Izvorni znanstveni članak | *Originalscientific paper* | UDK 628.394
Primljeno (Received): 13.04.2026.; Prihvaćeno (Accepted): 03.07.2026.

MIKROBIOLOŠKO OPTEREĆENJE LUKE RIJEKA I UTJECAJ NA REKREACIJSKO PODRUČJE

prof. dr. sc. Darija Vukić Lušić
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska
darija.vukic.lusic@medri.uniri.hr

Evita-Lara Brkić, mag. sanit. ing.
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

Neven Sučić, mag. med. lab. diag.
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

prof. dr. sc. Dražen Lušić
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

izv. prof. dr. sc. Marin Glad
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

Goranka Crnković, mag. sanit. ing.
Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

Tea Peranić Mehanović, mag. sanit. ing.
Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

dr. sc. Vanja Baljak, mag. sanit. ing.,
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

Vesna Kauzlarić, dipl. ing. biol.
Nastavni zavod za javno zdravstvo Istarske županije
Nazorova ul. 23, Pula, Hrvatska

izv. prof. dr. sc. Romina Kraus
Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora
G. Paliage 5, Rovinj, Hrvatska

prof. dr. sc. Marijana Pečarević,
Odjel za primijenjenu ekologiju, Sveučilište u Dubrovniku
Branitelja Dubrovnika 29, Dubrovnik, Hrvatska

izv. prof. dr. sc. Arijana Cenov
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

Kvaliteta morskog okoliša predstavlja značajan javnozdravstveni izazov. Luka Rijeka, najveća hrvatska pomorska luka, potencijalni je izvor mikrobiološkog onečišćenja zbog balastnih voda, kopnenih ispusta i dotoka slatke vode. Cilj istraživanja bio je procijeniti mikrobiološko opterećenje u vodenom stupcu i sedimentu luke te njegov mogući utjecaj na kakvoću mora u rekreacijskom području. Istraživanje je provedeno u okviru projekta ProtectAs (2020. – 2021.) na tri lokacije, s ukupno 63 ispitana uzorka. Ispitivani su *Escherichia coli,* crijevni enterokoki, *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa, Vibrio* spp., *Salmonella* spp. i *Shigella* spp. Koncentracija *E. coli* u morskoj vodi bila je približno deset puta viša nego u sedimentu, dok su enterokoki i *C. perfringens* češće potvrđeni u sedimentu. *Vibrio* spp. utvrđen je u 25,5 %, a *Salmonella* spp. u 5,9 % uzoraka. Najveće mikrobiološko opterećenje zabilježeno je na plažama zapadno od luke. Rezultati potvrđuju prostorna i sezonska kolebanja onečišćenja te naglašavaju potrebu uključivanja sedimenta i dodatnih mikrobioloških pokazatelja u rutinski monitoring.

Ključne riječi: luka Rijeka, mikrobiološko onečišćenje, balastne vode, rekreacijsko područje, vodeni stupac, sediment

1. UVOD

Mikrobiološko onečišćenje morskog okoliša u lukama nosi visok rizik za javno zdravlje zbog potencijalnog širenja fekalnih bakterija na obližnja rekreacijska područja (Luna i dr. 2019). Glavni izvori onečišćenja su kanalizacija, oborinske i poljoprivredne vode, septičke jame i ispusti plovila. U krškim priobalnim područjima poput Kvarnerskog zaljeva, ranjivi vodonosnici dodatno su izloženi riziku fekalnog onečišćenja zbog miješanja površinskih i podzemnih voda, brzih promjena hidroloških uvjeta te ograničene retencijske sposobnosti krških vodonosnika (Pavić i dr. 2013).

Uz fekalne patogene, morski okoliš može sadržavati oportunističke i autohtone morske mikroorganizme, ali i alohtone vrste unesene antropogenim aktivnostima. Balastne vode, koje se koriste za održavanje stabilnosti brodova, važan su vektor prijenosa mikroorganizama između udaljenih obala, a njihov značaj raste s porastom pomorskog prometa (Luna i dr. 2019). Njihova prisutnost posebno je relevantna u lukama smještenima uz rekreacijska područja, poput luke Rijeka, gdje potencijalni utjecaji pomorskog prometa mogu pridonositi promjenama mikrobiološke kakvoće mora i povezanim javnozdravstvenim rizicima.

Riječki zaljev, kao unutarnji dio Kvarnerskog zaljeva, omeđen je otocima Cresom i Krkom, istarskom obalom te područjem Rijeke i Kostrene (Zonn i dr. 2021), a njegove hidrografske značajke oblikuju krški reljef, priobalni izvori i vrulje te ekološki čimbenici, uključujući temperaturu i morske struje (Šolić i Krstulović 1992). Međutim, kakvoća mora u lukama često je narušena, a balastne vode pritom predstavljaju važan vektor unosa invazivnih vrsta i patogena (Luna i dr. 2019).

1.1. Balastne vode, zakonska regulativa i obrada

Korištenje balastnih voda, prisutno u pomorskom prometu od kraja 19. stoljeća, pridonosi globalnom prijenosu velikog broja organizama na godišnjoj razini. Iako većina unesenih vrsta ugiba u novim uvjetima, one koje pronađu odgovarajuće niše mogu se nekontrolirano razmnožiti te, bez prirodnih neprijatelja, uzrokovati ozbiljne ekološke i ekonomske poremećaje (IMO 2017).

Na globalnoj razini Međunarodna pomorska organizacija (engl. *International Maritime Organization* – IMO) usvojila je Konvenciju o upravljanju vodama iz balastnih spremnika (engl. *Ballast Water Management Convention* – BWM Convention), koja propisuje standarde D1 (izmjena u otvorenom moru) i D2 (ograničenje koncentracije organizama i indikatorskih bakterija). Hrvatska regulativa (NN 128/2012) usklađena je s tim zahtjevima te, uz obvezu prijave balasta 48 sati prije uplovljavanja i zabranu izmjene u osjetljivim područjima ili pri nepovoljnim uvjetima, propisuje i mikrobiološke kriterije prema D2 standardu. Konkretno, propisane su granične vrijednosti za *Escherichia coli*, crijevne enterokoke i *Vibrio cholerae* (serotipovi O1 i O139). Kvaliteta mora za kupanje dodatno je regulirana Uredbom (NN 73/2008), koja definira granične vrijednosti za *E. coli* i crijevne enterokoke. Iako se u regulatornom okviru upravo ovi pokazatelji smatraju ključnima, za procjenu mikrobiološke kakvoće koriste se i brojni drugi mikrobiološki pokazatelji relevantni za ocjenu razine onečišćenja i potencijalnog zdravstvenog rizika.

1.2. Indikatorski mikroorganizmi i zdravstveni rizici

Praćenje ukupnog broja bakterija pri 22 °C i 36 °C (UBB) daje uvid u opće bakterijsko opterećenje mora. UBB/22 bolje odražava okolišne promjene povezane s organskim obogaćenjem, dotokom slatkih voda i oborinskim utjecajem, dok UBB/36 uključuje i termotolerantne bakterije povezane s antropogenim utjecajem, uključujući potencijalno i fekalno onečišćenje (Kapetanović i dr. 2012).

