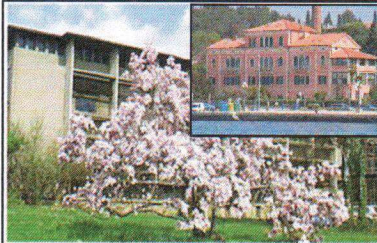
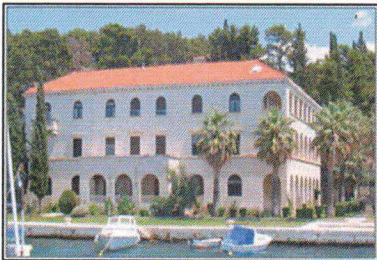


**REZULTATI ISPITIVANJA STANJA MORSKE VODE,  
SEDIMENTA I BIOTE (ŠKOLJKAŠI) NA KONCENTRACIJE I  
MASENE UDJELE ODABRANIH TEŠKIH METALA NA TRI  
POSTAJE U KAŠTELANSKOM ZALJEVU OD SJEVERNE LUKE  
DO UVALE BENE TIJEKOM LIPNJA 2023. GODINE**

**Split, srpanj 2023.**



INSTITUT ZA OCEANOGRFIJU I RIBARSTVO  
Šetalište I. Meštrovića 63  
21000 Split  
Hrvatska

INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ  
Bijenička cesta 54  
10000 Zagreb  
Hrvatska

**REZULTATI ISPITIVANJA STANJA MORSKE VODE,  
SEDIMENTA I BIOTE (ŠKOLJKAŠI) NA KONCENTRACIJE I  
MASENE UDJELE ODABRANIH TEŠKIH METALA NA TRI  
POSTAJE U KAŠTELANSKOM ZALJEVU OD SJEVERNE LUKE  
DO BENA TIJEKOM LIPNJA 2023. GODINE**

Voditelj istraživanja

  
Dr. sc. Grozdan Kušpilić



Ravnateljica

Institut za oceanografiju i ribarstvo

  
Dr. sc. Živana Ninčević Gladan

**Split, srpanj 2023**

## Suradnici na izvješću:

Uzorkovanje:

- Ivan Pezo, dipl. inž., IOR
- Krešimir Markulin, dr.sc., IOR

Analize uzoraka i izvještaj:

- Jelena Lušić, dr.sc., sediment i školjkaše, IOR
- Dario Omanović, dr.sc., voda, IRB

## Sadržaj

<b>1. POSTAJE ISTRAŽIVANJA</b>	<b>4</b>
<b>2. MATERIJALI I METODE</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Teški metali u vodi</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Teški metali u sedimentu i školjkašima</b>	<b>6</b>
<b>3. REZULTATI I RASPRAVA REZULTATA</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Teški metali u vodi</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Teški metali u sedimentu</b>	<b>9</b>
<b>3.3. Teški metali školjkašima</b>	<b>11</b>
<b>4. ZAKLJUČCI</b>	<b>13</b>
<b>5. LITERATURA</b>	<b>15</b>

## 1. POSTAJE ISTRAŽIVANJA

Uzorci morske vode i sedimenta uzeti su na 3 lokacije, ECO-SL-1 (unutar područja Sjeverne luke), ECO-SL-2 (između Sjeverne luke i Brodogradilišta) te na referentnoj postaji ECO-SL-ref u uvali Bene. Osnovni podaci o postajama i uzorkovanju prikazani su u tablici 1 i na slici 1. Uzorci školjkaša (*Mytilus galloprovincialis*) uzeti su iz mediolitorala i najplićeg područja infralitorala s najbližeg dijela kopna od postaja uzorkovanja vode i sedimenta.

**Tablica 1.** Koordinate i dubine postaja te datum uzorkovanja vode i sedimenta iz istraživanog područja.

Postaja	Zemljopisna širina	Zemljopisna dužina	Dubina (m)	Datum uzorkovanja
ECO-SL-1	43,528079°	16,469552°	15	14.6.2023.
ECO-SL-2	43,528090°	16,456343°	3	14.6.2023.
ECO-SL-ref	43,515847°	16,402941°	5	14.6.2023.



