
Milica Ješić i Silvija Milosavljević

Usvajanje teških metala kod rogoza (*Typha latifolia* L.) i podvodne resine (*Ceratophyllum demersum* L.) u Petničkom jezeru

Širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.) i podvodna resina (*Ceratophyllum demersum* L.) su višegodišnje biljke vodenih staništa za koje je zapaženo da uspešno apsorbuju teške metale i rastu na industrijski zagađenim zemljištima. Zbog toga se smatraju potencijalnim bioakumulatorima i biljkama pogodnim za fitoremedijaciju. U ovom istraživanju ispitivana je koncentracija odabranih teških metala (Co, Ni, Pb, Cd, Zn, Cu i Mn) u biljkama iz roda *Ceratophyllum* i podzemnim i nadzemnim delovima *T. latifolia* iz Petničkog jezera. Kod *T. latifolia* je primećeno da se koncentracije svih teških metala (osim Mn) povećavaju od rizoma, preko stabla, sve do listova. U tkivima *C. demersum* izmerene su veće koncentracije teških metala u odnosu na izmerene koncentracije u vodi. Takođe, zapaženo je da su koncentracije Mn i Cu u vodi bile više od maksimalnih propisanih, i da je koncentracija svih metala u uzorcima sedimenta viša nego u uzorcima vode.

Uvod

Akumulacija Pocibrava, poznatija kao Petničko jezero nastala je izgradnjom zaštitne brane na potoku Pocibrava. Nalazi se u selu Petnica, 7 km udaljenom od Valjeva, u Zapadnoj Srbiji. Jezero površine 3 ha, nalazi se na nadmorskoj visini od 200 m, a najveća dubina je 7 m (Grujić *et al.* 2002). Dominantnu vegetaciju jezera pred-

stavljaju vodene makrofite, a među njima se ističu vrste podvodna resina *Ceratophyllum demersum* L. i širokolisni rogoz *Typha latifolia* L. (Popović 2002)

Podvodna resina (*Ceratophyllum demersum* L.) je vodena, submerzna, višegodišnja biljka prosečne dužine do 2.5 m. Ova biljka nije pričvršćena za substrat, već slobodno pliva u vodi. U prirodi, podvodna resina predstavlja hranu i zaklon mnogim organizmima i poželjan je deo akvatičnih staništa. Uobičajeno stanište podvodne resine su jezera i bare, a najbolje raste u vodama visoke koncentracije hranljivih materija na temperaturama od 15-30°C. S obzirom da nema koren, ova biljka vrši apsorbciju nutrijenata celom površinom tela, a pri tome je zapažen proces bioakumulacije nekih supstanci (DiTomaso i Healy 2003). U prethodnim istraživanjima je ispitivana akumulacija različitih toksičnih supstanci, između ostalog i nekih teških metala. Primećeno je da *Ceratophyllum demersum* L. uspešno apsorbuje teške metale iz vode, ali da je pri njihovim višim koncentracijama izložena oksidativnom stresu (Sun *et al.* 2008; Keskinan *et al.* 2004).

Širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.) je višegodišnja makrofita koja nastanjuje vodena staništa, jezera i bare. Može rasti i na industrijski zagađenim zemljištima, pa se i veliki broj istraživanja bavi utvrđivanjem stepena i mehanizama tolerancije rogoza na toksične supstance, u prvom redu teške metale (Ye *et al.* 1997). Iako mehanizam po kom ova biljka usvaja teške metale još uvek nije poznat, najveće koncentracije teških metala detektovane su u rizomu, u odnosu na

Milica Ješić (1995), Užice, učenica IV razreda Užičke gimnazije

Silvija Milosavljević (1996), Beograd, učenica III razreda Trinaeste beogradske gimnazije

MENTOR: Tijana Milekić, apsolvent Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

nadzemne delove biljke (Aksoy *et al.* 2005; Caranza-Alvarez *et al.* 2008).