Koliformne bakterije predstavljaju pokazatelje općeg mikrobiološkog i sanitarnog opterećenja, dok je *E. coli* specifičniji pokazatelj fekalnog onečišćenja; obje skupine mogu preživjeti u sedimentu, biofilmovima i na makroalgama (Luna i dr. 2010, Hassard i dr. 2016). Crijevni enterokoki, zbog otpornosti na povišenu slanost, pH i temperaturne ekstreme, dulje opstaju od *E. coli* te se akumuliraju u sedimentu i pijesku, gdje djeluju kao sekundarni rezervoar fekalnog onečišćenja (Byappanahalli i dr. 2012; WHO 2021). Njihova prisutnost povezuje se s gastrointestinalnim simptomima kod kupača (Figueras i dr. 1997).

C. perfringens je gram-pozitivna, anaerobna, sporogena bakterija čije endospore pokazuju iznimnu otpornost na nepovoljne okolišne uvjete i mogu mjesecima opstati u vodenom okolišu, sedimentu i pijesku. Za razliku od E. coli i crijevnih enterokoka, ne razmnožava se u okolišu, što ga čini specifičnim i pouzdanim pokazateljem fekalnog unosa. Njegova prisutnost upućuje na stariju ili kroničnu kontaminaciju, osobito u područjima s povremenim ili udaljenim izvorima onečišćenja te u lukama i priobalnim zonama s izraženim antropogenim opterećenjem (Luna i dr. 2010; Chiaretti i dr. 2014). Zbog tih osobina sve se češće preporučuje kao dodatni mikrobiološki pokazatelj u procjeni kakvoće rekreacijskih voda, osobito u područjima s toplijom klimom (WHO 2021).

Rod *Salmonella* obuhvaća gram-negativne štapiće s preko 2500 serotipova, većinom unutar vrste *S. enterica* (Andino i Hanning 2015). Njihova prisutnost u rekreacijskim vodama upućuje na fekalni utjecaj, osobito u blizini ispusta otpadnih voda (WHO, 2021). U morskom okolišu mogu preživjeti danima, a posebnu ulogu u prijenosu imaju školjkaši, pri čemu je infektivna doza vrlo niska (Winfield i Groisman 2003).

Rod *Shigella* uključuje uzročnike šigeloze, među kojima su klinički najvažnije vrste *S. dysenteriae, S. flexneri, S. boydii* i *S. sonnei* (Livio i dr. 2014). Infektivna

doza je izuzetno niska (10 – 200 stanica), što ih čini jednim od najinfektivnijih enteropatogena (DuPont i dr. 1989). U morskoj vodi preživljavanje je ograničeno zbog UV zračenja i saliniteta, ali mogu opstati u biofilmovima (Rozen i Belkin 2001). Iako se rijetko potvrđuju u Jadranu, njihova pojava nosi visok epidemiološki rizik (CDC 2024).

P. aeruginosa je oportunistički patogen široko rasprostranjen u slatkim i morskim vodama, osobito u urbanim područjima (WHO 2021). Iako nije klasični fekalni indikator, zbog otpornosti na okolišne čimbenike i stvaranja biofilmova predlaže se kao dodatni pokazatelj kakvoće mora (Mena i Gerba 2009). Infekcije se mogu javiti već pri niskim koncentracijama (1 – 17 CFU/100 mL), osobito kod osjetljivih skupina (van Asperen i dr. 1995).

Rod *Vibrio* obuhvaća više patogenih vrsta značajnih za javno zdravlje, među kojima su najvažniji *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus* i *V. fluvialis*. Od preko 200 serotipova *V. cholerae*, samo O1 i O139 uzrokuju koleru, tešku bolest koja se prenosi fekalno-kontaminiranom vodom i hranom (WHO 2021). Ostale vrste mogu uzrokovati gastroenteritise i infekcije rana nakon konzumacije sirovih plodova mora ili kontakta s morskom vodom koja sadrži povišene koncentracije vrsta roda *Vibrio* (Osunla i Okoh 2017). Vibriji su autohtoni u morskom i boćatom okolišu i njihova dinamika ovisi o temperaturi i salinitetu, dok klimatske promjene dodatno povećavaju rizik u obalnim područjima poput Jadrana (Vezzulli i dr. 2012).

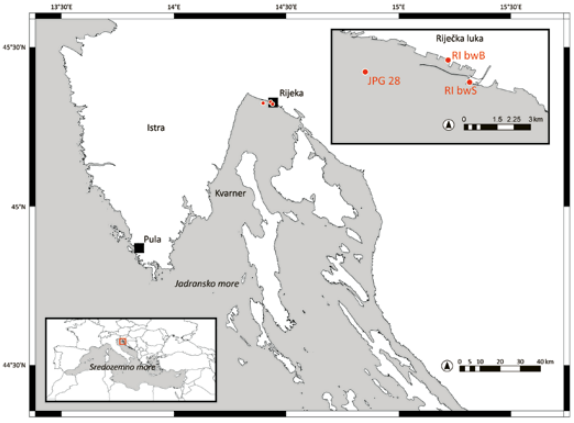
Upravljanje mikrobiološkim rizicima zahtijeva interdisciplinarni pristup koji uključuje monitoring okoliša, obradu balastnih voda i provedbu propisa. U lukama poput Rijeke, gdje se industrijske i rekreacijske zone preklapaju, integrirano praćenje i brza reakcija ključni su za zaštitu zdravlja i bioraznolikosti. U skladu s navedenim, cilj ovog istraživanja bio je procijeniti mikrobiološko opterećenje vodenog stupca i sedimenta u području luke Rijeka, analizirati prostorne i sezonske obrasce mikrobiološkog onečišćenja te procijeniti mogući utjecaj lučkog područja na kakvoću mora u obližnjim rekreacijskim zonama.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

2.1.1. Luka Rijeka

Uzorci su prikupljani od listopada 2020. do rujna 2021. na tri lokacije unutar luke Rijeka i u njezinoj okolici (slika 1). Riječki zaljev obuhvaća preko 500 km^2 s prosječnom dubinom od 60 m i volumenom od 27 km^3. U njega se ulijeva Rječina najveća rijeka ovog područja (17 km), a blizu njezina ušća smješten je uređaj za pročišćavanje Delta s podmorskim ispustom na 548 m od obale, na dubini od 46 m, orijentiran jugozapadno (KD VIK, 2005.). Dvije istraživane točke bile su u zoni mogućeg utjecaja balastnih voda: RI bwB (žitni terminal u riječkom bazenu) i RI bwS (terminal za opće terete i drvo u sušačkom bazenu, zaštićen 420 m dugim lukobranom, u blizini ispusta Delta i ušća Rječine). Treća točka, JPG 28, bila je smještena izvan područja neposrednog utjecaja luke te je služila kao usporedna lokacija u odnosu na lučke postaje.



Slika 1: Karta s prikazom lokacija uzorkovanja (izvor: ProtectAs; modificirano i grafički obrađeno: Dora Lušić).

2.1.2. Plaže u blizini luke Rijeka i u širem području

Dodatno su analizirani podaci nacionalnog monitoringa kakvoće mora za kupanje za sezonu 2021. na 29 lokacija (292 uzorka) u rekreacijskom području oko luke Rijeka. Radi procjene mogućeg utjecaja luke, lokacije su grupirane prema prostornoj blizini samoj luci na uže i šire područje. Uže područje obuhvatilo je šest lokacija istočno i devet lokacija zapadno od luke, dok su preostale lokacije svrstane u šire područje (slika 2).



Slika 2: Lokacije uzorkovanja u okolici luke Rijeka obuhvaćene nacionalnim programom praćenja (monitoringom) kakvoće mora za kupanje: uže područje (označeno žutim okvirom) i šire područje.