**Slika 1.** Postaje uzorkovanja morske vode i sedimenta.



## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Teški metali u vodi

Nakon uzorkovanja, 125 ili 250 mL uzorka filtrirano je preko 0,45  $\mu\text{m}$  celulozno acetatnog filtra (Sartorius), korištenjem filtra u kapsuli i uz pomoć šprice. Nakon filtriranja uzorci su zakiseljeni na  $\text{pH} < 2$  dodatkom „suprapur“  $\text{HNO}_3$  i 24 h bili izloženi UV zračenju kako bi se razorili jaki organski kompleksi metala. Za uzorkovanje i čuvanje uzoraka korištene su isključivo „metal-free“ bočice od fluorirane plastike (PFA). Korištena metoda bazirana je na Normi DIN 38406 E-16. Određivanje koncentracije otopljenih metala (Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, Co) voltametrijskim tehnikama izvedeno je na uređaju ECOChemie  $\mu\text{AUTOLAB3}$  multimode potenciostatu (Utrecht, Nizozemska), uz korištenje troelektrodnog sustava Metrohm 663 VA STAND (Herissau, Švicarska). Mjerenja su izvedena na automatiziranom sustavu koji uključuje uređaj za izmjenu uzoraka (napravljen na LFKT/IRB-u) i birete za doziranje dodataka metala Cattro XE 1000 Modular Digital Pump, uz pripadajuću softversku podršku. Koncentracije Cd, Pb, Cu i Zn određene su metodom diferencijalno pulsne voltametrije s anodnim otapanjem (DPASV). Koncentracije Ni određene su metodom adsorptivne voltametrije s katodnim otapanjem (AdCSV). Za određivanje koncentracija metala korištena je metoda dodatka standarda. Granica određivanja iznosi od 1 do 30 ng/L, ovisno o metalu, a kontrola kvalitete mjerenja provjerava se istovremenim određivanjem metala u certificiranom uzorku morske vode CASS-6 (NRC CNRC). Korišteni sustav prikazan je na slici 2.



**Slika 2.** Automatizirani voltametrijski sustav za određivanje koncentracija Zn, Cd, Pb, Cu i Ni u vodi.

Koncentracije otopljenog arsena (As) u morskoj vodi određene su masenom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS, Agilent 8900 QQQ) nakon što je uzorak razrijeđen 20x radi smanjenja efekta matriksa (morska voda).

## **2.2. Teški metali u sedimentu i školjkašima**

Uzorci površinskog sloja sedimenta (0–2 cm) i dagnji nakon uzorkovanja pohranjeni su u plastičnim vrećicama i zamrznuti na  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Zamrznuti uzorci sedimenta prije analiza su osušeni postupkom liofilizacije i prosijani kroz sito otvora 2 mm. Prosijani uzorci sedimenta ( $<2\text{ mm}$ ) usitnjeni su i homogenizirani nakon čega su raščinjavani smjesom koncentriranih kiselina (65%  $\text{HNO}_3$ , 36%  $\text{HCl}$  i 48%  $\text{HF}$ ) u zatvorenom mikrovalnom sustavu.

Uzorcima školjkaša odvojeno je meko tkivo koje je homogenizirano i osušeno postupkom liofilizacije te usitnjeno pomoću tekućeg dušika. Usitnjeni uzorci su zatim raščinjavani smjesom dušične kiseline (65%  $\text{HNO}_3$ ) i vodikovog peroksida (30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), u zatvorenom mikrovalnom sustavu. Sadržaj arsena, kadmija, kroma, bakra, olova i nikla u uzorcima sedimenta i dagnji određen je metodom atomske apsorpcijske spektrometrije (AAS, slika 3). Sadržaj žive u usitnjenim i homogeniziranim uzorcima analiziran je uređajem za direktnu analizu žive metodom atomske apsorpcijske spektrometrije.



**Slika 3.** Atomski apsorpcijski spektrometar za analizu sadržaja metala u sedimentu i bioti.

### 3. REZULTATI

Kod tumačenja iznijetih rezultata analiza teških metala u vodi, sedimentu i školjkašima (*Mytilus galloprovincialis*) treba imati na umu da:

- ustanovljene koncentracije teških metala u vodi daju uvid u trenutno stanje onečišćenja morske vode tijekom vremena uzorkovanja;
- ustanovljeni maseni udjeli teških metala u sedimentu predstavljaju stanje onečišćenja sedimenta nakon dugogodišnjeg razdoblja njihove akumulacije;
- se ustanovljeni maseni udjeli teških metala u školjkašima odnose na relativno kratko vrijeme (nekoliko mjeseci) njihove akumulacije u školjkašima.

#### **3.1. Teški metali i arsen u vodi**

Vrijednosti koncentracija odabranih metala i arsena na mjernim postajama dane su u tablici 2. Iz prikazanih rezultata može se vidjeti da su u odnosu na prosječne godišnje koncentracije (PGK) propisane u Uredbi o standardu kakvoće voda za „ostale površinske vode“ (NN 96/2019), izmjerene koncentracije svih metala značajno ispod tih vrijednosti. Prema tome, može se potvrditi da je morska voda na postajama uzorkovanja odlične kvalitete.

