

UNIVERZITET U BEOGRADU

Nevena M. Čule

**FITOREMEDIJACIJA ZAGAĐENIH VODA
BILJKOM *Canna indica* L. I ODABRANIM
DEKORATIVNIM MAKROFITAMA**

doktorska disertacija

Beograd, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE

Nevena M. Čule

**PHYTOREMEDIATION OF POLLUTED
WATER BY PLANT *Canna indica* L. AND
SELECTED DECORATIVE
MACROPHYTES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

Mentori:

Dr Dragica Vilotić, redovni profesor, Univerziteta u Beogradu Šumarskog fakulteta.

Dr Zorica Sredojević, redovni profesor, Univerziteta u Beogradu Poljoprivrednog fakulteta.

Komisija:

Dr Srđan Bojović, naučni savetnik Univerziteta u Beogradu Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“.

Dr Milorad Veselinović, viši naučni saradnik Instituta za šumarstvo u Beogradu.

Dr Marko Ivetić, redovni profesor Univerziteta u Beogradu Građevinskog fakulteta.

Datum odbrane doktorata _____
(dan, mesec, godina)

To make something special you just have to believe it's special - Mr. Ping

... Maši i Fići

Mnogo je divnih ljudi pomoglo u izradi ove doktorske disertacije i ovim putem želim da im se svima zahvalim kako na stručnoj tako i na moralnoj podršci.

Posebnu zahvalnost dugujem prof. dr Dragici Vilotić, svojoj mentorki, na stručnoj pomoći u okviru svoje oblasti, sugestijama i usmeravanju tokom istraživanja. Hvala na poverenju i slobodi koju ste mi je pružili tokom izrade doktorske disertacije, savetima, brizi i velikoj podršci.

Posebnu zahvalnost dugujem i prof. dr Zorici Sredojević, svojoj mentorki, koja mi je pomogla svojom stručnošću, savetima i podrškom kada mi je bilo najteže i kada sam mislila da neću uspeti da se izborim sa za mene novom oblašću nauke, kao što je ekonomija. Hvala na nesebičnoj pomoći, jasnim objašnjenjima i podstreku za dalja razmišljanja u okviru oblasti koja nije bila moja izvorna oblast istraživanja.

Posebno se zahvaljujem dr Srđanu Bojoviću za nezamenljivu pomoć tokom obrade i analize velikog broja podataka, koje su doprinele jasnom i sistematičnom prikazivanju rezultata. Hvala na vremenu koje ste mi posvetili, lepim rečima, podršci i bodrenju tokom izrade ove doktorske disertacije.

Posebno se zahvaljujem dr Miloradu Veselinoviću na svim stručnim savetima, pomoći tokom postavljanja i izvođenja oglada u laboratoriji, pronalaženju vremena za pregled i diskusiju napisane doktorske disertacije kao i za sve komentare i primedbe koje su poboljšale njen kvalitet. Hvala na prijateljskoj podršci, entuzijazmu, pozitivnom stavu i postavljanju izazova tokom svih ovih godina.

Posebno se zahvaljujem dr Marko Ivetiću za svu pomoć, a prvenstveno za veliko razumevanje i poverenje tokom doktorskih studija i izrade ove disertacije. Hvala na iskrenosti, pozitivnom stavu i dobronamernosti koju ste mi pružili.

Veliku zahvalnost dugujem dr Ljubinku Jovanoviću, koji mi je širom otvorio vrata po završenim osnovnim studijama i uveo me u fascinantn svet fitoremedijacije. Hvala na velikoj stručnoj pomoći i prijateljskoj podršci tokom svih ovih godina.

Zahvaljujem se direktoru Instituta za šumarstvo, dr Ljubinku Rakonjcu i svim kolegama, koji su pomogli u izradi ove doktorske disertacije.

Posebno se zahvaljujem dr Zoranu Miletiću na neizmernoj pomoći u okviru svoje stručnosti i spremnosti da mi uvek izađe u susret, ostavi sve svoje poslove i odgovori na svih 1000 pitanja koje sam imala. Hvala za strpljenje, pozitivnu energiju, ideje i veliku podršku.

Veliku zahvalnost dugujem dr Dragani Dražić, koja mi je pružala stručnu i prijateljsku pomoć kako bih prevazišla sve poteškoće na koje sam nailazila tokom izrade ove doktorske disertacije. Hvala za iskrenu brigu, veliko razumevanje, smeh i podršku tokom svih ovih godina.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Suzani Mitrović na stručnoj pomoći, u okviru svoje oblasti istraživanja, tokom postavljanja i izvođenja ogleda u laboratoriji, pripremi uzoraka za dalju analizu, pripremi crteža za štampu, kako i konstruktivnim savetima u finalnoj fazi izrade teze. Hvala za prijateljsku podršku, šetnje, pauze i novootkriveni pozdrav.

Zahvalnost dugujem i kolegama dr Aleksandru Lučiću i dr Vladanu Popoviću na stručnoj pomoći prilikom osmišljavanja i izvođenja ogleda u biološkom sistemu i analize uzoraka u laboratoriji.

Zahvaljujem se koleginicama dipl.inž. Ivani Živanović, Suzani Dačić, Jeleni Jeremić i Rajki Domuzin na pomoći tokom pripreme i analize uzoraka u laboratoriji.

Zahvaljujem se dr Miroslavu Nikoliću na prvim smernicama za rada u laboratoriji davne 2004. godine, koje su mi koristile tokom različitih analiza u okviru izrade ove doktorske teze, kao i dr Ljiljani Kostić Kravljanac, Jeleni Pavlović, Nenadu Steviću i Predragu Bosniću na pomoći oko pripreme uzoraka za dalju analizu. Zahvalnost dugujem Marini Rašeti za podstrek i svu pomoć, koju mi je pružila tokom doktorskih studija i izrade teze.

Zahvalnost dugujem Goranu Trivanu, sekretaru Sekretarijat za zaštitu životne sredine Grada Beograda, koji je omogućio da se ova doktorska disertacija delom realizuje kroz projekat „Revitalizacija Topčiderske reke biološkim sistemima za prečišćavanje zagađenih voda“, kao i Vesni Šabanović i Nataši Đokić, koje su od početka verovala u ovaj projekat, a svojom pozitivnom energijom i nesebičnim zalaganjem olakšavale prevazilaženje svih prepreka na koje smo usput nailazili.

Zahvaljujem se Mr Aljoši Tanaskoviću i kolegama iz Gradskog zavoda za javno zdravlje na pomoći oko uzorkovanja vode i analize njenih fizičko-hemijskih i mikrobioloških osobina.

Posebno želim da se zahvalim dipl. inž. Mariji Nešić na svim stručnim savetima i pomoći, koje mi je pružila u okviru svoje oblasti istraživanja tokom postavljanja prvih eksperimenata, rada u laboratoriji, obrade dobijenih podataka i uobličavanja krajnjeg teksta doktorske disertacije. Hvala na svim zajedničkim neprospavanim noćima, breskvama i bezuslovnoj sestrinskoj ljubavi i podršci.

Neizmernu zahvalnost dugujem svojim roditeljima Vesni Nešić i dr Milanu Nešiću, koji su me naučili šta znači biti dobar čovek i koji mi celog života pružaju bezgraničnu ljubav, podršku i mesto gde mogu da se sakrijem kada je najteže. Zahvaljujem se i Ljubici Borkovački što je čuvala moje momke dok nisam bila tu, kao i na tolerantnosti i razumevanju, koje mi je pružila u ovom periodu.

I na kraju, želim da se zahvalim Marku i Filipu, koji mi ulepšavaju život svaki dan, koje volim najviše na svetu i koje smatram svojim najvećim uspehom.

FITOREMEDIJACIJA ZAGAĐENIH VODA BILJKOM *Canna indica* L. I ODABRANIM DEKORATIVNIM MAKROFITAMA

Rezime

Multidisciplinarna istraživanja u ovom radu su usmerena ka iznalaženju ekološki prihvatljivog, efikasnog i ekonomski isplativog rešenja za tretman i revitalizaciju vodenih površina i vodotokova zagađenim antropogenim uticajima. Cilj ovog istraživanja je određivanje fitoremedijacionog potencijala dekorativne biljke *Canna indica* L. (kana) u laboratorijskim uslovima, kako i određivanje fitoremedijacionog potencijala ove vrste i odabranih makrofita - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (syn. *Phragmites communis* Trin., trska), *Iris pseudacorus* L. (barska perunika), *Iris sibirica* 'Perry's Blue' (sibirska perunika), *Alisma plantago - aquatica* L. (vodena bokvica), *Lythrum salicaria* L. (potočnjak) i *Menyanthes trifoliata* L. (grčice) u okviru biološkog sistema za prečišćavanje zagađenih voda. Na osnovu dobijenih rezultata u okviru ove faze istraživanja, kao i određivanja efikasnosti biološkog sistema za uklanjanje različitih polutanata iz zagađene vode i prethodnih saznanja, dat je model Sistema plutajućih ostrva, koji bi nadalje mogao da se koristi na rekama, jezerima i barama. U okviru poslednje faze istraživanja utvrđeni su ekološki efekti, definisan je ekonomski model i dati su parametri efikasnosti predloženog modela Sistema plutajućih ostrva za primenu u praksi.

Rezultati ispitivanja fitoremedijacionog potencijala vrste *Canna indica* L. u laboratorijskim uslovima su pokazali da kana usvaja značajne količine olova (Pb) pri različitim koncentracijama Pb u medijumu za gajenje i da pri tome reguliše usvajanje Pb tako da koncentracija ciljanog metala u biljnom tkivu odražava njegove koncentracije u medijumu za gajenje. Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da se sadržaj Pb u biljnim tkivima povećava sa povećanjem vremena izloženosti kane ispitivanom teškom metalu i da biljka limitira translokaciju Pb iz korena u nadzemne delove nezavisno od koncentracije Pb u medijumu za gajenje. Zbog izuzetno malog faktora translokacije koncentracija Pb u podzemnoj biomasi kane je i do 90 puta veća u odnosu na akumulaciju Pb u nadzemnoj biomasi. Istraživanja su pokazala i da je kana dobar akumulator u skladu sa svojom sposobnošću da usvaja, akumulira i toleriše različite koncentracije Pb u svojim tkivima i da je pri tome tolerantna na visoke koncentracije Pb

u medijumu za gajenje. Zaključeno je da promene u usvajanju različitih mikro- i makro-nutrijenata iz hranljivog rastvora pod uticajem visoke koncentracije Pb, kao i visok sadržaj Pb u medijumu za gajenje ne utiču na inhibiciju biomase kane, već da kana brzo raste u kontaminiranom medijumu i pri tome stvara veliku količinu biomase i gust korenov sistem. Tokom eksperimentalnog perioda konstatovano je da je zasnivanje kane iz rizoma i njeno gajenje vrlo jednostavno. Na osnovu ovoga može da se zaključi da je vrsta *C. indica* dobar kandidat za biološko prečišćavanje voda zagađenih Pb.

Rezultati ispitivanja fitoremedijacionog potencijala biljke *Canna indica* L. i odabranih dekorativnih makrofita u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda su pokazali da: vrsta *P. australis* ima dobar potencijal za uklanjanje Cr, Ni, Al i Zn, kao i As i Co; vrsta *C. indica* ima dobar potencijal za uklanjanje As i Mn, kao i Al, Ba i Sr; vrsta *I. pseudacorus* ima dobar potencijal za uklanjanje Al, Ba i Sr, kao i Mn i Ni; vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' ima dobar potencijal za uklanjanje Zn, Al i Sr, kao i Cr i Zn; vrsta *A. plantago - aquatica* ima dobar potencijal za uklanjanje Al, Co, Sr i Na, kao i Cr i Ba; vrsta *L. salicaria* ima dobar potencijal za uklanjanje Zn, kao i Ba, Co i Sr; vrsta *M. trifoliata* ima dobar potencijal za uklanjanje Na i Zn, kao i Al, Cr i Sr iz zagađene vode. Zaključeno je da postoje razlike u efikasnosti fitoremedijacije u zavisnosti od vrste odabranih biljaka, pa shodno tome vegetaciju plutajućih ostrva treba da čini biljni sklop različitih vrsta. Tokom eksperimentalnog perioda translokacija metala od interesa iz podzemne biomase u nadzemnu biomasu je bila limitirana ili izuzetno mala. Sve ispitivane vrste, osim *M. trifoliata* su u biološkom sistemu rasle brzo i pri tome su stvarale znatnu količinu podzemne i nadzemne biomase. Pri tome je vrsta *C. indica* ostvarila najveću produkciju biomase u odnosu na sve ostale vrste, a vrsta *L. salicaria* je ostvarila najveću produkciju biomase u odnosu na ostale dekorativne makrofite. Rezultati ovih istraživanja su pokazali i da su sve ispitivane vrste otporne na različite ekološke uslove sredine, štetočine i bolesti, a da vrsta *C. indica* ima veliku regenerativnu sposobnost. Sve ispitivane vrste su tolerantne na širok spektar polutanata. Zasnivanje biljaka, njihovo presađivanje u biološki sistem i održavanje vegetacije plutajućih ostrva je jednostavno. Na osnovu ovoga može da se zaključi da su sve odabrane vrste u biološkom sistemu, osim vrste *M. trifoliata*, dobri kandidati za biološko prečišćavanje zagađenih voda. Iako je vrsta *M. trifoliata* usvajala znatne količine metala od interesa, ona u ovim istraživanjima nije okarakterisana kao biljka sa

dobrim fitoremedijacionim potencijalom, jer je tokom vegetacionog perioda proizvela izuzetno malu biomasu.

Rezultati ispitivanja efikasnosti biološkog sistema sa plutajućim ostrvima za prečišćavanje zagađenih voda su pokazali da je uliv u biološki sistem na osnovu sadržaja većine polutanata, koji predstavljaju parametre za ocenu ekološkog statusa voda, okarakterisan kao voda lošeg (klasa V) i umerenog (klasa III) ekološkog statusa, a da je po prolasku vode kroz biološki sistem dobijena voda odličnog ekološkog statusa (klasa I). Tokom eksperimentalnog perioda zaključeno je da je biološki sistem dobra sredina za rast odabranih vrsta biljaka i algi, kao i da one pored usvajanja različitih elemenata, u biološkom sistemu potpomažu druge fizičke, hemijske i biološke mehanizme za uklanjanje polutanata iz zagađenih voda. Pokrivenost bazena plutajućim ostrvima treba da bude manja od 100% kako bi se omogućila prirodna aeracija vode. Na osnovu ovoga može da se zaključi da je biološki sistem bio vrlo efikasan u uklanjanju različitih polutanata iz zagađene vode. Uz manje modifikacije biološki sistem sa plutajućim ostrvima bi mogao da ima još veću efikasnost.

Rezultati istraživanja su pokazali da je predloženi Sistem plutajućih ostrva tehnologija koja, uz očuvanje i održivost prirodnih resursa omogućava dostizanje ekološkog optimuma, a s obzirom da ne iziskuje visoka investiciona ulaganja, u dužem vremenskom periodu omogućava kvantitativne i kvalitativne ekonomske, socijalne i druge efekte, pa je i ekonomski prihvatljiva. Zaključeno je da implementacija ove tehnologije u praksi može da obezbedi prečišćavanje otpadnih i zagađenih voda na osnovu prirodnih procesa bez upotrebe različitih hemijskih materija i dodatnih izvora energije. Predloženi Sistem plutajućih ostrva ima veću prilagodljivost za različite slučajeve korišćenja u odnosu na druge alternativne sisteme za tretman zagađenih voda. Za razliku od ustaljene tehnologije prečišćavanja voda Sistem plutajućih ostrva na kraju tretmana stvara redukovani sadržaj otpada, koji može da posluži kao sirovina za druge tehnologije i da na taj način omogući stvaranje dodatnog profita. Postavljanje Sistema plutajućih ostrva u okviru reka, jezera i bara može da omogući reklamaciju i ponovno korišćenje voda, hranljivih materija i različitih bioloških resursa, kao i obnavljanje nekadašnjeg biodiverziteta. Tokom istraživanja je primećeno da je najveća prepreka za implementaciju Sistema plutajućih ostrva, kao alternativnih bioloških sistema za prečišćavanje zagađenih i otpadnih voda to što oni nisu prepoznati u zakonima i drugim

relevantnim propisima Republike Srbije. Zaključeno je da je neophodno razviti odgovarajuću ili modifikovanu metodu za kvantitativno vrednovanje koristi od korišćenja Sistema plutajućih ostrva, pri čemu se prvenstveno misli na vrednovanje ekosistemskih usluga i ekoloških aspekata ovih sistema. Kao krajnji rezultat istraživanja dat je ekonomsko - finansijski model i SWOT analiza, koji mogu da se koriste kao osnova za analizu bilo kog investiranja u Sistem plutajućih ostrva u praksi. S obzirom na višestruke efekte, ovakva tehnologija je od opšteg društvenog značaja, a s obzirom na dosta niska investiciona ulaganja u odnosu na ulaganja u druge tehnologije za prečišćavanje vode i sa aspekta investitora, sistem plutajućih ostrva je ekonomski opravdana investicija.

Ključne reči: fitoremedijacija, *Canna indica* L., makrofite, biološki sistemi, plutajuća ostrva, ekološka održivost, investicija, opšti interes, ekonomska opravdanost

Naučna oblast: Interdisciplinarne, multidisciplinarne i transdisciplinarne nauke (IMT)

Uža naučna oblast: Urbana ekologija, Šumarska botanika i anatomija drveta, Troškovi i kalkulacije

UDK broj: 528.548.25:502.171:502.51(28):336.532(043.3)

PHYTOREMEDIATION OF POLLUTED WATER BY PLANT *Canna indica* L. AND SELECTED DECORATIVE MACROPHYTES

Abstract

Multidisciplinary research in this paper was concentrated on finding environmentally friendly, efficient and cost-effective solutions for the treatment and revitalization of rivers and lakes contaminated by anthropogenic influences. The aim of this study was to determine the phytoremediation potential of decorative plants *Canna indica* L. (Indian shot) in laboratory conditions as well as determination of phytoremediation potential of this species and selected macrophytes - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (syn. *Phragmites communis* Trin., Common reed), *Iris pseudacorus* L. (Yellow iris), *Iris sibirica* 'Perry's Blue' (Siberian iris), *Alisma plantago - aquatica* L. (Common water-plantain), *Lythrum salicaria* L. (Purple loosestrife) and *Menyanthes trifoliata* L. (Bogbean) in biological system for the treatment of polluted water. The model of System with floating islands was given based on the results obtained in this phase of research, and determining the efficiency of the biological system to remove various pollutants from contaminated water and previous findings. Furthermore this model could be used on rivers, lakes and ponds. The environmental effects were identified, the economic model was defined and the parameters of efficiency of the proposed model of System with floating islands for use in practice were given within the last phase of the research.

The results obtained by determining phytoremediation potential of decorative plant *C. indica* in laboratory conditions showed that Indian shot can accumulate significant amounts of lead (Pb) when grown in various concentrations of Pb in the culture medium and thereby regulate the uptake of Pb so that the concentration of the targeted metal in plant tissue reflects its concentration in culture medium. The following conclusions can be drawn from present study - the content of Pb in plant tissue increased with time of exposing *C. indica* to tested heavy metal and that the plant limited Pb translocation from root to shoot independently of Pb concentration in culture medium. Due to the extremely low translocation factor Pb concentration of below-ground biomass was up to 90 folds higher compared to the Pb content in above-ground biomass. This study has shown that *C. indica* is good accumulator in accordance with its capacity to uptake,

accumulate and tolerate different concentrations of Pb in its tissues and that this plant is tolerant to high concentrations of Pb in the culture medium. It was concluded that changes in various micronutrients and macronutrients uptake from nutrient solution under the influence of high Pb concentrations, and high Pb content in the culture medium did not affect the inhibition of *C. indica* biomass. Indian shot was rapidly growing in contaminated media and formed a large amount of biomass and dense root system. During the experimental period it was noted that the establishment of *C. indica* from rhizomes, and its cultivation was very simple. Based on all these results it can be concluded that the species *C. indica* is a good candidate for biological treatment of water polluted with Pb.

The results obtained by determining phytoremediation potential of *C. indica* and selected decorative macrophytes in a biological system for the purification of polluted water showed that: species *P. australis* has a good potential for the removal of Cr, Ni, Al and Zn, as well as As and Co; species *C. indica* has a good potential for the removal of As and Mn, as well as Al, Ba and Sr; species *I. pseudacorus* has a good potential for the removal of Al, Ba and Sr, as well as Mn i Ni; species *I. sibirica* 'Perry's Blue ' has a good potential for the removal of Zn, Al and Sr, as well as Cr and Zn; species *A. plantago - aquatica* has a good potential for the removal of Al, Co, Sr and Na, as well as Cr and Ba; species *L. salicaria* has a good potential for the removal of Zn, as well as Ba, Co and Sr; species *M. trifoliata* has a good potential for the removal of Na and Zn, as well as Al, Cr and Sr from polluted water. It was concluded that there are differences in the efficiency of phytoremediation depending on the type of selected plants and that consequently vegetation of floating islands should comprise of mixed plantings of selected species. During the experimental period translocation of targeted metals from below-ground to above-ground biomass was limited or very low. All studied species, except *M. trifoliata* grew quickly in a biological system and thus created a considerable amount of below-ground and above-ground biomass. Species *C. indica* achieved the highest biomass production as compared to other species, while *L. salicaria* achieving the highest biomass production as compared to other decorative macrophytes. The results of this study showed that all tested species were resistant to different environmental conditions, pests and diseases, and that *C. indica* had a great regenerative ability. All tested species were also tolerant to a wide range of pollutants. Establishment

of plants, their transplanting to a biological system and maintenance of floating islands vegetation were easy. Based on all these results it can be concluded that all selected species in a biological system, except *M. trifoliata*, are good candidates for biological treatment of polluted water. Even though *M. trifoliata* accumulated substantial amounts of targeted metals, this species is not characterized as a plant with a good phytoremediation potential in these studies, because it generated very small biomass during the vegetation period.

The results obtained by determining efficiency of biological system with floating islands in treating polluted water showed that effluent into the biological system was classified as water with poor (Class V) and moderate (Class III) ecological status and that tested water at the outlet of biological system was characterised as water with excellent ecological status (Class I) based on the content of most of pollutants, which are the parameters for assessing the ecological status of waters. During the experimental period, it was concluded that the biological system was a good environment for the growth of selected plant species and algae. Plants and algae support the other physical, chemical and biological mechanisms for removal of pollutants from contaminated water in addition to accumulate the different metals in a biological system. The coverage of the biological system cell by floating islands should be less than 100% in order to facilitate natural aeration of water. Based on all these results it can be concluded that the biological system with floating islands was very efficient in removing various pollutants from contaminated water and with minor modifications it could have even greater performance.

The results showed that the proposed System with floating islands is a technology that allows the achievement of ecological optimum with addition to the conservation and sustainability of natural resources. Since it does not require high investments, over a longer period of time proposed System with floating islands allows the quantitative and qualitative economic, social and other effects, so it is also economically acceptable. It was concluded that the implementation of this technology in practice can ensure treatment of polluted water based on natural processes without the use of various chemical substances and additional sources of energy. The proposed System with floating islands has greater flexibility for different cases in relation to other alternative systems for the treatment of polluted water. Unlike the conventional technology for

water purification System with floating islands creates a reduced content of the waste at the end of treatment, which can serve as raw material for other technologies and thus facilitate the creation of additional profits. The implementation of the System with floating islands within the rivers, lakes and ponds may allow reclamation and reuse of water, nutrients and various biological resources, and restore the former biodiversity. During the research it was noted that the major obstacle to the implementation of the System with floating island, as well as other alternative biological system for the purification of polluted water is that they are not recognized by the laws and other relevant regulations of the Republic of Serbia. It was concluded that it is necessary to develop an appropriate or a modified methodology for the quantitative evaluation of the benefits from the use of floating islands, with the emphasis of the evaluation of ecosystem services and environmental aspects of these systems. The economic and finance model as well as SWOT analysis were given as a final result of this research which can be used as a basis for the analysis of any investment in a system with floating islands in practice. Given the multiple effects this technology is of general public importance. Considering the fairly low investments compared to investments in other technologies for water treatment and from the aspect of the investor system of floating islands is economically justified investment.

Key words: phytoremediation, *Canna indica* L., macrophytes, biological systems, floating islands, environmental sustainability, investment, general interest, economic justification

Scientific field: Interdisciplinary, multidisciplinary and transdisciplinary science

Scientific discipline: Urban ecology, Forest botany and anatomy of wood, Costs and calculations

UDC number: 528.548.25:502.171:502.51(28):336.532(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Definisanje terminologije.....	1
1.2. Pregled dosadašnjih istraživanja	2
1.2.1 Problem zagađivanja voda različitim kategorijama polutanata	2
1.2.2 Teški metali.....	4
1.2.3 Teški metali i ljudsko zdravlje	5
1.2.4 Teški metali i biljke i njihova uloga u fitoremedijaciji zagađenih voda.....	6
1.2.5 Načini uklanjanja polutanata iz otpadnih i zagađenih voda.....	9
1.2.6 Fitoremedijacija	10
1.2.7 Rizofiltracija zagađenih voda	11
1.2.8 Prednosti i nedostaci fitoremedijacije zagađenih voda.....	13
1.2.9 Fotosintetički pigmenti	15
1.2.10 Biljne vrste korišćene u istraživanjima	16
1.2.10.1 Biljka <i>Canna indica</i> L.....	16
1.2.10.2 Biljka <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	22
1.2.10.3 Biljka <i>Iris pseudacorus</i> L.	25
1.2.10.4 Biljka <i>Iris sibirica</i> 'Perry's Blue'	27
1.2.10.5 Biljka <i>Alisma plantago - aquatica</i> L.....	28
1.2.10.6 Biljka <i>Lythrum salicaria</i> L.	29
1.2.10.7 Biljka <i>Menyanthes trifoliata</i> L.....	31
1.2.11 Uloga algi u fitoremedijaciji zagađenih voda	32
1.2.12 Mogućnosti proizvodnje biomase iz zasada višegodišnjih zeljastih biljaka u biološkim sistemima.....	33
2. PREDMET ISTRAŽIVANJA	35
3. CILJ ISTRAŽIVANJA	36
4. POLAZNE HIPOTEZE	38
5. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA.....	39
5.1. Biljni materijal i uslovi gajenja.....	41
5.1.1 Eksperiment u laboratoriji	41

5.1.2	Eksperiment u biološkom sistemu	41
5.2.	Postavka eksperimenta.....	43
5.2.1	Eksperiment u laboratoriji	43
5.2.2	Eksperimenti u biološkom sistemu	44
5.3.	Uzorkovanje biljnog materijala	48
5.3.1	Eksperiment u laboratoriji	48
5.3.2	Eksperimenti u biološkom sistemu	49
5.4.	Uzorkovanje algi u biološkom sistemu.....	49
5.5.	Uzorkovanje supstrata u biološkom sistemu	50
5.6.	Uzorkovanje zagađene i prečišćene vode u biološkom sistemu	51
5.7.	Analiza fizičko-hemijskih i mikrobioloških osobina zagađene i prečišćene vode u biološkom sistemu	51
5.7.1	Određivanje sadržaja ukupnog azota, amonijaka, nitrata i nitrita u zagađenoj i prečišćenoj vodi.....	52
5.7.1.1	Koncentracija ukupnog azota (SRPS EN 12260:2008)	52
5.7.1.2	Koncentracija amonijaka	52
5.7.1.3	Koncentracija nitrata (SMEWW 19th m 4500-NO)	53
5.7.1.4	Koncentracija nitrita (SRPS EN ISO 26777:2009).....	53
5.7.2	Određivanje sadržaj ukupnog fosfora i ortofosfata u zagađenoj i prečišćenoj vodi.....	53
5.7.2.1	Koncentracija ukupnog fosfora (SRPS EN ISO 6878:2008).....	53
5.7.2.2	Koncentracija ortofosfata (SRPS EN ISO 6878:2008).....	54
5.7.3	Određivanje sadržaj ukupnog organskog ugljenika u zagađenoj i prečišćenoj vodi.....	54
5.7.4	Određivanje biološke potrošnje kiseonika u zagađenoj i prečišćenoj vodi	54
5.7.5	Određivanje hemijske potrošnje kiseonika u zagađenoj i prečišćenoj vodi	55
5.7.6	Određivanje provodljivosti, pH, rastvorenog kiseonika, stepena zasićenosti kiseonikom i temperature zagađene i prečišćene vode.....	55
5.7.6.1	Rastvoreni kiseonik i stepen zasićenosti kiseonikom (SRPS EN 25814:2009).....	55
5.7.6.2	pH (ISO 10523:2013)	56
5.7.6.3	Elektroprovodljivost	56

5.7.7	Određivanje brojnosti streptokoka fekalnog porekalo VDM 0213 (VDM - validovana dokumentovana metoda).....	56
5.7.8	Određivanje brojnosti koliformnih bakterija fekalnog porekla i ukupnih koliformnih bakterija (SRPS H.Z1.309:2010).....	56
5.8.	Određivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi u biološkom sistemu.....	57
5.9.	Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz biljnih tkiva i algi	58
5.9.1	Ekspiriment u laboratoriji	58
5.9.2	Ekspirimenti u biološkom sistemu	58
5.10.	Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz supstrata u biološkom sistemu	58
5.11.	Određivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u biljnim tkivima, algama i supstratu	59
5.11.1	Ekspiriment u laboratoriji	59
5.11.2	Ekspirimenti u biološkom sistemu	60
5.12.	Određivanje potencijala biljke <i>Canna indica</i> L. u eksperimentu u laboratoriji da usvaja ciljani element iz zagađene sredine	60
5.13.	Određivanje potencijala biljke <i>Canna indica</i> L. u eksperimentu u laboratoriji da translocira usvojeni element iz korena u svoje nadzemne delove	61
5.14.	Određivanje sadržaja elemenata ishrane u asimilacionim organima biljke <i>Canna indica</i> L. u eksperimentu u laboratoriji	62
5.14.1	Određivanje ukupnog azota u asimilacionim organima.....	62
5.14.2	Određivanje ukupnog fosfora, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma i sumpora u asimilacionim organima	63
5.15.	Ispitivanje parametara rasta biljke <i>Canna indica</i> L. u eksperimentu u laboratoriji	63
5.16.	Ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze kod biljaka u biološkom sistemu	66
5.17.	Procena dobijene biomase biljaka u biološkom sistemu.....	68
5.18.	Biotehnički i ekonomski aspekti plutajućeg ostrva za fitoremedijaciju	68
5.18.1	Tehnički i biotehnološki parametri plutajućeg ostrva.....	68
5.18.2	Ekonomski parametri i opravdanost Sistema plutajućih ostrva za fitoremedijaciju.....	69

5.18.2.1	Pokazatelji Cost - Benefit analize	69
5.18.2.2	Ekonomsko-finansijski model sistema plutajućih ostrva.....	69
5.18.3	SWOT analiza sistema plutajućih ostrva	69
5.19.	Obrada podataka	69
6.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM	72
6.1.	Istraživanje fitoremedijacionog potencijala biljke <i>Canna indica</i> L. u laboratorijskim uslovima	72
6.1.1	Usvajanje olova i drugih elemenata iz hranljivog rastvora u biljnim tkivima....	72
6.1.1.1	Usvajanje olova (Pb).....	72
6.1.1.2	Usvajanje bora (B).....	75
6.1.1.3	Usvajanje kalcijuma (Ca).....	76
6.1.1.4	Usvajanje bakra (Cu)	79
6.1.1.5	Usvajanje gvožđa (Fe)	81
6.1.1.6	Usvajanje kalijuma (K).....	83
6.1.1.7	Usvajanje magnezijuma (Mg).....	85
6.1.1.8	Usvajanje mangana (Mn).....	87
6.1.1.9	Usvajanje molibdena (Mo)	89
6.1.1.10	Usvajanje fosfora (P)	91
6.1.1.11	Usvajanje sumpora (S).....	93
6.1.1.12	Usvajanje cinka (Zn).....	95
6.1.2	Efekti tretmana na potencijal biljke da usvaja olovo iz medijuma za gajenje	97
6.1.3	Efekti tretmana na potencijal biljke da translocira olovo iz korena u svoje nadzemne delove	98
6.1.4	Sadržaja elemenata ishrane u asimilacionim organima biljke	98
6.1.5	Efekti tretmana na parametre rasta biljke	99
6.1.5.1	Biomasa	99
6.1.5.2	Alokacija biomase.....	101
6.1.5.3	Alokacija resursa.....	102
6.1.5.4	Asimilacioni organi.....	106
6.1.6	Verodostojnost postavljenih hipoteza vezanih za biljku <i>Canna indica</i> L. gajenu u laboratorijskim uslovima	109

6.2. Istraživanje fitoremedijacionog potencijala biljke <i>Canna indica</i> L. i odabranih dekorativnih makrofita u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda	117
6.2.1 Ispitivanje fizičko-hemijskih i mikrobioloških karakteristika zagađene i prečišćene vode.....	117
6.2.1.1 Fizičko-hemijske karakteristike zagađene i prečišćene vode	117
6.2.1.2 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi.....	121
6.2.1.3 Mikrobiološke karakteristike zagađene i prečišćene vode.....	127
6.2.2 Ispitivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u biljnim tkivima, algama i supstratu	129
6.2.2.1 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u biljnim tkivima...	129
6.2.2.2 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u algama	147
6.2.2.3 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u supstratu	151
6.2.3 Ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze	154
6.2.4 Procena dobijene biomase biljaka u biološkom sistemu.....	157
6.2.5 Verodostojnost postavljenih hipoteza vezanih za biljku <i>Canna indica</i> L. i dekorativne makrofite gajene u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda	165
6.3. Biotehnički i ekonomski aspekti plutajućih ostrva za fitoremedijaciju	193
6.3.1 Tehnički i biotehnološki parametri plutajućeg ostrva.....	193
6.3.2 Ekonomski parametri i opravdanost Sistema plutajućih ostrva za fitoremedijaciju.....	199
6.3.2.1 Pokazatelji Cost - Benefit analize	199
6.3.2.2 Ekonomsko-finansijski model Sistema plutajućih ostrva	206
6.3.3 SWOT analiza Sistema plutajućih ostrva	215
6.3.3.1 Snage.....	217
6.3.3.2 Slabosti.....	219
6.3.3.3 Šanse	221
6.3.3.4 Pretnje	223
6.3.3.5 Potencijalne strategije za izgradnju predloženog sistema plutajućih ostrva i njegovu primenu u praksi	225

6.3.4 Verodostojnost postavljenih hipoteza vezanih za ekonomsku isplativost i ekološku pogodnost Sistema plutajućih ostrva.....	226
7. ZAKLJUČAK.....	231
8. LITERATURA	235
9. PRILOZI.....	259

1. UVOD

1.1. Definisanje terminologije

BPK₅ (eng. BOD)- biološka potrošnja
kiseonika (mg/L)

HPK (eng. COD) - hemijska potrošnja
kiseonika (mg/L)

TOC - ukupan organski ugljenik (mg/L)

DO - rastvoreni kiseonik (mg/L)

SO - stepen zasićenosti kiseonikom (%)

EC - elektroprovodljivost (μS/cm)

BCF - biokoncentracioni faktor

TAR - stepen ukupne akumulacije
(mg/kg/danu)

TF - faktor translokacije

t - temperatura vode (C°)

S/R - odnos biomase nadzemnog dela
biljke i rizoma i biomase korena (g/g)

A/B - odnos biomase nadzemnog i
biomase podzemnog dela biljke (g/g)

NMF - maseni udeo nadzemnog dela
biljke (%)

PMF - maseni udeo podzemnog dela
biljke (%)

LMF - maseni udeo lista (%)

SMF - maseni udeo stabla (%)

RMF - maseni udeo rizoma (%)

KMF - maseni udeo korena (%)

Ir - procenat inhibicije rasta (%)

SLA - specifična lisna površina (m²/kg)

RLA - relativna lisna površina (m²/kg)

LA - površina listova (m²)

KBFP - koliformne bakterije fekalnog
porekla

UKB - ukupne koliformne bakterije

SFP - streptokoke fekalnog porekla

C0 - početak prvog eksperimenta

C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta

C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta

C3 - treći ciklus prvog eksperimenta

C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta

C_p - početak ciklusa drugog
eksperimenta

C_k - kraj ciklusa drugog eksperimenta

Ø - kontrola

PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin.
ex Steud.

CI - *Canna indica* L.

IP - *Iris pseudacorus* L.

IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue'

APA - *Alisma plantago - aquatica* L.

LS - *Lythrum salicaria* L.

MT - *Menyanthes trifoliata* L.

1.2. Pregled dosadašnjih istraživanja

1.2.1 Problem zagađivanja voda različitim kategorijama polutanata

Današnji trendovi i brzina razvoja industrije, urbanizacije i poljoprivrede dovode do sve većeg zagađivanja površinskih i podzemnih voda, a naročito reka (Nešić *et al.*, 2004). Izvori antropogenog zagađivanja voda obuhvataju: industrijske izlive, industrijski otpad, rudarske aktivnosti, topljenje metalnih ruda, proizvodnju energije i goriva, sagorevanje fosilnih goriva, saobraćajna sredstva, izduvne gasove, primenu mineralnih i organskih đubriva i pesticida, spiranje sa gradskih ulica i deponija, odlaganje komunalnog mulja na nepropisan način i drugo (Sekulić *et al.*, 2003; Blaylock i Huang, 2000; Cunningham *et al.*, 1997; Raskin *et al.*, 1994).

Industrija spada u grupu koncentrisanih izvora zagađivanja (Weiner i Matthews, 2003). Pored toga što koristi velike količine vode, ona je i jedan od najvećih izvora kontaminacije voda teškim metalima i drugim štetnim materijama. Izlivanje neprečišćene otpadne vode iz procesa proizvodnje direktno u reku može da podstakne dodatno oslobađanje teških metala, koji su istaloženi ili vezani u sedimentima, kroz promenu pH vrednosti vode ili da dovede do stvaranja novih jedinjenja sa metalima, koji zatim mogu nepovoljno da utiču na procese uklanjanja teških metala iz akvatične sredine (U.S. EPA, 2000). Tako na primer, prisustvo teških metala kao što su hrom (Cr), kadmijum (Cd) ili bakar (Cu) u otpadnim vodama čak i u izuzetno malim koncentracijama (0,1 mg/L) može da spreči pozitivno delovanje bakterija u prečišćavanju vode (Groudeva *et al.*, 2001).

Poljoprivreda i stočarstvo, takođe koriste velike količine vode i predstavljaju ozbiljnog zagađivača voda, jer je zagađivanje koje potiče iz ovih izvora rasuto (Weiner i Matthews, 2003). Sa poljoprivrednih polja se svakodnevno spira u reke, atmosferskim padavinama ili erozijom, velika količina zemljišta, pesticida i đubriva (mineralnog i organskog porekla), koji mogu da sadrže teške metale i druge štetne materije. Pesticidi i đubriva predstavljaju ozbiljne izvore zagađivanja, jer direktno ugrožavaju akvatičnu floru i faunu, bilo kroz hemijske materije, koje se unose u vodene tokove bilo kroz proces eutrofikacije.

Urbano ili komunalno zagađenje je koncentrisani izvor zagađenja, ukoliko se posmatra npr. izlivanje otpadnih voda iz domaćinstva putem kanalizacije direktno u reke ili otpadnih voda iz kišne kanalizacije, koje pored teških metala i drugih zagađujućih materija sa sobom nose i različiti čvrsti otpad. Ali ako se posmatra npr. spiranje (izazvano atmosferskim padavinama) ulja i drugih otpadaka, sa gradskih ulica ili deponija u reke, onda urbano zagađenje predstavlja rasuti izvor zagađenja i teže ga je kontrolisati (Weiner i Matthews, 2003). Komunalne otpadne vode predstavljaju ozbiljan izvor zagađivanja površinskih vodenih tokova, jer se najčešće putem kanalizacije ispuštaju direktno u reke, jezera ili mora. Značaj ovog problema se dodatno povećava ukoliko se zna da su upravo reke glavni izvor snabdevanja gradova vodom za piće. Kod većih naselja ove otpadne vode se često mešaju sa industrijskim otpadnim vodama (U.S. EPA, 2000) i kada dospeju u reke nanose ogromne štete akvatičnoj flori i fauni, onemogućavaju korišćenje vodenih površine u rekreativne svrhe, narušavaju celokupni ambijent rečne doline i drugo. U slučajevima kada su kanalizacioni sistem i sistem za odvođenje kišnice spojeni u jedan zajednički sistem, zagađenost komunalnih otpadnih voda se dodatno povećava, jer atmosferske padavine sa sobom nose i različite zagađujuće čestice iz vazduha (Davis, 2000). Komunalne otpadne vode sadrže: organske materije (biljnog i životinjskog porekla, koje potiču od hrane), neorganske materije (potiču od deterdženata, sapuna, raznih hemijskih jedinjenja koja se koriste u domaćinstvu, žive iz toplomera...), fiziološke izlučevine ljudi (sa sobom mogu da nose različite bakterije i viruse), ulične nečistoće, građevinski i drugi otpad (Degrémont, 1976). Organske materije, koje putem otpadnih voda dospevaju u rečne tokove, prvenstveno utiču na smanjenje količine rastvorenog kiseonika u vodi. S jedne strane one će biti prevođene u trajnija jedinjenja pomoću aerobnih bakterija, koje će trošiti kiseonik za svoj rad (Kadlec i Wallace, 2009). S druge strane povećanje sadržaja organske materije u vodi povoljno će uticati na razvoj algi i drugih akvatičnih biljaka, koje takođe za svoj rast troše velike količine rastvorenog kiseonika. Nedostatak kiseonika će pogubno delovati na populacije riba i druge akvatične organizme. Razlaganje organske materije, nastale odumiranjem flore i faune vodenih površine, biće ubrzano pod uticajem anaerobnih bakterija što će dovesti i do eutrofikacije voda (U.S. EPA, 2000). Različite neorganske materije i patogeni organizmi mogu da zagade rečne tokove i obale do te mere da ne mogu da se koriste ni za rekreaciju, a često ni za

jednostavno uživanje u šetnji s obzirom da je miris i izgled vode i priobalja jako neprijatan. Ponekad ni klasične metode prečišćavanja ovakvih voda ne mogu da obezbede potreban kvalitet, kako bi ona mogla kasnije da se koristi za piće (DeBusk, 1999a).

1.2.2 Teški metali

Teški metali, radionuklidi i drugi neorganski polutanti su jedna od preovlađujućih formi polutanata životne sredine i njihova remedijacija u zemljištu, sedimentima i vodama je dosta težak posao (U.S. EPA, 2000; Cunningham *et al.*, 1997). Za razliku od mnogih organskih polutanata većina teških metala ne može da se eliminiše hemijskom i biološkom transformacijom (Cunningham i Ow, 1996; NRC, 1997). U životnoj sredini oni mogu da se nađu u vrlo postojanim formama, koje mogu da predstavljaju potencijalne izvore zagađenja dugi niz godina (Stanković *et al.*, 2009). Kumar *et al.* (1995) navode da Pb može da ostane postojan i 150-5000 godina. Zbog toga, prvenstveno treba voditi računa o prevenciji unosa teških metala u životnu sredinu, ali i posvetiti značajan deo resursa pronalaženju odgovarajućih tehnologija za njihovo uklanjanje.

Teški metali se definišu kao grupa elemenata, čije specifične težine prelaze vrednost od 5 g/cm³ (Zenk, 1996), odnosno čiji je atomski broj veći od 20 (Sekulić *et al.*, 2003). Postoji oko 40 elemenata koji spadaju u ovu kategoriju (Zenk, 1996). Teški metali su i vrlo opasni, jer lako putuju kroz lanac ishrane i mogu da se nagomilavaju dugi niz godina u najvišim karikama ovog lanca (Kabata-Pendias, 2011) i da dovedu do ozbiljnih zdravstvenih problema kod viših organizama, uključujući i čoveka. Zbog svega ovoga se teški metali ubrajaju u veoma opasne zagađivače životne sredine (Šijačić-Nikolić *et al.*, 2011), ali i pored toga oni predstavljaju značajnu sirovinu za brojne industrijske grane.

Uopšteno govoreći nakupljanje teških metala u životnoj sredini može da bude posledica prirodnih procesa, kao što su litogeni i pedogeni procesi, pešćane oluje, šumski požari izazvani gromom i drugo ili može da bude rezultat zagađenja usled antropogenog dejstva (Sekulić *et al.*, 2003; Prasad i Freitas, 2003; Zenk, 1996). S obzirom da se ovi metali obično u Zemljinoj kori nalaze u mali koncentracijama problem je nastao kada su radnje kao što su rudarstvo i proizvodnja energije, kao i

poljoprivredne aktivnosti povećale koncentraciju ovih elemenata u nekada čistim područjima preko koncentracionih limita (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005). Kao posljedica toga neka mesta sadrže dovoljnu količinu esencijalnih elemenata kao što su Cr, Cu i Zn da dostignu toksične nivoe (Kramer, 2005). Zagađenje teškim metalima se oštro povećalo od 1900. godine i stvara ozbiljne probleme i za čoveka i životnu sredinu u celom svetu (Ensley, 2000). Na primer, koncentracija metala u vodi i sedimentima reka se povećala nekoliko hiljada puta zbog efluenta iz industrije i rudarstva (Prasad i Freitas, 2003). UNEP (*United Nations Environment Programme*) daje procenu da je ukupno 1150 miliona tona teških metala (Cu, Hg, Pb, Co, Zn, Cd, Cr) iskopao čovek od Kamenog doba, a da je godišnja proizvodnja 14 miliona tona sa godišnjim stepenom rasta od 3,4% (Matagi *et al.*, 1998).

Važno je napomenuti, da toksičnost jednog teškog metala, u smislu njegovog potencijala da prouzrokuje zagađenje, ne zavisi samo od njegove koncentracije u vodi već i od oblika u kome je prisutan. Dobro je poznato da su teški metali, izuzev Hg, više toksični u svojim jonskim formama dok su njihovi precipitovani i koordinativni oblici manje opasni (Matagi *et al.*, 1998). Zbog toga svi uslovi koji favorizuju stvaranje jona teških metala povećavaju i rizik od zagađenja vode. Precipitacija teških metala ili njihova apsorpcija na sedimentima i suspendovanim materijama predstavlja dugoročan rizik s obzirom da joni teških metala mogu naknadno da se oslobode ako se stvore povoljni uslovi (Dodkins i Mendzil, 2014).

1.2.3 Teški metali i ljudsko zdravlje

Teški metali ulaze u lanac ishrane, još u njegovim prvim karikama, a pri prelasku iz nižih trofičkih nivoa u više dolazi do njihove biomagnifikacije teških metala u prirodi (Dushenkov *et al.*, 1995). Čovek se nalazi na vrhu lanca ishrane i shodno tome potencijalne količine teških metala, koje može da unese u svoje telo su velike. Ove polutante ljudi unose u svoj organizam najčešće kroz konzumiranje hrane i vode. Deo metala, koji se nalazi u vidu čestica u vazduhu, može da se unese i kroz proces disanja. Problem predstavlja i dugo zadržavanje teških metala u telu, jer se oni iz organa u kojima se deponovani otpuštaju jako sporo (Moraes *et al.*, 2012). Teški metali, kao što je na primer olovo, se deponuju u krvotoku i centralnom nervnom sistemu, pri čemu u visokim koncentracijama mogu da izazovu ozbiljna oštećenja bubrega, nerava,

moždanog tkiva i drugih organa (Pattee i Pain, 2003). Deca su posebno osetljiva na toksične efekte teških metala (Moraes *et al.*, 2012).

1.2.4 Teški metali i biljke i njihova uloga u fitoremedijaciji zagađenih voda

Biljke za svoj normalan rast i razvoj koriste teške metale u vrlo malim količinama i pri tome neke od njih tretiraju kako mikro-nutirijente. U grupu esencijalnih elemenata ubrajaju se teški metali kao što su Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, Se i Co (Kamal *et al.*, 2004). Sekulić *et al.* (2003) navode da biljke mogu da imaju određene koristi i od usvajanja metala kao što su Cr i V. Problem nastaje kada se u otpadnim vodama ovi metal nađu u visokim koncentracijama ili kada se detektuju metali kao što su Cd, Hg, Pb, As, Tl i U, jer oni nemaju biološku vrednost za žive organizme, već su izuzetno toksični i u relativno malim koncentracijama (Kamal *et al.*, 2004; Sekulić *et al.*, 2003; DeBusk, 1999a). Kada dospeju u ćeliju biljke teški metali mogu da inhibiraju aktivnost različitih enzima, utiču na mineralnu ishranu i vodni balans, remete hormonski status, kao i strukturu membrana i njihovu propustljivost. Tada kod biljaka mogu da nastanu različiti simptomi toksičnosti kao što su usporeni rast, hloroza, odumiranje korenovog sistema i drugo (Sharma i Dubey, 2002). Međutim, neke vrste biljaka su tokom svoje evolucije uspele da razviju različite mehanizme tolerancije, koji su im omogućili da se odbrane od toksičnih uticaja metala. I upravo ih ovi mehanizmi čine pogodnim za korišćenje u različitim tipovima bioloških sistema za prečišćavanje zagađenih voda.

Biološko uklanjanje je gotovo najznačajniji proces eliminisanja polutanata u prirodnim i konstruisanim akvatičnim ekosistemima. Kada se govori o ovakvom načinu uklanjanja polutanata obično se misli na usvajanje nutrijenata (makro- i mikro-elemenata ishrane) od strane biljaka i algi i na metabolizam bakterija zahvaljujući kome se iz otpadnih voda eliminišu različite organske i neorganske materije (DeBusk, 1999a). Vegetacija obezbeđuje uklanjanje i skladištenje značajnih količina azota, amonijaka, fosfora i teških metala u akvatičnim ekosistemima.

Biljke igraju važnu ulogu pri uklanjanju teških metala, jer one ne usvajaju samo nutrijente iz kontaminiranih zemljišta i voda već mogu da apsorbuju i akumuliraju ove toksične elemente. U brojnim radovima različitih autora pokazano je da neke biljne vrste mogu da se koriste za fitoekstrakciju teških metala iz kontaminiranog zemljišta i vode (Rai *et al.*, 1995; Salt *et al.*, 1998; Sharma i Gaur, 1995; Cheng *et al.*, 2002a).

Postoje tri obrasca za usvajanje teških metala od strane biljaka: (1) stvarno isključivanje usvajanja štetnih elemenata pri kome se metalima ne dozvoljava ulazak u biljke, (2) isključivanje translokacije štetnih elemenata u nadzemne delove biljke, pri čemu se metali akumuliraju u korenu i (3) akumulacija pri kojoj se metali nagomilavaju u pojedinim biljnim delovima (Kamal *et al.*, 2004). Step en usvajanja metala od strane biljaka i njihova tolerantnost na metale je vrlo varijabilan i zavisi od biljne vrte, njenog genotipa, abiotičkih i biotičkih činioca i drugog (DeBusk, 1999b, Kastori *et al.*, 2006).

S obzirom da je fitoremedijacija tehnologija bazirana na biljkama, njena efikasnost će zavisi ti i od nekih osobina biljaka. Biljke koje se koriste za fitoekstrakciju moraju da budu tolerantne na zagađujuće materije koje se uklanjaju i moraju da budu efikasne u translokaciji apsorbovanih metala iz korena u nadzemne delove biljke, koji će se kositi (Blaylock i Huang, 2000). Pored toga biljka pogodna za fitoremedijaciju treba da poseduje i mogućnost brzog stvaranje velike biomase (Kumar *et al.*, 1995; Cunningham i Ow, 1996; Blaylock *et al.*, 1997). Neki istraživači smatraju da biljke za fitoremedijaciju treba da akumuliraju metale samo u svojim korenovima (Dushenkov *et al.*, 1995; Salt *et al.*, 1995; Flathman i Lanza, 1998). Dushenkov *et al.* (1995) su objasnili da bi translokacija metala u nadzemne izbojke smanjila efikasnost rizofiltracije povećavanjem količine ostataka kontaminiranih biljaka, koje bi morale da se odlažu. Nasuprot tome, Zhu *et al.* (1999) predlažu da se efikasnost procesa može povećati ako se koriste biljke koje imaju uvećanu sposobnost za apsorpciju i translokaciju metala u biljci. Dushenkov i Kapulnik (2000) navode još i da biljke koje se koriste za fitoremedijaciju treba da budu lake za rukovanje, da imaju male troškove održavanja i malo sekundarnih otpadaka koji zahtevaju odlaganje.

Neke od biljaka koje poseduju ove osobine su *Eichhornia crassiper* (Mart.) Solms. (vodeni zumbul), *Hydrocotyle umbellata* L. i *Lemna minor* L. (sočivica). Ipak, ove biljke imaju ograničeni potencijal za rizofiltraciju, jer nisu dovoljno efikasne u uklanjanju metala zbog relativno malog korena i njegovog sporog rasta (Dushenkov *et al.*, 1995). Isti autori navode i da veliki sadržaj vode u ovim biljkama komplikuje njihovo sušenje, kompostiranje ili spaljivanje. Zbog toga, terestrične biljke se smatraju pogodnijim za rizofiltraciju, jer imaju duže, jače i obično vlaknaste korenove sa velikom površinom za sorpciju metala. Tako na primer, koren vrste *Brassica juncea* Czern. ima veliku sposobnost usvajanja, a samim tim i uklanjanja Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn, dok *Zea*

mays L. odlično uklanja Pb, U, ^{137}Cs i ^{90}Sr iz vodenih rastvora (Dushenkov *et al.*, 1995, 1997). Naravno, ne postoji ni jedna biljna vrsta koja ima sve nabrojane, poželjne, osobine (Prasad i Freitas, 2003).

I pored ovih razlika u mišljenju, očigledno je da pravilna selekcija vrsta predstavlja ključ za osiguravanje uspeha rizofiltracije kao strategije za prečišćavanje voda. Do danas je prijavljeno preko 400 biljnih vrsta koje mogu da hiperakumuliraju metale (Lone *et al.*, 2008). Familije sa najviše predstavnika ovakvih biljaka su: *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunouniaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* i *Euphorbiaceae* (Prasad i Freitas, 2003). Većina ovih biljaka može uspešno da se koristi i u našim klimatskim uslovima. Kao najznačajnije izdvajaju se: trska (*Phragmites communis* Trin.), zuka (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla), rogoz (*Typha latifolia* L.), barska perunika (*Iris pseudacorus* L.), sita (*Juncus effuses* L.), sočivica (*Lemna minor* L.), vodena metvica (*Mentha aquatica* L.) i vodena bokvica (*Alisma plantago – aquatica* L.).

Makrofite igraju važnu ulogu u reciklaži nutrijenata i teških metala u mnogim akvatičnim ekosistemima (Pip i Stepaniuk, 1992). Dok sedimenti predstavljaju primarni odvodni kanal za teške metale, makrofite mogu da apsorbuju teške metale preko korena i izbojaka. Neke makrofite mogu da tolerišu visoke koncentracije nekoliko metala u svojoj biljnoj masi bez pokazivanja negativnih efekata na rast. Dunbabin i Bowmer (1992) su pronašli da su makrofite kao što su *Phragmites sp.*, *Typha sp.* i *Schenoplectus sp.* mnogo tolerantnije od drugih.

Na kraju može da se zaključi da biljke uz mikroorganizme imaju odlučujuću ulogu u uklanjanju različitih polutanata iz zagađenih voda. Makrofite imaju još nekoliko važnih uloga u biološkim sistemima. One utiču na stabilizaciju supstrata i usporavanje toka vode kroz njega. Zahvaljujući unosu kiseonika u vodu, kroz stabljike i koren biljaka, i njegove translokacije do supstrata u neposrednoj okolini korena stvaraju se mikrolokacije sa aerobnim uslovima, koje su pogodne za nagomilavanje kolonija mikroorganizama, koje će takođe učestvovati u procesu prečišćavanja (Stottmeister *et al.*, 2003).

1.2.5 Načini uklanjanja polutanata iz otpadnih i zagađenih voda

Danas postoji mnogo tehnologija za tretman komunalnih otpadnih voda, koje pomažu da se povrati i održi fizički, hemijski i biološki integritet voda. Za potrebe ovih istraživanja sve ove tehnologije mogu da se razvrstaju u dve grupe metoda prečišćavanja otpadnih voda:

- konvencionalne metode prečišćavanja otpadnih voda - koje tretman otpadnih voda vrše zahvaljujući fizičkim (mehaničkim), hemijskim i biološkim procesima i
- alternativne metode prečišćavanja otpadnih voda - koje tretman otpadnih voda vrše imitacijom procesa samoprečišćavanja, koji je prisutan u prirodnoj sredini (različite fitoremedijacione tehnike, konstruisani akvatični ekosistemi, lagune, plutajuća ostrva i drugo).

Uopšteno govoreći konvencionalne metode, bilo da se radi o čišćenju zagađenih zemljišta ili voda, obično nisu u skladu sa principima održivog razvoja i konzervacije vode, ne omogućavaju reklamaciju i ponovno korišćenje vode i hranljivih materija, kao nus produkt u njima se stvaraju velike količine toksičnog mulja, a za tretman koriste hemijske materije štetne za životnu sredinu i čoveka (U.S. EPA, 2000).

Kao odgovor na ovakvo stanje naučnici su počeli da traže nova rešenja za ekonomičnije, efikasnije, racionalnije i ekološki prihvatljivo prečišćavanje otpadnih voda. Veliki broj različitih bioloških resursa je pokrenut u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju kako bi se očistile sredine zagađene teškim metalima (Salt *et al.*, 1998). Došlo se do saznanja da i prirodni i veštački, konstruisani akvatični ekosistemi (takozvane pasivne tehnologije) predstavljaju dobru alternativu, kojom bi se prevazišli pomenuti problemi konvencionalnih metoda prečišćavanja (Tam i Wong, 1994; Eger, 1994). Ove nove tehnologije su naročito dobile na značaju poslednjih desetak godina i trenutno se radi na njihovoj komercijalizaciji (Prasad i Freitas, 2003). Biljke koje vrše hiperakumulaciju teških metala imaju ogroman potencijal za upotrebu u remedijaciji metala u životnoj sredini. Ovaj pristup se javlja kao jedno inovaciono oruđe sa velikim potencijalom za dostizanje održivog razvoja.

1.2.6 Fitoremedijacija

Alternativne metode, koje koriste biljke za uklanjanje polutanata iz kontaminiranih voda, zemljišta i vazduha bi jednim imenom mogle da se nazovu fitoremedijacija. Pojam fitoremedijacija je nastao od grčke reči *phvto* (fito) što znači biljka i latinske reči *remedium* što znači ponovno uspostavljanje ravnoteže odnosno izlečenje (Prasad i Freitas, 2003). Znači ovaj pojam se odnosi na raznovrsan kompleks tehnologija, koje se baziraju na upotrebi biljaka, prirodnih ili genetski stvorenih, radi uklanjanje polutanata iz životne sredine ili radi njihovog pretvaranja u netoksične oblike, koji neće predstavljati dalju opasnost (Salt *et al.*, 1998; Cunningham *et al.*, 1997; Flathman i Lanza, 1998).

Iako je ovaj pojam relativno nov, u praksi se ovakav način uklanjanja polutanata primenjuje odavno (Cunningham *et al.*, 1997). Primećeno je da su neke biljke, koje rastu na zemljištima bogatim metalima, razvile sposobnost da akumuliraju ogromne količine prisutnih metala u svoja tkiva bez pokazivanja simptoma toksičnosti (Cunningham *et al.*, 1997; Matagi *et al.*, 1998; Entry *et al.*, 1999; Prasad i Freitas, 2003). Chaney je 1983. godine bio jedan od prvih koji je predložio korišćenje hiperakumulatora za remedijaciju mesta zagađenih teškim metalima (Prasad i Freitas, 2003). Ovde je još važno napomenuti i da su fitoremedijacione tehnike pogodne za čišćenje velikih površina zemljišta i velikih količina voda, koje su kontaminirane niskim do umerenim (srednjim) koncentracijama metala. Područja odnosno vode, koje sadrže visoke koncentracije ovih polutanata ne mogu da budu očišćene kroz fitoremedijaciju, jer surovi uslovi neće podržavati rast biljaka.

Fitoremedijacija se sastoji od četiri različite tehnologije koje koriste biljke i svaka ima drugi mehanizam za remedijaciju zemljišta, sedimenata i voda zagađenih teškim metalima (Ghosh i Singh, 2005a; Prasad i Freitas, 2003; Gardea-Torresdey *et al.*, 2005; Raskin *et al.*, 1997; Salt *et al.*, 1998; Cunningham *et al.*, 1997; Ensley, 2000). Tu se ubrajaju:

- Fitoekstrakcija - korišćenje biljaka, sa velikom biomasom i mogućnošću da akumuliraju metale i odgovarajućih dodataka zemljištu kako bi se transportovali i koncentrisali metali iz zemljišta u nadzemne delove biljaka, koji će potom biti uklonjeni kroz uobičajene agrotehničke mere,

- Fitostabilizacija - korišćenje biljaka u cilju redukovanja biodostupnosti polutanata u životnoj sredini; u ovom slučaju biljke pre stabilizuju zagađeno zemljište nego što ga čiste,
- Rizofiltracija - korišćenje korenja biljaka za apsorpciju i adsorpciju polutanata, uglavnom metala, iz vode i
- Fitovolatilizacija - korišćenje biljaka za ekstrakciju određenih, isparljivih, metala iz zemljišta, a zatim njihovo otpuštanje preko listova u atmosferu.

Neki autori (Salt *et al.*, 1998; ITRC, 1999; U.S. EPA, 1999) u fitoremedijaciju ubrajaju i druge tehnike kao što su na primer:

- Fitodegradacija (fitotransformacija) - razgradnja polutanata zahvaljujući metaboličkim procesima biljaka, koje su ih usvojile ili razgradnja polutanata u neposrednoj blizini biljaka zahvaljujući različitim materijama, koje biljke proizvode npr. enzimima
- Rizodegradacija (fitostimulacija) - razgradnja polutanata u zemljištu zahvaljujući mikroorganizmima, čija je aktivnost povećana prisustvom rizosfere
- Korišćenje biljaka za uklanjanje polutanata iz vazduha i druge.

1.2.7 Rizofiltracija zagađenih voda

Uklanjanje metala iz industrijskih otpadnih voda i iz podzemnih voda se obično vrši kroz procese precipitacije ili flokulacije, koje zatim prate sedimentacija i odlaganje dobijenog mulja (Ensley, 2000). Obećavajuća alternativa ovom konvencionalnom metodu je rizofiltracija, fitoremedijaciona tehnika pogodna za uklanjanje metala iz akvatične sredine. Rizofiltracija može da se koristi za tretman površinskih i podzemnih voda, industrijskih i komunalnih izliva, otpadnih voda koje nastaju kao posledica spiranja čestica sa različitih površina (putevi, parkinzi, njive ...) usled atmosferskih padavina, razblaženog mulja i rastvora kontaminiranih radionuklidima (Gupta *et al.*, 2012).

Proces uključuje uzgajanje biljaka u hidroponicima i njihovo presađivanje u vode kontaminirane teškim metalima gde će one apsorbovati i koncentrisati metale u svom korenu i izbojcima (Dushenkov *et al.*, 1995; Salt *et al.*, 1995; Flathman i Lanza, 1998; Zhu *et al.*, 1999). Eksudati korena i promene pH u rizosferi mogu da dovedu i do precipitacije metala na površini korena (Prasad i Freitas, 2003). Kako postaju zasićeni

metalima, korenovi se uklanjaju ili se cele biljke kose i odlažu (Flathman i Lanza, 1998; Zhu *et al.*, 1999). Pokošeni biljni delovi, bogati akumuliranim metalima, se lako i bezbedno suše, sagorevanjem pretvaraju u pepeo ili se kompostiraju (Dushenkov *et al.*, 1995). Neki metali mogu da budu ponovo korišćeni zahvaljujući procesu njihove ekstrakcije iz pepela što dodatno smanjuje količinu stvorenog opasnog otpada i dovodi do brže recirkulacije prihoda (Raskin *et al.*, 1997).

Biljke pogodne za rizofiltraciju mogu da uklanjaju teške metale sa velikom efikasnošću zahvaljujući brzom rastu korenovog sistema. Pored akvatičnih biljaka često se koriste terestrične biljke, koje mogu da uklanjaju velike količine Cu^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} i Zn^{2+} iz vodenih rastvora (Dushenkov *et al.*, 1995). Posle ispitivanja stotina biljnih vrsta Raskin *et al.* (1994) su identifikovali određene varijetete suncokreta kao biljke koje imaju najveći kapacitet za uklanjanje teških metala od svih ispitivanih biljaka. U toku od nekoliko sati korenje suncokreta, koji se uzgajao u hidroponicima, je uspeo da ukloni različite teške metale (Pb, Cu, U, Sr, Cd, Co i Zn) iz vode do koncentracija, koje su ispunjavale prihvaćene standarde za koncentraciju ovih metala u vodi. Nova inženjerska rešenja, agronomska praksa i hranljivi dodaci, koji pospešuju produkciju korenja, a samim tim i efikasnost rizofiltracije, se trenutno sve brže razvijaju (Gupta *et al.*, 2012).

