Kvaliteta morske vode i školjkaša kao pokazatelj promjena morskog ekosustava u omiškoj gradskoj luci

Josip Ćatipović, 7. razred
Rina Knezović i Tonka Stanić, 8. razred

Osnovna škola Josip Pupačić, Omiš
Mentor: *Tamara Banović*

SAŽETAK

U radu je istražena kakvoća morske vode i školjkaša u gradskoj luci Omiša kao pokazatelj mogućih promjena u morskom ekosustavu nakon rekonstrukcije luke i povećanja broja plovila. Fizikalno-kemijska svojstva mora praćena su dugoročno, od 2015. do 2026. godine, prema GLOBE protokolima, dok je mikrobiološka kakvoća morske vode i mediteranske dagnje *Mytilus galloprovincialis* procijenjena analizom indikatora fekalnog onečišćenja (*Escherichia coli* i crijevni enterokoki). Također je ispitan potencijalni utjecaj bio kugli s efektivnim mikroorganizmima na poboljšanje kakvoće morske vode. Rezultati pokazuju relativnu stabilnost većine fizikalno-kemijskih parametara, uz blagi porast temperature mora i pojavu mjerljivih koncentracija nitrata i nitrita nakon rekonstrukcije luke. Mikrobiološka analiza pokazala je niske koncentracije indikatorskih bakterija u morskoj vodi i školjkašima, što more svrstava u kategoriju izvrsne kakvoće prema važećim propisima. Dobiveni rezultati ne ukazuju na pogoršanje sanitarne kakvoće mora i školjkaša u odnosu na prethodna istraživanja iz 2017. godine. Primjena bio kugli s efektivnim mikroorganizmima nije pokazala značajan učinak na smanjenje mikrobiološkog opterećenja tijekom kratkog razdoblja istraživanja. Rezultati upućuju na potrebu daljnjeg dugoročnog praćenja kako bi se pouzdanije procijenili trendovi promjena u morskom okolišu.

Ključne riječi: *indikatori fekalnog onečišćenja; membranska filtracija; bio kugle*

UVOD

Obalna područja su dinamični i ekološki osjetljivi sustavi pod snažnim utjecajem ljudskih aktivnosti. Urbanizacija, razvoj infrastrukture, pomorski promet, turizam te rekonstrukcije luka mijenjaju fizikalno-kemijska i biološka svojstva mora, povećavajući unos hranjivih i organskih tvari te mikroorganizama fekalnog podrijetla, što može narušiti ekosustav i ugroziti zdravlje ljudi (WHO, 1997; Krstulović i Šolić, 2006).

Gradske luke, kao zatvoreni ili poluzatvoreni sustavi, posebno su osjetljive na takve utjecaje. Povećan broj plovila i blizina urbanih zona dovode do većeg unosa onečišćujućih tvari, uključujući fekalne mikroorganizme. Njihova prisutnost procjenjuje se pomoću indikatora poput bakterije *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka, koji upućuju na moguće prisustvo patogena (Ottaviani i sur., 2006). Školjkaši, poput mediteranske dagnje, filtriranjem akumuliraju mikroorganizme te služe kao bioindikatori kakvoće mora, ali i potencijalni izvor infekcija za ljude (Marino i sur., 2005; Stabili i sur., 2005).

Istraživanje koje su proveli učenici GLOBE grupe 2016. i 2017. u gradskoj luci u Omišu pokazala su da su fizikalno-kemijska svojstva mora i razine indikatora fekalnog onečišćenja bile niske, što je upućivalo na visoku kakvoću mora i sanitarnu ispravnost školjkaša (Banović i Štrbac, 2024). U međuvremenu je luka rekonstruirana i proširena, čime su moguće promjene u hidrodinamici, izmjeni vode i unosu onečišćenja, pa je potrebno ponovno praćenje kakvoće mora i školjkaša.

Za procjenu sanitarne kakvoće koriste se indikatori koji trebaju biti povezani s prisutnošću patogena, proporcionalni njihovoj koncentraciji, lako odredivi i nepatogeni za čovjeka (Sbaraglia i sur., 1995; Menon, 2000; Ottaviani i sur., 2006). Riječ je o mikroorganizmima crijevnog podrijetla koji ukazuju na fekalno onečišćenje i moguće prisustvo patogena (Krstulović i Šolić, 2006).

Autori zadržavaju autorska prava te časopisu daju pravo prvog objavljivanja rada u skladu s licencijom CC BY 4.0, koja dopušta drugima dijeljenje rada uz navođenje autorstva i izvornog mjesta objavljivanja rada u časopisu.

Suvremena istraživanja usmjerena su i na biološke metode poboljšanja kakvoće vode, poput primjene efektivnih mikroorganizama (EM), koji potiču razgradnju organske tvari i smanjuju broj nepoželjnih mikroorganizama (Yamada i Xu, 2000; Javaid, 2006). U vodi se primjenjuju kao bio kugle, s ciljem poboljšanja fizikalno-kemijskih i mikrobioloških svojstava, no njihov učinak zahtijeva dodatna lokalna istraživanja kako bi se procijenio njihov stvarni doprinos u specifičnim obalnim uvjetima (Tomczyk i sur., 2024). Sustavno praćenje kakvoće mora i školjkaša ključno je za zaštitu ekosustava i zdravlja ljudi, jer omogućuje uočavanje promjena i primjenu održivih mjera upravljanja obalnim područjima.

Istraživačka pitanja koja smo si postavili su radu su sljedeća: Mijenja li se kakvoća morske vode i školjkaša u gradskoj luci Omiša nakon rekonstrukcije i povećanja broja plovila? Mogu li bio kugle s efektivnim mikroorganizmima poboljšati fizikalno-kemijska svojstva i mikrobiološku ispravnost morske vode i školjkaša?