Izmjerene koncentracije u očekivanim su granicama za priobalno more i u skladu su s razinama koncentracija istih metala izmjerenih u sklopu ranijih istraživanja u ovom području: na slici 4 prikazane su prostorne raspodjele Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co u području Kaštelanskog zaljeva iz svibnja 2020. godine.

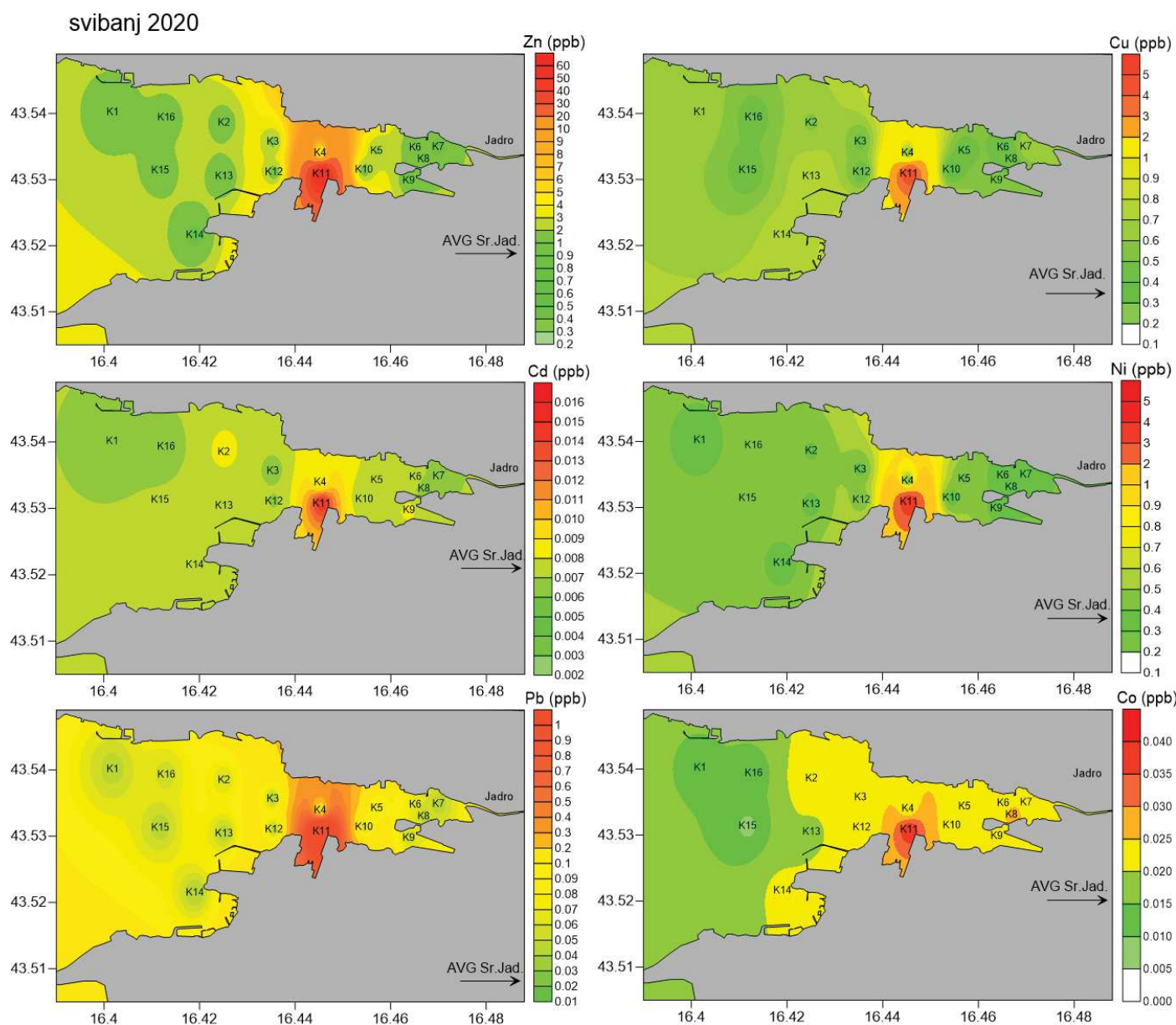
**Tablica 2.** Koncentracije teških metala i arsena ( $\pm$ standardna devijacija) u uzorcima vode i prosječna godišnja koncentracija (PGK) metala prema Uredbi o standardu kakvoća voda (SKVO) (NN 96/2019).

