

# Zaron u podmorje Bakarskog zaljeva

Učenici: Daniel Zdelarec, Sarah Butigan, Stela Pleša

Mentori: Irena Sabo i Marina Pavlić

Prirodoslovna i grafička škola Rijeka

## 1. Istraživačko pitanje/Hipoteza

Grad Bakar smješten je u priobalnom dijelu Primorsko goranske županije, u blizini Rijeke. Područje karakterizira Bakarski zaljev, koji je po svojim prirodnim osobinama jedan od najslikovitijih zaljeva sjeverno Jadranske obale. Zemljopisni položaj odredio je privredni razvitak Bakra (luke, koksara, te dio rafinerije nafte). Unutarnji dio zaljeva obiluje podzemnim izvorima slatke vode (Pilar Katavić i suradnici, 2003.).

U školskoj godini 2011./2012. (eko projekt „Ča more u Bakru more“) provedena su fizikalna, kemijska, biološka i mikrobiološka istraživanja priobalnog površinskog mora. Ustanovljeno je visoko zasićenje kisikom priobalnog površinskog mora, opterećenje amonijakom i nitratima, te nezadovoljavajuća kvaliteta mora s obzirom na fekalne mikroorganizme na postaji opterećenoj komunalnim otpadnim vodama. Ove smo školske godine nastavili istraživati kvalitetu mora u Bakru, u suradnji s roniocima udruge „Luben“ iz Bakra.

Istraživačka pitanja:

- Kako se mijenjaju koncentracije kisika s dubinom mora, na odabranim postajama?
- Kakav je sastav morskih sedimenata s obzirom na teške metale i policikličke aromatske ugljikovodike?
- Kako prisutna onečišćenja utječu na kvalitetu mora?

## 2. Metode istraživanja

Nakon obilaska obale proveli smo odabir postaja (određivanje koordinata), uz analizu pritisaka na more. Definirali smo slijedeće postaje:

- Luben (utjecaj komunalne otpadne vode)
- Kisikana (referentna postaja)
- Koksara (utjecaj rafinerije i bivše koksare)
- Luka (utjecaj luke za rasute terete)

Postaje su odabrane na oko 5m udaljenosti od obale, do dubine od 10m, uz uvjet ujednačenih morskih sedimenata u pogledu granulacije. Fizikalno - kemijska ispitivanja proveli smo u rujnu 2013. godine i u ožujku 2014. godine. Mjerali smo temperaturu (alkoholni termometar) mora, koncentraciju kisika (HANNA HI9146), pH (pH metar), vodljivost (konduktometar), na površini mora, dubini od 5m i pri morskom dnu, te koncentraciju organske tvari (manganometrijska titracija) na 5 m dubine. Uzeli smo uzorke morskih sedimenata sa svih postaja, koji su analizirani u NZZJZ PGŽ (u prisustvu našeg učenika). NZZJZ PGŽ provodi analize morskih sedimenata uz lnu, s obzirom na teške metale i PAU-policiklički aromatski ugljikovodici, zato nas je interesirala situacija u ostalim djelovima zaljeva. U realizaciji terenskih ispitivanja pomogli su nam ronioci, koji su fotografirali podmorje.

## 3. Prikaz podataka

Svojstva naših mjernih postaja prikazana su u Tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike mjernih postaja u Bakarskom zaljevu.

POSTAJA	Koksara	Kisikana	Luka	Luben
KOORDINATE <sup>0</sup>	N45°17.804' E14°32.803'	N45°17.586' E14°33.838'	N45°18.064' E14°32.902'	N45°18.342' E14°32.209'
KARAKTERISTIKE	utjecaj bivše koksare na sediment i eko sustav u bakarskom zaljevu	referentna postaja (neopterećena postaja)	utjecaj luke za rasute terete iz koje suspendirane čestice dolaze u more	utjecaj komunalne otpadne vode