Posebno je interesantno korišćenje drvenastih vrsta u rizofiltracionim sistemima, pogotovo ako se zna da ove biljke sa sobom nose i najmanje troškove održavanja, a pri tome im je životni vek izuzetno dugačak. U ovu svrhu najčešće se koriste vrbe i topole, koje su vrlo tolerantne na plavljenje i čiji godišnji visinski prirast može da bude od 1,8 do 2,5 m. Različiti klonovi topole koji imaju mogućnost prodiranja korenovog sistema i do dubine od 9 m uspešno se koriste za remedijaciju podzemnih voda. Korenove žilice prodiru u mikropore u zemljištu i pod optimalnim uslovima sa površine od 4 m² ovi hibridi mogu da usvoje i do 100 l podzemne vode dnevno (Stomp *et al.*, 1993).

U toku različitih istraživanja sa ciljem poboljšanja rizofiltracije, primećeno je da su mladi klijanci gajeni u aerisanoj vodi (akvakulturi) bili efikasniji u uklanjanju teških metala iz vode u odnosu na korenje biljaka (Raskin *et al.*, 1997). Ova nova metoda je dobila ime blastofiltracija i praktično je predstavljala drugu generaciju tehnologija za prečišćavanje voda pomoću biljaka. Uspešnost ove metode se zasniva na činjenici izuzetnog povećanja odnosa površine i zapremine biljaka, koje se javlja posle njihovog

klijanja i mogućnosti tek iskljanih biljaka da apsorbuju i adsorbuju velike količine metalnih jona. Kulture klijanaca, koji se koriste za blastofiltraciju mogu da budu proizvedene i na svetlosti i u tami, a jedine potrebne komponente za ovaj proces su seme, vazduh i voda (Raskin *et al.*, 1997). Posle skrininga velikog broja vrsta, klijanci *Brassica juncea* su se pokazali kako izuzetno efikasni u usvajanju dvovalentnih katjona teških metala (Salt *et al.*, 1995). Klijanci ove vrste brzo rastu u aerisanoj vodi i već za 4-5 dana razvijaju veliku biomasu sa vrlo velikom površinom. Dobijeni rezultati su čak ukazali da je blastofiltracija za neke metale mnogo efikasnija i ekonomičnija u odnosu na rizofiltraciju (Raskin *et al.*, 1997).

Biološki sistemi sa plutajućim ostrvima predstavljaju modifikovane konstruisane akvatične ekosisteme i rizofiltracione sisteme, koji na osnovu različitih mehanizama na potpuno prirodan način mogu da uklone različite polutante iz zagađenih i otpadnih voda sa velikom efikasnošću (Dodkins i Mendzil, 2014). Ovo je inovativna tehnologija, koja sve više dobija na značaju, jer ima određene prednosti u odnosu na druge alternativne tehnologije za tretman voda. Konstrukcija plutajućih ostrva je vrlo jednostavna. Ona se sastoje od nosača, u okviru koga se postavlja supstrat za gajenje terestričnih i akvatičnih biljaka. Po sadnji, biljke razvijaju značajnu masu korenovog sistema, koji je u direktnom kontaktu sa vodom što omogućava bolje usvajanje polutanata iz vode, bolju filtraciju čvrstih materija u sistemu, stvaranje više pogodnih mesta za vezivanje korisnih mikroorganizama i drugo (Van de Moortel *et al.*, 2010). Dobijena biomasa na kraju procesa prečišćavanja može lako da se ukloni i da se iskoristi u različite svrhe (Zhao *et al.*, 2012). Kao najveća prednost plutajućih ostrva ističe se činjenica da za njihovu izgradnju nije neophodno skupo građevinsko zemljište, već se ona postavljaju direktno u reku, jezero ili baru (Li *et al.*, 2013). Pored prečišćavanja vode, kako direktne koristi, plutajuća ostrva obezbeđuju i povećanje biodiverziteta u okviru vode i njenoj okolini, štite obale od erozije, povećavaju vrednost zemljišta i nekretnina u blizini reke sa dobrim ekološkim statusom, doprinose estetskoj vrednosti okoline, povećavaju potencijal predela za razvoj turizma i drugo (Ghermandi *et al.*, 2010).

1.2.8 Prednosti i nedostaci fitoremedijacije zagađenih voda

Rizofiltracija je konkurentna tehnologija u pogledu cene kada se koristi za tretman površinskih i podzemnih voda, koje sadrže niske, ali značajne koncentracije teških

metala kao što su Cr, Pb i Zn (Kumar *et al.*, 1995; Ensley, 2000). Komercijalizacija ove tehnologije ima potporu i u ekonomskim i tehničkim prednostima kao što su primenljivost za različite metale, mogućnost tretmana velikih količina vode, manja potreba za različitim toksičnim hemikalijama, redukovana količina sekundarnog otpada, mogućnost reciklaže i verovatnoća prihvatanja ove tehnologije od strane javnosti i nadležnih organa (Dushenkov *et al.*, 1995; Kumar *et al.*, 1995).

Kao prednost ističe se i korišćenje terestričnih i akvatičnih biljaka. Iako terestrične biljke zahtevaju nekakav oslonac, kao npr. plutajuće platforme, one generalno uklanjaju veće količine polutanata od akvatičnih biljaka. Ovaj sistem može da bude i *in situ* (plutajuća ostrva - ostrva na rekama, jezerima i barama) ili *ex situ* (konstruisani akvatični ekosistem). *Ex situ* sistem može da bude postavljen bilo gde zato što tretman otpadne vode ne mora da bude na samoj lokaciji zagađenja (Dushenkov *et al.*, 1995, 1997).

Rizofiltracija ima sledeća ograničenja:

- pH vrednost uliva mora stalno da se kontroliše i podešava, kako bi usvajanje metala bilo optimalno,
- hemijske reakcije i interakcije svih vrsta polutanat, a koji mogu da se nađu u otpadnoj vodi moraju dobro da se poznaju pre početka tretmana,
- sistem mora da bude pravilno konstruisan kako bi se održavao konstantan dotok otpadne vode, odnosno kako bi se kontrolisala njena koncentracija i stopa uliva,
- biljke (a naročito terestrične) najčešće moraju da se zasnivaju i gaje na nekom drugom mestu, a da se zatim presađuju u rizofiltracioni sistem,
- potrebno je periodično košenje biljaka i odlaganje otkosa i
- rezultati laboratorijskih eksperimenata ili istraživanja u staklenicima ne moraju uvek da budu sa uspehom preneseni u polje (Dushenkov *et al.*, 1995; Kumar *et al.*, 1995).

Dalje, korišćenje ove tehnologije bazirane na biljkama može da bude više izazovno i podložno neuspehu nego druge metode sa sličnom visinom troškova (Gupta *et al.*, 2012). Proizvodnja hidroponički gajenih transplanata i održavanje sistema hidroponika u polju će zahtevati veštinu kvalifikovane radne snage, a postrojenja i specijalizovana oprema koja je potrebna mogu da uvećaju ukupne troškove.

1.2.9 Fotosintetički pigmenti

Fotosintetički pigmenti učestvuju u procesu fotosinteze, a pored toga imaju ulogu u procesima rastenja i razvića biljaka (Nešković *et al.*, 2003). Najvažniji pigmenti u listovima su hlorofil i karotenoidi.

Hlorofil apsorbuje sunčevu energiju i obezbeđuje njeno korišćenje u daljim fotosintetičkim reakcijama (Gitelson *et al.*, 2006). Prema Sariću (1979) na obrazovanje i sadržaj hlorofila utiče veliki broj faktora, koji mogu da se podele na spoljašnje (količina, kvalitet i intenzitet svetlost, temperatura, vlažnost zemljišta, koncentracija kiseonik, mineralna ishrana i zagađenost sredine) i unutrašnje (rastenje i razviće biljaka, starost listova, botanička pripadnost, fiziološka aktivnost i zdravstveno stanje biljke).

Karotenoidi imaju ulogu u apsorpciji svetlosne energije i njenom predavanju molekulima hlorofila, u zaštiti biljaka od preterane osvetljenosti, u prenošenju sunčeve energije i kiseonika, u rastu i oplodjenju biljaka (Gitelson *et al.*, 2002; Sarić, 1979). Kao najvažniji činioci, koji utiču na obrazovanje i sadržaj karotenoida u biljkama mogu se istaći svetlost, temperatura, rastenje i razviće biljaka i botanička pripadnost (Sarić, 1979).

Apsolutna i relativna koncentracija pigmenata određuje fotosintetski potencijal biljke (Chappelle *et al.*, 1992) i omogućava uvid u njeno fiziološko stanje (Gitelson *et al.*, 2006). Smanjenje ili povećanje sadržaja pigmenata i promene njihovih odnosa su dobar pokazatelj stesa u biljkama (Netto *et al.*, 2005). Kod biljaka koje nisu hiperakumulatori, ograničavanje translokacije teških metala i ostalih polutanata u nadzemne delove, predstavlja mehanizam kojim biljke štite fotosintetičko tkivo od potencijalno negativnog dejstva ovih štetnih materija.

Sadržaj pigmenata zavisi od biljne vrste i uslova sredine u kojima se ona razvija. Pored toga, ukoliko koncentracija teških metala i ostalih zagađujućih materija, deponovanih u biljnom tkivu pređe nivo koji vrsta toleriše, dolazi do promene sadržaja pigmenata. Procena sadržaja pigmenta u listu je značajna, jer se na osnovu nje može doneti sud o fiziološkom stanju vrste, uticaju uslova sredine na biljku, kao i o njenoj adaptaciji na te uslove, što može olakšati izbor vrsta za stvaranje vegetacije bioloških sistema za prečišćavanje zagađenih voda.

1.2.10 Biljne vrste korišćene u istraživanjima

1.2.10.1 Biljka *Canna indica* L.

Regnum:	<i>Plantae</i>
Clade:	<i>Angiospermae</i>
Clade:	<i>Monocotyledoneae</i>
Clade:	<i>Commelinidae</i>
Ordo:	<i>Zingiberales</i> Griseb.
Familia:	<i>Cannaceae</i> Juss.
Genus:	<i>Canna</i> sp.
Species:	<i>Canna indica</i> L.
Domaći naziv:	Kana

Kana (*Canna indica* L.) je višegodišnja tropska i suptropska biljka (perena) sa podzemnim stablom, koja dostiže visinu od 0,5 do 2,5 m (Maas-van de Kamer i Maas, 2008). Rizom je kratak, u prečniku 2,5 do 3,5 cm. Listovi su usko ovalni do usko eliptični, 20-35 cm široki i 15-25 cm dugi, sa tupom do usko klinastom bazom i oštrim i kratko zašiljenim vrhom. Lisni rukavac može da bude prekriven finim dlačicama. Cvetovi su skupljeni u terminalne racemozne cvasti sastavljene od asimetričnih, hermafroditnih cvetova. Brakteje su objajaste. Čašinih listića tri, kao i kruničnih, koji su 4 do 5 cm dugi, u donjem delu savijeni u cev, a u gornjem delu slobodni i linearni. Androeceum je petaloidan (krunicolikog izgleda) i čini cvet dekorativnim. Sastoji se od tri spiralno postavljena staminodija (sterilnih prašnika) i dva koja grade unutrašnji krug, kao i jednog fertilnog tučka. Cvet crvene boje. Vreme cvetanja je od juna do oktobra. Plod čaura sa brojnim tvrdim, crnim, okruglim semenima. Najbolje uspeva na osunčanim mestima i vlažnom zemljištu. Razmnožava se generativnim i vegetativnim putem.

Prirodni areal ove biljke su Južna Amerika i Indija (State Master, 2010), ali je rasprostranjena gotovo u svim gradovima sveta gde se koristi, kao dekorativna cvetna vrsta u različitim kompozicijama. Najčešće se sadi na velikim površinama, kao što su trgovi, površine duž saobraćajnica, parkovi i parteri reprezentativnih zelenih površina čime se povećava njihov estetski efekat. Kana ima vrlo široku primenu. Upotrebljava se u medicini, a rizom (bogat skrobom) se koristi i u ishrani. Od vlakana iz listova i stabljika dobija se papir. Seme se koristi za pravljenje nakita, a nekada se upotrebljavalo

umesto pušćanih zrna. Ljubičasta boja se dobija iz semena. Mlado seme i mladi izbojci mogu da se koriste u ishrani. Vlakna dobijena od stabljike koriste se kao zamena za jutu. Ima veliku produkciju biomase i u nekim zemljama se koristi za dobijanje toplotne energije, kao biogorivo (State Master, 2010).



Slika 1. Kana u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje
Topčiderske reke

S obzirom da je tolerantna na prisustvo mnogih zagađivača kana poseduje izuzetan potencijal za fitoremedijaciju zemljišta, voda i vazduha, odnosno za uklanjanje teških metala, ali i drugih polutanata iz životne sredine (Bose *et al.*, 2008). Listovi i stabljike imaju tanak sloj voska na svojoj površini i to omogućava taloženje i zadržavanje različitih gasovitih ogranskih polutanata (dioksini, policiklični aromatični ugljovodonici i polihlorovani bifenili) na njima. Kana je, kao i druge biljke iz familije *Cannaceae*, interesantna i zbog velike biomase, koju razvijaju na različitim zemljištima, a posebno u vodenj sredini (Cule *et al.*, 2011). U poslednjih nekoliko godina kana se sve više gaji u različitim tipovima bioloških sistema, kako bi se poboljšao kvalitet jezera i reka i kako bi se različiti polutanti uklonili iz otpadnih voda (Zhang *et al.*, 2008). Jedan od ovakvih

primera su i plutajuća ostrva, koja se sve više koriste za prečišćavanje eutrofnih voda, prvenstveno zbog niske cene i lake konstrukcije.



Slika 2. Biljka *Canna indica* L. na plutajućim ostrvima (Foo, 2002)

Biološki sistemi tipa plutajućih ostrva, mogu da uklone azot (N) iz zagađenih voda u velikoj meri, posebno ako su u okviru medijuma za gajenje dodate denitrifikacione bakterije i ukoliko se u sistem za prečišćavanje uvede aeracija (Sun *et al.* 2009). U kombinovanim plutajućim ostrvima posle 5 dana eksperimenta uklanjanje ukupnog N je bilo 72,1%, oksidacija amonijačnog azota ($\text{NH}_4\text{-N}$) je iznosila 100%, nitrarnog azota ($\text{NO}_3\text{-N}$) 75,8 %, nitritnog azota ($\text{NO}_2\text{-N}$) 95,9%, dok je hemijska potrošnja kiseonika redukovana za 94,6% (Sun *et al.* 2009).

Bose *et al.* (2008) su dokazali da *C. indica* dobro usvaja različite teške metale (Cr, Fe, Cd, Cu, Ni, Zn, Mn i Pb) kada se gaji na zagađenim zemljištima uz dodavanje različitih količina industrijskog mulja. Niz usvajanja metala u kanama, nakon 90 dana od postavljanja eksperimenta, je bio $\text{Fe} > \text{Cr} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Pb}$, dok je translokacija bila skoro dva puta veća u korenu nego u izdancima. Sa povećanjem procenta mulja u zemljištu koncentracija metala je rasla u različitim delovima biljaka. Dužina korena i izdanaka je takođe zavisila od količine mulja u zemljištu. U zemljištu sa 10% dodatog mulja biljke su rasle dobro, dok se na 20% i 30% dodatog mulja u zemljištu primećivalo polako opadanje porasta kako korena tako i nadzemnog dela, ali bez vidljivijih znakova toksičnosti. Opadanje porasta korena ukazuje da se najveći deo metala akumulirao u podzemnim delovima biljaka.

Cheng *et al.* (2002a) su u svom radu prikazali efekte kadmijuma (Cd) na rast biljke *C. indica*, kao i na sadržaj hlorofila, fotohemijsku efikasnost i fotosintetski intenzitet. Pokazano je da ova vrsta može da toleriše koncentracije Cd od 0,4 do 0,8 mg/L, što ukazuje na njen dobar potencijal za fitoremedijaciju teških metala.

U okviru početnih istraživanja postavljeno je nekoliko ogleda radi utvrđivanja sposobnosti kane da uklanja teške metala iz otpadnih voda i određivanja količine biomase, koju ova biljka stvara u kontaminiranoj vodi (Cule *et al.*, 2011).

U okviru istraživačke površine Instituta za šumarstvo, Beograd, na otvorenom je postavljen ogled radi praćenja porasta kane u akvatičnoj sredini. Svaka biljka je, krajem jula, prebačena u kante zapremine 10 l, koje su do polovine napunjene običnom vodom (Slike 3. i 4.). Sredinom septembra, posle mesec i po dana rasta bez prihranjivanja, kane su ostvarile značajnu biomasu i nadzemnog i podzemnog dela (Slike 5. i 6.).



Slika 3. Biljke na početku eksperimenta krajem jula meseca



Slika 4. Veličina korenovog sistema (levo) i celih biljaka (desno) na početku eksperimenta krajem jula



Slika 5. Biljke sredinom septembra



Slika 6. Veličina biljaka sredinom septembra



Slika 7. Deo kana na početku eksperimenta (levo) i izgled biljaka sredinom eksperimenta (desno)

Efikasnost kane u uklanjanju teških metala potvrđena je eksperimentom u laboratorijskim uslovima. Kane su gajene u Hoglandovom rastvoru, a zatim su

prebačene u hranljivi rastvor sa tri različite koncentracije olova (10 μ M, 50 μ M i 150 μ M Pb(NO₃)₂ i Pb(CH₃COO)₂ x 3H₂O) (Cule *et al.*, 2011).

Merenja sadržaja Pb u rastvoru i biljkama vršena su na svakih 5 dana, a ceo eksperiment je trajao 20 dana. Najveća koncentracija olova u biljnom tkivu je bila u korenu, a najmanja u listovima što ukazuje na slabu translokaciju olova iz podzemnih delova biljke u nadzemne delove (Cule *et al.*, 2011). Ova činjenica ukazuje na mogućnost korišćenja nadzemne biomase kane u različite svrhe, a ne samo za proizvodnju biogoriva. Kane su pokazale odličan porast čak i u medijumu sa najvećom koncentracijom Pb (150 μ M Pb(NO₃)₂ i Pb(CH₃COO)₂ x 3H₂O).

Polje istraživanja kane kao biljke za proizvodnju biogoriva je još uvek relativno novo, ali brojna istraživanja su pokazala da ona ima veliki potencijal, zbog izuzetno visoke produkcije skroba i mogućnosti da se sa podjednakim uspehom gaji i u tropskim i umerenim klimatskim područjima (State Master, 2010).

1.2.10.2 Biljka *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

Regnum:	<i>Plantae</i>
Clade:	<i>Angiospermae</i>
Clade:	<i>Monocotyledoneae</i>
Clade:	<i>Commelinidae</i>
Ordo:	<i>Poales</i> Small
Familia:	<i>Poaceae</i> Barnhart.
Genus:	<i>Phragmites</i> sp.
Species:	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
Species syn.:	<i>Phragmites communis</i> Trin.
Domaći naziv:	Trska

Trska (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., syn. *Phragmites communis* Trin.) je višegodišnja biljka, koja može da dostigne visinu od 2 do 6 m. Ima daleko puzeći rizom (3-4 m), često vrlo debeo, iz koga izbijaju stolone. Stablo je uspravno, kruto, golo i člankovito, širine do 2,5 cm. Listovi dugački 20-60 cm, široki 1-5 cm, sa glatkim rukavcem. Na mestu ligule, koje nema, nalazi se venac beličastih dlačica. Cvetovi su grupisani u krupne metličaste cvasti. Klasići su lancetasti, žuto-braon do ljubičaste boje, sa 3 do 7 cvetova. Donja pleva je dvostruko duža od gornje, zašiljena, bez osja. Cveta od juna do septembra. Seme je retko vijabilno, tako da se najčešće razmnožava vegetativnim putem, deljenjem rizoma.



Slika 8. Trska u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje
Topčiderske reke

Raste na vlažnom zemljištu i u vodi (do dubine 1m i više) i pri tome može da se ponaša i kao emerzna i kao flotantna makrofita (Brix, 1988). Formira ekstenzivne grupe, koje mogu da budu velike do kilometar kvadratni i više. Rasprostranjena je na čitavoj Zemlji izuzev Arktika (Haslam, 2010). U Srbiji je široko rasprostranjena. Raste u močvarama, na obalama reka, bara i jezera (Ye *et al.*, 1998), gde zahvaljujući dobro razvijenom korenovom sistemu i gustom sklopu populacija koje formira, štiti obale reka i jezera od erozije. Močvare trske takođe služe kao utočište divljih životinja i obezbeđuju ishranu za mnoge akvatične organizme (Laing *et al.*, 2003).

U mladom stanju smatra se dobrom krmnom biljkom, jer sadrži dosta šećera i belančevina. Koristi se i kao silažirana. Stabla služe kao građevinski materijal i kao sirovina za celulozu i hartiju (Köbbing *et al.*, 2013). Poznato je da insekti ne napadaju stabljiku trske, pa samim tim ni proizvode od nje. Ponekad se koristi i kao ukrasna biljka.

Biljka *P. australis* je jedan od najznačajnijih fitoremedijatora. U prečišćavanju zagađenih i otpadnih voda služi za eliminaciju patogenih spora, organskih i neorganskih zagađivača, teških metala i drugih polutanata. Najčešće je korišćena akvatična biljka za prečišćavanje vode, posebno za tretman različitih tipova industrijskih i rudničkih drenažnih voda s obzirom da podnosi ekstremne uslove sredine, uključujući i prisustvo teških metala kao što su Zn, Pb i Cu (Ye *et al.*, 1998). Sadi se i u biološkim sistemima

za prečišćavanje otpadnih voda iz domaćinstva (Laing *et al.*, 2003, Köbbing *et al.*, 2013).



Slika 9. Trska na jezeru u blizini Baroševca

Trska usvaja velike količine azota i kalijuma po hektaru (N 309,9 kg/ha, K 249,5 kg/ha), i veoma je efikasna u zadržavanju fosfora (44,5 kg/ha) (Ennabili *et al.*, 1998). Godišnjom žetvom trske je moguće smanjiti ukupnu količinu azota, koja dospeva u životnu sredinu u vidu zagađenja za 11,9% (Senzia *et al.*, 2003). Eksudati korena trske imaju smrtonosne efekte na indikatore fekalija (*Escherichia coli*) i patogene bakterije (*Salmonella* sp.) (Zdragas *et al.*, 2003). Koren trske usvaja različite metale (Cd, Mn, Zn, Pb, Ni i druge) sa velikom efikasnošću u rizofiltracionim sistemima (Fediuc i Erdei, 2002; Iannelli *et al.*, 2002; Peltier *et al.*, 2003; Laing *et al.*, 2003; Ye *et al.*, 1998), bez štetnih uticaja na biljku ili njenu biomasu (Solano *et al.*, 2004). Translokacija pomenutih metala iz korena u nadzemne delove je različita. Peltier *et al.* (2003) su konstatovali veće koncentracije Zn i Pb u korenu nego u nadzemnim delovima biljke, dok je Mn, koji je neophodan za proces fotosinteze, pokazao veliku pokretljivost. Sadržaj Cd, Cu, Fe, Mn i Pb je znatno veći u listovima nego u stablu (Laing *et al.*, 2003). Suprotan trend je zabeležen kod Cr i Zn (veći je u stablu nego u listovima), dok je sadržaj Ni podjednak u oba dela biljke (Laing *et al.*, 2003). I pored činjenice da ne usvajaju svi delovi biljke jednake količine metala i drugih elemenata, vrlo je važno napomenuti da sposobnost trske da se lako regeneriše, omogućava da se uklanjanjem biomase vrši istovremeno i fitoremedijacija zagađenih medijuma.

Pored toga što može da uklanja velike količine polutanata iz vode, ova biljka produkuje i veliku količinu biomase (Gawronski i Gawronska, 2007). Trska je jedna od najproduktivnijih biljaka na srednjim (umerenim) nadmorskim visinama (Ye *et al.*, 1998; Ennabili *et al.*, 1998; Yulan *et al.*, 2008). Ima izuzetnu izdanačku sposobnost i dobar prinos biomase. Produktivnost nadzemne biomase se kreće od 3 do 30 t/ha godišnje (Allirand i Gosse, 1995). Poređenjem dobijene količine suve mase nadzemnog i podzemnog dela, Ennabili *et al.* (1998) su zaključili da je podzemna biomasa jednaka ili veća od polovine ukupne suve mase biljke.

Ukoliko se dobijena biomasa koristi u energetske svrhe žetva trske se vrši u kasnom zimskom periodu (mart-april), jer je tada sadržaj vlage i pepela najmanji (Köbbing *et al.*, 2013). Slično je i sa količinom N i P u nadzemnom delu, jer su oni u ovom periodu godine locirani u korenu u najvećoj meri (Komulainen *et al.*, 2008). Iako se ona tada potpuno iseče, već sledeće godine dostiže istu biomasu i visinu, još boljeg kvaliteta. Prosečna energetska vrednost peleta ili briketa dobijenih od trske, sa sadržajem vlage od 20%, je 14 MJ/kg (Iital *et al.*, 2012). Ove vrednosti su sasvim prihvatljive u poređenju sa energetsom vrednošću peleta dobijenih od drveta (Köbbing *et al.*, 2013). Biomasa trske može da se koristi i za dobijanje biogasa i biogoriva.

1.2.10.3 Biljka *Iris pseudacorus* L.

Regnum:	<i>Plantae</i>
Clade:	<i>Angiospermae</i>
Clade:	<i>Monocotyledoneae</i>
Ordo:	<i>Asparagales</i> Link.
Familia:	<i>Iridaceae</i> Juss.
Subfamilia:	<i>Iridoideae</i>
Tribus:	<i>Irideae</i>
Genus:	<i>Iris</i> sp.
Species:	<i>Iris pseudacorus</i> L.
Domaći naziv:	Barska perunika

Barska perunika (*Iris pseudacorus* L.) je perena, koja raste u visinu od 120 do 150 cm. Razvija gustu mrežu rizoma. Stabljika je razgranata, listovi su široko linearni, dugi do 90 cm i široki 3 cm, na vrhu blago povijeni. Cvetovi su pojedinačni, na dugim drškama, bez mirisa. Perigon je žute boje. Spoljašnji listići perigona najčešće imaju braon mrlje (Austin, 2005). Unutrašnji listići perigona su objajsti. Cveta od maja do

jula. Plod je 4 do 7 cm duga čaura sa brojnim svetlo braon semenima. Na staništima se brzo širi. Dobro se razmnožava i vegetativno i generativno.



Slika 10. Barska perunika na prirodnom staništu (autor: Hempel, J., levo) i u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje Topčiderske reke (desno)

Nastanjuje vlažna i plavna mesta pored reka i potoka. Raste po jarkovima, jarugama, barama i ritovima. Ulazi u sastav močvarnih i vlažnih dolinskih livada. Koristi se kao dekorativna biljka na vlažnim mestima. Često se upotrebljava u prirodnim sistemima za reciklažu voda. U tretmanu otpadnih voda redukuje fenole i teške metale. Istraživanja su pokazala da vrsta *I. pseudacorus* usvaja veću količinu ukupnog N i P u odnosu na vrste *Typha orientalis* i *P. australis*, koje su često korišćene vrste u konstruisanim akvatičnim sistemima (Wu *et al.*, 2011). Pored toga, Zhang *et al.* (2007a) su utvrdili da ova vrsta ima i izvanredne sposobnosti u prečišćavanju otpadnih kanalizacionih voda, jer uspešno redukuje ukupni P, biološku potrošnju kiseonika (BPK₅), hemijsku potrošnju kiseonika (HPK) i teške metale kao što su Cr, Pb, Cd i drugi.

1.2.10.4 Biljka *Iris sibirica* 'Perry's Blue'

Regnum:	<i>Plantae</i>
Clade:	<i>Angiospermae</i>
Clade:	<i>Monocotyledoneae</i>
Ordo:	<i>Asparagales</i> Link.
Familia:	<i>Iridaceae</i> Juss.
Subfamilia:	<i>Iridoideae</i>
Tribus:	<i>Irideae</i>
Genus:	<i>Iris</i> sp.
Species:	<i>Iris sibirica</i> L.
Kultivar:	<i>Iris sibirica</i> 'Perry's Blue'
Domaći naziv:	Sibirska perunika

Kultivar sibirske perunike (*Iris sibirica* 'Perry's Blue') je višegodišnja klonalna biljka, visine do 1 m, sa brojnim lisnim rozetama i cvetnim izbojcima spojenim rizomima (Kostrakiewicz, 2011). Listovi su bez lisne drške, linearni, sa izraženom paralelnom nervaturom. Cvetni perigon je sastavljen od 6 listića, raspoređenih u 2 kruga.



Slika 11. Kultivar sibirske perunike (*Iris sibirica* 'Perry's Blue') u rasadniku (levo) i u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje Topčiderske reke (desno)

Cvetovi su plave boje sa izraženim tamnije plavim nervima. Spoljašnji listići perigona su po obodu beličasti, u donjoj polovini sa zonom tamno zlatne boje, oivičene belom bojom. Unutrašnji listići perigona su blago uvijeni i intenzivnije boje (Austin, 2005). Cveti u maju i junu. Plod je elipsoidna čaura.

Vrsta *I. sibirica* L. nastanjuje vlažne i močvarne livade, a njena prirodna staništa se nalaze u umerenim oblastima Evrope i Centralne Azije. Sibirski perunika i njeni kultivari (*I. sibirica* 'Perry's Blue') se često koriste u biološkim sistemima kako zbog svoje dekorativnosti tako i zbog dobrog potencijala za uklanjanje različitih polutanata. Vrsta *I. sibirica* prezimljava u konstruisanim akvatičnim ekosistemima u kojima redukuje koncentraciju N i P čak i tokom zimskih meseci i na taj način omogućava rad ovih bioloških sistema tokom cele godine (Gao *et al.*, 2014). Pored toga, utvrđeno je da ova vrsta značajno redukuje sadržaj Cd u otpadnim vodama (Gao *et al.*, 2015).

1.2.10.5 Biljka *Alisma plantago - aquatica* L.

Regnum: *Plantae*
Clade: *Angiospermae*
Clade: *Monocotyledoneae*
Ordo: *Alismatales* R.Br. ex Bercht. & J.Presl
Familia: *Alismataceae* Vent.
Genus: *Alisma* sp.
Species: *Alisma plantago - aquatica* L.
Domaći naziv: Vodena bokvica

Vodena bokvica (*Alisma plantago - aquatica* L.) je akvatična ili polu akvatična višegodišnja vrsta, visine do 1 m. Eliptični, sivo-zeleni listovi sa izraženom lučnom nervaturom su skupljeni u rozetu u donjem delu sočnog stabla. Beli cvetovi, sastavljeni od 3 čašična i 3 krunična listića, su skupljeni u metličaste cvasti. Cveti od juna do septembra. Plod je orašica.

Prirodna staništa ove vrste se javljaju širom Evrope i Azije. Raste u stajaćim vodama i močvarama, duž rečnih dolina, bara, jezera, ribnjaka, kanala kao i na močvarnim livadama.



Slika 12. Vodena bokvica u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje
Topčiderske reke

Listovi rozete su važni za proces redukcije sadržaja fenola u vodi i za razlaganje cijanida. Dobro uklanja i teške metale iz otpadnih voda, posebno Pb, Cd, Fe, Ni, Cr, Zn i Cu (Khan *et al.*, 2009; Fritioff i Greger, 2003) kao i ukupni P (Fu, 2015).

1.2.10.6 Biljka *Lythrum salicaria* L.

Regnum: *Plantae*
Clade: *Angiospermae*
Clade: *Eudicotyledoneae*
Ordo: *Myrtales* Juss. ex Bercht. & J.Presl
Familia: *Lythraceae* J.St.-Hil.
Genus: *Lythrum* sp.
Species: *Lythrum salicaria* L.
Domaći naziv: Potočnjak

Potočnjak (*Lythrum salicaria* L.) je višegodišnja zeljasta biljka, četvorougao, maljavog stabla, visine 1-2 m. Listovi varijabilni, lancetasti, srcaste osnove, sedeći,

najčešće naspramni. Cvetovi mnogobrojni, najčešće šestočlani skupljeni u cvasti, crveno purpurne boje. Cveti od juna do septembra. Plod čaura sa velikim brojem semena koje se rasejava vetrom i vodom.



Slika 13. Potočnjak u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje Topčiderske reke

Prirodna staništa vrste su Evropa, Azija, severna Afrika i Australija. Raste na vlažnim i močvarnim mestima kao i na obalama reka i jezera. U različitim biološkim sistemima uklanja teške metale, atrazin i druge polutante. Sun *et al.* (2013) su utvrdili da je vrsta *L. salicaria* tolerantna na visoke koncentracije teških metala i da akumulira veliku količinu ovih elemenata u svom tkivu, što je čini pogodnom vrstom za fitoremedijaciju otpadnih voda. Teuchies *et al.* (2013) su takođe zaključili da potočnjak može da usvaja značajne količine Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn i As iz zagađene vode i da pri tome stvara biomasu od 0,481 t/ha u okviru ispitivanog područja.

1.2.10.7 Biljka *Menyanthes trifoliata* L.

Regnum: *Plantae*
Clade: *Angiospermae*
Clade: *Eudicotyledoneae*
Ordo: *Asterales* Link.
Familia: *Menyanthaceae* Dumort.
Genus: *Menyanthes* sp.
Species: *Menyanthes trifoliata* L.
Domaći naziv: Grčica

Grčica (*Menyanthes trifoliata* L.) je višegodišnja biljka sa horizontalno postavljenim rizomima, valjkastog stabla, visoka 20 do 40 cm. Listovi malobrojni, tročlani, na dugačkim lisnim drškama. Listići goli, jajoliko okruglasti, celog oboda. Cvetovi skupljeni u uspravnu grozdastu cvast, bledoružičaste boje, petočlani, aktinomorfni. Cveta od juna do jula. Plod je čaura.



Slika 14. Grčica u okviru plutajućih ostrva biološkog sistema za prečišćavanje Topčiderske reke

Raste na trajno močvarnom i tresetnom zemljištu uz obale potoka, reka i jezera i na močvarnim livadama, Evrope, Azije i Severne Amerike. Ima dobar potencijal za uklanjanje različitih polutanata iz zagađenih i otpadnih voda (Rai *et al.*, 2015). Pored

svoje dekorativnosti i brzog rasta, ova vrsta poseduje i sposobnost akumulacije teških metala (Liu *et al.*, 2015). U svojim istraživanjima Wojcik i Wojcik (2000) su potvrdili ovu činjenicu i pokazali da je koncentracija Zn bila najveća u lišću grčice (180 mg/kg), da je koren usvojio 80 mg/kg Pb uz slabu translokaciju u nadzemne delove, a da su svi delovi biljke (list, rizom, koren) sadržali jednake koncentracije Cd od 1 mg/kg suve mase biljke.

1.2.11 Uloga algi u fitoremedijaciji zagađenih voda

Alge se često javljaju u biološkim postrojenjima za prečišćavanje zagađenih i otpadnih voda, bilo da su planirane kao deo sistema ili su se slučajno pojavile zbog velike količine hranljivih materija i vlažnosti. Kroz proces fotosinteze one povećavaju količinu rastvorenog kiseonika u vodi što utiče na uklanjanje hranljivih materija i metala. Međutim, zbog njihovog prisustva može da dođe i do neželjenih pojava, kao što je eutrofikacija (Dodds i Gudder, 1992).

Crist *et al.* (1988) su pokazali da alge mogu da uklanjaju metale na 2 načina: brzim procesom adsorpcije metala na negativno naelektrisana mesta (karboksilni anjoni pektina) na svojoj površini, a zatim sporim procesom difuzije katjona u ćelije (transport u ćelijske zidove i citoplazmu). Pri tome, kao i biljke, alge mogu da sintetizuju metalotioneine (proteini koji mogu da vezuju teške metale) i fitohelatine (peptidi koji mogu da heliraju teške metale), pored organskih kiselina i da jon metala koji ulazi u citosol ćelije odmah kompleksiraju i inaktiviraju i da se na taj način štite od toksičnih efekata teških metala, koji mogu na primer da inaktiviraju aktivne ili strukturne proteine (Zenk, 1996).

Iako je urađen manji broj istraživanja u pogledu korišćenja algi i njihove biomase u vidu biofiltera za uklanjanje teških metala i drugih polutanata iz zagađenih medijuma, dokazano je da one mogu da se koriste kao fitoremedijatori. Groudeva *et al.* (2001) predlažu nekoliko rodova algi pogodnih za rizofiltraciju - *Pediastrum* sp., *Eudorina* sp., *Volvox* sp., *Melosira* sp. i *Scenedesmus* sp. Pomenute alge su zajedno sa biljkama i prisutnim mikroorganizmima sa velikim uspehom vršile prečišćavanje vode zagađene sirovom naftom i teškim metalima kao što su Cd, Cu, Pb, Mn i Fe. Fu i Qi (2011) su zaključili da alge iz rodova *Chaetomorpha* sp., *Caulerpa* sp., *Ulva* sp. i *Cladophora* sp. mogu da uklanjaju značajne količine Cu, Zn, Cd i Pb. Chmielewska i Medved (2001) su

pokazali da zelena alga *Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing ima visok bioakumulacioni potencijal za Pb, Cd, Ni, Cr i V.

Pored uklanjanja teških metala u biološkim sistemima za prečišćavanje otpadnih voda alge omogućavaju i efikasnije uklanjanje N i P (Koerner i Vermaat, 1998), kao i redukciju mikroorganizama fekalnog porekla do nivoa od 99% (Garcia *et al.*, 2008).

1.2.12 Mogućnosti proizvodnje biomase iz zasada višegodišnjih zeljastih biljaka u biološkim sistemima

Nestašica fosilnih goriva, buđenje ekološke svesti, nove zakonske regulative o emisiji gasova staklene bašte u atmosferu i konstantno povećanje potreba za energijom su pokrenule obimna istraživanja u cilju pronalaženja nove tehnologije za dobijanje energije, koja se neće bazirati na fosilnim gorivima. Kao jedno od mogućih rešenja nametnulo se korišćenje biomase kao obnovljivog resursa. Biljni materijal je do sada uglavnom dobijan iz standardnih poljoprivrednih i šumarskih delatnosti (Hall i House, 1995). Međutim značajne količine biomase je moguće dobiti i prilikom sanacije degradiranih površina različitim biološkim metodama, kao što je fitoremedijacija (Jovanović *et al.*, 2006).

Na osnovu literaturnih podataka može se zaključiti da je do danas istražen veliki broj biljnih vrsta sa ciljem da se utvrdi njihov energetski potencijal i mogućnost njihove komercijalne proizvodnje (Hislop i Hall, 1996; Lewandowskia *et al.*, 2000; Chum i Overend, 2001; Dražić *et al.*, 2011). Za proizvodnju biomase koriste se drvenaste vrste, zeljaste biljke i trave, akvatične biljke, biljke za dobijanje skroba, šećera i ulja i tečni ili polučvrsti otpad životinjskog i biljnog porekla (McKendry, 2002). Dobijena biomasa može da se koristi za generisanje električne energije i toplote, goriva i sličnih produkata kao i za dobijanje ostalih produkata hemijskim putem (Jovanović *et al.*, 2006).

Kao što je već rečeno, da bi jedna biljka bila pogodna za fitoremedijaciju ona mora da poseduje mogućnost brzog stvaranje velike biomase i mogućnost usvajanja ciljanog polutanta u svoja tkiva u velikim količinama, tolerantnost na loše ekološke uslove, mogućnost stvaranja gustog korenovog sistema, da se lako zasniva i gaji i da je otporna na štetočine i bolesti (Kumar *et al.*, 1995; Cunningham i Ow, 1996; Blaylock *et al.*, 1997). Najčešće pominjani kriterijumi za idealan energetski usev su: visoki prinos suve materije, višegodišnji rast, efikasno korišćenje azota, vode i ostalih resursa, kao i

otpornost na bolesti i insekte (Lewandowski *et al.*, 2003; Hallam *et al.*, 2001). Kada se uporede poželjne osobine biljaka pogodnih za fitoremedijaciju i osobine biljaka pogodnih za proizvodnju biomase vidi se da se ove osobine suštinski ne razlikuju.

Biodiverzitet vrsta pogodnih za fitoremedijaciju uz istovremenu proizvodnju biomase je veliki. Dobar potencijal za uklanjanje polutanata i generisanje velike biomase imaju brojne jestive biljke, ratarske i povrtarske kulture, ukrasne i drvenaste biljke (Prasad i Freitas, 2003). U oblastima sa umereno-kontinentalnom klimom treba birati biljke sa C_4 putem fotosinteze, zatim one sa povoljnim odnosom celuloze/hemiceluloze/lignina, a ukoliko biljke ne sadrže optimalnu proporciju, a imaju visok prinos biomase koristiti druge prilagođene tehnologije, koje maksimalno iskorišćavaju dobijenu biomasu (Jovanović *et al.*, 2006). Ukoliko se koriste biljke sa sličnom kaloričnom vrednošću birati one čija je proizvodnja jeftinija. Kada se govori o proizvodnji biomase i fitoremedijaciji zagađenih voda za Srbiju su interesantne sledeće biljke: trska, rogoz, kana, zuka, štirevi, suncokret, čičoka, proso, rudbekija, vratić, zlatnica kanadska, indijska i bela slačica, lucerka, ječam, kukuruz i druge višegodišnje zeljaste biljke sa visokim prinosom biomase.

Značajno je napomenuti i da dobijena biomasa ne mora da se koristi isključivo u energetske svrhe već može da posluži i za dalje uklanjanje polutanata ako se od nje prave različiti biofilteri. (Reddy *et al.*, 1982). Kao adsorbent koristi se jeftina suva ili živa biomasa različitih biljnih vrsta - suva biomasa algi, lišajeva, bakterija i različitih biljnih vrsta (Davis *et al.*, 2000; Bailey *et al.*, 1999; Kahkonen i Manninen, 1998). Drugim rečima korišćenje biofiltera otvara potpuno novo polje za efikasno korišćenje različitih biljnih ostataka poljoprivrede i šumarstva, koji su se do sada spaljivali ili bacali.

Kao zemlja sa velikim poljoprivrednim zemljištem i površinama pod šumom, Srbija ima veliki potencijal za proizvodnju biomase. Ukoliko se u ove površine dodaju i degradirano zemljište i zagađene vode potencijal postaje još veći.

2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja je odabran na osnovu globalnog značaja fitoremedijacije u uređenju, gazdovanju i zaštiti voda i na osnovu eksperimenata u okviru početnih istraživanja. Predmet istraživanja je fitoremedijacioni potencijal dekorativne biljke kana (*Canna indica* L.) u laboratorijskim uslovima i u biološkom sistemu i odabranih makrofita - trske (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. syn. *Phragmites communis* Trin.), barske perunike (*Iris pseudacorus* L.), sibirske perunike (*Iris sibirica* L.), vodene bokvice (*Alisma plantago - aquatica* L.), potočnjaka (*Lythrum salicaria* L.) i grčice (*Menyanthes trifoliata* L.) u okviru biološkog sistema za prečišćavanje zagađenih voda. Ova istraživanja obuhvataju i ekološku pogodnost, kao i ekonomsku isplativost predloženog Sistema plutajućih ostrva za prečišćavanje zagađenih voda.

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Multidisciplinarna istraživanja u ovom radu su usmerena ka iznalaženju ekološki prihvatljivog, efikasnog i ekonomski isplativog rešenja za tretman i revitalizaciju vodenih površina i vodotokova zagađenim antropogenim uticajima.

Krajnji cilj ovog istraživanja je da se:

1. odredi fitoremedijacioni potencijal odabranih vrsta biljaka,
2. konstruiše odgovarajući model plutajućih ostrva za prečišćavanje zagađenih voda i
3. utvrde ekološki efekti i ekonomska efikasnost biološkog sistema (plutajućih ostrva).

S obzirom da uspeh fitoremedijacije prevashodno zavisi od odabira odgovarajuće biljke za dati slučaj, fitoremedijacioni potencijal odabranih vrsta biljaka je utvrđen kroz:

- određivanje fizičko-hemijskih i mikrobioloških osobina zagađene i prečišćene vode,
- određivanje koncentracije polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi,
- određivanje koncentracije polutanata u biljnim tkivima,
- određivanje koncentracije makro- i mikro- nutrijenata u biljnim tkivima,
- određivanje potencijala biljke da usvaja željeni polutant iz medijuma za gajenje,
- određivanje potencijala biljke da translocira usvojeni polutant iz korena u svoje nadzemne delove,
- ispitivanje parametara rasta,
- ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze i
- procenu dobijene biomase biljaka.

Na osnovu dobijenih rezultata prve faze istraživanja i prethodnih saznanja, pristupilo se konstrukciji modela plutajućih ostrva. Istraživanja u ovoj fazi su obuhvatila:

- odabir odgovarajućeg materijala za konstrukciju nosača plutajućeg ostrva,
- odabir odgovarajućeg supstrata plutajućeg ostrva,
- odabir odgovarajuće vegetacije plutajućeg ostrva i

- samu konstrukciju plutajućeg ostrva.

Ekološki efekti i ekonomska efikasnost biološkog sistema su utvrđeni kroz:

- ispitivanje efekata fitoremedijacije sa ekonomskog aspekta i
- ispitivanje ekonomskomske efikasnosti i ekološkog optimuma fitoremedijacije.

Istraživanjem je utvrđena ekonomska efikasnost fitoremedijacije uz ekološku opravdanost.

4. POLAZNE HIPOTEZE

Imajući u vidu predmet i ciljeve istraživanja definisane su sledeće hipoteze:

1. Biljka *Canna indica* L. i odabrane dekorativne makrofite imaju dobar potencijal za fitoremedijaciju zagađenih voda (H1).
2. Biljka *Canna indica* L. i odabrane dekorativne makrofite imaju slab potencijal za translokaciju usvojenih teških metala iz korena u nadzemne delove biljke (H2).
3. Postoje razlike u efikasnosti fitoremedijacije medijuma sa različitim koncentracijama polutanata (H3).
4. Postoje razlike u efikasnosti fitoremedijacije u zavisnosti od vrste odabranih biljaka (H4).
5. Biljka *Canna indica* L. i odabrane dekorativne makrofite dobro rastu u zagađenim vodama i pri tome stvaraju znatnu biomasu (H5).
6. Fitoremedijacija je ekološki opravdana i ekonomski isplativa (H6).
7. S obzirom na socio-ekonomsku opravdanost uz dostizanje ekološkog optimuma, fitoremedijacija omogućava održivost prirodnih resursa (H7).

5. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

U radu su primenjene opšte naučne metode: indukcija, dedukcija, analiza, sinteza, generalizacija, ekonometrijske, kalkulatívne i druge metode. Istraživanja su obavljena na terenu i u laboratoriji (Tabela 1.).

Tabela 1. Terenska i laboratorijska istraživanja

Terenska istraživanja	Metodologija objašnjena u tački
- formiranje biljnog materijala za potrebe eksperimenata u biološkom sistemu	5.1.2
- postavljanje biološkog sistema za prečišćavanje zagađenih voda	5.2.2
- formiranje i postavljanje supstrata za rast biljaka	5.2.2
- sadnja biljaka u biološkom sistemu	5.2.2
- postavka i izvođenje eksperimenata u biološkom sistemu	5.2.2
- uzimanje uzoraka vode iz reke i biološkog sistema	5.6
- analiza pojedinih fizičko-hemijskih osobina zagađene i prečišćene vode	5.7.6
- uzimanje uzoraka biljaka iz biološkog sistema i kontrole	5.3.2
- uzimanje uzoraka algi iz biološkog sistema	5.4
- uzimanje uzoraka supstrata iz biološkog sistema i kontrole	5.5
- monitoring i održavanje biološkog sistema	5.2.2
Laboratorijska istraživanja	
- formiranje biljnog materijala za potrebe eksperimenta u laboratoriji	5.1.1
- postavka i izvođenje eksperimenta u laboratoriji	5.2.1
- uzimanje uzoraka biljaka iz laboratorijskog eksperimenta	5.3.1
- analiza fizičko-hemijskih i mikrobioloških osobina zagađene i prečišćene vode	5.7

Tabela 1. Terenska i laboratorijska istraživanja (nastavak)

Laboratorijska istraživanja	Metodologija objašnjena u tački
- određivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi	5.8
- ekstrakcija teških metala iz biljnih tkiva i algi	5.9
- ekstrakcija teških metala iz supstrata	5.10
- određivanje koncentracije metala u biljnim tkivima, algama i supstratu	5.11
- određivanje potencijala biljke da usvaja ciljani element	5.12
- određivanje potencijala biljke da translocira ciljani element	5.13
- određivanje sadržaja elemenata ishrane u asimilacionim organima	5.14
- ispitivanje parametara rasta biljaka u laboratorijskom eksperimentu	5.15
- ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze kod biljaka u biološkom sistemu	5.16
- procena dobijene biomase biljaka u biološkom sistemu	5.17
- ispitivanje biotehničkih i ekonomskih aspekata plutajućeg ostrva za fitoremedijaciju:	5.18
- tehnički i biotehnološki elementi plutajućeg ostrva	5.18.1
- ekonomski parametri i opravdanost Sistema plutajućih ostrva za fitoremedijaciju	5.18.2
- pokazatelji Cost - Benefit analize	5.18.2.1
- ekonomsko-finansijski model Sistema plutajućih ostrva	5.18.2.2
- SWOT analiza Sistema plutajućih ostrva za fitoremedijaciju	5.18.3
- statistička obrada podataka	5.19

5.1. Biljni materijal i uslovi gajenja

5.1.1 Eksperiment u laboratoriji

Biljni materijal je dobijen iz rizoma vrste *Canna indica* L. Početkom aprila rizomi (sa približno istim brojem pupoljaka i približno iste težine) su zasađeni u svagnumski treset. Osnovne karakteristike korišćenog treseta (proizvođač AB Rekyva, Litvanija) su: sadržaj organske materije 35% u odnosu na ukupnu materiju, ukupan azot 0,4% i pH vrednost 3,5-4. Zasađeni materijal je čuvan u laboratoriji sa staklenim krovom, do početka eksperimenta (kraj maja). Svetlosni režim je odgovarao normalnom smenjivanju dana i noći.



Slika 15. Sadnice kane neposredno pre početka eksperimenta

5.1.2 Eksperiment u biološkom sistemu

Biljni materijal za formiranje biološkog sistema je nabavljen iz rasadnika Ukrasno vrtlarstvo „Torteli“, Temerin i Miković, Subotica. Da bi se dobile biljke, koje mogu odmah da se koriste u biološkom sistemu rizomi vrste *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. su u busenovima smešteni u improvizovani bazen, a rizomi vrste *Canna indica* L. i sadnice *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago-aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L. su posađeni u svagnumski treset (proizvođač AB Rekyva, Litvanija). Do sadnje, biljke su se nalazile u rasadniku

Instituta za šumarstvo, Beograd. Biljke koje su korišćene za kontrolu su gajene do kraja eksperimenata u plastičnim posudama sa vodom bez dodavanja nutrijenata.

Alge nisu posebno gajene već su u biološki sistem unete direktno iz rečnog korita. Determinacija algi je izvršena na Katedri za algologiju, mikologiju i lihenologiju, Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.



Slika 16. Sadnice kane u rasadniku Instituta za šumarstvo, Beograd



Slika 17. Sadnice barske (levo) i sibirske (desno) perunike neposredno pre presađivanja u biološki sistem

5.2. Postavka eksperimenta

5.2.1 Eksperiment u laboratoriji

Za potrebe eksperimenta, kane su gajene u hidroponiku (vodenoj kulturi) u laboratoriji sa staklenim krovom. Odrasle sadnice, prosečne visine 50 cm, su krajem maja pojedinačno prebačene u plastične posude sa 3L medijuma za gajenje biljaka. Kao hranljivi rastvor korišćen je 50% modifikovan Hoglandov rastvor sledećeg sastava (mM): 2 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, 3 KNO_3 , 3 NH_4NO_3 , 1 $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 1 KH_2PO_4 i 0,2 FeEDTA i (μM) 4,5 MnSO_4 , 23 H_3BO_3 , 0,1 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, 0,4 ZnSO_4 i 0,2 CuSO_4 (Zayed, *et al.*, 1998b).

Hranljivi rastvori su posle nedelju dana gajenja biljaka zamenjeni svežim. Tom prilikom je započet tretman odabranih sadnica olovom (Pb). Olovo je dodato u modifikovani Hoglandov rastvor u obliku olovo (II) acetata ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$) u tri različite koncentracije (μM): 50 (tretman I), 100 (tretman II) i 200 (tretman III) odnosno dobijeni medijumi za gajenje su sadržali 10, 21 i 41 mgPb/L rastvora. Biljke gajene u hranljivom rastvoru u koji nije dodato Pb su predstavljale kontrolu. U svakom tretmanu se nalazilo po šest biljaka.



Slika 18. Deo sadnica kane na početku eksperimenta u laboratoriji

5.2.2 Eksperimenti u biološkom sistemu

Biološki sistem za prečišćavanje zagađenih voda Topčiderske reke je imao karakter privremenog objekta. Nalazio se na obali Topčiderske reke u okviru rasadnika Javnog preduzeća za gazdovanje šumama „Srbijašume“ Beograd, ŠG „Beograd“. Konstruisan je kao modifikovan rizofiltracioni sistem, koji se sastojao od:

- pumpe za zahvatanje vode iz reke,
- sabirnog zatvorenog rezervoara,
- četiri otvorena pravougaona bazena u koje se smeštaju plutajuća ostrva,
- plutajućih ostrva sa supstratom i biljkama,
- jednog otvorenog pravougaonog bazena sa algama i
- pumpe za recirkulaciju.

Na lokaciji nije bilo priključka električne energije, tako da je za zahvat vode iz reke izabrana samousisna benzinska pumpa SA 45 TL proizvođača Oleo-Mac, a za recirkulaciju vode u biološkom sistemu samousisna benzinska pumpa WP 300 euro 2 istog proizvođača (Tabela 2).

Tabela 2. Karakteristike izabranih pumpi

Tehnički podaci	Pumpa SA 45 TL	Pumpa WP 300 euro 2
Nominalna snaga elektro-motora (kW)	2,5	1,0
Zapremina rezervoara (L)	2,7	0,83
Protok (L/min)	580	150
Visina dizanja za navedeni protok (m)	40	36
Usisni otvor/usisna visina (°/m)	2/7,5	1/7
Težina (kg)	14,2	5,5

Sabirni rezervoar i bazeni su bili napravljeni od plastičnih masa. Kao sabirni rezervoar izabran je tipski vertikalni rezervoar korisne zapremine 5 m³ i unutrašnjih dimenzija Ø1600x2500 mm. Četiri otvorena pravougaona bazena su imala pojedinačnu korisnu zapreminu od 3 m³, unutrašnje dimenzije LxBxH = 3000 x 1000 x 1000 mm i spoljašnja metalna ojačanja. U bazenima su se nalazila po tri plutajuća ostrva, koja su se sastojala od pokretnih rešetkastih platformi dimenzija 1 x 1 m, sa rukohvatima, supstrata za sadnju biljaka (kamena vuna) i samih biljaka.



Slika 19. Pokretne rešetkaste platforme (levo) i kamena vuna u njima kao supstrat za sadnju biljaka (desno)

U prvi bazen je posađena vrsta *P. australis*, u drugi *C. indica*, u treći kana i trska zajedno, a u četvrti dekorativne makrofite: *I. pseudacorus*, *I. sibirica* 'Perry's Blue', *A. plantago - aquatica*, *L. salicaria* i *M. trifoliata*. Peti bazen je imao korisnu zapreminu od 1,5 m³, unutrašnje dimenzije LxBxH = 3000 x 1000 x 500 mm i spoljašnja metalna ojačanja. U njemu su se nalazile alge. Sabirni rezervoar i bazeni postavljeni su na planirano zemljište, tako da se dno svakog bazena celom površinom oslanjalo na ravnu kotu podloge. Na svakoj dovodnoj grani bio je smešten vodommer i zatvarač DN 25, sa pripadajućim fazonskim komadima. Na odvodnim granama smešteni su zatvarači i slavine za uzorkovanje, sve PE OD 32 sa pripadajućim fazonskim komadima.

Gravitacioni tok vode u sistemu je obezbeđen zahvaljujući konstrukciji uliva i izliva sabirnog rezervoara i bazena na odgovarajućim visinama. Izliv sabirnog rezervoara se nalazio na visini od 10,5 cm od dna. Denivelacijom terena za 20 cm omogućeno je postavljanje uliva četiri bazena na visinama od 30,5 cm i izliva na 11 cm od dna bazena. Voda se u peti bazen sa algama ulivala odozgo, tako da se uliv nalazio na gornjoj ivici bazena odnosno na 50 cm iznad površine zemlje. Izliv poslednjeg bazena je postavljen na visini od 10 cm od dna bazena. U okviru poglavlja Prilozi nalazi se detaljan prikaz osnove i preseka biološkog sistema (Prilog 1).



Slika 20. Izgled biološkog sistema

Montaža i provera pravilnog rada biološkog sistema i njegovih komponenti je izvršena 11. maja 2015. godine.

Sadnja biljaka je izvršena sukcesivno od 13. maja do 11. juna 2015. godine i zavisila je od stadijuma razvijenosti biljaka. Tokom prve sadnje posađene su dekorativne makrofite u četvrti bazen. Na svakom plutajućem ostrvu nalazilo se ukupno 30 biljaka i to: 8 kom. barske perunike, 6 kom. sibirske perunike, 5 kom. vodene bokvice, 5 kom. potočnjaka i 6 kom. grčice. Tokom druge sadnje posađene su trska i kana u prva tri bazena.



Slika 21. Dekorativne makrofite u četvrtom bazenu (levo) i trska u prvom bazenu (desno)

U prvom bazenu na svakom plutajućem ostrvu se nalazilo po 25 sadnica trske. Na svakom plutajućem ostrvu drugog bazena posađeno je po 25 sadnica kane. U trećem

bazenu su na plutajućim ostrvima zasađene su trska i kana pri čemu se na svakom nosaču nalazi po 25 biljaka. U toku ovog perioda unesene su i alge iz reke u peti bazen.



Slika 22. Kana u drugom bazenu (levo) i alge u petom bazenu (desno)

Ovakav način sadnje biljaka je omogućio jednake mikroklimatske uslove za svaku vrstu u biološkom sistemu i njihovo nesmetano poređenje pri analizi dobijenih rezultata.

Do 28. avgusta 2015. godine je trajao period uhodavanja biološkog sistema. Tokom ovog perioda voda je u bazenima menjana dva puta nedeljno i tom prilikom je upumpavana voda iz reke. Monitoring biološkog postrojenja je vršen nekoliko puta nedeljno i tokom perioda uhodavanja i kasnije tokom rada. Na ovaj način se kontrolisalo zdravstveno stanje biljaka i njihov rast, pojava neželjene vegetacije, nivo vode u postrojenju i ravnomernost njenog toka.

Prvi eksperiment u biološkom sistemu je sproveden u periodu od 28. avgusta do 17. septembra 2015. godine i sastojao se od tri identična ciklusa prečišćavanja u trajanju od po 12 dana. Ciklus prečišćavanja je započinjao dovođenjem zagađene vode iz reke pumpom u sabirni zatvoreni rezervoar. Voda se dalje gravitaciono razvodila istovremeno do četiri bazena sa biljkama i u njima se zadržavala 6 dana. Nakon ovog perioda voda se iz svih bazena sa biljkama istovremeno gravitacijom prebacivala u peti bazen sa algama u kome se takođe zadržavala 6 dana. Po isteku ovog perioda jedan ciklus je završen. Ciklusi su se međusobno preklapali. Cilj prvog eksperimenta je bila kvantifikacija potencijala korišćenih biljnih vrsta da usvajaju polutante iz zagađene vode i da se odredi potencijal ovih biljaka za fitoremedijaciju.

Drugi eksperiment u biološkom sistemu je izveden 30. septembra 2015. godine. Obuhvatao je pet ciklusa recirkulacije vode u svakom od bazena sa biljkama. Zagađena voda iz reke je najpre ubačena u prvi bazen i recirkulacionom pumpom je u njega

ponovo vraćana narednih sat vremena. U toku ovog perioda voda je obišla pet punih krugova. Nova zagađena voda je zatim upumpana u drugi bazen i postupak je ponovljen. Identične metode su sprovedene i u trećem i četvrtom bazenu. Cilj drugog eksperimenta je bio određivanje efikasnost biološkog sistema kada se u njemu simuliraju hidroloških parametri reke.

Treći eksperiment je sproveden od 09. oktobra do 19. oktobra 2015. godine po istoj metodologiji kao prvi eksperiment s tim što je obuhvatio samo jedan ciklus. Ovaj eksperiment je izveden kako bi se izvršile dodatne analize zagađene i prečišćene vode.

Prečišćena voda se ispuštala u reku.

5.3. Uzorkovanje biljnog materijala

5.3.1 Eksperiment u laboratoriji

Uzorkovanje biljaka je izvršeno 9. i 21. dana eksperimenta. Biljke su uklonjene iz medijuma za gajenje i podeljene na koren, rizom, stablo i list. Svi vegetativni delovi su 3 puta isprani u destilovanoj vodi kako bi se odstranilo površinski apsorbovano Pb. Biljni delovi su zatim prebačeni u papirne kese i stavljeni na sušenje 24h na 80°C (Campbell i Plank, 1998). Posle sušenja, uzorci biljaka su samleveni u prah i prosejani kroz sito sa veličinom otvora 0,8 mm. Formirano je 192 reprezentativna uzorka vegetativnih organa kane. Uzorci su čuvani u zatvorenim plastičnim posudama do analiza.



Slika 23. Biljni uzorci spremni za sušenje

5.3.2 Eksperimenti u biološkom sistemu

Uzorci biljaka su uzeti neposredno pre početka prvog eksperimenta, a zatim na kraju svakog ciklusa prečišćavanja tokom prvog i trećeg eksperimenta.

Biljke su donete u laboratoriju i podeljene na nadzemni i podzemni deo. U toku prvog eksperimenta podzemni deo biljke je predstavljao isključivo koren. Na kraju trećeg eksperimenta, kada su sve biljke uklonjene, uzorkovani su i rizomi kod biljaka koje su imale ovaj vegetativni deo. Biljni materijal je ispran 3 puta u destilovanoj vodi. Formirani su zbirni uzorci, pri čemu je jedan zbirni uzorak predstavljao jedan vegetativni deo jedne biljne vrste na jednom ostrvu u okviru jednog bazena. Uzorci su osušeni, samleveni i čuvani do analiza metodom koja je opisana u tački 5.3.1. Za analizu je uzeto ukupno 318 zbirnih uzoraka vegetativnih delova biljaka u biološkom sistemu i u kontroli.



Slika 24. Biljni materijal donet sa terena (levo), uzorci pripremljeni za sušenje (sredina) i uzorci spremni za analize (desno)

5.4. Uzorkovanje algi u biološkom sistemu

Alge su iz petog bazena uzorkovane pre početka prvog eksperimenta, tokom prvog eksperimenta (na kraju svakog ciklusa) i na kraju trećeg eksperimenta odnosno na kraju rada sistema. Jedan uzorak algi se dobijao kao zbirni uzorak uzet sa 5 mesta u

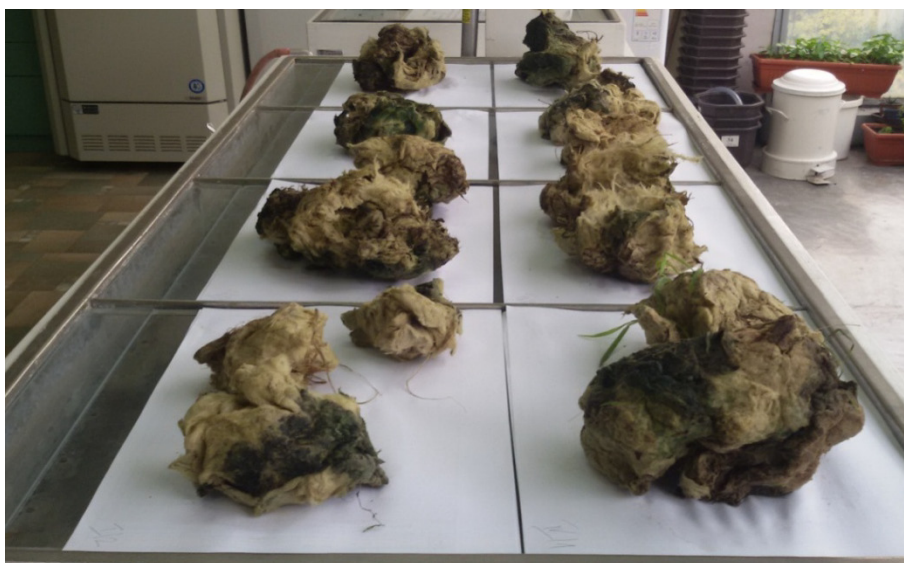
bazenu (svaki ugao i sredina). Uzorci algi su pripremljeni i čuvani do analiza na isti način kao i biljke. Ukupno je uzeto 5 uzoraka algi iz biološkog sistema za analizu.