2.2. Uzorkovanje

Uzorkovanje morske vode provedeno je sezonski na unaprijed utvrđenim lokacijama, iz plovila, s dubine od 30 cm, u sterilne staklene boce (2 L). Sediment plićih područja skupljan je uz pomoć ronioca u boce (1 L). Uzorci su čuvani na temperaturi od 4 °C te su obrađeni odmah po dolasku u laboratorij.

2.3. Mikrobiološko ispitivanje

Ispitana su ukupno 63 uzorka: 51 uzorak morske vode i 12 uzoraka sedimenta. Uzorci su ispitani s obzirom na sljedeće mikrobiološke pokazatelje: broj kolonija (UBB),

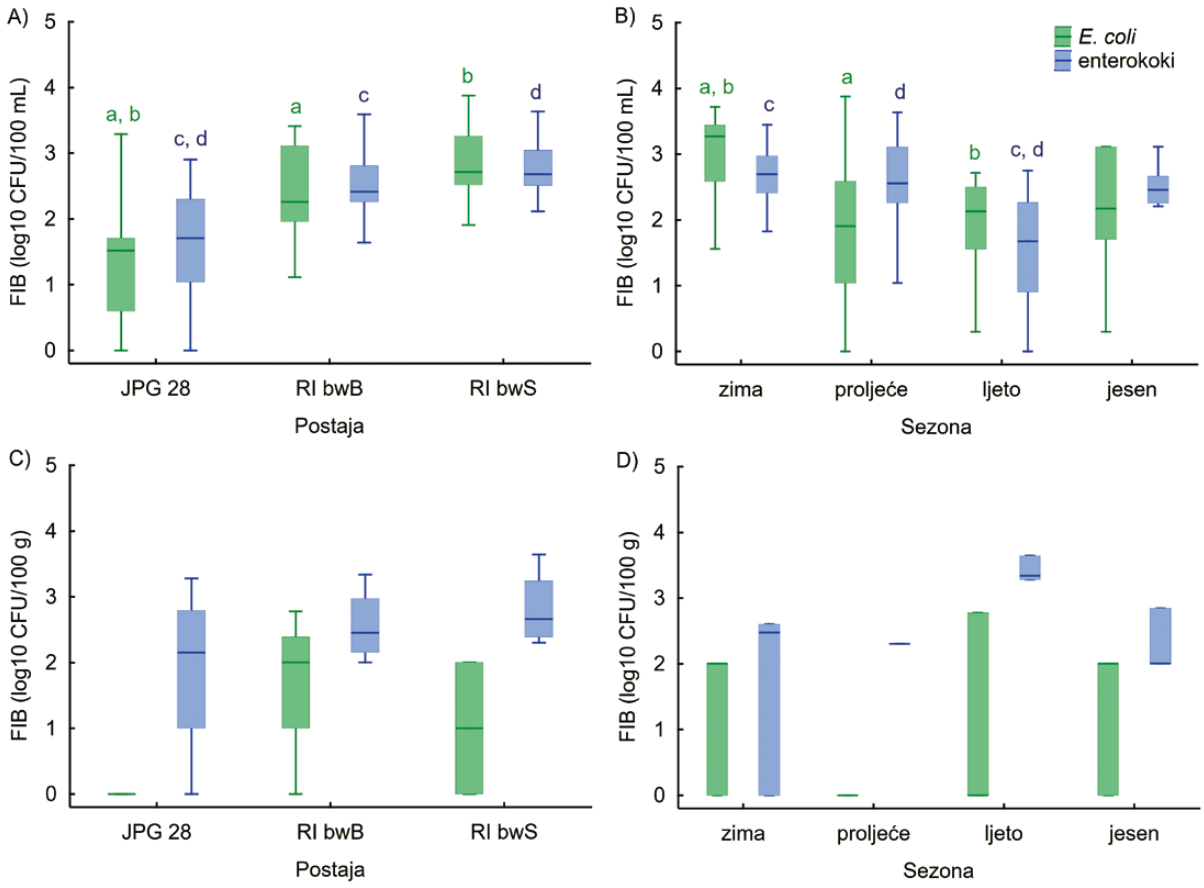
Tablica 1: Popis standardnih ISO normi primijenjenih za ispitivanje mikrobioloških pokazatelja morske vode

PARAMETAR	NORMA
Broj kolonija pri 22 °C i 36 °C	HRN EN ISO 6222:2000
Ukupni koliformi i Escherichia coli	HRN EN ISO 9308-1:2014/A1:2017
Crijevni enterokoki	HRN EN ISO 7899-2:2000
Clostridium perfringens	HRN EN ISO 14189:2016
Pseudomonas aeruginosa	HRN EN ISO 16266:2008
Salmonella spp./Shigella spp.	HRN EN ISO 19250:2013
Vibrio spp.	HRN EN ISO 21872-1

ukupne koliformne bakterije, *E. coli*, crijevne enterokoke, *C. perfringens*, *P. aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp. i *Vibrio* spp.

Kod morske vode, UBB je određen tehnikom izlijevanja (engl. *pour plate*) pri 22 °C i 36 °C u 1 mL uzorka, dok su ostali pokazatelji određivani membranskom filtracijom u 100 mL. *Salmonella* spp. i *Shigella* spp. ispitivane su posebnim postupkom predobogaćivanja i selektivne izolacije iz 1 L uzorka, a *Vibrio* spp. kombinacijom filtracije i obogaćivanja u selektivnim medijima. Za *Salmonella* spp., *Shigella* spp. i rod *Vibrio* rezultati su izraženi kvalitativno (prisutan/odsutan).

Uzorci sedimenta (50 g) razrijeđeni su fosfatnim puferom (1:10) uz dodatak 0,5 % Tween 80 radi lakšeg odvajanja bakterija. Nakon miješanja i sedimentacije, supernatant je dekantiran i filtriran. U sedimentu je ukupni broj bakterija određen u 1 mL, većina ostalih pokazatelja u 25 mL (ukupni koliformi, *E. coli,* crijevni enterokoki, *C. perfringens, P. aeruginosa*), dok su za *Vibrio* spp., *Salmonella* spp. i *Shigella* spp. korišteni uzorci od 100 mL. Rezultati za sediment prvotno su izraženi u CFU/g



Slika 3: Prikazane su log10 transformirane koncentracije *E. coli* i crijevnih enterokoka u uzorcima morske vode i sedimenta: a) prema lokacijama u vodi, b) sezonska raspodjela u vodi, c) prema lokacijama u sedimentu i d) sezonska raspodjela u sedimentu. Lokacije označene istim slovima statistički se značajno razlikuju ($p<0,05$).

mokrog sedimenta, no radi usporedbe s morskom vodom konvertirani su u CFU/100 mL, uz pretpostavku da je gustoća morske vode približno jednaka 1 g/mL, što omogućuje jednostavnije usporedbe između matriksa.

2.4. Oborine

Podaci o količini oborina u Rijeci preuzeti su iz Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (DHMZ).

2.5. Statistička obrada podataka

Statistička analiza provedena je u programu TIBCO Statistica v.14.0.1.25. Rezultati su prikazani deskriptivno, a zbog odstupanja od normalnosti (Shapiro–Wilkov test) korišteni su neparametrijski testovi. Povezanost je procijenjena Spearmanovim koeficijentom, odvojeno za vodeni stupac na svakoj postaji (JPG 28, RI bwB i RI bwS), kako bi se smanjio utjecaj prostorne heterogenosti. Zbog ograničenog broja uzoraka sedimenta po pojedinim postajama, korelacijska analiza za sediment nije provedena, već su podaci prikazani deskriptivno. Razlike među skupinama testirane su Mann–Whitneyjevim U i Kruskal–Wallisovim testom s višestrukim usporedbama ($p < 0,05$).

