

UNIVERZITET CRNE GORE

VIJEĆU PRIRODNO – MATEMATIČKOG FAKULTETA

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, a u vezi sa članom 24, stav 4, pravila studiranja na postdiplomskim studijama, Vijeće Prirodno-matematičkog fakulteta na IX sjednici, održanoj 18. 09. 2017.god., Odlukom broj 2042, imenovani smo za članove Komisije, u sastavu: dr Marijana Krivokapić, van.prof., mentor, dr Vlatko Kastratović, docent i dr Danilo Mrdak, docent, za ocjenu magistarskog rada pod nazivom: „Analiza zagađenosti rijeke Lim i ocjena bioakumulacije teških metala u mišićnom tkivu skobalja *Chondrostoma nasus* (Linnaeus 1758.) i klijena *Squalius cephalus* (Linnaeus 1758.)” postdiplomkinje Danijele Veličković. Na osnovu predloženog, Komisija daje sljedeći:

IZVJEŠTAJ

Kratak prikaz rada

Magistarski rad, pod nazivom „Analiza zagađenosti rijeke Lim i ocjena bioakumulacije teških metala u mišićnom tkivu skobalja *Chondrostoma nasus* (Linnaeus 1758.) i klijena *Squalius cephalus* (Linnaeus 1758.)” ima 148 strana, 43 tabele, 106 grafikona, 15 slika.

A. Postavljeni cilj

Značaj rijeka za ljude i cjelokupni život je veoma mnogostruk. Pored toga što predstavljaju staništa brojnih životinjskih i biljnih vrsta rijeke imaju vrlo važnu ulogu u privrednim granama. Većina riječnih sistema je degradirana usljed zagađenja, pretjerane eksploatacije bioloških resursa i uništavanja priobalnih područja. Narušavanjem kvaliteta vode dolazi do brojnih posljedica po akvatični svijet. Metali se smatraju toksičnim polutantima, u različitim medijima životne sredine. Mjerenje fizičko-hemijskih parametara daje sliku o trenutnom zagađenju, što znači da mora biti kombinovano sa biomonitoringom, jer živi svijet u akvatičnom okruženju prikazuje kumulativno dejstvo čije promjene ponekad nijesu dovoljne jačine/učestalosti da bi mogle biti registrovane metodama analitičke hemije. Ribe predstavljaju dobre bioindikatore povećanih koncentracija teških metala u akvatičnim ekosistemima. S obzirom na to, da su pri vrhu lanca ishrane, imaju potencijal da bio/akumuliraju metale, tokom životnog ciklusa.

Naučni cilj rada je: analiza zagađenosti rijeke Lim i ocjena bioakumulacije teških metala u mišićnom tkivu ciprimidnih vrsta riba skobalja *Chondrostoma nasus* (Linnaeus 1758.) i klijena *Squalius cephalus* (Linnaeus 1758.). Teški metali među zagađujućim supstancama životne sredine imaju posebno izražajno mjesto, imajući u vidu njihovu toksičnost. Budući da se po prvi put radi ova vrsta istraživanja za rijeku Lim, rezultati ovog rada biće pokazatelj stanja zagađenja ovog vodotoka, kao i bioakumulacije teških

metala u mišićnom tkivu navedenih vrsta. Bioakumulacija predstavlja značajan proces kojim se definiše sudbina zagađivača u životnoj sredini, i koja ima posebno uticaj na organizme višeg trofičkog nivoa, kod kojih je uglavnom evidentno akumuliranje polutanata u toksičnim koncentracijama.

B. Metode

Metodologija istraživanja obuhvata: kombinaciju terenskog i laboratorijskog rada, kao i statističku obradu podataka. Terensko istraživanje vršeno je u toku četiri sezone: proljeće, ljeto, jesen, zima i obuhvatilo je pet lokacija: Zaton (dio vodotoka kod fabrike za eksploataciju šljunka i pijeska), Nedakusi (industrijska zona), Njegnjevo, u blizini fabrike za eksploataciju šljunka i pijeska, klanice, i stočne farme, Gubavač (mjesto gdje se direktno ulivaju neprečišćene otpadne vode stočne i živinarske farme), Dobrakovo (u blizini granice Crne Gore i Srbije).

Uzorkovanje vode

Pojedinačni uzorci vode uzeti su Fridlingerovim bocama sa površine i dubine od 1.2 m i sakupljeni u polietilenskim bocama, u zavisnosti od tipa uzorka. Zatim su konzervirani i transportovani u laboratoriju u što kraćem roku.