Slika 25. Uzorak algi donesenih sa terena

5.5. Uzorkovanje supstrata u biološkom sistemu

Kamena vuna (supstrat) je uzorkovana istovremeno kada i biljke. Uzorak supstrata je predstavljao zbirni uzorak kamene vune uzet sa 5 mesta sa svakog ostrva (svaki ugao i sredina). Ukupno je uzeto za analizu 65 uzoraka supstrata iz biološkog sistema i iz kontrole.



Slika 26. Uzeti uzorci supstrata na sušenju u laboratoriji

5.6. Uzorkovanje zagađene i prečišćene vode u biološkom sistemu

Uzorci zagađene vode, koja ulazi u biološki sistem su uzeti na početku svakog ciklusa prvog eksperimenta. Na kraju svakog ciklusa uzeti su uzorci prečišćene vode. U okviru drugog eksperimenta na početku svakog prvog ciklusa uziman je uzorak zagađene vode, koja ulazi u sistem, a na kraju svakog petog ciklusa uzimani se uzorci prečišćene vode.

Uzorak vode za određivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi pomoću ICP-OES spektrometra (Varian Vista-PRO, CCD Simultaneous ICP-OES) je predstavljao 1 litar zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u svakom bazenu posebno (svaki ugao i sredina), ali tako da je flaša do stavljanja čepa uronjena u vodu. Uzorci su stabilizovani azotnom kiselinom i do analize su čuvani u frižideru.



Slika 27. Uzorci vode u frižideru

Za analizu su ukupno uzeta 32 uzorka zagađene i prečišćene vode.

5.7. Analiza fizičko-hemijskih i mikrobioloških osobina zagađene i prečišćene vode u biološkom sistemu

Analiza uzoraka površinskih voda (zagađene i prečišćene vode) za parametre koncentracije amonijaka, nitrata, nitrita, ukupnog fosfora i ortofosfata, biološke potrošnje kiseonika i hemijske potrošnje kiseonika izvršena je u laboratoriji Gradskog

zavoda za javno zdravlje Beograd. Mikrobiološke osobine zagađene i prečišćene vode su određene u pomenutoj laboratoriji. Sve metode koje su korišćene ovom prilikom su akreditovane prema standardu SRPS ISO/IEC 17025:2006.

Analiza uzoraka površinskih voda (zagađene i prečišćene vode) za parametre provodljivost, pH, rastvoreni kiseonik, saturacija kiseonikom i temperatura je izvršena direktnim merenjima na terenu.

5.7.1 Određivanje sadržaja ukupnog azota, amonijaka, nitrata i nitrita u zagađenoj i prečišćenoj vodi

5.7.1.1 Koncentracija ukupnog azota (SRPS EN 12260:2008)

Koncentracija ukupnog azota je dobijena oksidacijom uzorka u kojem se određuje koncentracija azota katalitičkim sagorevanjem u kiseoničkoj atmosferi na temperaturi većoj od 700 °C do azotnih oksida. Kvantifikacija dobijenih azotnih oksida je izvršena detekcijom hemijske luminiscencije nakon reakcije sa ozonom. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

5.7.1.2 Koncentracija amonijaka

Koncentracija amonijaka je određena metodom za određivanje koncentracije amonijaka iz priručnika „Voda za piće, standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti“ (1990) u kojoj je izvršena modifikacija pripreme Nessler reagensa tako da se njegova priprema vrši prema priručniku „Standard methods for Examination of Water and Wastewater“ (1961). Modifikacija metode izvršena je u cilju dobijanja veće stabilnosti i boljeg odgovora Nessler reagensa. Metoda se zasniva na hemijskoj reakciji amonijaka i Nessler reagensa kada se formira talog NH_2HgJ_3 žutomrke do crvenkastomrke boje u zavisnosti od koncentracije taloga. Apsorbanca dobijenog rastvora je merena UV/VIS spektrofotometrom (Jenway 6305) na talasnoj dužini od 425 nm, a reagensi koji su se koristili zadovoljavaju karakteristike reagenasa analitičke čistoće. Dobijeni rezultati su izraženi kao N u mg/l.

5.7.1.3 Koncentracija nitrata (SMEWW 19th m 4500-NO)

Koncentracija nitrata je određena metodom 4500-NO₃ B iz priručnika, „Standard methods for Examination of Water and Wastewater“ (1995). Metoda je zasnovana na merenju apsorpcije UV/VIS spektrofotometrom (Jenway 6305) na talasnoj dužini od 220 nm karakterističnoj za nitrate i talasnoj dužini od 275 nm, koja je karakteristična za organske materije koje mogu da prave smetnje na talasnoj dužini od 220 nm. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

5.7.1.4 Koncentracija nitrita (SRPS EN ISO 26777:2009)

Koncentracija nitrita je određena metodom SRPS EN ISO 26777:2009 Kvalitet vode - Određivanje sadržaja nitrita - Metoda molekularnoapsorpcione spektrometrije. Metoda je zasnovana na reakciji nitrita sa 4-aminobenzensulfonamidom u prisustvu ortofosforne kiseline pri pH 1,9 kada se formira diazonijum so, koja daje ružičastu boju sa N-(1-naftil)-1,2-diaminoetan-dihidrohloridom. Apsorbancija dobijenog rastvora je merena UV/VIS spektrofotometrom (Jenway 6305) na talasnoj dužini od 540 nm. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

5.7.2 Određivanje sadržaj ukupnog fosfora i ortofosfata u zagađenoj i prečišćenoj vodi

5.7.2.1 Koncentracija ukupnog fosfora (SRPS EN ISO 6878:2008)

Koncentracija ukupnog fosfora je određena metodom SRPS EN ISO 6878:2008 Kvalitet vode - Određivanje fosfora - Spektrofotometrijska metoda sa amonijum-molibdatom. Metoda je zasnovana na prethodnoj mineralizaciji jedinjenja fosfora do ortofosfata peroksidsulfatom ili kombinacijom azotne i sumporne kiseline. Koncentracija ortofosfata je dobijena merenjem apsorpcije rastvora kompleksa molibden plavo UV/VIS spektrofotometrom (Jenway 6305) na talasnoj dužini od 880 nm. Kompleks molibden plavo se dobija u dva koraka. Prvi korak je reakcija jona ortofosfata, molibdata i antimona u kiseloj sredini i formiranju kompleksa antimon-fosfo-molibdata, dok se u drugom koraku redukcijom ovog kompleksa uz pomoć askorbinske kiseline dobija kompleks molibden plavo. Dobijeni rezultat se preračunava u koncentraciju fosfora. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

5.7.2.2 Koncentracija ortofosfata (SRPS EN ISO 6878:2008)

Koncentracija ortofosfata je određena metodom SRPS EN ISO 6878:2008 Kvalitet vode - Određivanje fosfora - Spektrofotometrijska metoda sa amonijum-molibdatom. Metoda je zasnovana na merenju apsorpcije rastvora kompleksa molibden plavo UV/VIS spektrofotometrom (Jenway 6305) na talasnoj dužini od 880 nm.

5.7.3 Određivanje sadržaj ukupnog organskog ugljenika u zagađenoj i prečišćenoj vodi

Koncentracija ukupnog organskog ugljenika je određena metodom SRPS ISO 8245:2007 Kvalitet vode - Smernice za određivanje ukupnog organskog ugljenika (TOC) i rastvorenog organskog ugljenika (DOC). Princip dobijanja koncentracije ukupnog organskog ugljenika u vodi se zasniva na katalitičkoj konverziji organskog ugljenika u CO₂ kombinacijom UV zračenja i persulfatne kiseline. Količina dobijenog CO₂ je zatim direktno merena koristeći infra-crveni detektor na LABTOC aparatu proizvođača Scientific Analysis Laboratories Limited. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

5.7.4 Određivanje biološke potrošnje kiseonika u zagađenoj i prečišćenoj vodi

Analiza biohemijske potrošnje kiseonika (BPK₅) je izvršena metodom SRPS EN 1899-1: 2009, koja podrazumeva prethodnu obradu uzorka i razblaživanje različitim količinama vode za razblaživanje obogaćene kiseonikom, koja sadrži zasejane aerobne mikroorganizme sa zaustavljanjem nitrifikacije. Uzorak za ispitivanje je zagrejan do temperature od $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ i po potrebi je promućkan u posudi napunjenoj do polovine, tako da se spreči prezasićenje kiseonikom. Odgovarajuća zapremina uzorka je prenesena u posudu za razblaživanje, dodato je 2 mL rastvora alitioure po litru razblaženog uzorka i posuda je dopunjena do graduisane crte zasejanom vodom za razblaživanje. U slučajevima kada je faktor razblaženja koji će se upotrebiti bio veći od 100, obavljeno je serijsko razblaživanje u dva ili tri stepena. Zatim je merena nulta koncentracija kiseonika metodom SRPS EN 25814:2009, a uzorci su inkubirani u mraku na $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 5 dana ± 4 sata. Nakon inkubacije određena je koncentracija

kiseonika istom metodom i iz dobijenih vrednosti izračunata BPK₅. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

5.7.5 *Određivanje hemijske potrošnje kiseonika u zagađenoj i prečišćenoj vodi*

Analiza hemijske potrošnje kiseonika (HPK) je izvršena metodom zasnovanoj na uputstvima za upotrebu COD reaktora ET 108 (Lovibond), termoreaktora RD 125 (Lovibond) i fotometra COD Vario (Lovibond). Metoda se zasniva na oksidaciji supstanci prisutnih u vodi poznatom količinom K₂Cr₂O₇ u prisustvu živa (II) - sulfata i soli srebra kao katalizatora u jakoj sumpornoj kiselini na 150 °C u toku 2 sata. Kivete su ohlađene do sobne temperature i zavisno od očekivanog opsega za HPK na fotometru je izmerena koncentracija preostalog žutog Cr₂O₇²⁻ na talasnoj dužini od 430 nm ili zelenog jona Cr³⁺ na talasnoj dužini od 605 nm. Dobijene vrednosti na fotometru su HPK u mg O₂/l.

5.7.6 *Određivanje provodljivosti, pH, rastvorenog kiseonika, stepena zasićenosti kiseonikom i temperature zagađene i prečišćene vode*

Analiza fizičko-hemijskih osobina kao što su provodljivost, pH, rastvoreni kiseonik, saturacija kiseonikom i temperatura zagađene i prečišćene vode su izvršene portabl mernim instrumentom HACH HQ 40d Digital Multi-Parameter Meter sa automatskom kalibracijom temperature (HACH) metodom zasnovanoj na uputstvima za upotrebu ovog instrumenta.

5.7.6.1 *Rastvoreni kiseonik i stepen zasićenosti kiseonikom (SRPS EN 25814:2009)*

Merenje koncentracije rastvorenog kiseonika (DO) je izvršeno jon selektivnom elektrodom u okviru koje se nalaze dve elektrode obavijene selektivnom membranom i ispunjene elektrolitom. Membrana je praktično nepropustljiva za vodu i jonske rastvorene supstance, ali je propustljiva za kiseonik i izvestan broj drugih gasova i liofilnih supstancija. Princip merenja koncentracije kiseonika je zasnovan na razlici potencijala između elektroda u ćeliji, do koje dolazi usled prodiranja molekula kiseonika u elektrolit. Step en zasićenosti kiseonikom (SO) se dobija iz odnosa dobijene vrednosti koncentracije kiseonika i očekivane maksimalne koncentracije kiseonika u

vodi na toj temperaturi. Dobijeni rezultati za rastvoreni kiseonik su izraženi u mg/l, a za stepen zasićenosti kiseonikom u %.

5.7.6.2 pH (ISO 10523:2013)

Princip merenja vrednosti pH u vodi prema metodi ISO 10523:2013 je zasnovan na merenju razlike između napona rastvora koji se ispituje i poznatog napona elektrolita kojim je ispunjena pH sonda i izračunavanja vrednosti pH na osnovu dobijenih vrednosti.

5.7.6.3 Elektroprovodljivost

Princip merenja elektroprovodljivosti (EC) vodenih rastvora se zasniva na direktnom merenju njene vrednosti aparatom sa odgovarajućom sondom. Elektroprovodljivost je mera trenutne provodljivosti prisutnih jona u vodi („fenomen provodnika druge vrste“) i zavisi od koncentracije jona, prirode jona, temperature rastvora i njegovog viskoziteta. Dobijeni rezultati su izraženi u $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.7.7 Određivanje brojnosti streptokoka fekalnog porekal VDM 0213 (VDM - validovana dokumentovana metoda)

Metoda za određivanje brojnosti streptokoka fekalnog porekla je formirana na osnovu uputstva za korišćenje brzih testova Enterolert proizvođača Idexx. Princip rada je zasnovan na promeni boje supstrata 4-methyl-umbelliferyl β -D-glucoside prilikom hidrolize pod uticajem enzimске aktivnosti β -D-glucozidaze, koja je prisutna kod predstavnika ove grupe bakterija.

5.7.8 Određivanje brojnosti koliformnih bakterija fekalnog porekla i ukupnih koliformnih bakterija (SRPS H.Z1.309:2010)

Ova metoda je zasnovana na komercijalnim brzim testovima baziranim na enzimskoj aktivnosti β -D-galaktozidaze. Uzorci za ispitivanje su zasejani na već pripremljene podloge. Prisustvo ukupnih koliformnih odnosno koliformnih bakterija fekalnog porekla je doводilo do promene boje supstrata u slučaju prisustva ukupnih koliformnih bakterija odnosno do fluoresciranja u slučaju prisustva koliformnih

bakterija feklanog porekla. Najverovatniji broj bakterija, odnosno MPN, u datom uzorku je dobijen na osnovu broja bunarčića kod kojih je zabeležena promena boje odnosno fluoresciranje.

5.8. Određivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi u biološkom sistemu

Merenje koncentracije teških metala i drugih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi je izvršeno ICP-OES spektrometrom (Varian Vista-PRO, CCD Simultaneous ICP-OES) standardnom metodologijom (U.S. EPA, 1994). Analizom je određena koncentracija 23 elementa (Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sr, Zn) u zagađenoj i prečišćenoj vodi. Dobijeni rezultati su izraženi u mg/l.

U Tabeli 3. prikazane su talasne dužine merenja i limiti detekcije ispitivanih elemenata.

Tabela 3. Talasne dužine i limiti detekcije (LD) ispitivanih elemenata

Ispitivani elementi	Talasne dužine (nm)	LD u vodi (mg/l)	LD u biljnom materijalu i algama (mg/kg)	LD u kamenju (mg/kg)
Al	237,312	0,03	2,50	3,00
As	188,980	0,01	0,83	1,00
B	249,772	0,01	0,83	1,00
Ba	233,527	0,01	0,83	1,00
Ca	370,602	0,02	1,78	2,00
Cd	228,802	0,01	0,83	1,00
Co	228,615	0,01	0,83	1,00
Cr	205,560	0,01	0,83	1,00
Cu	324,754	0,01	0,83	1,00
Fe	261,187	0,01	0,83	1,00
Hg	184,887	0,01	0,83	1,00
K	769,897	0,01	0,83	1,00
Mg	279,078	0,01	0,83	1,00
Mn	261,020	0,01	0,83	1,00
Mo	203,846	0,01	0,83	1,00
Na	589,592	0,01	0,83	1,00
Ni	221,648	0,01	0,83	1,00
P	177,434	0,01	5,54	7,00
Pb	220,353	0,01	0,83	1,00
S	180,669	0,01	0,83	1,00
Se	196,026	0,02	1,31	2,00
Sr	421,552	0,01	0,83	1,00
Zn	206,200	0,01	0,83	1,00

5.9. Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz biljnih tkiva i algi

5.9.1 Eksperiment u laboratoriji

Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz biljnih tkiva je vršena metodom mikrotalasne digestije (Senila *et al.*, 2011). Korišćen je mikrotalasni digestor Speedwave MWS-3⁺ (Berghof). Jedan uzorak je predstavljao 250-300 mg homogenizovanog suvog biljnog materijala korena, rizoma, stabla ili lista *C. indica*. Kako bi se izbegla kontaminacija uzoraka izvršena je dezinfekcija teflonskih sudova 10% HNO₃ u trajanju od 48h. Odmerena količina osušenog i samlevenog biljnog materijala je stavljena u specijalne teflonske sudove uz dodavanje 5 mL 69% HNO₃ i 2 mL 30% H₂O₂. Zatvoreni sudovi su postavljeni u mikrotalasni digestor. Po završetku programa sudovi su izvađeni i ostavljeni da se hlade oko 45 minuta. Po hlađenju njihov sadržaj je preručen u plastične volumetrijske bočice zapremine 25 mL, koje su zatim napunjene destilovanom vodom do graduisane crte (Aksoy i Sahin, 1999; Minganti *et al.*, 2004). Sadržaj je zatim preko filter papira preručen u zatvorene sterilne posude i čuvan u frižideru do analize uzoraka.

5.9.2 Eksperimenti u biološkom sistemu

Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz biljnih tkiva i algi je vršena metodom mikrotalasne digestije kao što je opisano u tački 5.9.1. Jedan biljni uzorak je predstavljao 250-300 mg homogenizovanog suvog biljnog materijala korena, rizoma (ukoliko ga biljka ima) ili nadzemnog dela biljaka *P. australis*, *C. indica*, *I. pseudacorus*, *I. sibirica* 'Perry's Blue', *A. plantago - aquatica*, *L. salicaria* ili *M. trifoliata*. Jedan uzorak algi je predstavljao 250-300 mg homogenizovanog suvog tkiva algi.

5.10. Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz supstrata u biološkom sistemu

Ekstrakcija teških metala i drugih elemenata iz supstrata je vršena u carskoj vodi metodom ISO 11466 (Cools i De Vos, 2010).

Jedan uzorak je predstavljao 300 mg vazdušno suve kamene vune. Odmeren i usitnjen uzorak je prebačen u posude od 250 mL u koje je zatim dodato 28 mL carske

vode (3HCl:1HNO₃), kap po kap. Zatim je obavljeno povezivanje kondenzatora (sa apsorpcionim sudovima) i reakcionih posuda i uzorak je stajao na sobnoj temperaturi 16h. Potom je sadržaj polako zagrevan do ključanja i razaranje na rešou je trajalo 2h. Po sleganju nerastvorenih ostataka iz suspenzije spojen je sadržaj apsorpcionog suda sa sadržajem reakcionog suda spiranjem sudova i kondenzatora sa 10 mL HNO₃. Sadržaj sudova se preko filter papira sipao u volumetrijske posude zapremine 100 mL. Kada je sav dekantiran eksrakt prošao kroz filter papir, talog se spirao iz reakcionog suda na filter papir sa minimalnim količinama azotne kiseline, a volumetrijske posude su dopunjavane do graduisane crte. Sadržaj je zatim preručen u zatvorene sterilne posude i čuvan u frižideru do analize uzoraka.

5.11. Određivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u biljnim tkivima, algama i supstratu

5.11.1 Eksperiment u laboratoriji

Merenje koncentracije teških metala i drugih elemenata u biljnim tkivima je izvršeno ICP-OES spektrometrom (Varian Vista-PRO, CCD Simultaneous ICP-OES) standardnom metodologijom (U.S. EPA, 2001). Analizom je određena koncentracija 11 elementa (B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, P, Pb, S, Zn) u suvoj masi korena, rizoma, stabla i lista *C. indica*. Rezultati su očitani kao mg/l, pa su stoga konvertovani u ppm (mg/kg) koristeći sledeću formulu:

$$\text{ppm} = \frac{(\text{Cp} - \text{b})/1000 \times \text{V}}{\text{m}} \times 1000 \quad (1)$$

gde je: Cp - koncentracija elementa u biljnom tkivu (mg/l), b - slepa proba (mg/l), V - zapremina uzorka (mL) i m - masa uzorka (g).

Koncentracija navedenih elemenata je izražena po jedinicu suve mase biljaka.

U Tabeli 3. prikazane su talasne dužine merenja i limiti detekcije ispitivanih elemenata.

5.11.2 Eksperimenti u biološkom sistemu

Merenje koncentracije teških metala i drugih elemenata u biljnim tkivima, algama i supstratu je izvršeno ICP-OES spektrometrom (Varian Vista-PRO, CCD Simultaneous ICP-OES) standardnom metodologijom (U.S. EPA, 2001). Analizom je određena koncentracija 23 elementa (Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sr, Zn) u suvoj masi korena, rizoma (ukoliko ga biljka ima) i nadzemnog dela biljaka *P. australis*, *C. indica*, *I. pseudacorus*, *I. sibirica* 'Perry's Blue', *A. plantago - aquatica*, *L. salicaria* i *M. trifoliata*, u uzorcima algi i supstrata. Rezultati su očitani, konvertovani i izraženi kao što je to navedeno u tački 5.11.1.

5.12. Određivanje potencijala biljke *Canna indica* L. u eksperimentu u laboratoriji da usvaja ciljani element iz zagađene sredine

Za kvantifikovanje potencijala biljaka da usvajaju ciljani element iz medijuma za gajenje odnosno iz zagađene vode, korišćen je biokoncentracioni faktor (BCF). On predstavlja indeks koji ukazuje na mogućnost biljke da usvaja element od interesa u odnosu na njegovu koncentraciju u medijumu u kome raste (Ghosh i Singh, 2005b; De Jesus i Yllano, 2005; Zayed *et al.*, 1998a).

Za izračunavanje biokoncentracionog faktora korišćena je sledeća formula:

$$BCF = \frac{C_p}{C_w} \quad (2)$$

gde je: BCF - biokoncentracioni faktor, C_p - koncentracija elementa u suvoj masi biljnog tkiva u trenutku uzorkovanja (mg/kg), C_w - početna koncentracija elementa u hranljivom rastvoru (mg/L).

U okviru rizofiltracionih sistema BCF podzemnog dela biljke (koren i rizom) je mnogo relevantnija mera za određivanje fitoremedijacionog potencijala biljke nego BCF cele biljke (Zurayk *et al.*, 2002). Zbog toga su u ovom radu posebno izračunati BCF za podzemni, a posebno za nadzemni deo biljke. Što je veća vrednost biokoncentracionog faktora to je i biljka pogodnija za fitoremedijaciju ciljanog elementa (Blaylock *et al.*, 1997).

Za kvantifikovanje usvajanja ciljanog elementa iz medijuma za gajenje po jedinici suve mase biljaka po danu, korišćen je stepen ukupne akumulacije (TAR) (Zhu *et al.*, 1999).

Za izračunavanje stepena ukupne akumulacije korišćena je sledeća formula:

$$\text{TAR} = \frac{C_s \times M_s + C_r \times M_r}{M_s + M_r} \times d \quad (3)$$

gde je: TAR - stepen ukupne akumulacije (mg/kg/danu), C_s - koncentracija elementa u suvoj masi nadzemnih delova biljke (mg/kg), M_s - suva masa nadzemnih delova biljke (g), C_r - koncentracija elementa u suvoj masi podzemnih delova biljke (mg/kg), M_r - suva masa podzemnih delova biljke (g), d - broj dana eksperimenta.

5.13. Određivanje potencijala biljke *Canna indica* L. u eksperimentu u laboratoriji da translocira usvojeni element iz korena u svoje nadzemne delove

Faktor translokacije (TF) je izračunat kako bi se odredio potencijal biljaka za fitoremedijaciju. On predstavlja indeks koji ukazuje na mogućnost biljke da translocira usvojeni element iz korena u svoje nadzemne delove (Marchiol *et al.*, 2004).

Za izračunavanje faktora translokacije korišćena je sledeća formula:

$$\text{TF} = \frac{C_s}{C_r} \quad (4)$$

gde je: C_s - koncentracija elementa u suvoj masi nadzemnih delova biljke (mg/kg), C_r - koncentracija elementa u suvoj masi podzemnih delova biljke (mg/kg).

Vrednosti faktora translokacije manje od 1 ukazuju da se usvojeni metal akumulira u podzemnim delovima i da je njegova translokacija u nadzemne delove slaba (Mellem *et al.*, 2009). Ukoliko je ova vrednost veća od 1 translokacija u nadzemne delove postoji.

5.14. Određivanje sadržaja elemenata ishrane u asimilacionim organima biljke *Canna indica* L. u eksperimentu u laboratoriji

5.14.1 Određivanje ukupnog azota u asimilacionim organima

Određivanje ukupnog azota (N) u biljnom materijalu je izvršeno metodom po Kjeldalu, razaranjem organske materije vlažnom oksidacijom uz prisustvo H_2SO_4 i katalizatora (Horneck i Miller, 1998).



Slika 28. KjelROC digestor (levo) i KjelROC auto destilaciona jedinica (OPSIS Liquid LINE, Švedska, desno)

Pre početka samih analiza napravljen je katalizator za razaranje. Korišćena je smesa K_2SO_4 , $CuSO_4$ i Se u odnosu 100:10:1. Od dobro suvog i usitnjenog biljnog materijala odmereno je 200 mg i uzorak je prebačen u kivetu. U kivetu je zatim dodato 2 g katalizatora i 5 mL koncentrovane H_2SO_4 . Razaranje uzoraka je izvršeno u KjelROC digestoru (OPSIS Liquid LINE). Razaranje je gotovo kada uzorak u kiveti poprimi plavu boju katalizatora odnosno kada su svi organski oblici N prešli u amonijačni. Kivete su ostavljene da se ohlade. Destilacija amonijaka je izvršena u KjelROC auto destilacionoj jedinici (OPSIS Liquid LINE). U postavljene kivete destilator je dodavao destilovanu vodu i NaOH u količini koja je potrebna da se neutrališe 5 mL koncentrovane H_2SO_4 i još malo u višku kako bi se dobila alkalna

sredina. Postupkom parne destilacije amonijak je izdvojen iz uzorka. Izdvojeni amonijak se hvatao u 10 mL rastvora H_3BO_3 sa indikatorima (bromkrezolgreen i metil rot). Količina izdvojenog amonijaka se određivala titracijom rastvora H_2SO_4 u koncentraciji 0,01 mol/L. Paralelno sa analizom, kroz sve postupke je urađena i slepa proba.

Za izračunavanje sadržaja ukupnog azota u biljnom materijalu koristila se sledeća formula (Džamić i sar., 1966):

$$N = \frac{(A - SP) \times 14}{m} \times 1000 \quad (5)$$

gde je: A - utrošak 0.01 molarne H_2SO_4 za titraciju (mL), SP- slepa proba (mL), m - odvaga uzorka (g), 14 - mol ekvivalent azota (g/mL).

Rezultati sadržaja ukupnog azota u biljnom materijalu su izraženi u g/kg sa jednom decimalom.

5.14.2 Određivanje ukupnog fosfora, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma i sumpora u asimilacionim organima

Određivanje ukupnog fosfora, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma i sumpora u biljnom materijalu je izvršeno ICP-OES spektrometrom (Varian Vista-PRO, CCD Simultaneous ICP-OES) standardnom metodologijom (U.S. EPA, 2001) koja je opisana u tački 5.11.1.

5.15. Ispitivanje parametara rasta biljke *Canna indica* L. u eksperimentu u laboratoriji

Kako bi se dobili podaci o alokaciji biomase biljke *C. indica* ispitivano je više različitih parametara rasta, kada je biljka gajena u tretmanima sa različitim koncentracijama Pb u laboratoriji.

Sveža i suva masa biljaka je izmerena na analitičkoj vagi, kako bi se odredila biomasa celih biljaka, podzemnog i nadzemnog dela biljaka, kao i pojedinačnih vegetativnih delova (koren, rizom, stablo, list). Dobijeni rezultati su izraženi u gramima (g). Na osnovu njih su određeni sledeći odnosi i dobijeni su podaci o alokaciji biomase

(Zhang *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2007b; Audet i Charest, 2008, Poorter *et al.*, 2012, Papazoglou *et al.*, 2005):

$$S/R = \frac{Bl + Bs + Br}{Bk} \quad (7)$$

$$A/B = \frac{Bn}{Bp} \quad (8)$$

$$NMF = \frac{Bn}{B} \times 100 \quad (9)$$

$$PMF = \frac{Bp}{B} \times 100 \quad (10)$$

$$LMF = \frac{Bl}{B} \times 100 \quad (11)$$

$$SMF = \frac{Bs}{B} \times 100 \quad (12)$$

$$RMF = \frac{Br}{B} \times 100 \quad (13)$$

$$KMF = \frac{Bk}{B} \times 100 \quad (14)$$

gde je: S/R - odnos biomase nadzemnog dela biljke i rizoma i biomase korena (g/g), A/B - odnos biomase nadzemnog i biomase podzemnog dela biljke (g/g), NMF - maseni udeo nadzemnog dela biljke (%), PMF - maseni udeo podzemnog dela biljke (%), LMF - maseni udeo lista (%), SMF - maseni udeo stabla (%), RMF - maseni udeo rizoma (%), KMF - maseni udeo korena (%), B - suva biomasa cele biljke, Bn - suva biomasa nadzemnog dela, Bp - suva biomasa podzemnog dela, Bl - suva biomasa lista, Bs - suva biomasa stabla, Br - suva biomasa rizoma, Bk - suva biomasa korena.

Kako bi se dodatno ispitao uticaj Pb na biomasu biljke, određen je i procenat inhibicije rasta (Ir) na osnovu poređenja suvih biomasa biljaka u kontroli i svakom tretmanu posebno, po sledećoj formuli (Nešić *et al.*, 2016):

$$Ir = \frac{Bc - Bt}{Bc} \times 100 \quad (15)$$

gde je: Ir - procenat inhibicije rasta (%), Bt - suva biomasa biljke u tretmanu, Bc - suva biomasa biljke u kontroli.

U okviru eksperimenta u laboratoriji dobijeni su i podaci o površini (LA) i broju listova. Kako bi se izmerila površina listova, listovi su odvojeni od stabljike i postavljeni na ravnu belu površinu. Ispravljeni su koliko god je njihov oblik to dozvoljavao, a zatim je preko njih postavljena staklena providna ploča. Kako bi se omogućilo kasnije kalibrisanje slika na podlogu je pored listova dodat i lenjir. Sve je slikano fotoaparatom, koji je montiran na stativ. Slike su kalibrisane i digitalizovane u programu AutoCad (AUTODESK), a zatim je izvršeno merenje sa preciznošću od 1 mm.



Slika 29. Slika korišćena za određivanje površine listova

Određeni su specifična lisna površina i relativna lisna površina vrste *C. indica* na osnovu sledećih formula (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013, Ryser i Emerson, 2007, Vile *et al.*, 2005):

$$SLA = \frac{LA}{Bl} \quad (16)$$

$$RLA = \frac{LA}{B} \quad (17)$$

gde je: SLA - specifična lisna površina (m²/kg), RLA - relativna lisna površina (m²/kg), LA - površina listova (m²), B - suva biomasa cele biljke, Bl - suva biomasa lista.

5.16. Ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze kod biljaka u biološkom sistemu

Ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze izvršeno je određivanjem sadržaja fotosintetičkih pigmenata hloroplasta u acetonskom rastvoru (Sarić i sar., 1986). Na početku prvog eksperimenta i na kraju trećeg eksperimenta za analizu je uzet veći broj reprezentativnih asimilacionih organa svih vrsta biljaka u biološkom sistemu i kontroli. Formirani su zbirni uzorci, pri čemu je jedan zbirni uzorak predstavljao listove jedne biljne vrste u okviru jednog bazena. Ukupno su analizirana 32 zbirna uzorka listova iz biološkog sistema i iz kontrole.

Listovi su usitnjeni i na analitičkoj vagi je odmeren 1g sveže mase lisa. Uzorak je zatim prebačen u avan uz dodavanje 15 mL 80% acetona. Proces homogenizacije materijala je trajao oko 3 minuta i tom prilikom je u smešu dodata i mala količina MgCO₃ (Sarić i sar., 1986), kako bi se sprečilo zakišeljavanje rastvora.

Sadržaj avana se zatim prenosio na stakleni filter i pomoću vakum pumpe na vodeni mlaz je izvršeno filtriranje rastvora. Dobijeni ekstrakt pigmenata je prenet u volumetrijsku posudu zapremine 25 mL i sadržaj je dopunjen 80% acetonom do graduisane crte. Od ove zapremine otpipetiran je 1 mL i prebačen je u novu epruvetu uz dodavanje 9 mL apsolutnog acetona. Na ovaj način razblažen uzorak je prebačen u kivetu i očitavan na DU-2 spektrofotometru (Beckman) na talasnim dužinama od 662, 644 i 440 nm.



Slika 30. Homogenizovani material u staklenom filteru (levo) i dobijeni ekstrakt pigmenata (desno)

Za izračunavanje količine hlorofila a i hlorofila b u apsolutnom acetonskom rastvoru korišćene su sledeće formule autora Holm, a za izračunavanje ukupnih karotenoida formula autora Wetstein (Mitić *et al.*, 2013):

$$\text{hlorofil a} = 9,784 \times A_{662} - 0,990 \times A_{644} \quad (18)$$

$$\text{hlorofil b} = 21,426 \times A_{644} - 4,650 \times A_{662} \quad (18)$$

$$\text{hlorofil a + b} = 5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644} \quad (20)$$

$$\text{karotenoidi} = 4,695 \times A_{440} - 0,268 \times (a + b) \quad (21)$$

gde je: A - očitana apsorbancija na spektrofotometru pri odgovarajućoj talasnoj dužini, vrednosti 9,784; 0,990; 21,426; 4,650 i 0,288 - molarni apsorpcioni koeficijenti za apsolutni aceton u kiveti u debljini sloja od 1 cm.

Izračunate koncentracije pigmenata su dobijene kao mg/l, pa su stoga rezultati konvertovani u mg/g sveže materije koristeći sledeću formulu (Sarić i sar., 1986):

$$C = \frac{C_1 \times V \times R}{m \times 1000} \quad (22)$$

gde je: C - sadržaj pigmenata u svežoj materiji (mg/g), C_1 - koncentracija pigmenata izračunata prema formulama 12-24 (mg/L), V - prvobitna zapremina ekstrakta (mL), R - razblaženje, m - odmerena sveža masa biljnog materijala (g).

Pored sadržaja pojedinačnih pigmenata određen je i odnos hlorofila a i hlorofila b, kao i odnos hlorofila a i b i ukupnih karotenoida.

5.17. Procena dobijene biomase biljaka u biološkom sistemu

Procena dobijene biomase u biološkom sistemu je izvršena na osnovu upoređivanja sveže mase biljaka neposredno pred njihovu sadnju i dobijene biomase na kraju vegetacione sezone. Da bi se odredila početna sveža masa biljaka, sav supstrat za njihovo gajenje je uklonjen sa korena i cele biljke su izmerene na analitičkoj vagi. Na kraju rada biološkog sistema, sve biljke su uklonjene i donesene u laboratoriju gde je izmerena njihova sveža masa, a posle sušenja (tačka 5.3.1) i suva masa. Početna suva masa biljaka je dobijena proračunom na osnovu odnosa krajnje sveže i suve mase biljaka. Dekorativne makrofite su u četvrtom bazenu rasle ukupno 154 dana, dok su trska i kana rasle ukupno 126 dana u prva tri bazena.

5.18. Biotehnički i ekonomski aspekti plutajućeg ostrva za fitoremedijaciju

5.18.1 Tehnički i biotehnološki parametri plutajućeg ostrva

Na osnovu analize dobijenih rezultata, zahvaljujući kojima je određen fitoremedijacioni potencijal odabranih vrsta biljaka i prethodnih saznanja, dat je model plutajućih ostrva, koja mogu da se koriste za prečišćavanje tekućih i stajaćih voda.

Konstrukcija plutajućih ostrva je urađena u programu AutoCAD (AUTODESK). Trodimenzionalni modeli su izrađeni u programu 3D Studio Max (AUTODESK) i Adobe® Photoshop®.

5.18.2 Ekonomski parametri i opravdanost Sistema plutajućih ostrva za fitoremedijaciju

5.18.2.1 Pokazatelji Cost - Benefit analize

S obzirom na multifunkcionalnu ulogu i različite efekte, koji se postižu korišćenjem bioloških sistema plutajućih ostrva za prečišćavanje vode, ovde su analizirane važnije novčane i nenovčane koristi i troškovi, tokom njihovog korišćenja. Na osnovu pojedinih pokazatelja Cost-Benefit analize, dat je prikaz mogućih ocena za realizaciju ovakvih investicija u praksi.

5.18.2.2 Ekonomsko-finansijski model sistema plutajućih ostrva

Prema tehničkim i biotehnološkim parametrima plutajućeg ostrva, definisan je ekonomsko-finansijski model sistema ostrva. Modelom su dati neophodni parametri za kalkulatívni postupak, analizu ekonomske opravdanosti i finansijske prihvatljivosti ovakvih investicija u praksi. Predložena su tri sistema ostrva, koja u praksi mogu da budu realizovana, kako u zavisnosti od predmetnog zadatka, tako i u zavisnosti od načina i uslova finansiranja. S obzirom da se radi o specifičnim i relativno novim investicijama u praksi, dati su samo polazni parametri za utvrđivanje važnijih ekonomskih i finansijskih pokazatelja.

5.18.3 SWOT analiza sistema plutajućih ostrva

S obzirom na multidisciplinarni pristup istraživanju problema, SWOT analizom su sagledane snage, slabosti, mogućnosti i potencijalni rizici implementacije potencijalnih rešenja u našoj praksi, kao i mogućnost njihove održivosti. Na osnovu analize SWOT matrice odnosno upoređivanja snaga i slabosti Sistema sa šansama i pretnjama odabrana je optimalna strategija za izgradnju predloženog Sistema plutajućih ostrva i njegovu primenu u praksi.

5.19. Obrada podataka

Podaci su sumirani metodama deskriptivne statistike, ocenjivanjem osnovnih statističkih parametara i testiranjem hipoteza.

Efekti tretmana različitim koncentracijama olova (Pb) i vremena uzorkovanja na različita svojstva biljke *Canna indica* L., koja ukazuju na njen fitoremedijacioni potencijal:

- usvajanje Pb u biljci,
- usvajanje makro- i mikro-elemenata iz hranljivog rastvora u biljci,
- potencijal biljke da usvaja Pb iz medijuma za gajenje (biokoncentracioni faktor, BCF i stepen ukupne akumulacije, TAR),
- potencijal biljke da translocira Pb iz korena u svoje nadzemne delove (translokacioni faktor, TF),
- sadržaj elemenata ishrane u asimilacionim organima i
- parametri rasta biljke *C. indica* (sveža i suva biomasa, alokacija biomase, alokacija resursa, površina listova, specifična površina listova, relativna površina listova),

su testirani primenom analize varijanse (ANOVA I). Za procenu statistički značajnih razlika između ispitivanih svojstava korišćen je Fišerov LSD test za nivo značajnosti od $p < 0,05$. Rezultati dobijeni analizom ispitivanih svojstava su prikazani kao srednja vrednost $\pm$ statistička greška (SE) za šest ponavljanja.

Jednofaktorskom analizom varijanse (ANOVA I) istražen je uticaj ciklusa na koncentracije pojedinih elemenata u različitim vegetativnim delovima (nadzemna biomasa, rizom i koren) ispitivanih vrsta u biološkom sistemu pojedinačno. Značajne razlike između grupa utvrđene su naknadnim poređenjem pomoću Fišerovog LSD testa ($p < 0,05$).

Dvofaktorskom analizom varijanse (ANOVA II) različitih grupa istražen je uticaj ciklusa i biljne vrste, kao i mogući uticaj njihove interakcije na koncentracije pojedinih elemenata u vegetativnim delovima (nadzemna biomasa i koren) ispitivanih vrsta u biološkom sistemu pojedinačno. Jednofaktorskom analizom varijanse (ANOVA I) različitih grupa istražen je uticaj biljne vrste na koncentracije pojedinih elemenata u rizomu ispitivanih vrsta u biološkom sistemu pojedinačno. Značajne razlike između grupa utvrđene su naknadnim poređenjem pomoću Fišerovog LSD testa ($p < 0,05$).

Jednofaktorskom analizom varijanse (ANOVA I) ispitana je koncentracija pojedinih elemenata u supstratu plutajućih ostrva zavisno od ciklusa, dok su značajne

razlike između grupa utvrđene naknadnim poređenjem pomoću Fišerovog LSD testa ($p < 0,05$).

Jednofaktorskom analizom varijanse (ANOVA I) istražen je sadržaj i odnos fotosintetičkih pigmenata ispitivanih biljaka u biološkom sistemu i ispitana je razlika svakog parametra između biljaka u tretmanu i kontroli.

Analiza glavnih komponenti (PCA) je urađena za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi i korenu za 7 vrsta, odnosno u rizomu za 6 vrsta, u trećem eksperimentu, kako bi se utvrdio odnos između usvojenih elemenata i vrsta. Metoda je omogućila da se sagleda koji su elementi u vezi i kako se grupišu, kao i kako se grupišu ispitivane vrste biljaka u odnosu na usvajanje tih elemenata.

Obrada podataka je izvršena u programu Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA).

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

6.1. Istraživanje fitoremedijacionog potencijala biljke *Canna indica* L. u laboratorijskim uslovima

Kako bi se odredio fitoremedijacioni potencijal biljke *Canna indica* L. analizirani su rezultati dobijeni određivanjem koncentracije olova (Pb) i makro- i mikro-nutrijenata u biljnim tkivima, potencijala biljke da usvaja željeni polutant iz medijuma za gajenje i potencijala biljke da translocira usvojeni polutant iz korena u svoje nadzemne delove kao i ispitivanjem različitih parametara rasta biljke.

6.1.1 Usvajanje olova i drugih elemenata iz hranljivog rastvora u biljnim tkivima

6.1.1.1 Usvajanje olova (Pb)

Rezultati određivanja sadržaja olova u biljnim tkivima (Tabela 4.) su pokazali da se koncentracija Pb u nadzemnoj i podzemnoj masi biljka povećavala sa povećanjem koncentracije Pb u rastvoru i dužinom izlaganja biljaka olovu. Olovo nije detektovano ni u jednom vegetativnom delu biljaka pre dodavanja Pb u hranljivi rastvori kao ni kod biljaka u kontroli (podaci nisu prikazani).

Tabela 4. Koncentracija Pb u nadzemnoj i podzemnoj biomasi (mg/kg)

Tretman	Koncentracija olova (mg/kg)			
	Nadzemna biomasa		Podzemna biomasa	
	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan
I	4,32±0,560 ^b	8,37±1,397 ^b	278,61±32,876 ^b	840,89±73,535 ^b
II	13,79±2,454 ^a	20,84±4,900 ^a	1178,41±167,637 ^a	1536,10±213,770 ^b
III	15,87±2,348 ^a	26,39±3,634 ^a	1216,05±60,073 ^a	2807,85±408,962 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

Koncentracija Pb u nadzemnoj masi biljka uzorkovanih 9. dana eksperimenta je bila značajno različita u tretmanu I u odnosu na tretmane II i III. Sličan trend je konstatovan i kod biljaka u tretmanu I uzorkovanih 21. dana gde je sadržaj Pb u nadzemnoj biomasi bio značajno niži u odnosu na tretmane II i III.

Ekvivalentno koncentraciji Pb u nadzemnoj biomasi, koncentracija Pb u podzemnoj masi biljka uzorkovanih 9. dana eksperimenta je bila značajno niža u tretmanu I u poređenju sa tretmanima II i III. Međutim, koncentracija Pb u podzemnoj masi biljka u tretmanu I uzorkovanih 21. dana nije bila značajno različita u odnosu na tretman II. Koncentracija Pb u podzemnoj masi biljka iz ova dva tretmana se značajno razlikovala od tretmana III, gde je podzemna biomasa akumulirala 2807,85 mgPb/kg, što je ujedno bila i najviša zabeležena koncentracija Pb.

U svim tretmanima, 9. i 21. dana eksperiment, koncentracija Pb je bila mnogo viša u podzemnoj biomasi u poređenju sa nadzemnom masom biljaka.

Daljim rasčlanjivanjem biomase na vegetativne delove i analizom sadržaja Pb u korenu, rizomu, stablu i listu (Tabela 5.) pokazano je da je najveću koncentraciju Pb imao koren u svim tretmanima, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Nasuprot tome, u svim tretmanima, 9. i 21. dana eksperimenta, nije bilo značajne razlike u sadržaju Pb u listu, stablu i rizomu izuzev u tretmanu III 9. dana uzorkovanja gde je sadržaj Pb u stablu bio značajno manji.

Tabela 5. Koncentracija olova u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

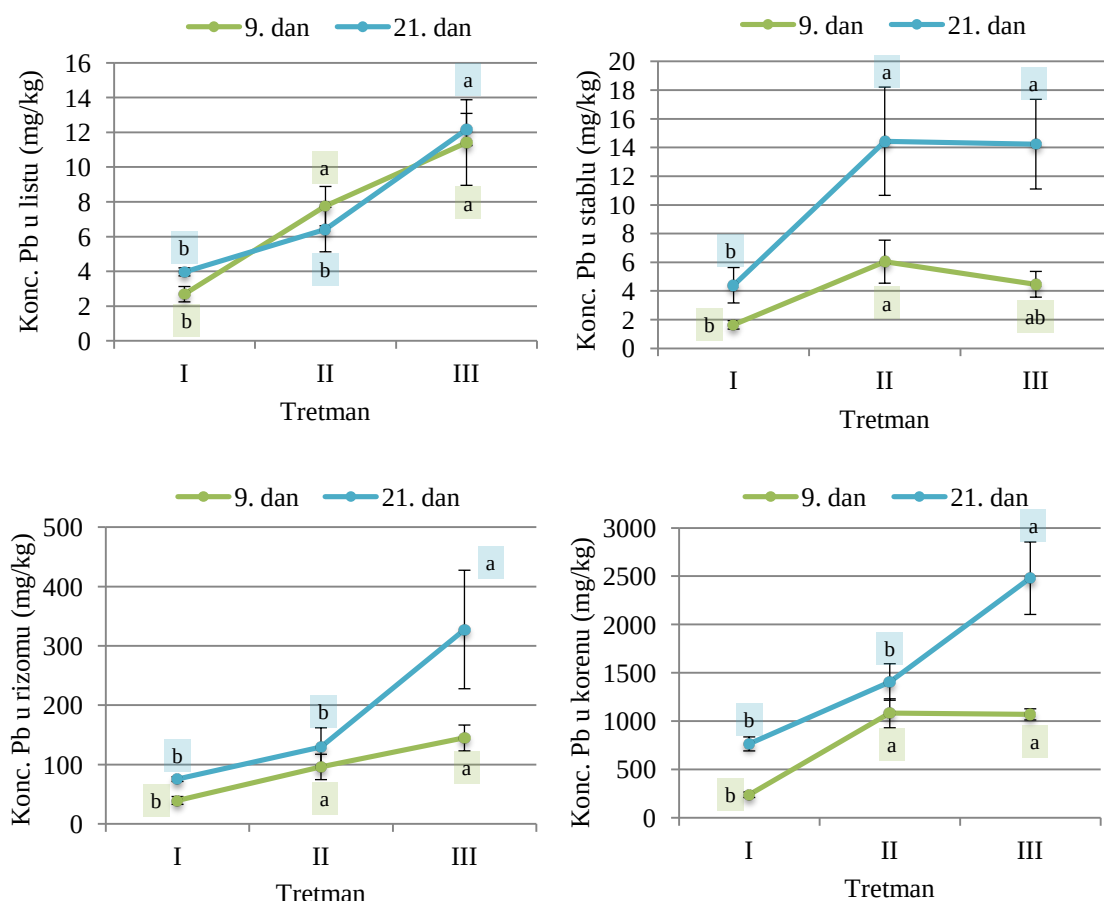
Dan uzorkovanja	Vegetativni deo	Tretmani		
		I	II	III
9.	List	2,68±0,441 ^b	7,75±1,131 ^b	11,41±2,462 ^c
	Stablo	1,63±0,293 ^b	6,04±1,499 ^b	4,46±0,897 ^c
	Rizom	39,58±6,626 ^b	96,04±21,369 ^b	144,92±21,770 ^b
	Koren	239,03±28,365 ^a	1082,37±149,926 ^a	1071,12±57,566 ^a
21.	List	3,97±0,230 ^b	6,40±1,281 ^b	12,16±0,926 ^b
	Stablo	4,39±1,234 ^b	14,43±3,773 ^b	14,23±3,125 ^b
	Rizom	75,55±3,979 ^b	129,72±32,350 ^b	327,77±99,875 ^b
	Koren	765,34±72,447 ^a	1406,38±188,990 ^a	2480,07±374,995 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

Najviša koncentracija Pb je zabeležena u korenu (2480,07 mg/kg) u tretmanu III 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Pb u biljci *C. indica* je u svim tretmanima 9. dana eksperimenta pratilo niz koren>rizom>list>stablo, a 21. dana koren>rizom>stablo>list.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Pb u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana (Grafikon 1.) su pokazali da se koncentracija Pb u listu, stablu, rizomu i korenu značajno povećavala sa povećanjem

dostupne koncentracije Pb u hranljivom rastvoru u tretmanima II i III u odnosu na tretman I 9. dana eksperimenta. Isti trend je primećen i kod stabla u uzorcima biljaka uzetim 21. dana. Međutim, koncentracije Pb u listu, rizomu i stablu su se značajno povećavale sa povećanjem koncentracije Pb u tretmanu III u odnosu na tretmane I i II 21. dana uzorkovanja.



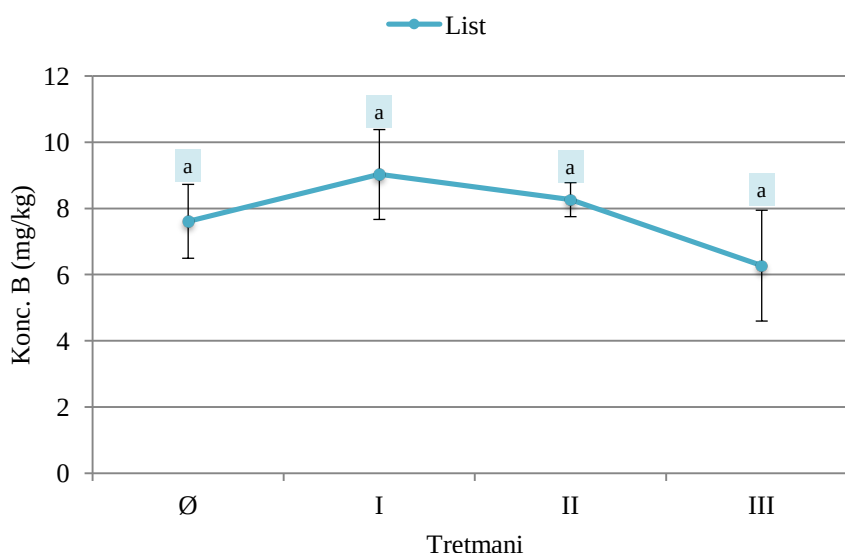
Grafikon 1. (a-d) Trend povećanja koncentracije olova u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.2 Usvajanje bora (B)

Početna koncentracija bora u hranljivom rastvoru je iznosila 0,25 mg/L.

U većini uzoraka biljnog materijala uzetih 9. dana eksperimenta i stablu, rizomu i korenu uzorkovanih 21. dana B se nalazio ispod limita detekcije za ovaj element (Tabela 3.). Shodno tome rezultati ovih analiza nisu prikazani.

Rezultati određivanja sadržaja B u listu 21. dana eksperimenta (Grafikon 2.) su pokazali da se koncentracija B nije značajno menjala u odnosu na različite tretmane ($p>0,05$). U listu koncentracija B se neznatno, ali ne i značajno, povećala ($p>0,05$) u tretmanu I u odnosu na kontrolu, a onda je sa povećanjem sadržaja Pb u tretmanu, počela da opada, ali ne i značajno ($p>0,05$).



Grafikon 2. Trend promene koncentracije bora u listu kane (mg/kg) 21. dana eksperimenta. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za pet ponavljanja. Na grafikonu srednje vrednosti sa istim slovom u okviru iste serije se značajno ne razlikuju, $p>0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

Najviša koncentracija B u listu je zabeležena (9,028 mg/kg) u tretmanu I 21. dana eksperimenta.

6.1.1.3 Usvajanje kalcijuma (Ca)

Početna koncentracija kalcijuma u hranljivom rastvoru je iznosila 80,16 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Ca u vegetativnim delovima kane (Tabela 6.) su pokazali da je najveću koncentraciju Ca imao koren u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Sadržaj Ca u rizomu se nije značajno razlikovao od sadržaja Ca u korenu u tretmanu III 9. dana, kao ni u tretmanima II i III i kontroli 21. dana eksperimenta ($p > 0,05$). Značajna razlika nije postojala ni u usvajanju Ca u listu i stablu u tretmanu III 9. dana, kako i u tretmanima II i III i kontroli 21. dana uzorkovanja ($p > 0,05$). U tretmanu II i kontroli 9. dana eksperimenta nije postojala značajna razlika u koncentraciji Ca u listu, stablu i rizomu. Sadržaj Ca u stablu je bio značajno niži u tretmanu I 9. dana eksperimenta u odnosu na koncentraciju Ca u listu, stablu i rizomu ($p < 0,05$).

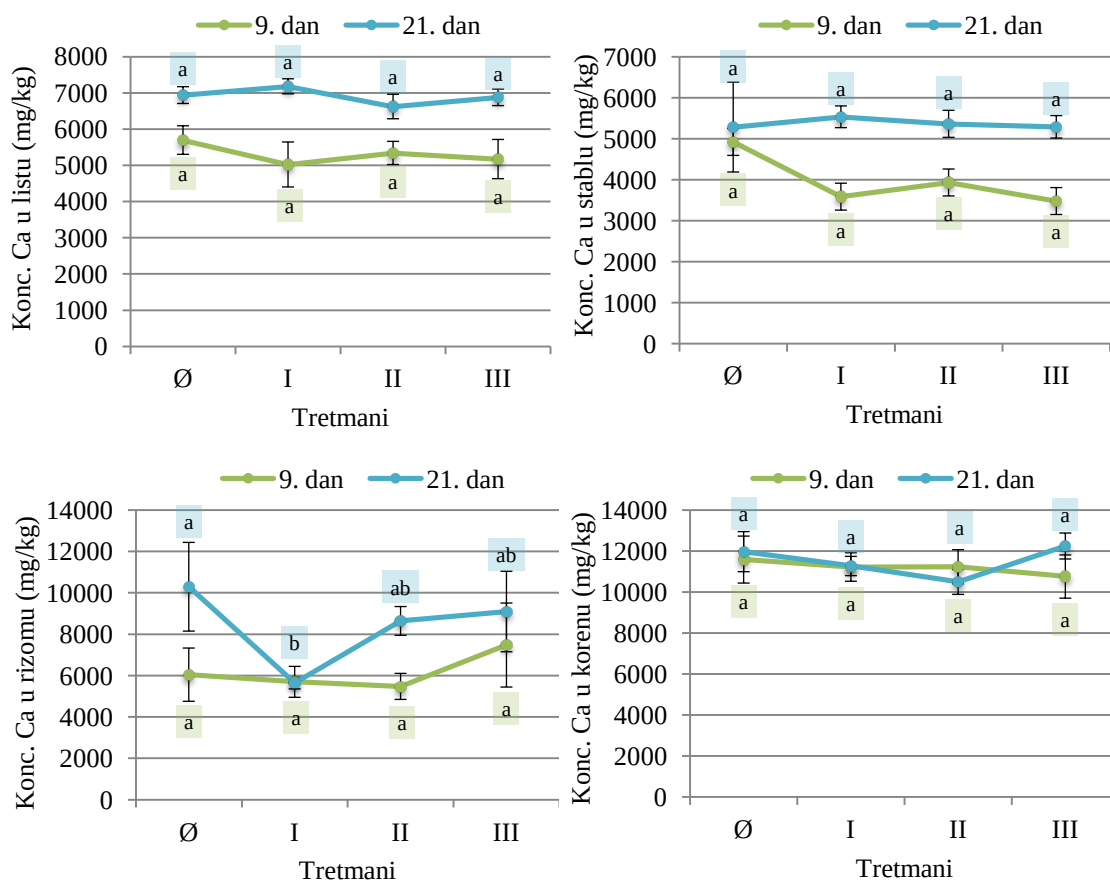
Najviša koncentracija Ca je zabeležena u korenu (12248,50 mg/kg) u tretmanu III 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Ca u biljci *C. indica* je u svim tretmanima i kontroli 9. i 21. dana eksperimenta pratilo niz koren>rizom>list>stablo.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Ca u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 3.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito usvajanje Ca u različitim vegetativnim organima kane 9. i 21. dana eksperimenta ($p > 0,05$). Međutim, 21. dana eksperimenta javile su se značajne razlike u koncentraciji Ca u rizomu, gde je sadržaj Ca u biljkama u tretmanu I bio značajno niži u odnosu na biljke u kontroli ($p < 0,05$).

Tabela 6. Koncentracija kalcijum u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	5020,49±621,270 ^{bc}	5339,16±319,425 ^b	5169,83±541,888 ^b	5694,74±394,281 ^b
	Stablo	3583,71±264,726 ^c	3929,60±329,950 ^b	3476,81±274,008 ^c	4918,22±1094,750 ^b
	Rizom	5699,06±747,426 ^b	5479,12±628,956 ^b	7478,39±2030,510 ^{ab}	6045,65±1287,100 ^b
	Koren	11223,40±693,557 ^a	11236,70±831,734 ^a	10759,20±1054,670 ^a	11586,30±1145,407 ^a
21.	List	7179,74±207,122 ^b	6621,37±338,173 ^b	6873,31±227,118 ^b	6937,04±232,259 ^b
	Stablo	5532,00±579,486 ^c	5360,37±532,102 ^b	5286,69±296,647 ^b	5279,72±330,735 ^b
	Rizom	5638,83±281,212 ^c	8642,23±696,278 ^a	9098,81±1944,730 ^a	10295,40±2143,650 ^a
	Koren	11272,90±469,209 ^a	9902,35±156,992 ^a	12248,50±633,517 ^a	11973,00±978,077 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.



Grafikon 3. (a-d) Trend promene koncentracije kalcijuma u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.4 Usvajanje bakra (Cu)

Početna koncentracija bakra u hranljivom rastvoru je iznosila 0,01 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Cu u vegetativnim delovima kane (Tabela 7.) su pokazali da je najveću koncentraciju Cu imao koren u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Sadržaj Cu u rizomu se nije značajno razlikovao od sadržaja Cu u korenu u tretmanima I i III i kontroli 9. dana eksperimenta i tretmanu III 21. dana ($p > 0,05$). Do 21. dana eksperimenta nestale su i značajne razlike u usvajanju Cu u korenu i listu kane u svim tretmanima i kontroli. Značajno niže koncentracije Cu ($p < 0,05$) su zabeležene u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana eksperimenta, osim u kontroli 9. dana kada se nisu javile značajne razlike u usvajanju Cu između lista, stabla i rizoma ($p > 0,05$).

Tabela 7. Koncentracija bakra u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

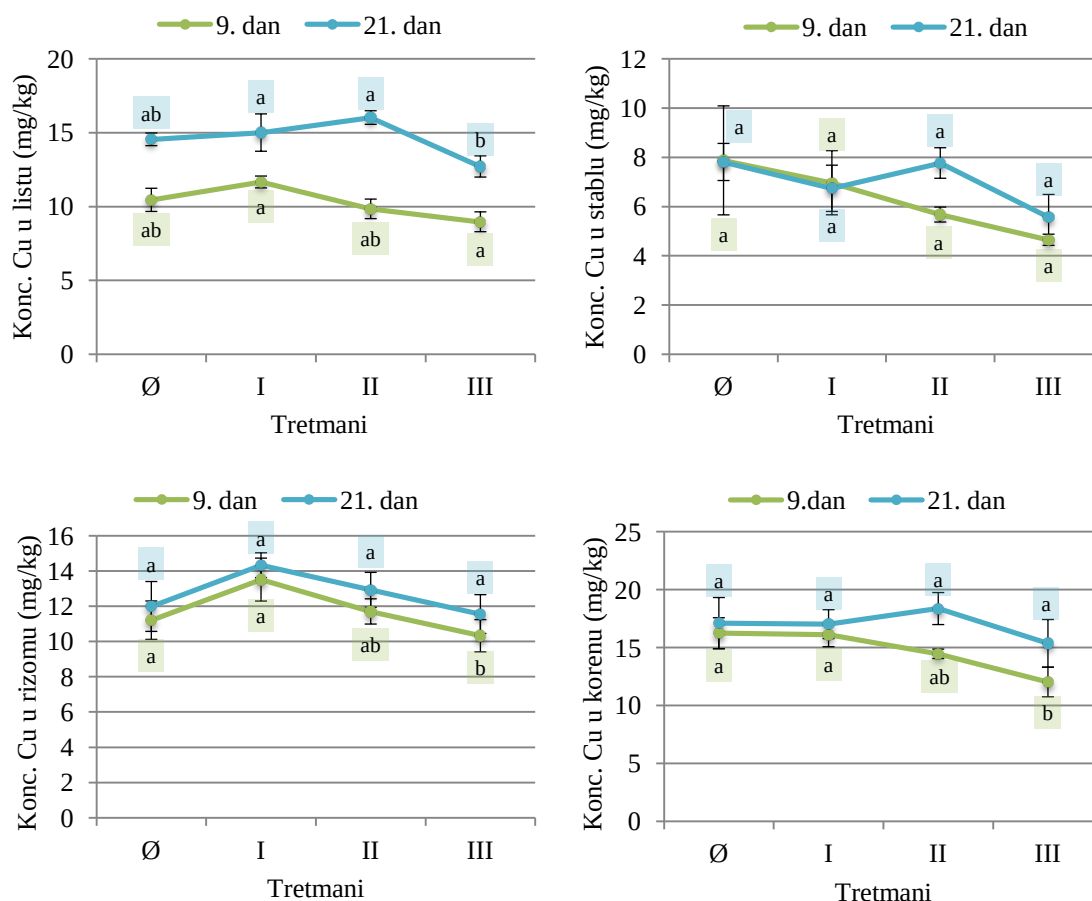
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	11,65±1,264 ^b	9,84±0,460 ^c	8,96±0,717 ^b	10,44±0,428 ^b
	Stablo	6,96±1,303 ^c	5,67±0,304 ^d	4,64±0,226 ^c	7,87±2,213 ^b
	Rizom	13,51±1,218 ^{ab}	11,70±0,715 ^b	10,32±0,914 ^{ab}	11,21±1,089 ^b
	Koren	16,11±1,030 ^a	14,46±0,407 ^a	12,03±1,277 ^a	16,23±1,346 ^a
21.	List	14,99±0,401 ^{ab}	16,02±0,661 ^a	12,71±0,672 ^a	14,54±0,784 ^{ab}
	Stablo	6,74±0,998 ^c	7,76±0,620 ^c	5,56±0,924 ^b	7,80±0,753 ^c
	Rizom	14,32±0,704 ^b	12,92±0,992 ^b	11,55±1,102 ^a	11,98±1,414 ^b
	Koren	17,02±1,247 ^a	18,37±1,381 ^a	15,37±2,054 ^a	17,11±2,208 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija Cu je zabeležena u korenu (18,73 mg/kg) u tretmanu II 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Cu u biljci *C. indica* je u svim tretmanima i kontroli 9. dana eksperimenta pratilo niz koren>rizom>list>stablo, a 21. dana niz koren> list>rizom>stablo.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Cu u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 4.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p > 0,05$) usvajanje Cu u stablu 9. dana eksperimenta. Isti trend je primećen u stablu, rizomu i korenu biljaka uzorkovanih 21. dana. Značajno niže koncentracije Cu ($p < 0,05$) su konstatovane u tretmanu III u listu i rizomu u odnosu na tretman I 9. dana. Sličan trend je zabeležen i kod korena 9. dana, gde su koncentracije Cu u tretmanu III

bile značajno niže u odnosu na tretman I i kontrolu i kod lista 21. dana gde su postojale značajne razlike između tretman III i tretmana I i II. U svim vegetativnim organima, 9. i 21. dana eksperimenta nisu postojale značajne razlike u usvajanju Cu ($p>0,05$) između kontrole, tretmana I i tretmana II.



Grafikon 4. (a-d) Trend promene koncentracije bakra u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.5 Usvajanje gvožđa (Fe)

Početna koncentracija gvožđa u hranljivom rastvoru je iznosila 11,17 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Fe u vegetativnim delovima kane (Tabela 8.) su pokazali da je najveću koncentraciju Fe imao koren u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Sadržaj Fe u rizomu se nije značajno razlikovao od sadržaja Fe u korenu u tretmanu III 21. dana ($p > 0,05$). Takođe, koncentracija Fe se nije značajno razlikovala ($p > 0,05$) u listu, stablu i rizomu u tretmanu I i kontroli 9. dana, kao ni u listu i stablu u tretmanima II i III 9. dana i u svim tretmanima i kontroli 21. dana eksperimenta.

