvjetljenost u spremniku izloženom svjetlu se nakon ciklusa dnevnog svjetla kretala od 0,00 lx do 330.668,90 lx, dok se u mraku osvjetljenost kretala od 0,00 lx do 75,30 lx. Te maksimalne vrijednosti opažene u uvjetima mraka bile su povezane s otvaranjem spremnika tijekom uzorkovanja. Eksperiment je počeo u 10:30 16. srpnja 2019. kako bi odražavao smanjenje u uvjetima kad se otpadne vode ispuštaju tijekom ljetnog dnevnog svjetla. U vremenu prvih šest sati eksperimenta učestalost uzorkovanja bila je visoka budući da je već poznato da se maksimalno smanjenje javlja tijekom tog perioda (**Slika 5b**) (Fujioka i sur., 1981.). U tom vremenskom okviru, temperatura se u spremniku izloženom svjetlosti kretala od  $26,29^\circ\text{C}$  do  $29,65^\circ\text{C}$ , dok je u mraku, i opet, raspon temperatura bio manji, od  $24,35^\circ\text{C}$  do  $25,42^\circ\text{C}$ . U istom periodu, osvjetljenost se u spremniku izloženom dnevnom svjetlu kretala od 5.511,10 lx do 330.668,90 lx, dok se u mraku kretala od 0,00 lx do 75,30 lx. I opet, maksimalne vrijednosti osvjetljenosti bile su vezane uz otvaranje spremnika kako bi se uzele boce za inkubaciju.

Brojnosti fekalnih indikatora u morskoj vodi korištenoj za inkubacije bile su niske u usporedbi s količinom dodanog fekalnog materijala (koliformnih bakterija, 82 CFU / 100 ml; *Escherichia coli*, 1 CFU / 100 ml i crijevnih enterokoka, 65 CFU / 100 ml), dok su inokulirane sirove otpadne vode sadržavale brojnosti tipične za otpadne vode (koliformnih bakterija,  $2,57 \times 10^8$  CFU / 100 ml; *Escherichia coli*,  $5,70 \times 10^7$  CFU / 100 ml i crijevnih enterokoka,  $2,76 \times 10^6$  CFU / 100 ml) (Koivunen i sur., 2003.; Lucas i sur., 2014.). Brojnosti indikatora u tri pripremljene razrijeđene otopine kod 0 h pokazivale su eksponencijalno smanjenje na temelju količine dodanog fekalnog materijala (**Slika 6a**) što ukazuje da su dostignute ciljne početne brojnosti za eksperiment. Svi fekalni indikatori izloženi sunčevom svjetlu, bez razrjeđivanja sadržaja, pokazali su očito veće smanjenje u usporedbi s onima koji su držani u mraku. Koliformne bakterije smanjile su se s  $10^6$  CFU / 100 ml (razrijeđena otopina 100 ×),  $10^5$  CFU / 100 ml (razrijeđena otopina 1.000 ×) i  $10^4$  CFU / 100 ml (10.000 ×) na  $10^1 - 10^2$  CFU / 100 ml unutar 12 h (**Slika 6a**). Osim toga,  $T_{90}$  za sve razrijeđene otopine bio je manji od 1 h (**Slika 7b**). Protivno tome, koliformne bakterije držane u mraku pokazale su značajno manju brzinu smanjenja od istih početnih brojnosti. Nakon 48 h inkubacije koliformne bakterije i dalje su bile na

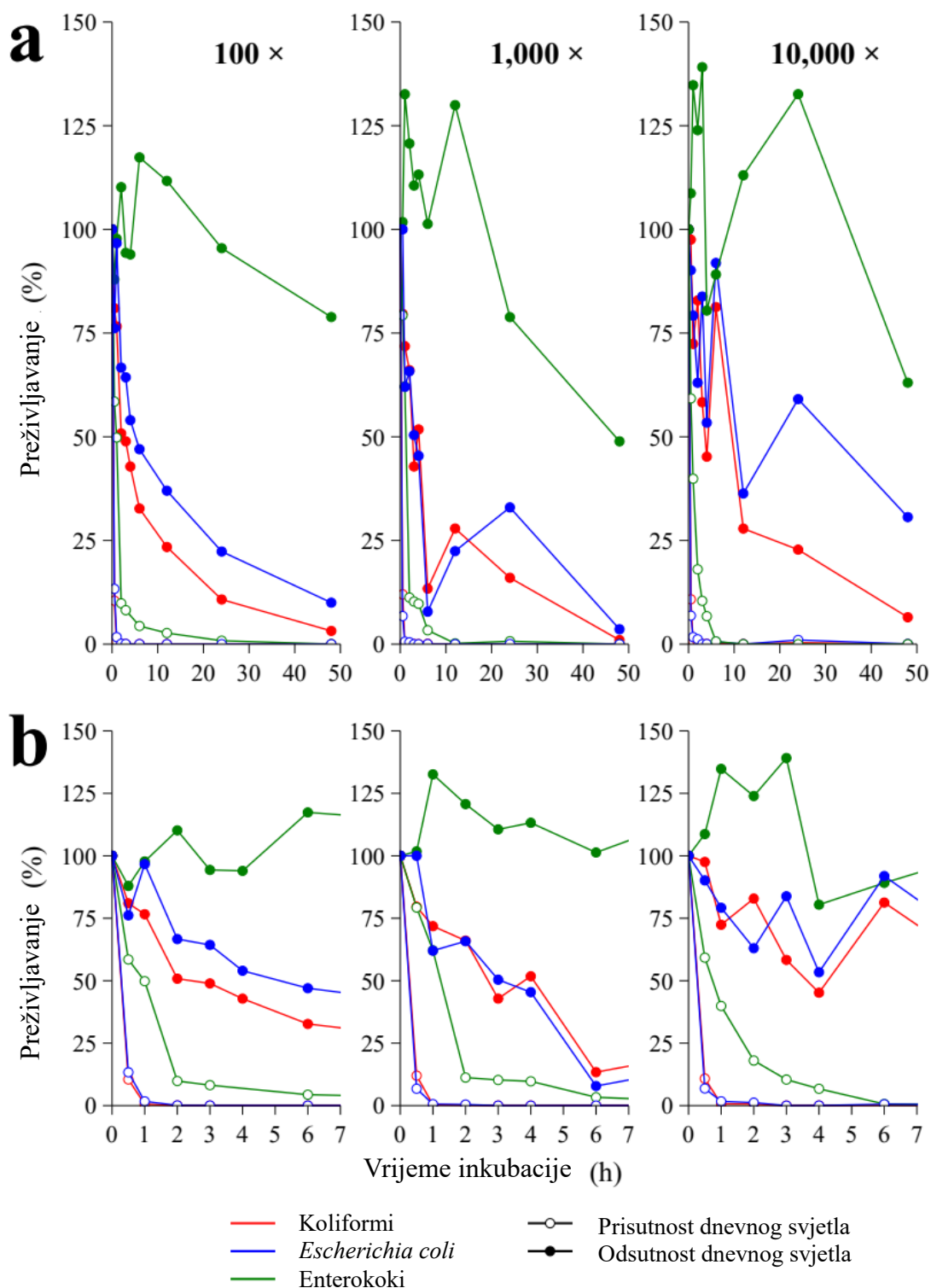
$10^3 - 10^4$  CFU / 100 ml.  $T_{90}$  je dostignut nakon 48 h. Koncentracije *Escherichia coli* na početku eksperimenta bile su  $10^5$  CFU / 100 ml (100 ×),  $10^4$  CFU / 100 ml (1.000 ×) i  $10^3$  CFU / 100 ml (10.000 ×) i smanjile su se na  $10^1$  CFU / 100 ml unutar 12 h (**Slika 6a**).  $T_{90}$  je bio manji od 1 h za 100 × razrijeđenu otopinu i manji od 30 min. za razrijeđene otopine 1.000 × i 10.000 × (**Slika 7b**). *Escherichia coli* držana u mraku pokazala je značajno manju brzinu smanjenja te je dostigla  $10^2 - 10^4$  CFU / 100 ml nakon 48 h.  $T_{90}$  za *Escherichia coli* inkubirane u mraku nije dostignut niti nakon 48 h za najmanje (100 ×) i najviše (10.000 ×) razrijeđene otopine, dok je za razrijeđenu otopinu 1.000 ×  $T_{90}$  dostignut nakon 12 h, ali je nakon toga opaženo povećanje brojnosti i  $T_{90}$  je opet dostignut nakon 48 h. Koncentracija crijevnih enterokoka smanjila se s  $10^2$  CFU / 100 ml (100 ×),  $10^3$  CFU / 100 ml (1.000 ×) i  $10^4$  CFU / 100 ml (10.000 ×) to  $3 - 10^2$  CFU / 100 ml unutar 12 h (**Slika 6a**). U usporedbi s koliformnim bakterijama i *Escherichia coli*, crijevni enterokoki imali su duži  $T_{90}$ . Smanjenje 90% populacije dostignuto je za manje od 2 h za 100 × razrijeđenu otopinu i za manje od 3 h za 1.000 × i 10.000 × razrijeđene otopine (**Slika 7b**). Čak i nakon 48 h inkubacije uzorci držani u mraku pokazali su isti red veličine koncentracije crijevnih enterokoka kao na početku eksperimenta. Osim toga, crijevni enterokoki inkubirani u mraku pokazali su čak i povećanje brojnosti, posebno tijekom prvog dana inkubacije (**Slika 7a**).



