

**UNIVERZITET CRNE GORE  
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET**

Mr. Dragana Petrović

**EKOFIZIOLOŠKE, BIOHEMIJSKE  
I ANATOMSKE ODLIKE  
vrste *Trapa natans* L.  
NA PODRUČJU SKADARSKOG JEZERA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Podgorica, 2017. godina

## INFORMACIJE O DOKTORANTU

Ime i prezime:	Dragana Petrović
Datum i mjesto rođenja:	21.04.1978. godine, Bijelo Polje
Naziv završenog postiplomskog studijskog programa :	Biološki fakultet, Beograd smjer – Ekologija biljaka
Godina završetka:	2006.

## INFORMACIJE O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Naziv studija:	Doktorski studijski program Biologija
Naziv teze:	Ekofiziološke, biohemiske i anatomske odlike vrste Trapa natans L. na području Skadarskog jezera
Fakultet na kome je disertacija odbranjena:	Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore

## UDK, OCJENA I ODBRANA DOKTORSKE DISERTACIJE

Datum prijave doktorske teze:	18. 11. 2008. godine
Datum sjednice Senata Univerziteta na kojoj je prihvaćena teza:	4. 02. 2009. godine
Komisija za ocjenu podobnosti teze i kandidata:	Dr Gordan Karaman, red. Prof. PMF-a, Univerzitet Crne Gore Dr Vukić Pulević, red. Prof. PMF-a, Univerzitet Crne Gore Dr Sladana Krivokapić, van. Prof. PMF-a, Univerzitet Crne Gore
Mentor:	Dr Sladana Krivokapić, van. Prof. PMF-a, Univerzitet Crne Gore

Komisija za ocjenu  
doktorske disertacije:

Dr Jadranka Luković, red. Prof. PMF-a,  
Univerzitet u Novom Sadu

Dr Slađana Krivokapić, van.Prof. PMF-a  
Univerzitet Crne Gore

Dr Goran Anačkov , van. Prof. PMF-a  
Univerzitet u Novom Sadu

Dr Danka Caković, docent PMF-a  
Univerzitet Crne Gore

Dr Vesna Vukašinović-Pešić, docent MTF-a  
Univerzitet Crne Gore

Komisija za odbranu  
doktorske disertacije:

Dr Jadranka Luković, red. Prof. PMF-a,  
Univerzitet u Novom Sadu

Dr Slađana Krivokapić, van.Prof. PMF-a  
Univerzitet Crne Gore

Dr Goran Anačkov , van. Prof. PMF-a  
Univerzitet u Novom Sadu

Dr Danka Caković, docent PMF-a  
Univerzitet Crne Gore

Dr Vesna Vukašinović-Pešić, docent MTF-a  
Univerzitet Crne Gore

Datum odbrane:

30.03.2017.god.

## ZAHVALNICA

*Ova stranica posvećena je svima koji su svojim nesebičnim trudom i zalaganjem olakšali rad na izradi doktorske disertacije i doprinjeli da ona ugleda svjetlost dana.*

*Neizmjernu zahvalnost na ukazanom povjerenu, posvećenom vremenu, razumjevanju dugujem svom mentoru prof. dr Sladjani Krivokapić, koja je na pravi način, svojim znanjem i idejama usmjeravala rad na disertaciji, a svojim dragocjenim savjetima pružala iskrenu prijateljsku podršku.*

*Veliku zahvalnost dugujem prof. dr Jadranki Luković i prof. dr Goranu Anačkovu sa De- partmana za biologiju i ekologiju, Univerziteta u Novom Sadu koji su svojim stručnim savjetima i sugestijama učinili da kvalitet istraživanja podignem na viši nivo.*

*Želim da se zahvalim i mr Nikoli Pejoviću, na nesebičnoj pomoći i povjerenu, omogućivši mi rad u laboratoriji za patologiju Specijalističke Veterinarske Ustanove u Podgorici.*

*Takođe se zahvaljujem i kolegi Vulu Despotoviću koji mi je pružio ogromnu pomoć pri uzorkovanju materijala na Skadrskom jezeru i time mi znatno olakšao rad.*

*Hvala:*

*Dr Dragani Milosević i Dr Danki Caković koje su kao moji dugogodišnji prijatelji uvijek bile tu da me ohrabre i potstaknu u onim trenucima kada sam znala i da posustanem.*

*Kolegama sa studijskom programa za Biologiju na podršci i razumjevanju.*

*Posebno se zahvaljujem svojoj porodici, na neizmjernoj podršci, strpljenju, pruženoj ljubavi i razumjevanju, sa njima je svaki korak lakši a uspjeh vredniji.*

*Ovaj rad posvećujem svom ocu, kome sam beskrajno zahvalna na pruženoj ljubavi, podršci, snazi da istrajem na ovom istraživačkom putu. Iako me ne može zagrliti i biti pored mene u ovom trenutku, sigurna sam da me negdje sa nebeskih visina sa ponosom posmatra i raduje se našem zajedničkom uspjehu. Hvala ti tata...*

*Autor*

## P R E D G O V O R

Ovom disertacijom želi se dati doprinos boljem razumijevanju ekofizioloških i ekohemijskih procesa koji se odvijaju u jezerskom ekosistemu (voda – sediment – organizam). Kako metali predstavljaju osnovni faktor antropogenog zagađivanja, ali su istovremeno i prirodni sastojak voda to je poznavanje njihovog sadržaja, načina vezivanja i stepena moguće bioakumulacije, izuzetno značajan faktor za procjenu kvaliteta vode jezera.

S obzirom na veoma mali broj literaturnih podataka, ova disertacija obuhvatila je i ispitivanje biokoncentracione i translokacione sposobnosti vrste *Trapa natans L.*, prema teškim metalima u cilju korišćenja ove vrste kao eventualnog bioindikatora zagađenja voda Skadarskog jezera. Utvrđivanjem antioksidativnog statusa vrste *Trapa natans L.*, pod uticajem teških metala data je procjena mogućnosti korišćenja enzima katalaze (CAT), gvajakol-peroksidaze (GPX) i amino-kiseline proline (Pro), kao biohemijskih indikatora stepena zagađenja vodene sredine teškim metalima.

Pristupi izloženi u ovom radu mogu biti značaji u daljim ispitivanjima koje bi trebalo preduzeti u cilju utvrđivanja mjera koje se odnose na kontrolu obogaćenja ovog ekosistema teškim metalima kao i za definisanje monitoringa u kome značajno mjesto treba da imaju fiziološko-biohemijski parametri makrofita.

## IZVOD

Makrofitska vegetacija ima veoma važnu ulogu u funkcionisanju jezerskog ekosistema. Makrofite posjeduju sposobnost da apsorbuju različite zagađujuće materije, uključujući i teške metale, te mogu biti i značajni bioidikatori stanja vodenih ekosistema. Budući da u svojim tkivima mogu da akumuliraju i do  $10^5$  puta veću koncentraciju metala u odnosu na njihov sadržaj u vodenoj sredini, analiza sadržaja metala u tkivima makrofita je izuzetan pokazatelj, za procjenu stanja kvaliteta voda jezera.

U cilju da se što potpunije izuči stanje vodene sredine Skadarskog jezera sa biološkog odnosno ekofiziološkog aspekta i otkriju promjene kao rezultat eventualnog zagađivanja, istraživanja u okviru ovog rada obuhvatila su: a) ispitivanje sadržaja metala u listu, stablu i korijenu vrste *Trapa natans* L. b) određivanje sadržaja metala u vodi i sedimentu c) određivanje bikoncentracione i translokacione sposobnosti ispitivane vrste d) utvrđivanje antioksidativnog statusa vrste *Trapa natans* L. kroz procjenu korištenja enzima katalaze, gvajakol-peroksidaze i aminokiseline prolina kao biohemijskih idikatora stepena zagađenja vodene sredine teškim metalima kao i e) analizu anatomske karaktere vrste *Trapa natans*.

Uzorci biljnog materijala, vode i sedimenta uzeti su sa ukupno devet lokaliteta tokom maja i avgusta 2012. godine.

Rezultati istraživanja su pokazali da se koncentracija svih ispitivanih metala u pojedinim organima *Trapa natans* L. značajno razlikuje od njihove koncentracije u vodi i sedimentu. Najveće vrijednosti nađene su za Fe, Mn i Zn, a najmanje za Co, Cd i Pb. Maksimalne koncentracije za sve ispitivane metale registrovane u korijenu vrste *Trapa natans* L. što predstavlja idikaciju da ova vrsta posjeduje neki od specifičnih mehanizma tolerancije na povećanu koncentraciju metala, i da može da bude značajna u studijama

biomonitoringa za procjenu kontaminacije Jezera tragovima metala. Od svih analiziranih metala Zn ima najviše uticaja na fiziološko-biohemijske procese u ispitivanoj biljnoj vrsti, u vodenom ekosistemu kakvo je Skadarsko jezero.

Budući da je Skadarsko jezero jedan od najznačajnih prirodnih resursa Crne Gore očuvanje, zaštita i unapređenje Skadarskog jezera kao Nacionalnog parka je od posebne važnosti.

Ključne riječi: teški metali, sediment, *Trapa natans* L., bioakumulacija, bioidikator, katalaza (CAT), gvajakol-peroksidaza (GPX), prolin (Pro)

## ABSTRACT

Macrophyte vegetation is very important for Lake ecosystem functioning. Macrophytes have the ability to absorb different pollutants, including heavy metals, therefore they can be used as significant bioindicators of the state of aquatic ecosystem. Due to the fact that they can accumulate up to 105 times greater metal concentration in comparison to their content in aquatic environment, analysis of metal content in macrophyte tissue is an exceptional indicator used for assessment of lake water quality.

Aiming at as comprehensive as possible analysis of the state of aquatic environment of Lake Skadar from biological and ecophysiological perspective, and aiming at identifying changes which are the result of possible pollution, the research in this paper was comprised out of: a) analyzing metal contents in leaf, stem and root of specie *Trapa natans* L. b) identifying metal content level in water and sediment c) identifying bioconcentration and translocation ability of the analyzed specie d) identifying antioxidant status of specie *Trapa natans* L. by means of assessing the use of catalase enzyme, quaiacol-peroxidases and amino acid proline as biochemical indicators of aquatic environment pollution levels with heavy metals, as well as e) analysis of anatomic characteristics of *Trapa natans* L. specie.

Plant material, water and sediment samples were taken from the total of nine locations during May and August of 2012.

Research results show significant difference in concentration of all analyzed metals in particular organs of *Trapa natans* L. in comparison to their concentration in water and in sediment. The highest values were found for Fe, Mn and Zn, and the lowest for Co, Cd and Pb. Maximum concentrations for all analyzed metals were registered in the root of *Trapa natans* L. specie indicating that the specie has one of the specific tolerance mechanisms of increased metal concentration, and it can be significant for biomonitoring studies

for assessment of the Lake contamination with metal trace. Zn has the greatest impact on physiological-biochemical processes within the analyzed plant, of all the analyzed metals, in aquatic ecosystem such as Lake Skadar

Lake Skadar is one of the most important natural resources in Montenegro, and the preservation, protection and improvement of Skadar Lake as National Park is of particular importance.

Key words: heavy metals, sediment, *Trapa natans* L., bioaccumulation, bioindicator, catalase (CAT), guaiacol-peroxidases (GPX), proline (Pro).

## SADRŽAJ

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. CILJ RADA .....	5
3. PREGLED LITERATURE .....	7
3.1. Vegetacija Skadarskog jezera .....	7
3.2. Pregled dosadašnjih istraživanja vrste <i>Trapa natans</i> .....	10
3.2.1. Rasprostranjenje vrste <i>Trapa natans</i> L.....	11
3.3. Teški metali u prirodnim vodama.....	12
3.3.1. Oblici pojavljivanja i interakcije teških metala u vodenoj sredini .....	14
3.3.2. Teški metali u jezerskim vodama .....	17
3.4. Usvajanje i translokacija metala u biljkama i fitoremedijacija .....	19
3.4.1. Uticaj teških metala na biljke .....	23
3.5. Ispitivani metali u sistemu sediment – voda – biljka.....	33
3.6. Apsorpcija metala kod vrsta roda <i>Trapa</i> .....	37
3.7. Sadržaja metala u vodi, sedimentu i makrofitama Skadarskog jezera .....	35
3.8. Oksidativni stres i enzimi antioksidativne zaštite .....	37

3.8.1. Mehanizmi antioksidativne zaštite.....	39
3.8.2. Enzimski antioksidansi .....	39
3.8.3. Prolin kao indikator stresa izazvanog teškim metalima .....	43
4. MATERIJAL I METODE .....	46
4.1. Opis istraživanog područja .....	46
4.1.1. Prirodne karakteristike basena Skadarskog jezera .....	46
4.1.2. Geološki sastav, geomorfologija i hidrografija Skadarskog jezera .....	47
4.1.3. Klimatske odlike.....	49
4.1.4. Fizičko-hemijuške osobine voda Jezera .....	49
4.2. Istraživano područje .....	50
4.3. Opis ispitivane vrste ( <i>Trapa natans L.</i> ) .....	51
4.4. Uzimanje uzoraka na terenu .....	54
4.4.1. Uzimanje uzoraka vode .....	54
4.4.2. Uzimanje uzoraka sedimenata .....	54
4.4.3. Uzimanje uzoraka biljnog materijala (korijen, stabljika i list).....	54
4.4.3.1. Determinacija uzoraka biljnog materijala .....	54

4.5. Priprema uzorka za analizu .....	55
4.5.1. Laboratorijsko posuđe i reagensi .....	55
4.5.2. Priprema uzorka vode za određivanje sadržaja teških metala .....	55
4.5.3. Određivanje fizičko-hemijskih parametara vode Skadarskog jezera.....	55
4.5.4. Priprema uzorka sedimenta za određivanje sadržaja teških metala.....	56
4.4.4.3. Određivanja sadržaja teških metala u uzorcima vrste Trapa natans.....	56
4.6. Geo-hemijski faktori sedimenta .....	57
4.6.1. Geo-akumulacioni indeks (GeOI) .....	57
4.6.2. Određivanje faktora kontaminacije (CF) .....	57
4.6.3. Indeks opterećenja zagađenjem (Pollution Load Index, PLI) .....	58
4.7. Metode određivanja aktivnosti enzima antioksidativne zaštite.....	58
4.7.1. Spektrofotometrijsko određivanje aktivnosti katalaze (CAT) .....	58
4.7.2. Spektrofotometrijsko određivanje aktivnosti gvajakol-peroksidaze (GPX).....	59
4.8. Određivanje sadržaja slobodnog prolina (Pro) .....	59

4.9. Određivanje koncentracije fotosintetskih pigmenata.....	60
4.10. Određivanje anatomske karakteristike vrste <i>Trapa natans</i> .....	61
4.11. Statistička obrada podataka.....	62
<b>5. REZULTATI .....</b>	<b>64</b>
5.1. Fizičko-hemische karakteristike voda	
Skadarskog jezera .....	64
5.2. Sadržaj teških metala u vodi Skadarskog jezera .....	65
5.3. Sadržaj teških metala u sedimentima Skadarskog jezera .....	66
5.4. Analiza antropogenog zagađenja sedimenta Skadarskog jezera.....	68
5.5. Sadržaj teških metala i njihova raspodjela kod vrste <i>Trapa natans</i> .....	72
5.6. Biokoncentraciona i translokaciona sposobnost vrste <i>Trapa natans</i> .....	86
5.7. Korelaciona analiza između sadržaja teških metala u organima <i>Trapa natans</i> i sedimenta Jezera .....	89
5. 8. Aktivnost enzima antioksidativne zaštite.....	93
5.8.1. Aktivnost enzima katalaze (CAT) u listu i korijenu vrste <i>Trapa natans</i> .....	93
5.8.2. Aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze (GPX) u listu i korijenu vrste .....	94

5.9. Sadržaj proлина u listu i korijenu vrste <i>Trapa natans</i> .....	95
5.10. Korelaciona analiza sadržaja metala (list/korijen) i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite i proлина .....	97
5.11. Sadržaj fotosintetskih pigmenata kod vrste <i>Trapa natans</i> .....	99
5.12. Analiza anatomskih karaktera vrste <i>Trapa natans</i> .....	102
5.12.1. Analiza glavnih komponenti (PCA) stabla.....	103
5.12.2. Analiza glavnih komponenti (PCA) liske i lisne drške .....	104
5.12.3. Diskriminantna analiza (DA) .....	107
5.12.3.1. Diskriminantna analiza (DA) stabla .....	108
5.12.3.2. Diskriminantna analiza (DA) liske i lisne drške .....	109
6. DISKUSIJA.....	112
7. ZAKLJUČCI .....	120
Literatura:.....	125

## UVOD

## 1. UVOD

Skadarsko jezero se odlikuje izuzetnim prirodnim i privrednim vrijednostima, bogatstvom i raznovrsnošću flore i faune, među kojima su prisutne brojne endemične i reliktnе vrste različitog porijekla i starosti. Sve ove odlike učinile su da Jezero 1983. godine bude proglašeno za Nacionalni park i da se na njemu i dalje obavljaju obimna multidisciplinarna istraživanja. Međutim, snažan antropogeni uticaj u posljednjih nekoliko decenija kako u širem, tako i u užem slivnom području i neposrednoj okolini Jezera, prijeti da dovede do degradacije kvaliteta voda Skadarskog jezera, a samim tim i do izmjena u sastavu i strukturi njegovog biljnog i životinjskog svijeta. Zbog toga je očuvanje, zaštita i unapređenje Skadarskog jezera kao Nacionalnog parka od izuzetnog značaja.

Makrofitska vegetacija ima izuzetno veliki značaj u funkcionalisanju jezerskog sistema, koji je prije svega izražen u primarnoj produkciji organske materije, zatim u primarnoj produkciji kiseonika, određuje svjetlosni režim, ima značajnu ulogu u potrošnji hranljivih soli, a istovremeno predstavlja sklonište za različite vrste organizama. Takođe, u novije vrijeme sve se više pridaje značaja i fitofiltracionoj ulozi makrofita, koja se ogleda u njihovoј sposobnosti da vrše apsorpciju i akumulaciju štetnih materija, i na taj način doprinose povećanju kvaliteta jezerske vode. U brojnim radovima posljednjih decenija mnoge vrste makrofita korišćene su kao bioindikatori zagađenosti vodenih ekosistema, naročito u pogledu sadržaja i raspodjele teških metala, budući da u svojim tkivima mogu sadržati i do  $10^5$  puta veću koncentraciju metala u odnosu na njihov sadržaj u vodenoj sredini (Whitton i Kelly, 1995; Cardwell i sar., 2002; Kumar i sar., 2006).

Poznato je da su metali prirodni sastojci slatkovodnih ekosistema u kojima se nalaze u relativno niskim koncentracijama. Njihove prirodne promjene su relativno malo izražene. Međutim, intenzivan razvoj industrije i urbanizacije posljednjih decenija učinio je da su mnoga jezera i rijeke neposredno ili posredno izloženi uticaju brojnih zagađivača različitog sastava i stepena toksičnosti. Od neorganskih zagađivača posebno značajnu ulogu imaju teški metali, koji su po pravilu sastavni dio otpadnih voda mnogih industrija. Negativni uticaji na biljne i životinjske organizme do kojih može doći uslijed povećanja koncentracije teških metala u vodenim ekosistemima ogledaju se, prije svega, u promjenama na ćelijskim membranama i njihovoј propustljivosti, uticaju na tok ćelijskih procesa i sl. (Migocka i Klobus, 2007). Sve to uzrokuje izmjene u enzimatskim procesima, a time i promjene u razviću i reprodukciji biljnog i životinjskog svijeta (Vardanyan i Ingole, 2006; Rai, 2009; Mazej i sar., 2010).

Različite vrste makrofita imaju različit kapacitet za određene metale ne samo u pogledu bioakumulacije metala iz sedimenta već i njihove translokacije prema nadzemnim organima (Mazej i Grem, 2009; Baldantoni i sar., 2004). Bioakumulaciona sposobnost makrofita zavisi od više faktora: pH, koncentracije nutrijenata u vodi i sedimentu, mikrobne aktivnosti, tvrdoće vode i fizičkih faktora (Baldantoni i sar., 2004; Kumar i sar., 2006). Poznavanje sadržaja teških metala u različitim segmentima (voda – sediment – biljka) je od izuzetnog značaja, kako u procjeni kvaliteta stanja vodenih ekosistema, tako i u pogledu blagovremenog preduzimanja eventualnih mjera u cilju sprečavanja negativnih posljedica.

Povišene koncentracije teških metala uzrokuju oksidativni stres uključujući stvaranje reaktivnih kiseoničnih vrsta (ROS). Antioksidativna zaštita kao fiziološki proces funkcioniše neprestano u zdravoj biljci (organizmu) i ima za cilj da spriječi štetno djelovanje prooksidativnih faktora. Sistem antioksidativne zaštite obuhvata enzimske i neenzimske antioksidante. Uloga enzima antioksidativne zaštite je u biotransformaciji primarnih i sekundarnih reaktivnih vrsta ( $O_2 \cdot$ ,  $H_2O_2$ ,  $R\cdot$ ,  $RO\cdot$  i  $ROO\cdot$ ) u manje aktivna jedinjenja, kao i u obezbjeđivanju dovoljne količine redukcionih ekvivalenta u ćeliji, neophodnih za prevenciju razvoja oksidativnog stresa. Od enzima antioksidativne zaštite najznačajniji su: katalaza, superoksidna-dismutaza, gvajakol-peroksidaza i glutation-reduktaza (Aldini i sar., 2010).

Kada je u pitanju ispitivanje sadržaja teških metala u makrofitama Skadarskog jezera, treba istaći da u literaturi postoji neznatan broj podataka o njihovoj koncentraciji, sezonskom variranju i raspodjeli u različitim biljnim organima (Stešević i sar., 2007; Kastratović i sar., 2013).

U okviru ove disertacije za potrebe istraživanja odabrana je vrsta *Trapa natans* L., vodena biljka koja je široko rasprostranjena, naročito u sjevernom dijelu Skadarskog jezera. Budući da se radi o flotantnoj vodenoj biljci, izložena je zagađujućim materijama ne samo iz vodene sredine već i onima koje dospijevaju iz atmosfere. Izuzetno velika biomasa čini ovu vrstu potencijalno značajnom i u procesu fitoremedijacije (Kumar i sar., 2002; Sweta i sar., 2015).

## CILJ RADA

## 2. CILJ RADA

U okviru ovog rada postavljeni su sljedeći ciljevi:

- Odrediti sadržaj teških metala (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb i Zn) u vodi i sedimentu Skadarskog jezera, kao i dati procjenu antropogenog zagađenja sedimenata Jezera.
- Odrediti sadržaj ispitivanih metala u korijenu, stablu i listu vrste *Trapa natans*.
- Utvrditi biokoncentracionu i translokacionu sposobnost ispitivane vrste prema teškim metalima u cilju korišćenja ove vrste kao eventualnog bioindikatora zagađenja u jednom takvom specifičnom vodenom ekosistemu, kakvo je Skadarsko jezero. Kako metali predstavljaju osnovni faktor antropogenog zagađivanja, ali su istovremeno i prirodni sastojak voda, to je poznavanje njihovog sadržaja, načina vezivanja, migracije i stepena moguće bioakumulacije, izuzetno značajan faktor za procjenu kvaliteta vode i za razumijevanje ekofizioloških i ekohemijskih procesa koji se odvijaju u vodenoj sredini.
- Imajući u vidu veoma mali broj literaturnih podataka, cilj ovog rada je i dopuniti postojeća znanja o antioksidativnom statusu vrste *Trapa natans* pod uticajem teških metala, kroz procjenu mogućnosti korišćenja enzima katalaze (CAT), gvajakol-peroksidaze (GPX) i amino-kisjeline prolina (Pro), kao biohemijskih indikatora stepena zagađenja vodene sredine teškim metalima.
- Na osnovu anatomske karaktera ispitivane vrste u zavisnosti od ekoloških uslova koji vladaju na različitim lokalitetima, doći do biološke karakterizacije ovog jezerskog sistema s ekofiziološkog aspekta.

## PREGLED LITERATURE

### 3. PREGLED LITERATURE

#### 3.1. Vegetacija Skadarskog jezera



Slika 1: Makrofite na Skadarskom jezeru (Petrović, 2012)

Vegetacija i flora Skadarskog jezera bile su predmet detaljnih i višegodišnjih izuzetno predanih istraživanja većeg broja botaničara koji su ustanovili i njihovu izrazito dobru zoniranost i okarakterisali i opisali brojne fitocenoze ovog ekološki jedinstvenog jezerskog sistema Balkanskog poluostrva (Černjavski i sar., 1949; Lakušić, 1983; Blaženčić i Blaženčić, 1983; Lakušić i Pavlović, 1976, 1981). Cjelokupna istraživanja pokazuju da je zoniranje vegetacije u jezerima uslovljeno različitim faktorima: dubinom vode, svjetlosnim režimom, termičkom stratifikacijom itd. U skladu s tim, jasno izraženo zoniranje vegetacije odražava se manje ili više pravilnom smjenom pojaseva emerzne, flotantne i submerzne vegetacije, u vidu koncentričnih krugova od središnje, slabo pokrivenе biljkama površine Jezera, u pravcu priobalja i dalje na obalama Jezera u smjeru opadanja vlažnosti podlage. Najdublje djelove vodenog biotopa u najvećem broju slučajeva zauzima vegetacija algi i facijesi sa submerznim vaskularnim makrofitama (vrste roda *Myriophyllum*, *Ceratophyllum*, kao i submerzne vrste roda *Potamogeton*), dok pliće djelove Jezera obrastaju flotantne biljke, među kojima, prije svega, *Nuphar luteum*, *Nymphaea alba*, *Trapa sp.*, *Potamogeton sp.* itd. Na prelazu između vodene i suvozemne sredine, ka obalama Jezera, javlja se, najprije, pojas trske i rogoza (*Phragmites sp.*, *Typha sp.*), a zatim, još bliže obali, pojas krupnih oštrica, prije svega zastupnika roda *Carex* (Černjavski i sar., 1949; Adams, 1981).

**Submerzne, flotantne i emerzne makrofite** su vidljiva karakteristika Skadarskog jezera. Makrofite su značajni producenti organskih supstanci, imaju važnu ulogu u ciklusima ishrane u jezerskom ekosistemu, a u isto vrijeme predstavljaju odlično sklonište i podlogu za razvoj mnogobrojnih biljnih i životinjskih vrsta (Janković, 1983, 1998).

Zbog male dubine Jezera vertikalna diferencijacija njegovih fitocenoza nije naročito izražena, ali se ipak u njemu mogu razlikovati 3–4 pojasa vegetacije. Ovo zoniranje nastaje, prije svega, kao posljedica različitih svjetlosnih uslova, a manje zbog termičke stratifikacije koja je slabo izražena, ali veoma važna u opštem ciklusu kruženja supstanci u okviru ovog sistema (Stanković, 1934).

Submerzna vegetacija obuhvata zajednice *Najadetum marinae* F u k. 1961, *Potameto – Najadetum* H i č. i M i c. 60, *Potametum perfoliati* L a k u š i č i P a v l o v i č 1976. i *Potametum lucentis* H u e c k 31, koje pripadaju svezi *Potamion erosibircum* (W. K o c h 26) O b e r d 56.

Dno Jezera čija dubina varira od 5 do 8 m, obrasio je vegetacijom asocijacije *Najadetum marinae* F u k. 1961. Ovo je najskiofilnija zajednica u poređenju s ostalim zajednicama Jezera, a dominantna vrsta u njoj je *Najas marina*. Izgrađuju je još *Potamogeton perfoliatus*, *Myriophillum spicatum*, *Valisneria spiralis*, dok se vrsta *Najas minor* javlja samo mjestimično. Florističko siromaštvo zajednice objašnjava se oslabljenim svjetlosnim režimom ovog staništa. Ova asocijacija se nastavlja od Skadarskog jezera prema Jadran-skom moru, preko brakičnih voda ušća rijeke Bojane (Lakušić i Pavlović, 1981).

Iznad prethodno pomenute fitocenoze je zajednica *Potameto – Najadetum* H i č. i M i c. 60, koja se nalazi u više plićem litoralu, a koju izgrađuju predstavnici roda Potamogeton (*P. crispus*, *P. pectinatus*). I u ovoj zajednici prisutne su i vrste roda Chara.

*Potametum perfoliati* (Lakušić i Pavlović, 1976) je asocijacija koja se često javlja u zoni između jednog i tri m dubine i predstavlja zajednicu (ili facijese) s većim brojem vrsta. Ovo je asocijacija koja naseljava područje hladnije vode, tako da se može naći oko sublakustičnih izvora i uz ušća hladnijih pritoka. Dominantna vrsta je *Potamogeton perfoliatus*, a najveći broj konstituenata zajednice pripadaju hidrofitama.

*Potametum lucentis* H u e c k 31, zajednica koja se razvija u priobalnom dijelu Jezera, a prisutna je i u Crnčićkoj rijeci. Ona je znatno floristički siromašnija u poređenju s prethodnom zajednicom. Dominantne vrste su *Potamogeton lucens* i *Ceratophyllum demersum*, a značajno mjesto u asocijaciji pripada i vrstama rodova *Spirogira* i *Zygnum*.

Zona Jezera koja je totalno prekrivena emerznom i flotantnom vegetacijom obuhvata površinu od  $33,5 \text{ km}^2$ , a čine je sljedeći djelovi Jezera:

1. delta Morače, uključujući i Tanki rt ( $3 \text{ km}^2$ );
2. Tanki rt do Podhumskog zaliva ( $10,3 \text{ km}^2$ );
3. Virpazarski zaliv, Godinje zaliv i mali zalivi u Crnjice i Raduš, ( $4,1 \text{ km}^2$ );
4. Vučko blato ( $12,6 \text{ km}^2$ );
5. Crnojevića Rijeka ( $3,5 \text{ km}^2$ ).

**Flotantna vegetacija** Jezera pripada svezi *Nymphaeion* O b e r d 57, i diferencira se u više asocijacije od kojih su najvažnije: *Myriophyllo – Nupharatum lutei* W. K o c h 26, *Nymphaeidetum peltatae* (A ll. 26 ) O b e r d. i Th. M u l l. 60. Ove fitocenoze najčešće naseljavaju vodu dubine od jednog do tri m. Flotantnoj vegetaciji pripadaju i zajednice *Nymphaeetum albo – luteae* N o w i n s k i 1928. i *Trapetum natantis* Th. M u l l et G o r s. 60. U prvoj dominantnu ulogu imaju bijeli i žuti lokvanj i nekoliko submerznih vrsta: *Myriophyllum spicatum*, *Ranunculus circinatus*, *Potamogeton crispus*.

**Trapetum natantis** je široko rasprostranjena zajednica na Skadarskom jezeru. *Trapa natans* ili kasoranja (Sl. 1) stvara svoje prostrane populacije i zajednice u unutrašnjem, dubljem dijelu flotantnih makrofita, nadovezujući se neposredno na pojas submerznih makrofita. Samo ponegdje ona se dodiruje s grupacijama *Scripus lacustris*. Prema pličim djelovima Jezera pojedinačno se neposredno dodiruje s flotantnom vegetacijom bijelog lokvanja (*Nymphaea alba*), ali ima djelova gdje se ona povremeno mijesha čak i sa populacijom trske (*Phragmites communis*). Posebno velika prostranstva kasoranja zauzima na sjevernoj obali Jezera, od Rijeke Crnojevića, pa preko Vranjine i Plavnice, sve do albanske granice na Jezeru. Ova asocijacija je rijetka na dubljim i krševitim, južnim obalama Jezera.

Važno je napomenuti da se submerzna vegetacija Skadarskog jezera nastavlja na submerznu vegetaciju rijeka koje se ulivaju u Jezero, tj. na zajednice sveze *Ranunculion fluitans* Neuhs. 59, dok se na flotantnu vegetaciju Jezera nadovezuje **emerzna vegetacija** reda *Phragmitetalia* W. Koch 26.

Najznačajnije zajednice **emerzne vegetacije** su: *Eleochari – Hippuridetum* Passage 1955, *Sparganio – Glycerietum fluitantis* B r. – B l. 1925, *Scirpo – Phragmitetum* W. K o c h 1926, *Menthetum aquatica* (Lakušić i Pavlović, 1976) i *Ludwigietum – Palustris*

(Lakušić i Pavlović, 1976). U asocijaciji *Menthetum aquaticaе* dominiraju pretežno hemikriptofite, a ostale su izgrađene od emerznih geofita.

Litoralni region sjevernog dijela Skadarskog jezera pokriven je biljkama, dok je stjenovita i nepristupačna južna i jugozapadna obala oskudna u pogledu makrofitske vegetacije.

Obalnu liniju od Tankog rta do Podhumskog zaliva pokrivaju dvije značajne asocijacije: *Scirpo-Phragmitetum communis zajednica* (W. Koch) i *Myriophyllo – Nupharetum lutei*. U zajednici *Scirpo-Phragmitetum communis* dominantne vrste su: *Phragmites communis*, *Scripus lacuster* i *Typha angustifolia*, dok zajednica *Myriophyllo – Nupharetum lutei* predstavlja mješovitu asocijaciju flotantnih i submerznih biljaka. Vrste koje izgrađuju ovu asocijaciju su: *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum*, *Polygonum amphibium*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophillum verticillatum*, *Najas marina*, *Trapa natans* (subnom. *Trapa longicarpa* subsp. *scutariensis*) *Potamogeton fluitans* i *Nymphoides flava*. Opstanak ovih vrsta vezan je za otvorenu vodenu površinu. Obje asocijacije ne pokazuju pravilan raspored idući od obale ka pučini Skadarskog jezera, što je posljedica sastava podvodnog taloga, kao i konfiguracije terena (Ristić i Vizi, 1981).

Sjeverni nasip u Vučkom blatu između ostrva Vranjina i Ondrijske gore je nešto drugačiji u pogledu zastupljenosti vrsta. Biljke asocijacije *Myriophyllum verticillatum – Nuphar* su široko rasprostranjene. Na pojedinim mjestima te biljke su neobično bujne, a posebno je na čitavom tom prostoru veoma zastupljena *Trapa natans*.

Rijeka Crnojevića je kompletno prekrivena flotantnim makrofitama: 45% to je *Trapa natans* s nekoliko uskih fragmenata – *Phragmites communis* i *Scripus lacuster*, koje urastaju blizu obalne linije. *Nymphaea alba* i *Nuphar luteum*, svojim rastinjem prekrivaju sve male i plitke zalive, a ispod ovih biljaka *Ceratophyllum demersum* je dominantna vrsta.

### 3.2. Pregled dosadašnjih istraživanja vrste *Trapa natans*

Rod *Trapa* proučavan je skoro u svim djelovima svijeta u kojima se nalazi. Najstariji literturni podatak o rodu datira još iz 370. godine prije naše ere i potiče od oca botanike Teofrasta. Karl Linne je prvi zvanično opisao vodenu orah pod nazivom *Trapa natans* (1753).

Među mnogobrojnim radovima prošlog vijeka zapaža se da je interes naučnika bio veoma raznovrstan, pa je na osnovu dotadašnjih podataka napisano nekoliko studija o *Trapi* (Jaggi, 1883; Gibbelli i Ferraro, 1891; Gams, 1925; Apinis, 1940; Janković, 1958). U taksonomskom pogledu, dominiraju uglavnom dva shvatanja o evropskoj vrsti *Trapa*.

Prema shvatanju Schroeter-a, 1899; Gams-a, 1925; Glucka-a, 1936; Soo-a, 1940, u Evropi postoji samo jedna vrsta vodenog oraška (*Trapa natans* L.). Druga grupa naučnika smatra da je u okviru vrste *Trapa natans* uključen, u stvari, veći broj vrsta (Flerov, 1926; Vasiljev, 1949; Janković, 1958).

U flori zapadnog i centralnog Balkana, a na osnovu podataka o evoluciji ploda, rod *Trapa* obuhvata dvije sekcije: *Longicarpa* i *Brevicarpa*. Sekcija *Longicarpa* sadrži tri vrste: *Trapa anosa*, *Trapa longicarpa* i *Trapa europea*, dok sekciji *Brevicarpa* pripada samo jedna vrsta: *Trapa brevicarpa*. Sve četiri vrste roda *Trapa* se međusobno razlikuju morfološki, geografski i ekološki. U okviru vrsta postoji veći broj podvrsta i varijeteta. Problem ekološkog diferenciranja, kao i ispitivanje morfo-anatomskih osobina vrsta roda *Trapa* u zavisnosti od fizičko-hemijskih osobina podloge i vode je takođe prisutan u radovima (Janković, 1958, 1973; Blaženčić, 1971).

Opšta neusaglašenost oko klasifikacije vodenog oraha, za koji postoje različiti latinski nazivi vrsta, rezultat je različitih gledišta u vezi s postojećom sistematikom roda i vrsta vodenog oraha (Porcher i sar., 1995). Prema klasičnoj sistematici vodenim orah pripada rodu *Trapa*, familiji Trapaceae, dok savremena molekularna istraživanja ukazuju da rod *Trapa* pripada familiji Lythraceaeae i redu Myrtales (Stevens, 2001).

Kao predstavnik makrofitske vegetacije *Trapa natans* je u brojnim radovima posljednjih decenija korišćena i kao bioindikator zagađenosti različitih vodenih ekosistema, naročito u pogledu sadržaja i raspodjele teških metala (Sawidis i sar., 1995; Rai i Sinha 2001; Kumar i sar., 2002; Baldisserotto i sar., 2007).

### 3.2.1. Rasprostranjenje vrste *Trapa natans*

Vodenim orašak *Trapa natans*, široko je rasprostranjena u Evropi, Aziji, Africi i Americi. Raste u mirnim slatkim vodama – jezerima, rukavcima rijeka, kanalima, barama. Vrsta *Trapa natans* čiji plod ima dva kraka – *Trapa natans* subsp. *bispinosa* rasprostranjena je u

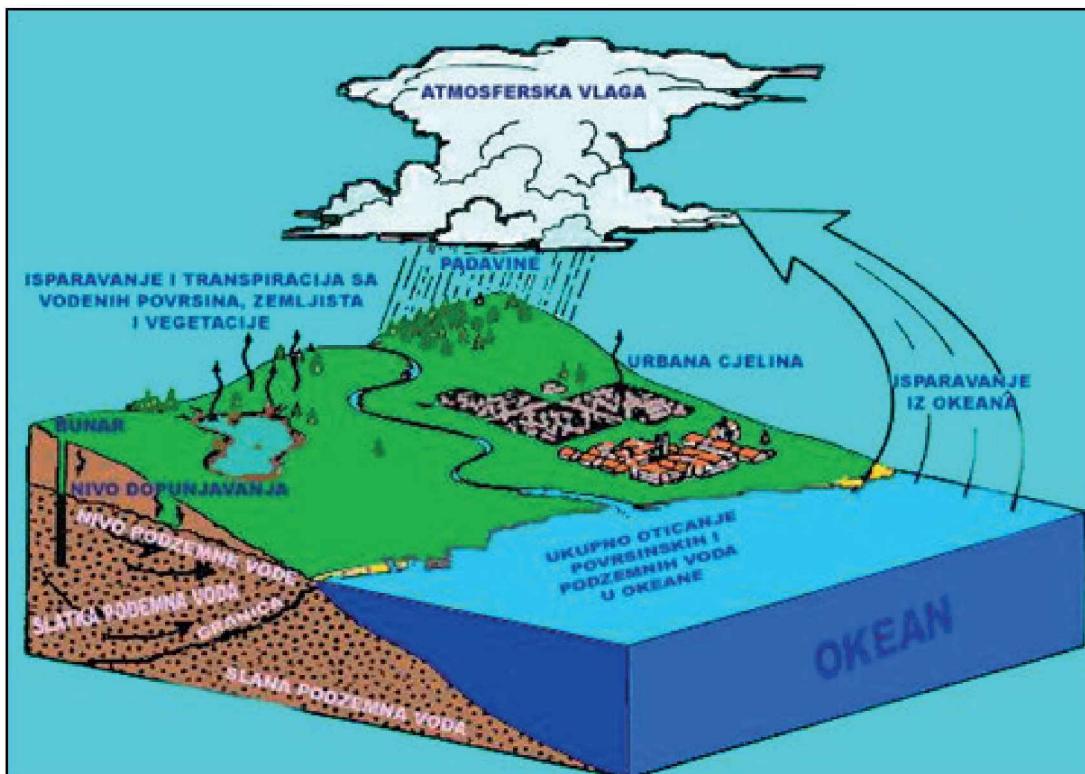
Indiji, Kini i Japanu (Borojević, 2009). U tropskim regionima Afrike vrste roda *Trapa* takođe su veoma rasprostranjene. U jezeru Viktorija postoje endemske vrste (Brenan, 1963). Vrste roda *Trapa* danas, u pojedinim evropskim državama imaju status ugroženih vrsta, a u nekoliko sjevernih evropskih država su potpuno iščezle. *Trapa natans* nalazi se na listi biljnih vrsta koje su zaštićene Bernskom konvencijom (Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats 1979).

U Sjevernoj Americi istorija rasprostranjenja vodenog oraha sasvim je drugačija od evropske. Ova vrsta je iščezla početkom pleistocena u Sjevernoj Americi (Hegi, 1965), da bi se ponovo pojavila 1874, kada je unijeta kao ukrasna vodena biljka iz Evrope. Tokom 1879. godine prenijeta je u lokalne vode, te se potom brzo raširila pokrivajući velike površine slatkih voda američkih država uz sjeverni Atlantik. Danas se smatra opasnim vodenim korovom jer onemogućava plovidbu, ugrožava rast drugih biljnih vrsta i doprinosi smanjenju kiseonika u vodi zbog svog visokog nivoa raspadanja (Habber, 1999). Ova vrsta je uvrštena u štetne vodene korove (USDA, 2004), te se ulažu veliki napor i ogromna sredstva da se biološki kontroliše.

U Crnoj Gori *Trapa natans*, voden orah, tj. kasoranja, kako je Crnogorci nazivaju, široko je rasprostranjena na Skadarskom jezeru, posebno u sjevernom dijelu Jezera. Plodovi kasorjanje su krupni i obično imaju četiri kraka, rjeđe dva, mada ima primjeraka i bez oštih krakova. Za Skadarsko jezero je zabilježen i takson *Trapa longicarpa* subsp. *scutarensis* (Janković, 1958). Stanovnici oko Skadarskog jezera ranije su sakupljali plodove kasorjanje i koristili ih u ishrani. Plod je veoma hranljiv, sadrži velike količine skroba, proteine i manje količine masti i šećera.

### 3.3. Teški metali u prirodnim vodama

Prirodne vode se odlikuju prisustvom raznih organskih i neorganskih supstanci, uključujući i metale. Od metala u prirodnim vodama najviše ima kalcijuma, magnezijuma i natrijuma. Međutim, u vodama se nalaze i metali koji pripadaju grupi teških metala čija je gustina veća od  $5 \text{ g cm}^{-3}$ . Njihov sadržaj u prirodnim vodama je uglavnom veoma nizak, a razlog tome je njihova mala zastupljenost (osim gvožđa) u Zemljinoj kori.



Slika 2: Hidrološki ciklus (preuzeto od Polić i Blagojević, 1997)

Glavni izvori mikroelemenata, odnosno teških metala u prirodnim vodama, vezani su kako za prirodne procese, tako i za uticaj čovjeka. Osnovni prirodni procesi koji uslovjavaju pojavu teških metala u vodama su hemijsko raspadanje stijenskih materijala, ulazak teških metala iz rudnih ležišta i eolsko rasijavanje. Zajedno s procesima taloženja pri usporavanju riječnih tokova (ulivanje u jezera, mora), aktivnosti organizama, razmjenom gasova s atmosferom, ali i ljudskom aktivnošću, oni predstavljaju glavne procese koji prate hidrološki ciklus (Sl. 2), uslovjavajući sastav prirodnih voda, a time direktno ili indirektno i sadržaj teških metala u njima. Intenzitet svih ovih procesa je u znatnoj mjeri zavisан i od uticaja bioloških i mikrobioloških faktora sredine. Tako životinjski organizmi svojom aktivnošću rastresaju i prekopavaju zemljište i sedimente i time intenziviraju njihove interakcije s vodom. Osim toga, trošeći hranljive sastojke biljke i životinje izlučuju proizvode metabolizma u vodenu sredinu, ali u njihovim tkivima može da se vrši i bioakumulacija određenih supstanci, uključujući i teške metale. Mnogo značajniju ulogu imaju mikroorganizmi prisutni u životnoj sredini. Kroz procese razgradnje organske supstance nastale od ostataka biljnih i životinjskih organizama, oni direktno utiču na redoks-potencijal prirodnih voda, odnosno redoks-hemiju gvožđa i mangana kao izuzetno značajnih parametara za poznavanje ponašanja teških metala u vodenoj sredini (Polić i Blagojević, 1997).

Antropogeno zagađivanje teškim metalima danas je sve češća pojava. Uslovljena je iskorišćavanjem mineralnih i energetskih resursa, primjenom agrotehničkih mjera, uticajima raznih industrijskih procesa, komunalnih otpada i sl. (Kavata – Pendias i Pendias, 1989; Munjko i Mikliran, 1980). Posebno značajni udio u zagađivanju teškim metalima imaju procesi sagorijevanja fosilnih goriva (ugalj, nafta) i prerade ruda, gdje u vidu gasova i prašine znatne količine metala odlaze u atmosferu. Iz atmosfere metali se putem padavina slivaju u površinske vode i zemljište. Ovo je posebno karakteristično za olovo (iz benzina) čija koncentracija u atmosferi, a kasnije u površinskim vodama, zemljištu i biljkama, znatno prelazi njegovu prirodnu emisiju.

Metali koji nastaju iz antropogenih izvora dolaze u prirodnu sredinu i uključuju se u biogeohemijski ciklus. Ispitivanje prenosa, vremena zadržavanja i sudbine metala u svakom, pa i vodenom ekosistemu, predstavlja esencijalni zadatak za očuvanje prirodne sredine. Većina mikroelemenata, a posebno teških metala, ne mogu duže vrijeme postojati u vodi u rastvorenom obliku. Oni se, uglavnom, javljaju u vidu koloidnih supstanci ili su vezani s raznim organskim i neorganskim supstancama. Upravo zbog toga njihova koncentracija u sedimentima ili vodenim organizmima često predstavlja indikator zagađenja vode metalima (Whitton and Kelly, 1995; Cardwell i sar., 2002; Kumar i sar., 2006).

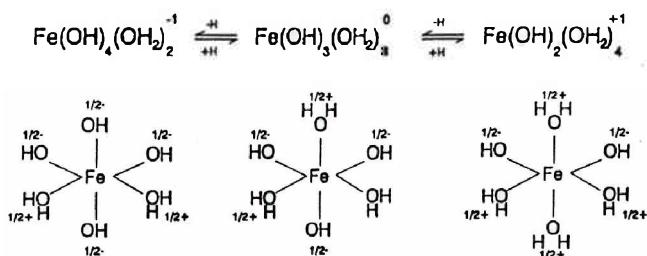
Povišene koncentracije teških metala u vodi i sedimentima zbog svoje toksičnosti štetno djeluju na biljne i životinjske organizme, a preko lanca ishrane i na čovjeka. Poznato je da se živa, kao jako toksičan element u tkivima vodenih organizama (ribe), nakuplja u znatno većoj koncentraciji nego što se nalazi u vodi. Korišćenje ovakvih organizama u ljudskoj ishrani dovodi do vrlo ozbiljnih posljedica. Isto tako, ukoliko se za navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta koriste vode zagađene teškim metalima, doći će do nakupljanja ovih elemenata u zemljištu i biljkama, što će se negativno odraziti na ljude i životinje koji za svoju ishranu koriste biljne proizvode s ovakvih terena.

### **3.3.1. Oblici pojavljivanja i interakcije teških metala u vodenoj sredini**

Raznovrsnost hemijskih karakteristika teških metala uslovjava i najraznovrsnije vidove njihovog pojavljivanja u vodenoj sredini, kao i učešće u najrazličitijim interakcijama koje bitno utiču na rastvorljivost, mobilnost, toksičnost i druge ekološki relevantne karakteristike teških metala.

Moglo bi se reći da je uzrok raznovrsnosti pojavnih oblika teških metala upravo činjenica da oni interaguju kako sa rastvorenim supstancama u vodi, tako i sa čvrstim materijalom (stijenom, zemljишnim, sedimentom), ulazeći u procese/reakcije hidratacije, hidrolize, adsorpcije/desorpcije, rastvaranja, taloženja, oksido-redukcije, koordinacionog vezivanja i dr.

Uzmimo kao primjer gvožđe. Naime, iako je i po definiciji teški metal, gvožđe (hidroksid) moramo da posmatramo i kao potencijalni supstrat drugih teških metala – mikroelemenata (Sl. 3). Gvožđe je supstrat koji često određuje sudbinu teških metala u vodenoj sredini i to kroz procese sorpcije i koprecipitacije u oksidacionoj sredini i ponovne remobilizacije mikroelemenata pri reduktivnom rastvaranju gvožđe-hidroksida. Pored gvožđa, među teškim metalima veoma važnu ulogu ima i mangan, koji takođe u oksidovanom obliku (kao hidroksid) predstavlja značajan supstrat teških metala, ali i njihov potencijalni izvor pri sniženju redoks-potencijala (Ammonete i Rai, 1990).



Slika 3: Šematski prikaz tri rastvorna Fe-hidroksi kompleksa ((prema <http://www.guidechem.com>)

Teški metali se kroz vodene sisteme često transportuju i sorbovani na koloidnom organskom materijalu. U interakciji s organskim supstancama može se svrstati i proces akumulacije u živim akvatičnim organizmima, što je od posebnog značaja s ekološkog aspekta. Osim hidroksida gvožđa i mangana, i fino dispergovane čestice gline predstavljaju važne supstrate teških metala, i to zahvaljujući svojim izraženim adsorptivnim i jonoizmjerenjivačkim osobinama (Hart i Hines, 1995). Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da je vodena sredina jedan izuzetno kompleksan sistem i da kod izučavanja problematike teških metala treba imati u vidu:

- oblike u kojima se metal pojavljuje u zavisnosti od njegove hemijske prirode, uslova sredine, prisustva kompleksnih agenasa itd.;
- moguće mehanizme imobilizacije koji su u stanju da veoma efikasno smanje koncentraciju metala u vodi (koagulacija, adsorpcija, koprecipitacija);

- moguće mehanizme mobilizacije, koji takođe veoma efikasno mogu da otpuste teške metala iz čvrste (sediment, zemljište) u vodenu fazu. U te mehanizme spadaju desorpcija, jonska izmjena, redukciono rastvaranje hidroksida, rastvaranje karbonata.

Novija proučavanja slatkovodnih sistema ukazuju da se najveće količine metala nalaze u sedimentima kao sastavnoj komponenti tog sistema. Povišene koncentracije metala u jezerskim sedimentima najčešće su rezultat industrijskog zagadenja, s obzirom na to da teški metali kroz interakciju čvrste i tečne faze, uključujući i vodene organizme, brzo nestaju iz vodenog stuba i odlaze u sedimente, čime i sami sedimenti postaju izvor zagađivanja vodene sredine. Otuda, poznavanje pojavnih oblika i načina vezivanja, odnosno međusobne raspodjele metala u sedimentu, predstavlja veoma značajan faktor, ne samo u smislu određivanja ukupnog metalnog sadržaja, već i u smislu otkrivanja uticaja različitih zagađivača na vodene sisteme (Davis i Leckie, 1978).