Rezultati fizikalno kemijskih mjerenja

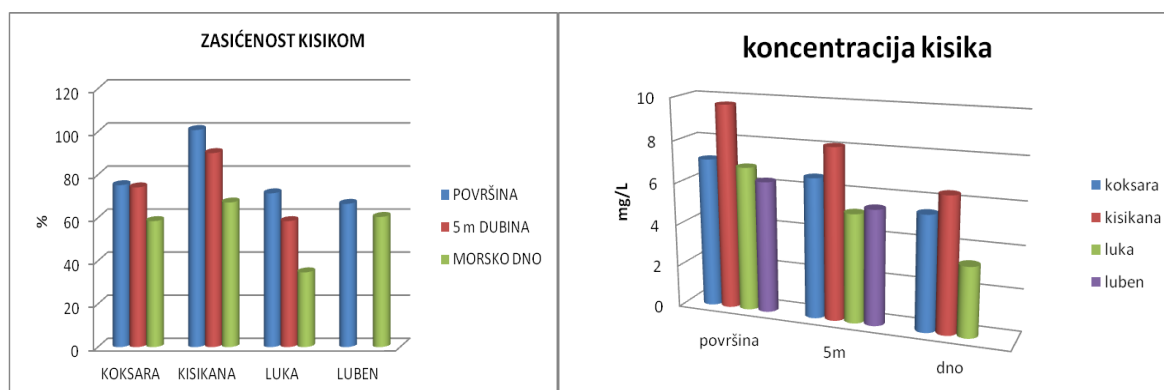
Fizikalno-kemijska mjerenja provedena u rujnu 2013.godine (Slika 1,2 i Tablica 2) pokazala su da postoje veće oscilacije koncentracije kisika na postaji Luka (minimalne vrijednosti) i postaji Kisikana (maksimalne vrijednosti).

Postaja Kisikana je postaja na izlaznom dijelu zaljeva i naša je referentna postaja. Pored postaje Luben je ispušt komunalne otpadne vode. Temperature mora na postajama Kisikana, Koksara i Luka su ujednačene. Na postaji Luben dubina mora je 5m, zbog čega su dvije mjerene temperature. Temperatura mora na 5m dubine je najviših vrijednosti, što može biti posljedica: utjecaja zračnih strujanja ili utjecaja morskih strujanja.

Koncentracije kisika na površini mora su najviših vrijednosti na svim postajama, što je bilo očekivano zbog otapanja kisika iz zraka i procesa fotosinteze. Na svim postajama su koncentracije kisika niže na dnu nego na dubini od 5m, što nije usklađeno s temperaturom (niža je na dnu), ali je razumljivo zbog nemogućnosti utjecaja kisika iz atmosfere.

Usporedba koncentracije kisika po postajama ukazuje na najvišu koncentraciju kisika na Kisikani (referentna, neopterećena postaja), što upućuje na najmanje onečišćenu postaju. Niska je koncentracija kisika na postaji Luben, a razlog tome može biti blizina komunalne otpadne vode, koja sadrži organske tvari i bakterije. Takva onečišćenja troše kisik i time smanjuju njihovu koncentraciju. Najniže koncentracije kisika su na morskom dnu postaje Luka (na granici životne ugroze), što može biti posljedica onečišćenja.

Slika 1,2: Zasićenost kisikom i koncentracija kisika (rujan, 2013.)

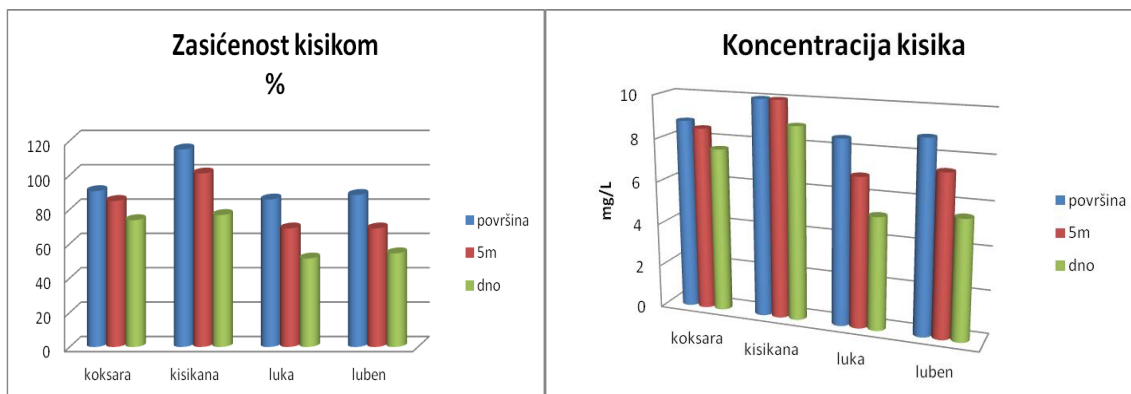


Tablica 2.: Verikalna mjerenja temperature (rujan, 2013.)