Postaja	[Zn]/ ( $\mu\text{g/L}$ )	[Cd]/ ( $\mu\text{g/L}$ )	[Pb]/ ( $\mu\text{g/L}$ )	[Cu]/ ( $\mu\text{g/L}$ )	[Ni]/ ( $\mu\text{g/L}$ )	[Co]/ ( $\mu\text{g/L}$ )	[As]/ ( $\mu\text{g/L}$ )
ECO-SL1_P	0,475 $\pm$ 0,051	0,007 $\pm$ 0,001	0,011 $\pm$ 0,002	0,746 $\pm$ 0,051	0,277 $\pm$ 0,026	0,023 $\pm$ 0,002	1,290 $\pm$ 0,150
ECO-SL1_D	0,476 $\pm$ 0,029	0,008 $\pm$ 0,001	0,025 $\pm$ 0,003	0,728 $\pm$ 0,117	0,305 $\pm$ 0,025	0,030 $\pm$ 0,002	1,350 $\pm$ 0,254
ECO-SL2_P	0,932 $\pm$ 0,122	0,007 $\pm$ 0,001	0,017 $\pm$ 0,003	0,830 $\pm$ 0,078	0,290 $\pm$ 0,037	0,033 $\pm$ 0,002	1,420 $\pm$ 0,074
ECO-SL2_D	1,003 $\pm$ 0,118	0,007 $\pm$ 0,001	0,026 $\pm$ 0,003	0,919 $\pm$ 0,039	0,309 $\pm$ 0,043	0,039 $\pm$ 0,003	1,400 $\pm$ 0,166
ECO-SL_REF_P	0,315 $\pm$ 0,052	0,001 $\pm$ 0,001	0,005 $\pm$ 0,002	0,044 $\pm$ 0,031	0,035 $\pm$ 0,020	0,007 $\pm$ 0,001	0,004 $\pm$ 0,000
ECO-SL_REF_D	0,370 $\pm$ 0,061	0,001 $\pm$ 0,001	0,012 $\pm$ 0,002	0,093 $\pm$ 0,034	0,059 $\pm$ 0,018	0,018 $\pm$ 0,002	0,110 $\pm$ 0,012
PGK	40	0,2	1,3	5,0	8;6	ne primjenjuje se	ne primjenjuje se

\_P: Površinski sloj vodenog stupca (0,5 m); \_D: Pridneni sloj vodenog stupca (1 – 2 m iznad morskog dna

PGK: Prosječna godišnja koncentracija definirana Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/2019) kojom se razlikuje dobro kemijsko stanje (ustanovljene koncentracije < PGK) i dobro kemijsko stanje nije postignuto (ustanovljene koncentracije > PGK).





**Slika 4.** Prostorna raspodjela Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co u površinskom sloju morske vode Kaštelsanskog zaljeva u svibnju 2020.

Na slici 4 strelicama su označene prosječne koncentracije metala za srednji Jadran. Jasno se uočava da su razine koncentracija metala mjenjenih u ovim istraživanjima u „zelenom“ području i na razini prosječnih za srednji Jadran. Blago povišene koncentracije Cu nisu neočekivane s obzirom da veći dio Cu u morskoj vodi priobalnog područja potječe od protuobraštajnih boja na bazi bakra. Niže koncentracije izmjerene na referentnoj postaji (ECO-SL-ref) u odnosu na postaje ECO-SL-1 i ECO-SL-2 su očekivane s obzirom da je na referentnoj postaji u vrijeme uzorkovanja izbijala slatka podzemna voda (vrulja) koja je

iznimno čista (krške površinske i podzemne vode su po sadržaju metala čišće od čiste morske vode, Cindrić i sur, 2015).

Koncentracije arsena (As) u potpunosti su u skladu s njegovim koncentracijama u čistoj morskoj vodi Jadrana, bez vidljivih znakova povišenja. Za usporedbu, koncentracija ukupnog arsena u čistim vodama otvorenog oceana iznosi 0,5–3 µg/L, s prosjekom od oko 1,7 µg/L (Neff, 2002).

Koncentracije u površinskom i pridnenom sloju vodenog stupca gotovo su izjednačene za sve mjerene metale i arsen. Blago više koncentracije Pb u pridnenom sloju su uobičajene jer se olovo veže na čestice (koloide) i djelomično akumulira u donjim slojevima vodenog stupca (Cindrić i sur, 2015).

### 3.2. Teški metali u sedimentu

Maseni udjeli metala (arsen, kadmij, krom, bakar, živa, olovo i nikal) izmjereni u uzorcima površinskog sedimenta prikazani su u tablici 3.