Uzorkovanje riba

Riblje vrste skobalj (*Chondrostoma nasus*) i kijen (*Squalius cephalus*) za potrebe ispitivanja izlovljene su mrežarskim i udičarskim alatima. Nakon razvrstavanja i odvajanja i razvrstavanja jedinki skobalja (*Chondrostoma nasus*) mase od 33 g do 708 g i kljena (*Squalius cephalus*) mase od 33.8 g do 338 g, transportovane su terenskim frižiderima u laboratoriju.

Analiza vode

Određivanje fizičko-hemijskih parametara voda: pH vrijednosti, temperature, boje, mutnoće, nitrata, nitrita, sulfata, utroška kalijum permanganata, fluorida, vršeno je koristeći se standardnim metodama (APHA-AWWA-WEF, 1998, Škunca-Milovanović et al, 1990).

Analiza sadržaja metala u vodi

Pošto su donešeni u laboratoriju, uzorci vode su procijedeni kroz hartiju za cijedenje, koja je prethodno isprana sa azotnom kisjelinom od 3%, a nakon toga destilovanom i redestilovanom vodom. Filtrat je sakupljan u prve dvije sezone u bočicama od 1 l, a u druge dvije sezone u sudovima od 3 l. Uzorci vode uzimani su sa površine vode, dubine od 1,2 m.

Koncentracija teških metala u vodi Lima određivana je korišćenjem Indukovane kuplovane plazme-optički emisioni spektrometar (ICP-OES tehnika). Za snimanje kalabracione krive odnosno, pripremu kalabracionih rastvora korišćeni su standardni rastvori : Pb, Cd, Cu, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Hg, As, Sr sadržaja 1000 mg/dm³, proizvođača Merek.

Sadržaj teških metala: Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Hg, As, Fe, Sr određivan je korišćenjem aparata (Spektro ARCOS). Uz pomoć konstruisane kalabracione krive i očitanih vrijednosti apsorbancije određene su koncentracije: Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Hg, As, Fe, Mn, Hg, As u uzorcima vode.

Analiza sadržaja metala u tkivu Chondrostoma nasus i Squalius cephalus

Riblje vrste skobalj (*Chondrostoma nasus*) i klijen (*Squalius cephalus*) izlovljavane su mrežarskim i udičarskim alatima. Nakon toga, dopremljene su u laboratoriju u rashladnoj komori. Za analizu je korišćeno 32 jedinki skobalja od 33 grama -708 grama (od 0⁺ do 5⁺) godina starosti. Dvadeset jedinki ulovljeno je po godišnjim dobima, analizirane su pojedinačno, dok je za 12 jedinki skobalja ulovljenih tokom proljeća analiziran zbirni uzorak

Analizirano je 38 jedinki klijena od 33,8 g do 338 grama, starosti od (0⁺) do (3⁺). Svaka jedinka (ukupno 20) posebno je analizirana na sadržaj teških metala izlovljenih u toku ljeta, jeseni i zime. Za 18 jedinki klijena ulovljenih tokom proljeća i jeseni raden je i zbirni uzorak. Određivanje metala vršeno je u vlažnom tkivu ribe. Uporedo sa tim tkivo ribe je sušeno na 105 °C, a onda na isti način tretirano kao i vlažno tkivo ribe, radi određivanja normalizovanog sadržaja metala u njima. Korišćenjem standardne tehnike Analytical Method Perkin Elmer of AAS vršena je priprema uzoraka za analizu sadržaja teških metala u ribljem tkivu.

Deset grama (10 gr) vlažnog tkiva je odmjereno u staklenim i sterilnim čašama dva grama suvog tkiva suši se na 135 °C, 2 h. Uzorak se zatim prenosi na hladnu peć u kojoj se polako podiže temperatura do 450-500 °C. Nakon toga uzorak je ostavljen da stoji preko noći. Poslije te procedure, ohlađeni uzorak je ostavljen da stoji na sobnoj temperaturi, a zatim je pažljivo tretiran sa 2 ml koncentrovane HNO₃. Nakon pažljivog uparavljanja na vodenom kupatilu ili srednje zagrijanoj ringli, uzorak je prenešen u hladnu peć, gdje je pažljivo podizana temperatura na 450-500 °C u trajanju od jedan sat. Zatim je hlađen ponovo, nakon čega je ponovljen tretman sa HNO₃, do dobijanja pepela koji ne sadrži ugljenik. Uzorak je potom tretiran sa 10 ml HCl konc. i uz pažljivo i lagano zagrijavanje rastvoren je pepeo. Poslije toga uzorak je prenešen u normalni sud uz dodatak 1,5% HCl. Nakon hlađenja, normalni sud je dopunjen do crte. Sadržaji teških metala (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, As, Hg) su određivani korišćenjem aparata PERKINA ELMER Anallyst 300.