Osim dijela metala koji je sastavni dio primarnog mineralnog detritusa i, prema tome, je uglavnom inertan („imobilan“), drugi dio metala u sedimentima najčešće se srijeću u vidu različitih jedinjenja i složenih jona, odnosno asocijacija (oblici pojavljivanja) s mineralima glina, hidroksidima gvožđa i mangana (sorpција i koprecipitacija), organskim ostacima i kalcijum-karbonatom. Osim toga, dio metala se javlja i u vidu istaloženih oblika hidroksida, karbonata i sulfida. Za razliku od metala u kristalnim rešetkama, ovi pojавni oblici metala daleko su interesantniji, kako sa geohemijskog, tako i sa ekohemijskog i biološkog aspekta. Ovo zato što samo dio prisutnih metala u sedimentu može učestvovati u geo-hemijskim procesima koji se odigravaju na kontaktu sedimenta i vode i kao takvi mogu biti oslobođeni iz čvrste faze – sedimenta u tečnu fazu – vodu, čime postaju dostupni vodenim organizmima. Prema tome, ekohemijski uslovi u vodenoj sredini nijesu određeni sadržajem metala u sedimentima niti njihovim porijekлом, već raspoloživošću metala u sedimentu, tj. mogućnošću njihove (re-)mobilizacije (Harison i sar., 1981; Forstner, 1976, 1983).

Na ponašanje metala u vodenoj sredini, a time i na način njihovog vezivanja na određen supstrat, utiču različiti faktori. S jedne strane to su osobnosti svakog metala pojedinačno (struktura atoma, nanelektrisanje, stepen hidratacije, rastvorljivost njihovih jedinjenja i dr.), a s druge to su opšti fizičko-hemijski i hemijski uslovi u vodenoj sredini (temperatura, pH, konc. rastvorenog kiseonika, sadržaj organske supstance i dr.).

Glavni faktori koji utiču na pokretljivost metala u sedimentima, a time i na njihovu „raspoloživost“ i koncentraciju u vodenoj sredini jesu: sadržaj rastvorenih soli u vodi, pro-

mjena kisjelosti, stvaranje rastvorenih kompleksa metala i razne biohemijske transformacije. Tako npr. mobilnost metalnih jona koji su sorbovani na površini suspendovanih čestica sedimenta, može se znatno povećati u kontaktu s vodama koje imaju povišenu koncentraciju alkalnih i zemno-alkalnih metala. Isto tako, snižavanjem pH u vodenoj sredini povećava se koncentracija vodonikovih jona koji su veoma aktivni u izmjeni s metalnim jonima na mjestima sorpcije koja su obuhvaćena slabokisjelinskim funkcionalnim grupama (-COOH, -SH, -OH). Osim oslobađanja metalnih jona iz sedimenta pod uticajem protona ( $H^+$ -jona), povećanje koncentracije metala u tečnoj fazi – vodi, može proistekći i iz djelimičnog rastvaranja bilo kojeg od teškorastvornih adsorbenata metalnih jona (npr.  $CaCO_3$ ) ili prisutnih precipitata metalnih jona (Farrah i Piekerling, 1986).

Prisustvo organske supstance i zastupljenost kiseonika u vodi osnovni su faktori od kojih zavise oksido-redukpcioni uslovi, koji kao takvi znatno utiču na razmjenu između sedimenta i vode. Izmjena redoks-uslova različito se odražava na ponašanje pojedinih elemenata. Tako je uticaj redoks-uslova na ponašanje Fe, Co i Mn u jezerskim sedimentima znatno više izražen, nego za Cu, Ni i Zn.

Prisustvo organske supstance i promjena pH sredine mogu uticati i na procese rastvaranja metalnih jona u sedimentu, vezanih u obliku hidroksida i karbonata. Promjene pH često mogu biti izazvane atmosferskim  $CO_2$  („kisjele kiše“) ili uticajem raznih kisjelih agenasa iz rudnih ležišta. Pri tome dolazi ne samo do rastvaranja hidroksida i karbonata metala već i do povećanja desorpcije katjona iz sedimenta, s obzirom na prisustvo vodonika koji ima najveći kapacitet na jonske izmjene. Putem stvaranja rastvornih helatnih kompleksa s metalima, organska supstanca može znatno ublažiti desorpciju katjona. Usljed izmijenjenih uslova u sedimentu, umjesto adsorpcije, joni se kompleksiraju s organskim ligandima. Znatan dio nastalih kompleksa je rastvoren i odlazi u vodu, dok se nerastvorni organo-metalni kompleksi zadržavaju u sedimentu. (Davis i Leckie, 1978).

### 3.3.2. Teški metali u jezerskim vodama

Jezerske vode čine glavnu površinu slatkih voda na Zemlji. Sastav jezerskih voda, uglavnom, odslikava procese hemijske i mehaničke erozije u području jezerskog sliva. To se odnosi kako na makroelemente, tako i na mikroelemente – teške metale. Osim erozije i transporta, koncentracija teških metala u jezerskoj vodi zavisi i od taloženja materijala u

samom jezeru, kao i od toga koja će frakcija teških metala biti koprecipitovana, adsorbovana ili na drugi način imobilisana u procesima sedimentacije.

Za jezersku vodu koja je zagađena teškim metalima postoji nekoliko prirodnih mehanizama uklanjanja ovih zagađivača od kojih su najznačajniji:

- adsorpcija na hidratisanim oksidima gvožđa, mangana i aluminijuma;
- adsorpciono i koordinaciono vezivanje na suspendovanoj organskoj supstanci;
- adsorpcija na ili resorpcija u fitoplanktonu i
- prirodno oticanje vode iz jezera.

Poseban značaj u procesima imobilizacije (naročito Pb, Cd, Cr, Cu, Zn) ima organska supstanca koja je često asocirana s hidratisanim oksidima gvožđa. Primjenom radioizotopa utvrđeno je da je brzina imobilizacije za pojedine teške metale u pozitivnoj korelaciji s njihovom sklonošću ka sorpciji na suspendovanom akvatičnom materijalu. Pri tome je utvrđen sljedeći redoslijed: Co > Sn > Fe > Hg > Zn > Cs (Murray, 1987).

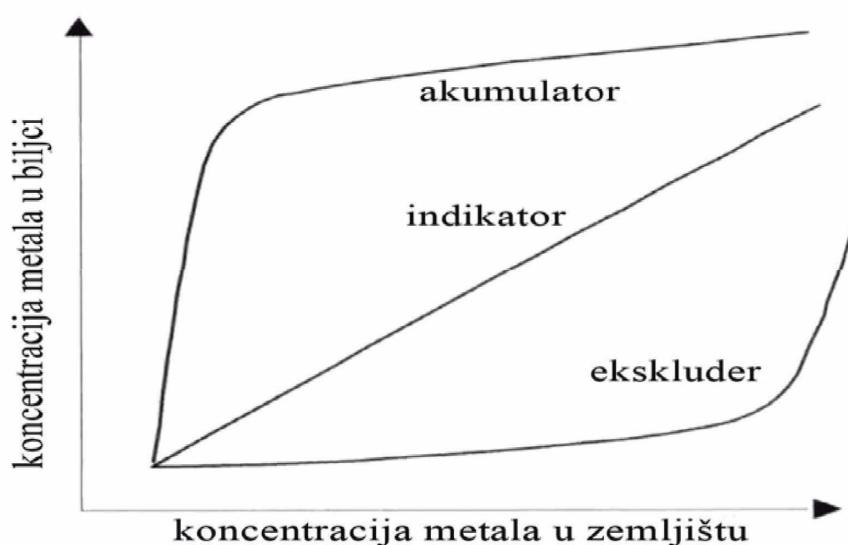
Treba imati u vidu da prva tri navedena mehanizma imobilizacije podrazumijevaju akumulaciju teških metala u jezerskom sedimentu koja često može biti samo privremena, pa jezero ostaje i dalje ugroženo. Interesantna su npr. sezonska variranja koncentracija teških metala u jezerskim vodama u umjerenom klimatskom pojasu (porast u proljeće i u jesen), uslovljena promjenom hidrološkog režima u slivu tih jezera. Proljećni maksimum uslovljen je otapanjem snijega. Snježnica najčešće pokazuje niži pH, a samim tim i veći mobilizacioni kapacitet prema teškim metalima. Osim toga, pojačane padavine intenzivaju i spiranje organskog materijala koji sa sobom takođe nosi sorbowane metalne jone. Ljetnji minimum obično je prouzrokovani većom bioprodukcijom, koja za posljedicu ima intenzivnije taloženje organskog materijala i s njime asociranih metalnih jona. Najzad, jesenji porast koncentracije ponovo je uzrokovan pojačanim atmosferskim padavinama i spiranjem zemljišta, slično kao i u proljeće (Borg, 1995).

S ekološkog aspekta, kako je već istaknuto, izuzetno je važno poznavati oblik u kojem se neki metal pojavljuje u jezerskoj vodi. Naime, rezultati istraživanja ukazuju da postoje značajne razlike u interakcijama tog metala, a posebno u njegovom efektu na žive organizme, u zavisnosti od toga da li se taj metal javlja u obliku jona, neorganskih i organskih kompleksa ili je, pak, apsorbovan na odgovarajućem suspendovanom materijalu (Guilizzoni, 1991).

### 3.4. Usvajanje i translokacija metala u biljkama i fitoremedijacija

Mehanizmi usvajanja teških metala od strane biljaka su brojni i kompleksni i tek nedavno je identifikovano i objašnjeno nekoliko ključnih faza usvajanja na molekulskom nivou, što će u budućnosti omogućiti da se putem genetskog inžinjeringu upravlja usvajanjem i translokacijom teških metala kod biljaka (Clemens i sar., 2002).

Biljke koje rastu na zemljištu zagađenom teškim metalima imaju različite mehanizme kojima se štite od negativnog uticaja ovih elemenata. U zavisnosti od strategije koju koriste, biljke se dijele u tri grupe (Sl. 4). U prvu grupu spadaju tzv. ekskluderi, odnosno biljke koje imaju mehanizme koji sprečavaju intenzivno usvajanje teških metala. Međutim, ovi mehanizmi nijesu savršeni i, ako su koncentracije teških metala dovoljno visoke, mogu da nadvladaju ekskluzione mehanizme i tada dolazi do povećanog usvajanja i translokacije u biljci. U drugu grupu spadaju biljke indikatori, koje slabo kontrolišu usvajanje metala, pa je kod njih intenzitet usvajanja odraz koncentracije metala u zemljištu. Treću grupu biljaka čine tzv. akumulatori, biljke koje usvajaju i translociraju velike količine metala u nadzemne djelove (Baker, 1981). U ovu grupu spadaju i hiperakumulatori kod kojih je akumulacija i translokacija teških metala veoma izražena (Adriano, 2001)

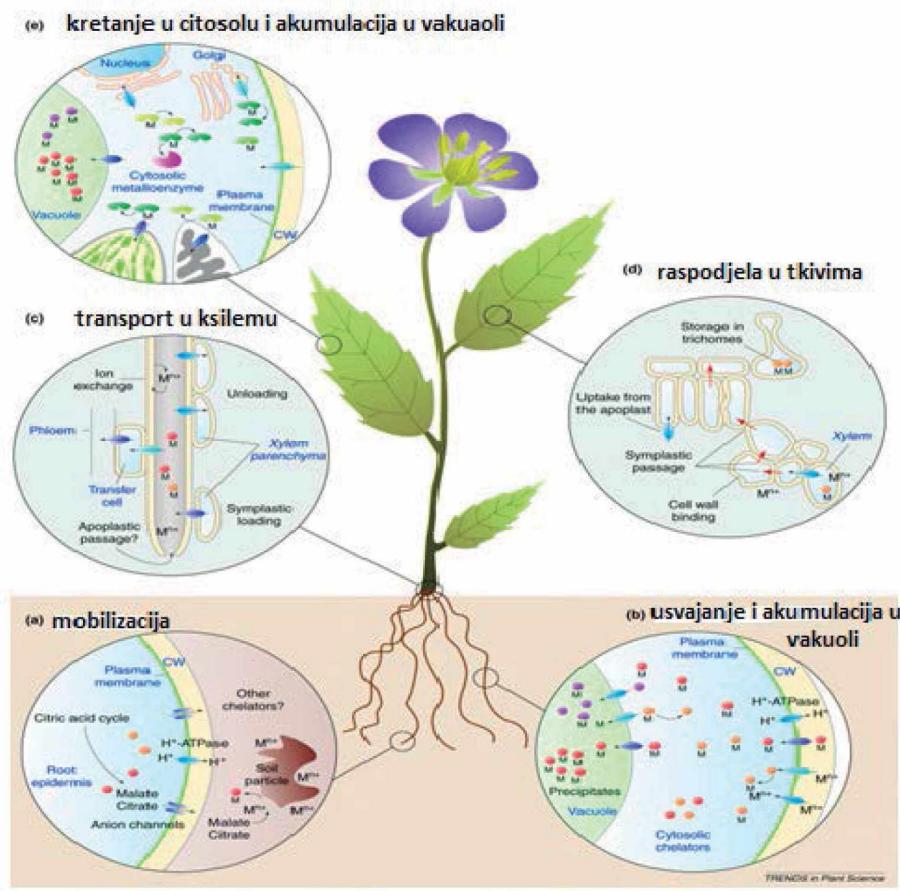


Slika 4: Različite strategije usvajanja teških metala u zavisnosti od koncentracije metala u zemljištu (preuzeto iz Cosio, 2004)

Upotreba mikrobiološke bioremedijacije u cilju premještanja teških metala iz zagađenog zemljišta, većim dijelom je ograničena njihovom imobilizacijom putem padavina ili redukcijom. Većina biljaka ima sposobnost da iz vode i zemljišta akumulira teške metale, od kojih su neki od velikog značaja za njihov rast i razvoj, kao što su: Fe, Mn, Zn, Cu, Mo i Ni. Određen broj biljaka ima sposobnost akumulacije i metala koji nemaju određeni biološki značaj (Cd, Cr, Pb, Co, Se, Hg). Pretjerana akumulacija teških metala može biti toksična za većinu biljaka (Rascio, 1977; Peterson, 1983, 1993; Salt i sar., 1995; Lasat, 1996; Lasat i sar., 1998, 2000).

Međutim, treba imati u vidu da je većina biljaka osjetljiva i na minimalne količine teških metala u podlozi. Ipak, veliki broj vrsta opstaje na staništima koja se odlikuju velikim količinama teških i toksičnih metala. Njihov opstanak moguć je zahvaljujući brojnim adaptivnim mehanizmima koje su razvile kako bi savladale nepovoljne uslove staništa. Najčešće biljke uspijevaju da na jedan ili više sljedećih načina omoguće opstanak na mjestima s velikom količinom teških metala:

- **ograničavaju** uzimanje i propustljivost teških metala kroz ćelijsku membranu;
- **imobilišu** veće količine jona teških metala, tako što ih deponuju u ćelijske zidove i tako sprečavaju kontakt s protoplastom;
- **izdvajaju** apsorbovane teške metale, vezujući ih u kompleksna jedinjenja, u ćelijskim vakuolama;
- usvojene teške metale **vezuju** u citoplazmi za organska jedinjenja male molekulske težine, polipeptide i proteine koji sadrže amino-kiseline sa sumporom (cistein i metionin). Polipeptidi vezuju metal za slobodne SH-grupe cisteina, stvarajući stabilne organo-metalne komplekse – **fitohelatine**. Ovako vezani joni teških metala mogu se zadržati u citoplazmi ili prenijeti do vakuole, u kojoj se u kiseloj sredini metalni jon oslobađa, a polipeptid transportuje nazad gdje obnavlja svoju ulogu. Teški metali, među kojima su i oni neophodni biljkama kao mikroelementi, mogu se osloboditi iz pomenutih organo-metalnih kompleksa i uključiti u metabolizam biljaka, ukoliko postoji potreba za njima (Grill i sar., 1985; Murphy i Taiz, 1995).



**Slika 5:** Usvajanje i akumulacija metala u biljkama (preuzeto iz Clemens i sar., 2002)

Biljke usvajaju i akumuliraju jone teških metala na sljedeći način (Sl. 5):

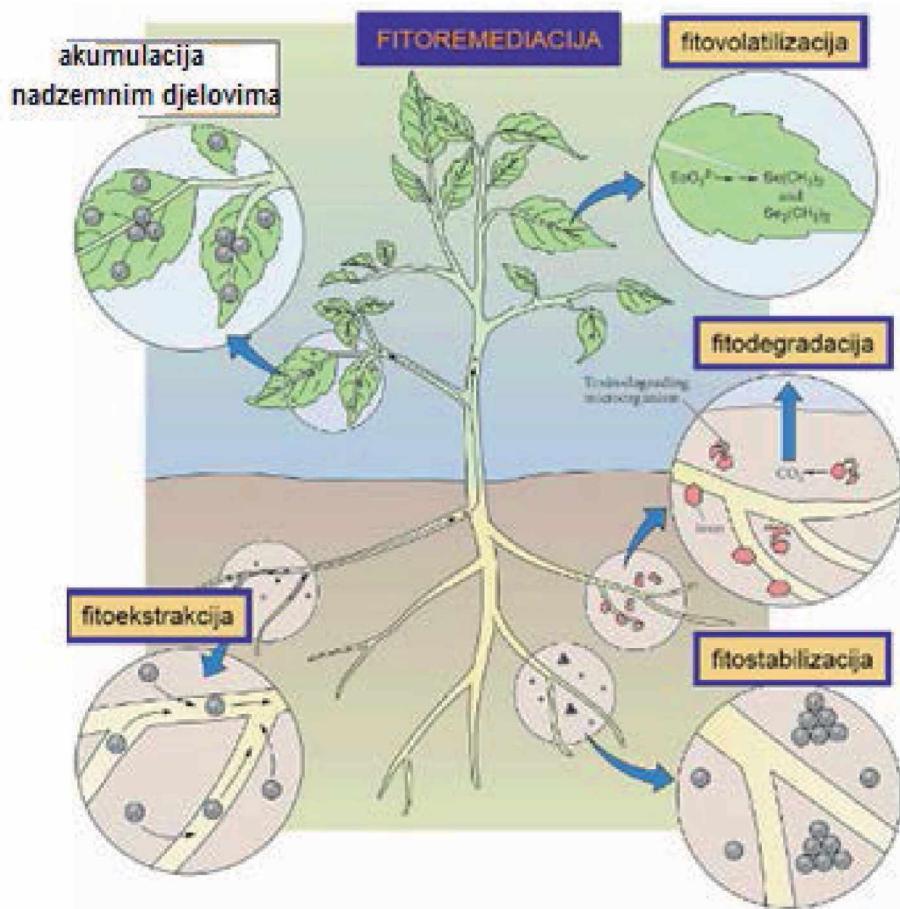
- adsorpcija metalnih jona na površini korijena, i transport kroz ćelijsku membramu
- usvajanje i akumulacija u vakuoli
- transport jona kroz provodna tkiva korijena (ksilem)
- raspodjela metalnih jona u nadzemne organe (stablo i listove)
- kretanje u citosolu i akumulacija u vakuoli

Sposobnost biljaka da razviju otpornost na teške metale je genetički determinisana. Zemljišta bogata teškim metalima rezultat su geoloških i klimatskih promjena tokom pedogeneze, a biljke adaptirane na ovakva zemljišta bogata različitim metalima nazivaju se metalofite. One mogu biti indikatori prisustva teških metala ili nekog posebnog hemijskog elementa u podlozi. Metalofite magacioniraju ogromne količine teških metala, 0,5–8 g kg<sup>-1</sup> (Stevanović i Janković, 2001).

Zagađivanje vode i zemljišta teškim metalima predstavlja veliki problem za životnu sredinu. Jedna od specifičnih metoda za odstranjivanje metala iz ovih segmenata životne sredine je korišćenje određenih biljaka koje imaju sposobnost akumulacije metala (Hudon, 1998). Ovaj način uklanjanja metala poznat je pod imenom **fitoremedijacija** (Sl. 6), a sastoji se iz sljedećih postupaka:

a) **Fitoekstrakcija** je postupak koji se koristi uglavnom za teške metale (Cd, Pb, Hg, Cu, Ni, Zn, Va, Se, As, Co, Cr, Mo) i radionukleotide (Cs, Sr, U, Pu). Princip fitoekstrakcije je sljedeći: na kontaminirano tlo posade se biljke koje zatim iz tla izvlače zagađivače, te ih inkorporiraju u svoju biljnu masu. Postupak se ponavlja nekoliko puta kako bi se tlo što bolje očistilo i postalo pogodno za korišćenje u druge svrhe.

b) **Rizofiltracija** je postupak kojim biljka apsorbira teške metale iz voda putem korijena, ili ih korijen apsorbira na svoju površinu te ih na taj način immobilizira iz voda. Ovaj se postupak koristi prilikom čišćenja zagađenih voda.



**Slika 6:** Procesi fitoremedijacije u biljci (preuzeto od Pilon – Smiths, 2005)

c) **Fitostabilizacija** je postupak u kojem biljka zadržava zagađivače u svojoj blizini, tj. u zoni oko korijena (rizosfera), na način da ih ili apsorbira ili akumulira u toj zoni te tako sprečava njihovo dalje širenje u tlo te podzemne vode.

d) **Fitotransformacija** je postupak u kojem biljke svojim metabolizmom, nakon što ih apsorbiraju iz tla ili voda, mijenjaju oblik organskim molekulama (pesticidima, ind. hemikalijama itd.) iz toksičnog u netoksični. Biljka pretvara zagađivač u polimerizirani oblik te ga skladišti u svoje tkivo.

e) **Rizodegradacija** je postupak kojim biljke stimulišu razvoj mikroorganizama (bakterija, gljiva itd.) u rizosferi, koji nadalje svojim metabolizmom razgrađuju zagađivače. Biljke korišćene u ovim postupcima se nakon žetve uništavaju, najčešće spaljivanjem, te se njihov pepeo odlaze na posebna odlagališta.

### 3.4.1. Uticaj teških metala na biljke

Mehanizam usvajanja jona elemenata od strane biljaka nije sasvim selektivan. One preko korijenovog sistema u većoj ili manjoj količini usvajaju sve za njih pristupačne jone i molekule koji se nalaze u zemljištu. Međutim, svi ti elementi nijesu biljkama neophodni. Iz tog razloga najčešće se primjenjuje podjela elemenata na: **neophodne, korisne i ostale**. U neophodne elemente za više biljke ubrajaju se: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Zn, Cl, Mo, Ni i Cu, u korisne elemente Na i Si, a u ostale svi drugi elementi koji se nalaze u biljkama. Ova podjela, međutim, nema opšti značaj za cijeli biljni svijet. Naime, zbog specifičnosti metabolizma biljnih vrsta, značaj pojedinih elemenata za rast i razviće biljaka može da bude veoma različit. Ovim se objašnjava pojava da jedan isti elemenat za jednu biljnu vrstu može da bude neophodan, a za drugu samo koristan i obrnuto.

Na osnovu zastupljenosti u biljkama, elementi se veoma često grupišu na **makro** i **mikroelemente**. U makroelemente ubrajaju se: C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Si i Cl. Njihov prosječan sadržaj u suvoj materiji biljaka se kreće od 2 do 60 mg g<sup>-1</sup>. Sadržaj mikroelemenata (Fe, Zn, Cu, Mn i dr.) u suvoj materiji biljaka je manji od 1 mg g<sup>-1</sup>. Treba istaći da podjela elemenata na makro i mikro ne odražava njihovu ulogu u metabolizmu biljaka. Značaj makro i mikroelemenata neophodnih za život biljaka je isti jer kako bez jednih, tako i bez drugih, one ne mogu da završe svoj životni ciklus. Po načinu dejstva u metabolizmu biljaka, mikroelementi se znatno razlikuju od većine makroelemenata. Mikroelementi ulaze u sastav velikog broja enzima čije je dejstvo pretežno katalitičko.

U grupu esencijalnih **mikroelemenata** najčešće se ubrajaju **gvožđe, cink, bakar, mangan, molibden i nikl**. Oni imaju određene biološke funkcije u živim organizmima i u malim koncentracijama su neophodni za njihovo neometano funkcionisanje, dok ostali teški metali, kao npr. Pb, Cd, Cr nemaju nikakvu biološku ulogu u živim organizmima i nazivaju se neesencijalnim mikroelementima. Esencijalni mikroelementi većinom spadaju u grupu teških metala, zbog čega prekomjerno povećavanje njihove koncentracije u biljkama može imati nepovoljne posljedice ne samo za biljke već i za životinje, a preko lanca ishrane i na samog čovjeka (Kastori, 1993).

Prema najsavremenijim istraživanjima, odlike esencijalnih mikroelemenata su sljedeće:

- a) djeluju u biljkama u veoma malim koncentracijama;*
- b) djeluju u biljkama strogo specifično;*
- c) direktno utiču na fiziološko-biohemijske funkcije biljaka i*
- d) pri njihovom nedostatku biljka ne može normalno da završi svoj životni ciklus.*

Kada je u pitanju tolerantnost biljnih vrsta prema određenim metalima, treba imati u vidu sljedeće (Cox i Hutchinson, 1980):

- a) da postoje vrste tolerantne prema određenom metalu, ali genetički nezavisne i netolerantne prema drugim metalima;*
- b) postoje vrste tolerantne prema određenom metalu, što vodi povećanju tolerancije prema drugim metalima i*
- c) da postoje vrste genetički rezistentne prema određenom metalu.*

Međutim, nedovoljna, kao i prekomjerna količina metala u bilnjem tijelu može da dovede do niza anatomske i morfološke promjene, za koje se dugo smatralo da su bolesti izazvane mikroorganizmima ili nekim abiotičkim faktorima.

Usvajanje teških metala kod biljaka se prvenstveno odvija pomoću korijenovog sistema iz zemljišnog rastvora, a znatno manjim dijelom preko nadzemnih organa iz atmosfere. Teški metali iz vazduha se mogu taložiti na listovima, pri čemu će biti apsorbovani od strane biljke, a jedan dio može biti ispran padavinama. Prisutnost teških metala u biljkama dovodi do brojnih promjena u fiziološko-biohemijskim procesima, što se negativno odražava na rast i razviće biljaka. Prvenstveno negativno utiču na intenzitet fotosinteze, asimilaciju azota (N), disanje i vodni režim, usvajanje i metabolizam neophodnih elemenata, kao i na aktivnost enzima (Migocka i Klobus, 2007).

Fotosintetski aparat i proces fotosinteze su posebno osjetljivi na povećane koncentracije teških metala. Teški metali prvenstveno djeluju na fotosistem II, fotofosforilaciju, tok transporta elektrona i metabolizam pigmenata. Neki joni teških metala, kao što su živa, bakar, kadmijum, cink, nikl i olovo mogu istisnuti jon magnezijuma iz hlorofila, čime se onemogućava apsorpcija svjetlosne energije i dolazi do prekida fotosinteze (Moya i sar., 1993; Mohan i Hosetti, 1997).

Teški metali mogu negativno uticati i na vodni režim biljaka smanjujući transport vode do nadzemnog dijela biljke. Pri znatno većim koncentracijama teških metala doći će do smanjenja dužine primarnog korijena, kao i gustine korijenskih dlačica, što će znatno uticati na smanjenu površinu za usvajanje vode. Tako da će doći i do smanjenja permeabilnosti zidova ćelija korijena za vodu. Teški metali mogu da utiču i na smanjenje broja i površine provodnih sudova i na taj način uspore transport vode u biljci. Kod povećane koncentracije kadmijuma dolazi do blokade traheja uslijed nakupljanja smolastih materija i do propadanja ćelija provodnih sudova. Uticaj teških metala na odavanje vode se ogleda preko smanjenja broja listova, smanjenja površine lista, anatomske građe lista, difuznog otvora stominog aparata, broja i veličine stoma, pri čemu dolazi do povećanja gustine stominih aparata i smanjenja veličine stoma. (Srighar i sar. 2005, Vollenweider i sar. 2006)

Neki teški metali, a posebno bakar, živa i srebro utiču i na ćelijsku membranu ćelija korijena. Pri njihovom kontaktu sa ćelijskom membranom dolazi do njene depolarizacije, što izaziva gubitak selektivnosti ćelijske membrane. Nakon što prođu kroz ćelijsku membranu, teški metali dospijevaju u citoplazmu, gdje brzo reaguju s enzimima, čime utiču na njihovu aktivnost. Pored toga, u zavisnosti od prirode i koncentracije, teški metali u određenoj mjeri inhibiraju biosintezu proteina i podstiču njihovu hidrolizu. (Dučić i Polle, 2005; Lei i sar., 2007)

### **3.5. Ispitivani metali u sistemu sediment – voda – biljka**

#### **Gvožđe (Fe)**

Biljke mogu da usvajaju gvožđe kao fero jon ( $Fe^{2+}$ ), feri jon ( $Fe^{3+}$ ) i u vidu Fe-helata. Smatra se da je usvajanje gvožđa povezano s redukcijom  $Fe^{3+}$  u  $Fe^{2+}$  (Brown i Ambler, 1974).

Na usvajanje gvožđa od strane biljaka utiče veliki broj različitih faktora spoljašnje sredine. Visoka vrijednost pH, koncentracija fosfata i  $Ca^{2+}$ -jona u zemljištu smanjuju njegovo usvajanje (Foy i sar., 1978). Značajnu ulogu u obezbjeđenju biljaka

gvožđem ima izlučivanje raznih organskih materija preko korijena, sposobnih da stvaraju stabilnije helatne komplekse s gvožđem od onih koji se nalaze u zemljištu.

Sadržaj gvožđa u suvoj materiji biljaka kreće se u širokim granicama, od 50 do 1000 ppm. U nadzemnim organima najviše ga ima u lišću, zatim stablu, a najmanje u zrnu. Korijen biljaka takođe sadrži značajne količine gvožđa. U listovima najveći dio gvožđa nalazi se u hloroplastima, mitohondrijama i jedru. Gvožđe se u stromi plastida nalazi u vidu fitoferitina, jedinjenja koje je veoma bogato gvožđem.

Posredno ili neposredno ovaj element učestvuje u brojnim fiziološko-biohemiskim procesima biljaka: biosintezi hlorofila, fotosintezi, disanju, fiksaciji elementarnog azota, redukciji nitrata i nitrita, metabolizmu ugljenih hidrata i dr. Mnoga istraživanja ukazuju na pozitivnu korelaciju između sadržaja gvožđa i hlorofila. Pored toga, gvožđe je značajno i za fotosintezu, pošto se u slučaju njegovog nedostatka narušava građa hloroplasta. Ono ulazi i u sastav citochroma koji učestvuje u transportu elektrona u fotosistemu I i II (Nieboer i Richardson, 1980).

U zemljištu gvožđe se uglavnom nalazi u obliku različitih minerala, amfoternih oksida ili hidroksida. Razlozi zbog kojih dolazi do nedostatka gvožđa, i pored njegovog relativno visokog sadržaja u zemljištu, veoma su različiti i specifični za određene klimatske, edafске i agrotehničke uslove. Do nedostatka može doći na svim tipovima zemljišta: alkalnim, kisjelim ili neutralnim. Međutim, najčešće se javlja na alkalnim zeljištima bogatim krečom i glinom. Nedostatak Fe može da izazove i povećana koncentracija teških metala u zemljišnom rastvoru (Mn, Ni, Cu, Zn, Co i Cr), zatim primjena visokih doza fosfornih đubriva, prisustvo veće koncentracije  $\text{HCO}_3^-$ -jona, pretjerana vlažnost zemljišta, zabarivanje, nakupljanje  $\text{H}_2\text{S}$  i sl.

Nedostatak gvožđa u biljkama ogleda se, prije svega, u pojavi hloroze koja se prvo pojavljuje na mlađem lišću, odnosno u pojedinim djelovima biljke, koji postaju blijedožuti do blijedozeleni. Višak gvožđa se u prirodi rijetko javlja.

### Cink (Zn)

Cink je u malim količinama neophodan za niže i više biljke kao i za čovjeka i životinje. Ulazi u sastav enzimskih sistema i zahvaljujući tome, posredno ili neposredno, učestvuje u brojnim procesima metabolizma biljaka.

Cink se u zemljištu nalazi u primarnim mineralima, sekundarnim mineralima gline i u obliku Zn-sulfida, Zn-oksida, Zn-karbonata, Zn-fosfata. Biljke cink usvajaju u obliku jona  $Zn^{2+}$ -helata. Sadržaj ukupnog cinka u zemljištu kreće se od 10 do 300 ppm.

Cink je, poslije gvožđa, drugi po važnosti esencijalni mikroelement koji se u organizmu živih bića nalazi u znatnim količinama. Prosječan sadržaj cinka u suvoj materiji kreće se od 20 do 100 ppm. Postoje i one vrste biljaka koje označavamo kao akumulatori i upravo one mogu sadržati izuzetno velike koncentracije cinka, čak i do 1200 ppm. Uglavnom se nakuplja u korijenu i mladim listovima. Koliko će biljka usvajati cinka, prvenstveno zavisi od toga o kojoj biljci je riječ, njenoj fazi razvoja, kao i od brojnih faktora koji utiču na prisutnost cinka u biljci (pH, geološka podloga i mehanički sastav, snabdjevenost zemljišta Fe, Mn, Ca, Cu).

Povećana koncentracija cinka u zemljištu utiče na povećanu akumulaciju cinka u biljnog tkiva, koji u tom slučaju djeluje depresivno, a zatim i toksično na rast i razvoj biljaka. Sadržaj Zn u biljnog tkiva je najbolji pokazatelj za utvrđivanje stepena kontaminacije životne sredine.

Višak cinka izaziva više-manje specifične morfološke i fiziološke promjene, što se ogleda u nižem rastu, smanjenju korijenovog sistema i obrazovanja sitnih listova. Takođe, na listovima se javljaju crvenkasto-mrke pjege, a na rubovima nekroza. Ukoliko udio cinka u biljkama dostigne toksični nivo, one brzo propadaju (Wainwright i Woolhouse, 1977; Lasat i sar., 1996; Cosio i sar., 2004).

Fiziološka uloga cinka je veoma značajna, naročito za metabolizam proteina. Sastavni je dio mnogih enzima, gdje kao dvovalentni katjon povezuje protein za supstrat. Veoma značajan enzim u čiji sastav ulazi cink je karboanhidraza, koja katalizuje prenošenje vode na  $CO_2$ , pri čemu nastaju  $HCO_3^-$  i  $H^+$ -joni. Smatra se da se ovaj enzim nalazi u hloroplastima i da njegova aktivnost u stromi hloroplasta obezbjeđuje odgovarajuću vrijednost pH, čime se štite bjelančevine od denaturacije, koja može biti izazvana lokalnom promjenom pH vrijednosti (Edwards i Walker, 1983).

### Mangan (Mn)

Mangan (Mn) je mikroelement od suštinskog značaja za većinu biljnih vrsta. To je teški metal koji se u biljkama nalazi kao katjon  $Mn^{2+}$  i  $Mn^{3+}$ , a u tlu i kao  $Mn^{4+}$  i  $Mn^{6+}$ . Po rasprostranjenosti mangan je u litosferi deseti element. Ukupan sadržaj Mn u zemljištu je

200–3000 ppm, od čega je 0,1–1,0% biljkama raspoloživo. Prirodno se nalazi u mnogim površinskim i podzemnim vodama, naročito pri anaerobnim uslovima ili uslovima niske koncentracije kiseonika. Veće količine mangana u aerobnim vodama su često posljedica industrijskog zagađenja.

Kao esencijalni mikroelemenat, nizak nivo Mn je neophodan za normalnu ishranu i razvoj biljaka. Ipak, kada je prisutan u većim količinama, veoma je otrovan za biljne ćelije (Migocka i Klobus, 2007). U biljkama, učestvuje u strukturi fotosintetskih proteina i enzima. Njegov deficit je opasan za hloroplast jer utiče na fotolizu vode, fotosistem II (PSII), koji obezbjeđuje neophodne elektrone za fotosintezu (Buchanan, 2000). Međutim, njegov višak narušava fotosintetski aparat (Mukhopadhai i Sharma, 1991).

Raspoloživost mangana raste s kisjelošću tla i njegove redukcije do Mn<sup>2+</sup>. Redukovani mangan biljke lako usvajaju (označava se kao aktivni mangan), dok su više oksidirani oblici kao Mn<sup>3+</sup> i Mn<sup>4+</sup> inaktivni oblici. Biljke lako usvajaju mangan i u obliku helata.

Sadržaj mangana u biljkama zavisi najprije od bioloških osobina same biljke i od sadržaja pokretnih formi tog elemenata u sredini. Velika količina mangana se nalazi i u vodenim biljkama. Mangan pojačava aktivnost oksidativnih enzima, pomaže velikom skupljanju u biljkama proizvoda oksidacije – askorbata i organskih kiselina, takođe pomaže i oksidaciju gvožđa. Za normalnu životnu aktivnost biljaka Fe i Mn moraju da se nalaze u odnosu približno 2:1.

Toksičnost Mn povećavaju kisjela zemljišta (Pendias i Pendias, 1992). Mn<sup>2+</sup> je dostupan za biljke i može lako da se usvaja korijenom i translocira do listova, gdje se konačno akumulira (Marschner, 1995). Nasuprot tome, drugi oblici Mn dominiraju na zemljištima s višim pH vrijednostima, kao što su Mn (III) i Mn (IV), koji nijesu dostupni i ne mogu biti akumulirani u biljkama (Rengel, 2000). Prekomjerna količina mangana u biljnom tkivu može da promijeni različite procese, kao što su aktivnost enzima, apsorpciju, translokaciju i korišćenje drugih mineralnih elemenata (Ca, Mg, Fe i P), pri čemu se stvara oksidativni stres (Dučić i Polle, 2005; Lei i sar., 2007). Mangan takođe igra ulogu u sintezi ATP (Pfeffer i sar., 1986), u reakcijama RuBP karboksilaze (Houtza i sar., 1988) i biosintezi masnih kiselina, lipida i proteina (Nesa i Voolhouse, 1980).

Sastavni je dio niza enzima i aktivator enolaza, karboksilaza, superoksid-dizmutaze i drugih enzima, ali nije gradivni element jer je konstituent samo proteina **manganina**. Uloga mu je slična magnezijumu koji može zamijeniti na nespecifičan način u aktivaciji dekarboksilaza i dehidrogenaza u Krebsovom ciklusu. Mangan je uključen i u metabo-

ličke procese, kao što su disanje, fotosinteza, sinteza amino-kiseline i hormona (Burnell, 1988). Kao kofaktor superoksid-dismutaza (SOD), mangan učestvuje u odbrani biljke protiv oksidativnog stresa.

### Bakar (Cu)

Bakar ulazi u sastav enzima i zahvaljujući tome, posredno ili neposredno, utiče na odvijanje mnogih procesa važnih za život biljaka.

Biljke bakar usvajaju iz zemljišta. Sadržaj ukupnog bakra u zemljištu kreće se od 2 do 100 ppm, a pristupačnog od 2 do 50 ppm. Do pojave simptoma nedostatka dolazi kada je sadržaj pristupačnog bakra u zemljištu manji do 2 do 3 ppm. Biljke usvajaju male količine ovog elementa. Pretežno ga usvajaju u vidu Cu<sup>2+</sup>-jona i u vidu helata (Mercer i Richmond, 1970).

U toku svog rasta i razvića, biljke različitim intenzitom usvajaju bakar. Pokretljivost bakra u biljkama nije naročito izražena. Na to ukazuje činjenica da se prvi znaci nedostatka bakra javljaju na najmlađim organima i na vegetacionoj kupi. Premještanje bakra iz korijena u nadzemne organe je sporo, zbog čega se, i pri njegovoј visokoj koncentraciji u spoljašnjoj sredini, sadržaj u listovima sporo povećava. Ukoliko je sadržaj bakra u suvoj materiji lista manji od 4 ppm, smatra se da biljke nijesu u dovoljnoj mjeri obezbijedene bakrom, dok sadržaj preko 20 do 50 ppm ukazuje na višak ovog elementa. Analizom raspodjele bakra, posmatrano na nivou cijele biljke, uočeno je da je njegov sadržaj u korijenu znatno veći nego u ostalim organima. Utvrđeno je da se bakar u značajnoj mjeri nakuplja i u hloroplastima. U tom pogledu, on je veoma sličan gvožđu.

Bakar spada u grupu polivalentnih elemenata. Za biljke je od posebnog značaja bakar stepena oksidacije Cu<sup>2+</sup>, zbog toga što ga one pretežno u tom obliku usvajaju iz spoljašnje sredine (Vesk i Allway, 1997; Vesk i sar., 1999).

Osnovna uloga bakra u životnim procesima biljaka ogleda se i u tome što on ulazi u sastav niza enzima. Enzimi koji sadrže bakar pretežno učestvuju u metabolizmu fenola. Cu enzimi koji sudjeluju u stvaranju i preobražaju fenola jesu fenoloksidaze. Preko svoje uloge u metabolizmu fenola, bakar u značajnoj mjeri utiče i na procese lignifikacije, tj. sinteze i ugrađivanja lignina u mehanička tkiva i provodne sudove.

Na obezbijeđenost biljaka bakrom, kao i na njegovu fiziološku aktivnost, mogu da utiču i drugi elementi, u prvom redu metali. Poznat je antagonizam, naročito pri većim koncentracijama, između bakra s jedne i Fe, Mn, Al i Zn s druge strane (Sandmann i Boger, 1980 a, 1980 b).

Nedostatak bakra kod biljaka je veoma rasprostranjena pojava, a osjetljivost pojedinih vrsta na njegov nedostatak je različita. Kao simptomi nedostatka bakra često se navode: hloroza, nekroza, odumiranje vršnih izdanaka, smanjenje porasta i prinosa biljaka i, na kraju, njihovo odumiranje. Ovi simptomi, međutim, nijesu svojstveni samo nedostatku bakra. Tipični nedostaci bakra su venjenje, uvijanje listova, odumiranje najmladih listova, kao i određene anatomske promjene, u prvom redu poremećaj u građi, provodnih sistema i mehaničkih tkiva. Zbog poremećenog vodnog režima, pri nedostatku bakra listovi gube turgor i uvijaju se slično kao u uslovima suše.

Nedostatak bakra se obično javlja na alkalnim krečnim, lakin pjeskovitim i tresetnim zemljištima bogatim organskom materijom. Nasuprot ovom, višak bakra se javlja na kisjelim zemljištima u kojima sadržaj bakra pristupačnog za biljke može ponekad da bude veoma visok. Visoke koncentracije bakra u mnogim biljkama smanjuju porast korijena, i to u znatno većoj mjeri nego nadzemnih organa. Prvi znaci viška se obično javljaju na starijim listovima u vidu hloroze na vrhu i po rubu listova. Korijen tih biljaka je mrke boje, kratak, zadebljao, s malim brojem korijenovih dlačica (Reilly, 1969; Reilly i sar., 1970).

### Kobalt (Co)

Kobalt nije esencijalan sastojak biljnih ćelija, ali spada u grupu korisnih mikroelemenata. Njegova uloga u životnim procesima biljaka nije dovoljno poznata. Međutim, naglašava se uloga ovog elementa u simbiotskoj fiksaciji atmosferskog azota, oksidacionim procesima, kao i njegov pozitivan uticaj na prinos nekih gajenih biljaka. Ulazi u sastav vitamina B<sub>12</sub> zbog čega je njegova prisutnost u biljkama od posebnog značaja za zdravlje čovjeka i životinja.

Kobalt spada u grupu polivalentnih metala ( $\text{Co}^{2+} \rightarrow \text{Co}^{3+}$ ) i zahvaljući tome može da učestvuje u oksido-redukcionim procesima. Kobalt ulazi i u sastav nekih metaloenzima. U ovu grupu enzima spadaju glicin-glicin dipeptidaza biljaka i životinja i lecitinaza izolovana iz *Clostridium perfrigens*.

Prosječan sadržaj kobalta u zemljištu se kreće od 1 do 40 ppm, dok je njegova koncentracija u zemljišnom rastvoru veoma niska. Biljke u prosjeku usvajaju male količine kobalta, i to u vidu  $\text{Co}^{2+}$ -jona.

Sadržaj kobalta u suvoj materiji biljaka kreće se u širokim granicama i to najčešće od 0,02 od 0,4 ppm. Postoje izvjesne vrste biljaka koje su sposobne da u svojim organima nakupljaju i znatno veće količine kobalta, čak i preko 1000 ppm. Njegova raspodjela u biljkama je specifična. Više se nagomilava u generativnim nego u vegetativnim organima. Kod nekih biljaka u značajnoj mjeri se nagomilava u prašnicima, žigu i stubiću. U listovima se pretežno nagomilava po ivici. Kobalt se u značajnoj mjeri nagomilava i u hloroplastima (Mitchell, 1972).

Simptomi nedostatka kobalta kod viših biljaka nijesu dovoljno poznati, izuzev kod mahunarki, kod kojih se, pri nedovoljnoj obezbijeđenosti ovim elementom, uočavaju znaci nedostatka azota. Kao posljedica nedostatka kobalta na mladim listovima se javlja hloroza. Za razliku od simptoma prouzrokovanih nedostacima kobalta, simptomi viška kobalta na biljkama u prirodi u normalnim uslovima još nijesu uočeni, čak ni na serpetinskim zemljištima koja obično sadrže veće količine kobalta. U osnovi, višak kobalta izaziva hlorozu i nekrozu, a u ekstremnim slučajevima može da dovede i do odumiranja i opadanja listova. Takođe, višak kobalta izaziva i određene morfološke promjene na korijenu, koji dobija tamnu boju. Usljed antagonizma, povećani sadržaj kobalta dovodi do nedostatka gvožđa.

### Hrom (Cr)

Hrom nije esencijalni biljni elemenat, ali je veoma značajan u metaboličkim procesima sisara. Serpentinsko zemljište je toksično za mnoge biljke i uopšteno se može pretpostaviti da prisustvo hroma zajedno s niklom doprinosi još većoj fitotoksičnosti. Utvrđeno je da biljke koje rastu na ovakovom zemljištu zahtijevaju izvjestan stepen adaptacije na prisustvo hroma u toksičnim koncentracijama, tako da se mora voditi računa o relativnom sadržaju hroma u samim vrstama. Najveći broj biljnih vrsta koji se javlja na Cr bogatom zemljištu ne sadrži znatnu količinu metala u sebi, s izuzetkom vrste *Leptospermum scoparium* (*Myrtaceae*) sa serpentinskih zemljišta na Novom Zelandu, koja sadrži 20,00 ppm Cr u lišću (Lyon i sar., 1969).

### Kadmijum (Cd)

Prirodni ciklus kadmijuma ne predstavlja predmet zabrinutosti s toksikološke tačke gledišta, ali antropogena aktivnost izaziva probleme s kadmijumom na velikom broju staništa.

Kadmijum predstavlja jedan od najtoksičnijih i najopasnijih metala za životnu sredinu i njegov biološki poluživot traje od 10 do 25 godina. Kadmijum je prisutan u atmosferi, zemljištu i vodama, a povišene koncentracije mogu izazvati ozbiljne posljedice kod svih živih organizama (Benavides i sar., 2005). Prirodne vode sadrže kadmijum u veoma malim koncentracijama. Sadržaj kadmijuma u vodi iznosi od 0,01 µg/l do 42 000 µg/l s vremenom zadržavanja od jedne do dvije godine kad su u pitanju jezera. Dubinski nivoi kadmijuma, duboko u okeanu su ispod 125 ng/l, ali uglavnom su veći od nađenih u površinskoj vodi, 4–5ng/l (Lares i sar., 2008). Kadmijum akumuliraju sve biljke, ali različitim afinitetom. Zelene alge akumuliraju kadmijum s visokim faktorom bioakumulacije. Kadmijum se sporo eliminiše, a brzo apsorbuje (Shuhaini – Othman i Pascoe, 2007).

Stepen akumulacije kadmijuma, svakako, dosta zavisi od vrste i varijeteta biljaka. pH zemljišta/sedimenta je najvažniji faktor od kojeg zavisi usvajanje kadmijuma od strane biljaka i niže vrijednosti pH favorizuju njegovo usvajanje. Nema nikakve esencijalne biološke funkcije, ali je ipak pronađen u više od 1000 vrsta terestrične i akvatične flore i faune (Goletić, 2005).

Među teškim metalima, Cd se relativno lako usvaja korijenom i dobro translocira u listove, te stoga ima izražene efekte toksičnosti i u malim koncentracijama. Cd inhibira klijanje sjemena, redukuje rast, narušava vodni režim, fotosintezu, funkcionisanje niza enzima, dovodi do formiranja slobodnih radikala i izaziva poremećaje u usvajanju N, P, K, Mg, Ca, Zn, Cu i Na. Kod povećane koncentracije kadmijuma dolazi do blokade traheja uslijed nakupljanja smolastih materija i do propadanja ćelija provodnih sudova. Na primjer, pri povišenim koncentracijama nikla i kadmijuma, kod brojnih vrsta biljaka dolazi do potpune inhibicije metabolizma magnezijuma, gvožđa, mangana i cinka, što dovodi do pojave hloroze i nekroze listova. Kadmijum utiče i na distribuciju kalcijuma kod nekih biljnih vrsta (Greger i Lindberg, 1987).

### Olovo (Pb)

Poznato je da olovo djeluje veoma toksično na živi svijet. Njegov sadržaj u suvoj materiji biljaka kreće se od 0,3 do 1,5 ppm. Pošto izduvni gasovi motornih vozila sadrže olovo, u blizini saobraćajnica njegov udio u bijkama se znatno povećava, zbog čega treba izbjegavati njihovu upotrebu u ishrani ljudi i i životinja.

Kabata – Pendias i Pendias (2003) navode da je normalni opseg olova u biljkama od 0,2 do 20 mg kg<sup>-1</sup>. Biljka usvaja olovo kako iz zemljišta, tako i iz aerosol izvora. Lane i Martin (1997), Sharma i Dubey (2005) navode da korijen ima sposobnost apsorpcije velike količine olova, ali s druge strane ukazuju na njegovu ograničenu translokaciju prema nadzemnim djelovima biljke. Olovo inhibira enzime koji učestvuju u metaboličkim procesima, na taj način što istiskuje druge metale iz pojedinih enzima i time remeti njihove funkcije.

#### 3.6. Apsorpcija metala kod vrsta roda *Trapa*

Chandra i sar. (1993) ističu da voden orah može opstati u različitim agroklimatskim regionima i da može akumulirati različite vrste teških metala i to, prije svega, u reproduktivnim organima.

Sawidis i sar. (1995) ispitivali su sadržaj teških metala u sedimentu i različitim makrofitama iz Kerkini jezera u sjevernoj Grčkoj. Došli su do zaključka da korijen akumulira najveću količinu metala u svim ispitivanim vrstama, kao i da je najveći afinitet u pogledu akumuliranja Mn i Zn izražen kod vrste *Trapa natans*.

Rai i Sinha (2001) ispitivali su sadržaj pojedinih teških metala u plodu vrste *Trapa natans*, i došli do zaključka da su metali zastupljeni na sljedeći način: Fe > Pb > Cr > Mn > Cu. Maksimalne koncentracije Pb i Cr, kao izrazito toksičnih elemenata, iznosile su 716 µg/g za Pb i 517,4 µg/g za Cr.