**Slika 5.** Temperatura i osvjetljenost dnevnim svjetlom tijekom eksperimenta o smanjenju fekalnih indikatora (a) izvršenog pod dnevnim svjetlom i u mraku. Strelice pokazuju vremena uzorkovanja. Detaljni pogled na prvih sedam sati eksperimenta kad je učestalost uzorkovanja bila veća (b).



**Slika 6.** Preživljavanje koliforma, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka tijekom eksperimenta u prisutnosti i odsutnosti dnevnog svjetla i s različitim početnim koncentracijama fekalnog materijala (a). Detaljni pogled na prvih sedam sati eksperimenta kad je učestalost uzorkovanja bila veća (b).



**Slika 7.** Smanjenje koliforma, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka tijekom eksperimenta u prisutnosti i odsutnosti dnevnog svjetla i s različitim početnim koncentracijama fekalnog materijala izraženo kao postotak preostalih bakterija (preživljavanje) od brojnosti utvrđene na početku inkubacije (0 h) (a). Detaljni pogled na prvih sedam sati eksperimenta kad je učestalost uzorkovanja bila veća (b).



## 2.4 Diskusija

Smjernice za procjenu mikrobiološke kvalitete otpadnih voda, vode za piće i vode za rekreaciju koriste metode koje mjere indikatorski organizam. Jedna od indikatorskih grupa su fekalni indikatori tj. *Escherichia coli*. Ti organizmi ukazuju na prisutnost fekalnog materijala, čime samo ukazuju na prisutnost patogena (Ashbolt i sur., 2001.). Enterične bakterije, uključujući fekalne indikatorske bakterije, nailaze na mnoštvo abiotičkih i biotičkih čimbenika koji utječu na njihovo preživljavanje nakon što se ispuste u morski okoliš (Rozen i Belkin, 2001.). Jedan od ulaznih podataka za dio Studije Poreč nazvan Modeliranje mora je utvrđivanje brzine smanjenja fekalnih indikatora u kontroliranim uvjetima koji su što je moguće bliži onima u recipijentima otpadnih voda (Hrvatske vode, 2015.).

Uočena je značajna razlika u brzini smanjenja između uzoraka inkubiranih na dnevnom svjetlu i onih držanih u mraku za sve proučavane indikatore. Već dugo se zna da je sunčevo svjetlo jedan od glavnih čimbenika odgovornih za inaktiviranje fekalnih indikatora u morskoj vodi (Fujioka i sur., 1981.). Identificirali smo da je  $T_{90}$  za koliformne bakterije ispod 1 h, za *Escherichia coli* 30 min do 1 h i za crijevne enterokoke ispod 3 h.  $T_{90}$  za koliformne bakterije i *Escherichia coli* je u skladu s ranije izviještenim vrijednostima za smanjenje fekalnih koliforma u vodama Havaja (Fujioka i sur., 1981.) i u Jadranu (Krstulović i sur., 2007.). Protivno podacima o kojima je izviješteno, veće brzine smanjenja fekalnih koliformnih bakterija utvrđene su za vode Novog Zelanda (Sinton i sur., 1994.). Osim toga,  $T_{90}$  o kojem je izviješteno za crijevne enterokoke (manje od 2 sata) je u skladu sa smanjenjem fekalnih streptokoka o kojem je izviješteno za vode Havaja (Fujioka i sur., 1981.) i manji je od brzine o kojoj je izviješteno za vode Novog Zelanda (Sinton i sur., 1994.). Opažena odstupanja između područja i vrsta vode vjerojatno su nastala zbog razlika u solarnom zračenju. Opažena veća otpornost crijevnih enterokoka na solarno zračenje u usporedbi s koliformnim bakterijama također je opažena u drugim studijama (Fujioka i sur., 1981.; Sinton i sur., 1994.). Razlozi veće otpornosti crijevnih enterokoka na (Nap. prev.: izgleda da tu nedostaje tekst, vjerojatno "solarno zračenje, također "tj." nema smisla jer se iz kasnijeg teksta vidi da se misli "u odnosu na") tj. *Escherichia coli* su nejasni i ranije se ukazivalo na veličinu, oblik, povezanost s česticama ili agregaciju stanica (Sinton i sur., 1994.). Osim toga, bilo je predloženo da bi razlike u strukturi stanične stijenke, kao glavnog cilja fotokemijskih procesa, mogle biti izvor veće osjetljivosti gram-negativnih *Escherichia coli* u usporedbi s gram-pozitivnim enterokokima (Sinton i sur., 1994.).

Koliformne bakterije i *Escherichia coli* inkubirane u mraku pokazale su  $T_{90}$  manji od 48 h za koliformne bakterije ili oko 48 h u slučaju *Escherichia coli*. Te vrijednosti su u skladu s vrijednostima za fekalne koliformne bakterije pronađene u vodama Jadrana (Krstulović i sur., 2007.) i nešto niže od onih o kojima je izviješteno za vode Novog Zelanda (Sinton i sur., 1994.) i Kalifornije (Noble i sur., 2004.). Jedan od čimbenika koji bi možda mogli dovesti do kraćih vremena inaktivacije u našem eksperimentu je temperatura za koju je poznato da djeluje sinergijski sa solarnim zračenjem kod inaktivacije fekalnih indikatora (Krstulović i sur., 2007.). U uvjetima mraka crijevni enterokoki pokazali su brojnost istog reda veličine čak i nakon 48 h inkubacije što ukazuje na veću otpornost crijevnih enterokoka također i u odsutnosti sunčevog svjetla. Veća otpornost u mraku opažena je ranije i pripisana većoj toleranciji na salinitet, većoj otpornosti na litički organizam ili predaciju protozoa (Sinton i sur., 1994.). Povećanje u usporedbi s početnim koncentracijama moglo se opaziti

kad su brojnosti bile izražene kao postotak preživljavanja. Osim toga, ukazano je da bi uz raspoloživost nutrijenata i zaštite, posebno od strane algi i planktona, enterokoki mogli biti u stanju preživjeti u morskim okruženjima i čak rasti (Mote i sur., 2012.), posebno ako je odsutna sunčeva svjetlost.

Kad ih se ispusti u morsku vodu, na fekalne indikatorske bakterije utječe niz abiotičkih i biotičkih čimbenika koji utječu na njihovo preživljavanje. Među svim tim čimbenicima sunčeva svjetlost je glavni čimbenik koji potiče smanjenje (Rozen i Belkin, 2001.). Unutar solarnog spektra identificirana su dva područja koja uglavnom doprinose inaktivaciji, UV-A područje i valne dužine > 400 nm (Sinton i sur., 1994.). Na tim valnim dužinama, glavni mehanizam kojim svjetlost inaktivira bakterije su fotokemijski mehanizmi, koji uglavnom djeluju preko fotosenzibilizatora i opasniji su u prisutnosti kisika (Rozen i Belkin, 2001.).

## 2.5 Zaključci

Na temelju eksperimenta o smanjenju fekalnih indikatorskih bakterija (koliformnih bakterija, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) provedenog u Centru za istraživanje mora u Rovinju mogu se izvući sljedeći zaključci:

- a) Znatno veća brzina smanjenja opažena je za uzorke izložene sunčevom svjetlu što ukazuje da je svjetlost glavni čimbenik koji utječe na smanjenje fekalnih indikatora u morskoj vodi.
- b) Vrijeme potrebno za inaktivaciju 90% početnih koliformnih bakterija bilo je manje od 1 h, *Escherichia coli* 30 min do 1 h, ovisno o početnoj brojnosti, te crijevnih enterokoka manje od 3 h, u prisutnosti sunčevog svjetla.
- c) Vrijeme potrebno za inaktivaciju 90% početnih koliforma bilo je manje od 48 h, *Escherichia coli* oko 48 h, dok crijevni enterokoki nisu dostignuli vrijeme za 90% inaktivaciju čak ni nakon 48 h inkubacije, u odsutnosti sunčevog svjetla.
- d) U usporedbi s koliformima i *Escherichia coli*, crijevni enterokoki pokazali su, i u prisutnosti i u odsutnosti sunčevog svjetla, veću otpornost na inaktivaciju u morskoj vodi.

