

KAKVOĆA MORA ZA KUPANJE U PRIMORSKO-GORANSKOJ ŽUPANIJI I NA RIJEČKOM PODRUČJU U POSLJEDNJEM DESETLJEĆU

izv. prof. dr. sc. Darija Vukić Lušić
Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije,
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska
darija@zzjzpgz.hr

doc. dr. sc. Arijana Cenov
Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije,
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

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

doc. dr. sc. Marin Glad
Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije,
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

dr. sc. Slaven Jozić
Institut za oceanografiju i ribarstvo,
Šetalište Ivana Meštrovića 63, 21 000,
Split, sjozic@izor.hr

Marta Alvir, mag. ing. mech.
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci,
Vukovarska 58, Rijeka, Hrvatska

prof. dr. sc. Lado Kranjčević
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci,
Vukovarska 58, Rijeka, Hrvatska

Obzirom da je Republika Hrvatska turistički orijentirana zemlja, kakvoća mora za kupanje od velike je javnozdravstvene važnosti. Cilj ovog rada je prikazati kakvoću mora na plažama riječkog područja u prošlom desetljeću te je usporediti s kakvoćom u Primorsko-goranskoj županiji (PGŽ), hrvatskoj obali Jadrana (HR) te Europskoj Uniji (EU). U usporedbi s prosječnom kakvoćom mora na plažama riječkog područja, PGŽ i HR tijekom desetogodišnjeg razdoblja, područje Rijeke bilježi najniži udio plaža s izvrsnom kakvoćom mora (76,4 %) te najveći udio nezadovoljavajuće ocijenjenih (8,0 %). Udio izvrsno ocijenjenih lokacija u PGŽ i HR je sličan (oko 95 %). U PGŽ i HR je udio izvrsnih plaža za 12 % veći u odnosu na EU, tijekom desetogodišnjeg razdoblja.

Unatoč značajnom poboljšanju kakvoće mora na razini EU i HR, na pojedinim se lokacijama još uvijek bilježi fekalno onečišćenje. To je posebno izraženo na nekoliko lokacija u zapadnom dijelu grada Rijeke, koji predstavlja mikrobiološki najopterećenije područje u PGŽ. U cilju boljeg razumijevanja uzroka pojave onečišćenja na pojedinim lokacijama na riječkom području, analiziran je odnos mikrobioloških pokazatelja s okolišnim čimbenicima (temperatura vode i zraka, salinitet, količina oborina, jakost Sunčevog zračenja). Na takvim lokacijama potrebno je učiniti dodatne napore u cilju saniranja izvora onečišćenja.

Ključne riječi: kakvoća mora za kupanje, *Escherichia coli*, enterokoki, oborine, priobalni izvori, salinitet, jakost Sunčevog zračenja

1. UVOD

Potreba praćenja negativnog utjecaja ljudskih aktivnosti na osjetljivo obalno područje prepoznata je još u 70-im godinama prošlog stoljeća (EEA, 2014.). Direktiva vijeća Europe o vodi za kupanje 76/160/EEC (Commission of the European Communities, 1975.), kao jedan od prvih pravnih akata Europske unije posvećen zaštiti okoliša, stupila je na snagu 1976. g. Prvenstveni cilj Direktive bio je zaštita javnog zdravlja i vodenog okoliša od fekalnog

onečišćenja. Nakon 30 godina primjene, napredak, nova znanja te potreba za učinkovitijim informiranjem javnosti, potaknuli su reviziju Direktive. Stoga je 2006. godine ovaj dokument zamijenjen aktualnom Direktivom o vodi za kupanje 2006/7/EC (The European Parliament and the Council of the European Union, 2006.). Cilj trenutno važeće Direktive je unaprjeđenje zaštite zdravlja kupaca uz primjenu strožih kriterija kakvoće

vode za kupanje, uz nove analitičke metode određivanja mikrobioloških pokazatelja. Omogućen je i brži prijenos informacija putem mrežnih programskih aplikacija za unos, obradu i ocjenu podataka koje osiguravaju i veću uključenost javnosti kroz mogućnost komentiranja i predlaganja novih točaka ispitivanja.

Dokument također uzima u obzir i novije znanstvene spoznaje iz epidemioloških studija te saznanja o mikrobiološkom riziku za zdravlje ljudi. Aktualna Direktiva 2006/7/EC uvela je i novi instrument učinkovitijeg upravljanja plažom – „profil mora za kupanje”, kojim se procjenjuje rizik od onečišćenja. Profil mora za kupanje opisuje vode za kupanje te navodi moguće utjecaje i rizike koji mogu dovesti do pogoršanja kakvoće vode za kupanje.

Prema članku 14 Direktive (2006/7/EC, 2006.), Europska komisija ima obavezu revizije navedene Direktive, koja se trebala provesti najkasnije do 2020. godine, temeljem najnovijih znanstvenih dokaza, napretka i preporuka WHO-a. To se posebno odnosilo na parametre kakvoće voda za kupanje, uključujući pitanje bi li bilo primjereno izuzeti razvrstavanje u „zadovoljavajuću” kategoriju ili je potrebno mijenjati granične vrijednosti pojedinih kategorija kakvoće. S obzirom na pandemiju Covid-19, rok za reviziju produžen je do 2023. godine. Prema preporukama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO, 2018.), koje prema Direktivi moraju biti uzete u obzir pri reviziji, sadašnji mikrobiološki pokazatelji (intestinalni enterokoki – ENT i *Escherichia coli* – EC) trebali bi i dalje biti zadržani. Zadržale bi se i sadašnje 4 kategorije ocjene kakvoće vode za kupanje (izvršna, dobra, zadovoljavajuća i nezadovoljavajuća), međutim statistička analiza podataka djelomično bi se mijenjala. Naime, trenutno korištenu kombinaciju 95-og i 90-og percentila vrijednosti podataka za ocjenu lokacija, koja zbunjuje opću javnost, trebala bi zamijeniti upotreba isključivo 95-og percentila, za sve 4 navedene kategorije kakvoće. To će rezultirati novim graničnim vrijednostima za zadovoljavajuću kategoriju kakvoće vode za kupanje. Osim toga, ako podatci nisu raspodijeljeni prema normalnoj raspodjeli te ukoliko ima rezultata koji su ispod limita detekcije primijenjene mikrobiološke metode, što su česte situacije, 95-i percentil bi trebao biti određen neparometrijskom Hazen-ovom metodom, koja rangira rezultate prema rastućim vrijednostima. Primjenom ove metode smanjuje se mogućnost pogrešne klasifikacije vode za kupanje (Hunter, 2002.).

U posljednja četiri desetljeća, uložena su značajna financijska sredstva u poboljšanje infrastrukture odvodnje komunalnih otpadnih voda, što se općenito odrazilo na poboljšanje kakvoće mora na razini cijele Europske Unije (EU). Tako je udio nezadovoljavajućih ocjena u razdoblju od 2000. do 2019. godine smanjen, u granicama EU s 2,7 % na 1,1 % (EAA, 2013.); u Republici Hrvatskoj (HR) s 10-ak % na 0,2 %; u Primorsko-goranskoj županiji (PGŽ) s 20-ak % na 0,4 % (Institut za oceanografiju i ribarstvo 2012.; Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2021.). Međutim, usprkos zabilježenom značajnom napretku,

pojedini vodni sustavi još su uvijek pod izrazitim utjecajem fekalnog onečišćenja. Izvori onečišćenja obalne zone su različiti: disfunkcija postojećeg kanalizacijskog sustava, propuštanje septičkih jama, ilegalni priključci, neizgrađenost mreže u pojedinim novim naseljima, neadekvatna odvodnja oborinskih voda (mješoviti sustavi odvodnje), ušća rijeka, domaće i divlje životinje, brodski promet, balastne vode, utjecaj samih kupaca i rekreativno korištenje vode (Stewart i sur., 2008.).