TEMPERATURA POSTAJE (°C)	KOKSARA	KISIKANA	LUKA	LUBEN
Površna	18,7	17,6	17,5	18,5
5 m DUBINE	20,2	20,8	21,5	
Morsko dno	19,0	18	18	20,5

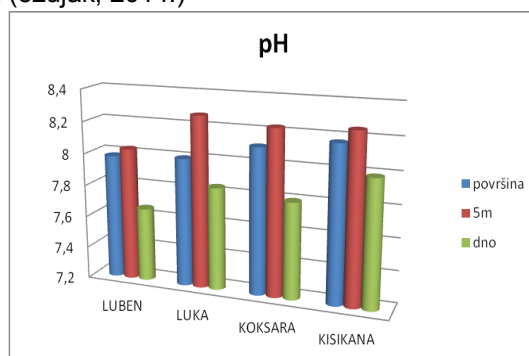
U ožujku 2014. godine ponovljeno je mjerenje i uzorkovanje mora i morskih sedimenata za provedbu laboratorijskih analiza. Zasićenost kisika ponovo opada prema morskom dnu (Slika 3,4). Najniže vrijednosti zasićenosti su na postaji Luka i Luben, iako su viših vrijednosti od izmjerenih u rujnu. Najviša zasićenost kisika je na postaji Kisikana.

Slika 3,4: Zasićenost kisikom i koncentracija kisika (ožujak, 2014.)



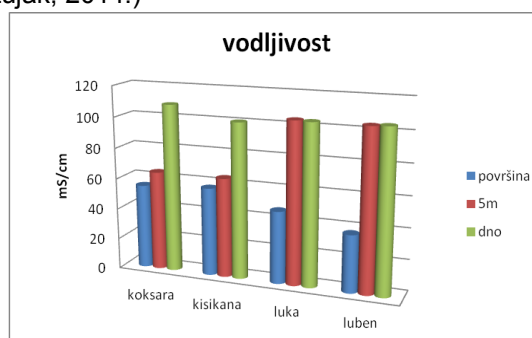
pH vrijednosti mora posljedica su prisutnosti ugljičnog dioksida (odnosno slabe ugljične kiseline) i jakih baza (Na, K, Ca, Mg) (PÉRÈS, J.M. i H. GAMULIN-BRIDA 1973). Odstupanja upućuju na prirodna (dotoci slatke vode) ili antropogena (otpadne vode ili druga onečišćenja) djelovanja. Izmjerene pH vrijednosti (Slika 5.) pokazuju malo odstupanje u odnosu na prosjek za Jadransko more (7,9 - 8,2), u pridnenim slojevima postaje Luben i Luka. pH vrijednosti su na svim postajama najviših vrijednosti na dubini od 5m, a najnižih vrijednosti na dnu.

Slika 5.: pH vrijednosti mora (ožujak, 2014.)



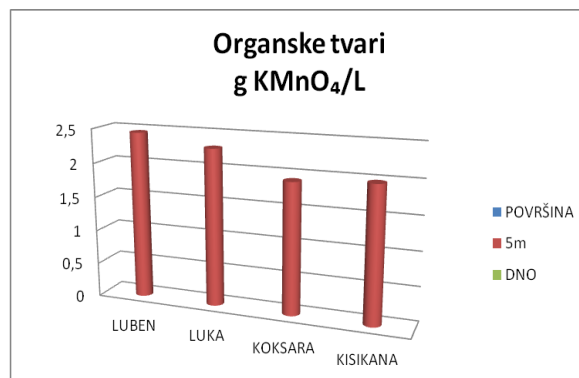
Vodljivost je mjera za koncentraciju iona u moru. Vrijednosti pokazuju najviše i ujednačene vodljivosti pridnenih slojeva svih postaja (Slika 6.). Vertikalne promjene vodljivosti mora su različite. Na postajama Koksara i Kisikana vrijednosti i promjene su slične, vodljivosti raste proporcionalno s dubinom. Slični su podaci za vodljivost i na postajama Luka i Luben, na površini nešto nižih vrijednosti, naglo rastu do 5m dubine, te se dalje slabo mijenjaju.