### 3 Literatura

- 2006/7/EZ DIREKTIVA 2006/7/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 15. veljače 2006. koja se odnosi na upravljanje kvalitetom vode za kupanje i ukida Direktivu 76/160/EEZ.
- Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K., i Snozzi, M. (2001.) Indicators of microbial water quality (Indikatori mikrobne kvalitete vode). U, *Water Quality: Guidelines, standards and health (Kvaliteta vode: Smjernice, standardi i zdravlje)*., str. 289–316.
- Fujioka, R.S., Hashimoto, H.H., Siwak, E.B., i Young, R.H. (1981.) Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater (Utjecaj sunčevog svjetla na preživljavanje indikatorskih bakterija u morskoj vodi). *Appl. Environ. Microbiol.* **41**: 690–696.
- Hrvatske vode (2015.) Dokumentacija da nadmetanje: Studija ocjene i praćenje učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja. Zagreb, str. 24–46.
- Jozić, S., Morović, M., Šolić, M., Krstulović, N., i Ordulj, M. (2014) Effect of solar radiation, temperature and salinity on the survival of two different strains of *Escherichia coli* (Utjecaj solarnog zračenja, temperature i saliniteta na preživljavanje dva različita niza *Escherichia coli*). *Fresenius Environ. Bull.* **23**: 1852–1859.
- Kapuscinski, R.B. i Mitchell, R. (1981) Solar radiation induces sublethal injury in *Escherichia coli* in seawater (Solarno zračenje potiče subletalne ozljede kod *Escherichia coli* u morskoj vodi). *Appl. Environ. Microbiol.* **41**: 670–674.
- Koivunen, J., Siitonen, A., i Heinonen-Tanski, H. (2003) Elimination of enteric bacteria in biological–chemical wastewater treatment and tertiary filtration units (Eliminacija enteričnih bakterija kod biološkog–kemijskog tretiranja otpadnih voda i jedinicama za terciarnu filtraciju). *Water Res.* **37**: 690–698.
- Korlević, M. (2019) Part 1: Winter Period Rovinj (Zimski period Rovinj).
- Krstulović, N., Šolić, M., Jozić, S., Šestanović, S., i Šantić, D. (2007) Effect of solar radiation and temperature on survival of faecal coliforms in seawater (Učinak solarnog zračenja i temperature na preživljavanje fekalnih koliforma u morskoj vodi). U, Özhan, E. (ed), *Proceedings of the 8th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (Zbornik radova 8. međunarodne konferencije o Mediteranskom obalnom okruženju), MEDCOAST 2007*.
- Lucas, F.S., Therial, C., Gonçalves, A., Servais, P., Rocher, V., i Mouchel, J.-M. (2014) Variation of raw wastewater microbiological quality in dry and wet weather conditions (Variranje mikrobiološke kvalitete sirovih otpadnih voda u uvjetima suhog i vlažnog vremena). *Environ. Sci. Pollut. Res.* **21**: 5318–5328.
- Mote, B.L., Turner, J.W., i Lipp, E.K. (2012) Persistence and growth of the fecal indicator bacteria enterococci in detritus and natural estuarine plankton communities (Istrajnost i rast fekalnih

indikatorskih bakterija enterokoka u detritusu i prirodnim planktonskim zajednicama ušća). *Appl. Environ. Microbiol.* **78**: 2569–77.

NN 73/2008 NN 73/2008 (26.6.2008.), Uredba o kakvoći mora za kupanje.

NN 79/2013 Pravilnik o sigurnosti pomorske plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske te načinu i uvjetima obavljanja nadzora i upravljanja pomorskim prometom.

Noble, R.T., Lee, I.M., i Schiff, K.C. (2004) Inactivation of indicator micro-organisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater (Inaktivacija indikatorskih mikro-organizama iz različitih izvora fekalnog onečišćenja u morskoj vodi i vodi za piće). *J. Appl. Microbiol.* **96**: 464–472.

Paliaga, P., Korlević, M., Ivančić, I., i Najdek, M. (2017) Limited influence of primary treated sewage waters on bacterial abundance, production and community composition in coastal seawaters (Ograničeni utjecaj primarno tretiranih otpadnih voda na bakterijsku brojnost, produkciju i sastav zajednice u obalnim morskim vodama). *Mar. Environ. Res.* **131**: 215–226.

Rozen, Y. i Belkin, S. (2001. godina) Survival of enteric bacteria in seawater (Preživljavanje enteričnih bakterija u morskoj vodi). *FEMS Microbiol. Rev.* **25**: 513–529.

Sinton, L.W., Davies-Colley, R.J., i Bell, R.G. (1994) Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meatworks effluents in seawater chambers (Inaktivacija enterokoka i fekalnih koliforma iz otpadnih voda i otpadnih voda klaonica u komorama s morskom vodom). *Appl. Environ. Microbiol.* **60**: 2040–2048.

STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE  
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

# IZVJEŠĆE 2b – dio 3/3

## KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

Veljača 2022

Zajednica izvršitelja



Naručitelj



Krajnji korisnik



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE  
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

# IZVJEŠĆE 2b – dio 3/3

## KAKVOĆA OTPADNIH VODA I MORA

18. veljače 2022

mr.sc. Božidar Deduš, dipl. ing.  
Ovlaštenik Zajednice izvršitelja  
Proning DHI d.o.o.

18. veljače 2022

  
United Nations  
Institute for  
Education  
under the auspices  
of UNESCO  
IHE  
DELFT  
prof. dr. sc. Danijel Brijunović, dipl. ing.  
Voditelj stručnog tima  
IHE Delft

Institut Ruđer Bošković  
Centar za istraživanje mora  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju

### 3. dio: Stanje nakon izgradnje UPOV-a

Rovinj, veljača 2022.



Marino Korlević, dr.  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju  
Centar za istraživanje mora  
Institut Ruđer Bošković  
G. Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska  
e-mail: [marino.korlevic@irb.hr](mailto:marino.korlevic@irb.hr)

Marsej Markovski, mag. ing. marikul.  
Laboratorij za morsku mikrobnu ekologiju  
Centar za istraživanje mora  
Institut Ruđer Bošković  
G. Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska  
e-mail: [marsej.markovski@irb.hr](mailto:marsej.markovski@irb.hr)

## Sadržaj

1 Uvod.....	1
2 Materijali i metode.....	2
2.1 Uzorkovanje .....	2
2.2 Enumeracija bakterija indikatora fekalnog onečišćenja.....	2
3 Rezultati .....	4
3.1 Dotok ( <i>influent</i> ) i izlazna pročišćena voda ( <i>effluent</i> ) iz UPOV-a .....	4
3.2 Vodeni recipijenti .....	5
4 Rasprava.....	8
5 Zaključci .....	10
6 Literatura.....	11
7 Prilog.....	12

## 1 Uvod

Projekt „Kanalizacija i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda grada Poreča“ (Projekt Poreč; hrv. „Sustav odvodnje i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda grada Poreča“) sastoji se od rekonstrukcije i dogradnje postojećeg kanalizacijskog sustava te izgradnje četiri nova uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) u gradu Poreču (Hrvatske vode, 2015.). Projekt je sufinanciran sredstvima Europske unije i jedna je od najvećih investicija javnog sektora u Hrvatskoj. Otpadne vode u postojećem kanalizacijskom sustavu pročišćavaju se samo mehaničkim i kemijskim metodama prije ispuštanja u Jadransko more (Hrvatske vode, 2015.). Dio projekta je izgradnja četiri nova UPOV-a sposobna za tercijarno pročišćavanje primjenom aktivnog mulja i membranskih bioreaktora. Četiri nova UPOV-a su:

- a) Lanterna,
- b) Poreč sjever,
- c) Poreč jug,
- d) Vrsar.

Projekt Poreč složen je infrastrukturni projekt sastavljen od nekoliko faza i pod-projekata. Radi boljeg razumijevanja cjelovitog sustava koji se sastoji od kanalizacije, UPOV-a i vodenog recipijenta (Jadransko more), u različitim uvjetima, projekt „Studija ocjene i praćenja učinkovitosti za provedbu projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču“ (Studija Poreč, hrv. „Studija ocjene i praćenja učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču“). Studija Poreč obuhvaća modeliranje triju dijelova (Hrvatske vode, 2015.):

- a) Modeliranje kanalizacijskog sustava grada Poreča
- b) Modeliranje novog UPOV-a
- c) Modeliranje mora na širem području grada i na odabranim plažama u Poreču.

Za svaki od gore navedenih segmenata potrebno je određivanje bakterija indikatora fekalnog onečišćenja (Hrvatske vode, 2015.).

