

**PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HEMIJU, BIOHEMIJU I ZAŠTITU ŽIVOTNE
SREDINE**

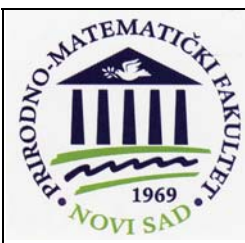
KATEDRA ZA HEMIJSKU TEHNOLOGIJU I ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE

PROJEKAT:

**HEMIJSKA PROCENA RIZIKA
SISTEMA VODA-SEDIMENT-BIOTA U
ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA AP
VOJVODINE**



Novi Sad, 2010. godina



**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HEMIJU, BIOHEMIJU I ZAŠTITU
ŽIVOTNE SREDINE**

Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad
Telefon: (021) 6350-672; Fax: (021) 454-065

Katedra za hemijsku tehnologiju i zaštitu životne sredine

Broj:

Datum:

Naziv projekta: HEMIJSKA PROCENA RIZIKA SISTEMA VODA-SEDIMENT-BIOTA U ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA AP VOJVODINE

Naručilac projekta: Pokrajinski sekretarijat za zaštitu životne sredine i održivi razvoj

Izvršilac: Prirodno-matematički fakultet
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine
Katedra za hemijsku tehnologiju i zaštitu životne sredine

Novi Sad, decembar 2010. godine

Direktor Departmana za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne sredine

Prof. dr Božo Dalmacija

Посл. бр. **F1.3873/98**

PRIVREDNI

суд у

NOVOM SADU

, судија

PRICA BORIVOJ

као судија појединац, у судскорегистарској правној ствари предлагача **UNIVERZITET U NOVOM SADU**
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET NOVI SAD Sedište: Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3

ради уписа **uskldjivanje sa Zakonom o univerzitetima i Zakonom o jedinstvenoj**
klasifikaciji delatnosti

дана **18.11.1998 god.**, донео је

РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев предлагача за упис у судски регистар и одређује се упис у судски регистар, у регистарски

уложак бр. **1-413**, података садржаних у прилозима уз пријаву бр. **1,2,3,4,7**
nov br. 5-20

који су саставни део овог решења.



Судија
PRICA BORIVOJ

Поука о правном леку: Против овог решења може се изјавити жалба, преко овог суда, **VIŠEM PRIVREDNOM**
суду у **BEOGRADU**, у року од 8 дана од дана достављања преписа решења.

			Прилог уз решење број	3
Број регистарског уписа регистарског суда и његово седиште		1-413 Нови Сад нов бр.5-2а		
Датум уписа	Ознака и број решења	Број уписа	Назив суда	
18.11.1998	F1.3873/98	1	PRIVREDNI SUD NOVI SAD	
1. Делатности, односно послови и послови спољнотрговинског промета субјекта уписа				
ДЕЛАТНОСТ ФАКУЛТЕТА ЈЕ: 80521 Природно-математички факултет, основне, специјалистичке, магистарске и докторске студије и стално стручно оспособљавање и усавршавање из области биологије, физике, географије и турисмолошке струке, хемије, математике, информатике и заштите животне средине 73101 Истраживање и експериментални развој у природно-математичким наукама 73103 Истраживање и експериментални развој у биотехничким наукама 73104 Истраживање и експериментални развој у медицинским наукама 73105 Истраживање и експериментални развој у multidisciplinarnim наукама 73109 Истраживање и експериментални развој у непomenutim природним наукама 74150 Истраживање тржишта и испитивање јавног мишљења 74140 Консалтинг и management послови 74200 Инженјеринг 74204 Остале архитектонске и инђенјерске активности и технички савети 74300 Техничке испитивање и анализе 01121 Гајење поврћа, цвећа и украсног биља 01230 Угој осталих животиња 01412 Уређивање и одржавање паркова, зелених и рекреационих површина 01420 Услуге у угоју животиња, осим ветеринарских услуга 01500 Лов, треперство, одржавање и угој дивљаки укључујући и одговарајуће услуге 02010 Угој и искоришћавање шума 05011 Улов рибе на мору 22110 Издавање књига, брошуре, уметничких књига и других публикација 22130 Издавање часописа и сличних периодичних издања 22150 Остала издавашка делатност 24110 Производња индустријских гасова 24120 Производња боја и пигмената 24130 Производња осталих основних неорганичких хемикалија 24140 Производња осталих основних органских хемикалија 24150 Производња вештачких ђубрива и азотних јединjenja 24160 Производња пластичних маса, у различитим облицима				
Судија, 				
Следи наставак број: 1.			4. Прилог уз препис решења	

Овлашћено лице потписује само прилог уз пријаву, а судија – прилог уз изворник решења и регистарски лист.
 ОБРАЗАЦ: Прилог уз решење број 3

Република Србија
МИНИСТАРСТВО ПОЉОПРИВРЕДЕ,
ШУМАРСТВА И ВОДОПРИВРЕДЕ
- Ресор водопривреде -
Број 325-01-1225/94-07
5. децембар 1994. год.
Београд

ОГ/МВ

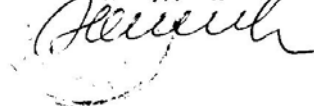
УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
— Природно-математички факултет —
(Институт за хемију)

НОВИ САД

На основу ваших захтева број 010102-283/1 и 04-01-1111/
од 18.07 и 14.11. 1994. године, заведеним у писарници овог Мини-
старства под бројевима 325-02-803/94-07 и 325-01-1225/94-07
од 21.07 и 25.11. 1994. године везаних за добијање овлашћења
за вршење физичко-хемијских, хидробиолошких и микробиолошких
испитивања квалитета површинских, подземних и отпадних вода,
обавештавамо вас о следећем:

У поступку утврђивања испуњености услова прописаних
Правилником о условима које морају да испуњавају предузећа
и друга правна лица која врше одређену врсту испитивања квали-
тета површинских и подземних вода, као и испитивање квалитета
отпадних вода ("Службени гласник Републике Србије", бр. 41/94),
комисија формирана од представника Министарства пољопривреде,
шумарства и водопривреде, Министарства здравља и Министарства
заштите животне средине, извршила је 17.11. 1994. године обила-
зак и преглед ваших лабораторија у складу са чл. 60. Закона о
водама ("Службени гласник Републике Србије", број 46/91). Запи-
сником који је том приликом сачињен констатовано је да су пропи-
сани услови испуњени, због чега вам се издаје овлашћење за
вршење наведених испитивања, које ће бити објављено у "Службеном
гласнику Републике Србије".

ПОМОЋНИК МИНИСТРА
Живка Илић, дипл. инж.



Rukovodilac projekta:

profesor dr Božo Dalmacija

docent dr Jelena Tričković

Saradnici:

docent dr Srđan Rončević

asistent dr Dejan Krčmar

dr Milena Dalmacija

mr Vesna Pešić

Marijana Kragulj, dipl. biohemičar

Jelena Molnar, dipl. hem. – inženjer za kontrolu kvaliteta i menadžment životne sredine

mr Malcolm Alexander Watson

vanredni profesor dr Jasmina Agbaba

asistent dr Snežana Maletić

docent dr Milena Bečelić Tomin

dr Ljiljana Rajić

Anita Leovac, dipl. hem. – inženjer za kontrolu kvaliteta i menadžment životne sredine

Đurđa Kerkez, dipl. hem. – inženjer za kontrolu kvaliteta i menadžment životne sredine

Svetlana Ugarčina Perović, dipl. ekolog za zaštitu životne sredine

asistent dr Aleksandra Tubić

Tehnički saradnici: Marijana Rajačić, teh. saradnik

Ljubomir Murgul, viši teh. saradnik

Srđan Stanojev, teh. saradnik

SADRŽAJ

IZVOD	1
1. PROJEKTNII ZADATAK	3
2. UVOD	6
2.1. Opis problema	6
2.2. Opis ispitivanih lokaliteta	8
2.3. Opis primenjene metodologije	12
3. REZULTATI I DISKUSIJA	18
3.1. Analiza podataka o kvalitetu vode	18
3.1.1. Opšti fizičko-hemijski pokazatelji kvaliteta vode	18
3.1.2. Teški metali	27
3.1.3. Sadržaj specifičnih organskih polutanata	32
3.2. Analiza podataka o kvalitetu sedimenta	34
3.2.1. Opšte fizičko-hemijske osobine sedimenta	34
3.2.2. Pokazatelji ukupnog organskog zagađenja	34
3.2.3. Nutrijenti	37
3.2.4. Teški metali	38
3.2.5. Specifični organski polutanti	43
3.3. Rezultati hemijske analize uzoraka biote	46
3.3.1. Sadržaj teških metala u uzorcima trske	46
3.3.2. Sadržaj teških metala i specifičnih organskih polutanata u ribljem tkivu	47
4. ZAKLJUČAK	52
5. LITERATURA	56
6. PRILOG	57

IZVOD

Cilj istraživanja je bio da se izvrši hemijska procena rizika u tri akvatična ekosistema zaštićenih područja, Ludaš, Obedska bara i Carska bara, na osnovu fizičko-hemijske karakterizacije vode, sedimenta i biote (makrofita i ihtiofaune).

Svi određivani parametri ukazuju na visoko opterećenje ispitivanih zaštićenih zona organskim materijama od čega značajan deo predstavljaju biorazgradljive materije. Prema sadržaju organskih materija u vodi najugroženiji su Ludaško jezero i Obedska bara. U sedimentima je takođe akumulirana značajna količina organskih materija. U pogledu sadržaja mineralnih ulja najugroženija zaštićena zona je Carska bara čiji sediment je svrstan u klasu 3 prema holandskoj metodologiji, dok se sediment Ludaškog jezera svrstava u klasu 2 i može se smatrati bar delimično zagađenim mineralnim uljima.

Za sve ispitivane zaštićene zone je karakteristično da su opterećene nutrijentnim materijama, azotom i fosforom. Od azotnih materija najveći problem u vodi predstavljaju nitriti i amonijum jon koji vode ispitivanih zaštićenih zona svrstavaju u opsegu od III-V klase prema preporukama ICPDR-a. U većini nezagađenih sistema ukupni fosfor se kreće u granicama od 10 do 50 µg/l, dok se u vodi ispitivanih zaštićenih zona sadržaj ukupnog fosfora kreće od preko 100 µg/l do čak 300 µg/l. Jedan od mogućih izvora nutrijenata predstavljaju sedimenti u kojima je akumulirana značajna količina azota i fosfora, a koja pod određenim fizičko-hemijskim uslovima može ponovo biti oslobođena i vraćena u vodenu fazu.

Od teških metala sa liste prioritetnih supstanci u vodi su detektovani kadmijum, nikal i olovo, dok je od ostalih supstanci karakterističnih za sliv Dunava utvrđeno prisustvo bakra, cinka i hroma. Prema Pravilniku o opasnim materijama u vodama (*Sl. glasnik SRS 31/82*) voda svih ispitivanih zaštićenih zona se svrstava u I/II klasu, ali kada se izvrši poređenje sa strožijim preporukama ICPDR-a i standardima kvaliteta datim u Direktivi 2008/105/EC mogu se uočiti potencijalni problemi sa kadmijumom u vodi Ludaškog jezera i bakrom na svim ispitivanim lokalitetima. Od svih ispitivanih sedimenata najveća akumulacija teških metala je uočena u sedimentu Ludaškog jezera gde se mogu očekivati toksični efekti usled prisustva hroma i bakra, te mogući negativni efekti usled prisustva kadmijuma, cinka, nikla i žive. U površinskom sedimentu Obedske bare uočena je izvesna akumulacija Ni (klasa 3 prema holandskoj metodologiji) što zahteva dalje istraživanje radi konačne procene rizika.

Određivani specifični organski polutanti, policiklični aromatični ugljovodonici, organohlorni pesticidi i polihlorovani bifenili, generalno nisu problem. Međutim, potrebno je naglasiti da grupa određivanih organskih polutanata predstavlja samo mali deo šire grupe jedinjenja, tzv. "specifičnih sintetskih i nesintetskih polutanata" koja u okviru svakog plana upravljanja rečnim slivom mora biti identifikovana i uključena u monitoring.

U uzorcima trske (*P. australis*) sa odabranih lokaliteta ispitivan je sadržaj teških metala u nadzemnom tkivu biljke, stabljici i listu. Od svih ispitivanih teških metala jedino je bakar akumuliran u koncentracijama koje su 2 puta više od prosečnih koncentracija u trsci. Od ostalih metala uočena je blaga akumulacija kadmijuma na svim lokalitetima, te hroma u trsci iz Ludaškog jezera i žive u trsci iz Carske bare.

Od teških metala u mišićnom tkivu ribe su detektovani živa (15,2-282 µg/kg), hrom (130-170 µg/kg), cink (20-40 mg/kg) i bakar (do 3,5 mg/kg), dok su olovo i nikal detektovani u tragovima. Sadržaj žive prekoračuje standard kvaliteta prema Direktivi 2008/105/EC u 7 od 9 pojedinačnih uzoraka mišićnog tkiva ribe. Najugroženiji lokalitet je Obedska bara gde je standard kvaliteta za živu prekoračen oko 13 puta, dok je u uzorcima ribe iz Carske bare ova vrednost prekoračena 2 puta, ukazujući na značajnu akumulaciju žive i moguće toksične efekte koje je neophodno dalje istražiti. Policiklični aromatični ugljovodonici su detektovani u svim analiziranim uzorcima. Od PAH-ova su detektovana jedinjenja nižih molekulskih masa (sa dva do četiri prstena), pri čemu koncentracija uglavnom nije prelazila 10 µg/kg. Od organohlorornih pesticida, sa najvećom učestalošću su detektovani 4,4'-DDT i njegovi metaboliti, 4,4'-DDE i 4,4'-DDD, kao i izomeri heksahlorocikloheksana (BHC) od kojih su najčešće detektovani α - i γ - izomer (lindan). Sadržaj pojedinačnih organohlorornih pesticida uglavnom nije prelazio 1 µg/kg. Polihlorovani bifenili nisu detektovani.

Rezultati ispitivanja sistema voda-sediment-biota su pokazali da se ispitivane zaštićene zone, a naročito Ludaško jezero i Carska bara, nalaze pod izvesnim antropogenim uticajima koji su rezultovali akumulacijom organskih materija, nutrijenata i metala prvenstveno u sedimentima kao glavnim rezervoarima koji imaju ulogu sekundarnih izvora zagađivanja u dužem vremenskom periodu. Efekti ovih negativnih uticaja mogu se uočiti i na bioti jer je detektovana bioakumulacija pojedinih teških metala u nadzemnim delovima trske, kao i teških metala i organskih mikropolutanata u ribljem tkivu.

1. PROJEKTNII ZADATAK

Dosadašnja ispitivanja hemijskog kvaliteta zaštićenih područja pokazala su da postoje lokaliteti koji su značajno zagađeni hazardnim supstancama. Kako ovi lokaliteti služe kao mesta gnežđenja i boravka mnogih retkih ptica i kao orintološke stanice većeg broja migratornih vrsta, postoji opasnost ulaska ovih hazardnih supstanci u lanac ishrane. Stoga je bilo potrebno izvršiti karakterizaciju sistema voda-sediment-biota, kako je to definisano prema Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EC), Direktivi o zagađenju prouzrokovanom određenim opasnim supstancama ispuštenim u akvatičnu sredinu (2006/11/EC) i Direktivi o standardima kvaliteta životne sredine (2008/105/EC), sa ciljem da se izvrši hemijska procena rizika tri akvatična ekosistema zaštićenih područja: Ludaš, Obedska bara i Carska bara na osnovu fizičko-hemijske karakterizacije vode, sedimenta, makrofita i ihtiofaune.

Budući da naše nacionalno zakonodavstvo ne pokriva u potpunosti ovu oblast, ispitivanje kvaliteta akvatičnog ekosistema i procena rizika su urađeni koristeći preporuke kanadskog zakonodavstva, preporuke ICPDR-a, kao i holandsku metodologiju.

Istraživanje je obuhvatilo one profile u zaštićenim područjima Carske bare, Obedske bare i Ludaškog jezera na kojima je u ranijim istraživanjima detektovan degradiran hemijski status usled prisustva hazardnih supstanci i uočen potencijalni rizik od ispoljavanja negativnih toksičnih efekata na akvatične organizme.

Procena kvaliteta vodenih ekosistema i uticaja zagađenja na zdravlje akvatičnog sistema izvršena je osnovu fizičko-hemijske karakterizacije vode, sedimenta i biote (makrofite i ihtiofauna) na sledećim profilima:

- Obedska bara,
- Ludaško jezero i
- Carska bara.

Na ispitivanim lokalitetima je analiziran prostorni srednji uzorak na mestima sa do sada najvećim zagađenjem.

Budući da sediment predstavlja dinamičku komponentu sistema sediment-voda i rezervoar je neorganskih i organskih zagađujućih materija, neophodno je imati uvid u njegov kvalitet. Visok potencijal sedimenta kao potencijalnog sekundarnog izvora zagađenja, zbog oslobađanja vezanih polutanata i mogućnosti njihovog daljeg transporta, predstavlja opasnost za kvalitet površinske vode, a time utiče i na biotu na datom lokalitetu. Prema Direktivi 2008/105/EC o standardima kvaliteta životne sredine (na polju politike voda "ćerka Direktiva" Okvirne Direktive o vodama) potrebno je da se vrši monitoring sedimenta i biote, po potrebi, sa odgovarajućom učestalošću kako bi se obezbedilo dovoljno podataka za pouzdanu dugoročnu analizu trendova onih prioriternih supstanci koje su podložne akumulaciji u sedimentu i/ili bioti. Rezultati monitoringa, uključujući monitoring sedimenta i biote, treba da pomognu da se ustanovi spisak prioriternih

supstanci na polju politike voda, koji je neophodan za formiranje buduće strategije monitoringa.

Dokazano je da makrofite, time što značajno doprinose aktivnom i pasivnom kruženju hemijskih elemenata, imaju veoma važnu ulogu u biogeochemiji močvarnih područja. Značaj vodenih makrofita je i u tome što, kao strukturni činilac akvatičnih ekosistema, obezbeđuju stanište, utočište i hranu za širok spektar organizama. Upravo zbog ovih osobina tesno umreženih u ekosistem, vodene biljke mogu poslužiti kao indikatori stanja vodenih ekosistema, odnosno, zagađenje akvatičnih ekosistema može biti procenjeno na osnovu stope akumulacije, odnosno, biokoncentracije nutrijenata i teških metala u biljkama. Promene u sastavu akvatične vegetacije smatraju se pouzdanim biološkim indikatorom kvaliteta voda.

Ribe zbog svoje pokretljivosti i bioakumulacije toksičnih supstanci mogu da posluže kao indikator prosečne zagađenosti u akvatičnom ekosistemu. Odabirom određenih vrsta i uzrasta riba, kao i karakterizacijom pojedinih organa riba, može se proceniti da li postoji rizik usled lošeg hemijskog statusa pojedinih delova zaštićenih područja.