Slika 6.: Vodljivost mora (ožujak, 2014.)



Organske tvari u vodi upućuju na onečišćenje, a mogu se određivati indirektno, prema utrošku kalijevog permanganata potrebnog za njihovu oksidaciju. Organska tvar je određivana na dubini od 5m (slika 7.). Dobivene vrijednosti ne pokazuju velika odstupanja, ali je najveći utrošak  $KMnO_4$  na postaji Luben.

Slika 7.: Određivanje organske tvari u moru (ožujak, 2014.)



Uzorci morskih sedimenata organoleptički su ispitani, a rezultati su prikazani u tablici 2.

Tablica 2.: Organoleptičke karakteristike morskih sedimenata

POSTAJA	KARAKTERISTIKE SEDIMENTA
KOKSARA	- karakterističan miris po moru - pijeskovite čestice, znatan udio donešenih čestica, mastan opip
KISIKANA	- intenzivan miris po moru - pijesak prirodne boje i karakterističnog opipa
LUKA	- neutralan miris - čestice velike granulacije crne boje, pretpostavka da se radi o ugljenu
LUBEN	- izuzetno neugodan miris - pjeskovite čestice tamnije boje

Nerazgradivi i otrovni teški metali u morskim sedimentima (Tablica 3) trajna su opasnost, a njihova biodostupnost ovisi o okolišnim uvjetima. Znatno su povišene koncentracije žive u sedimentima postaja Koksara i Luben, te malo povišena koncentracija mangana u sedimentima postaje Koksara (vrjednosti su uzete po Kanadskim standardima, jer kod nas nisu definirane). Živa je otrovna, jer koagulira bjelančevine i zaustavlja izmjenu tvari u stanicama. Živa i mangan djeluju štetno na živčani sustav. Mobilnost iz sedimenta moguća je samo u kiselim uvjetima, a more je lužnato (Tedeschi, S 1997).

PAU (policiklički aromatski ugljikovodici) su organski spojevi niske isparljivosti, koja opada porastom molekulske mase. PAU više molekulske mase imaju veći afinitet nakupljanja u organskim tvarima i manji afinitet prema vodi, zbog čega će biti u većoj količini pohranjeni u sedimentima (manje čestice imaju bolje adsorpcijske mogućnosti) i vjerojatno biti veći uzrok ekološkog rizika. Visokomolekularni PAU (4-6 prstena) su otrovniji (veća mogućnost neželjenih učinaka na vodene organizme u sedimentu) od niskomolekularnih PAU (2-3 prstena). Visokomolekularni PAU su više kancerogeni i manje skloni degradaciji.

U Hrvatskoj nisu definirani standardi za PAU, zbog čega su za analizu uzete ERL (Effects range low-štetni učinci na 10% testova) vrjednosti (standardi SAD-a).

Rezultati mjerenja pokazuju da su moguća štetna djelovanja nisko- i visokomolekularnih PAU sedimenata na postaji Koksara (tablica 3). Parcijalnom analizom ustanovljeno je da su na svim postajama prekoračene neštetne koncentracije pojedinih PAU (tablica 4), od kojih je prekoračenje benzo(a)pirena prisutno na svim postajama. Aromati i teški metali imaju sposobnost kumulativne bioakumulacije unutar hranidbenog lanca (Tedeschi, 1997).

Tablica 3: Rezultati analiza teških metala i PAU u morskim sedimentima (NMM- niska molekulska masa; VMM- visoka molekulska masa; P- broj prstena; U- ukupna količina)

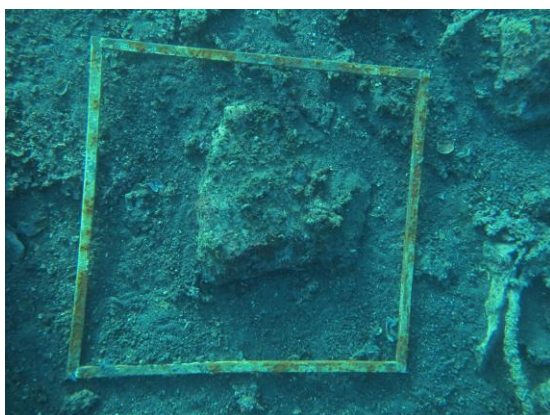
Uzorak	Postaja	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Hg mg/kg	PAU µg/kg		
								U*	NMM* 2-3P*	VMM* 4-6P*
1.	Koksara	0,66	16	19	29	115	0,60	3169	1207	1962
2.	Kisikana	0,10	11	15	31	70	0,03	734	140,64	593,36
3.	Luka	0,80	13	22	25	74	0,14	854	180,42	673,58
4.	Luben	0,70	9	10	22	40	0,43	1045	315,96	729,04

