

Mikrobiološka i sanitarna kontrola u Pješčanoj uvali

Modrušan, Alan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:861746>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-12**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Juraj Dobrila u Puli

Fakultet Prirodnih Znanosti

Znanost o Moru

Završni Rad

Sanitarna Kontrola u Pješčanoj Uvali

Alan Modrušan

Mentor: Doc. Dr. Sc Paolo Paliaga



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Alan Mochrišam kandidat za prvostupnika Znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Alan M

U Puli, 29.06.2023



IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, Alan Modrušan dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom Mikrobiološke i Sanitarna kontrola u Pješčenom Uvali.

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 29.06.2023

Potpis

Alan M.

Sadržaj

Kratice	1
Sažetak.....	1
1.Uvod	1
2.Materijali i Metode	6
2.1 Prikupljanje uzoraka i <i>in situ</i> mjerenja.....	6
2.2 Određivanje koncentracije fekalnih indikatora	6
2.3 Određivanje koncentracija morske autohtone mikrobne zajednice	7
2.4 Postaje uzorkovanja.....	7
3.Rezultati.....	10
3.1 Analiza rezultata – Temperatura.....	10
3.2 Analiza rezultata - Salinitet	14
3.3 Analiza rezultata - pH.....	18
3.4 Analiza rezultata – Saturacija kisikom.....	22
3.5 Analiza rezultata – <i>Esherichia coli</i>	26
3.6 Analiza rezultata – Fekalni streptokoki	30
3.7 Analiza rezultata – Heterotrofni prokarioti	34
3.8 Analiza rezultata – Heterotrofni nanoflagelati	38
3.9 Analiza rezultata – Cijanobakterije	42
4. Diskusija.....	46
5. Zaključak	57
Literatura	58

Kratice

EC-*Escherichia coli*

FS-Fekalni Streptokoki

FI-Fekalni Indikatori

HP-Heterotrofni prokarioti

HNF-Heterotrofni nanoflagelati

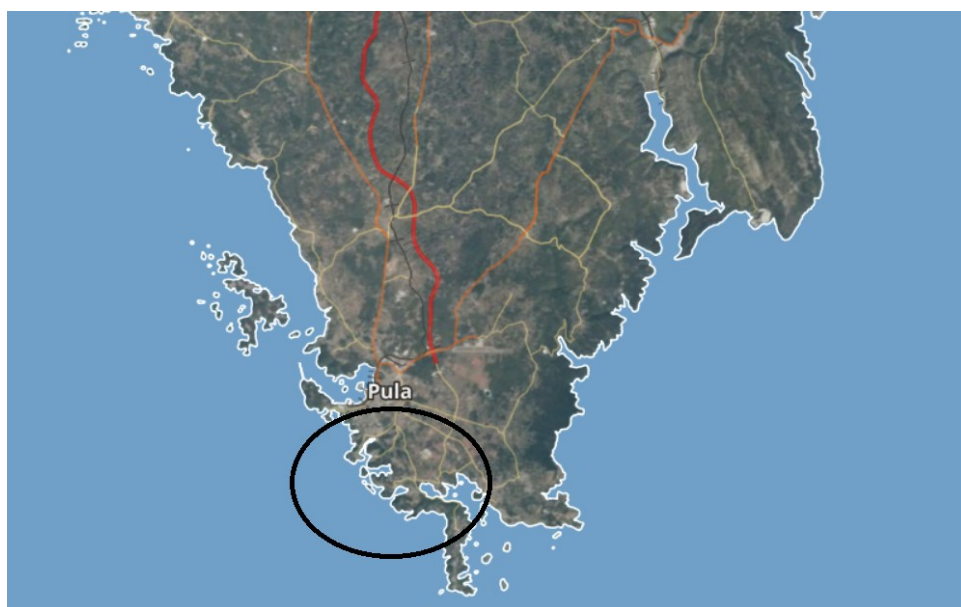
CB-Cijanobakterije ,

BIK-Broj izraslih kolonija

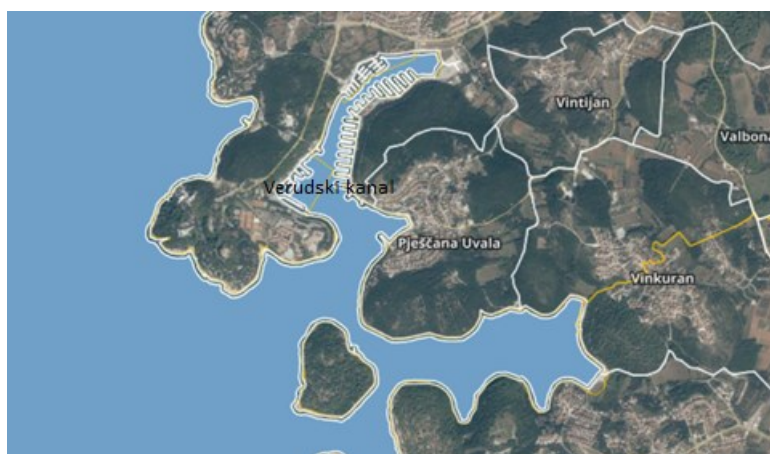
CFU-*Colony forming unit*(Eng.)

1.Uvod

Pješčana Uvala smještena je u Verudskom kanalu, uz obalu istoimenog naselja u Općini Medulin blizu granice sa Gradom Pulom. Uvala se na talijanskome zove *Valsabbion*, otkuda je i Pješčana uvala dobila ime, prijevodom na hrvatski (Jovanović, 2017). Danas pijesak po kojem je dobila ime je teško pronaći na plažama, a glavni krivac je povijesno bila industrija vađenja pijeska i nasipavanje šljunka u zadnjim desetljećima. U to doba uvala je drukčije izgledala a glavna razlika je bila manjak lukobrana. Razvojem turizma plaže su uređene nanosima šljunka i s vremenom je pijesak postao rijetkost, no i dan danas nakon jakih oluja kad se nanese materijal pomakne može se vidjeti pijesak. Na slikama 1 i 2 prikazana je lokacija Pješčane uvale. Na slici 3 je panoramska slika uvale.



Slika 1. Prikaz lokacije Pješćane Uvale u južnoj Istri. (Izvor slike: DGU geoportal, pristupljeno 27.04.2023. Dostupno na: <https://geoportal.dgu.hr/>)



Slika 2. Lokacija Pješćane Uvale u okolici Pule, može se vidjeti Verudski kanal. (Izvor slike: DGU geoportal, pristupljeno 27.4.2023. Dostupno na: <https://geoportal.dgu.hr/>)



Slika 3. Pješćana Uvala iz zraka, slikana sa zapadne strane. (Izvor slike: Medulin riviera, pristupljeno 27.04.2023. Dostupno na: <https://www.medulinriviera.info/hr/places/pjescana-uvala/>)

U priobalju pješćane uvale unazad zadnjih 50 godina naglo se razvilo naselje koje broji oko 550 stanovnika danas (Državni zavod za statistiku, 2022). Blizina Puli te lijepa i mirna uvala doveli su do značajnog razvoja turizma. Zbog toga populacija naselja se sezonski povećava za otprilike 6 puta tokom ljeta. Ovakav razvoj doveo je do određenih diskutabilnih zahvata u razvoju naselja kao naprimjer spajanje oborinskih voda i kanalizacijskih koje tokom jakih pljuskova mogu prekoračiti prihvatni kapacitet sustava odvodnje i voditi do izbijanja šahtova te izlivanja miješane oborinske i otpadne voda u more, pogotovo u ljeto kada je kanalizacija preopterećena većem brojem korisnika. Relativna zatvorenost južnog dijela uvale zbog lukobrana može uzrokovati zadržavanje i nakupljanje patogenih bakterija i ostalih nečistoća iz otpadnih voda u uvali, gdje postanu opasnost za ljude i životinje. (Olds i sur, 2018)

Stoga, kako bi se očuvalo zdravlje kupaca uvale važno je provoditi redovno praćenje sanitarne kvalitete mora na spomenutoj lokaciji.

Pregled dostupne literature pokazala je da su podaci o stanja okoliša u uvali izrazito oskudni, pa je ovo prvo istraživanje praćenje hidrografskih i mikrobioloških uvjeta na toj lokaciji.

Stoga, kroz praćenje cjelogodišnje sezonske dinamike fekalnih bakterija i autohtonih bakterija želi se pružiti prvi stručni uvid u sezonskim promjenama opterećenja Pješčane uvale fekalnim materijalom i organskim tvarima. Dobiveni podaci bi mogli poslužiti boljem upravljanju i prostornom planiranju na području Pješčane uvale koji bi osigurao veću sanitarnu sigurnost i poboljšao estetske uvjete same uvale.

Fekalno onečišćenje je bilo kakva kontaminacija, u ovom slučaju mora, materijalom fekalnog porijekla. Osim neugodnog mirisa u ovoj vodi se nalaze mnoge bakterije, virusi i ostali patogeni koji mogu predstavljati potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi. S obzirom da je raznolikost patogenih mikroorganizama vrlo visoka, njihovo detektiranje i kvantifikacija predstavljaju izuzetno kompleksan zadatak. Osim toga mnogi uzročnici nemaju mogućnost laboratorijskog uzgoja, stoga bi njihovo prebrojavanje bilo skupo, i ponekad neizvedivo. Zbog toga su razvijeni fekalni indikatori (FI). Fekalni indikatori mogu biti mikrobiološki, kemijski i molekularni. Danas se najčešće za monitoringe koriste klasični fekalni indikatori koji uključuju bakterije koje su relativno jednostavne za uzgoj. Koristeći njihovih koncentracija pokušava se odgovoriti na pitanje jesu li patogeni mikroorganizmi prisutni u količini koja predstavlja neprihvatljivi rizik za ljudsko zdravlje. U ovome istraživanju korištena su 3 različita FI: *Esherichia coli* (EC), Fekalne streptokoke (FS) i Fekalne koliforme (FK). Fekalno onečišćenje može uzrokovati mnoge bolesti i infekcije poput: enteritisa, infekcije uha i oka, infekcije i osipe na koži, probleme sa dišnim sustavom.

More ima svoju mikrobiološku zajednicu. Nju čine prokarioti poput bakterija i arheja te jednostanični eukarioti poput protista i gljiva, virusi se također smatraju dijelom zajednice. Unutar zajednice postoje foto i kemo autotrofi koji pokreću cijeli sustav primarnom produkcijom. Osim primarne produkcije, mnogi heterotrofni organizmi zajednice sudjeluju u sekundarnoj produkciji, recikliranju organskog ugljika i

nutrijenata iz okolnog mora (Fuhrman i sur., 2015). U ovome istraživanju fokus je bio na cijanobakterije kao autotrofnu komponentu te heterotrofne prokariote i heterotrofne nanoflagelate kao heterotrofnu komponentu morske mikrobiološke zajednice. Cijanobakterije (CB) su skupina gram negativnih bakterija sa fotosintetskim pigmentima, iako neke vrste nemaju mogućnost fotosinteze, smatraju se jednom od najstarijih oblika života na zemlji te prvima koji su proizvodili kisik. Sastoje se od preko 2000 različitih vrsta te se mogu pronaći u slatkim i slanim vodama. Osim što proizvode O_2 kao nusprodukt procesa fotosinteze, fiksiraju N_2 i čine limitirajući nutrijent nitrat (NO_3^-) u moru dostupnijim (Garcia-Pichel, 2009). U pravilu imaju veličinski raspon od 1 do 100 μm te im brojnost ovisi o dostupnosti nutrijenata, u Jadranskom moru brojnost im je u prosjeku u rasponu od $0,2 \times 10^4$ do $1,2 \times 10^4$ stanica/ml (Baza podataka CIM Rovinj). Heterotrofni prokarioti (HP) su skupina organizama koji većinu svoje energije dobivaju iz organskog ili anorganskog ugljika. Igraju ključnu ulogu u ciklusu ugljika i nutrijenata u moru jer remineraliziraju organsku tvar i na taj način povećavaju dostupnost ugljika u obliku CO_2 i nutrijenata u moru (Kim i sur., 2023). U pravilu su manji od 0,6 μm . Jedni su od prvih organizama koji su se razvili na Zemlji te su zajedno sa autotrofnom komponentom prokariota predstavljali glavninu organizama na Zemlji sve do pojave većine eukariotskih skupina za vrijeme Kambrijske eksplozije prije 500×10^6 godina (Doglioni i sur. 2016). Brojnost HP u Jadranskom moru je u prosjeku unutar raspona od $0,6 \times 10^6$ do $1,0 \times 10^6$ (Baza podataka CIM Rovinj). Heterotrofni nanoflagelati (HNF) su predatori mikrobiološke morske zajednice. Pošto su veći od bakterija njih koriste kao glavni izvor hrane. Hrane se predacijom nad heterotrofnim bakterijama. Smatraju se jako bitnima u mikrobnom ciklusu jer povezuju više i niže hranidbene mreže, dovode energiju iz bakterija do većih organizama. To je moguće zbog njihove veličinskog raspona od 2 do 20 μm koji je mnogo (do 33) puta veći od heterotrofnih prokariota (Safi i Hall, 1999). Očekivana brojnost HNF-a u Jadranskom moru je u rasponu od $0,5 \times 10^3$ do $1,2 \times 10^3$ stanica/ml (Baza podataka CIM Rovinj).

2. Materijali i Metode

2.1 Prikupljanje uzoraka i *in situ* mjerenja

Uzorci morske vode sakupljeni su sterilnim plastičnim bocama od 500 ml, sa 50 cm dubine te su potom odmah spremljeni u hladnjak kako bi se umanjio baktericidni učinak sunca. Za praćenje hidrografskih uvjeta korištena je multiparameterska sonda (HANNA Instruments) koja je spuštana na 50 cm ispod površine i mjerila temperaturu, saturaciju kisikom, pH i salinitet morske vode. Sakupljeni uzorci preneseni su u prijenosnom frižideru do laboratorija za morsku mikrobnu ekologiju Centra za Istraživanje mora u Rovinju gdje su dalje obrađeni.

2.2 Određivanje koncentracije fekalnih indikatora

Za analizu sanitarne kvalitete mora prije uzorkovanja pripremljene su krute hranjive podloge u petrijevim zdjelicama.

Za određivanje sanitarne kvalitete mora korišteni su klasični indikatori fekalnog onečišćenja: *Esherichia coli* (EC), fekalni streptokoki (FS) i fekalni koliformi (FK). Prikupljeni uzorci vode analizirani su u laboratoriju metodom membranske filtracije. Za svaku lokaciju uzorkovanja i za svakog indikatora filtrirano je 100 ml morske vode kroz membranski filter s porama od 0,45 mikrometara. Potom su filtri nasađeni na selektivni agar u petrijevim zdjelicama.

Za *E. coli* korišten je CCA (*Chromogenic Coliforms Agar*) kromogeni agar, inkubacija je odrađena na temperaturi od 36 ± 2 °C kroz 24 sata. Nakon inkubacije brojale su se sve kolonije koje su pokazale karakteristične boje: tamnoplavu i ljubičastu. Konačan broj izbrojanih kolonija nam daje CFU (*Colony forming unit*) ili na hrvatskome BIK (Bakterijske izrasle kolonije), izražen u 100ml morske vode (WHO, 1994).

Za Fekalne streptokoke korišten je Slanetz-Bartley agar, inkubacija je odrađena na temperaturi 36 °C kroz 48 sati. Potom su brojane sve kolonije crvene boje kao FS te je konačan rezultat dan u CFU ili BIK na 100ml morske vode (WHO, 1994).

Za Fekalne koliforme korišten je Faecal coliforms agar, inkubacija je odrađena na temperaturi od 44,5 °C kroz 24 sata. Nakon inkubacije brojane su plave kolonije. Rezultati su izraženi kao BIK/100ml (WHO, 1994).

2.3 Određivanje koncentracija morske autohtone mikrobne zajednice

Tijekom istraživanja kvantificirane su koncentracije odabranih komponenti morske mikrobne zajednice (heterotrofni prokarioti - HP, cijanobakterije - CB i heterotrofni nanoflagelati – HNF). Uzorci mora sakupljeni su polikarbonatskim bocama od 20ml i fiksirani formaldehidom do završne koncentracije od 2%. Potom su pipetirani poduzorci od 2ml u lijevke za filtraciju te im je dodana DAPI boja(4,6-diamidino-2-fenildolom, konačna koncentracija 1ug/ml otopine). Pušteni su da miruju 10 minuta te su potom filtrirani skroz crne polikarbonatne filtre sa porama veličine 0,2 µm.

Koncentracija heterotrofnih prokariota utvrđena je epifluoroscetnim mikroskopom sa povećanjem od 1000x pod UV svjetlom. Abundancija heterotrofnih nanoflagelata je dobivena također prebrojavanjem na mikroskopu pod UV svjetlom dok je koncentracija cijanobakterija određena korištenjem zelenog svjetla uz pomoć njihove autoflorescencije.

2.4 Postaje uzorkovanja

Uzorkovanje je provedeno jednom po svakoj sezoni kako bi mogli pratiti promjene uvjeta u moru uzorkovanih klimom i promjenama u prisutnosti ljudi. Sva su uzorkovanja obavljena u periodima kada nije bilo značajnijih prethodnih kiša.