3. REZULTATI I RASPRAVA

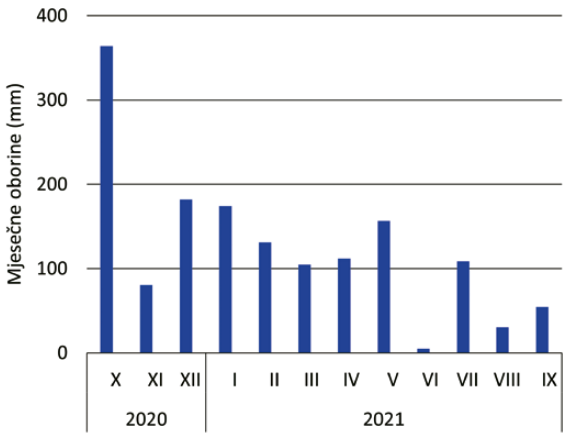
3.1. Rutinski mikrobiološki pokazatelji – vodeni stupac i sediment

Na tri postaje u luci Rijeka ispitane su koncentracije *E. coli* i crijevnih enterokoka u morskoj vodi. Utvrđene su statistički značajne razlike između postaja ($p < 0,05$), a najveće opterećenje zabilježeno je na RI bwS (*E. coli* 80 – 7560 CFU/100 mL, medijan 520 CFU/100 mL; enterokoki 130 – 4300 CFU/100 mL, medijan 260 CFU/100 mL) (slika 3a). Takvi rezultati upućuju na mogući istovremeni utjecaj različitih izvora onečišćenja, uključujući ispuste otpadnih i balastnih voda. U literaturi se upravo ovi čimbenici navode kao ključni uzročnici mikrobiološkog opterećenja luka te pogoršanja mikrobiološke kakvoće mora u obližnjim rekreacijskim područjima (Luna i dr. 2010; Perini i dr. 2015; Dheenan i dr. 2016). Dodatno, smanjena dinamika i ograničena izmjena vode u lukama pogoduju zadržavanju i višim koncentracijama bakterija (Luna i dr. 2019).

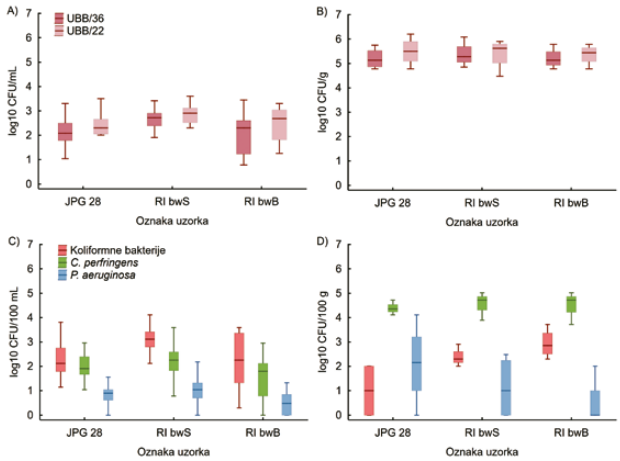
Sezonska raspodjela pokazala je da je opterećenje *E. coli* u vodenom stupcu bilo najveće u zimskom razdoblju, dok su enterokoki maksimum dosegli u proljeće (slika 3b). Tijekom ljeta koncentracije oba pokazatelja bile su niske, što se može povezati s jačim UV zračenjem, za koje je poznato da značajno reducira fekalne bakterije. Nasuprot tome, oborine i povećano zamućenje mora tijekom zimskog i proljetnog razdoblja mogu pogodovati njihovu unosu i preživljavanju (Šolić i Krstulović 1992; Chandran i Abdulla 2003). Mjesečni podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za razdoblje istraživanja pokazali su razdoblja pojačanih oborina tijekom jesensko-zimskog i proljetnog razdoblja, s osobito visokim količinama oborina u listopadu 2020. godine (363,8 mm) te tijekom zimskih i proljetnih mjeseci 2021. godine (104,6 – 174,2 mm mjesečno) (slika 4). Nasuprot tome, tijekom ljetnih mjeseci zabilježene su uglavnom niže količine oborina, osobito u lipnju i kolovozu (5,1 i 30,4 mm). Ovakav sezonski obrazac bio je u skladu s višim koncentracijama fekalnih indikatora u morskoj vodi tijekom hladnijeg dijela godine te nižim koncentracijama tijekom ljeta.

U sedimentu nisu utvrđene značajne razlike u koncentraciji *E. coli* i enterokoka između lokacija ($p > 0,05$), pri čemu je najveće opterećenje enterokokima zabilježeno na RI bwS (slika 3c). Najviše vrijednosti uočene su ljeti, što potvrđuje ulogu sedimenta kao rezervoara fekalnih bakterija (slika 3d). Njihovo preživljavanje u sedimentu povezuje se s višim udjelom organske tvari i zaštitom od UV zračenja (Gerba i McLeod 1976; Davies i dr. 1995), a vezanje na čestice sedimenta smanjuje učinke stresa i omogućuje resuspenziju u vodeni stupac uslijed valova i vjetra (Lee i dr. 2006; Hassard i dr. 2016).

Usporedba vodenog stupca i sedimenta pokazala je da su koncentracije *E. coli* bile približno deset puta više u vodi, dok su koncentracije enterokoka bile oko 1,5 puta više u sedimentu, pri čemu su razlike bile statistički značajne ($p < 0,05$). Ovaj obrazac potvrđuje



Slika 4: Mjesečne količine oborina u Rijeci tijekom razdoblja istraživanja (listopad 2020. –rujan 2021.), prema podacima DHMZ-a.



Slika 5: Prikazane su log10 transformirane koncentracije dodatnih mikrobioloških pokazatelja na postajama u području luke Rijeka: (a) UBB/22 i UBB/36 u morskoj vodi, (b) UBB/22 i UBB/36 u sedimentu, (c) koliformne bakterije, *C. perfringens* i *P. aeruginosa* u morskoj vodi te (d) koliformne bakterije, *C. perfringens* i *P. aeruginosa* u sedimentu. Lokacije označene istim slovima statistički se značajno razlikuju ($p < 0,05$).

veću otpornost enterokoka na stresne okolišne uvjete (Cheung i dr. 2015). Najviše vrijednosti zabilježene su na lokaciji RI bwS, gdje je *E. coli* dominirala u vodi, a enterokoki u sedimentu, dok je na RI bwB obrazac bio sličan, ali s nižim vrijednostima. Na lokaciji JPG 28 *E. coli* nije utvrđena u sedimentu, dok su enterokoki bili prisutni (slika 3a,c).

U sedimentu su enterokoki tijekom svih godišnjih doba bili prisutni u višim koncentracijama od *E. coli*, pri čemu su ljeti dosezali izrazito visoke vrijednosti (slika 3d). Ovi rezultati potvrđuju ulogu sedimenta kao potencijalnog sekundarnog rezervoara fekalne kontaminacije tijekom razdoblja najveće izloženosti kupača. Dok se *E. coli* smatra pokazateljem recentnijeg fekalnog unosa, enterokoki pokazuju veću okolišnu postojanost te se često dulje zadržavaju u morskim okolišima, osobito u sedimentu (Byappanahalli i dr. 2012; Hassard i dr. 2016), što je u skladu s opaženim obrascima u ovom istraživanju. Dobiveni rezultati podupiru prijedlog uključivanja sedimenta u program praćenja (engl. *monitoring)*, budući da se postojeći javnozdravstveni regulatorni okvir odnosi isključivo na vodeni stupac (Lee i dr. 2006; Luna i dr. 2010).