Vrijednosti mogućeg utjecaja	3,5	91,3	35,7	140	110	0,17	550 (SAD)	1700 (SAD)
	Kanada							

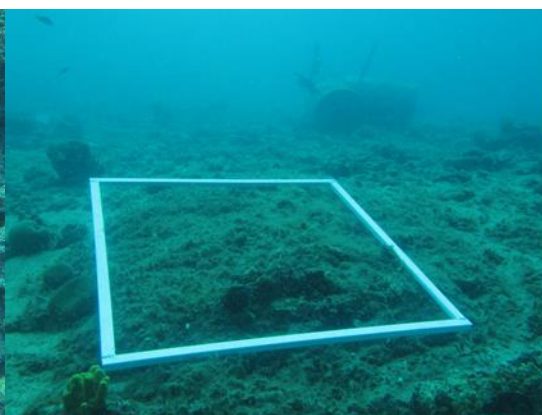
Tablica 4: Broj mjerenih PAU za koje su prekoračene ERL koncentracije ((NMM- niska molekulska masa; VMM- visoka molekulska masa)

POSTAJA	NMM (ukupno: 5)	VMM (ukupno: 10)
Koksara	1	7
Kisikana	0	4
Luka	0	4
Luben	0	5

Fizikalno kemijske karakteristike upotpunili smo interpretacijom fotografija podmorja (BAKRAN-PETRICIOLI, T. 2007.).



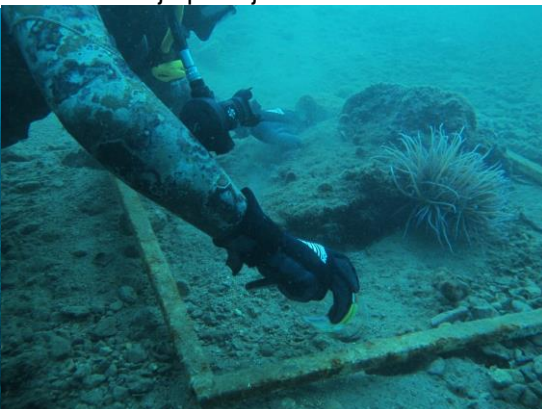
Slika 8: Podmorje postaje Koksara



Slika 9: Podmorje postaje Kisikana



Slika 10: Podmorje postaje Luka



Slika 11: Podmorje postaje Luben

Na postaji Koksara (slika 8) uočena je degradirana zajednica infralitoralnih algi (smeđa makro alga *Padina pavonica* i zelena alga *Cladophora sp.*). Obje alge podnose jača onečišćenja. Pjeskovito dno je izrazito opterećeno donosom čestica s kopna (pretpostavka: mineralna prašina iz rafinerijskog terminala), dubina oko 18.5 metara. U ožujku se uočava niska pokrovnost zelenim algama *Dasycladus vermicularis* i ljušture školjaka.

Na postaji Kisikana (slika 9) je biocenosa infralitoralnih algi, niskih mahovinskih steljki. Dno je pjeskovito, ali neopterećeno česticama s kopna. Područje je izraženije pokrovnosti i veće bioraznolikosti, a uočavaju se spužva sumporača - *Aplysina aerophoba* i alge *Codium sp.*. Navedeni organizmi podnose jača onečišćenja. U ožujku je smanjena pokrovnost alga, uz prisutnost spužve sumporače, dubina je 17,3 m.

Na postaji Luka (slika 10) je veća granulacija morskog sedimenta (heterogena struktura šljunka i kamena).

Degradirano je i zamuljeno morsko stanište, uočljiva je mala količina mahovinske smeđe alge. Morski sedimenti opterećeni su ostacima ugljena, dubina je 15,7 m. U ožujku je opustošeno morsko dno prekriveno naslagama ugljena.