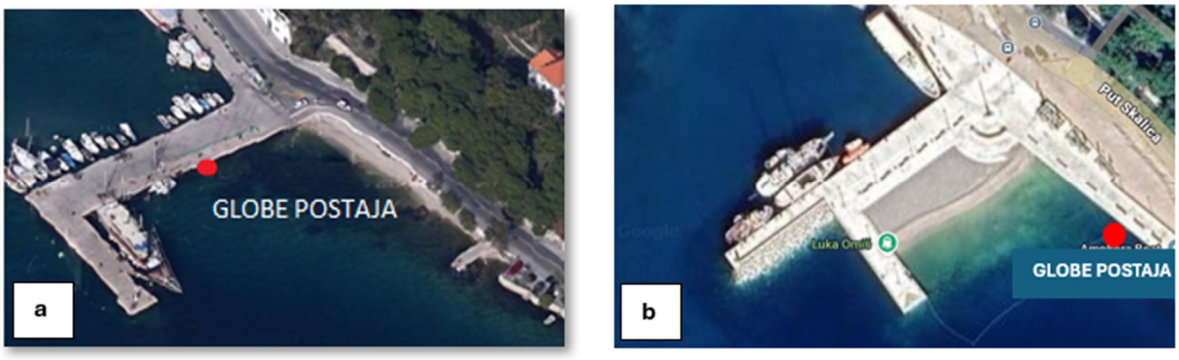
Cilj istraživanja je usporediti fizikalno-kemijska svojstva morske vode u omiškoj luci s podacima prije rekonstrukcije, procijeniti mikrobiološku kakvoću vode i mediteranskih dagnji te ispitati učinak EM bio kugli na mikrobiološko opterećenje i fizikalno-kemijske parametre.

Na temelju svega navedenoga, postavljene su sljedeće hipoteze:
1. Zbog urbanizacije i većeg broja plovila, fizikalno-kemijska svojstva morske vode u omiškoj gradskoj luci upućuju na smanjenje kvalitete morske vode u odnosu na analizu prije deset godina.
2. Sanitarna ispravnost morske vode i školjkaša lošija je u odnosu na uzorke analizirane na istom području prije rekonstrukcije luke.
3. Bio kugle s efektivnim mikroorganizmima pozitivno utječu na smanjenje mikrobiološkog opterećenja morske vode i školjkaša te na poboljšanje fizikalno-kemijskih svojstava morske vode.

METODE RADA

Metodologija istraživanja temelji se na kontinuitetu mjerenja od 2016./2017. godine, uz dodatak eksperimentalne primjene EM bio kugli. Istraživanje obuhvaća tri faze: kontinuirano praćenje fizikalno-kemijskih svojstava mora prema GLOBE protokolima, mikrobiološku analizu morske vode i školjkaša prije i nakon rekonstrukcije luke te ispitivanje učinka EM bio kugli na njihovu kakvoću.

Mjerenja su provedena u omiškoj gradskoj luci na dvjema prostorno bliskim lokacijama koje predstavljaju razdoblje prije i nakon rekonstrukcije (slika 1).



Slika 1 Satelitska snimka GLOBE postaje u omiškoj gradskoj luci a) prije rekonstrukcije luke (od 2014. do 2022. godine); b) nakon rekonstrukcije luke (od svibnja 2025. godine)

Postaja a) nalazila se u unutarnjem, dubljem dijelu luke, no nakon rekonstrukcije i nasipavanja postala je plitka i neprikladna za uzorkovanje. Stoga je postaja b) uspostavljena na suprotnoj strani istog lučkog bazena, na udaljenosti manjoj od 100 m, zbog odgovarajuće dubine i sigurnog pristupa.

Obje postaje nalaze se unutar istog poluzatvorenog akvatorija te su izložene sličnim hidrološkim i meteorološkim uvjetima. Iako je konfiguracija obale djelomično izmijenjena, osnovne značajke cirkulacije mora ostaju usporedive. Na uvjete utječe i blizina ušća Cetine, čiji dotok slatke vode može utjecati na salinitet i slojevitost, podjednako na obje postaje.

Unatoč manjoj brojnosti i rastu mediteranskih dagnji na GLOBE postaji, one su prisutne na konopima i vezovima, s kojih su uzorkovane kao i u istraživanju 2016./2017. godine. Slični stanišni uvjeti (podloga, zasjenjenost, hidrodinamika) omogućuju usporedivost rezultata pa promjena mikrolokacije nije značajno narušila kontinuitet istraživanja.

Određivanje fizikalno-kemijskih svojstva vode korištenjem GLOBE protokola

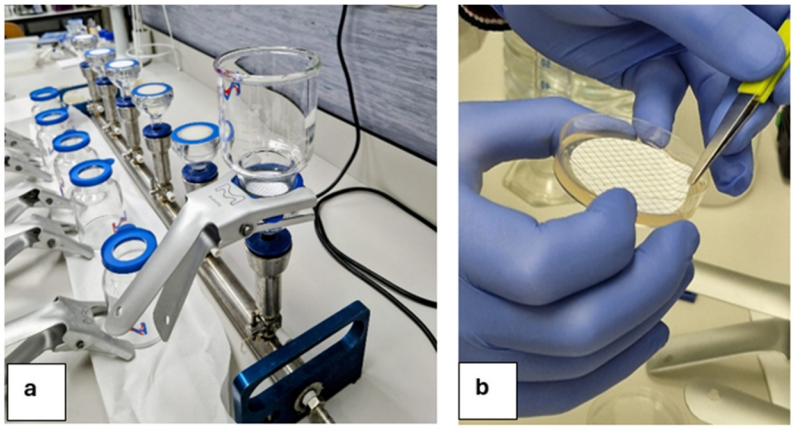
Fizikalno-kemijska svojstva morske vode određivana su prema standardnim GLOBE protokolima (GLOBE, 2003). Uzorkovanja su provedena najmanje jednom tjedno tijekom nastavne godine, a ljeti najmanje dva puta mjesečno, uz odstupanja tijekom pandemije COVID-19 i izgradnje luke zbog ograničenog pristupa.