Fekalni indikatori su skupina organizama koji upućuju na prisutnost fekalnog materijala čime se zaključuje prisutnost patogenih mikroorganizama (Ashbolt i sur., 2001.). Praćenje različitih mikroorganizama indikatora u svrhu ocjene mikrobne kakvoće vode provodi se od 19. stoljeća i od tada se razvija (Ashbolt i sur., 2001.). Enumeracija *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka propisana je zakonodavstvom Europske unije i Republike Hrvatske za upravljanje kakvoćom vode za kupanje (2006/7/EZ; NN 73/2008).

Kako kanalizacijski sustav i UPOV moraju zadovoljiti potrebe u dva suprotstavljena godišnja doba, zimi (niska turistička sezona) i ljeti (visoka turistička sezona), Studija Poreč mora pružiti razumijevanje funkcioniranja cjelovitog sustava u ova dva suprotstavljena razdoblja te također pružiti poznavanje rada integralnog sustava nakon izgradnje četiri nova UPOV-a (Hrvatske vode, 2015.). Cilj ovog izvješća je dati enumeraciju odabranih bakterija indikatora fekalnog onečišćenja (koliformne bakterije, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) nakon izgradnje četiri nova UPOV-a, čime se dobivaju ulazni podaci za dio projekta u kojem se obavlja modeliranje.

## 2 Materijali i metode

### 2.1 Uzorkovanje

Za određivanje uklanjanja bakterija indikatora fekalnog onečišćenja na svakom UPOV-u (Lanterna, Poreč sjever, Poreč jug i Vrsar) dotok (*influent*) i izlazna (*effluent*) otpadna voda prikupljane su automatskim uzorkivačem otpadnih voda svaka dva sata od 8:00 ujutro do 8:00 ujutro sljedećeg dana. Ovi su uzorci objedinjeni i analizirani. Dotok i izlazna pročišćena voda na UPOV-u Lanterna i Poreč sjever prikupljani su od 8.00 sati ujutro 18. siječnja 2022. do 8.00 sati ujutro 19. siječnja 2022. godine, dok su na UPOV-u Poreč jug i Vrsar uzorci uzimani od 8.00 sati ujutro 17. siječnja 2022. do 8:00 sati ujutro 18. siječnja 2022.

Kako bi se utvrdio utjecaj pročišćene otpadne vode koja istječe u morski ekosustav, uzorkovani su vodeni recipijenti u blizini svakog ispusta iz UPOV-a pomoću Niskin boca od 5 l (slika 1.). Uzorkovanje je započelo na ispustu, 1–2 m iznad njega (Postaja A). Kako bi se povećala mogućnost otkrivanja vidljivog oblaka otpadne vode, motor čamca je isključen i brod je ostavljen da pluta 150 m od ispusta gdje je izvršeno drugo uzorkovanje (Postaja B) na površini, na dubini od 10 m i 1–2 m iznad dna. Treća točka uzorkovanja (Postaja C) nalazi se 300 m od obale u smjeru postaje B. Odabrana je lokacija od 300 m od obale jer se smatra maksimalnim širenjem zone namijenjene kupanju i rekreaciji (NN 79/2013). Serija uzorkovanja završila je (Postaja D) na 150 m od ispusta u suprotnom smjeru od stanice B gdje su uzorci uzimani na površini, na dubini od 10 m i 1–2 m iznad dna. Datumi uzorkovanja i koordinate postaja navedeni su u tablici 1. Lokacija ispusta svakog UPOV-a određena je sonarnim profiliranjem tijekom zimske kampanje mjerenja jer smo primijetili da navedene koordinate ne upućuju na ispravan položaj ispusta (Korlević, 2019.). Kako bi se dodatno povećala mogućnost otkrivanja oblaka pročišćene otpadne vode, provedene su dvije serije uzorkovanja jedna za drugom. U procesu uzorkovanja pomoć smo dobili od operativnog osoblja iz svakog UPOV-a koji kontroliraju ispuštanje otpadnih voda. Osim toga, djelatnik Odvodnje Poreč pratio je ispuštanje otpadnih voda na starim bazenima (Korlević, 2019.; Korlević i Markovski, 2019.) UPOV-a Poreč sjever i Poreč jug kako bi se osiguralo da je pročišćena otpadna voda u potpunosti ispuštena iz bazena. Uzorkovanje je započelo odmah nakon što nas je operativno osoblje ili djelatnik Odvodnje Poreč obavijestio da je bazen prazan ili u slučaju UPOV-a Lanterna, ~15 min nakon što smo dobili informaciju.

### 2.2 Enumeracija bakterija indikatora fekalnog onečišćenja

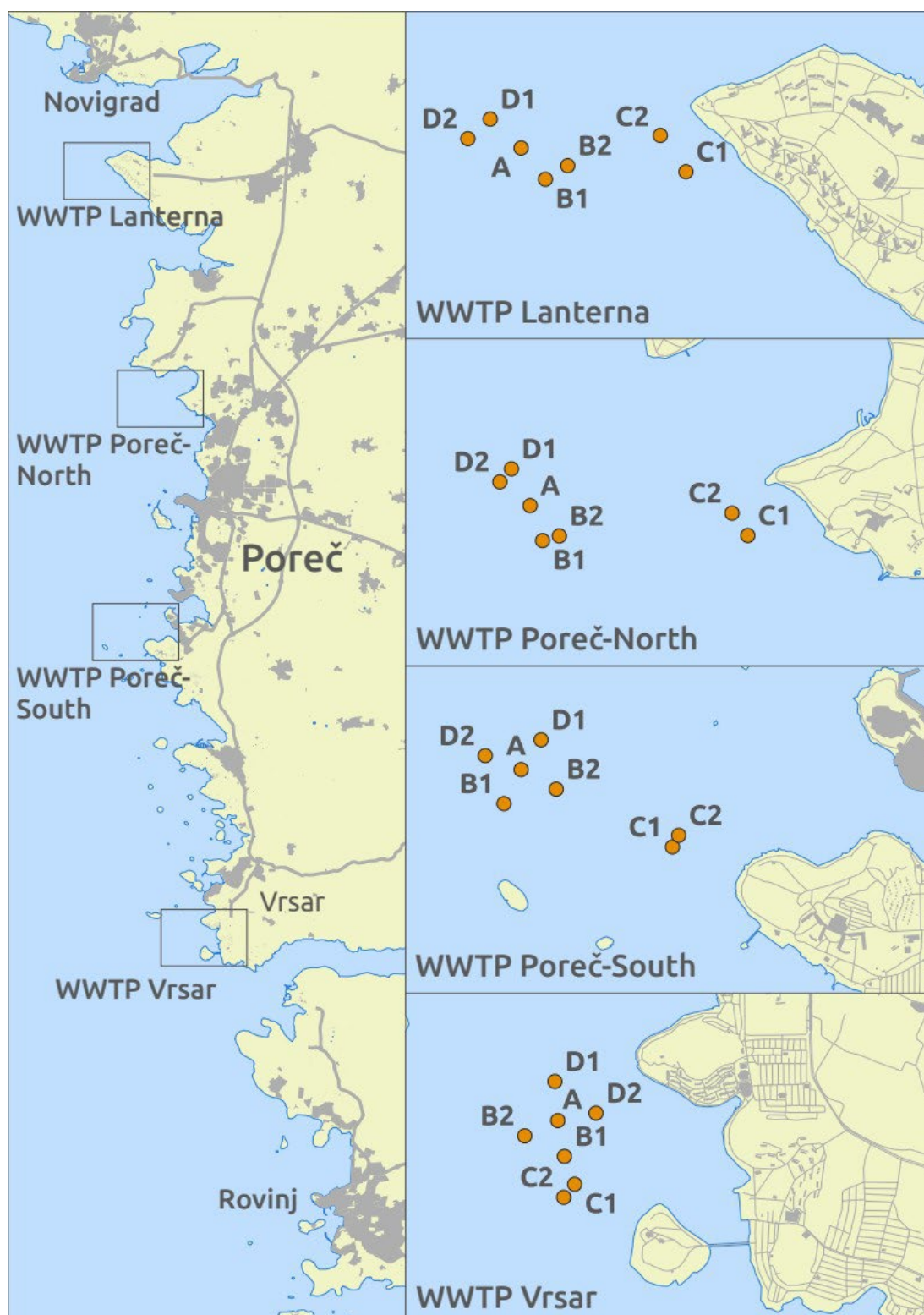
Uzorci morske vode, *influenta* i *effluenta*, ispitani su na prisutnost bakterija indikatora fekalnog onečišćenja (koliformnih, *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka) metodom membranske filtracije. Za analizu je uzorkovano 500 ml morske vode, 50 ml *influenta* (kanalizacija) i 250 ml *effluenta*, koji su prevezeni u laboratorij u tamnim i hladnim uvjetima unutar rashladne kutije. Uzorci su filtrirani na membranskim filterima (0,45 µm; 47 mm; Millipore, SAD). Za analizu morske vode i *effluenta*, filtrirano je najmanje 100 ml. Ako se očekivala veća koncentracija indikatora fekalnog onečišćenja, filtrirani su manji volumeni. Za analizu kanalizacije pripremljena su razrjeđenja  $10^{-3}$  i  $10^{-4}$  za dobivanje enumeracija *Escherichia coli* i koliformnih bakterija, odnosno  $10^{-2}$  za analizu crijevnih enterokoka. Coliformne bakterije i *Escherichia coli* analizirane su inkubacijom filtera na površinu *Chromogenic Coliform Agar* (Biolife, Italy) i