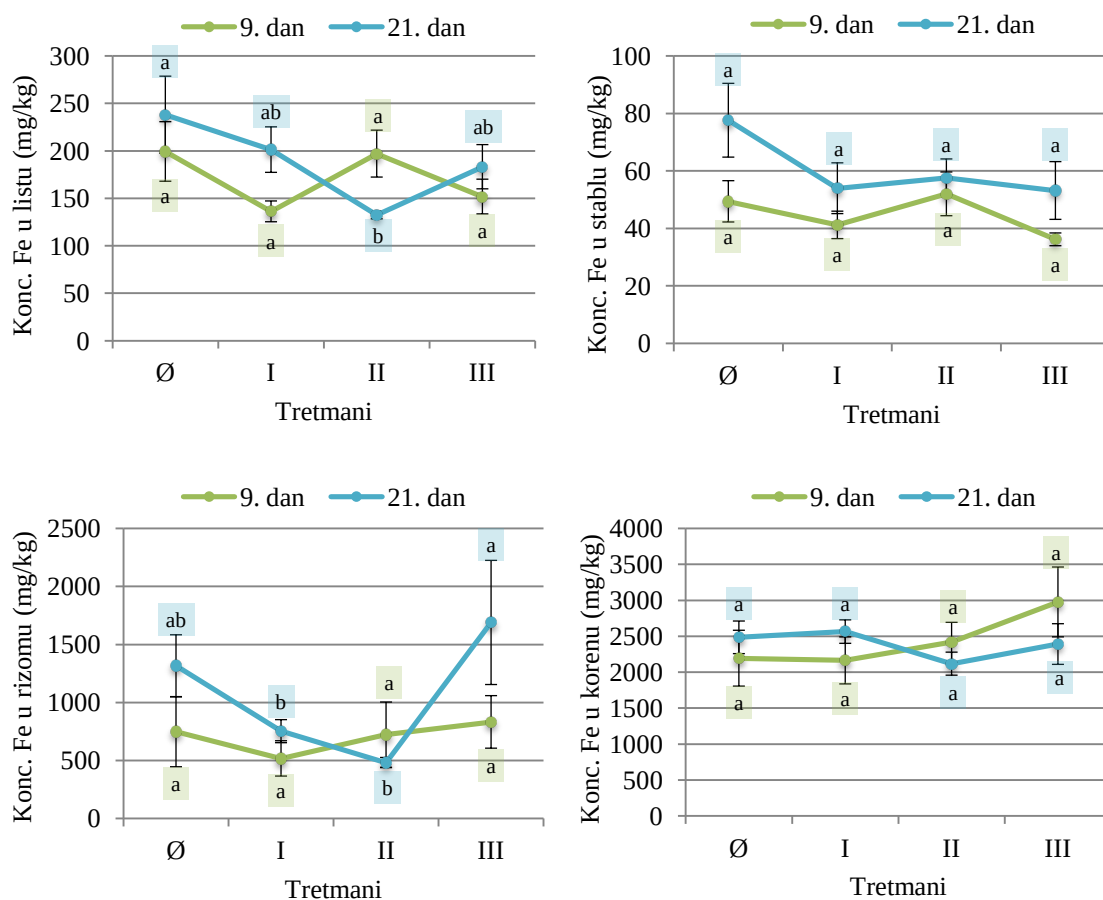
Tabela 8. Koncentracija gvožđa u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	136,16±10,955 ^b	196,99±24,716 ^b	151,77±18,281 ^{bc}	199,26±31,374 ^b
	Stablo	41,18±4,772 ^b	51,98±7,608 ^c	36,16±2,218 ^c	49,38±7,183 ^b
	Rizom	518,05±152,244 ^b	722,70±281,048 ^b	832,55±226,400 ^b	748,34±302,250 ^b
	Koren	2163,17±327,206 ^a	2418,42±274,307 ^a	2976,77±486,044 ^a	2193,95±388,656 ^a
21.	List	201,21±23,975 ^c	132,37±4,0994 ^c	183,18±23,296 ^b	237,98±40,584 ^c
	Stablo	53,94±8,834 ^c	57,58±6,552 ^c	53,15±10,045 ^b	77,59±12,832 ^c
	Rizom	752,86±99,318 ^b	482,31±43,713 ^b	1689,59±534,924 ^a	1315,74±267,606 ^b
	Koren	2564,45±163,481 ^a	2117,87±160,222 ^a	2390,84±282,963 ^a	2484,39±226,816 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija Fe je zabeležena u korenu (2976,77 mg/kg) u tretmanu III 9. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Fe u biljci *C. indica* je u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana eksperimenta pratilo niz koren>rizom>list>stablo.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Fe u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 5.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p > 0,05$) usvajanje Fe u listu, stablu, rizomu i korenu 9. dana eksperimenta. Isti trend je primećen u stablu i korenu biljaka uzorkovanih 21. dana. Značajno niže koncentracije Fe ($p < 0,05$) su konstatovane u listu u tretmanu II u odnosu na kontrolu 21. dana. Značajno više koncentracije Fe ($p < 0,05$) su zabeležene u korenu u tretmanu III u odnosu na tretmane I i II 21. dana.



Grafikon 5. (a-d) Trend promene koncentracije gvožđa u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.6 Usvajanje kalijuma (K)

Početna koncentracija kalijuma u hranljivom rastvoru je iznosila 156,39 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja K u vegetativnim delovima kane (Tabela 9.) su pokazali da je najveću koncentraciju K imalo stablo u svim tretmanima, 9. i 21. dana i kontroli 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Koncentracija K u listu se nije značajno razlikovala od koncentracije K u stablu u tretmanima II i III 9. dana i tretmanima I i III 21. dana eksperimenta ($p > 0,05$). U kontroli 9. dana eksperimenta nešto više, ali ne i značajno više, K usvojio je list u odnosu na stablo i rizom ($p > 0,05$). Koncentracija K u ovim vegetativnim organima je bila značajno viša u odnosu na koncentraciju K u korenu ($p < 0,05$). Takođe, značajno niži sadržaj K u korenu u odnosu na druge vegetativne organe je konstatovan kod biljaka u tretmanima I i II 9. dana i tretmanu I 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Značajno niže koncentracije K u rizomu i korenu u odnosu na list i stablo su imale biljke u tretmanu III 9. dana i Tretmanima II i III i kontroli 21. dana eksperimenta ($p < 0,05$).

Tabela 9. Koncentracija kalijuma u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

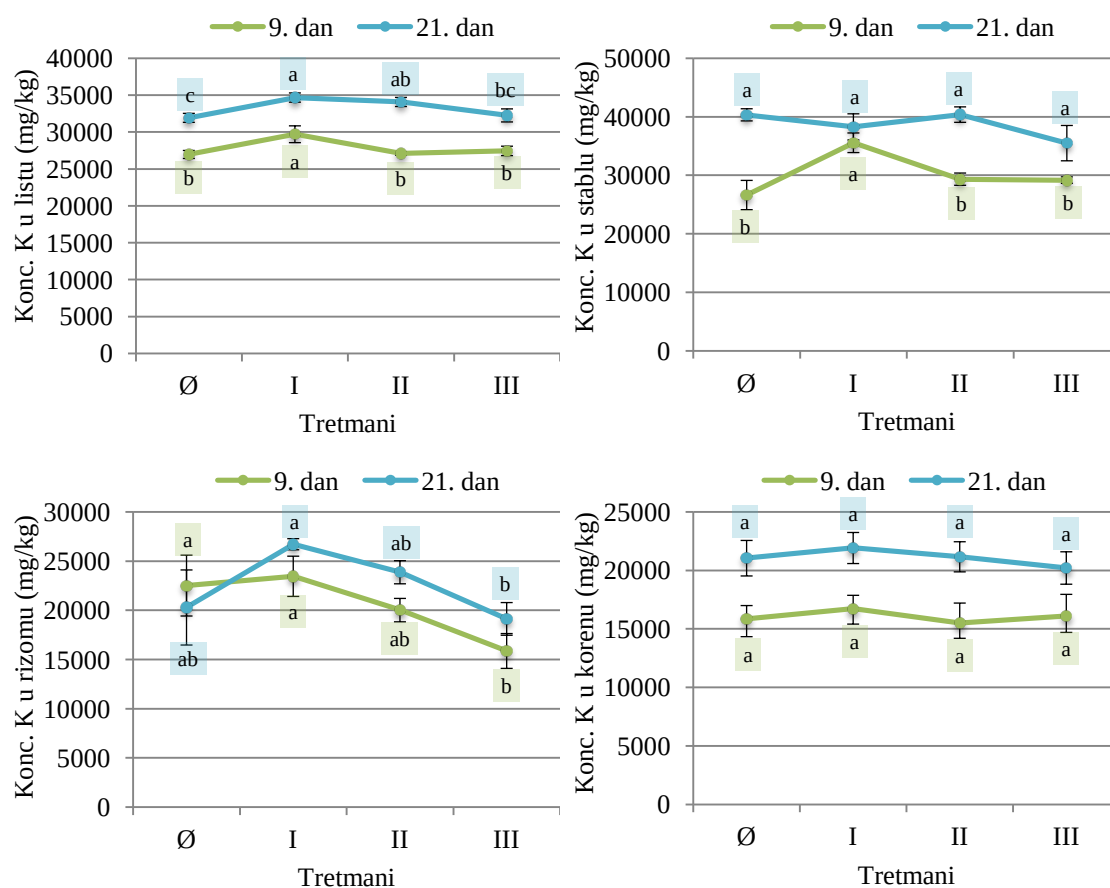
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	29704,20±1137,740 ^b	27113,80±235,312 ^a	27442,70±639,608 ^a	26963,20±539,993 ^a
	Stablo	35556,40±1675,350 ^a	29331,10±1047,470 ^a	29169,90±554,940 ^a	26619,10±2501,130 ^a
	Rizom	23462,10±2045,420 ^c	20025,70±1189,200 ^b	15873,00±1770,560 ^b	22520,40±3092,730 ^a
	Koren	16745,20±1131,650 ^d	15490,70±1724,00 ^c	16092,60±1866,500 ^b	15859,80±1142,190 ^b
21.	List	34675,40±625,016 ^a	34077,20±616,045 ^b	32255,10±884,213 ^a	31924,30±608,021 ^b
	Stablo	38266,90±2235,810 ^a	40367,90±1321,910 ^a	35492,10±3020,330 ^a	40330,80±1037,120 ^a
	Rizom	26723,90±563,459 ^b	23874,50±1173,250 ^c	19132,70±1660,580 ^b	20293,20±3816,150 ^c
	Koren	21920,40±1327,780 ^c	21169,40±1287,440 ^c	20212,40±1386,100 ^b	21050,10±1517,370 ^c

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija K je zabeležena u stablu (40367,90 mg/kg) u tretmanu II 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije K u biljci *C. indica* je u tretmanima I i II pratilo niz stablo>list>rizom>koren. U tretmanu III niz povećanja koncentracije K u vegetativnim delovima je bio stablo>list>koren>rizom. Isti trend povećanja sadržaja K je konstatovan i u kontroli 21. dana eksperimenta. Međutim, u kontroli 9. dana uzorkovanja biljke su pratile niz list>stablo>rizom>koren.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija K u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 6.) su

pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p>0,05$) usvajanje K u korenu 9. dana i stablu i korenu 21. dana eksperimenta. Značajno više koncentracije K ($p<0,05$) su konstatovane u listu i stablu u tretmanu I u odnosu na ostale tretmane i kontrolu 9. dana uzorkovanja. Listu je u kontroli 21. dana imao značajno niži sadržaj K ($p<0,05$) u odnosu na tretmane I i II. Značajno niže koncentracije K ($p<0,05$) kod rizoma su se javile u tretmanu III 9. dana u odnosu na kontrolu i tretman I i 21. dana u odnosu na tretman I.



Grafikon 6. (a-d) Trend promene koncentracije kalijuma u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.7 Usvajanje magnezijuma (Mg)

Početna koncentracija magnezijuma u hranljivom rastvoru je iznosila 24,30 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Mg u vegetativnim delovima kane (Tabela 10.) su pokazali da su najveću koncentraciju Mg imali list i rizom u svim tretmanima i kontroli 9. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Takođe, sadržaj Mg u stablu se nije značajno razlikovao ($p > 0,05$) od sadržaja Mg u listu u tretmanu II odnosno od sadržaja Mg ($p > 0,05$) u rizomu u kontroli 9. dana uzorkovanja. Najveću koncentraciju Mg je imao rizom u svim tretmanima i kontroli 21. dana eksperimenta ($p < 0,05$). Sadržaj Mg u stablu se nije značajno razlikovao ($p > 0,05$) od sadržaja Mg u rizomu u kontroli 21. dana. Takođe, nije bilo ni značajnih razlika između koncentracije Mg ($p > 0,05$) u listu, stablu i korenu u tretmanima I, II i III odnosno u kontroli između sadržaja Mg u listu i korenu 21. dana eksperimenta. Značajno niže koncentracije Mg ($p < 0,05$) su konstatovane u korenu u odnosu na ostale vegetativne organe u tretmanu II i kontroli 9. dana uzorkovanja.

Tabela 10. Koncentracija magnezijuma u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

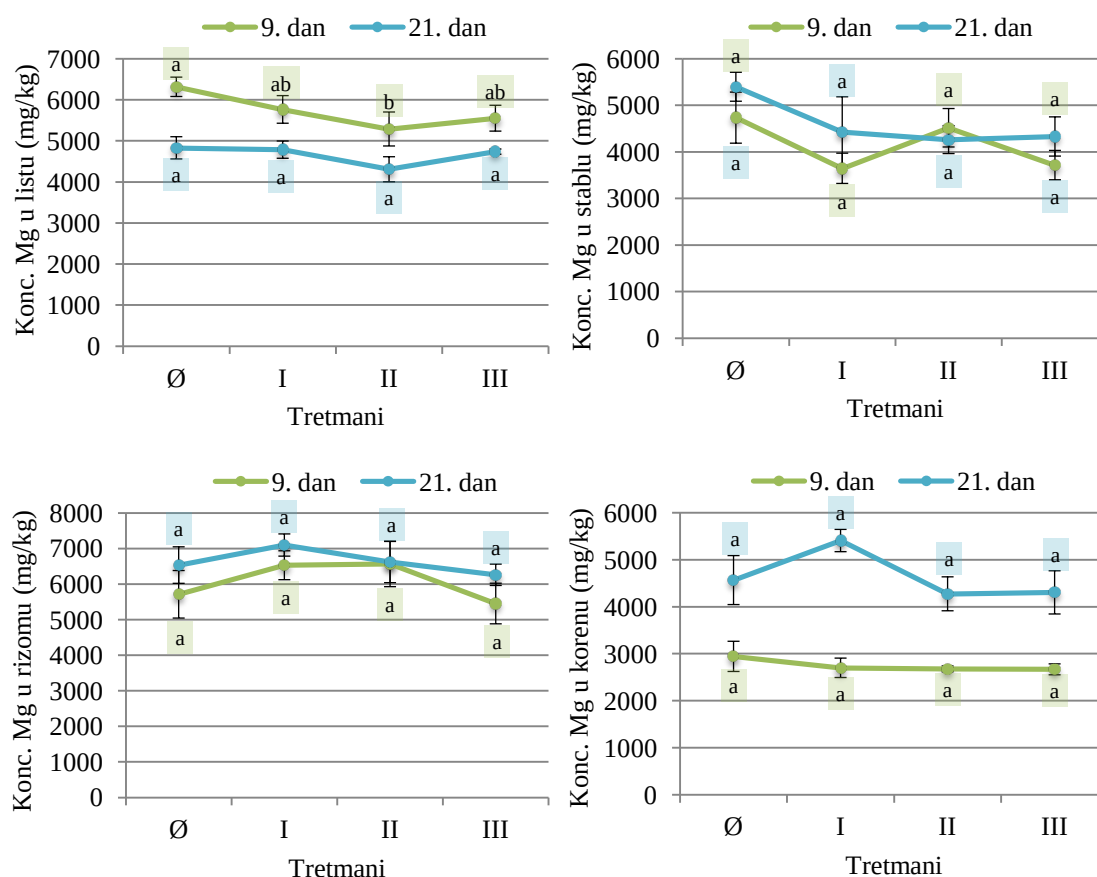
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	5763,51±336,503 ^a	5286,83±413,852 ^{ab}	5549,63±314,944 ^a	6314,20±235,681 ^a
	Stablo	3644,60±325,074 ^b	4515,89±412,867 ^b	3713,69±315,226 ^b	4733,04±548,580 ^b
	Rizom	6527,78±406,446 ^a	6565,24±640,357 ^a	5451,30±571,222 ^a	5710,98±668,565 ^{ab}
	Koren	2698,73±206,471 ^b	2676,33±61,1051 ^c	2666,44±116,119 ^b	2942,12±321,197 ^c
21.	List	4783,81±210,383 ^b	4305,93±304,817 ^b	4735,39±63,4114 ^b	4827,89±270,555 ^b
	Stablo	4422,72±758,409 ^b	4260,71±299,578 ^b	4328,51±421,276 ^b	5396,62±311,007 ^{ab}
	Rizom	7096,29±312,274 ^a	6617,47±579,478 ^a	6259,86±299,846 ^a	6532,58±513,61 ^a
	Koren	5406,92±236,848 ^b	4273,44±361,105 ^b	4303,93±459,751 ^b	4565,46±521,081 ^b

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija Mg je zabeležena u rizomu (7096,29 mg/kg) u tretmanu I 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Mg u biljci *C. indica* je pratilo 5 različitih nizova, tako da je teško izdvojiti jedan ili dva dominantna niza.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Mg u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 7.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p > 0,05$) usvajanje Mg u različitim vegetativnim delovima 9. i 21. dana eksperimenta, osim kod lista 9. dana. Značajno niže koncentracije Mg ($p < 0,05$) su konstatovane u listu u tretmanu II u odnosu kontrolu 9. dana uzorkovanja. Sadržaj Mg

je bio neznatno, ali ne i značajno, viši ($p>0,05$) u kontroli u listu 21. dana, stablu 9. i 21. dana i korenu 9. dana u odnosu na druge tretmane. Takođe, neznatno, ali ne i značajno, više ($p>0,05$) koncentracije Mg su konstatovane u rizomu u tretmanu II 9. dana i tretmanu I 21. dana i u korenu u tretmanu I 21. dana uzorkovanja.



Grafikon 7. (a-d) Trend promene koncentracije magnezijuma u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.8 Usvajanje mangana (Mn)

Početna koncentracija mangana u hranljivom rastvoru je iznosila 0,25 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Mn u vegetativnim delovima kane (Tabela 11.) su pokazali da je najveću koncentraciju Mn imao listu u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Sadržaji Mn u stablu, rizomu i korenu se nisu značajno razlikovali ($p > 0,05$) međusobno u tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana, osim u tretmanu II 21. dana eksperimenta. Značajno niže koncentracije Mn ($p < 0,05$) su konstatovane u ovom tretmanu u rizomu u odnosu na sadržaj Mn u korenu.

Tabela 11. Koncentracija mangana u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

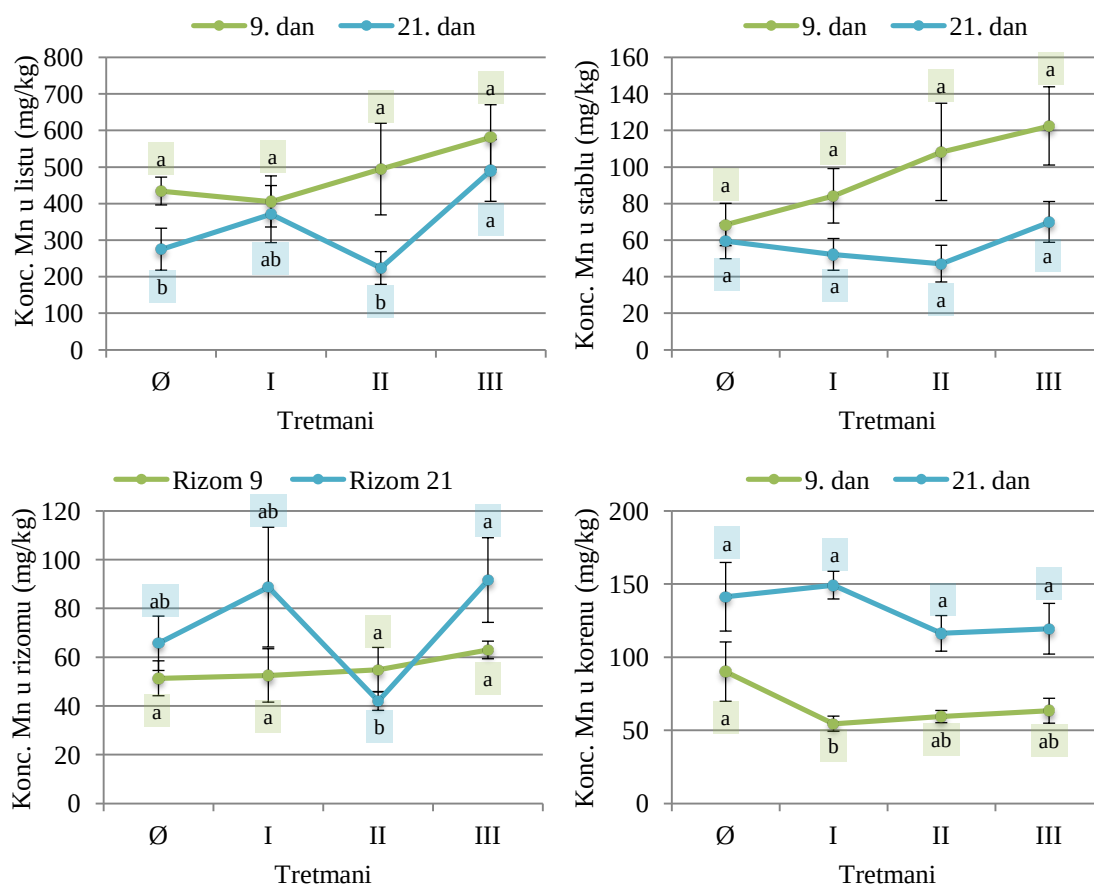
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	405,42±69,876 ^a	493,95±125,338 ^a	581,26±88,707 ^a	433,90±38,047 ^a
	Stablo	84,16±14,907 ^b	108,19±26,615 ^b	122,40±21,407 ^b	68,47±11,591 ^b
	Rizom	52,49±10,958 ^b	54,86±9,130 ^b	62,95±3,611 ^b	51,33±7,161 ^b
	Koren	54,48±5,185 ^b	59,34±4,194 ^b	63,35±8,513 ^b	90,10±20,283 ^b
21.	List	370,83±78,028 ^a	223,37±44,843 ^a	490,18±84,432 ^a	274,77±57,392 ^a
	Stablo	52,12±8,686 ^b	47,06±10,033 ^{bc}	69,88±11,168 ^b	59,50±9,725 ^b
	Rizom	88,73±24,564 ^b	42,02±3,862 ^c	91,63±17,369 ^b	65,68±11,151 ^b
	Koren	149,25±9,473 ^b	116,26±12,177 ^b	119,42±17,332 ^b	141,28±23,464 ^b

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija Mn je zabeležena u listu (581,257 mg/kg) u tretmanu III 9. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Mn u biljci *C. indica* je pratilo 3 različita niza. Kod biljaka u tretmanima I, II i III 9. dana niz usvajanja je bio list>stablo>koren>rizom. Drugi niz usvajanja Mn, list>koren>stablo>rizom su pratile biljke u kontroli 9. dana i tretmanu II 21. dana eksperimenta. Kod biljaka u tretmanima I i III i kontroli 21. dana niz usvajanja Mn je bio list>koren>rizom>stablo.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Mn u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 8.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p > 0,05$) usvajanje Mn u listu, stablu i rizomu 9. dana i stablu i korenu 21. dana eksperimenta. Značajno više koncentracije Mn ($p < 0,05$) su konstatovane u listu u tretmanu III u odnosu na kontrolu i tretman II 21. dana eksperimenta. Takođe, značajno više koncentracije Mn ($p < 0,05$) su zabeležene u rizomu u tretmanu III u odnosu na

tretman II 21. dana. Međutim, značajno veći sadržaj Mn ($p < 0,05$) je konstatovan u kontroli u odnosu na tretman I u korenu 9. dana uzorkovanja.



Grafikon 8. (a-d) Trend promene koncentracije mangana u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.9 Usvajanje molibdena (Mo)

Početna koncentracija molibdena u hranljivom rastvoru je iznosila 0,07 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Mo u vegetativnim delovima kane (Tabela 12.) su pokazali da je najveću koncentraciju Mo imao koren u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Sadržaji Mo u listu, stablu i rizomu se nisu značajno razlikovali ($p > 0,05$) međusobno ni u jednom tretmanu i kontroli 9. dana eksperimenta. Koncentracije Mo u listu i rizomu se takođe nisu značajno razlikovali ($p > 0,05$) međusobno u tretmanima I i III i kontroli 21. dana. U tretmanu II 21. dana uzorkovanja koncentracije Mo u stablu i rizomu su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u odnosu na koncentracije Mo u korenu. U istom tretmanu značajna razlika ($p < 0,05$) je postojala i u sadržaju Mo u listu i korenu kane.

Tabela 12. Koncentracija molibdena u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

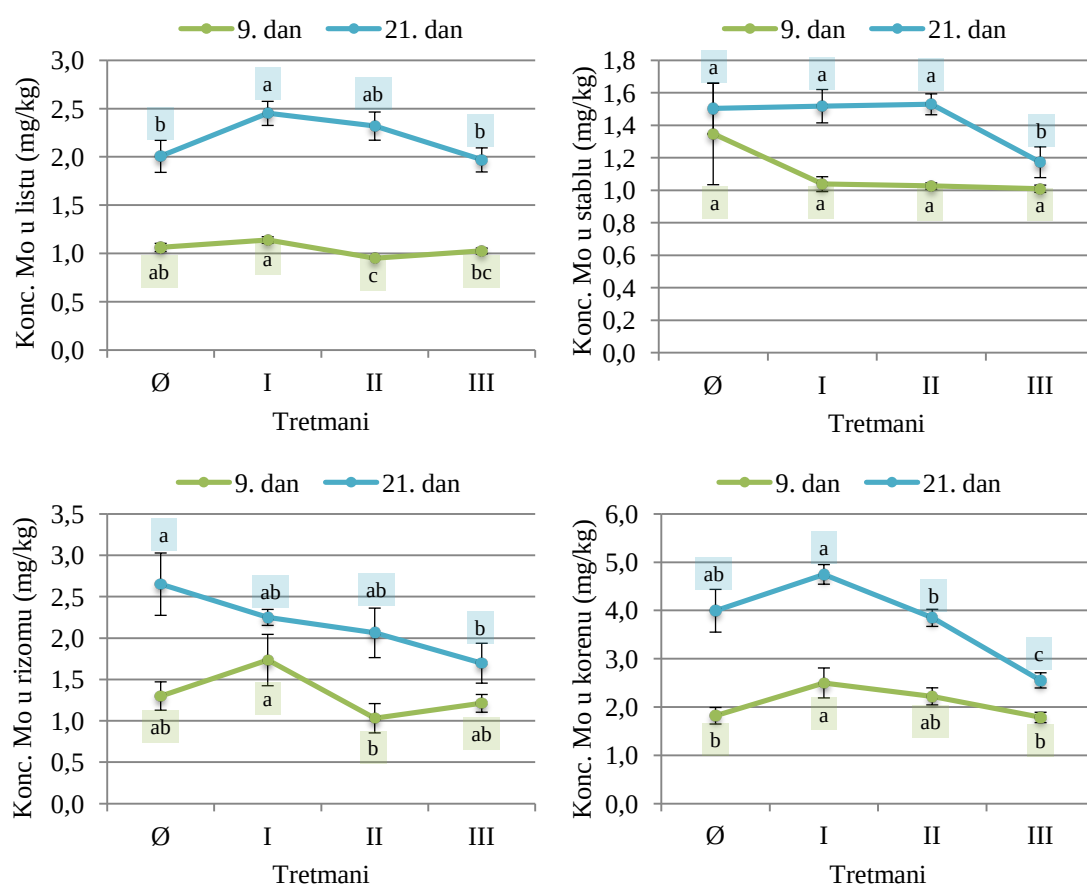
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	1,14±0,034 ^b	0,95±0,0087 ^b	1,03±0,030 ^b	1,06±0,042 ^b
	Stablo	1,04±0,046 ^b	1,03±0,019 ^b	1,01±0,022 ^b	1,35±0,313 ^{ab}
	Rizom	1,74±0,373 ^b	1,03±0,037 ^b	1,21±0,082 ^b	1,30±0,104 ^{ab}
	Koren	2,50±0,310 ^a	2,22±0,177 ^a	1,78±0,108 ^a	1,82±0,171 ^a
21.	List	2,45±0,125 ^b	2,32±0,146 ^b	1,97±0,124 ^b	2,01±0,166 ^{bc}
	Stablo	1,52±0,103 ^c	1,53±0,064 ^c	1,17±0,095 ^c	1,50±0,156 ^c
	Rizom	2,25±0,097 ^b	2,06±0,299 ^{bc}	1,70±0,241 ^b	2,65±0,377 ^b
	Koren	4,75±0,203 ^a	3,85±0,178 ^a	2,55±0,157 ^a	3,99±0,443 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija Mo je zabeležena u korenu (4,75 mg/kg) u tretmanu I 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Mo u biljci *C. indica* je pratilo 4 različita niza. Kod biljaka u tretmanima I i III 9. dana i kontroli i 21. dana niz usvajanja je bio koren>rizom>list>stablo. Drugi niz usvajanja Mo, koren>list>rizom>stablo su pratile biljke u tretmanima I, II i III 21. dana. Kod biljaka u tretmanu II 9. dana niz usvajanja Mo je bio koren>stablo=rizom>list, a kod biljaka u kontroli 9. dana koren>list>rizom>list.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Mo u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 9.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p > 0,05$) usvajanje Mo u stablu 9. dana. Značajno niže koncentracije Mo

($p < 0,05$) su konstatovane u listu u tretmanu II u odnosu na kontrolu i tretman I 9. dana eksperimenta. Sličan trend je zabeležen kod rizoma 9. dana eksperimenta, gde je značajno niža koncentracija ($p < 0,05$) Mo zabeležena u tretmanu II u odnosu na tretman I. Takođe, značajno niže koncentracije Mo ($p < 0,05$) su konstatovane u stablu u tretmanu III u odnosu na kontrolu 21. dana, kao i u korenu u tretmanu III u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu 21. dana eksperimenta. značajno više koncentracije Mo su zabeležene u korenu 9. dana i listu 21. dana u tretmanu I u odnosu na kontrolu i tretman III.



Grafikon 9. (a-d) Trend promene koncentracije molibdena u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.10 Usvajanje fosfora (P)

Početna koncentracija fosfora u hranljivom rastvoru je iznosila 30,97 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja P u vegetativnim delovima kane (Tabela 13.) su pokazali da je najveću koncentraciju P imalo stablo u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja ($p < 0,05$). Sadržaj P u stablu se nije značajno razlikovao ($p > 0,05$) od sadržaja P u rizomu i korenu u kontroli 9. dana i u listu u tretmanima I i II 21. dana eksperimenta. Takođe, sadržaji P u listu, rizomu i korenu se nisu značajno razlikovali ($p > 0,05$) međusobno u tretmanima I i II i kontroli 9. dana uzorkovanja. Kod biljaka u tretmanima I i III i kontroli 21. dana nisu postojale značajne razlike ($p > 0,05$) u usvajanje P u listu i korenu. Značajno niži sadržaj P u rizomu ($p < 0,05$) je konstatovan 21. dana u svim tretmanima i kontroli u odnosu na druge vegetativne organe i u tretmanu III 9. dana eksperimenta u odnosu na sadržaj P u stablu i korenu.

Tabela 13. Koncentracija fosfora u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

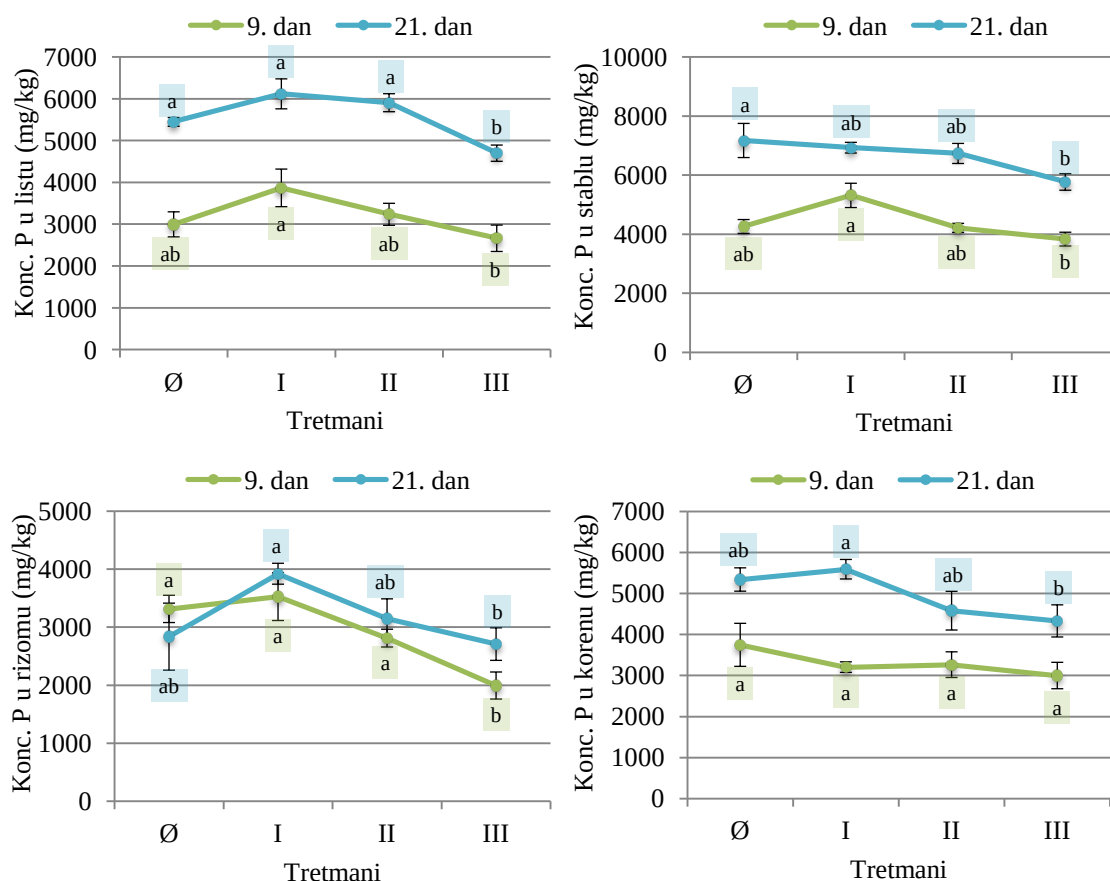
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	3871,70±450,003 ^b	3238,97±263,563 ^b	2666,35±315,927 ^{bc}	2999,17±299,797 ^b
	Stablo	5316,81±525,156 ^a	4217,14±273,154 ^a	3836,66±50,522 ^a	4264,43±530,143 ^a
	Rizom	3524,55±411,319 ^b	2810,00±153,244 ^b	1992,50±233,303 ^c	3313,30±234,897 ^{ab}
	Koren	3202,15±128,802 ^b	3261,93±312,972 ^b	2996,98±321,862 ^b	3744,98±524,339 ^{ab}
21.	List	6120,89±358,502 ^{ab}	5909,00±215,120 ^a	4701,59±194,441 ^b	5450,42±104,944 ^b
	Stablo	6932,81±532,033 ^a	6737,64±280,141 ^a	5773,42±445,736 ^a	7176,28±402,310 ^a
	Rizom	3920,08±180,369 ^c	3147,33±339,663 ^c	2706,94±280,837 ^c	2835,08±577,730 ^c
	Koren	5589,08±237,972 ^b	4578,31±471,921 ^b	4328,43±391,558 ^b	5337,84±284,623 ^b

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija P je zabeležena u stablu (7176,28 mg/kg) u kontroli 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije P u biljci *C. indica* je u svim tretmanima i kontroli 21. dana pratilo niz stablo>list>koren>rizom. Kod biljaka 9. dana uzorkovanja su se javila tri različita niza usvajanja P. Niz povećanja koncentracije P stablo>list>rizom>koren su sledile biljke u tretmanu I, stablo>koren>list>rizom biljke u tretmanima II i III, dok su biljke u kontroli pratile niz stablo>koren>rizom>list.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija P u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 10.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p > 0,05$) usvajanje P u jedino u korenu 9. dana eksperimenta. Značajno niže

koncentracije P ($p < 0,05$) su konstatovane u listu i stablu 9. dana u tretmanu III u odnosu na tretman I. Isti trend je zabeležen kod rizoma i korena 21. eksperimenta. Takođe, značajno niže koncentracije P ($p < 0,05$) su konstatovane u rizomu u tretmanu III u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu 9. dana, kao i u list 21. dana uzorkovanja. Dok je značajno veći sadržaj P ($p < 0,05$) zabeležen u stablu u kontroli u odnosu na tretman III 21. dana eksperimenta.



Grafikon 10. (a-d) Trend promene koncentracije fosfora u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.11 Usvajanje sumpora (S)

Početna koncentracija sumpora u hranljivom rastvoru je iznosila 32,23 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja S u vegetativnim delovima kane (Tabela 14.) su pokazali da su najveću koncentraciju S imali list i rizom ($p>0,05$) u skoro svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana uzorkovanja. U tretmanu I značajno više S ($p<0,05$) je usvojio rizom u odnosu na druge vegetativne organe 9. dana, dok je u tretmanu III 21. dana eksperimenta najveći sadržaj S konstatovan u listu ($p<0,05$). Sadržaj S u stablu je bio značajno niži ($p<0,05$) od sadržaja S u listu, rizomu i korenu u skoro svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana eksperimenta. Koren je usvojio nešto više, ali ne i značajno više S ($p>0,05$) u odnosu na stablo u tretmanu I 9. dana i tretmanu II 21. dana uzorkovanja. U svim ostalim tretmanima i kontroli, 9. i 21. eksperimenta koncentracija S se značajno razlikovala ($p<0,05$) od koncentracije S u drugim vegetativnim organima.

Tabela 14. Koncentracija sumpora u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

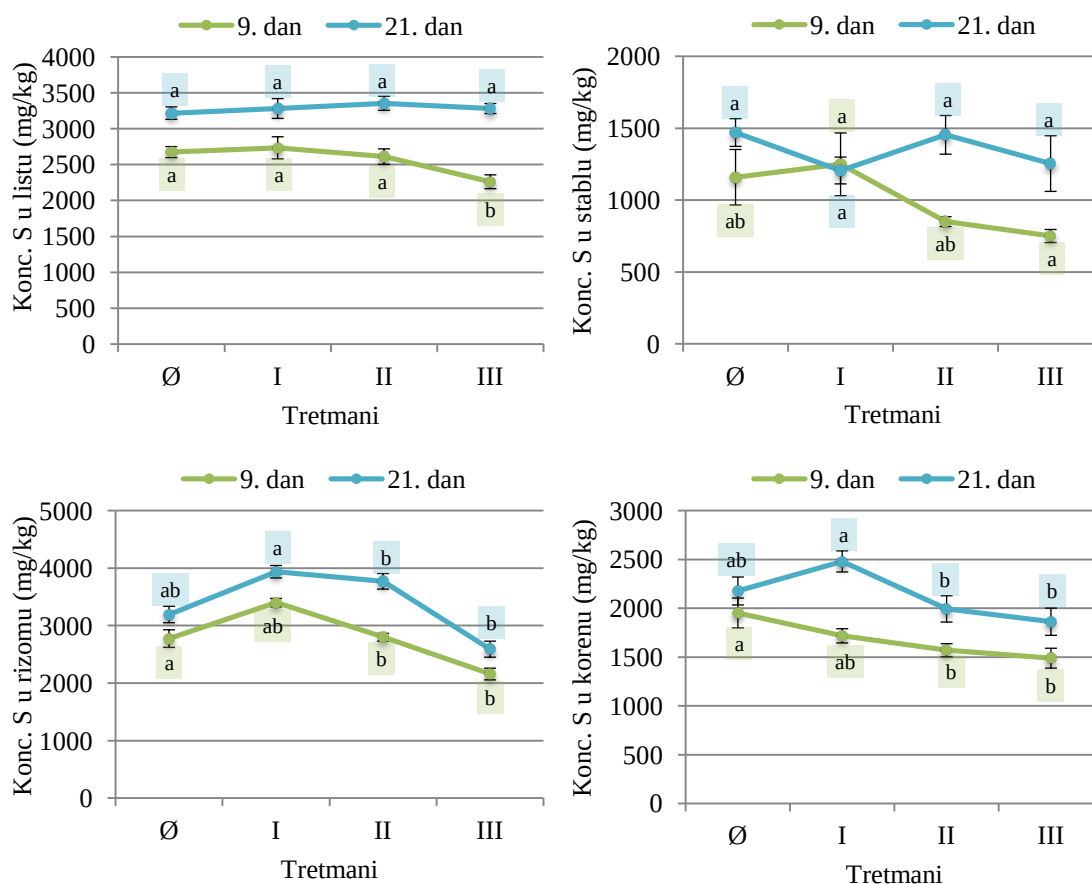
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	2733,30±153,763 ^b	2610,66±107,903 ^a	2260,56±96,310 ^a	2673,53±76,598 ^a
	Stablo	1249,14±218,171 ^c	850,60±34,498 ^c	750,51±45,434 ^c	1159,26±193,104 ^c
	Rizom	3401,41±315,362 ^a	2799,74±155,099 ^a	2159,96±242,393 ^a	2776,14±285,979 ^a
	Koren	1718,10±72,829 ^c	1570,95±66,772 ^b	1489,35±101,672 ^b	1952,44±152,832 ^b
21.	List	3280,66±137,968 ^b	3352,92±97,338 ^a	3280,37±70,008 ^a	3216,71±86,315 ^a
	Stablo	1206,29±93,303 ^d	1454,20±134,409 ^b	1254,34±193,655 ^d	1470,35±96,360 ^c
	Rizom	3938,79±150,543 ^a	3771,67±413,509 ^a	2591,97±167,268 ^b	3194,70±428,683 ^a
	Koren	2480,50±108,130 ^c	1994,14±134,929 ^b	1862,50±139,422 ^c	2177,73±143,053 ^b

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija S je zabeležena u rizomu (3938,79 mg/kg) u tretmanu I 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije S u biljci *C. indica* je u tretmanima I i II 9. i 21. dana i u kontroli 9. dana eksperimenta pratilo niz rizom>list>koren>stablo. Isti trend su pretile i biljke u tretmanima I i III 21. dana uzorkovanja. Kod biljaka u tretmanu III 9. i 21. dana i u kontroli 21. dana uzorkovanja povećanje koncentracije S je pratilo drugačiji niz odnosno sledeći raspored usvajanja list>rizom>koren>stablo.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija S u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 11.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p>0,05$) usvajanje S u listu i stablu 21. dana eksperimenta. Značajno niže

koncentracije S ($p < 0,05$) su konstatovane u listu u tretmanu III u odnosu na druge tretmane i kontrolu 9. dana, kao i u rizomu u tretmanu III u odnosu na tretmane I i II 21. dana eksperimenta. Isti trend usvajanja S je zabeležen kod stabla i rizoma, gde su značajno više koncentracije S ($p < 0,05$) uočene u tretmanu I u odnosu na tretman III 9. dana uzorkovanja. U korenu su značajno veće koncentracije S ($p < 0,05$) konstatovane u kontroli u odnosu na tretmane II i III 9. dana i u tretmanu I u odnosu na tretmane II i III 21. dana eksperimenta.



Grafikon 11. (a-d) Trend promene koncentracije sumpora u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.1.12 Usvajanje cinka (Zn)

Početna koncentracija cinka u hranljivom rastvoru je iznosila 0,03 mg/L.

Rezultati određivanja sadržaja Zn u vegetativnim delovima kane (Tabela 15.) su pokazali da je najveću koncentraciju Zn imao list ($p>0,05$) u svim tretmanima i kontroli 9. dana odnosno koren ($p>0,05$) u tretmanima I i III i kontroli 21. dana uzorkovanja. U tretmanu II 21. dana eksperimenta nije bilo značajnih razlika u sadržaju Zn u različitim vegetativnim organima, pri čemu je neznatno više Zn usvojio rizom ($p>0,05$). Koncentracije Zn u listu i korenu se nisu značajno razlikovale ($p>0,05$) u tretmanima I i III i kontroli 9. dana i tretmanu III 21. dana uzorkovanja. Takođe, nisu konstatovane ni značajne razlike u sadržaju Zn ($p>0,05$) u stablu, rizomu i korenu u tretmanima I, II i III 9. dana odnosno listu, stablu i rizomu u tretmanu III i kontroli 21. dana eksperimenta. U tretmanu I 21. dana su konstatovane značajno niže koncentracije Zn ($p<0,05$) u stablu u odnosu na sadržaj Zn u rizomu i korenu.

Tabela 15. Koncentracija cinka u različitim vegetativnim delovima (mg/kg)

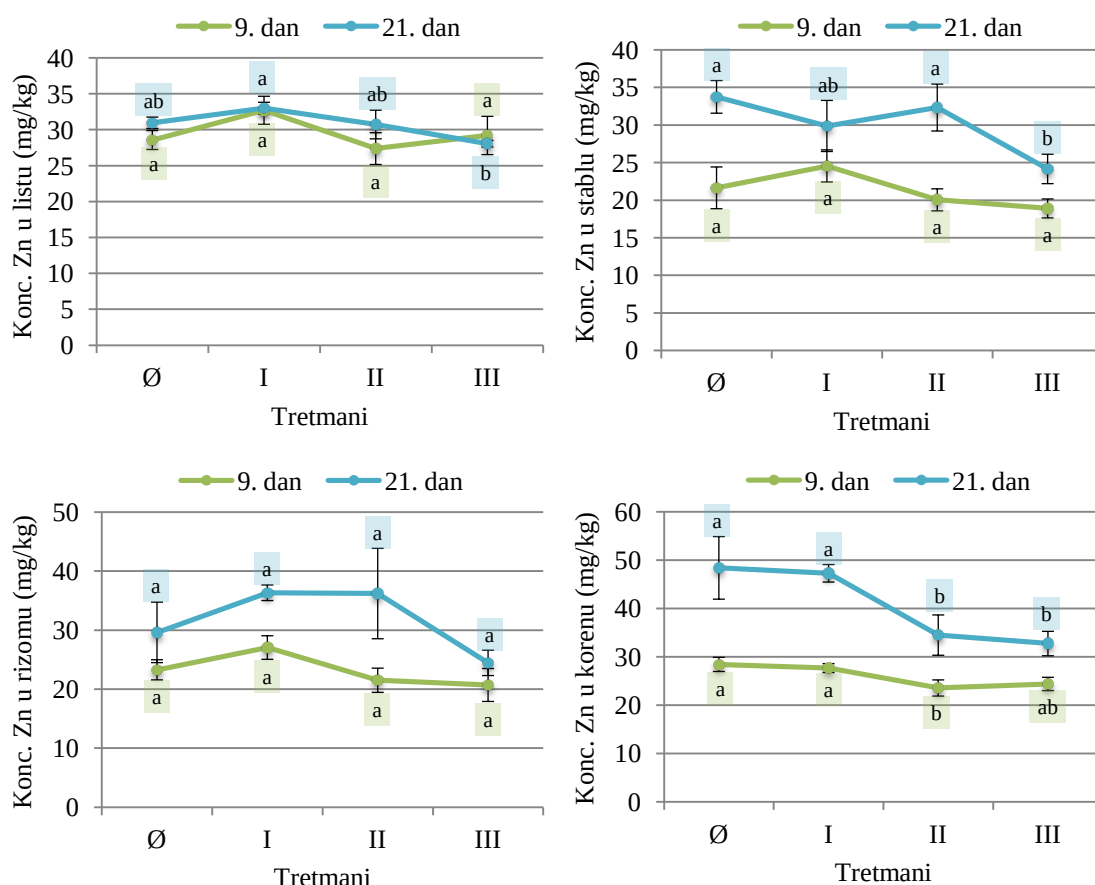
Dan uzorkovanja	Veg. deo	Tretmani			
		I	II	III	kontrola
9.	List	32,71±1,951 ^a	27,37±2,211 ^a	29,20±2,662 ^a	28,57±1,324 ^a
	Stablo	24,56±2,134 ^b	20,05±1,463 ^b	18,90±1,264 ^b	21,64±2,780 ^b
	Rizom	27,06±1,997 ^b	21,51±2,052 ^b	20,71±2,790 ^b	23,28±1,709 ^{ab}
	Koren	27,69±0,917 ^{ab}	21,89±0,273 ^b	24,40±1,374 ^{ab}	28,44±1,465 ^a
21.	List	32,99±0,825 ^{bc}	30,72±1,996 ^a	28,06±0,457 ^{ab}	30,96±0,791 ^b
	Stablo	29,88±3,398 ^c	32,33±3,123 ^a	24,16±1,957 ^b	33,75±2,172 ^b
	Rizom	36,34±1,319 ^b	36,20±7,654 ^a	24,46±2,147 ^b	29,62±5,121 ^b
	Koren	47,29±1,812 ^a	34,51±4,172 ^a	32,76±2,524 ^a	48,41±6,474 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L, tretman III 41 mg/L i kontrola 0 mg/L.

Najviša koncentracija Zn je zabeležena u korenu (48,41 mg/kg) u kontroli 21. dana eksperimenta. Povećanje koncentracije Zn u biljci *C. indica* je u svim tretmanima i kontroli 9. dana eksperimenta pratilo niz list>koren>rizom>stablo. Biljke su 21. dana uzorkovanja pratile drugačije nizove u svakom tretmanu i kontroli.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Zn u svakom vegetativnom delu posebno u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 12.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu uticale na značajno različito ($p>0,05$) usvajanje Zn u listu i stablu 9. dana i rizomu 9. i 21. dana eksperimenta. Značajno niže koncentracije Zn ($p<0,05$) su konstatovane u listu u

tretmanu III u odnosu na tretman I 21. dana eksperimenta. Takođe, stablo biljaka u tretmanu III je sadržalo značajno manje Zn ($p<0,05$) u odnosu na stabla biljaka u tretman II i kontroli. Koncentracija Zn u korenu je bila značajno niža ($p<0,05$) u tretmanu II u odnosu na tretman I i kontrolu 9. dana odnosno u tretmanima II i III u odnosu na tretman I i kontrolu 21. dana eksperimenta.



Grafikon 12. (a-d) Trend promene koncentracije cinka u listu, stablu, rizomu i korenu kane (mg/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.2 Efekti tretmana na potencijal biljke da usvaja olovo iz medijuma za gajenje

Rezultati istraživanja (Tabela 16.) su pokazali da su različite koncentracije olova u medijumu za gajenje imale uticaj na vrednost biokoncentracionog faktora (BCF) nadzemne i podzemne biomase uzorkovane 9. dana eksperimenta ($p < 0,05$). Vrednost BCF nadzemne (0,67) i podzemne (57,70) biomase je bila značajno veća u tretmanu II u poređenju sa tretmanima I i III. Do 21. dana eksperimenta razlike u vrednostima BCF su se smanjile i kod nadzemne i podzemne mase biljaka ($p > 0,05$). Najveća vrednost BCF je zabeležena u podzemnoj biomasi uzorkovanoj 21. dana u tretmanu I.

Tabela 16. Efekti tretmana na vrednost biokoncentracionog faktora (BCF) nadzemne i podzemne biomase biljke *C. indica*

Tretman	Biokoncentracioni faktor (BCF)			
	Nadzemna biomasa		Podzemna biomasa	
	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan
I	0,41±0,053 ^b	0,80±0,134 ^a	26,89±3,174 ^b	81,16±7,099 ^a
II	0,67±0,120 ^a	1,02±0,239 ^a	57,70±8,209 ^a	75,22±10,468 ^a
III	0,38±0,056 ^b	0,63±0,087 ^a	29,34±1,449 ^b	67,75±9,868 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

Rezultati ispitivanja koncentracije Pb, koja je usvojena u suvoj masi cele biljke dnevno (Tabela 17.) tokom celokupnog trajanja eksperimenta (21 dan) su pokazali da su različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru uticale i na stepen ukupne akumulacije (TAR) Pb ($p < 0,05$). Step en akumulacije Pb je bio značajno viši u tretmanu III u odnosu na tretmane I i II.

Tabela 17. Efekti tretmana na vrednost stepena ukupne akumulacije (TAR) i faktora translokacije (TF) biljke *C. indica*

Tretman	Stepen ukupne akumulacije (TAR) (mg/kg/danu)	Faktor translokacije (TF)	
	21. dan	9. dan	21. dan
I	20,70±1,545 ^b	0,02±0,001 ^a	0,01±0,001 ^a
II	41,50±6,604 ^b	0,01±0,001 ^a	0,01±0,001 ^a
III	86,66±12,669 ^a	0,01±0,001 ^a	0,01±0,002 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

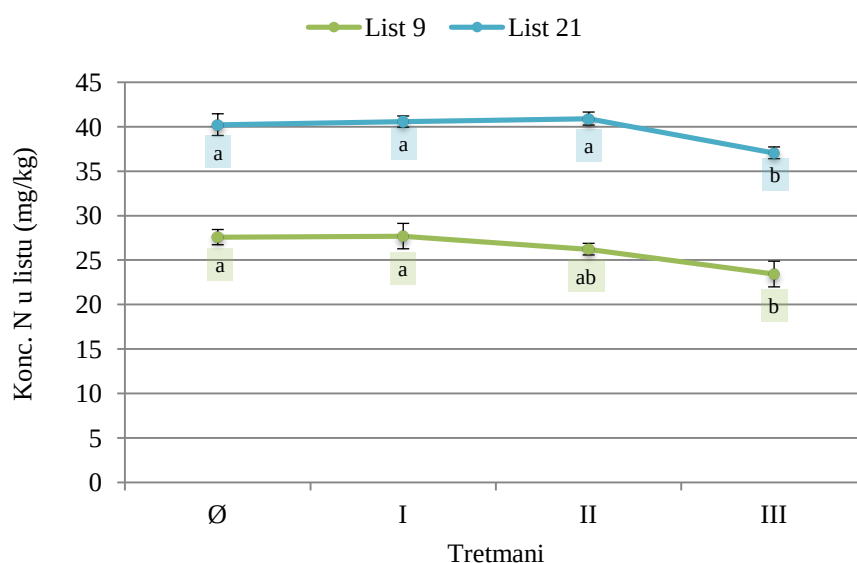
6.1.3 Efekti tretmana na potencijal biljke da translocira olovo iz korena u svoje nadzemne delove

Rezultati istraživanja (Tabela 17.) su pokazali da se vrednost translokacionog faktora (TF) nije značajno menjala u odnosu na različite tretmane i vreme uzorkovanja. Vrednosti TF je u svim tretmanima, 9. i 21. dana iznosila 0,01 izuzev kod biljaka u tretmanu I koje su uzorkovane 9. dan gde je TF iznosio 0,02.

6.1.4 Sadržaja elemenata ishrane u asimilacionim organima biljke

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija azota (N) u listu u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu (Grafikon 13.) su pokazali da su različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru uticale na značajno različito ($p < 0,05$) usvajanje N u listu 9. i 21. dana eksperimenta. Značajno niže koncentracije N ($p < 0,05$) su konstatovane u listu u tretmanu III (23,4 g/kg) u odnosu na tretman I i kontrolu 9. dana uzorkovanja. Biljke su i 21. dana eksperimenta pratile isti trend usvajanja N u lišću, s tim što je sada postojala značajna razlika u koncentracijama N ($p < 0,05$) u biljkama u tretmanu III (37,1 g/kg) u odnosu na biljke u tretmanima I i II i kontroli. Značajne razlike u sadržaju N u listu nisu postojale ($p > 0,05$) u tretmanima I i II i kontroli ni 9. ni 21. dana eksperimenta. Najveća koncentracija N u listu je iznosila 40,9 g/kg i zabeležana je u tretmanu II 21. dana eksperimenta.

Rezultati dobijeni upoređivanjem usvojenih koncentracija Ca, K, Mg, P i S u listu u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu su prikazani u odgovarajućim grafikonima u poglavlju 6.1.1.

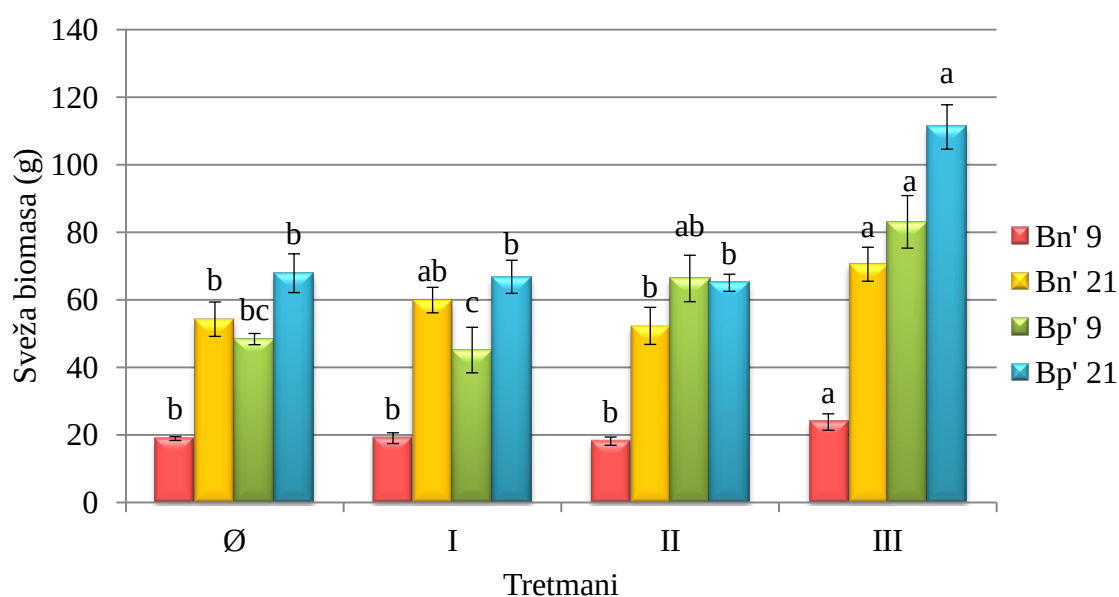


Grafikon 13. Trend promene koncentracije azota u listu kane (g/kg). Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. Na svakom grafikonu srednje vrednosti sa različitim slovom u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

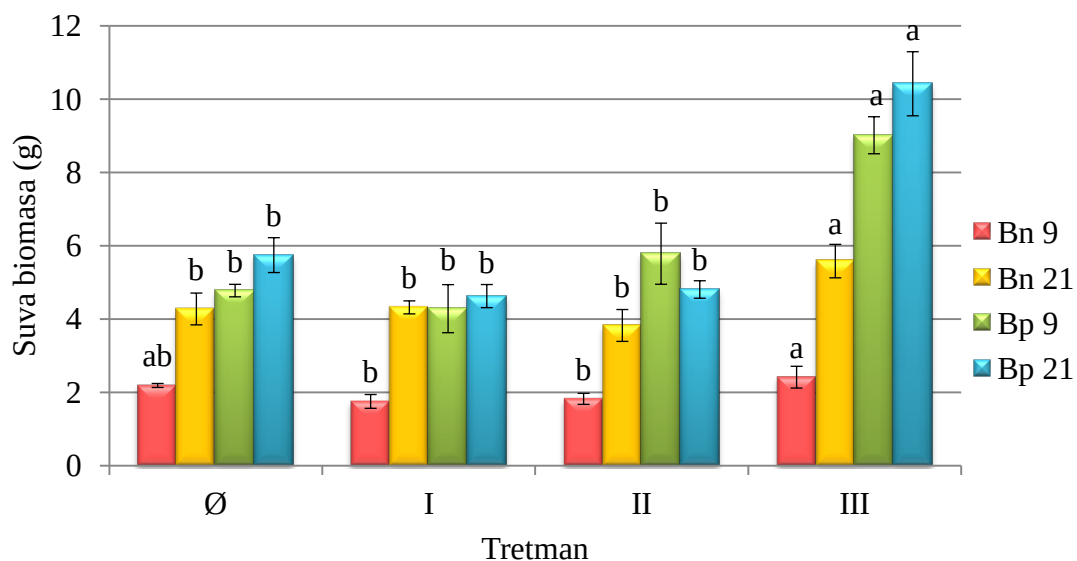
6.1.5 Efekti tretmana na parametre rasta biljke

6.1.5.1 Biomasa

Rezultati dobijeni analizom uticaja tretmana i vremena uzorkovanja na svežu biomasu kane (Grafikon 14.) su pokazali da je sveža biomasa podzemnog i nadzemnog dela biljke, 9. i 21. dana eksperimenta bila značajno veća ($p < 0,05$) u tretmanu III u poređenju sa kontrolom i druga dva tretmana. Takođe, biljke u tretmanu I su pokazale neznatno, ali ne i značajno povećanje ($p > 0,05$) sveže biomase nadzemnog dela u odnosu na kontrolu, 9. i 21. dana eksperimenta. Podzemna sveža masa biljaka u tretmanu I je bila značajno niža ($p < 0,05$) u odnosu na biljke u tretmanima II i III 9. dana uzorkovanja.



Grafikon 14. Efekti tretmana na nadzemnu i podzemnu svežu biomasu kane. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svake serije srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. Bn'9 - sveža biomasa nadzemnog dela, Bp'9 - sveža biomasa podzemnog dela, 9. i 21. dana eksperimenta.



Grafikon 15. Efekti tretmana na nadzemnu i podzemnu suhu biomasu kane. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svake serije srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. Bn - suva biomasa nadzemnog dela, Bp - suva biomasa podzemnog dela, 9. i 21. dana eksperimenta.

Rezultati dobijeni analizom uticaja tretmana i vremena uzorkovanja na suvu biomasu kane (Grafikon 15.) su pokazali da je suva biomasa podzemnog i nadzemnog dela biljke, 9. i 21. dana eksperimenta bila značajno veća u tretmanu III u poređenju sa kontrolom i druga dva tretmana. Biljke iz tretmana I i II su pokazale neznatno, ali ne i značajno smanjenje ($p>0,05$) nadzemne i podzemne biomase u odnosu na kontrolu, 9. i 21. dana uzorkovanja.

Ni na jednoj biljci nisu konstatovani simptomi toksičnosti Pb kao što su hloroza, odumiranje listova, oštećenje korena i drugi.

Rezultati dobijeni analizom uticaja tretmana i vremena uzorkovanja na inhibiciju rasta (Ir) kane (Tabela 18.) su pokazali da je 9. dana eksperimenta došlo do inhibicije rasta jedino u tretmanu I. Do 21. dana uzorkovanja, vrednost Ir se smanjila u tretmanu I, ali se zato povećala u tretmanu II, tako da su jedino biljke u tretmanu III na kraju eksperimenta imale negativne vrednosti Ir.

Tabela 18. Efekti tretmana na procenat inhibicije rasta (Ir) kane

Tretman	Procenat inhibicije rasta (Ir)	
	9. dan	21. dan
Ø	0,00	0,00
I	13,32	10,74
II	-9,27	13,85
III	-64,27	-59,76

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost za šest ponavljanja. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L.

6.1.5.2 Alokacija biomase

Rezultati dobijeni analizom uticaja tretmana i vremena uzorkovanja na odnos biomase nadzemnog dela biljke i rizoma i biomase korena kane (S/R, Tabela 19.) su pokazali da različite koncentracije olova i dan eksperimenta nisu imali značajan uticaj ($p>0,05$) na promenu ovog odnosa. Alokacija biomase je bila veća u nadzemnom delu biljke, kojoj je pridodat i rizom. Kod biljaka u tretmanu III 9. dana vrednost S/R je bila neznatno, ali ne i značajno viša ($p>0,05$) u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu. Isti trend su pokazale i biljke u kontroli 21. dana.

Međutim, kada je alokacija biomase okarakterisana kao odnos nadzemne i podzemne biomase kane (A/B, Tabela 19.), alokacija biomase je bila veća u podzemnom delu biljaka u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana eksperimenta. Biljke

u tretmanu III, 9. dana eksperimenta su imale značajno nižu ($p < 0,05$) vrednost A/B u odnosu na tretman I i kontrolu odnosno 21. dana u odnosu na tretmane I i II.

6.1.5.3 Alokacija resursa

Rezultati dobijeni analizom uticaja tretmana i vremena uzorkovanja na alokaciju resursa (Tabele 19. i 20.) u biljci *C. indica* dodatno objašnjavaju razliku u alokaciji biomase kada je ona okarakterisana kroz odnose S/R i A/B. Naime, najveća alokacija resursa u svim tretmanima i kontroli, 9. i 21. dana eksperimenta je bila u rizomu (Tabele 20.). Shodno tome, ako se alokacija biomase računala kao odnos S/R akumulacija biomase je bila veća u nadzemnom delu, a ako se računala kao A/B akumulacija biomase je bila veća u podzemnom delu biljke.

Daljom analizom masenog udela nadzemne (NMF) i podzemne biomase (PMF) kane (Tabele 19.) uočeno je da su različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru imale uticaj ($p < 0,05$) na alokaciju resursa u biljci. Vreme uzorkovanja biljaka nije uticalo ($p > 0,05$) na promene alokacije resursa ni u podzemnim ni u nadzemnim delovima kane. Značajno niža vrednost NMF ($p < 0,05$) je konstatovan u tretmanu III 9. dana eksperimenta u odnosu na kontrolu i tretman I odnosno 21. dana u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu. Povećanje koncentracije Pb u rastvoru je imalo drugačiji utican na PMF tako da je značajno viša vrednost PMF ($p < 0,05$) u tretmanu III 9. dana eksperimenta u odnosu na kontrolu i tretman I odnosno 21. dana u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu.