Onečišćenje se najčešće javlja tijekom obilnih kiša kao i neposredno nakon njih (Vukić Lušić i sur., 2017.), osobito nakon dužeg sušnog razdoblja, što je posebno izraženo u krškim područjima. Krška područja posjeduju vrlo nizak kapacitet samopročišćavanja (ograničena filtracija i degradacija onečišćujućih tvari kroz slojeve zemlje, brz protok vode podzemnim kanalima), stoga su vrlo su osjetljiva na različite vrste onečišćenja (Yang i sur., 2019.).

Republika Hrvatska predstavlja jednu od popularnih europskih turističkih destinacija, a po udjelu prihoda od turizma u BDP-u (oko 20 %) u samom je vrhu Europe. Rano je uočeno da je jedan od ključnih faktora kompetitivnosti hrvatskog turizma kakvoća mora na plažama. Stoga se s aktivnostima i mjerama u cilju održivog upravljanja Jadranskim morem i obalnim područjem započelo još 1986. g., temeljem preliminarnih rezultata o kakvoći mora. Tako Republika Hrvatska, kao ugovorna stranka Konvencije o zaštiti Sredozemnog mora od onečišćenja – Barcelonske konvencije (Europska zajednica, 1976.) postaje jedna od prvih mediteranskih zemalja koja je započela sustavnu kontrolu kakvoće mora na plažama, a koja se na hrvatskoj obali Jadrana neprekidno provodi već 32 sezone, od 1989. godine (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2019.). Republika Hrvatska je odredbe aktualne EU Direktive (2006/7/EC.) implementirala u nacionalnu legislativu u obliku Uredbe NN 73/2008 (Vlada Republike Hrvatske, 2008.), koja je u primjeni od 2009. godine. EU Direktiva 2006/7/EC za zemlje članice utvrđuje minimum standarda koji je nužno zadovoljiti međutim, moguća je i primjena strožih nacionalnih kriterija. Republika Hrvatska je tu mogućnost iskoristila te je za jedan od pokazatelja kakvoće mora za kupanje, *E. coli*, propisala strože kriterije. Cilj pooštrenog mikrobiološkog kriterija u nacionalnom propisu je održavanje visoke razine kakvoće vode na morskim plažama hrvatskog Jadrana, čemu mora prethoditi rano uočavanje negativnih procesa u okolišu te mogućnost provedbe pravovremenih sanacijskih mjera, a što će u budućnosti biti omogućeno i primjenom modela predviđanja (prediktivnih modela) temeljenih na modelima strojnog učenja i umjetne inteligencije (Vukić Lušić i sur., 2017.).

Cilj ovog rada je prikazati i analizirati kakvoću mora u desetogodišnjem razdoblju na plažama riječkog područja, stavljenu u kontekst cijele Primorsko-goranske županije, hrvatske obale Jadrana te Europske Unije. Također, rezultati mikrobioloških ispitivanja povezani su s okolišnim čimbenicima: temperaturom vode i zraka,

salinitetom, količinom oborina te jakošću Sunčevog zračenja, u cilju razumijevanja okolnosti pojave onečišćenja.

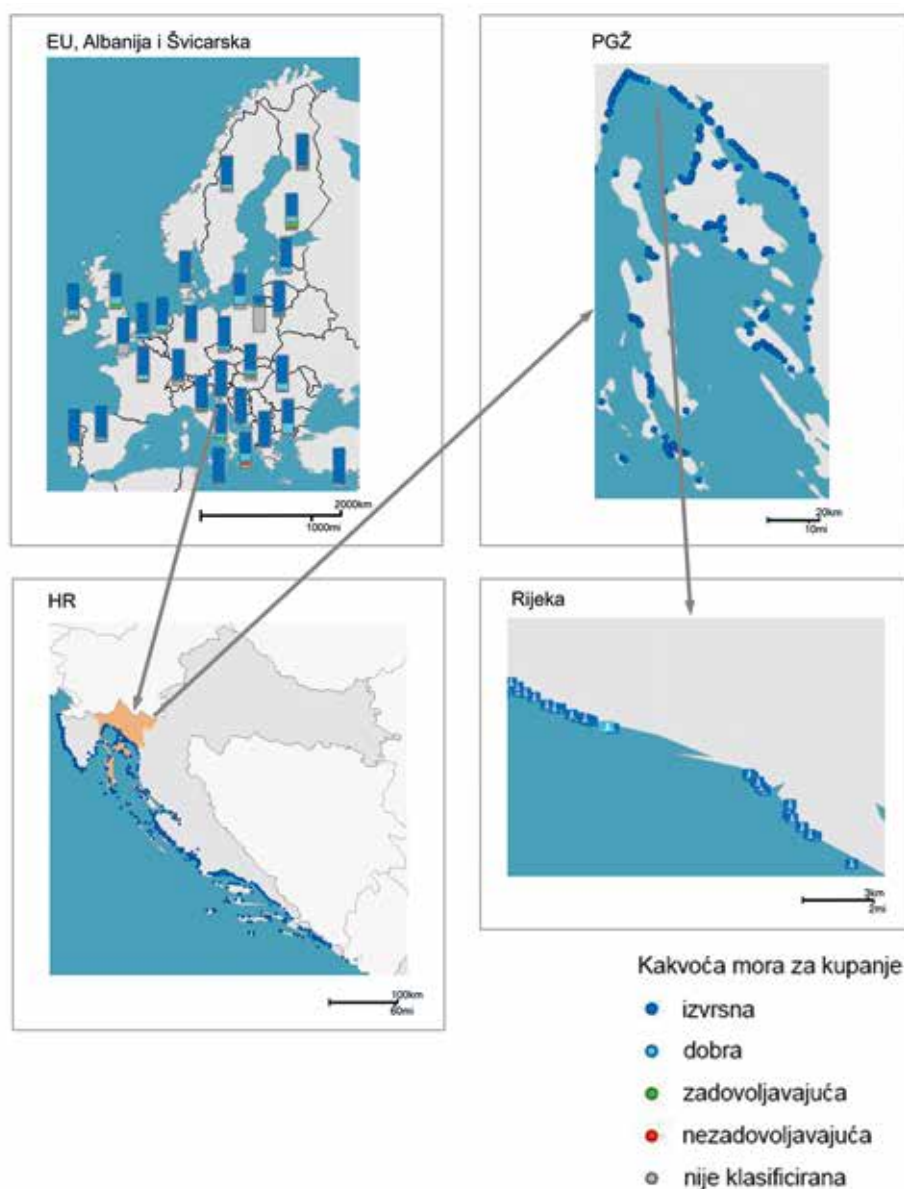
2. MATERIJALI I METODE

2.1 Područje istraživanja

U radu su obrađeni rezultati kakvoće mora za kupanje desetogodišnjeg razdoblja (2011. – 2020.) za područje grada Rijeke, na kojem se ispitivanje provodi na 22 lokacije ($N_{\text{uzoraka}} = 2.169$). Navedeni podaci uspoređeni su s podacima za Primorsko-goransku županiju, u kojoj je ukupno 270 lokacija ($N_{\text{uzoraka}} = 25.211$), zatim s podacima za cijelu hrvatsku obalu Jadrana na kojoj se nalazi 1005 lokacija ($N_{\text{uzoraka}} = 93.560$) te s podacima svih zemalja članica EU, u kojoj se ispitivanje kakvoće mora za kupanje provodi na ukupno 14.818 lokacija (slika 1). Podaci o kakvoći mora za kupanje i broju lokacija za područje

Rijeke, PGŽ i HR preuzeti su iz nacionalne Baze podataka o kakvoći mora za kupanje (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2021.), a za EU iz godišnjih EU izvješća te sa stranica (EEA, 2021.).