Kumar i sar. (2002) ispitivali su sadržaj Cd i Pb u vegetativnim i reproduktivnim organima vrste *Trapa natans* L. var. *bispinosa* (Roxb.). Prosječna vrijednost u vegetativnim djelovima (korijen, stablo, list) kretala se 11,9 µg/g za Cd i 91,5 µg/g za Pb. Studija ukazuje i na neravnomjernu raspodjelu Cd i Pb u vegetativnim i reproduktivnim djelovima (kotiledon,

perikarp). Sadržaj Pb je neznatno veći u vegetativnim, a Cd u reproduktivnim organima. Budući da je koncentracija metala u svim ispitivanim djelovima vrste *Trapa natans* L. var. *bispinosa* mnogo veća u odnosu na njihov sadržaj u vodi, autor ukazuje na mogućnost da ova vrsta može biti potencijalni hiperakumulator.

Baldissерotto i sar. (2007) su u laboratorijskim uslovima tretirali ispitivanu vrstu sa 1 Mm MnSO<sub>4</sub>, i poslije deset dana tretmana registrovali da se u plivajućoj rozeti akumulira velika koncentracija Mn ( $> 2000 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

U svojoj studiji Babu i sar. (2013) ispitivali su sadržaj Pb, Cu i Fe u vegetativnim organima vrste *Trapa natans* sa pet različitih lokaliteta u Lucknow regionu (Indija). Prema zastupljenosti metala u ispitivanim organima obrazuju se sljedeći opadajući nizovi:

Pb – list > korijen > stablo (maks. koncentracije kreću se u rasponu od 16,40 do 20,80 mg kg<sup>-1</sup>);

Cu – korijen > list > stablo (maks. koncentracije kreću se u rasponu od 6,60 do 19,80 mg kg<sup>-1</sup>);

Fe – korijen > stablo > list (maks. koncentracije kreću se u rasponu od 135,0 do 5218 mg kg<sup>-1</sup>).

Hoseinizadeh i sar. (2011) određivali su sadržaj teških metala (Cu, Cr, Cd, Zn i Pb) kod tri vodene biljke : *Typha latifolia*, *Trapa natans* i *Hydrocotyle vulgaris* u jezeru Anzali (Iran). Maksimalne koncentracije kod sve tri ispitivane vrste nađene su za cink, a minimalne za kadmijum. Sadržaj metala u ispitivanim organima kod svih vrsta obrazuje sljedeći opadajući niz: stablo > korijen > list. Najveća vrijednost translokacionog faktora registrirana je za Pb (1,13) a najmanja za Cu (0,86).

Chandra i sar. (2014) pratili su uticaj Fe<sup>3+</sup> i Cu<sup>2+</sup> na sadržaj nitrata i fosfata kod vrste *Trapa natans* L. u laboratorijskim uslovima i utvrdili potencijalno povećanje biomase uslijed tretmana s ovim metalima (7,37% nakon 21. dana tretmana sa Fe, i 6,21% nakon 21. dana tretmana sa Cu).

Na osnovu istraživanja autori su zaključili da *Trapa natans* L. posjeduje veliki potencijal u pogledu akumulacije metala i da može imati veliki značaj u biomonitoringu vodenih ekosistema koji su, posredno ili neposredno, izloženi uticaju teških metala. Ovo je, takođe, potvrđeno u studiji Srivastave i sar. (2014), u kojoj su ukazali na značaj *Trapa natans* L. u procesu fitoremedijacije.

### 3.7. Sadržaja metala u vodi, sedimentu i makrofitama Skadarskog jezera

Vodenim ekosistemom kakav je Skadarsko jezero odlikuje uravnoveženi odnos sedimenta, vode i živih organizama. Dugogodišnja istraživanja hemijskih karakteristika voda Skadarskog jezera ukazuju da je hemizam jezerske vode, uglavnom, uslovljen kako kvalitetom voda glavnih pritoka, tako i kvalitetom voda sublakustičnih izvora – „oka“, koji takođe obezbjeđuju značajan dotok vode u Jezero tokom cijele godine. Osim toga, ekstenzivno plavljenje terestričnih područja u okolini Jezera, kao i fizičko-hemijski i biološki procesi interakcije između glavnih supstrata vodene sredine (sediment – voda – organizam) od bitnog su uticaja na stanje Jezera kao cjeline (Nedeljković, 1959; Petrović i Beeton, 1981).

Petrović (1981) bilježi značajne razlike u sadržaju ispitivanih metala u litoralu i pelagijalu. U litoralu su registrovane veće koncentracije Pb, Zn i Cd, a najveći sadržaj Mn zabilježen je u pelagijalu. Istraživanja koja su rađena posljednjih godina o sadržaju teških metala u sedimentima Skadarskog jezera govore da nijesu zabilježene značajnije promjene u njihovoj koncentraciji u odnosu na raniji period.

Srednje minimalne i maksimalne koncentracije teških metala u vodi i sedimentu po godinama istraživanja i s različitih lokaliteta Skadarskog jezera date su u Tabeli 1 i 2.

**Tabela 1:** Srednje minimalne i maksimalne koncentracije ( $\text{mg L}^{-1}$ ) pojedinih teških metala u vodi Skadarskog jezera

godina metal	1974–1977. <sup>1</sup>	1990–1995. <sup>2</sup>	1998–2002. <sup>2</sup>	2003. <sup>3</sup>	2003. <sup>4</sup>	2005. <sup>5</sup>	2010. <sup>5</sup>	2013. <sup>6</sup>
<b>Cd</b>	$1\text{--}11 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}\text{--}0,002$	$< 0,0001$	$0\text{--}8 \times 10^{-4}$	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$
<b>Pb</b>	$0,001\text{--}0,010$	$0,007\text{--}0,012$	$0,001\text{--}0,011$	$0\text{--}8 \times 10^{-4}$	$0,001\text{--}0,007$	$< 0,001$	$< 0,005$	$< 0,005$
<b>Co</b>	$1\text{--}5 \times 10^{-4}$			$2\text{--}3 \times 10^{-4}$			$< 0,003$	$< 0,001$
<b>Cr</b>	$0,000\text{--}0,001$	$5 \times 10^{-4}\text{--}0,009$	$0,002\text{--}0,008$	$14\text{--}18 \times 10^{-4}$		$< 0,05$	$< 0,002$	$< 0,002$
<b>Mn</b>	$0,001\text{--}0,055$	$6\text{--}97 \times 10^{-4}$	$0,008\text{--}0,021$			$< 0,01$	$0,004\text{--}0,026$	$0,005\text{--}0,014$
<b>Ni</b>	$0,00\text{--}0,001$	$0,001\text{--}0,006$	$0,002\text{--}0,007$	$15\text{--}41 \times 10^{-4}$		$< 0,05$	$0,010\text{--}0,013$	$< 0,001$
<b>Zn</b>	$0,001\text{--}0,088$	$6\text{--}25 \times 10^{-4}$	$0,000\text{--}0,009$	$0\text{--}56 \times 10^{-4}$	$0,025\text{--}0,085$	$< 0,05$	$< 0,05$	$0,02\text{--}0,008$
<b>Cu</b>	$0,002\text{--}0,020$	$1\text{--}15 \times 10^{-4}$	$0,002\text{--}0,010$	$3\text{--}27 \times 10^{-4}$	$0,012\text{--}0,028$	$< 0,01$	$0,002\text{--}0,004$	$0,002\text{--}0,014$

Izvor:<sup>1</sup> – S. Filipović, <sup>2</sup> – CETI (7 lokacija), <sup>3</sup> – A. Neziri, Shodra University (6 lokacija s albanske strane Jezera), <sup>4</sup> – S. Mijović (10 lokacija), <sup>5</sup> – A. Vujačić (5 lokacija), <sup>6</sup> – V. Kastratović (6 lokacija)

**Tabela 2.** Srednje minimalne i maksimalne koncentracije (mg kg<sup>-1</sup>) pojedinih teških metala u sedimentima Skadarskog jezera

godina metal	1981. <sup>1</sup>	1993–1996. <sup>2</sup>	2003. <sup>3</sup>	2005. <sup>2*</sup>	2007. <sup>4</sup>	2010. <sup>5</sup>	2010. <sup>6</sup>	2013. <sup>7</sup>
<b>Cd</b>	0	0,92–1,66	0,2–0,9	<0,625	0,10–1,01	1,46	0,20–1,58	0,27–0,65
<b>Pb</b>	13	12,40–30,0	5–27,3	<5,0	40,23–49,40	11,98	13,6–35,1	16,6–46,2
<b>Co</b>	9		5,4–35,4	2,0–6,2			8,0–24,3	5,12–13,2
<b>Cr</b>	110	4,60–8,60	19,6–195,8	15,0–45,0	43,82–86,02		27–149	35,6–127
<b>Mn</b>	731	120–450				368–1765	95,4–424	
<b>Ni</b>	77	2,00–7,00	22,8–385,8	20–62,5	63,46–136,1		71–209,4	29,3–125
<b>Zn</b>	65	1,00–14,6		10,2–40,0	48,61–87,23	414,23	43,0–131,4	47,6–135
<b>Cu</b>	14	0,40–19,40	10,1–40,6	3,7–12,2	10,36–27,71	19,5	21,6–44,9	23,9–54,4

Izvori: <sup>1</sup> – G. Petrović, <sup>2</sup> – CETI (7 lokacija, 4–8 lokacija), <sup>3</sup> – A. Neziri Shodra University (9 lokacija s albanske strane Jezera), <sup>4</sup> – Stešević i sar. (5 lokacija), <sup>5</sup> – A. Duborija (10 lokacija), <sup>6</sup> – A. Vujačić (5 lokacija), <sup>7</sup> – V. Kastratović (6 lokacija)

Kada je u pitanju sadržaj teških metala u makrofitama Skadarskog jezera, treba istaći da u literaturi postoji neznatan broj podataka o njihovoj koncentraciji, sezonskom variranju i raspodjeli u različitim biljnim organima. Poseban doprinos u tom pogledu dao je Kastratović (2013) koji je u svojoj doktorskoj disertaciji ispitivao sadržaj teških metala i njihovo sezonsko variranje kod tri različite vodene makrofite: *Phragmites communis*, *Ceratophyllum demersum* i *Lemna minor*. U Tab. 3 navedeni su dosadašnji rezultati ispitivanja teških metala u makrofitama Skadarskog jezera za period od 1993. do 1996. (nije naznačeno o kojim makrofitama se radi) koja su urađena od strane CETI-a, kao i podaci Kastratovića iz 2013. godine.

**Tabela 3:** Sadržaj teških metala (mg kg<sup>-1</sup>) u makrofitama Skadarskog jezera

godina metal	1993–1996.	2013. <i>Phragmites communis</i>	2013. <i>Ceratophyllum demersum</i>	2013. <i>Lemna minor</i>
<b>Cd</b>	0,92–2,76	0,02–0,39	0,03–0,35	0–1,63
<b>Pb</b>	25,71–110,15	0,20–14,8	2,74–16,8	3,57–18,3
<b>Co</b>		0,04–3,86	0,69–5,78	1,89–8,78
<b>Cr</b>	0,19–1,15	0,21–12,4	0,89–18,6	0,79–5,32
<b>Mn</b>	0–1,49	11,0–279	275–1984	713–6633
<b>Ni</b>	0–1,76	0,30–13,5	3,68–28,5	5–20
<b>Zn</b>	12,90–34,30	5,34–79,4	16,7–114	41,3–115
<b>Cu</b>	0,01–0,38	3,46–16,9	6,48–34,5	7,94–47,8

### 3.8. Oksidativni stres i enzimi antioksidativne zaštite

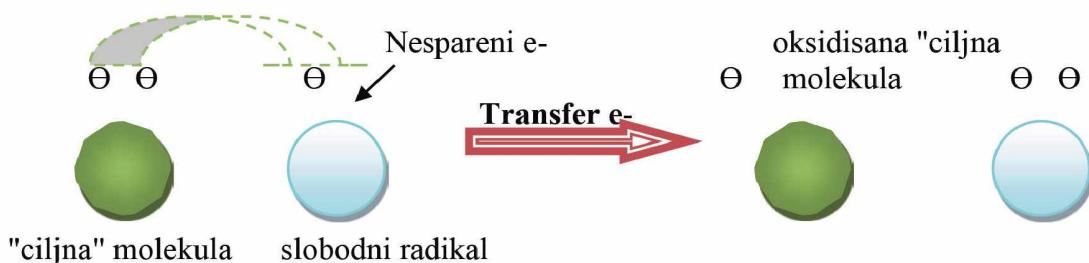
U biljkama izloženim okolnim stresovima stvaraju se slobodni radikali (Sl. 7), a biohemijski najznačajniji su reaktivni oblici kiseonika (ROS), uključujući i superoksid radikal ( $O_2^-$ ), hidroksi radikal ( $\cdot OH$ ) i vodonik peroksid ( $H_2O_2$ ). Povrede uzrokovane slobodnim radikalima, nazvane oksidativni stres, jedan su od najvažnijih štetnih faktora u biljkama koje su izložene stresovima kao što su suša, ekstremne temperature, prejak intenzitet svjetla, zaslanjenost, kao i zagađenost zemljišta (Wang i sar., 2005). Slobodni radikali oštećuju različite biološke makromolekule (oksidišu lipide membrana, izazivaju denaturaciju proteina i mutaciju DNK), što dovodi do znatnog oštećenja ćelija, inhibicije fotosinteze, kao i redukcije prinosa. Biljke (kao i drugi organizmi) posjeduju antioksidante za odbranu od slobodnih radikala, a oni mogu biti enzimski i neenzimski.



Slika 7: Elektronska struktura zajedničkih reaktivnih kiseoničnih vrsta (preuzeto sa <http://stari.svethemjeme.com/node/>)

Antioksidansima nazivamo jedinjenja koja sprečavaju oksidaciju. Glavni kriterijum prema kome neko jedinjenje može biti svrstano u potencijalne antioksidante jeste mogućnost da u malim koncentracijama u poređenju s odgovarajućim supstratom, značajno odloži ili spriječi oksidaciju supstrata, tj. da ROS ispolje veći afinitet prema antioksidantu u odnosu na biosupstrat (Halliwell, 1994).

U evoluciji, kao adaptivni odgovor na toksično djelovanje kiseonika kod aerobnih organizama došlo je do stvaranja kompleksnih mehanizama zaštite od oksidativnih oštećenja. Osnovna uloga ovih mehanizama je da smanjuje količinu i nekontrolisano stvaranje reaktivnog oblika kiseonika (ROS) i njihovih prekursora u ćelijama. Zbog težnje ROS da spare nesparen elektron ( $e^-$ ) u posljednjoj orbitali, oni se ponašaju kao snažni elektrofili, odnosno jaki oksidansi.



**Slika 8:** Mehanizam reakcije reaktivnih kiseoničnih vrsta (preuzeto iz Đukić, M: „Oksidativni stres“, Mono i Manjana, 2008)

U reakciji s donorom elektrona, odnosno supstratom (biomolekul ili neko drugo jedinjenje), reaktivne kiseonične vrste se redukuju (primaju elektron) i time gube karakter ROS, a supstrat se oksidiše (gubi elektron) i postaje ROS druge generacije, tzv. sekundarni ROS (Sl. 8) i otpočinje lanac radikalskih reakcija. Tokom oksidativnih procesa u aerobnim uslovima u organizmima nastaju brojne ROS, ali najznačajniji su  $O_2^-$ ,  $H_2O_2^-$ , OH,  $ROO^-$ ,  $HOO^-$  i drugi.

Antioksidansi sprečavaju inicijaciju ili prekidaju propagaciju lipidne peroksidacije. Proteini koji vezuju jone metala sprečavaju lipidnu peroksidaciju (LPx). Između dejstva različitih vrsta antioksidanata postoji sinergizam. Vjerovatno je da je za uravnoteženo antioksidantno dejstvo neophodno dejstvo i lipidnih i hidrofilnih antioksidantnih materija.

Antioksidativna zaštita kao fiziološki proces funkcioniše neprestano u zdravoj biljci (organizmu) i ima za cilj da spriječi štetno djelovanje prooksidativnih faktora. Antioksidansi su definisani kao supstance koje u malim koncentracijama, u odnosu prema oksidativnim supstancama, dovode do odlaganja ili inhibicije oksidacije supstrata. Sistem antioksidativne zaštite obuhvata enzimske i neenzimske antioksidante i djeluje na više nivoa (Aldini i sar. 2010):

- **uklanja kiseonik ili smanjuje njegovu koncentraciju;**
- **uklanja jone metala koji su katalizatori u reakcijama oksidativnog stresa;**
- **uklanja superoksidni anjon, vodonik-peroksid i druga reaktivna kiseonikova jedinjenja;**
- **vezuje slobodne radikale, kao što su hidroksil-, alkosil-, peroksil-radikali.**

### 3.8.1. Mehanizmi antioksidativne zaštite

Mehanizmi antioksidativne zaštite aerobnih organizama se razlikuju, ali djeluju harmonično i sinhronizovano. Sistem zaštite od oksidativnih oštećenja obuhvata:

**a) primarnu antioksidativnu zaštitu:**

- enzimski sistemi

superoksid-dismutaza (SOD), **katalaza (CAT)**, **gvajakol peroksidaza (GPx)**, glutation-peroksidaza (GSH-Px), glutation-reduktaza (GR) i dr.

- neenzimski sistemi

askorbinska kiselina (vitamin C), L-tokoferol (vitamin E), **prolin**, vitamin A, karatenoidi, mokračna kiselina, flavenoidi i druga fenolna jedinjenja

**b) sekundarnu antioksidativnu zaštitu**

Proteni koji sadrže jone gvožđa ili bakra, transferrin, albumin, ceruloplazmin i dr.

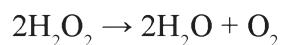
Uloga enzima antioksidativne zaštite je u biotransformaciji primarnih i sekundarnih reaktivnih vrsta u manje aktivna jedinjenja, kao i u obezbjeđivanju dovoljne količine redukcionih ekvivalenata u ćeliji, neophodnih za prevenciju razvoja oksidativnog stresa. Od enzima antioksidativne zaštite najznačajniji su: superoksidna-dizmutaza, katalaza, glutation-peroksidaza i glutation-reduktaza (Aldini i sar, 2010).

### 3.8.2. Enzimski antioksidansi

#### Katalaza (CAT)

Katalaza (EC 1.11.1.6.  $H_2O_2 : H_2O_2$  oksido-reduktaza) je enzim pronađen u biljkama, životinjama i aerobnim mikroorganizmima gdje katalizira brzu razgradnju vodonik-peroksida. Unutar ćelije katalaze ima dosta u peroksisomima i katalitički je vrlo aktivna. Biljne katalaze su tetramerni enzimi, molekulske mase od 54 do 59 kDa, te sadrže hem kao prostetičku grupu. Ovaj enzim pokazuje dvojnu katalitičku aktivnost, katalaznu i peroksidaznu.

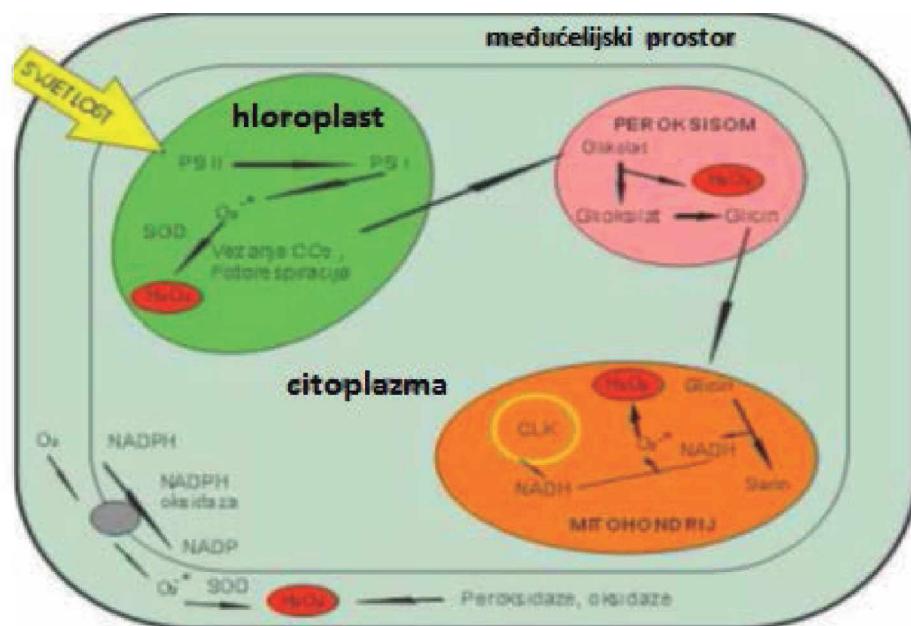
Pri katalaznoj aktivnosti enzim katalizira razgradnju vodonik-peroksida na vodu i kiseonik:



dok pri peroksidaznoj aktivnosti enzim katalizira oksidaciju supstrata (metanol, etanol, formaldehid, nitrit ili elementarna živa), pri čemu nastaje voda:



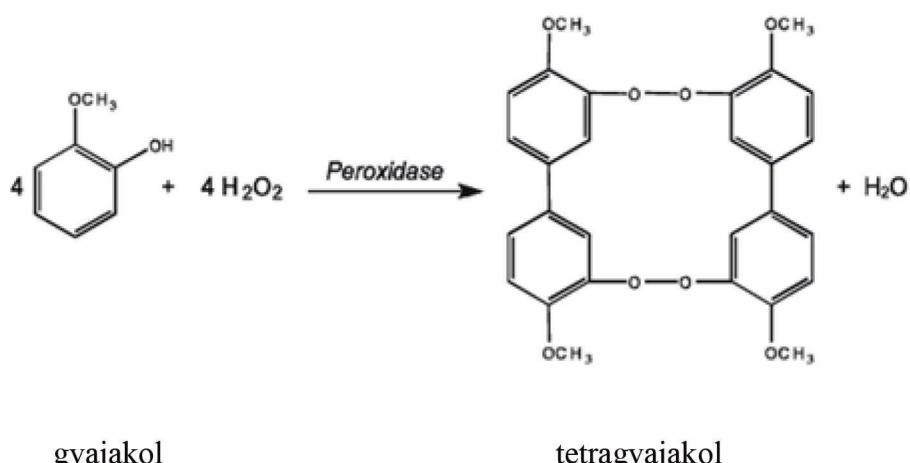
Katalaza je enzim vrlo velike aktivnosti. Jedan molekul katalaze može redukovati šest miliona molekula  $H_2O_2$  do kiseonika i vode u jednoj minuti. Velika važnost brze katalize vodonik-peroksida je potrebna jer je on snažan i jako reaktiv oksidant koji može oštetiti biološke molekule i time uzrokovati metaboličke poremećaje. Vodonik-peroksid nastaje kao produkt u mnogim reakcijama procesa fotosinteze, ćelijskog disanja (Sl. 9), a javlja se i kao produkt djelovanja oksidaza, kao što su: glukoza oksidaza, NADPH oksidaza i razne amino-kisjelinske oksidaze (Gill i Tuteja, 2010).



Slika 9: Glavni izvori vodonik-peroksida tokom fotosinteze u C3 biljkama (preuzeto iz Šlesak i sar., 2007)

### Gvajakol-peroksidaza (GPx)

Peroksidaze su glikoproteini koji u aktivnom centru sadrže Fe, a katalizuju oksidno-redukcione reakcije između  $H_2O_2$  i različitih reduktanata. Gvajakol-peroksidaza pripada biljnim peroksidazama skupine III (GPx, EC 1.11. 1.7.) koje su uključene u regulaciju različitih fizioloških procesa, kao i u antioksidacioni odgovor u stresnim uslovima (Mathe i sar., 2010). Gvajakol je najčešće korišćen supstrat za određivanje aktivnosti enzima. Njegovom oksidacijom u prisustvu  $H_2O_2$  i GPx nastaje produkt žuto-smeđe boje – tetragvajakol (Sl. 10)



**Slika 10:** Oksidacija gvajakola u tetragvajakol (preuzeto sa <http://nationchemistry.com/peroxidase/>)

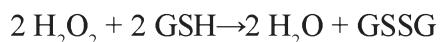
Od svih postojećih peroksidaza u eukariotskim i prokariotskim organizmima, samo su ove biljne peroksidaze grupe III prisutne u toliko velikom broju izoenzimskih formi, pa se pretpostavlja da je to razlog njihove uključenosti u različite metaboličke procese tokom čitavog životnog ciklusa (Almargo i sar., 2009).

Pored učešća u peroksidacijskom ciklusu u kojem se uklanja  $H_2O_2$ , biljne peroksidaze grupe III učestvuju i u hidroksilnom ciklusu pri kome se oslobađa ROS.

### Glutation-peroksidaza (GSH-Px)

Glutation-peroksidaza je tetramerni enzim za čiju je aktivnost neophodan selen. Ovaj selenoprotein u svom aktivnom centru umjesto normalnog cisteina, sadrži selenocistein. Selen koji je zamjenio sumpor u cisteinu, povećava nukleofilna svojstva i ionizuje brže da oslobodi proton, čime se postiže veća efikasnost enzima kao katalizatora.

Glutation-peroksidaza zajedno s katalazom učestvuje u otklanjanju  $H_2O_2$ . U reakciji sa  $H_2O_2$  redukovani oblik glutationa (GSH) prelazi u oksidovani oblik (GSSG) i nastaje voda:



Peroksidaze koje sadrže selen sačinjavaju familiju kojoj pripadaju najmanje četiri tipa enzima. Aktivnost selen zavisnih glutation-peroksidaza determinišu sljedeći faktori:

1. raspoloživost selenia za sintezu enzima;
2. odgovarajuća koncentracija glutationa;
3. aktivnost glutation-reduktaze;
4. količina stvorenog NADPH u pentozofosfatnom putu.

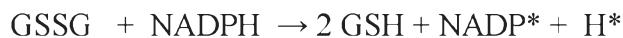
„Klasična“ glutation-peroksidaza (cGHx) djeluje na  $2H_2O$  i hidroperokside masnih kisjelina, ali ne i na esterifikovane lipide, kao što su oni prisutni u lipoproteinima. Fosfolipidna hidroperoksidna glutation-peroksidaza (PHGPx) je jedini enzim za koji se zna da redukuje lipidne hidroperokside iz lipoproteina. Ova izoforma je vezana za membranu i kao cGHx se ne nalazi u ekstracelularnim tečnostima.

### Superoksid-dismutaza (SOD)

Superoksid-dismutaza katalizuje dismutaciju superoksid-anjon radikala u vodonik-peroksid i molekulske kiseonik, pri čemu se jedan molekul  $O_2\cdot$  oksidiše u  $O_2$ , a drugi redukuje u  $H_2O_2$ . Dalje se vodonik-peroksid pod dejstvom katalaze i glutation-peroksidaze razlaže do vode i molekularnog kiseonika. Ovim mehanizmima zaštite sprečavaju se oksidativna oštećenja ćelije (Domitrović i sar., 2006).

### Glutation-reduktaza (GR)

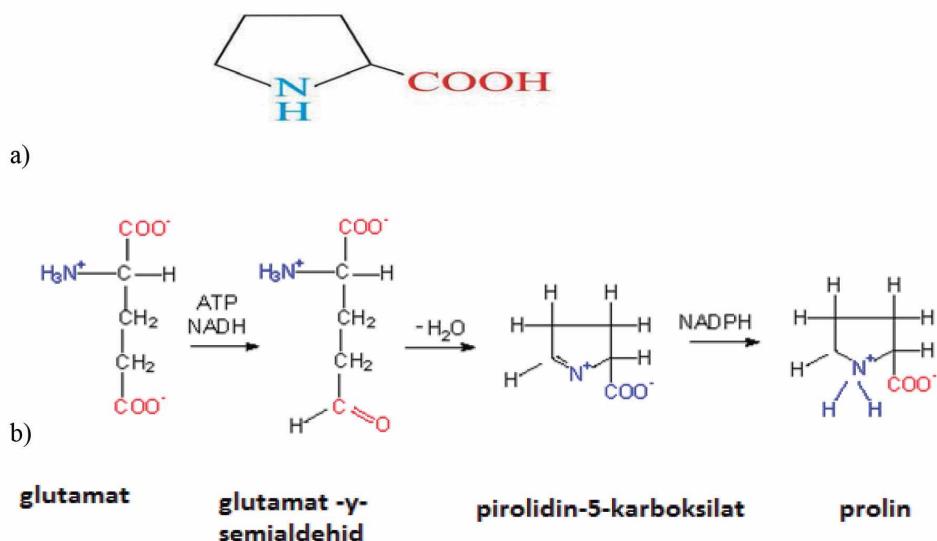
Glutation-reduktaza ima ulogu u održavanju rezervi redukovanih glutationa u ćeliji, tako što koristi redukovani energiju iz pentozno-fosfatnog puta (NADPH). Čak i kada su prisutne velike količine  $H_2O_2$ , ovaj enzim je veoma efikasan u održavanju ćelijskih rezervi glutationa:



Intracelularni odnos oksidativnog i redukovanih glutationa (GSSG/GSH) je dokaz oksidovanog stanja ćelije i pokazatelj detoksikacionih kapaciteta ćelije.

#### 3.8.3. Prolin kao indikator stresa izazvanog teškim metalima

Akumulacija amino-kiseline proline u pojedinim djelovima biljke najčešće se vezuje za osmoregulaciju biljnih tkiva u uslovima vodenog stresa, te se ovo jedinjenje svrstava u grupu tzv. kompatibilnih osmolita. Kako teški metali dovode do poremećaja u vodnom režimu biljaka, nakupljanje proline u biljkama često se uzima kao biomarker i za stres izazvan teškim metalima (Singh i sar., 1973 b; Bassi i Sharma, 1993). Prolin učestvuje u antioksidacijskom odgovoru kao jedan od neenzimskih antioksidanata (Sl. 11).



Slika 11: a) struktura prolina, b) šema biosinteze prolina

(preuzeto sa [http://www.biology.arizona.edu/biochemistry/problem\\_sets/aa/glutamate.html](http://www.biology.arizona.edu/biochemistry/problem_sets/aa/glutamate.html))

Prolin štiti membrane i proteine od štetnog djelovanja visokih koncentracija neorganskih jona, kao i temperaturnih ekstrema. On se u stresnim uslovima akumulira u puno većoj količini u odnosu na druge amino-kisjeline (Valliyodan i Nguyen, 2006). Prolin se akumulira u citoplazmi, gdje u stresnim uslovima može činiti i više od 80% slobodnih amino-kisjelina, s koncentracijom i do 200 mM, čime značajno doprinosi osmotskoj regulaciji citoplazme. Otpornost različitih genotipova prema stresnim uslovima može se ocijeniti prema sposobnosti akumulacije slobodnog prolina. Takođe se smatra da prolin obezbjeđuje energiju potrebnu za metaboličke procese vezane za rast i razvoj biljka. Pošto je oksidacija jednog molekula prolina ekvivalent 30 molekula ATP-a, on se čini kao dobro pogodna amino-kisjelina u pogledu snabdijevanja energijom za ćelijske metaboličke procese (Szabados i Savoure, 2009).

Mnoga istraživanja utvrdila su povećanu akumulaciju prolina u biljnog tkivu pod uticajem Cd, Ni, Pb. (Handique i Handique, 2009; Dinakar i sar., 2009). Prihvaćeno je mišljenje da je akumulacija prolina pod uticajem stresa, genetski regulisan proces, pri kom dolazi do intenzivne ekspresije gena koji regulišu njegovu sintezu i depresije gena koji utiču na njegovu degradaciju. Takođe, utvrđeno je da se inhibira sinteza proteina koji u svom sastavu sadrže prolin, a stimuliše razlaganje već sintetisanih proteina (Alia i Saradahi, 1991).

## **MATERIJAL I METODE**

## 4. MATERIJAL I METODE

### 4.1. Opis istraživanog područja

#### 4.1.1. Prirodne karakteristike basena Skadarskog jezera

Skadarsko jezero je najveće jezero na Balkanskom poluostrvu. Većim dijelom nalazi se na teritoriji Crne Gore, dok manjim dijelom pripada Albaniji. Smješteno je u Zetsko-skadarskoj kotlini, između planinskih masiva Prokletija – Taraboša – Rumije – Sutormana – Sozine i Lovćena. U zavisnosti od vodostaja, površina Jezera varira. Tako pri vodostaju od 4,71 m nm površina jezerske vode iznosi  $354 \text{ km}^2$ , dok pri vodostaju od 4,71 m nm, Jezero dostiže površinu i do  $505,8 \text{ km}^2$ . Pri maksimalnom vodostaju dio Jezera koji pripada Crnoj Gori nalazi se na površini od oko  $340,2 \text{ km}^2$ , dok na teritoriji Albanije zahvata površinu od  $165,6 \text{ km}^2$  (Burić i Radulović, 1983). Skadarsko jezero se odlikuje nizom specifičnosti. Njegove najvažnije prirodne osobine izražene su kroz geografski položaj, morfologiju dna njegovog korita, površinu jezerske vode, sastav i strukturu biljnog i životinjskog svijeta, fizičko-hemijske i biološke osobine vode. Smješteno između visokih planina krečnjačkog sastava, Skadarsko jezero se odlikuje izuzetno razuđenom i nestabilnom obalom i brojnim ostrvima.



Slika 12: Skadarsko jezero (Petrović, 2012)

Iako velike površine, Jezero je poznato po maloj dubini vode, što je od posebnog značaja za njegov termički režim, a time i živi svijet (Sl. 12). Srednja dubina jezerske vode je 5,01 m. Najveća dubina izmjerena je u „oku“ Raduš, poznatoj sublakustičnoj vrtači i iznosi 60 m. Skadarsko jezero je, dakle, jedna kriptodepresija male dubine čije je dno ispod nivoa mora, a vodeni stub svega nekoliko metara iznad morskog nivoa. Ova osobina je od posebnog značaja za protočnost vode, a samim tim i za intenzitet procesa samoprečiščavanja jezerske vode (Stanković, 1989). Kao Jezero protočnog karaktera odlikuje se velikim brojem pritoka i jednom otokom (rijeka Bojana). Najveću količinu vode Jezeru obezbjeđuju pritoke Morača i Rijeka Crnojevića. S obzirom na njihov tok kroz urbana i industrijska naselja one istovremeno predstavljaju i potencijalne zagađivače voda Skadarskog jezera, što se posebno odnosi na Moraču, koja donosi Jezeru oko 62% vode. Nasuprot tome, najveću količinu vode iz Skadarskog jezera odvodi rijeka Bojana. Manjim dijelom Jezero se prazni i isparavanjem vode sa sopstvene površine.

Skadarsko jezero je suptropsko jezero s dosta visokim ljetnjim temperaturama (do  $28^{\circ}\text{C}$ ) i povoljnim zimskim temperaturama vode koje su uvijek iznad  $0^{\circ}\text{C}$  (273 K). Ovako povoljan temperaturni režim vode omogućava da se životni ciklus, razviće i rast mnogobrojnih organizama odvijaju neprekidno tokom cijele godine (Karaman, 1997).

#### **4.1.2. Geološki sastav, geomorfologija i hidrografija Skadarskog jezera**

Područje Zetske ravnice i basen Skadarskog jezera čine jedinstvenu geomorfološku cjelinu koja ima veliki uticaj ne samo na geološku strukturu područja Crne Gore već i šire okoline. Mnoge riječne doline čije se rijeke slivaju u Zetsku ravnici i dalje u Jezero (Morača, Zeta, Rijeka Crnojevića, Cijevna, Sitnica i dr.) od velikog su značaja za postojeću geomorfologiju basena. Zetska ravnica, s basenom Skadarskog jezera je duboka potolina čiji se oblik vremenski mijenja. Prvobitno, ona je bila kotlastog oblika, koji se uslijed snažnih erozija izazvanih uticajima voda navedenih pritoka postepeno mijenjao (Bešić, 1975; Bešić i Mihailović, 1983).

U geološkoj građi sliva Skadarskog jezera učestvuju stijene i sedimenti različitog petrografskeg, odnosno litološkog sastava i starosti. Najveće prostranstvo zauzimaju krečnjaci i dolomiti kredne, jurske i trijarske starosti. Pružaju se od Skadarskog jezera kroz Krajinu, Crnogorju i Lješansku nahiju do Rumije, Lovćena i Golije, kao i od Zetsko-bjelopavličke ravnice do vrhova Maganika, Kamenika i Žijova. Krečnjaci su uglavnom čisti. Ponekad se u njima javljaju proslojci rožnaca, breča i laporovitih krečnjaka.

Osim krečnjaka, veliko prostranstvo u slivu Jezera zauzimaju sedimenti i rastreseni materijal kvartarne starosti koji čine drobine i nanosi glacijalnog i flaviglacijalnog porijekla, odnosno šljunak i pjesak, konglomerat, ilovače i savremeni aluvijalni nanos. Veliko prostranstvo kvartarnih sedimenata posljedica je jako izražene glacijacije Lovćen, Vojnika, Kamenika, Žijova i drugih visokih planina u slivu (Fuštić, 1997).

Reljef u slivu Skadarskog jezera je veoma dinamičan jer obiluje raznovrsnim reljefskim oblicima, počev od ravnica i riječnih dolina do kraških polja, uvala, vrtača, grebena, vrhova i strmih padina i strana. Na ovako raznovrsnim oblicima reljefa nalaze se zemljišta različite dubine, od vrlo plitkih na kršu i strmim padinama do vrlo dubokih u ravničarskom dijelu sliva (Fuštić, 1997).

Velika rasprostranjenost krečnjaka u slivu Skadarskog jezera uticala je na razvijenost hidrografske mreže, koja je, i pored obilnih padavina koje se izlučuju na sliv, slabo razvijena. Najslabija razvijenost zastupljena je u sjeverozapadnom dijelu sliva jer padavine, iako se javljaju u velikoj količini, brzo poniru u podzemlje i podzemnim putevima dospijevaju u glavne vodotoke – Zetu, Moraču, Rijeku Crnojevića i dr. Osim toga, obilne padavine izazivaju krašku eroziju koja se ispoljava u vidu spiranja čestica zemljišta i njihovog odlaganja u vrtače, uvale i druge oblike kraškog reljefa. Kao posljedice kraške erozije prisutne su velike površine golog kamenjara, dok su bujice mnogo rjeđe.

Skadarsko jezero se najvećim dijelom snabdijeva vodom od više stalnih i povremenih vodotoka. Jezero ima svoj neposredan i stalan sliv veličine oko  $5500 \text{ km}^2$ , od čega je na teritoriji Crne Gore  $4500 \text{ km}^2$ , a na teritoriji Albanije  $1000 \text{ km}^2$ . Najvažnije pritoke od kojih Jezero dobija vodu su rijeke Morača, Karatuna, Rijeka Crnojevića, Orahovštica sa Crnicičkom rijekom, Plavnica, Zetica, Gostiljska rijeka, Mala Mrka, Velika Mrka i dr. S teritorije Albanije Jezero dobija vodu od nekoliko povremenih manjih rječica, među kojima je s najvećim udjelom rijeka Vraka (Burić i Radulović, 1983). Skadarsko jezero vodom hrane i brojni podvodni izvori – „oka“, među kojima je najpoznatije Raduško „oko“, gdje se dubina vode, čak i tokom sušnog perioda godine, kreće i do 60 m. Povremeno Jezero dobija vodu i od rijeke Drim. To se događa kada je nivo vode rijeke Drim iznad nivoa voda Skadarskog jezera (Radulović, 1977, 1983).

Ipak, najveći udio na izmjene zapremine vode, vodostaja i površine Skadarskog jezera ostvaruje rijeka Morača, kako je već istaknuto. Bogatstvu voda Jezera doprinose i obimne padavine, čija je prosječna visina u slivu 2300 mm.

#### 4.1.3. Klimatske odlike

Geografski položaj Skadarskog jezera u području mediteranske zone uslovjava specifičnosti u klimatskom režimu ovog vodenog staništa. Usljed neravnomjernog rasporeda atmosferskih padavina u toku godine izražen je duži period aridnosti. U godišnjem ciklusu ispoljena su uglavnom dva perioda: topao, sušni period niskog vodostaja i hladan period s obiljem atmosferskog taloga i visokim vodostajem. Nagle promjene u hidrografskim odnosima pri smjenjivanju ova dva perioda u jesen i proljeće, modifikuju u znatnoj mjeri osnovne ekološke faktore sredine i prouzrokuju osjetne promjene u strukturi životnih zajednica jezerskog makrofitskog regiona.

#### 4.1.4. Fizičko-hemijske osobine voda Jezera

Među brojnim odlikama koje karakterišu kvalitet voda Skadarskog jezera svakako su najznačajnije sljedeće: sadržaj kiseonika i hranljivih soli, temperatura, sadržaj količinarnih bakterija i toksičnih elemenata.

Vode Skadarskog jezera karakteriše još uvijek povoljan sadržaj rastvorenog kiseonika i relativno niske vrijednosti rastvorenih soli. Jezero je kalcijum-bikarbonatnog tipa, što je u skladu s geološkim sastavom okolnih stijenskih masa, pri čemu dominira bikarbonatni ion, dok ostali anjoni imaju znatno niže koncentracije (Filipović, 1983; Purić, 1983, 2002).

Sadržaj hranljivih soli ima niske vrijednosti, što je posebno karakteristično za otvoreni (pelagijalni) dio Jezera. Analiza voda i jezerskih sedimenata pokazuje da se fizičko-hemijski uslovi koji vladaju u otvorenoj – pelagijalnoj vodi, u značajnoj mjeri razlikuju od onih u litoralu, posebno na mjestima s makrofitskom vegetacijom. Podaci o koncentraciji hranljivih soli ukazuju da Jezero nije opterećeno suvišnim količinama nitrata i fosfata (Filipović i Avdagić, 1997).

Međutim, upotreba vještačkih đubriva i deterdženata (na bazi fosfata) već sada pokazuju svoje efekte na Jezero (eutrofikacija). Proučeni odnosi između akvatičnih makrofita i jezerskog hemizma vode ukazuju da u vrijeme kada se makrofitska vegetacija ne razvija (zima – proljeće), pritoke, a posebno Morača, određuju hemijske karakteristike voda Jezera. Obratno, za vrijeme ljeta i rane jeseni, dobro razvijena makrofitska vegetacija na velikim prostranstvima Jezera u priličnoj mjeri utiče na hemizam i fizička svojstva jezerske vode.

Temperatura vode Skadarskog jezera je različita u njegovim pojedinim djelovima, a uglavnom zavisi od dubine vode i uticaja podzemnih voda. Na području vrulja temperatura vode je i do 13°C. U površinskim djelovima tokom ljeta temperatura vode na mjestu gdje nema vrulja može dostići i preko 27°C.

Što se tiče sadržaja toksičnih supstanci u vodenoj sredini (teški metali, fenoli, deterdženti, pesticidi, polihlorovani bifenili, nafta i naftni derivati i dr.), rezultati istraživanja ovih komponenti u uzorcima vode i sedimenta, kao i nekih organizama, ukazuju da je kvalitet vodene sredine Skadarskog jezera još uvijek na granici zadovoljavajućeg. Međutim, prisutan je stalni trend rasta njihovih koncentracija, posebno na ušću glavnih pritoka s tendencijom da se proširi na ostali dio Jezera (Petrović, 1978, 1983).

Ekohemijski efekti i biološke posljedice koje mogu nastati uslijed moguće izmjene u hemijskom sastavu vodene sredine, dovele bi do preobražaja prirodnih biocenoza, narušavanja ciklusa azota, ugljenika, sumpora, fosfora i drugih elemenata, smanjenja biološke produktivnosti, ubrzane eutrofikacije, odnosno stareњa Jezera, akumulacije hemijskih toksikanata u određenim organizmima, mikrobiološkog zagađivanja, naročito u priobalnom dijelu i sl.

## 4.2. Istraživano područje

Uzorci biljnog materijala vode i sedimenta uzeti su sa devet lokaliteta u dva istraživačka perioda, maj i avgust, 2012 (Tab. 4, Sl. 13).

**Tabela 4:** Opis istraživanih lokaliteta

Lokalitet	Naziv istraživanih lokaliteta	Koordinate
T1	Morača na ušću desnog kraka u Jezero	42°27'70" N; 19°12'32" E
T2	Jezero poslije ušća desnog kraka Morače	42°27'57" N; 19°12'15" E
T3	Kamenik	42°28' 54" N; 19°10' 25" E
T4	Milovića zaliv – uzvodno od Virpazarske rijeke	42°26' 22" N; 19°10' 77" E
T5	Raduš	42°22'79" N 19°12'94" E
T6	ušće lijevog kraka Morače u Jezero	42° 25'84" N; 19°13'46" E
T7	ušće Plavnice	42°26'55" N; 19°19'80" E
T8	Lipovik (Rijeka Crnojevića)	42°35'23" N; 19°03'99" E
T9	Karuč	42°35'81" N; 19°10'71" E



Slika 13: Istraživano područje

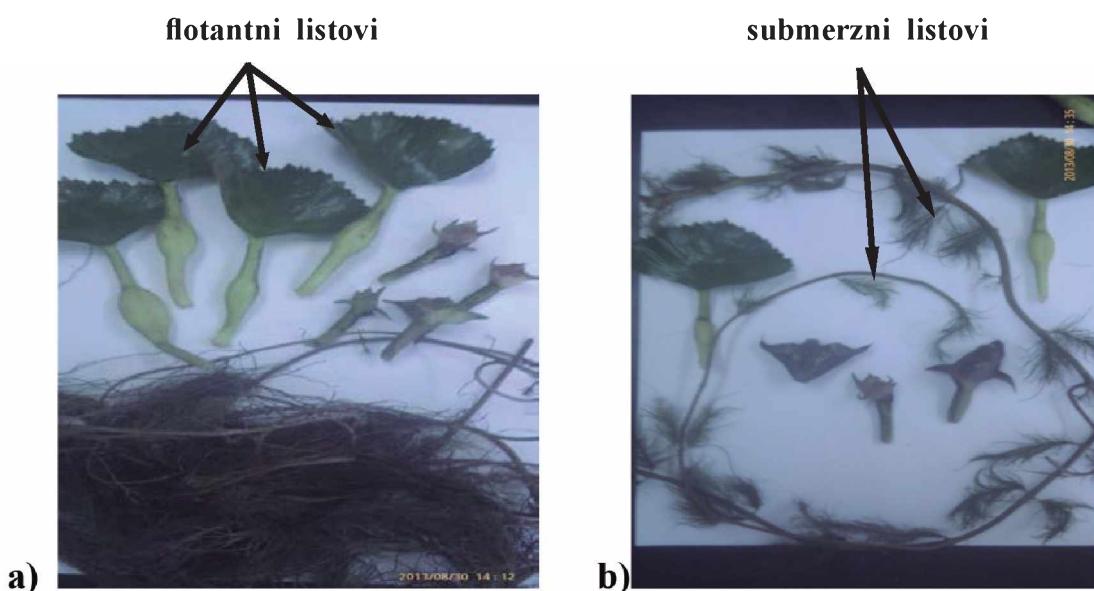
#### 4.3. Opis ispitivane vrste (*Trapa natans* L.)

Vrsta *Trapa natans* pripada familiji Trapaceae, koja obuhvata samo jedan savremeni rod *Trapa* rasprostranjen u umjerenom pojusu Evrope i Azije, u tropskim i suptropskim područjima Azije i Afrike (Janković, 1973).



Slika 14: *Trapa natans* (Petrović, 2012)

Rod *Trapa* čine vodene jednogodišnje zeljaste biljke, sa 15–20 vrsta. *Trapa natans* je jednogodišnja vodena biljka (Sl. 14). Stabljika je razgranata, ponekad vrlo dugačka. Biljka ima dvije vrste listova (Sl. 15), submerzne nitaste ili uzanolancetaste, koji postepeno prelaze u plivajuće, krupne, rombične flotantne listove, koji obrazuju karakterističnu plivajuću rozetu. Flotantni listovi su na gornjoj strani glatki i tamnozeleni, a s donje strane dlakavi i s izraženom nervaturom (Janković, 1958). Na listovima postoje hidropote, preko kojih se izlučuje voda i na taj način ubrzava promet vode u biljnim tkivima. Preko hidropota se odvija i takozvani „lov jona“, odnosno apsorpcija mineralnih elemenata iz vode.



**Slika 15:** a) flotantni listovi; b) submerzni listovi vrste *Trapa natans* (Petrović, 2013)

Korijen je djelimično atrofiran. Odlikuje se veoma razvijenim sistemom adventivnih korijenova (Sl. 16), koji se djelimično ili potpuno ukorjenjavaju u podlogu, a neki na višim nodusima, lebde u vodi. Prvi končasti adventivni korijenovi javljaju se pri osnovi stabljike, a kasnije se razvijaju na nodusima, i to sukcesivno, počev od osnove stabla prema vrhu. Adventivni korijenovi na nodusima su brojni i razvijaju se u toku cijelog vegetacionog perioda (Janković i Blaženčić, 1970). Cvjetovi su pojedinačni i nalaze se u pazuhu lista. Plod je izmijenjena koštunica, čiji lističi izrastaju u trnolike izraštaje. Sa strane posmatran, plod ima trouglast izgled (Sl. 17).



**Slika 16:** Dugačka stabljika s velikim brojem adventivnih korijenova vrste *Trapa natans* (Petrović, 2013)



**Slika 17.** Plodovi vrste *Trapa natans* (Petrović, 2013)

Kasoranjia nastanjuje stajaće i sporotekuće vode, u kojima izgrađuje gусте и простране, готово neprohodne populacije. Нарочито је добро развијена у топлим барама, богатим органским и минералним материјама. У типичним случајевима, populacije ове биљке заузимају зону између појаса жутог и bijelog lokvanja с jedне, и појаса submerznih biljaka, s druge strane.

#### **4.4. Uzimanje uzorka na terenu**

##### **4.4.1. Uzimanje uzorka vode**

Za određivanje teških metala uzorci vode su uzimani Fridingerovom bocom sa sredine vodenog stuba i sakupljeni su u polietilenskim bocama od jednog litra. Nakon toga uzorci su konzervirani s azotnom kiselinom (1:1) i to u količini od  $3 \text{ cm}^3 / \text{dm}^3$ . Uporedo s uzimanjem uzorka za određivanje metala uzimani su i uzorci vode za određivanje osnovnih fizičko-hemijskih i hemijskih karakteristika vode (temperatura vode, rastvoreni kiseonik,  $\text{BPK}_5$ , utrošak  $\text{KMnO}_4$ , tvrdoća vode, sadržaj karbonata, bikarbonata, nitrata, nitrita, amonijaka, kalcijuma i magnezijuma).

##### **4.4.2. Uzimanje uzorka sedimenata**

Uzorci sedimenata su uzimani Eckmanovim bagerom sa dubine od 0 do 20 cm u količini od jednog kilograma. Nakon uzimanja i odbacivanja krupnijeg materijala (kamenčići, grančice i sl.), uzorci su pakovani u plastične kese, a zatim su donijeti u laboratoriju.