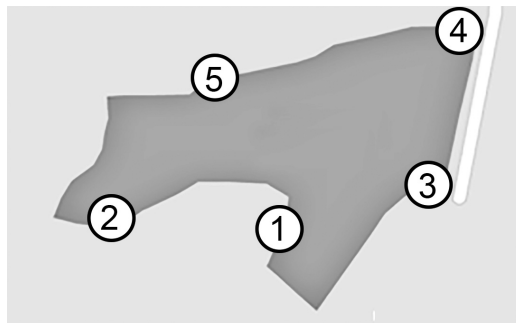
Teški metali (Co, Ni, Mn, Pb, Zn, Cu, itd.) se prirodno nalaze u vodi i zemljištu, ali se antropogenim uticajem povećava njihova koncentracija u medijumima životne sredine. Kao produkti industrijske i rudarske proizvodnje, sagorevanja fosilnih goriva i drugih ljudskih aktivnosti, teški metali su postali jedan od glavnih zagađivača životne sredine. Eksploatacija ruda i odlaganje industrijskog otpada predstavljaju samo jedan od načina dospevanja teških metala u vodene baze. Produkti sagorevanja fosilnih goriva i industrijske proizvodnje dospevaju u životnu sredinu gde dolaze u kontakt sa organizmima i ulaze u lanac ishrane. Toksičnost većine teških metala ogleda se u njihovoj hemijskoj strukturi i mogućnosti da se u vidu jona vezuju za biološki aktivna jedinjenja inhibirajući ih ili menjajući njihove funkcije (Agarwal 2009). S obzirom na toksičnost teških metala, njihovo kruženje u prirodi i zagađenje koje izazivaju, utvrđivanje količine teških metala u različitim medijumima životne sredine, njihovih efekata na žive organizme i potencijalnih načina za smanjivanje zagađenja od izuzetnog je značaja.

Bioakumulacija je proces usvajanja i nakupljanja određenih supstanci, kao što su toksične materije, u različitim tkivima nekog organizma koji pripadaju istom lancu ishrane. Koncentracije polutanata u vodi ili sedimentu mogu da budu niske i da ne prelaze maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK), ali akumulirane koncentracije polutanata mogu imati štetan uticaj po organizme (Šundić i Radujković 2012).

Cilj ovog istraživanja je bio ispitivanje koncentracija odabranih teških metala (Co, Ni, Pb, Cd, Zn, Cu i Mn) u uzorcima vode, sedimenta, biljnim tkivima vrste *Ceratophyllum demersum* i podzemnim i nadzemnim delovima biljke *Typha latifolia* L. iz Petničkog jezera. Ispitivano je da li dolazi do biokumulacije ovih elemenata u tkivima biljaka, kao i odnos između koncentracija metala u različitim uzorcima.

Materijal i metode

Za ispitivanje teških metala u biljkama iz Petničkog jezera uzorkovane su individue *Ceratophyllum* sp. i *Typha latifolia*. Uzorkovanje je



Slika 1. Mapa Petničkog jezera sa obeleženim tačkama na kojima je vršeno uzorkovanje

Figure 1. Map of Petnica lake with marked sampling points

vršeno u julu 2014. godine. Biljni materijal, voda i sediment su prikupljeni sa pet lokaliteta čime je obuhvaćena čitava obala jezera (slika 1).

Određivanje koncentracije teških metala u vodi vršeno je metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS). Voda je uzorkovana sa pet lokaliteta. Profiltrirano je po 500 mL svakog uzorka, koji su potom uparavani u vodenom kupatilu, do zapremine manje od 100 mL. U ohlađene uzorke je dodato po 1 mL koncentrovane hlorovodonične kiseline, a zatim su kvantitativno prenešeni u normalne sudove od 100 mL i normirani (APHA 1989).

Nakon uzorkovanja sve biljke su oprane, uzorci biljaka iz roda *Ceratophyllum* su usitnjeni, a kod jedinki rogoza je izvršeno odvajanje delova rizoma, stabla i listova. Uzorci su sušeni na temperaturi od 80°C do konstantne mase. Priprema biljnog materijala je vršena kombinovanjem suve i mokre digestije. Odmereni su uzorci od po 0.5 g usitnjenog biljnog materijala, koji su u porcelanskim tiglovima spaljeni u plamenu i žareni 15 h na 800°C. Nakon hlađenja, u svaki tiglu je dodato po 2.5 mL koncentrovane hlorovodonične kiseline i zagrevani su na 125°C (IPCS 1999). Nakon toga su uzorci profiltrirani u normalne sudove od 25 mL, koji su zatim normirani. Koncentracija odabranih metala je očitana pomoću atomskog apsorpcionog spektrofotometra.

Sediment uzorkovan iz Petničkog jezera je prosejan kroz sito promera 1.6 mm i sušen na

80°C. Osušeni uzorci su usitnjeni i odmereno je po 0.5 g od svakog uzorka. Uzorci su dalje tretirani kao i uzorci biljnog materijala.