Uzorkovanja i mjerenja izvedena su na 6 lokacija, 5 unutar uvale te jedna sa druge strane lukobrana koja je služila kao kontrolna točka. Sakupljeni podaci obrađeni su pomoću softvera SURFER 13 (GOLDEN software) koji je omogućio grafički prikaz raspodjele parametra istraženog područja.

Kanalizacijski šahtovi koji propuste pri jakim olujama se skoro svi nalaze sa južne, zatvorene strane i to je razlog zbog kojeg je izabran veći broj postaja sa južne strane.

Postaja HV je specifična jer se jedina nalazi na sjevernoj strani uvale, blizu nje se nalazi ispust za oborinske vode i kolektor za otpadne vode.

Postaja UI se nalazi na najjužnijem dijelu plaže, kod ulaza za invalide. Blizu nje se nalazi kanalizacijski šaht koji zna popustiti za vrijeme jakih kiša, oko šahta prema moru moguće je nakon jakih pljuskova vidjeti ostatke wc papira zalijepljenih na asfaltu. Također se u blizini nalazi ispust za oborinske vode.

Postaja L se nalazi u športskoj lučici, između dva mola, blizu nje se nalazi kanalizacijski šaht koji zna za vrijeme jakih kiša popustiti. Tokom jakih pljuskova ponekad je moguće i osjetiti miris otpadnih voda te vidjeti ostatke wc papira i drugih očekivanih komponenta kanalizacije.

Postaja SL se nalazi na početku lukobrana, zbog morfologije uvale ovo područje je često lokacija sakupljanja organskog materijala poput želatinoznih organizama poput rebraša ili iglica borova.

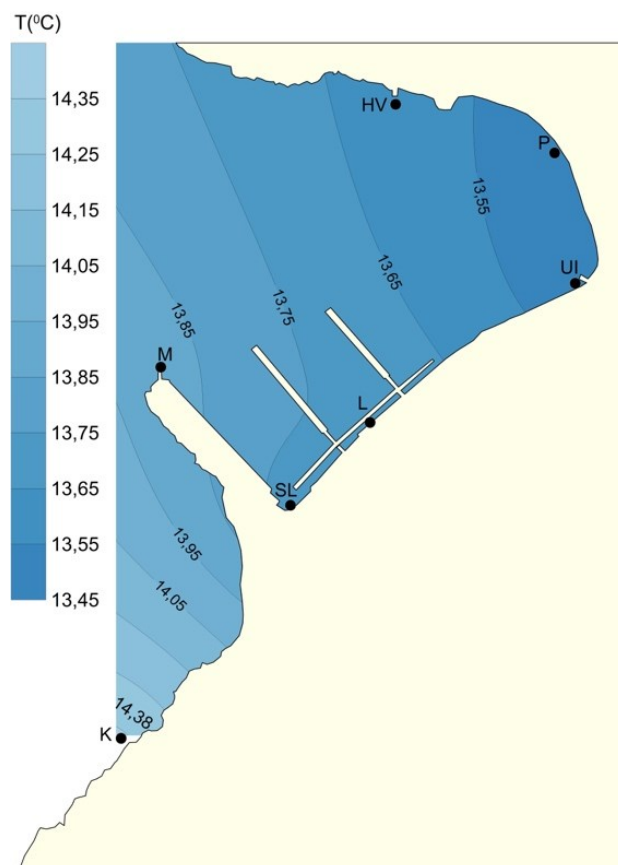
Postaja K se nalazi sa druge strane lukobrana, u Verudskom kanalu. Za razliku od uvale ima puno veću izmjenu vode i pod manjim je antropogenim utjecajem.



Slika 4 Prikaz svih postaja na karti. (Izvor slike: Google Earth, pristupljeno 03.07 2023.
Dostupno na: <https://earth.google.com>)

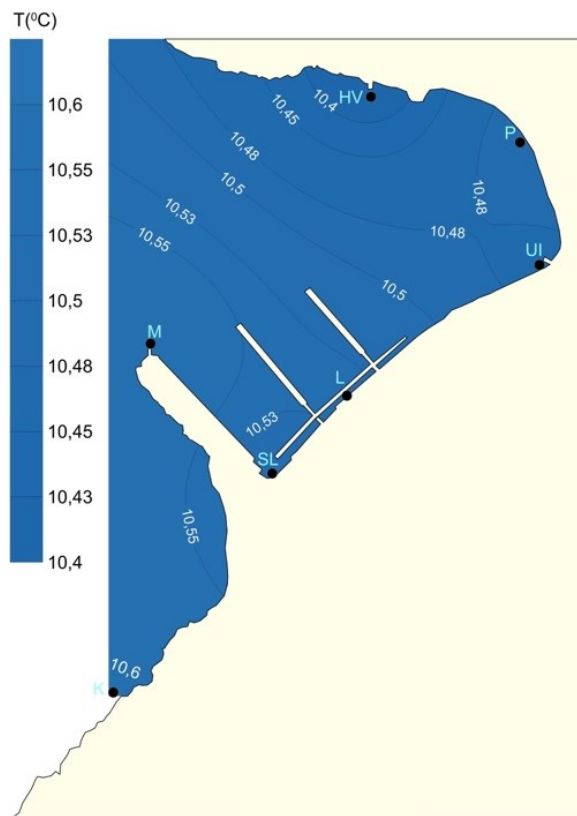
3.Rezultati

3.1 Analiza rezultata – Temperatura



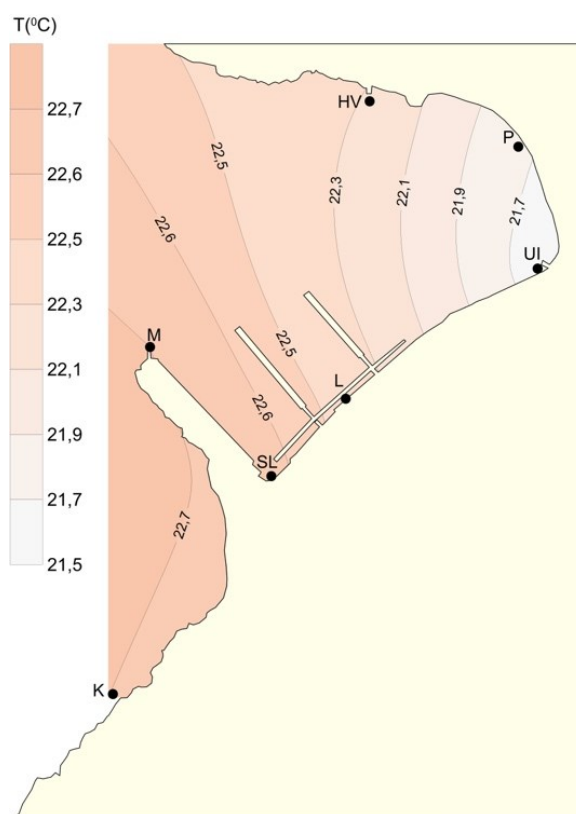
Slika 5. Prikaz raspodjele T za jesen 2021.

Temperatura je u jesen iznosila u prosjeku $13,66 \pm 0,16$ °C. Najniža izmjerena vrijednost je bila u najplićem dijelu uvale oko postaje UL i iznosila je 13,49 °C. Na slici 5 može se uočiti kako temperatura postepeno raste prema izlazu uvale. Na kontrolnoj postaji izmjereno je 14,38 °C što je ujedno bila i najveća temperatura.



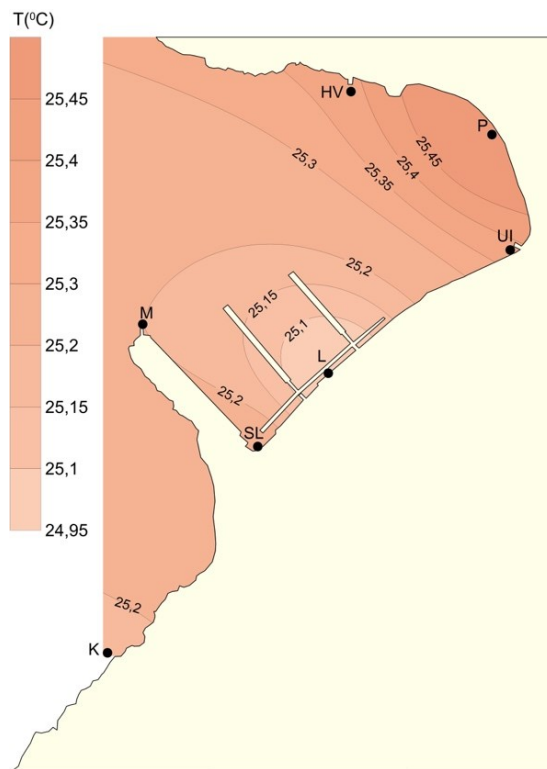
Slika 6. Prikaz raspodjele T za zimu 2022.

Temperatura je zimi imala prosječnu vrijednost od $10,5 \pm 0,07^\circ\text{C}$. Vrijednosti su varirale unutar umjerenog raspona s maksimalnim razlikama od $0,2^\circ\text{C}$ među postajama. Najmanja temperatura je izmjerena na postaji HV gdje je iznosila $10,4^\circ\text{C}$ dok je najveća bila izvan uvale, na kontrolnoj postaji K ($10,6^\circ\text{C}$).



Slika 7. Prikaz raspodjele T za proljeće 2022.

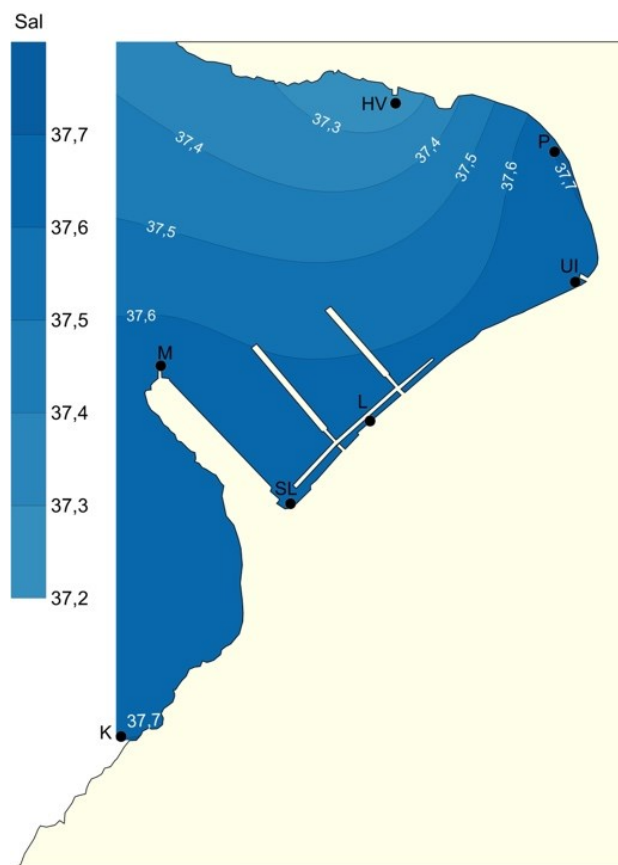
Prosječna temperatura u proljeće je u uvali bila $22,24 \pm 0,47$ °C. Maksimum je bio izmjeren oko postaje SL gdje je izmjerena temperatura od 22,64 °C. Minimum je izmjeren oko postaje UI te je iznosio 21,59 °C. Na slici 7 se može vidjeti kako je temperatura rasla prema izlazu iz uvale i na kontrolnoj postaji K je bila 22,7 °C.



Slika 8. Prikaz raspodjele T za ljeto 2022.

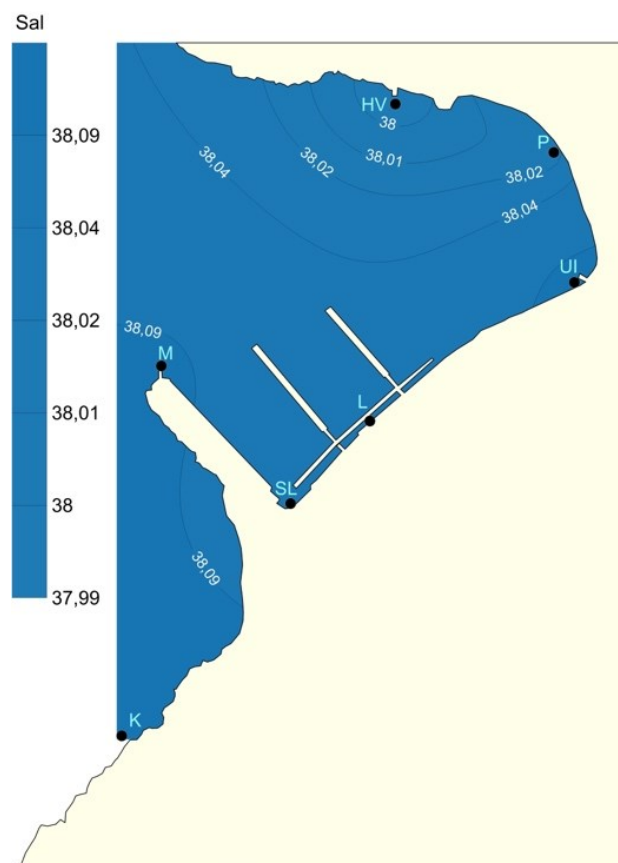
Temperatura u ljeti nije imala velike oscilacije te je imala prosječnu vrijednost od $25,3 \pm 0,2$ °C. Najveća izmjerena temperatura je bila 25,58 °C oko postaje P. Najmanja temperatura je bila 24,99 °C, izmjerena kod postaje L. Izvan uvale bila je izmjerena temperatura od 25,18 °C kod postaje K.

3.2 Analiza rezultata - Salinitet



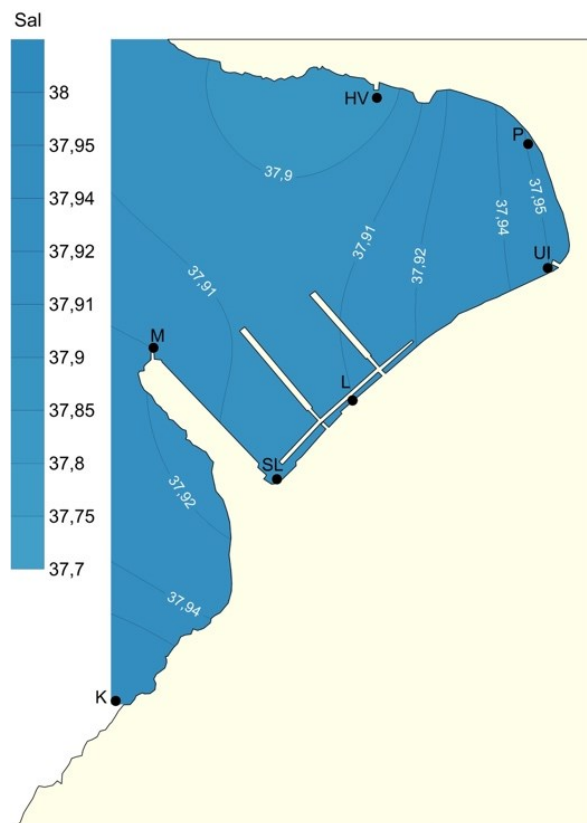
Slika 9. Prikaz raspodjele S za jesen 2021.

Salinitet je u jesen imao prosječnu vrijednost od $37,59 \pm 0,19$. Raspon vrijednosti saliniteta bio je dosta umjeren sa vrijednostima koje su se najviše razlikovale za 0,5. Najniži salinitet je izmjeren na postaji HV gdje je iznosio 37,2. Najveća vrijednost je bila izmjerena na kontrolnoj postaji K gdje je iznosila 37,7. U pravilu je vrijednost rasla udaljavanjem od postaje HV.



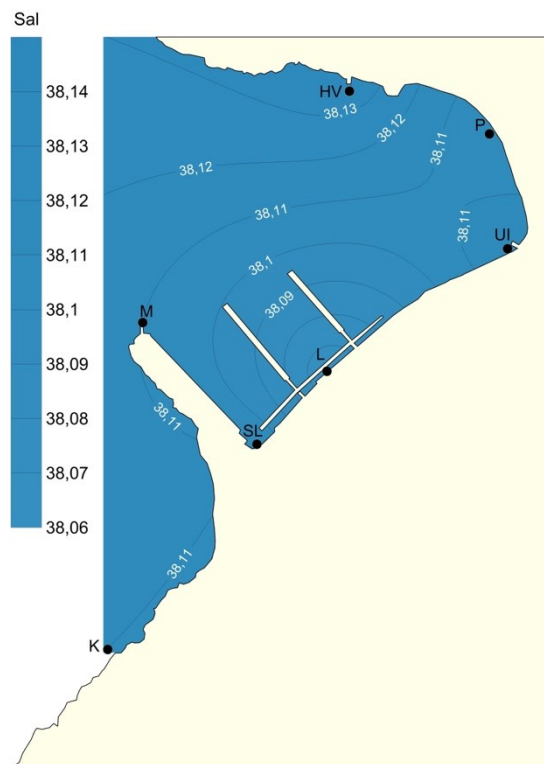
Slika 10. Prikaz raspodjele S za zimu 2022.