Grupe parametara koje će biti obuhvaćene analizom vode su u skladu sa preporukama o monitoringu i proceni stanja (*UN/ECE Convention on Protection and Use of Transboundary Water courses and International Lakes Task Force on Monitoring and Assessment*, February 2000).

Analiza vode je obuhvatila:

- Opšte fizičko-hemijske pokazatelje kvaliteta vode: HPK, BPK₅, pH, rastvoreni kiseonik, suvi i žareni ostatak, suspendovane materije, elektroprovodljivost;
- Pokazatelje ukupnog organskog zagađenja;
- Nutrijentne elemente: azotne i fosforne materije;
- Specifične neorganske polutante: bakar (Cu), kadmijum (Cd), hrom (Cr), živa (Hg), olovo (Pb), cink (Zn) i nikal (Ni);
- Specifične organske polutante: policiklične aromatične ugljovodonike, pesticidi, polihlorovani bifenili, isparljivi organski polutanti (organohlorne komponente, benzen, toluen, etilbenzen i ksileni).

U svim uzorcima sedimenta određeni su:

- Opšti fizičko-hemijski parametri: pH, redoks potencijal, sadržaj organske materije, sadržaj gline;
- Pokazatelji ukupnog organskog zagađenja: HPK, BPK₅, ukupni ugljovodonici, mineralna ulja;
- Nutrijentni elementi: azotne materije, fosforne materije;
- Specifični neorganski parametri: bakar (Cu), kadmijum (Cd), hrom (Cr), živa (Hg), olovo (Pb), cink (Zn) i nikal (Ni);

- Specifični organski parametri: policiklični aromatični ugljovodonici, polihlorovani bifenili i pesticidi.

Analiza makrofita je obuhvatila:

- Specifične neorganske parametre: bakar (Cu), kadmijum (Cd), hrom (Cr), živa (Hg), olovo (Pb), cink (Zn) i nikal (Ni)

Analiza ihthiofaune je obuhvatila:

- Specifične neorganske parametre: bakar (Cu), kadmijum (Cd), hrom (Cr), živa (Hg), olovo (Pb), cink (Zn) i nikal (Ni)
- Specifični organski parametri: policiklični aromatični ugljovodonici, polihlorovani bifenili i pesticidi.

Na osnovu rezultata analiza izvršeno je tumačenje rezultata i procena rizika po životnu sredinu.

2. UVOD

2.1. Opis problema

Sediment je esencijalna, dinamička komponenta svih vodenih sistema koja zbog snažno izražene tendencije vezivanja predstavlja rezervoar toksičnih i perzistentnih jedinjenja antropogenog porekla (*USEPA, 2004*). Akumulacija toksičnih supstanci u sedimentu može imati mnogo štetnih efekata na ekosistem, kako jasno vidljivih tako i onih diskretnih i nevidljivih. U mnogim slučajevima jasni dokazi o štetnom dejstvu na rezidencijalnu biotu su podudarni sa koncentracijama polutanata u sedimentu. Češći su, međutim, manje vidljivi efekti na biološke koje je teže identifikovati. Hemija unutrašnjosti sedimenta nije uvek indikacija nivoa toksičnog dejstva. Slične koncentracije zagađujućih materija u različitim sedimentima mogu prouzrokovati različite biološke uticaje. Do ovoga dolazi zbog toga što je toksičnost uslovljena stepenom kojim konstituenti sedimenta (npr. organska materija, glina, sulfidi) vezuju polutante. S obzirom da kapacitet vezivanja sedimenta varira u zavisnosti od njegovih fizičko-hemijskih osobina i stepen biodostupnosti polutanata će se menjati, a time i potencijal za ispoljavanje toksičnih efekata.

Hemijske i strukturne karakteristike sedimenta utiču na njegovu aktivnost prema različitim polutantima koji se mogu naći u životnoj sredini. Kompleksi mineralnih i huminskih prevlaka sedimenta interaguju sa specifičnim neorganskim (teški metali) i organskim polutantima koji se nalaze u vodi i time utiču na njihovu pokretljivost i biološku aktivnost izazivajući pozitivan ili negativan uticaj na biodostupnost. U zavisnosti od fizičko-hemijske stabilnosti polutanata koji učestvuju u nizu fizičko hemijskih procesa u sistemu sediment-voda (hidroliza, fotoreakcije, rastvaranje, biorazgradnja, adsorpcija, desorpcija, kompleksiranje) oni se u različitoj meri i različitim oblicima inkorporiraju u sediment (nepromenjeni ili kao metaboliti ili proizvodi hemijske razgradnje). U zavisnosti od fizičko-hemijskih karakteristika sedimenta (pH, redoks-potencijala, sadržaja sulfida, organske materije, gline i drugih značajnih konstituenata) moguće je ponovo rastvaranje ovih toksičnih komponenti i njihovih metabolita u vodi. Pri resuspenziji ti procesi se intenziviraju, a za posledicu imaju bioakumulaciju i biomagnifikaciju u živim organizmima. Lancem ishrane toksični polutanti mogu dospeti i u organizam čoveka.

Procena rizika u velikoj meri zavisi od procene biodostupnosti. U najopštijem smislu, biodostupnost predstavlja onu frakciju neke supstance koja je dostupna organizmu za apsorpciju. *Alexander i Alexander (2000)* su definisali biodostupnost, bliže principima zaštite životne sredine, kao potencijal čvrsto vezanih hemijskih komponenti ka asimilaciji i mogućoj toksičnosti. Toksične supstance se u vodi mogu pojaviti u nekoliko osnovnih formi koje utiču na njihovu biodostupnost: vodorastvorni metali i metali koji se mogu lako izmeniti sa drugim katjonima predstavljaju najdostupnije metale, metali koji precipitiraju kao neorganska jedinjenja, metali kompleksirani sa huminskim kiselinama velike molekulske težine i metali adsorbovani na hidratizanim oksidima su potencijalno dostupni,

dok metali precipitirani kao nerastvorni sulfidi i metali vezani u kristalnim rešetkama minerala su uglavnom nedostupni (*Weis i Weis, 2004*). Hidrofobne toksične supstance mogu biti veliki suspendovani organski koloidi ili druge čestice, sorbovane na sedimentu, ireverzibilno vezane za njega i nedostupne. Ipak, neke od vezanih toksičnih supstanci mogu biti dostupne organizmima bentosa putem ingestije ili direktno preko porne vode. Takođe, hidrofobne toksične supstance mogu biti akumulirane u organizam, metabolisane i eksretovane iz njega sa ili bez negativnih posledica po jedinku.

U biomonitoringu se biološki odgovor koristi radi procene promena u okolini, što uključuje i promene izazvane zagađenjem antropogenog porekla. Biomonitoring se može izvesti na različitim nivoima: populacije, vrste, ili se suborganski odgovori mogu iskoristiti kao indikatori ekspozicije polutantima (*Hock i Seifert, 2003*). Značaj biološkog monitoringa je u tome što se njime mogu obuhvatiti ukupna izloženost hemijskim supstancama iz svih potencijalnih izvora (npr. vazduh, zemljište, voda ili hrana) i svi tipovi ekspozicije, a to predstavlja jedan od naboljih pristupa za procenu unosa hemijskih jedinjenja u organizam (*Yantasee i sar., 2007*).

Prilikom planiranja biomonitoringa i određivanja njegovog cilja, neophodno je odrediti koji će se organizam koristiti za kvalitativnu i kvantitativnu procenu stanja životne sredine, tj. treba odabrati bioindikator ili biomonitor u svrhu kvalifikacije i/ili kvantifikacije zagađenja. Indikatori/monitori akumulacije su organizmi koji akumuliraju jedan ili više elemenata i/ili jedinjenja iz životne sredine (*Markert, 2007*). U zavisnosti od toga o kom se organizmu radi, postoje mnogi načini bioakumulacije supstanci u njihova tkiva, što je uslovljeno fiziologijom samog organizma i osobinama određene supstance u momentu usvajanja iz okoline. Bioakumulacija, dakle, zavisi kako od sposobnosti samog organizma da usvoji supstancu, tako i od biotičkih i abiotičkih faktora koji vladaju u životnoj sredini. Biomagnifikacija predstavlja akumulaciju supstanci kroz lanac ishrane, idući od nižih ka višim karikama lanca. Organizmi koji se nalaze na kraju lanca ishrane u sebi sadrže veću koncentraciju pojedinih supstanci nego organizmi kojima se hrane. Zbog toga, zagađenje akvatičnih ekosistema može biti procenjeno na osnovu stope bioakumulacije, odnosno, biokoncentracije polutanata u akvatičnim organizmima. Ribe zbog svoje pokretljivosti i bioakumulacije toksičnih supstanci mogu da posluže kao indikator zagađenosti akvatičnog ekosistema. Odabirom određenih vrsta i uzrasta riba, kao i karakterizacijom pojedinih organa riba, može se proceniti da li postoji rizik usled lošeg hemijskog statusa pojedinih delova zaštićenih područja.

Dokazano je da makrofite, time što značajno doprinose aktivnom i pasivnom kruženju hemijskih elemenata, imaju veoma važnu ulogu i biogeochemiji močvarnih područja (*Weis i Weis, 2004*). Značaj vodenih makrofita je i u tome što, kao strukturni činilac akvatičnih ekosistema, obezbeđuju stanište, utočište i hranu za širok spektar organizama. Upravo zbog ovih osobina tesno umreženih u ekosistem, vodene biljke mogu poslužiti kao indikatori stanja vodenih ekosistema. Promene u sastavu akvatične vegetacije smatraju se pouzdanim biološkim indikatorom kvaliteta akvatičnog sistema (*Schneider i Melzer, 2003*). Akvatične makrofite reaguju na stimuluse iz spoljašnje sredine, kao što su svetlost,

nutrijenti, salinitet, toksični kontaminanti, teški metali, herbicidi, pritisak, promena nivoa vode i dr. Spadaju među najznačajnije biomonitore teških metala u akvatičnom ekosistemu (Balanson i Mal, 2005). Pri normalnim uslovima biljke pasivnim i aktivnim načinom usvajaju nutrijente u onoj meri koja je potrebna za uspostavljanje i održanje homeostaze u organizmu. Pošto metali imaju nutritivan značaj za biljke, to su one razvile mehanizme kojima usvajaju i translociraju metale do tkiva kojima su neophodni. Međutim, kadmijum, hrom i olovo nisu nutrijenti, ali i oni, kao metali, zbog svojih elektrohemijskih osobina bivaju usvojeni od strane biljaka. Posebna vrednost kao monitora u rečnim sistemima, ogleda se u tome što se uvek nalaze na jednom mestu i obično su abundantne, njihovo uzorkovanje je jednostavno, a taksomska pripadnost se veoma lako određuje (Olivares-Rieumont i sar., 2007). Takođe, imaju funkciju u biofiltraciji voda koje nastanjuju, potpomažući održanje njihovog kvaliteta, a utiču i na poboljšanje biodiverziteta (Bobbink i sar., 2006). Windham i sar. (2003) su došli do zaključka da trska pripada grupi biljaka koje maksimalno teže da isključe koncentrisanje metala u nadzemnim tkivima, tj. da što duže sprečavaju kretanje metala u nadzemna tkiva koncentrišući ih u korenu.

2.2. Opis ispitivanih lokaliteta

Ludaško jezero

Sediment i makrofite su uzimane kao kompozit sa tri lokacije (vidi sliku 2.1). Voda je uzorkovana na lokacije I. Dubina uzorkovanog sedimenta iznosi 0-50 cm.

GPS podaci za tri lokacije:

Lokacija I: N 46° 06' 387 E 019° 48' 753

Lokacija II: N 46° 06' 829 E 019° 49' 023

Lokacija III: N 46° 05' 448 E 019° 49' 721

Carska bara

Sediment i makrofite uzimane kao kompozit sa tri lokacije (vidi sliku 2.2). Voda je uzorkovana sa lokacije Carska bara. Dubina uzorkovanog sedimenta 0-40 cm.

GPS podaci za tri lokacije:

Vidikovac: N 45° 15' 650 E 020° 24' 148

Ulaz u baru: N 45° 15' 410 E 020° 23' 688

Carska bara: N 45° 15' 450 E 020° 23' 621



Slika 2.1. Lokaliteti na Ludaškom jezeru na kojima je izvršeno uzorkovanje



Slika 2.2. Lokaliteti na Carskoj bari na kojima je izvršeno uzorkovanje

Obedska bara

Sediment i makrofite uzimane kao kompozit sa tri lokacije (vidi sliku 2.3). Voda je uzeta sa lokacije Krstonošića okno. Dubina uzorkovanog sedimenta iznosi 0-60 cm.

GPS podaci za tri lokacije:

Vok:	N 44° 41' 831 E 020° 02' 238
Kanal Ravenica:	N 44° 43' 582 E 019° 58' 968
Krstonošića okno:	N 44° 44' 090 E 019° 59' 452



Slika 2.3. Lokaliteti na Obedskoj bari na kojima je izvršeno uzorkovanje

2.3. Opis primenjene metodologije

U tabelama 2.1-2.5 dati su podaci o metodama uzorkovanja i analize određivanih parametara.

Tabela 2.1. Metode uzorkovanja

Opis aktivnosti	Metod
Uzimanje uzoraka sedimenta	Uzorci sedimenta za hemijske i fizičke analize uzeti Eijkelkamp korer-om – omogućava stratifikaciju uzoraka na površinski i dubinski sediment (ISO 5667-12:1995)
Uzimanje uzoraka vode	Jednokratni uzorci za fizičke i hemijske analize (ISO 5667-6:2005)

Tabela 2.2. Metode analize opštih fizičko-hemijskih parametara

Parametar	Jedinice mere Voda (Sediment)	Metoda
HPK	mg O ₂ /l (mg O ₂ /kg)	SRPS ISO 6060:1994
BPK ₅	mg O ₂ /l (mg O ₂ /kg)	H1.002
Suspendovane materije	mg/l	APHA 2540D
Suvi ostatak filtriranog uzorka	mg/l	APHA 2540C
Žareni ostatak	mg/l	APHA 2540E
Gubitak žarenja	mg/l	računski
Ukupan azot	mg N/l (mg N/kg)	računski
Organski azot	mg N/l (mg N/kg)	EPA 351.3
Amonijum jon	mg N/l (mg N/kg)	SRPS ISO H.Z1.184:1974
Nitrati	mg N/l (mg N/kg)	SRPS ISO 7890-3:1994
Nitriti	mg N/l (mg N/kg)	SRPS ISO 6777:1997
Ortofosfati	mg P/l (mg P/kg)	EPA 365.3
Ukupan fosfor	mg P/l (mg P/kg)	EPA 365.3

Tabela 2.3. Lista kvantitativno određivanih parametara u vodi, korišćene metode i njihove karakteristike (MDL- detekcioni limit metode, PQL – praktična granica kvantitacije)

Analit	Tehnika	Metod	Jedinice	PQL	MDL
Kadmijum*	GFA	EPA7010	µg/l	0,30	0,15
Olovo*				4,0	2,0
Nikal*				2,0	1,0
Hrom**				0,90	0,44
Cink**	FAAS	EPA7000b	mg/l	0,023	0,011
Bakar**				0,043	0,021
Živa*	HGAAS	ISO5666/ EPA3015a	µg/l	0,5	0,05
α-HCH	GC/µECD	EPA 3510C/	ng/l	5	2

Analit	Tehnika	Metod	Jedinice	PQL	MDL
β-HCH		EPA 8081A			
γ-HCH (lindan)*					
δ-HCH					
Heptahlor					
Heptahlorepoksid					
Aldrin					
Dieldrin					
Endrin					
Endrinaldehid					
Endosulfansulfat					
p,p' - DDT					
p,p' - DDD					
p,p' - DDE					
Polihlorovani bifenili	GC/μECD	EPA 3510C/ EPA 8082A	μg/l	5	2
Naftalen*	GC/MS	EPA 3535A/ EPA 8270C	ng/l	2	0,8
Acenaftilen					
Acenaften					
Fluoren					
Fenantren					
Antracen*					
Fluoranten*					
Piren					
Benzo(a)antracen					
Krizen					
Benzo(b)fluoranten*					
Benzo(k)fluoranten*					
Benzo(a)piren*					
Benzo(g,h,i)perilen*					
Dibenzo(a,h)antracen					
Indeno(1,2,3-cd)piren*					
Benzen*	Purge&Trap/ GC/MS		μg/l	0,5	0,1
Toluen				1,0	0,2
Etilbenzen				0,5	0,1
o-ksilen				1,0	0,2
m+p-ksilen				1,0	0,2
Trihlorometan*				1,0	0,2
1,2-dihloreten*				0,5	0,1
1,1,1-trihloreten				0,5	0,1
Trihloreten				0,5	0,1
Tetrahloroeten				0,5	0,1
Hlorbenzen				0,5	0,1
1,2-dihlorbenzen				1,0	0,2
1,4-dihlorbenzen				1,0	0,2
Mineralna ulja	FTIR	DIN 38409/ ASTM D 3921-85	μg/l	10	4

* - prioritetna supstanca

Tabela 2.4. Lista kvantitativno određivanih parametara u sedimentu, korišćene metode i njihove karakteristike (MDL- detekcioni limit metode, PQL – praktična granica kvantitacije)

Analit	Tehnika	Metod	Jedinice	PQL	MDL
Kadmijum*	GFA	EPA3051A/ EPA7010	µg/kg	15	7,5
Olovo*				150	30
Nikal*				110	54
Hrom**	FAAS	EPA3051A/ EPA7000b	mg/kg	2,2	1,1
Cink**				1,2	0,55
Bakar**				2,2	1,0
Živa*	HGAAS	EPA3051A/ ISO5666/ EPA3015a	µg/kg	15	2,5
α-HCH	GC/µECD	EPA 3546/ EPA 3620B/ EPA 8081A	µg/kg	0,5	0,2
β-HCH					
γ-HCH (lindan)*					
δ-HCH					
Heptahlor					
Heptahlorepoksid					
Aldrin					
Dieldrin					
Endrin					
Endrinaldehid					
Endosulfansulfat					
p,p'- DDT					
p,p'- DDD					
p,p'- DDE					
Polihlorovani bifenili	GC/µECD	EPA 3546/ EPA 3620B/ EPA 8082A	µg/kg	10	4
Naftalen*	GC/MS	EPA3546/ EPA 3630C/ EPA 8270C	µg/kg	1	0,4
Acenaftilen					
Acenaften					
Fluoren					
Fenantren					
Antracen*					
Fluoranten*					
Piren					
Benzo(a)antracen					
Krizen					
Benzo(b)fluoranten*					
Benzo(k)fluoranten*					
Benzo(a)piren*					
Benzo(g,h,i)perilen*					
Dibenzo(a,h)antracen					
Indeno(1,2,3-cd)piren*					
Mineralna ulja	FTIR	EPA 3546/ DIN 38409/ ASTM D 3921-85	mg/kg	50	20

* - prioritetna supstanca

Tabela 2.5. Lista kvantitativno određivanih parametara u trsci i ribljem tkivu, korišćene metode i njihove karakteristike (MDL- detekcioni limit metode, PQL – praktična granica kvantitacije)

Analit	Tehnika	Metod	Jedinice	PQL	MDL
Kadmijum*	GFA	EPA3051A/ EPA7010	µg/kg	15	7,5
Olovo*				150	30
Nikal*				110	54
Hrom**				45	22
Bakar**				45	22
Cink**	FAAS	EPA3051A/ EPA7000b	mg/kg	1,2	0,55
Živa*	HGAAS	EPA3051A/ ISO5666/ EPA3015a	µg/kg	15	2,5
α-HCH ¹	GC/µECD	EPA 3546/ EPA 3620B/ EPA 8081A	µg/kg	0,05	0,02
β-HCH					
γ-HCH (lindan)*					
δ-HCH					
Heptahlor					
Heptahlorepoksid					
Aldrin					
Dieldrin					
Endrin					
Endrinaldehid					
Endosulfansulfat					
p,p'- DDT					
p,p'- DDD					
p,p'- DDE					
Polihlorovani bifenili ¹	GC/µECD	EPA 3546/ EPA 3620B/ EPA 8082A	µg/kg	4	1
Naftalen ^{*,1}	GC/MS	EPA3546/ EPA 3630C/ EPA 8270C	µg/kg	0,2	0,08
Acenaftilen					
Acenaften					
Fluoren					
Fenantren					
Antracen*					
Fluoranten*					
Piren					
Benzo(a)antracen					
Krizen					
Benzo(b)fluoranten*					
Benzo(k)fluoranten*					
Benzo(a)piren*					
Benzo(g,h,i)perilen*					
Dibenzo(a,h)antracen					
Indeno(1,2,3-cd)piren*					

* - prioritetna supstanca, ¹ – organohlorni pesticidi, PCB i PAH-ovi su određivani samo u ribi

Za procenu kvaliteta vode pored dokumenata nacionalnog zakonodavstva (Pravilnik o opasnim materijama u vodama (*Sl. Glasnik SRS 31, 1982*) i Uredba o klasifikaciji (*Sl. Glasnik SRS 5/68*)), korišćena je i EU Direktiva 2008/105/EC koja postavlja standarde kvaliteta za 33 prioritetne supstance i 8 drugih supstanci (u daljem tekstu *Direktiva*), kao i preporuke ICPDR-a (*Document IC/084*) i kanadske preporuke (<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/>).