##### **4.4.3. Uzimanje uzorka biljnog materijala (korijen, stabljika i list)**

Za uzorkovanje biljnog materijala izabrana su mesta najveće gustine i pokrivenosti. Uzorkovane su 3–4 cijele biljke, sličnog oblika, veličine i težine, s površine od oko  $20\text{--}25 \text{ m}^2$ . Uzorci su pakovani u polietilenske kese, a zatim donijeti u laboratoriju.

##### **4.4.3.1. Determinacija uzorka biljnog materijala**

S obzirom na to da se na samom početku istraživanja javila nedoumica u pogledu determinacije uzorkovanog biljnog materijala (budući da se u literaturi navodi i prisustvo podvrste koju je opisao Janković, 1958) izvršena je determinacija uzorka biljaka sakupljenih na području Skadarskog jezera u Laboratoriji za sistematiku viših biljaka i fitogeografiju, a potvrđena komparacijom materijala u herbarskoj jedinici BUNS Herbarijum Deparmana za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu. Determinacija je vršena najprije standardnim dihotomim ključevima nacionalnih i

regionalnih flora (Hegi, 1926; Rohlena, 1942; Janković, 1957; Janković, 1958; Tutin, 1968; Janković, 1973; Pignatti, 1982; Janković, 1986; Paparisto i sar., 1988; Micevski i Matevski, 2001; Coneva i sar., 2012). Sakupljeni uzorak sa 120 jedinki, koji je sadržao listove sredine rozete i cvjetove pregledan je u laboratoriji i kolektovan u herbarijumu BUNS. Ukupan broj jedinki podvrgnut je analizi varijabilnosti linearnih kvantitativnih i kvalitativnih karaktera koji se koriste u determinaciji taksona infraspecijskog ranga u okviru vrste *Trapa natans*. Analizirana varijabilnost morfoloških karaktera karakterističnih za ovu vrstu potvrdila je prepostavku da se radi o agregatu *T. natans* L. 1753 i da materijal s više lokaliteta područja Skadarskog jezera ima karakteristike više opisanih varijeteta. Tačnije, nije moguće definisati infraspecijsku diferencijaciju jer setovi karaktera pokazuju diskontinuiranu distribuciju kod primjeraka uzorkovanih iz jednog vodenog basena, te se često pojavljuju u kombinacijama karakterističnim za više taksona na jednom primjerku.

#### **4.5. Priprema uzorka za analizu**

##### **4.5.1. Laboratorijsko posuđe i reagensi**

U cilju izbjegavanja eventualne kontaminacije uzorka, posebna pažnja tokom laboratorijske obrade uzorka posvećena je čistoći laboratorijskog posuđa i pribora. Poslije pranja u običnoj vodi i deterdžentu, posuđe je isprano 3% azotnom kiselinom, a zatim destilovanom i, na kraju, redestilovanom vodom. Redestilovana voda je pripremana destilacijom dejonizovane vode.

##### **4.5.2. Priprema uzorka vode za određivanje sadržaja teških metala**

Nakon donošenja u laboratoriju, uzorci vode za određivanje teških metala su pročiđeni kroz hartiju za cijeđenje Whatman-42, koja je prethodno isprana destilovanom i redestilovanom vodom. Filtrat je sakupljen u normalne sudove od  $1000\text{ cm}^3$ . Od toga je  $500\text{ cm}^3$  isparavano na vodenom kupatilu do zapremine od  $50\text{ cm}^3$ , a zatim su upareni do suva u čašama od  $100\text{ cm}^3$ . Suvi ostatak je rastvoren u  $5\text{--}10\text{ cm}^3$  2M azotne kiseline i prenešen u normalne sudove od  $50\text{ cm}^3$  koji su dopunjeni redestilovanom vodom.

##### **4.5.3. Određivanje fizičko-hemijskih parametara vode Skadarskog jezera**

Istraživanja teških metala i njihove moguće bioakumulacije u određenim biljnim vrstama Skadarskog jezera obuhvatala su i određivanje osnovnih fizičkih i hemijskih ka-

rakteristika voda Jezera (temperatura, dubina, providnost,  $\text{BPK}_5$ , nitriti, nitrati, hloridi, bikarbonati, fosfati, sulfati, K, Na, Mg, karbonalna tvrdoća, ukupna tvrdoća). Analiza fizičko-hemijskih parametara vode izvršena je u skladu sa standardnim metodama za ispitivanje vode (APHA, AWWA i WPCF, 1995).

#### **4.5.4. Priprema uzorka sedimenta za određivanje sadržaja teških metala**

Uzorci sedimenta su sušeni na vazduhu, potom u sušnici na  $75^{\circ}\text{C}$  48 sati. Osušeni uzorci su sitnjeni u ahatnom avanu i sijani kroz sito < 1,5 mm. Oko 0,5 g uzorka pod pritiskom i povišenom temperaturom je mineralizovan smjesom  $\text{HCl} : \text{HNO}_3$  (3:1). Nakon mineralizacije, rastvori su razblaženi 2M  $\text{HNO}_3$  do konačne zapremine od  $100 \text{ cm}^3$ . Analitička tačnost rezultata provjerena je korišćenjem referentnog materijala Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju (Kina), standarda za tragove metala u sedimentu (NCS DC70312).

#### **4.4.4.3. Određivanja sadržaja teških metala u uzorcima vrste *Trapa natans***

Nakon donošenja u laboratoriju biljni materijal je ispran vodom sa česme, pa dejonizovanom vodom i lagano osušen papirnim ubrusom. Korišćenjem makaza od kvalitetnog čelika odvojeni su biljni djelovi: korijen, stablo i list. Zatim su uzorci sušeni 48 sati na  $75^{\circ}\text{C}$ , a potom samljeveni u fini prah i homogenizovani.

Biljni uzorci su spremani za analizu suvim spaljivanjem. 0,5 g biljnog materijala zagrijevano je u porcelanskom lončiću na rešou do pepela, a potom je materijal žaren u žarnoj peći pet sati na temperaturi od  $550^{\circ}\text{C}$ . Ugljenisani biljni materijal je sa 2 M  $\text{HCl}$  prenešen u normalni sud od  $50,0 \text{ cm}^3$ .

Analitička tačnost izmjerениh koncentracija metala u bilnjnom materijalu provjerena je korišćenjem referentnog materijala (NCS DC73348) Nacionalnog instituta za standard i tehnologiju, Peking, Kina.

Svi uzorci vode, sedimenta i biljnog materijala pripremani su triput i razmatrana je njihova srednja vrijednost. Određivanje sadržaja teških metala (Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb i Zn) vršeno je primjenom tehnike induktivno spregnute plazme (ICP-OES) na aparatu proizvođača Spectro Arcos.

## 4.6. Geo-hemijski faktori sedimenta

### 4.6.1. Geo-akumulacioni indeks (GeoI)

Geo-akumulacioni indeks je korišćen za određivanje stepena zagađenja površinskog sedimenta Skadarskog jezera. GeoI se izračunava prema formuli:

$$\text{GeoI} = \log_2 [C_{\text{Me}} / 1,5 \times B_n],$$

gdje je  $C_{\text{Me}}$  – koncentracija metala,  $B_n$  – geochemijska pozadinska (referentna vrijednost), uzeta kao prosječna vrijednost sadržaja metala u Zemljinoj kori još od predindustrijskog doba (Harikumar i sar., 2010). GeoI skala sadrži šest stepeni (0–5), rangiranih od nezagadenih do vrlo zagađenih sedimenata (Tab. 5).

**Tabela 5:** Različite klase geo-akumulacionog indeksa u odnosu na kvalitet sedimenta

GeoI	Klasa GeoI	Kvalitet sedimenta
0–0	0	nezagaden
0–1	1	nezagaden do umjereno zagađen
1–2	2	umjereno zagađen
2–3	3	umjereno do visoko zagađen
3–4	4	visoko zagađen
4–5	5	visoko do vrlo zagađen
5–6	> 5	vrlo visoko zagađen

### 4.6.2. Određivanje faktora kontaminacije (CF)

Faktor kontaminacije (CF) se izračunava pomoću izraza ( Muller, 1981):

**CF** = koncentracija metala u sedimentu/pozadinska koncentracija metala

Kada je:

**CF < 1** – postoji niska kontaminacija metalom;

**1 < CF < 3** – radi se o umjerenoj kontaminaciji;

**3 < CF < 6** – postoji znatna kontaminacija;

**CF > 6** – kontaminacija je vrlo visoka.

#### **4.6.3. Indeks opterećenja zagadenjem (Pollution Load Index, PLI)**

Indeks opterećenja zagadenjem predstavlja zajednički doprinos proučavanih metala kontaminaciji sedimenta, a izračunava se kao n-ti korijen faktora kontaminacije (CF) proučavanih metala u sedimentu akvatičnih ekosistema (Tomlinson i sar., 1980):

$$\text{PLI} = (\text{CF}_1 \times \text{CF}_2 \times \dots \times \text{CF}_n)^{1/n}$$

n – broj ispitivanih metala

PLI je jednostavno i komparativno sredstvo za procjenu kvaliteta sedimenta: vrijednost 0 predstavlja savršen sediment; vrijednost 1 označava samo osnovne nivoje prisutnog zagadenja; vrijednost iznad 1 govori o progresivnom narušavanju kvaliteta sedimenta u pogledu teških metala (Harikumar i sar., 2010).

#### **4.7. Metode određivanja aktivnosti enzima antioksidativne zaštite**

##### **4.7.1. Spektrofotometrijsko određivanje aktivnosti katalaze (CAT)**

Aktivnost katalaze određivana je spektrofotometrijskom metodom po Luck-u (1974).

Uzorci listova i korijena težine 1,0 g isjeckani su makazama, stavljeni u avan i macerirani tučkom. Maceriranje obaviti brzo uz dodatak male količine fosfatnog pufera (10 cm<sup>3</sup>), sve dok se smjesa ne homogenizuje, a zatim sadržaj iz avana kvantitativno prenijeti u plastičnu epruvetu i centrifugirati 10 min na temperaturi od 1 do 4°C.

Nakon ekstrakcije u fosfatnom puferu, ekstrakt treba razblažiti kako bi se pristupilo očitavanju vrijednosti katalaze u spektrofotometru, koji je prethodno podešen na talasnu dužinu A=240 nm. U kivetu spektrofotometra se dodaje 3 cm<sup>3</sup> vodonik-peroksid fosf. pufera + 0,01–0,04 cm<sup>3</sup> ekstrakta, gdje se očitavanje vrši nakon 3 min.

Izračunavanje aktivnosti enzima katalaze vršeno je po formuli:

$$\text{Aktivnost u ekstraktu (U/ml)} = (\Delta \text{Amin} \times \text{Vrs}) / (0,0436 \times \text{Vuz})$$

**U** – količina enzima koju troši 1 µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> u minuti na 25 stepeni, pH = 7

**ΔAmin** – promjena apsorbance po minuti na početku reakcije

**Vrs** – zapremina reakcione smješe u kivetu

**Vuz** – zapremina uzorka u reakcionaloj smješti

**0,0436** – milimolarni ekstinkcioni koeficijent za H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na 240 nm

#### 4.7.2. Spektrofotometrijsko određivanje aktivnosti gvajakol-peroksidaze (GPX)

Aktivnost gvajakol-peroksidaze određivana je spektrofotometrijskom metodom po Zhang i sar. (2005).

Ig biljnog materijala (list, korijen) homogenizovati sa 5 cm<sup>3</sup> 0,02 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Nakon homogenizacije, sadržaj iz avana kvantitativno prenijeti u plastičnu epruvetu, pa centrifugirati na 10000 pm, 30 min na 4°C (na ledu). Po završetku ekstrakcije pristupa se očitavanju aktivnosti gvajakol-peroksidaze. Neposredno prije očitavanja aktivnosti gvajakol-peroksidaze pripremiti reakcionalu smještu (50 ml 0,1 M Na-fosfatnog pufera + 28 µl gvajakola + 9 µl 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) i podesiti talasnu dužinu (A = 470 nm) na spektrofotometru. U kivetu spektrofotometra sipati 3 ml (reakcione smjese) i 200 µl (0,2 ml) enzim ekstrakta. Pratiti povećavanje apsorbance od 0,05 do 1 u minutama (do 3 min) na 470 nm.

$$\frac{\text{Aktivnost u ekstraktu}}{(\Delta \text{OD } 470 \text{ nm } \text{min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FW})} = \frac{3,18 \times 0,2 \times 1000}{26,6 \times 1 \times \Delta t \times 0,1} = \frac{240}{\Delta t}$$

Ekstinkcioni koeficijent za gvajakol pri Δ 470 nm = 26,6 mmol/l/cm (Hanfeng i sar., 2010)

#### 4.8. Određivanje sadržaja slobodnog prolina (Pro)

Sadržaj prolina određivan je spektrofotometrijskom metodom po Bates i sar. (1973).

0,5 g biljnog materijala se homogenizira sa 10 ml sulfosalicilne kiseline. Zatim se vrši centrifugiranje na 12000g 10 min.

U plastičnu epruvetu otpipetira se  $2\text{ cm}^3$  filtrata i doda  $2\text{ cm}^3$  ninhidrin reagensa i  $2\text{ cm}^3$  ledene sirćetne kisjeline. Inkubacija se vrši na  $100^\circ\text{C}$  1 h, te se nakon inkubacije reakcija prekida prenošenjem epruveta na led. Ekstrahovati prolin dodavanjem po 4 ml toluena, uz vorteksiranje 15–20 s. Nakon što se epruvete zagriju i odvoji toluenski sloj, automatskom pipetom se pipetira toluenski sloj s ekstrahiranim prolinom u kivetu za spektrofotometar. Mjeri se transmisija na  $520\text{ nm}$  uz podešavanje 0 čistim toluenom, a 100% transmisije sa standardom 0. Koncentracija prolina očitava se konstruisanjem standardne krive prolina.

$$\text{Sadržaj prolina } (\mu\text{g/g SvT}) = \frac{5 \times X}{\text{masa uzorka (g)}}$$

X ( $\mu\text{g prolina /2ml}$ ) – konc. prolina s kalibracijskog dijagrama

5 – razređenje pri estrakciji (1 g uzorka u 10 ml sulfosalicilne kisjeline, od toga 2 ml uzeto za određivanje)

Preračunavanje dobijenog sadržaja prolina iz  $\mu\text{g/g}$  u  $\mu\text{mol/g}$  korišćenjem sljedeće formule:

$$\text{Sadržaj prolina } (\mu\text{mol g}^{-1}) = \frac{\mu\text{g prolina /2ml} \times \text{ml toluena}}{115,5} \times \frac{5}{\text{g (uzorka)}},$$

gdje je

115,5 – molekularna težina prolina

#### 4.9. Određivanje koncentracije fotosintetskih pigmenata

Uzorke listova biljaka isjeckati makazama ili uz pomoć metalnog cilindra napraviti kružne isječke (izbjegavajući glavni nerv). Odmjeriti 0,5 g, staviti u avan i macerirati tučkom bez, ili uz dodatak kvarcnog pijeska. Da bi se spriječilo zakisjeljavanje uzorka zbog kisjelina koje se izlučuju tokom maceriranja i obezbijedila stabilnost molekula hlorofila, u avan se može dodati mala količina  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , ili nekog drugog karbonata, npr.  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ . Maceriranje obaviti brzo uz dodatak male količine apsolutnog acetona (do  $10\text{ cm}^3$ ), zatim sadržaj iz avana kvantitativno prenijeti na stakleni filter i uključiti vodenim mlazom na pumpi da bi se ekstrakt profiltrirao u epruvetu koja se nalazi u vakuum boci.

Ostatke pigmenata u avanu i u samom filteru potrebno je nekoliko puta isprati acetonom, vodeći računa da ukupna zapremina ekstrakta treba da bude  $25\text{ cm}^3$  (ekstrakt se nakon filtriranja iz epruvete presipa u odmjereni sud i dopunjava acetonom do određene crte i promućka).

Pošto je koncentracija pigmenata najčešće velika, potrebno je otpipetirati 1 ml ekstrakta i dodati 9 ml čistog acetona. Nakon dobijanja ekstrakta može se pristupiti određivanju njegovog kvantitativnog sastava. Koncentracija hlorofila *a*, hlorofila *b* i karotenoida u listovima *Trapa natans* L. određena je spektrofotometrijskim mjerjenjem absorbance na talasnim dužinama od 662, 644 i 440 nm. Izračunavanje je vršeno prema sljedećim formulama uz korišćenje ekstinkcijskih koeficijenata prema Wettstein (1957):

aceton (100%, v/v)

$$Hl\ a = 9.784 A662 - 0.990 A644$$

$$Hl\ b = 21.426 A644 - 4.650 A662$$

$$\text{karot.} = 4.695 A440 - 0.268 (Ca + Cb)$$

$$Hl\ a + b = 5.134 A662 + 20.436 A644$$

Dobijenu koncentraciju pigmenata u mg L<sup>-1</sup> treba preračunati na jedinicu svježe ili suve mase lista.

Preračunavanje se vrši po formuli:

$$(mg\ g^{-1}\ mase\ lista) \ C = \frac{(C \times V \times R)}{(G \times 1000)}$$

**C** – koncentracija pigmenata u listu

**Cx** (*Hl a*, *Hl b*, kar.) – koncentracija pigmenata u ekstratu (mg dm<sup>-3</sup>)

**V** – zapremina ekstrata (25 ml)

**R** – faktor razblaženja (ukoliko je ekstrat razblažen prije očitavanja apsorpcije)

**G** – masa uzorka u gramima

**1000** – faktor za prevođenje g u mg

#### 4.10. Određivanje anatomske karakteristike vrste *Trapa natans*

Analiza svih anatomskih karaktera mjerena je u periodu cvjetanja (avgust). Izabran je pet lokaliteta (ušće Morače, Kamenik, Milovića zaliv, Grmožur i Rijeka Crnojevića) i sa svakog lokaliteta je uzeto 30 jedinki.

Analiza anatomske građe odnosila se na stabljiku (u nivou internodija neposredno ispod flotantne rozete), liske flotantnih listova (L) i na lisnu dršku (LD). Za anatomsku obradu materijal je fiksiran u 50% alkoholu. Preparati su sjećeni na kriokatu, a njihova debljina je iznosila 40 µm za list i 60 µm za lisnu dršku i stabljiku. Sva mjerena vršena su korištenjem Carl Zeiss Axioscope A1 mikroskopa sa softverom Carl Zeiss Imaging system Axio Vision Release 4.7.

Analizom je obuhvaćeno ukupno 26 karaktera. Deset karaktera za stabljkiku (P<sub>pop\_presjeka\_stabla</sub>, % centralnog cilindra, % kore i epidermis, % parenhima cilindra, P<sub>cel\_parenh\_cilindra</sub>, % debljine hipodermisa, Br<sub>slojeva\_hipodermisa</sub>, P<sub>pojedinačnih\_sudova</sub>, Br<sub>pojedinačnih\_sudova</sub> i % intercelulara kore), osam karaktera za lisku, (L<sub>pov\_ćelija\_ADE</sub>, L<sub>pov\_ćelija\_ABE</sub>, L<sub>visina\_ćelija\_epidermis</sub>, L<sub>debljina\_liske\_zona\_glavnog\_nerva</sub>, L<sub>debljina\_liske\_zona\_lateralnog\_nerva</sub>, L<sub>debljina\_palisadnog\_tkiva</sub>, i L<sub>broj\_sudova\_glavnog\_nerva</sub> i L<sub>pov\_sudova\_glavnog\_nerva</sub>) i osam karaktera za lisnu dršku (LD<sub>površina\_poprečnog\_presjeka</sub>, LD<sub>površina\_ćelija\_epidermis</sub>, LD<sub>br\_slojeva\_hipodermisa</sub>, LD<sub>debljina\_hipodermisa</sub>, %<sub>pov\_centralnog\_snopića</sub> LD, LD<sub>pov\_lateralnog\_prov\_snopića</sub>, LD<sub>br\_pojedinačnih\_sudova</sub> i LD<sub>pov\_pojedinačnih\_sudova</sub>).

#### **4.11. Statistička obrada podataka**

Dobijeni rezultati analizirani su korišćenjem statističkog softverskog paketa Statistica for Windows 7.1. (StatSoft Inc., 2006). Neparametrijska ANOVA s nivoom signifikantnosti  $p < 0,05$  urađena je između sadržaja svakog metala u korijenu, stablu i listu. U cilju utvrđivanja statistički značajnih razlika urađen je neparametrijski Kruskal – Wallis test.

Veza između sadržaja metala u pojedinim biljnim djelovima (korijen, stablo, list), sedimenta, koncentracije pigmenata i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite, procijenjena je preko Personovog koeficijenta korelacije ( $p < 0,05$ ). Dobijeni koreacioni koeficijenti ( $r$ ) ocijenjeni su na sljedeći način: -1–0,3 (nema korelacije); 0,3–0,5 (niska korelacija); 0,5–0,7 (srednja korelacija); 0,7–0,9 (visoka korelacija); 0,9–1 (vrlo visoka korelacija).

Biokoncentracioni faktor (BCF), tj. sposobnost biljke da apsorbuje i akumulira metale iz sedimenta, računat je kao odnos između koncentracije metala u biljci i njihove koncentracije u sedimentu:  $BCF = \frac{\text{Metal}_{\text{biljka}}}{\text{Metal}_{\text{sediment}}}$ . Translokaciona sposobnost (TA) određuje mogućnost biljke da transportuje metale od korijena prema nadzemnim organima.  $TA = \frac{\text{Metal}_{\text{korijen}}}{\text{Metal}_{\text{dio biljke}}}$ . Veći BCF označava veću fitoakumulacionu sposobnost biljke, dok veći TA podrazumijeva slabiju translokacionu sposobnost.

Multivariantna analiza i to analiza glavnih komponenti (PCA) je rađena da bi se opisala ukupna varijabilnost anatomskega karaktera u okviru svih uzoraka. Diskriminanta analiza (DA) je rađena da bi se vidjelo kolika je međugrupna varijabilnost anatomskega karaktera, gdje pod grupama podrazumijevamo analizirane grupe jedinki sakupljene na pojedinim lokalitetima.

## **REZULTATI**

## 5. REZULTATI

### 5.1. Fizičko-hemijske karakteristike voda Skadarskog jezera

Rezultati fizičko-hemijskih parametara vode na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera predstavljeni su u Tabeli 6.

**Tabela 6:** Sadržaj fizičko-hemijskih parametara vode na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	sred. vr. ±SD	Cv %)
dubina (m)	4,0	3,0	3,5	3,0	3,0	2,0	2,0	3,0	4,0	3,056±0,685	22,42
providnost (m)	1,5	1,5	3,0	2,5	3,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,111±0,567	26,84
pH	7,92	8,08	8,27	8,40	8,59	8,52	8,49	7,72	7,76	8,194±0,316	3,86
rastvor O <sub>2</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	9,8	10,7	9,1	10,3	12,5	11,0	9,2	8,89	8,92	10,046±1,14	11,35
BPK <sub>5</sub> (mg dm <sup>-3</sup> O <sub>2</sub> )	1,7	1,6	0,5	3,3	1,2	1,7	3,5	2,3	2,1	1,989±0,899	45,19
utrošak KMnO <sub>4</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	11,48	9,84	8,56	9,48	10,20	9,80	10,26	12,24	11,23	10,343±1,063	10,28
P-alkal. (mval dm <sup>-3</sup> )	0,15	0,16	0,15	0,16	0,14	0,14	0,17	0,16	0,14	0,152±0,01	6,77
M-alkal. (mval dm <sup>-3</sup> )	3,00	2,84	2,76	2,86	3,46	3,05	3,15	2,98	2,32	2,936±0,292	9,93
karbonati (mg dm <sup>-3</sup> )	9,00	9,60	9,00	9,60	8,40	8,40	10,20	9,60	8,54	9,149±0,601	6,57
bikarbonati (mg dm <sup>-3</sup> )	204	188	185	190	140	173	143	213	169	178,33±23,495	13,17
hloridi (mg dm <sup>-3</sup> )	4,2	3,6	3,3	5,5	4,2	3,9	4,1	7,3	3,7	4,422±1,173	26,52
sulfati (mg dm <sup>-3</sup> )	6,45	5,28	4,96	5,02	7,15	6,15	5,62	7,20	6,23	6,007±0,799	13,30
nitrati (mg dm <sup>-3</sup> )	1,45	1,78	0,43	0,55	0,63	0,19	0,47	3,00	2,34	1,204±0,933	77,45
nitriti (mg dm <sup>-3</sup> )	0,014	0,020	0,060	0,020	0,005	0,007	0,005	0,000	0,001	0,015±0,018	119,40
amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> )	0,06	0,05	0,05	0,07	0,04	0,08	0,14	0,00	0,00	0,054±0,04	73,53
fosfati (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> )	0,09	0,08	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,28	0,10	0,079±0,077	97,72
kalijum (mg dm <sup>-3</sup> )	0,7	0,7	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,08	0,00	0,342±0,229	66,94
natrijam (mg dm <sup>-3</sup> )	3,4	3,6	2,1	2,3	1,0	2,6	5,1	5,34	0,19	2,848±1,618	56,81
kalcijum (mg dm <sup>-3</sup> )	48,8	52,0	47,2	45,6	27,7	43,5	29,9	61,6	44,0	44,478±9,845	22,13
magnezijum (mg dm <sup>-3</sup> )	5,2	3,6	4,5	5,2	4,2	4,3	6,5	4,9	3,8	4,689±0,833	17,77
karbon. tvrdota (°dH)	8,0	8,1	7,6	7,6	5,4	7,1	5,7	9,7	7,0	7,356±1,218	16,55
ukupna tvrdota (°dH)	8,32	8,26	7,93	8,00	6,11	7,80	6,25	10,1	7,35	7,791±1,12	14,38

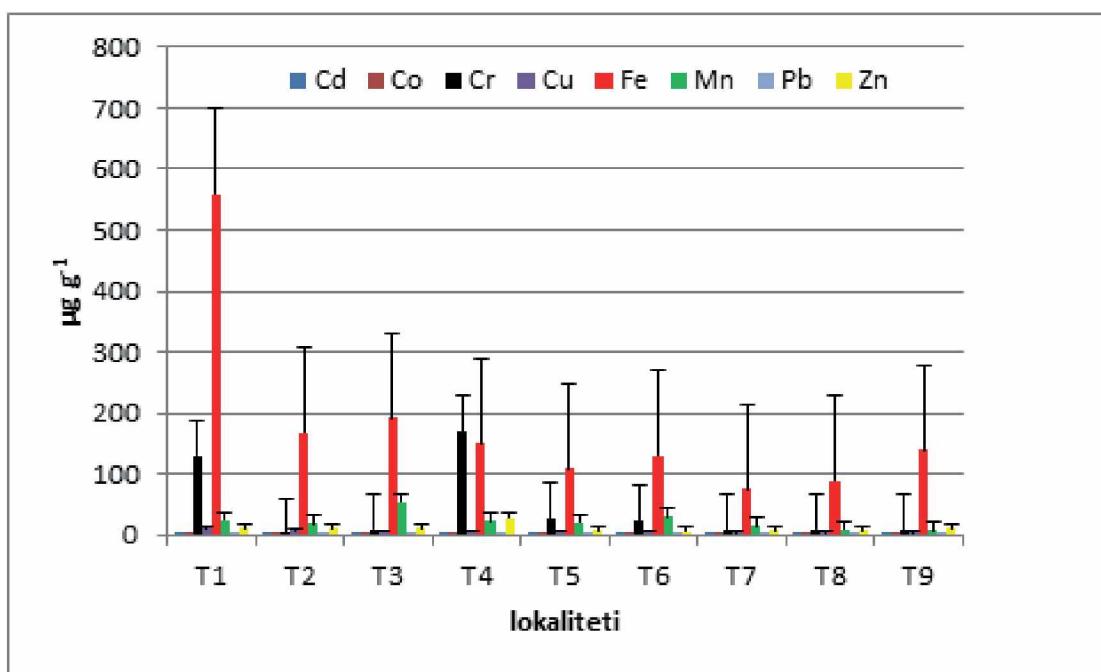
Na svim ispitivanim lokalitetima utvrđene su relativno povoljne koncentracije kiseonika. Prosječna vrijednost ovog parametra bila je iznad 10,00 mg dm<sup>-3</sup>. Maksimalna vrijednost od 12,5 mg dm<sup>-3</sup> registrovana je na lokalitetu T<sub>5</sub> (Raduš), a minimalna od 8,89 mg dm<sup>-3</sup> na lokalitetu T<sub>8</sub> (Lipovik). Povoljniji sadržaj kiseonika na lokalitetu T<sub>5</sub> (Raduš) praćen je i nešto nižim vrijednostima za BPK<sub>5</sub>, kao i sadržajem nitrata, nitrita, amonijaka i fosfata u odnosu na ostale lokalitete. Maksimalne vrijednosti ovih parametara registrovane su i na lokalitetima T<sub>1</sub> (Morača na ušću desnog kraka u Jezero), T<sub>2</sub> (Jezero poslije ušća desnog kraka Morače), T<sub>6</sub> (ušće lijevog kraka Morače u jezero), T<sub>7</sub> (ušće Plavnice) i T<sub>8</sub> (Lipovik).

Ispitivane vode su kalcijum-bikarbonatnog tipa, što je u skladu s geološkim saставom stijenskih masa sliva. Koncentracija kalcijuma iznosila je od 27,7 ( $T_5$ ) do 61,6 mg dm<sup>-3</sup> ( $T_8$ ), a koncentracija bikarbonata od 140,0 ( $T_5$ ) do 213,0 mg dm<sup>-3</sup> ( $T_8$ ) na istim lokalitetima.

Vode Jezera na svim ispitivanim lokalitetima su bile slabobaznog karaktera sa vrijednostima pH od 7,72 do 8,59 i umjerenomeke s ukupnom tvrdoćom od 6,11 do 10,1<sup>0</sup>dH.

## 5.2. Sadržaj teških metala u vodi Skadarskog jezera

Pregledom srednjih vrijednosti koncentracija metala u vodi po istraživanim lokalitetima (Sl. 18) vidi se da je sadržaj metala u jezerskoj vodi relativno nizak. Najveće koncentracije nađene su za Fe i Mn na lokalitetima  $T_1$  i  $T_3$  (560 µg L<sup>-1</sup>; 55 µg L<sup>-1</sup>), a minimalne za Cd, Co i Pb, čije su koncentracije na svim ispitivanim lokalitetima bile ispod granice detekcije instrumenta. Takođe se zapaža izuzetno visoka koncentracija Cr na lokalitetima  $T_1$  i  $T_4$  (130 µg L<sup>-1</sup>; 170 µg L<sup>-1</sup>) u odnosu na njegovu koncentraciju na ostalim ispitivanim lokalitetima. Maksimalne koncentracije svih ispitivanih metala s izuzetkom Mn zabilježene su na lokalitetu  $T_1$  (ušće desnog kraka Morače u Jezero).



Slika 18: Sadržaj teških metala u vodi Skadarskog jezera na istraživanim lokalitetima

### 5.3. Sadržaj teških metala u sedimentima Skadarskog jezera

Koncentracije svih ispitivanih metala u sedimentima Skadarskog jezera imale su isti rastući trend: Cd < Co < Pb < Cu < Zn < Cr < Mn < Fe, u oba istraživačka perioda. Neznatno veće koncentracije zabilježene su u drugom istraživačkom periodu (avgust). Srednje vrijednosti koncentracije metala u drugom istraživačkom periodu date su u Tabeli 7. Razmatranjem tabele uočava se da je njihov sadržaj po ispitivanim lokalitetima različit. Najviše vrijednosti nađene su za gvožđe, mangan i hrom ( $51,374 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $935,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $180,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a najmanje za kadmijum i kobalt ( $1,18 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $15,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Maksimalne koncentracije gotovo svih ispitivanih metala nađene su na lokalitetu  $T_1$  (ušće desnog kraka Morače u Jezero) i  $T_3$  (Kamenik), dok su minimalne koncentracije za većinu metala registrovane na lokalitetu  $T_8$  (Lipovik). Izuzetak predstavlja kadmijum čija je maksimalna koncentracija zabilježena na lokalitetu  $T_8$ . Koncentracije metala na ostalim lokalitetima bile su manje i znatno ujednačenijeg karaktera.

**Tabela 7:** Uporedni prikaz rezultata sadržaja metala ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) u sedimentima Skadarskog jezera s internacionalnim vodičima i preporukama kvaliteta sedimenta (Jumbe i Nandini, 2009)

Metal	Skadar. jez.		[1]		[2]		[3]		[4]		[5]		Kritični konc. opseg u zemljistu
	Srednja vrij.	Opseg	Nisko	Ozbiljno	ERL	ERM	TEL	PEL	IG	PEL	TV	MPC	
Cd	0,42	0,99–1,18	0,6	10	1,2	9,6	0,68	4,21	0,6	3,5	0,8	12	3–8
Co	8,72	1,66–15,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25–50
Cr	78,1	15,8–180,6	26	110	81	370	52,3	160	37,3	90	-	-	75–100
Cu	18,31	4,20–33,1	16	110	34	270	18,7	108	35,7	197	36	73	60–125
Fe	29009	9127–51374	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	597,1	103,0–935,7	460	1110	-	-	-	-	-	-	-	-	1500–3000
Pb	9,63	2,73–17,4	31	250	46,7	218	30,2	112	35	91,3	85	530	100–400
Zn	41,5	17,2–76,0	120	820	150	410	124	271	123	315	140	620	70–400

[1] Vodič skrining vrijednosti (SLG) – Ministarstvo životne sredine Ontarija (Kanada)

[2] Američko nacionalno tijelo za okeanografiju i atmosferu (NOAA);

ERL: opseg (nivo) uticaja – nizak; ERM: opseg (nivo) uticaja – srednji

[3] Agencija za zaštitu životne sredine Floride (FDEP);

TEL – granični (donji) nivo uticaja; PEL – teoretski moguća vrijednost uticaja

[4] Kanadski savjet ministarstva životne sredine – Privremeni vodič za kvalitet sedimenta (CCME);

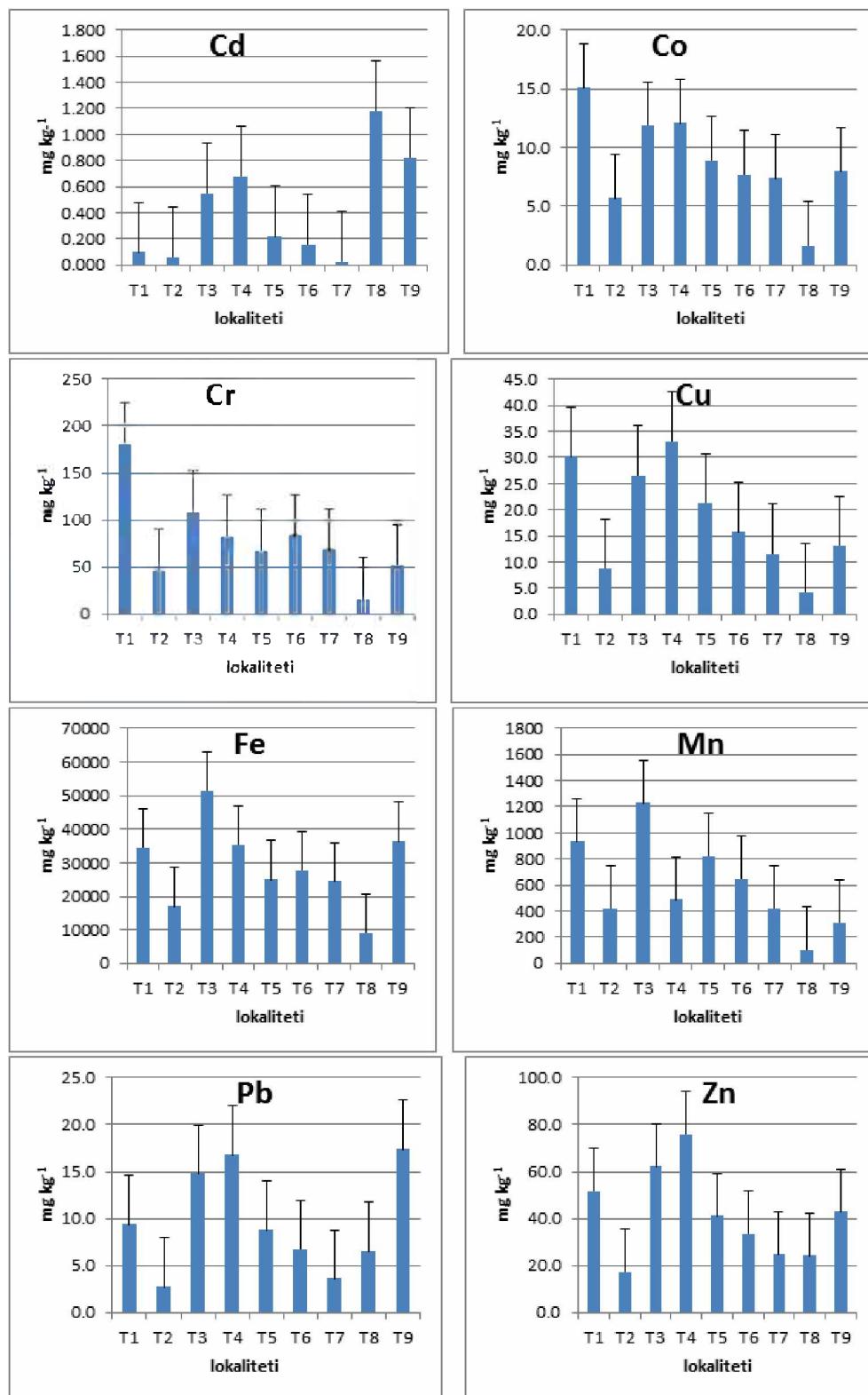
IG – privremeni ciljevi za kvalitet sedimenta; PEL – teoretski moguća vrijednost uticaja

[5] Ciljevi Vlade Holandije za kvalitet sedimenta;

TV – ciljna vrijednost; MPC – maksimalno dozvoljena koncentracija

Poređenjem maksimalnih i minimalnih koncentracija ispitivanih metala u sedimentu Skadarskog jezera s internacionalnim preporukama kvaliteta sedimenta (Jumbe i Nandini, 2009), uočavamo da maksimalna koncentracija Cr ( $180,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) registrovana na lokalitetu  $T_1$  prevaziđa granice kritičnih koncentracija za ovaj metal u zemljistu.

Vrijednosti ispitivanih metala na svim istraživanim lokalitetima u sedimentu Skadarskog jezera predstavljene su na Slici 19.



Slika 19: Sadržaj teških metala u sedimentu Skadarskog jezera na istraživanim lokalitetima

#### 5.4. Analiza antropogenog zagadenja sedimenta Skadarskog jezera

Kadmijum (Cd): Maksimalna koncentracija kadmijuma registrovana je na lokalitetu T<sub>8</sub> ( $1,18 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalna na lokalitetu T<sub>7</sub> ( $0,026 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti koncentracija kadmijuma po ispitivanim lokalitetima opadaju sljedećim redoslijedom: T8 > T9 > T4 > T3 > T5 > T6 > T1 > T2 > T7.

Kobalt (Co): Maksimalna koncentracija kobalta (Co) registrovana je na lokalitetu T<sub>1</sub> ( $15,13 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalna na lokalitetu T<sub>8</sub> ( $1,66 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti koncentracija kobalta po ispitivanim lokalitetima opadaju sljedećim redoslijedom: T1 > T4 > T3 > T5 > T9 > T6 > T7 > T2 > T8.

Hrom (Cr): Maksimalna koncentracija kobalta (Cr) registrovana je na lokalitetu T<sub>1</sub> ( $180,67 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalna na lokalitetu T<sub>8</sub> ( $15,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti koncentracija hroma po ispitivanim lokalitetima opadaju sljedećim redoslijedom: T1 > T3 > T6 > T4 > T7 > T5 > T9 > T2 > T8.

Bakar (Cu): Maksimalna koncentracija bakra (Cu) registrovana je na lokalitetu T<sub>4</sub> ( $33,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalna na lokalitetu T<sub>8</sub> ( $4,20 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti koncentracija bakra po ispitivanim lokalitetima opadaju sljedećim redoslijedom: T4 > T1 > T3 > T5 > T6 > T9 > T7 > T2 > T8.

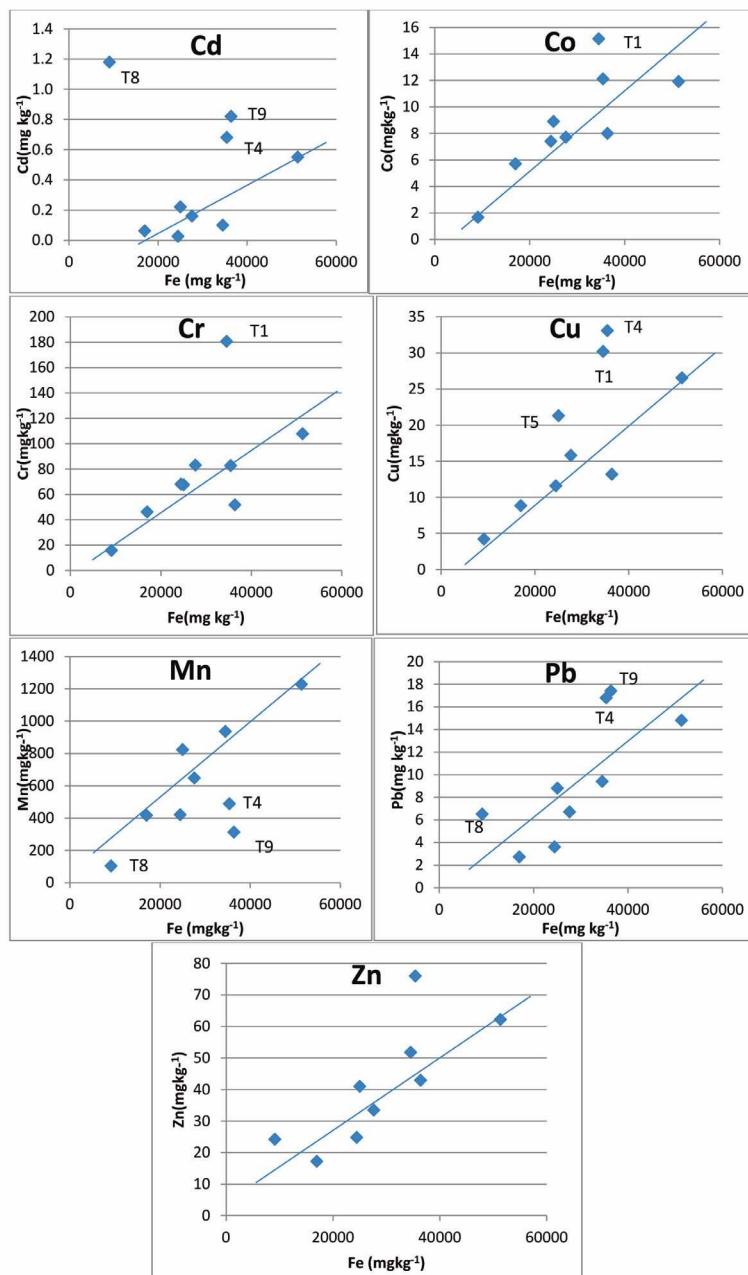
Gvožđe (Fe): Maksimalna koncentracija gvožđa (Fe) registrovana je na lokalitetu T<sub>3</sub> ( $51374 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalna na lokalitetu T<sub>8</sub> ( $9127 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti koncentracija gvožđa po ispitivanim lokalitetima opadaju sljedećim redoslijedom: T3 > T9 > T4 > T1 > T6 > T5 > T7 > T2 > T8.

Mangan (Mn): Maksimalna koncentracija mangana (Mn) registrovana je na lokalitetu T<sub>3</sub> ( $1228 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalna na lokalitetu T<sub>8</sub> ( $103,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti koncentracija mangana po ispitivanim lokalitetima opadaju sljedećim redoslijedom: T3 > T1 > T5 > T6 > T4 > T7 > T2 > T9 > T8.

#### 5.4. Analiza antropogenog zagadenja sedimenta Skadarskog jezera

Budući da sediment ima veoma važnu ulogu u apsorpciji i migraciji teških metala u vodenim ekosistemima, od izuzetnog je značaja da se procijeni i njihov antropogeni unos i moguća kontaminacija sedimenata Skadarskog jezera. Pored metala prirodnog porijekla, sedimenti

mogu akumulirati i metale iz antropogenih izvora. Koncentracija metala prirodnog porijekla predstavlja finu frakciju sedimenta za koju se mogu absorbovati različiti mikroelementi. Utvrđivanje stepena povezanosti koncentracija pojedinih metala za neke od glavnih komponenti fine frakcije sedimenta, kao što su Al i Fe, može da pomogne da se napravi razlika između metala koji dolaze iz prirodnih i onih koji dospijevaju iz antropogenih izvora (Boes i sar., 2011). Odnos između koncentracije Fe i koncentracije ostalih ispitivanih metala (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb i Zn) u sedimentu dat je na Slici 20.



**Slika 20:** Odnos između koncentracije Fe i ostalih (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb i Zn) ispitivanih metala u sedimentu Skadarskog jezera

S obzirom na relativno mali broj podataka o koncentraciji metala u vodi i sedimentu Skadarskog jezera, naročito u periodu predindustrijskog doba, ne može se formirati skala pozadinskih koncentracija metala. Za vrijednosti pozadinskih koncentracija ispitivanih metala uzeti su njihovi prosječni sadržaji (Tab. 8.) u Zemljinoj kori (Martin i Meybeck, 1979).

**Tabela 8:** Koncentracija teških metala (mg kg<sup>-1</sup>) u sedimentima Skadarskog jezera i njihova prosječna pozadinska vrijednost

<b>Metal</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>5</sub></b>	<b>T<sub>6</sub></b>	<b>T<sub>7</sub></b>	<b>T<sub>8</sub></b>	<b>T<sub>9</sub></b>	<b>srednja vrijed. ±SD</b>	<b>Cv (%)</b>	<b>Prosječna pozadinska vrijednost</b>
	<b>mg kg<sup>-1</sup> suve materije</b>											
<b>Cd</b>	0,099	0,062	0,55	0,68	0,22	0,16	0,026	1,18	0,82	0,467±0,382	81,93	0,2
<b>Co</b>	15,1	5,7	11,9	12,1	8,9	7,7	7,4	1,66	8,0	8,7128±3,720	42,67	25
<b>Cr</b>	180,6	46,1	107,9	82,7	67,6	83,0	68,0	15,8	51,8	78,167±43,778	56,01	100
<b>Cu</b>	30,2	8,8	26,5	33,1	21,3	15,8	11,6	4,2	13,2	18,3±9,446	51,62	55
<b>Mn</b>	935,7	417,0	1228,0	488,0	823,0	647,0	420,0	1030	313,0	597,19±327,75	54,88	950
<b>Pb</b>	9,4	2,73	14,8	16,8	8,8	6,7	3,6	6,5	17,4	9,637±5,181	53,77	12,5
<b>Zn</b>	51,8	17,2	62,2	76,0	41,0	33,5	24,8	24,2	42,9	41,511±18,134	43,69	70

### Geo-akumulacioni Indeks (Geo I)

Vrijednosti Geo-akumulacionog indeksa sedimenta za Cr, Cu, Mn, Pb i Zn pripadaju klasi „0“ na svim ispitivanim lokalitetima. GeoI za Cd (T<sub>3</sub> i T<sub>4</sub>) i Co (T<sub>1</sub>) pripadaju klasi „1“, što ukazuje da je sediment nezagađen do umjereno zagađen ovim metalima GeoI za Cd (T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>) pripada klasi „2“, što ukazuje da je sediment na ovim lokalitetima umjereno zagađen ovim metalom (Tab. 9).

**Tabela 9:** Geo-akumulacioni indeks teških metala u sedimentima Skadarskog jezera

	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	-1,59	-1,30	<b>0,26</b>	-1,44	12,64	-0,60	-0,99	-1,01
<b>T<sub>2</sub></b>	-2,27	-2,71	-1,70	-3,22	11,62	-1,77	-2,77	-2,60
<b>T<sub>3</sub></b>	<b>0,87</b>	-1,65	-0,47	-1,63	13,21	-0,21	-0,34	-0,75
<b>T<sub>4</sub></b>	<b>1,18</b>	-1,63	-0,85	-1,31	12,68	-1,54	-0,15	-0,46
<b>T<sub>5</sub></b>	-0,44	-2,07	-1,14	-1,95	12,18	-0,79	-1,09	-1,35
<b>T<sub>6</sub></b>	-0,90	-2,28	-0,85	-2,38	12,32	-1,13	-1,48	-1,64
<b>T<sub>7</sub></b>	-3,52	-2,34	-1,14	-2,83	12,14	-1,76	-2,38	-2,08
<b>T<sub>8</sub></b>	<b>1,97</b>	-4,49	-3,24	-4,29	10,72	-3,79	-1,52	-2,11
<b>T<sub>9</sub></b>	<b>1,45</b>	-2,22	-1,53	-2,64	12,72	-2,18	-0,10	-1,29

### Faktor kontaminacije CF

Vrijednosti Faktora kontaminacije dati su u Tabeli 10. Nisku kontaminaciju metalom na svim ispitivanim lokalitetima pokazuju Co i Cu.

Umjerena kontaminacija metalom registrovana je u sedimentima koji su uzorkovani sa sljedećih lokaliteta:  $T_1$  (Cr),  $T_3$  (Cd, Mn, Pb),  $T_4$  (Pb, Zn) i  $T_9$  (Pb).

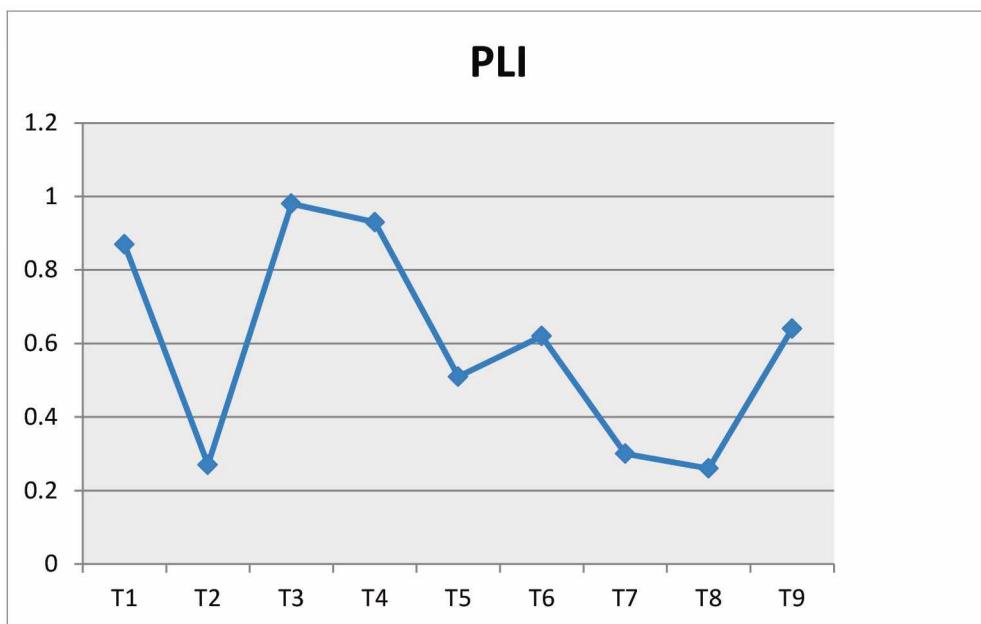
Znatnu kontaminaciju kadmijumom (Cd) pokazuju sedimenti uzorkovani s lokaliteta  $T_4$ ,  $T_8$  i  $T_9$ .