Podaci o količinama oborina dobiveni su od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ, Zagreb). Podaci o jakosti Sunčevog zračenja dobiveni su iz dva neovisna izvora, Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ, Zagreb) i satelitske baze (SOLCAST, 2021.). Kako se radi o dugom desetogodišnjem razdoblju, pokazalo se da podaci dobiveni od DHMZ-a imaju znatan broj podataka koji nedostaju, dok su podaci iz SOLCAST baze potpuni. Iz tog razloga u radu su kao referentni korišteni podaci iz baze SOLCAST, a podaci iz DHMZ baze su korišteni za provjeru točnosti SOLCAST podataka usporednom analizom.



Slika 1 Područje istraživanja: Europska Unija (EU) s Albanijom i Švicarskom – prikazane ocjene kakvoće voda za kupanje; Republika Hrvatska (HR), Primorsko-goranska županija (PGŽ), područje Rijeke – označene morske lokacije na kojima se provodi monitoring kakvoće mora za kupanje

2.2 Uzorkovanje i mikrobiološke metode

Uzorci morske vode prikupljeni su svaka dva tjedna tijekom sezone kupanja (od sredine svibnja do kraja rujna), što ukupno čini 10 uzoraka po lokaciji u jednoj sezoni. Uzorkovanje je provedeno prema unaprijed utvrđenom kalendaru ispitivanja, u prijedpodnevnim satima. Uzorci su uzeti s plovila, na stalnoj točki uzorkovanja, smještenoj na najmanjoj mogućoj udaljenosti od plaže. Dubina mora na mjestu uzorkovanja bila je najmanje 1 m, a uzorci su uzeti iz površinskog sloja, 30 cm ispod površine mora.

Uzorkovanje je obavljeno ručnim uzorkivačem u sterilne bočice volumena 500 mL. Uzorci su do laboratorija čuvani i transportirani u transportnim hladnjacima, pri temperaturi od približno $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, zaštićeni od utjecaja svjetla. Svi uzorci analizirani su isti dan kada su i prikupljeni.

Za brojenje indikatora fekalnog onečišćenja (*E. coli* i crijevnih enterokoka) u uzorcima morske vode u HR su primijenjene tehnike membranske filtracije. Za brojenje *E. coli* korištena je metoda HRN EN ISO 9308-1:2014/A1:2017 (2014.), s modifikacijom temperature inkubacije s $37 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}/21 \pm 3\text{ h}$ na $44 \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ tijekom 17–19 h nakon razdoblja oporavka mikroorganizama pri $37 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ tijekom 4–5 h (Jozić i Vukić Lušić, 2018.; Jozić i sur., 2018). Brojenje crijevnih enterokoka provedeno je prema metodi HRN EN ISO 7899-2:2000 (2000.).

2.3 Statistička obrada podataka

Temeljem graničnih vrijednosti mikrobioloških pokazatelja za pojedinu kategoriju kakvoće mora za kupanje, prema Uredbi (NN 73/2008) određene su sljedeće ocjene: 1) pojedinačna ocjena (nakon svakog ispitivanja tijekom sezone kupanja), 2) godišnja ocjena (po završetku sezone kupanja za tu sezonu) i 3) konačna ocjena (za četverogodišnje razdoblje po završetku posljednje sezone kupanja i tri prethodne sezone). Godišnja i konačna ocjena kakvoće mora temelje se na \log_{10} normalnoj raspodjeli koncentracija mikrobioloških pokazatelja. EU Direktiva (2006/7/EC, 2006.) navodi kriterije za godišnju i konačnu ocjenu plaža, dok hrvatska Uredba (NN 73/2008) dodatno navodi i kriterije za pojedinačnu ocjenu plaža. U obradi desetogodišnjeg niza podataka u obzir je uzet 95-i percentil vrijednosti, kako u svojim preporukama za buduću izmjenu Direktive preporučuje Svjetska zdravstvena organizacija (WHO, 2018.). Ova statistička metoda uzima u obzir apsolutne vrijednosti svih koncentracija, a pruža sliku vremenskih varijacija rezultata.

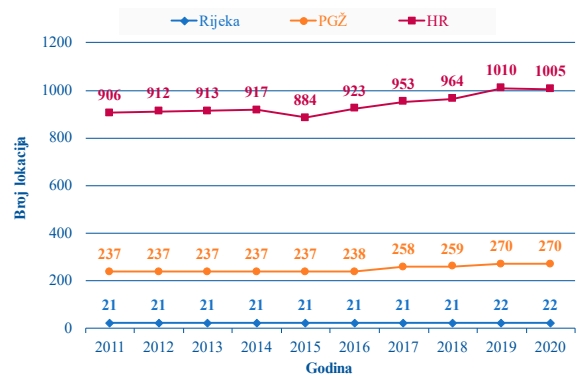
3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1 Broj lokacija ispitivanja

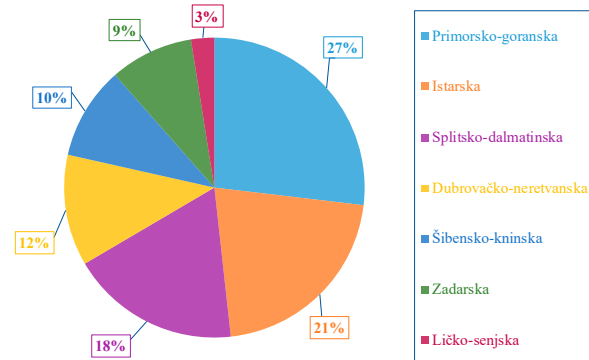
Broj lokacija je u istraživanom desetogodišnjem razdoblju porastao na svim opisanim područjima. Na riječkom se području tako broj lokacija povećao za 4,8 % (s 21 na 22), u PGŽ za 13,9 % (s 237 na 270), u HR za 10,9 % (s 906 na 1005), slika 2 (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2021.). U EU u navedenom razdoblju broj lokacija je također porastao za 1,9 %, s 14.538 u

2011. godini na 14.818 u 2020. godini, s maksimalnim brojem lokacija u 2013. godini (15.363) (EEA, 2012, 2014, 2021.). Potrebno je naglasiti da PGŽ, uz Istarsku županiju, ima najveći udio u ukupnom broju lokacija ispitivanja u Hrvatskoj, u usporedbi s ostalih šest priobalnih županija (slika 3). Broj lokacija uključenih u sustavno ispitivanje prvenstveno ovisi o financijskim sredstvima koja su dostupna za provedbu programa ispitivanja kakvoće mora za kupanje u pojedinim županijama. U svim se županijama broj lokacija u prošlom desetljeću povećao, izuzev u dvije županije u kojima je došlo do smanjenja broja lokacija, i to u Zadarskoj županiji za 55,8 % (s 86 na 38) te u Ličko-senjskoj županiji za 45,7 % (s 46 na 25), što je vjerojatno povezano s negativnim utjecajem pandemije bolesti Covid-19.