Dobijene koncentracije teških metala predstavljene su grafički. Izračunati su akumulacioni i translokacioni faktori za delove rogoza. Akumulacioni faktor (AF) predstavlja odnos koncentracije teškog metala u biljnim tkivima i u sedimentu, i pokazuje koliko se taj metal akumulira u podzemnom a koliko u nadzemnim delovima biljke. Ukoliko je akumulacioni faktor veći od broja 1, možemo zaključiti da je došlo do povećanog usvajanja metala u odnosu na koncentracije u životnoj sredini. Translokacioni faktor (TF) predstavlja odnos koncentracije teškog metala u podzemnim i u nadzemnim delovima biljke, i pokazuje razlike u akumulaciji koje postoje među delovima biljke (Rezvani i Zaefarian 2011; Bagchi 2013).

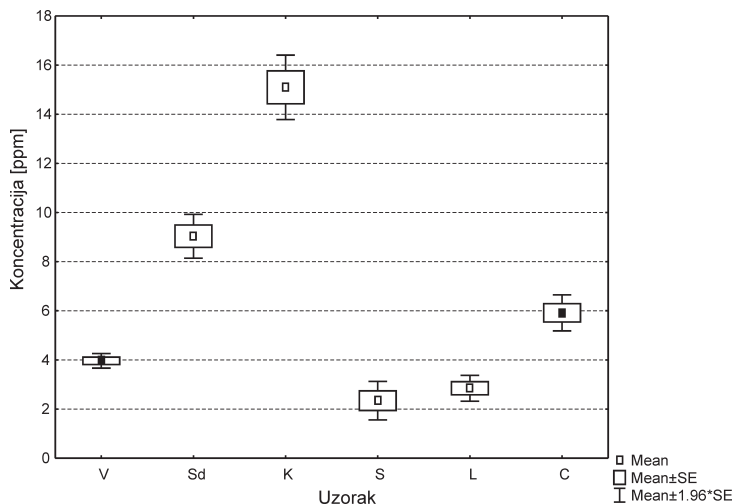
Rezultati i diskusija

Kobalt. Izmerena koncentracija kobalta u vodi je 0.079 mg/kg, što predstavlja skoro tri puta manju koncentraciju od maksimalno dozvoljene (0.2 mg/kg (Jakovljević i Pantović 1991)). Sa slike 1 može se videti da je u uzorcima sa svih lokaliteta detektovan kobalt, kao i pravilnost u rasporedu tog metala u vodi, sedimentu i tkivima *T. latifolia*. U svim uzorcima, koncentracija u vodi je niža od koncentracije u sedimentu, što

sugeriše da se kobalt vezuje za sediment (Dalmačija i Agbaba 2008).

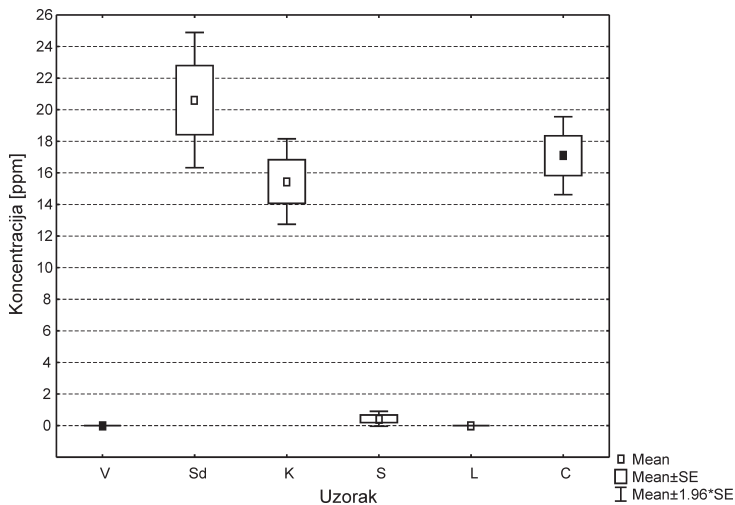
Najveća koncentracija kobalta izmerena je u uzorcima rizoma rogoza (slika 2). Translokacioni faktori za kobalt pokazuju da je transport ovog metala u nadzemni deo rogoza ograničen ($TF < 1$), tako da najveći deo apsorbovanog kobalta ostaje u podzemnom delu biljke. Kod rogoza, akumulacioni faktor za kobalt je veći od 1. Ovi rezultati upućuju na moguću bioakumulaciju kobalta u podzemnim delovima rogoza. Ranija istraživanja su pokazala da je ova pojava vrlo moguća i raspodela kobalta u rogozu (više ga ima u podzemnom nego u nadzemnom delu biljke) je očekivana kada se uzmu u obzir rezultati drugih istraživanja (Ye *et al.* 2001). Kada je u pitanju podvodna resina, detektovane koncentracije kobalta su veće u odnosu na koncentracije izmerene u vodi.