**Tabela 10:** Faktor kontaminacije (CF) ispitivanih teških metala

	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b><math>T_1</math></b>	0,49	0,60	<b>1,80</b>	0,54	0,98	0,75	0,74
<b><math>T_2</math></b>	0,31	0,22	0,46	0,16	0,43	0,21	0,24
<b><math>T_3</math></b>	<b>2,75</b>	0,47	1,07	0,48	<b>1,29</b>	<b>1,18</b>	0,88
<b><math>T_4</math></b>	<b>3,4</b>	0,48	0,82	0,60	0,51	<b>1,34</b>	<b>1,08</b>
<b><math>T_5</math></b>	1,1	0,35	0,67	0,38	0,86	0,70	0,58
<b><math>T_6</math></b>	0,8	0,30	0,83	0,28	0,68	0,53	0,47
<b><math>T_7</math></b>	0,13	0,29	0,68	0,21	0,44	0,28	0,35
<b><math>T_8</math></b>	<b>5,9</b>	0,06	0,15	0,07	0,10	0,52	0,34
<b><math>T_9</math></b>	<b>4,1</b>	0,32	0,51	0,24	0,32	<b>1,39</b>	0,61

### Indeks opterećenja zagađenjem (PLI)

Indeks opterećenja zagađenjem predstavlja cjelokupan doprinos svih ispitivanih metala stepenu kontaminacije jezerskog sedimenta. Njegova vrijednost kreće se u rasponu od 0,26 na lokalitetu  $T_8$  (Lipovik) do 0,98 na lokalitetu  $T_3$  (Kamenik) i ukazuje na prisustvo osnovnog nivoa zagađenja sedimenta Skadarskog jezera ispitivanim metalima (Sl. 21). Vrijednosti indeksa opterećenja zagađenjem sa svih ispitivanih lokaliteta predstavljeni su sljedećim rastućim nizom:  $T_8 < T_2 < T_7 < T_5 < T_6 < T_9 < T_1 < T_4 < T_3$ .



**Slika 21:** Indeks opterećenja zagadenja (PLI) sedimentata Skadarskog jezera na istraživanim lokalitetima

### 5.5. Sadržaj teških metala i njihova raspodjela kod vrste *Trapa natans*

Koncentracije ispitivanih metala u pojedinim biljnim djelovima značajno se razlikuju od njihove koncentracije u vodi i sedimentu i prate sljedeći trend: sediment > korijen > stablo > list > voda. Takođe su registrovani i različiti trendovi smanjenja koncentracije metala u određenim biljnim organima:

- u korijenu: Fe < Mn < Zn < Cu < Cr < Pb < Co < Cd;
- u stablu: Fe < Mn < Zn < Cu < Cr < Co < Cd < Pb;
- u listu: Fe < Mn < Zn < Cu < Cr < Co < Pb < Cd.

Vrijednosti sadržaja ispitivanih teških metala za oba istraživačka perioda (maj, avgust) date su u Tabeli 11. Minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija ispitivanih metala u različitim organima *Trapa natans* date su Tabeli 12.

**Tabela 11:** Sadržaj teških metala u listu, stablu i korijenu *Trapa natans*

a) maj 2012. god.

Uzorak		Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Co (mg kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
T1	list	0,056	0,352	1,86	2,93	321,0	88,84	0,343	19,02
	stablo	0,066	0,391	1,85	3,03	219,5	67,78	0,038	23,49
	korijen	0,07	0,85	3,77	3,6	763,6	130,5	0,323	40,03
T2	list	0,032	0,485	2,36	3,5	579,9	73,42	0,166	24,01
	stablo	0,054	0,587	3,1	4,33	464,5	64,35	0,17	25,74
	korijen	0,066	1,095	4,57	4,65	818,3	91,1	0,232	33,55
T3	list	0,038	0,1	0,37	1,79	145,6	53,57	0,02	7,9
	stablo	0,049	0,187	1,18	2,2	269,7	56,51	0,02	13,41
	korijen	0,124	1,776	10,24	3,84	3480	282,2	1,448	20,3
T4	list	0,034	0,154	0,924	3,25	250,5	50,21	0,02	11,5
	stablo	0,042	0,401	6,202	4,43	771,1	63,91	0,02	19,3
	korijen	0,085	1,052	6,987	4,21	265,9	210,4	0,674	24,61
T5	list	0,032	0,338	0,843	2,38	123,4	66,39	0,02	5,43
	stablo	0,05	0,442	0,728	2,33	193,6	53,85	0,02	9,66
	korijen	0,066	0,466	1,6	2,62	350,5	77,3	0,06	8,03
T6	list	0,036	0,217	1,18	2,32	203,7	86,99	0,02	10,13
	stablo	0,072	0,326	2,523	3,26	335,2	112,2	0,02	19,5
	korijen	0,105	1,574	6,83	3,48	1890	363,8	0,528	25,89
T7	list	0,052	0,201	1,12	2,28	198,7	82,56	0,118	10,04
	stablo	0,068	0,312	1,73	2,93	201,3	70,03	0,143	18,17
	korijen	0,096	1,112	12,64	4,35	3260	315,2	1,632	23,28
T8	list	0,269	0,111	0,536	2,01	208,9	62,78	0,04	10,54
	stablo	0,359	0,148	0,739	1,82	321,0	65,01	0,108	17,96
	korijen	1,054	1,129	7,57	3,81	219,5	458,1	2,168	25,2
T9	list	0,072	0,327	1	1,8	763,6	127,0	0,274	10,49
	stablo	0,071	0,394	1,26	1,85	579,9	105,6	0,175	15,18
	korijen	0,227	2,28	15,86	4,98	464,5	881,4	3,684	19,88

b) avgust 2012. god.

Uzorak		Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Co (mg kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
T1	list	<b>0,066</b>	<b>0,366</b>	1,94	3,01	324,7	90,14	0,396	20,04
	stablo	0,068	<b>0,402</b>	<b>2,01</b>	3,25	222,,5	69,3	0,042	23,68
	korijen	0,082	<b>0,97</b>	<b>3,98</b>	3,87	771,,6	141,,5	0,336	42,03
T2	list	0,043	<b>0,511</b>	<b>2,43</b>	<b>3,67</b>	<b>588,6</b>	<b>75,22</b>	<b>0,174</b>	<b>24,31</b>
	stablo	0,067	<b>0,623</b>	<b>3,32</b>	<b>4,66</b>	<b>476,5</b>	<b>66,2</b>	<b>0,18</b>	<b>26,02</b>
	korijen	0,078	<b>1,14</b>	<b>4,96</b>	<b>4,73</b>	<b>821,3</b>	<b>93,1</b>	<b>0,253</b>	<b>32,23</b>
T3	list	0,042	<b>0,21</b>	<b>0,54</b>	<b>1,88</b>	<b>165,6</b>	<b>58,6</b>	<b>0,03</b>	<b>8,4</b>
	stablo	0,054	<b>0,193</b>	<b>1,23</b>	<b>2,6</b>	<b>272,7</b>	<b>57,4</b>	<b>0,02</b>	<b>13,56</b>
	korijen	0,134	<b>1,87</b>	<b>11,3</b>	<b>4,01</b>	<b>3495</b>	<b>296,2</b>	<b>1,52</b>	<b>22,4</b>
T4	list	0,036	<b>0,17</b>	<b>0,936</b>	<b>3,55</b>	<b>263,5</b>	<b>54,21</b>	<b>0,02</b>	<b>12,1</b>
	stablo	0,056	<b>0,423</b>	<b>7,01</b>	<b>4,65</b>	<b>787,1</b>	<b>65,7</b>	<b>0,03</b>	<b>19,6</b>
	korijen	0,094	<b>1,12</b>	<b>7,33</b>	<b>4,55</b>	<b>266,9</b>	<b>212,4</b>	<b>0,68</b>	<b>24,8</b>
T5	list	0,038	<b>0,365</b>	<b>0,93</b>	<b>2,55</b>	<b>132,4</b>	<b>70,31</b>	<b>0,04</b>	<b>6,21</b>
	stablo	0,058	<b>0,466</b>	<b>0,86</b>	<b>2,67</b>	<b>198,6</b>	<b>54,5</b>	<b>0,02</b>	<b>9,87</b>
	korijen	0,073	<b>0,513</b>	<b>1,76</b>	<b>2,75</b>	<b>359,5</b>	<b>78,6</b>	<b>0,06</b>	<b>8,43</b>
T6	list	0,044	<b>0,222</b>	<b>1,34</b>	<b>2,46</b>	<b>209,7</b>	<b>86,7</b>	<b>0,03</b>	<b>11,5</b>
	stablo	0,076	<b>0,328</b>	<b>2,67</b>	<b>3,67</b>	<b>356,2</b>	<b>116,2</b>	<b>0,02</b>	<b>20,3</b>
	korijen	0,112	<b>1,589</b>	<b>7,16</b>	<b>3,44</b>	<b>1908</b>	<b>366,7</b>	<b>0,632</b>	<b>27,4</b>
T7	list	0,064	<b>0,221</b>	<b>1,18</b>	<b>2,25</b>	<b>201,2</b>	<b>85,4</b>	<b>0,123</b>	<b>10,4</b>
	stablo	0,082	<b>0,343</b>	<b>1,98</b>	<b>2,98</b>	<b>206,3</b>	<b>72,4</b>	<b>0,154</b>	<b>19,1</b>
	korijen	0,098	<b>1,18</b>	<b>12,87</b>	<b>4,55</b>	<b>3322</b>	<b>317,2</b>	<b>1,712</b>	<b>24,3</b>
T8	list	0,287	<b>0,12</b>	<b>0,678</b>	<b>2,22</b>	<b>209,9</b>	<b>66,8</b>	<b>0,03</b>	<b>10,2</b>
	stablo	0,373	<b>0,151</b>	<b>0,889</b>	<b>1,98</b>	<b>465,9</b>	<b>66,01</b>	<b>0,115</b>	<b>18,6</b>
	korijen	1,12	<b>1,13</b>	<b>8,23</b>	<b>3,89</b>	<b>2923</b>	<b>463,4</b>	<b>2,181</b>	<b>24,7</b>
T9	list	0,085	<b>0,323</b>	<b>1,3</b>	<b>1,89</b>	<b>587,6</b>	<b>138,3</b>	<b>0,298</b>	<b>10,63</b>
	stablo	0,093	<b>0,401</b>	<b>1,43</b>	<b>1,89</b>	<b>704,3</b>	<b>108,6</b>	<b>0,184</b>	<b>16,32</b>
	korijen	0,323	<b>2,34</b>	<b>16,08</b>	<b>5,03</b>	<b>7112</b>	<b>893,4</b>	<b>3,784</b>	<b>21,1</b>

**Tabela 12:** Minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti ± standardna devijacija ispitivanih metala u različitim organima *Trapa natans*

Metal		min.–max.	srednja vrijednost ± SD	Cv(%)
<b>Cd</b>	korijen	0,066–1,12	0,210 ± 0,320 <sup>a</sup>	152,38
	stablo	0,042–0,373	0,092 ± 0,101	109,78
	list	0,032–0,287	0,073 ± 0,075 <sup>a</sup>	102,74
<b>Co</b>	korijen	0,466–2,34	1,259±0,538 <sup>ab</sup>	42,73
	stablo	0,148–0,623	0,354±0,132 <sup>b</sup>	37,29
	list	0,11–0,511	0,254±0,129 <sup>a</sup>	50,79
<b>Cr</b>	korijen	1,60–16,08	7,785± 4,488 <sup>ab</sup>	57,65
	stablo	0,728–7,01	2,146± 1,713 <sup>b</sup>	79,82
	list	0,370–2,43	1,133±0,625 <sup>a</sup>	55,16
<b>Cu</b>	korijen	2,62–5,03	3,949 ± 0,700 <sup>a</sup>	17,73
	stablo	1,82–4,66	2,906 ± 0,980	33,72
	list	1,79–3,67	2,473 ± 0,620 <sup>a</sup>	25,07
<b>Fe</b>	korijen	265,9–7112,0	2276,4±2109,4 <sup>a</sup>	92,66
	stablo	193,6–787,1	400,0±213,70	53,43
	list	123,4–588,6	289,25± 172,05 <sup>a</sup>	59,48
<b>Mn</b>	korijen	77,3–893,4	312,23 ± 249,07 <sup>ab</sup>	79,77
	stablo	53,85–116,2	73,24± 20,89 <sup>b</sup>	28,52
	list	50,21–138,3	76,86±23,35 <sup>a</sup>	30,38
<b>Pb</b>	korijen	0,020–3,784	0,113 ± 0,123 <sup>ab</sup>	108,85
	stablo	0,020–0,184	0,079 ± 0,069 <sup>b</sup>	87,34
	list	0,060–0,396	1,194 ± 1,177 <sup>a</sup>	98,58
<b>Zn</b>	korijen	8,03–42,03	24,53 ± 8,925 <sup>a</sup>	36,38
	stablo	9,66–26,02	18,04 ± 4,906	27,20
	list	5,43–24,31	12,11 ± 5,759 <sup>a</sup>	47,56

Različita slova označavaju statistički značajne razlike između organa ( $p<0,05$ )

### Kadmijum (Cd)

Kako u sedimentu i vodi, tako i u svim djelovima *Trapa natans* sadržaj kadmijuma je najmanji od svih ispitivanih metala.

Maksimalna koncentracija kadmijuma registrovana je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu T<sub>8</sub> u drugom istraživačkom periodu (avgust), odnosno u periodu cvjetanja, a minimalna u listu na lokalitetima T<sub>2</sub> i T<sub>5</sub> na početku vegetacionog perioda (maj).

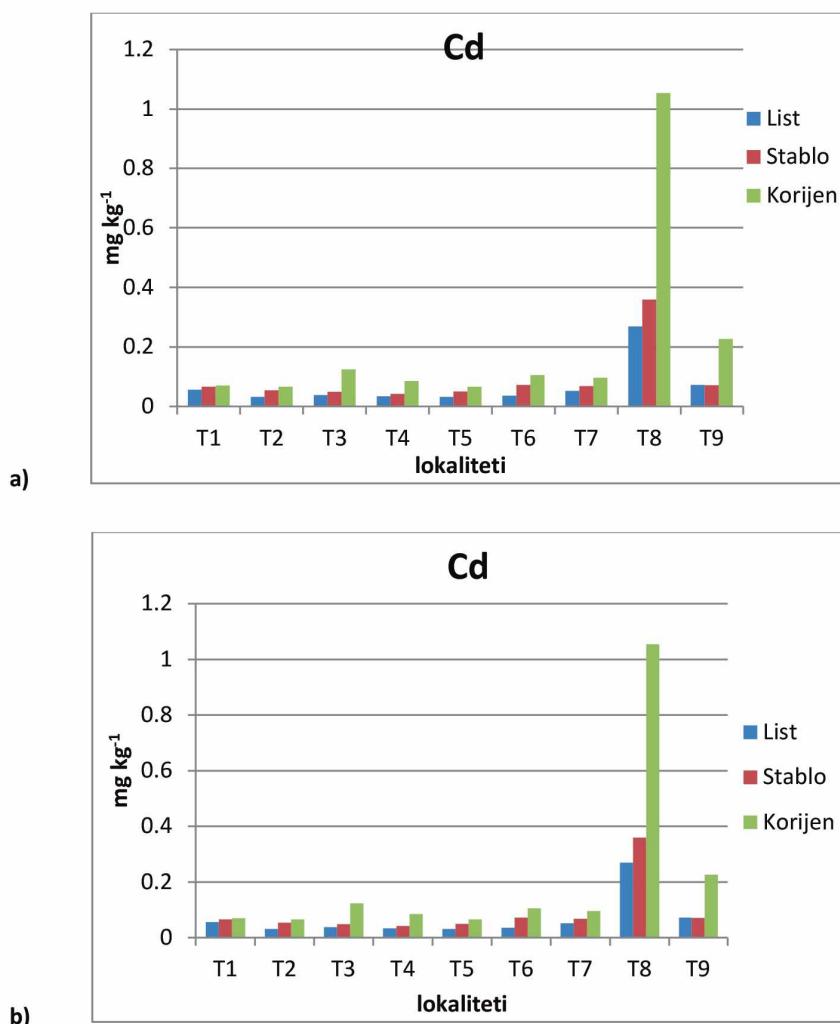
Koncentracija Cd u sva tri ispitivana organa (Sl. 22) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 0,032 na lokalitetima T<sub>2</sub> i T<sub>5</sub> (maj) do 0,287 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>8</sub> (avgust);

stablo: 0,042 na lokalitetu T<sub>4</sub> (maj) do 0,373 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>8</sub> (avgust);

korijen: 0,066 na lokalitetima T<sub>2</sub> i T<sub>5</sub> u prvom istraživačkom periodu do 1,12 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>8</sub> u drugom istraživačkom periodu.

Najveće odstupanje od srednjih vrijednosti kadmijuma u svim biljnim organima zabilježeno je na lokalitetu T<sub>8</sub> (Lipovik), gdje su registrovane i maksimalne koncentracije.



Slika 22: Sadržaj Cd u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera  
a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Kobalt (Co)

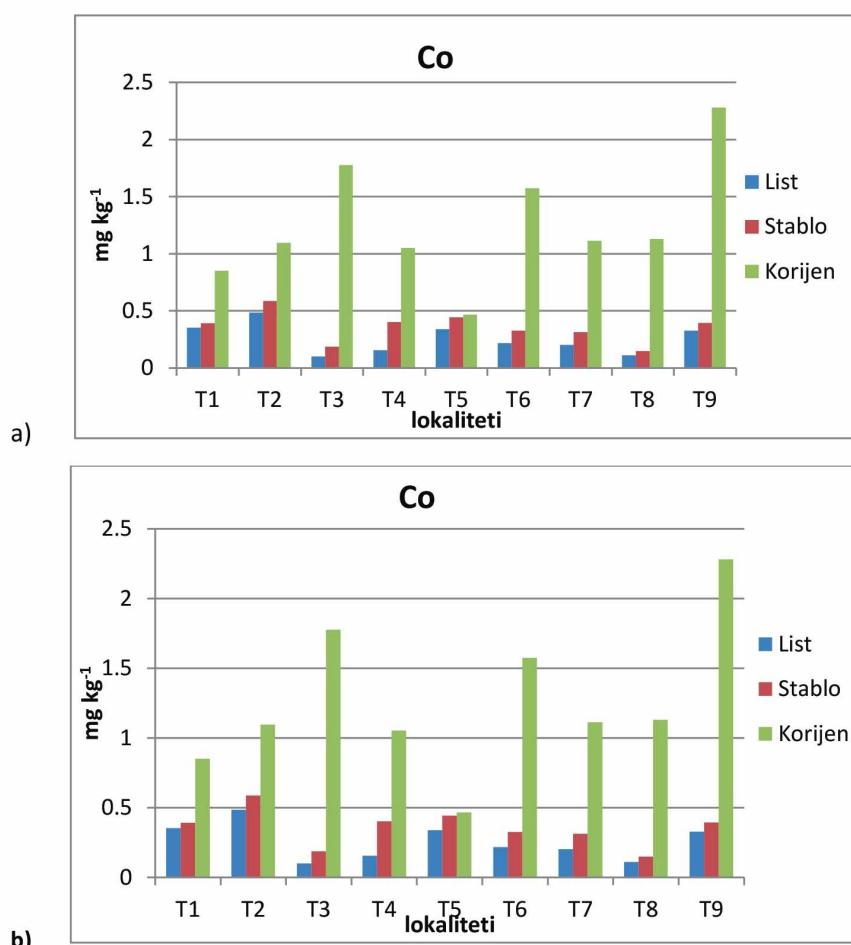
Kobalt je jedan od rijetkih metala, koji je uglavnom ravnomjerno raspoređen po ispitivanim lokalitetima. Zajedno s olovom i kadmijumom, kobalt je najmanje zastupljen metal u tkivima *Trapa natans*. Maksimalna koncentracija kobalta registrovana je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu T<sub>9</sub>, a minimalna koncentracija u listu na lokalitetu T<sub>8</sub>. Takođe je primjetno da su nešto veće koncentracije Co registrovane i na lokalitetima T<sub>3</sub>, T<sub>6</sub> i T<sub>7</sub>.

Koncentracija Co u sva tri ispitivana organa (Sl. 23), obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 0,11 na lokalitetu T<sub>8</sub> (maj) do 0,511 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>2</sub> (avgust);

stablo: 0,148 na lokalitetu T<sub>8</sub> (maj) do 0,623 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>2</sub> (avgust);

korijen: 0,466 na lokalitetu T<sub>5</sub> (maj) do 2,34 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust).



Slika 23: Sadržaj Co u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera  
a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Hrom (Cr)

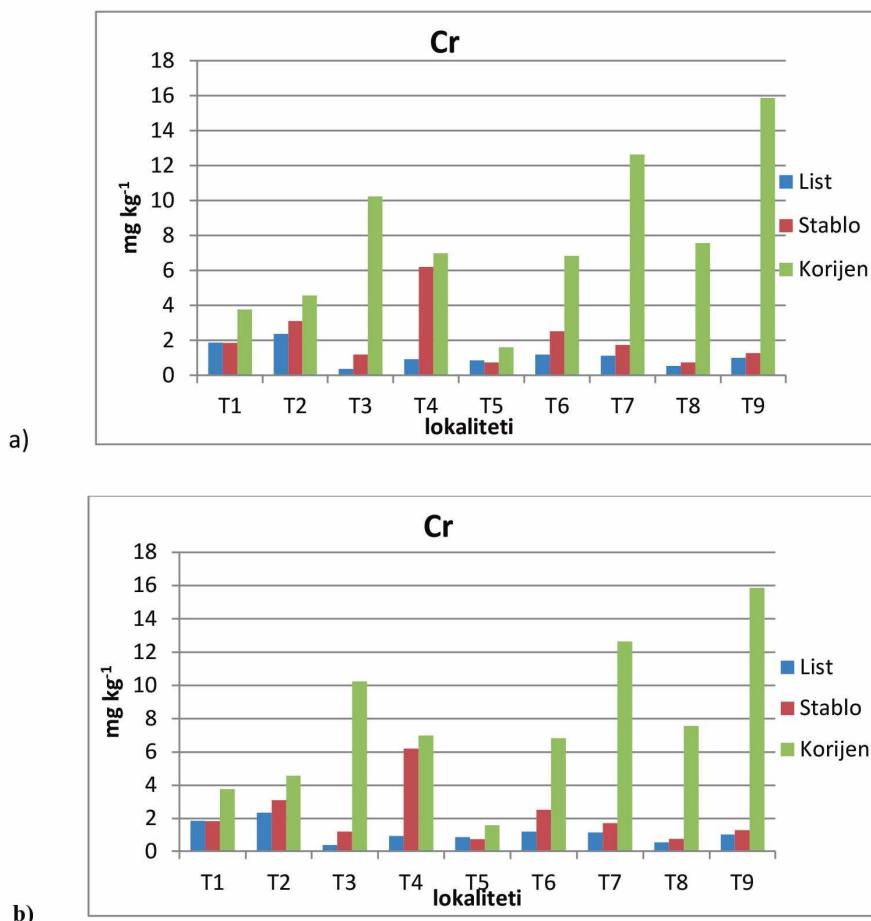
Iako je hrom treći metal po zastupljenosti u sedimentu, a na određenim lokalitetima ( $T_1$  i  $T_4$ ) i u vodi, to nije imalo posebnog uticaja na njegov sadržaj u pojedinim djelovima ispitivane vrste. Maksimalna koncentracija hroma registrovana je u korijenu na lokalitetu  $T_9$ , minimalna u listu ispitivane vrste na lokalitetu  $T_5$ . Iz histograma se može primijetiti da je sadržaj Cr na svim ispitivanim lokalitetima u oba istraživačka perioda bio relativno ujednačen.

Koncentracija Cr u sva tri ispitivana organa (Sl. 24) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 0,370 na lokalitetu  $T_3$  (maj) do  $2,438 \text{ mg kg}^{-1}$  na lokalitetu  $T_2$  (avgust);

stablo: 0,728 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do  $7,01 \text{ mg kg}^{-1}$  na lokalitetu  $T_5$  (avgust);

korijen: 1,60 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do  $16,08 \text{ mg kg}^{-1}$  na lokalitetu  $T_9$  ( avgust).



Slika 24: Sadržaj Cr u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Bakar (Cu)

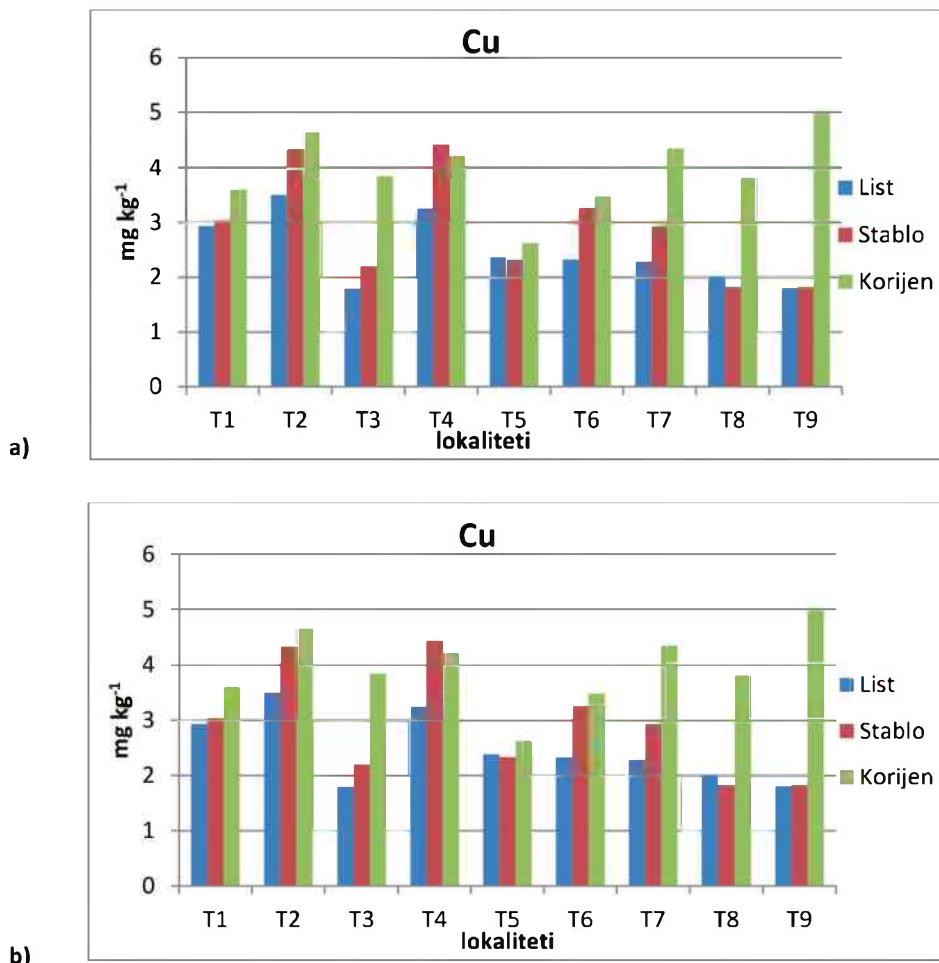
Slično kobaltu, bakar je u svim biljnim djelovima po ispitivanim lokalitetima ravnomjerno raspoređen. Kao i u slučaju većine metala, maksimalne koncentracije nađene su u korijenu, a minimalne u listu ispitivane vrste. Za razliku od sadržaja bakra u vodi i sedimentu, maksimalne koncentracije bakra u biljnim djelovima registrovane su na lokalitetima T<sub>1</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>, a minimalne na lokalitetu T<sub>5</sub>.

Koncentracija Cu u sva tri ispitivana organa (Sl. 25) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 1,79 na lokalitetu T<sub>3</sub> (maj) do 3,67 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>2</sub> (avgust);

stablo: 1,82 na lokalitetu T<sub>8</sub> (maj) do 4,66 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetima T<sub>2</sub> i T<sub>4</sub> (avgust);

korijen: 2,62 na lokalitetu T<sub>5</sub> (maj) do 5,03 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust).



**Slika 25:** Sadržaj Cu u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Gvožđe (Fe)

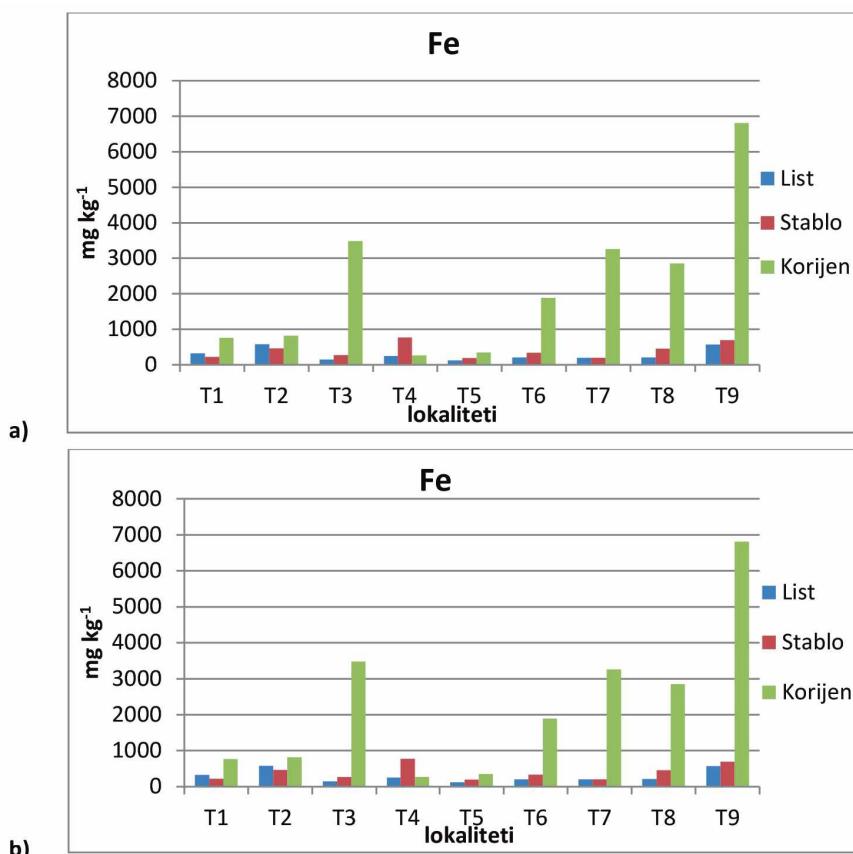
Gvožđe je najzastupljeniji metal kako u vodi i sedimentu, tako i u tkivima ispitivane vrste. Kao što se može vidjeti iz histograma, sadržaj gvožđa u organima po ispitivanim lokalitetima je različit, što je uslovljeno stepenom pristupačnosti gvožđa u podlozi, kao i njegovom translokacijom u nadzemne djelove. Maksimalna koncentracija gvožđa registrovana je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu  $T_9$ , a minimalna u listu na lokalitetu  $T_5$ . Primjetna je veća koncentracija gvožđa u korijenu ispitivane vrste i na lokalitetima  $T_3$ ,  $T_6$ ,  $T_7$  i  $T_8$  u oba istraživačka perioda, dok je sadržaj gvožđa na ostalim lokalitetima bio znatno niži i ujednakočenijeg karaktera.

Koncentracija Fe u sva tri ispitivana organa (Sl. 26) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 123,4 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do 588,6 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu  $T_2$  (avgust);

stablo: 193,6 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do 787,1 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu  $T_4$  (avgust);

korijen: 265,9 na lokalitetu  $T_4$  (maj) do 7112 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu  $T_9$  (avgust).



Slika 26: Sadržaj Fe u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera  
a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Mangan (Mn)

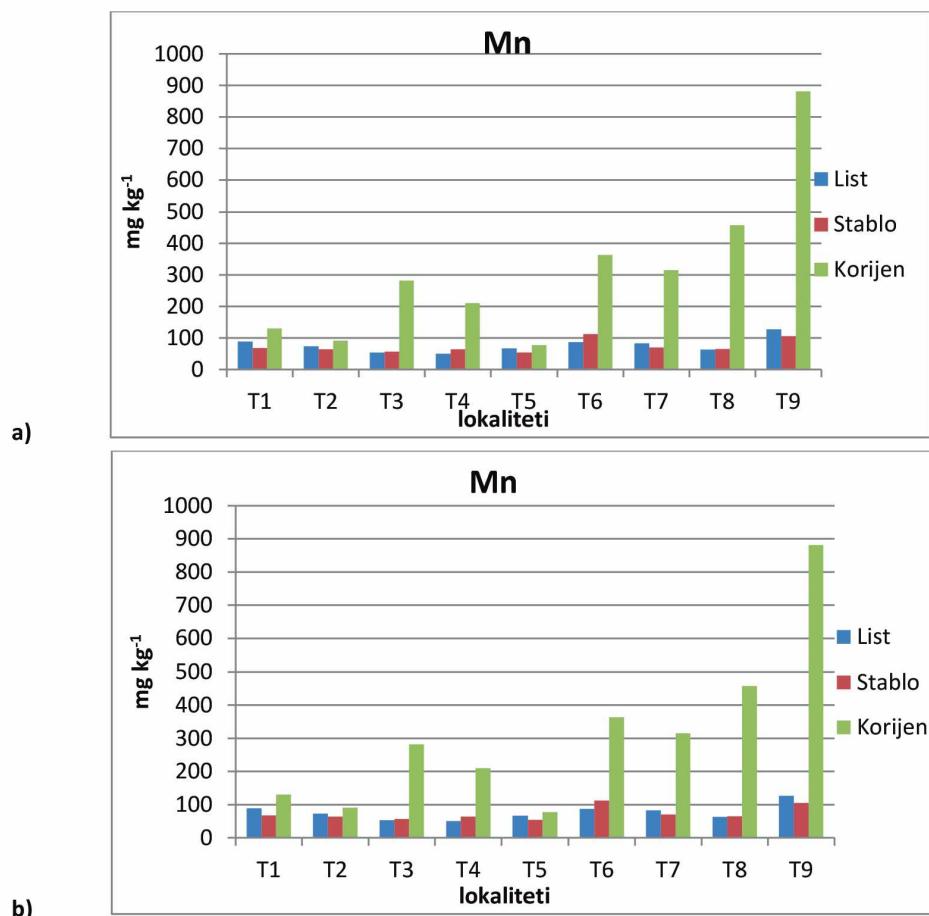
Mangan je poslije gvožđa najzastupljeniji metal kako u vodi i sedimentu, tako i u svim djelovima ispitivane vrste. Maksimalne koncentracije mangana nađene su u korijenu ispitivane vrste, a minimalne kao i u slučaju olova u stablu. Najveći sadržaj mangana nađen je na lokalitetu T<sub>9</sub>, gdje je njegova koncentracija deset puta bila veća u odnosu na druge lokalitete. Minimalan sadržaj i u slučaju mangana registrovan je na otvorenom dijelu Jezera na lokalitetu T<sub>5</sub>. Neznatno veće vrijednosti mangana zabilježene su u drugom istraživačkom periodu.

Koncentracija Mn u sva tri ispitivana organa (Sl. 27) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 50,21 na lokalitetu T<sub>4</sub> (maj) do 138,3 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust);

stablo: 53,8 na lokalitetu T<sub>5</sub> (maj) do 116,2 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>6</sub> (avgust);

korijen: 77,3 na lokalitetu T<sub>5</sub> (maj) do 893,4 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust).



Slika 27: Sadržaj Mn u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera  
a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Olovo (Pb)

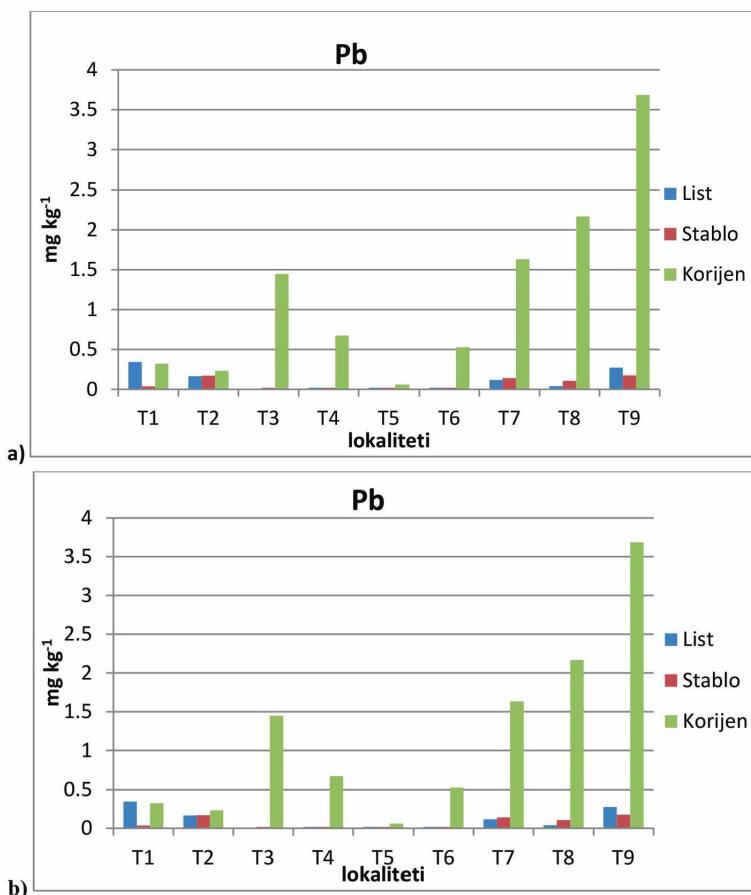
Poslije kadmijuma, olovo je u svim biljnim djelovima registrovano u najmanjim koncentracijama. Njegov sadržaj u ispitivanim organima po odgovarajućim lokalitetima bio je uglavnom ujednačen u oba istraživačka ciklusa. Kao i kod većine ispitivanih metala, maksimalna koncentracija olova nađena je u korijenu na lokalitetu T<sub>9</sub>, a minimalna u stablu ispitivane vrste na lokalitetima T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub> i T<sub>6</sub>. Za razliku od većine drugih metala, veća koncentracija olova zabilježena je u listu u odnosu na stablo.

Koncentracija Pb u sva tri ispitivana organa (Sl. 28) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

list: 0,060 na lokalitetu T<sub>5</sub> (maj, avgust) do 0,396 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust);

stablo: 0,02 na lokalitetima T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub> i T<sub>6</sub> (maj, avgust) do 0,184 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust);

korijen: 0,02 na lokalitetu T<sub>5</sub> (maj) do 3,784 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu T<sub>9</sub> (avgust).



Slika 28: Sadržaj Pb u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

a) maj 2012; b) avgust 2012.

### Cink (Zn)

Poslije gvožđa i mangana, cink je najzastupljeniji ispitivani metal u svim djelovima *Trapa natans* L. Primjetno je da je koncentracija metala u korijenu na većini lokaliteta bila i do dva puta veća u odnosu na koncentraciju u listu ispitivane vrste. Odsustvo značajnijih razlika u sadržaju ovog metala po ispitivanim lokalitetima ukazuje da veće koncentracije cinka u vodi i sedimentu registrovane na nekim lokalitetima ( $T_1$ ,  $T_3$ ,  $T_5$ ) nijesu imale značajniju ulogu i na povećanje njegovog sadržaja u ispitivanoj biljnoj vrsti.

Maksimalna koncentracija cinka zabilježena je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu  $T_1$  u periodu cvjetanja (avgust), a minimalna u listu na lokalitetu  $T_5$  (na početku vegetacionog perioda).

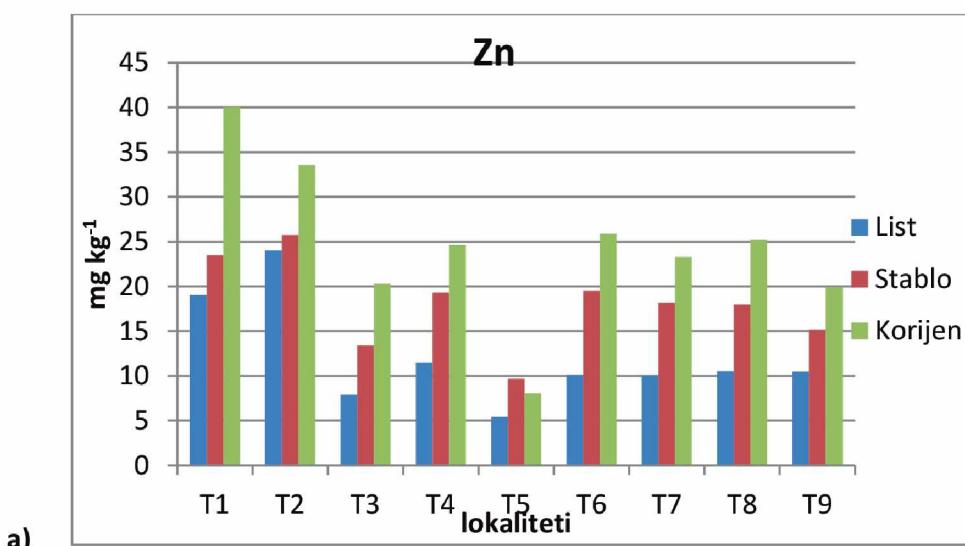
Koncentracija Zn u sva tri ispitivana organa (Sl. 29) obračunata na suvu masu uzorka kretala se u sljedećim granicama:

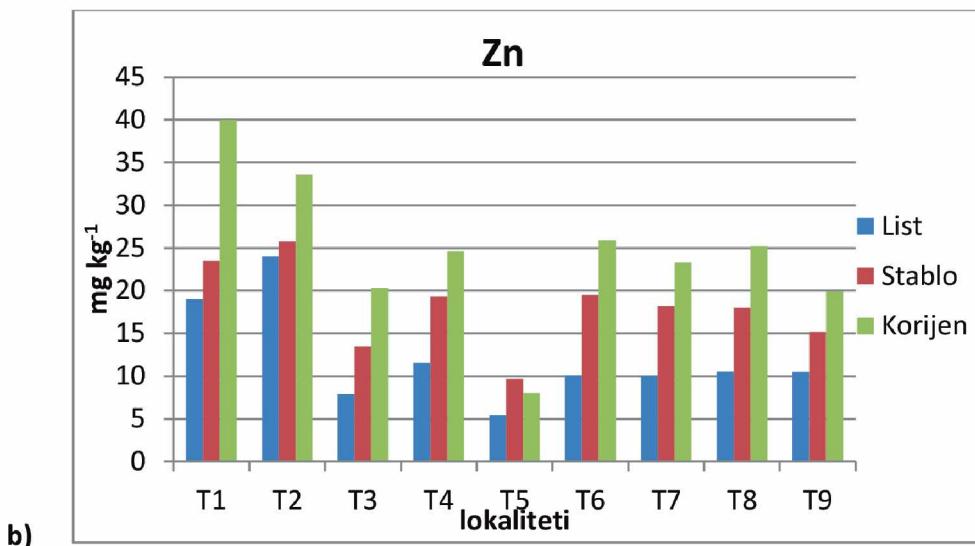
list: 5,43 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do 24,31 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu  $T_2$  (avgust);

stablo: 9,66 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do 26,02 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu  $T_2$  (avgust);

korijen: 8,03 na lokalitetu  $T_5$  (maj) do 42,03 mg kg<sup>-1</sup> na lokalitetu  $T_1$  (avgust).

Analize pokazuju da je maksimalna koncentracija cinka u svim organima zabilježena na lokalitetima  $T_1$  i  $T_2$ . S druge strane, minimalne koncentracije cinka u svim biljnim djelovima registrovane su na lokalitetu  $T_5$  u otvorenom dijelu Jezera.



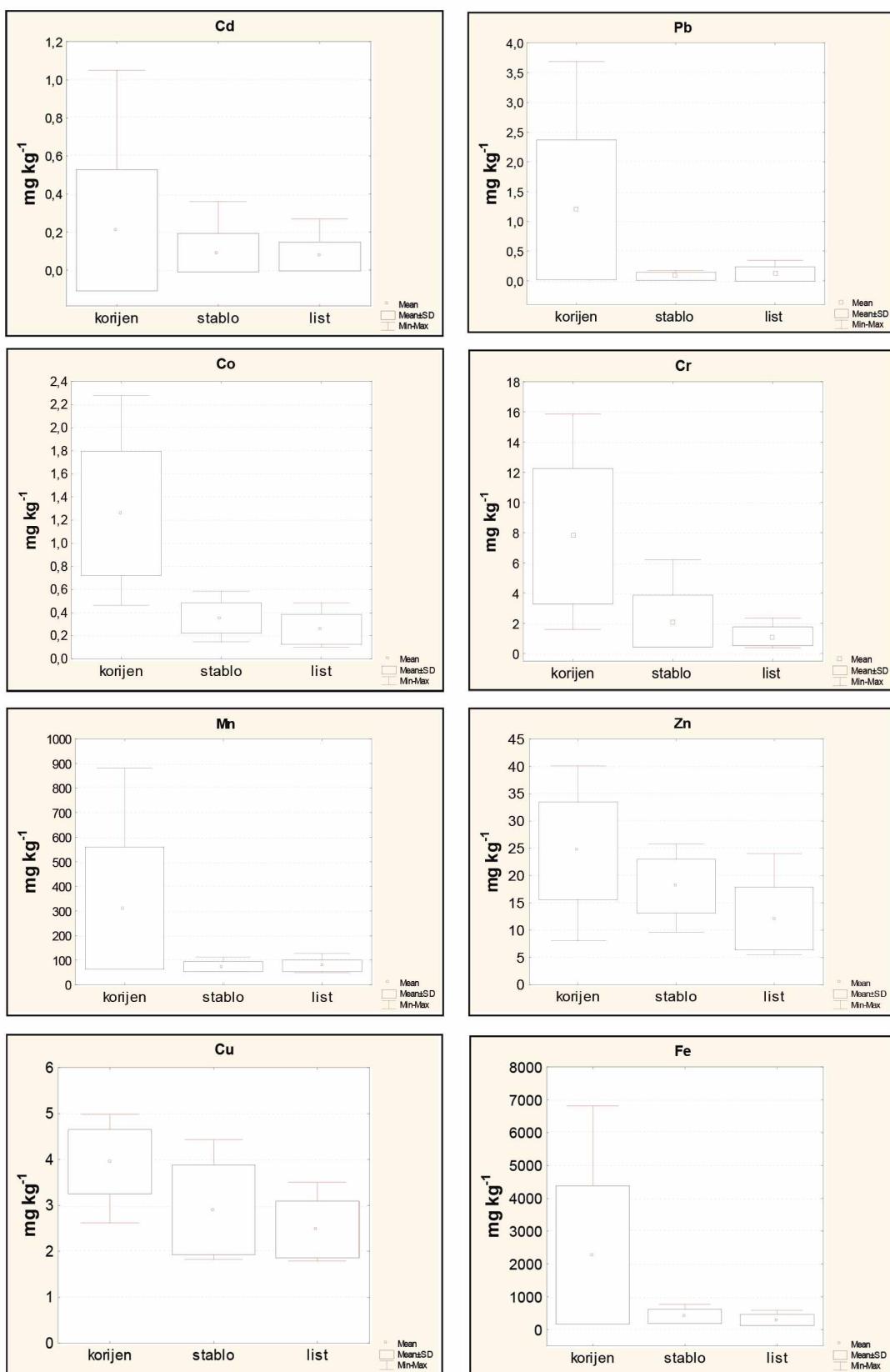


**Slika 29:** Sadržaj Zn u organima *Trapa natans* na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera  
a) maj 2012; b) avgust 2012.

Analiza dobijenih rezultata istraživanja sadržaja teških metala u ispitivanoj biljnoj vrsti pokazala je da je njihov sadržaj veoma različit, kako po lokalitetima gdje su obavljena istraživanja, tako i po ispitivanim biljnim organima. Najviše vrijednosti nađene su za gvožđe, mangan i cink, a najmanje za kobalt, kadmijum i oovo.

Koncentracija ispitivanih metala u pojedinim djelovima *Trapa natans* značajno se razlikuje od njihove koncentracije u vodi i sedimentu. Vrijednosti ovih koncentracija opadaju sljedećim redoslijedom: korijen > stablo > list. Izuzetak predstavljaju Pb i Mn za koje je registrovana veća koncentracija u listu u odnosu na stablo (Sl. 30).

Maksimalne koncentracije za većinu metala registrovane na lokalitetima T<sub>1</sub> (ušće desnog kraka Morače u Jezero), T<sub>7</sub> (ušće Plavnice), T<sub>8</sub> (Lipovik, Rijeka Crnojevića) i T<sub>9</sub> (Karuč), a minimalne koncentracije za većinu metala registrovane su na lokalitetu T<sub>5</sub> (Raduš), na otvorenom dijelu Jezera.



Slika 30: Distribucija ispitivanih metala u organizma *Trapa natans*

## 5.6. Biokoncentraciona i translokaciona sposobnost vrste *Trapa natans*

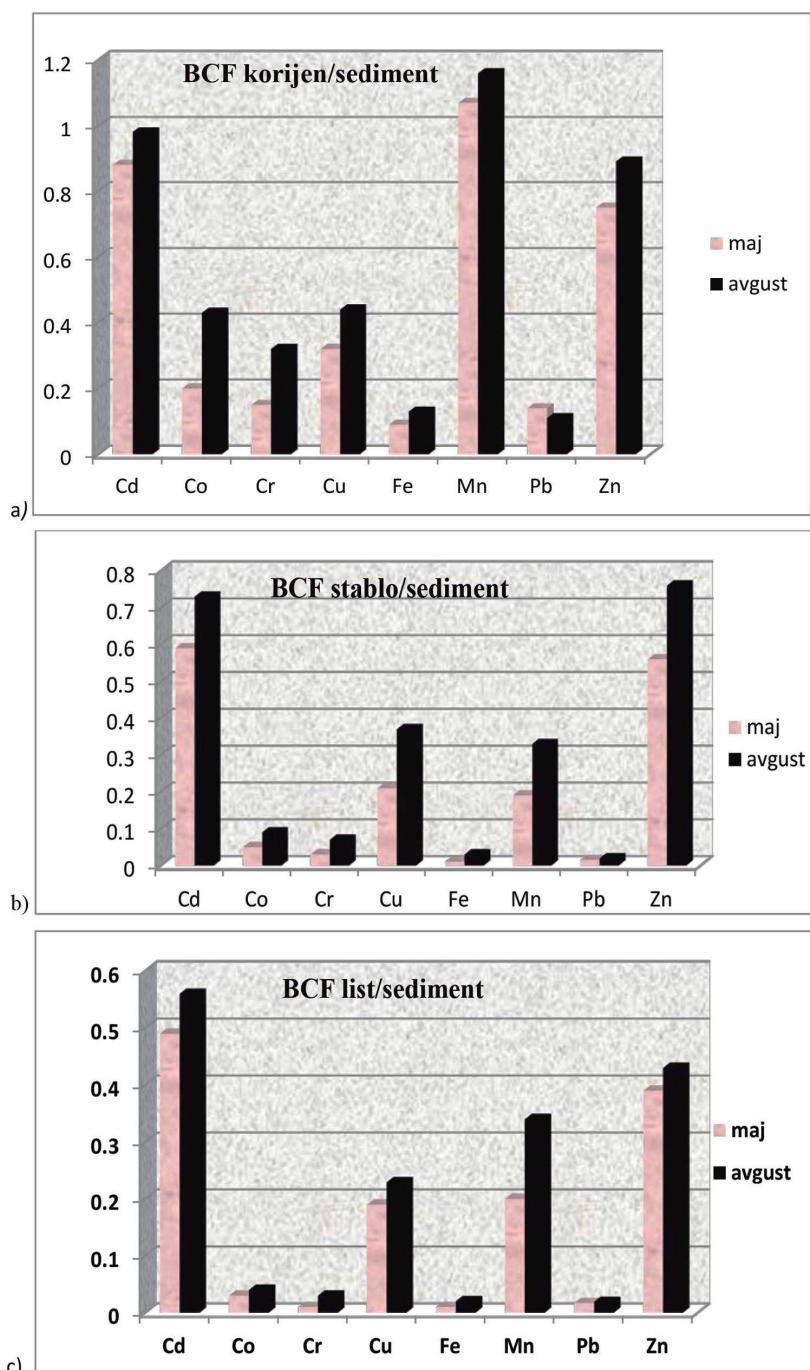
Biokoncentraciona sposobnost *Trapa natans* izražena je preko biokoncentracionog faktora (BCF). Vrijednosti biokoncentracionog faktora (Tab. 13) za ispitivane metale (u oba istraživačka perioda) u listu, stablu i korijenu opadaju sljedećim redoslijedom:

- u listu (BCF list/sediment): Cd > Zn > Mn > Cu > Co > Cr > Fe > Pb;
- u stablu (BCF stablo/sediment): Cd > Zn > Mn > Cu > Co > Cr > Fe > Pb;
- u korijenu (BCF stablo/sediment): Mn > Cd > Zn > Cu > Co > Cr > Fe > Pb.