Temperatura je mjerena termometrom, pH digitalnim pH-metrom ili lakmus papirom, prozirnost turbidity-cijevi, nitrati i nitriti Hach setom ili indikatorskim trakicama, otopljeni kisik Winklerovom metodom, a salinitet areometrom ili digitalnom sondom (Vernier GDX-SAL). Svi podaci pohranjeni su u GLOBE bazu.

Određivanje mikrobiološke ispravnosti morske vode i školjkaša u omiškoj gradskoj luci

Uzorkovanje morske vode provedeno je sterilnim bocama na GLOBE postaji uz obalu gradske luke. Uzorci su unutar jednog sata transportirani u ovlašteni laboratorij Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu, gdje su učenici sudjelovali u filtriranju i postavljanju membrana na selektivne hranjive podloge.

Kakvoća mora procijenjena je pomoću indikatora fekalnog onečišćenja (*E. coli* i crijevni enterokoki), primjenom metode membranske filtracije (slika 2a). Membrane su inkubirane na selektivnim podlogama (slika 2b): enterokoki 48 h na 37 °C, a *E. coli* 24 h na 37 °C. Izrasle kolonije prebrojane su lupom, a rezultati izraženi kao broj kolonija na 100 mL morske vode.

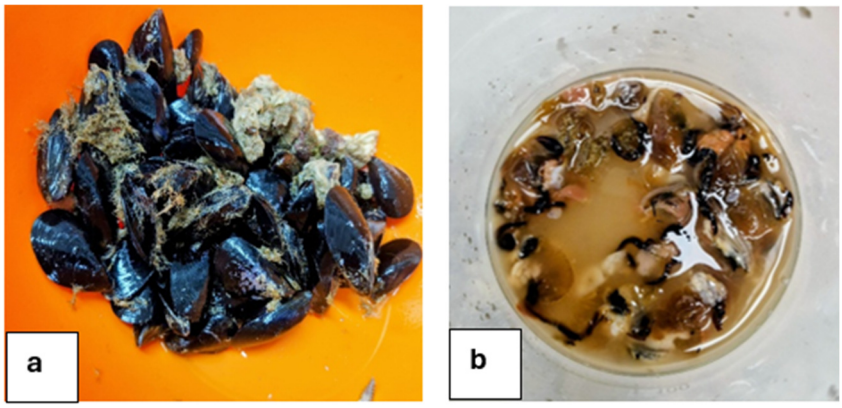


Slika 2 Uređaj za membransku filtraciju (a) i postavljanje membrane na hranjivu podlogu (b)

Kakvoća mora za kupanje određena je prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje (NN 73/2008).

Uzorkovanje školjkaša provedeno je na plutači u središtu lučkog bazena uz GLOBE postaju, dostupnoj isključivo brodom. Ista lokacija korištena je i 2017. što je važno radi usporedivosti podataka. Uzorci su ručno prikupljeni (jedinke slične veličine), a u laboratoriju su obrađeni tako da su se odvajale ljušture,

homogeniziralo tkivo i međuljušturna tekućina, potom su rađena serijska razrjeđenja i inkubaciju (slike 3 i 4).



Slika 3 Uzorci dagnje prije mikrobiološke analize (a) te tkivo i međuljušturna tekućina dagnji (b)



Slika 4 Priprema podloga za inkubaciju

Kao indikator za procjenu kvalitete školjkaša korištena je *E. coli*. Detekcija i brojenje *E. coli* u školjkašima provedeno je metodom najvjerojatnijeg broja (MPN), a procjena kvalitete školjkaša određena prema Pravilniku o higijeni hrane životinjskog podrijetla (NN 99/2007) i Pravilniku o službenim kontrolama hrane životinjskog podrijetla (NN 99/2007). Izračunao se i faktor akumulacije bakterija kao omjer koncentracije bakterija u tkivu školjkaša i koncentracije bakterija u morskoj vodi.

Izrada i primjena bio kugli s efektivnim mikroorganizmima

Bio kugle izrađene su prema uputama proizvođača EM pripravka (EFEKTIVNI MIKROORGANIZMI ORIGINALNA TEHNOLOGIJA RIJEKA d.o.o.) miješanjem EM otopine, gline i Bokashi piljevine. Smjesa je oblikovana u kugle promjera 5–7 cm te fermentirana i sušena 15 dana (slika 5).



Slika 5 EM bio kugle tijekom fermentacije

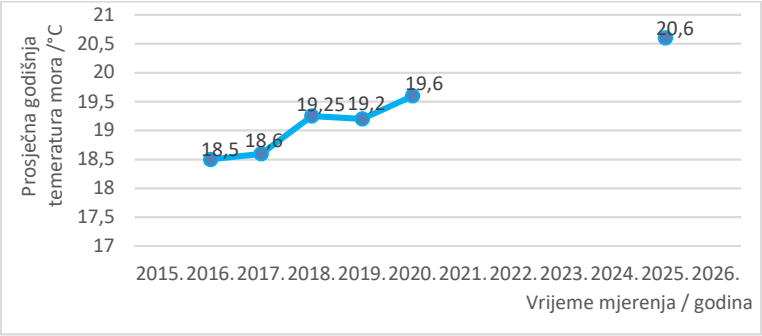
Nakon toga u more je, uz suglasnost gradskih vlasti, ravnomjerno raspoređeno 2000 bio kugli na istraživanoj lokaciji. Tijekom fermentacije razvijaju se mikroorganizmi koji doprinose razgradnji organske tvar i smanjenju neugodnih mirisa u vodenom okolišu. Mjesec dana nakon primjene provedeno je ponovno uzorkovanje i mikrobiološka analiza morske vode i školjkaša u suradnji s Institutom za oceanografiju i ribarstvo u Splitu.