**Tablica 3.** Izmjereni maseni udjeli metala u uzorcima sedimenta izraženi na suhu masu.

Metal	Postaja		
	ECO-SL-1	ECO-SL-2	ECO-SL-ref
Arsen (mg kg <sup>-1</sup> )	20,4	12,6	5,83
Kadmij (mg kg <sup>-1</sup> )	1,431	0,467	0,126
Krom (mg kg <sup>-1</sup> )	101,7	66,7	10,6
Bakar (mg kg <sup>-1</sup> )	216,7	134,6	3,63
Živa (mg kg <sup>-1</sup> )	1,225	0,524	0,12
Olovo (mg kg <sup>-1</sup> )	49,3	40,4	5,90
Nikal (mg kg <sup>-1</sup> )	57,6	21,2	5,23

Rezultati ukazuju na više vrijednosti sadržaja svih metala u sedimentu postaje ECO-SL-1, u odnosu na referentnu postaju i postaju ECO-SL-2. Vrijednosti sadržaja kadmija, kroma, žive, nikla i olova u sedimentu postaje ECO-SL-1 su otprilike 10 puta više od sadržaja navedenih metala u sedimentu na referentnoj postaji. Sadržaj arsena u sedimentu postaje ECO-SL-1 je 4 puta viši, a sadržaj bakra skoro 60 puta viši, u odnosu na referentnu postaju.

S obzirom da na razini Europske zajednice (EZ) kao ni na nacionalnoj razini nema službenih kriterija za ocjenu stanja sedimenta, u svrhu procjene stupnja onečišćenosti sedimenta primijenjene su granične vrijednosti u skladu s norveškim kriterijima navedenima

u publikaciji Bakke i sur. (2010) (Tablica 4). Isti kriteriji se već više godina koriste i u redovitom monitoringu stanja prijelaznih i priobalnih voda u Republici Hrvatskoj za ocjenu stanja sedimenta.

Prema navedenim kriterijima, stanje sedimenta u odnosu na ustanovljene masene udjele metala, može se svrstati u pet kategorija. Prve dvije kategorije označavaju neonečišćena područja. Treća, četvrta i peta kategorija označavaju umjereno do jako onečišćena područja. Koncentracije onečišćujućih tvari unutar graničnih vrijednosti koje označavaju treću, četvrtu i petu kategoriju onečišćenja, mogu izazvati toksične učinke na morske organizme.

**Tablica 4.** Granične vrijednosti za ocjenu stanja sedimenta.

<b>Metal</b>	<b>I Prirodne vrijednosti</b>	<b>II Dobro stanje</b>	<b>III Umjereno onečišćeno</b>	<b>IV Loše stanje</b>	<b>V Vrlo loše stanje</b>
Arsen (mg kg <sup>-1</sup> )	<20	20-52	52-76	76-580	>580
Kadmij (mg kg <sup>-1</sup> )	<0,25	0,25-2,6	2,6-15	15-140	>140
Krom (mg kg <sup>-1</sup> )	<70	70-560	560-5900	5900- 59000	>59000
Bakar (mg kg <sup>-1</sup> )	<35	35-51	51-55	55-220	>220
Živa (mg kg <sup>-1</sup> )	<0,15	0,15-0,63	0,63-0,86	0,86-2	>1,6
Olovo (mg kg <sup>-1</sup> )	<30	30-83	83-100	100-720	>720
Nikal (mg kg <sup>-1</sup> )	<30	30-46	46-120	120-840	>840

Usporedba rezultata s navedenim kriterijima pokazuje da su izmjerene vrijednosti sadržaja svih metala na referentnoj postaji na razini prirodnih vrijednosti (Tablica 5).

Maseni udjeli arsena, kadmija, kroma i olova u sedimentu postaje ECO-SL-1 niži su od graničnih vrijednosti iznad kojih može doći do štetnih učinaka na morske organizme pa stanje sedimenta na toj postaji, u odnosu na Norveške kriterije, možemo ocijeniti kao dobro. Izrazito povišene vrijednosti masenog udjela bakra i žive u sedimentu postaje ECO-SL-1, predstavljaju opasnost za morske organizme te čak i kod kratkotrajne izloženosti dolazi do pojave toksičnih učinaka. Stoga stanje sedimenta ocjenjujemo kao loše. Sadržaj nikla u sedimentu postaje ECO-SL-1 može predstavljati opasnost za morske organizme u slučaju dugotrajne izloženosti. Uslijed toga, stanje sedimenta postaje ECO-SL-1, u odnosu na sadržaj nikla, ocjenjujemo kao umjereno onečišćeno.