Salinitet je u zimi imao prosječnu vrijednost od $38,06 \pm 0,05$. Vrijednosti su bile jako ujednačene s umjerenim rasponom i najvećom razlikom od 0,12. Najmanja vrijednost saliniteta je izmjerena bila na postaji HV gdje je iznosila 37,99. Najveći salinitet je izmjerena na dvije lokacije a to su postaja UI i kontrolna postaja K.



Slika 11. Prikaz raspodjele S za proljeće 2022.

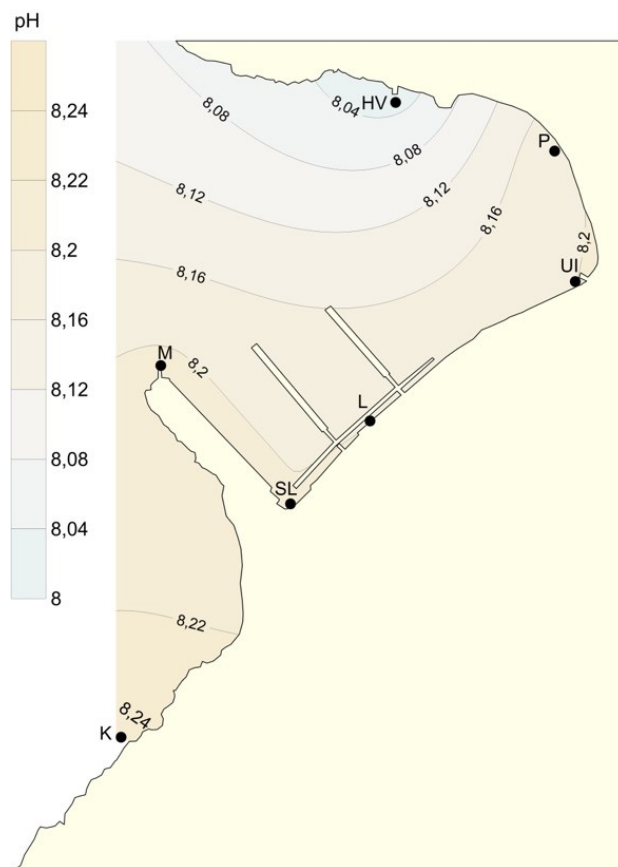
Salinitet je u proljeće bio poprilično ujednačen i nije pokazivao značajne oscilacije te je imao prosječnu vrijednost od $37,92 \pm 0,03$. Postaja HV je jedina lokacija gdje je salinitet bio malo manji sa vrijednošću od 37,89. Najveći salinitet je bio izmjeren oko postaje P i UI (37,95). Izvan uvale na kontrolnoj postaji salinitet je iznosio 37,97.



Slika 12. Prikaz raspodjele S za ljetu 2022.

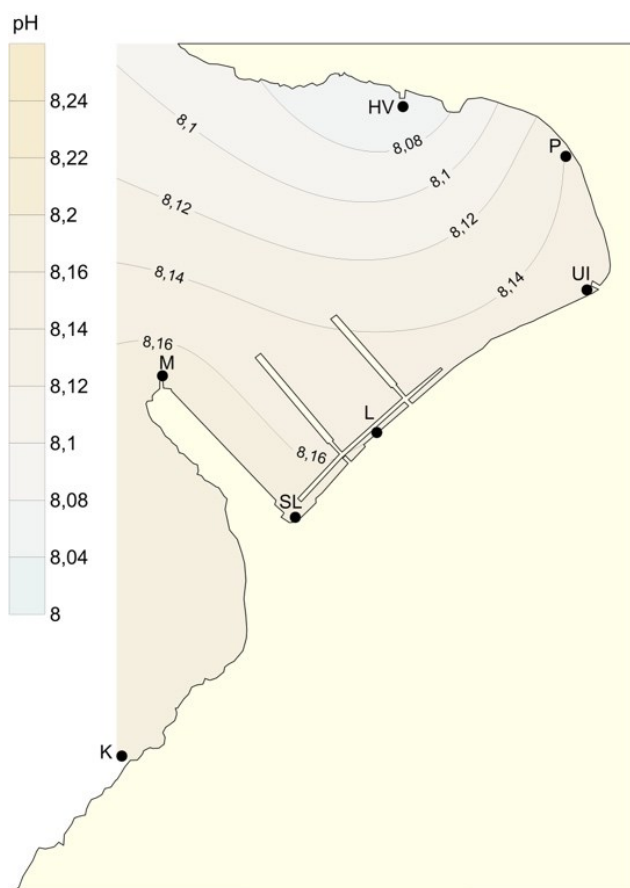
Salinitet je u ljeti također bio dosta ujednačen, prosječna vrijednost mu je bila $38,1 \pm 0,03$. Najveći izmjereni salinitet je bio 38,14 kod postaje HV a najmanji 38,06 kod postaje L. Izvan uvale je na kontrolnoj postaji K bila izmjerena ista vrijednost kao i na postaji SL od 38,11.

3.3 Analiza rezultata - pH



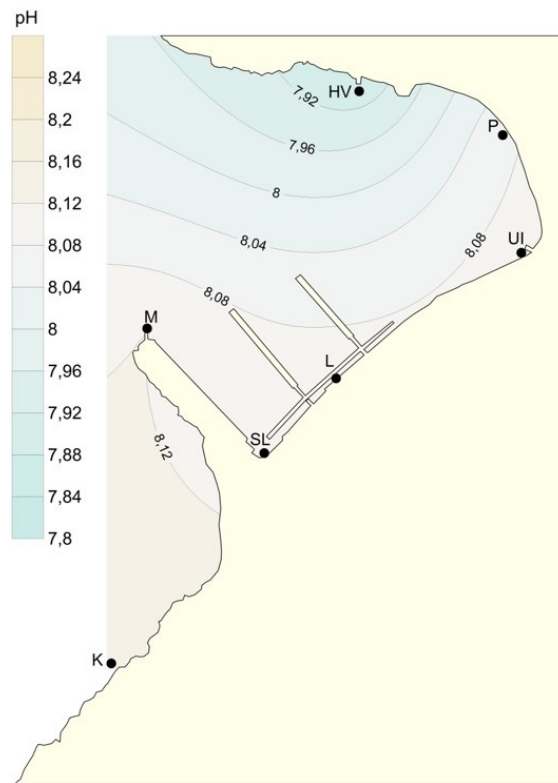
Slika 13. Prikaz raspodjele pH za jesen 2021.

pH je u jesen imao prosječnu vrijednost od $8,17 \pm 0,07$. Sve postaje osim postaje HV su imale pH oko 8,2, koji je uobičajen za površinu mora dok je pak na postaji HV izmjeren najmanji pH koji je iznosio 8,01. Najveći je opet izmjeren pH bio na kontrolnoj postaji K gdje je iznosio 8,23. Vrijednosti su pokazale porast udaljavanjem od postaje HV.



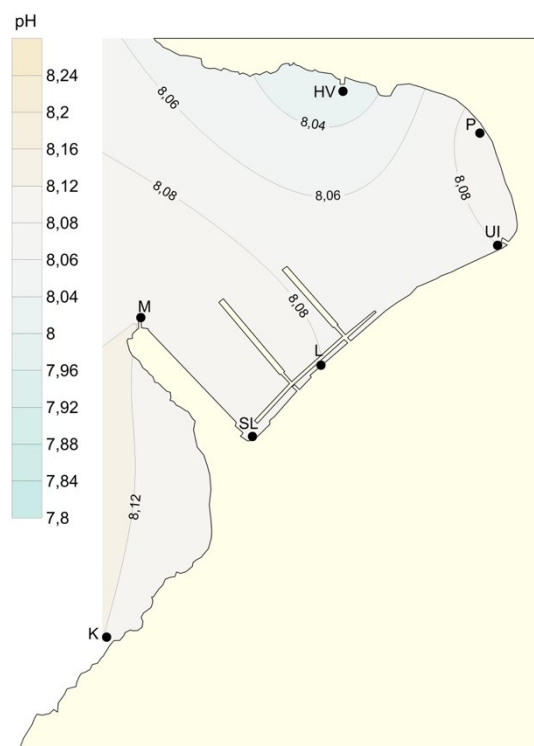
Slika 14. Prikaz raspodjele pH za zimu 2022.

pH je u zimi imao prosječnu vrijednost od $8,14 \pm 0,04$. Najmanja vrijednost mu je bila izmjerena na postaji HV gdje je iznosila 8,05. Na slici 14 se može vidjeti da je udaljavanjem od postaje HV pH rastao. U ostatku uvale vrijednosti su bile izrazito slične i varirale između 8,14-8,16. Najveća vrijednost je bila izmjerena na kontrolnoj postaji K gdje je iznosila 8,18.



Slika 15. Prikaz raspodjele pH za proljeće 2022.

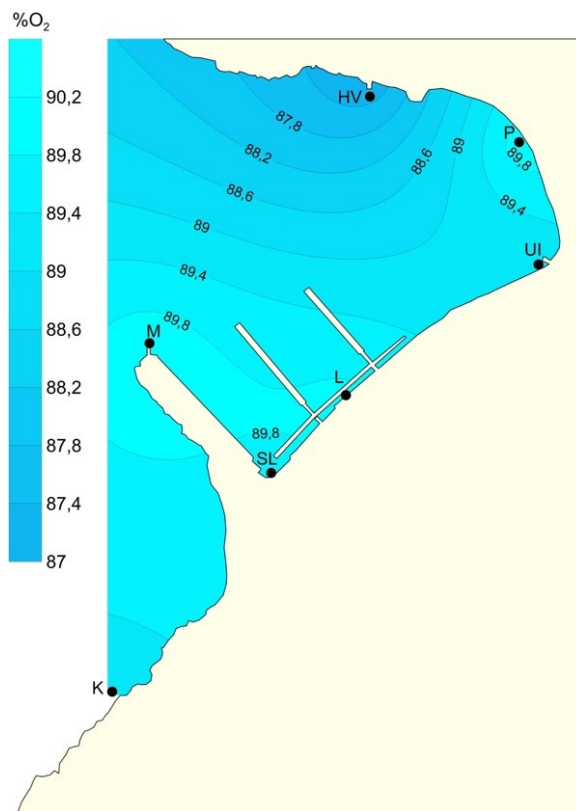
pH je u proljeće imao prosječnu vrijednost od $8,06 \pm 0,09$. Najniža vrijednost mu je bila izmjerena oko postaje HV gdje je iznosila 7,88, ovo je ujedno i najniži pH izmjeren u svim mjerenjima. Na slici 15 se može vidjeti da je udaljavanjem od postaje HV rastao pH. U ostatku uvale pH je bio viši od 8,0. Najviši je bio izmjeren uz južnu stranu uvale, kod postaja UI, L i SL, gdje je izmjeren 8,1. Najveća vrijednost je bila izmjerena izvan uvale i izmjeren je bio pH od 8,15 na kontrolnoj postaji K.



Slika 16. Prikaz raspodjele pH za ljetu 2022.

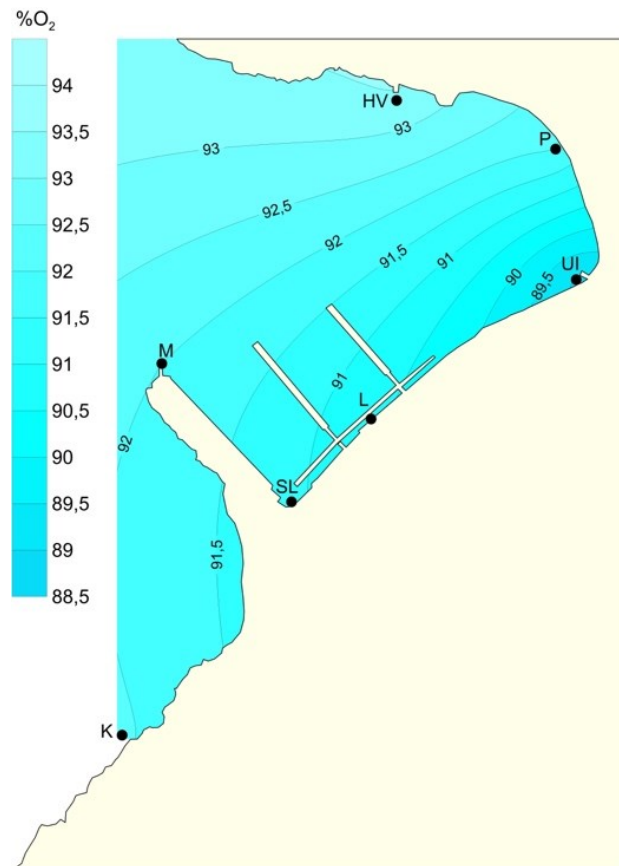
pH je bio imao prosječnu vrijednost od $8,08 \pm 0,04$ u ljetu. Najveća vrijednost mu je bila oko postaje SL gdje je izmjerena 8,11. Najmanja izmjerena je opet bila kod postaje HV gdje je izmjereno 8,02. pH je približavanjem izlazu iz uvale rastao do 8,12, koliko je izmjeren na postaji K.

3.4 Analiza rezultata – Saturacija kisikom



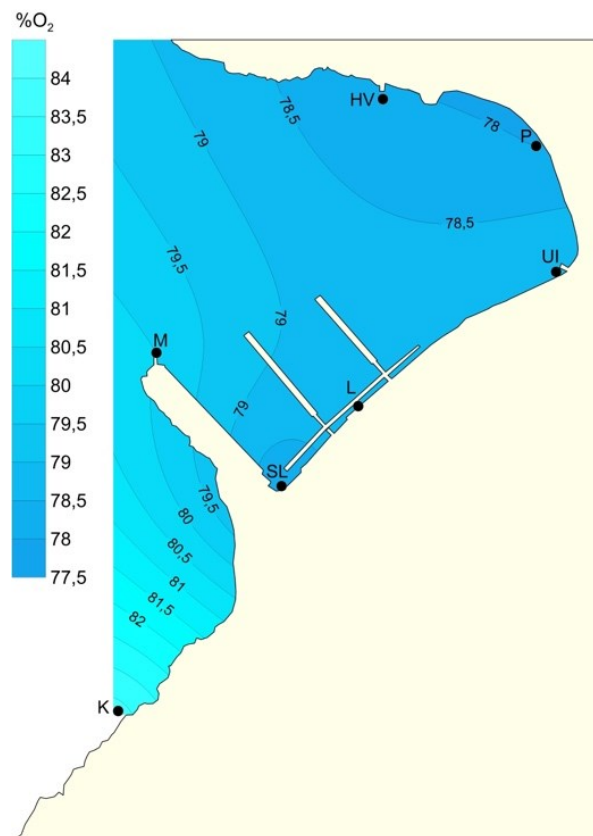
Slika 17. Prikaz raspodjele %O₂ za jesen 2021.

Saturacija kisikom je u jesen u prosjeku iznosila $89,28 \pm 1,18\%$. Najniža vrijednost izmjerena je na postaji HV gdje je iznosila 87%. Udaljavanjem od postaje HV saturacija kisikom je rasla. Već na postaji UI koja je u blizini izmjereno je 90%, koja je ujedno i najveća vrijednost izmjerena u uvali najvjerojatnije zbog prisutnosti zelenih bentosnih makroalgi. Van uvale kontrolna postaja K je imala vrijednost od 89,2%.



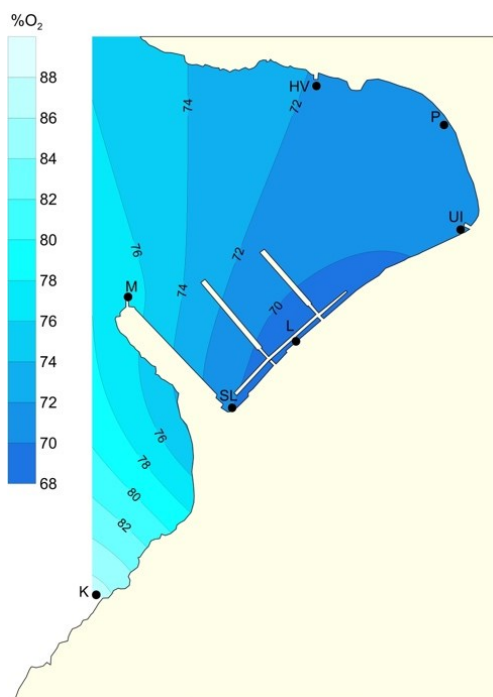
Slika 18. Prikaz raspodjele %O₂ za zimu 2022.

Saturacija kisikom je u zimi imala prosječnu vrijednost od $91,367 \pm 1,58\%$. Najmanja vrijednost je bila izmjerena oko postaje UI gdje je iznosila 88,9%. Najveća saturacija je pak bila na postaji HV gdje je bilo izmjereno 93,6%. Van uvale oko kontrolne postaje K saturacija je bila 92,1%.



Slika 19. Prikaz raspodjele %O₂ za proljeće 2022.