Tabela 19. Odnos biomase i maseni udeo nadzemnog i podzemnog dela biljke *C. indica*

Tretman	S/R		A/B		NMF		PMF	
	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan
Ø	4,98±0,458 ^a	5,04±0,115 ^a	0,46±0,022 ^a	0,76±0,068 ^{ab}	31,67±0,010 ^a	42,67±0,023 ^a	68,33±0,010 ^b	57,33±0,023 ^b
I	5,24±0,288 ^a	4,25±0,254 ^a	0,44±0,069 ^a	0,94±0,035 ^a	30,00±0,031 ^a	48,50±0,010 ^a	70,00±0,031 ^b	51,50±0,010 ^b
II	4,26±0,622 ^a	4,47±0,469 ^a	0,35±0,051 ^{ab}	0,82±0,133 ^a	25,17±0,027 ^{ab}	43,67±0,033 ^a	74,83±0,027 ^{ab}	56,33±0,033 ^b
III	5,84±0,794 ^a	4,76±0,383 ^a	0,27±0,026 ^b	0,55±0,045 ^b	21,17±0,016 ^b	35,17±0,020 ^b	78,83±0,016 ^a	64,83±0,020 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. S/R - odnos biomase nadzemnog dela biljke i rizoma i biomase korena, A/B - odnos biomase nadzemnog i biomase podzemnog dela biljke, NMF - maseni udeo nadzemnog dela biljke (%), PMF - maseni udeo podzemnog dela biljke (%).

Tabela 20. Maseni udeo lista, stabla, rizoma i korena biljke *C. indica*

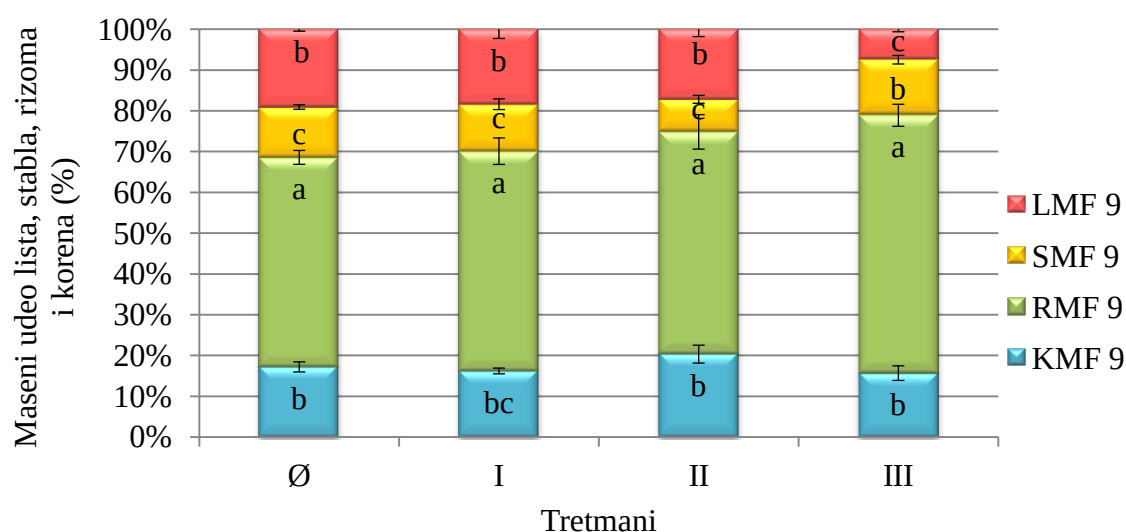
Tretman	LMF		SMF		RMF		KMF	
	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan	9. dan	21. dan
Ø	19,00±0,004 ^a	27,83±0,016 ^a	12,50±0,006 ^a	14,67±0,010 ^b	51,33±0,016 ^b	41±0,026 ^{ab}	17,17±0,012 ^{ab}	16,33±0,003 ^a
I	18,33±0,023 ^a	32,83±0,013 ^a	11,50±0,014 ^a	15,67±0,007 ^b	54,00±0,033 ^{ab}	32,33±0,005 ^c	16,17±0,006 ^{ab}	19,17±0,009 ^a
II	17,17±0,0183 ^a	30,50±0,027 ^a	7,67±0,010 ^b	13,50±0,01 ^b	54,50±0,042 ^{ab}	37,33±0,041 ^{bc}	20,33±0,022 ^a	19,00±0,016 ^a
III	7,50±0,007 ^b	11,33±0,008 ^b	13,67±0,011 ^a	24,00±0,011 ^a	63,00±0,026 ^a	47,17±0,015 ^a	15,67±0,017 ^b	17,67±0,012 ^a

Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost ± SE za šest ponavljanja. Srednje vrednosti sa različitim slovom u koloni u okviru istog dana eksperimenta se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. LMF - maseni udeo lista (%), SMF - maseni udeo stabla (%), RMF - maseni udeo rizoma (%), KMF - maseni udeo korena (%).

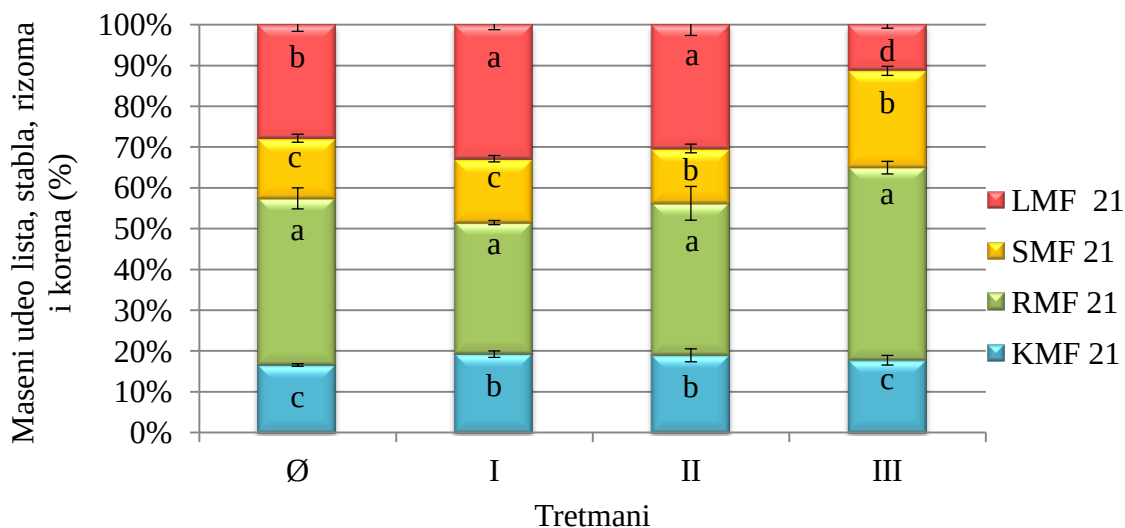
Rezultati analize alokacije resursa u svakom vegetativnom delu posebno (Tabele 20.) u odnosu na sva tri tretmana i kontrolu su pokazali da su različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru uticale na značajno različite ($p < 0,05$) vrednosti masenog udela lista (LMF), stabla (SMF), rizoma (RMF) i korena (KMF) 9. i 21. dana eksperimenta. Izuzetak je bila vrednost KMF 21. dana na čiju promenu različite koncentracije Pb nisu uticale. Vrednost LMF je bila značajno niža ($p < 0,05$) u tretmanu III u odnosu na tretmane I i II i kontrolu, 9. i 21. dana eksperimenta. Vrednost SMF je bila značajno niža ($p < 0,05$) u tretmanu II u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu 9. dana, a značajno viša ($p < 0,05$) u tretmanu III u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu 21. dana uzorkovanja. Značajno viša vrednost RMF ($p < 0,05$) zabeležena je u tretmanu III 9. dana u odnosu na kontrolu i 21. dana u odnosu na tretmane I i II. Vrednost KMF je bila značajno veća u tretmanu II u odnosu na tretman III 9. dana eksperimenta.

Rezultati analize alokacije resursa u svakom vegetativnom delu posebno (Grafikon 16.) u okviru jednog tretmana ili kontrole su pokazali da je 9. dana eksperimenta značajno viša alokacija resursa ($p < 0,05$) bila u rizomu (RMF) u odnosu na list, stablo i koren u svim tretmanima i kontroli. Najmanji maseni udeo ($p < 0,05$) je imalo stablo (SMF) u poređenju sa ostalim vegetativnim organima u tretmanima I i II i kontroli. Vrednosti LMF i KMF se nisu značajno razlikovale ($p > 0,05$) u kontroli i tretmanima I i II. Međutim, u tretmanu III značajno nižu alokaciju resursa ($p < 0,05$) imao je list (LMF) u odnosu na ostale vegetativne organe.

Rezultati analize alokacije resursa u svakom vegetativnom delu posebno (Grafikon 17.) u okviru jednog tretmana ili kontrole su pokazali da 21. dana eksperimenta nije bilo značajne razlike u alokaciji resursa ($p > 0,05$) u listu (LMF) i rizomu (RMF) u tretmanima I i II. U kontroli i tretmanu III vrednost RMF je i dalje bila značajno veća ($p < 0,05$) u odnosu na masene udele lista, stabla i korena. Najmanji maseni udeo ($p < 0,05$) je i dalje imalo stablo (SMF) u poređenju sa ostalim vegetativnim organima u tretmanima I i II i kontroli, kao i list (LMF) u tretmanu III u odnosu na ostale vegetativne organe.



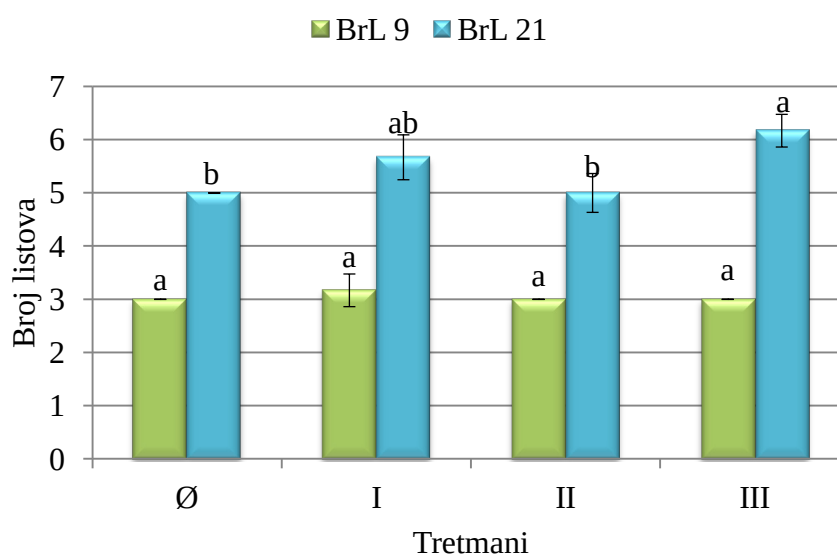
Grafikon 16. Efekti tretmana na maseni udeo lista, stabla, rizoma i korena kane 9. dana eksperimenta. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svakog tretmana srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. LMF - maseni udeo lista (%), SMF - maseni udeo stabla (%), RMF - maseni udeo rizoma (%), KMF - maseni udeo korena (%).



Grafikon 17. Efekti tretmana na maseni udeo lista, stabla, rizoma i korena kane 21. dana eksperimenta. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svakog tretmana srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. LMF - maseni udeo lista (%), SMF - maseni udeo stabla (%), RMF - maseni udeo rizoma (%), KMF - maseni udeo korena (%).

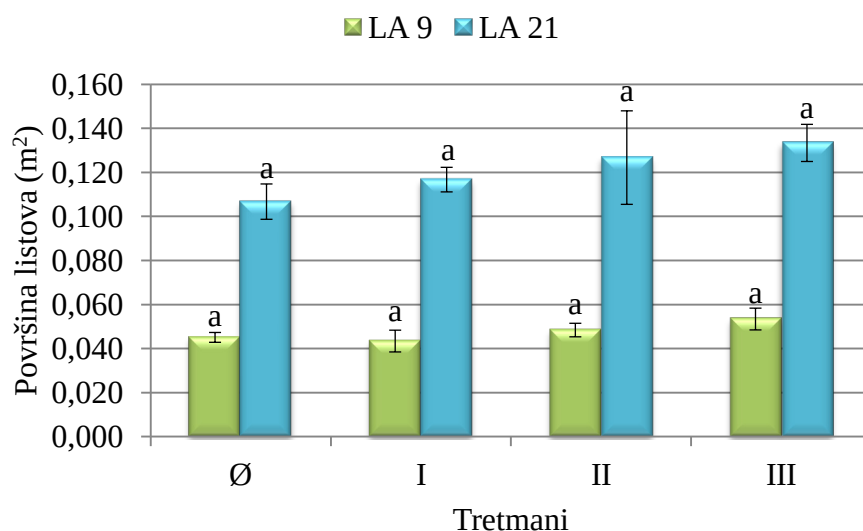
6.1.5.4 Asimilacioni organi

Rezultati dobijeni analizom broja listova kane (Grafikon 18.) su pokazali da različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru nisu imale značajan uticaj ($p>0,05$) na ovaj parametar rasta 9. dana eksperimenta. Do 21. dana broj listova na biljkama se povećao i pojavile su se značajne razlike u broju listova ($p<0,05$) u tretmanu III u odnosu na tretman II i kontrolu.



Grafikon 18. Efekti tretmana na broj listova kane. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svake serije srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p<0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. BrL - broj listova, 9. i 21. dana eksperimenta.

Rezultati dobijeni analizom površine listova (LA) kane (Grafikon 19.) su pokazali da različite koncentracije Pb u medijumu za gajenje nisu imale značajan uticaj ($p>0,05$) na ovaj parametar rasta ni 9. ni 21. dana eksperimenta. Kod biljaka u tretmanu III 9. i 21. dana vrednost AL je bila neznatno, ali ne i značajno viša ($p>0,05$) u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu.

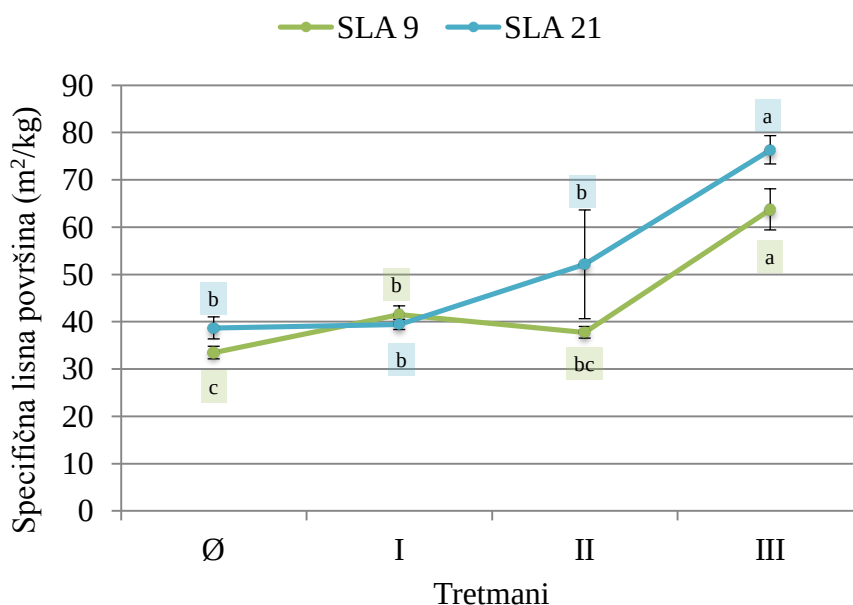


Grafikon 19. Efekti tretmana na površinu listova kane. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svake serije srednje vrednosti sa istim slovom se značajno ne razlikuju, $p > 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. LA - površina listova, 9. i 21. dana eksperimenta.

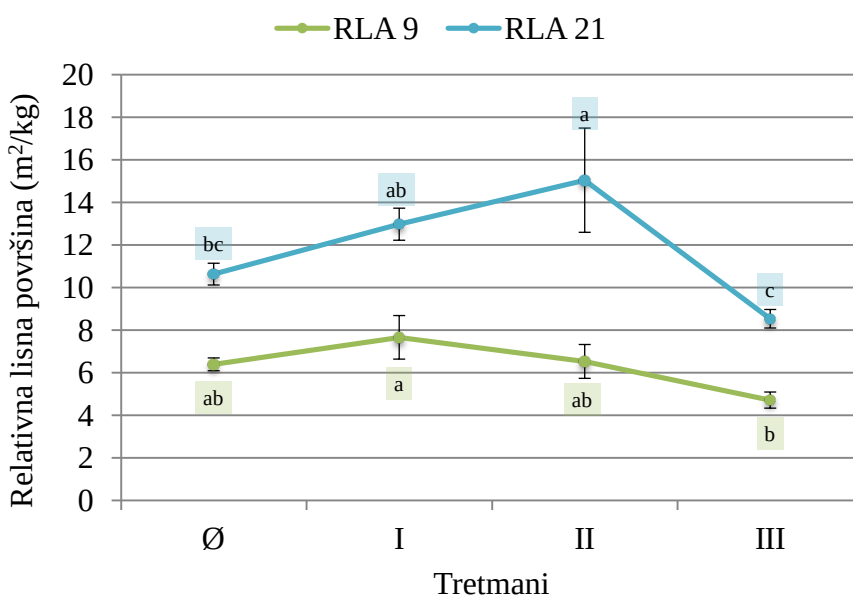
Rezultati dobijeni analizom specifične površine listova (SLA) kane (Grafikon 20.) su pokazali da su različite koncentracije Pb u hranljivom rastvoru imale uticaj na značajno povećanje vrednosti SLA ($p < 0,05$) u tretmanu III u odnosu na druga dva tretmana i kontrolu, 9. i 21. dana. Značajno niža vrednost SLA ($p < 0,05$) je konstatovana u kontroli u odnosu na tretmane I i III 9. dana uzorkovanja. Nisu postojale značajne razlike u specifičnoj lisnoj površini ($p > 0,05$) kod biljaka u tretmanima I i II i kontroli 21. dana eksperimenta.

Rezultati dobijeni analizom relativne površine listova (RLA) kane (Grafikon 21.) su pokazali da su različite koncentracije Pb u medijumu za gajenje imale uticaj na značajno smanjenje vrednosti RLA ($p < 0,05$) u tretmanu III u odnosu na tretman I 9. dana i tretmane I i II 21. dana eksperimenta. Značajno više vrednosti RLA ($p < 0,05$) su konstatovane u tretmanu I u odnosu na tretman III 9. dana i u tretmanu II u odnosu na tretman III i kontrolu 21. dana uzorkovanja.

Rezultati dobijeni analizom masenog udela lista (LMF, %) su prikazani u tački 6.1.5.3.



Grafikon 20. Efekti tretmana na specifičnu lisnu površinu kane. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svake serije srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. SLA - specifična lisna površina (m²/kg), 9. i 21. dana eksperimenta.



Grafikon 21. Efekti tretmana na relativnu lisnu površinu kane. Svaka vrednost predstavlja srednju vrednost $\pm$ SE za šest ponavljanja. U okviru svake serije srednje vrednosti sa različitim slovom se značajno razlikuju, $p < 0,05$. Sadržaj Pb u tretmanima: kontrola (Ø) 0 mg/L, tretman I 10 mg/L, tretman II 21 mg/L i tretman III 41 mg/L. RLA - relativna lisna površina (m²/kg), 9. i 21. dana eksperimenta.

6.1.6 Verodostojnost postavljenih hipoteza vezanih za biljku *Canna indica* L. gajenu u laboratorijskim uslovima

Na osnovu odabranog predmeta i ciljeva ovih istraživanja definisano je nekoliko polaznih hipoteza (H1, H2, H3 i H5) vezanih za biljku *Canna indica* L. kada je ona ispitivana u eksperimentu u laboratorijskim uslovima. Dobijeni i analizirani rezultati istraživanja nedvosmisleno potvrđuju verodostojnost postavljenih hipoteza.

Biljka koja je pogodna za rizofiltraciju mora da toleriše visoke koncentracije ciljanog teškog metala, da usvaja ciljani metal u velikim količinama, da brzo raste i da pri tome stvara veliku količinu biomase i da limitira transport usvojenog teškog metala iz korena u svoje nadzemne delove (Dushenkov i Kapulnik, 2000; Blaylock *et al.*, 1997; Cunningham i Ow, 1996). Pored toga, odgovarajuća biljka mora da bude tolerantna i na loše uslove sredine, da stvara gust i robusan korenov sistem, da se lako proizvodi i gaji, da je otporna na štetočine i bolesti i da stvara malu količinu sekundarnog otpada koji zahteva odlaganje (Dushenkov *et al.*, 1995).

Rezultati istraživanja su pokazali da je biljka *C. indica* regulisala usvajanje olova (Pb) tako da je koncentracija ciljanog metala u biljnom tkivu odražavala njegove koncentracije u medijumu za gajenje. Sadržaj Pb u biljkama se takođe povećavao sa povećanjem vremena izloženosti biljaka ispitivanom teškom metalu. Ove tvrdnje su u saglasnosti sa rezultatima istraživanja Bose *et al.* (2008) i De Jesus i Yllano (2005).

Najviša koncentracija Pb u nadzemnoj biomasi (26,39 mg/kg) je zabeležena u tretmanu sa najvišim sadržajem Pb, 21. dana eksperimenta. Doprinos lista i stabla u ukupnom sadržaju Pb u nadzemnom delu biljke je bio gotovo jednak. Subhashini i Swamy (2004) su u svojim eksperimentima dobili vrlo slične koncentracije Pb u nadzemnoj biomasi kane, koja je usvojila 24,68 mgPb/kg suve mase. Nešto niže koncentracije Pb u listu kane su prijavili Li *et al.* (2009). Dobijeni rezultati su u skladu i sa koncentracijama Pb u nadzemnom delu nekoliko akvatičnih biljaka (*Cyperus alternifolius* L., *Marsilea drummondii* A.Braun, *Myriophyllum brasiliense* Camb.), kod kojih se sadržaj Pb kretao u granicama 30-45 mg/kg (Qian *et al.*, 1999). Međutim, Huang i Cunningham (1996) su pokazali da koncentracija usvojenog Pb u nadzemnom delu biljka može da bude i značajno veća. Isti autori naglašavaju da je biljka *Zea mays* L. (kukuruz) u toku istraživanja usvojila 375 mgPb/kg suve mase nadzemnog dela, a

Brassica juncea Czern. (indijska slačica) 65 mg/kg. Kultivar indijske slačice (*B. juncea* cv. 184290) je postigao slične vrednosti kao biljka *C. indica* u ovom istraživanju, pri čemu je sadržaj Pb u nadzemnoj biomasi iznosio 32 mg/kg (Huang i Cunningham, 1996).

Akumulacija Pb u podzemnoj biomasi kane je bila i do 90 puta veća u odnosu na akumulaciju Pb u nadzemnoj biomasi. Identičan trend je primećen kod kane u drugim eksperimentima (Li *et al.*, 2009; Bose *et al.*, 2008), kao i kod biljaka *Z. mays* (De Jesus i Yllano, 2005) i *B. juncea* (Huang i Cunningham, 1996). Najviša koncentracija Pb od 2807,85 mg/kg je zabeležena u podzemnoj biomasi biljaka gajenih u tretmanu sa najvišom koncentracijom Pb, 21. dana eksperimenta. Koren je usvojio mnogo više Pb (2480,07 mg/kg) u odnosu na rizom (327,77 mg/kg). Dobijeni rezultati mogu da se uporede sa sadržajem Pb u podzemnoj biomasi kukuruza, koja je iznosila 2930,00 mgPb/kg (De Jesus i Yllano, 2005). Međutim, biljka *C. indica* je u ovim istraživanjima usvojila značajno više Pb u odnosu na istu biljku u istraživanjima Subhashini i Swamy (2004), gde je maksimalna koncentracija Pb u podzemnoj biomasi iznosila 19,51 mgPb/kg suve mase. Veću efikasnost kana je ostvarila i u odnosu na akvatične biljke kao što su *Polygonum hydropiperoides* Michx. sa usvojenih 1882,00 mgPb/kg suve podzemne biomase, kao i *C. alternifolius*, *M. drummondii*, *M. brasiliense* sa akumulacijom od 1000,00 - 1200,00 mgPb/kg (Qian *et al.*, 1999). Dushenkov *et al.* (1995) su u svojim istraživanjima pokazali da je indijska slačica jedan od najefikasnijih akumulatora Pb sa koncentracijom Pb u korenu od 136000 mgPb/kg. Nešto niži sadržaj Pb u korenu iste biljke prijavili su i Huang i Cunningham (1996), ali su čak i one bile mnogo veće u odnosu na kanu u ovim istraživanjima.

Nasuprot najvećoj koncentraciji Pb, koja je zabeležena u tretmanu sa najvećim sadržajem Pb, najveća vrednost biokoncentracionog faktora (BCF) podzemne biomase (81,16) je konstatovana kod biljaka gajenih u medijumu sa najmanje dodatog Pb. Isti trend su primetili Wang *et al.* (2002) u eksperimentu sa različitim akvatičnim biljkama. Subhashini i Swamy (2004) su u svojim eksperimentima konstatovali značajno nižu vrednost BCF kod kane, kada je na nivou cele biljke BCF iznosio ne više od 3,64. Međutim, dobijena vrednost BCF je bila značajno niža u poređenju sa istim vrednostima kod biljaka *Z. mays* (550,00), *B. juncea* (2311,77) i *B. juncea* cv. 184290 (1269,30) (Huang i Cunningham, 1996).

Vrednost BCF nadzemne biomase je bila mnogo niža u poređenju sa BCF podzemne biomase. Ovo dodatno potvrđuje konstatovanu činjenicu da je biljka *C. indica* usvajala mnogo više Pb iz medijuma za gajenje i skladištila ga u korenu, nego što ga je transportovala u rizome, stablo i listove. Najviša vrednost BCF nadzemne biomase je zabeležena kod biljaka iz tretmana sa srednjim sadržajem Pb i iznosila je 1,02. Ova vrednost je kao i u slučaju BCF podzemne biomase bila značajno niža u poređenju sa istim vrednostima BCF kod kukuruza (84,95), indijske slačice (15,68) i njenog kultivara (7,72) (Huang i Cunningham, 1996).

Rezultati istraživanja su pokazali da različite koncentracije Pb u medijumu za gajenje kako i dužina perioda izlaganja biljaka Pb, nisu značajno uticale na vrednost faktora translokacije (TF). Translokacija Pb iz korena u nadzemnu biomasu je bila ograničena tako da je vrednost TF bila izuzetno niska (0,01) u svim tretmanima, tokom oba perioda uzorkovanja, izuzev u tretmanu sa najnižim sadržajem Pb 9. dana uzorkovanja gde je TF dostigao vrednost od 0,02. Niske vrednosti TF su konstatovane kod kane (0,5) i kada je ona gajena u zemljištu sa različitim koncentracijama polutanata (Bose *et al.*, 2008), biljke *Brassica napus* L. (0,01) gajene u zemljištima kontaminiranim sa više različitih teškim metala (Marchiol *et al.*, 2004), kao i kod biljaka *Z. mays* (0,16), *B. juncea* (0,01) i *B. juncea* cv. 184290 (0,01) koje su rasle u hranljivom rastvoru sa 20 μ M Pb (Huang i Cunningham, 1996). Kada biljke usvoje Pb iz medijuma za gajenje, ono pretežno odlazi u apoplast korena i nakuplja se u blizini endodermisa, pri čemu stvara agregate različitih veličina (Sharma i Dubey, 2002). Vrlo je verovatno da je transport Pb iz korena u druge vegetativne delove upravo limitiran endodermisom korena, koji se ponaša kao barijera koja onemogućava prolazak Pb u centralni cilindar korena. Seregin *et al.* (2004) ističu da pri letalnim koncentracijama Pb za biljku dolazi do oštećenja plazmaleme, pri čemu se narušava njena funkcija barijere i veće količine Pb mogu da pređu u simplast. Usvojeni metal se zatim kreće naviše kroz sprovodni sistem i prodire u okolna tkiva. Na osnovu iznesenog, moguće je pretpostaviti da koncentracije Pb u medijumu za gajenje nisu bile dovoljno visoke da bi predstavljale letalne doze za biljke. Shodno tome, sadržaj Pb u nadzemnoj biomasu je bio značajno niži u odnosu na sadržaj u podzemnoj biomasu, a vrednost TF je bila vrlo niska.

Na osnovu rezultata ovih istraživanja biljka *C. indica* bi mogla da se klasifikuje kao dobar akumulator u skladu sa svojom sposobnošću da usvaja, akumulira i toleriše

različite koncentracije Pb u svojim tkivima. Ovakve biljke obično usvajaju manje količine teških metala u poređenju sa hiperakumulatorima, ali zato mogu da stvaraju do deset puta veću biomasu, tako da je stvarno akumulirana količina polutanta iz medijuma za gajenje mnogo veća (Zurayk *et al.*, 2002; Ghosh i Singh, 2005b; Arduini *et al.*, 2006). U prilog ovoj činjenici idu i rezultati dobijeni analizom stepena ukupne akumulacije (TAR) Pb u biljkama. Najveće vrednosti TAR su zabeležene kod biljaka gajenih u medijumu sa najviše dodatog Pb. Trend povećanja vrednosti TAR sa povećanjem dostupnih teških metala u medijumu za gajenje je konstatovan i u drugim eksperimentima (Zhu *et al.*, 1999; Zurayk *et al.*, 2002). Qian *et al.* (1999) u svojim istraživanjima navode da je biljka koja je ostvarila najveću biomasu i pri tome akumulirala najveću količinu ciljanog teškog metala imala i najveću vrednost TAR. Rezultati dobijeni za kanu u ovom istraživanju potvrđuju navode ovih autora. Biljke, koje su rasle u medijumu sa najvišom koncentracijom Pb su ostvarile značajno veću biomasu i usvojile su značajno više Pb u svom korenu u odnosu na biljke iz druga dva tretmana i kontrole, što je na kraju dovelo do toga da je i količina akumuliranog Pb po jedinici suve mase biljke po danu najveća upravo u ovim biljkama. Dobijeni rezultati potvrđuju i činjenicu da su terestrične biljke mnogo pogodnije za rizofiltraciju nego hiperakumulatori ili akvatične biljke. Akvatične makrofite imaju ograničeni potencijal za rizofiltraciju, jer nisu dovoljno efikasne u uklanjanju metala zbog relativno malog korena, njegovog sporog rasta i velikog sadržaja vode koji komplikuje njihovo sušenje, kompostiranje ili spaljivanje (Dushenkov *et al.*, 1995). Rezultati prethodnih istraživanja (Cule *et al.*, 2011) su pokazali da kana može da stvara značajnu količinu nadzemne i podzemne biomase kada se gaji duži vremenski period u vodi bez dodavanja hranljivih materija. Takođe, u ovim i prethodnim istraživanjima biljke su razvile vrlo gust, jak i vlaknast korenov sistem sa velikom površinom za sorpciju teških metala. Ovi rezultati dodatno potvrđuju pretpostavku da je kana tolerantna na siromašne uslove sredine.

Prema Burton *et al.* (1984) vizualni nespecifični simptomi fitotoksičnosti Pb su usporen rast biljaka, brza inhibicija rasta korena i hloroza listova. Ovi simptomi nisu primećeni tokom eksperimenta ni na jednoj biljci, bez obzira da li je ona gajena u tretmanu ili kontroli. Iako ovo nisu bili očekivani rezultati, oni mogu da budu prvi korak u zaključivanju da postoji velika mogućnost da je kana biljka koja je tolerantna na visoke koncentracije Pb u medijumu za gajenje. Dobijeni rezultati potvrđuju tvrdnje

Zurayk *et al.* (2002), koji su pretpostavili da je mogućnost tolerisanja visokih koncentracija ciljanog teškog metala u vezi sa sposobnošću biljke da povećava njegovo usvajanje u svoja tkiva, sa povećanjem dostupnog sadržaja metala u medijumu za gajenje i restrikcijom njegove translokacije iz korena u nadzemne delove.

Različite koncentracije Pb u kontroli i tretmanima sa najnižom i srednjom koncentracijom Pb nisu značajno uticale na svežu i suhu biomasu nadzemnih i podzemnih delova biljke *C. indica*. Značajno povećanje biomase je konstatovano samo kod biljaka koje su gajene u tretmanu sa najvećom koncentracijom Pb. Ova činjenica može da potvrdi postavljenu hipotezu da kana dobro raste u zagađenim vodama i pri tome stvara značajnu biomasu (H5). Međutim, dobijeni rezultati se razlikuju od rezultata više objavljenih studija (Wang *et al.*, 2002; Mishra i Choudhuri, 1998; Breckle, 1991; Obroucheva *et al.*, 1998; Yang *et al.*, 2000). U literaturi je pronađeno malo podataka o povećanju biomase pod uticajem povećane koncentracije olova.

Iako Pb nije esencijalni element ni za jednu biljku, on može da ima stimulativni efekat na biljke koje su gajene u medijumu sa niskim koncentracijama Pb (Kabata-Pendias, 2011). Promene u aktivnosti enzima, mineralne ishrane, hormonskog statusa ili propustljivosti membrane mogu da utiču na promenu mase biljaka izloženih uticaju visokih koncentracija Pb (Sharma i Dubey, 2002; Dolgen *et al.*, 2004). Međutim, teško je zaključiti koje koncentracije Pb mogu da se okarakterišu kao toksične koncentracije za vitalne procese biljaka zbog interakcija Pb sa drugim elementima i različitim ekološkim faktorima (Kabata-Pendias, 2011). Rezultati istraživanja su pokazali da je visoka koncentracija Pb u tretmanu III uticala na smanjeno usvajanje pojedinih mikro- i makro-nutrijenata iz medijuma za gajenje u odnosu na biljke u kontroli. Značajno niže koncentracije Cu, K, Mo, P, S, Zn i N u pojedinačnim vegetativnim delovima kane su uočene u tretmanu sa najvećom koncentracijom Pb u odnosu na kontrolu. Jedino su koncentracije Mn u listu biljaka gajenih u tretmanu III bile značajno više u odnosu na iste vrednosti u kontroli. Značajne razlike nisu uočene za elemente kao što su B, Ca, Fe i Mg. Međutim, iako u smanjenim koncentracijama, ovi elementi se u biljkama nisu nalazili u deficitu, već su se kretali u granicama normalnih (dovoljnih) ili visokih koncentracija (Kabata-Pendias, 2011; Barker i Pilbeam, 2006; Adriano, 1986). Na osnovu dobijenih rezultata može da se pretpostavi da promene u usvajanju različitih mikro- i makro-nutrijenata iz hranljivog rastvora pod uticajem visoke koncentracije Pb

nisu uticale na inhibiciju biomase. Rezultati dobijeni analizom uticaja različitih koncentracija Pb i vremena uzorkovanja na odnos biomase nadzemnog dela biljke i rizoma i biomase korena (S/R) potvrđuju ova zapažanja. Naime, kada se nutrijenti nalaze u deficitu ili manjim koncentracijama biljke rastu sporo i pri tome povećavaju alokaciju biomase u korenu (Poorter i Nagel, 2000). Alokacija biomase je u ovim istraživanjima bila manja u korenu u odnosu na alokaciju biomase u nadzemnom delu i rizomu, a različite koncentracije Pb i dužina izlaganja biljaka olovu nisu značajno uticale na promenu ovog odnosa.

Posmatrajući rezultate dobijene analizom uticaja tretmana i vremena uzorkovanja na inhibiciju rasta (Ir) kane i alokaciju resursa u ovoj biljci u svim tretmanima i kontroli može da se primeti da je Pb imalo i stimulativni i inhibitorni efekat na promenu biomase. Niske koncentracije Pb su 9. dana eksperimenta imale inhibitorno dejstvo na rast kane, dok su srednje i visoke koncentracije Pb delovale stimulativno. Do 21. dana uzorkovanja inhibitorni efekat je postao jači pri srednjim koncentracijama Pb, dok su visoke koncentracije još uvek imale stimulativno delovanje. Inhibitorno dejstvo visokih koncentracija Pb na alokaciju resursa je konstatovano samo kod lista, gde je vrednost masenog udela lista (LMF) bila značajno niža u odnosu na iste vrednosti kod biljaka u kontroli i tretmanima sa niskim i srednjim sadržajem Pb. Visoke koncentracije Pb su delovale na povećanje alokacije resursa u stablu (SMF) i rizomu (RMF). Maseni udeo koren (KMF) je bio značajno veći pri srednjim koncentracijama Pb u odnosu na iste vrednosti u tretmanu sa visokim sadržajem olova 9. dana uzorkovanja. Do 21. dana eksperimenta ove razlike su nestale odnosno različite koncentracije Pb nisu značajno uticale na promenu vrednosti KMF u tretmanima i kontroli. Rezultati analize različitih parametara rasta vezanih za asimilacione organe su pokazali da različite koncentracije Pb nisu značajno uticale na površinu listova (LA) u tretmanima i kontroli, dok su imale značajan uticaj na specifičnu lisnu površinu (SLA) i relativnu lisnu površinu (RLA). Visoke koncentracije Pb su uticale na značajno veće vrednosti SLA u odnosu na iste vrednosti kod biljaka u drugim tretmanima i kontroli. Suprotan trend je konstatovan kod promene RLA, gde su visoke koncentracije Pb uslovile značajno niže vrednosti RLA u odnosu na srednje i niske koncentracije Pb.

Nasuprot istraživačima koji pretpostavljaju da postoji stimulativno dejstvo Pb na promenu biomase gajenih biljaka (Kabata-Pendias, 2011), drugi autor navode da za

povećanje biomase nije odgovoran stimulativni efekat samog Pb, već nekih drugih supstanci, koje mogu da utiču na rast biljaka. Bose *et al.* (2008) u svojim istraživanjima navode da je kana povećala biomasu u tretmanu koji je sadržao 134,57 mg/kg Pb u odnosu na biljke u kontroli. Do redukcije biomase je došlo u tretmanima sa većom koncentracijom Pb, ali su simptomi toksičnosti izostali (Bose *et al.*, 2008). Li *et al.* (2009) su pokazali da se podzemna i nadzemna biomasa kane povećavala sa povećanjem koncentracije Pb u medijumu za gajenje. Autori pretpostavljaju da je do povećanja biomase korena i lista došlo zbog povećanog sadržaja fosfora (P) i azota (N) u zemljištu. Do sličnih zaključaka su došli i De Jesus i Yllano (2005), koji su ukazali na značajno povećanje biomase kukuruza (*Zea mays* L.) u tretmanu sa najvećom koncentracijom Pb (5000 mgPb/kg, Pb je dodato kao $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ u hranljivi rastvor). Povećanje suve biomase podzemnog i nadzemnog dela je usledilo kao odgovor biljke na povećan sadržaj N u medijumu za gajenje. Rezultati istraživanja Wierzbicka (1998) su pokazali da je do povećanja suve mase biljke *Z. mays* došlo usled povećane sinteze polisaharida u ćelijskim zidovima zbog izlaganja biljaka Pb.

Bez obzira koji je mehanizam bio zaslužan za stimulaciju rasta kane u hranljivom medijumu sa dodatim Pb, rezultati su pokazali da je *C. indica* biljka koja može da toleriše prisustvo visokih koncentracija Pb, s obzirom da je značajno veću biomasu ostvarila u tretmanu sa najvećom koncentracijom Pb u odnosu na kontrolu.

Imajući u vidu na početku iznesene poželjne osobine biljaka pogodnih za rizofiltraciju, rezultati ovog istraživanja sugerišu da je biljka *C. indica* vrlo dobar kandidat za biološko prečišćavanje voda zagađenih Pb. Odabrana biljka je bila tolerantna na visoke koncentracije Pb u medijumu za gajenje, tako da njen rast nije bio ugrožen. Na osnovu ove činjenice i prethodnih istraživanja (Cule *et al.*, 2011) može da se zaključi da biljka *C. indica* može da raste brzo i da pri tome stvara veliku količinu biomase i gust korenov sistem kao u nezagađenoj tako i u vodi opterećenoj olovom. Biljka je bila u mogućnosti da usvaja značajne količine Pb pri različitim koncentracijama ciljanog teškog metala u medijumu za gajenje. Iako usvajanje Pb nije bilo veliko u poređenju sa biljkom *B. juncea*, efikasnost kane je bila generalno bolja u odnosu na biljke koje se najčešće koriste u fitoremedijaciji Pb (Kamal *et al.*, 2004; De Jesus i Yllano, 2005; Mellem *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2002; Qian *et al.*, 1999; Huang i Cunningham, 1996). Biljka *C. indica* je bila u mogućnosti da limitira translokaciju Pb iz

korena u nadzemne delove. Zahvaljujući ovom mehanizmu sprečava se ulazak Pb u lanac ishrane, njegova biomagnifikacija u životnoj sredini i smanjuje se količina sekundarnog otpada na kraju rizofiltracionog procesa. Kana je dekorativna biljka koja je široko rasprostranjena u urbanim sredinama i različitim klimatskim zonama, tako da je dobro prilagođena na različite ekološke uslove sredine. Zasnivanje kane iz rizoma i njeno gajenje je tokom eksperimenta bilo vrlo jednostavno. I na kraju, rezultati ovih istraživanja potvrđuju dosadašnje stavove da su terestrične biljke pogodnije za rizofiltraciju u odnosu na akvatične biljke i da biljka *C. indica* može da se koristi sa velikim uspehom u rizofiltracionim sistemima ili plutajućim ostrvima za tretman voda zagađenih olovom.

6.2. Istraživanje fitoremedijacionog potencijala biljke *Canna indica* L. i odabranih dekorativnih makrofita u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda

Kako bi se odredio fitoremedijacioni potencijal biljke *Canna indica* L. i odabranih dekorativnih makrofita analizirani su rezultati dobijeni određivanjem fizičko-hemijskih i mikrobioloških osobina zagađene i prečišćene vode, koncentracije polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi, koncentracije polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u biljnim tkivima i supstratu kao i ispitivanjem fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze i procenom dobijene biomase biljaka.

6.2.1 Ispitivanje fizičko-hemijskih i mikrobioloških karakteristika zagađene i prečišćene vode

6.2.1.1 Fizičko-hemijske karakteristike zagađene i prečišćene vode

Rezultati dobijeni analizom fizičko - hemijskih karakteristika zagađene i prečišćene vode u sva tri eksperimenta su prikazani u tabelama 21. i 22.

U toku prvog eksperimenta pH vrednost uliva (Tabela 21.) se kretala između 8,29 i 8,46, što je zagađenoj vodi davalo karakteristike slabo bazne sredine. U svakom od tri ciklusa posle prvih šest dana tretmana došlo je do smanjenja pH vrednosti u svakom bazenu, tako da se ona nalazila u granicama između 7,37 - 7,91. Na kraju tretmana (posle 12 dana) pH vrednost se ponovo povećala i iznosila je 7,79 - 8,43. Isti trend promene pH vrednosti je zabeležen i u jedinom ciklusu trećeg eksperimenta.

U toku prvog eksperimenta u ulivu vrednost elektroprovodljivosti vode (EC) je varirala od 847,00 do 894,00 $\mu\text{S/cm}$ (Tabela 21.). Sa povećanjem temperature u momentu uzorkovanja, posle prvih šest dana tretmana došlo je i do povećanja EC vrednosti u većini bazena, tako da se ona kretala u granicama od 849,80 do 936,40 $\mu\text{S/cm}$. Nešto niže vrednosti EC u odnosu na uliv su konstatovane pri nižim temperaturama u trenutku uzorkovanja. Vrednost EC je tada iznosila 829,40 - 893,20 $\mu\text{S/cm}$. Na kraju sva tri ciklusa vrednost EC je bila smanjena bez obzira na temperaturu u trenutku uzorkovanja vode i kretala se u granicama između 657, 80 i 809,40 $\mu\text{S/cm}$. Isti trend promene EC vrednosti je zabeležen i u trećem eksperimentu.

Koncentracija rastvorenog kiseonika (DO) u ulivu se kretala od 6,11 do 6,69 mg/L u toku prvog eksperimenta (Tabela 21.). Posle šest dana tretmana u bazenima sa biljkama vrednost DO se značajno smanjila i iznosila je 0,03 - 0,23 mg/L. Do kraja svakog ciklusa vrednost DO se ponovo povećala i kretala se u granicama od 5,87 do 11,96 mg/L. Isti trend promene DO vrednosti je zabeležen i u trećem eksperimentu, gde je na kraju tretmana zabeležena vrednost DO od 18,77 mg/L.

Tabela 21. Osnovne fizičko-hemijske karakteristike zagađene i prečišćene vode u prvom i trećem eksperimentu

Ciklus	Parametar	Mesto uzorkovanja					
		Sabirni tank	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Bazen V
C1	pH	8,46	7,61	7,85	7,52	7,57	7,79
	t	24,00	27,92	26,78	27,94	28,26	19,24
	Ec	890,40	896,40	904,20	884,60	936,40	809,40
	DO	6,69	0,03	0,06	0,04	0,04	5,87
	SO	79,70	0,28	0,74	0,50	0,42	63,90
C2	pH	8,38	7,52	7,81	7,37	7,55	8,43
	t	22,50	22,64	22,12	22,50	23,08	15,50
	Ec	894,00	893,20	896,00	888,20	915,20	766,00
	DO	6,11	0,19	0,18	0,15	0,14	8,81
	SO	71,40	2,24	2,04	1,66	1,64	88,92
C3	pH	8,29	7,68	7,91	7,42	7,50	8,14
	t	18,00	16,56	15,98	16,18	16,48	22,52
	Ec	847,00	849,80	829,40	831,00	861,00	657,80
	DO	6,44	0,20	0,20	0,17	0,23	11,96
	SO	67,80	2,04	2,02	1,74	2,26	139,98
C4	pH	7,66	7,33	7,29	7,37	7,33	8,15
	t	14,50	12,80	12,10	12,40	12,10	14,00
	Ec	829,00	803,00	803,00	788,00	806,00	668,00
	DO	6,98	0,40	0,63	1,33	1,43	18,77
	SO	68,50	3,80	5,90	12,60	13,60	18,34

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u bazenu. Ciklusi: C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta, C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta, C3 - treći ciklus prvog eksperimenta, C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta. pH - pH vrednost, t - temperatura vode (°C), Ec - elektroprovodljivost (μS/cm), DO - koncentracija rastvorenog kiseonika (mg/L), SO - stepen zasićenosti kiseonikom (%). Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Bazen V - alge (*Cladophora* sp.).

Rezultati dobijeni analizom fizičko - hemijskih karakteristika zagađene i prečišćene vode u drugom eksperimentu (Tabela 22.) su pokazali neznatno povećanje pH vrednosti na kraju tretmana u svim bazenima osim u drugom bazenu. Tokom eksperimenta temperatura vode se kretala od 14,60 do 16,60 °C (Tabela 22.). Konstatovano je malo variranje EC vrednosti na kraju ciklusa u odnosu na početak, tako da je u prvom bazenu

ona ostala ista dok se u preostala tri bazena smanjila (Tabela 22.). Vrednost DO je takođe na kraju svakog ciklusa bila manja u odnosu na početak (Tabela 22.).

Tabela 22. Osnovne fizičko-hemijske karakteristike zagađene i prečišćene vode u drugom eksperimentu

Parametar	Mesto uzorkovanja							
	Bazen I		Bazen II		Bazen III		Bazen IV	
	Cp	Ck	Cp	Ck	Cp	Ck	Cp	Ck
pH	8,02	8,17	8,35	8,26	8,25	8,46	8,21	8,28
t	15,08	16,50	15,90	16,60	14,60	16,00	15,30	16,20
Ec	864,00	864,00	838,00	836,00	811,00	803,00	822,00	817,00
DO	6,57	4,38	6,29	4,33	6,03	4,46	5,97	4,37
SO	65,90	44,70	63,30	44,20	59,80	44,90	59,60	44,40

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u bazenu. Ciklusi: C_p - početak ciklusa, C_k - kraj ciklusa. pH - pH vrednost, t - temperatura vode (°C), Ec - elektroprovodljivost (μS/cm), DO - koncentracija rastvorenog kiseonika (mg/L), SO - stepen zasićenosti kiseonikom (%). Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago* - *aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L.

Rezultati analize efikasnosti uklanjanja organskih materija u biološkom sistemu (Tabela 24.) u trećem eksperimentu su pokazali da je vrednost biološke potrošnje kiseonika (BPK₅) do kraja tretmana (izliv petog bazena) smanjena za 25 %, a vrednost hemijske potrošnje kiseonika (HPK) za 56%. U bazenima sa biljkama su zabeležene izuzetno niske vrednosti BPK₅ (0,50 - 0,90 mg/L) u odnosu na vrednost BPK₅ u ulivu (5,70 mg/L) (Tabela 23.). Najveća efikasnost uklanjanja BPK₅ (91%) se javila u drugom bazenu gde je bila posađena kana (Tabela 24.). Do porasta vrednosti BPK₅ je ponovo došlo u petom bazenu sa algama (Tabela 23.). Početna vrednost HPK u ulivu (10,00 mg/L) je u bazenima sa biljkama smanjena na 3,50 do 4,30 mg/L (Tabela 23.), a najveća efikasnost uklanjanja je zabeležena u prvom bazenu gde je bila posađena trska (Tabela 24.).

Niske koncentracije ukupnih fosfata (P) od 0,31 mg/L su detektovane u ulivu (Tabela 23.). U okviru bazena sa biljkama ove koncentracije su se povećale i kretale su se od 0,48 do 1,22 mg/L (Tabela 23.). Međutim, do kraja eksperimenta efikasnost uklanjanja ukupnih fosfata je iznosila 87% (Tabela 24.).

Početna koncentracija amonijaka (NH₄ - N) u zagađenoj vodi je nakon završenog ciklusa prečišćavanja sa 3,12 mg/L smanjena na 0,14 mg/L (Tabela 23.) i na taj način je ostvarena efikasnost uklanjanja od 96% (Tabela 24.). Redukcija amonijaka je bila značajna već posle šest dana tretmana u bazenima sa biljkama, pri čemu se

koncentracija kretala u granicama između 0,52 do 1,71 mg/L (Tabela 23.). Najveća efikasnost uklanjanja amonijaka od 83% je postignuta u prvom bazenu gde je bila posađena trska (Tabela 24.).

Tabela 23. Vrednosti biološke i hemijske potrošnje kiseonika, koncentracije ukupnih fosfata, amonijačnog azota, nitrita, nitrata, ukupnog azota i ukupnog organskog ugljenika u trećem eksperimentu

Parametar	Mesto uzorkovanja					
	Sabirni tank	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Bazen V
BPK ₅	5,70	0,80	0,50	0,90	0,70	4,30
HPK	10,00	3,50	4,30	3,90	4,20	4,40
P	0,31	0,48	1,22	0,53	0,49	0,04
NH ₄ - N	3,12	0,52	1,71	0,60	0,68	0,14
NO ₂ - N	0,27	0,23	0,64	0,34	0,54	0,01
NO ₃ - N	3,60	0,77	1,60	1,35	1,20	<0,2
N	7,00	1,63	5,49	2,54	2,30	<1
TOC	4,97	3,97	4,05	4,06	4,19	3,49

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u bazenu. BPK₅ - biološka potrošnje kiseonika (mg/L), HPK - hemijska potrošnje kiseonika (mg/L), P - koncentracija ukupnih fosfata (mg/L), NH₄ - N - koncentracija amonijaka (mg/L), NO₂ - N - koncentracija nitrita (mg/L), NO₃ - N - koncentracija nitrata (mg/L), N - koncentracija ukupnog azota (mg/L), TOC - koncentracija ukupnog organskog ugljenika (mg/L). Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago* - *aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Bazen V - alge (*Cladophora* sp.).

Tabela 24. Efikasnost uklanjanja biološke i hemijske potrošnje kiseonika, koncentracije ukupnih fosfata, amonijačnog azota, nitrita, nitrata, ukupnog azota i ukupnog organskog ugljenika u bazenima sa biljkama i na kraju biološkog sistema u trećem eksperimentu (%)

Parametar	Mesto uzorkovanja				
	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Izliv biološkog sistema
BPK ₅	86	91	84	88	25
HPK	65	57	61	58	56
P	-55	-294	-71	-58	87
NH ₄ - N	83	45	81	78	96
NO ₂ - N	15	-137	-26	-100	97
NO ₃ - N	79	56	63	67	>94
N	77	22	64	67	>86
TOC	20	19	18	16	30

BPK₅ - biološka potrošnje kiseonika, HPK - hemijska potrošnje kiseonika, P - ukupni fosfati, NH₄ - N - amonijak, NO₂ - N - nitriti, NO₃ - N - nitrati, N - ukupan azot, TOC - ukupan organski ugljenik. Mesto uzorkovanje: Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago* - *aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Izliv biološkog sistema - izliv bazena V.

Efikasnost uklanjanja nitrita (NO₂ - N) i nitrata (NO₃ - N) je takođe bila visoka, posmatrajući ceo ciklus prečišćavanja, pri čemu su NO₂ - N uklonjeni sa efikasnošću od

97 %, a koncentracije $\text{NO}_3 - \text{N}$ je smanjena za više od 94 % (Tabela 24.). Koncentracije $\text{NO}_2 - \text{N}$ se posle šest dana tretmana smanjila u prvom bazenu (15%) u odnosu na vrednost uliva (Tabela 24.), dok se u drugim bazenima povećala (Tabela 23.). Redukcija $\text{NO}_3 - \text{N}$ je bila značajna u bazenima sa biljkama i kretala se od 56% do 79%, a maksimalna efikasnost uklanjanja je postignuta u prvom bazenu sa trskom u odnosu na druge bazene (Tabela 24.).

Koncentracije ukupnog azota (N) su u ulivu bile 7,00 mg/L (Tabela 23.). Kao i kod nitrata uklanjanje N je bilo značajno i posle šest dana eksperimenta u bazenima sa biljkama, gde su se koncentracije N kretala od 1,63 mg/L do 5,49 mg/L (Tabela 23.). Efikasnost uklanjanja se kretala u širokim granicama i iznosila je 22% do 77%. Najveću efikasnost uklanjanja je imala vrsta *P. australis* u prvom bazenu, a najmanju *C. indica* u drugom bazenu (Tabela 24.). Na kraju eksperimenta i izlaska vode iz biološkog sistema efikasnost uklanjanja N je iznosila više od 86 % (Tabela 24.).

Efikasnost uklanjanja ukupnog organskog ugljenika (TOC) je na kraju tretmana iznosila 30% (Tabela 24.), pri čemu je početna koncentracija u ulivu sa 4,97 mg/L smanjena na 3,49 mg/L (Tabela 23.). Redukcija koncentracije TOC se odvijala i u bazenima sa biljkama (16% - 20%), gde je najveću efikasnost ponovo imala trska posađena u prvom bazenu (Tabela 24.).

6.2.1.2 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi

Rezultati istraživanja koncentracija različitih teških metala i drugih elemenata (Tabele 25.-28.), koji mogu da budu okarakterisani kao makro- i mikro-nutrijenti su pokazali da je od 23 analizirana elementa (Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sr, Zn) u zagađenoj vodi detektovano njih 8. Ni u jednom uzorku zagađene i prečišćene vode nisu pronađeni sledeći elementi: Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se i Zn, odnosno oni su se nalazili ispod limita detekcije instrumenta (Tabela 3.) tako da u tabelama nisu prikazani. Elementi As i Ba su konstatovani samo u uzorcima vode uzetih tokom trećeg eksperimenta.

Koncentracija kalcijum (Ca) u ulivu se kretala od 8,120 do 7,610 mg/L tokom prvog i trećeg eksperimenta (Tabela 25.). Posle prvih šest dana prečišćavanja u uzorcima vode iz svih bazena u prvom i bazena I i IV u drugom ciklusu došlo je do

manjih povećanja koncentracije Ca (Tabela 25.). Efikasnost uklanjanja Ca iz zagađene vode u bazenima II i III se kretala od 1% do 2% (Tabela 26.). U svim bazenima sa biljkama u trećem ciklusu prvog i jedinom ciklusu trećeg eksperimenta konstatovane su manja sniženja koncentracije Ca u prečišćenoj vodi (Tabela 25.). Tokom ova dva ciklusa (C₃ i C₄) efikasnost uklanjanja Ca se kretala od 2% do 6% (Tabela 26.), gde je najveću efikasnost imala kana posađena u drugom bazenu tokom trećeg eksperimenta (C₄). Koncentracije Ca u izlivu biološkog sistema (izliv petog bazena sa algama) su se nalazile u granicama 3,990 do 6,220 mg/L (Tabela 25.). Efikasnost uklanjanja Ca na kraju ciklusa prečišćavanja u biološkom sistemu je bila 23% do 49% (Tabela 26.). Najveća redukcija koncentracije Ca je konstatovana na kraju trećeg ciklusa (C₃).

U ulivu su konstatovane niže koncentracije kalijuma (K) koje su se kretale u granicama između 0,260 i 0,345 mg/L (Tabela 25.). U svim ciklusima u okviru II bazena, na čijim je ostrvima bila posađena kana i u prvom ciklusu u IV bazenu sa dekorativnim makrofitama su konstatovane neznatno veće koncentracije K u prečišćenoj vodi (Tabela 25.). Efikasnost uklanjanja K posle šest dana tretmana se u bazenima sa biljkama kretala u širokim granicama i iznosila je od 5% do 99% (Tabela 26.). Uklanjanje K je bilo najveće u III bazenu gde su bile posađene trska i kana u svim ciklusima, tako da su se koncentracije kretale od vrednosti ispod limita detekcije do 0,177 mg/L (Tabela 25.). Na kraju prvog eksperimenta efikasnost uklanjanja K je iznosila 15% do 28%, dok je na kraju trećeg eksperimenta bila znatno viša i iznosila je 95% (Tabela 26.).

Koncentracija magnezijuma (Mg) se nije bitno menjala u toku tretmana u prvom i trećem eksperimentu u odnosu na početne koncentracije Mg u ulivu, koje su iznosile 1,859 - 2,183 mg/L (Tabela 25.). U toku drugog ciklusa prvog eksperimenta ni u jednom bazenu nije došlo do uklanjanja Mg, već se njegova koncentracija neznatno povećala. Isti trend je zabeležen u prvom bazenu u prvom ciklusu, kao i u četvrtom bazenu u prvom i trećem ciklusu. U bazenima gde je došlo do redukcije Mg u vodi efikasnost uklanjanja je iznosila 1% do 4% (Tabela 26.). Na izlivu biološkog sistema u prvom eksperimentu koncentracije Mg su bile veće od sadržaja Mg u ulivu, pri čemu je najveća zabeležena koncentracija iznosila 2,662 mg/L na kraju prvog ciklusa (Tabela 25.). Na kraju trećeg eksperimenta efikasnost uklanjanja Mg je iznosila 6% (Tabela 26.).

Tabela 25. Koncentracije različitih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi u prvom i trećem eksperimentu (mg/L)

Ciklus	Element	Mesto uzorkovanja					
		Sabirni tank	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Bazen V
C1	Ca	7,921	8,148	8,069	7,958	8,249	6,132
	K	0,342	0,326	0,391	0,177	0,363	0,289
	Mg	2,183	2,214	2,170	2,128	2,333	2,662
	Na	2,755	2,780	2,614	2,692	2,856	2,845
	S	0,210	0,203	0,203	0,205	0,196	0,207
	Sr	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,011
C2	Ca	8,120	8,214	7,977	8,019	8,207	6,220
	K	0,328	0,252	0,344	0,111	0,283	0,236
	Mg	2,057	2,137	2,112	2,101	2,157	2,211
	Na	2,695	2,740	2,720	2,686	2,719	2,521
	S	0,191	0,200	0,197	0,197	0,188	0,180
	Sr	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,011
C3	Ca	7,856	7,601	7,599	7,636	7,712	3,990
	K	0,260	0,208	0,316	0,063	0,234	0,191
	Mg	1,995	1,963	1,958	1,972	1,996	2,035
	Na	2,135	2,295	2,222	2,212	2,213	2,349
	S	0,167	0,176	0,182	0,175	0,179	0,178
	Sr	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,011
C4	As	0,110	nd	nd	0,030	nd	nd
	Ba	0,345	nd	0,320	0,156	nd	nd
	Ca	7,610	7,461	7,180	7,211	7,481	4,990
	K	0,209	0,118	0,226	nd	0,135	0,011
	Mg	1,859	1,840	1,803	1,780	1,827	1,754
	Na	4,428	2,498	4,196	3,314	2,539	2,417
	S	0,176	0,173	0,165	0,165	0,175	0,159
	Sr	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,011

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u bazenu. Ciklusi: C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta, C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta, C3 - treći ciklus prvog eksperimenta, C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta. nd - nije detektovano. Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Bazen V - alge (*Cladophora* sp.).

Slično kako i sa Mg ni koncentracije natrijuma (Na) nisu smanjene na kraju prvog i trećeg ciklusa prvog eksperimenta u odnosu na početne koncentracije Na u ulivu od 2,057 - 2,755 mg/L (Tabela 25.). Posle prvih šest dana tretmana u prvom eksperimentu niže koncentracije Na u odnosu na uliv su se javile samo u bazenima II i III u toku prvog ciklusa uz efikasnost uklanjanja od 2% do 5% (Tabela 26.). Međutim do kraja ovog eksperimenta koncentracije Na su se ponovo povećale u izlivu biološkog sistema (Tabela 25.), osim u drugom ciklusu kada je efikasnost uklanjanja iznosila 6% (Tabela 26.). Nešto viša koncentracija Na je zabeležena u ulivu trećeg eksperimenta i iznosila je

4,428 mg/L (Tabela 25.). U bazenima sa biljkama je došlo do redukcije sadržaja Na u odnosu na uliv tako da je koncentracija Na iznosila 2,498 - 4,196 mg/L (Tabela 25.) uz efikasnost uklanjanja od 5% u drugom bazenu sa kanom do 44% u prvom bazenu sa trskom (Tabela 26.). Na kraju trećeg eksperimenta efikasnost uklanjanja Na je iznosila 45% (Tabela 26.).

Tabela 26. Efikasnost uklanjanja različitih elemenata u bazenima sa biljkama i na kraju biološkog sistema u prvom i trećem eksperimentu (%)

Ciklus	Element	Mesto uzorkovanja				
		Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Izliv biološkog sistema
C1	Ca	-3	-2	0	-4	23
	K	5	-14	48	-6	15
	Mg	-1	1	3	-7	-22
	Na	-1	5	2	-4	-3
	S	3	3	2	7	1
	Sr	0	0	0	-7	21
C2	Ca	-1	2	1	-1	23
	K	23	-5	66	14	28
	Mg	-4	-3	-2	-5	-7
	Na	-2	-1	0	-1	6
	S	-5	-3	-3	2	6
	Sr	0	0	0	-7	21
C3	Ca	3	3	3	2	49
	K	20	-22	76	10	27
	Mg	2	2	1	0	-2
	Na	-7	-4	-4	-4	-10
	S	-5	-9	-5	-7	-7
	Sr	0	0	0	0	15
C4	As	>99	>99	73	>99	>99
	Ba	>99	7	55	>99	>99
	Ca	2	6	5	2	34
	K	44	-8	>99	35	95
	Mg	1	3	4	2	6
	Na	44	5	25	43	45
	S	2	6	6	1	10
	Sr	0	0	0	0	15

Ciklusi: C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta, C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta, C3 - treći ciklus prvog eksperimenta, C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta. Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Izliv biološkog sistema - izliv bazena V.

U ulivu tokom prvog eksperimenta zabeležene su koncentracije sumpora (S) od 0,167 - 0,210 mg/L (Tabela 25.). U toku prvog ciklusa u bazenima sa biljkama su konstatovane nešto niže koncentracije S u odnosu na uliv, a efikasnost uklanjanja S se kretala od 2% u trećem bazenu sa kanom i trskom do 7% u bazenu sa dekorativnim

makrofitama (Tabela 26.). U toku drugog ciklusa došlo je do povećanja koncentracije S u prva tri bazena, a jedino je u četvrtom bazenu sa dekorativnim makrofitama sadržaj S bio malo niži u odnosu na uliv, uz efikasnost uklanjanja S od 2% (Tabela 26.). U toku trećeg ciklusa koncentracija S je bila povećana u svim bazenima sa biljkama u odnosu na uliv (Tabela 25.). Koncentracija S u ulivu trećeg eksperimenta je iznosila 0,176 mg/L. Posle šest dana prečišćavanja u bazenima sa biljkama su konstatovane nešto niže koncentracije S u odnosu na uliv (Tabela 25.). Najveća efikasnost uklanjanja S od 6% je postignuta u drugom i trećem bazenu (Tabela 26.). Na kraju prvog eksperimenta efikasnost uklanjanja S je iznosila 1% do 6%, a na kraju trećeg 10% (Tabela 26.).