Metode statističke obrade podataka

Statistička analiza urađena je nakon dobijanja podataka o sadržaju teških metala u vodi i mišićnom tkivu riba. Korišćen je Pearsonov koeficijent korelacije koji se koristi u statističkoj obradi podataka kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost. Vrijednost koeficijenta korelacije kreće se od -1 do 1. Vrijednost koja je blizu jedan (1) pokazuje jaku pozitivnu korelaciju a kada je blizu -1 negativnu korelaciju. Vrijednost koja je bliža nuli ukazuje na slabu korelaciju. Izračunava se, po sljedećoj formuli:
$$r = \frac{SD_{xy}}{SD_x SD_y}$$

Za ocjenu bioakumulacije teških metala u mišićnom tkivu skobalja (*Chondrostoma nasus*) i klijena (*Squalius cephalus*) izračunat je bioakumulacioni faktor (BAF). Bioakumulacioni factor, izračunat je sljedećom formulom: $BAF = C_o / C_i$, pri čemu C_o predstavlja koncentraciju date supstance u organizmu; C_i - koncentraciju date supstance u životnoj sredini (voda, zemljište) ili hrani. Za lipofilne organske zagađujuće supstance, masa se izražava preko ukupne mase lipidne supstance u organizmu (kao posljedica hemijske sorpcije na čestice i rastvorenu organsku materiju u vodenom stubu, značajno se može umanjiti količina koju će organizmi apsorbovati).

Klasifikacija i kategorizacija vode

Na osnovu uredbe o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda izvršena je kategorizacija vodotoka (*Sl.list Crne Gore br.2/07*). Procjena sadržaja teških metala u ribljem tkivu-mišićnom tkivu izvršena je prema Pravilniku o dozvoljenim koncentracijama teških metala, mitotoksina i drugih supstanci u hrani (*Sl. list Crne Gore 81/2009*).

C. Dobijeni rezultati

Sadržaj teških metala u ispitivanim matriksima u oblasti odabranih lokacija

Ocjena kvaliteta vode na osnovu fizičko-hemijskih parametara

Voda rijeke Lim u pogledu pH vrijednosti za sva četiri godišnja doba, na svim ispitivanim lokacijama odgovarala je klasi A. U toku prolječne i ljetne sezone nije zabilježena mutnoća vode rijeke Lim, dok je za jesenju i zimsku sezonu u pogledu mutnoće, voda odgovarala klasi A i varirala je od 0.91 NTU, registrovana tokom jeseni do 1.68 NTU u toku zime. Prolječna i zimska sezona nijesu donijele povećanje temperature vode, te je u tom smislu voda odgovarala klasi A, dok je za jesen i ljeto temperatura vode rijeke Lim odgovarala klasi A₁, jer se njen opseg kretao od 17.2 -18.8 C°.

Na svim ispitivanim lokacijama rijeke Lim, kvalitet ispitivanih voda odgovarao je klasi A, za sva četiri godišnja doba na osnovu električne provodljivosti. Sadržaj nitrata nije pokazao veća odstupanja za sva četiri godišnja doba, i nije prešao praktične granice kvantitacije, i voda u tom pogledu odgovara klasi A. Prema sadržaju nitrita voda rijeke Lim odgovarala je klasi A na svim lokacijama ispitivanim u toku zime, proljeća, ljeta i jeseni, osim na lokaciji Dobrakovo u toku jeseni gdje je odgovarala klasi A₃. Prema sadržaju rastvorenog kiseonika voda rijeke Lim na odabranim lokacijama odgovarala je klasi S, Š. Sadržaj rastvorenog kiseonika bio je niži u toku jeseni u odnosu na ostale sezone, i to u Dobrakovu. Kvalitet vode na osnovu potrošnje kalijum permanganata odgovarao je klasi A. Najveća vrijednost KMnO₄/l zabilježena je u toku proljeća (4,2 KMnO₄/l). Voda rijeke Lim odgovarala je klasi A₃ na lokalitetima Dobrakovo (tokom proljeća, ljeta i jeseni) i Nikoljac (ljeto) prema sadržaju amonijum jona (NH₄⁺). Na ostalim lokalitetima na osnovu koncentracije amonijum jona voda rijeke Lim odgovarala je klasi A₂.