3.2. Dodatni mikrobiološki pokazatelji

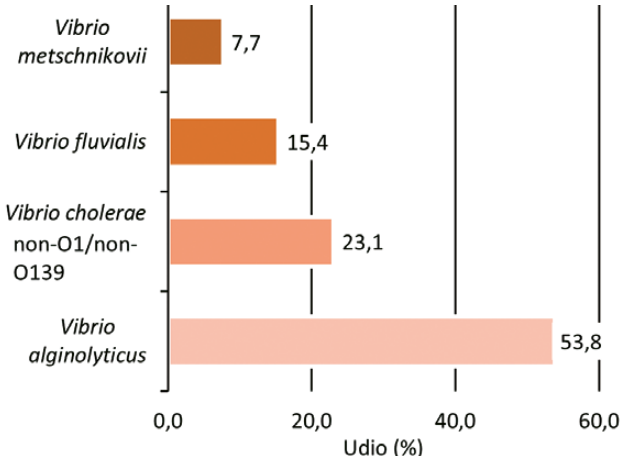
Vrijednosti ukupnog broja bakterija bile su veće pri 22 °C (UBB/22) nego pri 36 °C (UBB/36) na svim postajama i matriksima (slika 5a,b). Najviša koncentracija u morskoj vodi zabilježena je na RI bwS (4000 CFU/mL), pri čemu je zanimljivo da je u sedimentu najveća vrijednost (16.000 CFU/g) utvrđena na postaji JPG 28, koja je služila kao usporedna lokacija izvan neposrednog lučkog utjecaja. Ovakav obrazac upućuje na to da UBB/22 bolje odražava ukupno bakterijsko opterećenje okolišnog podrijetla, uključujući autohtone mikroorganizme morskog okoliša, dok UBB/36 obuhvaća i termotolerantne vrste povezane s fekalnim unosom (Stabili i Cavallo 2011; Kapetanović i dr. 2012.). Stoga uključivanje UBB-a u program praćenja može pridonijeti boljem razumijevanju izvora i dinamike mikrobiološkog opterećenja, nadopunjujući informacije dobivene praćenjem fekalnih indikatora.

Promatrajući ostale mikrobiološke pokazatelje, uočene su izražene razlike između vodenog stupca i sedimenta (slika 5c,d). Koliformne bakterije bile su zastupljenije u morskoj vodi, dok je *C. perfringens* pokazivao znatno više koncentracije u sedimentu, pri čemu su vrijednosti bile približno dva reda veličine više nego u vodi. Takav obrazac u skladu je s poznatom perzistencijom ove vrste u okolišu te potvrđuje ulogu sedimenta kao potencijalnog rezervoara i sekundarnog izvora mikrobiološkog onečišćenja (Perini i dr. 2015; Hassard i dr. 2016; WHO, 2021). *P. aeruginosa* bila je prisutna u nižim koncentracijama, ali uz veću varijabilnost i povremeno više vrijednosti u sedimentu, što je u skladu s ranijim istraživanjima koja ukazuju na mogućnost njezina duljeg preživljavanja u pijesku i sedimentu (Mohammed i dr. 2012). Budući da je povezana s infekcijama kože i uha kod kupača, njezina prisutnost upućuje na potencijalnu vrijednost uključivanja ovog pokazatelja u prošireni mikrobiološki nadzor rekreacijskih voda (Esiobu i dr. 2004).

3.3. Potencijalno patogeni mikroorganizmi

Vrste roda *Vibrio* potvrđene su u 25,5 % uzoraka morske vode, pri čemu je najčešće identificirana vrsta bila *V. alginolyticus* (slika 6), dok u sedimentu nisu zabilježene. Detektirani su i *V. fluvialis*, *V. metschnikovii* te non-O1/non-O139 sojevi vrste *V. cholerae*. Vibriji su prirodni stanovnici estuarija, a njihova se pojavnost povezuje s višim temperaturama, nižim salinitetom i utjecajem balastnih voda (Drake i dr. 2007; Igbinosa i Okoh 2010; Pećarević i dr. 2012.). U istraživanjima provedenima u Italiji zabilježena je visoka raznolikost vrsta, uključujući i patogene poput *V. parahaemolyticus* i *V. cholerae* (Bonadonna i dr. 2019). Klimatske promjene dodatno povećavaju rizik njihova širenja u europskim priobalnim područjima (Igbinosa i Okoh 2010).

Salmonella spp. potvrđena je u 5,9 % uzoraka, isključivo tijekom kišnih razdoblja, što upućuje na



Slika 6: Distribucija potvrđenih vrsta roda *Vibrio* u morskoj vodi, prikazana kao postotak unutar uzoraka pozitivnih ma rod Vibrio.

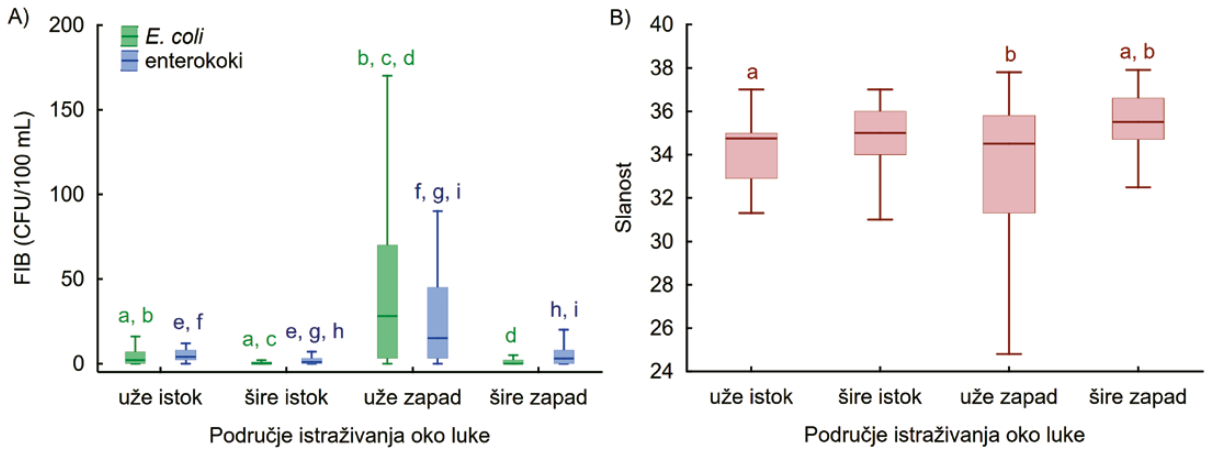
utjecaj oborinskih i otpadnih voda, uz mogući doprinos ušća Rječine kao lokalnog izvora. Literatura ukazuje na značajnu prostornu i vremensku varijabilnost pojavnosti *Salmonella* spp.; u obalnim vodama Malage potvrđeno je dulje preživljavanje u sedimentu (Martinez-Manzanares i dr. 1992), dok u istraživanjima provedenima u Napulju vrste roda *Salmonella* spp. nisu detektirane (Sciarrillo i dr. 2019). *Shigella* spp. nije detektirana ni u jednom uzorku.