Stroncijum (Sr) je detektovan u ulivu u koncentraciji 0,013-0,014 mg/L u toku prvog i trećeg eksperimenta (Tabela 25.). U bazenima sa biljkama posle šest dana tretmana nije došlo do redukcije koncentracije Sr ni u prvom ni u trećem eksperimentu (Tabela 25.). Na kraju eksperimenta efikasnost uklanjanja Sr je bila 15% do 21% (Tabela 26.).

Arsen (As) i barijum (Ba) su detektovani samo u ulivu trećeg eksperimenta (Tabela 25.). Koncentracija As je u ulivu iznosila 0,110 mg/L. Do redukcije As je došlo već u bazenima sa biljkama, gde je ono konstatovano samo u III bazenu sa trskom i kanom u koncentraciji od 0,030 mg/L (Tabela 25.). Efikasnost uklanjanja As se u bazenima sa biljkama kretala od 73% do više od 99% (Tabela 26.). Visoka efikasnost uklanjanja od 99% je zadržana do kraja eksperimenta (Tabela 26.).

Barijum (Ba) se u ulivu nalazio u koncentraciji od 0,354 mg/L (Tabela 25.). U prvom i četvrtom bazenu Ba nije detektovan posle šest dana tretmana (Tabela 25.). U okviru druga dva bazena konstatovane su niže koncentracije Ba u odnosu na uliv (Tabela 25.). Efikasnost uklanjanja Ba u drugom bazenu sa kanom je bila niska u odnosu na druge bazene i iznosila je 7% (Tabela 26.). U trećem bazenu sa kanom i trskom efikasnost uklanjanja Ba je bila 55%, dok je maksimum od više od 99% postignut u prvom i četvrtom bazenu (Tabela 26.). Kao i u slučaju As visoka efikasnost uklanjanja Ba od više od 99% je zadržana do kraja eksperimenta (Tabela 26.).

Rezultati ispitivanja efikasnosti sistema pri stalnoj recirkulaciji vode tokom sat vremena u svakom bazenu sa biljkama posebno (Tabele 27. i 28.) su pokazali da su biljke i u ovom kratkom vremenskom periodu uklanjale različite elemente iz zagađene vode.

Koncentracije Ca u ulivu su se tokom drugog eksperimenta kretale u rasponu od 7,256 do 7,866 mg/L (Tabela 27.). Dekorativne makrofite u IV bazenu su uklonile najviše Ca za sat vremena snizivši uzlaznu koncentraciju Ca za 5% (Tabela 28.). Vrsta *P. australis* u I bazenu je imala efikasnost uklanjanja Ca 3%, vrste *P. australis* i *C. indica* u III bazenu 1%, dok je uklanjanje Ca u II bazenu u kome je bila zasađena vrsta *C. indica* izostalo (Tabela 28.).

Tabela 27. Koncentracije različitih elemenata u zagađenoj i prečišćenoj vodi u drugom eksperimentu (mg/L)

Element	Mesto uzorkovanja							
	Bazen I		Bazen II		Bazen III		Bazen IV	
	Cp	Ck	Cp	Ck	Cp	Ck	Cp	Ck
Ca	7,866	7,608	7,387	7,376	7,256	7,197	7,428	7,039
K	0,242	0,228	0,275	0,277	0,206	0,201	0,231	0,228
Mg	2,032	1,996	1,941	1,938	1,873	1,835	1,917	1,813
Na	2,159	2,139	2,055	2,038	1,970	1,953	2,012	1,932
S	0,193	0,193	0,191	0,187	0,188	0,190	0,190	0,188
Sr	0,012	0,011	0,012	0,011	0,012	0,011	0,012	0,011

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u bazenu. Ciklusi: Cp - početni ciklus drugog eksperimenta, Ck - krajnji ciklus drugog eksperimenta. Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L.

Tabela 28. Efikasnost uklanjanja elementa na kraju ciklusa drugog eksperimenta (%)

Element	Mesto uzorkovanja			
	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV
Ca	3	0	1	5
K	6	-1	2	1
Mg	2	0	2	5
Na	1	1	1	4
S	0	2	-1	1
Sr	8	8	8	8

Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L.

Koncentracije K u ulivu su se tokom drugog eksperimenta kretale u rasponu od 0,206 do 0,275 mg/L (Tabela 27.). Najveća efikasnost uklanjanja je konstatovana u I bazenu sa trskom i iznosila je 6% (Tabela 28.). Kao i u slučaju Ca izostalo je uklanjanje K iz zagađene vode u II bazenu (Tabela 28.). U III bazenu trska i kana su snizile koncentraciju K za 2%, a dekorativne makrofite u IV bazenu za 1% (Tabela 28.).

Koncentracije Mg u ulivu su se tokom drugog eksperimenta kretale u rasponu od 1,873 do 2,032 mg/L (Tabela 27.). Efikasnost uklanjanja Mg je bila najveća u IV

bazenu i iznosila je 5% (Tabela 28.). Sama trska u I bazenu i trska i kana u III bazenu su smanjile koncentracije Mg za 2% (Tabela 28.). Sama kana u II bazenu nije učestvovala u redukciji sadržaja Mg u zagađenoj vodi (Tabela 28.).

Koncentracije Na u ulivu su se tokom drugog eksperimenta kretale u rasponu od 1,970 do 2,159 mg/L (Tabela 27.). U prva tri bazena efikasnost uklanjanja Na je iznosila 1%, dok su dekorativne makrofite u IV bazenu uklonile Na sa efikasnošću od 4% (Tabela 28.).

Koncentracije S u ulivu su se tokom drugog eksperimenta kretale u rasponu od 0,188 do 0,193 mg/L (Tabela 27.). Sniženje koncentracije S je posle završenog prečišćavanja konstatovano samo u II i IV bazenu, gde je efikasnost uklanjanja bila 2% odnosno 1% (Tabela 28.).

Koncentracije Sr u ulivu su se tokom drugog eksperimenta iznosile 0,012 mg/L (Tabela 27.). U svim bazenima efikasnost uklanjanja Sr je iznosila 8% (Tabela 28.).

6.2.1.3 Mikrobiološke karakteristike zagađene i prečišćene vode

Rezultati mikrobioloških ispitivanja zagađene i prečišćene vode sa sanitarno - ekološkog aspekta u trećem eksperimentu (Tabele 29. i 30.) su pokazali da je biološki sistem bio izuzetno efikasan u uklanjanju različitih kategorija mikroorganizama, koji narušavaju kvalitet vode.

Brojnost koliformnih bakterija fekalnog porekla (KBFP) u ulivu je iznosila 1209800,0 MPN (Tabela 29.). Brojnost ovih patogenih mikroorganizama je redukovana već posle šest dana tretmana u bazenima sa biljkama (Tabela 30.). Najmanja vrednost KBFP je zabeležena u II bazenu, gde je kana redukovala brojnost bakterija do vrednosti od 166,4 MPN (Tabela 29.) uz efikasnost uklanjanja od 100% (Tabela 30.). U odnosu na druge bazene smanjenje brojnost KBFP je bilo najmanje u IV bazenu sa dekorativnim makrofitama, ali je efikasnost uklanjanja takođe bila 100% (Tabela 30.) u odnosu na početni sadržaj ovih patogenih mikroorganizama u ulivu. Na kraju tretmana KBFP su bile ispod limita detekcije (Tabela 29.) tako da je efikasnost uklanjanja KBFP bila 100% (Tabela 30.).

Brojnost ukupnih koliformnih bakterija (UKB) je bila jednaka brojnosti KBFP u ulivu (Tabela 29.). Redukovanje UKB je bilo najveće u I bazenu sa trskom gde je zabeležena brojnost od 1299,7 MPN (Tabela 29.), a najmanje u IV bazenu sa

dekorativnim makrofitama uz efikasnost uklanjanja od 97% (Tabela 30.). Na kraju eksperimenta efikasnost uklanjanja UKB je iznosila 100% (Tabela 30.).

Tabela 29. Mikrobiološke karakteristike zagađene i prečišćene vode u trećem eksperimentu

Parametar	Mesto uzorkovanja					
	Sabirni tank	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Bazen V
KBFP	1209800,0	224,7	166,4	435,2	3150,0	<1,0
UKB	1209800,0	1299,7	1413,6	1986,3	34850,0	2,0
SFP	2419,8	196,8	71,7	157,6	166,4	46,4

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa 5 mesta u bazenu. KBFP - brojnost koliformnih bakterija fekalnog porekla u 100ml MPN Colilert, UKB - brojnost ukupnih koliformnih bakterija u 100ml MPN Colilert, SFP - brojnost streptokoka fekalnog porekla (*Streptococcus faecalis*) u 100ml Enterolert E. Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Bazen V - alge (*Cladophora* sp.).

Tabela 30. Efikasnost uklanjanja patogenih mikroorganizama iz zagađene vode (%)

Parametar	Mesto uzorkovanja				
	Bazen I	Bazen II	Bazen III	Bazen IV	Izliv biološkog sistema
KBFP	100	100	100	100	100
UKB	100	100	100	97	100
SFP	92	97	93	93	98

KBFP - koliformne bakterije fekalnog porekla, UKB - ukupne koliformne bakterije, SFP - streptokoke fekalnog porekla (*Streptococcus faecalis*). Bazen I - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., Bazen II - *Canna indica* L., Bazen III - *P. australis* i *C. indica*, Bazen IV - *Iris pseudacorus* L., *Iris sibirica* 'Perry's Blue', *Alisma plantago - aquatica* L., *Lythrum salicaria* L. i *Menyanthes trifoliata* L., Izliv biološkog sistema - izliv bazena V.

Brojnost streptokoka fekalnog porekla (SFP) je u ulivu iznosila 2419,8 MPN (Tabela 29.). Uklanjanje SFP je bilo značajno već posle prvih 6 dana tretmana u bazenima sa biljkama tako da se brojnost SFP kretala u granicama od 71,7 MPN do 196,8 MPN (Tabela 29.). Najmanja brojnost SFP je konstatovana u II bazenu sa kanom uz efikasnost uklanjanja od 97% (Tabela 30.). U prvom bazenu sa trskom uklanjanje SFP je bilo najmanje u poređenju sa drugim bazenima i iznosilo je 92% (Tabela 30.). Do kraja tretmana brojnost SFP je redukovana do vrednosti od 46,4 MNP tako da je efikasnost uklanjanja SFP iznosila 98% (Tabela 30.).

6.2.2 Ispitivanje koncentracije teških metala i drugih elemenata u biljnim tkivima, algama i supstratu

6.2.2.1 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u biljnim tkivima

Rezultati analize sadržaja 23 elementa u vegetativnim delovima vrsta *P. australis*, *C. indica*, *I. pseudacorus*, *I. sibirica* 'Perry's Blue', *A. plantago - aquatica*, *L. salicaria* i *M. trifoliata*, koje su rasle u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda su prikazani u tabelama 45. - 64., koje se nalaze u poglavlju Prilozi. Iako su se neki od elemenata u uzorcima zagađene i prečišćene vode nalazili ispod limita detekcije, biljke su uspele da ih koncentrišu u svoja tkiva u značajnoj meri. Ni u jednom uzorku ispitivanih biljaka nisu pronađeni sledeći elementi: B, Cd, Hg, Mo i Pb odnosno oni su se nalazili ispod limita detekcije instrumenta (Tabela 3.). Shodno tome, ovi elementi u tabelama nisu prikazani. Takođe, pojedini elementi nisu konstatovani u svim biljnim vrstama odnosno oni su se nalazili ispod limita detekcije instrumenta, tako da u ni oni u tabelama nisu prikazani.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *P. australis* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da su postojale značajne razlike ($p < 0,05$) u sadržaju Al, Cu, Fe, Mn, Na, P, S i Zn u odnosu na dužinu izlaganja trske zagađenoj vodi (Tabela 45). Kod drugih detektovanih elemenata, kao što su Ba, Ca, Cr, K, Mg, Ni i Sr koncentracije u nadzemnoj biomasi se nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda. List i stablo su imali značajno više koncentracije Al i Fe u trećem eksperimentu u odnosu na početak i sve cikluse prvog eksperimenta. Sličan trend promene koncentracije je zabeležen i kod S, gde je značajno viši sadržaj konstatovan na kraju prvog i trećeg eksperimenta u odnosu na početak i druga dva ciklusa prvog eksperimenta. Značajno viši sadržaj Cu je konstatovan u drugom ciklusu, a zatim su se koncentracije ovog elementa značajno smanjile do kraja prvog i trećeg eksperimenta. Trend smanjenja sadržaja ispitivanog elementa pod uticajem vremena izlaganja biljke polutantima je zabeležen i kod Mn, gde su značajno niže koncentracije konstatovane na kraju trećeg eksperimenta. Početni sadržaj Na u nadzemnoj biomasi trske je značajno snižen tokom prvog eksperimenta, da bi se na kraju trećeg eksperimenta povećao do koncentracije, koja se nije značajno razlikovala od početne. Suprotan trend je konstatovan kod P i Zn, gde su se početne koncentracije ovi elemenata

značajno povećale tokom prvog eksperimenta, da bi do kraja trećeg eksperimenta ponovo opale do relativno istih vrednosti zabeleženih na početku.

Kao što je napomenuto, rizomi biljaka su uzorkovani samo na kraju trećeg eksperimenta, kako se biljke tokom eksperimentalnog perioda ne bi oštetile. Ovakva organizacija eksperimenta je eliminisala uticaj smanjenja biomase rizoma na redukciju ukupne biomase biljaka odnosno na potencijalne promene u efikasnost prečišćavanja biološkog sistema. Shodno tome, poređenje sadržaja različitih elemenata u rizomima ispitivanih biljaka nije prikazano u zavisnosti od ciklusa nego u zavisnosti od kontrole. Međutim, kod vrste *P. australis* većina biljaka je u kontroli propala, tako da su za ovu vrstu prikazane samo srednje vrednosti usvojenih elemenata u trećem eksperiment (Tabela 46.). U rizomu trske detektovani su Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr i Zn. U poređenju sa konstatovanim koncentracijama elemenata u nadzemnoj biomasi na kraju trećeg eksperimenta trska je u rizomu sadržala više Al, Cu i Ni dok je sadržaj Cr, Fe, Na, P i Zn bio približan. Takođe, rizom je sadržao manje koncentracije Ba, Ca, K, Mg, Mn, S i Sr u odnosu na nadzemnu biomasu.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *P. australis* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije As, Cu, Mg, Na i Se nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 47.). Na kraju trećeg eksperimenta koren je sadržao značajno veće ($p < 0,05$) koncentracije Al i Fe u odnosu na početak i sve cikluse prvog eksperimenta. Koncentracije Ba su se sa vremenom takođe povećavale. Sadržaj Ca i Sr se tokom oba eksperimenta nije menjao, ali su usvojene koncentracije u svim ciklusima bile značajno veće u odnosu na početno konstatovani sadržaj ovih elemenata. Sličan trend je zabeležen kod K, ali su nepromenjene koncentracije tokom eksperimenata bile značajno niže u odnosu na početnu koncentraciju. Sadržaj Co, Cr i Ni u korenu trske je pratio isti trend variranja, pri čemu se značajno više koncentracije ovih elemenata konstatovane u drugom ciklusu i trećem eksperimentu, a značajno niže u prvom i trećem ciklusu. Početne koncentracije Mn su se do polovine eksperimenta smanjivale i značajno najniže koncentracije su detektovane u drugom ciklusu. U trećem ciklusu sadržaj Mn se izjednačio sa početnom koncentracijom i nastavio da raste do kraja trećeg eksperimenta. Značajno veća koncentracija P je zabeležena u trećem ciklusu. Sadržaj S se do kraja prvog

eksperimenta nije značajno menjao, a zatim je na kraju trećeg eksperimenta značajno opao. Isti trend je primećen i kod Zn.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi trske, osim K koga je više bilo u listu i stablu ove vrste.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *C. indica* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije Cr, Cu, Fe, Na, Ni, S i Sr nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 48.). Značajno više ($p < 0,05$) koncentracije Al, Ba, K i P su konstatovane na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na sadržaj ovih elemenata na početku, tokom prvog eksperimenta i u kontroli ($p > 0,05$). Značajno više koncentracije Ca su zabeležene kod biljaka koje su rasle u kontroli, dok je suprotan trend zabeležen kod Mn. Nadzemna biomasa biljaka u kontroli je sadržala značajno niže koncentracije Mg u odnosu na početne koncentracije ovog elementa. Suprotan trend je konstatovan kod Zn.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u rizomu vrste *C. indica* u odnosu na ciklus prečišćavanja i kontrolu su pokazali da su biljke na kraju trećeg eksperimenta sadržale značajno više ($p < 0,05$) koncentracije Al, Ba, Mg, Mn, S i Sr u odnosu na rizome biljaka u kontroli (Tabela 49.). Jedino je sadržaj K bio značajno niži u biološkom sistemu u odnosu na kontrolu. Koncentracije Ca, Cu, Fe, Na, P, Se i Zn se nisu značajno razlikovale ($p > 0,05$) u trećem eksperimentu i kontroli.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *C. indica* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije As, Co, Cr, Cu, K, S i Se nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 50.). Značajno više koncentracije Ba, P i Sr u korenu su imale kane na kraju prvog i trećeg eksperimenta u odnosu na kontrolne biljke. Sličan trend je konstatovan i kod Al, Ca i Fe, pri čemu su značajno veće sadržaje ovih elemenata imale biljke na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i prvi eksperiment. Koncentracije Mg se u korenu tokom prvog eksperimenta nisu značajno razlikovale od kontrole, dok su početne koncentracije i koncentracije na kraju trećeg eksperimenta bile značajno više od kontrolnih biljaka. Početne koncentracije Mn u korenu kane se nisu značajno razlikovale od sadržaja ovog elementa na kraju prvog i trećeg eksperimenta, ali su one bile značajno više u odnosu na biljke u kontroli i prva dva ciklusa prvog eksperimenta. Nisu zabeležene značajne razlike ni između sadržaja Na u korenu tokom

eksperimentalnog perioda u odnosu na kontrolu. Međutim, sadržaj Na je tom prilikom bio značajno niži u odnosu na koncentracije detektovane neposredno pre početka prvog eksperimenta. Takođe, konstatovano je da nije bilo značajne razlike između početnih koncentracija Zn i njegovih koncentracija tokom eksperimenata, a biljke u kontroli su imale značajno veće koncentracije u odnosu na pomenute periode uzorkovanja. Značajno niži sadržaj Ni imalo je koren biljaka u kontroli u odnosu na biljke u biološkom sistemu.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi kane, osim K koga je više bilo u listu i stablu ove vrste.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *I. pseudacorus* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije Al, Cr, Fe, Mn, Ni, P i Zn nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 51.). Značajno niže koncentracije ($p < 0,05$) Ba, Ca, Mg, S i Sr su konstatovane u kontrolnim biljkama u odnosu na početne koncentracije i tokom eksperimenata. Koncentracije Mg i Sr se nisu značajno menjale tokom eksperimentalnog perioda. Značajno veći sadržaj Cu je imala nadzemna biomasa na kraju prvog ciklusa, dok se koncentracije ovog elementa nisu značajno razlikovale u kontroli, pre početka prvog eksperimenta i ostalih ciklusa eksperimentalnog perioda. Neposredno pre početka prvog eksperimenta i tokom njegovog trajanja biljke su sadržale značajno manje K u odnosu na biljke na kraju trećeg eksperimenta. Značajno niži sadržaj K u nadzemnoj biomasi su imale i biljke na kraju prvog eksperimenta u odnosu na kontrolu. Značajno više koncentracije Na u listu i stablu su se javile u kontroli u odnosu na početne koncentracije i eksperimentalni period.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u rizomu vrste *I. pseudacorus* su pokazali da se koncentracije Cu, K, Ni i S nisu značajno razlikovale ($p > 0,05$) na kraju trećeg eksperimenta i u kontroli (Tabela 52.). Rizom je na kraju eksperimentalnog perioda sadržao značajno više ($p < 0,05$) Al, Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, P, Sr i Zn u odnosu na kontrolne biljke, dok je jedino sadržaj K bio značajno veći u kontroli.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *I. pseudacorus* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije As, Co i Se nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 53.). Značajno niže ($p < 0,05$) koncentracije Al, Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni i Sr u korenu su konstatovane kod

biljaka u kontroli u odnosu na eksperimentalni period. U korenu se Cr nalazio ispod limita detekcije u kontroli. Značajno više koncentracije Cr su sadržale biljke na kraju drugog ciklusa i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i druge cikluse. Značajno viši sadržaj Cu je zabeležen na u korenu na kraju drugog ciklusa u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i druge cikluse eksperimentalnog perioda. Suprotan trend je primećen kod K, gde su koncentracije Cu u ovom ciklusu bile značajno veće u odnosu na ostale. Koren je sadržao značajno više Na neposredno pre početka prvog eksperimenta u odnosu na eksperimentalni period i kontrolu. Značajno niže koncentracije P i S je imao koren biljaka u kontroli i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment. Sličan trend je zabeležen i kod Zn, gde je koren biljaka u prvom eksperimentu sadržao značajno više Zn u odnosu na biljke u trećem eksperimentu i kontroli.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi žute perunike, osim K koga je više bilo u listu i stablu ove vrste.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se samo koncentracije Cu i Se nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 54.). Isti trend promene koncentracije tokom eksperimenata i odnos pojedinačnih koncentracija tokom perioda istraživanja je konstatovan kod Al i Fe. Značajno više ($p < 0,05$) koncentracije ovi elemenata su imale biljke u kontroli u odnosu na sva druga vremena uzorkovanja. Sadržaj Al i Fe je bio značajno veći na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment, gde nije postojala značajna razlika u usvojenim koncentracijama ovih elemenata u nadzemnoj biomasi. Sličan trend je zabeležen i kod Zn, gde se početne koncentracije i koncentracije tokom eksperimentalnog perioda nisu značajno razlikovale, ali je postojala značajna razlika između ovih koncentracija i većeg sadržaja Zn kod biljaka u kontroli. Koncentracije Ba i Na su bile značajno veće kod biljaka u kontroli i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na ostale cikluse. Na kraju trećeg eksperimenta nadzemna biomasa sibirske perunike je imala značajno veće koncentracije Ca i Mg u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i prvi eksperiment. Hrom (Cr) nije detektovan tokom prvog eksperimenta, a biljke u kontroli i neposredno pre početka eksperimentalnog perioda su sadržale značajno veće koncentracije ovog elementa u listu i stablu u odnosu na kraj trećeg

eksperimenta. Početne koncentracije K su se tokom eksperimentalnog perioda smanjivale, tako da su najniže koncentracije zabeležene na kraju trećeg eksperimenta. Nije postojala značajna razlika između ove najniže koncentracije i sadržaja K u nadzemnoj biomasi sibirске perunike u kontroli i na kraju prvog eksperimenta. Značajno više koncentracije Ni i P su sadržale biljke u kontroli u odnosu na biljke tokom eksperimentalnog perioda, dok je suprotan trend konstatovan kod S i Sr.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u rizomu vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u odnosu na ciklus prečišćavanja i kontrolu su pokazali da se koncentracije većine detektovanih elemenata, kako što su Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Na, Ni, S i Zn nisu značajno razlikovale ($p>0,05$) na kraju trećeg eksperimenta i u kontroli (Tabela 55.). Rizomi su na kraju trećeg eksperimenta sadržali značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Ba, Mn i Sr u odnosu na kontrolu, dok su biljke u kontroli imale veći sadržaj P u odnosu na biljke u eksperimentu.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije Al, Ca, Co, Ni, Se i Sr nisu značajno menjale ($p>0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 56.). Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije As u korenu su konstatovane kod biljaka u kontroli u odnosu na početne koncentracije, kraj trećeg eksperimenta i početak i kraj prvog eksperimenta. Značajno niže koncentracije Ba su zabeležene u korenu kontrolnih biljaka u odnosu na početne koncentracije i eksperimentalni period. Sličan trend je konstatovan i kod Fe. Koren je sadržao značajno više Cr tokom druga dva ciklusa prvog eksperimenta i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i prvi ciklus prečišćavanja. Koncentracije Cu se nije značajno razlikovala u kontroli, pre početka prvog eksperimenta i tokom eksperimentalnog perioda, osim na kraju drugog ciklusa gde su konstatovane značajno više koncentracije. Značajno veće koncentracije K je sadržao koren uzorkovan neposredno pre početka prvog eksperimenta u odnosu na sadržaj ovo elementa u kontroli i prvom eksperimentu. Takođe, ove biljke su neposredno pre početka prvog eksperimenta sadržale i značajno više Mn i Na u odnosu na čitav eksperimentalni period i kontrolu. Sličan trend je konstatovan i kod sadržaja Mg u korenu, gde su biljke pre početka prvog eksperimenta i na kraju njegovog prvog ciklusa imale značajno više Mg u odnosu na biljke kontroli. Značajno niže koncentracije P i S su zabeležene u kontroli i na kraju trećeg

eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment. Značajno veći sadržaj Zn je imao koren biljaka u drugom i trećem ciklusu i odnosu na kontrolu, početne vrednosti i druge cikluse eksperimentalnog perioda.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi *I. sibirica* 'Perry's Blue', osim K i Se kojih je više bilo u listu i stablu ove vrste.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *A. plantago - aquatica* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije Cr, Cu, Mg, Ni, S i Zn nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 57.). Nadzemna biomasa je sadržala značajno više ($p < 0,05$) Al na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na kontrolu i ostale cikluse prečišćavanja ($p > 0,05$). Slični trendovi su primećeni i kod elemenata kao što su Ba i Ca. Značajno niže ($p < 0,05$) koncentracije Ba su konstatovane u kontroli u odnosu na sve cikluse prečišćavanja ($p > 0,05$), a koncentracija Ca u drugom ciklusu je bila značajno viša ($p < 0,05$) u odnosu na kontrolu i druge cikluse ($p > 0,05$). Suprotan trend je konstatovan kod Mn, gde su biljke u kontroli imale značajno veći sadržaj ovog elementa u odnosu na sve druge cikluse, kod kojih značajno različite koncentracije Mn nisu konstatovane. Vodena bokvica je sadržala značajno više ($p < 0,05$) Fe u kontroli i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment ($p > 0,05$), dok razlike nisu bile značajne u odnosu na kraj trećeg eksperimenta. Koncentracije K u nadzemnoj biomasi kontrolnih biljaka su bile značajno veće u odnosu na sve druge cikluse, a početne koncentracije ovog elementa se nisu značajno razlikovale od sadržaja K u biljkama tokom prvog eksperimenta. Značajno veći sadržaj Na je konstatovan na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na kontrolu, početne koncentracije, kao i početak i kraj prvog eksperimenta. Značajno niža koncentracija u kontroli u odnosu na sve druge cikluse zabeležena je i kod sa Sr u nadzemnoj biomasi. Biljke u kontroli i na kraju trećeg eksperimenta su sadržale značajno više P u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u rizomu vrste *A. plantago - aquatica* u odnosu na ciklus prečišćavanja i kontrolu su pokazali da se koncentracije Al, Fe, Mn, Ni i S nisu značajno razlikovale ($p > 0,05$) na kraju trećeg eksperimenta i u kontroli (Tabela 58.). Rizomi su na kraju trećeg eksperimenta sadržali značajno veće

($p < 0,05$) koncentracije Ba, Ca, K, Mg, Na i Sr u odnosu na kontrolu, dok su biljke u kontroli imale veći sadržaj Cu, P i Zn u odnosu na biljke u eksperimentu.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *A. plantago - aquatica* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije As, Ba, Cu, Mn, Ni, P, i Zn nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 59.). Koren biljaka u kontroli i pre početka prvog eksperimenta je sadržao značajno manje ($p < 0,05$) Al u odnosu na biljke tokom eksperimenata, osim na kraju trećeg ciklusa gde značajne razlike u odnosu na ove niske koncentracije nisu zabeležene. Sličan trend je zapažen i kod Mg i Sr, gde su značajno niže koncentracije sadržale biljke u kontroli u odnosu na eksperimentalni period, osim na kraju prvog eksperimenta gde značajne razlike u odnosu na ove niske koncentracije nisu zabeležene. Značajno niže koncentracije su zabeležene na kraju prvog eksperimenta i kod Ca u korenu u odnosu na kontrolu i druge cikluse, pri čemu nisu postojale značajne razlike između u odnosu na početne koncentracije Ca. Sličan trend je primećen i kod sadržaja Co, gde se značajno niže koncentracije ovog elementa nisu značajno razlikovale od koncentracije Co u korenu kontrolnih biljaka. Sadržaj Cr je varirao tokom eksperimentalnog perioda, a značajno više koncentracije su konstatovane u prvom i drugom ciklusu prvog eksperimenta i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na druge cikluse i kontrolu. Slično variranje je pokazao K, pri čemu su značajno više koncentracije zabeležene na kraju prvog eksperimenta u odnosu na druga dva ciklusa ovog eksperimenta i kontrolu. Koren vodene bokvice je na kraju trećeg eksperimenta sadržao značajno više Fe u odnosu na kontrolu i druge cikluse prečišćavanja. Značajno niže koncentracije Na su zabeležene u kontrolnim biljkama u odnosu na eksperimentalni period, pri čemu se koncentracije Fe u korenu na kraju prvog ciklusa nisu značajno razlikovale od ovih niskih koncentracije. Biljke su tokom prvog eksperimenta imale značajno veći sadržaj S u korenu u odnosu na kraj trećeg eksperimenta i kontrolu.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi vrste *A. plantago - aquatica*.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *L. salicaria* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se samo koncentracije Se i Zn nisu značajno menjale ($p > 0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 60.). Značajno veće ($p < 0,05$) koncentracije Al i Fe su konstatovane kod biljaka u kontroli i na kraju

trećeg eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment ($p>0,05$). Sličan trend je primećen i kod sadržaja Mn i Ni, gde su značajno veće ($p<0,05$) koncentracije ovih elemenata konstatovane kod kontrolnih biljaka u odnosu na biljke u biološkom sistemu ($p>0,05$). Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Ba su imale biljke tokom prvog eksperimenta u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i treći eksperiment ($p>0,05$). Na kraju prvog eksperimenta nadzemni deo biljaka je sadržao značajno više Ca u odnosu na kontrolu i sve ostale cikluse. Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Cu su zabeležene u drugom ciklusu u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i kraj prvog i trećeg eksperimenta ($p>0,05$). Na početku prvog eksperimenta biljke su sadržale značajno manje K u odnosu na kontrolu i sve druge cikluse. U ovom ciklusu biljke su koncentrisale značajno više Mg u nadzemnoj biomasi u odnosu na kontrolu i druge cikluse, ali nije postojala značajna razlika između prvog i poslednjeg ciklusa prvog eksperimenta. Sadržaj Na i P je bio značajno veći kod kontrolnih biljaka u odnosu na biljke u biološkom sistemu. Koncentracija S je takođe bila značajno veća u kontroli u odnosu na početne koncentracije i prva dva ciklusa prvog eksperimenta. Koncentracije S na kraju prvog i trećeg eksperimenta se nisu značajno razlikovale od ovih visokih koncentracija. Značajno niže koncentracije Sr su zabeležene kod biljaka u kontroli u odnosu na biljke u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *L. salicaria* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije Al, As, Cr, Cu, Fe i Ni nisu značajno menjale ($p>0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 61.). Značajno više ($p<0,05$) koncentracije Ba su konstatovane u korenu biljaka u krajnjim ciklusima prvog eksperimenta u odnosu na kontrolu i sve druge cikluse ($p>0,05$). Početne koncentracije Ca i kao i koncentracije ovog elementa na kraju prvog eksperimenta su bile značajno veće ($p<0,05$) u odnosu na kontrolu i sve druge cikluse ($p>0,05$). Kontrolne biljke su sadržale i značajno manje Co u korenu u odnosu na biljke u biološkom sistemu, osim na kraju trećeg eksperimenta gde značajne razlike nisu zabeležene. Početne koncentracije K, Mn i Na su bile značajno veće u odnosu na kontrolu i eksperimentalni period. Sličan trend je konstatovan i kod sadržaja Mg, gde su značajno više Mg imale biljke pre početka prvog eksperimenta i u prvom ciklusu u odnosu na kontrolu i sve druge cikluse. Na kraju trećeg eksperimenta i u kontroli biljke

su sadržale značajno niže koncentracije P i S u odnosu na sve druge cikluse. Značajno veće koncentracije Sr su imale biljke tokom prvog eksperimenta u odnosu na kontrolu, početne koncentracije i treći eksperiment. Značajno više koncentracije Zn su konstatovane kod korena biljaka na kraju prvog eksperimenta u odnosu na kontrolu i druge cikluse prečišćavanja. Značajne razlike između ovih visokih koncentracija i zabeleženog sadržaja Zn u drugom ciklusu nisu postojale.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi *L. salicaria*, osim K, Ca i Se kojih je više bilo u listu i stablu ove vrste.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u nadzemnoj biomasi vrste *M. trifoliata* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije Ca, Cr, Cu, K, Na, Ni, Se, Sr i Zn nisu značajno menjale ($p>0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 62.). Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Al, Ba, Fe i P su konstatovane kod biljka u kontroli i na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment ($p>0,05$). Kontrolne biljke su sadržale i značajno veće koncentracije Mn u odnosu na biljke u biološkom sistemu. Značajno niže koncentracije Mg i S su sadržale biljke u kontroli u odnosu na biljke tokom eksperimentalnog perioda.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u rizomu vrste *M. trifoliata* u odnosu na ciklus prečišćavanja i kontrolu su pokazali da se koncentracije Ba, Ca, Se, Sr i Zn nisu značajno razlikovale ($p>0,05$) na kraju trećeg eksperimenta i u kontroli (Tabela 63.). Rizomi su na kraju trećeg eksperimenta sadržali značajno veće ($p<0,05$) koncentracije K, Mg, Na, P i S u odnosu na kontrolu, dok su biljke u kontroli imale veći sadržaj Al, Cu, Fe i Ni u odnosu na biljke u eksperimentu.

Rezultati analize sadržaja različitih elemenata u korenu vrste *M. trifoliata* u odnosu na ciklus prečišćavanja su pokazali da se koncentracije As, Ba, Co, Cr, Fe, Na, Ni, P i S nisu značajno menjale ($p>0,05$) tokom eksperimentalnog perioda (Tabela 64.). Značajno veće koncentracije Al i Ca su konstatovane u korenu biljaka tokom prvog eksperimenta u odnosu na ostale ispitivane cikluse. Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Cu su zabeležene u drugom ciklusu u odnosu na kontrolu i sve druge cikluse ($p>0,05$). Značajno veće koncentracije K i Mn su imale biljke u korenu uzorkovanom pre početka prvog eksperimenta u odnosu na kontrolu i eksperimentalni period. Biljke uzorkovane pre početka prvog eksperimenta i u prvom ciklusu su sadržale i značajno više Mg u odnosu na kontrolu i druge cikluse. Na kraju prvog ciklusa konstatovane su značajno

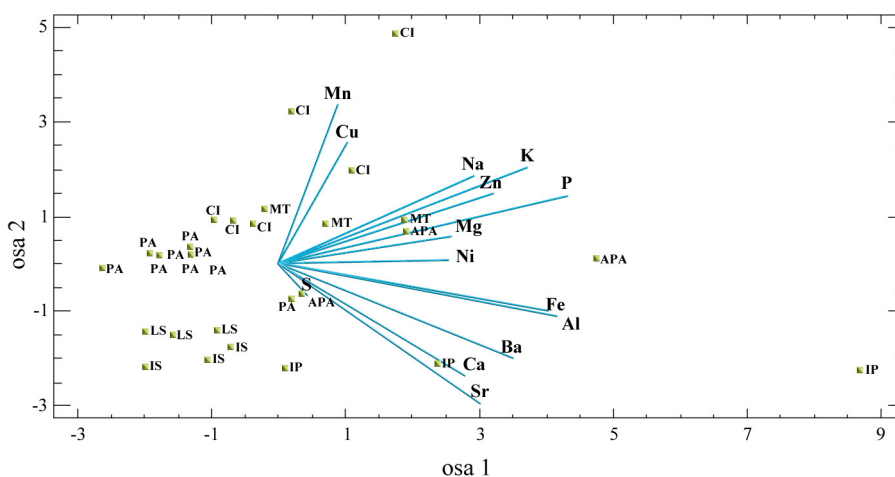
veće koncentracije Sr u korenu u odnosu na kontrolu i sve druge cikluse. U ovom ciklusu, kao i u drugom ciklusu biljke su imale značajno više Zn u odnosu na kontrolu i druge cikluse.

Svi detektovani elementi su se nalazili u većim koncentracijama u podzemnoj biomasi *M. trifoliata*, osim K i Se kojih je više bilo u listu i stablu ove vrste.

Analiza glavnih komponenti (eng. Principal Component Analysis - PCA) je esencijalno deskriptivna metoda koja pomaže sagledavanje tendencije u velikoj bazi numeričkih podataka. Ova analiza omogućava da se iz mase podataka sazna struktura svojstava i struktura individua (Grafikon 22.). Najviše informacija o totalnoj varijabilnosti objašnjava osa 1 (38,17%), zatim osa 2 (19,16 %), pa osa 3 (15,54%) i tako redom, opadajućim stepenom (Tabela 31.). Prve dve ose objašnjavaju 57,33% totalne varijabilnosti usvajanja elemenata u nadzemnoj biomasi biljaka.

Tabela 31. Analiza glavnih komponenti (PCA) usvajanja elemenata u nadzemnoj biomasi ispitivanih vrsta u trećem eksperimentu

Broj komponente	Karakteristična vrednost	Procenat varijabilnosti	Totalna varijabilnost
1	5,34318	38,166	38,166
2	2,68301	19,164	57,330
3	2,17612	15,544	72,874



Grafikon 22. Analiza glavnih komponenti (PCA) usvajanja 14 elemenata u nadzemnoj biomasi 30 biljaka (7 vrsta) u trećem eksperimentu. Vrste biljaka: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Svojstva (elementi): Al, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr i Zn.

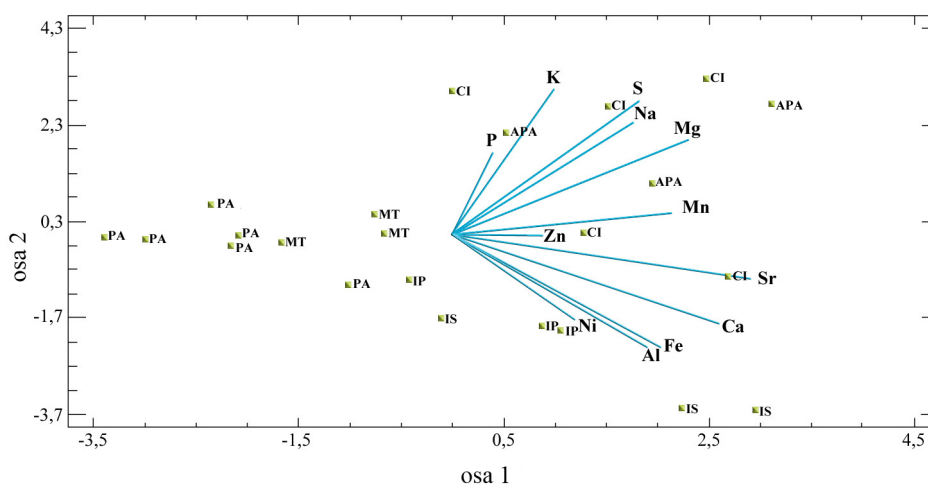
Svojstva P, Fe i Al najviše doprinose formiranju ose 1 (0,38; 0,37 i 0,35 respektivno), svojstva Mn i Cu najviše doprinose formiranju ose 2 (0,47 i 0,36) (na osnovu apsolutnih vrednosti koeficijenata linearnih kombinacija koji izgrađuju glavne ose, očitanih u programu). Pomenuta svojstva igraju relativno važniju ulogu u totalnoj varijabilnosti vrsta koje se istražuju. Takođe važi princip da ukoliko je ugao između svojstava (vektora) manji, utoliko su svojstva jače korelisana. Suprotno, svojstva koja zaklapaju ugao blizak 90° imaju vrlo slabu korelaciju. Sva statistički značajna svojstva su korelisana pozitivno, ali različite jačine. Svojstva Fe i Al zaklapaju mali ugao i visoko su korelisana ($r=0,99$; $p<0.05$), nasuprot svojstvima Cu i Ca koja imaju vrlo slabu korelaciju ($r=-0,02$; $p>0.05$). Položaj elementa (tačke na slici) u odnosu na svojstvo (vektor na slici) je indikativan. Individue fizički bliske pravcu svojstva, pozicionirane u istom smeru, imaju povišen sadržaj tog svojstva. Obrnuto, individue koje se nalaze u istom pravcu ali suprotnom smeru, imaju smanjen sadržaj tog svojstva. Vidljivo je pretežno grupisanje individua po vrstama. Individue APA odlikuje povišen sadržaj P, Fe i Al. Obrnuto, individue PA odlikuje smanjen sadržaj ovih elemenata kao i smanjeno usvajanje Ca i Mg. Individue CI odlikuje povišen sadržaj Mn.

Rezultati PCA usvajanja 12 elemenata u rizomu 24 biljke u trećem eksperimentu su predstavljeni u Tabeli 32. i na Grafikonu 23. Najviše informacija o totalnoj varijabilnosti objašnjava osa 1 (34,63%), zatim osa 2 (28,57 %), pa osa 3 (13,44%) i tako redom, opadajućim stepenom. Prve dve ose objašnjavaju 63,20% totalne varijabilnosti (Tabela 32.). Svojstva Sr i Ca najviše doprinose formiranju ose 1 (0,45 i 0,39 respektivno), dok svojstva K i S najviše doprinose formiranju ose 2 (0,44 i 0,40) (na osnovu apsolutnih vrednosti koeficijenata linearnih kombinacija koji izgrađuju glavne ose, očitanih u programu). Pomenuta svojstva igraju relativno važniju ulogu u totalnoj varijabilnosti vrsta koje se istražuju. Sva statistički značajna svojstva su korelisana pozitivno, ali različite jačine. Svojstva Ca i Sr zaklapaju male uglove i visoko su korelisana ($r=0,95$; $P<0.05$), nasuprot svojstvima Al i K koja imaju vrlo slabu korelaciju ($r=-0,22$; $P>0.05$). Položaj elementa (tačke na slici) u odnosu na svojstvo (vektor na slici) je indikativan. Vidljivo je pretežno grupisanje individua po vrstama. Individue APA odlikuje povišen sadržaj K, S, Na i Mg. Individue CI odlikuje povišen sadržaj K, S, Na, a individue IS odlikuje povišen sadržaj Al i Fe. Obrnuto, individue MT odlikuje smanjen sadržaj Mg i Mn, a individue PA odlikuje smanjen sadržaj Mg,

Mn i Sr.

Tabela 32. Analiza glavnih komponenti (PCA) usvajanja elemenata u rizomu ispitivanih vrsta u trećem eksperimentu

Broj komponente	Karakteristična vrednost	Procenat varijabilnosti	Totalna varijabilnost
1	4,15619	34,635	34,635
2	3,42818	28,568	63,203
3	1,61326	13,444	76,647

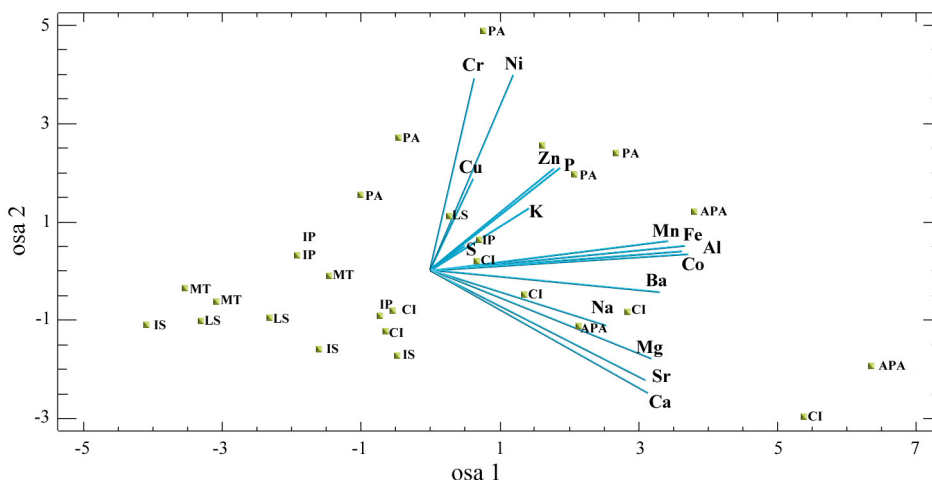


Grafikon 23. Analiza glavnih komponenti (PCA) usvajanja 12 elemenata u rizomu 24 biljaka (6 vrsta) u trećem eksperimentu. Vrste biljaka: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Svojstva (elementi): Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr i Zn.

Rezultati PCA usvajanja 16 elemenata u korenu 28 biljaka u trećem eksperimentu predstavljeni su u Tabeli 33. i na Grafikonu 24. Najviše informacija o totalnoj varijabilnosti objašnjava osa 1 (42,86%), zatim osa 2 (17,00 %), pa osa 3 (11,75%) i tako redom, opadajućim stepenom. Prve dve ose objašnjavaju 59,86% totalne varijabilnosti (Tabela 33.). Svojstva Al, Co, Fe najviše doprinose formiranju ose 1 (0,35; 0,34 i 0,35 respektivno); svojstva Ni i Cr najviše doprinose formiranju ose 2 (0,50 i 0,49) (na osnovu apsolutnih vrednosti koeficijenata linearnih kombinacija koji izgrađuju glavne ose, očitanih u programu).

Tabela 33. Analiza glavnih komponenti (PCA) usvajanja elemenata u korenu ispitivanih vrsta u trećem eksperimentu

Broj komponente	Karakteristična vrednost	Procenat varijabilnosti	Totalna varijabilnost
1	6,85775	42,861	42,861
2	2,72079	17,005	59,866
3	1,88	11,750	71,616



Grafikon 24. Analiza glavnih komponenti (PCA) usvajanja 16 elemenata u korenu 28 biljaka (7 vrsta) u trećem eksperimentu. Vrste biljaka: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Svojstva (elementi): Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr i Zn.

Pomenuta svojstva igraju relativno važniju ulogu u totalnoj varijabilnosti vrsta koje se istražuju. Sva statistički značajna svojstva su korelisana pozitivno, ali različite jačine. Svojstva Al i Co, Al i Fe, zatim Co i Fe zaklapaju male uglove i visoko su korelisana ($r=0,96$; $0,93$ i $0,91$ respektivno $p<0,05$), nasuprot svojstvima Ni i Mg koja imaju vrlo slabu korelaciju ($r=0,05$; $p>0,05$). Položaj elementa (tačke na slici) u odnosu na svojstvo (vektor na slici) je indikativan. Vidljivo je pretežno grupisanje individua po vrstama (Grafikon 24.). Individue PA odlikuje povišen sadržaj Cr, Ni, Zn i P. Individue APA odlikuje povišen sadržaj Mn, Fe, Al i Co. Obrnuto, individue MT odlikuje smanjen sadržaj Mn, a individue IS odlikuje smanjen sadržaj Mn i Fe.

Uticaj biljne vrste i ciklusa prečišćavanja zagađene vode na usvajanje 23 elementa u različitim vegetativnim delovima je ispitan primenom dvo-faktorske analize varijanse (Tabele 65. - 66.).

Analiza sadržaja elemenata u nadzemnoj biomasi zavisno od biljne vrste i ciklusa (Tabela 65.) je pokazala da je koncentracija Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Sr i Zn zavisila od vrste biljke ($p < 0,05$). Uticaj dužine izlaganja (ciklusa) biljaka zagađenoj vodi na koncentracije elemenata u biljnom tkivu je zapažen kod Al, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, P i S ($p < 0,05$). Takođe, uočen je značajan efekat interakcije biljne vrste i ciklusa što ukazuje na različitu osetljivost vrsta na različitu dužinu izlaganja polutantima. Ove interakcije su primećene kod Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Sr i Zn ($p < 0,05$).

Analiza sadržaja elemenata u korenu zavisno od biljne vrste i ciklusa (Tabela 66.) je pokazala da je koncentracija Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Na, Ni, P, S, Sr i Zn zavisila od vrste biljke ($p < 0,05$). Uticaj dužine izlaganja (ciklusa) biljaka zagađenoj vodi na koncentracije elemenata u biljnom tkivu je zapažen kod Al, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Sr i Zn ($p < 0,05$). Takođe, uočen je značajan efekat interakcije biljne vrste i ciklusa kod Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Sr i Zn ($p < 0,05$).

Uticaj biljne vrste na usvajanje 23 elementa u rizomu je ispitan primenom jedno-faktorske analize varijanse (ANOVA) s obzirom da su rizomi uzorkovani samo na kraju trećeg eksperimenta (Tabele 67). Analiza sadržaja elemenata u rizomu zavisno od biljne vrste je pokazala da je koncentracija Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, S i Sr zavisila od vrste biljke ($p < 0,05$).

Rezultati analize sadržaja elemenata u različitim vegetativnim delovima (Tabele 65. - 67.) su pokazali da je najviše Al u svojoj nadzemnoj biomasi imala vrsta *I. pseudacorus*, koja je uz dugu vrstu perunike (*I. sibirica* 'Perry's Blue') imala i značajno veći ($p < 0,05$) sadržaj ovog elementa u rizomu u odnosu na druge vrste, dok su u korenu *P. australis* i *A. plantago - aquatica* imale značajno veće ($p < 0,05$) koncentracije Al u odnosu na druge biljke. Značajno više ($p < 0,05$) Al je bilo u biljkama u nadzemnoj biomasi i korenu na kraju eksperimentalnog perioda u odnosu na sve ostale cikluse prečišćavanja.

Arsen (As) je konstatovan samo u korenu, dok se u rizomu i nadzemnoj biomasi nalazio ispod limita detekcije (Tabela 3.). Vrsta *C. indica* je imala najveću

koncentraciju As u korenu. Dužina izlaganja biljaka As nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa po ciklusima ($p>0,05$), a takođe nisu postojale ni značajne interakcije biljnih vrsta i ciklusa ($p>0,05$).

Kod vrste *I. pseudacorus* je konstatovan značajno veći ($p<0,05$) sadržaj Ba u svim vegetativnim delovima u odnosu na sve druge vrste. Značajno više ($p<0,05$) Ba je bilo u nadzemnoj biomasi na kraju eksperimentalnog perioda u odnosu na sve druge cikluse, dok su u korenu najveće koncentracije zabeležene u drugom i trećem ciklusu.

Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Ca su zabeležene u nadzemnoj biomasi *L. salicaria* u odnosu na sve ostale vrste. Rizom vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' je sadržao značajno više ($p<0,05$) ovog elementa u odnosu na sve ostale vrste, dok je u korenu značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Ca imala vrsta *A. plantago - aquatica* u odnosu na sve druge vrste. Koncentracije Ca u nadzemnoj biomasi i korenu su se povećavale sa povećanjem dužine eksperimentalnog perioda.

Kao i As, Co je zabeležen samo u korenu, dok se u rizomu i nadzemnoj biomasi nalazio ispod limita detekcije (Tabela 3.). Najveću koncentraciju Co u korenu je imala vrsta *A. plantago - aquatica*, a najmanju vrste *C. indica* i *I. pseudacorus*. Dužina izlaganja biljaka Co nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa po ciklusima ($p>0,05$).

Hrom (Cr) je konstatovan samo u podzemnoj biomasi, dok se u nadzemnoj biomasi nalazio ispod limita detekcije (Tabela 3.). Nisu primećene značajne razlike ($p>0,05$) u koncentraciji Cr u rizomu različitih vrsta biljaka. U korenu značajno više ($p<0,05$) Cr je imala vrsta *P. australis* u odnosu na sve druge vrste. Dužina izlaganja biljaka Cr nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa po ciklusima ($p>0,05$).

Bakar (Cu) je detektovan u svim vegetativnim delovima biljaka. Nisu konstatovane značajne razlike ($p>0,05$) u koncentraciji Cu u nadzemnoj biomasi i rizomu različitih vrsta biljaka. Najveće koncentracije Cu je sadržao koren vrste *I. pseudacorus*, a najmanje *C. indica*. Nadzemna biomasa je usvajala značajno više ($p<0,05$) Cu u prvoj polovini eksperimentalnog perioda (C0, C1 i C2) u odnosu na kraj prvog i trećeg eksperimenta. Sličan trend promene koncentracije ovog elementa po ciklusima je konstatovan i u korenu, pri čemu su značajno veće ($p<0,05$) koncentracije zabeležene u korenu biljaka u drugom ciklusu u odnosu na sve druge cikluse, da bi se koncentracije na kraju prvog i trećeg eksperimenta približile sadržaju ovog elementa u korenu biljaka

uzorkovanih neposredno pre početka prvog eksperimenta ($p>0,05$). Nisu uočene značajne interakcije biljnih vrsta i ciklusa u promeni sadržaja Cu u nadzemnoj biomasi ($p>0,05$).

Najviše Fe u nadzemnoj biomasi i rizomu je sadržala vrsta *I. pseudacorus*, dok su značajno veće ($p<0,05$) koncentracije ovo elementa u korenu zabeležene kod vrste *A. plantago - aquatica* u odnosu na sve druge vrste. Značajno više ($p<0,05$) Fe je akumulirano u nadzemnoj biomasi na kraju eksperimentalnog perioda u odnosu na sve ostale cikluse. Sličan trend povećanja koncentracije Fe u biljkama je konstatovan i kod korena, gde je najveći sadržaj Fe takođe zabeležen u na kraju trećeg eksperimenta.

Koncentracije K su u nadzemnoj biomasi i korenu vrste *C. indica* bile značajno veće ($p<0,05$) u odnosu na sve druge vrste. Značajno veći ($p<0,05$) sadržaj K u rizomu je takođe zabeležen kod ove vrste i *A. plantago - aquatica* u odnosu na ostale vrste. Konstatovani su suprotni trendovi promene koncentracije K u odnosu na cikluse u nadzemnoj biomasi i korenu. Značajno više ($p<0,05$) K je usvojeno u nadzemnoj biomasi na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na sve ostale cikluse ($p>0,05$), dok su u korenu biljke sadržale značajno više ($p<0,05$) K neposredno pre početka prvog eksperimenta u odnosu na eksperimentalni period ($p>0,05$). Nisu uočene značajne interakcije biljnih vrsta i ciklusa u promeni sadržaja K u korenu ispitivanih vrsta ($p>0,05$).

Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Mg u svim vegetativnim delovima su konstatovane kod *C. indica* u odnosu na sve ostale vrste. Trendovi promene sadržaja Mg u nadzemnoj biomasi i korenu u odnosu na cikluse su bili slični, pri čemu su značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Mg imale biljke pre početka eksperimenata i na kraju prvog ciklusa, a zatim su se koncentracije do kraja eksperimentalnog ciklusa smanjivale ($p>0,05$).

U nadzemnoj biomasi značajno veći ($p<0,05$) sadržaj Mn je konstatovan kod *C. indica* u odnosu na sve ostale vrste, dok je vrsta *A. plantago - aquatica* imala značajno više ($p<0,05$) Mn u rizomu u odnosu na sve ostale vrste ($p>0,05$). Nisu primećene značajne razlike ($p>0,05$) u koncentraciji Mn u korenu različitih vrsta biljaka. Dužina izlaganja biljaka Mn nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa u nadzemnoj biomasi po ciklusima ($p>0,05$). Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Mn u korenu su konstatovane pre početka prvog eksperimenta u odnosu na ostale cikluse.

Sadržaj Mn se zatim u prvom i drugom ciklusu smanjio, da bi ponovo porastao na kraju prvog i trećeg eksperimenta. Nisu uočene značajne interakcije biljnih vrsta i ciklusa u promeni sadržaja Mn u nadzemnoj biomasi ($p>0,05$).

Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Na su konstatovane u nadzemnoj biomasi vrsta *A. plantago - aquatica* i *M. trifoliata* u odnosu na druge vrste. *A. plantago - aquatica* je imala i značajno više ($p<0,05$) Na u rizomu u odnosu na druge vrste, dok je *C. indica* koncentrisala značajno više ($p<0,05$) ovog elementa u korenu u odnosu na sve druge vrste. Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Na u nadzemnoj biomasi su konstatovane na kraju trećeg eksperimenta u odnosu na sve cikluse prvog eksperimenta ($p>0,05$), dok je koren biljaka uzorkovanih neposredno pre početka prvog eksperimenta sadržao značajno više ($p<0,05$) Na u odnosu na sve cikluse eksperimentalnog perioda ($p>0,05$). Nisu uočene značajne interakcije biljnih vrsta i ciklusa u promeni sadržaja Na ni u nadzemnoj biomasi ni u korenu ($p>0,05$).

Nikl (Ni) je konstatovan samo u podzemnoj biomasi, dok se u nadzemnoj biomasi nalazio ispod limita detekcije (Tabela 3.). Značajno veće koncentracije ($p<0,05$) Ni u korenu je imala vrsta *P. australis* u odnosu na sve ostale vrste, dok se sadržaj ovog elementa u rizomu nije značajno ($p>0,05$) menjao u odnosu na vrstu. Dužina izlaganja biljaka Ni nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa u korenu po ciklusima ($p>0,05$).

Vrsta *P. australis* je u nadzemnoj biomasi i korenu sadržala značajno više ($p<0,05$) P u odnosu na sve druge ispitivane vrste. Kao i u slučaju Ni, sadržaj ovog elementa se u rizomu nije značajno ($p>0,05$) menjao u odnosu na vrstu biljke. Sadržaj P u nadzemnoj biomasi se tokom eksperimentalnog perioda povećavao, a značajno veća ($p<0,05$) koncentracija P je konstatovana na kraju eksperimentalnog perioda u odnosu na sve ostale cikluse. Trend promene koncentracija P u korenu u odnosu na vreme izlaganja biljaka zagađenoj vodi je bio drugačiji. Značajne razlike nisu konstatovane ($p>0,05$) u sadržaju P pre početka eksperimenata i u prva dva ciklusa, dok su zabeležene značajno veće ($p<0,05$) koncentracije P na kraju trećeg ciklusa u odnosu na pomenute cikluse i početak. Koren biljaka je na kraju trećeg eksperimenta sadržao značajno najniže ($p<0,05$) P u korenu u odnosu na sve ostale cikluse.

Vrsta *P. australis* je u nadzemnoj biomasi sadržala i značajno veće ($p<0,05$) koncentracije S u odnosu na sve ostale vrste. U rizomu značajno veći ($p<0,05$) sadržaj S

su imale vrste *C. indica* i *A. plantago - aquatica* u odnosu na sve ostale vrste ($p>0,05$). Vrsta *C. indica* je koncentrisala značajno više ($p<0,05$) S i u korenu u odnosu na sve ostale vrste ($p>0,05$). Kao i kod K, konstatovani su suprotni trendovi promene koncentracije S u odnosu na cikluse u nadzemnoj biomasi i korenu. Značajno više ($p<0,05$) S je usvojeno u nadzemnoj biomasi tokom svih ciklusa eksperimentalnog perioda ($p>0,05$) u odnosu na period neposredno pre početka prvog ciklusa, dok su u korenu biljke sadržale značajno manje ($p<0,05$) S na kraju eksperimentalnog perioda u odnosu na početne koncentracije i prvi eksperiment ($p>0,05$). Nisu uočene značajne interakcije biljnih vrsta i ciklusa u promeni sadržaja S ni u nadzemnoj biomasi ni u korenu ($p>0,05$).

Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Sr su konstatovane u nadzemnoj biomasi vrste *I. pseudacorus* u odnosu na sve ostale vrste. Druga vrsta perunike, *I. sibirica* 'Perry's Blue' je sadržala značajno veće ($p<0,05$) koncentracije ovog elementa u rizomu u odnosu na druge vrste, dok je u korenu vrsta *A. plantago - aquatica* koncentrisala najviše Sr. Dužina izlaganja biljaka Sr nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa u nadzemnoj biomasi po ciklusima ($p>0,05$). Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije Sr u korenu su konstatovane u prvom i drugom ciklusu u odnosu na početne koncentracije i na kraj trećeg eksperimenta ($p>0,05$).

Vrste *P. australis* i *M. trifoliata* su koncentrisale značajno više ($p<0,05$) Zn u nadzemnoj biomasi u odnosu na sve ostale ispitivane vrste. U korenu značajno veći ($p<0,05$) sadržaj Zn su imale vrste *P. australis*, *I. pseudacorus* i *L. salicaria* u odnosu na ostale vrste ($p>0,05$). Sadržaj ovog elementa se u rizomu nije značajno ($p>0,05$) menjao u odnosu na vrstu biljke. Kao i u slučaju Sr, dužina izlaganja biljaka Zn nije imala značaj na različito usvajanje ovog elementa u nadzemnoj biomasi po ciklusima ($p>0,05$). Značajno niže ($p<0,05$) koncentracije Zn u korenu se konstatovane pre početka i na kraju eksperimentalnog perioda u odnosu na ostale cikluse, a najveće koncentracije ovog elementa su zabeležene u korenu biljaka uzorkovanih na kraju drugog ciklusa.

6.2.2.2 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u algama

Determinacijom uzoraka algi koje su se razvile u biološkom sistemu utvrđeno je da se u okviru petog bazena stvorila monokultura makroskopske alge iz roda *Cladophora*

sp. Dalja determinacija vrste alge je bila otežana, jer nisu postojale nikakve druge strukture na talusu, ali se pretpostavilo ga je u pitanju *C. glomerata* (Linnaeus) Kützinger. s obzirom da je ova alga široko rasprostranjena i veoma brojna u rekama tipa Topčiderske reke.

Rezultati ispitivanja koncentracija različitih teških metala i drugih elemenata (Tabela 34.), koji mogu da budu okarakterisani kao makro- i mikro-nutrijenti su pokazali da je od 23 analizirana elementa (Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sr, Zn) u algama iz roda *Cladophora* sp. detektovano njih 17. Iako su se neki od ovih elemenata u uzorcima zagađene i prečišćene vode nalazili ispod limita detekcije, alge su uspele da ih koncentrišu u svoja tkiva u značajnoj meri. Ni u jednom uzorku algi nisu pronađeni sledeći elementi: Cd, Co, Hg, Mo, Pb i Se, odnosno oni su se nalazili ispod limita detekcije instrumenta (Tabela 3.), tako da u tabeli nisu prikazani.

U uzorcima algi uzetih neposredno pre početka prvog eksperimenta Al se nalazio u koncentraciji od 185,149 mg/kg (Tabela 34.). Tokom prvog eksperimenta, sadržaj Al u algama je povećan, a maksimum je dostigao u drugom ciklusu sa vrednošću od 360,371 mg/kg. Alge su u trećem eksperimentu sadržale mnogo manje Al u svojim tkivima tako je koncentracija ovog elementa iznosila 42,543 mg/kg.

Koncentracija As konstatovana na početku prvog eksperimenta je iznosila 2,692 mg/kg suve mase algi (Tabela 34.). Tokom prvog ciklusa ova vrednost je povećana, da bi maksimum 8,386 mg/kg dostigla u drugom ciklusu. Tokom trećeg ciklusa As u algama nije detektovan. Nešto niža koncentracija As u odnosu na prva dva ciklusa (C_1 i C_2) od 3,387 mg/kg je konstatovana u trećem eksperimentu.

Početna koncentracija B je u algama iznosila 172,268 mg/kg (Tabela 34.). Na kraju prvih ciklusa prvog i trećeg eksperimenta ovaj element se nalazio ispod limita detekcije, a u drugom i trećem ciklusu je bio u dosta nižim koncentracijama u odnosu na početne. Najniži sadržaj B je detektovan u trećem ciklusu i iznosio je 9,703 mg/kg.

Početna koncentracija Ba od 66,603 mg/kg suve mase algi se tokom prvog eksperimenta snižavala iz ciklusa u ciklus, tako da je minimum od 43,309 mg/kg dostigla u trećem ciklusu (Tabela 34.). Tokom trećeg eksperimenta ova vrednost je neznatno povećana i iznosila je 44,804 mg/kg.

Koncentracije Ca u algama su prvom i trećem eksperimentu porasle u odnosu na početnu koncentraciju od 186,450 g/kg (Tabela 34.). Alge su na kraju prvih ciklusa prvog i trećeg eksperimenta imale približno jednake koncentracije Ca u svojim tkivima, pri čemu je maksimalna koncentracija od 255,000 g/kg konstatovana u prvom eksperimentu. Sadržaj Ca u algama tokom trećeg ciklusa je bio nešto niži u odnosu na druge cikluse.

Početna koncentracija Cr u algama je iznosila 1,273 mg/kg (Tabela 34.). U algama je Cr detektovan još samo u trećem ciklusu u koncentracijama od 2,386 mg/kg, dok se u ostalim ciklusima nalazio ispod limita detekcije.

Sadržaj Cu se u algama od početno konstatovanih 35,912 mg/kg smanjivao iz ciklusa u ciklus, tako da je minimalnu koncentraciju od 3,014 mg/kg dostigao u algama u trećem eksperimentu (Tabela 34.).

Početna koncentracija Fe u algama od 235,224 mg/kg je tokom prvog eksperimenta povećana pri čemu je maksimum od 590,029 mg/kg dostigla u drugom ciklusu (Tabela 34.). Dosta niža koncentracija Fe u algama je konstatovana u trećem eksperimentu i iznosila je 82,441 mg/kg.