**Tabela 13:** Srednje sezonske vrijednosti biokoncentracionog faktora (BCF)

Metal	BCF			
	maj 2012.		avgust 2012.	
Cd	BCF korijen/sediment	0,88	BCF korijen/sediment	0,98
	BCF stablo/sediment	0,59	BCF stablo/sediment	0,73
	BCF list/sediment	0,49	BCF list/sediment	0,56
Co	BCF korijen/sediment	0,20	BCF korijen/sediment	0,43
	BCF stablo/sediment	0,05	BCF stablo/sediment	0,09
	BCF list/sediment	0,03	BCF list/sediment	0,04
Cr	BCF korijen/sediment	0,15	BCF korijen/sediment	0,32
	BCF stablo/sediment	0,03	BCF stablo/sediment	0,07
	BCF list/sediment	0,01	BCF list/sediment	0,03
Cu	BCF korijen/sediment	0,32	BCF korijen/sediment	0,44
	BCF stablo/sediment	0,21	BCF stablo/sediment	0,37
	BCF list/sediment	0,19	BCF list/sediment	0,23
Fe	BCF korijen/sediment	0,09	BCF korijen/sediment	0,13
	BCF stablo/sediment	0,01	BCF stablo/sediment	0,03
	BCF list/sediment	0,01	BCF list/sediment	0,02
Mn	BCF korijen/sediment	1,07	BCF korijen/ sediment	1,16
	BCF stablo/sediment	0,19	BCF stablo/sediment	0,33
	BCF list/sediment	0,20	BCF list/sediment	0,34
Pb	BCF korijen/sediment	0,14	BCF korijen/sediment	0,11
	BCF stablo/ sediment	0,015	BCF stablo/sediment	0,019
	BCF list/sediment	0,017	BCF list/sediment	0,019
Zn	BCF korijen/sediment	0,75	BCF korijen/sediment	0,89
	BCF stablo/sediment	0,56	BCF stablo/sediment	0,76
	BCF list/sediment	0,39	BCF list/sediment	0,43

Analize pokazuju (Sl. 31) da BCF korijen/sediment ima najveće vrijednosti za Mn, Cd i Zn s neznatnim sezonskim variranjem (Mn–BCF korijen/sed. = 1,16; Cd–BCF korijen/sed = 0,98; Zn–BCF korijen/sed = 0,89). U skladu s rezultatima mangan je najviše akumuliran metal iz sedimenta, a odmah za njim kadmijum i cink. Primjetna je i razlika u redoslijedu između bioakumulacije metala u korijenu s jedne strane, i stablu i listu s druge, kao i razlike u sekvenci sadržaja metala u biljci od sekvence njihove bioakumulacione sposobnosti.

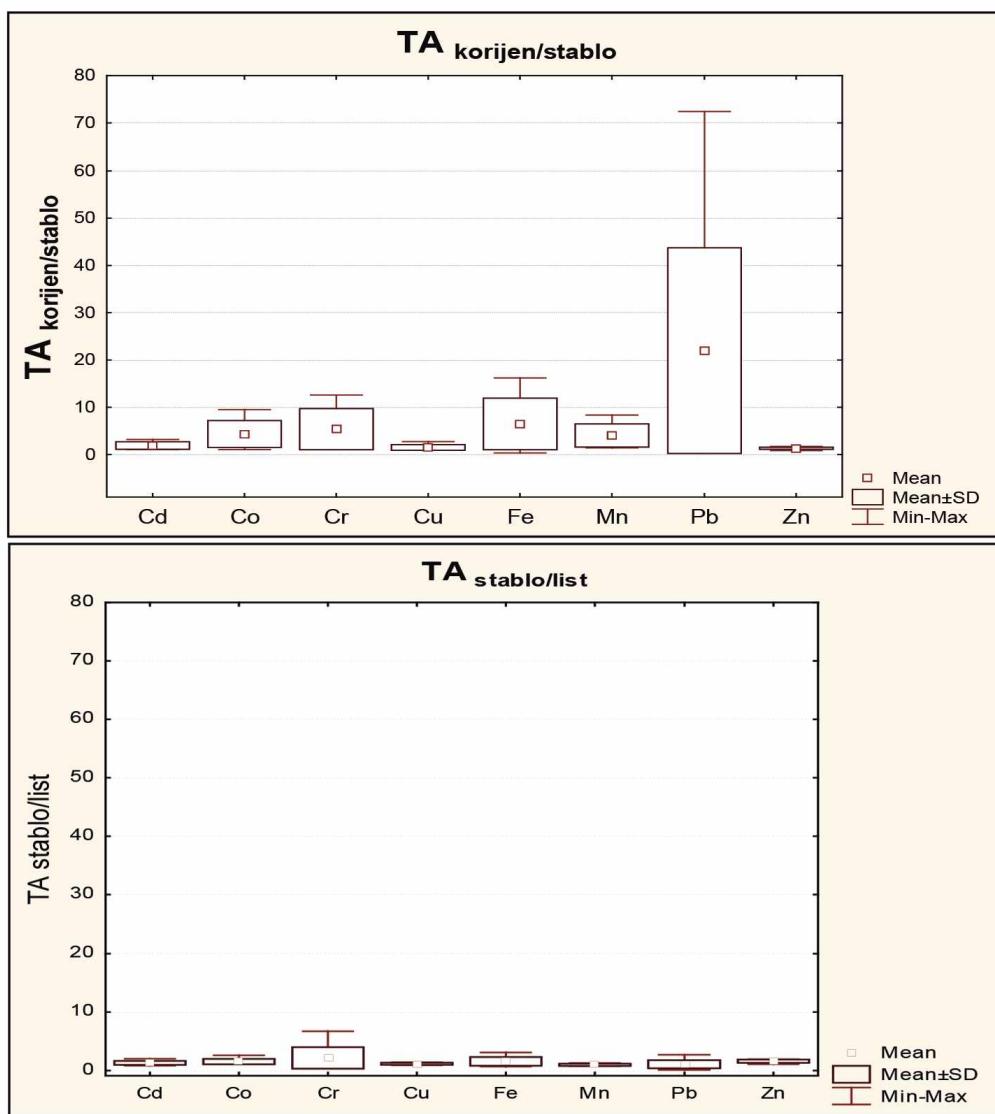


Slika 31: Srednje sezonske promjene biokoncentracionog faktora za a) korijen; b) stablo; c) list

Translokaciona sposobnost *Trapa natans* izražena je preko translokacionog faktora. Veće vrijednosti translokacionog faktora označavaju manju translokacionu sposobnost. Srednje vrijednosti translokacionog faktora vremenski i prostorno opadaju sljedećim redoslijedom: Pb > Fe > Cr > Co > Mn > Cu > Cd > Zn. Translokacija između pojedinih djelova *Trapa natans* L. zavisi od vrste metala i vremenskog perioda (Sl. 32).

**Tabela 14.** Srednje sezonske vrijednosti translokacionog faktora (TA)

	TA		
Metal		maj 2012.	avgust 2012.
<b>Cu</b>	korijen/stablo	1,49	1,42
	korijen/ list	1,68	1,65
	stablo/list	1,06	1,19
<b>Zn</b>	korijen/stablo	1,32	1,33
	korijen/ list	2,09	1,80
	stablo/list	1,39	1,36
<b>Mn</b>	korijen/stablo	4,02	4,00
	korijen/ list	3,95	3,80
	stablo/list	0,97	0,95
<b>Pb</b>	korijen/stablo	21,98	21,47
	korijen/ list	24,36	23,20
	stablo/list	1,57	1,13
<b>Cd</b>	korijen/stablo	1,90	1,88
	korijen/ list	2,43	2,50
	stablo/list	1,30	1,37
<b>Fe</b>	korijen/stablo	6,47	6,44
	korijen/ list	9,20	8,91
	stablo/list	1,65	1,53
<b>Co</b>	korijen/stablo	4,33	4,36
	korijen/ list	6,73	5,65
	stablo/list	1,52	1,39
<b>Cr</b>	korijen/stablo	5,37	5,04
	korijen/ list	9,79	8,38
	stablo/list	2,15	2,13



Slika 32: Srednje vrijednosti translokacionog faktora (TA) za sve ispitivane metale

### 5.7. Korelaciona analiza između sadržaja teških metala u organizma *Trapa natans* i sedimenta Jezera

U Tabeli 15 i na Sl. 33 predstavljeni su rezultati korelace analize za ispitivane teške metale u organizma *Trapa natans*.

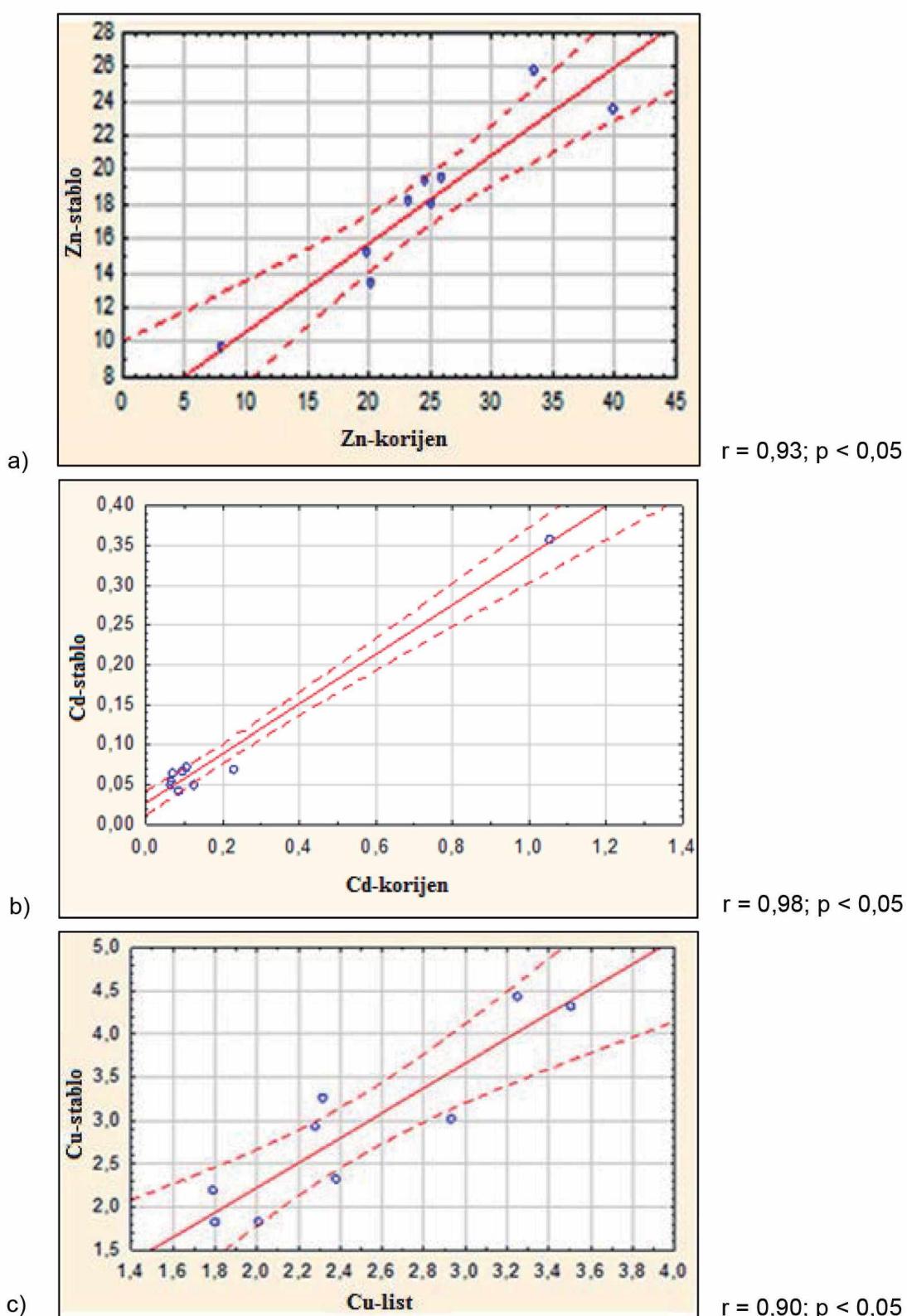
**Tabela 15:** Personov korelacioni koeficijent ( $p < 0,05$ ) za ispitivane teške metale u organima *Trapa natans*

<i>Trapa natans L.</i>			
		Korijen	Stablo
Cd	stablo	<b>0,989</b>	
	list	<b>0,983</b>	<b>0,986</b>
Co	stablo	-0,27	
	list	-0,20	<b>0,88</b>
Cr	stablo	-0,12	
	list	-0,34	<b>0,26</b>
Cu	stablo	<b>0,19</b>	
	list	<b>0,09</b>	0,90
Fe	stablo	<b>0,23</b>	
	list	0,32	<b>0,51</b>
Mn	stablo	<b>0,67</b>	
	list	<b>0,67</b>	0,74
Pb	stablo	-0,41	
	list	-0,41	<b>0,99</b>
Zn	stablo	<b>0,93</b>	
	list	<b>0,84</b>	<b>0,90</b>

Iz Tab. 15 i Sl. 33 se može uočiti da postoji vrlo visoka pozitivna korelacija u sadržaju Zn ( $r = 0,93$ ;  $r = 0,84$ ;  $r = 0,90$ ) između svih organa ispitivane vrste, kao i vrlo visoka korelacija u sadržaju Cd između svih djelova *Trapa natans* ( $r = 0,98$ ;  $r = 0,98$ ;  $r = 0,98$ ). Takođe je zabilježena i vrlo visoka korelacija u sadržaju Pb između stabla i listova ( $r = 0,99$ ), Cu između stabla i listova ( $r = 0,90$ ) i visoka korelacija u sadržaju Co između stabla i listova ( $r = 0,88$ ).

Srednja korelacija registrovana je u pogledu sadržaja Mn između svih ispitivanih organa ( $r = 0,74$ ), kao i između stabla i listova u pogledu sadržaja Fe ( $r = 0,51$ ). Niska korelacija registrovana je za Pb između korijena i stabla, kao i između korijena i listova.

Primjetno je da jedino u pogledu Cr nije registrovana korelacija između ispitivanih organa.



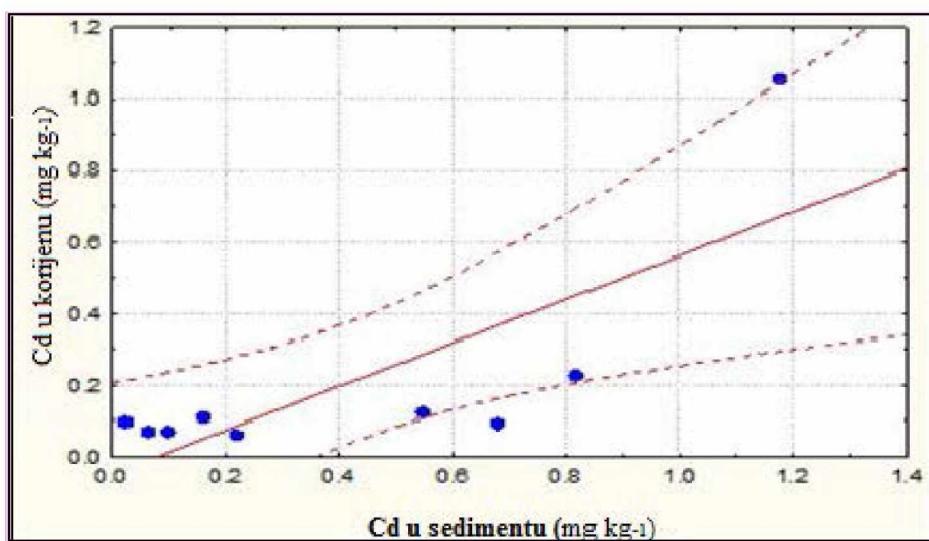
Slika 33: Korelacija sadržaja za Zn (a) i Cd (b) u korijenu i stablu i Cu (c) u listu i stablu *Trapa natans*

U Tabeli 16 predstavljeni su rezultati korelacione analize za ispitivane teške metale u organizma *Trapa natans* i sedimenta.

**Tabela 16:** Personov korelacioni koeficijent ( $p < 0,05$ ) za ispitivane teške metale u organizma *Trapa natans* i sedimenta

<i>Trapa natans</i> L.				
		Korijen	Stablo	List
Cd	sediment	<b>0,77</b>	<b>0,67</b>	<b>0,69</b>
Co	sediment	-0,07	<b>0,16</b>	<b>0,04</b>
Cr	sediment	-0,25	<b>0,09</b>	<b>0,24</b>
Cu	sediment	-0,29	<b>0,29</b>	<b>0,26</b>
Fe	sediment	<b>0,23</b>	<b>0,02</b>	-0,11
Cr	sediment	-0,25	<b>0,09</b>	<b>0,24</b>
Mn	sediment	-0,45	-0,28	-0,26
Pb	sediment	<b>0,40</b>	<b>0,04</b>	-0,28
Zn	sediment	-0,10	-0,25	-0,27

Rezultati ukazuju na postojanje statistički značajne pozitivne korelacije između sadržaja Cd ( $r = 0,77$ ;  $p < 0,05$ ) u sedimentu i njegovog sadržaja u korijenu ispitivane vrste (Sl. 34). Takođe je zabilježena niska pozitivna korelacija između sadržaja olova u sedimentu i njegovog sadržaja u korijenu vrste *Trapa natans*. S izuzetkom kadmijuma i olova, nije registrovana pozitivna korelacija između sadržaja ostalih metala u sedimentu i njihovog sadržaja u pojedinim organizma ispitivane vrste.



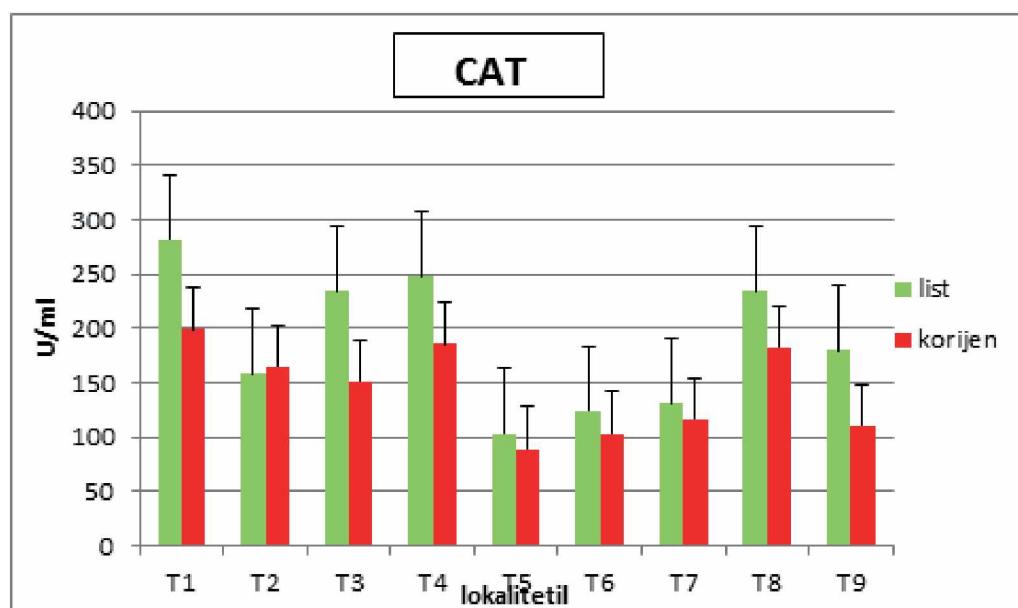
**Slika 34:** Korelacija između sadržaja Cd u sedimentu i korijenu vrste *Trapa natans* L.

## 5. 8. Aktivnost enzima antioksidativne zaštite

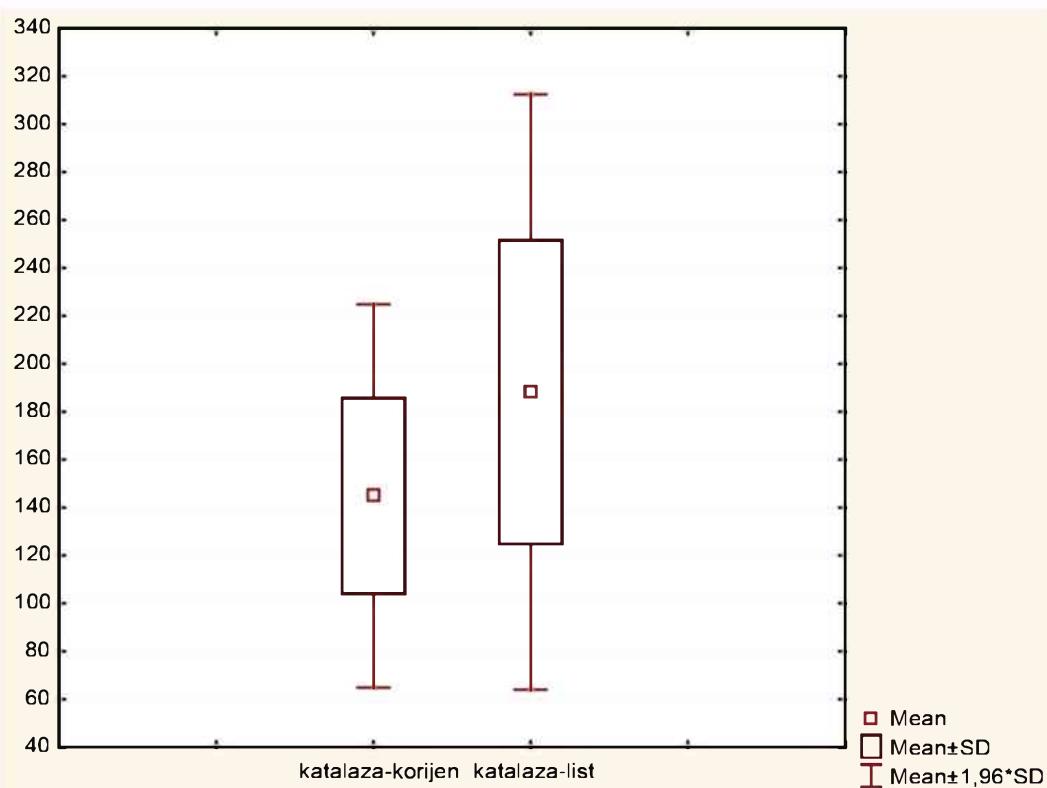
### 5.8.1. Aktivnost enzima katalaze (CAT) u listu i korijenu vrste *Trapa natans*

Analiza dobijenih ispitivanih rezultata aktivnosti katalaze u posmatranoj biljnoj vrsti (Sl. 35) pokazala je da je njena aktivnost, tj. sadržaj katalaze različit, kako po lokalitetima gdje su vršena istraživanja, tako i po ispitivanim djelovima biljke (list/korijen). Primjetna je generalno veća aktivnost katalaze u listu u odnosu na korijen (Sl. 36). Najveća aktivnost katalaze zabilježena je na lokalitetima T<sub>1</sub> i T<sub>8</sub> i to u listu (282,1 U/ml i 247,7 U/ml) *Trapa natans*. Aktivnost katalaze u listu na lokalitetu T<sub>1</sub> je za 178,9 U/ml veća od njene aktivnosti na lokalitetu T<sub>5</sub>. To, u stvari, predstavlja duplo smanjenu aktivnost katalaze na lokalitetu T<sub>5</sub> u odnosu na lokalitet T<sub>1</sub>. Takođe, niske vrijednosti katalaze u listu *Trapa natans* su zapažene i na lokalitetu T<sub>6</sub>. Vrijednost katalaze na lokalitetu T<sub>6</sub> iznosila je 123,8 U/ml, što je za 158,3 U/ml manje nego na lokalitetu T<sub>1</sub>.

Sa Slike 35. možemo primijetiti da takođe postoji razlika u aktivnosti katalaze i u korijenu ispitivane vrste. Tako je najveća aktivnost katalaze u korijenu zabilježena na lokalitetu T<sub>1</sub>, T<sub>4</sub> i T<sub>8</sub>, a najmanja na lokalitetu T<sub>5</sub>. Na lokalitetu T<sub>5</sub> aktivnost katalaze je smanjena za 110,06 U/ml u odnosu na maksimalnu aktivnost katalaze na lokalitetu T<sub>1</sub>.



**Slika 35:** Aktivnost enzima katalaze (CAT) u listu i korijenu na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

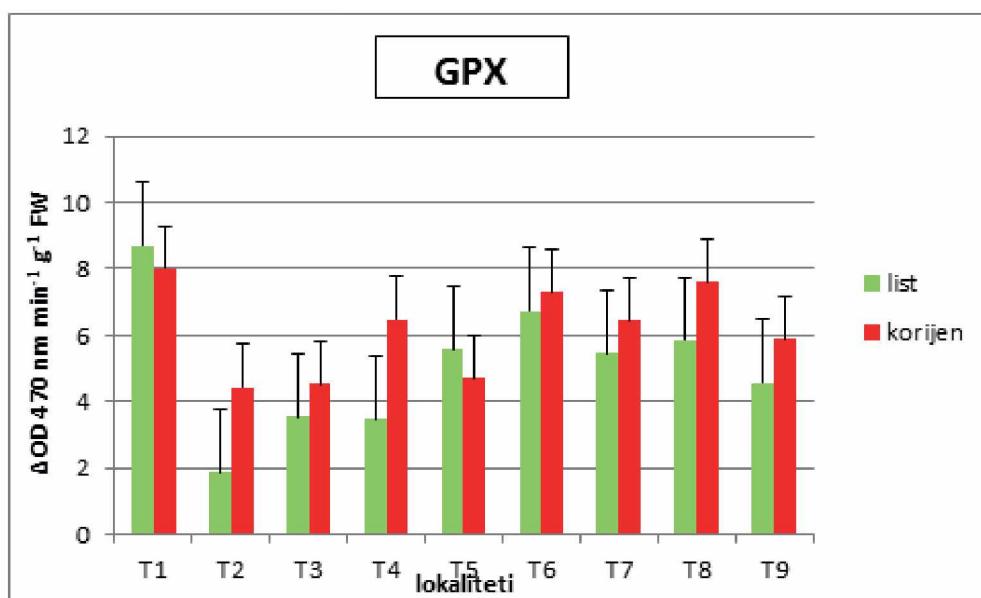


**Slika 36:** Srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija enzima katalaze (CAT) u listu i korijenu *Trapa natans*

### 5.8.2. Aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze (GPX) u listu i korijenu vrste

#### *Trapa natans*

Pregledom dobijenih rezultata, uočava se da je najveća aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze registrovana u korijenu ispitivane vrste ( $GPX=10,7 \Delta OD 470 nm min^{-1} g^{-1} FW$ ) na lokalitetu  $T_5$ , a minimalna u listu ispitivane vrste na lokalitetu  $T_2$  ( $GPX= 1,8 \Delta OD 470 nm min^{-1} g^{-1} FW$ ). Veća aktivnost enzima GPX na svim ispitivanim lokalitetima zabilježena je u korijenu, s izuzetkom lokaliteta  $T_1$  gdje je maksimalna aktivnost enzima registrovana u listu ispitivane vrste (Sl. 37).



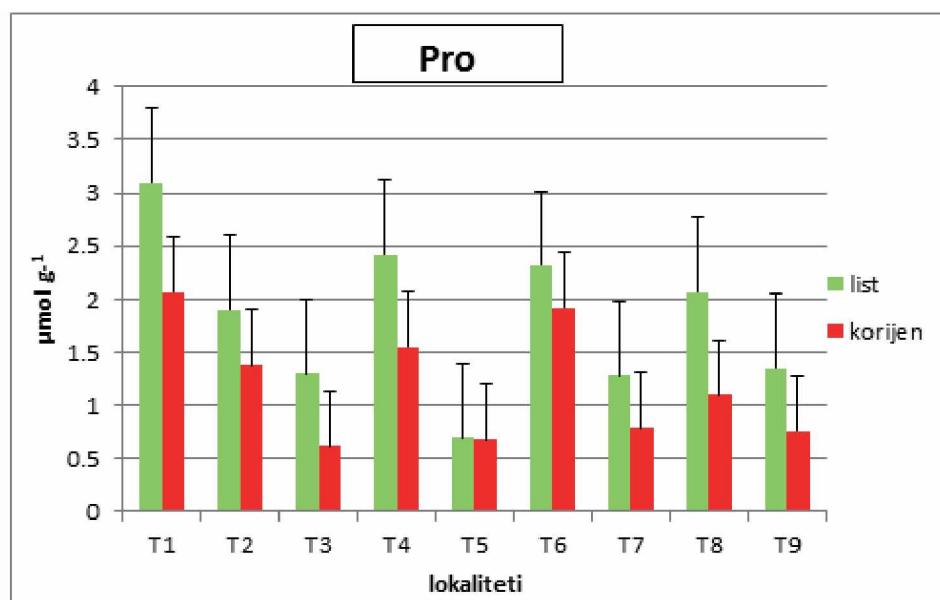
**Slika 37:** Aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze (GPx) u listu i korijenu na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

Aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze u korijenu kretala se u granicama od (GPX = 4,42  $\Delta\text{OD } 470 \text{ nm min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FW}$ ) na lokalitetu T<sub>2</sub> do (GPX = 10,7  $\Delta\text{OD } 470 \text{ nm min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FW}$ ) na lokalitetu T<sub>5</sub>, dok se u listu aktivnost enzima kretala u granicama od (GPX = 1,86  $\Delta\text{OD } 470 \text{ nm min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FW}$ ) na lokalitetu T<sub>2</sub> do (GPX= 8,7  $\Delta\text{OD } 470 \text{ nm min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FW}$ ) na lokalitetu T<sub>1</sub>.

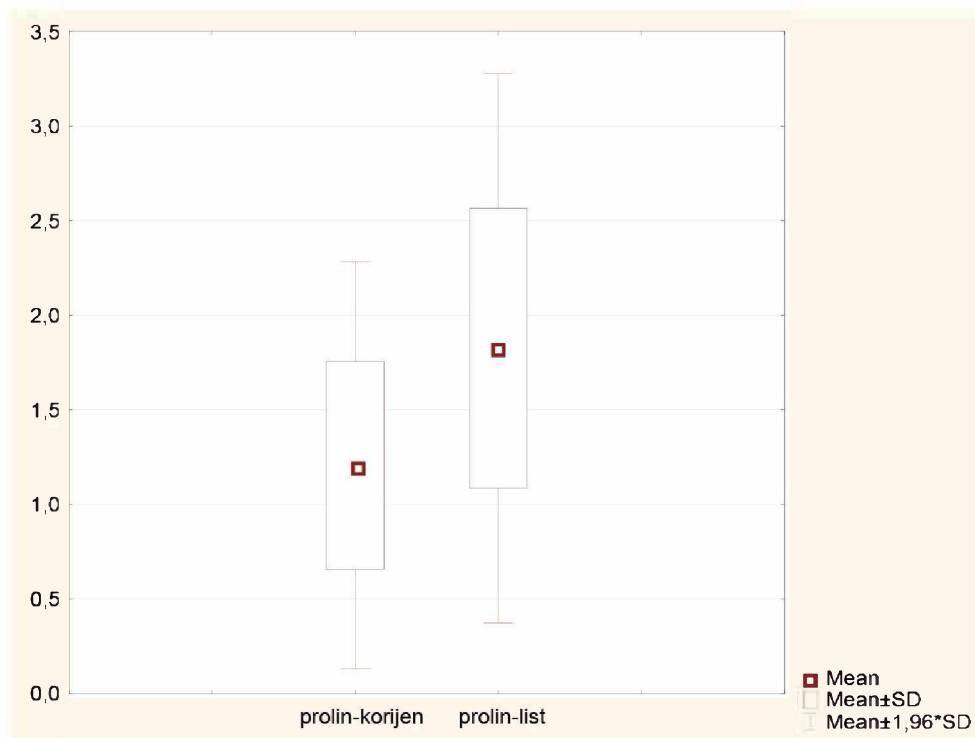
### 5.9. Sadržaj prolina u listu i korijenu vrste *Trapa natans*

Na osnovu analize dobijenih rezultata sadržaja prolina u listu i korijenu ispitivane vrste (Sl. 38) može se vidjeti da je maksimalna vrijednost prolina zabilježena u listu ispitivane vrste na lokalitetu T<sub>1</sub>. Najmanji sadržaj prolina registrovan je u korijenu na lokalitetu T<sub>5</sub>.

Vrijednosti amino-kisjeline prolina u listu kretale su se u granicama od 0,68  $\mu\text{mol g}^{-1}$  u korijenu na lokalitetu T<sub>5</sub> do 3,1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  u listu na lokalitetu T<sub>1</sub>. Veći sadržaj prolina na svim lokalitetima zabilježen je u listu ispitivane vrste (Sl. 39).



Slika 38: Sadržaj prolina (Pro) u listu i korijenu na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera



Slika 39: Srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija amino-kiseline prolina (Pro)  
u listu i korijenu *Trapa natans*

## 5.10. Korelaciona analiza sadržaja metala (list/korijen) i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite i prolina

Korelaciona analiza između sadržaja metala (list/korijen) i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite, uključujući i prolin kao neenzimski antioksidant pokazala je da postoji statistički značajna pozitivna korelacija ( $r = 0,72$ ;  $p < 0,05$ ) između sadržaja Zn (kao jednog od tri najzastupljenija metala u tkivima ispitivane vrste) u korijenu vrste *Trapa natans* i aktivnosti enzima katalaze (Tab. 17, Sl. 40 a). S povećanjem koncentracije cinka raste i aktivnost enzima katalaze.

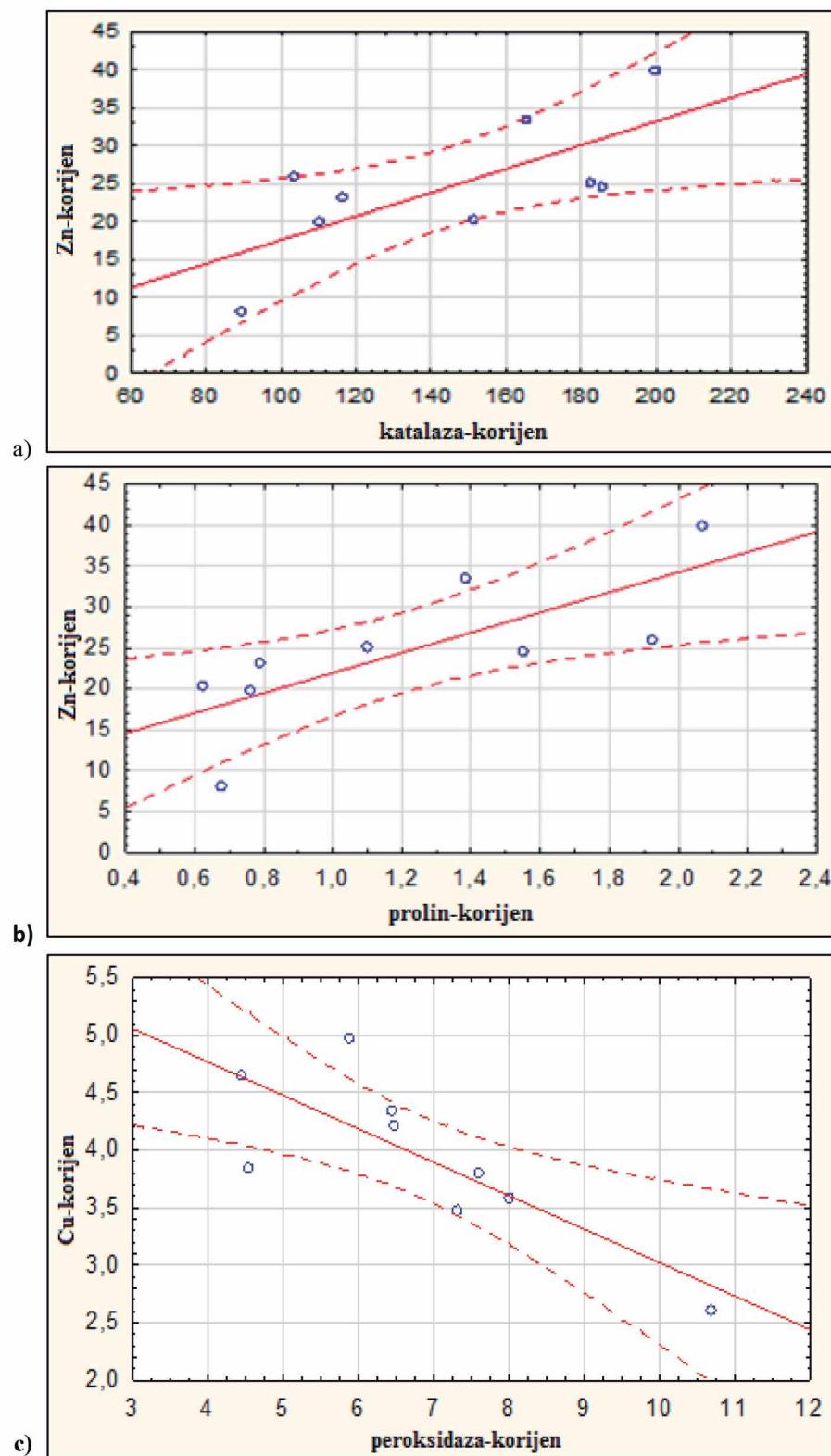
**Tabela 17:** Personov korelacioni koeficijent ( $p < 0,05$ ) za koncentracije metala (list, korijen) i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite i prolina

metal	CAT		GPX		Pro	
	list	korijen	list	korijen	list	korijen
<b>Cd</b>	0,28	0,3	0,11	0,10	0,14	-0,13
<b>Co</b>	-0,29	-0,20	-0,1	-0,62	0,01	-0,20
<b>Cr</b>	-0,06	-0,23	-0,02	-0,16	0,42	-0,44
<b>Cu</b>	0,13	0,20	-0,22	<b>-0,79</b>	0,49	-0,08
<b>Fe</b>	0,05	-0,32	-0,36	-0,4	0,15	-0,50
<b>Mn</b>	0,22	-0,28	0,30	-0,23	-0,01	-0,30
<b>Pb</b>	0,37	-0,14	0,31	-0,31	0,34	-0,48
<b>Zn</b>	0,28	<b>0,72</b>	-0,14	-0,37	0,58	<b>0,75</b>
<b>Mn</b>	0,22	-0,28	0,30	-0,23	-0,01	-0,30

Takođe je primjetna i statistički značajna pozitivna korelacija ( $r = 0,75$ ;  $p < 0,05$ ) između sadržaja Zn i akumulacije prolina (Sl. 40 b) u korijenu ispitivane vrste. Aktivnost katalaze u listu nije zavisna od koncentracije niti jednog metala. Jedino u slučaju olova je primjetna niska pozitivna korelacija ( $r = 0,31$ ), aktivnost enzima raste s povećanjem koncentracije olova u listu.

Analizom je utvrđeno i postojanje visoke negativne korelacije ( $r = -0,79$ ) između sadržaja Cu u korijenu i aktivnosti enzima gvajakol-peroksidaze (GPX), što znači da s porastom koncentracije Cu opada aktivnost enzima (Sl. 40 c). Registrovana je i niska negativna korelacija između aktivnosti enzima gvajakol-peroksidaze i sadržaja Co, Zn i Fe u korijenu ispitivane vrste.

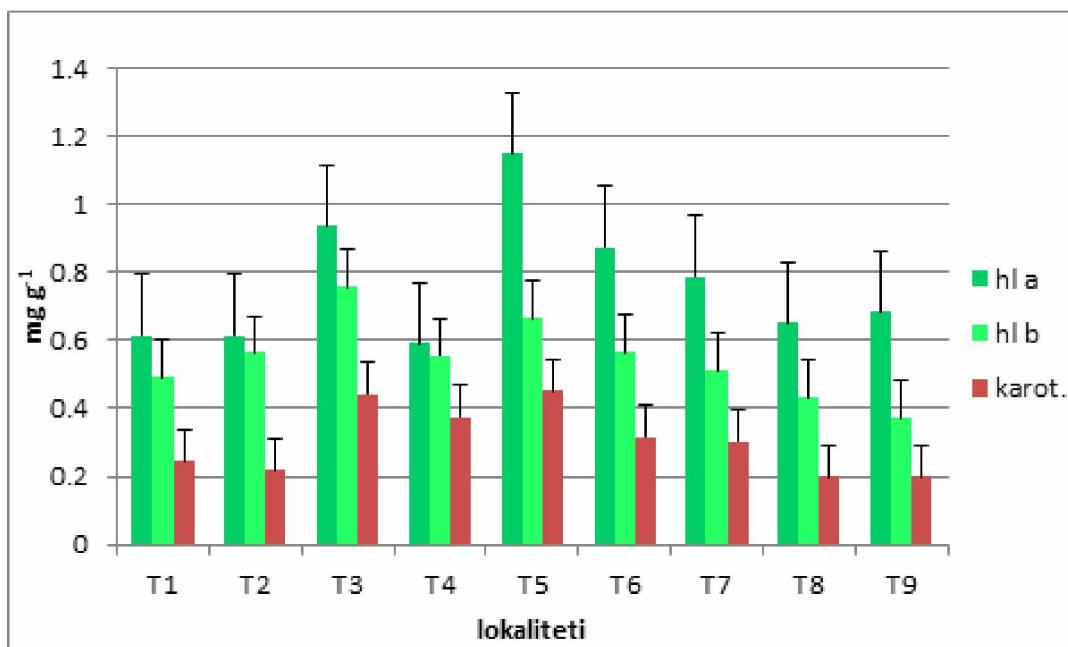
Treba istaći da nije zabilježena korelacija između sadržaja Cd i Mn s enzimima antioksidativne zaštite, uključujući i prolin.



Slika 40: Korelacija sadržaja: a) Zn u korijenu i aktivnosti enzima katalaze (CAT); b) Zn u korijenu i sadržaja prolina (Pro) i c) Cu u korijenu i aktivnosti enzima gvajakol-peroksidaze (GPX)

### 5.11. Sadržaj fotosintetskih pigmenata kod vrste *Trapa natans*

Srednje vrijednosti koncentracije hl *a*, hl *b* i karotenoida predstavljene su histogramom (Sl. 41). Najveća koncentracija hl *a* zabilježena je na lokalitetu T<sub>5</sub> (Raduš) i iznosila je  $1,15 \text{ mg g}^{-1}$ , a minimalne koncentracije registrovane su na lokalitetima T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>, gdje je sadržaj hl *a* bio relativno ujednačen i kretao se u granicama od 0,614 do  $0,685 \text{ mg g}^{-1}$ .



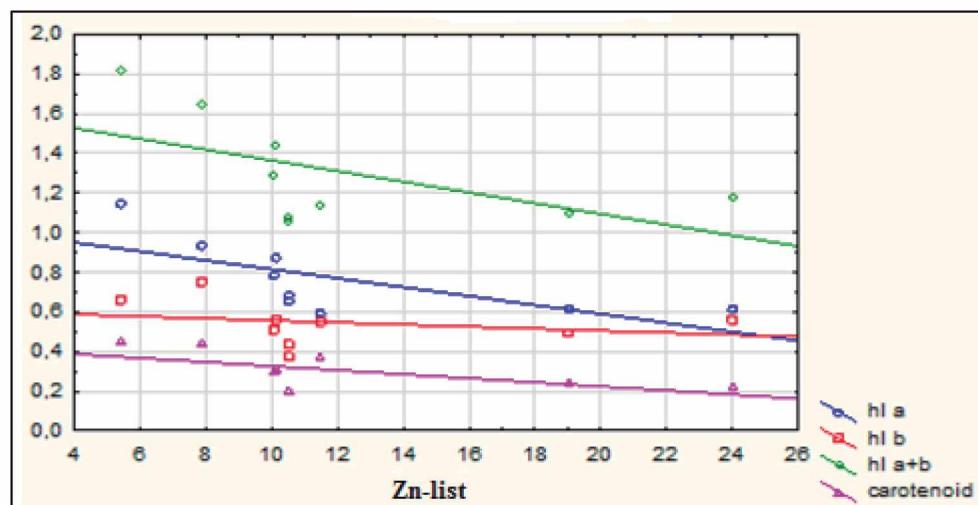
**Slika 41:** Koncentracija hl *a*, hl *b* i karotenoida na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera

Za razliku od hlorofila *a*, vrijednosti koncentracija hlorofila *b* na svim ispitivanim lokalitetima bile su ujednačenog karaktera, s maksimumom zabilježenim na lokalitetu T<sub>3</sub> (Kamenik), koji je iznosio  $0,757 \text{ mg g}^{-1}$ .

Rezultati korelace analize ( $p < 0,05$ ) između sadržaja pigmenata i koncentracije ispitivanih metala u listu dati su u Tabeli 18. Analize pokazuju da postoji visoka negativna korelacija između sadržaja hl *a* i koncentracije Zn u listu ( $r = -0,68$ ) vrste *Trapa natans* L. (Sl. 42)

**Tabela 18:** Personov korelacioni koeficijent ( $p < 0,05$ ) između sadržaja pigmenata i koncentracije ispitivanih metala u listu vrste *Trapa natans*

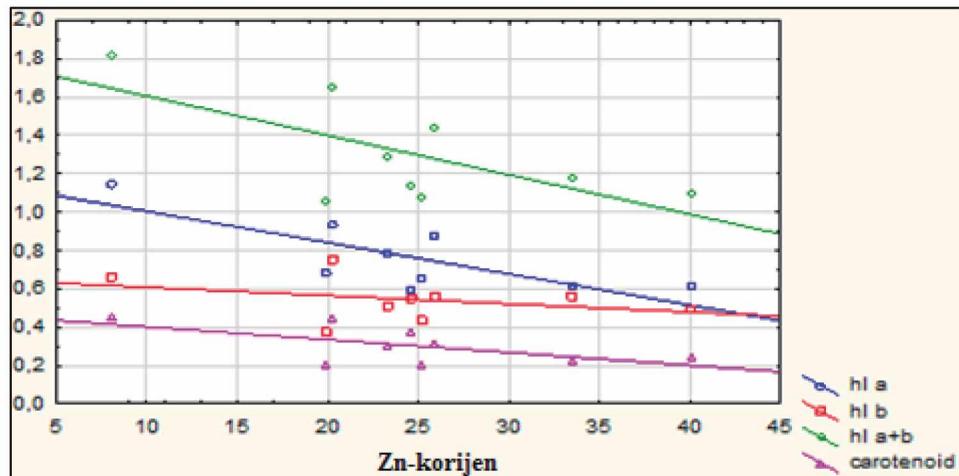
	hl a	hl b	hl a+b	karot.	Cd (I)	Co (I)	Cr (I)	Cu (I)	Fe (I)	Mn (I)	Pb (I)	Zn (I)
hl a	1											
hl b	0,65	1										
hl a+b	0,95	0,84	1									
karot.	0,74	0,86	0,85	1								
Cd (I)	-0,33	-0,48	0,41	-0,54	1							
Co (I)	-0,10	-0,16	-0,11	-0,33	-0,30	1						
Cr (I)	-0,44	-0,21	-0,37	-0,47	-0,25	0,84	1					
Cu (I)	-0,44	0,03	-0,28	-0,1	-0,26	0,52	0,75	1				
Fe (I)	-0,59	-0,53	-0,61	-0,70	-0,004	0,68	0,64	0,32	1			
Mn (I)	-0,16	-0,65	-0,36	-0,58	-0,08	0,44	0,28	-0,27	0,60	1		
Pb (I)	-0,49	-0,57	-0,57	-0,63	-0,06	0,59	0,59	0,16	0,67	0,71	1	
Zn (I)	<b>-0,68</b>	-0,25	-0,57	-0,59	-0,01	0,64	0,90	0,73	0,68	0,12	0,58	1



**Slika 42:** Korelacija sadržaja pigmenata i koncentracije Zn u listu vrste *Trapa natans*

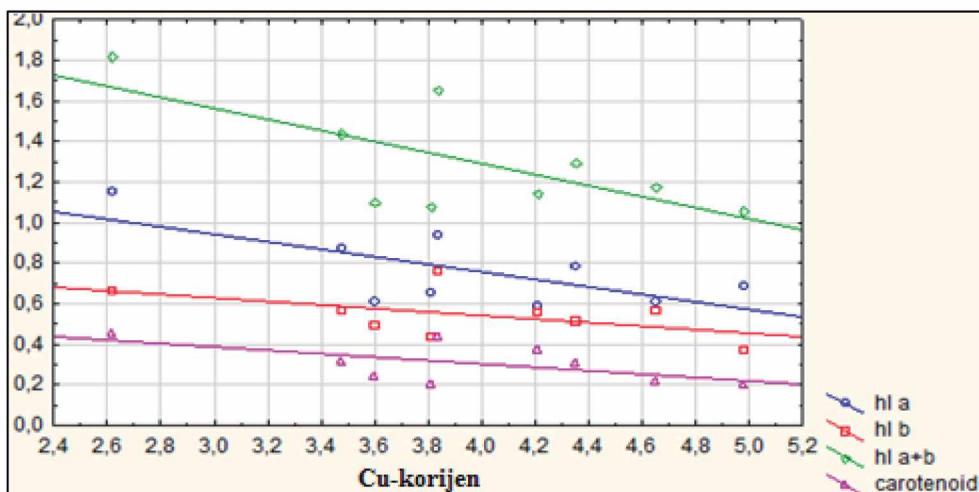
Zn – list ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): hl a ( $\text{mg g}^{-1}$ ) :  $r = -0,68$ ;  $p < 0,05$ ; hl b ( $\text{mg g}^{-1}$ ) :  $r = -0,25$ ;  $p < 0,05$ ;  
 hl a + b ( $\text{mg g}^{-1}$ ) :  $r = -0,57$ ;  $p < 0,05$ ; karot. ( $\text{mg g}^{-1}$ ) :  $r = -0,59$ ;  $p < 0,05$

Takođe je primjetna i visoka negativna korelacija između sadržaja hl *a* i koncentracije Zn i Cu (Sl. 43. i 44) u korijenu ( $r = -0,76$ ;  $r = -0,70$ ) ispitivane vrste.