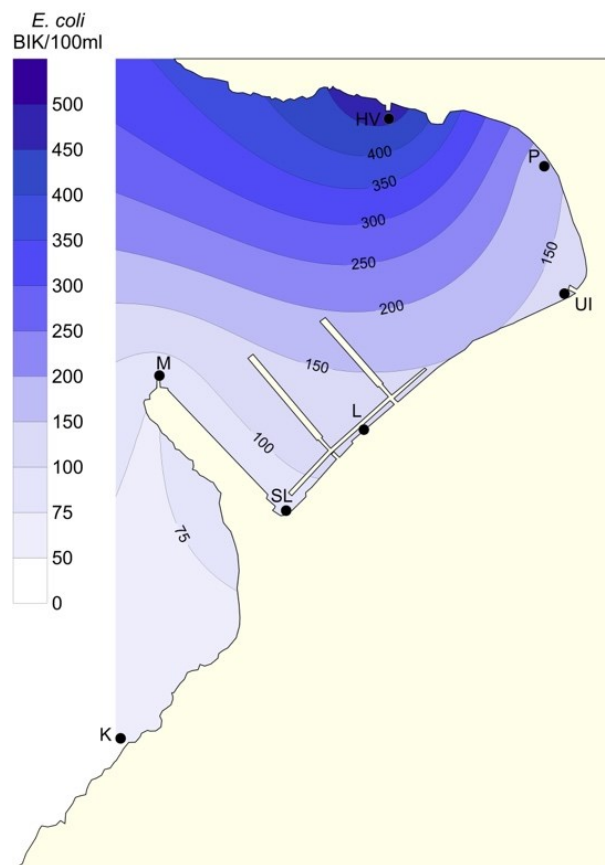
Saturacija kisikom je u proljeće u uvali imala svoju najnižu izmjerenu prosječnu vrijednost dosad, izmjereno je bilo $78,67 \pm 0,8\%$. Oko postaja HV i P bila je izmjerena najniža saturacija kisika koja je iznosila 78%. Najveća saturacija kisikom u uvali je bila izmjerena oko postaja UI i L gdje je izmjerena 79%. Izvan uvale saturacija je rasla i na kontrolnoj postaji K je bila izmjerena vrijednost od 83,8%.



Slika 20. Prikaz raspodjele % O₂ za ljetu 2022.

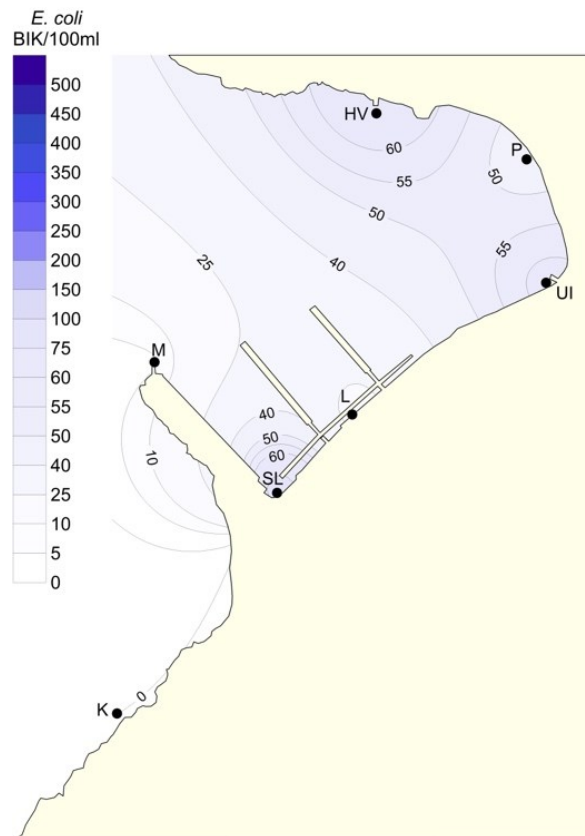
Saturacija kisikom je bila imala prosječnu vrijednost od $71,45 \pm 2,88\%$ u ljeti, manje nego u proljeće. Saturacija je bila najmanja oko postaje L gdje je iznosila 68,9%. Unutar uvale najveća izmjerena saturacija je bila 71,9% oko postaje HV. Na slici 20 može se vidjeti kako je minimalna vrijednost bila uz južnu stranu i kako je saturacija kisikom naglo rasla izvan uvale i kod kontrolne postaje K je iznosila 87,3%.

3.5 Analiza rezultata – Esherichia coli



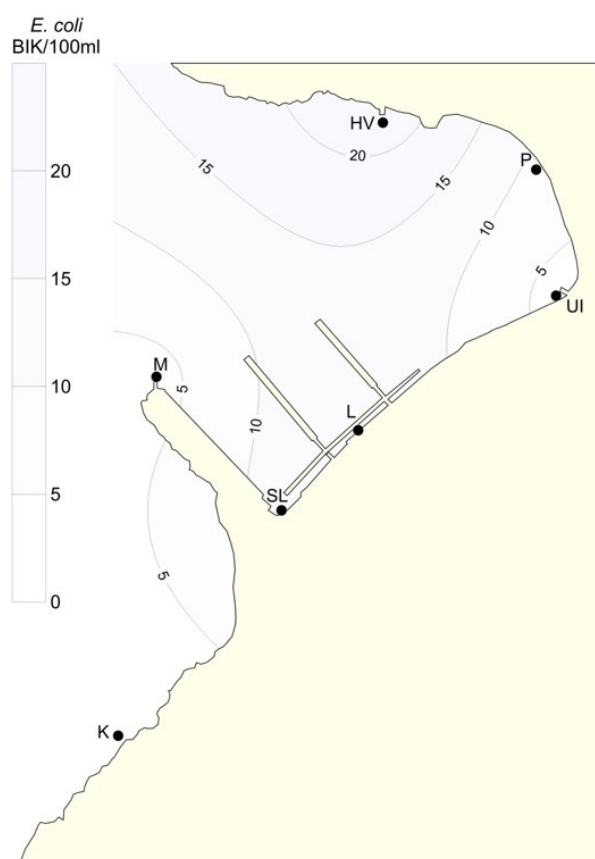
Slika 21. Prikaz raspodjele EC za jesen 2021.

E. coli je u jesen unutar uvale imala prosječnu koncentraciju od 180 ± 145 BIK/100ml, no može se vidjeti na slici 21 da je koncentracija bila puno veća u sjevernom djelu uvale oko postaje HV gdje je iznosila 497 BIK/100ml. U prosjeku koncentracije su se kretale od 100 do 400 BIK/100ml u uvale. Koncentracije su puno manje izvan uvale i na kontrolnoj postaji K je bilo izmjereno 68 BIK/100ml. Udaljavanjem od postaje HV može se primijetiti postepeni pad koncentracija *E. coli*.



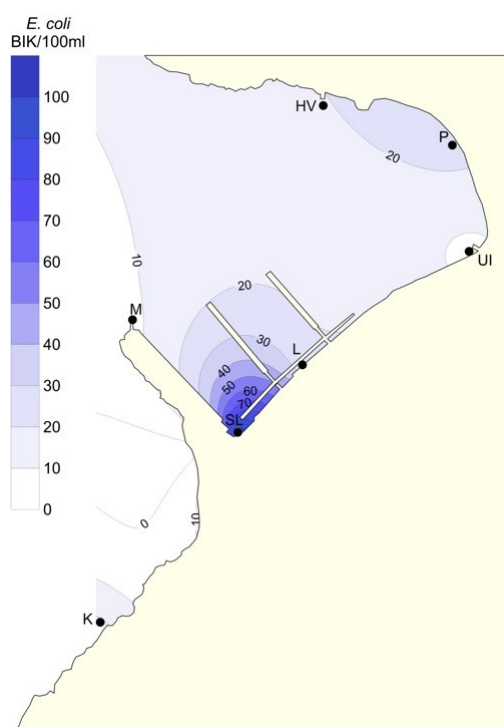
Slika 22. Prikaz raspodjele EC za zimu 2022.

E. coli je u zimi imala prosječnu koncentraciju u uvali od $48,5 \pm 32$ BIK/100ml, znatno manje nego u jesen. Najveća koncentracija je bila izmjerena oko postaje SL gdje je iznosila 88 BIK/100ml. Osim postaje SL, istočni dio uvale oko postaja HV i UI je imao koncentracije koje su bile povišene i iznosile su 71 BIK/100ml i 64 BIK/100ml. Najmanja koncentracija u uvali je izmjerena oko postaje L gdje je iznosila 19 BIK/100ml. Izvan uvale, na kontrolnoj postaji K, *E. coli* nije detektirana.



Slika 23. Prikaz raspodjele EC za proljeće 2022.

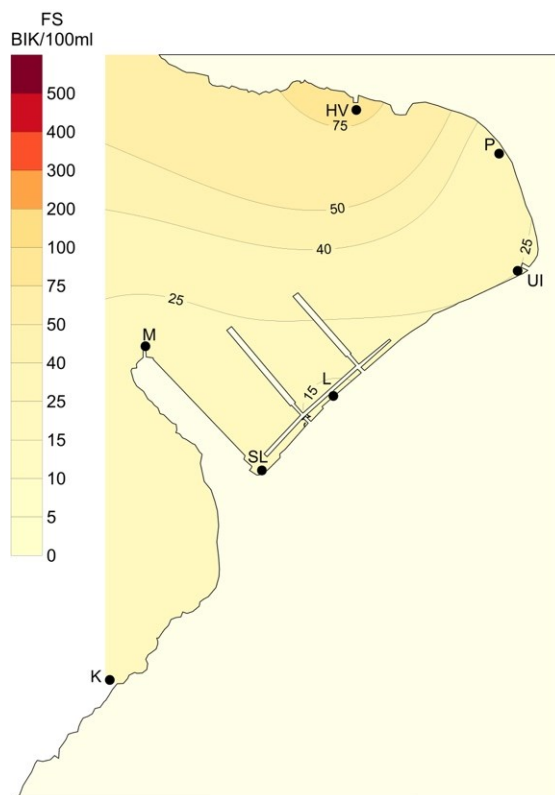
E. coli je bila imala manje koncentracije u proljeće i prosječno su iznosile $10,8 \pm 7,9$ BIK/100ml. Najveća koncentracija je bila registrirana na postaji HV i iznosila je 24 BIK/100ml. Najmanja je bila 3 BIK/100ml i izmjerena je na postaji UI. Van uvale nije bila registrirana ni jedna kolonija *E. coli*.



Slika 24. Prikaz raspodjele EC za ljeto 2022.

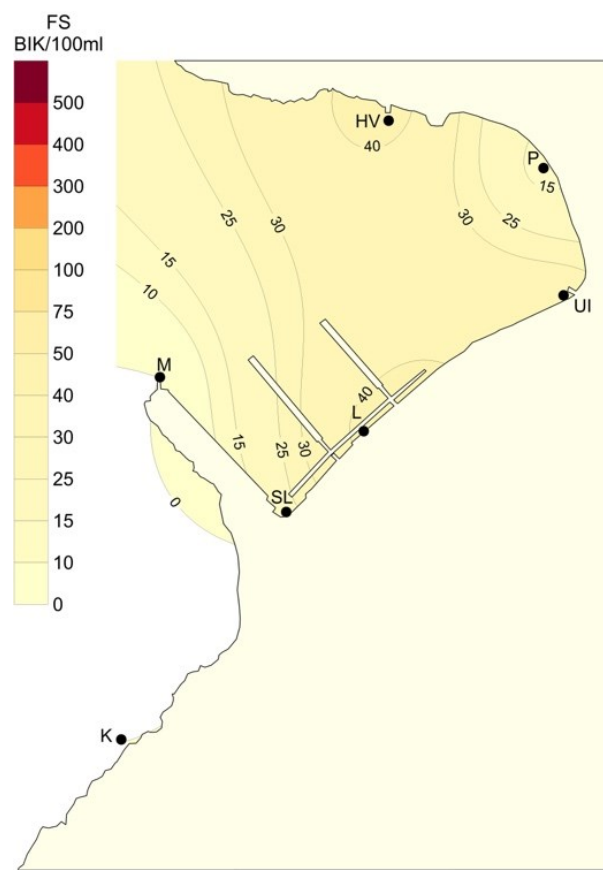
E. coli je u ljeti imala prosječnu koncentraciju od $31,7 \pm 40,1$ BIK/100ml. Najveća vrijednost je bila izmjerena oko postaje SL i iznosila je 108 BIK/100ml. Najmanja vrijednost je bila izmjerena oko postaje UI gdje je izmjerena vrijednost od 7 BIK/100ml. Koncentracije su bile, ako zanemarimo postaju SL, slične za kontrolu i uvalu, u rasponu od 20-25 BIK/100ml.

3.6 Analiza rezultata – Fekalni streptokoki



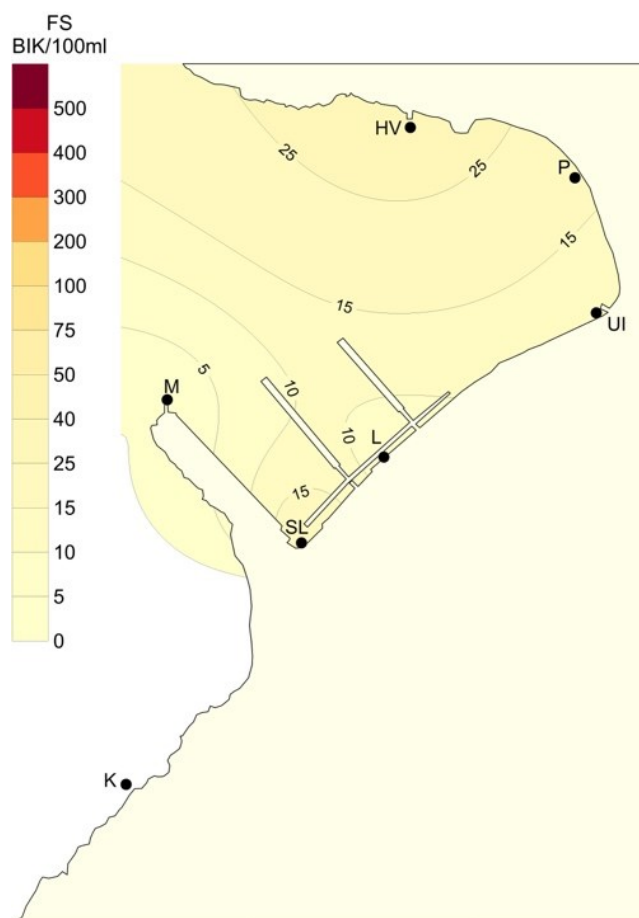
Slika 25. Prikaz raspodjele FS za jesen 2021.

Fekalni streptokoki su imali sličan raspored kao i *E. coli* u jesen ali im je prosječna koncentracija bila znatno niža te iznosila je 32 ± 25 BIK/100ml. Najveća vrijednost je izmjerena kod postaje HV gdje je iznosila 87 BIK/100ml. Osim nje druge postaje su imale dosta niže koncentracije koje su varirale između 10 i 30 BIK/100ml. Koncentracije su opadale udaljavanjem od postaje HV. Van uvale na postaji K izmjerena je 24 BIK/100ml.



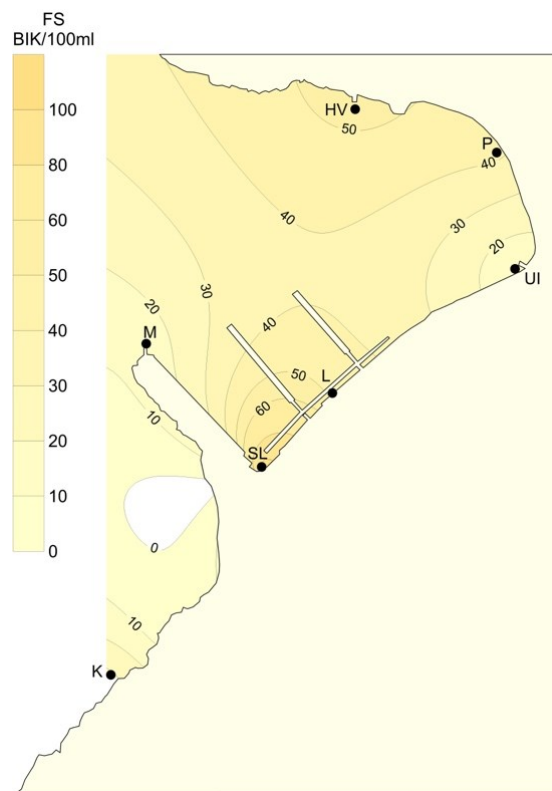
Slika 26. Prikaz raspodjele FS za zimu 2022.

Fekalni streptokoki su imali prosječnu koncentraciju od $26,3 \pm 18,2$ BIK/100ml u zimi. Najviše ih je bilo oko postaje HV (45 BIK/100ml). Najmanja izmjerena koncentracija im je bila na postaji P gdje je iznosila 11 BIK/100ml. Na slici 26 može se vidjeti da su povišene koncentracije bile registrirane u centralnom djelu uvale, između postaja HV i L. Van uvale, na kontrolnoj postaji K, nisu zabilježeni FS.