Nikl. Koncentracije nikla u nadzemnim delovima rogoza su ispod praga detekcije, osim na petom lokalitetu u kojem je detektovan nizak sadržaj ovog metala (slika 3). U sedimentu i rizomu rogoza detektovane su znatne koncentracije ovog metala. Translokacija nikla u nadzemni deo biljke je ograničena ($TF < 1$), čime se ograničava ispoljavanje toksičnog dejstva ovog metala (Seregin i Kozhevnikova 2006). Najveće koncentracije izmerene su u sedimentu, iz čega možemo pretpostaviti da se u sastavu ovog zemljišta nalaze minerali koji sadrže nikl, ali izmerene koncentracije se ne mogu smatrati visokim (niklom bogata zemljišta sadrže i preko



Slika 2. Koncentracije kobalta u vodi (V), sedimentu (Sd), nadzemnim (S – stablo, L – list) i podzemnim (K) delovima rogoza i podvodnoj resini (C). Vrednosti koncentracija za vodu i podvodnu resinu označene su crnim kvadratićima.

Figure 2. Cobalt concentrations in water (V), sediment (Sd), shoots (S – stem, L – leaf) and roots (K) of bulrush and rigid hornwort (C). Concentration values for water and rigid hornwort are tagged with black boxes.



Slika 3. Koncentracije nikla u vodi (V), sedimentu (Sd), nadzemnim (S – stablo, L – list) i podzemnim (K) delovima rogoza i podvodnoj resini (C). Vrednosti koncentracija za vodu i podvodnu resinu označene su crnim kvadratićima.

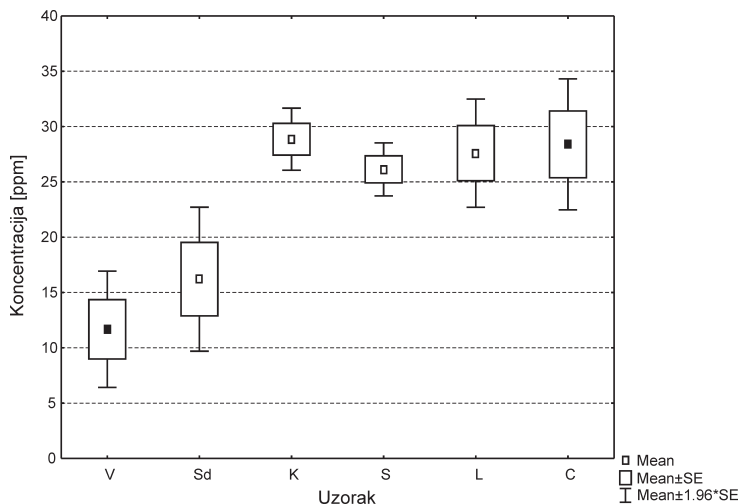
Figure 3. Nickel concentrations in water (V), sediment (Sd), shoots (S – stem, L – leaf) and roots (K) of bulrush and rigid hornwort (C). Concentration values for water and rigid hornwort are tagged with black boxes.

10000 mg/kg) (Echevaria *et al.* 2006). Dostupnost nikla biljkama zavisi od forme u kojoj se nalazi u zemljištu, kao i pH i redoks potencijala zemljišta i koncentracije organskih materijala i gline u zemljištu. Kada je u pitanju AF, on pokazuje da je akumulacija u podzemni deo rogoza prisutna ali ne u većoj meri ($AF < 1$), a samim tim možemo pretpostaviti da ta pojava upravo zbog nedostupnosti nikla iz ovog zemljišta (Echevaria *et al.* 2006).