Broj lokacija na kojima se provodi ispitivanje kakvoće mora, od velike je važnosti i o njemu ovisi reprezentativnost dobivenih rezultata. Vremenske i prostorne varijacije u koncentraciji indikatora fekalnog onečišćenja (engl. Faecal Indicator Bacteria – FIB), koji se rutinski određuju, vrlo su izražene. Ovisi o brojnim meteorološkim i hidrografskim čimbenicima, poput oborina, naoblake, vjetrova, temperature mora, saliniteta, valova, morskih struja, morskih mijena, kao i načinu ispuštanja otpadnih voda, opterećenju plaže kupacima te ponašanju samih kupaca (Cha i sur., 2010.; Ekklesia i sur., 2015.; Enns i sur., 2012.). Posljedično, dvije prostorno vrlo bliske lokacije mogu imati značajne razlike u kakvoći vode. To je posebno izraženo na mjestima pod utjecajem



Slika 2 Broj lokacija ispitivanja kakvoće mora za kupanje po godinama, u razdoblju od 2011. – 2020. godine, za riječko područje, u Primorsko-goranskoj županiji (PGŽ), na području Republike Hrvatske (HR)

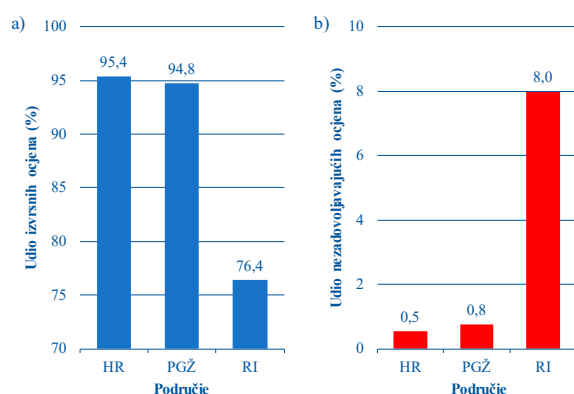


Slika 3 Udio broja lokacija po županijama u ukupnom broju lokacija u Republici Hrvatskoj

priobalnih izvora i vrulja te je u izravnoj ovisnosti o aktivnosti istih.

3.2 Usporedba kakvoće mora za kupanje na riječkom području, PGŽ, HR i EU

Sagledavajući udjele morskih lokacija izvrsne kakvoće, ocijenjenim prema HR kriterijima, uočava se da je prosječni desetogodišnji udio izvrsnih ocjena duž hrvatske obale Jadrana sličan onome u PGŽ (oko 95 %), dok je na području Rijeke on za skoro 20 % niži (76,4 %) (slika 4). S druge strane, udio nezadovoljavajućih ocjena je na promatranim područjima najniži u HR (0,5 %), blago je viši u PGŽ, a značajno viši na području Rijeke (8,0 %).



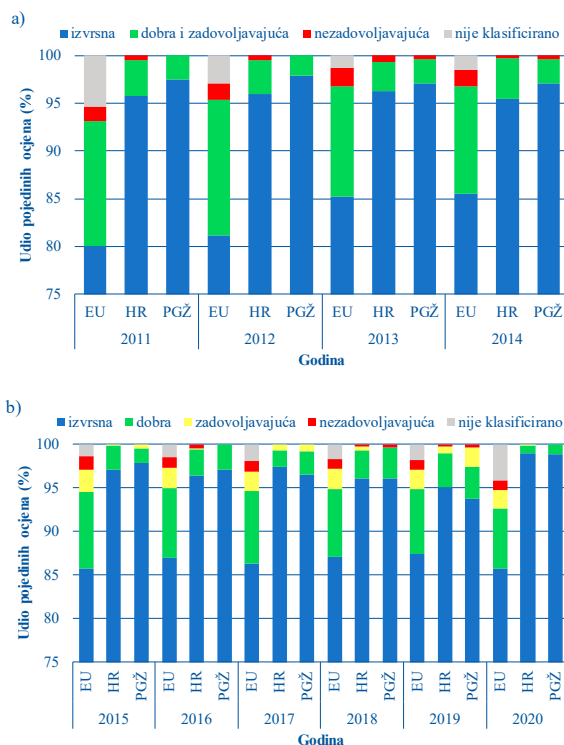
Slika 4 Udio lokacija koje su: a) izvrsne kakvoće i b) nezadovoljavajuće kakvoće za riječko područje, Primorsko-goransku županiju (PGŽ) i Republiku Hrvatsku (HR), za razdoblje od 2011. – 2020.

Navedeno je posljedica kroničnog onečišćenja koje se javlja u zapadnom dijelu grada Rijeke, Kantridi. Područje Kantride obilježeno je velikim brojem priobalnih izvora, koji se pod utjecajem oborina aktiviraju. Dreniranjem oborinskih voda prema moru vrši se prijenos onečišćenja dospjelih u podzemlje, kao posljedica neadekvatne odvodnje oborinskih i otpadnih voda. Dodatno, onečišćenju ovog područja doprinose i pojedini subjekti, koji se još uvijek nisu priključili na sustav javne odvodnje otpadnih voda, a smješteni su u blizini plaža ili su u slivnom području priobalnih izvora i vrulja koji izvire na tim lokacijama. Ovisno o sezoni i količini oborina, jedna ili više lokacija ocijenjene su kao nezadovoljavajuće, što je razlog visokom udjelu „crvenih“ lokacija na riječkom području. Prema aktualnoj EU Direktivi o vodi za kupanje (2006/7/EC), članak 5, stavak 4b, ako je voda za kupanje ocijenjena kao nezadovoljavajuća tijekom pet uzastopnih godina, potrebno je proglasiti trajnu zabranu kupanja/trajno upozorenje protiv kupanja, koje traje najmanje jednu cijelu sezonu kupanja. Također, trajna zabrana kupanja/trajno upozorenje protiv kupanja može se proglasiti i prije isteka petogodišnjeg razdoblja ukoliko se postizanje zadovoljavajuće kakvoće mora smatra nedostižnim ili neisplativim. Isti članak nije naveden (nije transponiran) u HR Uredbi (NN 73/08).

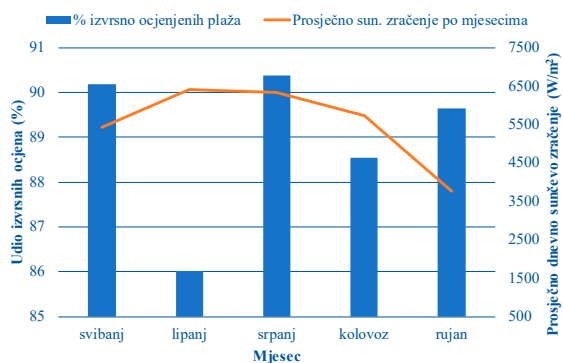
Međutim, potrebno je naglasiti da su navedene lokacije ocijenjene kao nezadovoljavajuće samo prema

nacionalnim kriterijima, koji su stroži od kriterija navedenih u EU Direktivi 2006/7/EC. Prema tim kriterijima, u razdoblju od 10 godina samo su dvije lokacije u PGŽ ocijenjene kao nezadovoljavajuće, obje na području Kantride: 1) 2018. godine lokacija Kantrida – istok (ID 6054) i 2) 2019. i 2020. godine Kantrida – dječja bolnica (ID 6058). Prema tome, sagledavajući kriterije EU Direktive (2006/7/EC, 2006.), temelja za proglašenje trajne zabrane kupanja niti na ovom najkritičnijem riječkom području ipak nije bilo, iako je u pitanju dio obalne linije s najlošijom mikrobiološkom slikom u cijeloj županiji. To znači da je na ovome području potrebno učiniti veće napore za saniranje izvora onečišćenja, osobito u slučajevima kada su izvori onečišćenja poznati.