inkubirani na  $36\pm 2$  °C tijekom 18–24 h. Sve ružičaste do crvene kolonije ubrajane su u pretpostavljene koliformne bakterije, a sve tamnoplave do ljubičaste kao *Escherichia coli*. Brojnost koliformnih bakterija izražena je kao zbroj kolonija ružičastih do crvenih i tamnoplavih do ljubičastih kolonija jer se *Escherichia coli* smatra koliformnom bakterijom. Za enumeraciju crijevnih enterokoka, filtri su postavljeni na površinu Slanetz Bartley Agara (Biolife, Italija) i inkubirani na  $36\pm 2$  °C 40-48 h. Filtri koji su razvili kolonije prebačeni su na prethodno zagrijani Bile Aesculine Agar (Biolife, Italija) i inkubirani na  $44\pm 0,5$  °C 2 h. Sve kolonije koje su razvile tamnosmeđu ili crnu oreolu računale su se kao crijevni enterokoki. Broj svih bakterija indikatora fekalnog onečišćenja izražen je kao broj jedinica koje stvaraju kolonije (CFU) na 100 ml. Ukupno su analizirana 72 uzorka.

**Tablica 1.** Datumi uzorkovanja vodenih recipijenata na svakom UPOV-u i koordinate svake postaje za uzorkovanje. Kako bi se maksimizirala detekcija efluentnog oblaka, provedene su dvije serije uzorkovanja. Oznake postaja: A-ispust, B-150 m u smjeru plovke čamca, C-300 m od obale i D-150 m u suprotnom smjeru od postaje B. Za detalje vidi tekst.

(Tekst zaglavlja tablice: UPOV, Datum, Serija, Postaja, Zemljopisna širina, Zemljopisna dužina)

WWTP	Date	Series	Station	Latitude	Longitude
Lanterna	17 January 2022	1 <sup>st</sup>	A	45° 17.805'	13° 33.594'
			B	45° 17.738'	13° 33.668'
			C	45° 17.754'	13° 34.096'
			D	45° 17.867'	13° 33.500'
		2 <sup>nd</sup>	A	45° 17.805'	13° 33.594'
			B	45° 17.767'	13° 33.736'
			C	45° 17.832'	13° 34.018'
			D	45° 17.825'	13° 33.432'
Poreč-North	18 January 2022	1 <sup>st</sup>	A	45° 14.891'	13° 34.649'
			B	45° 14.816'	13° 34.687'
			C	45° 14.827'	13° 35.312'
			D	45° 14.970'	13° 34.592'
		2 <sup>nd</sup>	A	45° 14.891'	13° 34.649'
			B	45° 14.826'	13° 34.738'
			C	45° 14.875'	13° 35.264'
			D	45° 14.942'	13° 34.557'
Poreč-South	19 January 2022	1 <sup>st</sup>	A	45° 12.129'	13° 34.136'
			B	45° 12.056'	13° 34.084'
			C	45° 11.963'	13° 34.597'
			D	45° 12.193'	13° 34.197'
		2 <sup>nd</sup>	A	45° 12.129'	13° 34.136'
			B	45° 12.087'	13° 34.243'
			C	45° 11.988'	13° 34.616'
			D	45° 12.159'	13° 34.027'
Vrsar	21 January 2022	1 <sup>st</sup>	A	45° 08.320'	13° 35.562'
			B	45° 08.243'	13° 35.582'
			C	45° 08.183'	13° 35.613'
			D	45° 08.404'	13° 35.553'
		2 <sup>nd</sup>	A	45° 08.320'	13° 35.562'
			B	45° 08.287'	13° 35.461'
			C	45° 08.155'	13° 35.580'
			D	45° 08.336'	13° 35.678'



**Slika 1.** Lokacija vodenih recipijenata UPOV-a duž zapadne obale Istre. Oznake postaja: A-ispust, B-150 m u smjeru plovke čamca, C-300 m od obale i D-150 m u suprotnom smjeru od postaje B. Kako bi se maksimizirala detekcija efluentnog oblaka, obavljene su dvije serije uzorkovanja, označene kao 1 i 2 (© OpenStreetMap contributors, [www.openstreetmap.org/copyright](http://www.openstreetmap.org/copyright)). Za detalje vidi tekst.

### 3 Rezultati

#### 3.1 Dotok (*influent*) i izlazna pročišćena voda (*effluent*) iz UPOV-a

Koliformne bakterije, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki izbrojani su u influentu i efluentu svakog UPOV-a da bi se utvrdilo uklanjanje ovih bakterija indikatora fekalnog zagađenja putem UPOV-a. Najmanja zastupljenost koliformnih bakterija utvrđena je u dotoku UPOV-a Lanterna ( $1,23 \times 10^8$  CFU / 100 ml), dok je najviša koncentracija utvrđena u dotoku UPOV-a Poreč jug ( $2,39 \times 10^8$  CFU / 100 ml) (Tablica 2). Koncentracije koliformnih bakterija u efluentima bile su niže i kretale su se od 0 do  $2,19 \times 10^5$  CFU / 100 ml. Najveće uklanjanje koliformnih bakterija zabilježeno je u UPOV-ima Lanterna (0 CFU / 100 ml) i Vrsar (3 CFU / 100 ml), dok je najmanje uklanjanje zabilježeno u UPOV-ima Poreč sjever ( $2,19 \times 10^5$  CFU / 100 ml) i Poreč jug ( $1,86 \times 10^5$  CFU / 100 ml) (Tablica 2).

Slično koliformnim bakterijama, najniža koncentracija *Escherichia coli* zabilježena je u dotoku UPOV-a Lanterna ( $1,06 \times 10^7$  CFU / 100 ml), dok je najviša koncentracija zabilježena u dotoku UPOV-a Vrsar ( $1,77 \times 10^7$  CFU / 100 ml) (Tablica 2). Koncentracije *Escherichia coli* u efluentima bile su niže i kretale su se od 0 do  $8,10 \times 10^3$  CFU / 100 ml. Također slično koliformnim bakterijama, najveće uklanjanje *Escherichia coli* zabilježeno je u UPOV-u Lanterna (0 CFU / 100 ml) i Vrsar (1 CFU / 100 ml), dok je najmanje uklanjanje bilo zabilježeno u UPOV-u Poreč sjever ( $8,10 \times 10^3$  CFU / 100 ml) i Poreč jug ( $7,70 \times 10^3$  CFU / 100 ml) (Tablica 2).

Koncentracija crijevnih enterokoka kretala se od  $1,44 \times 10^6$  (UPOV Poreč jug) do  $2,39 \times 10^6$  CFU / 100 ml (UPOV Lanterna) (Tablica 2). Uzorci efluenta sadržavali su niže koncentracije crijevnih enterokoka, u rasponu od 0 do  $1,50 \times 10^3$  CFU / 100 ml. Najveće uklanjanje crijevnih enterokoka zabilježeno je u UPOV-u Lanterna (0 CFU / 100 ml), dok je najmanje uklanjanje zabilježeno u UPOV-u Poreč sjever ( $1,50 \times 10^3$  CFU / 100 ml) i Poreč jug ( $1,09 \times 10^3$  CFU / 100 ml). Koncentracija crijevnih enterokoka u UPOV-u Vrsar bila je  $1,78 \times 10^2$  CFU / 100 ml, što pokazuje srednju vrijednost. (Tablica 2).

**Tablica 2.** Brojnost bakterija indikatora fekalnog onečišćenja (koliformne, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) u influentu i efluentu svakog UPOV-a.