Koncentracija nikla u vodi bila je ispod praga detekcije, za razliku od istraživanja iz 2002. godine (Popović 2002), kada je izmerena koncentracija iznosila 16.1 $\mu\text{g/L}$. Ovaj rezultat upućuje na to da u Petničkom jezeru nema zagađenja

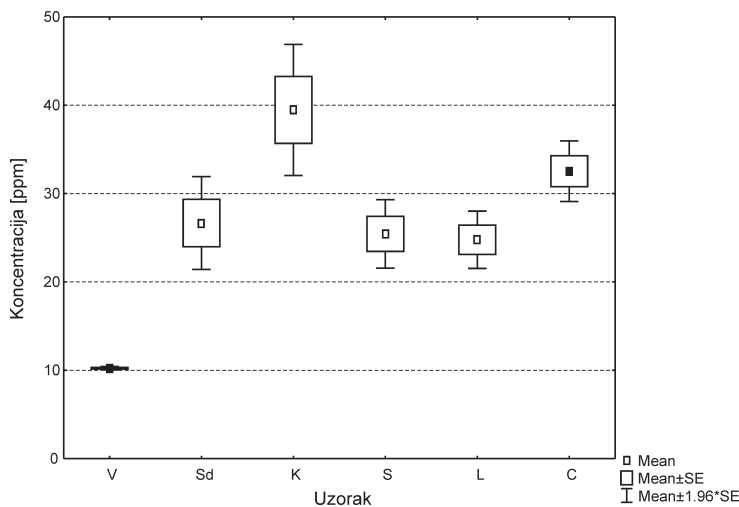
niklom, dok koncentracije u podvodnoj resini ($>10 \text{ mg/kg}$) upućuju na moguću akumulaciju ovog metala.

Mangan. Analizom je utvrđeno da i podzemni i nadzemni delovi rogoza akumuliraju mangan u znatnim količinama. Kao jedan od esencijalnih elemenata, mangan vrši važnu ulogu u mnogim fiziološkim procesima u biljkama, i sastavni je deo velikog broja enzima. Najviše se akumulira u nadzemnim delovima biljaka. Ipak, pri zagađenju ovim metalom, višak ovog metala se akumulira i u podzemnim delovima i neki autori tom činjenicom objašnjavaju toleranciju biljaka na mangan (Grujić *et al.* 2002; Foy *et al.* 1978). Kod podvodne resine takođe su izmerene veće kon-



Slika 4. Koncentracije mangana u vodi (V), sedimentu (Sd), nadzemnim (S – stablo, L – list) i podzemnim (K) delovima rogoza i podvodnoj resini (C). Vrednosti koncentracija za vodu i podvodnu resinu označene su crnim kvadratićima.

Figure 3. Manganese concentrations in water (V), sediment (Sd), shoots (S – stem, L – leaf) and roots (K) of bulrush and rigid hornwort (C). Concentration values for water and rigid hornwort are tagged with black boxes.



Slika 5. Koncentracije bakra u vodi (V), sedimentu (Sd), nadzemnim (S – stablo, L – list) i podzemnim (K) delovima rogoza i podvodnoj resini (C). Vrednosti koncentracija za vodu i podvodnu resinu označene su crnim kvadratićima.

Figure 5. Copper concentrations in water (V), sediment (Sd), shoots (S – stem, L – leaf) and roots (K) of bulrush and rigid hornwort (C). Concentration values for water and rigid hornwort are tagged with black boxes.

centracije mangana u odnosu na vodu i sediment (slika 4).

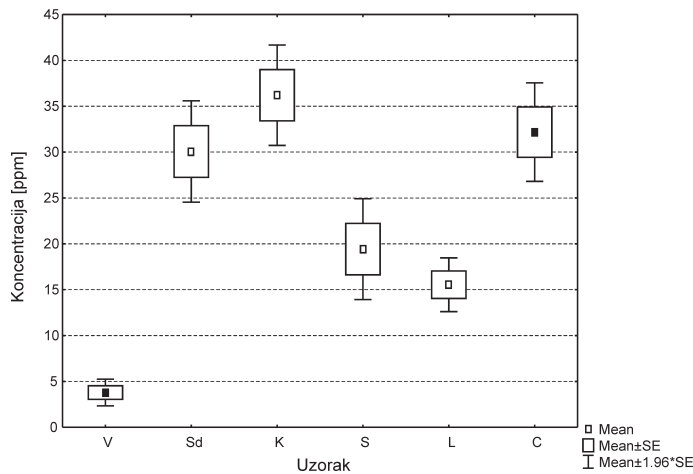
Maksimalna dozvoljena koncentracija mangana u vodi je 0.2 mg/L dok je u uzorcima vode iz jezera koncentracija mangana od 0.23 mg/kg. To upućuje na povišenu zagađenost jezera manganom koji potencijalno potiče iz same podloge odnosno zemljišta u čijem sastavu se nalaze rude mangana kao što su pirokuzit i hausmanit i prirodno se nalaze u Zemljinoj kori, a u posebno visokim koncentracijama se nalaze u sedimentu jezera i bara (RRUFF 2015).