Sadržaj arsena, kroma i nikla u sedimentu postaje ECO-SL-2 na razini je prirodnih vrijednosti, dok je sadržaj kadmija, žive i olova na istoj postaji niži od graničnih vrijednosti iznad kojih može doći do štetnih učinaka na morske organizme. Visoka vrijednosti masenog udjela bakra u sedimentu postaje ECO-SL-2 predstavlja opasnost za morske organizme te već kod kratkotrajne izloženosti može doći do pojave toksičnih učinaka, stoga stanje sedimenta u odnosu na ovaj metal ocjenjujemo kao loše.

**Tablica 5.** Procjena stanja sedimenta prema „Norveškim kriterijima“ u odnosu na sadržaj metala.

Metal	Postaja / Stanje		
	ECO-SL-1	ECO-SL-2	ECO-SL-ref
Arsen (mg kg <sup>-1</sup> )	Dobro	Prirodno	Prirodno
Kadmij (mg kg <sup>-1</sup> )	Dobro	Dobro	Prirodno
Krom (mg kg <sup>-1</sup> )	Dobro	Prirodno	Prirodno
Bakar (mg kg <sup>-1</sup> )	Loše	Loše	Prirodno
Živa (mg kg <sup>-1</sup> )	Loše	Dobro	Prirodno
Olovo (mg kg <sup>-1</sup> )	Dobro	Dobro	Prirodno
Nikal (mg kg <sup>-1</sup> )	Umjereno onečišćeno	Prirodno	Prirodno

### 3.3. Teški metali u školjkašima

Maseni udjeli metala (arsen, kadmij, krom, bakar, živa, olovo i nikal) izmjereni u uzorcima dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) prikazani su u tablici 6.

**Tablica 6.** Izmjereni maseni udjeli metala u uzorcima dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) izraženi na suhu masu.

Metal	Postaja		
	ECO-SL-1	ECO-SL-2	ECO-SL-ref
Arsen (mg kg <sup>-1</sup> )	30,1	25,4	24,0
Kadmij (mg kg <sup>-1</sup> )	0,467	0,327	0,327
Krom (mg kg <sup>-1</sup> )	0,929	0,794	0,927
Bakar (mg kg <sup>-1</sup> )	31,8	9,01	5,45
Živa (mg kg <sup>-1</sup> )	0,143	0,085	0,142
Olovo (mg kg <sup>-1</sup> )	2,16	1,27	0,75
Nikal (mg kg <sup>-1</sup> )	0,63	0,88	1,03

Iz prikazanih vrijednosti uočava se da su udjeli nikla na referentnoj postaji viši u odnosu na udjele s postaje ECO-SL-1, dok su udjeli arsena, kadmija, bakra i olova najviši na postaji unutar Sjeverne luke. Između referentne postaje i postaje ECO-SL-1 nisu ustanovljene značajne razlike u odnosu na masene udjele kroma i žive u dagnjama.

Izmjerene vrijednosti uspoređene su s vrijednostima zabilježenima u prethodnim istraživanjima školjkaša u različitim područjima Jadrana (Tablica 7).

**Tablica 7.** Maseni udjeli elemenata u tragovima (mg kg<sup>-1</sup> suhe mase) u dagnjama u priobalju Jadranskog mora.

Područje	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni
Istočna obala Jadrana (Hrvatska) <sup>1</sup>	-	0,3 - 1,3	0,9-2,8	3,8 - 8,2	0,06 - 0,21	1,0 - 4,6	0,7-9,4
Malostonski zaljev <sup>2</sup>	-	0,02 - 0,06	0,05-0,39	0,5 - 1,2	-	0,12 - 0,26	0,06-0,75
Malostonski zaljev <sup>3</sup>	-	0,4 - 2,4	0,4-4,6	2,0 - 11,0	0,08 - 0,28	0,2 - 3,7	-
Istočna obala Jadrana (Hrvatska) <sup>4</sup>	1,42-9,57	0,03 -0,82	-	-	0,005 - 0,68	0,14 -1,06	-
Crnogorsko priobalje <sup>5</sup>	-	0,8 - 2,9	0,72-3,1	6,1 - 11,2	0,08 - 0,26	1,4 - 2,7	1,3-6,6
Crnogorsko priobalje <sup>6</sup>	-	1,7 - 2,4	-	7,5 - 14,5	0,07 - 0,59	4,7 - 12,9	-
Zapadna obala Jadrana (Italija) <sup>7</sup>	7,83-37,6	0,4 - 1,6	0,4-2,3	1,1 - 8,1	0,02 - 0,19	0,3 - 3,0	1,4-6,5
Zapadna obala Jadrana (Italija) <sup>8</sup>	-	0,6 - 1,0	-	17,9 - 156	<0,5	2,0 - 9,0	1,3–7,6