Slika 27. Prikaz raspodjele FS za proljeće 2022.

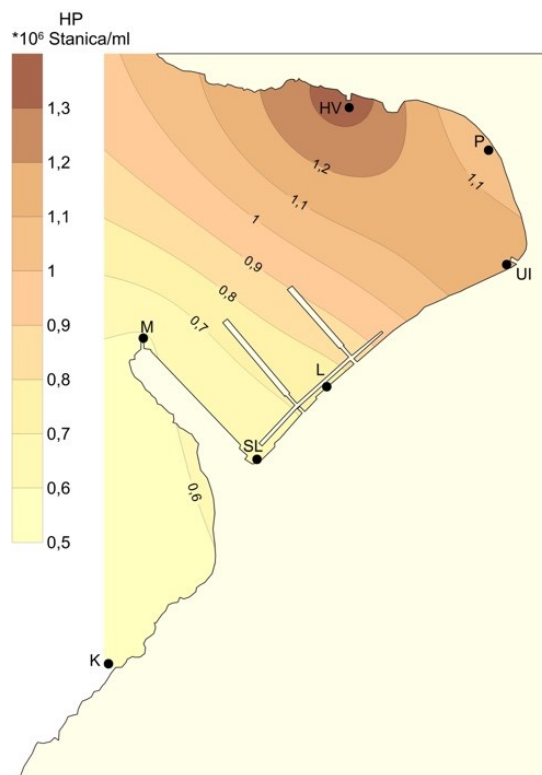
Fekalni streptokoki su u proljeće bili registrirani u uvali sa prosječnom koncentracijom od $18,8 \pm 11,4$ BIK/100ml. Najviše koncentracije su im bile izmjerene oko postaje HV gdje je izmjereno 36 BIK/100ml. Najniže koncentracije su bile oko postaje L gdje su iznosile 7 BIK/100ml. Van uvale nije bila zabilježena ni jedan FS.



Slika 28. Prikaz raspodjele FS za ljetu 2022.

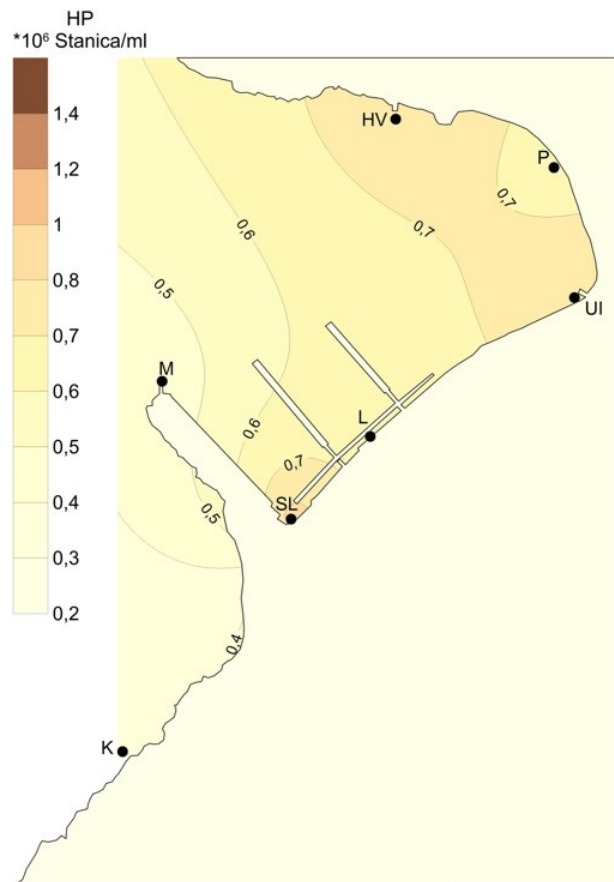
Fekalni streptokoki su u ljeti imali prosječnu koncentraciju od $46,3 \pm 35,2$ BIK/100ml unutar uvale. Najveća vrijednost je bila oko postaje SL gdje je iznosila 108 BIK/100ml. Najmanja izmjerena koncentracija je bila 11 BIK/100ml kod postaje UI. Postoje dvije točke nakupljanja, postaje HV i SL. Na slici 28 se može vidjeti kako su brojnosti najveće između njih. Izvan uvale koncentracija nije opadala i izmjerena je bila vrijednost od 34 BIK/100ml.

3.7 Analiza rezultata – Heterotrofni prokarioti



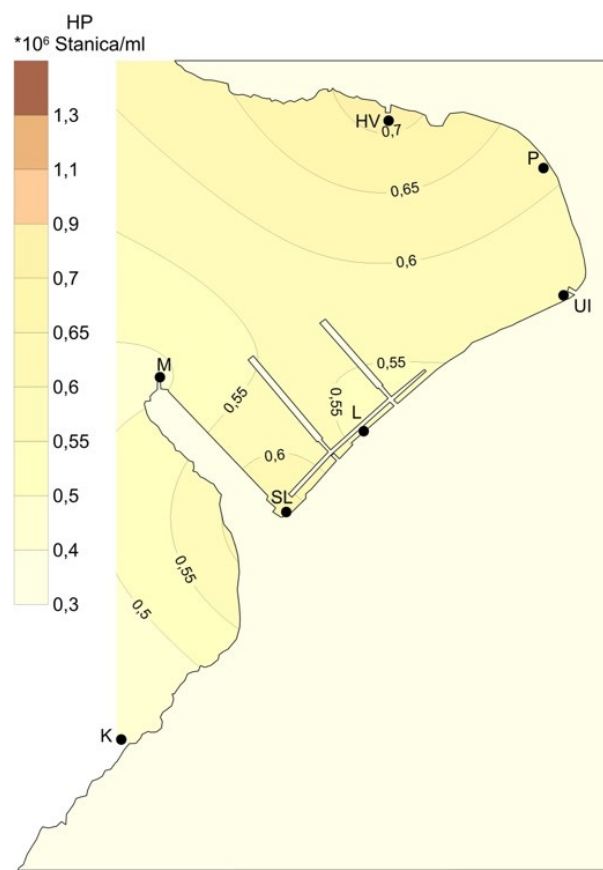
Slika 29. Prikaz raspodjele HP za jesen 2021.

Heterotrofni prokarioti su imali prosječnu koncentraciju od $(0,93 \pm 0,32) \times 10^6$ stanica/ml u jesen. Najveće koncentracije su registrirane oko postaje HV, poput *E. coli* ($1,38 \times 10^6$ stanica/ml). Koncentracije su bile veće u sjevernom i istočnom djelu uvale, gdje su iznosile preko 10^6 stanica/ml. U zapadnome djelu oko lukobrana koncentracija im je počela opadati te je iznosila $0,66 \times 10^6$ stanica/ml. Van uvale, na postaji K koncentracija je bila $0,524 \times 10^6$ stanica/ml koja odgovara tipičnim vrijednostima mora u jesenskom razdoblju.



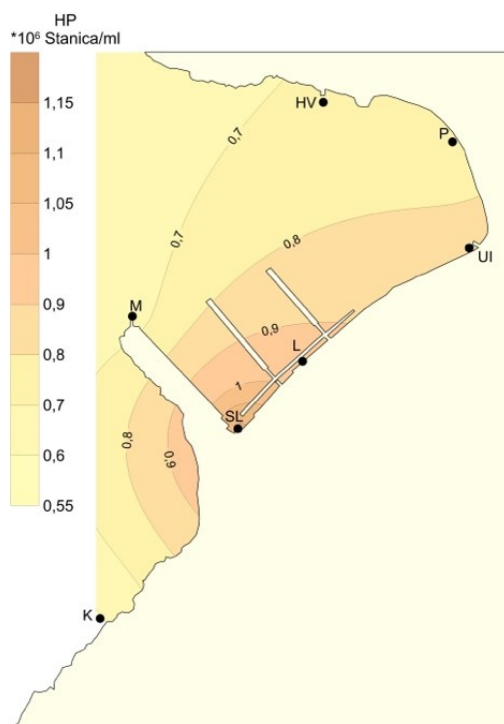
Slika 30. Prikaz raspodjele HP za zimu 2022.

Heterotrofni prokarioti su imali prosječnu koncentraciju od $(0,68 \pm 0,15) \times 10^6$ stanica/ml u zimi. Najveća koncentracija im je bila izmjerena oko postaje SL gdje je iznosila $0,84 \times 10^6$ stanica/ml. Povišene su koncentracije izmjerene na istočnoj strani uvale, s time da su koncentracije oko postaje P bile manje. Najmanja vrijednost je bila izmjerena van uvale na kontrolnoj postaji K i iznosila je $0,39 \times 10^6$ stanica/ml.



Slika 31. Prikaz raspodjele HP za proljeće 2022.

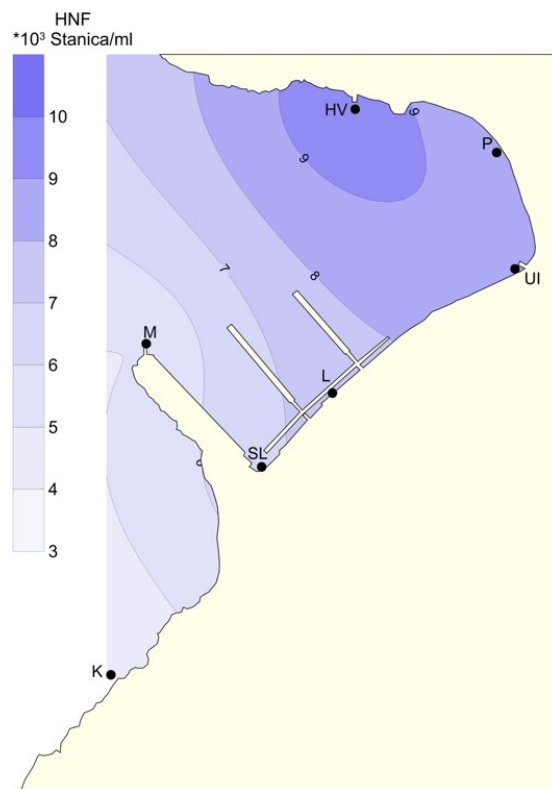
HP su bili imali prosječnu vrijednost od $(0,6 \pm 0,09) \times 10^6$ stanica/ml u proljeće. Najveća koncentracija im je bila izmjerena oko postaje HV gdje je iznosila $0,73 \times 10^6$ stanica/ml. Također su bile izmjerene povišene koncentracije oko postaje SL gdje je bilo $0,68 \times 10^6$ stanica/ml. Najmanja vrijednost unutar uvale je bila oko postaje L i iznosila je $0,53 \times 10^6$ stanica/ml. Van uvale koncentracija im je opadala i kod kontrolne postaje K je izmjereno $0,4 \times 10^6$ stanica/ml.



Slika 32. Prikaz raspodjele HP za ljetu 2022.

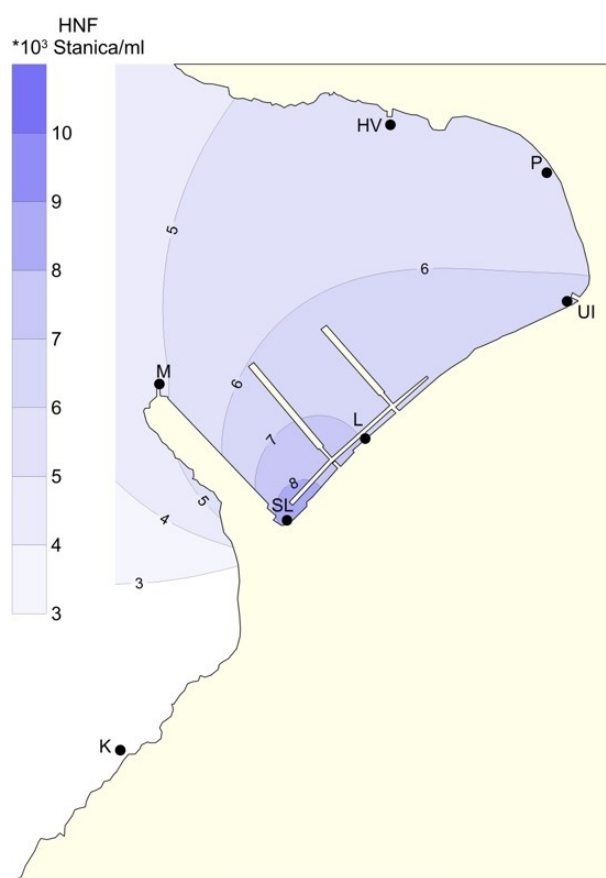
Heterotrofni prokarioti su u ljeti imali prosječnu koncentraciju od $(0,84 \pm 0,17) \times 10^6$ stanica/ml. Najveća vrijednost je bila oko postaje SL gdje je iznosila $1,12 \times 10^6$ stanica/ml. Najmanja koncentracija je registrirana oko postaje HV gdje je iznosila $0,71 \times 10^6$ stanica/ml. Na slici 32 se može vidjeti da su povišene koncentracije sve bile sa južne strane uvale. Van uvale koncentracije im je opadala i iznosila je $0,58 \times 10^6$ stanica/ml.

3.8 Analiza rezultata – Heterotrofni nanoflagelati



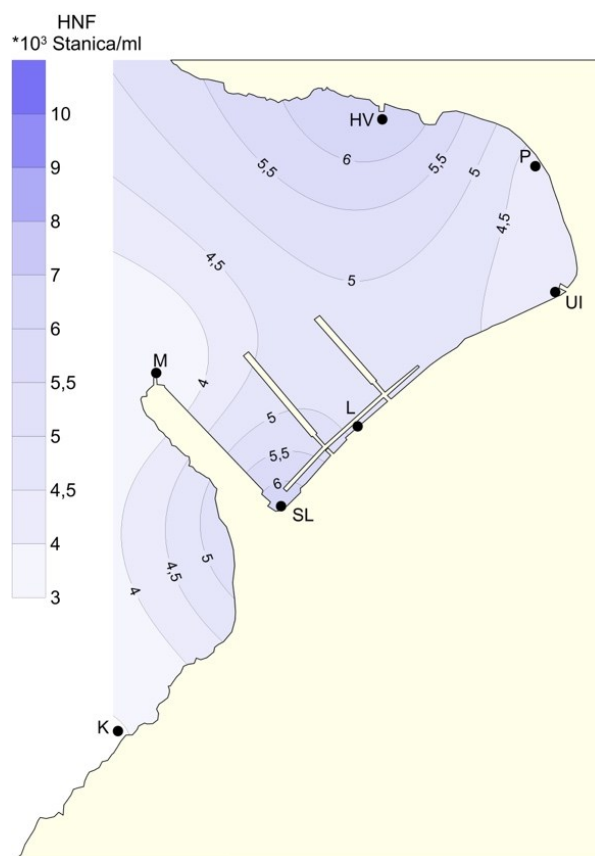
Slika 33. Prikaz raspodjele HNF za jesen 2021.

Heterotrofni nanoflagelati su bili brojniji u uvali nego izvan nje. Prosječna koncentracija u uvali im je iznosila $(7,67 \pm 1,7) \times 10^3$ stanica/ml u jesen. Slično kao i za HP u jesen, koncentracije su bile veće u istočnome i sjevernom djelu uvale. Najveće razine su pronađene na postaji HV ($9,99 \times 10^3$ stanica/ml). Koncentracije se postepeno smanjuju prema izlazu uvale i kod lukobrana je bilo izmjereno $6,88 \times 10^3$ stanica/ml. Izvan uvale, kod postaje K koncentracija im se smanjila na $4,09 \times 10^3$ stanica/ml.



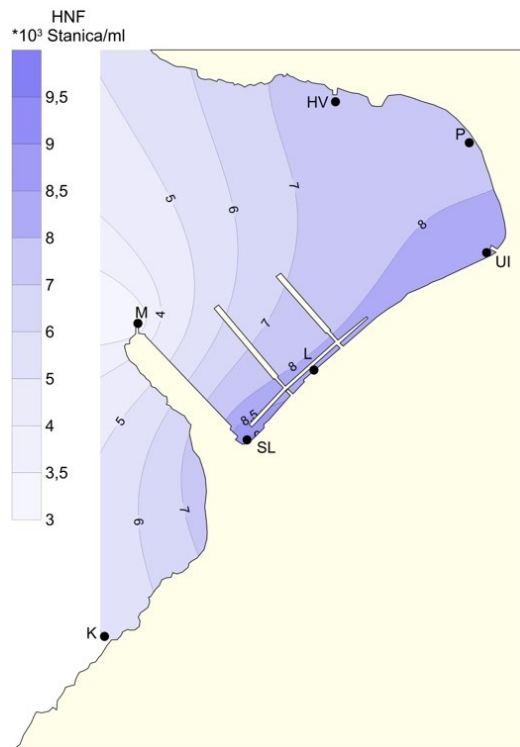
Slika 34. Prikaz raspodjele HNF za zimu 2022.