Bakar. Pri povišenim koncentracijama bakra u životnoj sredini, rogoz akumulira ovaj metal u podzemne delove i na taj način smanjuje toksična dejstva koja bakar može da ima u nadzemnim delovima. Prekomerna količina bakra inhibira fotosintezu modifikujući sastav pigmenata i tilakoidnih membrana, a samim tim se inhibira pravilan rast biljke (Yruela 2005; Lombardi i Sebastiani 2005). S obzirom da količina bakra u svim delovima rogoza nekoliko puta prevazilazi normalne vrednosti (Yurukova i Kochev 1994), došlo je do transporta iz rizoma u nadzemne delove rogoza. Pri visokim koncentracijama bakra, biohemijske barijere u korenu ne mogu da spreče translokaciju bakra u nadzemne delove rogoza (Seregin i Kozhevnikova 2006).

Prosečna vrednost koncentracije bakra u vodi je 0.20 mg/kg, što je dvostruko više od maksimalne dozvoljene vrednosti (0.1 mg/kg (Jakovljević i Pantović 1991)). U poređenju sa istraživanjem iz 2002. godine (Popović 2002),

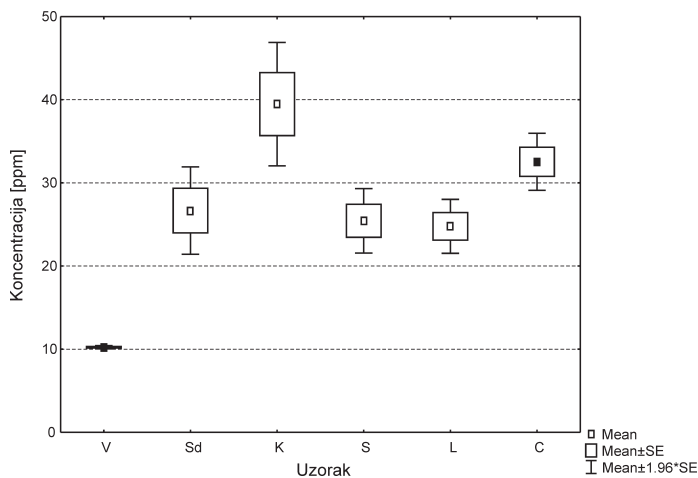
količina bakra se povećala čak 80 puta. Iako se bakar prirodno nalazi u stenama, te količine su nedovoljno velike da objasne dobijene vrednosti njegove koncentracije u vodi. Ipak, dobijeni rezultati mogu se objasniti poplavama izazvanim prekomernim padavinama koje su se dogodile samo nekoliko nedelja pre ovog istraživanja. U svim uzorcima je koncentracija bakra u sedimentu znatno viša od koncentracije u vodi (slika 5). Rezultati sa četiri lokaliteta pokazuju da je koncentracija bakra u rizomu značajno viša od one u sedimentu, što ukazuje na akumulaciju ovog metala (slika 5). Ovu tvrdnju potvrđuju i vrednosti za AF korena rogoza koji je veći od 1.

Cink. Koncentracija cinka u vodi je u odnosu na istraživanje iz 2002. godine (Popović 2002) značajno viša, ali ne prelazi maksimalne dozvoljene vrednosti propisane Pravilnikom o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (13 puta je niža) (Jakovljević i Pantović 1991). Ipak, u sedimentu je koncentracija viša u odnosu na dobijene vrednosti za vodu. Kada je u pitanju rogoz, sa grafika (slika 6) se jasno vidi pravilnost u odnosima koncentracija podzemnog i nadzemnog dela biljke, pri čemu se najznačajnija akumulacija vrši u podzemnom delu. Ovu tvrdnju potvrđuju i AF i TF, s obzirom da su koncentracije u korenu u odnosu na nadzemne delove veće (TF < 1). Koncentracija cinka u podvodnoj resini je u svim uzorcima nekoliko puta veća od koncentracije u vodi. Tipične vrednosti za koncentracije cinka



Slika 6. Koncentracije cinka u vodi (V), sedimentu (Sd), nadzemnim (S – stablo, L – list) i podzemnim (K) delovima rogoza i podvodnoj resini (C). Vrednosti koncentracija za vodu i podvodnu resinu označene su crnim kvadratićima.