\*vrijednosti u mg kg<sup>-1</sup> mokre mase; <sup>1</sup>Milun i sur. (2016), <sup>2</sup>Ujević i sur. (2015), <sup>3</sup>Kljaković-Gašpić i sur. (2007), <sup>4</sup>Bogdanović i sur. (2014), <sup>5</sup>Perošević i sur. (2018), <sup>6</sup>Marković i sur. (2012), <sup>7</sup>Fattorini i sur. (2008), <sup>8</sup>Desideri i sur. (2008)

Usporedba rezultata s prosječnim koncentracijama izmjerenim u školjkama u područjima uzgoja i izlova, tj. neonečišćenim područjima u Jadranskom moru, pokazuje da su izmjerene vrijednosti kadmija, kroma, žive, olova i nikla unutar raspona vrijednosti zabilježenih u dagnjama iz navedenih područja. Stoga izmjerene vrijednosti navedenih metala možemo smatrati prirodnim vrijednostima u dagnjama. S druge strane, sadržaj arsena i bakra na postaji ECO-SL-1 usporediv je s vrijednostima izmjerenima u talijanskom priobalju u području izloženom antropogenim pritiscima pa možemo zaključiti da je područje postaje ECO-SL-1 onečišćeno navedenim metalima uslijed utjecaja ljudskih aktivnosti.



U svrhu zaštite ljudskog zdravlja zakonski su propisane najveće dozvoljene koncentracije (NDK) kadmija i olova u tkivu školjkaša (Pravilnik o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani, NN 146/2012) dok za ostale metale nema propisanih dopuštenih količina.

Propisana NDK za kadmij iznosi 1,0 mg/kg mokre mase, a za olovo 1,5 mg/kg mokre mase. Izmjereni maseni udjeli kadmija i olova u dagnjama sa svih postaja su višestruko niži od propisanih najvećih dopuštenih količina (Tablica 8).

**Tablica 8.** Izmjereni maseni udjeli kadmija i olova u uzorcima dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) izraženi na mokru masu.

Metal	Postaja / Stanje		
	ECO-SL-1	ECO-SL-2	ECO-SL-ref
Arsen (mg kg <sup>-1</sup> )	4,82	4,45	4,67
Kadmij (mg kg <sup>-1</sup> )	0,75	0,06	0,06
Krom (mg kg <sup>-1</sup> )	0,15	0,14	0,18
Bakar (mg kg <sup>-1</sup> )	5,09	1,58	1,06
Živa (mg kg <sup>-1</sup> )	0,23	0,01	0,03
Olovo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,34	0,22	0,15
Nikal (mg kg <sup>-1</sup> )	0,10	0,15	0,20

Ne postoje zakonski definirane najveće dopuštene koncentracije.

#### 4. ZAKLJUČCI

Prema prikazanim rezultatima možemo zaključiti da su:

- koncentracije teških metala u vodi na sve tri istražene postaje na prirodnoj razini za područje srednjeg Jadrana i niže od graničnih vrijednosti za dobro kemijsko stanje vode propisane Uredbom o standardu kakvoće vode (NN 96/2019);
- ustanovljeni najviši maseni udjeli metala u sedimentu na postaji unutar Sjeverne luke (ECO-SL-1), dok su najniže vrijednosti izmjerene u sedimentu referentne postaje (ECO-SL-ref). Vrijednosti sadržaja kadmija, kroma, žive, nikla i olova u sedimentu postaje ECO-SL-1 otprilike su 10 puta više od sadržaja navedenih metala u sedimentu na referentnoj postaji. Sadržaj arsena u sedimentu postaje ECO-SL-1 je 4 puta viši, a sadržaj bakra skoro 60 puta viši u odnosu na referentnu postaju. Vrednovanje izmjerenih vrijednosti sadržaja metala u sedimentu prema norveškim kriterijima upućuje na zaključak da visoke vrijednosti sadržaja bakra i žive u sedimentu postaje unutar Sjeverne luke (ECO-SL-1) predstavljaju opasnost za morske organizme te čak i kod kratkotrajne izloženosti može doći pojave toksičnih učinaka. Zato stanje sedimenta na toj postaji ocjenjujemo kao loše. Visoka vrijednost sadržaja bakra u sedimentu postaje ECO-SL-2 također predstavlja opasnost za morske organizme pa stanje na toj postaji, u odnosu na navedeni metal, ocjenjujemo kao loše. Sadržaj nikla u sedimentu s postaje ECO-SL-1, prema norveškim kriterijima, može predstavljati opasnost za morske organizme u slučaju dugotrajne izloženosti te stanje sedimenta s postaje ECO-SL-1, u odnosu na nikal, ocjenjujemo kao umjereno onečišćeno. Prema norveškim kriterijima, stanje sedimenta u odnosu na masene udjele arsena, kadmija, kroma i olova na svim postajama ne predstavljaju opasnost za morske organizme;
- maseni udjeli svih metala u školjkašima (*Mytilus galloprovincialis*), s izuzetkom nikla, najviši na postaji unutar Sjeverne luke (ECO-SL-1). Usporedba izmjerenih masenih udjela kadmija, kroma, žive, olova i nikla s prosječnim koncentracijama određenim u školjkašima iz neonečišćenih područjima u Jadranskom moru, pokazuje da vrijednosti navedenih metala u školjkašima na svim postajama odgovaraju prirodnim vrijednostima. Sadržaj arsena i bakra u školjkašima na postaji ECO-SL-1 usporediv je s vrijednostima izmjerenima u području izloženom antropogenim pritiscima pa