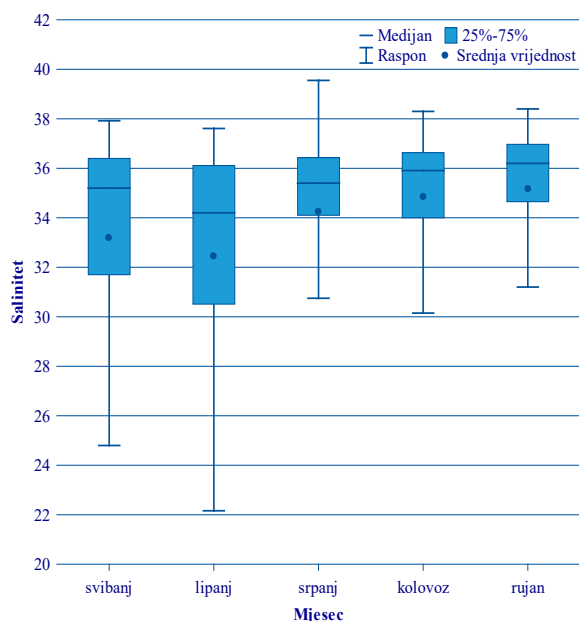
Za usporedbu kakvoće mora za kupanje temeljem kriterija iz EU Direktive (2006/7/EC, 2006.) na području PGŽ, HR i EU, promatrano razdoblje (2011. – 2020. godine) potrebno je podijeliti na dva dijela (slika 5). Naime, u razdoblju od 2011. – 2014. godine u EU izvješćima dvije su kategorije kakvoće, dobro i zadovoljavajuće, prikazivane kao jedinstvena kategorija, što je olakšalo usporedbu s rezultatima ispitivanja prema kriterijima ocjenjivanja prethodne Direktive (76/160/EEC, 1975.). Od 2015. godine nadalje, rezultati kakvoće mora za kupanje prikazivani su u sve četiri kategorije kakvoće, koje navodi aktualna Direktiva (2006/7/EC, 2006.): izvrsno, dobro, zadovoljavajuće i nezadovoljavajuće. U razdoblju od 2011. – 2014. godine udio izvrsno ocijenjenih lokacija je u HR i PGŽ bio za 13,6 % veći u odnosu na EU, s tim



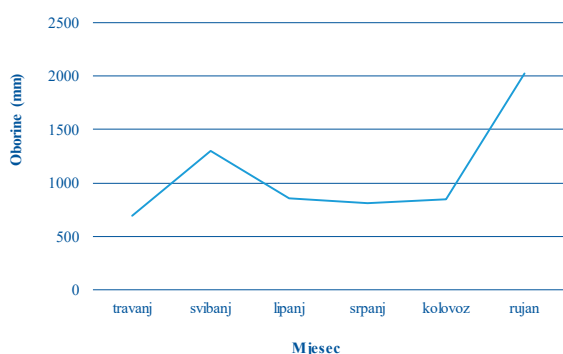
Slika 5 Udjeli lokacija u PGŽ, HR i EU prema određenoj kategoriji kakvoće mora za kupanje, temeljem EU kriterija za a) razdoblje 2011. – 2014. godine u kojem su kategorije dobro i zadovoljavajuće bile spojene i b) razdoblje 2011. – 2014. godine u kojem su navedene sve četiri kategorije kakvoće (izvrsno, dobro, zadovoljavajuće i nezadovoljavajuće)



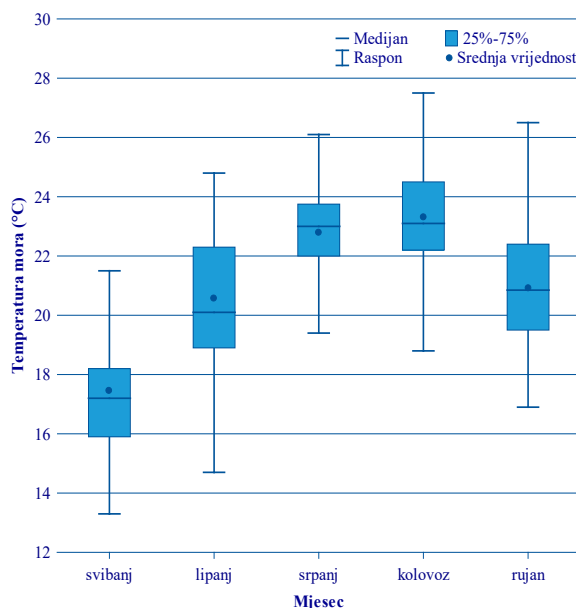
Slika 6 Udjeli izvrsno ocijenjenih lokacija i jakost prosječnog dnevnog Sunčevog zračenja po mjesecima tijekom sezone kupanja (svibanj – rujan), za razdoblje od 2011. - 2020. godine za riječko područje



Slika 7 Vrijednosti saliniteta (S) po mjesecima, za razdoblje od 2011. - 2020. za riječko područje. Kruskal-Wallis ANOVA i test višestruke usporedbe srednjih rangova pri razini značajnosti $p < 0,05$ ($N=2134$). „Boxplotovi“ prikazuju medijan (linija), srednja vrijednost (točka), kvartile (box), raspon vrijednosti koje ne odudaraju – non-outlier range (“Whisker”)



Slika 8 Količina oborina po mjesecima od travnja do rujna, za razdoblje od 2011. - 2020. godine za riječko područje