WWTP	Coliforms		<i>Escherichia coli</i>		Intestinal enterococci	
	Influent (CFU / 100 ml)	Effluent (CFU / 100 ml)	Influent (CFU / 100 ml)	Effluent (CFU / 100 ml)	Influent (CFU / 100 ml)	Effluent (CFU / 100 ml)
Lanterna	$1.23 \times 10^8$	0	$1.06 \times 10^7$	0	$2.39 \times 10^6$	0
Poreč-North	$1.69 \times 10^8$	$2.19 \times 10^5$	$1.14 \times 10^7$	$8.10 \times 10^3$	$1.78 \times 10^6$	$1.50 \times 10^3$
Poreč-South	$2.39 \times 10^8$	$1.86 \times 10^5$	$1.38 \times 10^7$	$7.70 \times 10^3$	$1.44 \times 10^6$	$1.09 \times 10^3$
Vrsar	$1.82 \times 10^8$	3	$1.77 \times 10^7$	1	$2.08 \times 10^6$	$1.78 \times 10^2$

### 3.2 Vodeni recipijenti

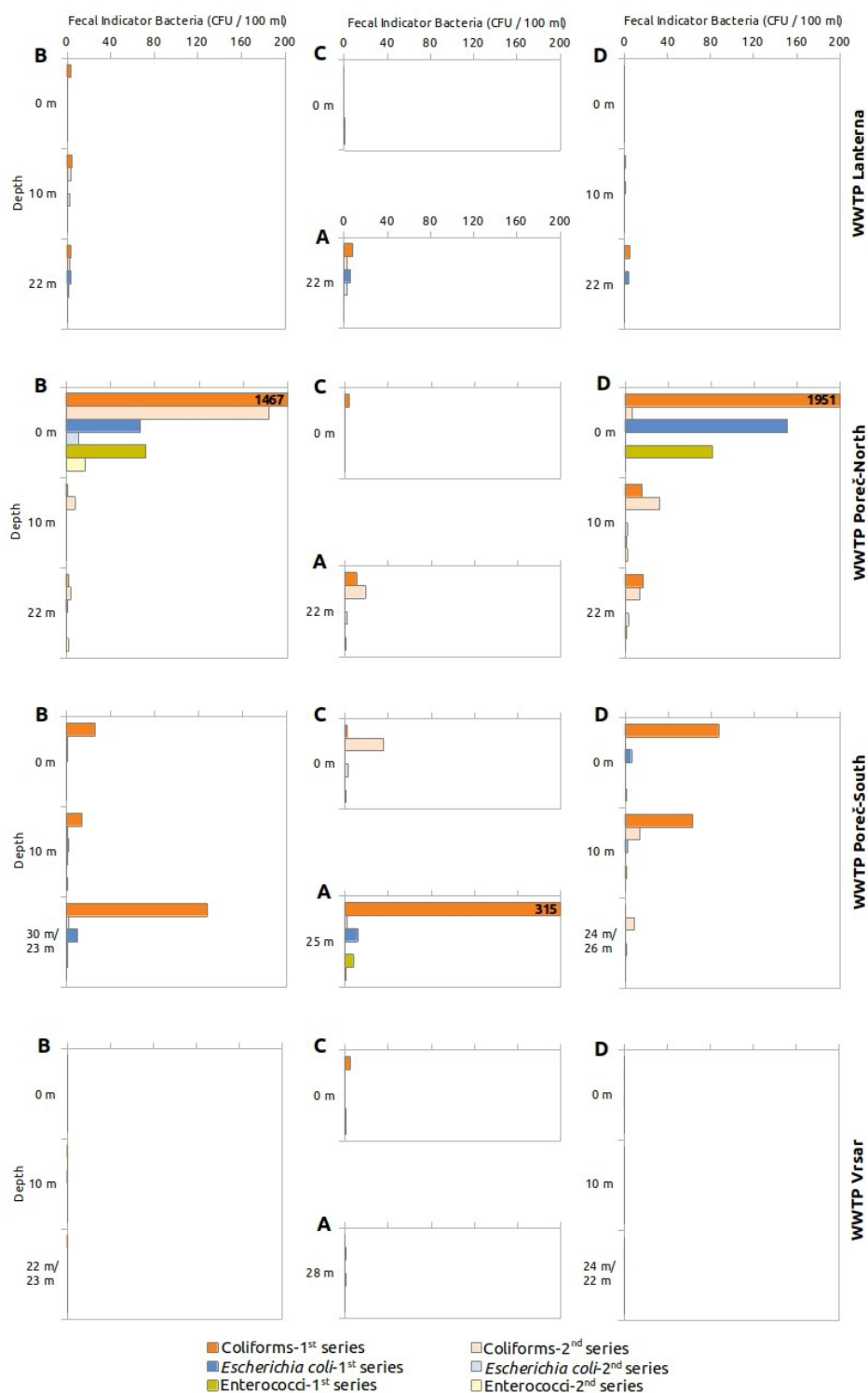
Bakterije indikatori fekalnog onečišćenja izbrojane su u vodenim recipijentima svih UPOV-a. Koncentracije koliformnih bakterija kretale su se od 0 do 1.951 CFU / 100 ml u svim vodama (Slika 2). U prosjeku, najveće vrijednosti zabilježene su u Poreču sjever ( $233,44 \pm 584,38$  CFU / 100 ml), dok su najniže vrijednosti karakteristične za Vrsar ( $0,63 \pm 1,26$  CFU / 100 ml). Uzorak distribucije koliformnih bakterija određen je na temelju dvije serije uzorkovanja. Vodeni recipijenti UPOV-a Lanterna karakterizirale su niske koncentracije koliformnih bakterija, u rasponu od 0 do 8 CFU / 100 ml (Slika 2). Među svim vodenim recipijentima, najveće koncentracije koliformnih bakterija zabilježene su u Poreču sjever. Površinski sloj postaja B ( $825,00 \pm 907,93$  CFU / 100 ml) i D ( $978,50 \pm 1.375,32$  CFU / 100 ml) sadržavao je najveću koncentraciju koliformnih bakterija. Najmanje zastupljenosti u ovim vodama pronađene su u srednjem stupcu ( $4,50 \pm 4,95$  CFU / 100 ml) i donjem sloju postaje B ( $3,00 \pm 1,41$  CFU / 100 ml) i na površini postaje C ( $2,00 \pm 2,83$  CFU / 100 ml). Distribucija koliformnih bakterija u vodenim recipijentima UPOV-a Poreč jug pokazala je veću pojavu koliformnih bakterija na ispustu ( $158,50 \pm 221,32$  CFU / 100 ml), u donjem sloju postaje B ( $65,00 \pm 89,10$  CFU / 100 ml) i na površini ( $43,50 \pm 61,52$  CFU / 100 ml) i srednjim slojevima stupca postaje D ( $38,50 \pm 34,65$  CFU / 100 ml). Najniža koncentracija koliformnih bakterija u ovim vodama pronađena je u donjem sloju stanice D ( $4,50 \pm 6,36$  CFU / 100 ml). Slično kao i Lanterna, u vodenim recipijentima UPOV-a Vrsar također su bile minimalne koncentracije koliformnih bakterija u rasponu od 0 do 5 CFU / 100 ml (slika 2.).

Koncentracije *Escherichia coli* u svim vodenim recipijentima kretale su se od 0 do 151 CFU / 100 ml (Slika 2). Slično kao kod koliformnih bakterija, u prosjeku najveće koncentracije zabilježene su u Poreču sjever ( $14,81 \pm 39,93$  CFU / 100 ml), dok su najniže vrijednosti karakteristične za Vrsar ( $0,19 \pm 0,40$  CFU / 100 ml). Vodeni recipijenti UPOV-a Lanterna također su karakterizirale niske koncentracije *Escherichia coli*, u rasponu od 0 do 6 CFU/100 ml, slično kao i druge bakterije indikatori fekalnog onečišćenja (Slika 2). Uzorak distribucije *Escherichia coli* u Poreču sjever pratio je uzorak koliformnih bakterija. Površinski slojevi postaje B ( $39,00 \pm 39,60$  CFU / 100 ml) i D ( $75,50 \pm 106,77$  CFU / 100 ml) sadržavali su najviše koncentracije *Escherichia coli*, a minimalne koncentracije pronađene su u donjem sloju postaje B ( $0,50 \pm 0,71$  CFU / 100 ml) gdje su bile najviše koncentracije *Escherichia coli*, dok je *Escherichia coli* izostala u sloju srednjeg stupa postaje B i površinskim vodama postaje C. Distribucija *Escherichia coli* u vodenim recipijentima UPOV-a Poreč jug pokazala je nešto veće koncentracije na ispustu ( $6,00 \pm 8,49$  CFU / 100 ml), u donjem sloju postaje B ( $5,50 \pm 6,36$  CFU / 100 ml) i na površini postaje D ( $3,00 \pm 4,24$  CFU / 100 ml), dok su uzorci iz ostalih slojeva i/ili postaja pokazivali minimalne koncentracije. Slično kao i kod distribucije *Escherichia coli* u Lanterni, u vodenim recipijentima UPOV-a Vrsar također su bile minimalne koncentracije ovog fekalnog indikatora (0 ili 1 CFU / 100 ml) (Slika 2).