Analiza metala u vodi

Olovo (Pb)

Koncentracija olova u vodi Lima, tokom prolječne sezone iznosila je <0.0005 mg/l. U toku jeseni i zime sadržaj olova u vodi se nije mijenjao na lokacijama broj 1,2,4,5 (<0.005mg/l), dok je na lokaciji broj 3 utvrđena koncentracija od 0.006 mg/l. Tokom ljeta, na lokaciji broj 2 (Nedakusi), koncentracija Pb je iznosila 0.007 mg/l.

Kadmijum (Cd)

Tokom sve četiri sezone koncentracije Cd bile su ispod granice detekcije instrumenta (<0.0005 Cd/l).

Bakar (Cu)

U toku prolječne sezone koncentracije bakra na ispitivanim lokacijama bile su manje od 0.002 mg Cu/l. Max zabilježene koncentracije bakra zapažamo tokom ljetnje sezone na lokaciji broj 2 (0.005 Cu/l). Najmanje koncentracije su izmjerene na lokacijama broj 4 i 5 (<0.002 mg Cu/l), a na lokacijama 1 i 3 imale su vrijednost 0.002 i 0.003 mg Cu/l. Tokom jesenje sezone, koncentracije Cu na lokacijama 1 (Zaton) i 3 (Njegnjevo) bile su kao i u toku proljeća < 0.002 mg Cu/l. Najveća koncentracije bakra u vodi izmjerene su na lokalitetu 2 (Nedakusi) 0.004 mg Cu/l. Lokacije 4 i 5 su imale vrijednost manju za 0.002 mg Cu/l u odnosu na lokaciju Nedakusi. U zimskom periodu na lokacijama 1,2,3, sadržaj bakra u vodi iznosio je 0.003 mg Cu/l, na lokaciji 4 bio je manji za 0.001 mg Cu/l u odnosu na prve tri lokacije, dok je maksimum zabilježen na lokaciji 5 (0.102mg Cu /l) Voda rijeke Lim na tom lokalitetu odgovara klasi A₂.

Cink (Zn)

Koncentracije Zn varirale su od minimalnih <0.001 mg Zn/l do maksimalnih 0.103 mg Zn/l na lokaciji Zaton. Voda rijeke Lim u pogledu Zn na svim lokacijama pripada klasi A.

Nikal (Ni)

Koncentracija nikla u vodi bila je manja od 0.002 mg Ni/l u toku sva četiri godišnja doba, tokom kojih je i vršeno ispitivanje nikla. Sadržaj Ni je bio manji od MDK (2.0 mg Ni/l) vrijednosti propisanih Pravilnikom.

Hrom (Cr)

Sadržaj ukupnog hroma na ispitivanim lokacijama bio je ispod praktične granice kvantitacije aparata, 0.002 mg Cr/l, u toku sva četiri godišnja doba. Ove vrijednosti pokazuju da sadržaj hroma u vodama Lima ne prelazi granične vrijednosti propisane Pravilnikom.

Mangan (Mn)

U toku prve sezone max koncentracija Mn iznosila je 0.050 mg Mn/l, dok je min bila 0.012 mg Mn/l, prolječna sezona je imala max na lokaciji broj 1 (Zaton), dok je min bio na lokaciji broj 4 (Gubavač). U toku ljeta i jeseni najveći sadržaj Mn u vodi bio je na lokaciji broj 2 (Nedakusi), a minimalni na lokacijama 1 i 4 (Zaton, Gubavač). Za sve sezone nije zapaženo odstupanje od vrijednosti koje propisuje crnogorski Pravilnik. Voda je na svim lokacijama u pogledu sadržaja mangana odgovarala klasi A₃ u toku zime i proljeća, izuzev na dvije lokacije klasi A₂ u toku zimske sezone (Zaton i Dobrakovo) i

proljećne sezone (Gubavač i Dobrakovo). U jesenjoj sezoni voda rijeke Lim je na lokaciji Nikoljac van klase (0.091 mg/l), u Zatonu u okviru klase A₁, a u Njegnjevu, Gubavču, Dobrakovu pripada klasi A₂.

Živa (Hg)

Koncentracije izmjerene žive u vodi bile su iste tokom sva četiri godišnja doba (< 0.0005 mg Hg/l).

Stroncijum (Sr)

Koncentracije stroncijuma bile su najveće na lokaciji broj 1 (Zaton) 0.170 mg Sr/l, a minimalne na lokaciji 4 (Gubavač) <0.104 mg Sr/l. Analiza ovog metala vršena je samo u toku proljećne sezone.