Figure 6. Zinc concentrations in water (V), sediment (Sd), shoots (S – stem, L – leaf) and roots (K) of bulrush and rigid hornwort (C). Concentration values for water and rigid hornwort are tagged with black boxes.



Slika 7. Koncentracije olova u vodi (V), sedimentu (Sd), nadzemnim (S – stablo, L – list) i podzemnim (K) delovima rogoza i podvodnoj resini (C). Vrednosti koncentracija za vodu i podvodnu resinu označene su crnim kvadratićima.

Figure 7. Lead concentrations in water (V), sediment (Sd), shoots (S – stem, L – leaf) and roots (K) of bulrush and rigid hornwort (C). Concentration values for water and rigid hornwort are tagged with black boxes.

kod podvodne resine i rogoza kreću se do 20 mg/kg (Marschner 2012). Izmerene vrednosti u uzorcima u ovom istraživanju se kreću u intervalu od 24 do 48 mg/kg što ukazuje na povećanu apsorpciju cinka.

Olovo. Koncentracije olova u rizomu, nadzemnim delovima rogoza i u tkivima podvodne resine su više od uobičajenih kritičnih koncentracija za biljke. U nekontaminiranim sredinama, vodene biljke usvajaju između 0.05 i 3 mg/kg Pb, a smatra se da pri koncentraciji od 5 mg/kg procesi fotosinteze i ćelijskog disanja bivaju inhibirani (Markert 1992). U metabolizmu biljaka, olovo nema značajnu ulogu i biljke kod kojih je prisutno usvajanje ovog metala mogu imati različite morfološke i fiziološke posledice toksičnosti olova (Dalmacija i Agbaba 2008).

Koncentracija olova u vodi bila je ispod praga detekcije. Olovo se u vodi Petničkog jezera nalazi samo u tragovima i voda nije zagađena njim. Međutim, sediment sadrži određene koncentracije ovog metala (slika 7), a to se može objasniti time što se olovo gotovo u potpunosti adsorbira za čestice sedimenta (Dalmacija i Agbaba 2008).

Zaključak

U ovom istraživanju u uzorcima vode Petničkog jezera izmerene su koncentracije mangana i bakra veće od maksimalno dozvoljenih, za razliku od prethodnog istraživanja iz 2002. godine. Preporučuje se dalje praćenje koncentracija

ovih metala kako bi se utvrdile dugotrajne posledice zagađenja na životnu sredinu.

U vodi nije zabeleženo prisustvo olova, jer se skoro u potpunosti adsorbuje za čestice sedimenta. Međutim, u svim ostalim uzorcima detektovane su visoke koncentracije ovog metala. Potencijalne posledice na ispitivane biljke, kao i uticaj tih poremećaja na okolnu sredinu, poželjno je ispitati u budućnosti.

Bioakumulacija kobalta, nikla i cinka se vrši u podvodnoj resini i podzemnim delovima rogoza, dok sama biljka ograničava transport ovih metala u nadzemne delove. Mehanizme transporta i akumulacije treba ispitati, s obzirom da ove biljke imaju bioremedijacijski potencijal.