REZULTATI

Fizikalno-kemijska svojstva vode

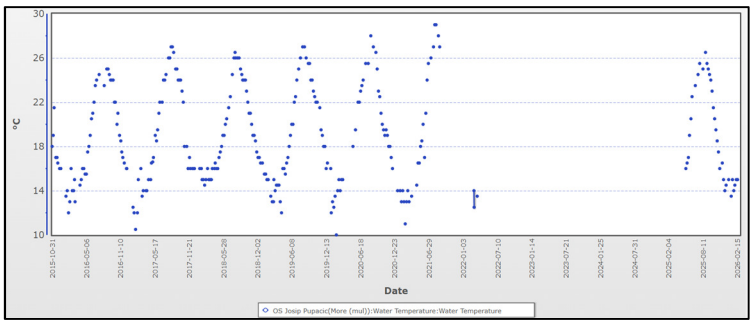
Analiza fizikalno-kemijskih svojstava morske vode u omiškoj gradskoj luci, prema GLOBE protokolima napravljena je 288 puta u vremenskom razdoblju od listopada 2015. do ožujka 2026. godine. Radi preglednosti višegodišnjeg niza mjerenja (2015. – 2026.) izračunate su prosječne godišnje vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara mora. Mjerenja nisu napravljena tijekom 2023. i 2024. godine zbog rekonstrukcije gradske luke i nemogućnosti pristupa GLOBE postaji, a ponovo su nastavljena od svibnja 2025. godine. Izostaje i određeni broj podataka za 2021. i 2022. godinu kada su mjerenja periodično izostajala zbog pandemije COVID-a.

Tijekom promatranog razdoblja uočava se blagi, ali stalni porast prosječne godišnje temperature mora (slika 6), ali zaključke treba izvoditi oprezno, prvenstveno zato što izostaju mjerenja, a i korišteni termometri nisu uvijek bili isti tijekom desetak godina mjerenja temperature mora.



Slika 6 Prosječna godišnja temperatura mora na GLOBE mjernoj postaji u omiškoj gradskoj luci od 2015. do 2026.

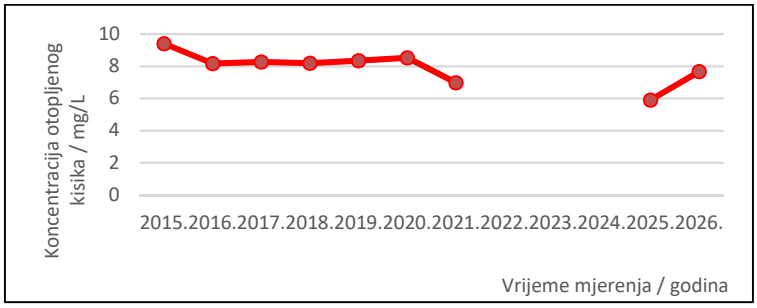
Prikaz ukupnog niza podataka omogućuje uvid u amplitudu sezonskih kolebanja, dok srednje godišnje vrijednosti olakšavaju uočavanje eventualnih dugoročnih promjena. Graf svih mjerenja (slika 7) prikazuje izražene sezonske oscilacije temperature, s najvišim vrijednostima tijekom ljetnih mjeseci i najnižima tijekom zime. Amplituda sezonskih kolebanja ostaje relativno ujednačena kroz godine, dok je vidljivo da se maksimalne ljetne vrijednosti u novijem razdoblju javljaju pri nešto višim temperaturama nego u početnim godinama mjerenja.



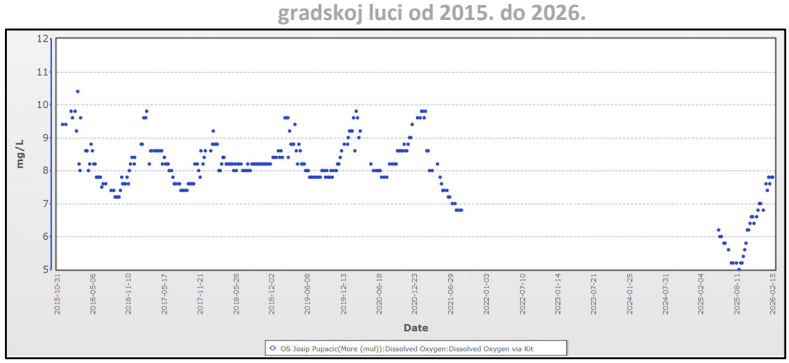
Slika 7 Grafički prikaz svih unesenih izmjerenih vrijednosti temperature mora u °C od 2015. do 2026. za GLOBE postaju u omiškoj gradskoj luci Izvor: https://vis.globe.gov/GLOBE/

Srednje godišnje koncentracije otopljenog kisika prikazane su na slici 8, dok je grafički prikaz svih unesenih mjerenja koncentracije otopljenog kisika prikazan na slici 9. Graf pojedinačnih mjerenja (slika 9) pokazuje sezonski obrazac obrnut od temperature, s višim koncentracijama tijekom hladnijeg dijela godine i nižim tijekom toplijih mjeseci.