Heterotrofni nanoflagelati su imali prosječnu koncentraciju od $(6,25 \pm 1,5) \times 10^3$ stanica/ml u zimi. Najveća koncentracija im je bila izmjerena oko postaje SL gdje je iznosila $8,83 \times 10^3$ stanica/ml. Najmanja koncentracija u uvali je bila izmjerena oko postaje HV i iznosila je $5,22 \times 10^3$ stanica/ml. Na slici 34 se može vidjeti da su koncentracije u pravilu opadale približavanjem izlazu uvale. Na kontrolnoj postaji K bila je izmjerena koncentracija od $2,73 \times 10^3$ stanica/ml.



Slika 35. Prikaz raspodjele HNF za proljeće 2022.

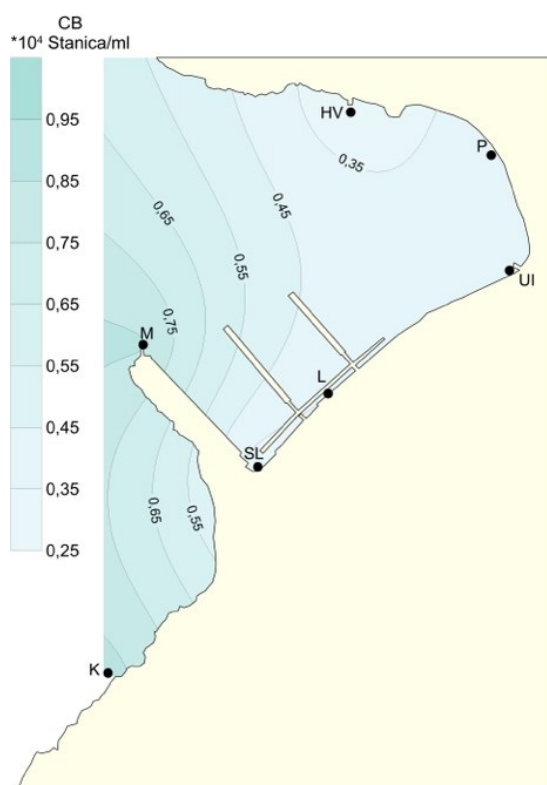
Heterotrofni nanoflagelati su imali prosječnu koncentraciju od $(4,95 \pm 1,4) \times 10^3$ stanica/ml u proljeću. Najveća koncentracija je izmjerena oko postaje HV gdje je iznosila $6,81 \times 10^3$ stanica/ml. Postaja SL je također imala visoku koncentraciju HNF od $6,49 \times 10^3$ stanica/ml. Najnižu koncentraciju je imala postaja UI gdje je izmjerena vrijednost od $4,08 \times 10^3$ stanica/ml. Izvan uvale koncentracija je naglo opadala i iznosila je $2,84 \times 10^3$ stanica/ml na kontrolnoj postaji K.



Slika 36. Prikaz raspodjele HNF za ljeto 2022.

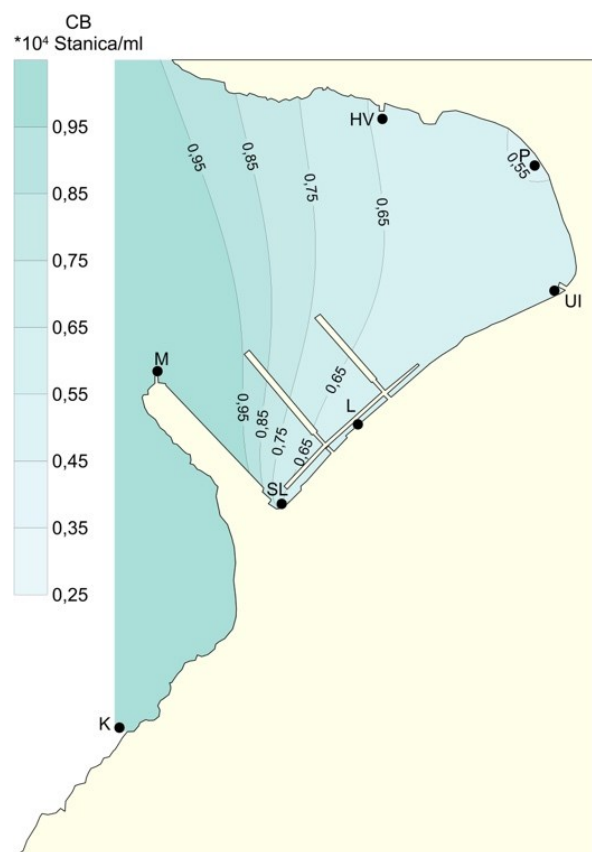
Nanoflagelati su imali prosječnu koncentracija od $(8,2 \pm 0,5) \times 10^3$ stanica/ml u ljeti. Najveća koncentracija im je bila izmjerena oko postaje SL gdje je iznosila $9,11 \times 10^3$ stanica/ml. Najmanja koncentracija je bila izmjerena oko postaje P gdje je iznosila $7,65 \times 10^3$ stanica/ml. Na slici 36 se može vidjeti kako raste koncentracija ulaskom u uvalu i maksimalne vrijednosti oko južne strane uvale. Izvan uvale koncentracija im je opadala i izmjerena je vrijednost od $4,94 \times 10^3$ stanica/ml.

3.9 Analiza rezultata – Cijanobakterije



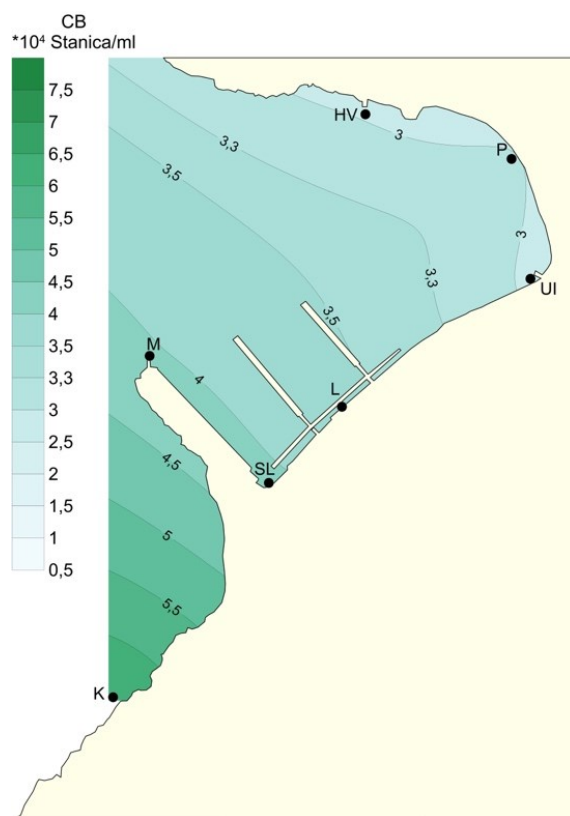
Slika 37. Prikaz raspodjele CB za jesen 2021.

Cijanobakterije su u jesen imale prosječnu koncentraciju od $(0,43 \pm 0,21) \times 10^4$ stanica/ml unutar uvale, na slici 37 se može vidjeti da je koncentracija bila manja u uvali nego u Verudskome kanalu. CB su pokazale suprotnu raspodjelu od fekalnih indikatora uz jesen sa najmanjom brojnošću oko postaje HV gdje je iznosila $0,27 \times 10^4$ stanica/ml. Izvan uvale je bila izmjerena najveća koncentracija na kontrolnoj postaji K $0,9 \times 10^4$ stanica/ml.



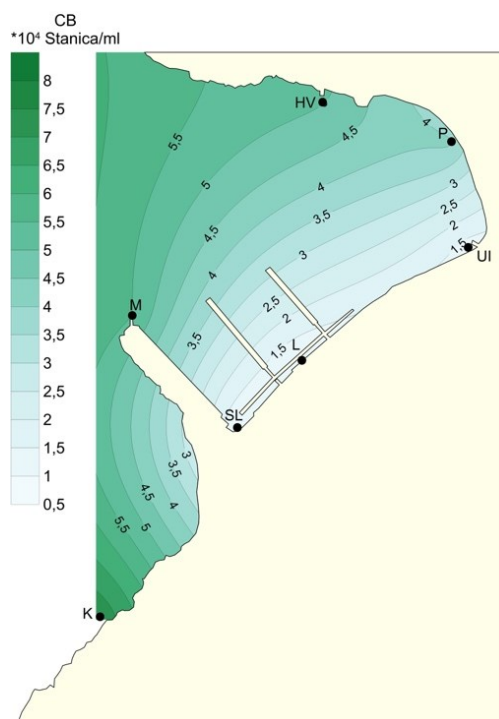
Slika 38. Prikaz raspodjele CB za zimu 2022.

Cijanobakterije su u zimi opet imale smanjenu koncentraciju naspram Verudskog kanala u uvali, koja je prosječno iznosila $(0,73 \pm 0,3) \times 10^4$ stanica/ml. Najmanja je bila izmjerena oko postaje P, gdje je iznosila $0,54 \times 10^4$ stanica/ml. Na slici 38 se može vidjeti kako je koncentracija rasla približavanjem izlazu uvale te je izvan uvale na kontrolnoj postaji K iznosila $1,8 \times 10^4$ stanica/ml.



Slika 39. Prikaz raspodjele CB za proljeće 2022.

Cijanobakterije su u proljeće imale relativno visoke koncentracije i unutar uvale, pogotovo u usporedbi sa zimom. Prosječna koncentracija im je bila $(3,46 \pm 0,55) \times 10^4$ stanica/ml, što je 4,7 puta više nego u zimu. Najmanje koncentracije su bile dobivene oko postaja HV i UI gdje iznose $2,88 \times 10^4$ stanica/ml i $2,9 \times 10^4$ stanica/ml. Najveća koncentracija unutar uvale je bila oko postaje SL gdje je izmjerena vrijednost od $4,11 \times 10^4$ stanica/ml. Izvan uvale koncentracija je rasla te je oko kontrolne postaje K iznosila $6,53 \times 10^4$ stanica/ml.



Slika 40. Prikaz raspodjele CB za ljetu 2022.

Cijanobakterije su u ljeti bile imale prosječnu koncentracija od $(3,0 \pm 1,98) \times 10^4$ stanica/ml. Najmanje koncentracije su im bile uz južnu obalu a minimum je bio izmjeren oko postaje L gdje je iznosio $0,96 \times 10^4$ stanica/ml. Na sjevernoj strani su koncentracije bile veće te je kod postaje HV izmjerena vrijednost od $5,15 \times 10^4$ stanica/ml. Na slici 40 je moguće vidjeti kako je rasla koncentracija CB udaljavanjem od južne strane uvale i približavanjem izlazu iz uvale. Van uvale na kontrolnoj postaji K utvrđena je bila koncentracije od $7,52 \times 10^4$ stanica/ml što je ujedno i najveća izmjerena vrijednost.

4. Diskusija

Monitoring sezonskih promjena hidrografskih i mikrobioloških uvjeta u vodama Pješčane uvale ukazali su na postojanje vremenskih kao i prostornih promjena izmjerenih parametara.

Rezultati jesenskog uzorkovanja pokazali su da se postaja HV vidljivo razlikovala po svim hidrografskim parametrima osim temperature od ostalih lokacija. Snižene vrijednosti saliniteta, pH i koncentracija kisika mogu ukazati na protok oborinskih voda. Nadalje na toj lokaciji registrirane su maksimalne koncentracije fekalnih indikatora. Što upućuje na to da u blizini postaje HV postoji određeno ispuštanje otpadnih voda ili da su se oko nje nakupljale tvari ispuštenih u neposrednoj blizini s obzirom da je vidljiva na samoj obali struktura od cementa koja pokriva neke cijevi iz kojih bi se mogao pojaviti unos kanalizacijskih voda. Heterotrofna komponentna mikrobne zajednice (HP i HNF), su također imale povećane koncentracije na postaji HV, što se može objasniti pretpostavkom da je na toj postaji more obogaćeno otopljenim organskim materijalom koji je asociiran s oborinskim i kanalizacijskim vodama. Cijanobakterije su sa druge strane imale izmjeren minimum oko postaje HV, najvjerojatnije jer im ne odgovaraju uvjeti sniženog saliniteta i unos kanalizacijskih voda. Koncentracije *E. coli* su bile 497 BIK/100ml na postaji što je značajno iznad granice za kategoriju "Zadovoljavajuću", i kao takva predstavlja potencijalnu opasnost za kupaće. Fekalni streptokoki imali su koncentraciju od 87 BIK/100ml što je unutar sanitarne granice. no van granica "Izvrzne" kvalitete za kupanje. Prosječna koncentracija je bila 180 ± 145 BIK/100ml za *E. coli* te se za jesen može ocijeniti uvala sa ocjenom "Zadovoljavajuća", ali nalazi se na samoj granici lošije kvalitete koja iznosi 185 BIK/100ml. Za FS njihova koncentracija je bila u prosjeku 32 ± 25 BIK/100 ml. Koncentracije FS su bile unutar granica za "Izvrstu" kakvoću, najveća dopuštena je 100 BIK/100 ml (Narodne novine, 73/08). Koncentracije FC su bile 11,2 puta veće od koncentracije FS, i prema omjeru FC/FS koji je veći od 4 (Krstulović i Šolić, 2006) moguće je pretpostaviti da se ovdje radilo o ljudskome izvoru onečišćenja.

Rezultati sa zimskog uzorkovanja su pokazali ujednačenije vrijednosti hidrografskih parametara. Oko postaje HV opet su bile izmjerene minimalne vrijednosti pH, saliniteta i temperature dok je saturacija kisikom bila najniža na postaji UI. Fekalni indikatori su imali snižene vrijednosti u usporedbi sa jesenskim uzorkovanjem. Distribucija fekalnih indikatora je pokazala povećanje njihovih koncentracija na više postaja, odnosno HV, UI i SL za *E. coli* te postaje HV i L za fekalne streptokoke. Mikrobna zajednica je imala raspored usporediv sa rasporedom fekalnih indikatora. Na lokacijama gdje su zabilježene povišene koncentracije FI zabilježene su i povišene koncentracije heterotrofne komponente mikrobne zajednice, opet je moguće objasniti da su te lokacije obogaćene otopljenim organskim materijalom. Autotrofnost komponenta (CB) je imala pad vrijednosti ulaskom u uvalu, koncentracija joj je opadala sa smanjenjem dubine i u smjeru istoka. Iako su prosječne koncentracije fekalnih indikatora bile unutar granica za "Izvršnu" kakvoću mora na pojedinim postajama HV, UI i SL izmjerene su koncentracije spadale u kategoriji "Dobra", između 60-100 BIK/100ml (Narodne novine, 73/08). Izmjerene koncentracije FC su bile 3,8 puta veće naspram koncentracije FS, stoga nije moguće točno odrediti o kojem se izvoru onečišćenja radi korištenjem omjera FC/FS. (Krstulović i Šolić, 2006) no može se opet pretpostaviti s obzirom da je vrijednost omjera jako blizu granici za ljudski fekalni materijal da se radi o ljudskom kanalizacijskom izvoru fekalnih indikatora.

Rezultati sa proljetnog uzorkovanja su pokazali male oscilacije hidrografskih parametara i očekivani raspored u uvali, sa promjenom kako se dubina smanjuje i udaljavanjem od otvorenog mora. pH je jedini pokazivao značajnije razlike, pogotovo usporedbom sa vanjskim morem, pH je imao izmjerenu vrijednost oko postaje HV od 7,88 a sa druge strane na postaji K je bila izmjerena vrijednost od 8,2. Takva razlika je najvjerojatnije ovisila o različitoj koncentraciji otopljenog CO₂ koja je utječe na pH. Fekalni indikatori su imali smanjene koncentracije naspram jeseni. Pokazivali su samo jedno mjesto nakupljanja: postaju HV. Heterotrofna mikrobna zajednica imala je niske vrijednosti, no ipak više u odnosu na kontrolnu postaju. Najveće koncentracije su bile izmjerene oko postaja HV i SL. Autotrofna komponenta mikrobne zajednice je u proljeće prvi put imala veće koncentracije sa

prosječnom vrijednošću 4,7 puta većom nego za zimu. Najmanje zabilježene vrijednosti CB su bile oko postaja HV i UI gdje su zabilježene vrijednosti manje od 3×10^4 stanica/ml. Koncentracija fekalnih indikatora bile su unutar granica za "Izvršnu" kvalitetu (Narodne novine, 73/08). Izmjerene koncentracije FC su bile 1,76 puta veće naspram koncentracije FS, stoga nije moguće pretpostaviti radi li se o ljudskome ili životinjskome izvoru prema omjeru FC/FS (Krstulović i Šolić, 2006).