Prilikom analize i diskusije rezultata mora se imati u vidu da su standardi kvaliteta životne sredine prema Direktivi za određene parametre definisani kao srednja vrednost 12 merenja tokom jedne godine, pa stoga pojedinačne analize koje su u ovoj studiji urađene nisu reprezentativne za celogodišnji period i ne daju pravu sliku stanja, već samo indicaciju hemijskog statusa pojedinih lokaliteta. Ovo je u diskusiji rezultata naglašeno u svakom pojedinačnom slučaju.

Kako naša zemlja nema odgovarajuće propise za procenu kvaliteta sedimenta za interpretaciju rezultata korišćene su kanadske preporuke, preporuke ICPDR-a, a pojedini parametri su procenjeni korišćenjem holandske metodologije (tabela 2.6).

Prema kanadskom zakonodavstvu definisane su dve vrednosti: niža vrednost ISQGs (Interim Sediment Quality Guideline) predstavlja privremene preporuke koje su dobijene teorijskim putem i iznad kojih je moguć uticaj na akvatične organizme, dok je druga, viša vrednost PEL (Probable Effect Level), vrednost iznad koje je uticaj na akvatične organizme verovatan.

Holandski sistem klasifikacije sedimenta (*Vierde Nota Waterhuishouding, Ministerie V&W, December 1998*) je baziran na tri nivoa rizika na osnovu podataka za toksičnost i ekotoksičnost. Prvi nivo rizika je "zanemarljiv rizik" (sa ovog nivoa su izvedene *referentne vrednosti*). Sledeći nivo rizika je "maksimalno dozvoljeni rizik" (sa ovog nivoa su izvedene *maksimalno dozvoljene koncentracije* (MPC)) koji je vezan za koncentracije pri kojima nema štetnih efekata na ekosistem i rizika za ljude (NOEC). Treći nivo rizika predstavlja "izuzetno visok rizik". Ovaj nivo rizika odgovara *interventnoj vrednosti*, čije prekoračenje u skladu sa holandskim aktom o zaštiti zemljišta zahteva remedijaciju, i iznad koje se sediment smatra izuzetno zagađenim jer je postavljena na nivo pri kojem je 50% vrsta u ekosistemu potencijalno ugroženo, a u obzir je uzet i maksimalno dozvoljeni rizik za ljude. Prekoračenje srednje vrednosti referentne i interventne vrednosti (*srednja vrednost*) za bilo koji parametar, predstavlja indicaciju ozbiljnog zagađenja sedimenta koje zahteva nastavak istraživanja.

Tabela 2.6. Standardi kvaliteta i preporuke za sediment prema holandskoj metodologiji, kanadskom zakonodavstvu i ICPDR-u

Klasa jedinjenja	Jed. mere	Holandska metodologija		Kanadske preporuke		ICPDR
		Referentna vrednost	Interventna vrednost	ISQG	PEL	Ciljne vrednosti
Metali						
Arsen (As)	mg/kg	29	55	5,9	17	20
Kadmijum (Cd)	mg/kg	0,8	12	0,6	3,5	1,2
Živa (Hg)	mg/kg	0,3	10	0,17	0,486	0,8
Olovo (Pb)	mg/kg	85	530	35	91,3	100
Mineralna ulja	mg/kg	50	5000			
PAH						
Acenafthen	mg/kg			0,00671	0,0889	
Acenaftilen	mg/kg			0,00587	0,128	
Naftalen	mg/kg	0,001		0,0346	0,391	
Antracen	mg/kg	0,001		0,0469	0,245	
Fenantren	mg/kg	0,005		0,0419	0,515	
Fluoranten	mg/kg	0,03		0,111	2,355	
Fluoren	mg/kg			0,0212	0,144	
Benzo(a)antracen	mg/kg	0,003		0,0317	0,385	
Krizen	mg/kg	0,1		0,0571	0,862	
Piren	mg/kg			0,0530	0,875	
Benzo(k)fluoranten	mg/kg	0,02				
Benzo(a)piren	mg/kg	0,003		0,0319	0,782	
Benzo(ghi)perilen	mg/kg	0,08				
Benzo(a,h)antracen	mg/kg			0,00622	0,135	
Indeno(1,2,3-cd)piren	mg/kg	0,06				
PAH (ukupni)	mg/kg	1	40			
PCB ukupni	mg/kg	0,02	1	0,0341	0,277	
Pesticidi						
DDD	µg/kg	0,02		3,54	8,51	
DDE	µg/kg	0,01		1,42	6,75	
DDT	µg/kg	0,09		1,19	4,77	
DDD/DDE/DDT	µg/kg	10	4000			
Aldrin	µg/kg	0,06				
Dieldrin	µg/kg	0,5		2,85	6,67	
Aldrin + Dieldrin	µg/kg					
Endrin	µg/kg	0,04		2,67	62,4	
Drins	µg/kg	5	4000			
Alfa - HCH	µg/kg	3				
Beta - HCH	µg/kg	9				
Gama - HCH	µg/kg	0,05		0,94	1,38	
Delta - HCH	µg/kg					
HCH total	µg/kg	10	2000			
Alfa Endolfan	µg/kg	0,01	4000			
Endolfan + sulfat	µg/kg					
Heptahlor	µg/kg	0,7	4000			
Heptahlor-epoksid	µg/kg	0,0002	4000	0,6	2,74	

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Analiza podataka o kvalitetu vode

3.1.1. Opšti fizičko-hemijski pokazatelji kvaliteta vode

Od opštih fizičko-hemijskih pokazatelja kvaliteta vode određeni su pH vrednost, rastvoreni kiseonik, sadržaj suspendovanih materija i suvi ostatak, nutrijenti, kao i pokazatelji ukupnog organskog zagađenja (HPK, BPK₅, mineralna ulja). Rezultati opštih fizičko-hemijskih pokazatelja kvaliteta vode ispitivanih zaštićenih zona dati su u tabelama 3.1-3.3, a grafički prikaz i diskusija dobijenih rezultata dati su u nastavku.

Tabela 3.1. Opšti fizičko-hemijski pokazatelji kvaliteta vode

	T_{vode}	pH	Rastvoreni kiseonik	Suvi ostatak	Suspendovane materije	Elektro- provodljivost
	°C		mg O₂/l		mg/l	µS/cm
Obedska bara	10,6	7,2	7,20	450	32	725
Ludaš	10,6	6,7	8,58	564	45	947
Carska bara	13,8	7,2	2,58	378	3,0	852

Tabela 3.2. Sadržaj organskih materija u vodi izražen preko HPK, BPK₅ i sadržaja ukupnih ugljovodonika i mineralnih ulja

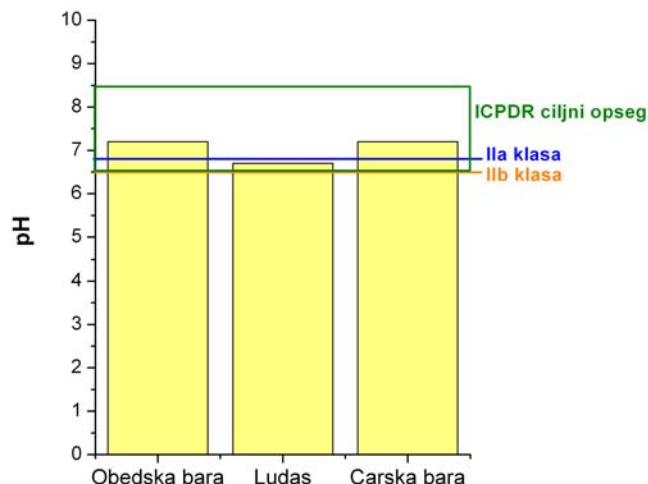
	HPK	BPK	Ukupni ugljovodonici	Mineralna ulja
	mg O₂/l		µg/l	
Obedska bara	38	14	65	28
Ludaš	58	20	120	44
Carska bara	24	6,2	52	20

Tabela 3.3. Sadržaj nutrijenata u vodi

	Amonijum jon	Nitriti	Nitrati	Organski azot	Ukupni azot	Orto- fosfat	Ukupni fosfor
			mg N/l			mg P/l	
Obedska bara	2,21	0,04	0,02	1,99	4,26	0,01	0,13
Ludaš	2,19	0,11	0,05	1,73	4,08	0,03	0,25
Carska bara	1,05	0,16	0,02	0,35	1,58	0,22	0,28

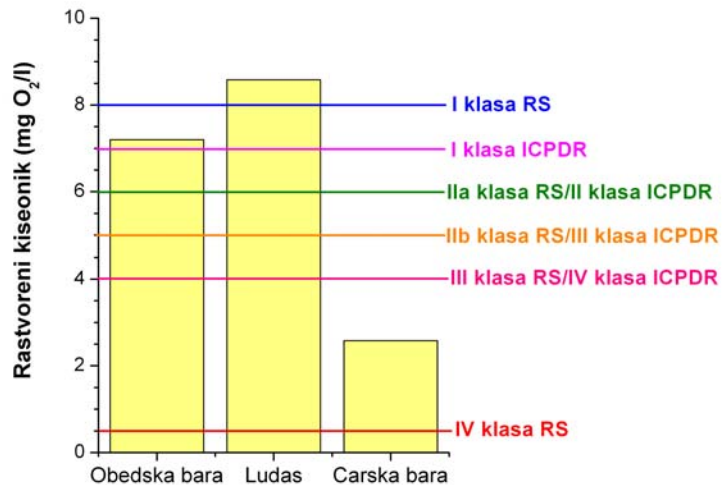
pH vrednost ispitivanih uzoraka vode (slika 3.1) kretala se u opsegu 6,7-7,2, na osnovu čega se prema Uredbi o klasifikaciji voda (*Sl. list SRS, br. 5/68*) voda svih ispitivanih

zaštićenih zona svrstava u II klasu, dok se prema preporukama ICPDR-a (Document IC/084) merene vrednosti nalaze u preporučenom opsegu.



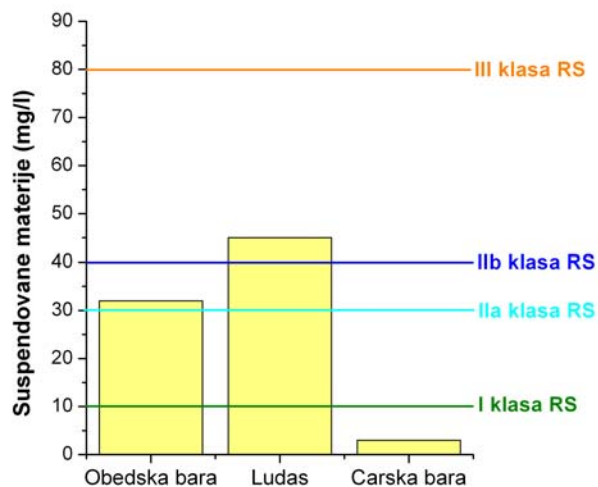
Slika 3.1. pH vrednost vode

Na slici 3.2 predstavljene su koncentracije rastvorenog kiseonika na ispitivanim lokalitetima. Sadržaj rastvorenog kiseonika se kretao od izuzetno niske vrednosti od 2,58 mg O₂/l koliko je izmereno u vodi Carske bare do preko 7 mg O₂/l na preostala dva lokaliteta. Izuzetno nizak sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi Carske bare, ali ipak nešto viši od biološkog minimuma od 2 mg O₂/l, svrstavaju je u IV klasu prema našoj Uredbi, odnosno V klasu prema preporukama ICPDR-a. Treba napomenuti da je u pitanju trenutni uzorak vode izmeren na terenu tokom uzorkovanja, i da nisu vršene naknadne analize. Vode Obedske bare i Ludaškog jezera se prema preporukama ICPDR-a svrstavaju u I klasu, dok se prema našoj Uredbi jedino voda Ludaškog jezera može klasifikovati kao I klasa.

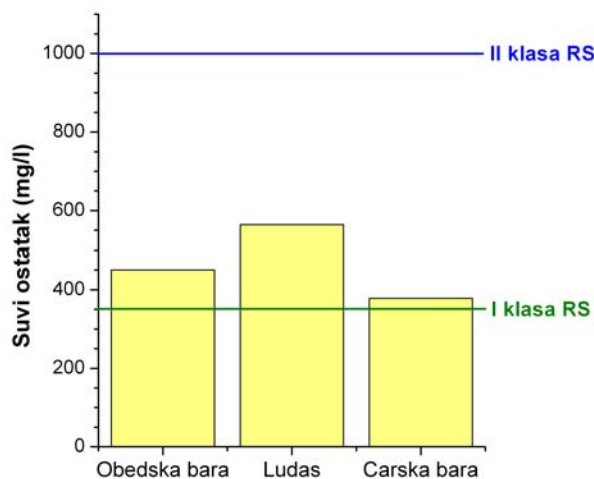


Slika 3.2. Sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi

Prema sadržaju suspendovanih materija (slika 3.3) i suvog ostatka (slika 3.4) vode Obedske i Carske bare imaju zadovoljavajući kvalitet te se mogu svrstati u I i II klasu. Prema sadržaju suvog ostatka voda Ludaškog jezera se može svrstati u II klasu, dok prema sadržaju suspendovanih materija voda pripada III klasi.

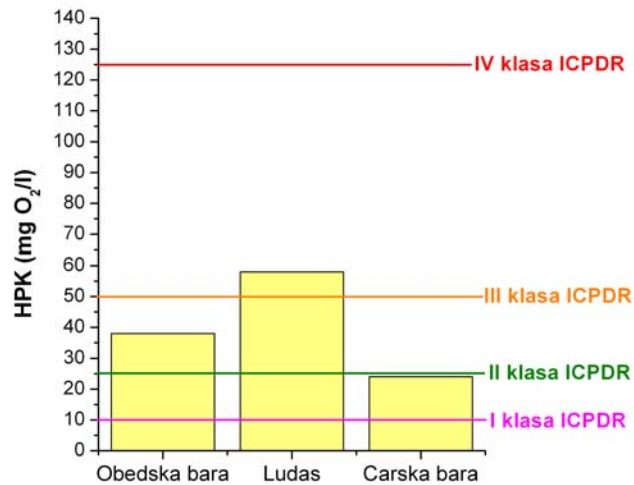


Slika 3.3. Sadržaj suspendovanih materija u vodi

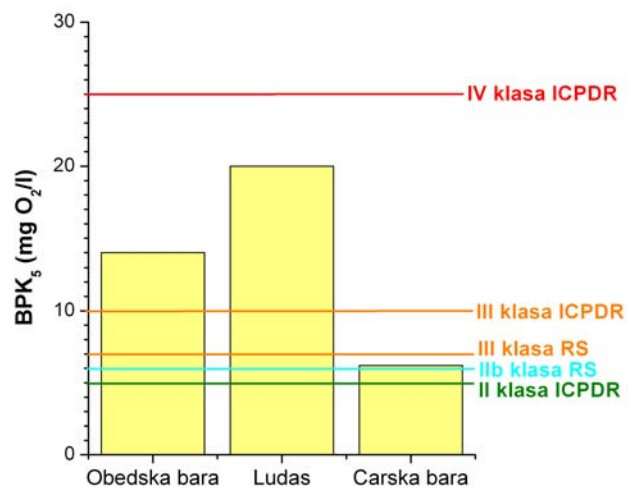


Slika 3.4. Sadržaj suvog ostatka u vodi

Sadržaj organskih materija određen je u obliku hemijske potrošnje kiseonika (HPK), biološke potrošnje kiseonika (BPK₅), ukupnih ugljovodonika i mineralnih ulja. Na osnovu rezultata za HPK (slika 3.5) može se uočiti značajno opterećenja organskim materijama vode Obedske bare i Ludaškog jezera koje se prema sadržaju organskih materija svrstavaju u III i IV klasu, redom, prema preporukama ICPDR-a. Voda Carske bare je nešto manje opterećena organskim materijama (24 mg O₂/l) što je svrstava u II klasu. Na organsko opterećenja voda Obedske i Ludaškog jezera ukazuju i dobijene vrednosti za biološku potrošnju kiseonika (slika 3.6) koje su iznosile 14 mg O₂/l i 20 mg O₂/l, što prekoračuje graničnu vrednost za III klasu i prema našoj Uredbi i prema preporukama ICPDR-a svrstavajući ih u IV klasu. Voda Carske bare je III klase prema sadržaju biorazgradljivih organskih materija.