Obilje crijevnih enterokoka u svim vodenim recipijentima kretalo se od 0 do 81 CFU / 100 ml (Slika 2). Slično kao i kod ostalih bakterija indikatora fekalnog zagađenja, u prosjeku su najveće koncentracije uočene u Poreču sjever ( $11,06 \pm 25,93$  CFU / 100 ml), dok su najniže koncentracije karakteristične za Vrsar ( $0,13 \pm 0,34$  CFU / 100 ml). Brojnost crijevnih enterokoka u vodenim recipijentima UPOV-a Lanterna također je bila vrlo niska (0 ili 1 CFU / 100 ml), slično kao i kod drugih bakterija indikatora fekalnog zagađenja (Slika 2). U vodenim recipijentima Poreč sjever



najviše koncentracije pronađene su u površinskom sloju postaje B ( $44,50 \pm 38,89$  CFU / 100 ml) i D ( $40,50 \pm 57,28$  CFU / 100 ml), dok su uzorci iz drugih slojeva ili postaja sadržavali minimalne koncentracije crijevnih enterokoka. Obilje ovog fekalnog pokazatelja u vodenim recipijentima Poreč jug bile su nešto veće na ispustu ( $4,50 \pm 4,95$  CFU / 100 ml), dok su koncentracije na ostalim postajama ili u drugim slojevima bile minimalne. Slično distribuciji crijevnih enterokoka u Lanterni, u vodenim recipijentima UPOV-a Vrsar također su bile minimalne koncentracije ove fekalne indikatorske skupine (0 ili 1 CFU / 100 ml) (Slika 2).



**Slika 2.** Distribucija bakterija indikatora fekalnog onečišćenja (koliformne, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) u vodenim recipijentima svakog UPOV-a. Oznake postaja: A-ispust, B-150 m u smjeru plovke čamca, C-300 m od obale D-150 m u suprotnom smjeru od postaje B. Za maksimalnu detekciju oblaka pročišćene otpadne vode, obavljene su dvije serije uzorkovanja. Uzorci koji su pokazali više od 200 CFU / 100 ml označeni su točnim brojem CFU / 100 ml. Za detalje pogledati tekst.

## 4 Rasprava

Studija Poreč pokrenuta je s ciljem poboljšanja razumijevanja cjelovitog sustava odvodnje otpadnih voda grada Poreča koji se sastoji od kanalizacijskog sustava, UPOV-a i vodenih recipijenata. Znanje će se unaprijediti kroz modeliranje kanalizacijskog sustava, modeliranje novih UPOV-a i modeliranje morskog okoliša. Enumeracija bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u ovom izvješću, zajedno s podacima dobivenim u kampanjama uzorkovanja tijekom zime (Korlević, 2019.) i ljeta 2019. (Korlević i Markovski, 2019.), čini ulazne podatke za modeliranje mora.

Koncentracije bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u uzorcima kanalizacije bile su unutar prethodno navedenih vrijednosti za kanalizaciju. Sirova otpadna voda tipično sadrži  $10^7$  do  $10^8$  koliformnih bakterija (Koivunen i sur., 2003.),  $10^6$  do  $10^7$  *Escherichia coli* (Lucas i sur., 2014.) i  $10^5$  do  $10^6$  crijevnih enterokoka (Lucas i sur., 2014.), što je u skladu s našim podacima. Osim toga, vrijednosti koncentracije dobivene u ovom izvješću sukladne su onima dobivenim tijekom zimskih (Korlević, 2019.) i ljetnih (Korlević i Markovski, 2019.) kampanja uzorkovanja. Uzorci *efluenta* sadržavali su niže koncentracije svih bakterija indikatora fekalnog onečišćenja. Veće uklanjanje koliformnih bakterija i *Escherichia coli* uočeno je u UPOV-u Lanterna i Vrsar nego u UPOV-ima Poreč sjever i Poreč jug. Uklanjanje crijevnih enterokoka također je veće u UPOV-u Lanterna nego u UPOV-ima Poreč sjever i Poreč jug. Vrijednost uklanjanja crijevnih enterokoka u UPOV-u Vrsar bila je između uklanjanja u UPOV-u Lanterna i UPOV-ima Poreč sjever i Poreč jug.

Koncentracije bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u svim vodenim recipijentima bile su niske u odnosu na kanalizaciju i niže nego tijekom kampanja uzorkovanja zimi (Korlević, 2019.) i ljeti 2019. (Korlević i Markovski, 2019.). U ovoj kampanji uzorkovanja utvrđene su veće koncentracije bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u vodenim recipijentima UPOV-a Poreč sjever i Poreč jug nego u vodenim recipijentima preostalih UPOV-a. *Efluenti* iz ovih UPOV-a također su sadržavali veće koncentracije bakterija indikatora fekalnog onečišćenja, što se odrazilo u većim koncentracijama tih bakterija u odgovarajućim vodenim recipijentima. Najveće koncentracije pokazatelja fekalnog onečišćenja među svim vodenim recipijentima utvrđene su vodama recipijentima Poreč sjever. To ne čudi, budući da UPOV Poreč sjever prerađuje uglavnom otpadne vode iz grada Poreča koji ima veliki broj stalnih stanovnika, dok ostali UPOV-i prerađuju uglavnom otpadne vode iz turističkih naselja čije je stanovništvo izrazito sezonsko. Distribucija bakterija indikatora fekalnog onečišćenja vodenim recipijentima UPOV-a Poreč sjever pokazala je povišene koncentracije na površini postaje B i D, slično kampanji uzorkovanja zimi 2019. (Korlević, 2019.) za razliku od one u ljeto 2019. (Korlević i Markovski, 2019.). Veća koncentracija bakterija indikatora fekalnog onečišćenja na površini tijekom zime ne iznenađuje i već je ranije uočena (Paliaga i sur., 2017.). U nedostatku toplinske stratifikacije zimi, *efluent* male gustoće može prijeći cijeli vodeni stupac i raspršiti se na površini. Distribucija koliformnih bakterija u vodenim recipijentima UPOV-a Poreč jug pokazala je nešto drugačiju raspodjelu. Više koncentracije uočene su na površini i u sloju srednjeg stupa postaje D, što je u skladu s nedostatkom stratifikacije vodenog stupca, kao i na ispustu, što ukazuje na moguće uzorkovanje oblaka *efluentne* vode tijekom ispuštanja. Utjecaj lokalnih oceanografskih i vremenskih uvjeta mogao je utjecati na opaženu veću brojnost u donjem sloju postaje B.

Zakonodavstvom Republike Hrvatske (NN 73/2008) definirani su rasponi koncentracije crijevnih enterokoka i *Escherichia coli* radi boljeg upravljanja kvalitetom vode za kupanje. Zakonska regulativa utvrđuje četiri kategorije: izvrsna, dobra, dovoljna i nedovoljno kvalitetna (Tablica 3.). Svi ispitani uzorci ispitani sa postaje C (zona kupanja, 300 m od obale) imali su izvrsnu kvalitetu prema rasponima navedenim u Tablici 3. Osim toga, svi ispitani uzorci iz vodenih recipijenata svih UPOV-a bili su izvrsne kvalitete, s izuzetkom dva uzorka iz vodenih recipijenata UPOV-a Poreč sjever. Ovi uzorci spadaju u kategoriju dobre kvalitete i uzeti su iz površinskog sloja postaja B i D u prvoj seriji.

**Tablica 3.** Referentne vrijednosti za ocjenu mikrobiološke kvalitete mora nakon svakog ispitivanja koje je propisala Republika Hrvatska (NN 73/2008).

Parametar	Izvrсна kvaliteta	Dobra kvaliteta	Dovoljna	Referentne metode analize
Crijevni enterokok (CFU / 100 ml)	< 60	61 – 100	101 – 200	HRN EN ISO 7899-1 ili HRN EN ISO 7899-2
<i>Escherichia coli</i> (CFU / 100 ml)	< 100	101 – 200	201 – 300	HRN EN ISO 9308-1 ili HRN EN ISO 9308-3

## 5 Zaključci

Na temelju enumeracije odabranih bakterija indikatora fekalnog onečišćenja (koliformne bakterije, *Escherichia coli* i crijevni enterokoki) mogu se izvući sljedeći zaključci:

- a) Procijenjene količine odabranih bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u dotoku (*influentu*) tijekom zimske kampanje uzorkovanja 2022. i nakon izgradnje UPOV-a bile su unutar prethodno prijavljenih koncentracija za otpadne vode.
- b) Brojnost bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u efluentima bila je niža nego u influentima. Bolje uklanjanje koliformnih bakterija i *Escherichia coli* uočeno je u UPOV-ima Lanterna i Vrsar nego u UPOV-ima Poreč sjever i Poreč jug. Najbolje uklanjanje crijevnih enterokoka uočeno je na UPOV-u Lanterna, srednje na UPOV-u Vrsar, a najgore u UPOV-ima Poreč sjever i Poreč jug.
- c) Brojnost bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u vodenim recipijentima bila je niža nego tijekom kampanja uzorkovanja zimi i ljeti 2019. godine.
- d) U ovoj kampanji uzorkovanja, vodeni recipijenti UPOV-a Poreč sjever imali su nešto veće količine na površini u usporedbi s ostalim vodenim recipijentima, što ukazuje na izostanak toplinske stratifikacije zimi.
- e) Velika većina uzoraka morske vode klasificirana je kao izvrsna kakvoća u skladu sa zakonodavstvom Republike Hrvatske, s iznimkom dvaju uzoraka iz vodenih recipijenata UPOV-a Poreč sjever, koji su spadali u kategoriju „dobre kakvoće“.