Gvožđe (Fe)

Sadržaj gvožđa u vodi Lima bio je u toku sve četiri ispitivane sezone manji od vrijednosti propisanih crnogorskim Pravilnikom. Najveće koncentracije gvožđa iznosile su 0.678 mg Fe/l (ljetu) i na tom lokalitetu voda odgovara klasi A₂, minimalna koncentracija izmjerena je na lokalitetu broj 4 (0.40 mg Fe/l) u toku ljeta i na toj lokaciji voda odgovara klasi A. Na ostalim lokacijama voda je bila u okviru klase A₁. Ista situacija je i u toku jesenje sezone. Voda rijeke Lim prema sadržaju gvožđa na lokalitetima Nedakusi, Njegnjevo tokom zime i proljeća odgovara klasi A₁, Dobrakovo klasi A, a Zaton klasi A₁-zima i klasi A tokom proljeća.

Arsen (As)

Koncentracije As su ujednačene na svim lokacijama u toku sva četiri godišnja doba (<0.01 mg As/l).

Teški metali u mišićnom tkivu ispitivanih vrsta riba (Chondrostoma nasus i Squalius cephalus)

Olovo (Pb)

Sadržaj analiziranog olova u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus* u toku sve četiri sezone bio je manji od 0.005 mg Pb/kg

Kadmijum (Cd)

Koncentracija Cd u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus*, ulovljenih po sezonama bila je manja od 0.01 mg Cd/kg. Sadržaj kadmijuma je bio ispod vrijednosti MDK (0.1 mg Cd/kg) koja je propisana Pravilnikom o dozvoljenim količinama teških metala, mitotoksina i drugih supstanci u hrani. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) za Cd u mišićnom tkivu skobalja (proljećni uzorci) i kljena (proljećni i jesenji uzorci) iznosile su <0.01 mg Cd/kg.

Bakar (Cu)

Koncentracije Cu u ispitivanim tkivima ribe *Chondrostoma nasus* bile zanemarljivo male i njihova vrijednost je varirala od minimalnih 0.64 mg Cu/kg do max 0.889 mg Cu/kg. *Squalius cephalus*. Sadržaj bakra varira od 0.229 do 0.675 mg Cu/kg. Srednje vrijednosti sadržaja Cu su varirale od 0.013 mg Cu/kg *Chondrostoma nasus* do 0.22 mg /kg *Squalius cephalus*.

Cink (Zn)

U mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* koncentracija cinka u ispitivanim uzorcima riba iznosila je od min 2.91 mg Zn/kg do max 9.977 mg Zn/kg. U tkivu *Squalius cephalus* koncentracije cinka su bile min u uzorcima ispitivanim tokom zime, a najveće u uzorcima ispitivanim tokom ljeta (15.168 mg Zn/kg). Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) ispitivanog cinka varirale su od 8.24 za *Squalius cephalus* do 12.05 mg Zn/kg *Chondrostoma nasus*.

Gvožđe (Fe)

U mišićnom tkivu riba *Chondrostoma nasus* utvrđen je nivo gvožđa od 7.20 do 57.54 mg Fe/kg u ljetnjem periodu, dok je taj nivo u tkivu *Squalius cephalus* iznosio od max 8.748 mg Fe/kg do minimalnih 2.174 mg Fe/kg. Dobijeni rezultati ukazuju da postoji povećan sadržaj gvožđa u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* (riba broj 3, mase 48 g, dužine 32.8) izlovljene tokom ljeta u Dobrakovu u odnosu na MDK za Fe.

Arsen (As)

Sadržaj arsena u većini ispitivanih uzoraka ima vrijednost manju od 0.01 mg As/kg. U uzorcima *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus* tokom proljeća, ljeta i jeseni u krupnijim primjercima riba zabilježene su vrijednosti As od 0.012 do 0.016 mg As/kg.

Živa (Hg)

U mišićnom tkivu ispitivanih riba koncentracija žive bile je različita. Za vrstu *Chondrostoma nasus* najveća izmjerena vrijednost bila je 0.164 mg Hg/kg a najmanja 0.085 mg Hg/kg. Za *Squalius cephalus* zbog kvara aparata nije izmjerena vrijednost za tri sezone (ljeto, zima, jesen). Srednja vrijednost izmjerene žive u *Squalius cephalus* kretala se od 0.072 mg Hg/kg uzorcima tokom proljeća do 0.119 mg Hg/kg uzorcima izlovljenim u toku jeseni.

Mangan (Mn)

Sadržaj mangana (Mn) za *Chondrostoma nasus* iznosio je <0.02 tokom proljetne sezone.

Nikal (Ni)

Dijapazon koncentracije nikla u *Chondrostoma nasus* varirao je od 1.05 do 8.88 mg Ni/kg (srednje vrijednosti).