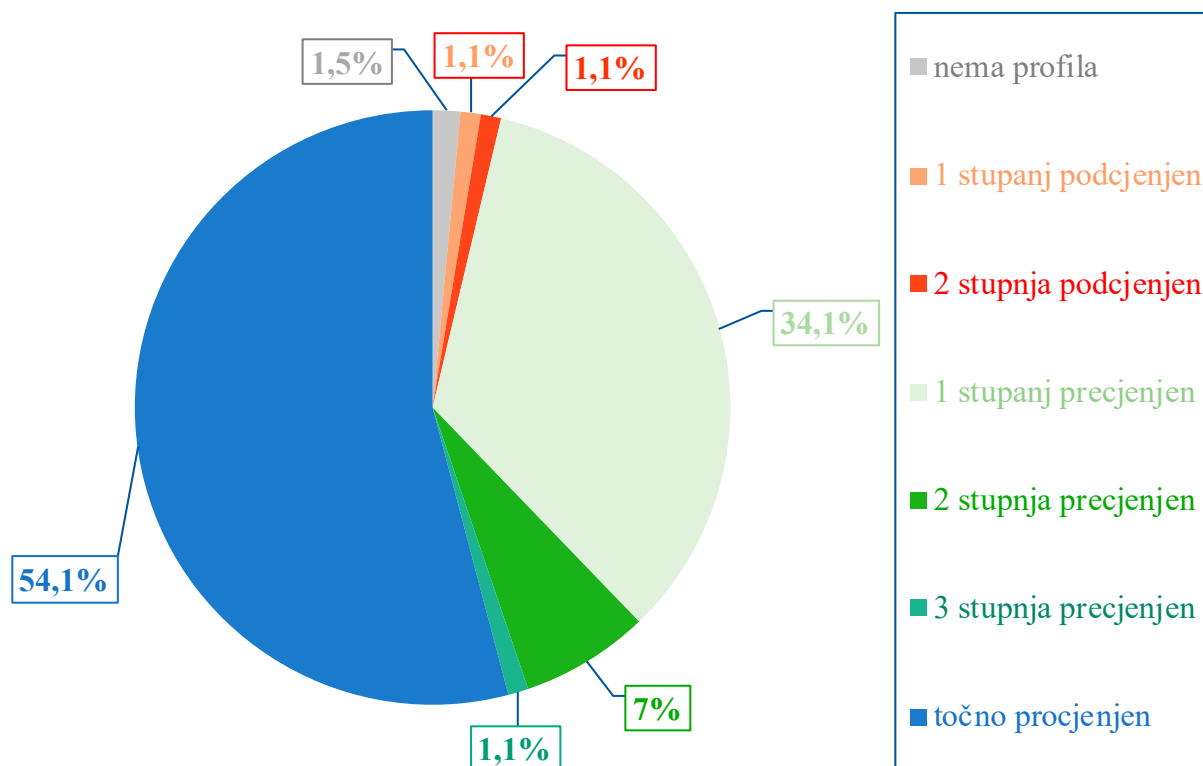


Slika 9 Vrijednosti temperature mora (T_m) po mjesecima, za razdoblje od 2011. - 2020., za riječko područje. Kruskal-Wallis ANOVA i test višestruke usporedbe srednjih rangova pri razini značajnosti $p < 0,05$ ($N=2134$). „Boxplotovi“ prikazuju medijan (linija), srednja vrijednost (točka), kvartile (box), raspon vrijednosti koje ne odudaraju – non-outlier range (“Whisker”) i quartiles (boxes), non-outlier range (whiskers) and outliers

da je u PGŽ taj udio u odnosu na HR bio malo viši (oko 1 %). U razdoblju od 2015. - 2020. godine na razini EU udio izvrsnih se povećao za 3,6 % (s 83,0 % na 86,6 %) dok se je u HR i PGŽ povećao za 0,2 % (s 96,6 % na 96,8 %), prema čemu je udio izvrsnih plaža u HR i PGŽ za 10 % veći u odnosu na EU. U PGŽ je udio izvrsno ocijenjenih plaža u samo dvije sezone, 2017. godine te posebno izraženo 2019. godine, bio niži u odnosu na prosjek na razini HR.

3.3 Kakvoća mora za kupanje po mjesecima za područje Rijeke

Promatrajući raspodjelu mikrobiološkog opterećenja u pojedinim sezonama desetogodišnjeg razdoblja po mjesecima, vidljivo je da je kakvoća najlošija u lipnju (slika 6), koji je ujedno i mjesec u kojem je zabilježen najniži salinitet (slika 7). Na prvi pogled to može biti iznenađujuće, obzirom da je to mjesec koji karakterizira niža količina oborina (slika 8), a najjače Sunčevo zračenje (slika 6). Veća količina oborina često je povezana upravo s pojavom mikrobiološkog onečišćenja obalnog područja, obzirom na aktivaciju priobalnih izvora koji djeluju kao transporteri onečišćenja iz vodonosnika (Dwight i sur., 2011.; Mance, Mance i Vukić Lušić, 2018.). S druge strane, Sunčevo zračenje od svih okolišnih čimbenika ima najveći reduktivni učinak na koncentraciju fekalnih indikatorskih bakterija (Enns i sur., 2012.; Jozić i sur., 2014.; Vukić Lušić i sur., 2017.). Međutim, sagledavajući širu sliku, primjećuje se da su u travnju pale niže količine oborina (prema desetogodišnjem mjesečnom zbroju oborina travanj je mjesec s najmanje oborina u cijeloj godini), nakon čega količina oborina u svibnju raste (slika 8). Kiše koje su pale u svibnju aktivirale su priobalne



Slika 10 Točnost procjene rizika onečišćenja za Primorsko-goransku županiju, za sezonu kupanja 2020. godine

izvore s određenim vremenskim odmakom, a na području zapadnog dijela Rijeke (Kantrida) broj priobalnih izvora relativno je velik. Stoga je lipanj mjesec s najnižim salinitetom kao i najvećim varijacijama vrijednosti saliniteta u usporedbi s ostalim mjesecima u sezoni kupanja. Prema tome, niži salinitet ukazuje na utjecaj kopnenih voda, koje su često mikrobiološki opterećene te time niže vrijednosti saliniteta predstavljaju dobar i robustan indirektni pokazatelj mikrobiološkog onečišćenja, kao što je to već zabilježeno i u drugim istraživanjima (Ortega i sur., 2009.; Vukić Lušić i sur., 2013.). Temperatura mora je u lipnju još uvijek relativno niska (slika 9), što dodatno pogoduje preživljavanju FIB-a (Šolić i Krstulović 1992.).

U srpnju i kolovozu kiše nisu izražene (slika 8), vrijednosti saliniteta su relativno visoke i stabilne (slika 7), Sunčevo zračenje je još uvijek visoko te su razine mikrobiološkog opterećenja niže (slika 6). Kolovoz je u odnosu na srpanj blago lošiji, s nešto jačim oborinama i manjim udjelom izvrsnih lokacija (88,5 %). Rujan je obilježen s najvećim količinama oborina u odnosu na ostale promatrane mjesece u istraživanom razdoblju od 10 godina. Međutim, u mjesecima koji su prethodili (lipanj, srpanj i kolovoz) količina kiše je bila manja, razine podzemnih voda su se smanjile te količine oborina u rujnu nisu bile dovoljne za aktivaciju priobalnih izvora (slika 8). O neaktivnosti priobalnih izvora u prilog govore i podaci o vrijednostima mjerenoj saliniteta koji su u odnosu na ostale mjesece u sezoni kupanja najviši (medijan 36,2). Obzirom na jače Sunčevo zračenje u

kolovozu te najvišu temperaturu zraka u odnosu na ostale promatrane mjesece (medijan 27,0 °C), vjerojatno je došlo do isparavanja veće količine vode i izmjerene su najviše vrijednosti saliniteta (medijan 36,2) (slika 7). Tako je u rujnu, unatoč čimbenicima koji povećavaju mikrobiološko opterećenje (obilne kiše, slabije Sunčevo zračenje, niža temperatura mora), udio izvrsnih ocjena bio relativno visok (89,6 %).