## 6 Literatura

- 2006/7/EZ (2006) Direktiva 2006/7/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 15. veljače 2006. o upravljanju kvalitetom vode za kupanje i stavljanju izvan snage Direktive 76/160/EEZ.
- Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K., i Snozzi, M. (2001) Pokazatelji mikrobne kvalitete vode. U *Kvaliteta vode: Smjernice, norme i zdravlje*. Fewtrell, L. i Bartram, J. (ur.). London: IWA Publishing, str. 289–316.
- Hrvatske vode (2015) Dokumentacija za nadmetanje za provedbu otvorenog postupka javne nabave velike vrijednosti s namjerom sklapanja ugovora o uslugama: Studija ocjene i praćenja učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču.
- Koivunen, J., Siitonen, A., and Heinonen-Tanski, H. (2003) Eliminacija enteričkih bakterija u biološko-kemijskom tretmanu otpadnih voda i jedinicama tercijarne filtracije. *Water Res* **37**: 690–698.
- Korlević, M. (2019) 1. dio: zimsko razdoblje, Rovinj.
- Korlević, M. i Markovski, M. (2019) 2. dio: ljetno razdoblje i stopa raspada fekalnog indikatora, Rovinj.
- Lucas, F.S., Therial, C., Gonçalves, A., Servais, P., Rocher, V., i Mouchel, J.-M. (2014) Varijacije mikrobiološke kakvoće sirove otpadne vode u suhim i vlažnim vremenskim uvjetima. *Environ Sci Pollut Res* **21**: 5318–5328.
- NN 73/2008 (2008) Uredba o kakvoći mora za kupanje.
- NN 79/2013 (2013) Pravilnik o sigurnosti pomorske plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske te načinu i uvjetima obavljanja nadzora i upravljanja pomorskim prometom.
- Paliaga, P., Korlević, M., Ivančić, I., i Najdek, M. (2017) Ograničeni utjecaj primarno pročišćenih otpadnih voda na obilje bakterija, proizvodnju i sastav zajednice u obalnim morskim vodama. *Mar Environ Res* **131**: 215–226.

## 7 Prilog

Fotografije i video snimljeni s R/V Burina tijekom zimske kampanje uzimanja uzoraka 2022. od 17. do 21. siječnja 2022.

**Video 1.** Raspršenost oblaka pročišćene otpadne vode (efluenta) u vodenim recipijentima UPOV-a Poreč sjever (effluent\_dispersal.mp4).



**Slika A1.** R/V Burin.



**Slika A2.** Niskin boce pripravljene za uzorkovanje i plutača korištena za označavanje pozicije ispusta u svrhu orijentacije.

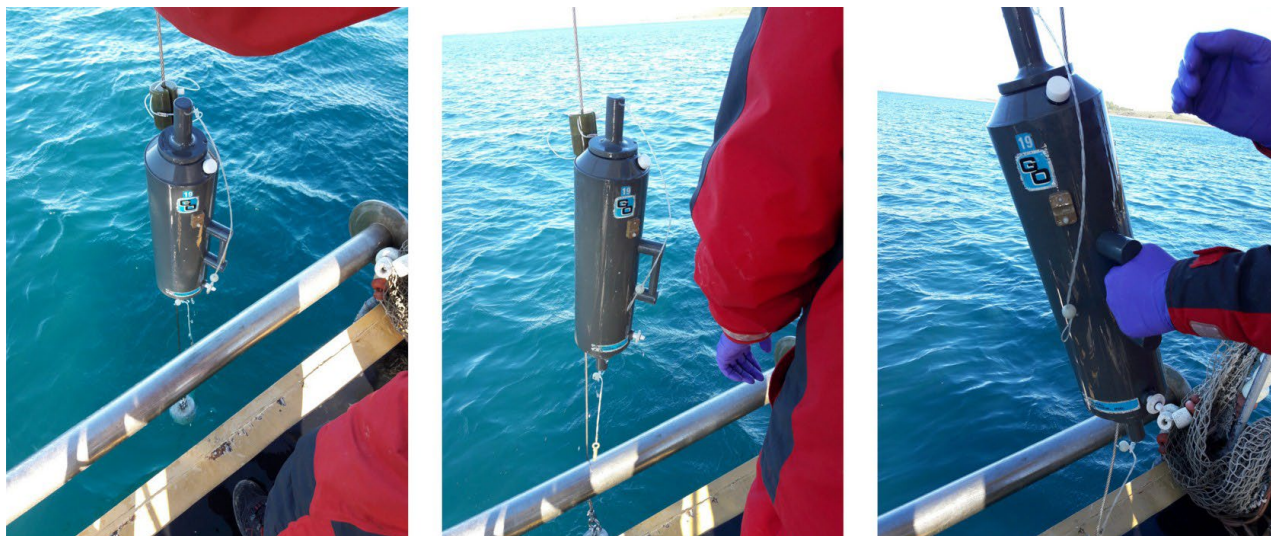


**Slika A3.** Niskin boca na žici pripremljena za uzorkovanje.

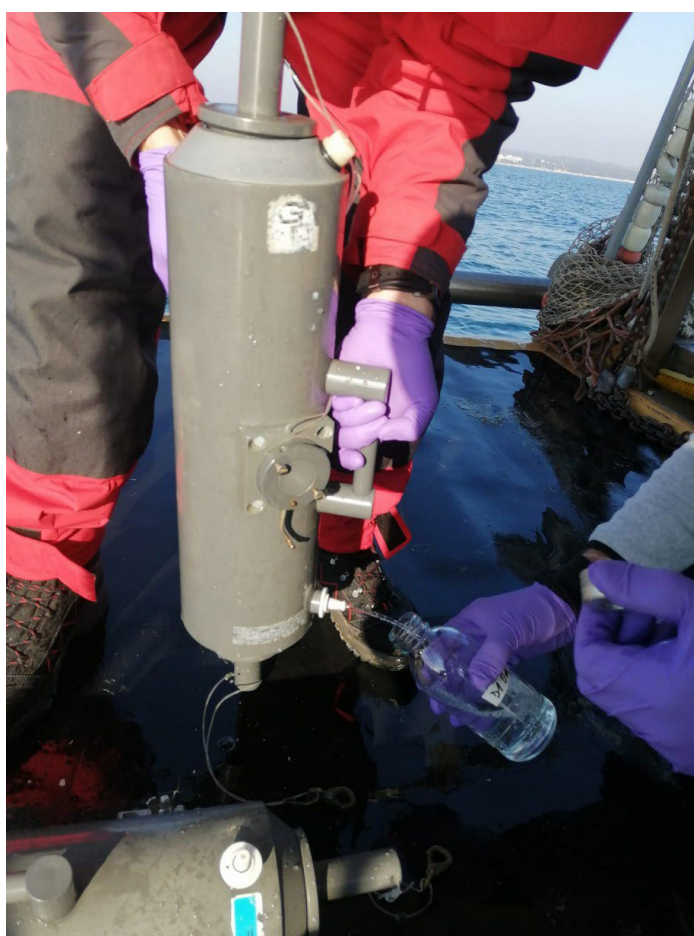


**Slika A4.** Označene sterilne boce koje su korištene za uzorkovanje.





**Slika A5.** Uzorkovanje vodenog stupca korištenjem Niskin boce.



**Slika A6.** Punjenje sterilne boce morskom vodom na mjestu uzimanja uzorka.



**Slika A7.** Vodeni recipijenti UPOV-a Lanterna.



**Slika A8.** Vodeni recipijenti UPOV-a Poreč sjever. Može se zamijetiti raspršenost oblaka pročišćene otpadne vode (efluenta).



**Slika A9.** Pogled izbliza na raspršeni oblak pročišćene otpadne vode u vodenom recipijentu UPOV-a Poreč sjever.



**Slika A10.** Vodeni recipijenti UPOV-a Vrsar.