Na grafikonu s unesenim prosječnim godišnjim vrijednosti koncentracija otopljenog kisika (slika 8) uočavaju se manje varijacije u koncentraciji kisika i smanjenje koncentracije tijekom 2021. i 2025. godine.



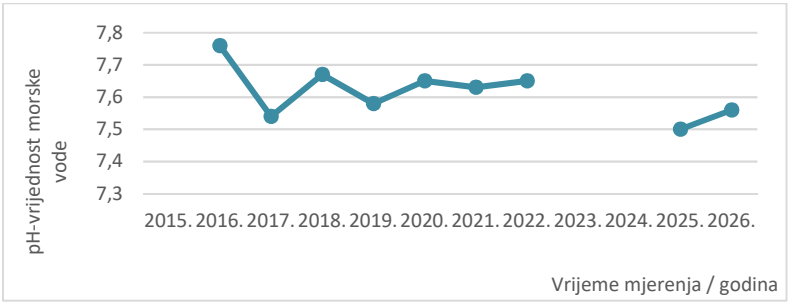
Slika 8 Prosječna godišnja koncentracija otopljenog kisika u mg po L morske vode na GLOBE mjernoj postaji u omiškoj gradskoj luci od 2015. do 2026.



Slika 9 Grafički prikaz svih unesenih izmjerenih vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u mg po L morske vode od 2015. do 2026. godine za GLOBE postaju u omiškoj gradskoj luci

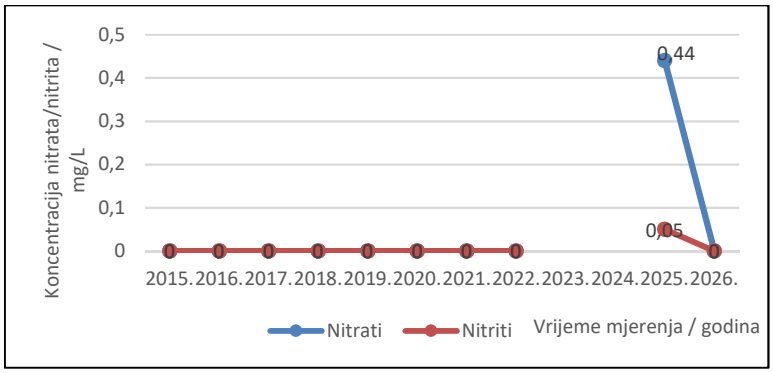
Izvor: https://vis.globe.gov/GLOBE/

Srednje godišnje pH-vrijednosti morske vode (slika 10) pokazuju relativnu stabilnost tijekom cijelog razdoblja mjerenja.



Slika 10 Grafički prikaz prosječnih godišnjih pH-vrijednosti morske vode, na GLOBE mjernoj postaji u omiškoj gradskoj luci od 2015. do 2026.

Slika 11 prikazuje prosječne godišnje vrijednosti koncentracija nitrata i nitrita u mg po L morske vode. Uočljivo je da su samo tijekom 2025. godine koncentracije nitrita i nitrata bile mjerljive.



Slika 11 Prosječna godišnja koncentracija nitrata i nitrita u mg po L morske vode, na GLOBE mjernoj postaji u omiškoj gradskoj luci od 2015. do 2026.

Vrijednosti saliniteta promjenjive su i kretale su se od 36,9 do 38,9‰. Podaci o salinitetu nisu dostupni u GLOBE bazi podatak pa izostaje grafički prikaz mjerenja. Najčešća izmjerena vrijednost saliniteta bila je 38 i 38,2‰. Kod svih mjerenja imali smo kontinuitet u određivanju prozirnosti vode i ona je uvijek iznosila maksimalnih 120 cm koje mjeri turbidity-cijev iz školskog GLOBE laboratorija.

Mikrobiološka analiza morske vode i školjkaša

Tablica 1 prikazuje broj bakterijskih kolonija indikatora u tri uzorka morske vode iz omiške gradske luke. Uzorak 1 uzet je 10. veljače 2017. prije rekonstrukcije luke, a uzorak 2 10. veljače 2026. nakon rekonstrukcije. Dan nakon drugog uzorkovanja u luku je uneseno 2000 EM bio kugli, a treći uzorak prikupljen je mjesec dana kasnije.

Vrijednosti koncentracija enterokoka u uzorcima kretao se od 23 do 24 kolonije u 100 mL morske vode, dok je koncentracija broja kolonija *E. coli* u 100 mL morske vode bila od 14 do 25 poraslih kolonija, što upućuje da morska voda prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje (NN 73/2008) pripada kategoriji izvrsne kakvoće vode, kako 2017. godine tako i 2026. godine nakon puštanja u uporabu novoizgrađene nautičke luke.

Tablica 1. Pregled broja kolonija indikatora fekalnog onečišćenja u različitim uzorcima morske vode u omiškoj gradskoj luci i fizikalno-kemijske vrijednosti morske vode izmjerene prema GLOBE protokolima na dan uzorkovanja

Uzorak	Datum uzorkovanja	CFU Fekalni enterokoki/ 100 mL vode	CFU *E. coli* / 100 mL vode	Temperatura °C	Kisik mg/L	pH	Nitrati/ nitriti mg/L
Uzorak 1	10.2.2017.	24	14	12,0	9,6	7,74	0/0
Uzorak 2	10.2.2026	23	25	13,5	7,8	7,54	0/0
Uzorak 3	11.3.2026.	23	24	14,5	7,8	7,58	0/0

Vrijednosti poraslih kolonija *E. coli* u mediteranskoj dagnji kretale su se od 23 do 42 kolonije (tablica 2). Prema Pravilniku o higijeni hrane životinjskog podrijetla (NN 99/2007) i Pravilniku o službenim kontrolama hrane životinjskog podrijetla (NN 99/2007), vrijednosti su ispod granice koja bi ukazivala na sanitarnu neispravnost školjkaša.