3.4 Procjena rizika od onečišćenja – profil mora za kupanje

Točnost procjene rizika od onečišćenja mora za kupanje određuje se temeljem usporedbe usklađenosti konačne ocjene kakvoće mora za kupanje na pojedinoj plaži i same procjene rizika od onečišćenja mora. U slučaju kada je plaža ocijenjena konačnom ocjenom izvrsno, procjenjuje se da rizika od onečišćenja mora ili nema ili je on vrlo nizak ili nizak; kod konačne ocjene dobro, procjenjuje se umjeren rizik od onečišćenja; kod konačne ocjene zadovoljavajuće, procjenjuje se visok rizik; kod konačne ocjene nezadovoljavajuće, procjenjuje se vrlo visok rizik od onečišćenja. U PGŽ je u sezoni 2020. kod 54,1 % lokacija rizik od onečišćenja točno procijenjen (slika 10). Kod 42,2 % lokacija rizik je precijenjen (jedan, dva ili tri stupnja), što s javnozdravstvenog aspekta pruža dodatni stupanj sigurnosti. Problem predstavljaju lokacije (2,2 %) kod kojih je rizik onečišćenja podcijenjen (za jedan ili dva stupnja). Na tim lokacijama evidentno postoje još neutvrđeni izvori onečišćenja koji povećavaju rizik za kupanje te je potrebno provesti obnovu profila

mora za kupanje te dodatna istraživanja za utvrđivanje izvora onečišćenja. Primjerice, plaža Kantrida – dječja bolnica (ID 6058) u 2019. i 2020. godini je bila ocijenjena nezadovoljavajućom konačnom ocjenom, a rizik od onečišćenja je procijenjen kao umjeren. Stoga, profil mora za kupanje, čija je svrha procjena rizika od onečišćenja, predstavlja koristan izvor informacija, kako za korisnike plaža tako i za upravitelje plaža te provoditelje monitoringa kakvoće mora za kupanje. U profilu su opisane fizikalne, geografske i hidrološke karakteristike vode za kupanje, ocjena kakvoće mora, utvrđeni su i procijenjeni izvori onečišćenja koji bi mogli pogoršati kakvoću vode za kupanje te štetiti zdravlju kupaca (npr. blizina kanalizacijskog ispusta, blizina priobalnih izvora i vrulja, gustoća kupaca na plaži), procijenjena je moguća proliferacija cijanobakterija, makroalgi i fitoplanktona te je određen položaj točke monitoringa na kojem se on provodi.

4. ZAKLJUČAK

Broj lokacija ispitivanja kakvoće mora za kupanje na području Rijeke, u PGŽ, HR i EU je u porastu, u postotku najviše u PGŽ (za 13,9 %). Kakvoća mora u HR u prošlom je desetljeću bila značajno bolja (za 12 %) u odnosu na EU. Udio izvrsno ocijenjenih lokacija sličan je u PGŽ i HR

(oko 95 %), međutim na području Rijeke taj je udio bitno niži (za oko 20 %). Također, udio nezadovoljavajućih plaža na riječkom području je vrlo visok (8 %), daleko viši od PGŽ i HR (< 0,5 %) te EU (< 2 %), što ovo područje svrstava u mikrobiološki najopterećenije u PGŽ. Na području grada Rijeke zabilježena je visoka koncentracija mikrobioloških pokazatelja u lipnju, unatoč najvećim vrijednostima jakosti Sunčevog zračenja i nižoj količini oborina. Posljedica je to, pretpostavlja se, sušnog travnja te većih količina oborina u svibnju, a koje su s određenim vremenskim odmakom aktivirale priobalne izvore, kojih je na zapadnom dijelu grada Rijeke veliki broj.

ZAHVALA

Ovaj rad djelomično je financiran iz dva projekta: 1) Prilagodba novoj EU Direktivi o kvaliteti vode za kupanje UNIRI projekti 2018. (uniri-biomed-18-292) i 2) KLIMOD – Računalni model strujanja, poplavlivanja i širenja onečišćenja u rijekama i obalnim morskim područjima; Operativni program „Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020.“ (OPKK) od Europskih strukturnih i investicijskih fondova (ESIF).

Zahvaljujemo se Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim podacima o količini oborina i jačini Sunčevog zračenja.

LITERATURA:

- Cha, S. M., Lee, S. W., Park, Y. E., Cho, K. H., Lee, S., Kim, J. H. (2010): Spatial and temporal variability of fecal indicator bacteria in an urban stream under different meteorological regimes. *Water Science and Technology*, 61(12), 3102–3108.
- Commission of the European Communities. (1975): Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Official Journal of the European Community, Brussels.
- Dwight, R. H., Caplan, J. S., Brinks, M. V., Catlin, S. N., Buescher, G., Semenza, J. C. (2011): Influence of variable precipitation on coastal water quality in southern California. *Water Environment Research*, 83(12), 2121–2130.
- Ekklesia, E., Shanahan, P., Chua, L. H., Eikaas, H. S. (2015): Temporal variation of faecal indicator bacteria in tropical urban storm drains. *Water Research*, 68, 171–181.
- Enns, A. A., Vogel, L. J., Abdelzaher, A. M., Solo-Gabriele, H. M., Plano, L. R., Gidley, M. L., Phillips, M. C., Klaus, J. S., Piggot, A. M., Feng, Z., Reniers, A. J., Haus, B. K., Elmir, S. M., Zhang, Y., Jimenez, N. H., Abdel-Mottaleb, N., Schoor, M. E., Brown, A., Khan, S. Q., Dameron, A. S., Salazar, N. C., Fleming, L. E. (2012): Spatial and temporal variation in indicator microbe sampling is influential in beach management decisions. *Water Research*, 46(7), 2237–2246.
- European Environment Agency (EEA). (2012): European bathing water quality in 2011. Publications Office of the European Union, <https://www.eea.europa.eu/publications/european-bathing-water-quality-in-2011>.
- European Environment Agency (EEA). (2013): Coastal bathing water quality. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/coastal-bathing-water-quality-in#tab-chart_1.
- European Environment Agency (EEA). (2014): European bathing water quality in 2013. Publications Office of the European Union, <https://ec.europa.eu/environment/water/water-bathing/pdf/Bathing%20water%20summer%202013.pdf>.
- European Environment Agency (EEA). (2021): State of bathing waters in 2020, <https://discomap.eea.europa.eu/Bathingwater/>.
- Europska zajednica. (1976): Konvencija za zaštitu Sredozemnog mora – Barcelonska konvencija.
- HR EN ISO 7899-2. (2000): Water quality – Detection and enumeration of intestinal enterococci – Part 2: Membrane filtration method (ISO 7899-2:2000; EN ISO 7899-2:2000). International Organization for Standardization, Geneva
- HRN EN ISO 9308-1:2014/A1:2017. (2014): Water quality – Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria – Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora (ISO 9308-