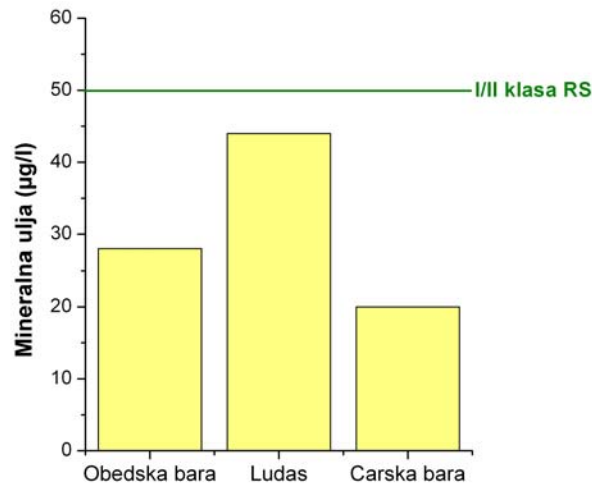


Slika 3.5. Sadržaj organskih materija u vodi izraženih kao HPK



Slika 3.6. Sadržaj organskih materija u vodi izraženih kao BPK₅

Na osnovu sadržaja mineralnih ulja (slika 3.7) voda na svim ispitivanim lokalitetima je prema opsegu definisanom Pravilnikom o opasnim materijama u vodama I/II klase.



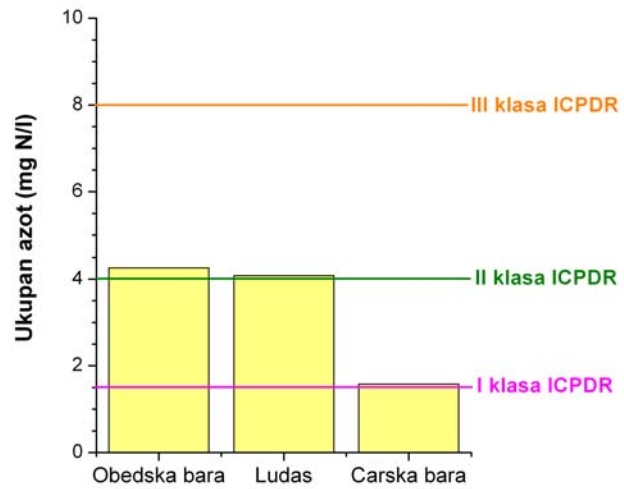
Slika 3.7. Sadržaj mineralnih ulja u vodi

Sadržaj nutrijenata (nitrata, nitrita, amonijaka i ortofosfata) u vodi zaštićenih zona predstavljen je na slikama 3.8-3.14. Azotne i fosforne materije nisu obuhvaćene Uredbom o klasifikaciji voda (*Sl. Glasnik SRS 5/68*), ali njihov sadržaj propisuje Pravilnik o opasnim materijama u vodama (*Sl. Glasnik SRS 31, 1982*), kao i preporuke ICPDR-a (*Document IC/084*). One imaju izuzetno veliki značaj za kvalitet vodnog tela i kao nutrijentne materije utiču na neželjenu pojavu eutrofizacije, odnosno hiperprodukcije biomase.

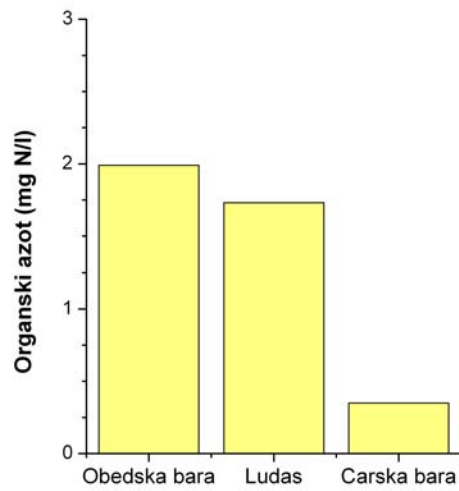
Sadržaj ukupnog azota se u vodi ispitivanih zaštićenih zona kretao u opsegu od oko 1,6 mg N/l do preko 4 mg N/l (slika 3.8) koliko je određeno u vodama Obedske bare i Ludaškog jezera svrstavajući vode ove dve zaštićene zone u klasu III prema klasifikaciji ICPDR-a. Voda Carske bare je u pogledu sadržaja ukupnih azotnih materija kvaliteta II klase. Od ukupnog azota, oko 25 do 45% je vezano u organskim jedinjenjima (slika 3.9), a ostatak je u obliku nitrata, nitrita i amonijum jona.

Sadržaj nitrata u vodi svih ispitivanih zaštićenih zona (slika 3.10) nije prelazio 0,05 mg N/l. Dobijene vrednosti za nitrata daleko su niže od maksimalno dozvoljene koncentracije definisane Pravilnikom o opasnim materijama u vodama koja za I/II klasu iznosi 10 mg N/l. Takođe, i prema strožijim preporukama ICPDR-a, voda svih ispitivanih zaštićenih zona se može svrstati u I.

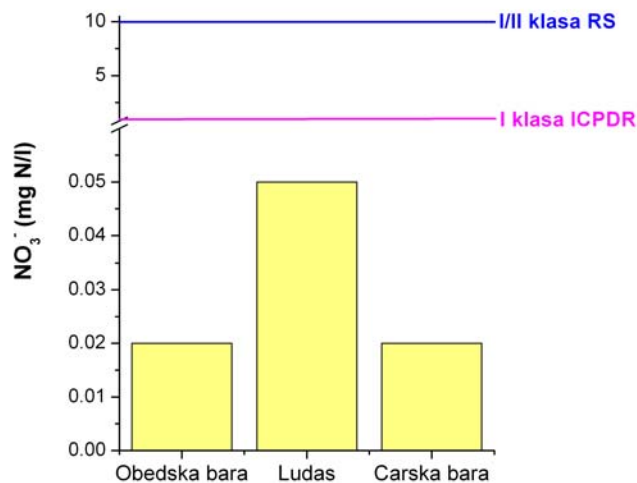
Sadržaj nitrita (slika 3.11) se kretao u uskom opsegu od 0,04 mg N/l do 0,16 mg N/l pri čemu je nešto viši sadržaj nitrita detektovan u vodama Ludaškog jezera i Carske bare svrstavajući ih u III/IV klasu prema našem Pravilniku, odnosno III i IV klasu, redom, prema klasifikaciji ICPDR-a. Prema nacionalnom zakonodavstvu voda Obedske bare se svrstava u I/II klasu, dok poređenjem sa preporukama ICPDR-a voda pripada II klasi.



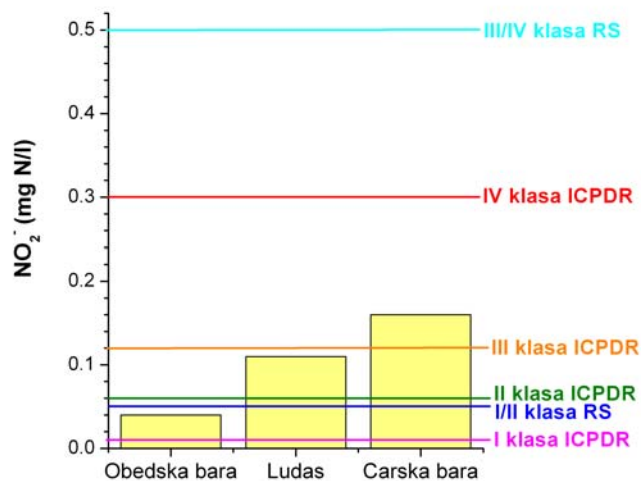
Slika 3.8. Sadržaj ukupnog azota u vodi



Slika 3.9. Sadržaj organski vezanog azota u vodi

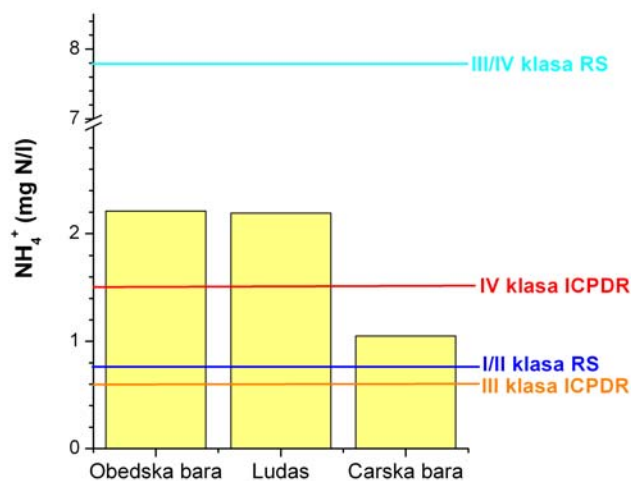


Slika 3.10. Sadržaj nitrata u vodi



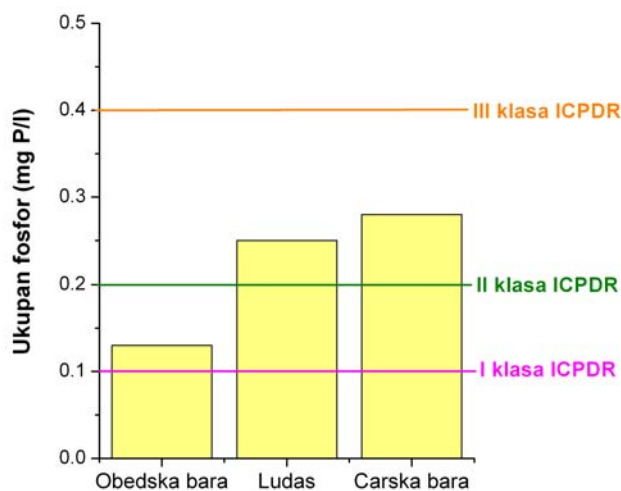
Slika 3.11. Sadržaj nitrita u vodi

Sadržaj amonijum jona se kretao od oko 1 mg N/l koliko je određeno u vodi Carske bore do oko 2 mg N/l u vodama Obedske bare i Ludaškog jezera (slika 3.12) što sve vode prema nacionalnom zakonodavstvu svrstava u III/IV klasu. Prema strožijim preporukama ICPDR-a prema sadržaju amonijum jona voda ispitivanih zaštićenih zona je lošeg kvaliteta, te se može svrstati u IV klasu (Carska bara), odnosno V klasu (Obedska bara i Ludaško jezero).



Slika 3.12. Sadržaj amonijum jona u vodi

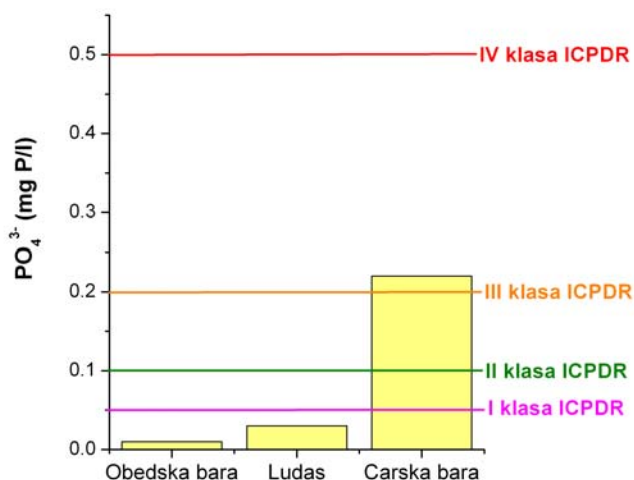
Ukupni fosfor se u vodi zaštićenih zona kretao u opsegu od oko 0,13 mg P/l do oko 0,3 mg P/l (slika 3.13). Nešto veće opterećenje fosforom detektovano je u vodi Carske bare i Ludaškog jezera koje se svrstavaju u III klasu prema preporukama ICPDR-a, dok je sadržaj ukupnog fosfora u vodi Obedske bare niži od ciljne vrednosti za II klasu svrstavajući vodu Obedske bare u II klasu.



Slika 3.13. Sadržaj ukupnog fosfora u vodi

Sadržaj ortofosfata (slika 3.14) se kretao u opsegu od oko 0,01-0,22 mg P/l koliko je određeno u vodi Carske bare svrstavajući je u čak IV klasu prema klasifikaciji ICPDR-a. Vode Obedske bare i Ludaškog jezera su prema sadržaju ortofosfata zadovoljavajućeg kvaliteta, što znači da se voda ove dve zaštićene zone može svrstati I klasu.

Međutim, neophodno je napomenuti da je u slatkovodnim sistemima fosfor ograničavajući faktor za pojavu eutrofizacije, a granična kritična vrednost za pojavu eutrofizacije od 10 µg/l je praktično prekoračena u svim ispitivanim zaštićenim zonama. Organska materija i procesi koji se odigravaju u sedimentu imaju važnu ulogu u dinamici nutrijenata vodenih ekosistema. Uz nešto veće opterećenje lako razgradivim organskim materijama koje je detektovano u svim ispitivanim zaštićenim zonama, i uz niži sadržaj rastvorenog kiseonika koji je već detektovan u vodi Carske bare, a može nastupiti u letnjim mesecima i pri višim temperaturama u ostalim zaštićenim zonama, može se zaključiti da su sve zaštićene zone pod značajnim rizikom od pojave eutrofizacije.



Slika 3.14. Sadržaj o-fosfata u vodi

3.1.2. Teški metali

Sadržaj teških metala u vodi ispitivanih zaštićenih zona dat je u tabeli 3.4, a grafički prikaz i diskusija dobijenih rezultata je data u nastavku.

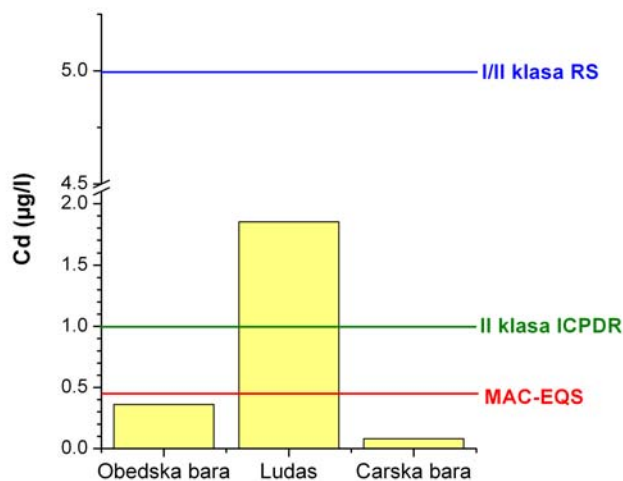
Od teških metala sa liste prioriternih supstanci detektovani su kadmijum, nikal i olovo, dok je od ostalih supstanci karakterističnih za sliv Dunava utvrđeno prisustvo bakra, cinka i hroma. Živa nije detektovana u uzorcima vode. Od identifikovanih prioriternih supstanci u grupu prioriternih hazardnih supstanci svrstava se kadmijum.

Tabela 3.4. Sadržaj teških metala u vodi zaštićenih zona

	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn	Ni	Hg
	µg/l						
Obedska bara	61	0,36	< PQL	< MDL	< PQL	1,97	< MDL
Ludaško jezero	62	1,85	3,5	4,0	48	< MDL	< MDL
Carska bara	48	< PQL	< MDL	< MDL	< MDL	< MDL	< MDL

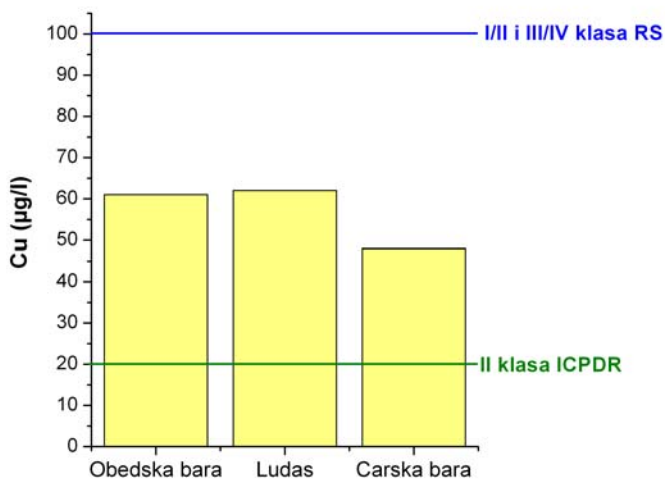
Na svim ispitivanim lokalitetima sadržaj teških metala ne prekoračuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju definisanu za I/II klasu prema Pravilniku o opasnim materijama u vodama (*Sl. glasnik SRS 31/82*). Međutim, ako se izvrši poređenje sa strožijim preporukama ICPDR-a i standardima kvaliteta datim u Direktivi 2008/105/EC mogu se uočiti potencijalni problemi sa kadmijumom i bakrom.

Kadmijum (slika 3.15) je detektovan u svim ispitivanim uzorcima vode u koncentracijama koje su se kretale od < 0,15 µg/l do 1,85 µg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija prema Direktivi 2008/105/EC za kadmijum za vode koje prema tvrdoći odgovaraju klasi 1 (< 40 mg CaCO₃/l) iznosi 0,45 µg/l, i ova vrednost je prekoračena u vodi Ludaškog jezera. Takođe, na ovoj lokaciji je prekoračena i ciljna vrednost za II klasu prema preporukama ICPDR-a. Na svim ostalim lokacijama sadržaj kadmijuma je bio niži od standarda kvaliteta postavljenog Direktivom 2008/105/EC i ciljne vrednosti prema ICPDR-u.



Slika 3.15. Sadržaj kadmijuma u vodi

Sadržaj **bakra** (slika 3.16) se u vodi Carske bare, Ludaškog jezera i Obedske bare kretao u opsegu od 48-62 $\mu\text{g/l}$. Procena hemijskog statusa moguća je poređenjem sa ciljnom vrednošću za II klasu u skladu sa preporukama ICPDR-a koja za bakar iznosi 20 $\mu\text{g/l}$. Ova vrednost je u svim ispitivanim uzorcima vode zaštićenih zona prekoračena.

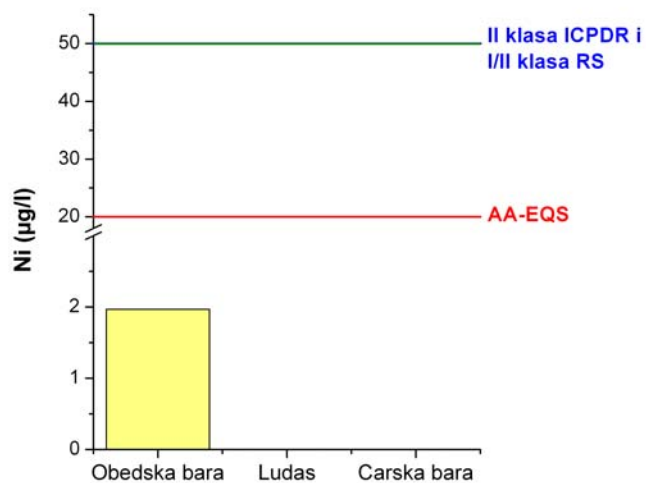


Slika 3.16. Sadržaj bakra u vodi

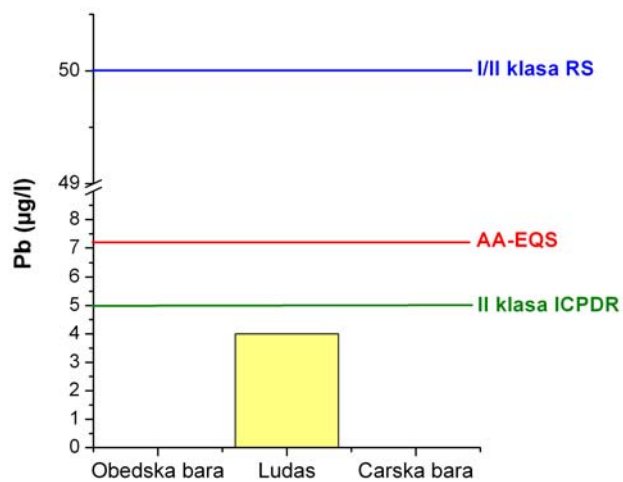
Nikal (slika 3.17) je iznad praktične granice određivanja detektovan jedino u vodi Obedske bare u koncentraciji od oko 2 $\mu\text{g/l}$ što je znatno niže od standarda kvaliteta za srednju godišnju vrednost za sadržaj nikla, kao i ciljne vrednosti prema preporukama ICPDR-a. U vodama Ludaškog jezera i Carske bare nikal nije detektovan.