Na osnovu rezultata ispitivanja, sadržaj metala u ispitivanim tkivima opadao je u sljedećem nizu:

Skobalj (*Chondrostoma nasus*):

Zima- Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As

Proljeće-Fe>Zn>Cu>As>Pb>Cd

Ljeto-Fe>Zn>Cu>As>Pb>Cd

Jesen-Zn>Fe>Cu>Hg>Pb>As>Cd

Klijen (*Squalius cephalus*):

Zima- Zn>Fe>Cu>Hg>Pb>As>Cd

Proljeće- Zn>Fe>Cu>Pb>As>Cd

Ljeto- Zn>Fe>Cu>As>Pb>Cd

Jesen Zn>Fe>Cu>Pb>Cd>As>Hg

Cink i gvožđe su dominantno prisutni u tkivima ispitivanih riba. Sadržaj ostalih ispitivanih elementa Cu, Hg bio je manji u poređenju sa gvoždem i cinkom, dok je sadržaj As, Cd i bio manji u odnosu na ostale ispitivane metale.

Bioakumulacija

Bioakumulacija zavisi od particionog koeficijenta oktanol-voda, temperature, pH metabolizma, starosti i pola organizma, vrste, ponašanja, sezonskog ciklusa. U ovoj studiji utvrđene su visoke vrijednosti BAF za Zn (obje ispitivane vrste riba). S obzirom na to, da postoji veza između nivoa zagađenja akvatične sredine sa bioakumulacijom teških metala u ribama, rezultati pokazuju da su bakar, cink i gvožđe evidentirani u većim koncentracijama u ribljem tkivu. Ovaj rezultat može biti povezan sa činjenicom da se skobalj i klijen kreću između lokacija sa većim nivom zagađenja. Lokacije: Gubavač, Njegnjevo, Nedakusi i Dobrakovo su pod direktnim uticajem otpadnih voda sa poljoprivrednih površina, otpadnih voda stočnih i živinarskih farmi, divljih deponija i dr.

Ispitivani uzorci riba pokazuju najveći BAF za cink, gvožđe i bakar tokom ljeta i jeseni za *Squalius cephalus* i proljeća za *Chondrostoma nasus*. Bioakumulacioni faktor za cink (u tkivu *Chondrostoma nasus*) bio je najveći u uzorcima izlovljenim sa lokacija Gubavač (4214-5540), Nedakusi (403.3), Dobrakovo (947.3) i lokacija Zaton (1796-5250) i Nedakusi (6774) za *Squalius cephalus*. U ovom istraživanju BAF imao je visoke vrijednosti za Fe u uzorcima sa lokacija Gubavač (skobalj), Zaton i Dobrakovo (klijen). Veće vrijednosti BAF-a za Cu su evidentirane u uzorcima skobalja. Rezultati iz ove studije mogu potvrditi da Cu, Fe, Zn imaju slične izvore, koji mogu biti povezani sa istom topografskom oblašću. Za živu, utvrđene su manje vrijednosti BAF-a za obje vrste. Ovo istraživanje pokazalo je da su vrijednosti BAF-a bile najniže za As, Pb i Cd za obje ispitivane vrste. Za olovo BAF je varirao od 7.1 u ljetnim uzorcima do 10 u zimskim prolječnim i jesenjim, dok je kod obje vrste faktor biokamulacije za Cd iznosio 20. Arsen je pokazao nizak nivo BAF za obje vrste.

D. Zaključci o realizovanim ciljevima

U radu je ispitan hemijski kvalitet vode na pet odabranih lokacija rijeke Lim. Analiziran je kvalitet rijeke Lim na osnovu fizičko-hemijskih parametara i sadržaja metala (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, Mn, Hg, As, Fe, Sr). Za potrebe ispitivanja analizirano je po 20 uzoraka vode sa 5 lokacija tokom 4 godišnja doba. Uzorkovanje vode i riba vršeno je 2015. godine u toku četiri sezone: proljeće, ljeto, jesen, zima.

Radi procjene i analize stanja efekata prisutnih polutanata na ihtiofaunu rijeke Lim, urađena je analiza sadržaja teških metala (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, As, Hg, Ni) u mišićnom tkivu ciprinidnih vrsta, skobalja (*Chondrostoma nasus*) i klijena (*Squalius cephalus*). Analize teških metala urađene su atomskim apsorpcionim spektrofotometrom.