Slika 43: Korelacija sadržaja pigmenata i koncentracije Zn u korijenu vrste *Trapa natans*

Zn – korijen (mg kg<sup>-1</sup>) : hl *a* (mg g<sup>-1</sup>) :  $r = -0,76$ ;  $p < 0,05$ ; hl *b* (mg g<sup>-1</sup>) :  $r = -0,33$ ;  $p < 0,05$ ;  
 Hl *a + b* (mg g<sup>-1</sup>) :  $r = -0,67$ ;  $p < 0,05$ ; karot. (mg g<sup>-1</sup>) :  $r = -0,60$ ;  $p < 0,05$

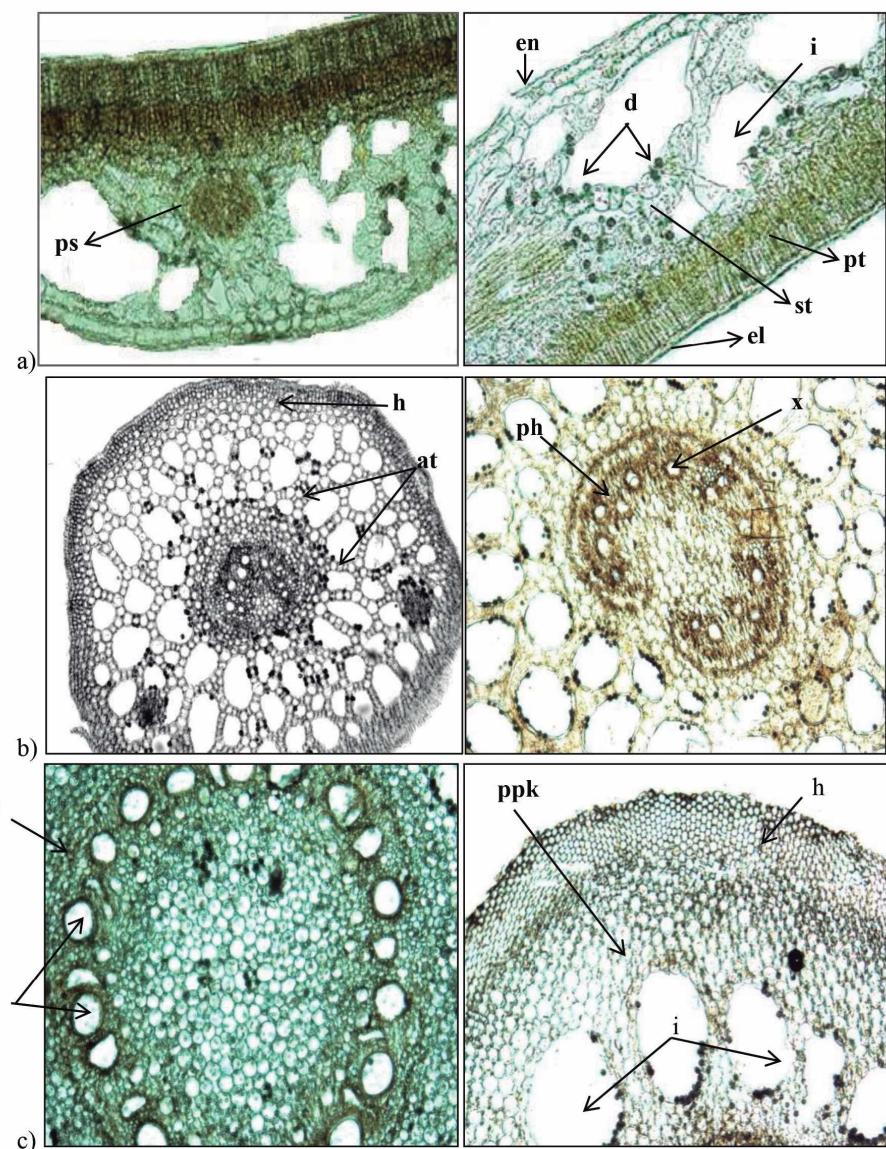


Slika 44: Korelacija sadržaja pigmenata i koncentracije Cn u korijenu vrste *Trapa natans*

Cu – korijen (mg kg⁻¹) : hl *a* (mg g⁻¹) :  $r = -0,70$ ;  $p < 0,05$ ; hl *b* (mg g⁻¹) :  $r = -0,51$ ;  $p < 0,05$ ;  
 hl *a + b* (mg g⁻¹) :  $r = -0,69$ ;  $p < 0,05$ ; karot. (mg g⁻¹) :  $r = -0,59$ ;  $p < 0,05$

### 5.12. Varijabilnost anatomskih karaktera vrste *Trapa natans*

Za prikazivanje veličine i oblika varijabilnosti anatomskih karakteristika (Sl. 45) korištena je analiza glavnih komponenti (PCA). Set od ukupno 26 anatomskih karaktera (10 za stablo, 8 za lisku i 8 za lisnu dršku) za pet populacija zasebno je podvrgnut analizi glavnih komponenti.



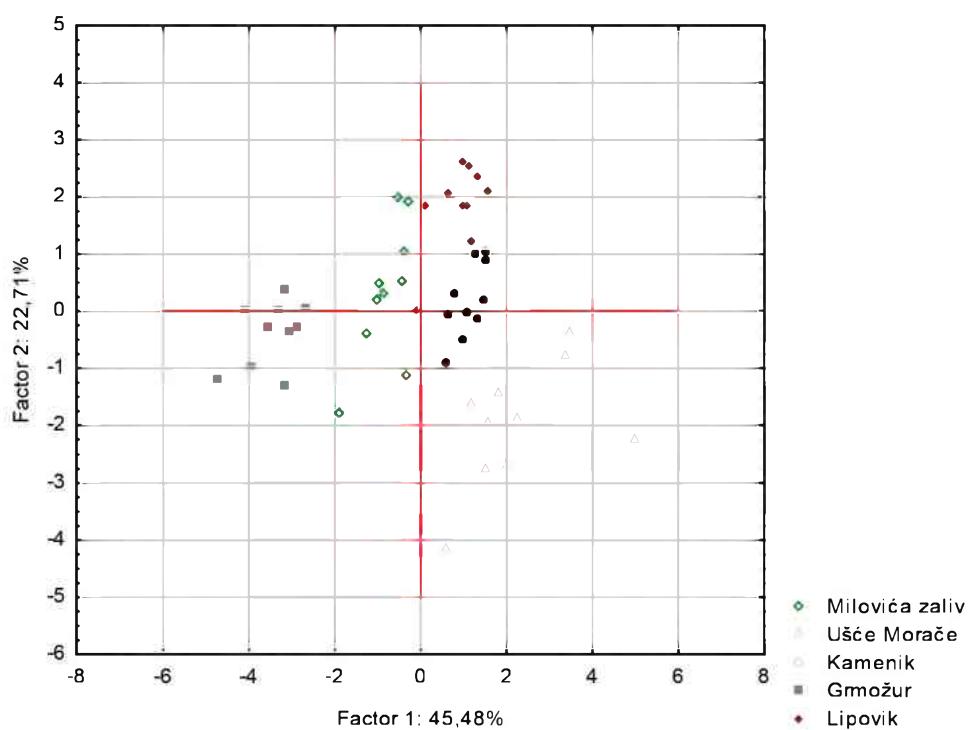
**Slika 45:** Prikaz anatomske građe na poprečnom presjeku a) flotantne liske (x 10) : el - epidermis lica, pt - palisadno tkivo, st - sunderasto tkivo, d - kristalne druze, i - intercelular, ps - provodni snopić , en - epidermis naličja b) lisne drške : h - hypoderm (x10) at- aerenhimsko tkivo (x10) x – ksilem (x20) ph - f loem (x20) c)stabla (x20): h - hipoderm, ppk - parenhim primarne kore, i - intercelular, cc - centralni cilindar, t - traheja, sa detaljima grade vrste *Trapa natans*

### 5.12.1. Analiza glavnih komponenti (PCA) stabla

Kada su u pitanju anatomski karakteri koji se odnose na stablo (Tab. 19, Sl. 46), analiza glavnih komponenti je pokazala da je varijabilnost po prvoj osi (PCI) 44,90% od ukupne varijabilnosti izmјerenih karaktera. Druga PCII osa opisuje 24,22%, a treća PCIII 10,4%. Distribuciji objekata duž prve ose u najvećoj mjeri doprinoсе sljedeći karakteri: % centralnog cilindra, % kore i epidermisa, % parenhima cilindra, površina pojedinačnih sudova, broj pojedinačnih sudova i % intercelulara kore, dok po trećoj osi, varijabilnosti najviše doprinosi karakter broj slojeva hipodermisa. Projekcijom karaktera na prve dvije glavne PC ose, od ispitivanih populacija mogu se formirati tri grupe po varijabilnosti anatomskih karaktera. Prvu grupu predstavljaju jedinke iz uzoraka sa lokaliteta ušća Morače, drugu iz uzoraka sa lokaliteta Grmožur i treću grupu čine jedinke iz uzoraka sa lokaliteta Milovića zaliv, Kamenik i Lipovik.

**Tabela 19:** Prve tri glavne komponente (PC) dobijene na osnovu kovariacione matrice anatomskih karaktera stabla

Karakter	PC I	PC II	PC III
P_pop_presjeka_stabla	-0,696	0,657	0,119
% centralnog cilindra	<b>-0,726</b>	-0,642	-0,075
% kore i epidermisa	<b>0,726</b>	0,642	0,075
% parenhima cilindra	<b>-0,761</b>	-0,296	0,035
P_ćel_parenh_cilindra	-0,653	0,408	0,066
% debljine hipodermisa	-0,486	-0,636	0,036
Br_slojeva_hipodermisa	-0,237	0,264	<b>-0,856</b>
P_pojedinačnih_sudova	<b>-0,720</b>	0,219	0,343
Br_pojedinačnih_sudova	<b>-0,820</b>	0,407	0,184
% intercelulara kore	<b>0,717</b>	-0,262	0,358
Expl. Var	4,548	2,271	1,046
Prp.Totl	0,454	0,227	0,104



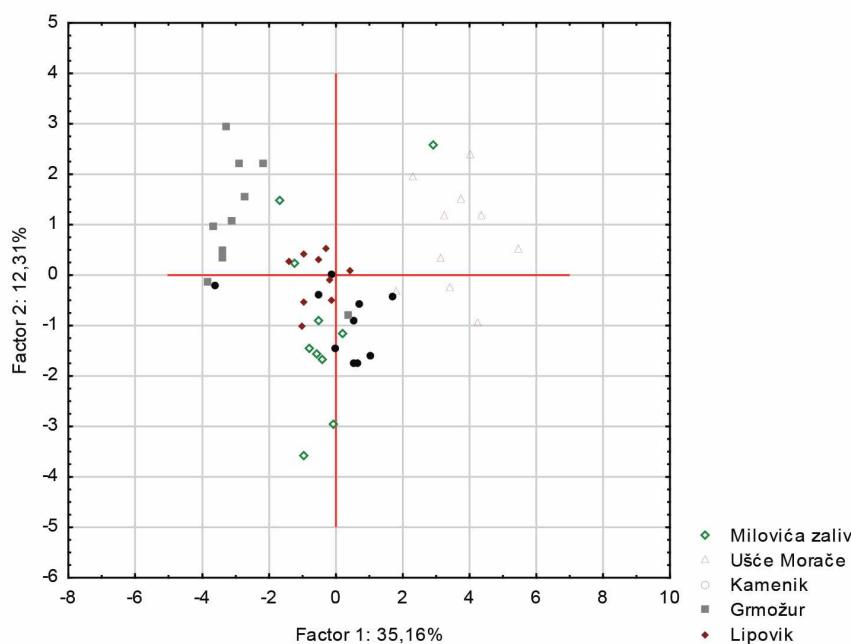
**Slika 46:** Projekcija anatomske karaktere stabla ispitivanih lokaliteta na prvu i drugu glavnu komponentu (PC I – PC II)

### 5.12.2. Analiza glavnih komponenti (PCA) liske i lisne drške

Analiza glavnih komponenti kojom je obuhvaćeno 16 anatomskih karaktera liske i lisne drške zajedno (Tab. 20, Sl.47) pokazala je varijabilnost po prvoj osi 35,16%, po drugoj 12,58%, a po trećoj 9,92%. Po prvoj osi po značajnosti izdvojilo se više karaktera: površina ćelija ADE, površina ćelija ABE, visina ćelija epidermis, površina poprečnog presjeka lisne drške, površina ćelija epidermisa lisne drške, debljina hipodermisa lisne drške i površina lateralnog provodnog snopića. Po drugoj i trećoj osi nije bilo značajnijeg izdvajanja karaktera. Projekcijom karaktera na prve dvije glavne PC ose, kao i kod stabla mogu se formirati tri grupe po varijabilnosti anatomskih karaktera. Prvu grupu predstavljaju jedinke sa lokaliteta ušća Morače, drugu iz uzoraka Grmožur i treću grupu čine jedinke sa lokaliteta Milovića zaliv, Kamenik i Lipovik.

**Tabela 20:** Prve tri glavne komponente (PC) dobijene na osnovu kovariacione matrice anatomskih karaktera liske i lisne drške

Karakter	PC I	PC II	PC III
L_pov_ćelija_ADE	-0,817	-0,030	0,179
L_pov_ćelija_ABE	-0,861	0,126	0,207
L_visina_ćelija_epidermisa	-0,711	0,160	0,078
L_debljina_liske_zona_Gl_nerva	0,053	0,525	0,671
L_debljina_liske_zona_Lat_nerva	-0,537	0,163	-0,006
L_debljina_palis_tkiva	-0,296	0,654	-0,021
L_broj_sudova_Gl_nerva	0,059	0,051	0,003
-L_pov_sudova_Gl_nerva	-0,511	0,554	0,295
LD_PPoprečnog_presjka	-0,892	-0,156	-0,272
LD_površina_ćelija_epidermisa	-0,822	0,176	-0,194
LD_br_slojeva_hipodermisa	-0,084	-0,464	0,302
LD_debljina_hipodermisa	-0,719	-0,390	0,055
%pov_centralnog_snopića_LD	0,127	-0,431	0,612
LD_pov_lat_prov_snopića	-0,801	-0,304	-0,122
LD_br_pojedinačnih_sudova	-0,275	0,049	-0,529
LD_pov_pojedinačnih-sudova	-0,574	-0,423	0,302
Expl.Var	5,624	1,969	1,588
Prp.Totl	0,351	0,123	0,078



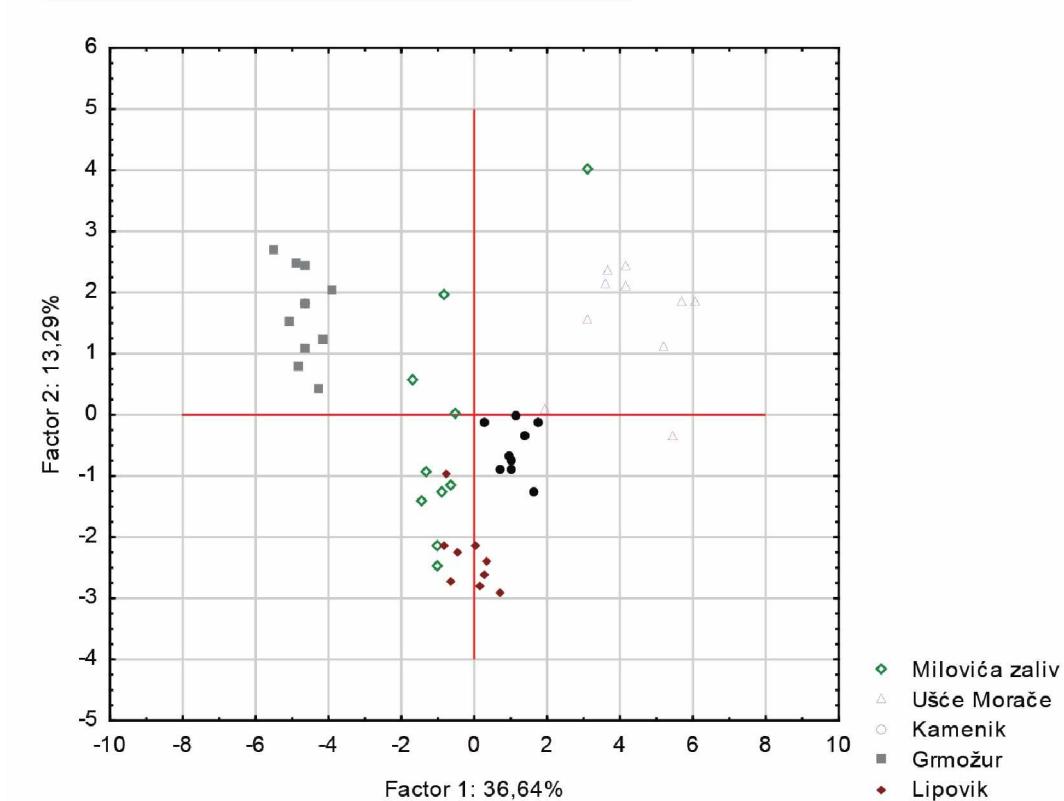
**Slika 47:** Projekcija anatomskih karaktera liske i lisne drške ispitivanih lokaliteta na prvu i drugu glavnu komponentu (PC I – PC II)

Ako posmatramo analizu glavnih komponenti (PCA) svih 26 anatomskeh karaktera zajedno (Tab. 21, Sl. 48), uočavamo da je varijabilnost po prvoj osi 36,64%, a po drugoj 13,29%. Varijabilnosti po prvoj osi najviše doprinose karakteri: površina poprečnog presjeka stabla, površina ćelija parenhima cilindra stabla, površina pojedinačnih sudova stabla, broj pojedinačnih sudova stabla, površina ćelija ADE, površina ćelija ABE, površina poprečnog presjeka lisne drške, površina ćelija epidermisa lisne drške i površina lateralnog provodnog snopića lisne drške. Po drugoj osi po značajnosti se izdvajaju tri karaktera: % centralnog cilindra stabla, % kore i epidermisa stabla i % debljine hipodermisa stabla.

**Tabela 21:** Prve tri glavne komponente (PC) dobijene na osnovu kovariacione matrice svih anatomskeh karaktera zajedno

Karakter	PC I	PC II	PC III
P_pop_presjeka_stabla	<b>-0,876</b>	-0,402	-0,087
% centralnog cilindra	-0,474	<b>0,762</b>	0,323
% kore i epidermisa	0,474	<b>-0,762</b>	-0,323
% parenhima cilindra	-0,648	0,413	0,220
P_ćel_parenh_cilindra	<b>-0,717</b>	-0,272	0,223
% debljine hipodermisa	-0,300	<b>0,746</b>	-0,011
Br_slojeva_hipodermisa	-0,208	-0,205	0,280
P_pojedinačnih_sudova	<b>-0,752</b>	0,130	-0,286
Br_pojedinačnih_sudova	0,677	0,056	-0,151
% intercelulara kore	<b>-0,911</b>	-0,083	-0,163
L_pov_ćelija_ADE	<b>-0,864</b>	0,194	0,247
L_pov_ćelija_ABE	<b>-0,886</b>	0,222	0,024
L_visina_ćelija_epidermisa	-0,658	-0,088	-0,218
L_debljina_liske_zona_Gl_nerva	0,035	0,582	-0,249
L_debljina_liske_zona_Lat_nerva	-0,502	-0,120	-0,386
L_debljina_palis_tkiva	-0,317	0,280	-0,554
L_broj_sudova_Gl_nerva	-0,000	0,069	0,057
L_pov_sudova_Gl_nerva	-0,515	0,324	-0,372
LD_PPoprečnog_presjka	<b>-0,871</b>	-0,396	-0,008
LD_površina_ćelija_epidermisa	<b>-0,839</b>	-0,040	-0,207
LD_br_slojeva_hipodermisa	-0,075	-0,192	0,395
LD_debljina_hipodermisa	-0,623	-0,448	0,114
%_pov_centralnog_snopića_LD	0,143	0,029	0,524
LD_pov_lat_prov_snopića	<b>-0,737</b>	-0,427	0,135
LD_br_pojedinačnih_sudova	-0,246	-0,180	-0,200
LD_pov_pojedinačnih-sudova	-0,548	-0,092	0,437
Expl.Var	9,526	3,45	2,033
Prp.Totl	0,366	0,132	0,07

Projekcijom karaktera na prve dvije PC ose, od ispitivanih uzoraka mogu se formirati tri grupe po varijabilnosti anatomskega karaktera. Prvu grupu predstavljaju jedinke iz uzorka ušča Morače, drugu iz uzorka Grmožur i treću grupu čine jedinke iz uzorka Milovića zaliv, Kamenik i Lipovik.



**Slika 48:** Projekcija svih anatomskega karaktera ispitivanih lokaliteta na prvu i drugu glavnu komponentu (PC I – PC II)

### 5.12.3. Diskriminantna analiza (DA)

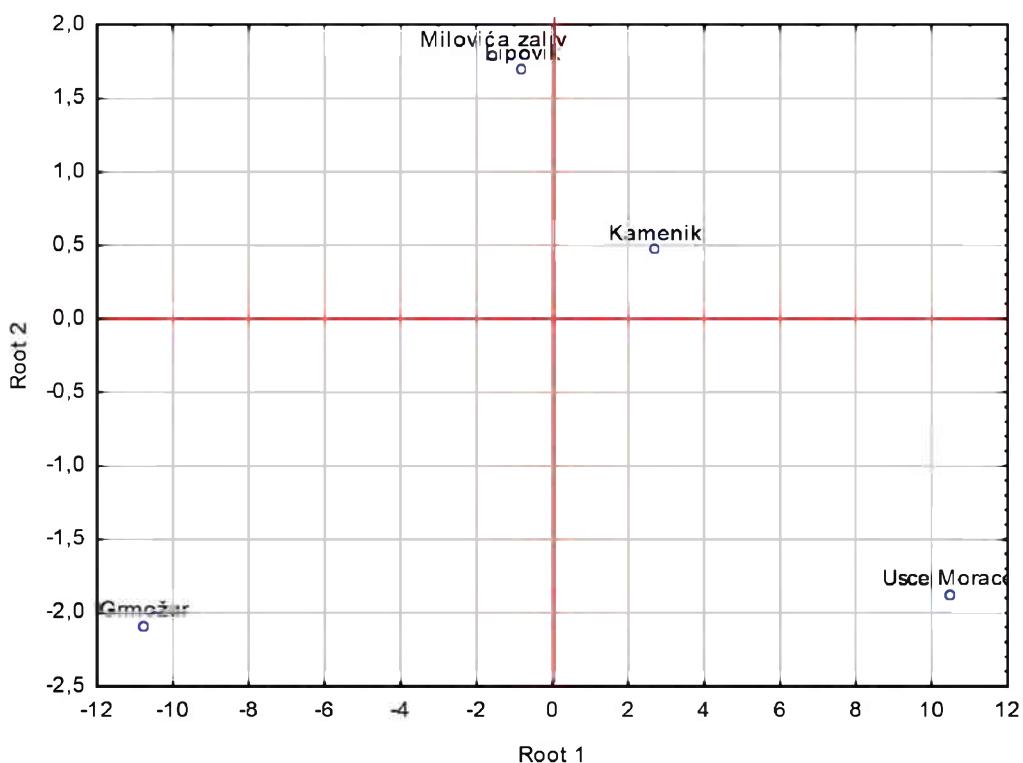
Diskriminantna analiza (DA) rađena je da bi se vidjelo kolika je međugrupna anatomska varijabilnost, gdje pod grupama podrazumijevamo analizirane grupe jedinki, što se može dovesti i u vezu s ekološkim uslovima pod kojima se populacije razvijaju.

### 5.12.3.1. Diskriminantna analiza (DA) stabla

Kada su u pitanju anatomske karakteristike stabla (Tab. 22, Sl. 49) po prvoj diskriminantnoj osi jasno se izdvajaju tri grupe: prvu grupu čine jedinke sa lokaliteta ušća Morače, drugu grupu jedinke sa lokaliteta Grmožur i treću jedinke sa lokaliteta Milovića zaliv, Lipovik i Kamenik, slično kao i u rezultatima dobijenim analizom glavnih komponenti (PCA). U varijabilnosti po prvoj diskriminantnoj osi najveće učešće imaju karakteri: površina poprečnog presjeka i debljina hipodermisa. Po drugoj diskriminatnoj osi jasno se izdvajaju dvije grupe: prvu grupu čine jedinke sa lokaliteta ušća Morače i Grmožur, a drugu jedinke sa lokaliteta Milovića zaliv, Lipovik i Kamenik. Na izdvajanje grupa po drugoj diskriminantnoj osi najviše značaja ima karakter površina ćelija parenhima cilindra.

**Tabela 22:** Prva tri glavna faktora dobijena na osnovu diskriminantne analize (DA)  
anatomskih karaktera stabla

Karakter	Root 1	Root 2	Root 3
% kore i epidermisa	0,502	0,264	0,847
P_pop_presjeka_stabla	-1,368	0,159	0,036
% parenhima cilindra	-0,448	-0,206	0,079
P_ćel_parenh_cilindra	-0,017	0,775	-0,561
% debljine hipodermisa	-0,795	-0,490	0,339
Br_slojeva_hipodermisa	-0,028	0,426	-0,162
P_pojedinačnih_sudova	-0,122	-0,470	-0,075
Br_pojedinačnih_sudova	-0,469	-0,092	0,346
% intercelulara kore	-0,059	0,275	-0,159
Eigenval	52,304	3,155	1,319
Cum.Prop	0,919	0,974	0,997



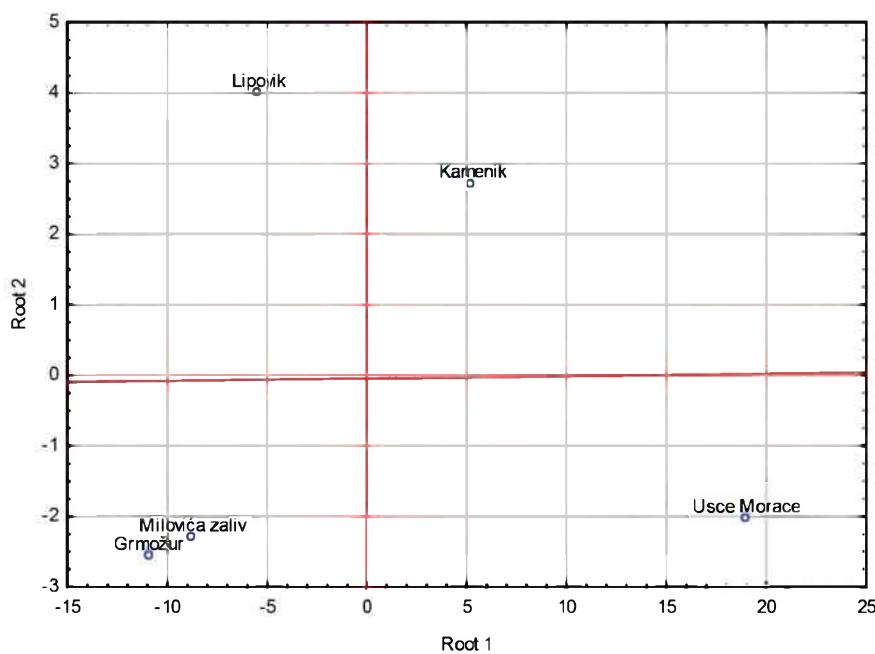
**Slika 49:** Projekcija anatomskih karaktera stabla ispitivanih lokaliteta na prva dva faktora dobijena diskriminantnom analizom

### 5.12.3.2. Diskriminantna analiza (DA) liske i lisne drške

Na osnovu analize anatomskih karakteristika liske i lisne drške (Tab. 23, Sl. 50) po prvoj diskriminantnoj osi jasno se izdvajaju jedinke iz uzoraka ušća Morače kao prva grupa, drugu grupu čine jedinke iz uzoraka Kamenik i treću grupu jedinke iz uzoraka Grmožur, Milovića zaliv i Lipovik. U varijabilnosti po prvoj diskriminantnoj osi najveće učešće imaju karakteri: površina poprečnog presjeka lisne drške, površina celija epidermis lisne drške i broj slojeva hipodermisa lisne drške. Po drugoj diskriminantnoj osi izdvajaju se dvije grupe: prvu grupu čine jedinke sa lokaliteta ušće Morače, Milovića zaliv i Grmožur, a drugu grupu jedinke sa lokaliteta Lipovik i Kamenik. Njihovom izdvajajuju najviše doprinose sljedeći karakteri: površina celija ABE, debljina liske u zoni lateralnog nerva i % površina centralnog snopica lisne drške.

**Tabela 23:** Prva tri glavna faktora dobijena na osnovu diskriminantne analize (DA) anatomskih karaktera stabla

Karakter	Root 1	Root 2	Root 3
L_pov_ćelija_ADE	0,180	-0,529	-0,241
L_pov_ćelija_ABE	-0,474	-0,838	-0,077
L_visina_ćelija_epidermisa	0,469	0,372	-0,295
L_debljina_liske_zona_Gl_nerva	0,575	0,246	-0,310
L_debljina_liske_zona_Lat_nerva	0,422	0,682	-0,843
L_debljina_palis_tkiva	-0,148	-0,097	-0,513
L_broj_sudova_Gl_nerva	-0,027	-0,112	-0,149
L_pov_sudova_Gl_nerva	-0,002	-0,014	0,156
LD_PPoprečnog_presjka	-1,284	0,283	0,276
LD_površina_ćelija_epidermisa	-0,957	-0,023	-0,321
LD_br_slojeva_hipodermisa	-0,682	-0,030	0,106
LD_debljina_hipodermisa	-0,141	0,165	0,012
%_pov_centralnog_snopica_LD	-0,092	0,719	0,033
LD_pov_lat_prov_snopica	-0,265	0,190	0,281
LD_br_pojedinačnih_sudova	-0,341	0,044	-0,347
LD_pov_pojedinačnih-sudova	-0,404	0,105	-0,034
Eigenval	137,87	8,807	6,154
Cum.Prop	0,870	0,926	0,965



**Slika 50:** Projekcija anatomskih karaktera liske i lisne drške ispitivanih lokaliteta na prva dva faktora dobijena diskriminantnom analizom

## DISKUSIJA

## 6. DISKUSIJA

Pregledom srednjih vrijednosti koncentracija metala u vodi na istraživanim lokalitetima Skadarskog jezera tokom maja i avgusta 2012. godine, konstatovano je da je sadržaj metala u jezerskoj vodi relativno nizak. Najveće koncentracije nađene su za Fe i Mn, a minimalne za Cd, Co i Pb, čije su koncentracije na svim ispitivanim lokalitetima bile ispod granice detekcije instrumenta. Maksimalne koncentracije svih ispitivanih metala zabilježene su na lokalitetu  $T_1$  (ušće desnog kraka Morače u Jezero). Tendencija rasta koncentracije metala u jezerskoj vodi nakon uliva voda Morače je očekivana, imajući u vidu da ona svojim donjim tokom protiče kroz Podgoricu i da se u nju ulivaju djelimično prečišćene ili neprečišćene industrijske i otpadne vode.

Na osnovu rezultata sadržaja metala u vodi može se zaključiti da zabilježene koncentracije metala ne predstavljaju rizik za biljni svijet u ekosistemu Skadarskog jezera. Takođe, treba naglasiti da su registrovane vrijednosti za metale bile ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK) koje se mogu očekivati za ovakav tip voda prema uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji voda (Sl. list CG, br. 2/07).

Upoređivanjem prosječne rastuće zastupljenosti metala u vodi:  $Cd < Pb < Co < Cu < Zn < Cr < Mn < Fe$  s prosječnom rastućom zastupljenošću ovih metala u sedimentu:  $Cd < Co < Pb < Cu < Zn < Cr < Mn < Fe$  zapaža se gotovo isti redoslijed, razlika se uočava samo u pogledu sadržaja Co. Takođe je primjetna i znatno veća koncentracija gvožđa u sedimentu u odnosu na većinu ostalih ispitivanih metala. Maksimalne koncentracije gotovo svih ispitivanih metala, kao i u slučaju vode, nađene su na lokalitetu  $T_1$  (ušće desnog kraka Morače u Jezero), kao i na lokalitetu  $T_3$  (Kamenik). Koncentracije na ostalim lokalitetima bile su znatno niže i ujednačenog karaktera.

Najveća odstupanja teških metala u odnosu na koncentraciju Fe u sedimentu registrovana su za Cd, Pb, Cu i Zn na lokalitetima  $T_4$ ,  $T_8$  i  $T_9$ , što ukazuje da na ovim lokalitetima postoji i eventualni antropogeni unos ovih metala. On se na lokalitetima  $T_8$  i  $T_9$  može dovesti u vezu s više faktora, kao što su: prerada ribe, razvoj lokalne flote, ogroman broj turista, upotreba đubriva i hemijskih sredstava u poljoprivredi, postojanje aktivnih ugostiteljskih objekata. Takođe su zabilježena znatna odstupanja Cr, Co i Cu u odnosu na koncentraciju gvožđa na lokalitetu  $T_1$ . Antropogeni unos metala na ovom lokalitetu u vezi je s industrijskim i komunalnim otpadnim vodama koje donosi rijeka Morača, koja je i najveći potencijalni zagađivač voda jezera. Posebno velike koncentracije registrovane su za Cr na ovom lokalitetu. Prethodna istraživanja (Stešević i sar., 2007) ukazuju da je glavni unos hroma u jezero vezan za otpadne vode koje dolaze iz Aluminijskog kombinata koji se nalazi u neposrednoj blizini jezera.

Vrijednosti Geo-akumulacionog indeksa sedimenta za Cr, Cu, Mn, Pb i Zn pripadaju klasi „0“ na svim ispitivanim lokalitetima. Geo I za Cd ( $T_3$  i  $T_4$ ) i Co ( $T_1$ ) pripadaju klasi „1“, što ukazuje da je sediment nezagaden do umjereno zagađen ovim metalima. GeoI za Cd ( $T_8$  i  $T_9$ ) pripada klasi „2“, što ukazuje da je sediment na ovim lokalitetima umjereno zagađen ovim metalom.

Vrijednosti Faktora kontaminacije ukazuju na nisku kontaminaciju metalom na svim ispitivanim lokalitetima za Co i Cu. Umjerena kontaminacija metalom registrovana je u sedimentima koji su uzorkovani sa sljedećih lokaliteta:  $T_1$  (Cr),  $T_3$  (Cd, Mn, Pb),  $T_4$  (Pb, Zn) i  $T_9$  (Pb). Znatnu kontaminaciju kadmijumom (Cd) pokazuju sedimenti uzorkovani s lokaliteta  $T_4$ ,  $T_8$  i  $T_9$ . Kastratović (2013) takođe za Co i Cu nalazi nisku kontaminaciju na svim uzorkujućim mjestima, a znatnu kontaminaciju kadmijumom (Cd) pokazuje sediment s lokaliteta Crni žar na području Skadarskog jezera.

Indeks opterećenja zagađenjem kreće se u rasponu od 0,26 na lokalitetu  $T_8$  (Lipovik) do 0,98 na lokalitetu  $T_3$  (Kamenik), i ukazuje na prisustvo osnovnog nivoa zagađenja sedimenta Skadarskog jezera s ispitivanim metalima. Ovaj podatak u skladu je s rezultatom koji je dao Kastratović (2013) za ispitivane teške metale (Cd, Cu, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn, V i Sr) na pet lokaliteta na području Skadarskog jezera.

Analiza dobijenih rezultata istraživanja sadržaja teških metala u vegetativnim organima vrste *Trapa natans* pokazala je da je njihov sadržaj veoma različit, kako po lokalitetima gdje su obavljena istraživanja, tako i po ispitivanim biljnim organima. Najviše vrijednosti nađene su za gvožđe, mangan i cink, a najmanje za kobalt, kadmijum i olovo. Značajan podatak proizišao iz ovih istraživanja je da su maksimalne koncentracije za sve ispitivane metale registrovane u korijenu vrste *Trapa natans*, što može predstavljati indikaciju da ova vrsta posjeduje neki od specifičnih mehanizama vezivanja metala na nivou korijena. Ovo je u skladu s rezultatima koje su dali Sawidis i sar. (1995) i Kumar i sar. (2002). Tolerancija biljaka na toksičnost pojedinih metala zavisi i od različitog načina usvajanja i distribucije metala u tkivima. Posebno značajan mehanizam tolerancije biljaka akumuliranih teškim metalima je mogućnost njihove kompartimentacije na rastvorljive ili nerastvorljive komplekse u citoplazmi i vakuoli (Wu i sar., 1975). Pored toga, neke biljke uspijevaju da deponuju određene količine teških metala u ćeljske zidove, prije svega u ćelijama tkiva korijena i tako sprečavaju njihov dalji transport. Time pojedine biljke uspijevaju da na jedan ili više načina riješe problem nepovoljnog dejstva velikih količina teških metala na staništima na kojima opstaju i da na osnovu adaptivnih mehanizama koje posjeduju zaštite ćeljske funkcije u stresnim uslovima (Kumar i sar., 2006).

Maksimalna koncentracija kadmijuma registrovana je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu  $T_8$  ( $1,12 \text{ mg kg}^{-1}$ ) u drugom istraživačkom periodu (avgust). Najveće odstupanje od srednjih vrijednosti kadmijuma u svim biljnim organima zabilježeno je na lokalitetu  $T_8$  (Li-

povik), gdje su registrovane i maksimalne koncentracije. Na ovom lokalitetu postoje brojni faktori koji mogu biti uzročnici narušavanja kvaliteta vode i sedimenta: razvoj plovne flote, prerada ribe, upotreba hemijskih sredstava i đubriva u poljoprivredi, površinske i podzemne vode koje dolaze iz pravca Cetinja, kao i ogroman broj turista u vrijeme ljetne sezone. Kumar i sar. (2002) nalaze da je prosječna vrijednost Cd u vegetativnim organima bila  $1,19 \text{ mg kg}^{-1}$ . U svojim istraživanjima Sawidis i sar. (1995) takođe nalaze da je koncentracija Cd najveća u korijenu vrste *Trapa natans* s maksimalnom koncentracijom u iznosu od  $1,35 \text{ mg kg}^{-1}$ , što je u skladu s rezultatima naših istraživanja.

Najveća koncentracija Zn zabilježena je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu T<sub>1</sub> ( $43,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sawidis i sar. (1995) nalaze veoma veliku koncentraciju Zn ( $130 \text{ mg kg}^{-1}$ ) u korijenu *Trapa natans* uzorkovane iz Kerkini jezera u sjevernoj Grčkoj. Hoseinizadeh i sar. (2011) takođe nalaze najveći sadržaj Zn ( $36,20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) u korijenu *Trapa natans* u jezeru Anzali (Iran).

Poslije kadmijuma, Pb je u svim biljnim djelovima registrovano u najmanjim koncentracijama. Maksimalna koncentracija olova nađena je u korijenu na lokalitetu T<sub>9</sub> ( $3,784 \text{ mg kg}^{-1}$ ). U svojoj studiji Babu i sar. (2013) nalaze najveći sadržaj olova u listu *Trapa natans*, a minimalni sadržaj u stablu ispitivane vrste. Kumar i sar. (2002) nalaze da je prosječna vrijednost Pb u vegetativnim organima iznosila  $0,091 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Maksimalne koncentracije mangana takođe su nađene u korijenu ispitivane vrste. Najveći sadržaj mangana nađen je na lokalitetu T<sub>9</sub> ( $893,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), gdje je njegova koncentracija deset puta bila veća u odnosu na druge lokalitete. Sawidis i sar. (1995) takođe nalaze najveću koncentraciju Mn u korijenu ( $7000 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a minimalnu u stablu ( $800 \text{ mg kg}^{-1}$ ) kod vrste *Trapa natans* iz Kerkini jezera. Baldisserotto i sar. (2007) u laboratorijskim uslovima tretirali su ispitivanu vrstu sa  $1 \text{ Mm MnSO}_4$  i poslije samo deset dana tretmana plivajuća rozeta pokazala je sposobnost akumulacije velike količine Mn u svojim tkivima ( $> 2000 \text{ µgg}^{-1}$ ).

Gvožđe je najzastupljeniji metal kako u vodi i sedimentu, tako i u tkivima ispitivane vrste. Maksimalna koncentracija gvožđa registrovana je u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu T<sub>9</sub> ( $7112 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Babu i sar. (2013) takođe nalaze da je gvožđe najzastupljeniji metal u svim djelovima *Trapa natans*, čija se koncentracija kretala u rasponu od 135,0 do  $5218 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Iako je hrom treći metal po zastupljenosti u sedimentu, a na određenim lokalitetima (T<sub>1</sub> i T<sub>4</sub>) i u vodi, to nije imalo posebnog uticaja na njegov sadržaj u pojedinim djelovima ispitivane vrste. Maksimalna koncentracija hroma registrovana je u korijenu na lokalitetu T<sub>9</sub> ( $16,08 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Za razliku od svih ispitivanih metala bakar i kobalt pokazuju ujednačenu raspodjelu po svim ispitivanim lokalitetima. Kao i u slučaju većine metala, njihove maksimalne koncentracije pronađene su u korijenu ispitivane vrste na lokalitetu T<sub>9</sub>.

Distribucija metala kod različitih vrsta makrofita značajno se razlikuje. Takođe su utvrđene i značajne razlike u pogledu sadržaja određenih metala u različitim biljnim organizmima (Guilzzoni, 1991).

Koncentracija svih ispitivanih metala u pojedinim djelovima *Trapa natans* L. značajno se razlikuje od njihove koncentracije u vodi i sedimentu. Vrijednosti ovih koncentracija opadaju sljedećim redoslijedom: sediment > korijen > stablo > list > voda. Izuzetak predstavlja Pb čija je koncentracija na većini ispitivanih lokaliteta bila veća u listu u odnosu na stabljiku, što može biti posljedica folijarne apsorpcije olova iz atmosferskih taloga (Kloke i sar., 1984).

Veoma je važno napomenuti da su maksimalne koncentracije za većinu metala registrovane na lokalitetima T<sub>1</sub> (ušće desnog kraka Morače u Jezero), T<sub>7</sub> (ušće Plavnice), T<sub>8</sub> (Lipovik, Rijeka Crnojevića) i T<sub>9</sub> (Karuč), što je najvjerojatnije posljedica većeg sadržaja metala u ovim pritokama, u odnosu na njihove vrijednosti u velikoj masi jezerske vode. Visok sadržaj metala na ovim lokalitetima u vezi je i s uticajima, kao što su geo-hemijski sastav riječnih i jezerskih sedimenata, kao i lokalni antropogeni izvori metala iz industrijskih i komunalnih otpadnih voda i primjene agrotehničkih mjera na okolnom poljoprivrednom zemljištu. Minimalne koncentracije za većinu metala registrovane su na lokalitetu T<sub>5</sub> (Raduš), na otvorenom dijelu Jezera koji se ne nalazi pod neposrednim uticajem voda pritoka niti bilo kakvog antropogenog zagađivanja.

Ispitivanja sadržaja metala u vegetativnim organima *Trapa natans* takođe pokazuju da ova vrsta posjeduje veliki potencijal u pogledu akumulacije metala i da može imati veliki značaj u biomonitoringu vodenih ekosistema. Ovo je potvrđeno i istraživanjima brojnih drugih autora (Chanda 1993; Sawidis i sar., 1995; Babu i dr. 2013; Srivastava i sar., 2014).

Analiza biokoncentracione sposobnosti vrste *Trapa natans* pokazuje da BCF korijen/sediment ima najveće vrijednosti za Mn, Cd i Zn metale, s neznatnim sezonskim variranjem (Mn – BCF korijen/sed. = 1,16; Cd – BCF korijen/sed = 0,98; Zn – BCF korijen/sed = 0,89). U skladu s rezultatima mangan je najviše akumuliran metal iz sedimenta, odmah za njim kadmijum, a najmanje akumuliran metal iz sedimenta je olovo. Biodostupnost metala zavisi, prije svega, od njihovih hemijskih oblika u sedimentu. Ukoliko se nalaze u rastvorenom obliku (Mn, Cd) biljka ih može lako usvojiti, ali ukoliko su vezani za čestice sedimenta (Pb), ona ih ne može akumulirati (Guilzzoni, 1991). Veoma slična biodostupnost metala zabilježena je i kod drugih vrsta makrofita (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud, *Cera-*

*tophyllum demersum* L. i *Lemna minor* L.) u Skadarskom jezeru (Kastratović, 2013, 2014). Primjetna je i razlika u redoslijedu između bioakumulacije metala u korijenu, s jedne strane, i stablu i listu, s druge, kao i razlike u sekvenci sadržaja metala u biljci od sekvence njihove bioakumulacione sposobnosti. To se može objasniti različitim afinitetom pojedinih organa za odgovarajuće metale, kao i različitom translokacijom metala prema nadzemnim djelovima biljke. Treba napomenuti da različite vrste makrofita imaju različit kapacitet za određene metale, koji je nezavisan od njihove koncentracije u vodi i sedimentu (Mazej i Grem, 2009; Baldatoni i sar., 2004).

Bioakumulaciona sposobnost makrofita zavisi od više faktora: pH, koncentracije nutrijenata u vodi i sedimentu, mikrobne aktivnosti, tvrdoće vode i fizičkih faktora. Kod pojedinih vrsta makrofita određeni metali se lako akumuliraju u korijenu, ali postoje fiziološke barijere koje sprečavaju njihov dalji transport u nadzemne djelove. Ali isto tako postoje vrste kod kojih se isti metali lako transportuju prema nadzemnim djelovima, što je genetički determinisano (Lu i sar., 2004).

Srednje vrijednosti translokacionog faktora vremenski i prostorno opadaju sljedećim redoslijedom: Pb > Fe > Cr > Co > Mn > Cu > Cd > Zn. Translokacija između pojedinih djelova *Trapa natans* L. zavisi od vrste metala i vremenskog perioda. Većina ispitivanih metala pokazuje najveću translokaciju od stabla ka listovima. Izuzetak predstavlja Cu za koga je najveća translokacija zabilježena od korijena prema stablu. Visoke vrijednosti translokacionog faktora za Pb (TA korijen/stablo = 21,98); Fe (TA korijen/list = 9,20); Cr (TA korijen/list = 9,79); Co (TA korijen/list = 6,73); Mn (TA korijen/stablo = 4,02) ukazuju na slabu mobilnost ovih metala od korijena prema nadzemnim organizma. Nasuprot njima, Zn, Cd i Cu su izuzetno mobilni, što se može zaključiti na osnovu niskih vrijednosti translokacionih faktora između korijena/stabla, korijena/lista i stabla/lista: Cd (TA korijen/stablo = 1,90); Zn (TA korijen/stablo = 1,32); Cu (TA korijen/stablo = 1,49). Veća mobilnost ovih metala zabilježena je u maju 2012, na početku vegetacionog perioda. Ovi rezultati u skladu su s rezultatima koje su dali Mazej i Grem (2009). Za četiri različite vrste makrofita (*Najas marina*, *Potamogeton lucens*, *Nuphar lutea* i *Potamogeton nodosus*) nalaze najveću mobilnost za Zn, a najmanju za Pb (Zn korijen/stablo = 2,46; Zn korijen/list = 1,36; Pb korijen/stablo = 19,8; Pb korijen/list = 19,0).

Rezultati analiza istovremeno ukazuju na postojanje statistički značajne korelacije između sadržaja Cd (Pearson;  $r = 0,77$ ;  $p < 0,05$ ) u sedimentu i njegovog sadržaja u korijenu ispitivane vrste. Interesantno je naglasiti da su maksimalne koncentracije kadmijuma u sedimentu i korijenu ispitivane vrste zabilježene na lokalitetima T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>, što ukazuje na veoma efektivnu akumulaciju kadmijuma putem korijena na ovim lokalitetima. Ovi podaci u skladu su i s rezultatima drugih autori koji su se bavili ispitivanjem toksičnosti kadmijuma (Kabata – Pendias i Pendias 1999; Wang i sar., 2002; Paczkowska i sar., 2007).

Analiza dobijenih vrijednosti enzima antioksidativne zaštite (CAT, GPX) pokazala je da postoje značajne razlike u njihovoj aktivnosti kako po ispitivanim organima, tako i po mjestima uzorkovanja. Zabilježena je generalno veća aktivnost CAT u listu a GPX u korijenu ispitivane vrste. Zapaža se da je trend rasta većine metala u korijenu ispitivane vrste na određenim lokalitetima ( $T_1$  i  $T_8$ ) praćen povećanom aktivnošću enzima katalaze, dok je minimalna aktivnost registrovana na lokalitetu  $T_5$ , gdje su zabilježene minimalne koncentracije većine ispitivanih metala, kako u korijenu, tako i u listu vrste *Trapa natans*. Suprotno ovom, maksimalna aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze registrovana je na lokalitetu  $T_5$ , što ukazuje na mogućnost da veće koncentracije ispitivanih metala na drugim lokalitetima ( $T_1$ ,  $T_7$ ,  $T_8$  i  $T_9$ ) ili nemaju uticaja ili, eventualno, pojedini metali u većim koncentracijama mogu uticati na smanjivanje aktivnosti enzima. Brojni autori (Rama Devi i Prasad, 1998; Cui i sar., 2006; Meng i sar., 2007) ukazuju da povećane koncentracije različitih teških metala (Cd, Cu, Ni) utiču na povećanje aktivnosti katalaze i peroksidaze. Međutim, s druge strane, neki autori (Panday i sar., 2009; Benavides i sar., 2005; Malekzadeh i sar., 2007) utvrdili su da aktivnost enzima katalaze značajno opada s povećanjem koncentracije kadmijuma, da je njena aktivnost najveća pri umjerenim koncentracijama kadmijuma, ili da nema promjene u aktivnosti katalaze. Malekzadeh i sar (2007), Cui i Wang (2006) takođe ukazuju da variranje aktivnosti enzima antioksidativne zaštite (CAT, GPX) pod uticajem teških metala, zavisi od biljne vrste, produkcije slobodnih radikala, koncentracije metala i od intenziteta trajanja stresa.