Olovo (slika 3.18) je detektovano jedino u vodi Ludaškog jezera u koncentraciji od oko 4 $\mu\text{g/l}$ što je nešto niže od ciljne vrednosti prema preporukama ICPDR-a. Takođe, sadržaj olova je dvostruko niži od AA-EQS prema Direktivi 2008/105/EC. Budući da je za olovo prema Direktivi definisan jedino standard kvaliteta za prosečnu godišnju koncentraciju, ali ne i za maksimalno dozvoljenu koncentraciju, ova ocena hemijskog statusa predstavlja samo indicaciju, a za punu ocenu hemijskog statusa potrebno je prikupiti 12 pojedinačnih merenja tokom godine.

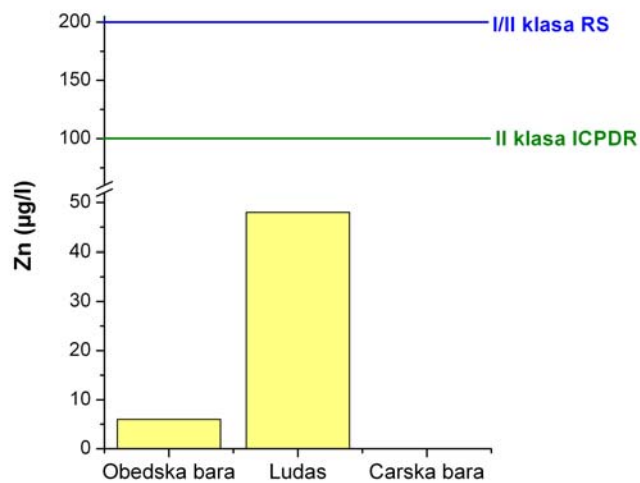
Cink (slika 3.19) je u vodi Obedske bare detektovan u tragovima ($< 11 \mu\text{g/l}$), dok je koncentracija u Ludaškom jezeru 48 $\mu\text{g/l}$ što je niže od vrednosti za II klasu prema preporukama ICPDR-a. U vodi Carske bare cink nije određen iznad detekcionog limita metode.



Slika 3.17. Sadržaj nikla u vodi

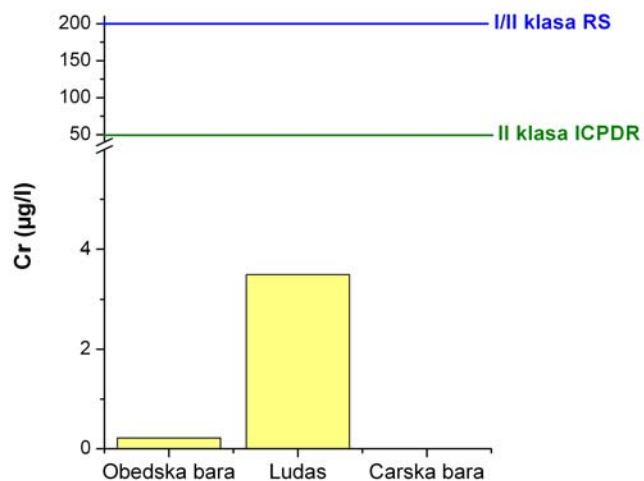


Slika 3.18. Sadržaj olova u vodi



Slika 3.19. Sadržaj cinka u vodi

Hrom (slika 3.20) je u vodi Obedske bare detektovan u tragovima ($< 0,44 \mu\text{g/l}$), dok je koncentracija u Ludaškom jezeru $3,5 \mu\text{g/l}$ što je značajno niže od vrednosti za II klasu prema preporukama ICPDR-a. U vodi Carske bare hrom nije određen iznad detekcionog limita metode.



Slika 3.20. Sadržaj hroma u vodi

3.1.3. Sadržaj specifičnih organskih polutanata

Od specifičnih organskih polutanata u vodi zaštićenih zona su određivani isparljiva organska jedinjenja (organohlorna jedinjenja i BTEX), policiklični aromatični ugljovodonici i organohlorni pesticidi. Rezultati su dati u tabelama 3.5-3.7.

Isparljiva organska jedinjenja i organohlorni pesticidi nisu detektovani u vodi zaštićenih zona iznad detekcionog limita metoda. Od policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAH) u vodi su iznad praktične granice kvantitacije detektovani naftalen, benzo(b)fluoranten i benzo(k)fluoranten, koji se nalaze na listi prioritetnih supstanci, kao i fenantren, fluoranten, piren, benzo(a)antracen i krizen. Prioritetna supstanca, antracen, detektovana je u tragovima ($< 2,0$ ng/l) u vodi Ludaškog jezera.

Najveći broj jedinjenja detektovan je u vodi Carske bare. Benzo(b)- i benzo(k)fluoranten su detektovani u Carskoj bari u koncentraciji od oko 9 ng/l što je ispod standarda kvaliteta koji iznosi 30 ng/l prema Direktivi. Koncentracije fluorantena, pirena, benzo(a)antracena i krizena su se kretale do oko 13 ng/l što je niže od kanadskih preporuka za zaštitu akvatičnog života (fluoranten 40 ng/l, piren 25 ng/l, benzo(a)antracen 18 ng/l; preporuka za krizen nije data).

Prioritetna supstanca, naftalen, detektovana je u vodi Obedske bare u koncentraciji od oko 2 ng/l što je značajno niže od standarda kvaliteta za prosečni godišnji sadržaj prema Direktivi koji iznosi 2,4 µg/l. Fenantren je detektovan na svim ispitivanim lokalitetima u koncentracijama do 14 ng/l, što je daleko niže od kanadske preporuke za zaštitu akvatičnog života (0,4 µg/l).

Sadržaj ostalih policikličnih aromatičnih ugljovodonika u vodi bio je niži od praktične granice kvantitacije (PQL, $< 2,0$ ng/l), odnosno granice detekcije metode (MDL, $< 0,8$ ng/l).

Prema sadržaju PAH-ova, a poređenjem sa nacionalnim Pravilniku o opasnim materijama u vodama, voda Tamiša se svrstava u I/II klasu.

Tabela 3.5. Sadržaj isparljivih organskih jedinjenja u vodi zaštićenih zona

	Hloroform	1,1,1-trihloreten	1,2-dihloreten	Trihloreten	Tetrahloreten	Hlorobenzen	1,2-Dihlorobenzen	1,4-Dihlorobenzen	Benzen	Toluen	Etilbenzen	Ksileni
µg/l												
Obedska bara	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Ludas	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Carska bara	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL

Tabela 3.6. Sadržaj policikličnih aromatičnih ugljovodonika u vodi zaštićenih zona

	Naftalen	Ace-naftilen	Ace-naften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Piren	Benzo(a)antracen	Krizen	Benzo(b)+benzo(k)fluoranten	Benzo(a)piren	Benzo(g,h,i)perilen	Dibenzo(a,h)antracen+indeno(1,2,3-cd)piren
ng/l														
Obedska bara	2,21	<MDL	<MDL	<MDL	4,85	<MDL	<PQL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Ludas	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	12,2	<PQL	<PQL	<PQL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Carska bara	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	14,3	<MDL	8,85	4,96	10,5	12,7	9,2	<MDL	<MDL	<MDL

Tabela 3.7. Sadržaj organohlorinih pesticida u vodi zaštićenih zona

	α -BHC	β -BHC	γ -BHC	δ -HCH	Heptahlor	Heptahlor-epoksid	4,4-DDT	4,4-DDE	4,4-DDD	Aldrin	Dieldrin	Endrin	Endrin-aldehid	Endosulfan-sulfat
ng/l														
Obedska bara	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Ludas	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Carska bara	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL

3.2. Analiza podataka o kvalitetu sedimenta

3.2.1. Opšte fizičko-hemijske osobine sedimenta

Od opštih fizičko-hemijskih osobina sedimenta određeni su pH, redoks potencijal, sadržaj vlage, organske materije i mineralne materije < 2 µm (gline). Dobijeni rezultati su dati u tabeli 3.8.

Tabela 3.8. Opšte fizičko-hemijske osobine sedimenta

	pH	Redoks potencijal	Sadržaj organske materije	Sadržaj gline	Vlaga
		mV	%	%	%
Obedska bara	6,98	-120,5	21,2	38,7	74,7
Ludaš	6,85	-290,5	29,5	34,8	77,1
Carska bara	6,58	-190,0	9,84	28,2	58,2

pH vrednost suspenzije sedimenata je bila ujednačena i kretala se u opsegu od 6,6-7. Vrednosti redoks potencijala u uzorcima površinskog sedimenta iznosile su od -290 do -120 mV. Negativan redoks potencijal upućuje na zaključak da je u svim uzorcima sedimenata bila prisutna pojava anoksije, što pogoduje vezivanju metala za sulfide u bionedostupne oblike. Suva materija u uzorcima sedimenta se kretala u opsegu 23-42%. Ispitivani sedimenti su bogati organskom materijom koja se kretala u opsegu od oko 10-30% suve materije sedimenta, a sadržaj gline se kretao od 28-39% suve materije sedimenta.

Ovi podaci (veličina čestica sedimenta (udeo gline i sadržaj organske materije) upotrebljeni su za korekciju analitički određenih koncentracija polutanata kako bi se moglo izvršiti određivanje klase sedimenta prema holandskoj metodologiji jer su kriterijumi kvaliteta dati za standardni sediment sa 10% organske materije i 25% gline. Rezultati klasifikacije za svaki mikropolutant i svaki pojedinačni uzorak, kao i ukupne klase za dati uzorak, dati su u tabelama u prilogu.

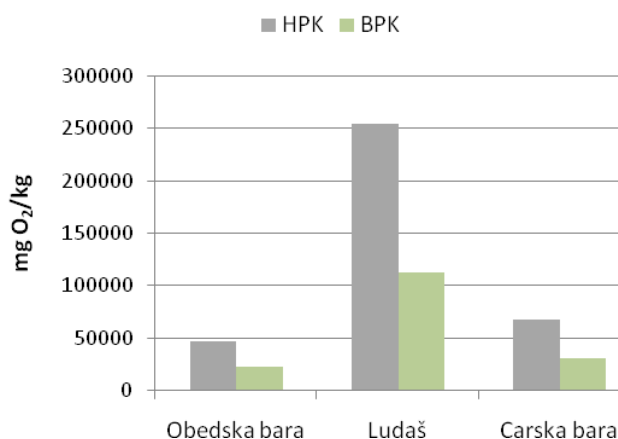
3.2.2. Pokazatelji ukupnog organskog zagađenja

Od pokazatelja ukupnog organskog zagađenja određeni su HPK, BPK₅, sadržaj ukupnih ugljovodonika i mineralnih ulja. Dobijeni rezultati predstavljeni su u tabeli 3.9, a grafički prikaz dat je na slikama 3.21 i 3.22.

Tabela 3.9. Sadržaj organskih materija izraženih preko HPK, BPK₅, ukupnih ugljovodonika i mineralnih ulja

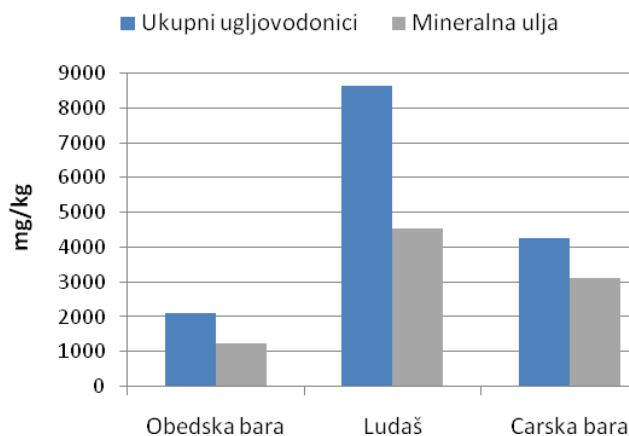
	HPK	BPK	Ukupni ugljovodonici	Mineralna ulja
	g O ₂ /kg		mg/kg	
Obedska bara	47,3	23,5	2120	1230
Ludaš	254	113	8640	4520
Carska bara	68,2	31,6	4250	3120

Sadržaj organskih materija izraženih preko hemijske potrošnje kiseonika (slika 3.21) se kretao od oko 50 do 70 g O₂/kg koliko je određeno u sedimentima Obedske i Carske bare do čak 254 g O₂/kg u sedimentu Ludaškog jezera ukazujući na značajno organsko opterećenje ovog akvatičnog sistema. Od ukupnih organskih materija oko 50% je biorazgradivo.



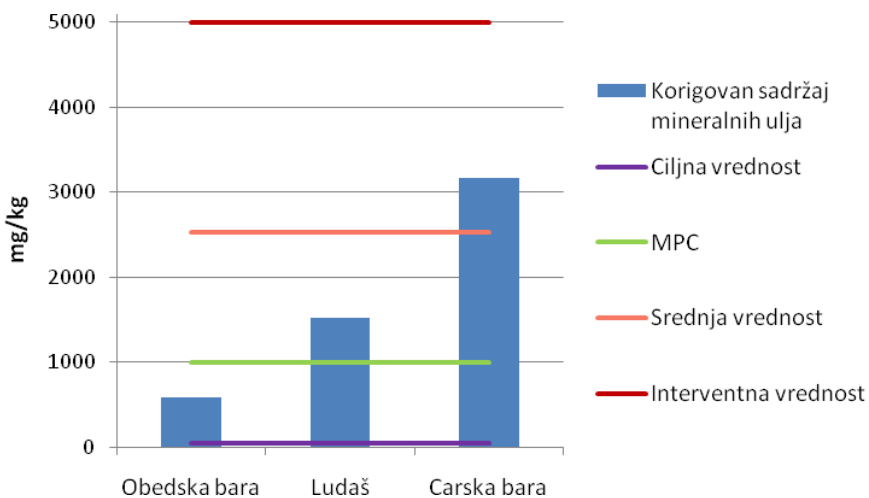
Slika 3.21. Sadržaj organskih materija izraženih preko HPK i BPK₅ u sedimentu

Rezultati koji su dobijeni za sadržaj ukupnih ugljovodonika i mineralnih ulja (slika 3.22) takođe ukazuju na visok sadržaj organskih materija u sedimentima ispitivanih zaštićenih zona. Sadržaj ukupnih ugljovodonika se kretao od oko 2 g/kg do oko 9 g/kg, od čega mineralna ulja čine od 50-75%.



Slika 3.22. Sadržaj ukupnih ugljovodonika i mineralnih ulja u sedimentu

Kvalitet sedimenta je moguće proceniti primenom holandske metodologije nakon korigovanja sadržaja mineralnih ulja prema sadržaju organske materije. Grafički prikaz korigovanog sadržaja mineralnih ulja u sedimentu prikazan je na slici 3.23. Maksimalno dozvoljena koncentracija (MPC) za standardni sediment za mineralna ulja je 1000 mg/kg, a srednja vrednost koja predstavlja indikaciju ozbiljnog zagađenja iznosi 2525 mg/kg. U pogledu sadržaja mineralnih ulja najugroženija zaštićena zona je Carska bara gde je prekoračen indikativni nivo koji ukazuje na ozbiljno zagađenje (sediment je svrstan u klasu 3), dok je u Ludaškom jezeru prekoračena maksimalno dozvoljena koncentracija, pa se sediment svrstava u klasu 2 i može se smatrati bar delimično zagađenim mineralnim uljima.



Slika 3.23. Sadržaj mineralnih ulja korigovanog prema sadržaju organske materije u sedimentu

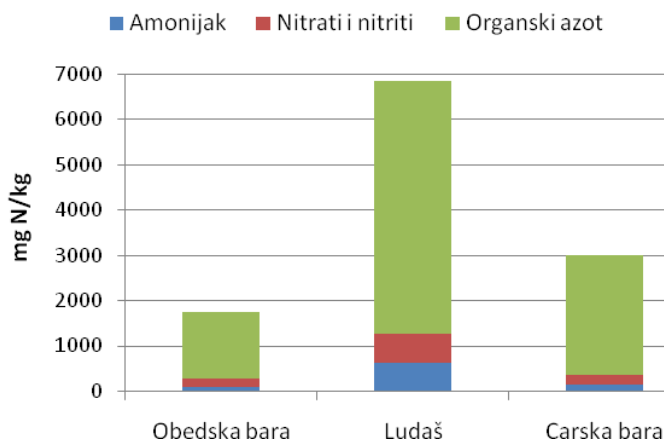
3.2.3. Nutrijenti

Sadržaj azota ukupnog i ukupnog fosfora, kao i različitih formi azota (amonijačnog azota, zbira nitratno i nitritno vezanog azota i organski vezanog azota) dat je u tabeli 3.10 i predstavljen grafički na slikama 3.24 i 3.25.

Tabela 3.10. Sadržaj nutrijenata u sedimentu zaštićenih zona

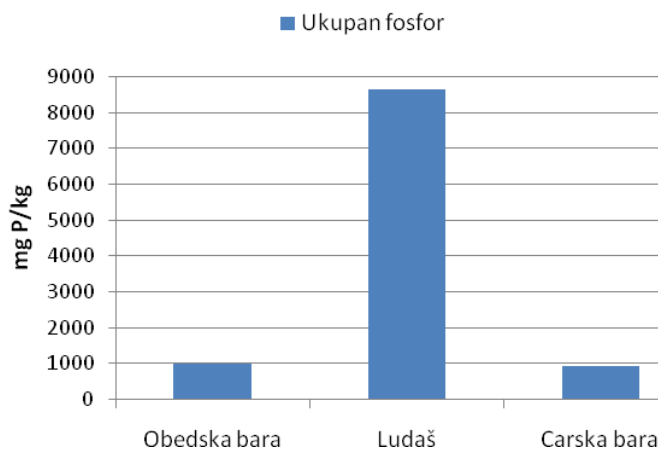
	Amonijak	Nitrati i nitriti	Organski azot	Ukupni azot	Ukupni fosfor
	mg N/kg				mg P/kg
Obedska bara	90	200	1450	1740	1010
Ludas	630	630	5570	6830	8640
Carska bara	140	230	2620	2990	940

Sadržaj azotnih materija (slika 3.24) se kretao od oko 1,7 g N/kg do oko 6,8 g N/kg koliko je određeno u sedimentu Ludaškog jezera, pri čemu se 82-88% ukupnog azota nalazi vezano u organskom obliku, 8-10% u obliku nitratno i nitritno vezanog azota, a 5-9% u obliku amonijačnog azota. Prema tome, sediment predstavlja značajan rezervoar azotnih jedinjenja i može značajno uticati na kvalitet vode, pri čemu su, ako se pogledaju rezultati za vodu, podjednako ugrožene sve ispitivane zaštićene zone.