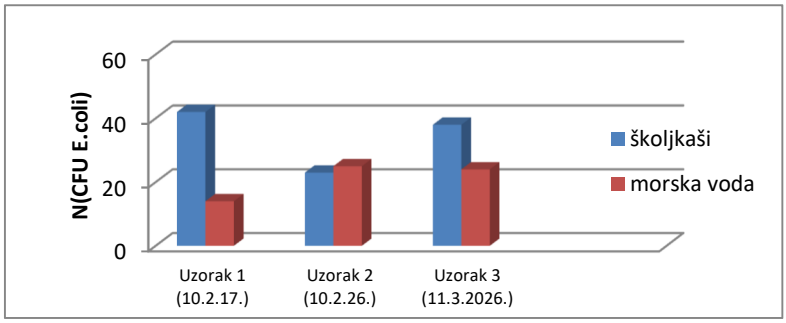
Tablica 2 Pregled broja poraslih kolonija *Escherichia coli* u uzorcima školjkaša iz omiške gradske luke i faktor akumulacije bakterija u školjkašima

Uzorak	Datum	*Escherichia coli*/100 g mesa i međuljušturne tekućine	Faktor akumulacije *E.coli*
Uzorak 1	10.2.2017.	42	3,00
Uzorak 2	10.2.1026.	23	0,92
Uzorak 3	11.3.2026.	38	1,58

Usporedbom dobivenih koncentracija indikatora fekalnog onečišćenja *E.coli* uočava se da je faktor akumulacije *E. coli* u uzorcima školjkaša iz 2017. godine veći tri puta u odnosu na zastupljenost iste indikatorske vrste u slobodnoj mrskoj vodi, dok je u veljači 2026. godine faktor akumulacije ispod 1 jer

je koncentracija *E.coli* u morskoj vodi bila veća nego u tkivu i međuljušturnoj tekućini uzorkovanih dagnji. Faktor akumulacije u ponovljenoj analizi u ožujku 2026. iznosio je 1,58 (tablica 2).

Slika 12 prikazuje odnos broja izraslih kolonija *E. coli* u školjkašima i u slobodnoj morskoj vodi usporedno za sve uzorke koji su analizirani u ovome radu.



Slika 12. Odnos broja kolonija *E. coli* izoliranih iz morske vode i dagnji

RASPRAVA

Rezultati dugogodišnjeg praćenja fizikalno-kemijskih svojstava morske vode u omiškoj gradskoj luci pokazuju relativnu stabilnost većine parametara, uz uočenu tendenciju blagog porasta srednje godišnje temperature mora. Takav trend u skladu je s opažanjima globalnog i regionalnog porasta temperature mora, koji se povezuje s klimatskim promjenama i dugoročnim zagrijavanjem površinskog sloja mora (Garcia-Monteiro, 2022). Mogući porast vrijednosti prosječne razine mora u 2025. godini leži u činjenici da se u 2025. godini s mjerenjima krenulo tek od svibnja, odnosno izostala su mjerenja u najhladnijim zimskim mjesecima te prije konačnog zaključka treba nastaviti s redovitim mjerenjima temperature mora u budućnosti.

Koncentracije otopljenog kisika pokazivale su sezonska kolebanja, vrijednosti su obrnuto proporcionalne mjerenim vrijednostima temperature, s višim vrijednostima tijekom hladnijih mjeseci i nižima tijekom toplijeg dijela godine. Takav odnos očekivan je s obzirom na smanjenu topljivost kisika pri višim temperaturama. Manje varijacije u pojedinim godinama, osobito 2025., mogu se djelomično objasniti manjim brojem mjerenja i izostankom podataka za najhladnije mjesece, što ograničava potpunu usporedivost godišnjih srednjih vrijednosti.

Vrijednosti pH morske vode bile su relativno stabilne tijekom većeg dijela promatranog razdoblja, uz blagi pad u 2025. godini. Iako pojedinačno godišnje odstupanje ne može potvrditi dugoročan trend zakiseljavanja, promjene pH-vrijednosti u obalnim sustavima mogu biti povezane s povećanim unosom organske tvari i promjenama u biološkoj aktivnosti (Krstulović i Šolić, 2006). Budući da se 2025. godina odnosi na razdoblje nakon rekonstrukcije luke, potrebno je daljnje praćenje kako bi se utvrdilo radi li se o privremenoj oscilaciji ili o trajnijoj promjeni.

Zanimljiv je podatak da prije rekonstrukcije luke nisu zabilježene mjerljive koncentracije nitrata i nitrita, dok su u 2025. godini prosječne vrijednosti nitrata iznosile 0,44 mg/L, a nitrita 0,05 mg/L. Povećane koncentracije anorganskih oblika dušika u obalnim područjima često se povezuju s antropogenim utjecajem, uključujući urbani utjecaj, komunalne ispuste i pomorski promet. Urbanizacija obale i intenzivnije korištenje lučkog prostora mogu doprinijeti povećanom unosu hranjivih tvari u poluzatvorene sustave s ograničenom izmjenom vode (Krstulović i Šolić, 2006). Ipak, izmjerene vrijednosti u ovom istraživanju nisu bile visoke te ne upućuju na izraženu eutrofikaciju (Cloern, 2001).