Na postaji Luben (slika 11) granulacija morskog sedimenta je heterogena (pijesak i kamenje). Izrazito je degradirana i zamuljena zajednica, vjerojatno zbog utjecaja otpadnih komunalnih voda. Uočena je smeđa moruzgva, dubina je 12 metara.

#### **4. Zaključak**

More Bakarskog zaljeva izloženo je različitim prirodnim i antropogenim utjecajima, na temelju kojih su odabrane četiri postaje: Luben (ispust komunalne otpadne vode); Kisikana (referentna postaja); Luka (luka za rasute terete) i Koksara (rafinerija nafte i bivša koksara). Provedena su fizikalna, kemijska, te biološka ispitivanja na temelju fotografija podmorja.

Fizikalno kemijska istraživanja mora i sedimenta referentne postaje Kisikana su pokazala da je morsko stanište najviše kvalitete (u odnosu na stanje ostalih postaja). More te postaje nije opterećeno antropogenim djelovanjima.

Na postaji Luben potvrđena je izražena zamuljenost i niska prozirnost mora. Zasićenost kisika je niska u pridnevnom sloju i snižena pH vrijednost. Koncentracija iona je nižih vrijednosti na površini (utjecaj komunalnih otpadnih voda), te se naglo povećava prema morskom dnu. Visoka je koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika i žive u sedimentima. Morski sediment je izrazito neugodnog mirisa, a na morskom dnu uočavaju se degradirane morske zajednice.

Na postaji Koksara ustanovljene su niže zasićenosti kisika u svim slojevima, pH vrijednosti su uobičajene za Jadransko more, a vodljivost se proporcionalno povećava prema morskom dnu. Morski sedimenti su pjeskovite granulacije tamnije boje i masnog opipa (unos antropogenih čestica). U sedimentima su izrazito visoke koncentracije policikličkih aromatskih ugljikovodika (koncentracije su u porastu) i najviše su koncentracije teških metala (posebno opasna koncentracija žive). Biodostupnosti pogoduju pijeskovite čestice sedimenta, ali nepovoljno djeluje pH (lužnato područje). Na fotografijama podmorja uočene su degradirane zajednice infralitoralnih algi.

Ina opterećuje morsko stanište povremenim ispuštima nafte i naftnih derivata što je uzrok nakupljanja teških metala i aromata u morskim sedimentima.

Na postaji Luka je zasićenost kisikom u pridnevnom sloju izrazito niska (na granici životne ugroze), a morsko dno prekriveno naslagama ugljena, koje onemogućavaju razvoj mikro i makroflore.

Pri manipulaciji rasutih tereta (ruda, ugljen) s brodova na vlak dolazi do disperzije prašine materijala u okolni prostor, te se dio materijala nakuplja u morskom sedimentu. Prema podacima iz literature (Zavodnik i suradnici 1978), u dubljim slojevima zaljeva veće su površine dna zatrpane slojevima tamnog mulja, koji u more dospijeva pri manipulaciji tereta u luci.

Rezultati istraživanja povezani su sa rezultatima u projektu „Ča more u Bakru more“, u kojem su istraživanja provedena u obalnom dijelu površinskog mora.

Na postaji Luben ustanovljena je najjača zamuljenost (unutarnji dio zaljeva, izložen djelovanju otpadnih komunalnih voda), niska prozirnost, visoko zasićenje kisikom priobalnog površinskog mora, nezadovoljavajuća kvaliteta mora s obzirom na fekalne mikroorganizme (*Escherichia coli* i enterokoki) (VUKIĆ LUŠIĆ, 2006: Mikrobiološki indikatori kvalitete vode), te je najizrazitija degradiranost zajednica na betonskim okomitim površinama (dominiraju zelene sitne nitaste alge).

Na postaji Koksara ustanovljeno je visoko zasićenje kisikom priobalnog površinskog mora, visoka prozirnost mora, viša bioraznolikost, betonskih površina uz obalu, algama. Morski sedimenti opterećeni su teškim metalima i aromatima. Posebnu opasnost čine balastne vode, koje mogu opteretiti morski sustav različitim štetnim tvarima, a najopasniji su strani organizmi, koji mogu narušiti prirodnu ravnotežu mora.

Na postaji Luka visoko je zasićenje kisikom priobalnog površinskog mora, visoka prozirnost mora, viša bioraznolikost betonskih površina uz obalu, algama. Mediolitoralni dio je specifičan zbog ostataka željezne rude različite granulacije, a bioraznolikost je uobičajena. More je visoke prozirnosti.