3.4. Kakvoća mora na okolnim plažama

Analiza uzoraka prikupljenih na 29 lokacija za praćenje kakvoće mora za kupanje istočno i zapadno od luke Rijeka (slika 7a) pokazala je da je uži zapadni obalni pojas bio značajno opterećen bakterijom *E. coli* i enterokokima, dok su u širem području razlike potvrđene samo za enterokoke. Veće mikrobiološko opterećenje zapadnog dijela obale vjerojatno je povezano s lokalnim priobalnim izvorima onečišćenja, ilegalnim ispustima otpadnih voda i nedovoljno učinkovitom odvodnjom oborinskih voda. Plaža Kantrida povijesno je često bilježila nezadovoljavajuću kakvoću mora, a iako je stanje poboljšano nakon izgradnje kanalizacijskog sustava 1994. godine (KD VIK 2005), problemi nisu u potpunosti otklonjeni.

Salinitet je bio niži u užem zapadnom području (uz medijan 34,5) nego u istočnom i širem zapadnom (gdje je iznosio 34,8 – 35,5) (slika 7b). Niže vrijednosti saliniteta u užem zapadnom području upućuju na utjecaj kopnenih voda koje, nakon ispiranja površina i transporta kroz krško podzemlje, putem priobalnih izvora i vrulja unose onečišćenja u obalno more te mogu pridonijeti povećanom fekalnom opterećenju (Vukić Lušić i dr. 2021). Ovu dinamiku potvrđuju i recentna istraživanja, prema kojima je u jadranskim obalnim područjima nakon obilnih oborina zabilježen porast fekalne kontaminacije povezan s dotokom onečišćenja u more preko riječnih pritoka i priobalnih tokova (Penna i dr. 2023). Slični mehanizmi opisani su i na talijanskoj zapadnoj obali, gdje oborinski događaji pogoduju transportu fekalnih bakterija u obalne vode (Manini i dr. 2022). Važnost upravljanja ovim rizikom potvrđuje i INTERREG WaterCare projekt (Italija – Hrvatska), usmjeren na zaštitu mora za kupanje kroz mjere smanjenja mikrobiološkog opterećenja u obalnom moru (Penna i dr. 2021).

Spearmanova analiza provedena zasebno po postajama pokazala je statistički značajne, djelomično različite korelacijske obrasce u vodenom stupcu. Na



Slika 7: Usporedba koncentracija *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka (a) te saliniteta (b) u morskoj vodi u užem i širem području oko luke Rijeka. Lokacije označene istim slovima statistički se značajno razlikuju ($p<0,05$).

svim postajama potvrđene su pozitivne povezanosti među pojedinim mikrobiološkim pokazateljima. Na usporednoj lokaciji JPG 28 posebno su se isticale korelacije između enterokoka i *C. perfringens* (r_s = 0,97) te između koliformnih bakterija i *E. coli* (r_s = 0,94), dok je *P. aeruginosa* pokazala pozitivne korelacije sa svim ostalim ispitanim pokazateljima (r_s = 0,69 – 0,86), što nije opaženo na ostalim postajama. Na istoj su postaji trodnevne oborine bile umjereno povezane s koliformnim bakterijama (r_s = 0,57). Na postaji RI bwB izražene su povezanosti zabilježene između koliformnih bakterija i *E. coli* (r_s = 0,90), UBB/22 i UBB/37 (r_s = 0,89), te enterokoka i *C. perfringens* (r_s = 0,78), bez izraženijih korelacija s oborinama. Na najopterećenijoj postaji RI bwS potvrđena je jaka korelacija između koliformnih bakterija i *E. coli* (r_s = 0,82), dok su jednodnevne oborine pokazale pozitivnu povezanost s koliformnim bakterijama (r_s = 0,50), što upućuje na mogući doprinos oborinskog otjecanja mikrobiološkom opterećenju na toj postaji. Slični obrasci zabilježeni su i u drugim istraživanjima, gdje su oborine povezane s porastom fekalnih koliforma i suspendiranih tvari u urbanim vodotocima te s pogoršanjem kakvoće obalnih voda (Boehm i dr. 2002; Mallin i dr. 2009). Zbog ograničenog broja uzoraka sediment nije uključen u korelacijsku analizu, no deskriptivni podaci ukazuju na veću varijabilnost i povišene vrijednosti pojedinih pokazatelja.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da luka Rijeka obuhvaća područje povišenog mikrobiološkog opterećenja, s mogućim utjecajem na obližnja rekreacijska područja. Najveće koncentracije fekalnih indikatora i dodatnih mikrobioloških pokazatelja utvrđene su na postaji izloženoj izraženim antropogenim pritiscima. Ovi nalazi potvrđuju važnu ulogu sedimenta kao rezervoara mikroorganizama, osobito enterokoka, *C. perfringens i P. aeruginosa,* dok prisutnost vrsta roda *Vibrio* u morskoj vodi dodatno ističe složenost mikrobioloških procesa u obalnom okolišu.

Dobiveni rezultati upućuju na potrebu proširenja postojećeg sustava praćenja monitoringa uključivanjem sedimenta i dodatnih mikrobioloških pokazatelja uz standardne fekalne indikatore, kako bi se unaprijedila procjena rizika za zdravlje kupača i upravljanje kakvoćom mora u urbanim priobalnim područjima. ■

ZAHVALA

Ovaj rad djelomično je financiran iz triju projekata: projekta ProtectAs – Razvoj sustava kontrole i obrane luka od unosa stranih vrsta, financiranog u sklopu Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020." (OPKK) iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova (ESIF); projekta kojeg financira Europska unija – NextGenerationEU – BeachRisk-QMRA– uniri-iz-25-82; te projekta BalastIN – Razvoj sustava upravljanja balastnim vodama za suzbijanje širenja invazivnih vrsta, financiranog u sklopu Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija 2021. – 2027." (OPKK) iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova (ESIF).

Zahvaljujemo Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim podacima o količini oborina.

LITERATURA

Andino, A. and I. Hanning (2015): Salmonella enterica: survival, colonization, and virulence differences among serovars. *The Scientific World Journal 2015, 520179.*

Boehm, A. B., S. B. Grant, J. H. Kim, S. L. Mowbray, C. D. McGee, C. D. Clark, D. M. Foley and D. E. Wellman (2002): Decadal and Shorter Period Variability of Surf Zone Water Quality at Huntington Beach, California. Environmental Science & Technology 36(18), 3885-3892.

Bonadonna, L., R. Briancesco, E. Suffredini, A. Coccia, S. Della Libera, A. Carducci, M. Verani, I. Federigi, M. Iaconelli, G. Bonanno Ferraro, P. Mancini, C. Veneri, E. Ferretti, L. Lucentini, L. Gramaccioni and G. La Rosa (2019): Enteric viruses, somatic coliphages and Vibrio species in marine bathing and non-bathing waters in Italy. Marine Pollution Bulletin 149, 110570.

Byappanahalli, M. N., M. B. Nevers, A. Korajkic, Z. R. Staley and V. J. Harwood (2012): Enterococci in the environment. Microbiology and Molecular Biology Reviews 76(4), 685-706.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024): "Shigella – Shigellosis". 15 august 2025, from https://www.cdc.gov/shigella/.

Chandran, A. and M. H. Abdulla (2003): Survival of *Escherichia coli in a tropical estuary. The South Pacific Journal of Natural Science 21.*

Cheung, P. K., K. L. Yuen, P. F. Li, W. H. Lau, C. M. Chiu, S. W. Yuen and D. M. Baker (2015): To swim or not to swim? A disagreement between microbial indicators on beach water quality assessment in Hong Kong. Marine Pollution Bulletin 101(1), 53-60.