možemo zaključiti da je istraženo područje unutar Sjeverne luke onečišćeno navedenim metalima uslijed utjecaja ljudskih aktivnosti. Maseni udjeli olova i kadmija u školjkašima (*Mytilus galloprovincialis*) na svim su postajama niži od propisanih najvećih dopuštenih količina u hrani.

## 5. LITERATURA

Bakke, T., Källqvist, T., Ruus, A., Breedveld, G.D., Hylland, K., 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. *J. Soils Sediments* 10, 172-178.

Bogdanović T., I. Ujević, M. Sedak, E. Listeš, V. Simat, S. Petričević & V. Poljak. 2014. As, Cd, Hg and Pb in four edible shellfish species from breeding and harvesting areas along the eastern Adriatic Coast, Croatia. *Food Chem.*, 146: 197-203.

Cindrić, Ana-Marija; Garnier, Cédric; Oursel, Benjamin; Pižeta, Ivanka; Omanović, Dario. 2015. Evidencing the natural and anthropogenic processes controlling trace metals dynamic in a highly stratified estuary: the Krka River estuary (Adriatic, Croatia). *Marine pollution bulletin*. 94: 199-216.

Desideri, D., M.A. Meli, C. Roselli & L. Feduzi. 2009. A biomonitoring study: 210Po and heavy metals in mussels. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 279: 591–600.

Fattorini, D., A. Notti, R. Di Mento, A.M. Cicero, M. Gabellini, A. Russo & F. Regoli. 2008. Seasonal, spatial and inter-annual variations of trace metals in mussels from the Adriatic sea: A regional gradient for arsenic and implications for monitoring the impact of off-shore activities. *Chemosphere*, 72: 1524–1533.

Kljaković-Gašpić, Z., I. Ujević, T. Zvonarić & A. Barić. 2007. Biomonitoring of trace metals (Cu, Cd, Cr, Hg, Pb, Zn) in Mali Ston Bay (eastern Adriatic) using the Mediterranean blue mussel (1998-2005). *Acta Adriat.*, 48: 73 – 88.

Marković, J., D. Joksimović & S. Stanković. 2012. Trace Element Concentrations in Wild Mussels from the Coastal area of the Southeastern Adriatic, Montenegro. *Arch. Biol. Sci.*, 64(1): 265–275.

Milun V., J. Lušić & M. Despalatović. 2016. Polychlorinated biphenyls, organochlorine pesticides and trace metals in cultured and harvested bivalves from the eastern Adriatic coast (Croatia). *Chemosphere*, 153: 18-27.

Neff J. 2002. Chapter 3 - Arsenic in the Ocean, Editor: Jerry M. Neff, *Bioaccumulation in Marine Organisms*, Elsevier, p:57-78.

Perošević, A., L. Pezo, D. Joksimović, D. Đurović, I. Milašević, M. Radomirović & S. Stanković. 2018. The impacts of seawater physicochemical parameters and sediment metal contents on trace metal concentrations in mussels—a chemometric approach. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25: 28248–28263.

Ujević I., N. Vuletić, J. Lušić, N. Nazlić & G. Kušpilić. 2015. Bioaccumulation of trace metals in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from Mali Ston Bay during DSP toxicity episodes. *Molecules*, 20 (7): 13031-40.