Rezultati sa ljetnog uzorkovanja su pokazali oscilacije u rasporedu parametara. Od hidrografskih parametara najveće razlike pokazivala je saturacija kisikom. Niske saturacije kisikom izmjerene su u južnome dijelu uvale tj. u onome uz kojeg se nalaze neadekvatni šahtovi u okolici postaje L. Temperatura, pH i salinitet su pokazali znatno manje razlike među postajama, sa blažim sniženjem T i S oko postaje L. Fekalni indikatori su imali maksimalne vrijednosti oko postaje SL, koja služi kao područje akumulacije tvari unošenih oborinskim vodama na južnoj strani uvale. Heterotrofna mikrobna zajednica pokazuje suprotan raspored naspram rasporeda saturacije kisikom, heterotrofni nanoflagelati i heterotrofni prokarioti su imali najveće izmjerene vrijednosti uz južni dio uvale, gdje je saturacija bila najmanja. Maksimalne vrijednosti su oboje imali oko postaje SL, poput fekalnih indikatora, najvjerojatnije zbog otopljenog organskog materijala. Autotrofna komponenta (CB) pokazala je suprotan raspored, sa najmanjom koncentracijom oko južne strane uvale, najvjerojatnije zbog unosa kanalizacijskih voda. Koncentracija fekalnih indikatora je bila 107 BIK/100ml za *E. coli* i 108 BIK/100ml za fekalne streptokoke što bi svrstalo vodu oko postaje SL u kategoriji "Zadovoljavajuća". Iako je prosjek FI u ljeto bio ispod granice za ocjenu "Izvršnu" (Narodne novine, 73/08). Izmjerene koncentracije FC su bile 5,5 puta veće nego FS, stoga, prema omjeru FC/FS (Krstulović i Šolić, 2006) moguće je pretpostaviti da se radilo o ljudskome izvoru onečišćenja.

Rezultati mjerenja hidrografskih uvjeta kroz sve sezone u uvali pokazali su određena odstupanja od uvjeta u susjednome Verudskom kanalu. Temperatura je pokazala relativno niske razlike te je uglavnom imala pravilan pad ili rast prema istočnom, plitkom djelu uvale. U svim godišnjim dobima osim ljeta izmjeren je pad temperature u uvali, ovaj pad temperature nije bio velik, najveći izmjereni je iznosio

0,89 °C. U ljeto sa druge strane je izmjeren rast temperature sa smanjenjem dubine, zbog jakog utjecaja sunca. Rast temperature između uvale i vanjskog mora je bio iznosio 0,4°C. Glavni uzrok ovakve pojave može biti dubina uvale. Manji volumen vode lakše mijenja svoju temperaturu. Kako Pješćana uvala nije dublja od 10 m, možemo ju smatrati plitkom uvalom. Prosječno razlika između vanjskog mora i uvale je iznosila 0,77 °C za jesensko, 0,12 °C za zimsko, 0,56 °C za proljetno i -0,14 °C za ljetno uzorkovanje. Veće razlike u jesen i proljeće se mogu objasniti promjenama iz zagrijavanja u hlađenje mora i obratno, takve promjene se zbivaju u ovim godišnjim dobima.

Salinitet je također pokazivao umjerene razlike između uvale i otvorenog mora, s izuzetkom postaje HV. Tamo je salinitet bio generalno niži u odnosu na postaju K. U većina mjerenja saliniteta nije zabilježena razlika veća od 0,2. Jesensko uzorkovanje je imalo u prosjeku razliku od 0,138, zimsko razliku od 0,062, proljetno razliku od 0,05 i ljetno 0,004 između prosjeka uvale i vanjskog mora. Jesensko je jedino imalo značajniju razliku, uzrok je vrlo vjerojatno unos oborinske vode, koji je u jesen 2021. bio pojačan.

Saturacija kisikom imala je specifičan raspored u uvali. Saturacija je uvijek opadala unutar uvale, sa minimalnim izmjerenim vrijednostima u najplićim dijelovima, najudaljenijim od ulaza vanjske vode, moguće je pretpostaviti da je potrošnja kisika u uvali veća od njegove produkcije. Najveća razlika u saturaciji kisika je izmjerena u ljeto, gdje je razlika iznosila čak 18,4% između postaja L i K. Razlika u saturaciji prosječno je iznosila 0,08% za jesen, 0,86% za zimu, 5,392% za proljeće i 16,96% za ljeto. Ljetno uzorkovanje jedino ima značajne razlike koje ukazuju da neki dodatni utjecaj postoji na saturaciju kisika u uvali, poput unosa organske tvari. Unos organske tvari bi mogao imati učinak na potrošnju kisika u uvali koja bi zbog smanjenje povezanosti sa vanjskim morem moglo dovesti do lokalnog smanjenja saturacije kisikom. Kisik proizvode autotrofi, no u Pješćanoj uvali veći dio dna nije pokriveno velikim površinama autotrofnih organizama poput makroalgi, one se uglavnom mogu pronaći samo uz rubni, stjenoviti dio uvale koji se nalazi sa južne i sjeverne strane. Pješćano morsko dno nema livada morskih cvjetnica. Mjerenja koncentracija CB su pokazala snižene izmjerene vrijednosti u uvali naspram

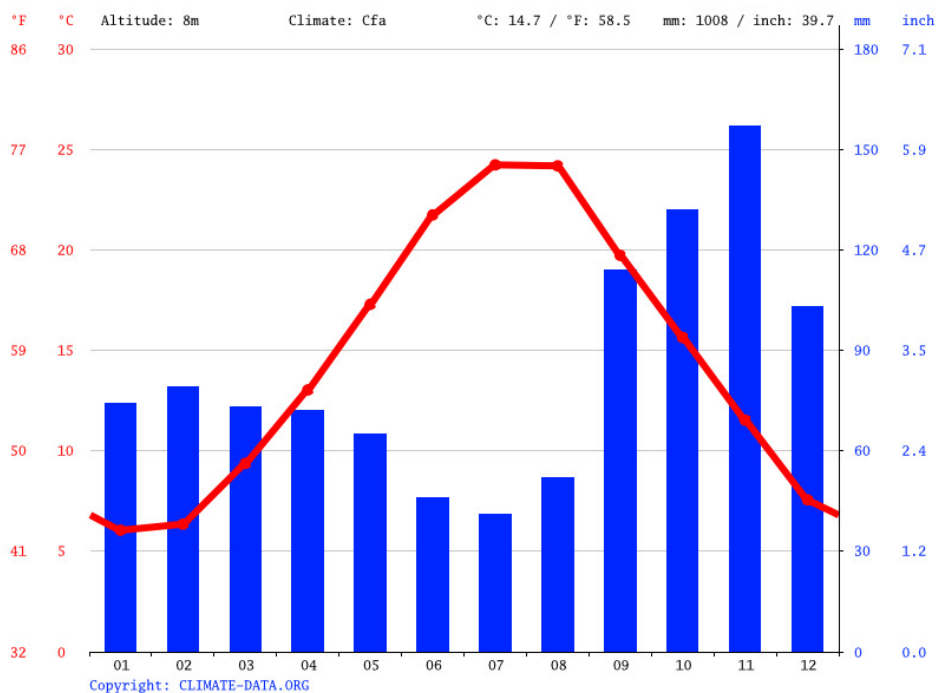
Verudskog kanala. Moguće je pretpostaviti da većina otopljenog kisika uz atmosfersku difuziju, dolazi iz Verudskog kanala sa manjom lokalnom produkcijom primarno od strane autotrofne zajednice, stoga je moguće pretpostaviti da donos otopljenog organskog materijala i snižene koncentracije CB uzrokuju specifičan raspored saturacije kisikom.

pH je imao konstantno minimalne vrijednosti oko postaje HV. Oko postaje HV vrijednost pH je uvijek bila bar 0,1 manja nego što je bila izmjerena u otvorenom moru na postaji K. Najveća izmjerena razlika za pH je bila iznosila 0,27 za proljetno uzorkovanje. pH općenito nije imao neke veće oscilacije osim oko postaje HV. Uglavnom je rastao udaljavanjem od postaje te je većina uvale imala pH usporediv sa vanjskim morem. Prosječne razlike između postaja unutar uvale i izvan iznose 0,07 za jesen, 0,048 za zimu, 0,1 za proljeće i 0,044 za ljeto. pH je specifičan zbog učestale anomalije oko postaje HV, sniženje pH označava pojavu nekakvih kiselina. Jedna od mogućnosti je i povišena koncentracija CO₂, poznato je da CO₂ postaje bikarbonat u morskoj vodi te disocira na karbonat i H⁺ (McNeil i Matear, 2006). Moguće je pretpostaviti da je povišenje otopljenog CO₂ u vodi koja je uzrokovana povećanom aktivnošću mikrobne zajednice uzrokovala pad pH.

Većina izmjerenih vrijednosti fekalnih indikatora su bile unutar maksimalnih dopuštenih koncentracija ali određene postaje i mjerenja su imale koncentracije koje su prelazile propisane granice. Na više postaja i na različitim dobima izmjerena je bila koncentracija *E. coli* koja je bila veća od maksimalno dopuštene vrijednosti potrebne da se kakvoća vode na plaži za kupanje kategorizira kao "Izvrсна". Takve vrijednosti su bile izmjerene na postajama HV, P, UI, L za jesensko uzorkovanje gdje je na svakoj postaji izmjerena vrijednost veća od 100 BIK/100ml, postaja HV je imala izmjerenu vrijednost od 497 BIK/100ml, što je bila najveća izmjerena vrijednost koncentracije *E. coli* u svim mjerenjima. Postaje HV, UI i SL su za zimsko uzorkovanje imale izmjerene vrijednosti koje su prelazile 100 BIK/100ml. Postaja SL je također imala povišene izmjerene vrijednosti za ljetno uzorkovanje. Postaja P koja se nalazi u sredini plaže za kupanje je imala koncentracije EC unutar granice za sva uzorkovanja osim za jesensko u kojem su visoke vrijednosti bile izmjerene na još 4 postaje. Moguće je pretpostaviti da su plaže za kupanje većinu vremena sigurne,

što potvrđuje informacija da nije bilo zatvaranja plaža unutar zadnjih par godina, stoga možemo zaključiti da Zavod za javno zdravstvo nije izmjerio opasne koncentracije na plaži.

Najlošije stanje sanitarne kvalitete je pokazivala postaja HV koja je u više mjerenja imala maksimalne izmjerene vrijednosti koncentracije *E. coli*. Mogući razlozi ove pojave su unos oborinskih voda iz obližnje cijevi za ispuštanje i nakupljanje mikroorganizama u sedimentu koji se prilikom oluja suspendiraju. Za vrijeme ljeta, kada je zbog turizma opterećenost kanalizacije najveće, maksimum je bio izmjeren oko postaje SL, no postaja L je također imala povišene koncentracije. Ove postaje se obje nalaze na južnijoj, zatvorenoj strani te su pod najjačim utjecajem ispusta iz šahtova i najmanjim utjecajem sunca, zbog posađenih stabala te plutajućih molova i brodova lučice, moguće je pretpostaviti da ovakvi uvjeti pomažu u preživljavanju fekalnih indikatora. Prosječna izmjerena razlika između vanjskog mora i uvale je iznosila 132 BIK/100ml u jesen, 57,4 BIK/100ml za zimu, 12,4 BIK/100ml za proljeće i 13,4 BIK/100ml za ljeto. Moguće je pretpostaviti da se u jesen dogodilo nekakvo lokalno onečišćenje zbog vrlo povišene koncentracije koja je bila izmjerena na više postaja. Jesensko uzrokovanje je imalo prosječnu izmjerenu vrijednost koncentracije *E. coli* jako blizu najveće dopuštene granice za morsku vodu i jednu postaju oko koje bi se moglo smatrati da je voda potencijalno opasna za ljude (Narodne novine, 73/08). Kišni režim Pješćane uvale je jako neujednačen, što se može vidjeti na grafu 1 koja pokazuje prosjeke precipitacije i temperature za obližnji grad Pulu. Minimalne vrijednostima precipitacije su po ljeti. Zima i jesen sa druge strane imaju veće vrijednosti precipitacije, koristeći tu informaciju i usporedbom sa izmjerenima koncentracijama *E. coli* moguće je pretpostaviti da kiše imaju utjecaj na koncentracije EC.

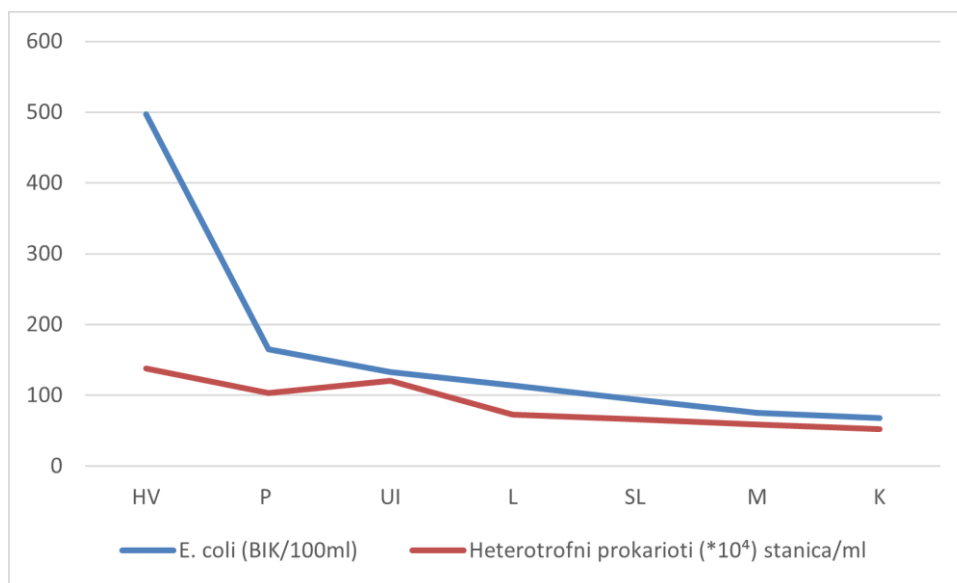


Graf 1. Prosjeci temperature i precipitacije za Pulu. (Izvor: Climate-data.org, pristupljeno 11.5.2023.)

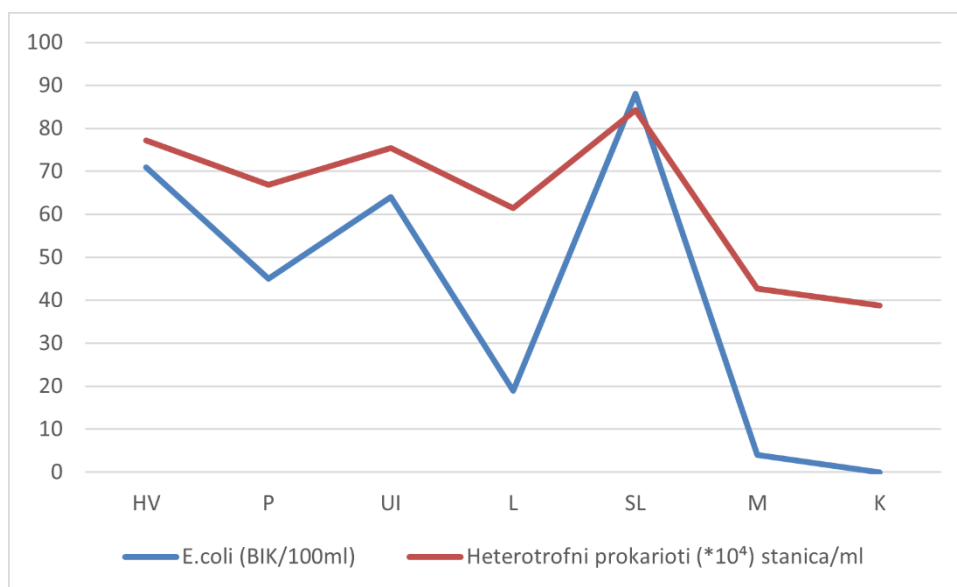
Fekalni streptokoki su imali manje koncentracije u usporedbi s *E. coli*. Maksimalne vrijednosti su im bile izmjerene oko postaje HV, dok je po ljeti izmjerena oko postaje SL, poput *E. coli*. Najveće koncentracije su bile izmjerene po ljeti, oko postaje SL gdje je izmjerena vrijednost od 108 BIK/100ml prema Uredbi o kakvoći mora ovo područje bi bilo kategorizirano kakvoćom morske vode "Zadovoljavajuća". Za vrijeme jesenskog uzorkovanja, FS su imali maksimalne vrijednosti oko postaje HV, poput *E. coli*. Moguće je pretpostaviti da se dogodilo nekakvo privremeno onečišćenje u jesen, pogotovo ako se uzmu u obzir podaci za *E. coli*. Prosječne vrijednosti FS imaju razlike unutar uvale i Verudskog kanala od 10,8 BIK/100ml za jesen, 31,6 BIK/100ml za zimu, 18,8 BIK/100ml za proljeće i 18,8 BIK/100ml za ljeto. Za razliku od EC, FS nemaju najveće koncentracije kada su kiše najobilnije, moguće je pretpostaviti da su uzrok tome bile ptice ili točnije njihov izmet, koji se smatra prirodnim izvorom FS-a u moru. Za FS najveće razlike su bile izmjerene za vrijeme zimskog uzorkovanja. Tada se nije izmjerio ni jedan FS van uvale, što je mogući uzrok velikoj razlici. Povećana koncentracija za zimu je bila unutar granica za "Izvršnu" kakvoću mora (Narodne novine, 73/08).