Literatura

- Agarwal S. K. 2009. *Heavy Metal Pollution*. New Delhi: APH Publishing
- Aksoy A., Demirezen D., Duman F. 2005. Bioaccumulation, detection and analyses of heavy metal pollution in Sultan marsh and its environment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 164: 241.
- Allan J. E. 1971. *The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy*. Hamilton: Ruakura Soil Research Station Varian Techtron
- APHA 1989. APHA Standard methods for the Examination of water and wastewater, 16th Edition
- Bagchi S. S. 2013. Assessment of bioaccumulation of metal by *Typha latifolia* growing on ash pond of Koradi thermal power station. *International Journal of Chemical Sciences*, 11 (2): 1005.
- Carranza-Álvarez C., Alonso-Castro A. J., Alfaro-De La Torre M. C., García-De La Cruz R. F. 2008. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosí, México. *Water, Air and Soil Pollution*, 188 (1-4): 297.
- Dalmacija B., Agbaba J. 2008. *Zagađujuće materije u vodenom ekosistemu i remedijacioni procesi*. Novi Sad: Prirodno matematički fakultet, Departman za hemiju
- DiTomaso J. M., Healy E. A. 2003. *Aquatic and Riparian Weeds of the West*. University of California, Agricultural and Natural Resources, str. 78
- Echevaria G., Massoura S. T., Sterckeman T., Becquer T., Schwartz C., Morel J. L. 2006. Assessment and control of the bioavailability of nickel in soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25 (3): 643.
- Foy C. D., Chaney R. L., White M. C. 1978. The Physiology of Metal Toxicity in Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 29: 511.
- Grujić D., Purjakov S., Klajić Ž. 2002. Teški metali u tkivima žutooke *Rutilus rutilus* kao indikator zagađenja vode Petničkog jezera. *Petničke sveske*, 55: 102.
- Jakovljević M., Pantović M. 1991. *Hemija zemljišta i voda*. Beograd: Naučna knjiga
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants (2nd ed.)*. Boca Raton, FL: CRC Press, str. 365.
- Keskinkan O., Goksu M. Z. L., Basibuyuk M., Forster C. F. 2004. Heavy metal adsorption of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). *Bioresource Technology*, 92: 197.
- Lombardi L., Sebastiani L. 2005. Copper toxicity in *Prunus cerasifera* growth and antioxidant enzymes response of in vitro grown plants. *Plant Science*, 168: 797.
- Markert B. 1992. Presence and Significance of Naturally Occuring Chemical Elements of the Periodic System in the Plant Organism and Consequences for Future Investigations on Inorganic Environmental Chemistry in Ecosystems. *Vegetation*, 103: 1.
- Marschner H. 2012. *Mineral nutrition of higher plants, 3rd edition*. Academic Press
- Popović Ž. 2002. Ispitivanje teških metala u dominantnim vodenim makrofitama Petničkog jezera. *Petničke sveske*, 54: 117
- Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za*

navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja. Službeni glasnik RS, br. 23/94

Rezvani M., Zaefarian F. 2011. Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in *Aeluropus littoralis*. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, **2** (4): 114.

Sasmaz A., Obek E., Hasar H. 2008. The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological Engineering, ecological engineering*, **33**: 278.

Seregin I. V., Kozhevnikova A. D. 2006. Physiological Role of Nickel and its Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plants Physiology*, **53** (2): 257.

Sun Y., Guo H., Yu H., Wang X., Wu J., Xue Y. 2008. Bioaccumulation and physiological effects of tetrabromobisphenol A in coontail *Ceratophyllum demersum* L. *Chemosphere*, **70**: 1787.

Šundić D., Radujković B. 2012. *Zagađenje Skadarskog jezera*. Podgorica: NGO Green Home

Ye Z. H., Whiting S. N., Lin Z-Q., Lytle C. M., Qian J. H., Terry N. 2001. Removal and Distribution of Iron, Manganese, Cobalt, and Nickel within a Pennsylvania Constructed Wetland Treating Coal Combustion By-Product Leachate. *Journal of environmental quality*, **30**: 1464.

Ye Z. H., Baker A. J. M., Wong M. H., Willis A. J. 1997. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia*, *New Phytologist*, **136** (3): 469.

Yruela I. 2005. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, **17** (1): 145

Yurukova L., Kochev K. 1994. Heavy Metal Concentration in Freshwater Macrophytes from the Aldomirovsko Swamp in Sofia District, Bulgaria. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **52**: 627.

Milica Ješić and Silvija Milosavljević

Heavy Metals Uptake of Bulrush (*Typha latifolia* L.) and Rigid Hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) from Petnica Lake

Bulrush (*Typha latifolia* L.) and rigid hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) are water plants reported to successfully absorb heavy metals and grow on industrially polluted terrain. For these reasons, they are considered potential bioaccumulators and phytoremediators. The aim of this research is to determine the concentrations of selected heavy metals (Co, Ni, Pb, Cd, Zn, Cu and Mn) in the water, the sediment, and the plant tissue of rigid hornwort (*Ceratophyllum demersum*) as well as in shoots and roots of bulrush (*Typha latifolia* L.) from Petnica lake. Detected concentrations of Mn and Cu in water were higher than the legally allowed concentrations. Sediment samples showed higher concentrations of all tested metals than water samples. In *T. latifolia* metal concentrations rise from roots to shoots considerably. Metal concentrations in the hornwort indicate increased uptake. Considering the toxicity of heavy metals and the pollution they cause, it is important to determine their amount in organisms and in the environment as well, in order to find potential methods for reducing the pollution. 