Chiaretti, G., F. Onorati, P. Borrello, A. Orasi and C. Mugnai (2014): Coastal microbial quality of surface sediments in different environments along the Italian coast. Environmental Science: Processes & Impacts 16(9), 2165-2171.

Davies, C. M., J. A. Long, M. Donald and N. J. Ashbolt (1995): Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. Applied and Environmental Microbiology 61(5), 1888-1896.

Dheenan, P. S., D. K. Jha, A. K. Das, N. V. Vinithkumar, M. P. Devi and R. Kirubagaran (2016): Geographic information systems and multivariate analysis to evaluate fecal bacterial pollution in coastal waters of Andaman, India. Environmental Pollution 214, 45-53.

Drake, L. A., M. A. Doblin and F. C. Dobbs (2007): Potential microbial bioinvasions via ships' ballast water, sediment, and biofilm. Marine Pollution Bulletin 55(7-9), 333-341.

DuPont, H. L., M. M. Levine, R. B. Hornick and S. B. Formal (1989): Inoculum size in shigellosis and implications for

expected mode of transmission. The Journal of Infectious Diseases 159(6), 1126-1128.

Esiobu, N., R. Mohammed, A. Echeverry, M. Green, T. Bonilla, A. Hartz, D. McCorquodale and A. Rogerson (2004): The application of peptide nucleic acid probes for rapid detection and enumeration of eubacteria, Staphylococcus aureus and Pseudomonas aeruginosa in recreational beaches of S. Florida. Journal of Microbiological Methods 57(2), 157-162.

Figueras, M. J., F. Polo, I. Inza and J. Guarro (1997): Past, present and future perspectives of the EU Bathing Water Directive. Marine Pollution Bulletin 34(3), 148-156.

Gerba, C. P. and J. S. McLeod (1976): Effect of sediments on the survival of Escherichia coli in marine waters. Applied and Environmental Microbiology 32(1), 114-120.

Hassard, F., C. L. Gwyther, K. Farkas, A. Andrews, V. Jones, B. Cox, H. Brett, D. L. Jones, J. E. McDonald and S. K. Malham (2016): Abundance and Distribution of Enteric Bacteria and Viruses in Coastal and Estuarine Sediments-a Review. Frontiers in Microbiology 7, 1692.

Igbinosa, E. O. and A. I. Okoh (2010): Vibrio fluvialis: an unusual enteric pathogen of increasing public health concern. International Journal of Environmental Research and Public Health 7(10), 3628-3643.

IMO - International maritime organization. (2017): "Implementing the Ballast Water Management Convention". 19 august 2025, from https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx

Kapetanović, D., Z. Dragun, D. Valić, I. Vardić Smrzlić, Z. Teskeredžić and E. Teskeredžić (2012): Određivanje broja heterotrofnih bakterija u jadranskim uzgajalištima primjenom različitih metoda. *Croatian journal of fisheries 70, 29-37.*

KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka. (2005): Vodoopskrba i odvodnja na području Rijeke: 1885–2005. Rijeka.

Lee, C. M., T. Y. Lin, C. C. Lin, G. A. Kohbodi, A. Bhatt, R. Lee and J. A. Jay (2006): Persistence of fecal indicator bacteria in Santa Monica Bay beach sediments. Water Research 40(14), 2593-2602.

Livio, S., N. A. Strockbine, S. Panchalingam, S. M. Tennant, E. M. Barry, M. E. Marohn, M. Antonio, A. Hossain, I. Mandomando, J. B. Ochieng, J. O. Oundo, S. Qureshi, T. Ramamurthy, B. Tamboura, R. A. Adegbola, M. J. Hossain, D. Saha, S. Sen, A. S. Faruque, P. L. Alonso, R. F. Breiman, A. K. Zaidi, D. Sur, S. O. Sow, L. Y. Berkeley, C. E. O'Reilly, E. D. Mintz, K. Biswas, D. Cohen, T. H. Farag, D. Nasrin, Y. Wu, W. C. Blackwelder, K. L. Kotloff, J. P. Nataro and M. M. Levine (2014): Shigella isolates from the global enteric multicenter study inform vaccine development. Clinical Infectious Diseases 59(7), 933-941.

Luna, G. M., E. Manini, V. Turk, T. Tinta, G. D'Errico, E. Baldrighi, V. Baljak, D. Buda, M. Cabrini, A. Campanelli, A. Cenov, P. Del Negro, D. Drakulović, C. Fabbro, M. Glad, D. Grilec, F. Grilli, S. Jokanović, S. Jozić, V. Kauzlarić, R. Kraus, M. Marini, J. Mikuš, S. Milandri, M. Pećarević, L. Perini, G. M. Quero, M. Šolić, D. V. Lušić and S. Zoffoli (2019): Status of faecal pollution in ports: A basin-wide investigation in the Adriatic Sea. Marine Pollution Bulletin 147, 219-228.

Luna, G. M., C. Vignaroli, C. Rinaldi, A. Pusceddu, L. Nicoletti, M. Gabellini, R. Danovaro and F. Biavasco (2010): Extraintestinal Escherichia coli carrying virulence genes in coastal marine sediments. Applied and Environmental Microbiology 76(17), 5659-5668.

Mallin, M. A., V. L. Johnson and S. H. Ensign (2009): Comparative impacts of stormwater runoff on water quality of an urban, a suburban, and a rural stream. Environmental Monitoring and Assessment 159(1), 475-491.

Manini, E., E. Baldrighi, F. Ricci, F. Grilli, D. Giovannelli, M. Intoccia, S. Casabianca, S. Capellacci, N. Marinchel, P. Penna, F. Moro, A. Campanelli, A. Cordone, M. Correggia, D. Bastoni, L. Bolognini, M. Marini and A. Penna (2022): Assessment of Spatio-Temporal Variability of Faecal Pollution along Coastal Waters during and after Rainfall Events. Water 14(3), 502.

Martinez-Manzanares, E., M. A. Moriñigo, D. Castro, M. C. Balebona, J. M. Sanchez and J. J. Borrego (1992): Influence of the faecal pollution of marine sediments on the microbial content of shellfish. Marine Pollution Bulletin 24(7), 342-349.

Mena, K. D. and C. P. Gerba (2009): Risk assessment of Pseudomonas aeruginosa in water. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 201, 71-115.

Mohammed, R. L., A. Echeverry, C. M. Stinson, M. Green, T. D. Bonilla, A. Hartz, D. S. McCorquodale, A. Rogerson and N. Esiobu (2012): Survival trends of Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, and Clostridium perfringens in a sandy South Florida beach. Marine Pollution Bulletin 64(6), 1201-1209.

NN 73/2008 (2008). Uredba o kakvoći mora za kupanje Zagreb, Vlada Republike Hrvatske, Republika Hrvatska.

NN 128/2012 (2012). Pravilnik o upravljanju i nadzoru balastnih voda. Zagreb, Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture, Republika Hrvatska.

Osunla, C. A. and A. I. Okoh (2017): Vibrio Pathogens: A Public Health Concern in Rural Water Resources in Sub-Saharan Africa. International Journal of Environmental Research and Public Health 14(10).