U toku zimske sezone kvalitet vode na ispitivanim lokacijama odgovarao je klasi A na osnovu svih ispitivanih parametara, osim nitrita gdje je voda rijeke Lim u tom pogledu odgovarala klasi A_1 (0.003-0.004NO₂). Kvalitet vode rijeke Lim u pogledu sadržaja nitrita odgovara klasi A_1 u Nikoljcu (uže jezgro grada), klasi A u Dobrakovu i Nedakusima. Na lokalitetima Nikoljac (uže jezgro grada) i Zaton voda je klase A_2 , a na lokaciji Dobrakovo klase A_1 u pogledu sadržaja amonijum jona. Ostale izmjerene vrijednosti u toku prolječne sezone na svim lokacijama odgovarale su klasi A. Kada je u pitanju ljetna sezona kvalitet vode na svim lokalitetima u pogledu pH vrijednosti odgovara klasi A_2 . Na lokalitetu broj 1 -Zaton voda je klase A_1 , zbog sadržaja nitrita (0.003), dok na lokacijama Dobrakovo i Nikoljac voda pripada klasi A_2 (0.004-0.006), a ujedno ovaj dio grada je pod velikim antropogenim uticajem otpadnih voda. Kvalitet vode na svim ispitivanim lokacijama odgovara klasi A_2 (0.13-0.16 NH₄⁺/l) u pogledu amonijum jona. Ispitivani fizičko-hemijski parametri u toku jeseni odgovarali su klasi A, osim nitrita i amonijum jona gdje je kvalitet vode na svim lokacijama odgovarao klasi A_2 .

Koncentracija olova na ispitivanim lokalitetima u toku sve četiri sezone bila je manja od MDK i kvalitet vode u pogledu sadržaja olova odgovara klasi A. Sadržaj kadmijuma tokom ispitivanih sezona bio je manji od 0.005 mg Cd/l i u tom pogledu voda rijeke Lim nije zagađena ovim teškim metalom, jer ne postoji prekoračenje preko maksimalno dozvoljenih vrijednosti i voda rijeke Lim odgovara klasi A. Najveće izmjerene koncentracije bakra utvrđene su u Dobrakovu tokom zime (0.102 mg Cu/l). Voda rijeke Lim na osnovu sadržaja bakra odgovara klasi A_2 na lokaciji Dobrakovo, dok je na ostalim lokacijama u klasi A. Vrijednosti nikla, žive i hroma nijesu prekoračile MDK u vodama rijeke Lim, te kvalitet vode u tom pogledu na svim ispitivanim lokalitetima odgovara klasi A. Ustanovljeno je da prema Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda rijeke Lim u pogledu sadržaja cinka ne prelazi granične vrijednosti, te kvalitet vode sa aspekta cinka odgovara na svim lokalitetima klasi A.

Zabilježene vrijednosti mangana ne prelaze granične vrijednosti. Voda rijeke Lim na osnovu izmjerenog sadržaja mangana odgovara klasi A_3 na svim lokacijama, osim na lokacijama 1-Zaton i 5-Dobrakovo tokom zimske sezone gdje odgovara klasi A_2 . Tokom prolječne i ljetnje sezone voda rijeke Lim je na prve tri lokacije pripadala klasi A_3 (0,010 -0,317 mg Mn/l), dok je na lokacijama Gubavač i Dobrakovo pripadala klasi A_2 . Jesenja sezona je donijela promjene kvaliteta vode na lokaciji Nedakusi, gdje je kvalitet vode van propisanih klasa (sadržaj Mn -0.091 mg Mn/l), dok je na lokaciji Zaton voda Lima u okviru klase A_1 , na lokacijama Njegnjevo, Gubavač i Dobrakovo voda odgovara klasi A_3 .

Najveće koncentracije gvožđa iznosile su 0.678 mg Fe/l (ljetno) na lokaciji Nedakusi što odgovara klasi vode A₂, minimalna koncentracija izmjerena je na lokalitetu broj 4 (0.40 mg Fe/l) u toku ljeta i na toj lokaciji voda odgovara klasi A. Prema sadržaju gvožđa voda rijeke Lim na lokacijama Zaton, Dobrakovo, Njegnjevo odgovara klasi A₁, a u Gubavču odgovara klasi A. U proljećnoj sezoni na lokacijama 2, 3, 4 voda rijeke Lim pripadala je klasi A₂ (koncentracije gvožđa su iznosile 0.552 Fe mg/l). Tokom jeseni veće koncentracije gvožđa evidentirane su na lokaciji Nedakusi, gdje je voda bila u okviru klase A₁, A₂. Na osnovu sadržaja metala u vodi rijeke Lim može se zaključiti da otpadne vode sa poljoprivrednih površina, otpadne vode domaćinstava, stočnih farmi, ocjedne vode deponija, tečnih stajnjaka, ali i septičkih jama seoskih naselja predstavljaju glavni razlog zagađenja rijeke Lim. Sa druge strane može se pretpostaviti da porast koncentracije pojedinih metala tokom sezona, može se dešavati i zbog oslobađanja metala iz sedimenata do vode, pod dejstvom temperature i razgradnje organske materije. Koncentracije olova, kadmijima i mangana u mišićnom tkivu ispitivanih riba imale su istu vrijednost tokom sve četiri sezone. Njihovi sadržaj bio je znatno niži u odnosu na druge metale i ispod MDK koje propisuje Pravilnik o dozvoljenim količinama teških metala, mitotoksina i drugih supstanci u hrani.