U uzorcima algi uzetih neposredno pre početka prvog eksperimenta koncentracija K je iznosila 22,183 g/kg (Tabela 34.). Sadržaj K se u algama dosta smanjio tokom prva dva ciklusa (C_1 i C_2) tako da je minimalna koncentracija K u algama od 8,588 g/kg konstatovana u drugom ciklusu. Koncentracija K je u algama porasla u trećem ciklusu prvog eksperimenta (18,271 g/kg), da bi se neznatno opet smanjila u trećem eksperimentu (17,982 g/kg).

Slično kako i kod sadržaja Cu u algama, koncentracije Mg su se smanjivale iz ciklusa u ciklus u odnosu na početnu koncentraciju Mg u algama od 6,961 g/kg (Tabela 34.). Minimum je dostignut u trećem eksperimentu pri koncentraciji od 2,665 g/kg suve mase algi.

Tokom prvog eksperimenta u ciklusima su konstatovane više koncentracije Mn u odnosu početni sadržaj Mn u algama od 121,691 mg/kg (Tabela 34.). Najviša koncentracija je zabeležena u trećem ciklusu i iznosila je 369,867 mg/kg suve mase algi. Na kraju trećeg eksperimenta koncentracija Mn u algama (93,204 mg/kg) je bila niža u odnosu na početnu koncentraciju i one koje su konstatovane tokom prvog eksperimenta.

Tabela 34. Koncentracije različitih elemenata u algama (*Cladophora* sp.) po ciklusima prečišćavanja

Ciklus	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	B (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Ca (g/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	K (g/kg)	Mg (g/kg)	Mn (mg/kg)	Na (mg/kg)	Ni (mg/kg)	P (g/kg)	S (g/kg)	Sr (mg/kg)	Zn (mg/kg)
C0	185,149	2,692	172,268	66,603	186,450	1,273	35,912	235,224	22,183	6,961	121,691	1685,423	5,980	13,838	23,798	498,600	37,930
C1	325,048	5,959	nd	60,565	255,000	nd	28,062	478,491	4,565	6,303	282,962	367,788	5,494	16,541	11,887	359,443	74,488
C2	360,371	8,386	12,977	57,975	234,844	nd	10,180	590,029	8,588	5,064	205,698	554,900	4,679	23,332	18,592	326,987	58,490
C3	258,478	nd	9,703	43,309	197,268	2,386	16,827	460,955	18,271	3,393	369,867	610,321	3,671	28,562	24,314	217,113	23,501
C4	42,543	3,387	nd	44,804	252,796	nd	3,014	82,441	17,982	2,665	93,204	804,421	2,273	15,335	21,525	198,134	18,962

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka algi uzetog sa 5 mesta u bazenu. Ciklusi: C0 - početak prvog eksperimenta, C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta, C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta, C3 - treći ciklus prvog eksperimenta, C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta. nd - nije detektovano.

Suprotan trend promene koncentracije usvojenog elementa je primećen kod Na. Početne koncentracije Na su iznosile 1685,423 mg/kg suve mase algi (Tabela 34.). U toku prvog eksperimenta alge su sadržale dosta manje Na, a minimum od 367,788 je dostignut u prvom ciklusu. Takođe je primećeno i da se sadržaj Na u algama iz ciklusa u ciklus povećavao tako da je maksimalan sadržaj Na u eksperimentima konstatovan u trećem eksperimentu i iznosio je 804,421 mg/kg suve mase algi.

Početna koncentracija Ni od 5,980 mg/kg suve mase algi (Tabela 34.) je tokom eksperimenata opadala iz ciklusa u ciklus, tako da je minimalan sadržaj Ni u algama od 2,273 mg/kg konstatovan u trećem eksperimentu.

Pre početka prvog eksperimenta u algama je detektovan sadržaj P od 13,838 g/kg (Tabela 34.). Kako je eksperimenta odmicao koncentracija P se u algama povećavala, a maksimalna koncentracija je dostignuta u trećem ciklusu i iznosila je 28,562 g/kg. Na kraju trećeg eksperimenta ova vrednost je smanjena, ali je sadržaj P u algama (15,335 g/kg) i dalje bio veći u odnosu na početnu vrednost.

Početna koncentracija S u algama od 23,798 g/kg je na kraju prvog ciklusa snižena na 11,887 g/kg suve mase algi (Tabela 34.). Do kraja prvog eksperimenta sadržaj S u algama je rastao i maksimum je dostigao u trećem ciklusu (24,314). Na kraju trećeg eksperimenta koncentracija S u algama je bila nešto niža u odnosu na početne vrednosti i iznosila je 21,525 g/kg.

Početni sadržaj Sr u algama od 498,600 mg/kg je tokom eksperimenata opadao, tako da je minimum dostigao na kraju trećeg eksperimenta pri koncentraciji od 198,134 mg/kg suve mase algi (Tabela 34.).

Koncentracija Zn je na kraju prvog ciklusa (74,488 mg/kg) bila dvostruko veća u odnosu na početni sadržaj Zn u algama (37,930 mg/kg). Do kraja oba eksperimenta koncentracija Zn u algama se smanjivala, a minimalna koncentracija je kao i kod Sr konstatovana na kraju trećeg eksperimenta i iznosila je 18,962 mg/kg (Tabela 34.).

6.2.2.3 Koncentracija polutanata i makro- i mikro- nutrijenata u supstratu

Rezultati ispitivanja koncentracija različitih teških metala i drugih elemenata (Tabela 35.) su pokazali da je od 23 analizirana elementa (Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sr, Zn) u kamenoj vuni kao supstratu detektovano njih 17. Iako su se neki od ovih elemenata u uzorcima zagađene i

prečišćene vode nalazili ispod limita detekcije, u supstratu ih je bilo u značajnoj količini. Ni u jednom uzorku kamene vune nisu pronađeni sledeći elementi: As, Cd, Hg, Mo, Pb i Se, odnosno oni su se nalazili ispod limita detekcije instrumenta (Tabela 3.), tako da u tabeli nisu prikazani.

Koncentracije Al, Ca, Fe i Na su pokazale isti trend promene tokom eksperimentalnog perioda. U uzorcima kamene vune uzetim neposredno pre početka prvog eksperimenta nisu konstatovane značajno različite ($p>0,05$) koncentracije ovih elemenata u odnosu na koncentracije u kontroli. Koncentracije su zatim rasle, tako da su na kraju prvog ciklusa bile značajno veće ($p<0,05$) u odnosu na druge cikluse. Sadržaj Al, Ca, Fe i Na je zatim opadao do kraja eksperimentalnog perioda, gde su na kraju prvog i trećeg eksperimenta konstatovane značajno niže koncentracije ovih elemenata u odnosu na druge cikluse.

Drugu grupu elemenata u odnosu na sličan trend promene su činili B, Cu, K i Mg. Koncentracije ovih elemenata pre početka eksperimenata i u prvom ciklusu se nisu značajno razlikovale ($p>0,05$) od kontrole, a zatim je sadržaj B, Cu, K i Mg opadao ($p<0,05$) i taj trend je zadržan do kraja eksperimenta ($p>0,05$).

Značajno manje ($p<0,05$) koncentracije Ba i Mn su konstatovane u supstratu pre početka prvog eksperimenata u odnosu na kontrolu. U prvom ciklusu ove koncentracije su se neznatno, ali ne i značajno ($p>0,05$) povećale, da bi do kraja eksperimentalnog perioda značajno opale ($p<0,05$) u odnosu na prethodni period.

Koncentracije Co i Cr su bile značajno veće u kontroli u odnosu na eksperimentalni period. Zabeležene je trend opadanja koncentracija ovih elemenata sa povećanjem dužine izlaganja supstrata zagađenoj vodi.

Značajne razlike u sadržaju Ni, P i Zn u supstratu nisu konstatovane ($p>0,05$) u zavisnosti od ciklusa prečišćavanja.

Značajno veće ($p<0,05$) koncentracije S su konstatovane u uzorcima kamene vune pre početka eksperimentalnog perioda u odnosu na kontrolu i drugi ciklus ($p>0,05$). Međutim, nisu konstatovane značajne razlike ($p>0,05$) između koncentracije S u supstratu tokom prvog i trećeg eksperimenta.

Značajno manje ($p<0,05$) koncentracije Sr u supstratu su konstatovane na kraju drugog i trećeg ciklusa u odnosu na kontrolu.

Tabela 35. Koncentracije različitih elemenata u supstratu (mg/kg) zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 64813,56±1563,11 ^b	65,15±4,88 ^a	277,30±4,86 ^{bc}	129236,63±3667,09 ^b	21,79±0,40 ^{bc}	33,57±0,83 ^{bc}	17,77±0,27 ^{ab}	34781,43±714,80 ^b	4618,49±101,58 ^{ab}
	C1	77911,71±2300,21 ^a	60,64±3,38 ^{ab}	307,10±9,61 ^{ab}	149060,75±11056,49 ^a	22,82±0,61 ^b	36,07±0,91 ^b	19,59±0,62 ^a	41790,52±1324,98 ^a	5052,63±164,23 ^a
	C2	67446,11±3757,99 ^b	47,55±5,07 ^{bc}	250,83±20,92 ^{cd}	129412,23±4080,87 ^{bc}	18,38±1,59 ^d	30,64±2,85 ^{cd}	16,38±1,48 ^{bc}	37128,66±1889,86 ^{ab}	4331,37±219,86 ^{bc}
	C3	46002,63±4834,68 ^c	37,94±5,01 ^c	237,24±15,44 ^d	115314,92±5720,99 ^b	17,58±1,35 ^d	28,08±2,92 ^d	14,91±1,01 ^c	26392,09±2535,12 ^c	3690,36±234,47 ^d
	C4	45245,76±4508,97 ^c	44,52±4,70 ^c	258,34±13,78 ^{cd}	100169,72±8646,46 ^c	19,76±1,22 ^{cd}	29,99±1,89 ^{cd}	16,85±0,99 ^{bc}	26171,03±2525,05 ^c	4098,09±205,35 ^{cd}
	Ø	63189,28±1524,23 ^b	63,21±5,59 ^a	327,07±0,71 ^a	118122,57±2123,08 ^{bc}	25,91±0,33 ^a	49,08±0,29 ^a	17,65±0,11 ^{ab}	34802,65±831,15 ^b	4605,12±7,36 ^{ab}
		^B F _{5,66} =14,49*	F _{5,66} =5,49*	F _{5,66} =7,36*	F _{5,66} =6,18*	F _{5,66} =8,93*	F _{5,66} =16,11*	F _{5,66} =3,16*	F _{5,66} =11,76*	F _{5,66} =7,33*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta, Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 35. Koncentracije različitih elemenata u supstratu (mg/kg) zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	51167,86±1331,99 ^a	825,31±17,54 ^{bc}	16374,86±436,81 ^b	9,26±0,73	1139,20±26,96	1943,38±351,25 ^a	436,55±9,54 ^{abc}	48,53±1,01
	C1	57204,85±1921,96 ^a	915,09±34,34 ^{ab}	19190,07±572,66 ^a	8,65±0,43	1270,49±85,65	1618,60±152,30 ^{ab}	462,39±31,05 ^a	50,76±1,86
	C2	50983,87±2238,61 ^a	738,83±67,39 ^{dc}	17227,65±700,17 ^{ab}	8,90±0,88	1104,28±89,33	1247,64±105,34 ^b	358,78±30,67 ^d	46,66±4,51
	C3	39571,74±3646,45 ^b	708,16±36,73 ^d	12916,74±986,34 ^c	7,81±0,83	1137,43±74,44	1474,94±115,32 ^{ab}	377,77±20,78 ^{cd}	39,90±2,38
	C4	37513,05±3529,54 ^b	781,64±23,19 ^{cd}	12869,70±1038,91 ^c	8,00±0,66	1079,01±60,72	1460,31±149,42 ^{ab}	382,91±23,56 ^{bcd}	44,47±2,57
	Ø	52197,53±1139,30 ^a	934,53±5,75 ^a	16670,87±366,16 ^b	8,00±0,55	1129,09±3,99	1153,48±15,43 ^b	443,56±2,02 ^{ab}	44,10±0,39
		F _{5,66} =9,66*	F _{5,64} =6,34*	F _{5,64} =11,82*	ns	ns	F _{5,66} =12,45*	F _{5,66} =3,61*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta, Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

6.2.3 Ispitivanje fizioloških pokazatelja vezanih za proces fotosinteze

Merenje sadržaja hlorofila a, hlorofila b i karotenoida je izvršeno dva puta tokom vegetacije sa razmakom od mesec i po dana i tom prilikom su primećene razlike u vrednostima fotosintetičkih pigmenata (Tabela 36.). Sadržaj hlorofila a je kod svih vrsta bio veći kod biljaka uzorkovanih kasnije tokom vegetacione sezone, osim kod vrste *P. communis* u kontroli. Sadržaj hlorofila b je takođe kod svih vrsta bio veći kod drugog uzorkovanja biljaka, osim kod vrste *P. communis* u kontroli i III bazenu. Ukupan sadržaj hlorofila (a+b) je pratio isti trend promene kao i sadržaj hlorofila a. Sadržaj karotenoida se takođe sa vremenom povećavao u svim biljkama, osim kod vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu i vrste *C. indica* u kontroli.

Tokom prvog merenja (Tabela 36.) najmanje hlorofila a je sadržala vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu (0,027 mg/g) i kontroli (0,024 mg/g). Vrsta *M. trifoliata* je sadržala najviše hlorofila a u IV bazenu (0,080 mg/g) u odnosu na sve ostale biljke u biološkom sistemu. U kontroli najveću vrednost hlorofila a je imala vrsta *P. communis* (0,299 mg/g). Tokom drugog merenja (Tabela 36.) najmanje hlorofila a su sadržale vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu (0,096 mg/g) i *I. pseudacorus* u kontroli (0,150 mg/g). Najveće vrednosti za hlorofil a tokom drugog merenja su imale vrste *C. indica* u II bazenu (0,216 mg/g) i *L. salicaria* u kontroli (0,518 mg/g).

Tokom prvog merenja (Tabela 36.) vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu (0,045 mg/g) i kontroli (0,004 mg/g) je imala i najmanji sadržaj hlorofila b. Najveći sadržaj hlorofila b u odnosu na druge vrste su imale vrste *C. indica* u III bazenu (0,092 mg/g) i *P. communis* u kontroli (0,209 mg/g). Tokom drugog merenja (Tabela 36.) najmanje hlorofila b su sadržale vrste *P. communis* u III bazenu (0,065 mg/g) i *I. pseudacorus* u kontroli (0,128 mg/g). Najveći sadržaj hlorofila b u odnosu na druge vrste su imale vrste *C. indica* u III bazenu (0,165 mg/g) i *L. salicaria* u kontroli (0,388 mg/g).

Kao i u slučaju sadržaja hlorofila a i hlorofila b, tokom prvog merenja, vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu (0,072 mg/g) i kontroli (0,028 mg/g) je imala i najmanji sadržaj ukupnog hlorofila (a+b) (Tabela 36.). Vrste *M. trifoliata* u IV bazenu (0,168 mg/g) i *P. communis* u kontroli (0,508 mg/g) su sadržale najviše ukupnog hlorofila u odnosu na druge biljke. Tokom drugog merenja (Tabela 36.) najmanje

ukupnog hlorofila su sadržale vrste *P. communis* u I bazenu (0,193 mg/g) i *I. pseudacorus* u kontroli (0,278 mg/g). Najveći sadržaj ukupnog hlorofila u odnosu na druge vrste su imale vrste *C. indica* u II bazenu (0,365 mg/g) i *L. salicaria* u kontroli (0,906 mg/g).

Tokom prvog merenja (Tabela 36.) vrste *P. communis* u I bazenu (0,015 mg/g) i *I. sibirica* 'Perry's Blue' u kontroli (0,025 mg/g) su imale najmanji sadržaj karotenoida, dok je sadržaj ovih pigmenata kod vrsta *C. indica* u II bazenu (0,052 mg/g) i u kontroli (0,098 mg/g) bio najveći u odnosu na druge vrste. Tokom drugog merenja (Tabela 36.) najmanje karotenoida su sadržala vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu (0,026 mg/g), kao i u kontroli (0,043 mg/g). Najveći sadržaj karotenoida u odnosu na druge vrste su imale vrste *C. indica* u I bazenu (0,299 mg/g) i *A. plantago - aquatica* u kontroli (0,210 mg/g).

Vrednost odnosa hlorofila a/b tokom prvog merenja (Tabela 36.) je bila najmanja kod vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u IV bazenu (0,592 mg/g) i kod vrste *C. indica* u kontroli (0,903 mg/g), dok su najveće vrednosti zabeležene kod vrste *L. salicaria* u IV bazenu (1,36 mg/g) i vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u kontroli (5,336 mg/g). Drugo merenje (Tabela 36.) je pokazalo da je odnosa hlorofila a/b bio najmanji kod vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' u bazenu IV (0,601 mg/g), ali i u kontroli (1,128 mg/g). Najviše vrednosti su zabeležene kod vrste *P. communis* u III bazenu (2,839 mg/g) i vrste *M. trifoliata* u kontroli (1,632 mg/g).

Odnos sadržaja hlorofila i ukupnih karotenoida, u prvom merenju (Tabela 36.), je bio najmanji kod vrste *I. sibirica* 'Perry's Blue' kako u IV bazenu (2,059 mg/g), tako i u kontroli (1,113 mg/g), dok su najveće vrednosti zabeležene kod vrsta *P. communis* u II bazenu (8,179 mg/g) i *A. plantago – aquatica* u kontroli (6,506 mg/g). Tokom drugog merenja (Tabela 36.), najmanji odnos sadržaja hlorofila i ukupnih karotenoida je primećen kod vrste *C. indica* u II bazenu (1,220 mg/g) i vrste *A. plantago – aquatica* u kontroli (3,861 mg/g). Vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' (7,750 mg/g) je imala najveći odnos sadržaja ova dva pigmenta u odnosu na druge biljke u IV bazenu (9,920 mg/g) i u kontroli (7,750 mg/g).

Tabela 36. Sadržaj i odnos fotosintetičkih pigmenata biljaka u biološkom sistemu (tretmanu) i kontroli

Vrsta (Bazen)	a ₁	b ₁	a+b ₁	k ₁	a ₁ /b ₁	(a ₁ +b ₁)/k ₁	a ₂	b ₂	a+b ₂	k ₂	a ₂ /b ₂	(a ₂ +b ₂)/k ₂
PC (I)	0,059	0,061	0,120	0,015	0,976	8,179	0,109	0,085	0,193	0,105	1,282	1,832
PC (III)	0,054	0,069	0,123	0,019	0,792	6,561	0,184	0,065	0,248	0,179	2,839	1,390
PC (Ø)	0,299	0,209	0,508	0,096	1,431	5,282	0,249	0,196	0,445	0,106	1,273	4,203
C (II)	0,068	0,078	0,146	0,052	0,879	2,781	0,216	0,149	0,365	0,299	1,447	1,220
CI (III)	0,060	0,092	0,152	0,025	0,657	6,109	0,172	0,165	0,336	0,089	1,044	3,766
CI (Ø)	0,073	0,081	0,153	0,098	0,903	1,564	0,245	0,182	0,427	0,091	1,346	4,707
IP (IV)	0,054	0,069	0,123	0,022	0,792	5,523	0,127	0,102	0,229	0,068	1,242	3,384
IP (Ø)	0,111	0,036	0,147	0,029	3,041	5,148	0,150	0,128	0,278	0,061	1,169	4,587
IS (IV)	0,027	0,045	0,072	0,035	0,592	2,059	0,096	0,159	0,254	0,026	0,601	9,920
IS (Ø)	0,024	0,004	0,028	0,025	5,336	1,113	0,177	0,157	0,334	0,043	1,128	7,750
APA (IV)	0,056	0,078	0,134	0,019	0,720	7,012	0,119	0,163	0,283	0,109	0,730	2,599
APA (Ø)	0,136	0,103	0,239	0,037	1,327	6,506	0,490	0,323	0,812	0,210	1,519	3,861
LS (IV)	0,069	0,051	0,120	0,023	1,366	5,250	0,114	0,129	0,243	0,045	0,879	5,383
LS (Ø)	0,143	0,111	0,254	0,050	1,293	5,048	0,518	0,388	0,906	0,170	1,336	5,322
MT (IV)	0,080	0,088	0,168	0,043	0,907	3,896	0,211	0,135	0,347	0,087	1,563	4,006
MT (Ø)	0,197	0,132	0,329	0,066	1,500	5,016	0,482	0,295	0,777	0,170	1,632	4,579
SV±SE (B)	0,059±0,005	0,070±0,005	0,129±0,009	0,028±0,004	0,853±0,076	5,263±0,670	0,150±0,015	0,128±0,012	0,278±0,020	0,112±0,027	1,292±0,221	3,722±0,897
SV±SE (Ø)	0,140±0,034	0,096±0,025	0,237±0,058	0,057±0,011	2,119±0,594	4,239±0,775	0,330±0,060	0,238±0,037	0,568±0,097	0,122±0,024	1,343±0,068	5,001±0,489
p-vrednost	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05

Svaka vrednost predstavlja vrednost zbirnog uzorka uzetog sa jedne biljne vrste u okviru jednog bazena ili kontrole. Sadržaj fotosintetičkih pigmenata: a - hlorofil a (mg/g), b - hlorofil b (mg/g), a+b - ukupan hlorofil (mg/g), k - karotenoidi (mg/g), a/b - odnos hlorofila a i hlorofila b (mg/g), (a+b)/k - odnos hlorofila a i b i karotenoida (mg/g). Vreme uzorkovanja: ₁ - prvo uzorkovanje, ₂ - drugo uzorkovanje. Vrste biljaka: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago-aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Bazeni: I, II, III, IV, Ø (kontrola). SV±SE (B) - srednja vrednost svakog parametra±standardna greška u tretmanu, SV±SE (Ø) - srednja vrednost svakog parametra±standardna greška u kontroli, p-vrednost - značajnost razlike između tretmana i kontrole.

Jednofaktorska analiza varijanse je pokazala da su se srednje vrednosti sadržaja hlorofila a u biološkom sistemu (tretmanu) i kontroli (Tabela 36.), u prvom i drugom merenju, statistički značajno razlikovale ($p=0,0158$; $p=0,0059$), pri čemu su veću vrednost imale biljke u kontroli. Pored toga, utvrđena je statistički značajna razlika u srednjim vrednostima hlorofila b ($p=0,0069$), kao i ukupnog sadržaja hlorofila ($p=0,0049$) između biljaka u tretmanu i kontroli, ali samo u drugom merenju.

Srednja vrednost ukupnih karotenoida, u prvom merenju (Tabela 36.), je bila veća kod biljaka u kontroli ($p=0,0198$). Pored toga ove biljke su imale i veću srednju vrednost odnosa hlorofila a/b ($p=0,0306$) u odnosu na vrednost biljaka koje su rasle u tretmanu. U drugom merenju, nije primećena statistički značajna razlika ($p>0,05$) u sadržaju karotenoida i u odnosu hlorofila a/b između poređenih vrsta. Takođe, srednje vrednosti odnosa hlorofila a i b i karotenoida kod biljaka gajenih u biološkom sistemu i kontroli se nisu statistički značajno razlikovale ($p>0,05$), bez obzira na vreme uzrokovanja.

6.2.4 Procena dobijene biomase biljaka u biološkom sistemu

Rezultati istraživanja dobijene biomase u biološkom sistemu su pokazali da su do kraja eksperimenta skoro sva ostrva u potpunosti bila obrasla zasađenim biljkama i da je dobijena znatna količina biomase.

U okviru prvog bazena vrsta *P. australis* je početnu svežu biomasu pri sadnji od 297,58 g povećala na 2734,69 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Suva biomasa je sa početnih 99,39 g povećana na 916,09 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Rast biljaka je na sva tri ostrva bio prilično ujednačen.



Slika 31. Početna (levo) i krajnja (desno) biomasa vrste *P. australis* u prvom bazenu

U okviru drugog bazena vrsta *C. indica* je početnu svežu biomasu pri sadnji od 1341,78 g povećala na 2382,95 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Suva biomasa je sa početnih 191,22 g povećana na 316,68 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Rast biljaka je na sva tri ostrva bio prilično ujednačen do trenutka kada su na drugom i trećem ostrvu kane počele da propadaju. Međutim, vrlo brzo je primećeno pojavljivanje novih stabljika iz rizoma, što upućuje na činjenicu da je propadanje biljaka, odnosno njihovih nadzemnih delova, bilo samo privremena i da kana ima dobru regenerativnu sposobnost. Maksimalna vrednost krajnje biomase je dobijena na prvom ostrvu.



Slika 32. Početna (levo) i krajnja (desno) biomasa vrste *C. indica* u drugom bazenu



Slika 33. Propadanje biljka *C. indica* (levo) u drugom bazenu i njihova regeneracija (desno)

U okviru trećeg bazena vrsta *P. australis* je početnu svežu biomasu pri sadnji od 181,87 g povećala na 495,11 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Suva biomasa je sa početnih 95,06 g povećana na 213,68 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). U okviru istog bazena vrsta *C. indica*

je od početnih 686,18 g došla od 11588,05 g sveže biomase odnosno od 84,59 g do 1423,61 g suve biomase po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Maksimalna vrednost krajnje biomase je za trsku dobijena na ostrvu tri gde je zabeležena najmanja vrednost krajnje biomase kane (Tabela 37.). Na ostrvu dva je konstatovana najveća vrednost krajnje biomase kane, a na ostrvu jedan minimalna vrednost krajnje biomase trske.



Slika 34. Početna (levo) i krajnja (desno) biomasa vrste *P. australis* i *C. indica* u trećem bazenu

U okviru četvrtog bazena vrsta *I. pseudacorus* je početnu svežu biomasu pri sadnji od 73,39 g povećala na 765,05 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Suva biomasa je sa početnih 13,88 g povećana na 145,04 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). U okviru istog bazena druga vrsta perunike, *I. sibirica* 'Perry's Blue' je od početnih 913,06 g došla od 2395,08 g sveže biomase i od 243,82 g do 640,88 g suve biomase po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Vrsta *A. plantago - aquatica* je pri sadnji imala 74,47 g sveže biomase u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m², dok se na kraju eksperimenta ova vrednost povećala na 852,37g (Tabela 37.). Količina suve biomase po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² je kod iste biljke od 16,01 g došla do 161,09 g (Tabela 37.).

Tabela 37. Vrednost početne i krajnje biomase u biološkom sistemu

Vrsta (Bazen)	Broj zasađenih biljaka po ostrvu	Vreme uzorkovanja	Mesto uzorkovanja					
			O ₁		O ₂		O ₃	
			B'	B	B'	B	B'	B
PA (I)	25	s	316,25	105,42	196,25	70,09	380,25	122,66
		k	2985,61	992,20	2102,22	758,01	3116,23	998,05
CI (II)	25	s	1332,25	164,60	1239,50	191,15	1453,59	217,90
		k	4760,89	588,20	900,70	138,90	1487,25	222,95
PA (III)	12	s	119,76	65,66	231,12	133,55	194,74	85,96
		k	52,57	28,82	247,67	143,11	1185,08	523,12
CI (III)	13	s	718,64	81,31	606,45	77,83	733,44	94,64
		k	12809,06	1449,26	16231,96	2083,08	5723,14	738,49
IP (IV)	8	s	75,52	13,35	63,84	13,22	80,80	15,07
		k	741,93	131,13	693,93	143,70	859,30	160,29
IS (IV)	6	s	939,96	265,31	890,10	217,24	909,12	248,92
		k	2569,12	725,16	2233,50	545,11	2382,61	652,37
APA (IV)	5	s	76,10	21,35	72,80	12,01	74,50	14,68
		k	89,59	25,14	873,95	144,16	1593,58	313,98
LS (IV)	5	s	31,00	11,75	37,50	16,95	29,00	11,01
		k	3377,99	1280,73	3806,11	1720,35	2138,71	812,04
MT (IV)	6	s	264,96	53,40	257,40	53,29	273,48	53,99
		k	309,78	62,43	228,70	47,35	338,70	66,86

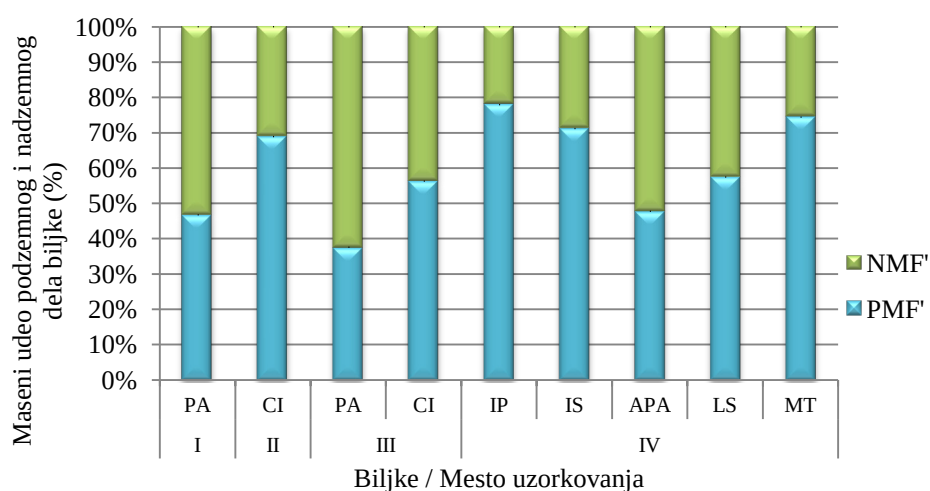
Svaka vrednost predstavlja zbirnu vrednost svih biljaka jedne vrste na jednom plutajućem ostrvu u okviru svakog bazena posebno. Vrste biljaka: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Bazeni: I, II, III, IV. Ostrva: O1- prvo plutajuće ostrvo, O2 - drugo plutajuće ostrvo, O3 - treće plutajuće ostrvo. Vreme uzorkovanja: s - u momentu sadnje, k - na kraju rada biološkog sistema. B' - sveža biomasa (g), B - suva biomasa (g).

Vrsta *L. salicaria* je početnu svežu biomasu pri sadnji od 32,50 g povećala na 3107,60 g na kraju eksperimenta, a suhu biomasu pri sadnji od 13,24 g povećala na 1271,04 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Vrsta *M. trifoliata* je početnu svežu masu od 265,28 g povećala na 292,39 g, a početnu suhu masu od 53,56 g povećala na 58,88 g u proseku po plutajućem ostrvu odnosno po 1 m² (Tabela 37.). Maksimalnu vrednost biomase vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' je ostvarila na prvom plutajućem ostrvu, *L. salicaria* na drugom, a *I. pseudacorus*, *A. plantago - aquatica* i *M. trifoliata* na trećem.

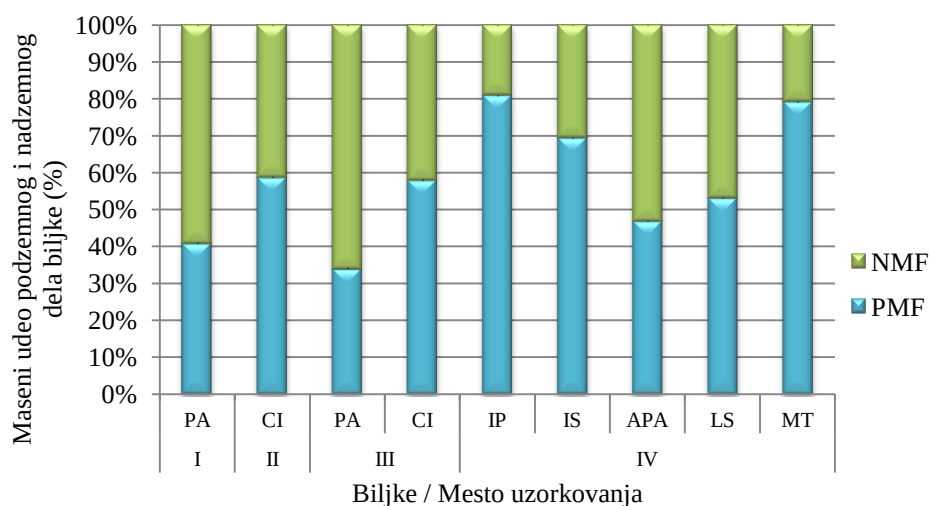


Slika 35. Početna (levo) i krajnja (desno) biomasa dekorativnih makrofita u četvrtom bazenu

Rezultati dobijeni analizom masenih udela krajnje nadzemne (NMF'i NMF) i podzemne biomase (PMF'i PMF) vrsta u biološkom sistemu su prikazani na Grafikonima 25. i 26. Vrsta *P. australis* je u okviru prvog i trećeg bazena imala veću vrednost NMF', a poređenjem suvih biomasa razlike u odnosu NMF i PMF su bile još uočljivije. Suprotan trend je konstatovan kod vrste *C. indica*, koja je veću alokaciju resursa imala u svežoj i suvoj podzemnoj biomasi u odnosu na nadzemnu, u bazenima II i III. Veće vrednosti PMF'i PMF su zabeležene i kod vrsta *I. pseudacorus*, *I. sibirica* 'Perry's Blue', *L. salicaria* i *M. trifoliata*. U okviru četvrtog bazena jedino je vrsta *A. plantago - aquatica* imala veću alokaciju resursa u svežoj i suvoj nadzemnoj biomasi u odnosu na podzemnu.



Grafikon 25. Maseni udeo krajnje nadzemne i podzemne sveže biomase vrsta u biološkom sistemu. Biljke: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Bazeni: I, II, III, IV. NMF' - maseni udeo nadzemnog dela biljke, PMF' - maseni udeo podzemnog dela biljke.



Grafikon 26. Maseni udeo krajnje nadzemne i podzemne suve biomase vrsta u biološkom sistemu. Biljke: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L. Bazeni: I, II, III, IV. NMF - maseni udeo nadzemnog dela biljke, PMF - maseni udeo podzemnog dela biljke.



Slika 36. Krajnja nadzemna (levo) i podzemna (desno) biomasa trske u I bazenu



Slika 37. Krajnja nadzemna (levo) i podzemna (desno) biomasa kane u II bazenu



Slika 38. Krajnja nadzemna (levo) i podzemna (desno) biomasa trske i kane u III bazenu



Slika 39. Krajnja nadzemna (levo) i podzemna (desno) biomasa makrofita u IV bazenu

Rezultati dobijeni analizom razlike krajnje i početne biomase biljaka odnosno dobijene biomase u biološkom sistemu (Tabela 38.) su pokazali da je vrsta *C. indica* ostvarila najveću biomasu u odnosu na sve druge biljke. Razlika između dobijene biomase ove vrste i drugih korišćenih vrsta bi bila još veća da nije došlo do propadanja kana u drugom bazenu. Od dekorativnih makrofita najveću biomasu je imala vrsta *L. salicaria*, a najmanju *M. trifoliata*, što je bilo i očekivano (Tabela 38.).

Tabela 38. Dobijena biomasa na kraju rada biološkog sistema po vrstama biljaka u različitim bazenima

Vrsta (Bazen)	Dobijena sveža biomasa	Dobijena suva biomasa
PA (I)	7311,31	2450,09
CI (II)	3123,50	376,40
PA (III)	939,70	409,88
CI (III)	32705,63	4017,05
IP (IV)	2075,00	393,48
IS (IV)	4446,05	1191,17
APA (IV)	2333,72	435,24
LS (IV)	9225,31	3773,41
MT (IV)	81,34	15,97

Svaka vrednost predstavlja razliku krajnje i početne biomase svih biljaka jedne vrste u okviru svakog bazena posebno. Sveža i suva biomasa su izražene u gramima (g).

Rezultati analize dobijene biomase u svakom bazenu posebno (Tabela 39.) su pokazali da je najviše biomase produkovano u trećem bazenu, čemu je doprinela vrsta *C. indica*. U četvrtom bazenu biljke su takođe ostvarile veliku biomasu u odnosu na količinu biomase dobijene u prvom i drugom bazenu.

Tabela 39. Dobijena biomasa na kraju rada biološkog sistema u svakom bazenu

Bazen	Ukupno dobijena sveža biomasa	Ukupno dobijena suva biomasa	Dobijena sveža biomasa po m ²	Dobijena suva biomasa po m ²
I	7311,31	2450,09	2437,10	816,70
II	3123,50	376,40	1041,17	125,47
III	33645,33	4426,93	11215,11	1475,64
IV	18161,43	5809,26	6053,81	1936,42

Svaka vrednost predstavlja zbirnu vrednost biomase svih biljaka u okviru svakog bazena posebno. Sveža i suva biomasa su izražene u g odnosno u g/m².

Biomasa algi nije praćena tokom eksperimenata, ali se na osnovu fotodokumentacionog materijala (Slika 40.) sa početka i kraja eksperimenta može konstatovati da su i alge imale značajno povećanje biomase.



Slika 40. Početna (levo) i krajnja (desno) biomasa algi u petom bazenu

6.2.5 Verodostojnost postavljenih hipoteza vezanih za biljku *Canna indica* L. i dekorativne makrofite gajene u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda

Na osnovu odabranog predmeta i ciljeva ovih istraživanja definisano je nekoliko polaznih hipoteza (H1, H2, H4 i H5) vezanih za biljku *Canna indica* L. i dekorativne makrofite u biološkom sistemu za tretman zagađenih voda. Dobijeni i analizirani rezultati istraživanja nedvosmisleno potvrđuju verodostojnost postavljenih hipoteza.

U okviru biološkog sistema sa plutajućim ostrvima prečišćavanje zagađene vode se odvijalo u pet bazena. U prva četiri bazena su bila smeštena plutajuća ostrva sa biljkama, a u petom bazenu su se nalazile alge. Vrste su odabrane na osnovu osobina, koje biljka pogodna za rizofiltraciju treba da poseduje, a koje su opisane u tački 6.1.6.

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da su biljke tokom vegetacione sezone usvajale značajne količine različitih elemenata iz zagađene vode i da su ih koncentrisale u svojoj podzemnoj biomasi. Pri tome su brzo rasle i stvarale značajnu količinu biomase. Takođe, odabrane vrste su se pokazale i kao veoma otporne na štetočine i bolesti. Tokom eksperimentalnog perioda na vrsti *Phragmites communis* Trin. (trska) su se pojavile biljne vaši (*Homoptera: Aphididae*) u dva navrata. Prva pojava je primećena

30. juna 2015. godine, a druga 30. septembra 2015. godine. S obzirom da je procenjeno da biljke ne pate i ne zaostaju u rastu zbog pomenutih štetočina, kao i pojave većeg broja bubamara (*Coccinellidae spp.*), koje predstavljaju prirodne neprijatelje ovih insekata mere borbe nisu primenjene, a biljke su nastavile da rastu. Ni na jednoj drugoj vrsti nisu primećeni ovi insekti. Sve vrste su dobro podnosile letnje temperature i visoku insolaciju. Međutim, u julu mesecu je došlo do iznenadnog propadanja sadnica vrste *C. indica* na dva ostrva u drugom bazenu. Rezultati ovih istraživanja ne pružaju dovoljno podataka, koji bi ukazali na pravi uzrok ove pojave. Pretpostavlja se da je nekoliko različitih faktora ili njihove interakcije moglo da dovede do uvenuća biljaka. U prvom redu ovde se misli na ekstremno visoke temperature vazduha i vode tokom ovog meseca i iznenadni uliv zagađene vode sa toksičnim koncentracijama polutanata, koji su mogli da poremete druge parametre u vodi bazena. S obzirom, da je podzemna biomasa kane ostala neoštećena i da su se iz rizoma vrlo brzo pojavili novi izdanci, može se zaključiti da je kana biljka koja ima dobru regenerativnu sposobnost. Sve biljne vrste su lako proizvedene i gajene u rasadniku do sadnje u biološki sistem, a za dalji razvoj nisu zahtevale posebne mere nege i održavanja.

Alge su se u biološkom sistemu nalazile u petom bazenu i imale su zadatak da poliraju vodu, koja je predstavljala izliv četiri bazena sa biljkama. Cev za uliv vode u ovaj bazen je bila postavljena na gornjoj ivici bazena, tako da je voda do bazena dolazila odozgo čime je postignuta dobra aeracija vode. Velika slobodna površina vode je u ovom otvorenom rezervoaru takođe omogućavala dodatno unošenje kiseonika u biološki sistem kroz stvaranje brojnih prilika za kontakt vode i vazduha. Ovo je bilo neophodno, jer je voda koja je izlazila iz bazena sa biljkama sadržala izuzetno malo rastvorenog kiseonika (DO) zbog 100% pokrivenosti bazena vegetacijom plutajućih ostrva. U okviru biološkog sistema je stvorena monokultura trihalne, granate, sifonokladalne alge *Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing., koja se razvija u mirnim i brzo tekućim vodama koje mogu biti opterećene različitim polutantima. Ova makroskopska alga predstavlja jednog od najpodesnijih bioindikatora teških metala u akvatičnoj sredini (Whitton *et al.*, 1989).

Prirodni akvatični ekosistemi i različiti konstruisani biološki sistemi imaju sposobnost da uklanjaju teške metale i druge polutante iz otpadnih voda, na osnovu prirodnih procesa koji se u njima odvijaju (Salt *et al.*, 1998; Cunningham *et al.*, 1997;

Flathman i Lanza, 1998; Matagi *et al.*, 1998; Tam i Wong, 1994; Denny *et al.*, 1995). Ovi procesi su brojni i međusobno zavisni tako da je ceo proces prečišćavanja otpadnih voda vrlo kompleksan. Zbog toga je teško ilustrovati šta se tačno dešava u akvatičnom ekosistemu ili koje su sve to reakcije koje utiču na uklanjanje polutanata iz otpadnih i zagađenih voda (Dunbabin i Bowmer, 1992). Kada različite vrste polutanata dospeju u vodu one prolaze kroz veliki broj dinamičnih transformacija (Matagi *et al.*, 1998). Pri tome oni mogu da budu transportovani iz jedne komponente biološkog sistema u drugu npr. iz vode u supstrat, biljke, alge i mikroorganizme ili iz biljaka i sedimenata nazad u vodu i slično i da pri tome reaguju sa drugim polutantima u vodi. Iz zagađene vode polutanti su u biološkom sistemu uklonjeni na osnovu fizičkih, hemijskih i bioloških procesa, koji su se dešavali u okviru njegovih osnovnih komponenti.

Taloženje je glavni fizički proces uklanjanja fosfora (P) iz zagađene vode pri kome se ovaj element vezuje za čvrste čestice u vodi i tone na dno biološkog sistema (Dodkins i Mendzil, 2014; Stottmeister *et al.*, 2003). Masters (2012) navodi da je ovaj proces uklanjanja P vrlo efikasan u biološkim sistemima sa plutajućim ostrvima u odnosu na druge konstruisane akvatične ekosisteme, jer velika slobodna površina korena omogućava brzu filtraciju čvrstih čestica iz vode, koje će zatim zajedno sa P biti istaložene. Efikasnost uklanjanja P u biološkim sistemima sa plutajućim ostrvima dostiže vrednost od 81% (White i Cousins, 2013). Rezultati ovih istraživanja su u skladu sa ovim tvrdnjama ukoliko se u obzir uzme efikasnost celokupnog biološkog sistema. Međutim, rezultati takođe pokazuju da je redukcija P u bazenima sa biljkama izostala i da su se u izlivu ovih bazena nalazile veće koncentracije P u odnosu na uliv sabirnog tanka. Pretpostavlja se da su anaerobni uslovi u bazenima sa biljkama doveli do otpuštanja vezanog i istaloženog P nazad u vodu. Pri izuzetno niskom sadržaju rastvorenog kiseonika u vodi došlo je do redukcije sulfata pri čemu su stvoreni sulfidi, koji se prvenstveno u vodi vezuju za Fe i Al i na taj način onemogućavaju vezivanje P za okside Fe i Al (Kadlec i Wallace, 2009). Rezultati analize količine rastvorenog kiseonika (DO) u vodi su pokazali da se količina DO u ulivu biološkog sistema kretala od 6,11 do 6,98 mg/L, kako i da je ona u bazenima sa biljkama opala do ekstremno niskih vrednosti od 0,03 do 1,43 mg/L. Pretpostavlja se da su potpuna pokrivenost bazena plutajućim ostrvima sa vegetacijom, kao i velika potrošnja kiseonika pri razlaganju organskih materija dovele do ove pojave. Takođe, uzrok za dodatnu

resuspenziju P u biološkom sistemu je mogla da bude i turbulencija vode nastala pri ubacivanju novih količina vode u bazene, podizanju gasova sa dna, koji nastaju u procesu fotosinteze u vodi (kiseonik) ili dekompoziciji organske materije od strane mikroorganizama (metan i ugljendioksid) (U.S. EPA, 2000).

Na osnovu napred iznesenog, može da se pretpostavi i da je efikasnost uklanjanja S u bazenima sa biljkama bila niska upravo zbog pokretanja navedenih procesa u anaerobnoj sredini. Lamers *et al.* (2002) navode da tokom letnjih meseci, kada su temperature vazduha i vode visoke, usled povećane aktivnosti mikroorganizama i velike pokrivenosti površine vegetacijom, voda u bazenima može da postane anaerobna, a ovakvi uslovi sredine mogu da dovedu do pojave sulfida koji su toksični za biljke. Kao što je napomenuto, u okviru drugog bazena upravo u toku najtoplijeg perioda tokom eksperimenta došlo je do iznenadnog propadanja kane. S obzirom na izuzetno niske koncentracije DO u ovom bazenu (0,06 mg/L) i efikasnosti uklanjanja S od samo 3% ovo može biti jedan od razloga propadanja kana u drugom bazenu.

Fosfor (P) je u biljkama sastavni deo polifosfata, anhidrida, nukleotida, nukleinskih kiselina, fosfolipida, fosforilovanih šećera i različitih koenzima, koji učestvuju u redoks reakcijama (Nešković *et al.*, 2003). Masters (2012) navodi da se efikasnost uklanjanja P pomoću biljaka kreće oko 6%, dok Stottmeister *et al.* (2003) navode još niže vrednosti od 5%. Rezultati ovih istraživanja nisu potvrdili navedeni podatak, ukoliko se posmatra ostvarena efikasnost u bazenima sa biljkama. Međutim, ako se uporede koncentracije ovog elementa u kontrolnim biljkama i biljkama na kraju eksperimenata može da se konstatuje da su biljke tokom vegetacionog perioda usvajale značajne količine P. Sadržaj P je bio veći kod vrsta *C. indica*, *I. pseudacorus* i *L. salicaria* u tretmanu u odnosu na kontrolu. Koncentracije ovog elementa su se kretale u granicama 24,44-9,72 g/kg u nadzemnoj biomasi, 21,81-14,61 g/kg u rizomu i 25,01-16,03 g/kg u korenu ispitivanih biljaka. Najveći sadržaj P, posmatrajući celokupan eksperimentalni period je zabeležen kod vrste *P. australis*, koja je sadržala značajno veće koncentracije ovog elementa u nadzemnoj biomasi (24,44 g/kg) i korenu (25,01 g/kg) u odnosu na druge vrste. Najmanji sadržaj P, posmatrajući celokupan eksperimentalni period je zabeležen kod vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' i *L. salicaria*, pri čemu su obe vrste sadržale značajno manje P u odnosu na ostale vrste u nadzemnoj biomasi. Vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' je sadržala značajno manje P u korenu u odnosu na ostale vrste. Činjenica da biljke

normalno sadrže 1-10 gP/kg suve biomase (Barker i Pilbeam, 2006; Stottmeister *et al.*, 2003) ukazuju da su ispitivane vrste ipak bile efikasne u usvajanju P iz zagađene vode, a da je resuspenzija vezanog i istaloženog P (Kadlec i Wallace, 2009; U.S. EPA, 2000; Dodkins i Mendzil, 2014; Stottmeister *et al.*, 2003) osnovni uzrok povišenih koncentracija ovog elementa u vodi bazena sa biljkama.

Kamena vuna se ponašala kao inertan supstrat u odnosu na P, jer se sadržaj ovog elementa nije menjao tokom eksperimentalnog perioda i nije se razlikovao ni od koncentracije P u kontrolnom supstratu. Ovo ukazuje da je glavno uklanjanje P ostvareno upravo kroz taloženje čvrstih čestica iz vode za koje je P bio vezan. Kamena vuna sadrži visoke koncentracije Al i Fe zbog prirode sirovina od kojih se pravi (IARC, 1988). Tokom eksperimentalnog perioda sadržaj ovih elemenata u supstratu se smanjivao, tako da su do kraj trećeg eksperimenta koncentracije Al i Fe u kamenoj vuni u bazenima bile značajno niže od sadržaja u kontrolnim uzorcima. Na osnovu rezultata ovih istraživanja ne može da se zaključi da li su ove količine Al i Fe otpuštene u vodu (elementi nisu detektovani u vodi), gde su mogle da potpomognu u procesu uklanjanja P ili je smanjena koncentracija u supstratu nastala kao posledica usvajanja ovih elemenata od strane biljaka.

Alge imaju veliki afinitet za redukciju P u zagađenim i otpadnim vodama i pri tome se proces uklanjanja odvija brzo (Vymazal, 2007). U poređenju sa drugim vrstama slatkovodnih algi potrebe *C. glomerata* za N i P su male (Gerloff i Fitzgerald, 1976). I pored toga u ovim istraživanjima alge su usvajale velike količine P i tretirale su ga kao makro-nutrijent. Koncentracije P u algama u biološkom sistemu su se nalazile daleko iznad granica prijavljenih koncentracija u ovoj vrsti od 1,7-3,99 g/kg (Gerloff i Fitzgerald, 1976). S obzirom da je uklanjanje P u bazenima sa biljkama bilo malo, za biološko uklanjanje P u sistemu su bile odgovorne alge, koje su u aerobnoj sredini uz procese taloženja i sorpcije uspele da uklone ovaj element sa efikasnošću od 87%.

Na osnovu prikazanih rezultata može da se zaključi da plutajuća ostrva mogu da obezbede efikasno uklanjanje P iz zagađenih i otpadnih voda ukoliko se stvore odgovarajući uslovi za neometano odvijanje glavnih fizičkih procesa uklanjanja ovog elementa i onemogućiti njegovo ponovno otpuštanje u vodu. Ovi rezultati su u saglasnosti sa istraživanjima drugih autora (White i Cousins, 2013; Van de Moortel *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2008b; Stewart *et al.*, 2008), koji su ispitivali efikasnost različito

konstruisanih bioloških sistema sa plutajućim ostrvima. Ukoliko se plutajuća ostrva postavljaju na reci ili jezeru, problem obezbeđivanja aerobne sredine neće postojati. Međutim, ukoliko se plutajuća ostrva postavljaju u okviru biološkog sistema treba voditi računa da bazeni ne budu u potpunosti pokriveni vegetacijom kako bi se ostavilo dovoljno slobodnog mesta za kontakt vode i vazduha, što će omogućiti unošenje potrebnih količina kiseonika u vodu. S obzirom da se P uglavnom iz vode uklanja kroz procese filtracije i taloženja u sedimentima, kako bi se izbeglo njegovo ponovno vraćanje u vodu neophodno je vršiti periodično uklanjanje nagomilanih sedimenata sa dna biološkog sistema, reke ili jezera. Kao optimalan period iskopa navodi se period od 10 godina (Masters, 2012). Takođe, s obzirom da se deo P usvaja i u biljkama, košenjem vegetacije je moguće ukloniti još jedan, doduše manji, deo usvojenog P iz ciklusa kruženja P u biološkom sistemu. Pri tome treba voditi računa da se košenje nadzemnih delova biljaka obavi pre jeseni, jer se krajem vegetacije relokacija P iz nadzemnog dela vrši u podzemnoj biomasi (Dodkins i Mendzil, 2014). Ukoliko se ovaj period propusti, konstrukcija plutajućih ostrva će omogućiti lako uklanjanje podzemnih delova biljaka na kraju vegetacionog perioda.

Na kraju, kao potvrda visoke efikasnosti biološkog sistema u uklanjanju ukupnog P iz zagađene vode može da posluži i podatak da je ulivna voda na osnovu sadržaja ukupnog P (0,31 mg/L), kao parametra za ocenu ekološkog statusa voda (***, 2011) odnosno na osnovu graničnih vrednosti zagađujućih materija u površinskim vodama (***, 2012) svrstana u klasu III (umeren ekološki status), a da je po izlasku iz poslednjeg bazena imala karakteristike vode (0,04 mgP/L), koja pripada klasi I (***, 2012). Ovakav sadržaj ukupnog P odgovara vodama, koje imaju odličan ekološki status i koje obezbeđuju funkcionisanje ekosistema, život i zaštitu riba (salmonida i ciprinida) i mogu se koristiti u svrhe snabdevanja vodom za piće uz prethodni tretman filtracijom i dezinfekcijom, kao i za kupanje i rekreaciju, navodnjavanje i industrijsku upotrebu (***, 2012).

Uklanjanje organskih jedinjenja N je u biološkom sistemu ostvareno prvenstveno zahvaljujući metabolizmu nitrifikacionih (*Nitrosomonas* spp. i *Nitrobacter* spp.) i denitrifikacionih (*Pseudomonas* spp.) mikroorganizama (Groudeva *et al.*, 2001). Razlaganje ovih jedinjenja u vodi započinje njihovom mineralizacijom kroz proces amonifikacije. Ovaj proces se odvija u aerobnoj i anaerobnoj sredini tako da rizosfera

biljaka u biološkom sistemu predstavlja pogodno mesto u okviru koga će se organska jedinjenja N razložiti do amonijaka (NH_3) i ugljendioksida (CO_2) (Dodkins i Mendzil, 2014). Ovako dobijeni NH_3 u gasovitom stanju može da se ukloni iz biološkog sistema kroz proces volatilizacije, koji pri vrednosti pH vode od 9,3 postaje vrlo značajan način uklanjanja N (Vymazal, 2007). Međutim, zbog potpune pokrivenosti bazena plutajućim ostrvima, kao i činjenice da se pH vrednost u bazenima sa biljkama smanjila u odnosu na vrednosti u ulivu može da se pretpostavi da se u okviru ovog dela biološkog sistema procesi volatilizacije nisu odvijali u značajnoj meri. Rezultati ovih istraživanja su pokazali da su alge u petom bazenu povećavale pH vrednost vode, zahvaljujući svojoj fotosintezi. Ukoliko se u obzir uzme tvrdnja Reddy *et al.* (1989) da je gubljenje NH_3 u vidu gasa zanemarljivo ispod pH vrednosti vode od 8,0 i da je maksimalna pH vrednost vode u petom bazenu iznosila 8,43 moglo bi da se zaključi da je volatilizacija u ovom bazenu imala određeni značaj u uklanjanju dela NH_3 . Pored volatilizacije, nastali amonijak može da bude apsorbovan preko korena biljaka ili da se veže u sedimentima zahvaljujući razmeni jona, može ponovo da bude rastvoren i vraćen u vodu, usvojen od strane fitoplanktona, aerobno nitrifikovan pomoću mikroorganizama i drugo (U.S. EPA, 2000). Iako je za proces nitrifikacije neophodna aerobna sredina, na osnovu rezultata efikasnosti bazena sa biljkama u uklanjanju $\text{NH}_4\text{-N}$ i činjenice da su u bazenima bili anaerobni uslovi, može da se zaključi da je količina kiseonika koja se nalazila u rizosferi biljaka bila sasvim dovoljna za nesmetano obavljanje ovog procesa. Još jedan dokaz ove tvrdnje je i da je najmanja redukcija $\text{NH}_4\text{-N}$ (45%) ostvarena u drugom bazenu sa kanom gde je usled propadanja dela biljaka podzemna biomasa biljaka bila mala. U ostalim bazenima efikasnost uklanjanja je bila visoka i iznosila je 78-83%. Takođe, i smanjenje pH vrednosti vode u bazenima u odnosu na vrednosti pH u ulivu sabirnog tanka može da posluži kao dokaz da se nitrifikacija u bazenima sa biljkama odvijala i pored niske vrednosti DO u vodi koja je okruživala rizosferu.

Međutim, kada se analiziraju rezultati dobijeni za efikasnost uklanjanja nitrita ($\text{NO}_2\text{-N}$) iz zagađene vode uočava se da se proces nitrifikacije ipak nije vršio do kraja odnosno da sav dostupan $\text{NH}_4\text{-N}$ nije preveden u potpunosti u nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$). Bernet *et al.* (2001) navode da niske koncentracije DO u vodi mogu da dovedu do stvaranja toksičnih $\text{NO}_2\text{-N}$, kao međufaze pretvaranja $\text{NH}_4\text{-N}$ u $\text{NO}_3\text{-N}$. Do redukcije koncentracije $\text{NO}_2\text{-N}$ je došlo samo u prvom bazenu u kome je bila posađena trska, pri

čemu je efikasnost uklanjanja bila relativno niska (15%) u poređenju sa uklanjanjem drugih oblika N iz zagađene vode.

Dobijeni nitrati su dalje bili apsorbovani od strane biljaka i mikroorganizama kroz proces asimilatorne redukcije nitrata ili su prolazili kroz proces denitrifikacije (DeBusk, 1999a). Anaerobni uslovi vode u bazenima sa biljkama su omogućili visoku efikasnost uklanjanja $\text{NO}_3\text{-N}$ iz zagađene vode zahvaljujući denitrifikaciji. Denitrifikacioni mikroorganizmi su kroz svoj metabolizam razlagali $\text{NO}_3\text{-N}$ do bezopasnog gasovitog azota (N_2) i ugljen-dioksid (CO_2). Najveća efikasnost uklanjanja (79%) je ostvarena u prvom bazenu sa trskom, kako i kod uklanjanja $\text{NH}_4\text{-N}$ i $\text{NO}_2\text{-N}$.

Dodkins i Mendzil (2014) navode da je efikasnost uklanjanja ukupnog N u biološkim sistemima sa plutajućim ostrvima oko 40%, a $\text{NH}_4\text{-N}$ oko 50%. Upoređivanjem efikasnosti biološkog sistema u ovim istraživanjima sa rezultatima koje su prikazali drugi autori (White i Cousins, 2013; Van de Moortel *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2008b; Stewart *et al.*, 2008) za sličan tip biološkog sistema sa plutajućim ostrvima može da se zaključi da je sistem za prečišćavanje zagađenih voda bio daleko efikasniji u uklanjanju različitih formi N, kako u bazenima sa biljkama, tako i u bazenu sa algama., naročito u slučaju $\text{NH}_4\text{-N}$.

Kao i u slučaju P, efikasnost uklanjanja N pomoću biljaka je niska, u ovom slučaju u poređenju sa efikasnošću mikroorganizama, tako da iznosi oko 6-8% (Matheson *et al.*, 2002). Biljke usvajaju N kako makroelement važan za normalno funkcionisanje svog metabolizma. Pri tome se neorganske forme N pomoću biljaka pretvaraju u organska jedinjenja, koja se potom koriste za izgradnju strukture biljke (Nešković *et al.*, 2003). Tokom aktivnog perioda rasta, veće koncentracije N su akumulirane u nadzemnoj biomasi, da bi se krajem vegetacionog perioda N ponovo deponovao u korenu i rizomu (U.S. EPA, 2000). I pored relativno niske i sezonski zavisne (Obarska - Pempkowiak, 1991) efikasnosti biljaka u uklanjanju N i P, ne može se reći da one nemaju značaj u uklanjanju ovih elementa iz zagađenih voda. Biljke vrše i aeraciju vode ubacivanjem atmosferskog kiseonika u nju, kroz svoje stabljike, korenje i podzemna stabla (Brix, 1993). Zahvaljujući otpuštanju kiseonika iz podzemnih delova biljaka, u inače anaerobnom supstratu, stvaraju se mikrolokacije sa aerobnim uslovima. Kiseonik, koji su biljke ubacile u vodu, koriste mikroorganizmi, koje žive oko korenovog sistema akvatičnih i trestričnih biljaka. U zoni korena ovi heterotrofni mikroorganizmi stvaraju

rešetke, čiji su ćelijski zidovi kopije biljnog epidermisa, kroz koji difunduje kiseonik (Davis, 2000). Na ovaj način stvara se efekat rizosfere. Biljke iz svog korena luče supstance, koje pomažu mikroorganizmima da se lepe, pa se tako oko korenovog sistema ovih biljaka može naći i do desetine milijardi aerobnih bakterija po gramu suve materije (Prasad i Freitas, 2003). Važno je napomenuti i da u zoni rizosfere mogu da opstanu samo one bakterije koje mogu da ostvare simbiotičke veze sa korenovim sistemom akvatičnih biljaka i koje će zatim pomoći u uklanjanju različitih polutanata iz otpadnih i zagađenih voda.

Za svoj rast *C. glomerata* može da koristi N i u obliku $\text{NH}_4\text{-N}$ i $\text{NO}_3\text{-N}$ (Gerloff i Fitzgerald, 1976). Iako su u biološkom sistemu za redukciju sadržaja različitih oblika azota uglavnom bili zaslužni nitrifikacioni i denitrifikacioni mikroorganizmi prisutni u rizosferi biljaka, efikasnost uklanjanja N je u petom bazenu bila vrlo visoka i kretala se od 96% i 97% za $\text{NH}_4\text{-N}$ i $\text{NO}_3\text{-N}$, pa do više od 86% za ukupni N. Zahvaljujući aeraciji u petom bazenu došlo je i do redukcije $\text{NO}_2\text{-N}$ uz efikasnost od 97%, koja je u bazenima sa biljkama izostala zbog anaerobne sredine.

Na osnovu prikazanih rezultata može da se zaključi da plutajuća ostrva mogu da obezbede efikasno uklanjanje N iz zagađenih i otpadnih voda. Za efikasan proces redukcije ovog nutrijenta u biološkom sistemu je neophodno obezbediti i aerobne i anaerobne uslove, što znači da kao i u slučaju P treba voditi računa o procentu pokrivenosti bazena plutajućim ostrvima. Ukoliko su plutajuća ostrva postavljena u okviru reke ili jezera ovi procesi će se sami regulisati po ugledu na procese samoprečišćavanja prirodnih akvatičnih ekosistema. Prilikom kasnog letnjeg košenja vegetacije moguće je kao i u slučaju P, deo usvojenog N izneti iz ciklusa kruženja N u biološkom sistemu.

Na visoku efikasnost biološkog sistema u uklanjanju različitih formi N može da se ukaže i na osnovu upoređivanja sadržaja $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ i ukupnog N, kao parametra za ocenu ekološkog statusa voda (***, 2011), u vodi uliva i izliva biološkog sistema. Na osnovu sadržaja $\text{NH}_4\text{-N}$ (3,12 mg/L) ulivna voda je pripadala V klasi, na osnovu koncentracije $\text{NO}_2\text{-N}$ (0,27 mg/L) IV klasi, a ukupnog N (7,00 mg/L) i $\text{NO}_3\text{-N}$ (3,60 mg/L) III klasi (***, 2012). Vode koje odgovaraju opisu IV klase imaju slab ekološki status (***, 2011) i mogu da se koriste za snabdevanje vodom za piće uz primenu kombinacije različitih tretmana, navodnjavanje i industrijsku upotrebu (***,

2012). Vode koje odgovaraju opisu V klase imaju loš ekološki status (***, 2011) i ne mogu da se koriste ni u jednu svrhu (***, 2012). Po izlasku vode iz poslednjeg bazena koncentracije su značajno redukovane ($\text{NH}_4\text{-N}$ 0,14 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0,01 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ <0,2 mg/L i ukupnog N <1 mg/L) tako da voda na izlivu može da se okarakterise kao voda sa odličnim ekološkim statusom (klasa I) za parametre $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ i ukupnog N odnosno sa dobrim ekološkim statusom (klasa II) za parametar $\text{NH}_4\text{-N}$. Vode sa dobrim ekološkim statusom obezbeđuju funkcionisanje ekosistema, život i zaštitu riba (ciprinida) i mogu se koristiti u iste svrhe i pod istim uslovima kao i površinske vode koje pripadaju klasi I (***, 2012).

Organske materije koje se nalaze u zagađenoj i otpadnoj vodi sadrže oko 45-50% ugljenika (C), koji služi kao izvor energije za različite mikroorganizme koji nastanjuju rizosferu (DeBusk, 1999b). Shodno tome, glavni mehanizam uklanjanja C je metabolizam mikroorganizama, koji u aerobnoj sredini koriste rastvoreni kiseonik (DO) kako bi oksidovali organsku materiju i razložili je na CO_2 (ugljen-dioksid) i CH_4 (metan), koji se oslobađaju iz biološkog sistema kroz proces volatilizacije (U.S. EPA, 2000). Van rizosfere biljaka i u okviru anaerobnih delova bazena, do redukcije sadržaja C u vodi je moglo da dođe i usled procesa fermentacije (uz obrazovanje mlečne kiseline ili etanola), metanogeneze (uz stvaranje CH_4), redukcije sulfata (uz nastajanje CO_2 i H_2S) i denitrifikacije (uz stvaranje CO_2 i N_2) (Dodkins i Mendzil, 2014). S obzirom da su ispitivane biljke za svoj rast i razvoj, koristile C iz atmosferskog CO_2 , njihova osnovna uloga u uklanjanju organskih materija iz zagađene vode je da omoguće filtraciju čvrstih čestica organske materije, a zatim i njihovo taloženje na površini korenovog sistema ili na dnu bazena (Van de Moortel *et al.*, 2010). Količine organskih materija u vodi se izražavaju na osnovu nekoliko različitih parametara. Vrednost ukupnog organskog ugljenika (TOC) prikazuje ukupnu količinu organske materije, hemijska potrošnja kiseonika (HPK) količinu organske materije koja podleže hemijskoj oksidaciji, a biološka potrošnja kiseonika (BPK_5) količinu biorazgradive organske materije (U.S. EPA, 2000).