Moguće je da manja odstupanja u pojedinim izmjerenim vrijednostima proizlaze i iz činjenice da tijekom dugog razdoblja praćenja nisu uvijek korišteni isti mjerni uređaji. Razlike u instrumentima i njihovoj kalibraciji mogu djelomično utjecati na usporedivost rezultata. Unatoč tome, dobiveni podaci pružaju vrijedan dugogodišnji uvid u promjene fizikalno-kemijskih svojstava mora na istraživanoj lokaciji.

Mikrobiološka analiza morske vode pokazala je niske koncentracije indikatora fekalnog onečišćenja u svim analiziranim uzorcima. Vrijednosti fekalnih enterokoka (23-24 CFU/100 mL) i *Escherichia coli* (14-25 CFU/100 mL) svrstavaju more u kategoriju izvrsne kakvoće prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje (NN 73/2008). Usporedba rezultata iz 2017. i 2026. godine ne pokazuje pogoršanje sanitarne kakvoće mora nakon rekonstrukcije luke i povećanja broja plovila. Time se ne potvrđuje hipoteza o pogoršanju mikrobiološke kakvoće mora uslijed urbanizacije i intenzivnijeg korištenja luke. Niske koncentracije indikatorskih bakterija upućuju na odsutnost značajnog fekalnog opterećenja, što je važno s javnozdravstvenog stajališta (WHO, 1997).

Rezultati mikrobiološke analize školjkaša pokazali su da se koncentracija *E. coli* u tkivu dagnji kretala od 23 do 42 MPN/100 g, što je znatno ispod graničnih vrijednosti za područje najbolje kakvoće prema Pravilniku (NN 99/2007). Time se potvrđuje sanitarna ispravnost školjkaša na istraživanoj lokaciji. Usporedba s rezultatima iz 2017. godine ne pokazuje pogoršanje mikrobiološke kakvoće školjkaša.

Izračunati faktor akumulacije iz 2017. potvrđuje sposobnost mediteranskih dagnji da filtriranjem koncentriraju bakterije iz okolne vode. Takav nalaz u skladu je s istraživanjima koja pokazuju da školjkaši mogu višestruko akumulirati bakterije prisutne u morskoj vodi (Marino i sur., 2005; Stabili i sur., 2005). Iako je koncentracija bakterija u vodi bila niska, njihova razina u tkivu školjkaša bila je nekoliko puta veća, što pokazuje njegovu važnost i utjecaj kao filtratora. U uzorku iz veljače 2026. zabilježena je situacija u kojoj je koncentracija bakterije *E. coli* u morskoj vodi bila viša nego u tkivu dagnji. Takav nalaz može se objasniti dinamičnom prirodom filtracijskog procesa kod školjkaša te promjenjivim uvjetima u okolišu. Iako su dagnje poznate po sposobnosti akumulacije mikroorganizama iz okolne vode, njihova filtracijska aktivnost i razina zadržavanja bakterija ovise o nizu čimbenika, uključujući temperaturu mora, brzinu protoka vode, koncentraciju suspendiranih čestica i fiziološko stanje organizma. Također je moguće da je u trenutku uzorkovanja došlo do nedavnog unosa bakterija u vodeni stupac, primjerice uslijed dotoka slatke vode ili lokalnog onečišćenja, pri čemu školjkaši još nisu stigli akumulirati bakterije u tkivu. Slične pojave zabilježene su i u drugim istraživanjima, koja pokazuju da koncentracija fekalnih bakterija u školjkašima ne mora uvijek biti izravno proporcionalna njihovoj koncentraciji u vodi, već ovisi o vremenu izlaganja i fiziološkim procesima filtracije i depuracije (Burkhardt i Calci, 2000).

Primjena bio kugli s efektivnim mikroorganizmima nije pokazala jasno izražen učinak na smanjenje broja indikatorskih bakterija u kratkom razdoblju od mjesec dana. Iako koncept primjene efektivnih mikroorganizama ima potencijal u razgradnji organske tvari (Yamada i Xu, 2000; Javaid, 2006), njihova učinkovitost u otvorenim morskim sustavima s kontinuiranom izmjenom vode može biti ograničena. Potrebna su dugotrajnija i kontrolirana istraživanja kako bi se pouzdano procijenio njihov stvarni doprinos poboljšanju kakvoće mora.

Ukupno gledajući, rezultati istraživanja ne potvrđuju postavljenu hipotezu o značajnom pogoršanju kakvoće morske vode i školjkaša nakon rekonstrukcije gradske luke. Iako su uočene određene promjene u pojedinim fizikalno-kemijskim parametrima (nitrati, nitriti, pH-vrijednost), mikrobiološki

pokazatelji ostali su u granicama izvrsne kakvoće mora. Time se može zaključiti da, barem u dosadašnjem razdoblju praćenja, povećanje broja plovila i prostorne promjene u luci nisu dovele do značajnog narušavanja sanitarne kakvoće morskog okoliša.

Primjena EM bio kugli u ovom istraživanju nije rezultirala poboljšanjem sanitarne ispravnosti morske vode i školjkaša. Međutim, početne vrijednosti indikatora fekalnog onečišćenja bile su već niske, što upućuje na dobru kakvoću mora i ograničen prostor za dodatno poboljšanje. U takvim uvjetima učinak bioloških metoda može biti slabije izražen ili teško mjerljiv. Slični rezultati zabilježeni su i u drugim istraživanjima, gdje učinkovitost EM pripravaka ovisi o početnom stupnju onečišćenja i lokalnim uvjetima (Tomczyk i sur., 2024).

Za potpuniju procjenu dugoročnih trendova potrebno je nastaviti sustavno praćenje kroz dulje vremensko razdoblje te uključiti veći broj uzoraka i sezonskih ponavljanja, osobito tijekom ljetne turističke sezone kada je antropogeni pritisak najveći.

ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Dugogodišnje praćenje fizikalno-kemijskih svojstava morske vode u omiškoj gradskoj luci pokazuje relativnu stabilnost većine parametara, uz uočeni blagi porast temperature mora.
- Nakon rekonstrukcije luke zabilježene su mjerljive koncentracije nitrata i nitrita te blagi pad pH-vrijednosti, što može upućivati na povećani antropogeni utjecaj, ali izmjerene vrijednosti ne ukazuju na izraženu eutrofikaciju.
- Mikrobiološka analiza morske vode pokazala je niske koncentracije fekalnih enterokoka i bakterije *E. coli*, zbog čega more pripada kategoriji izvrsne kakvoće prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje.
- Mikrobiološka analiza školjkaša pokazala je da su koncentracije *E. coli* znatno ispod graničnih vrijednosti propisanih za sanitarnu ispravnost školjkaša, čime se potvrđuje njihova zdravstvena sigurnost.
- Usporedba rezultata iz 2017. i 2026. godine ne pokazuje značajno pogoršanje kakvoće morske vode i školjkaša nakon rekonstrukcije gradske luke i povećanja broja plovila.
- Primjena bio kugli s efektivnim mikroorganizmima u kratkom razdoblju od mjesec dana nije pokazala jasan utjecaj na smanjenje mikrobiološkog opterećenja morske vode i školjkaša.
- Za pouzdaniju procjenu utjecaja urbanizacije obale i učinkovitosti bioloških metoda poboljšanja kakvoće mora potrebno je nastaviti dugoročno i sustavno praćenje morskog okoliša.

ZAHVALA

Ovaj istraživački projekt proveli su učenici GLOBE grupe iz Omiša, njih 50-ak, a na Državnoj smotri i natjecanju hrvatski GLOBE škola rad su predstavila tri učenika: Josip, Rina i Tonka. Projekt je istaknut i nagrađen kao jedan od najuspješnijih projekta na području hidrologije. Ovo istraživanje ne bi bilo moguće provesti da nije bilo i bivših GLOBE učenika OŠ Josip Pupačić koji već dvanaestu godinu redovito provode mjerenja i analize fizikalno-kemijskih svojstava morske vode i čiji su se podaci u ovom radu koristili. Ovim putem želimo se zahvaliti Institutu za oceanografiju i ribarstvo u Splitu, osobito dr. sc. Dariji Ezgeta Balić i dr. sc. Slavenu Joziću koji su izdvojili svoje znanje i vrijeme te nam omogućili rad na Institutu s ciljem određivanja broja bakterijskih kolonija u uzorcima mora i školjkaša.

LITERATURA

Banović T., Štrbac I. 2024. Naših 10 GLOBE godina. Tiskara Kovačić, Omiš, str. 17 -27.

Burkhardt W., Calci K. R. 2000. Selective accumulation may account for shellfish-associated viral illness. Applied and Environmental Mivrobiology 66(4): 1375-1378.

Cloern J. E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, 210: 223–253.

García-Monteiro S., Sobrino J. A., Julien, Y. Sòria, G., Skokovic D. 2022. Surface temperature trends in the Mediterranean Sea from MODIS data during years 2003–2019. Regional Studies in Marine Science 49, 102086.

GLOBE Visualization System. https://vis.globe.gov/GLOBE/, pristupljeno 28.2.2026.

Javaid A. 2006. Foliar application of effective microorganisms on pea as an alternative fertilizer. Agronomy for Sustainable Development 26: 257–262.

Krstulović N., Šolić M. 2006. Mikrobiologija mora. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

Marino A., Lombardo L., Fiorentino C., Orlandella B., Nostro A., Alonzo V. 2005. Uptake of *Escherichia coli* by mussels (*Mytilus galloprovincialis*, L.). International Journal of Food Microbiology 99: 281–286.

Matoničkin Kepčija R. 2003. Priručnik za voditelje programa GLOBE; Istraživanje vode, http://globe.pomsk.hr/prirucnik/voda.PDF, pristupljeno 10.1.2026.

Narodne novine br.99/2007. Pravilnik o higijeni hrane životinjskog podrijetla, Narodne novine, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_10_99_2946.html, pristupljeno 28.2.2026.

Narodne novine br.99/2007. Pravilniku o službenim kontrolama hrane životinjskog podrijetla, Narodne novine, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_10_99_2947.html, pristupljeno 28.2.2026.

Narodne novine br. 73/2008. Uredba o kakvoći mora za kupanje, Narodne novine, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_06_73_2426.html, pristupljeno 28.2.2026.

Ottaviani D., Santarelli S., Bacchiocchi S., Masini L., Ghittino C., Bacchiocchi I. 2006. Occurrence of *Aeromonas* spp. in mussels from the Adriatic Sea. Food Microbiology 23: 418–422.

Sbaraglia G., Ottaviani D, Bacchiocchi I. 1995. Correlation between metabolic pathway and phenotypic markers of virulence in *Aeromonas* spp. Microecology and Therapy 25: 188–193.

Stabili L., Aquaviva M. I., Cavallo R. A. 2005. *Mytilus galloprovincialis* filter feeding on bacterial community. Water Research 39: 469–477.

Tomczyk P., Wierzchowski P. S., Dobrzyński J. 2024. Effective microorganism water treatment method for rapid eutrophic reservoir restoration. Environmental Science and Pollution Research 31: 2377–2393.

Yamada K., Xu H. L. 2000. Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microorganisms. Journal of Crop Production, 3: 255–268.

WHO 1997. Health impact of human exposure to fresh and saline recreational waters. WHO Regional Office for Europe. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/117f5c92-3733-48fb-9020-40e965eb8844/content, pristupljeno 16. siječnja 2026.