Pavić, R., R. Biondić, H. Meaški, D. Holjević, J. Rubinić, M. Kuhta, M. Paušković, K. Posavec, G. Kovačević, T. Marković, S. Gottstein, R. Buljan, L. Vulić, Z. Peh, J. Terzić, Z. Nakić, D. Štern, Z. Kovač, J. Lukač Reberski, I. Hajdek, T. Težak-Gregl and B. Vrbek. (2013): Upravljanje krškim vodnim resursima u kršu Hrvatske (Monografija projekta UKV). ISBN 978-953-7177-34-8., Zagreb.

Pećarević, M., J. Mikuš, A. Bratoš Cetinić, E. Marčelj, K. Bonačić, M. Brailo and J. Lovrić (2012): Učinak sustava za tretiranje vodenog balasta na preživljavanje prirodnih populacija zooplanktona u plovidbenim uvjetima na brodu "Naše more" Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo 59(5/6), 243-253.

Penna, A., E. Baldrighi, M. Betti, J. Bilić, L. Bolognini, M. Bućan, A. Campanelli, S. Capellacci, S. Casabianca, C. Ferrarin, F. Grilli, L. Iagnemma, I. Kristovic, M. Krzelj, E. Manini, N. Marinchel, M. Marini, F. Moro, M. Ordulj, P. Penna, F. Ricci, M. Šikoronja and V. Spada (2021). A Strategic Approach to Improve Adriatic Bathing Waters: the Water Quality Integrated System. Proceedings of the International Conference on Civil Protection & New Risks, Italy, INTERREG Italy–Croatia Programme, Regione Marche.

Penna, A., M. Marini, C. Ferrarin, S. Guicciardi, F. Grilli, E. Baldrighi, F. Ricci, S. Casabianca, S. Capellacci, N. Marinchel, P. Penna, F. Moro, A. Campanelli, L. Bolognini, M. Ordulj, M. Krzelj, V. Špada, J. Bilić, M. Sikoronja, N. Bujas and E. Manini (2023): Fecal bacteria contamination in the Adriatic Sea: Investigating environmental factors and modeling to manage recreational coastal waters. Environmental Pollution 338, 122700.

Perini, L., G. M. Quero, E. S. García and G. M. Luna (2015): Distribution of Escherichia coli in a coastal lagoon (Venice, Italy): Temporal patterns, genetic diversity and the role of tidal forcing. Water Research 87, 155-165.

Rozen, Y. and S. Belkin (2001): Survival of enteric bacteria in seawater. FEMS Microbiology Reviews 25(5), 513-529.

Sciarrillo, R., D. Zuzolo, D. Cicchella, F. Iannone, G. Cammino and C. Guarino (2019): Contamination and ecological risk assessment of the seaport of Naples (Italy): Insights from marine sediments. Journal of Geochemical Exploration 210, 106449.

Stabili, L. and R. A. Cavallo (2011): Microbial pollution indicators and culturable heterotrophic bacteria in a Mediterranean area (Southern Adriatic Sea Italian coasts). Journal of Sea Research 65(4), 461-469.

Šolić, M. and N. Krstulović (1992): Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in seawater. Marine Pollution Bulletin 24(8), 411-416.

van Asperen, I. A., C. M. de Rover, J. F. Schijven, S. B. Oetomo, J. F. Schellekens, N. J. van Leeuwen, C. Collé, A. H. Havelaar, D. Kromhout and M. W. Sprenger (1995): Risk of otitis externa after swimming in recreational fresh water lakes containing Pseudomonas aeruginosa. BMJ (British Medical Journal) 311(7017), 1407-1410.

Vezzulli, L., I. Brettar, E. Pezzati, P. C. Reid, R. R. Colwell, M. G. Höfle and C. Pruzzo (2012): Long-term effects of ocean warming on the prokaryotic community: evidence from the vibrios. The ISME Journal 6(1), 21-30.

Vukić Lušić, D., A. Cenov, D. Lušić, M. Glad, S. Jozić, M. Alvir and L. Kranjčević (2021): Kakvoća mora za kupanje u Primorsko-goranskoj županiji i na riječkom području u posljednjem desetljeću. Hrvatske vode 29(116), 103-112.

Winfield, M. D. and E. A. Groisman (2003): Role of nonhost environments in the lifestyles of Salmonella and Escherichia coli. Applied and Environmental Microbiology 69(7), 3687-3694.

World Health Organization. (2021): Guidelines on recreational water quality. Volume 1: coastal and fresh waters, Geneva. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Zonn, I., A. Kostianoy, A. Semenov, A. Joksimović and M. Djurovic (2021). The Adriatic Sea Encyclopedia.

MICROBIOLOGICAL PRESSURE OF THE PORT OF RIJEKA AND ITS IMPACT ON THE RECREATION AREA

Abstract. Marine environment quality poses a significant public health challenge. The Port of Rijeka, Croatia's largest sea port, is a potential source of microbiological pollution caused by ballast water, inland discharges and fresh water inflow. The research objective was to assess the microbiological pressure in the water column and sediment of the port and its potential impact on seawater quality in the recreation area. The research was conducted on three locations within the ProtectAs (2020–2021) project, with a total of 63 tested samples. Escherichia coli, intestinal enterococci, Clostridium perfringens, Pseudomonas aeruginosa, Vibrio spp., Salmonella spp. and Shigella spp. were tested. The concentration of E. coli in the seawater was approximately ten times higher than in the sediment, with enterococci C. perfringens more frequently confirmed in the sediment. Vibrio spp. was determined in 25.5 % samples and Salmonella spp. in 5.9 % samples. The largest microbiological pressure was recorded on the beaches west of the port. These results confirm the spatial and seasonal fluctuations of pollution and emphasize the need to include the sediment and additional microbiological indicators in the routine monitoring.

Key words: Port of Rijeka, microbiological pollution, ballast water, recreation area, water column, sediment

MIKROBIOLOGISCHE BELASTUNG DES HAFENS VON RIJEKA UND AUSWIRKUNGEN AUF DAS ERHOLUNGSGEBIET

Zusammenfassung. Die Qualität der Meeresumwelt stellt eine erhebliche Herausforderung für die öffentliche Gesundheit dar. Der Hafen von Rijeka, der größte Seehafen Kroatiens, ist aufgrund von Ballastwasser, landseitigen Abflüssen und Süßwasserzuflüssen eine potenzielle Quelle mikrobiologischer Verschmutzung. Das Ziel der Untersuchung war es, die mikrobiologische Belastung in der Wassersäule und im Sediment des Hafens sowie ihre möglichen Auswirkungen auf die Wasserqualität im Erholungsgebiet zu bewerten. Die Untersuchung wurde im Rahmen des ProtectAs-Projekts (2020-2021) an drei Standorten mit insgesamt 63 getesteten Proben durchgeführt. Es wurden Escherichia coli, intestinale Enterokokken, Clostridium perfringens, Pseudomonas aeruginosa, Vibrio spp., Salmonella spp. und Shigella spp. getestet. Die Konzentration von E. coli im Meerwasser war etwa zehnmal höher als im Sediment, während Enterokokken und C. perfringens häufiger im Sediment nachgewiesen wurden. Vibrio spp. wurde in 25,5 % und Salmonella spp. in 5,9 % der Proben nachgewiesen. Die höchste mikrobiologische Belastung wurde an den Stränden westlich des Hafens festgestellt. Die Ergebnisse bestätigen räumliche und saisonale Schwankungen der Verschmutzung und unterstreichen die Notwendigkeit, Sedimente und zusätzliche mikrobiologische Indikatoren in die routinemäßige Überwachung einzubeziehen.

Schlüsselwörter: Hafen von Rijeka, mikrobiologische Verschmutzung, Ballastwasser, Erholungsgebiet, Wassersäule, Sediment