Sadržaj analiziranog olova u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus* u toku sve četiri sezone bio je manji od 0.005 mg Pb/kg. Koncentracija Cd u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus*, ulovljenih po sezonama bila je manja od 0.01 mg Cd/kg.

Najveća izmjerena vrijednost bakra bila je u *Chondrostoma nasus* (0.889 mg Cu/kg) a nešto manja količina pronađena je u *Squalius cephalus* (0.675) u toku ljetne sezone, dok je u ostalim ispitivanim uzorcima sadržaj bio niži. Najveća koncentracija žive utvrđena je u mišićnom tkivu ribe *Chondrostoma nasus* 0.085-0.164 mg Hg/kg, dok je sadržaj As bio uglavnom manji od 0.01 mg As/kg u *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus*, osim za ljetno i jesen gdje su se vrijednosti As kretale od 0.012-0.016 mg As/kg za obje vrste riba. Dijapazon koncentracije nikla u *Chondrostoma nasus* varirao varira od 1.05 do 8.88 mg Ni/kg (srednje vrijednosti).

Sadržaj gvožđa i cinka bio je veći u odnosu na druge ispitivane metale. Najveći nivo gvožđa je izmjereno u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* (57,4 mg Fe/kg) dok je koncentracija cinka bila veća u mišićnom tkivu *Squalius cephalus* (17,4 mg Zn/kg). Koncentracija svih metala (izuzev gvožđa u mišićnom tkivu, jednog uzorka ribe izlovljene tokom ljeta) bila je manja od maksimalno dozvoljene količine teških metala, mitotoksina i drugih supstanci u hrani koje su propisane Pravilnikom.

Analiza stepena bioakumulacije, biokoncentracije teških metala u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus* pokazuje da postoji korelacija između ispitivanih matriksa vode i riba. Koeficijent korelacije imao je značajnu vrijednost za bakar (Cu) tokom jeseni (0.91), gvožđe tokom jeseni (0.94-0.98) a cink tokom ljeta (0.97) što ukazuje na postojanje jake korelacije između ispitivanih matriksa. Korelacioni koeficijent između sadržaja metala Fe i Zn u vodi i ribama za srednje vrijednosti ($\bar{x}$) pokazuje postojanje potpune korelacije. Vrijednost korelacionog koeficijenta za Cu iznosila je 0.59-0.64 za zimske uzorke što ukazuje na srednje jaku korelaciju. Relativno slaba korelacija (0.40) između sadržaja Cu u vodi i klijenu utvrđena je tokom ljeta. Rezultati iz ove studije mogu potvrditi da Cu, Fe, Zn imaju slične izvore, koji mogu biti povezani sa istom topografskom oblašću. Trofička pozicija je ključni faktor koji utiče na BAF, što je ranije potvrđeno za mnoge polutante.

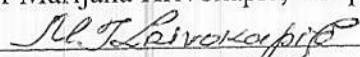
E. Zaključak i prijedlog

U ovom radu istraživanje je obuhvatilo analizu fizičko hemijskih parametara i metala (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Hg, Sr, Fe, As) u vodi rijeke Lim, analizu metala u mišićnom tkivu skobalja (*Chondrostoma nasus*) i klijena (*Squalius cephalus*), kao i ocjenu bioakumulacionog faktora.

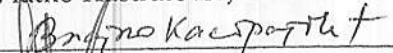
Na osnovu pregledanog materijala Komisija smatra da su naučni cilj rada i metode istraživanja predviđene magistrskim radom urađene, a dobijeni rezultati od značaja za nauku. Komisija predlaže Vijeću PMF-a u Podgorici da prihvati ovaj magistrski rad i zakaže odbranu.

Komisija:

Dr Marijana Krivokapić, van.prof., mentor



Dr Vlatko Kastratović, docent



Dr Danilo Mrdak, docent