Slika 3.24. Sadržaj azotnih materija u sedimentu

Sadržaj ukupnog fosfora (slika 3.25) se kretao od oko 1g P/kg koliko je određeno u sedimentima Obedske i Carske bare do 8,4 g P/kg u sedimentu Ludaškog jezera.



Slika 3.25. Sadržaj ukupnog fosfora u sedimentu

Sediment igra važnu ulogu u raspoloživosti fosfora u vodenim sredinama jer predstavlja rezervoar fosfora. Međutim, deo fosfora vezanog u sedimentu može biti, pod određenim fizičko-hemijskim uslovima, i kao rezultat biogeohemijskih procesa, ponovo vraćen u vodenu fazu. Naročito kritičan faktor za mobilizaciju fosfora jeste zasićenost vode kiseonikom, jer anaerobni uslovi favorizuju rastvaranje i oslobađanje fosfora nazad u vodenu fazu. Zbog toga, količina fosfora koja može biti oslobođena iz sedimenta u stajaćim vodama, eutrofnim, plitkim jezerima, barama i akumulacijama može povremeno da se izjednači ili čak bude dominantan izvor fosfora u poređenju sa unosom iz antropogenih izvora. Ako se pogledaju rezultati za vodu, najugroženiji lokalitet je Carska bara u kojoj su detektovane visoke koncentracije o-fosfata u vodi, što je verovatno posledica pomeranje ravnoteže i fluksa fosfora iz sedimenta ka vodi zbog izuzetno niskog sadržaja rastvorenog kiseonika (2,58 mg O₂/l).

Uz nešto veće opterećenje lako razgradivim organskim materijama koje je detektovano u svim ispitivanim zaštićenim zonama, a naročito u Ludaškom jezeru, i uz niži sadržaj rastvorenog kiseonika koji može nastupiti u letnjim mesecima i pri višim temperaturama, može se zaključiti da su sve zaštićene zone pod značajnim rizikom od pojave eutrofizacije.

3.2.4. Teški metali

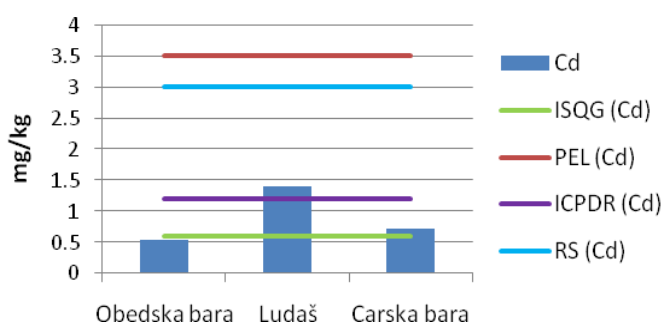
Teški metali su izuzetno važna grupa polutanata zbog toksičnosti koju mogu da ispolje na živi svet i perzistencije u okolini usled nemogućnosti biološke razgradnje. Pored kadmijuma, olova i žive, određivan je i arsen. U tabeli 3.11 su dati rezultati, a grafički prikaz i procena kvaliteta sedimenta u odnosu na sadržaj svakog metala dati su u nastavku. Kvalitet sedimenta je procenjen poređenjem sa kanadskim preporukama, ciljnim

vrednostima za sediment prema preporukama ICPDR-a, maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) za zemljište prema nacionalnom zakonodavstvu, kao i primenom holandske metodologije (prilog).

Tabela 3.11. Sadržaj teških metala u sedimentu zaštićenih zona

	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn	Ni	Hg
	mg/kg						
Obedska bara	27	0,55	43	16	62	86	0,07
Ludaš	290	1,4	120	24	220	60	0,52
Carska bara	40	0,72	38	13	73	19	0,15

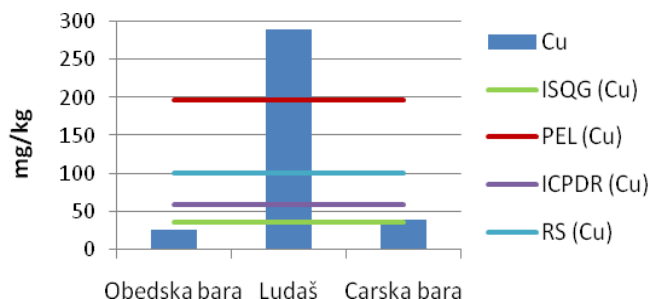
Sadržaj **kadmijuma** u sedimentu (slika 3.26) je bio ujednačen i kretao se u opsegu od 0,55 mg/kg do 1,4 mg/kg. Poređenjem sa postojećim preporukama i standardima kvaliteta može se zaključiti da zbog prekoračenja ISQG vrednosti postoji potencijalna opasnost od ispoljavanja negativnih toksičnih efekata na živi svet u Carskoj bari i Ludaškom jezeru, u kojem je dodatno prekoračena i ciljna vrednost prema preporukama ICPDR-a. Međutim, nakon korekcije dobijenih rezultata primenom holandske metodologije (prilog), a uzimajući u obzir sadržaj organske materije i gline u uzorcima sedimenta, zaključuje se da se uzorci sa svih ispitivanih lokaliteta mogu klasifikovati kao nezagadeeni ili neznatno zagadeeni (klasa 0 i 1). Dodatna istraživanja specijacije kadmijuma, koja bi dala podatke o obliku vezivanja u sedimentu, su neophodna radi donošenja konačne procene rizika.



Slika 3.26. Sadržaj kadmijuma u sedimentu

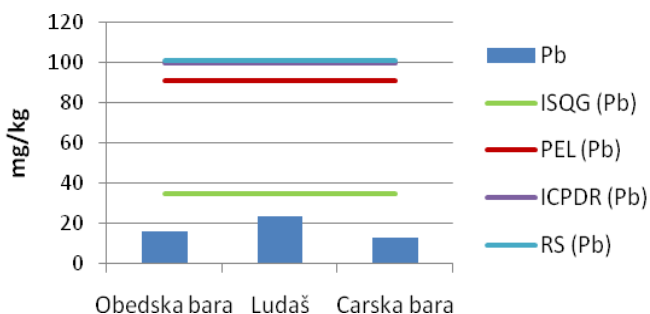
Sadržaj **bakra** u sedimentu (slika 3.27) se kretao od oko 30-40 mg/kg u sedimentima Obedske i Carske bare do čak 290 mg/kg koliko je određeno u površinskom sedimentu Ludaškog jezera. Ovako visoka koncentracija bakra u sedimentu Ludaškog jezera svrstava ga u klasu veoma zagadeenih sedimenata (klasa 4) prema holandskoj metodologiji (prilog), a prekoračenje PEL vrednosti prema kanadskim preporukama za zaštitu akvatičnog života

ukazuje na postojanje velike verovatnoće za ispoljavanje negativnih toksičnih efekata na akvatičnim organizmima, kao i za njegovu bioakumulaciju u organizmima bentosa i dalju biomagnifikaciju kroz lanac ishrane. Dodatno, MDK za zemljište prema našem zakonodavstvu prekoračena je čak 3 puta.



Slika 3.27. Sadržaj bakra u sedimentu zaštićenih zona

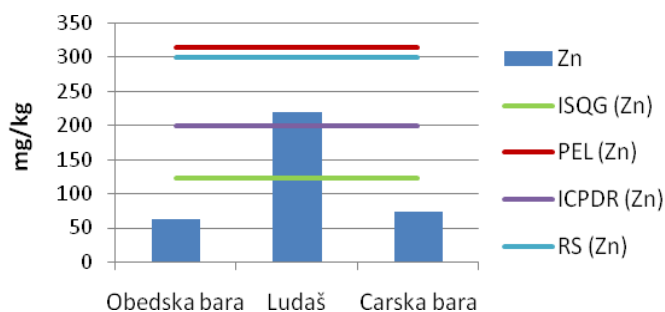
Sadržaj **olova** (slika 3.28) se u sedimentu svih ispitivanih zaštićenih zona kretao do oko 20 mg/kg što je niže od ISQG vrednosti i ciljne vrednosti prema preporukama ICPDR-a. Primena holandske metodologije (prilog) svrstava ispitivane sedimente u klasu nezagađenih (klasa 0). Prema tome, sedimenti svih ispitivanih zaštićenih zona se mogu smatrati nezagađenim olovom.



Slika 3.28. Sadržaj olova u sedimentu

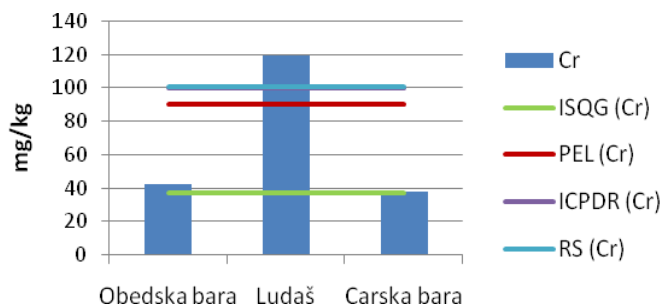
Sadržaj **cinka** (slika 3.29) se kretao od oko 60-70 mg/kg u sedimentima Obedske i Carske bare do čak 220 mg/kg koliko je određeno u površinskom sedimentu Ludaškog jezera što prekoračuje ISQG i ciljnu vrednost prema preporukama ICPDR-a ukazujući na moguće negativne ekotoksične efekte. Kada se primeni holandska metodologija (prilog) dolazi se

do zaključka da se sedimenti Obedske i Carske bare mogu smatrati nezagađenim (klasa 0), dok se sediment Ludaškog jezera svrstava u klasu neznatno zagađenih sedimenata (klasa 1). Ipak, za konačnu procenu rizika za sediment Ludaškog jezera bilo bi neophodno uraditi specijaciju cinka da bi se utvrdilo u kojem obliku je vezan u sedimentu.



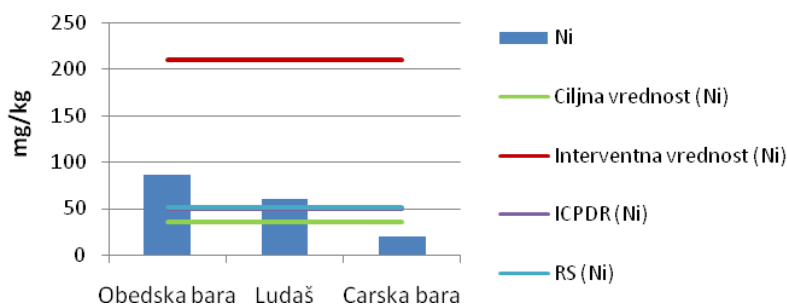
Slika 3.29. Sadržaj cinka u sedimentu

Sadržaj **hroma** (slika 3.30) se u sedimentu ispitivanih zaštićenih zona kretao od oko 40 mg/kg (Obedska i Carska bara) do oko 120 mg/kg (Ludaško jezero). Koncentracija hroma u sedimentima Obedske i carske bare je na nivou ISQG vrednosti zbog čega su negativni ekotoksični efekti malo verovatni. U sedimentu Ludaškog jezera koncentracija hroma prekoračuje ISQG, ciljnu vrednost prema ICPDR-u, kao i MDK za zemljište prema našem zakonodavstvu što ukazuje na to da su ekotoksični efekti verovatno prisutni. Primena holandske metodologije klasifikuje sedimente Obedske i Carske bare kao nezagađene (klasa 0), a Ludaškog jezera kao neznatno zagađene (klasa 1). Podaci o specijaciji hroma bi dali korisne informacije za hemijsku procenu rizika.



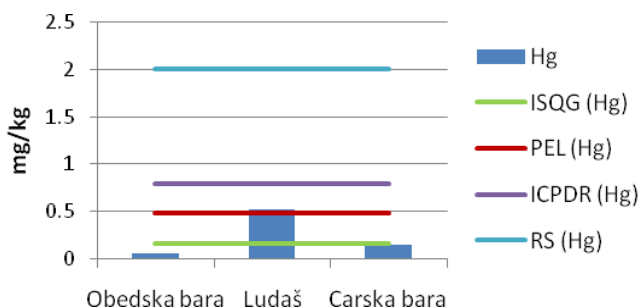
Slika 3.30. Sadržaj hroma u sedimentu

Prema sadržaju **nikla** (slika 3.31) najugroženiji lokaliteti su Obedska bara i Ludaško jezero u kojima izmerene koncentracije nikla prekoračuju ciljnu vrednost prema preporukama ICPDR-a, MDK prema našem zakonodavstvu, kao i ciljnu vrednost prema holandskom zakonodavstvu. Primenom holandske metodologije (prilog) ovi sedimenti se svrstavaju u klasu zagađenih (klasa 3) što zahteva dalje istraživanje radi konačne procene rizika.



Slika 3.31. Sadržaj nikla u sedimentu

Sadržaj **žive** u sedimentu (slika 3.32) se kretao u opsegu 0,07-0,52 mg/kg. PEL vrednost, koja ukazuje na verovatne negativne ekotoksične efekte, prekoračena je u sedimentu Ludaškog jezera, dok se na preostale dve lokacije ne očekuju negativni toksični efekti jer nije prekoračena ISQG vrednost. Primena holandske metodologije (prilog) dovodi do zaključka da se radi o nezagađenim (klasa 0, Obedska i Carska bara) i neznatno zagađenim (klasa 1, Ludaško jezero) sedimentima. Za konačnu procenu rizika neophodna su dalja istraživanja specijacije žive.



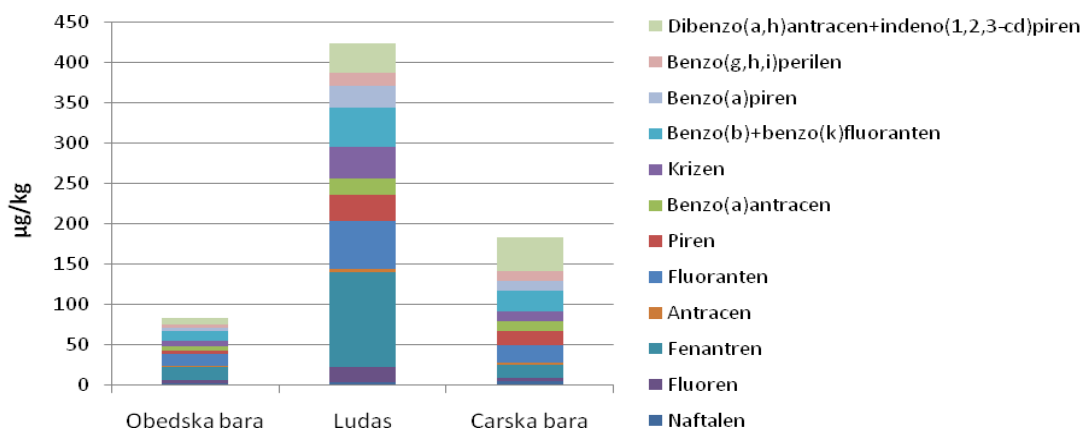
Slika 3.32. Sadržaj žive u sedimentu

3.2.5. Specifični organski polutanti

Od specifičnih organskih polutanata u sedimentu određivani su policiklični aromatični ugljovodonici, organohlorni pesticidi i polihlorovani bifenili (tabele 3.12 i 3.13). Za procenu kvaliteta sedimenta u pogledu sadržaja ovih jedinjenja korišćene su kanadske preporuke, kao i holandska metodologija.

Policiklični aromatični ugljovodonici, koji mogu biti prirodnog i antropogenog porekla, su detektovani u svim ispitivanim uzorcima sedimenta. Od 16 predstavnika ove grupe organskih polutanata detektovano je njih 14, dok acenaften i acenaftenilen nisu određeni iznad detekcionog limita metode niti u jednom uzorku (slika 3.33). Koncentracije PAH-ova u sedimentima Obedske i Carske bare su se kretale u niskim koncentracijama koje pojedinačno nisu prelazile 20 µg/kg, dok su u sedimentu Ludaškog jezera koncentracije bile nešto više i kretale se do oko 60 µg/kg, osim za fenantren čija je koncentracija bila 120 µg/kg. Kada se dobijeni rezultati za maksimalno određene koncentracije pojedinačnih jedinjenja uporede sa kanadskim preporukama za kvalitet sedimenta, dolazi se do zaključka da sediment nije zagađen PAH-ovima. Naime, ISQG vrednost za pojedinačne PAH-ove, koja ukazuje na mogući toksični efekat na akvatične organizme, prekoračena je jedino za fenantren u uzorku površinskog sedimenta iz Ludaškog jezera.

Za procenu kvaliteta sedimenta prema holandskoj metodologiji koristi se suma PAH-ova pri čemu referentna i interventna vrednost iznose 1 mg/kg i 40 mg/kg, redom. Suma PAH-ova se u ispitivanim uzorcima (slika 3.33) kretala u opsegu od 80 µg/kg do 420 µg/kg. Nakon preračunavanja analitički određenih vrednosti za sadržaj PAH-ova uzimajući u obzir sadržaj ukupne organske materije u uzorcima, ciljna vrednost za sumu PAH-ova nije prekoračena niti u jednom ispitivanom uzorku, što znači da se sediment može svrstati u klasu 0 i oceniti kao nezagađen.



Slika 3.33. Sadržaj PAH-ova u sedimentu

Od **organohlornih pesticida** su detektovana jedinjenja iz grupe heksahlorcikloheksana i 4,4'-DDT-a i njegovih derivata i to u svim ispitivanim sedimentima u tragovima (0,5 µg/kg) ili u niskim koncentracijama koje nisu prelazile 1,3 µg/kg. Iznad praktične granice određivanja su određeni jedino β izomer heksahlorcikloheksana (β-BHC) i 4,4'-DDE u sedimentu Ludaškog jezera. Kada se dobijeni rezultati za pojedinačne koncentracije organohlornih pesticida uporede sa kanadskim preporukama za kvalitet sedimenta, dolazi se do zaključka da su negativni toksični efekti malo verovatni jer nisu prekoračene ISQG vrednosti. Takođe, primenom holandske metodologije sedimenti svih ispitivanih zaštićenih zona se svrstavaju u klasu 0.

Polihlorovani bifenili nisu detektovani u ispitivanim sedimentima iznad detekcionog limita metode (< 10 µg/kg).