Veliki dio fekalnih indikatora završi u sedimentu. Osim svježeg donosa oborinskim i otpadnim vodama, dio indikatora uzgojenih u laboratoriju su vrlo vjerojatno završili u morskoj vodi resuspenzijom iz sedimenta. Oluje mogu uzburkati sediment koji se pri tome resuspendira te more sa materijalom iz sedimenta predstavlja moguću opasnost od kontaminacije (Fergusson i sur, 2005.). Bitan razlog ovome je i smanjena mogućnost preživljavanja patogenih bakterija van tijela. Glavni uzročnici njihovog sniženog vremena preživljavanja su sunce, salinitet, osmotski šok, nedostatak nutrijenata, predacija od strane heterotrofa (Garcia-Lara i sur., 1993.). Boravak u sedimentu štiti mikroorganizme od negativnog utjecaja tih uzročnika što im omogućava preživljavanje duže i u većem broju nego bi to bilo moguće u morskoj vodi (Fergusson i sur, 2005.).

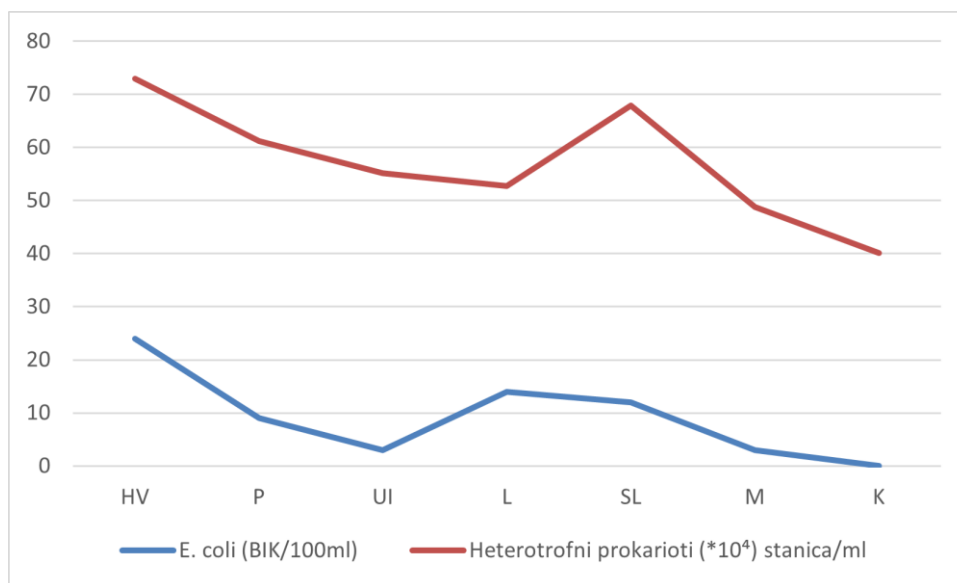
Mikrobna zajednica je bila usporedno sa okolnim akvatorijem veća unutar uvale za heterotrofnu komponentu, dok je autotrofna komponenta bila veća van uvale. Smanjene koncentracije cijanobakterija mogu dovesti do pretpostavke da unutar uvale vladaju uvjeti koji ne pogoduju njihovom preživljavanju. Mogući razlog je da unos oborinskih i otpadnih voda i posredno smanjenje prozirnosti voda ima negativan učinak na rast i preživljavanje cijanobakterija. Najveća razlika u koncentraciji cijanobakterija je bila izmjerena za vrijeme ljetnog uzorkovanja i iznosila je $6,56 \times 10^4$ stanica/ml između postaje K i postaje L. Prosječne razlike između uvale i vanjskog mora su iznosile $0,56 \times 10^4$ stanica/ml za jesen, $1,19 \times 10^4$ stanica/ml za zimu i $3,19 \times 10^4$ stanica/ml za proljeće i $5,03 \times 10^4$ stanica/ml za ljeto. Bitno je naglasiti da su koncentracije općenito bile male za jesen i zimu zbog čega su i razlike manje. Dok su koncentracije za ljetno uzorkovanje bile značajno veće van uvale. Ovo je prirodni raspored koncentracija skroz godinu za cijanobakterije, koje imaju maksimum klorofila u proljeće i ljeto, što potvrđuju i dobivene koncentracije.



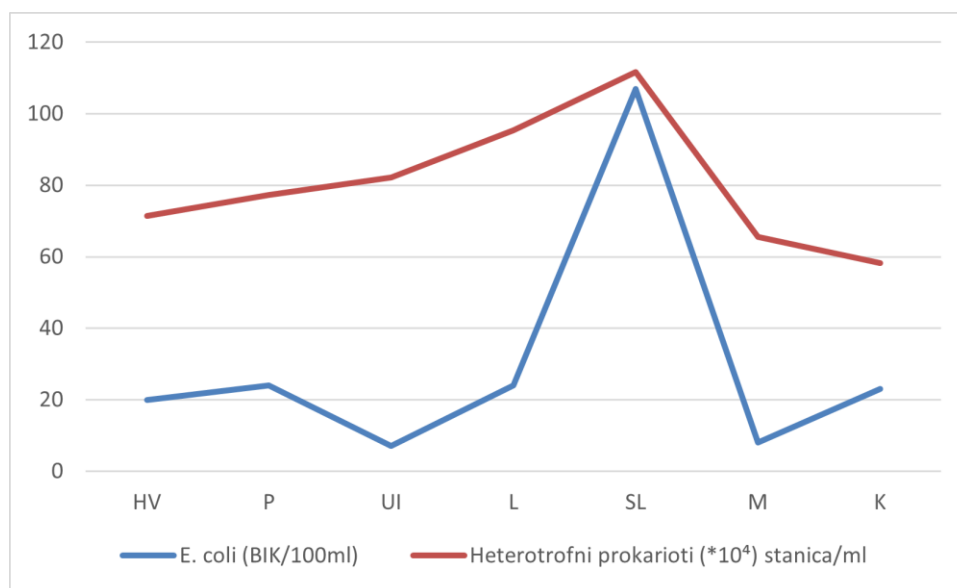
Graf 2. Prikaz odnosa brojnosti između *E. coli* i heterotrofnih prokariota za jesen.



Graf 3. Prikaz odnosa brojnosti između *E. coli* i heterotrofnih prokariota za zimu.



Graf 4. Prikaz odnosa brojnosti između *E. coli* i heterotrofnih prokariota za proljeće.



Graf 5. Prikaz odnosa brojnosti između *E. coli* i heterotrofnih prokariota za ljeto.

Heterotrofna komponenta je imala drukčiji raspored od cijanobakterija. Njima je koncentracija rasla u uvali udaljavanjem od ulaza vanjskog mora. Uglavnom su im najveće izmjerene vrijednosti bile na istim postajama kao i fekalnim indikatorima. Korelacija između koncentracija nije slučajna, naime najviše su im bile usporedive koncentracije sa koncentracijom *E. coli* sa kojom je izračunato minimalna vrijednost

$r=0,76$ za sva uzorkovanja. Točan odnos HP i EC se može vidjeti na grafovima 2,3,4 i 5 koji prikazuju odnos po postajama, koncentracije HP su pretvorene u $\times 10^4$ za lakšu usporedbu brojeva. Moguće je vidjeti na grafovima da su EC i HP vrlo često imali zajedničke postaje sa povišenom koncentracijom. Ukupne koncentracije HP su bile slične očekivanim za jadransko more te se kreću se od 0,6 do $1,0 \times 10^6$ stanica/ml. Koncentracije HNF su bile povišene za otprilike jedan red veličine, očekivane vrijednosti su 0,5 do 1,2 tisuće stanica/ml, a izmjerena su prosječne vrijednosti od 5-8 tisuća stanica/ml. Korelacija između HNF i *E. coli* je bila nešto manja ali je za sva godišnja doba veća od 0,5 (najmanja izmjerena je bila u ljeto $r=0,565$). Moguće je pretpostaviti zbog povišene koncentracije HNF i korelacije između HP i FI da heterotrofna mikrobiološka zajednica aktivno sudjeluje u predaciji crijevnih bakterija ili organskog materijala donesenog otpadnim vodama. Podaci za očekivane vrijednosti su dobivene iz baze podataka od Centra za istraživanje mora Rovinj.

5. Zaključak

Pješčana uvala pokazuje uobičajene sezonske oscilacije hidrografskih uvjeta ali i dodatni povremeni unos slatkih voda. S druge strane sanitarno stanje pokazuje vidljive sezonske promjene. Najveća razina fekalnog onečišćenja zabilježena je u jesen, kada je sezona završila no još je bila prisutna određena količina turista u naselju, a kiše su postale intenzivnije. U jesen je vrlo vjerojatno došlo do ispusta mješavine oborinske i otpadne vode. Iako je broj uočenih cijevi koje ulaze u more bio veći uz južnu stranu uvale najveće su razine opterećenja ipak registrirane na sjevernoj strani uvale oko jedne pojedinačne cijevi koja završava uz samu plažu i koja predstavlja jedinu rizičnu točku analiziranog akvatorija. Postaja P, koja se nalazi u centru plaže za kupanje je imala dovoljno nisku koncentraciju FI tijekom svih sezona tako da se plaža može smatrati poprilično sanitarno sigurnom lokacijom za kupanje i rekreaciju. Potencijalni problem postoji kod postaja UI, L i SL koje se sve nalaze na južnoj strani i u blizini su neadekvatnih šahtova. No u ovom istraživanju nije dokazan njihov značajan negativan utjecaj na sanitarnu kvalitetu mora. Osim privremenog onečišćenja, nakon oluja, zbog uzdizanja sedimenta uvala je pokazala manjak kvalitete voda unutar nje. Mikrobna zajednica u uvali se razlikuje od zajednice u susjednome Verudskom kanalu. Brojnosti heterotrofne komponente (HP i HNF) su bile povišene, dok su brojnosti autotrofne komponente (CB) bile manje u usporedbi sa kanalom. Heterotrofna komponenta je imala povišene brojnosti uglavnom na istim lokacijama na kojima je registrirana i povišena koncentracija FI. Razlog ovome može biti donos organskog materijala iz otpadnih voda i predacija heterotrofne komponente nad FI. Brojnosti HP su bile slične sa očekivanim brojnostima za sjeverni Jadran, dok su brojnosti HNF bile povišene u usporedbi sa očekivanim brojnostima za otprilike jedan red veličine. Autotrofna komponenta (CB) imala je snižene vrijednosti u odnosu sa kanalom u svim mjerenjima. Pretpostavljeno je da je uzrok sniženoj brojnosti smanjena prozirnost morat i promjena hidrografskih uvjeta prilikom ulijevanja otpadnih voda. Utjecaj kiše na stanje u uvali jasno je vidljiv. Ulivanje mješavine oborinskih i otpadnih voda može imati negativan utjecaj na sanitarno, estetsko i ekološko stanje u uvali.

Vjerojatno je da će zbog toga sanacija diskutabilnih zahvata u gradnji jednoga dana biti potrebna, pogotovo ako rast turizma i broja smještajnih jedinica u naselju nastavi dosadašnjim tokom.

Literatura

1. Doglioni C., Pignatti J., Coleman M. 2016. Why did life develop on the surface of the Earth in the Cambrian?, *Geoscience Frontiers*, 7(6):865-873.
2. Državni zavod za statistiku: Stanovništvo Hrvatske 2021 po naseljima
3. Ferguson D.M., Moore D.F., Getrich M.A., Zhouandai M.H., 2005. Enumeration and speciation of enterococci found in marine and intertidal sediments and coastal water in southern California. *Journal of Applied Microbiology*, 99(3):598–608.
4. Fuhrman J.A., Cram J.A., Needham D.M. 2015 Marine microbial community dynamics and their ecological interpretation. *Nature Reviews Microbiology*, 13(3):133-146.
5. Garcia-Lara J., Martinez J., Vilamu M., i Vives-Rego J. 1993. Effect of previous growth conditions on the starvation-survival of *Escherichia coli* in seawater. *Journal of General Microbiology*, 139:1425-1431.
6. Garcia-Pichel, F. 2009. Cyanobacteria. Encyclopedia of Microbiology third edition, *Academic press*:107-124.
7. Haramoto E., Katayama H., Oguma K., Koibuchi Y., Furumai H., i Ohgaki S. 2006. Effects of rainfall on the occurrence of human adenoviruses, total coliforms, and *Escherichia coli* in seawater. *Water Science and Technology*, 54(3):225–230.
8. Kim H.H., Laufkötter C., Lovato T., Doney S.C. i Ducklow H.W. 2023. Projected 21st-century changes in marine heterotrophic bacteria under climate change. *Frontiers in Microbiology*, 14:1-18
9. Krištolović N. i Šolić M. 2006. Mikrobiologija mora. Split: Institut za oceanografiju i ribarstvo, 350 str.
10. Matteucci G., Fiesoletti F. i Rossini P. 2012. Using Biogeochemical Markers to Assess the Environmental Effects of Shore-Parallel Breakwaters on a Coastal Area Affected by Mass Tourism (Rimini, Italy). *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(1):1-15.
11. McNeil B.I., Matear R.J. 2006. Projected climate change impact on oceanic acidification. *Carbon Balance Management*, 1(2):1-6
12. Narodne novine 73 (2008) Uredba o kakvoći mora za kupanje
13. Olds H.T., Corsi S.R., Dila D.K., Halmo K.M., Bootsma M.J., i McLellan S.L. 2018. High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators. *PLOS Medicine*, 15(7):1-23.

14. Safi K.A. i Hall J.A. 1999. Mixotrophic and heterotrophic nanoflagellate grazing in the convergence zone east of New Zealand. *Aquatic Microbial Ecology*, 20:83-93.

Sažetak

Kroz godinu dana obavljena je studija stanja okoliša u Pješčanoj uvali, naselju u blizini Pule u južnoj Istri. Pješčana uvala ima problem sa otpadnim vodama zbog naglog rasta i razvoja naselja koje je doveo do diskutabilnih zahvata u gradnji poput spajanja odvoda kišnice i kanalizacije u određenim kućama. Tokom jakih kiša je pritom moguće da se prihvatni kapacitet sustava odvodnje prepuni te da dođe do izljeva mješavine otpadnih i oborinskih voda u uvalu. Stoga su istraženi hidrografski i mikrobiološki parametri uvale. Od hidrografskih parametara istraženi su temperatura, salinitet, pH i saturacija vode kisikom. Od mikrobioloških parametara istražene su koncentracije fekalnih indikatora vrste *Escherichia coli*, fekalnih streptokoka i ukupnih koliforma te morsku autohtonu mikrobiološku zajednicu gdje su izmjerene koncentracije autotrofnih cijanobakterija i heterotrofnih prokariota i nanoflagelata. Istraživanja su pokazala sezonske oscilacije u sanitarnom stanju uvale. Moguće je pretpostaviti da je uzrok neuravnoteženi kišni režim na području i neadekvatna infrastruktura za prihvat i odvod oborinskih voda. Najviše povišene koncentracije fekalnih indikatora su registrirane za jesensko uzorkovanje, kada su oborine u južnoj Istri najobilnije. Osim za jesen također je za zimu i ljeto bila barem jedna postaja sa povišenim koncentracijama. Plaže za kupanje imale su najniže vrijednosti FI što znači da kupaći nisu pri opasnosti. Morska mikrobiološka zajednica imala je povećanu heterotrofnu komponentu, koja je imala raspored u uvali poput fekalnih indikatora. Zaključivo je da su se heterotrofi hranili organskom tvari koja je ušla u uvalu s fekalnim indikatorima. Međutim, autotrofna komponenta je pak pokazivala snižene koncentracije, vrlo vjerojatno jer autotrofnim organizmima smetaju promjene hidrografskih uvjeta uzrokovane unosom mješavine voda.

Abstract

Over the course of a year, a study of the state of the environment was carried out in Pješčana uvala, a settlement near Pula in southern Istria. Pješčana uvala has a problem with wastewater due to the rapid growth and development of the settlement, which has led to debatable interventions in construction, such as the connection of rainwater drains and sewage in certain houses. During heavy rains, it is possible for

the reception capacity of the drainage system to overflow and for a mixture of waste and rainwater to flow into the bay. Therefore, the hydrographic and microbiological parameters of the bay were investigated. Of the hydrographic parameters, temperature, salinity, pH and water saturation with oxygen were investigated. Among the microbiological parameters, the concentrations of fecal indicators of *Escherichia coli*, fecal streptococci and total coliforms and marine autochthonous microbiological indicators were investigated, where the concentrations of autotrophic cyanobacteria and heterotrophic prokaryotes and nanoflagellates were measured. Research has shown seasonal oscillations in the sanitary condition of the bay. It is possible to assume that the cause is an unbalanced rain regime in the area and inadequate infrastructure for receiving and draining rainwater. The highest concentrations of fecal indicators were registered for autumn sampling, when the precipitation in southern Istria is the most abundant. Except for autumn, there was also at least one station with elevated concentrations for winter and summer. The bathing beaches had the lowest FI values, which means that bathers are not at risk. The marine microbiological community had an increased heterotrophic component, which was distributed in the bay like faecal indicators. It can be concluded that heterotrophs fed on organic matter that entered the value with fecal indicators. However, the autotrophic component showed reduced concentrations, most likely because autotrophic organisms interfere with the changes in hydrographic conditions caused by the intake of the water mixture.

Ključne riječi:

mikrobiološko onečišćenje; sanitarna kontrola mora; morska mikrobiologija; otpadne vode