Kao i u slučaju enzima katalaze, trend rasta koncentracije metala na određenim lokalitetima ( $T_1$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_8$  i  $T_9$ ) praćen je i većim sadržajem amino-kiseline prolina. Veći sadržaj prolina registrovan je u listu *Trapa natans*. Bhupinder i sar. (2003) po prvi put su zabilježili veliki potencijal hidrofita (*Ceratophyllum sp.*, *Hydrilla sp.*, *Wolffia sp.*) u akumuliranju prolina pod uticajem različitih koncentracija  $Cd^{2+}$ -jona. Mnogi drugi autori (Bassi i Sharma, 1993; Dinakar i sar., 2009; Handique i Handique, 2009) u svojim radovima ukazuju na značajan rast sadržaja prolina kod različitih biljnih vrsta nakon tretmana s različitim koncentracijama teških metala (Cd, Pb, Hg, Cu,Zn). Takođe je zabilježen veći sadržaj proline u mlađim listovima (De i Mukherje, 1998) u odnosu na starije.

Korelaciona analiza između sadržaja metala (list/korijen) i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite, uključujući i prolin kao neenzimski antioksidant pokazala je da postoji statistički značajna korelacija ( $r = 0,72$ ;  $p < 0,05$ ) između sadržaja Zn (kao jednog od tri najzastupljenija metala u tkivima ispitivane vrste) i aktivnosti enzima katalaze (CAT). Takođe je primjetna i statistički značajna korelacija ( $r = 0,75$ ;  $p < 0,05$ ) između sadržaja Zn i akumulacije prolina u korijenu ispitivane vrste, što sugerire da postoji mogućnost da u slučaju vrste *Trapa natans*, enzim katalaza i amino-kiselina prolin mogu poslužiti kao biohemiski pokazatelji stepena zagađenja vodene sredine koja je izložena neposrednom uticaju teških metala.

S druge strane, registrovana je statistički značajna negativna korelacija između sadržaja hl  $\alpha$  i koncentracije Zn u listu ( $r = -0,68$ ;  $p < 0,05$ ) i korijenu ( $r = -0,76$ ;  $p < 0,05$ ) ispitivane vrste. Takođe je zabilježena i statistički značajna negativna korelacija između sadržaja hlorofila  $\alpha$  i koncentracije Cu ( $r = -0,70$ ;  $p < 0,05$ ) u korijenu ispitivane vrste, što ukazuje na mogućnost da s povećanjem koncentracije cinka i bakra u korijenu i listu opada sadržaj hlorofila  $\alpha$ . Takođe, na osnovu svega izloženog moguće je pretpostaviti da cink od svih analiziranih metala ima najviše uticaja na fiziološko-biohemijske procese u ispitivanoj biljnoj vrsti, u vodenom ekosistemu kakvo je Skadarsko jezero.

Sprovedenom analizom glavnih komponenti (PCA) formirane su tri grupe po varijabilnosti svih 26 anatomskeh karaktera. Prvu grupu predstavljaju jedinke sa lokaliteta ušća Morače, drugu sa lokaliteta Grmožur i treću grupu čine jedinke sa lokaliteta Milovića zaliv, Kamenik i Lipovik.

Ovakva diferencijacija grupa na osnovu kompletnih anatomskeh karaktera može se s jedne strane dovesti u vezu i s različitim ekološkim uslovima koji vladaju na ovim lokalitetima. S druge strane lokalitet ušća Morače nalazi se pod neposrednim uticajem različitih zagađujućih supstanci organskog i neorganskog porijekla koje donosi rijeka Morača njenim tokom kroz urbana i industrijska područja. Na ovom lokalitetu kako u vodi i sedimentu, tako i u tkivima vrste *Trapa natans* zabilježene su maksimalne koncentracije za većinu ispitivanih metala. Takođe je na ovom lokalitetu zabilježena i povećana aktivnost nekih biohemijskih parametara (enzima katalaze i aminokiseline prolina) kao i smanjen sadržaj hl  $\alpha$ . Lokalitet Grmožur je prostorno najudaljeniji od lokaliteta ušća Morače. Na ovom lokalitetu vladaju znatno drugačiji ekološki uslovi budući da se nalazi na otvorenom dijelu Jezera, koji nije pod uticajem voda pritoka (koje su potencijalno najveći zagađivači jezerske vode). U njegovoj neposrednoj blizini nalazi se sublakustično „oko“ Raduš koje doprinosi velikoj protočnosti u tom dijelu Jezera, pa je i zadržavanje zagađujućih čestica svedeno na minimum. Kod jedinki sa ovog lokaliteta registrovane su minimalne koncentracije za većinu ispitivanih metala u vodi, sedimentu i tkivima vrste *Trapa natans*, smanjena aktivnost ispitivanih biohemijskih parametara, ali i maksimalni sadržaj hl  $\alpha$ . Tri preostala lokaliteta zauzimaju središnji dio Jezera na kojem vladaju prilično ujednačeniji ekološki uslovi, i na ovim lokalitetima zabilježene su slične vrijednosti gotovo svih ispitivanih fiziološko-biohemijskih parametara kod vrste *Trapa natans*.

Istraživanja u okviru ovog rada pokazala su da različiti ekološki uslovi koji vladaju na pojedinim lokalitetima imaju uticaja na varijabilnost anatomskeh karaktera, ali isto tako karakteristike vode, sedimenta, različita koncentracija metala, kao i različite vrijednosti ispitivanih fiziološko-biohemijskih parametara jedinki uzorkovanih sa ovih lokaliteta (Ušće Morače, Grmožur) potencijalno mogu imati uticaja na varijabilnost anatomskeh karaktera, što predstavlja dobru smjernicu za buduća istraživanja.

## ZAKLJUČCI

## 7. ZAKLJUČCI

Na osnovu ekofizioloških, biohemiskih i anatomske istraživanja vrste *Trapa natans*, kao i fizičko-hemijskih parametara vode i sedimenta na 9 lokaliteta Skadarskog jezera tokom vegeracionog perioda 2012 godine izvedeni su sljedeći zaključci:

- Sadržaj metala u vodi Skadarskog jezera je relativno nizak. Najveće koncentracije nađene su za Fe i Mn. Maksimalne koncentracije svih ispitivanih metala zabilježene su na lokalitetu T<sub>1</sub> (Ušće desnog kraka Morače u Jezero).
- Sadržaj ispitivanih metala ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) u sedimentu Skadarskog jezera opada sledećim redosledom: Fe (29009) > Mn (597) > Cr (78,1) > Zn (41,5) > Cu (18,31) > Pb (9,63) > Co (8,72) > Cd (0,42). Maksimalne koncentracije gotovo svih ispitivanih metala zabilježene su na lokalitetima T<sub>1</sub> (Ušće desnog kraka Morače u Jezero) i T<sub>3</sub> (Kamenik).
- Najveća odstupanja teških metala u odnosu na koncentraciju Fe u sedimentu registrovana su za Cd, Pb, Cu i Zn na lokalitetima T<sub>4</sub>, T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>, što ukazuje da na ovim lokalitetima postoji i eventualni antropogeni unos ovih metala.
- Vrijednosti Geo-akumulacionog indeksa sedimenta za Cr, Cu, Mn, Pb i Zn pripadaju klasi "0" na svim ispitivanim lokalitetima. GeoI za Cd (T<sub>3</sub> i T<sub>4</sub>) i Co (T<sub>1</sub>) pripadaju klasi "1" što ukazuje da je sediment nezagađen do umjereno zagađen ovim metalima. GeoI za Cd (T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>) pripada klasi „2“, što ukazuje da je sediment na ovim lokalitetima umjereno zagađen ovim metalom
- Vrijednosti Faktora kontaminacije ukazuju na nisku kontaminaciju metalom na svim ispitivanim lokalitetima za Co i Cu. Umjerena kontaminacija metalom registrovana je u sedimentima koji su uzorkovani sa sledećih lokaliteta : T<sub>1</sub>(Cr), T<sub>3</sub>(Cd, Mn, Pb), T<sub>4</sub>(Pb, Zn) i T<sub>9</sub>(Pb). Znatnu kontaminaciju kadmijumom (Cd) pokazuju sedimenti uzorkovani sa lokaliteta T<sub>4</sub>, T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>.

- Indeks opterećenja zagađenjem (PLI) kreće se u rasponu od 0,26 na lokalitetu T<sub>8</sub> (Lipovik) do 0,98 na lokalitetu T<sub>3</sub> (Kamenik), i ukazuje na prisustvo osnovnog nivoa zagađenja sedimenata Skadarskog jezera sa ispitivanim metalima.
- Koncentracija svih ispitivanih metala u pojedinim organima *Trapa natans* značajno se razlikuje od njihove koncentracije u vodi i sedimentu. Vrijednosti ovih koncentracija opadaju sledećim redosledom: sediment>korijen>stablo>list>voda. Izuzetak predstavlja Pb čija je koncentracija na većini lokaliteta bila veća u listu u odnosu na stabljiku. Od ispitivanih metala maksimalne vrijednosti registrovane su za Fe, Mn i Zn a minimalne za Co, Pb i Cd. Najveće koncentracije za većinu metala registrovane su na lokalitetima T<sub>1</sub> (ušće desnog kraka Morače u Jezero), T<sub>7</sub> (Ušće Plavnice), T<sub>8</sub> (Lipovik, Rijeka Crnojevića) i T<sub>9</sub> (Karuč), što je najvjerojatnije posljedica većeg sadržaja metala u ovim pritokama, u odnosu na njihove vrijednosti u velikoj masi jezerske vode.
- Značajan podatak proizišao iz ovih istraživanja je da su maksimalne koncentracije za sve ispitivane metale registrovane u korijenu vrste *Trapa natans*. Ovo predstavlja idikaciju da ova vrsta posjeduje neki od specifičnih mehanizama tolerancije prema teškim metalima, i da može da bude značajna u studijama biomonitoringa za procjenu kontaminacije Jezera tragovima metala.
- Analiza biokoncentracione sposobnosti (BCF) vrste *Trapa natans* L. pokazuje da BCF<sub>korijen/sediment</sub> ima najveće vrijednosti za Mn, Cd i Zn, sa neznatnim sezonskim variranjem (Mn-BCF<sub>korijen/sed.</sub>=1,16; Cd- BCF<sub>korijen/sed.</sub>=0,98; Zn- BCF<sub>korijen/sed.</sub> = 0,89). U skladu sa rezultatima Mn je najviše akumuliran metal iz sedimenta, a najmanje akumuliran metal iz sedimenta je Pb (BCF<sub>korijen/sed.</sub>=0,14).

- Srednje vrijednosti translokacionog faktora (TA) opadaju sledećim redosledom: Pb>Fe> Cr > Co > Mn > Cu > Cd > Zn. Visoke vrijednosti translokacionog faktora za Pb, Fe, Cr i Mn ukazuju na slabu mobilnost ovih metala od korijena prema nadzemnim organima. Nasuprot njima Zn, Cd i Cu su izuzetno mobilni što se može zaključiti na osnovu niskih vrijednosti translokacionih faktora.
  
- Rezultati analiza istovremeno ukazuju na postojanje statistički značajne korelacije između sadržaja Cd ( $r=0.77$ ;  $p<0.05$ ) u sedimentu i njegovog sadržaja u korijenu ispitivane vrste.
  
- Analiza dobijenih vrijednosti enzima antioksidativne zaštite (CAT, GPX) pokazala je da postoje značajne razlike u njihovoj aktivnosti kako po ispitivanim organima, tako i po mjestima uzorkovanja. Zabilježena je generalno veća aktivnost CAT u listu a GPX u korijenu ispitivane vrste. Zapaža se da je trend rasta većine metala u korijenu ispitivane vrste na određenim lokalitetima (T1 i T8) praćen povećanom aktivnosti enzima katalaze (CAT).
  
- Trend rasta koncentracije metala na određenim lokalitetima (T1, T6, T7, T8 i T9) praćen je i većim sadržajem aminokiseline prolina (Pro). Veće vrijednosti prolina zabilježe ne su u listu *Trapa natans*.
  
- Korelaciona analiza između sadržaja metala (list/korijen) i aktivnosti enzima antioksidativne zaštite, uključujući i prolin kao neenzimski antioksidant pokazala je da postoji statistički značajna korelacija ( $r=0.72$ ;  $p<0.05$ ) između sadržaja Zn u korijenu i aktivnosti enzima katalaze (CAT). Takođe je primjetna i statistički značajna korelacija ( $r=0.75$ ;  $p<0.05$ ) između sadržaja Zn i akumulacije prolina u korijenu ispitivane vrste, što sugerira da postoji mogućnost da u slučaju vrste *Trapa natans*, enzim katalaza (CAT) i aminokiselina prolin (Pro) mogu poslužiti kao biohemski pokazatelji stepena zagađenja vodene sredine koja je izložena neposrednom uticaju teških metala.

- Registrovana je statistički značajna negativna korelacija između sadržaja hla i koncentracije Zn u listu ( $r = -0,68; p < 0,05$ ) i korijenu ( $r = -0,76; p < 0,05$ ) ispitivane vrste. Takođe je zabilježena i statistički značajna negativna korelacija između sadržaja hl a i koncentracije Cu ( $r = -0,70; p < 0,05$ ) ( $r = -0,70$ ) u korijenu ispitivane vrste, što ukazuje na mogućnost da sa povećavanjem koncentracije Zn i Cu u korijenu i listu opada sadržaj hl a.
- Od svih analiziranih metala Zn ima najviše uticaja na fiziološko-biohemijske procese u ispitivanoj biljnoj vrsti, u vodenom ekosistemu kakvo je Skadarsko jezero.
- Analiza glavnih komponenti (PCA) pokazala je da se od ispitivanih grupa jedinki mogu formirati tri grupe po varijabilnosti svih 26 anatomskeih karaktera. Prvu grupu predstavljaju jedinke sa lokaliteta Ušća Morače, drugu sa lokaliteta Grmožur i treću grupu čine jedinke sa lokaliteta Milovića zaliv, Kamenik i Lipovik. Različiti ekološki uslovi koji vladaju na pojedinim lokalitetima imaju uticaja na varijabilnost anatomskeih karaktera, ali isto tako karakteristike vode, sedimenta, različita koncentracija metala, kao i različite vrijednosti ispitivanih fiziološko-biohemijskih parametara potencijalno mogu imati uticaja na varijabilnost anatomskeih karaktera kod jedinki uzorkovanih sa ovih lokaliteta (Ušće Morače, Grmožur) što predstavlja dobru smjernicu za buduća istraživanja.
- Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da Skadarsko jezero zahvaljujući, prije svega, bogato razvijenoj makrofitskoj vegetaciji još uvijek ima karakteristike „nezagađenog“ jezerskog sistema koji nije prekomjerno opterećen polutantima. U cilju očuvanja i zaštite NP Skadarsko jezero potrebno je preduzeti mjere koje se odnose na kontrolu obogaćenja ovog ekosistema teškim metalima kao i definisati monitoring u kome značajno mjesto treba da imaju fiziološko-biohemski parametri makrofita.

## LITERATURA

**Literatura:**

1. Adams, M. (1981): *Aquatic macrophytes of Lake Skadar (General introduction), The biota and limnology of Lake Skadar: 115—116*, Titograd
2. Adriano, D. (2001): *Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry bioavailability and risks of metals*, New York, Springer
3. Aldini, G., Kyung-Jin, Y., Etsuo, N. and Robert M. R. (2010): *Biomarkers for Antioxidant Defense and Oxidative Damage: Principles and Practical Applications*, Wiley — Blackwell
4. Alia, Sardahi P. P. (1991): *Proline accumulation under heavy metal stress*, **Journal of Plant Physiology** 138: 504—508.
5. Almargo L., Gomez Ros L. V., Belchi — Navarro S., Bru R., Ros Barcelo A., Pedreno M. A. (2009): *Clas III peroxidases in plant defence reactions*, **Journal Experimental Botany** 60 (2): 377—390.
6. Amonette, J. A., Rai, D. (1990): *Identification of noncrystalline (Fe,Cr) (OH)3 by infrared spectroscopy*, **Clays Clay Minerals** 38 (2): 129—136.
7. Apinis, A. (1940): *Untersuchungen über die Ökologie der Trapa*. Acta Horti, Bot. Univ. Lat., Nr. 1/3, XIII, Riga
8. APHA, AWWA i WPCF (1995): **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19 Ed. American Public Health Association, Washington. DC, USA.
9. Babu, M., Dwivedi D. H., Ram Y. R. B and Meena M. L. (2014): *Bioaccumulation and distribution of heavy metals in water chestnut (*Trapa natans* var *bispinosa* Roxb.) in the Lucknow Region*, **African Journal of Agricultural Research**, vol. 8 (22).pp. 2765—2768.
10. Baldisserotto, C., Ferroni, E., Anfuso, E., Pagnoni, A., Fasulo, M. P., Pancaldi, S. (2007): *Responses of *Trapa natans* L. Floating laminae to high concentrations of manganese*, **Protoplasma** 231: 65—82.
11. Bassi, R., Sharma, S. S. (1993): *Proline accumulation in wheat seedlings exposed to zinc and copper*, **Phytochemistry** 33: 1339—1342.

12. Baldantoni, D., Alfani, A., Di Tommasi P., Bartoli, G., De Santo A. V. (2004): *Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants*, Environmental Pollution 130: 149—156.
13. Bassi, R., Sharma, S. S. (1993): *Changes in proline content accompanying the uptake of zinc and copper by Lemna minor*, Annals of Botany 72: 151—154.
14. Baker, A. J. M. (1981): *Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals*, Journal of Plant Nutrition, 3, 643
15. Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. (2005): *Cadmium toxicity in plants*, Brazilian Journal of Plant Physiology 17: 21—34.
16. Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973): *Rapid determination of free proline for water stress studies*, Plant and soil 39: 205—207.
17. Bešić, Z. (1975): *Geologija Crne Gore*, knj. 1, CANU, Titograd
18. Bešić, Z., Mihailović, R. (1983): *Geomorfologija i geologija područja Zetske ravne i basena Skadarskog jezera. Skadarsko jezero-zbornik referata*, knj. 9, CANU, Titograd
19. Bern Convention (1979): *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats*, Bern 19 september 1979 (Appendix I), Council of Europe, European Treaty Series No.104. <http://europa.eu.int/scadplus/leg/en/lvb/l28050.htm>.
20. Boes, X., Rydberg, J., Martinez — Cortizas, A., Bindler, R., Renberg, I. (2011): *Evaluation of conservative lithogenic elements (Ti, Zr, Al, and Rb) to study anthropogenic element enrichments in lake sediments*, Journal of Paleolimnology 46, 75—87.
21. Bhupinder, D., Sharmila, P., Saradhi, P. (2004): *Hidrophytes lack potential to exhibit Cadmium stress induced enhancement in lipid peroxidation and accumulation of Proline*, Aquatic Toxicology (66): 141—147 Blaženčić, J. (1971): *Ekološki odnos vodene biljke Trapa annosa M. Jank. prema karakteristikama mulja i vode*, Ekologija, Vol.6, No.1 , 63—69. Beograd
22. Borejević, K. (2009): *Kulturna istorija vodenog oraha (Trapa natans L.) od preistorije do danas*. Rad muzeja Vojvodine br. 51, str. 159—173.
23. Borg, H. (1995): Trace elements in Lakes. In "Trace elements in Natural waters" Salbu, B., Steinnes, E. eds. CRC Press, Boca Raton, London, 177—201.

24. Burić, M., Radulović, M. (1983): *Skadarsko jezero — najveći hidrografski objekat kopna SR Crne Gore, Skadarsko jezero — zbornik referata, knj. 9*, CANU, Titograd
25. Blaženčić, J. (1971): *Uticaj nekih ekoloških faktora na morfogenezu vodene biljke oraška (Trapa L.) — Eksperimentalna studija*, Glasnik instituta za botaniku i botaničke baštne Univerziteta u Beogradu. Tom VI nov. ser. 1—4.
26. Blaženčić, J., Blaženčić Ž. (1983): *Prilog poznavanju Charophyta Skadarskog jezera, Skadarsko jezero — zbornik referata, knj. 9*, CANU, Titograd
27. Buchanan, B., Grusen, W., Jones, R. (2000): *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists Maryland. 1367 p.
28. Brenan, J. P. M. (1963): *Flora of Tropical East Africa: Trapaceae*. London: Crown Agents for the Colonies
29. Brown, J. C., Ambler J. E. (1974): *Iron-stress response in tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) 1. Sites of Fe reduction, absorption and transport*. *Physiol. Plant* 31: 221—224.
30. Cardwell, A. J., Hawker, D. W., Greenway, M. (2002): *Heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia*. *Chemosphere* 48, 653—663.
31. Cox, R. M., Hutchinson, T. C. (1980): *Multiple metal tolerance in the grass Deschanpsia caespitosa*
32. Cosio, C. (2004): *Phytoextraction of heavy metal by hyperaccumulating and non hyperaccumulating plants: comparison of cadmium uptake and storage mechanisms in the plants*, Doctoral thesis Faculté environnement naturel, architectural et construit, Section des sciences et ingénierie de l'environnement, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
33. Clemens, S., Palmgeren, M. G., and Kramer, U. (2002): *A long way ahead: Understand and engineering plant metal accumulation*, *Trends in Plant Science*, 7, 309—315
34. Chandra, P., Tripathi, R. D., Rai, U. N., Sinha, S. and Garg, P. (1993): *Biomonitoring and amelioration of non-point source pollution in some aquatic bodies*, *Wat. Sci. Tech.* 28 (3—5), 323—326.

35. Chandra, S., Rawat S. K., Singh P. R. and Garg S. K. (2014): *A study on stress imposed by Fe<sup>3+</sup> and Cu<sup>2+</sup> on an aquatic macrophyte (*Trapa natans*) in presence of nitrate and phosphate under simulated net house condition*
36. Щонева С., Георгиев В., Вълчев, Ганева А. (2012): *Атлас на водни и водолюбиви растения в България*, Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания при Българска Академия на науките, София
37. Cui, Y., Wang, Q. (2006): *Physiological responses of maize to elemental sulphur and cadmium stress*. *Plant Soil Environ.* 52 (11): 523—529.
38. Černjavski, P., Grebenščkov, O., Pavlović, Z. (1949): *O vegetaciji i flori skadar-skog područja*, Glasnik Prirod. muzeja srpske zemlje, Beograd, str. 5—29.
39. Dinkar, N., Nagajyothi, P. C., Suresh, S., Damodharam, T. and Suresh, C. (2009): *Cadmium induced changes on proline, antioxidant enzymes, nitrate and nitrite reductases in Arachis hypogaea L*
40. Duborija, A., Purić, M., Blagojević, S., and Jovančićević, B. (2005): *The state and distribution of heavy metals in water environment of Skadar lake*, *Fresenius Environmental Bullten* 9: 768—772.
41. De, B., Mukherjee, A. K. (1998): *Mercury induced metabolic changes in seedlings and cultured cells of tomato*, *Geobios* 23, 83—88.
42. Davis, J. A., Leckie, J. O. (1978): *Effect of Adsorbed complexing ligands on trace metal uptake by hydrous oxides*, *Environ. Sci. Technol.*, 12 (12), 1309—1315.
43. Domitrović R, Tota M, Milin Č. (2006): Gilbert LD, Colton CA. *Reactive Oxygen Species in Biological Systems: An Interdisciplinary Approach*, New York, Boston, Dordrecht, London, Moskow: Kluwer Academic Publishers; 2002.
44. Đukić, M. M. (2008): *Oksidativni stres. Slobodni radikali, prooksidansi, antioksidansi*, Mono i Manjana, Beograd
45. Dučić, T., Polle, A. (2005): *Transport and detoxification of manganese and copper in plants*, *Braz. J. Plant Physiol.* 17, 103—112.
46. Edwards, G., Walker, D. (1983): *Mehanisms, and cellular and environmental regulation, of photosynthesis*, Blackwell, Oxford
47. Farrah H., Piekering, W. F. (1986): *Metalon speciation-soils and sediments*, *Ore Geology Reviews*, 1, 83—146.

- 48. Fušić, B. (1997):** *Zemljišta sliva Skadarskog jezera, Prirodne vrijednosti i zaštita Skadarskog jezera, knj. 44. (187—195)*, CANU, Podgorica
- 49. Filipović, S. (1983):** *Mikroelementi u vodama i nekim organizmima Skadarskog jezera i njegovih pritoka. Hemijski institut PMF — Univerziteta u Beogradu, doktorska disertacija*
- 50. Filipović, S., Avdagić, I. (1997):** *Izvori hranljivih soli u vodi Skadarskog jezera, Prirodne vrijednosti i zaštita Skadarskog jezera, CANU, knj. br. 44*, Podgorica
- 51. Forstner, U. (1976):** *Lake sediments as indicators of Heavy-Metal Pollution*, Naturwissenschaften, 63: 465—470.
- 52. Forstner, U. (1983.):** *Types of binding of heavy metals in sediments and sludges: Sorption, mobilisation, chemical extraction and bioavailability*, Frensenius Z. Anal. Chem., 316, 604—611.
- 53. Foy, C. D., Chaney, R. L., White, M. C. (1978):** *The physiology of metal toxicity in plants*, Annu Rev Plant Physiol. 29: 511—566.
- 54. Gams, H. (1925):** *Hydrocaryaceae, In Hegi , Flora von Mitteleuropa, Bd. V2, Munchen*
- 55. Goletić, Š. (2005):** *Teški metali u okolišu*, Univerzitet u Zenici, pp.1.
- 56. Greger, M., Lindberg, S. (1987):** *Effects of Cd<sup>2+</sup> and EDTA on young sugar beets (*Betavulgaris*). II. Net uptake and distribution of Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, and Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>*, Physiologia Plantarum 69, 81—86.
- 57. Gill, S. S., Tuteja, N. (2010):** *Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants*. Plant Physiol Bioch 48: 909—930.
- 58. Gibelli, G., Ferrero, F. (1891):** *Intorno allo sviluppo dell'ovolo e dell'seme della Trapa natans L, Ricerche di anatomia e di morfologie Malpighia V.*, Genova
- 59. Grill, E., Winnacker, E. L., Zenk, M. H. (1985):** *Phytochelatines: The principal heavy-metal complexing peptides of higher plants*, Sience 230: 674—676.
- 60. Guilizzoni, P. (1991):** *The role of heavy metals and toxic materials in the physiological ecology of submersed macrophytes*, Aquatic Botany 41, 87—109.

61. Hanfeng, X., Qiling T., Chengxiao H. (2010): *Structural and metabolic responses of Ceratophyllum demersum to eutrophic conditions*, African Journal og Biotechnology 9 (35): 5722—5729.
62. Hudan, C. (1998): *Metal accumulation in American wild celery (Vallisneria americana Michx.) in the St.Lawrence River:effects of water depth and exposure to current*. Environment Canada, St. Lawrence Centre, 105 McGill St, Montreal, Canada
63. Handique G. K., Handique, A. K. (2009): *Proline accumulation i lemongrass (Cymbopogon flexuosus Stapf.) due to heavy metal stress*, Journal Environmental Biology 30 (2), 299-302.
64. Hart, B. T., Hines, T. (1995): Trace elements in rivers. In "Trace elements in Natural Waters", Salbu, B., Steinnes, E. eds. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 203—221.
65. Hegi, G. (1965): *Illustriete Flora von MittelEuropa, Band V/2. Teil*. Muchen: Car Hanser Verlag
66. Haber, E. (1999): *Invasive Exotic Plants of Canada Fact Sheet No.13. European Water Chestnut*, Ottawa: National Botanical Services
67. Harison, R. M., Lexsen, D. P. H., Wilson, S. J. (1981): *Chemical Associations of lead, Cadmium, copper and zinc in Stret Dusts and Roadside soils*. Environ.Sci. Technol., 15(11), 1378—1383.
68. Harikumar P. S. i sar. (2010): *Distribuion pattern of trace metal pollutants in the sediments of an urban wetland in the southwest coast of India*. International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 2. 840—850.
69. Halliwell, B. (1994): *Free radicals, antioxidants and human diseases: Curiosity, cause or consequence?* Lancet. 344: 721—724.
70. Hoseinizadeh, G. R., Azarpour E., Motamed M. K., Ziaeidoustan H., Moraditocheae M. and Bozorgi H. R. (2011): *Heavy metals phyttoremediation Management via Organs of Aquatic plants of Anzali International Lagoon (Iran)*, World Applied Sciences Journal 14 (5): 711—715.
71. Hart, B. T., Hines, T. (1995): Trace elements in rivers. In "Trace elements in Natural Waters", Salbu, B., Steinnes, E. eds. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 203—221.

72. Houtz, R. L., Nable, R. O., Cheniae, G. M. (1988): *Evidence for effects on the in vivo activity of ribulose-biphosphate carboxylase/oxygenase during development of Mn toxicity in tobacco*, *Plant Physiol.*, **86**, 1143—1149.
73. Janković, M. M. (1957): *Übersicht der Systematik der Gattung Trapa L. in Jugoslawien*. *Glasnik Prirodnjačkog muzeja Srpske zemlje*, **B 10**: 83—159.
74. Janković, M. M. (1958): *Ekologija, rasprostranjenje, sistematika i istorija roda Trapa L. u Jugoslaviji*. Societe Serbe de Biologie: Editions Speciales. Beograd
75. Janković, M. M. (1973.): *Trapaceae Dunortier*. — U: *Flora Srbije* (Josifović, M., ED.), SANU, Beograd, 36—46.
76. Janković, M. M. (1983.): *Kasaronja (Trapa L.) na Skadarskom jezeru i potrebe njene zaštite, Skadarsko jezero* — -zbornik referata, knj. 9, CANU, Titograd
77. Janković, M. M. (1986): *Trapaceae*, u: Sarić, M. uredn., *Flora SR Srbije*. X: 126—143, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd
78. Janković, M. M. (1998): *Vodene biljke — značaj makrofita u našim vodama*, NIC Plavi zmaj, Sremski Karlovci, EU Zeleni krug, Beograd
79. Janković, M., Blaženčić, J. (1970): *Neki aspekti ekološkog i fiziološkog značaja Korenovog sistema vodene biljke oraška (Trapa L.)*, *Glasnik Botaničkog zavoda i baštne Univerziteta u Beogradu*, tom V, 1—4, 105—113.
80. Jaggi, J. (1883): *Die Wassermuss, Trapa Natans L, Und Der Tribulus Der Alten*
81. Jumbe, A. S., Nandini, N. (2009): *Heavy metals assessment of wetlands around peenya Industrial area, Bangalore, India*. *J. Res. Environ. Life Sci.*, 2:25—30.
82. Kavata — Pendias, A., Pendias, X. (1989): *Mikroelementi v počvah i rastanjah* (prevod sa engleskog), *Trace elements in soil and plants*, Moskva ‘Mir’, 19—31, 62—63, 75—77.
83. Kabata — Pendias, A., Pendias, H. (1999): *Biogeochemistry of trace elements*, PWN, Warsaw (in Polish)
84. Kabata — Pendias i Pendias (2003): *Trace Elements in Soil and Plants*, Third Edition, CRC Press, US
85. Kastori, R. (1993): *Fiziologija biljaka (četvrto izdanje)*, IP Nauka, Beograd

86. Karaman, G. (1997): *Prirodne vrijednosti područja Skadarskog jezera, Prirodne vrijednosti i zaštita Skadarskog jezera*, CANU, knj. br. 44, Podgorica
87. Kastratović, V. (2013): *Akvatične makrofite Skadarskog jezera kao bioakumulatori teških metala — uloga u monitoringu vodenih sistema i mogućnost remedijacije*, Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore
88. Kastratović, V., Krivokapić, S., Đurović, D., Blagojević, N. (2013): Seasonal changes in metal accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) from Lake Skadar, Montenegro, Journal of the Serbian Chemical Society 78, 1241—1258.
89. Kloke, A., Sauerbeck, D.K., Vetter, H. (1984): *The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains*. In Nriagu, J. O. (ed.) *Changing Metal Cycles and Human Health*. Springer — Verlag, Berlin, 113—141.
90. Kumar, M., Chikara, s., Chand, M. K., Bhatnagar, A. K. (2002): *Accumulation of lead, cadmium, zinc and copper in the edible aquatic plants Trapa bispinosa Roxb. And Nelumbo nucifera Gaertn.* Bull. Environmental Contamination and Toxicology 69: 649—654.
91. Kumar, J. I. N., Soni, H., Kumar, R. N. (2006): *Biomonitoring of selected freshwater macrophytes to assess lake trace element contamination: a case study of Nal Sarvar Bird Sanctuary, Gujarat, India*, Journal of Limnology 65, 9—16.
92. Lakušić, R. (1983): *Ekosistemi Skadarskog jezera i njegove okoline, Skadarsko jezero — zbornik referata*, knj. 9, CANU, Titograd
93. Lakušić, R., Pavlović, D. (1976): *Vegetacija Skadarskog jezera*. Glasnik Republ. zavoda za zaštitu prirode, 9: 45—50, Titograd
94. Lakušić, R., Pavlović, D. (1981): *Associations of Lake Skadar aquatic vegetation*, The biota and limnology of lake Skadar: 125—133, Titograd
95. Lane S. D. Martin E. S. (1977): *A histochemical investigation of lead uptake in Raphanus sativus*. New Phytologist 79, 281—286.
96. Lares L. M., Marinone G. S., Rivera — Duarte I., Beck A., Sanudo — Wilhelmy S. (2008): *Spatial variability of trace metals and inorganic nutrients in surface waters of Todos Santos bay Mexico in the summer of 2005 during a red tide algal bloom*. Arch Environ Contam Toxicol. Springer, pp. 707—716.

97. **Lasat, M. M. (1996):** *The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil*, **Plant Physiol.** **118:** 875—883.
98. **Lasat, M. M., Baker, A. J. M., Kochain, L. V. (1998):** *Altered Zn compartmention in the root symplasm and stimulated Zn absorption into the leaf as mechanisms involved in Zn hyperaccumulation in Thlapsi caerulescens*, **Plant Physiol** **118:** 875—883.
99. **Lasat, M. M., Pence, N. S., Garvin, D. F., Ebbs, S. D., Kochian, L.V. (2000):** *Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator Thlapsi caerulescens*. **J Exp Botany** **51:** 71—79.
100. **Lei, Y., Korpelainen, H., Li, C. ( 2007):** *Physiological and biochemical responses to high Mn concentrations in two contrasting Populus cathayana populations*. **Chemosphere** **68:** 686—694.
101. **Lyon, G. L., Peterson, P. J., Brooks, R. R. (1969):** *Chromium — 51 distribution in tissues and extracts of Leptospermum scoparium*. **Planta** **88:** 282—287.
102. **Luck, H., (1974):** In: *Methods in Enzymatic Analysis 2* (Ed Bergmeyer) Academic Press New York p 885. metoda
103. **Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Homoyok, K. (2004):** *Removal of cadmium and zinc by water hyacinth, Eichornia crassipes*, **Science asia**, **30:** 93—103.
104. **Martin, A. C. (1987):** *Weeds*. Racine, WI: Golden Press
105. **Martin, J. M., Meybeck, M. (1979):** *Elements mass balance of materials carried by major world rivers*. **Mar Chem**, **7:** 173—206.
106. **Marschner, H. 1995.** *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, San Diego
107. **Malekzadeh, P., Khara, J., Farshian, S. (2007):** *Cadmium Toxicity in Maize Seedlings: Changes in Antioxidant Enzyme Activites and root growth*, **Pakistan Journal of Biological Sciences** **10(1):** 127—131.
108. **Mathe C., Barre A., J ourda C., Douand C. (2010):** *Evolution and expression of class III peroxidases*, **Arch Biochem Biophys** **500:** 58—65.
109. **Mazej, Z., Germ, M., (2009):** *Trace element accumulation and distribution in four aquatic macrophytes*, **Chemosphere** **74:** 642—647.

110. Mazej, Z., Al Sayegh-Petkovšek, Pokorný, B., (2010): *Heavy metal concentrations in food chain of lake Velenjsko jezero, Slovenia: an artificial lake from mining*, Archives of Environmental Contamination and Toxicology 58, 998—1008.
111. Murphy, A., Taiz, L. (1995): *Comparison of metallothionein gene expression and nonprotein thiols in ten Arabidopsis ecotypes*, Plant Physiol. 109: 945—954.
112. Mitchell, R. L. (1972): *Cobalt in soil and its uptake in plants. IX Simposio inter di Agrochemica la Fitonutrizione Oligomnerale*, Punta Ala, Italy. Pp. 521—532.
113. Мицевски К., Матевски В. (2001): Trapa L. и Мицевски К. uredn., Флора на Републик Македонија, I (5): 1411—1412, Македонска Академија на науките, Скопје
114. Migocka M., Klobus G. (2007) *The properties of the Mn, Ni and Pb transport operating at plasma membranes of cucumber roots*, Physiol. Plant. 129, 578—587.
115. Murray, J. W. (1987): *Mechanisms controlling the distribution of trace elements in oceans and lakes*. In ,‘Sources and fates of aquatic pollutants’, American Chemical Society, Washington, 153—184.
116. Meng, Q., Zou, J., Zoi, J., Jiang, W., Liu, D. (2007): *Effect of Cu<sup>2+</sup> concentration on Growth, antioxidant enzyme activity and malondialdehyde content in garlic (Allium sativum L.)*, Acta biologica cracoviensis 49/1: 95—101.
117. Moya, J. I., Ros, R., Picazo, I. (1993): *Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants*, Photosynthesis Research 36: 75—80.
118. Mohan, B. S., Hosetti, B. B. (1997): *Potential phytotoxicity of lead and cadmium to Lemna minor L. growth in sewage stabilization ponds*, Environmental Pollution 98: 233—236.
119. Munjko, I., Mikliran, R. (1980): *Zagadivanje voda rijeke Save kod Zagreba solima teških metala*, Voda i sanitarna tehnika, Beograd, 2, 55—56.
120. Mercer, E. R., Richmond , J. L. (1971): *An investigation of the chemical form of copper in soil solutions*. A. R. C. R. L., 22, 20.
121. Mukhopadhyay M., Sharma, A. (1991): *Manganese in cell metabolism of higher plants* Bot. Rev. 57, 117—149.

122. Muller, G. (1981): *Die Schwermetallbelastung der sediment des Neckars und seiner Nebenflusse: eine Bestandsaufnahme*. **Chemiker Zeitung** 105:157-164
123. Nedeljković, R. (1959): *Skadarsko jezero. Studija organske produkcije u jednom karstnom jezeru*, Biološki institut NR Srbije, Posebno izdanje, 4, Beograd
124. Ness, P. J., Woolhouse, H. W. (1980): *RNA synthesis in Phaseolus chloroplasts. I. Ribonucleic acid synthesis and senescing leaves*, **J. Exp. Bot.** 31, 223—233.
125. Nieboer E., Richardson, D. H. S. (1980): The replacement of the nondescript term “heavy metals” by a biologically and chemically significant classification of metal ions. **Environ Pollut Ser B1:** 3—26.
126. Pandey, N., Patkak, G. C., Pandey D. K., Pandey, R. (2009): *Heavy metals, Co, Ni, Cu, Zn and Cd, produce oxidative damage and evoke differential antioxidant responses in spinach*. **Braz. J. Plant Physiol.** 21(2): 103—111.
127. Paczkowska, M., Kozlowska M., Golinski, P. (2007): *Oxidative stress enzyme activity In Lemna minor L. exposed to cadmium and lead*, **Acta Biologica Cracoviensis** 49/2: 33—37.
128. Paparisto K., Demiri M., Mitrushi I., Qosja X. (1988): *Flora e Shqipërisë* 1.—Tiranë
129. Pignatti, S. (1982): *Flora d'Italia II: 148*, Edagricole Bologna
130. Purić, M. (1983): *Hemijske osobine voda nekih sublakustičnih izvora »oka« Skadarskog jezera*, Skadarsko jezero — zbornik referata, knj. 9, CANU, Titograd.
131. Purić, M. (2002): *Opšte karakteristike hemizma voda Skadarskog jezera i značaj ekoхemijskih istraživanja*, Natura Montenegrina, Podgorica, 1, 237—241.
132. Petrović, G. (1978): *Teški metali i drugi mikroelementi u sedimentima Skadarskog jezera*, Godišnjak Biološkog Inst. Univerz. u Sarajevu. Sarajevo, 31.
133. Petrović, G. (1983): *Sadržaj metala u vertikalnom profilu i površinskim slojevima sedimenata Skadarskog jezera*, Skadarsko jezero — zbornik referata, knj. 9, CANU, Titograd
134. Petrović, G., Beeton, A. (1981): *The chemistry of Lake Skadar (General introduction)*, The biota and limnology of Lake Skadar: 67—68, Titograd

135. Peterson, P. J. (1983): *Adaptation to toxic metals. In metals and micronutrients: Uptake and utilization by plants* (eds DA Rabb, WS Pierpoint), pp: 51—63, Academic Press, London
136. Peterson, P. J. (1993): *Plant adaptation to environmental stress: metal pollutant tolerance* (eds. Fowden, L., Mansfield, T., Stoddart, J.), Chapman i Hall Publiser
137. Pendás, K., Pendás, H. (1992): *Trace elements in soils and plants.* USA, CRR Press, 365 p.
138. Polić, P., Blagojević, S: (1997): *Teški metali u vodama, u Teški metali u životnoj sredini*, Ed. Rudolf Kastori, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, str. 49—94.
139. Porcher, M. H. i dr. (1995): *Sorting *Trapa* names. Multilingual Multiscript Plant Name Database — A work in progress.* Institute for Land & Resources, The University of Melbourne
140. Pfeffer, P. E., Tu, S., Gerasimowicz, W. V., Cavanaugh, J. R. (1986): *In vivo <sup>31</sup>P NMR studies of corn root tissue and its uptake of toxic metals.* Plant Physiol. 80, 77—84.
141. Radulović, V. (1977): *Hidrogeologija sliva Skadarskog jezera, doktorska disertacija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
142. Radulović, V. (1983): *Prilog poznavanju položaja i veličine sliva Skadarskog jezera i njihovo hranjenje i pražnjenje vodama, Skadarsko jezero — zbornik referata, knj. 9, CANU, Titograd*
143. Rai, U. N. i Sinha, S. (2001): Distribution of metals in aquatic edible plants *Trapa natans* (Roxb.) Makino and *Ipomoea aquatica* forsk. – Environmental Monitoring and Assessment 70: 241–252.
144. Rai, P. K., (2009): *Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystem with special reference to macrophytes*, Critical Review in Environmental Science and Technology, 39, 697—753.
145. Rama — Devi, S., Prasad, M. N. V. (1998): *Copper toxicity in Ceratophyllum demersum L., a free floating macrophyte. Response of antioxidant enzymes and antioxidants.* Plant Sci., 138: 157—165.
146. Reilly, C. (1969): *The uptake and accumulation of copper by *Becium homblei* (De Wild)*, Diving and Plancke, New Phytol 68: 1081—1087.
147. Reilly, C., Rowel J., Stone, J. (1970): *The acomulation and binding of copper*

- in leaf tissue of *Becium homblei* (De Wild) Duving. And Plancke, New Phytol 69: 993—997.*
148. Rengel, Z. (2000): *Uptake and transport of manganese in plants*. In: A. Sigel, H. Sigel (eds.). Metal Ions in Biological Systems. New York, Marcel Dekker, pp. 57—87.
149. Ristić, J., Vizi, O. (1981): *Synoptic survey of the dominant macrophytes in lake Skadar, The biota and limnology of lake Skadar*, 117—125, Titograd
150. Rascio, W. (1977): *Metal accumulation by some plants growing on Zn mine deposits*, Oikos 29: 250—253.
151. Rohlena, J. (1942): *Conspectus Flora Montenegrinae*. Preslia, 20—21: 1—506.
152. Sandmann, G., Boger, P. (1980.a): *Copper deficiency and toxicity in Scenedesmus*. Z Pflanzenphysiol 98: 53—9.
153. Sandmann, G., Boger, P. (1980.b): *Copper-mediated lipid peroxidation processes in photo-synthetic membranes*. Plant Physiol 66: 797—800.
154. Sawidis, T., Chettri, M. K., Zachariadis, G. A., Stratis, J. A. (1995): *Heavy metals in aquatic plants and sediments from water systems in Macedonia, Greece*, Ecotoxicology and Environmental safety 32, 73—80.
155. Salt, D. E., Blaylock, M., Nanda Kumar PBA, Dushenkov, S. (1995): *Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants*, Biotechnology (N Y),13 (5): 468—474.
156. Sharma, P., Dubey R. S. (2005): *Lead toxicity in plants*. Braz. J. Plant Physiol. vol.17 no.1 Londrina Jan./Mar.
157. Shuhaimi — Othman M., Pascoe D. (2007): *Bioconcentration and depuration of copper, cadmium and zinc mixtures by the freshwater amphipod *Hyalella azteca**, Ecotoxicology and Environmental Safety 66: 29—35.
158. Singh, T. N., Aspinall D., Paleg, L. G., Boggess, S. F. (1973b): *Stress metabolism II. Changes in proline concentration in excised plant tissues*, Australian Journal of Biological Sciences 26: 57—63.
159. Stanković, S. (1989): *Jezera Jugoslavije, Stručna knjiga — Beograd. Skadar-skog jezera. Skadarsko jezero — zbornik referata*, knj. 9, CANU, Titograd
160. Stanković, S. (1934): *Zur Oligotrophic des Skadar( Skutari) Sees*. Glas. Bot. Za-

- vod i bašte Univer. u Beogradu, 3(1—2): 63—93.
161. Stevens, P. F. (2001): *Angiosperm Phylogeny Website. Version 5.* <http://www.mobot.org/MOBOT/research/Apweb>.
162. Stevanović, B., Janković, M. M. (2001): *Ekologija biljaka sa osnovama fiziološke ekologije biljaka*, Beograd.
163. Stešević, D., Feiler, U., Šundić, D., Mijović, S., Erdinger, L., Seiler, T. M., Haininger, P., Hollert, H. (2007): Application of a new sediment contact test with *Myriophyllum aquaticum* and of the aquatic *Lemna* test to assess the sediment quality of lake Skadar. *J. Soils Sediments* 7(5): 342—349.
164. Ślesak I., Libik, M., Karpinska, B., Karpindki, S., Miszalski, Z. (2007): *The role of hydrogen peroxide in regulation of plant metabolism and cellular signalling in response to environmental stresses*. *Acta Biochimica Polonica* 54: 39—50.
165. Sweta, Bauddh, K., Singh, R. P., Singh, R. P. (2015): *The suitability of *Trapa natans* for phytoremediation of inorganic contaminants from the aquatic*, *Ecological Engineering*, 93, 39—42.
166. Srivastava, S., Yadav, A. and Shukla D. N. (2014): *Effects of lead and its phyremediation potential in *Trapa natans* L*, *Asian Journal of Research in Chemistry*. Vol 7. Issue 4. p. 434.
167. Srighar, B.B.M., Diehl, S.V., Han, F.X., Monts, D.I., Su, Y. (2005): Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cd in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Environmental and Experimental Botany* 54: 131-141
168. Szabados, L., Savoure, A. (2009): *Proline: a multifunctional amino acid*. *Trends in Plant Science*. Vol 15. No. 2.
169. Tomlinson, D. C., Wilson J. G., Harris C. R., Jeffery D. W. (1980): *Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of a pollution index*, *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*. 33(1—4), 566—575.
170. Tutin T. G., (1968): *Trapa* L. u Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A. urednici, *Flora Europaea II: 303*. Cambridge University Press, Cambridge
171. USDA, NRCS. (2004): *The PLANTS database, Version 3*. Baton Rouge, LA 70874-4490 USA. [http://plants.usda.gov/cgi\\_bin/topics](http://plants.usda.gov/cgi_bin/topics).

172. Vesk, P. A., Allaway, W. G. (1997): *Spatial variation of copper and lead concentrations of water hyacinth plants in a wetland receiving urban run-off*, School of Biological Sciences, University of Sydney, Australia, Aquatic Botany 59: 33—44.
173. Vesk, P. A., Nockolds, C. E., Allaway, W. G. (1999): *Metal localization in water hyacinth roots an urban wetland*, School of biological sciences and Electron microscope unit, The University of Sydney, Australia, Plant cell and Environmental 22: 149—158.
174. Vardanyan, L. G., Ingole, B. S. (2006): *Studies of heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carabolim (India) lake system*, Environment International 32, 208—218.
175. Valliyodan B. and Iguyen N.T. (2006): *Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants*. Curr Opin Plant Biol 9: 189—195.
176. Vasiljev, V. N. (1949): Rod *Trapa L.* Flora SSSR, T. XIV.
177. Wang. F—Z., Wang, Q—B, Kwon, Suk—Yoon Kwak, S—S, Su, W—A (2005): *Enhanced drought tolerance of transgenic rice plants expressing a pea manganese superoxide dismutase*, Jurnal of Plant Physiology 162: 456—472.
178. Wang Q., Cui Y., Dong Y. (2002): *Phytoremediation of polluted waters. Potentials and prospects of wetland plants*, Acta Biotechnological 22: 199—208.
179. Wainwright, S. J., Woolhouse, H. W. (1977): *Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in Agrostis tenuis Sibth: Cell elongation and membrane damage*. J Exp Bot 28: 1029—1036.
180. Whitton, B., Kelly, M. (1995): *Use of algae and other plants for monitoring rivers*. Australian Journal of Ecology 20, 45—56.
181. Wettstein , D. (1957): *Chlorophyll- letale und der submicroscopische Formwechsel der Plastiden*. Exp. Cell. Res 12: 427—487.
182. Zhang, L. H., Li, P. J., Li, H. M., Meng, X. L., Xu, C. B., (2005): *Effect of cadmium stress on the growth and physiological characteristics of wheat seedlings*, Chinese Journal Ecology 24. 458—460.
183. Zhou, Q., (2001): *The measurement of malondialdehyde in plants*: In Zhou Q.(ed.):*Metods in Plant Physiology*, China Agricultural Press, Beijing: 173—174.

Izjava o autorstvu

Potpisani-a

DRAGANA Petrović

Broj indeksa/upisa

4103

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

Ektrofiziološke, Gichtauinske i anatomske odlike u veste  
„TRAP-a načina i na području skadarskog jezera“

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija ni u cijelini ni u djelovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih ustanova visokog obrazovanja,
- da su rezultati korektno navedeni, i
- da nijesam povrijedio/la autorska i druga prava intelektualne svojine koja pripadaju trećim licima.

Potpis doktoranda

u Počajevci, 30.03.2017.god.

Dragana Petrović

Prilog 2.

**Izjava o istovjetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada**

Ime i prezime autora

DRAGANA PETROVIĆ

Broj indeksa/upisa

4108

Studijski program

BIOLOGIJA (PMF)

Naslov rada,

"Eko-fizičke, biohemiske i anatomske odlike vrste Trape potans Lio"

Mentor

prof. dr. SLADANA KRUNJAKOVIĆ području Skadarskog jezera

Potpisani/a

DRAGANA PETROVIĆ

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovjetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore.

Istovremeno izjavljujem da dozvoljavam objavljivanje mojih ličnih podataka u vezi sa dobijanjem akademskog naziva doktora nauka, odnosno zvanja doktora umjetnosti, kao što su ime i prezime, godina i mjesto rođenja, naziv disertacije i datum odbrane rada.

u Počegoreci, 30.03.2017.god.

Potpis doktoranda

Dragana Petrović

### IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku da u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore pohrani moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Ekonomske, fizičke i anatomske odlike VPSto,  
#T popa Nikola L. na području skanopskog jezera:

koja je moje autorsko djelo.

Disertaciju sa svim prilozima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista).

u Podgorici, 30.03.2017.god.

Potpis doktoranda