Za potrebe sistematizacije rezultata oba projekta korištene su skale relativne procjene kvalitete mora, nastale na osnovu konzultacije literature (Port Curtis Integrated Monitoring Program-PORT CURTIS ECOSYSTEM HEALTH REPORT CARD 2008- 2010, Australia).

Odabrane parametre mjerenja uključili smo u sustav bodovanja. Svako mjerenje prikazano je bodovima od 1(najniža kvaliteta) do 4 (najviša kvaliteta). Bodovi su usklađeni s našim ili inozemnim (ako kod nas nisu propisani) standardima. Eko kartice postaja s izračunatim ekološkim razredom, vrstom ugroze i preporukom za oporavak morskog staništa prezentirati ćemo na eko akciji čišćenja podmorja (u koju smo i sami uključeni) u Bakru svim prisutnim sudionicima.

Izabrani su slijedeći parametri: zasićenost kisikom (vertikalni stupac), koncentracija pokazatelja fekalnih mikroorganizama, koncentracija teških metala u sedimentima, koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika i bioraznost betonskih površina priobalnog dijela i morskog dna. Ekološki razredi postaja uz preporuke za oporavak morskog staništa prikazani su u tablici 5.

Tablica 5: Ekološki razredi postaja i preporuke za oporavak morskog staništa

POSTAJA	EKOLOŠKI RAZRED	PREPORUKE ZA OPORAVAK
KOKSARA	2,4	Povećati kontrolu ispusta naftnih derivata, te provoditi potrebne sanacijske mjere zaštite. Kontrola i obrada balastnih voda.
LUKA	2,9	Mehanički ukloniti nataložene sedimente katrana, ugljena i željezne rude. Modernizacija luke za rasute terete, kako bi pri manipulaciji bilo što manje opterećenja okoliša.
LUBEN	1,9	Sakupljanje otpadnih komunalnih, odnosno usmjeravanje na centralni uređaj.
KISIKANA	3,7	Referentna postaja.

Na temelju određenih ekoloških razreda zaključujemo da je najniža kvaliteta morskog staništa postaje Luben, zbog utjecaja komunalnih otpadnih voda. More te postaje je nepodobno za kupanje, a upitna je i konzumacija hrane iz mora. Niži ekološki razred postaje Koksara posljedica je visoke koncentracije PAU i žive, zbog kojih su ugroženi morski organizmi, koji pri konzumaciji mogu štetno utjecati na zdravlje. Naslage ugljena i rudače na postaji Luka onemogućuju razvoj mikro i makroflora, čime je poremećena bioraznost zaljeva.

Nadamo se da će naše istraživanje mora u Bakarskom zaljevu dati mali doprinos osvješćivanju potrebe saniranja učinjenih i sprječavanju novih pritisaka na more tog Jadranskog biseru.

## 5. Literatura

- BAKRAN-PETRICIOLI, T. 2007: Morska staništa. Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
- PÉRÈS, J.M. i H. GAMULIN-BRIDA 1973: Biološka oceanografija. Bentos. BENTOSKA bionomija Jadranskog mora. Školska knjiga, Zagreb.
- ZAVODNIK, D., N., ZAVODNIK, L.J., IGIĆ 1978: Bentos Bakarskog zaljeva i problemi zagađivanja. Pomorski zbornik 16:419-435.
- TEDESCHI, S 1997: Zaštita voda. Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb.
- VUKIĆ LUŠIĆ, D., D. PEŠUT, B. PRUŽINEC-POPOVIĆ 2006: Mikrobiološki indikatori kvalitete vode. Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Rijeka.
- Jasminka Pilar Katavić, Ana Putar, dipl.ing.arh., Romana Matoc, dipl.ing.arh., Ivana Liović, dipl.ing.arh., Ivana Zanze, aps.arh., 2003.: Prostorni plan uređenja Bakra. Urbanistički institut Hrvatske, d.d., Zagreb
- Port Curtis Integrated Monitoring Program-PORT CURTIS ECOSYSTEM HEALTH REPORT CARD 2008- 2010, Australia preuzeto 2.3.2014., [http://www.pcimp.com.au/report\\_card.html](http://www.pcimp.com.au/report_card.html)