- 1:2014/Amd 1:2016; EN ISO 9308-1:2014/A1:2017) International Organization for Standardization, Geneva
- Hunter, P. R. (2002): Does calculation of the 95th percentile of microbiological results offer any advantage over percentage exceedence in determining compliance with bathing water quality standards? *Letters in Applied Microbiology*, 34(4), 283-286.
- Institut za oceanografiju i ribarstvo. (2012): Početna procjena stanja i opterećenja na morski okoliš hrvatskog dijela Jadrana. Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, http://baltazar.izor.hr/portal/daj_dokument?p_ime=F2134498510/Pocetna%20procjena.pdf.
- Jozić, S., Morović, M., Šolić, M., Krstulović, N., Ordulj, M. (2014): Effect of solar radiation, temperature and salinity on the survival of two different strains of *Escherichia coli*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(18), 1852-1859.
- Jozić, S., Vukić Lušić, D. (2018): Report on validation of temperature modified ISO 9308-1:2014 method for the enumeration of *Escherichia coli* in bathing water sample
- Jozić, S., Vukić Lušić, D., Ordulj, M., Frlan, E., Cenov, A., Diković, S., Kauzlarić, V., Fiorido Đurković, L., Stilinović Totić, J., Ivšinović, D., Elešček, N., Vučić, A., Peroš-Pucar, D., Unić Klarin, B., Bujas, L., Puljak, T., Mamić, M., Grilec, D., Jadrušić, M., Šolić, M. (2018): Performance characteristics of the temperature-modified ISO 9308-1 method for the enumeration of *Escherichia coli* in marine and inland bathing waters. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 150-158.
- Mance, D., Mance, D., Vukić Lušić, D. (2018): Environmental isotope ^{18}O in coastal karst spring waters as a possible predictor of marine microbial pollution. *Acta Adriatica*, 59(1), 3-16.
- Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (2019): Kakvoća mora za kupanje na plažama hrvatskog Jadrana, <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-vodnoga-gospodarstva-i-zastite-mora-2033/kakvoća-mora-za-kupanje-na-plazama-hrvatskog-jadrana/1450>.
- Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. (2021): Kakvoća mora u Republici Hrvatskoj, <https://vrtlac.izor.hr/ords/kakvoća/kakvoća>.
- Ortega, C., Solo-Gabriele, H. M., Abdelzaher, A., Wright, M., Deng, Y., Stark, L. M. (2009): Correlations between microbial indicators, pathogens, and environmental factors in a subtropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 58(9), 1374-1381.
- SOLCAST. (2021): Solar irradiance data, <https://solcast.com/>.
- Stewart, J. R., Gast, R. J., Fujioka, R. S., Solo-Gabriele, H. M., Meschke, J. S., Amaral-Zettler, L. A., Del Castillo, E., Polz, M. F., Collier, T. K., Strom, M. S., Sinigalliano, C. D., Moeller, P. D. R., Holland, A. F. (2008): The coastal environment and human health: microbial indicators, pathogens, sentinels and reservoirs. *Environmental Health*, 7 Suppl 2(Suppl 2), S3-S3.
- Šolić, M., Krstulović, N. (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.
- The European Parliament and the Council of the European Union. (2006): Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. Official Journal of the European Union.
- Vlada Republike Hrvatske. (2008): Uredba o kakvoći mora za kupanje, NN 73/2008.
- Vukić Lušić, D., Kranjčević, L., Maćešić, S., Lušić, D., Jozić, S., Linšak, Ž., Bilajac, L., Grbčić, L., Bilajac, N. (2017): Temporal variations analyses and predictive modeling of microbiological seawater quality. *Water Research*, 119, 160-170.
- Vukić Lušić, D., Lušić, D., Pešut, D., Mićović, V., Glad, M., Bilajac, L., Peršić, V. (2013): Evaluation of equivalence between different methods for enumeration of fecal indicator bacteria before and after adoption of the new Bathing Water Directive and risk assessment of pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 73(1), 252-257.
- World Health Organization. (2018): WHO recommendations on scientific, analytical and epidemiological developments relevant to the parameters for bathing water quality in the Bathing Water Directive (2006/7/EC). <https://circabc.europa.eu/d/d/workspace/SpacesStore/9e89152c-7cfe-4391-9bcf-c173519e8181/WHO%20Recommendations%20on%20EC%20BWD.pdf>. Accessed 21 February 2021.
- Yang, P., Li, Y., Groves, C., Hong, A. (2019): Coupled hydrogeochemical evaluation of a vulnerable karst aquifer impacted by septic effluent in a protected natural area. *Science of The Total Environment*, 658, 1475-1484.

BATHING QUALITY OF THE SEA IN THE PRIMORJE-GORSKI KOTAR COUNTY AND IN THE RIJEKA AREA IN THE PAST DECADE

Abstract. Since the Republic of Croatia is a tourism-oriented country, bathing quality of the sea has a great public-health importance. The objective of this paper is to present the quality of the sea on the beaches in the Rijeka area in the past decade and compare it with the quality of the sea in the Primorje-Gorski Kotar County (PGKC), on the Croatian coast of the Adriatic Sea (HR) and in the European Union (EU). A comparison of the quality of the sea on the beaches in the Rijeka area, PGKC and HR during a ten-year period shows that the Rijeka area records the lowest share of beaches with excellent quality of the sea (76.4%) and the highest share of those assessed as poor (8.0%). The share of locations assessed as excellent in the PGKC and HR is similar (around 95%). The share of beaches assessed as excellent in the PGKC and HR is higher by 12% in comparison to the EU during a ten-year period.

Despite a significant improvement in the quality of the sea both at the level of EU and HR, faecal pollution is still recorded in some locations. This is particularly marked in some locations in Rijeka's western part, which is the area with the highest microbiological load in the PGKC. In order to improve the understanding of pollution causes in some locations in the Rijeka area, we have analysed the relation between microbiological indicators and environmental indicators (water and air temperature, salinity, precipitation quantity, solar irradiance). In such locations, additional effort should be made to remediate pollution sources.

Key words: bathing quality of the sea, *Escherichia coli*, enterococci, precipitation, coastal springs, salinity, solar irradiance

BADEWASSERQUALITÄT IN DER GESPANSCHAFT PRIMORJE-GORSKI KOTAR UND IM BEZIRKRIJEKA IM LETZTEN JAHRZEHNT

Zusammenfassung. Da die Republik Kroatien touristisch orientiert ist, ist die Qualität des Meerwassers für öffentliche Gesundheit von größter Bedeutung. Das Ziel dieser Arbeit ist die Qualität des Meerwassers an Badestellen im Bezirk Rijeka im letzten Jahrzehnt darzustellen und sie mit der Wasserqualität in der Gespanschaft Primorje-Gorski Kotar, an der kroatischen Adria und in der EU vergleichen. Wenn man die durchschnittliche Qualität des Meerwassers an Badestellen des Bezirkes Rijeka, der Gespanschaft Primorje-Gorski Kotar und der kroatischen Adria im Zeitraum von zehn Jahren vergleicht, hat der Bezirk Rijeka den kleinsten Anteil an Badestellen mit sehr guter Qualität des Meerwassers (76,4%), und die meisten Badestellen wurden als unbefriedigend (8%) rangiert. Der Anteil der als sehr gut rangierten Badestellen in der Gespanschaft Primorje-Gorski Kotar und an der kroatischen Adria ist ähnlich, etwa 95%. In der Gespanschaft Primorje-Gorski Kotar und an der kroatischen Adria ist der Anteil an sehr guten Badestellen im zehnjährigen Zeitraum um 12% höher als in der EU. Trotz einer wesentlichen Erhöhung der Qualität des Meerwassers in der EU und an der kroatischen Adria wird an einzelnen Badestellen noch immer fäkale Verunreinigung beobachtet. Das ist besonders ausgeprägt an einigen Badestellen im westlichen Teil der Stadt Rijeka, der mikrobiologisch am meisten belastetes Gebiet in der Gespanschaft Primorje-Gorski Kotar ist. Mit dem Ziel, die Ursachen der Verunreinigung an einzelnen Badestellen im Bezirk Rijeka besser zu verstehen, wurde das Verhältnis zwischen den mikrobiologischen Parametern und Umgebungsparametern (Wasser- und Lufttemperatur, Salzgehalt, Niederschlagsmenge, Stärke der UV-Strahlung der Sonne) analysiert. An den verunreinigten Badestellen ist zusätzlicher Aufwand erforderlich, damit die Verunreinigungsquellen saniert werden.

Schlüsselwörter: Badewasserqualität, *Escherichia coli*, Enterokokken, Niederschlag, Küstenquellen, Salzgehalt, Stärke der UV-Strahlung der Sonne