Tabela 3.12. Sadržaj policikličnih aromatičnih ugljovodonika u sedimentu zaštićenih zona

	Naftalen	Ace- naftilen	Ace- naften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluo- ranten	Piren	Benzo(a) antracen	Krizen	Benzo(b)+ benzo(k) fluoranten	Benzo(a) piren	Benzo(g,h,i) perilen	Dibenzo(a,h) antracen+ indeno(1,2,3- cd)piren
	µg/kg													
Obedska bara	2,05	<MDL	<MDL	4,06	17	0,61	15	5	5,29	6,78	12,2	3,3	3,64	8,57
Ludaš	4,36	<MDL	<MDL	18,3	118	3,17	59,4	32	20,4	39,3	49,2	26,4	16,4	35,7
Carska bara	5,12	<MDL	<MDL	4,03	17,1	1,59	21,6	17,6	12,2	12,1	26	11,6	13	41,7

Tabela 3.13. Sadržaj organohlornih pesticida i polihlorovanih bifenila u sedimentu zaštićenih zona

	α-BHC	β-BHC	γ-BHC	δ-HCH	heptahlor	heptahlor -epoksid	4,4-DDT	4,4-DDE	4,4-DDD	aldrin	dieldrin	endrin	endrin- aldehid	endosulf ansulfat	PCB
	µg/kg														
Obedska bara	<PQL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<PQL	<PQL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Ludaš	<MDL	0,65	<PQL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	1,26	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Carska bara	<MDL	<MDL	<MDL	<PQL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL

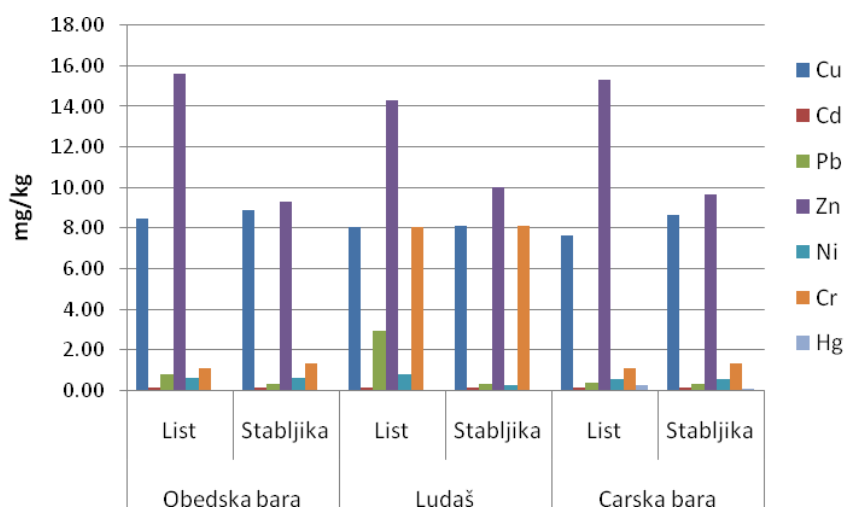
3.3. Rezultati hemijske analize uzoraka biote

3.3.1. Sadržaj teških metala u uzorcima trske

U uzorcima trske (*P. australis*) sa odabranih lokaliteta ispitivan je sadržaj teških metala u nadzemnom tkivu biljke, stabljici i listu. Teški metali mogu iz akvatičnog sistema, preko korena biljaka, dospeti u njihova nadzemna tkiva gde se akumuliraju. Sadržaj teških metala u nadzemnim delovima trske dat je u tabeli 3.14 i grafički je prikazan na slici 3.34.

Tabela 3.14. Sadržaj teških metala u listu i stabljici trske na ispitivanim lokalitetima

		Cu	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr	Hg
		mg/kg						
Obedska bara	List	8,46	0,13	0,78	15,6	0,58	1,05	<MDL
	Stabljika	8,91	0,11	0,29	9,30	0,59	1,29	<MDL
Ludaš	List	8,05	0,14	2,93	14,3	0,76	8,05	<MDL
	Stabljika	8,12	0,10	0,29	10,0	0,25	8,11	<MDL
Carska bara	List	7,64	0,11	0,35	15,3	0,54	1,07	0,25
	Stabljika	8,67	0,11	0,30	9,65	0,51	1,31	0,062



Slika 3.34. Sadržaj teških metala u nadzemnim delovima trske

Sadržaj bakra je u nadzemnim delovima trske na svim ispitivanim lokalitetima bio ujedanačen i kretao se oko 8 mg/kg. Budući da prirodan sadržaj bakra u nadzemnom tkivu trske prema Nikoliću i saradnicima (2007) iznosi oko 4 mg/kg suve mase, može se

zaključiti da je došlo do translokacije iz korenskog sistema i akumulacije bakra u stabljici i listovima.

Sadržaj kadmijuma je takođe bio ujednačen i kretao se oko 0,1 mg/kg. Pošto Cd za biljke nije esencijalan hemijski element, prirodno ne bi trebalo da se nađe u biljnom tkivu. Stoga, izmerene koncentracije Cd u nadzemnom tkivu trske sa navedenih lokaliteta upućuju na to da je na ispitivanim lokalitetima kadmijum prisutan u biodostupnim oblicima pogodnim za ispoljavanje ekotoksičnog dejstva na akvatični svet.

Olovo je detektovano u koncentracijama koje nisu prelazile 0,8 mg/kg osim u jednom uzorku lista trske iz Ludaškog jezera u kojem je izmerena koncentracija od oko 3 mg/kg. Detektovane koncentracije su relativno niske koncentracije za sadržaj olova u nadzemnim delovima trske, naročito ako se ima u vidu da je prosečan sadržaj olova u nadzemnom tkivu prema Nikoliću i saradnicima (2007) oko 1,5 mg/kg suve mase.

Sadržaj cinka u listu trske na svim ispitivanim lokalitetima se kretao oko 15 mg/kg, a u stabljici oko 10 mg/kg. Ako se prirodnim sadržajem cinka u korenu trske smatra koncentracija od oko 16 mg/kg suve mase (Nikolić *et al.*, 2007), može se uočiti da ta koncentracija nije premašena u nadzemnom tkivu trske niti na jednom ispitivanom lokalitetu.

Nikal je detektovan u koncentracijama koje nisu prelazile 0,8 mg/kg. Ove koncentracije upućuju na to da se u nadzemnim organima trske nikal ne akumulira, pošto njegov normalan sadržaj u organima biljaka iznosi od 0,05 mg/kg do 5,0 mg/kg suve mase (Barker i Pilbeam, 2006).

Značajno više koncentracije hroma su detektovane u listu i stabljici trske iz Ludaškog jezera (oko 8 mg/kg), u poređenju sa sadržajem hroma određenim u nadzemnim delovima trske iz Carske i Obedske bare (oko 1 mg/kg) što ukazuje na to da je u Ludaškom jezeru hrom prisutan u biodostupnim oblicima pogodnim za bioakumulaciju.

Živa je detektovana jedino u trsci iz Carske bare, pri čemu se koncentracija kretala do 0,25 mg/kg.

3.3.2. Sadržaj teških metala i specifičnih organskih polutanata u ribljem tkivu

Ukupno je analizirano 9 uzoraka ribe vrste babuška uzetih sa tri različita lokaliteta. Mišićno tkivo ribe je analizirano na sadržaj teških metala (Cu, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb, Hg), organohlornih pesticida i ukupnih polihlorovanih bifenila, kao i policikličnih aromatičnih ugljovodonika. Dobijeni rezultati po ispitivanim lokacijama su prikazani u tabelama 3.15-3.17. Sadržaj analiziranih parametara je izražen na masu vlažnog uzorka mišićnog tkiva ribe.

Od teških metala (tabela 3.15) u tkivu ribe su detektovani živa, hrom, cink i bakar, dok su olovo i nikal detektovani u tragovima (ispod 150 i 110 µg/kg, redom), a kadmijum nije detektovan iznad detekcionog limita metode niti u jednom ispitivanom uzorku tkiva ribe. Sadržaj žive se kretao od 15,2 µg/kg do čak 282 µg/kg, a hroma od oko 130 µg/kg do oko 170 µg/kg. Sadržaj cinka je u svim ispitivanim uzorcima mišićnog tkiva ribe bio ujednačen i kretao se u opsegu od oko 20-40 mg/kg, dok sadržaj bakra nije prekoračio 3,5 mg/kg. Od svih ispitivanih teških metala prema Direktivi 2008/105/EC postavljen je standard kvaliteta jedino za živu (20 µg/kg dat za živu i njena jedinjenja), te se može zaključiti da je ova vrednost u 7 od 9 pojedinačnih uzoraka mišićnog tkiva ribe prekoračena. Najugroženiji lokalitet je Obedska bara gde je standard kvaliteta za živu prekoračen oko 13 puta, dok je u uzorcima ribe iz Carske bare ova vrednost prekoračena 2 puta, ukazujući na značajnu akumulaciju žive i moguće toksične efekte koje je neophodno dalje istražiti. Sa aspekta bezbednosti konzumacije ove ribe, ne postoji opasnost po zdravlje čoveka s obzirom da ni prosečne vrednosti niti vrednosti za pojedinačna merenja ne prekoračuju maksimalno dozvoljenu koncentraciju za živu prema EU zakonodavstvu (COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006) koja iznosi 0,5 mg/kg vlažnog tkiva ribe, redom.

Tabela 3.15. Sadržaj teških metala u uzorcima ribe

		Cu	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr	Hg
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg	µg/kg
Obedska bara	n=3	1,15	< MDL	< PQL	23,2	<PQL	126,7	282,5
		1,21	< MDL	< PQL	22,6	<PQL	147,4	221,0
		1,33	< MDL	< PQL	24,6	<PQL	154,2	265,0
	Srednja vrednost	1,23	0,00	/	23,47	/	142,8	256,2
	SD	0,09	0,00	/	1,04	/	14,3	31,65
Ludaš	n=3	1,97	< MDL	< PQL	40,3	<PQL	159,0	23,1
		3,34	< MDL	< PQL	42,7	<PQL	171,4	15,2
		3,12	< MDL	< PQL	44,8	<PQL	162,3	18,6
	Srednja vrednost	2,81	0,00	/	42,6	/	164,2	19,0
	SD	0,74	0,00	/	2,25	/	6,42	3,96
Carska bara	n=3	1,24	< MDL	< PQL	21,5	<PQL	151,8	49,0
		1,42	< MDL	< PQL	20,4	<PQL	150,8	30,0
		1,86	< MDL	< PQL	23,6	<PQL	146,6	44,5
	Srednja vrednost	1,51	0,00	/	21,8	/	149,8	41,2
	SD	0,32	0,00	/	1,63	/	2,78	9,94

Policiklični aromatični ugljovodonici (tabela 3.16) su detektovani u svim analiziranim uzorcima. Od PAH-ova su detektovana jedinjenja nižih molekulskih masa (sa dva do četiri prstena), dok ona sa 5 i više prstenova (uključujući benzo(a)piren) nisu detektovana niti u jednom ispitivanom pojedinačnom uzorku mišićnog tkiva ribe. Sa najvećom učestalošću su detektovani naftalen, fluoren i fenantren, dok su najviše pojedinačne koncentracije određene za fenantren (do oko 30 µg/kg), dok koncentracija ostalih PAH-ova nije prelazila 10 µg/kg. Od PAH-ova, zakonodavstvom EU o maksimalno dozvoljenim nivoima polutanata u hrani (COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006), regulisan je samo benzo(a)piren koji nije detektovan niti u jednom ispitivanom uzorku.

Od organohlorornih pesticida (tabela 3.17), sa najvećom učestalošću su detektovani 4,4'-DDT i njegovi metaboliti, 4,4'-DDE i 4,4'-DDD, kao i izomeri heksahlorocikloheksana (BHC) od kojih su najčešće detektovani α - i γ - izomer (lindan). Sadržaj pojedinačnih organohlorornih pesticida uglavnom nije prelazio 1 µg/kg. Polihlorovani bifenili nisu detektovani. U poređenju sa kanadskim preporukama za maksimalno dozvoljenu koncentraciju za sumu 4,4'-DDT i njegovih metabolita u tkivu ribe, koji iznosi 14 µg/kg, nije zabeleženo prekoračenje ove vrednosti niti u jednom pojedinačnom uzorku mišićnog tkiva ribe.

Tabela 3.16. Sadržaj policikličnih aromatičnih ugljovodonika u mišićnom tkivu ribe

		Naftalen	Ace- naftilen	Ace- naften	Fluoren	Fenan- tren	Antracen	Fluo- ranten	Piren	Benzo(a) antracen	Krizen	Benzo(b) +benzo (k)fluor- ranten	Benzo(a) piren	Benzo (g,h,i) perilen	Dibenzo (a,h) antracen +indeno (1,2,3- cd)piren
		µg/kg													
Obedska bara	n=3	2,33	<MDL	<MDL	10,4	32,1	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		1,34	<MDL	<MDL	3,73	20,3	1,51	2,48	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		1,15	<MDL	<MDL	4,36	19,9	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
	Srednja vrednost	1,61	0	0	6,16	24,1	1,51	2,48	0	0	0	0	0	0	0
	SD	0,63	0	0	3,68	6,93	/	/	0	0	0	0	0	0	0
Ludaš	n=3	1,26	4,87	<MDL	5,07	30,9	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		1,69	2,94	4,51	6,35	27,9	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		0,51	3,23	<MDL	3,67	13,2	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
	Srednja vrednost	1,15	3,68	4,51	5,03	24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SD	0,60	1,04	/	1,34	9,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carska bara	n=3	0,65	<MDL	<MDL	1,07	12,3	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		1,54	<MDL	<MDL	8,23	11,2	<MDL	1,86	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		2,07	6,05	<MDL	3,91	15,9	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
	Srednja vrednost	1,42	6,05	0	4,40	13,1	0	1,86	0	0	0	0	0	0	0
	SD	0,72	/	0	3,61	2,46	0	/	0	0	0	0	0	0	0

MDL=0,1 µg/kg

Tabela 3.17. Sadržaj organohlornih pesticida i polihlorovanih bifenila u mišićnom tkivu ribe

		α -BHC	β -BHC	γ -BHC	δ -BHC	Heptahlor	Heptahlor- epoksid	4,4- DDT	4,4- DDE	4,4- DDD	Aldrin	Dieldrin	Endrin	Endrin- aldehid	Endosulfan- sulfat	PCB
		$\mu\text{g/kg}$														
Obedska bara	n=3	<PQL	<MDL	0,25	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0,22	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		<MDL	<MDL	0,22	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Ludaš	n=3	<MDL	<MDL	<PQL	0,61	<MDL	<MDL	<MDL	0,07	0,15	<MDL	0,04	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		<PQL	0,63	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0,62	1,16	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		0,10	0,32	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Carska bara	n=3	0,39	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0,12	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		0,13	<MDL	0,54	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0,19	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
		<PQL	<MDL	<MDL	0,37	<MDL	<MDL	<MDL	0,07	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL

MDL=0,02 $\mu\text{g/kg}$; PQL=0,05 $\mu\text{g/kg}$

4. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja je bio da se izvrši hemijska procena rizika u tri akvatična ekosistema zaštićenih područja, Ludaš, Obedska bara i Carska bara, na osnovu fizičko-hemijske karakterizacije vode, sedimenta i biote (makrofita i ihtiofaune).

Rezultati ispitivanja sistema voda-sediment-biota su pokazali da se ispitivane zaštićene zone, a naročito Ludaško jezero i Carska bara, nalaze pod izvesnim antropogenim uticajima koji su rezultovali akumulacijom organskih materija, nutrijenata i metala prvenstveno u sedimentima kao glavnim rezervoarima koji imaju ulogu sekundarnih izvora zagađivanja u dužem vremenskom periodu. Efekti ovih negativnih uticaja mogu se uočiti i na bioti jer je detektovana bioakumulacija pojedinih teških metala u nadzemnim delovima trske, kao i teških metala i organskih mikropolutanata u ribljem tkivu.

Svi određivani parametri ukazuju na visoko opterećenje organskim materijama od čega značajan deo predstavljaju biorazgradljive materije. Ovo je veoma značajno jer labilna organska materija i procesi koji se odigravaju u sistemu voda-sediment imaju važnu ulogu u dinamici nutrijenata vodenih ekosistema. Prema sadržaju organskih materija u vodi najugroženiji su Ludaško jezero i Obedska bara koje se svrstavaju u III i IV klasu. U sedimentima je takođe akumulirana značajna količina organskih materija na šta upućuju rezultati za HPK, BPK, ukupne ugljovodonike i mineralna ulja. U pogledu sadržaja mineralnih ulja najugroženija zaštićena zona je Carska bara gde je prekoračen indikativni nivo koji ukazuje na ozbiljno zagađenje (sediment je svrstan u klasu 3 prema holandskoj metodologiji), dok je u Ludaškom jezeru prekoračena maksimalno dozvoljena koncentracija, pa se sediment svrstava u klasu 2 i može se smatrati bar delimično zagađenim mineralnim uljima.

Za sve ispitivane zaštićene zone je karakteristično da su opterećene nutrijentnim materijama, azotom i fosforom. Prema sadržaju ukupnog azota u vodi Obedska bara i Ludaško jezero se svrstavaju u III klasu. Od azotnih materija najveći problem u vodi predstavljaju nitriti i amonijum jon koji vode ispitivanih zaštićenih zona svrstavaju u opsegu od III-V klase prema preporukama ICPDR-a. U većini nezagađenih sistema ukupni fosfor se kreće u granicama od 10 do 50 µg/l, dok se u vodi ispitivanih zaštićenih zona sadržaj ukupnog fosfora kreće od preko 100 µg/l do čak 300 µg/l što vode Ludaškog jezera i Carske bare svrstava u III klasu prema sadržaju ukupnog fosfora. Jedan od mogućih izvora nutrijenata predstavljaju sedimenti u kojima je akumulirana značajna količina azota i fosfora, a koja pod određenim fizičko-hemijskim uslovima može ponovo biti oslobođena i vraćena u vodenu fazu. Naime, anaerobni uslovi, na koje upućuje izmereni redoks potencijal suspenzije svih ispitivanih sedimenata, a naročito anoksični uslovi detektovani u vodi Carske bare, favorizuju rastvaranje i oslobađanje fosfora nazad u vodenu fazu i mogu prouzrokovati uočene probleme. U eutrofnim, plitkim jezerima i barama količina fosfora koja može biti oslobođena iz sedimenta može povremeno da se izjednači ili čak bude dominantan izvor fosfora u poređenju sa unosom iz antropogenih izvora. Kada fosfor

jednom uđe u akvatični ekosistem, veoma je teško ukloniti posledice jer se vezuje za sediment i postaje deo unutrašnjeg ciklusa te utiče na kvalitet vode.

Od teških metala sa liste prioritetnih supstanci u vodi su detektovani kadmijum, nikal i olovo, dok je od ostalih supstanci karakterističnih za sliv Dunava utvrđeno prisustvo bakra, cinka i hroma. Živa nije detektovana u uzorcima vode. Na svim ispitivanim lokalitetima sadržaj teških metala ne prekoračuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju definisanu za I/II klasu prema Pravilniku o opasnim materijama u vodama (*Sl. glasnik SRS 31/82*), ali kada se izvrši poređenje sa strožijim preporukama ICPDR-a i standardima kvaliteta datim u Direktivi 2008/105/EC mogu se uočiti potencijalni problemi sa kadmijumom u vodi Ludaškog jezera i bakrom na svim ispitivanim lokalitetima. Od svih ispitivanih sedimenata najveća akumulacija teških metala je uočena u sedimentu Ludaškog jezera gde se mogu očekivati toksični efekti usled prisustva hroma i bakra, te mogući negativni efekti usled prisustva kadmijuma, cinka, nikla i žive. Međutim, zbog nedovoljno dokaza neophodno je u dalja istraživanja uključiti ispitivanje specijacije teških metala i određivanje formi u kojima su oni vezani u sedimentu. U površinskom sedimentu Obedske bare uočena je izvesna akumulacija nikla. Primenom holandske metodologije sedimenti Ludaškog jezera i Obedske bare se prema sadržaju nikla svrstavaju u klasu zagađenih (klasa 3) što zahteva dalje istraživanje radi konačne procene rizika.

Određivani specifični organski polutanti, policiklični aromatični ugljovodonici, organohlorni pesticidi i polihlorovani bifenili, generalno nisu problem. Međutim, potrebno je naglasiti da grupa određivanih organskih polutanata predstavlja samo mali deo šire grupe jedinjenja koja u okviru svakog plana upravljanja rečnim slivom mora biti identifikovana od strane svake države i predstavlja tzv. "specifične sintetske i nesintetske polutante". Termin "specifični polutanti" obuhvata prioritetne supstance i dodatno još supstance relevantne za sliv koje u toku izrade plana upravljanja rečnim slivom moraju biti identifikovane, a potom obuhvaćene monitoring programima, pri čemu frekvencija monitoringa za ovu grupu parametara iznosi 12 puta godišnje. S obzirom da se radi o zaštićenim zonama značajnim kao mesta gnežđenja i boravka mnogih retkih ptica i kao orintološke stanice većeg broja migratornih vrsta, naročito značajno bi bilo obuhvatiti istraživanjem prioritetne i ostale specifične organske polutante („polutante u razvoju“), jer se među njima nalaze i ona jedinjenja za koja je dokazano da spadaju u grupu hormonski aktivnih supstanci (npr. bis-(2-etilheksil)-ftalat).

U uzorcima trske (*P. australis*) sa odabranih lokaliteta ispitivan je sadržaj teških metala u nadzemnom tkivu biljke, stabljici i listu. Teški metali mogu iz akvatičnog sistema, preko korena biljaka, dospeti u njihova nadzemna tkiva gde se akumuliraju. Od svih ispitivanih teških metala jedino je bakar akumuliran u koncentracijama koje su 2 puta više od prosečnih koncentracija u trsci. Od ostalih metala uočena je blaga akumulacija kadmijuma na svim lokalitetima, te hroma u trsci iz Ludaškog jezera i žive u trsci iz Carske bare.

Od teških metala u mišićnom tkivu ribe su detektovani živa, hrom, cink i bakar, dok su olovo i nikal detektovani u tragovima. Sadržaj žive se kretao od 15,2 µg/kg do čak

282 µg/kg, a hroma od oko 130 µg/kg do oko 170 µg/kg. Sadržaj cinka je u svim ispitivanim uzorcima mišićnog tkiva ribe bio ujednačen i kretao se u opsegu od oko 20-40 mg/kg, dok sadržaj bakra nije prekoračio 3,5 mg/kg. Od svih ispitivanih teških metala prema Direktivi 2008/105/EC postavljen je standard kvaliteta jedino za živu (20 µg/kg dat za živu i njena jedinjenja), te se može zaključiti da je ova vrednost u 7 od 9 pojedinačnih uzoraka mišićnog tkiva ribe prekoračena. Najugroženiji lokalitet je Obedska bara gde je standard kvaliteta za živu prekoračen oko 13 puta, dok je u uzorcima ribe iz Carske bare ova vrednost prekoračena 2 puta, ukazujući na značajnu akumulaciju žive i moguće toksične efekte koje je neophodno dalje istražiti. Policiklični aromatični ugljovodonici su detektovani u svim analiziranim uzorcima. Od PAH-ova su detektovana jedinjenja nižih molekulskih masa (sa dva do četiri prstena), pri čemu koncentracija uglavnom nije prelazila 10 µg/kg. Od organohlornih pesticida (tabela 3.17), sa najvećom učestalošću su detektovani 4,4'-DDT i njegovi metaboliti, 4,4'-DDE i 4,4'-DDD, kao i izomeri heksahlorocikloheksana (BHC) od kojih su najčešće detektovani α - i γ - izomer (lindan). Sadržaj pojedinačnih organohlornih pesticida uglavnom nije prelazio 1 µg/kg. Polihlorovani bifenili nisu detektovani.

Na žalost, mali je broj podataka o vezama statusa akvatičnih sistema i uticaja polutanata, jer se mali broj polutanata kontinualno meri, pri čemu su monitorinzi uglavnom usmereni na praćenje konvencionalnih polutanata. Zbog toga buduće studije treba da obuhvate veći broj polutanata, i to sa većom frekvencijom, kako bi se dobili reprezentativni i pouzdani podaci i kako bi se mogle uočiti sezonske varijacije koje su jako značajne za pojedine vrste polutanata (npr. pesticide). Da bi se uočile veze između statusa i uticaja polutanata, neophodno je u monitoring uključiti veći broj pojedinačnih uzoraka biote, kao i predstavnike vrsta koje se nalaze na različitim trofičkim nivoima i različitim delovima lanca ishrane. Neophodno je uzorkovati riblje vrste prema načinu ishrane: omnivore, grabljivice, bentofage i plantofag. Takođe, kako bi se utvrdila zavisnost ekspozicije i sadržaja žive i kadmijuma u uzorcima biote, neophodno je ispitati ribe po starosti, a da bi se utvrdili ciljni organi za bioakumulaciju potrebno je analizirati različita tkiva (npr. mišići, jetra). Budući da trska pripada grupi biljaka koje maksimalno teže da isključe koncentrisanje metala u nadzemnim tkivima, koncentrišući ih u korenu, buduća istraživanja bi trebalo usmeriti i u tom pravcu. Bilo bi korisno proširiti istraživanje i na druge vrste makrofita (npr. rogoz). Sva ova istraživanja bi trebalo isplanirati kroz sve sezone i više ciklusa kako bi se omogućilo uočavanje veza između sezonskih varijacija u kvalitetu akvatičnog sistema i bioloških efekata.

Dakle, u zaključku, prema aneksu V Okvirne direktive o vodama Evropske Unije, zemlje članice su obavezne uključiti u ocenu ukupnog ekološkog statusa „druge polutante“ koji se ispuštaju u značajnim količinama u vodotoke, a koji su specifični za svaki rečni sliv. Kroz istražni monitoring, potrebno je izvršiti odabir onih polutanata za koje je neophodno obezbediti dodatne informacije kroz nadzorni monitoring. Neophodno je prikupiti sve podatke i informacije o izvorima zagađenja, uticajima, proizvodnji i upotrebi zagađujućih materija u cilju identifikacije onih materija koje se izlivaju u vodotoke u okviru rečnog

sliva. Daljim koracima u procesu implementacije, lista polutanata se može suziti sa glavnim ciljem da se mere i prate one supstance koje u najvećoj meri utiču na akvatičnu sredinu. Jednom identifikovani, ovi polutanti moraju biti uključeni u monitoring program, a za njih se vremenom moraju izvesti i odgovarajući standardi kvaliteta, kao za vodu, tako i za sediment i/ili biotu. Da bismo ove liste formirali neophodno je imati podatke o korišćenju i izvorima ovih polutanata, o njihovom uticaju na status vodotoka, kao i njihovoj rasprostranjenosti u različitim segmentima životne sredine.

5. Literatura

1. Alexander, R., Alexander, M. 2000. Bioavailability of genotoxic compounds in soils. *Environmental Science and Technology* **34** (8): 1589-1593.
2. Balanson, S., Mal, T. 2005. Macrophytes as biomonitors of trace metals, in: Lehr, J. (Ed.), *Water Encyclopedia: Water Quality and Resource Development*. Hoboken: John Wiley and Sons Inc; 717 pp.
3. Barker, A., Pilbeam, D. 2006. *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton: CRC Press; 613 pp.
4. Bobbink, R., Beltman, B., Verhoeven, J., Whigham, D. 2006. *Wetlands: Functioning, Biodiversity Conservation and Restoration*. Berlin: Springer-Verlag; 315 pp.
5. Hock, B., Seifert, M. 2003. Biomonitoring, a new challenge for measuring and testing. *Management of Environmental Quality: An International Journal* **14** (2): 279-292.
6. Markert, B. 2007. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **21**, Suppl. 1: 77-82.
7. Nikolić, Lj., Stojanović, S., Lazić, D. 2007. Uloga trske (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) u procesu prečišćavanja komunalnih otpadnih voda metodom mokrih polja (Constructed Wetlands Systems). *Savremena poljoprivreda* **56** (3-4): 230-235.
8. Olivares-Rieumont, S., Lima, L., De la Rosa, D., Graham, W., Columbie, I., Santana, J., Sanchez, M. 2007. Water hyacinths (*Eichhornia crassipes*) as indicators of heavy metal impact of a large landfill on the Almendares river near Havana, Cuba. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **79** (6): 583-587.
9. Schneider, S., Melzer, A. 2003. The trophic index of macrophytes (TIM) – a new tool for indicating the trophic state of running waters. *International Review of Hydrobiology* **88** (1): 49-67.
10. Weis, J., Weis, P. 2004. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environment International* **30** (5): 685-700.
11. Windham, L., Weis, J., Weis, P. 2003. Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, *Spartina alterniflora* (cordgrass) and *Phragmites australis* (common reed). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **56** (1): 63-72.
12. Yantasee, W., Lin, Y., Hongsirikarn, K., Fryxell, G., Addleman, R., Timchalk, C. 2007. Electrochemical sensors for the detection of lead and other toxic heavy metals: the next generation of personal exposure biomonitors. *Environmental Health Perspectives* **115** (12): 1683-1690.

6. PRILOG

Projekat:		Hemijska procena rizika sistema voda-sediment-biota u zasticenim podrucjima AP Vojvodine					
Uzorak:		Carska bara					
Frakcija < 2 µm		28.2	%				
Frakcija organske materije		9.84	%				
		Merena vrednost	Korigovana vrednost	Referentna vrednost	Interventna vrednost	Nivo upozorenja	Klasifikacija
Metali							
Arsen (As)	mg/kg	0	0.00	29	55	150	0
Kadmijum (Cd)	mg/kg	0.72	0.70	0.8	12	30	0
Hrom (Cr)	mg/kg	38	35.71	100	380	1000	0
Bakar (Cu)	mg/kg	40	38.07	36	190	400	2
Živa (Hg)	mg/kg	0.15	0.14	0.3	10	15	0
Olovo (Pb)	mg/kg	13	12.55	85	530	1000	0
Nikal (Ni)	mg/kg	19	17.41	35	210	200	0
Cink (Zn)	mg/kg	73	68.43	140	720	2500	0
Mineralna ulja	mg/kg	3120	3170.73	50	5000		3
Policiklični aromatični ugljovodonici							
Naftalen	mg/kg	0.0051	0.005	0.001			
Antracen	mg/kg	0.0016	0.002	0.001			
Fenantren	mg/kg	0.0171	0.017	0.005			
Fluoranten	mg/kg	0.0216	0.022	0.03			
Benzo(a)antracen	mg/kg	0.0122	0.012	0.003			
Krizen	mg/kg	0.0121	0.012	0.1			
Benzo(k)fluoranten	mg/kg	0.013	0.013	0.02			
Benzo(a)piren	mg/kg	0.0116	0.012	0.003			
Benzo(ghi)perilen	mg/kg	0.013	0.013	0.08			
Indeno(1,2,3-cd)piren	mg/kg	0.0208	0.021	0.06			
PAH (suma 10)	mg/kg	0.1281	0.128	1	40		0
PCB ukupni	mg/kg		0.000	0.02	1		0
Pesticidi							
DDD	µg/kg	0	0.00	0.02			0
DDE	µg/kg	0	0.00	0.01			0
DDT	µg/kg	0	0.00	0.09			0
DDD/DDE/DDT	µg/kg	0	0.00	10	4000		0
Aldrin	µg/kg	0	0.00	0.06			0
Dieldrin	µg/kg	0	0.00	0.5			0
Aldrin + Dieldrin	µg/kg	0	0.00				0
Endrin	µg/kg	0	0.00	0.04			0
Drins	µg/kg	0	0.00	5	4000		0
Alfa - HCH	µg/kg	0	0.00	3			0
Beta - HCH	µg/kg	0	0.00	9			0
Gama - HCH	µg/kg	0	0.00	0.05			0
Delta - HCH	µg/kg	0	0.00				0
HCH ukupni	µg/kg	0	0.00	10	2000		0
Alfa Endosulfan	µg/kg	0	0.00	0.01	4000		0
Heptahlor	µg/kg	0	0.00	0.7	4000		0
Heptahlor-epoksid	µg/kg	0	0.00	0.0002	4000		0
Heptahlor + epoksid	µg/kg	0	0.00				0
Konačna klasifikacija		3					

Projekat: Hemijska procena rizika sistema voda-sediment-biota u zasticenim podrucjima AP Vojvodine Uzorak: Ludas Frakcija < 2 µm 34.8 % Frakcija organske materije 29.5 %							
		Merena vrednost	Korigovana vrednost	Referentna vrednost	Interventna vrednost	Nivo upozorenja	Klasifikacija
Metali							
Arsen (As)	mg/kg	0	0.00	29	55	150	0
Kadmijum (Cd)	mg/kg	1.4	0.86	0.8	12	30	1
Hrom (Cr)	mg/kg	120	102.01	100	380	1000	1
Bakar (Cu)	mg/kg	290	193.51	36	190	400	4
Živa (Hg)	mg/kg	0.52	0.43	0.3	10	15	1
Olovo (Pb)	mg/kg	24	17.85	85	530	1000	0
Nikal (Ni)	mg/kg	60	46.88	35	210	200	3
Cink (Zn)	mg/kg	220	155.05	140	720	2500	1
Mineralna ulja	mg/kg	4520	1532.20	50	5000		2
Policiklični aromatični ugljovodonici							
Naftalen	mg/kg	0.00436	0.001	0.001			
Antracen	mg/kg	0.00317	0.001	0.001			
Fenantren	mg/kg	0.118	0.040	0.005			
Fluoranten	mg/kg	0.05894	0.020	0.03			
Benzo(a)antracen	mg/kg	0.0204	0.007	0.003			
Krizen	mg/kg	0.0393	0.013	0.1			
Benzo(k)fluoranten	mg/kg	0.0246	0.008	0.02			
Benzo(a)piren	mg/kg	0.0264	0.009	0.003			
Benzo(ghi)perilen	mg/kg	0.0164	0.006	0.08			
Indeno(1,2,3-cd)piren	mg/kg	0.0178	0.006	0.06			
PAH (suma 10)	mg/kg	0.32937	0.112	1	40		0
PCB ukupni	mg/kg		0.000	0.02	1		0
Pesticidi							
DDD	µg/kg	0	0.00	0.02			0
DDE	µg/kg	1.26	0.43	0.01			0
DDT	µg/kg	0	0.00	0.09			0
DDD/DDE/DDT	µg/kg	1.26	0.43	10	4000		0
Aldrin	µg/kg	0	0.00	0.06			0
Dieldrin	µg/kg	0	0.00	0.5			0
Aldrin + Dieldrin	µg/kg	0	0.00				0
Endrin	µg/kg	0	0.00	0.04			0
Drins	µg/kg	0	0.00	5	4000		0
Alfa - HCH	µg/kg	0	0.00	3			0
Beta - HCH	µg/kg	0.65	0.22	9			0
Gama - HCH	µg/kg	0	0.00	0.05			0
Delta - HCH	µg/kg	0	0.00				0
HCH ukupni	µg/kg	0.65	0.22	10	2000		0
Alfa Endosulfan	µg/kg	0	0.00	0.01	4000		0
Heptahlor	µg/kg	0	0.00	0.7	4000		0
Heptahlor-epoksid	µg/kg	0	0.00	0.0002	4000		0
Heptahlor + epoksid	µg/kg	0	0.00				0
Konačna klasifikacija		4					

Projekat: Hemijska procena rizika sistema voda-sediment-biota u zasticenim podrucjima AP Vojvodine Uzorak: Obedska bara Frakcija < 2 µm 38.7 % Frakcija organske materije 21.2 %							
		Merena vrednost	Korigovana vrednost	Referentna vrednost	Interventna vrednost	Nivo upozorenja	Klasifikacija
Metali							
Arsen (As)	mg/kg	0	0.00	29	55	150	0
Kadmijum (Cd)	mg/kg	0.55	0.39	0.8	12	30	0
Hrom (Cr)	mg/kg	43	33.75	100	380	1000	0
Bakar (Cu)	mg/kg	27	19.08	36	190	400	0
Živa (Hg)	mg/kg	0.07	0.06	0.3	10	15	0
Olovo (Pb)	mg/kg	16	12.37	85	530	1000	0
Nikal (Ni)	mg/kg	86	61.81	35	210	200	3
Cink (Zn)	mg/kg	62	43.86	140	720	2500	0
Mineralna ulja	mg/kg	1230	580.19	50	5000		1
Policiklični aromatični ugljovodonici							
Naftalen	mg/kg	0.00205	0.001	0.001			
Antracen	mg/kg	0.00061	0.000	0.001			
Fenantren	mg/kg	0.017	0.008	0.005			
Fluoranten	mg/kg	0.015	0.007	0.03			
Benzo(a)antracen	mg/kg	0.00529	0.002	0.003			
Krizen	mg/kg	0.00678	0.003	0.1			
Benzo(k)fluoranten	mg/kg	0.0061	0.003	0.02			
Benzo(a)piren	mg/kg	0.0033	0.002	0.003			
Benzo(ghi)perilen	mg/kg	0.00364	0.002	0.08			
Indeno(1,2,3-cd)piren	mg/kg	0.0043	0.002	0.06			
PAH (suma 10)	mg/kg	0.06407	0.030	1	40		0
PCB ukupni	mg/kg		0.000	0.02	1		0
Pesticidi							
DDD	µg/kg		0.00	0.02			0
DDE	µg/kg		0.00	0.01			0
DDT	µg/kg		0.00	0.09			0
DDD/DDE/DDT	µg/kg	0	0.00	10	4000		0
Aldrin	µg/kg	0	0.00	0.06			0
Dieldrin	µg/kg	0	0.00	0.5			0
Aldrin + Dieldrin	µg/kg	0	0.00				0
Endrin	µg/kg	0	0.00	0.04			0
Drins	µg/kg	0	0.00	5	4000		0
Alfa - HCH	µg/kg		0.00	3			0
Beta - HCH	µg/kg		0.00	9			0
Gama - HCH	µg/kg	0	0.00	0.05			0
Delta - HCH	µg/kg	0	0.00				0
HCH ukupni	µg/kg	0	0.00	10	2000		0
Alfa Endosulfan	µg/kg	0	0.00	0.01	4000		0
Heptahlor	µg/kg		0.00	0.7	4000		0
Heptahlor-epoksid	µg/kg		0.00	0.0002	4000		0
Heptahlor + epoksid	µg/kg	0	0.00				0
Konačna klasifikacija	3						