Biološki sistemi za tretman otpadnih i zagađenih voda generalno imaju visoku efikasnost uklanjanja organskih materija (DeBusk, 1999a). Rezultati ovih istraživanja potvrđuju ova zapažanja. Efikasnost redukcije vrednosti BPK_5 se u bazenima sa plutajućim ostrvima kretala u granicama 84-91%, a niske vrednosti u izlivu ova četiri

bazena su pokazale da su mikroorganizmi trošili znatne količine DO kako bi razložili organske materije u vodi. Iako je efikasnost uklanjanja BPK₅ po prolasku vode kroz bazen sa algama opala, redukcija biorazgradivih organskih materija je i dalje bila značajna. Rezultati ovih istraživanja ne mogu jasno da ukažu na uzrok opadanja efikasnosti uklanjanja BPK₅ u bazenu sa algama, ali je moguće da je povećana količina DO u ovom bazenu u odnosu na bazene sa biljkama, usled aeracije vode zahvaljujući algama (Kadlec i Wallace, 2009) i načinu punjenja bazena, imala određeni uticaj. Efikasnost redukcije vrednosti HPK je takođe bila velika i kretala se u granicama 57-91% u bazenima sa biljkama i 56% u bazenu sa algama. Ukupan organski ugljenik (TOC) je uklonjen sa efikasnošću od 16-20% u bazenima sa plutajućim ostrvima, do maksimalnih 30% u bazenu sa algama. Upoređivanjem efikasnosti biološkog sistema u ovim istraživanjima sa rezultatima koje su prikazali drugi autori (White i Cousins, 2013; Van de Moortel *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2008b; Stewart *et al.*, 2008) za sličan tip biološkog sistema sa plutajućim ostrvima može da se zaključi da je sistem za prečišćavanje zagađenih voda bio efikasniji u uklanjanju različitih formi organske materije, kako u bazenima sa biljkama, tako i u bazenu sa algama (izuzev BPK₅).

Na dobru efikasnost biološkog sistema u uklanjanju različitih formi organskih materija može da se ukaže i na osnovu upoređivanja sadržaja BPK₅, HPK i TOC, kao parametra za ocenu ekološkog statusa voda (***, 2011), u vodi uliva i izliva biološkog sistema. Na osnovu sadržaja BPK₅ (5,70 mg/L) uliv je pripadao III klasi, a na osnovu koncentracija HPK (10,00 mg/L) i TOC (4,97 mg/L) II klasi (***, 2012). Po prolasku vode kroz biološki sistem, koncentracije organske materije su bile redukovane, a na osnovu sadržaja BPK₅ (4,30 mg/L) i TOC (3,49 mg/L) izliv je okarakterisan kao klasa II (voda sa dobrim ekološkim statusom), odnosno sadržaja HPK (4,40 mg/L) kao klasa I (voda sa odličnim ekološkim statusom) (***, 2012).

U zagađenim i otpadnim vodama se nalaze i različiti patogeni, kako što su paraziti, virusi i bakterije, koji mogu da izazovu ozbiljne bolesti kod ljudi i životinja (hepatitis A, tifus, kolera, dizenterija i drugo). Koliformne bakterije (ukupne, UKB i fekalnog porekla, KBFP) i fekalne streptokoke (SFP) se najčešće koriste kao indikatori zagađenosti vode patogenima (U.S. EPA, 2000). Sam mehanizam uklanjanja patogena nije dovoljno jasan, ali se pretpostavlja da se oni iz vode otklanjaju na osnovu fizičkih i bioloških procesa (Stottmeister *et al.*, 2003). U ulivu zagađene vode, patogeni

mikroorganizmi su vezani za čvrste čestice u vodi ili se u njoj nalaze vidu suspenzija (U.S. EPA, 2000). Oni koji su združeni sa čvrsti česticama se uklanjanju iz vode kroz procese filtracije, taloženja, adsorpcije i agregacije (Ottova *et al.*, 1997). Deo patogena, koji se nalazi slobodan u vodi ulazi u kompeticiju sa drugim mikroorganizmima i obično ne preživljava (U.S. EPA, 2000), jer u zoni rizosfere, kao što je napomenuto, mogu da opstanu samo oni mikroorganizmi koje mogu da ostvare simbiotičke veze sa korenovim sistemom biljaka. U okviru petog bazena sa algama, gde se javila veća površina slobodne vode eliminacija patogena se dešavala i uslede UV zračenja (Ottova *et al.*, 1997).

Vrste *P. australis* i *A. plantago - aquatica* se u literaturi navode kao vrlo efikasne biljke, koje zahvaljujući eksudatima korena omogućavaju stimulatívne efekte za rast kolonija korisnih mikroorganizama, ali i inhibiciju za dalji razvoj patogena u zagađenoj vodi (Stottmeister *et al.*, 2003). Različiti konstruisani biološki sistemi za prečišćavanje zagađenih voda imaju izuzetnu sposobnost za redukovanje broja patogenih mikroorganizama u vodi pri čemu se njihova efikasnost kreće oko 90% za koliformne bakterije i oko 80% za streptokoke fekalnog porekla (Watson *et al.*, 1988). Rezultati ispitivanja efikasnosti biološkog sistema u ovim istraživanjima potvrđuju generalnu efikasnost alternativnih postrojenja za tretman voda, uz napomenu da je u njima ostvarena veća efikasnost od navedenih literaturnih podataka. U okviru bazena sa plutajućim ostrvima ostvarena je 100% efikasnost u uklanjanju KBFP, a u okviru bazena za algama redukcija patogena je nastavljena. U svim bazenima ostvarena je efikasnost uklanjanja UKB od 100%, osim u četvrtom bazenu sa dekorativnim akvatičnim makrofitama u kome je efikasnost bila 97%. Broj SFP je redukovan u granicama 92-97% u bazenima sa biljkama, a u bazenu sa algama do 98%.

Na dobru efikasnost biološkog sistema u uklanjanju različitih patogena može da se ukaže i na osnovu upoređivanja broja KBFP, UKB i SFP, kao parametra za ocenu ekološkog statusa voda (***, 2011), u vodi uliva i izliva biološkog sistema. Na osnovu broja KBFP (1209800,0 cfu/100ml) i broja UKB (1209800,0 cfu/100ml) uliv je pripadao V klasi, a na osnovu broja SFP (2419,8 cfu/100ml) III klasi (***, 2012). Po prolasku vode kroz biološki sistem i značajnoj redukciji broja patogenih mikroorganizama (KBFP <1 cfu/100ml, UKB 2,0 cfu/100ml i SFP 46,4 cfu/100ml),

izliv vode je okarakterisan kao klasa I (voda sa odličnim ekološkim statusom) (***, 2012).

Veliki broj metala je u vrlo malim količinama potreban biljkama za njihov neometan rast i razvoj. Joni metala kao što su K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni i Mo su esencijalni makro- i mikro-nutrijenti za biljke (Kamal *et al.*, 2004), dok su Al, Co, Se i Na beneficiani elementi (Barker i Pilbeam, 2006). Međutim neki od ovih biogenih elemenata, kao što su Cu, Se i Zn, su toksični u višim koncentracijama i mogu da se nađu u nekim tipovima otpadnih voda (DeBusk, 1999a). Drugi metali, kao što su Cr, Cd, Hg, Pb, As mogu takođe da se detektuju u industrijskim i drugi otpadnim vodama, ali za razliku od prethodno pomenutih metala oni nemaju biološku vrednost za žive organizme, već su izuzetno toksični i u relativno malim koncentracijama (Barker i Pilbeam, 2006; Sekulić *et al.*, 2003). Ovakvi metali su i vrlo opasni, jer lako putuju kroz lanac ishrane i mogu da se nagomilavaju dugi niz godina u najvišim karikama ovog lanca (John i Leventhal, 1995) i mogu da dovedu do ozbiljnih zdravstvenih problema kod viših organizama, uključujući i čoveka. Zbog svega ovoga, teški metali se ubrajaju u veoma opasne zagađivače životne sredine, ali i pored toga oni predstavljaju značajnu sirovinu za brojne industrijske grane.

Kao što je napomenuto, teški metali po ulasku u vodu, prolaze kroz dinamične procese transformacije i pri tome mogu da se uklanjaju iz zagađene vode na različite načine. Kao najčešći mehanizmi uklanjanja navode se flokulacija, sedimentacija, adsorpcija, koprecipitacija, razmena katjona i razmena anjona, kompleksacija, precipitacija i oksidacija/redukcija, pri čemu se metali vezuju za organske i mineralne materije, glinu, okside Mn, Al i Fe i drugo u vodi i supstratu i stvaraju nova jedinjenja veće ili manje stabilnosti (Matagi *et al.*, 1998; Stottmeister *et al.*, 2003; John i Leventhal, 1995; DeBusk, 1999a; Alloway, 1995; Sparks, 2003). Pored navedenih fizičkih i hemijskih procesa teški metali mogu da budu uklonjeni i zahvaljujući biološkim procesima odnosno mikrobiološkoj aktivnost, kroz desimilatornu sulfatnu redukciju, oksidaciju i biosorpciju (Groudeva *et al.*, 2001; Davis, 2000; Reynolds *et al.*, 1997), kao i usvajanju i biosorpciji pomoću biljaka (Rai *et al.*, 1995; Salt *et al.*, 1998; Sharuma i Gaur, 1995; Cheng *et al.*, 2002b; Dushenkov *et al.*, 1995). Vegetacija obezbeđuje uklanjanje i skladištenje značajnih količina teških metala u biološkim sistemima za tretman zagađenih i otpadnih voda. Step en uklanjanja polutanata zavisi od

njegove biodostupnosti (John i Leventhal, 1995), brzine rasta biljaka i koncentracije polutanata u njihovim tkivima, a dužina skladištenja polutanata se poklapa sa dužinom života biljke (DeBusk, 1999a). Pri tome su stepen usvajanja metala od strane biljaka i njihova tolerantnost na metale vrlo varijabilni od vrste do vrste (Stottmeister *et al.*, 2003;).

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da je vrsta *P. australis* imala značajno više Cr (48,42 mg/kg) i Ni (30,46) u korenu u odnosu na sve druge ispitivane vrste u biološkom sistemu. Ova dva teška metal nisu detektovana ni u jednom uzorku zagađene i prečišćene vode što znači da su se u njoj nalazili u koncentraciji nižoj od 0,01 mg/L. I pored toga, trska je uspela da koncentriše Cr i Ni u svom korenu pri čemu je translokacija u nadzemne delove bila mala. Dokaz ove tvrdnje su značajno niže koncentracije ovih elemenata u nadzemnoj biomasi trske, koje su iznosile 7,99-13,34 mg/kg za Cr i 2,86-5,32 mg/kg za Ni. Tokom eksperimentalnog perioda, sadržaj Cr i Ni se u nadzemnoj biomasi trske nije značajno razlikovao po ciklusima, što ukazuje da dužina izlaganja trske zagađenoj vodi nije imala značajan uticaj na usvajanje ovih elemenata u nadzemnoj biomasi. Isti trend, kada je u pitanju Ni, su primetili i Teuchies *et al.* (2013). Isti autori su zaključili da su biljke u akvatičnom ekosistemu koncentrisale značajno više Cr tokom proleća u odnosu na jesenji period. Značajne razlike u koncentraciji Cr i Ni u rizomu nisu konstatovane između ispitivanih vrsta. Vrsta *P. australis* je bila u grupi vrsta, koje su sadržale više Cr u rizomu. Nasuprot tome, trska se nalazila u grupi biljaka koje su sadržale niske koncentracije Ni u rizomu. Najviše Ni je u rizomu sadržala vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' (10,30 mg/kg). Rezultati ispitivanja sadržaja ova dva elementa u pojedinačnim vegetativnim delovima trske su pokazali da je niz opadanja koncentracija koren>rizom>nadzemni deo. Ovi rezultati su u saglasnosti sa istraživanjima Kadlec i Wallace (2009), koji su konstatovali isti niz. Scholes *et al.* (1998) su pokazali da je trska koja je rasla u biološkom sistemu za tretman atmosferskih otpadnih voda, koje su u proseku sadržale 0,004-0,01 mg/L Cr i 0,003-0,03 mg/L Ni takođe imala najviše Cr u korenu, koga je usvajala u značajnim količinama, dok Ni nije detektovan u biljnim tkivima. Teuchies *et al.* (2013) su ispitivali koncentracije različitih elemenata u 29 vrsta biljaka u akvatičnom ekosistemu, koji je primao otpadne vode iz poljoprivrede (koncentracije polutanata nisu prikazali). Upoređujući *P. australis* sa drugim vrstama, autor su zaključili da se trska nalazila u grupi biljaka sa nižim

sadržajem Cr (2,98 mg/kg), ali sa visokim sadržajem Ni (1,04 mg/kg). Ukoliko se u obzir uzmu prikazani podaci iz literature, nizak sadržaj Cr i Ni u vodi koja je ulazila u biološki sistem i visoka koncentracija ovih elemenata u biljnom tkivu, može da se zaključi da je trska u ovim istraživanjima imala izuzetan potencijal za usvajanje i koncentrisanje Cr i Ni iz zagađenog medijuma. Pri tome treba napomenuti da je određenu količinu Cr trska mogla da usvoji i iz kamene vune, s obzirom da su rezultati istraživanja pokazali da se koncentracija ovog elementa u kamenoj vuni tokom eksperimentalnog perioda smanjivala i bila značajno niža u odnosu na kontrolne uzorke. Ovo nije bio slučaj sa koncentracijom Ni u kamenoj vuni. Na dobar potencijal vrste *P. australis* za usvajanje Cr i Ni, može da ukaže i činjenica da su biljke tokom ovih istraživanja sadržale mnogo veće koncentracije ovih elemenata u odnosu na njihov normalan sadržaj u biljkama. Kabata-Pendias (2011) navodi da biljke normalno sadrže 0,5-2 mg/kg Cr i 1-5 mg/kg Ni. Trska je čak koncentrisala Cr u koncentracijama većim od prijavljenih toksičnih koncentracija za ovaj element od 5-30 mg/kg za familiju *Poaceae* (Adriano, 1986). Pri tome na biljkama nisu uočeni simptomi toksičnosti.

Zahvaljujući svojoj bliskoj evolucionarnoj vezi sa biljkama, pretpostavlja se da alge mogu da koriste iste mehanizme akumulacije metala kao biljke i da bi pri tome mogle da usvajaju i više metala po jedinici biomase (Kramer i Chardonnens, 2001). Rezultati ovih istraživanja nisu to pokazali kada su u pitanju metali kako što su Cr i Ni iako su koncentracije ovih metala u algama bile visoke. Chmielewska i Medved (2001) su u svojim istraživanjima pokazali da *C. glomerata* ima sposobnost visoke bioakumulacije Cr i Ni, kada raste u vodi koja sadrži niske koncentracije ovih elemenata (0,01mgCr/L i 0,03mgNi/L). Koncentracija Cr koja je detektovana u ovim istraživanjima u trećem ciklusu od 2,386 mg/kg suve mase algi je 1,5 puta veća od sadržaja Cr koji su pomenuti autori okarakterisali kako visoko usvajanje, pri kome je alga ostvarila vrednost BCF od 210. Na osnovu ovih podataka zaključuje se da su alge uklanjale značajne količine Cr iz zagađene vode. Međutim, sadržaj Ni (maksimum 5,494 mg/kg) je u ovim istraživanjima bio tri puta manji u odnosu na rezultate koje su objavili Chmielewska i Medved (2001). Na osnovu vrednosti BCF od 486 (Chmielewska i Medved, 2001) može da se zaključi da alga ima dobar potencijal za uklanjanje Ni, ali da ga u ovim istraživanjima nije pokazala u potpunosti.

Vrsta *P. australis* je zajedno sa vrstom *A. plantago - aquatica* (6135,11 mgAl/kg) sadržala značajno više Al u korenu u odnosu na druge vrste. Trska je sadržala 4954,02 mg/kg Al u korenu, 428,32 mg/kg u rizomu i 80,44 mg/kg u nadzemnoj biomasi. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da je i u slučaju Al translokacija u stablo i list izostala, a da je opadanje koncentracija Al u biljci pratilo niz koren>rizom>nadzemni deo. Ni ovaj element nije detektovan u vodi tako da se pretpostavlja da su njegove koncentracije u biološkom sistemu bile manje od 0,03 mg/L. S obzirom da je kamena vuna kao supstrat sadržala izuzetno visoke koncentracije Al, zbog sirovina od kojih se pravi, moguće je da su određene količine ovog elementa biljke usvojile i iz nje. Na kraju eksperimentalnog perioda koncentracije Al u kamenoj vuni su bile značajno niže u odnosu na kontrolne uzorke. Iako Al predstavlja toksičan metal, koji često može da se nađe u otpadnim vodama, ispitivanje potencijala makrofita za njegovo usvajanje u tkivima je još uvek zanemarena oblast istraživanja (Batty *et al.*, 2002). Batty i Younger (2004) su u svojim istraživanjima pokazali da se koncentracija Al u korenu trske koja je rasla u akvatičnom ekosistemu, koji je prečišćavao ocedene površinske vode kretala od 3964 do 24455 mg/kg, dok je sadržaj u nadzemnom delu biljaka bio mnogo manji. Koncentracije Al u trsci konstatovane u ovim istraživanjima mogu da se uporede sa ovim vrednostima. Na osnovu sadržaja Al u celoj biljci može se zaključiti da je vrsta *P. australis* (5462,78 mg/kg) uz vrstu *A. plantago - aquatica* (7261,34 mg/kg) pokazala najveći potencijal za koncentrisanje Al iz zagađenog medijuma.

Značajno usvajanje Al su ostvarile i alge u poslednjem bazenu. U svojim istraživanjima Gerloff i Fitzgerald (1976) su pokazali da alga *C. glomerata* ima dobar afinitet za usvajanje Al, kao i da su se visoke koncentracije Al nalazile u korelaciji sa visokim koncentracijama Fe u tkivu algi i da su pri tome odražavale koncentraciju ovih elemenata u medijumu za gajenje. Isti autori dalje navode da koncentracije Fe manje od 45 mg/kg predstavljaju vrednosti ovog elementa kada se on nalazi u deficitu za vrstu *C. glomerata*. Na osnovu pomenutih činjenica i rezultata ovih istraživanja, koji su pokazali da su alge usvajale i do 10 puta veće koncentracije Fe od deficitarnih koncentracija, može da se pretpostavi da je *C. glomerata* sa uspehom uklanjala Fe iz zagađene vode. U ispitanim uzorcima algi Gerloff i Fitzgerald (1976) su detektovali koncentracije Al od 471-3000 mg/kg i više. Koncentracije Al u ovim istraživanjima su bile blizu donje granice zabeleženih koncentracija. Shodno tome, redukcija sadržaja Al u zagađenoj vodi

je bila zadovoljavajuća. Cink (Zn), kao i prethodni elementi, nije detektovan u zagađenoj i prečišćenoj vodi tako da je njegova koncentracija u biološkom sistemu bila manja od 0,01 mg/L. I pored toga trska je koncentrisala znatne količine ovog elementa u svoja tkiva. Značajno više koncentracije Zn u korenu su zabeležene u ovoj vrsti i vrstama *I. pseudacorus* (152,72 mgZn/kg) i *L. salicaria* (139,47 mgZn/kg) u odnosu na druge vrste, kao i u nadzemnoj biomasi, gde je sa vrstom *M. trifoliata* (32,85 mgZn/kg) koncentrisala značajno više ovog elementa u odnosu na druge vrste. Sadržaj Zn u rizomu se nije značajno razlikovao u odnosu na ispitivane vrste. Trska je sadržala 138,97 mgZn/kg u korenu, 23 mgZn/kg u rizomu i 31,37 mgZn/kg u nadzemnoj biomasi. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da je opadanje koncentracije Zn po vegetativnim delovima trske pratilo niz koren>nadzemni deo>rizom, koji je u saglasnosti sa nizom promene koncentracija ovog elementa u trsci, koji su primetili Scholes *et al.* (1998). Autori su takođe pokazali i da je vrsta *P. australis* sadržala oko 250 mgZn/kg u korenu, oko 50 mgZn/kg u rizomu i oko 45 mgZn/kg u listu (vrednosti očitane sa grafika), kada je rasla u zagađenoj vodi koja je sadržala 0,004-0,04 mg/L ovog elementa i ovaj rezultat su okarakterisali kao dobar. Sadržaj Zn u trsci je u ovim istraživanjima u saglasnosti sa prikazanim rezultatima Scholes *et al.* (1998), kao i sa rezultatima Peltier *et al.* (2003). Rezultati ovih istraživanja su pokazali i da je translokacija Zn u nadzemnu biomasu bila mala, što odgovara zaključcima drugih autora (Peltier *et al.*, 2003; Ye *et al.*, 1997). Na osnovu sadržaja Zn u celoj biljci može se zaključiti da je vrsta *P. australis* (193,94 mg/kg) uz vrstu *I. pseudacorus* (192,95 mg/kg) pokazala najveći potencijal za koncentrisanje Zn iz zagađenog medijuma.

Od drugih metala od interesa, trska je sadržala u korenu i znatne količine (Adriano, 1986; Kabata-Pendias, 2011) As (9,26 mg/kg) i Co (4,37 mg/kg). Deo koncentrovanog Co u korenu biljke su mogle da usvoje i iz kamene vune, jer se sadržaj ovog elementa tokom eksperimentalnog perioda smanjivao i bio je značajno niži u odnosu na kontrolne uzorke.

Slično kao i kod koncentrisanja Al u tkivima algi, bi moglo da se zaključi i za elemente kao što su Zn, Cu i Mn, koji su se u ovim eksperimentima takođe akumulirali u algama u koncentracijama deset i više puta većim od deficitarnih koncentracija za ove esencijalne elemente kod vrste *C. glomerata*, a nalazili su se u granicama prijavljenih koncentracija ovih elemenata za pomenutu algu (Gerloff i Fitzgerald, 1976).

Pell *et al.* (2013) su na osnovu rezultata svojih istraživanja zaključili da alge iz roda *Cladophora* sp. mogu da budu hiperakumulatori As s obzirom da je koncentracija ovog elementa u algama koje su rasle u zagađenoj reci (0,798 mgAs/L) dostigla vrednost od 11100 mg/kg. Dosta niži sadržaj As od 18 mg/kg u vrsti *C. glomerata* su prijavili Miyashita *et al.* (2009), kada je alga rasla u zagađenoj reci sa 0,017 mgAs/L. Maksimalna koncentracija As u algama detektovana u ovim istraživanjima je iznosila 8,39 mg/kg. Pretpostavka za ovako nisku koncentraciju u odnosu na one koje su pronađene u literaturi može da bude izuzetno mala koncentracije As u vodi (<0,01 mgAs/L) ili da alge nisu imale dobar potencijal za usvajanje As u ovim istraživanjima.

Dobar fitoremedijacioni potencijal vrste *C. indica* za teške metale kako što je Pb je dokazan u laboratorijskim istraživanjima. U okviru biološkog sistema kana je u korenu sadržala veće, ali ne značajno veće koncentracije As (11,31 mg/kg) u odnosu na druge ispitivane vrste. Dokaz da je ova vrsta usvajala As iz zagađene vode je da u kontrolnim biljkama As nije detektovan, kao ni u kamenoj vuni. Njegova pojava je u biljkama u tretmanu vezana isključivo za vodu kao izvor zagađenja. Tokom eksperimentalnog perioda koncentracije As u korenu se nisu značajno menjale. Arsen (As) nije detektovan ni kod jedne ispitivane vrste u nadzemnom delu i rizomu. Izostanak translokacije As u nadzemne delove su kod kane zapazili Aksorn i Visoottiviseth (2004), koji su ispitivali usvajanje ovog elementa u različitim vrstama biljaka u medijumu koji je sadržao 1 mg/L As. Autori su zaključili da kana ima dobar potencijal za usvajanje As, a koncentracija ovog metala je u korenu iznosila oko 25 mg/kg. S obzirom da su kane u biološkom sistemu bile izložene značajno nižim koncentracijama As u vodi one su uspele da koncentrišu znatne količine As u svom korenu.

Vrsta *C. indica* je sadržala značajno više Na (14,58 g/kg) u korenu u odnosu na ostale ispitivane vrste. Međutim, značajne razlike u koncentraciji ovog elementa u korenu, rizomu i nadzemnoj biomasi kane u biološkom sistemu i kontroli nisu postojale, tako da ovde ne može da se govori o značajnom usvajanju ovog elementa iz zagađene vode ili kamene vune već pre o visokom sadržaju Na u ovoj ispitivanoj vrsti (Gaur, 2014). Natrijum nije esencijalni nutrijent, jer većina biljaka ne zahteva Na kako bi završila svoj životni ciklus. Međutim, kako neke biljke, kao što je na primer kana, normalno sadrže Na u većim koncentracijama, on je u literaturi opisan kao funkcionalni nutrijent (Barker i Pilbeam, 2006). Sličan zaključak može da se izvede i za veći sadržaj

Zn (44,05 mg/kg) u rizomu kane u odnosu na druge vrste, jer se ni ovde nisu javile značajne razlike između rizoma biljaka u tretmanu i kontroli.

Kana je sadržala značajno više Mn (298,21 mg/kg) u nadzemnoj biomasi u odnosu na druge ispitivane vrste. Koncentracije Mn u nadzemnoj biomasi kane u biološkom sistemu su bile značajno više u odnosu na biljke u kontroli, a tokom eksperimentalnog perioda koncentracije se nisu značajno menjale. Na dobro usvajanje Mn u vrsti *C. indica* su ukazali Bose *et al.* (2008) u svojim istraživanjima i zaključili da je translokacija Mn iz korena u nadzemne delove mala. Rezultati ovih istraživanja su u saglasnosti sa njihovim tvrdnjama. Koncentracije Mn u kamenoj vuni su se tokom eksperimenata smanjivale i bile su značajno manje u odnosu na kontrolne uzorke. Pored usvajanja Mn iz zagađene vode (<0,01 mgMn/L) pretpostavlja se da je kana mogla da usvoji ovaj element i iz supstrata.

Od drugih metala od interesa, vrsta *C. indica* je sadržala znatne količine Al i Ba u celoj biljci, kao i Sr u rizomu.

U literaturi je jako malo podataka dostupno o usvajanju ispitivanih metala u odabranim dekorativnim makrofitama i efektima koje oni mogu da izazovu kod ovih biljaka. Do sličnog zaključka su došli i Caldelas *et al.* (2012). Zbog toga procena fitoremedijacionog potencijala dekorativnih makrofita u biološkom sistemu generalno nije data na osnovu upoređivanja dobijenih rezultata sa rezultatima drugih autora, nego na osnovu upoređivanja konstatovanih koncentracija sa deficitarnim, normalnim i toksičnim sadržajem ispitivanih elemenata u odabranim dekorativnim makrofitama. Ipak izvršena istraživanja i analizirani rezultati čine značajan doprinos i pružaju osnovu za dalja ispitivanja fitoremedijacionog potencijala ovih vrsta.

Obe vrste perunike su pokazale dobar potencijal za usvajanje različitih elemenata iz zagađene vode. Značajno veće koncentracije Al su zabeležene u rizomu *I. pseudacorus* (1606,53 mgAl/kg) i *I. sibirica* 'Perry's Blue' (1771,87 mgAl/kg) u odnosu na druge ispitivane vrste. S obzirom da su biljke u biološkom sistemu imale veće koncentracije Al u odnosu na kontrolne biljke i da su se koncentracije Al u kamenoj vuni smanjivale tokom eksperimentalnog perioda zaključuje se da su barska i sibirska perunika imale dobar potencijal za usvajanje ovih elemenata iz zagađene vode i supstrata.

Vrsta *I. pseudacorus* je sadržala i značajno veće koncentracije Ba u svim vegetativnim organima u odnosu na druge ispitivane vrste. Barska perunika je u korenu

imala 105,06 mgBa/kg, u rizomu 38,91 mgBa/kg, a u nadzemnoj biomasi 103,08 mgBa/kg. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da i pored toga što je u podzemna biomasa sadržala više Ba, translokacija ovog elementa u nadzemne delove nije izostala. Koncentracije Ba u kontrolnim biljkama su bile u saglasnosti sa normalnim sadržajem ovog elementa u većini biljnih vrsta, koje iznose 2-13 mgBa/kg (Kabata-Pendias, 2011). S obzirom da su konstatovane koncentracije Ba u biljkama u biološkom sistemu bile značajno veće od ovih koncentracija može da se zaključi da je barska perunika imala dobar potencijal za usvajanje Ba. Biljke su Ba mogle da usvoje i iz kamene vune, jer su koncentracije ovog elementa bile značajno veće u kontrolnim uzorcima supstrata u odnosu na uzorke iz biološkog sistema.

U ovim istraživanjima alge vrste *C. glomerata* su takođe pokazale dobar potencijal za uklanjanje Ba iz zagađene vode. Maksimalna koncentracija Ba je iznosila 60,56 mg/kg, što je više od zabeleženog sadržaja ove vrste kada je ona rasla u zagađenoj vodi jezera i koncentrisala 9-29 mg/kg ovog elementa u svojim tkivima (Gerloff i Fitzgerald, 1976).

Barska perunika nije sadržala značajno više Cu u podzemnoj biomasi (koren 160,31 mg/kg i rizom 40,96 mg/kg) u odnosu na druge ispitivane vrste. Ipak, u ovoj vrsti je zabeležena najveća koncentracija Cu. Translokacija ovog elementa je u nadzemnu biomasu bila mala, tako da je on uglavnom koncentrisan u korenu. Međutim, iako su biljke u kontroli sadržale značajno veće koncentracije Cu u odnosu na normalne koncentracije u većini biljaka (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005) u svim vegetativnim organima, ne može da se govori o usvajanju ovog elementa iz zagađene vode, jer se koncentracije Cu u biljkama u biološkom sistemu nisu značajno razlikovale u odnosu na kontrolne biljke.

Značajno veće koncentracije Sr su zabeležene u nadzemnoj biomasi vrste *I. pseudacorus* (72,66 mg/kg) i rizomu druge vrste perunike, *I. sibirica* 'Perry's Blue' (44,14 mg/kg). Iako su obe vrste sadržale više Sr u podzemnoj biomase konstatovana je translokacija ovog elementa u nadzemne delove biljke. Ovde može da se govori o stvarnom usvajanju Sr iz zagađene vode ili supstrata, jer su biljke u kontroli imale značajno manje koncentracije Sr u odnosu na biljke u biološkom sistemu, a sadržaj Sr se u kamenoj vuni smanjivao tokom eksperimentalnog perioda.

Koncentracija Sr je u vodi petog bazena bila ista u svim ciklusima, a sadržaj Sr u algama je opadao iz ciklusa u ciklus. Rezultat koji su postigle alge u ovim istraživanjima se smatra kao vrlo značajan, pogotovo ako se zna da su one tokom eksperimenata u biološkom sistemu u svojim tkivima koncentrisale i do 10 puta veće koncentracije Sr u odnosu na prijavljene koncentracije Sr u ovoj vrsti (31-85 mg/kg), kada je ona rasla u jezerima sa različitim koncentracijama polutanata (Gerloff i Fitzgerald, 1976).

Od drugih metala od interesa, vrsta *I. pseudacorus* je sadržala i znatne količine Mn i Ni, a vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' Cr i Zn. Zhang *et al.* (2007a) su u svojim eksperimentima zaključili da barska perunika ima dobar potencijal za uklanjanje Mn iz komunalne otpadne vode, koja je sadržala 2,02 mgMn/L.

Kao što je napomenuto, vrsta *A. plantago - aquatica* je zajedno sa vrstom *P. australis* sadržala značajno više Al u korenu (6135,11 mg/kg) u odnosu na druge ispitivane vrste. Vodena bokvica je sadržala značajno više ovog elementa u nadzemnoj biomasi (243,24 mg/kg) odnosu na trsku. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da je translokacija Al u stablo i list bila mala, a da je opadanje koncentracija Al u biljci pratilo isti niz kao i kod trske koren>rizom>nadzemni deo, što je u saglasnosti sa rezultatima Kadlec i Wallace (2009), koji su konstatovali isti niz.

Vrsta *A. plantago - aquatica* je koncentrisala i više Co (5,25 mg/kg), Mn (491,28 mg/kg) i Sr (73,70 mg/kg) u korenu u odnosu na druge biljke. Ova vrsta je sadržala značajno više Mn u rizomu (104,41 mg/kg) u odnosu na druge ispitivane vrste. Međutim, s obzirom da se koncentracije Mn kod ove vrste u biološkom sistemu nisu značajno razlikovale u odnosu na kontrolne biljke, može da se zaključi da vodena bokvica nije usvajala Mn iz zagađene vode ili supstrata. O doprinosu ove vrste u uklanjanju Co i Sr može da se govori, jer su biljke u biološkom sistemu imale značajno veće koncentracije ovih elemenata u nadzemnoj biomasi (Sr), rizomu (Sr) i korenu (Co i Sr) u odnosu na biljke u kontroli. Normalne koncentracije Co u biljkama su vrlo varijabilne i kreću se od 0,03-1 mg/kg (Soon, 1998). Vodena bokvica je sadržala više Co od pomenutih vrednosti, kao i sve druge ispitivane vrste u biološkom sistemu. Pri tome je translokacija ovog elementa u rizom i nadzemnu biomasu izostala, što je u skladu sa tvrdnjama Adriano (1986). Vodena bokvica je sadržala Sr u svim vegetativnim delovima (rizom 32,94 mg/kg, nadzemna biomasa 53,93). Iako je više

ovog elementa akumulirano u podzemnoj biomasi postojala je i znatna translokacija Sr u nadzemnu biomasu, a niz opadanja koncentracije po vegetativnim delovima je bio koren>nadzemni deo>rizom.

Koncentracije Cu je bila najviša u nadzemnoj biomasi (97,12 mg/kg) vodene bokvice u poređenju sa drugim ispitivanim vrstama. Međutim, kako nisu konstatovane značajne razlike u sadržaju Cu u vegetativnim delovima kontrolnih biljaka i biljaka u biološkom sistemu može da se zaključi da vrsta *A. plantago - aquatica* nije usvajala Cu iz zagađene vode ili supstrata.

U nadzemnoj biomasi (8321,38 mg/kg) i rizomu (9761,83 mg/kg) su konstatovane i značajno više koncentracije Na u odnosu na druge ispitivane vrste, pri čemu se sadržaj ovog elementa nije značajno razlikovao od koncentracije Na u nadzemnoj biomasi vrste *M. trifoliata*. Vodena bokvica je u korenu imala 7093,27 mg/kg Na, što pokazuje da je translokacija u nadzemne delove bila znatna i pored velikog sadržaja Na u podzemnoj biomasi. S obzirom da su konstatovane značajno veće koncentracije Na u vegetativnim delovima biljaka u biološkom sistemu u odnosu na kontrolne biljke, što nije bio slučaj kod kane, može da se zaključi da je ova vrsta imala dobar potencijal za usvajanje Na iz vode i kamene vune kao supstrata.

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da se koncentracija Na u vodi smanjivala sa povećanjem sadržaja Na u algama. Sadržaj Na u algama se kretao u prijavljenim granicama za ovu vrstu (300-1400 mg/kg, Gerloff i Fitzgerald, 1976). Iako je Na neesencijalni nutrijent alge su ga usvajale u značajnim količinama, ali je pri tome efikasnost njegovog uklanjanja bila vrlo varijabilna. Dok je redukcija sadržaja Na potpuno izostala u prvom i trećem ciklusu, u drugom ciklusu je bila vrlo niska i iznosila je 6%. Maksimalna efikasnost uklanjanja se javila u trećem eksperimentu, kada je uliv u sabirni tank sadržao gotovo duple koncentracije Na u odnosu na druge cikluse i kada su i biljke ostvarile značajnu redukciju sadržaja Na u zagađenoj vodi.

Od drugih metala od interesa vrsta *A. plantago - aquatica* je sadržala i znatne količine Cr i Ba u odnosu na normalne vrednosti ovih elemenata (Soon, 1998; Kabata-Pendias, 2011). Vodena bokvica je Cr koncentrovala u korenu (18,73 mg/kg), a translokacija u nadzemne delove je bila izuzetno niska. Teuchies *et al.* (2013) su zaključili da je ova vrsta sadržala 5,18 mgCr/kg, kada je rasla u zagađenom akvatičnom ekosistemu i ove koncentracije su okarakterisali kako visoke koncentracije, koje mogu

da izazovu štetne efekte. Rezultati istraživanja u biološkom sistemu nisu u skladu sa ovim rezultatima, jer je vodena bokvica sadržala značajno veće koncentracije Cr u korenu bez vidljivih simptoma toksičnosti. Na osnovu ovog može da se zaključi da ova vrsta ima dobar potencijal za uklanjanje Cr iz zagađenih voda.

Kao što je već napomenuto, vrsta *L. salicaria* je zajedno sa vrstama *P. australis* i *I. pseudacorus* imala značajno veći sadržaj Zn u korenu u odnosu na druge ispitivane vrste (139,47 mg/kg). Koncentracije ovog elementa u nadzemnoj biomasi potočnjaka je bila 20,63 mg/kg, što pokazuje da je translokacija Zn u nadzemne vegetativne delove bila mala. S obzirom da su prikazane koncentracije više u odnosu na normalan sadržaj Zn u većini biljaka (12-47 mg/kg; Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007), kako i da su biljke u biološkom sistemu imale značajno veće koncentracije Zn u odnosu na kontrolne biljke, može da se zaključi da je vrsta *L. salicaria* dobro usvajala Zn iz zagađene vode.

Od drugih metala od interesa potočnjak je sadržao i znatne količine Ba, Co i Sr u odnosu na normalne vrednosti ovih elemenata (Soon, 1998; Kabata-Pendias, 2011; Barker i Pilbeam, 2006).

Vrsta *M. trifoliata* je zajedno sa vrstom *A. plantago - aquatica* sadržala značajno više Na (7919,85 mg/kg), a zajedno sa vrstom *I. pseudacorus* i značajno više Zn (32,85 mg/kg) u nadzemnoj biomasi u odnosu na druge ispitivane vrste. Grčica je koncentrisala 3596,09 mg/kg Na u rizomu i 4660,25 mg/kg Na u korenu, što pokazuje da je vrsta imala gotovo jednake koncentracije ovog elementa u podzemnoj i nadzemnoj biomasi. Sadržaj Zn je bio veći u korenu (97,19 mg/kg) i rizomu (31,55 mg/kg) u odnosu na nadzemnu biomasu, ali je translokacija u lišće postojala. S obzirom da su biljke u tretmanu sadržale značajno više Na u rizomu i Zn u korenu u odnosu na kontrolne biljke može da se pretpostavi da je ova vrsta ipak imala udeo u uklanjanju ovih elemenata iz zagađene vode.

Od drugih metala od interesa vrsta *M. trifoliata* je sadržala i znatne količine Al, Cr i Sr u odnosu na normalne vrednosti ovih elemenata (Kabata-Pendias, 2011; Barker i Pilbeam, 2006).

U uzorcima vode uliva i izliva biološkog sistema od metala od interesa su detektovani samo Na, Sr, As i Ba. Koncentracije Na su se kretale u granicama 2,135-4,428 mg/L, a značajna redukcija je ostvarena samo na kraju trećeg eksperimenta, kada je uliv sadržao maksimalne koncentracije Na. Voda je u bazenima sa biljkama posle

prvih šest dana tretmana sadržala 2,498-4,196 mg/L Na, što je dovelo do ostvarivanja efikasnosti uklanjanja od 5-44%. Visoka efikasnost je ostvarena u bazenima sa trskom i sa dekorativnim makrofitama. Uklanjanje Na je postignuto i tokom drugog eksperimenta, kada je voda recirkulisana u svakom bazenu posebno tokom jednog sata. Koncentracije Sr su u ulivu iznosile 0,013-0,14 mg/L. U bazenima sa biljkama ove koncentracije su ostale nepromenjene iako je pokazano da su neke biljke koncentrisale ovaj element u svojim tkivima. Na osnovu ove činjenice može da se pretpostavi da su biljke Sr usvajale iz supstrata. Međutim, kada je voda konstantno recirkulisala tokom jednog sata u bazenima sa biljkama je ostvarena efikasnost od 8%. U bazenu sa algama koncentracija Sr u vodi je snižena na 0,011 mg/L, pri čemu je ostvarena efikasnost uklanjanja od 15-21%. Metali Ba (0,345 mg/L) i As (0,110 mg/L) su detektovani u ulivu samo tokom trećeg eksperimenta. Do uklanjanja ovih elemenata ispod limita detekcije je došlo već u bazenima sa biljkama, a efikasnost uklanjanja od više od 99% je zadržana i u bazenu sa algama. Na osnovu sadržaja As u izlivu biološkog sistema (<0,01 mg/L) kao parametra za ocenu ekološkog statusa voda (***, 2011) odnosno na osnovu graničnih vrednosti zagađujućih materija u površinskim vodama (***, 2012) voda koja je izlazila iz biološkog sistema može da bude svrstana u klasu II (dobar ekološki status), čime je ostvaren pomak kvaliteta vode za jednu klasu.

Na osnovu prikazanih rezultata sadržaja različitih metala u ispitivani biljkama može da se zaključi da je vrsta *P. australis* imala dobar potencijal za uklanjanje Cr, Ni, Al i Zn, kao i As i Co; vrsta *C. indica* dobar potencijal za uklanjanje As i Mn, kao i Al, Ba i Sr; vrsta *I. pseudacorus* dobar potencijal za uklanjanje Al, Ba i Sr, kao i Mn i Ni; vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' dobar potencijal za uklanjanje Zn, Al i Sr, kao i Cr i Zn; vrsta *A. plantago - aquatica* dobar potencijal za uklanjanje Al, Co, Sr i Na, kao i Cr i Ba; vrsta *L. salicaria* dobar potencijal za uklanjanje Zn, kao i Ba, Co i Sr, a vrsta *M. trifoliata* dobar potencijal za uklanjanje Na i Zn, kao i Al, Cr i Sr iz zagađene vode.

Iako su neke od ovih elemenata ispitivane vrste koncentrisale u svojim tkivima u količinama koje su u literaturi predstavljene kao toksične vrednosti (Adriano, 1986; Soon, 1998; Kabata-Pendias, 2011; Barker i Pilbeam, 2006) ni na jednoj biljci u biološkom sistemu nisu konstatovani simptomi toksičnosti, što može da ukaže na tolerantnost ovih vrsta na polutante prisutne u zagađenoj vodi. Da se biljke nisu nalazile pod stresom ili bar ne pod stresom koji bi mogao da izazove smanjeno usvajanje

ispitivanih elemenata i produkciju biomase, u širem smislu može da ukaže i sadržaj i odnos različitih fotosintetičkih pigmenata u listovima ispitivanih vrsta.

Sastav i sadržaj pigmenata, kao i promena njihovog odnosa, utiču na fotosintetički aparat i fiziološko stanje biljaka (Pessarakli *et al.*, 2010). Rezultati istraživanja su pokazali varijabilnost u sadržaju fotosintetičkih pigmenata kod analiziranih vrsta.

Sadržaj pigmenata u listu varira u zavisnosti od uslova sredine, kao i od položaja listova u odnosu na sunce, pa i proces uzorkovanja listova može uticati na varijabilnost rezultata. Sadržaj hlorofila je veći u listovima senke u poređenju sa listovima izloženim suncu, jer se pri jakoj svetlosti ravnoteža hlorofila (sinteza i razlaganje) postiže pri nižim koncentracijama (Sarić, 1979). Sadržaj hlorofila i karotenoida raste kada list dostigne 50 do 80% svoje veličine, a takođe se i menja u toku ontogenetskog razvoja biljaka, pa tako listovi nastali kasnije tokom vegetacije imaju manji sadržaj hlorofila (Sarić, 1979). Pri uzorkovanju biljnog materijala vodilo se računa o uzimanju reprezentativnog uzorka. Listovi su sakupljeni sa zdravih biljaka, bez vidljivih znakova oštećenja, u istoj fazi razvoja i istog stepena osunčanosti. Ipak, zbog gustog sklopa biljaka, posebno u četvrtom bazenu, uticaj različitog stepena osunčanosti uzorkovanih listova na sadržaj pigmenata u listu se ne može u potpunosti isključiti.

Koncentracija hlorofila u listovima zavisi i od fenološke faze biljke, pa tako, u momentu cvetanja koncentracija hlorofila je najveća, nakon čega opada (Sarić, 1979). Rezultati su pokazali da je vrsta *I. sibirica* 'Perry's Blue' imala najniži sadržaj hlorofila a i hlorofila b, kao i ukupnog hlorofila tokom prvog merenja, u bazenima i kontroli. Nizak sadržaj hlorofila u ovoj vrsti može se objasniti činjenicom da ovu vrstu karakteriše rani period cvetanja i da u trenutku uzorkovanja ova vrsta nije bila u fenofazi cvetanja. Sličan trend je primećen i kod vrste *I. pseudacorus*. Vrsta *C. indica*, kod koje je zabeležen najveći sadržaj hlorofila u drugom merenju bila je u fenofazi cvetanja.

Kod biljaka u kontroli, u drugom merenju, primećen je veći sadržaj hlorofila a i b, kao i ukupnog hlorofila u odnosu na biljke koje su rasle u bazenima sa zagađenom vodom. Imajući u vidu da su biljke u bazenima i kontroli rasle pri jednakom intenzitetu osunčanosti, manja koncentracija hlorofila izmerena u biljkama iz bazena, može biti posledica uticaja koncentracije zagađujućih materija u vodi, koja se ulivala u eksperimentalno postrojenje.

Uslovi stresa dovode do smanjenja količine ukupnog hlorofila, kao i do promena u odnosu hlorofila a/b i odnosa hlorofila i karotenoida (Bragato *et al.*, 2009; Gitelson *et al.*, 2002; Rossini *et al.*, 2006). Kada su biljke izložene stresu, odnos hlorofila a i b (Bragato *et al.*, 2009; Morales *et al.*, 1994; Rmiki *et al.*, 1999), kao i sadržaj karotenoida se povećava (Bragato *et al.*, 2009; Penuelas *et al.*, 1995).

Calheiros *et al.* (2009) su utvrdili da se sadržaj hlorofila vremenom povećao u listovima vrste *P. australis* koja je rasla u konstruisanom akvatičnom ekosistemu za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda. Ovo zapažanje autori objašnjavaju većom otpornošću biljke *P. australis* na koncentraciju polutanata u otpadnoj vodi. Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima dobijenim u ovom istraživanju, jer je sadržaj hlorofila a i ukupnog hlorofila u listovima vrste *P. communis* u prvom i trećem bazenu porastao vremenom, kao i sadržaj hlorofila b u prvom bazenu. Interesantno je istaći da je u kontroli primećeno smanjenje sadržaja pojedinačnih i ukupnog hlorofila kod ove vrste. Dostupnost hranljivih materija, posebno azota i fosfora, utiče na produktivnost biljaka kroz sintezu enzima koji osiguravaju nesmetano funkcionisanje fotosintetskog aparata (Medina i Francisco, 1997). Moguće je da su ovi rezultati posledica velike koncentracije N i P u ulivu zagađene vode, što ovu vrtu čini posebno pogodnom za korišćenje u ovakvim sistemima. Sličan trenda porasta sadržaja hlorofila je primećen i kod ostalih vrsta u bazenima. Ova zapažanja ukazuju na mogućnost zasnivanja vegetacije plutajućih ostrva za prečišćavanje zagađenih voda od ispitivanih vrsta biljaka.

Odnos hlorofila a/b je bio veći kod biljaka u kontroli u prvom merenju, dok razlika u ovim vrednostima nije bila značajna u drugom merenju. Odnos hlorofila a/b je pokazatelj sadržaja azota (N) u listu (Kitajima i Hogan, 2003). Hikosaka i Terashima (1995) su utvrdili da se odnos hlorofila a/b povećava sa smanjenjem dostupnog N, posebno pri jakoj svetlosti, dok je istraživanje (Kitajima i Hogan, 2003) pokazalo suprotno odnosno da ovaj odnos raste sa smanjenjem dostupnosti N. Ne postoji uvek pozitivna korelacija između hlorofila i koncentracije N, jer N nije jedini element koji ulazi u sastav molekula hlorofila (Ferreira *et al.*, 2015). Ukupan sadržaj N u listu teži linearnom povećanju, dok koncentracija hlorofila ima tendenciju da se poveća i stabilizuje ili da se smanji, jer biljka ima ograničenu mogućnost produkcije hlorofila (Ferreira *et al.*, 2015). Korelacija sadržaja pigmenata i N nije primećena (podaci nisu

prikazani), što ukazuje da su promene u sadržaju pigmenata i azota u biljkama bile dve odvojene reakcije.

Promena u sadržaju karotenoida i odnos hlorofila i karotenoida u listu opisuje fiziološko stanje biljke tokom razvića, starenja i aklimatizacije na različite uslove sredine, kao i na različite stresore kojima su biljke izložene (Gitelson *et al.*, 2002; Netto *et al.*, 2005). Povećanje sadržaja karotenoida može biti strategija biljaka za prevazilaženje stresa prouzrokovanog teškim metalima (Singh i Agrawal, 2010). U analiziranim biljkama primećen je porast sadržaja karotenoida sa vremenom. S obzirom da je isti trend primećen kod biljaka u bazenima i kontroli, povećanje sadržaja karotenoida kod biljaka u sistemu ne može biti posledica uticaja zagađujućih materija koje su se nalazile u vodi koja je ulazila u biološki sistem.

Prema (Manios *et al.*, 2003) akumulacija teških metala i ostalih zagađujućih materija koja je bila uzrok smanjenja sadržaja ukupnog hlorofila, imala je sličan efekat i na odnos hlorofila a i b. Ovo je posledica brže hidrolize hlorofila a u poređenju sa hlorofilom b kada se biljke nalaze pod stresom (Manios *et al.*, 2003). Tokom prvog merenja biljke iz kontrole su imale veći odnos hlorofila a/b u poređenju sa biljkama koje su rasle u bazenima, dok se razlika između ove dve grupe biljaka smanjila u drugom merenju i nije bila statistički značajna. Na osnovu navedenih rezultata moguće je pretpostaviti da voda iz uliva nije imala negativan uticaj na produkciju hlorofila i zdravstveno stanje biljaka, što dodatno potvrđuje da ove vrste mogu da se koriste u biološkim sistemima za prečišćavanje vode.

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da su sve vrste, osim vrste *M. trifoliata*, produkovala veliku biomasu u biološkom sistemu za tretman zagađenih voda. Kao vrste sa najvećom ostvarenom biomasom izdvajaju se vrste *C. indica*, *L. salicaria* i *P. australis*. Na kraju eksperimentalnog perioda odnosno posle 126 dana od presađivanja u biološki sistem kana je produkovala 35,83 kg sveže biomase (4,39 kg suve biomase), a trska 8,27 kg sveže biomase (2,86 kg suve biomase). Od svih dekorativnih makrofita vrsta *L. salicaria* je posle 154 dana od presađivanja u biološki sistem ostvarila 9,22 kg sveže biomase (3,77 kg suve biomase). Najmanju biomasu je produkovala vrsta *M. trifoliata* uz vrednost od 81,34 g sveže biomase (15,97 g suve biomase).

Rezultati ovih istraživanja potvrđuju da ispitivane vrste poseduju osobine biljaka pogodnih za fitoremedijaciju (rizofiltraciju) zagađenih voda.

Sve odabrane vrste su pokazale dobar potencijal za usvajanje različitih polutanata i redukciju njihovog sadržaja u zagađenoj vodi. Pri tome je na izlasku iz biološkog sistema dobijena voda koja može da bude okarakterisana kao voda odličnog i dobrog ekološkog statusa. Naravno, postojale su razlike u efikasnosti fitoremedijacije u zavisnosti od vrste odabranih biljaka, ali kako što je pokazano svaka vrsta je mogla da koncentriše bar dva ili više različitih elemenata, koji su okarakterisani kao polutanti, iz zagađene vode. Upravo je ovo činjenica, koja potvrđuje da je važno da se za zasnivanje vegetacije plutajućih ostrva koriste različite biljne vrste, koje će s jedne strane omogućiti stvaranje stabilnijeg sklopa vegetacije, a s druge strane efikasno usvajanje širokog spektra polutanata. Pri usvajanju metala od interesa, biljke su većinu ovih elemenata zadržavale u korenu, tako da je njihova translokacija u nadzemne delove ili izostajala ili je bila niska. Zahvaljujući ovom mehanizmu odabrane, vrste su sprečile ulazak usvojenih polutanata u lanac ishrane, njihovu biomagnifikaciju u životnoj sredini i smanjile količinu sekundarnog otpada na kraju rizofiltracionog procesa. Od momenta presađivanja u biološki sistem, pa do kraj eksperimenata odnosno kraja vegetacionog perioda, sve vrste osim *M. trifoliata* su rasle brzo i pri tome su stvarale znatnu biomasu. Sve vrste, u biološkom sistemu, su bile otporne na različite ekološke uslove sredine, koje su u nekim momentima tokom eksperimenata bile ekstremne (visoka temperatura vode i vazduha, jaka insolacija i drugo). Propadanje nadzemnih delova kane tokom njenog rasta u biološkom sistemu ne mora da predstavlja značajan problem, jer je ona brzo pokazala dobru regenerativnu sposobnost. Biljke su bile tolerantne i na širok spektar polutanata i otporne na štetočine i bolesti. Zasnivanje biljaka, njihovo presađivanje u biološki sistem i održavanje vegetacije plutajućih ostrva je bilo jednostavno.

Na osnovu svega što je rečeno može da se potvrdi da sve ispitivane vrste mogu da se koriste za tretman zagađenih otpadnih voda u biološkim sistemima, jer su sve prikazale dobar fitoremedijacioni potencijal. Ova preporuka se manje odnosi na vrstu *M. trifoliata*, prvenstveno zbog male ostvarene biomase.

6.3. Biotehnički i ekonomski aspekti plutajućih ostrva za fitoremedijaciju

Indikatori predstavljaju jedan od instrumenata za sistematsko utvrđivanje, ocenjivanje i praćenje segmenata održivosti fitoremedijacije sa ekološkog, ekonomskog, socijalnog i institucionalnog aspekta.

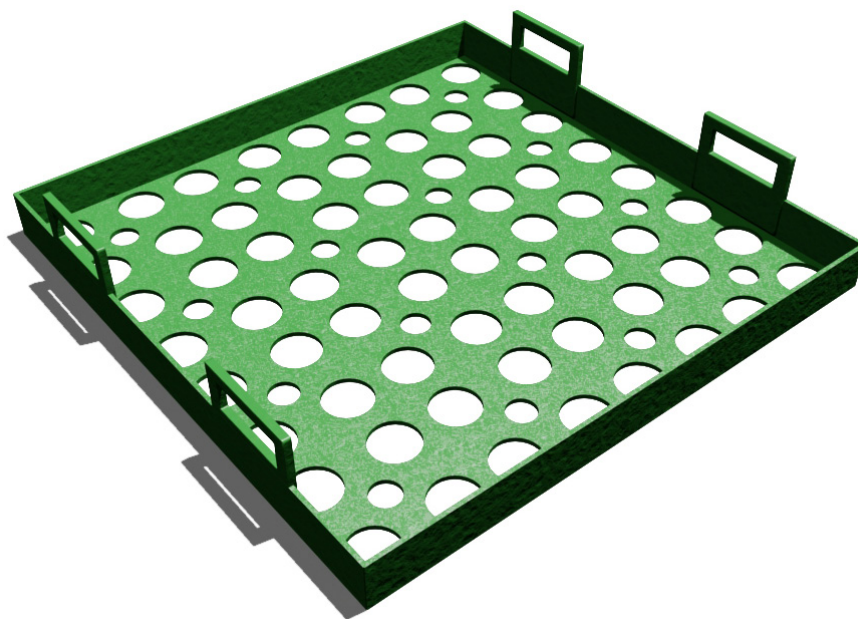
Plutajuća ostrva za prečišćavanje otpadnih voda se mogu svrstati u kategoriju investicija koje, pored ekoloških efekata, generišu i prihode. Prema dosadašnjim istraživanja (Hernández-Sancho *et al.*, 2015; Lasat, 2002.; Prasad i Freitas, 2003; Blaylock i Huang, 2000; Davis, 2000; Cheng *et al.*, 2002b; Salt *et al.*, 1998; Hammer, 1989; Cunningham i Ow, 1996), realizacijom ovakvih projekata, postižu se pozitivni efekti na efektivnost i efikasnost održivog korišćenja prirodnih resursa, poboljšanje kvaliteta životne sredine i opšti socio-ekonomski i privredni razvoj društva.

6.3.1 Tehnički i biotehnološki parametri plutajućeg ostrva

Na osnovu ispitanog fitoremedijacionog potencijala korišćenih biljaka u biološkom sistemu tokom eksperimenata, osobina korišćenog supstrata i nosača, kao i efikasnosti plutajućih ostrva da u datim uslovima vrše prečišćavanje zagađene vode iz reke, dat je Model jednog plutajućeg ostrva i predlog izgleda Sistema plutajućih ostrva, koji može da se koristi za restauraciju zagađenih urbanih vodotokova.

Različiti proizvođači gotovih plutajućih ostrva u svetu (Biomatrix water, Floating Island International, Inc., Canadianpond.ca Products Ltd. i drugi) nude različite oblike ostrva, koja mogu da stoje zasebno ili da se spajaju u veći sistem i tako imitiraju izgled prirodnih plutajućih ostrva. U ponudi su ostrva u obliku trougla, četvorougla, petougla, kruga kao i ostrva nepravilnih oblika. Kao optimalan oblik plutajućeg ostrva odabran je kvadrat dimenzija 1 x 1 m. Predloženi oblik je izabran na osnovu činjenice da će se plutajuća ostrva postavljati u okviru vodotoka, a ne jezera ili bare. Takođe, ovakav oblik omogućava lako povezivanje ostrva u Sistem, njihovo lako ankerisanje za obalu, pojeftinjuje izradu nosača ostrva i smanjuje mogućnost zadržavanja različitog čvrstog otpada u okviru Sistema. Površina ostrva od 1 m² je izabrana na osnovu iskustva stečenog tokom postavljenog eksperimenta u biološkom sistemu. Ova veličina je odgovarala težini plutajućeg ostrva, koja nije ugrožavala mogućnost lake manipulacije vegetacijom obraslih platformi.

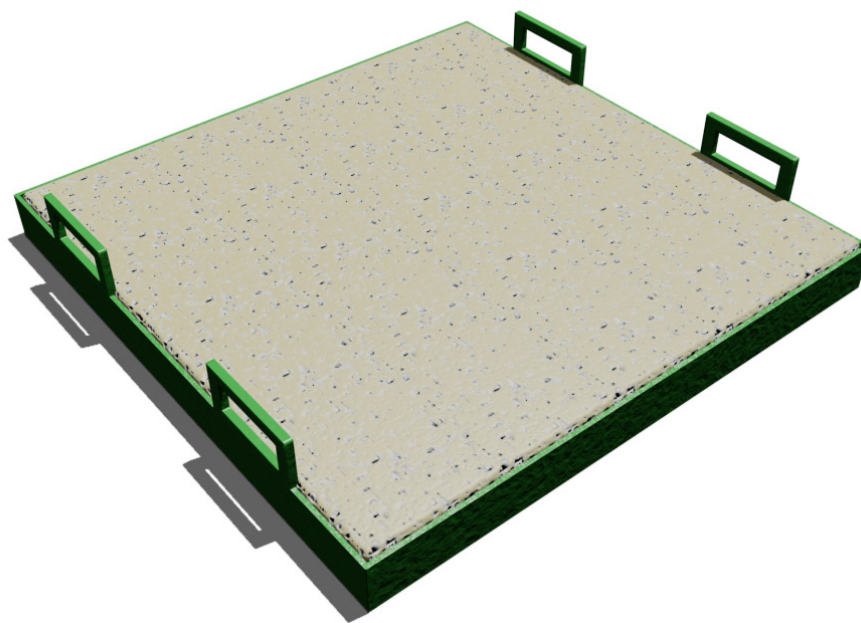
Tokom eksperimenta u biološkom sistemu primećeno je da korišćeni nosači plutajućih ostrva od plastičnih masa, zadovoljavaju sve postavljene kriterijume u pogledu trajnosti, otpornosti na oštećenja, male težine i velike nosivosti vodom natopljenog supstrata i zasnovane vegetacije. Na osnovu ovih saznanja predloženi nosač plutajućeg ostrva je napravljen od lakih termoplastičnih masa odnosno polietilena visoke gustine (HDPE). Dimenzije nosača su 1 m x 1 m x 0,1 m. Konstruisan je kao rešetkasti nosač sa četiri rukohvata i kružnim otvorima prečnika 8,4 i 5,0 cm na dnu (Slika 41.). Raspored i veličina kružnih otvora omogućavaju s jedne strane plutanje ostrva na površini vode, a s druge strane neometan rast korena biljaka i njegovo prorastanje kroz nosač u zagađenu vodu. U okviru poglavlja Prilozi (Prilog 2.) dat je prikaz preseka i osnove nosača.



Slika 41. Izgled rešetkastog nosača plutajućeg ostrva

Kao potencijalni supstrati plutajućeg ostrva u radovima različitih autora (Stewart *et al.*, 2008; Duncan, 2012; Headley i Tanner, 2008) pominju se kokosov treset, njegova kora i vlakna, kamena vuna, polimerna vlakna, polistiren i različiti veštački materijali. Hogg i Wein (1988) navode da supstrat, pa čak i nosač, mogu da izostanu kao elementi konstrukcije plutajućih ostrva, ukoliko biljke koje se koriste stvore samoplutajuće strukture preplitanjem svojih korenova, rizoma i organskih ostataka. U tom slučaju, ostrvo pluta po površini zahvaljujući vazduhu koji je zarobljen u korenu ili rizomima i u

međuprostorima ovako stvorenog supstrata. Eksperiment u biološkom sistemu je pokazao da je kamena vuna odgovarajući supstrat za zasnivanje i rast vegetacije plutajućeg ostrva. Tokom perioda vegetacije ona je zadržala stalan oblik, nije se raspadala ili rasipala i dobro je upijala vodu. Kao supstrat je pružala dobru potporu biljkama, koje su neometano rasle i formirale gustu mrežu korenovog sistema, kako u kamenoj vuni tako i po prorastanju kroz nju u zagađenoj vodi. Tokom eksperimenta je korišćena kamena vuna, koja se u građevinarstvu koristi kao izolacioni materijal. S obzirom da je ona sadržala veće koncentracije elemenata kao što su Al, Ca, Fe, Mg i Na (Tabela 35), za formiranje supstrata predloženog modela plutajućih ostrva izabrana je specijalizovana kamena vuna Urbanscape Green Roll Standardni (HTC GR), proizvođača Knauf Insulation d.o.o., Beograd. Na osnovu specifikacije proizvođača, ovo je lagan supstrat napravljen isključivo od prirodnih mineralnih kamenih vlakana, koji obezbeđuje izvanredno zadržavanje i očuvanje vode i predstavlja dobar medijum za rast biljaka. Debljina supstrata je 4 cm, tako da se on u okviru nosača postavlja u dva sloja. Njegova težina je $4,4 \text{ kg/m}^2$, a ima mogućnost zadržavanja vode od 29 L/m^2 .



Slika 42. Izgled rešetkastog nosača plutajućeg ostrva sa kamenom vunom

Vegetaciju predloženog modela plutajućeg ostrva čine sve ispitivane vrste u ovom istraživanju izuzev vrste *Menyanthes trifoliata* L. (grčica). Kao što je napomenuto ova vrsta je ostvarila malu biomasu tokom eksperimenata i to je jedini razlog što ona nije ušla u izbor biljaka pogodnih za zasnivanje plutajućeg ostrva. Ostale vrste,

Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud (trska), *Canna indica* L. (kana), *Iris pseudacorus* L. (barska perunika), *Iris sibirica* 'Perry's Blue' (sibirska perunika), *Alisma plantago - aquatica* L. (vodena bokvica) i *Lythrum salicaria* L. (potočnjak), su pokazale dobar fitoremedijacioni potencijal i mogućnost stvaranja značajne količine biomase. U prvom redu ovde se misli na količinu biomase podzemnog dela, jer je jedna od glavnih uloga biljaka da u okviru plutajućih ostrva odnosno svoje rizosfere stvore pogodna mesta za vezivanje korisnih mikroorganizama, koji će učestvovati u procesu prečišćavanja (Brix, 1993). Pri izboru vrsta u obzir je uzeta i njihova dekorativnost. U literaturi su pronađeni različiti podaci o gustini sadnje, koja je prvenstveno zavisila od vrsta biljaka koje su se koristile. Na plutajućim ostrvima je obično sađeno 4-16 biljaka po m², uz napomenu da su korišćene obično vrste koje tokom vegetacije dostižu veliku biomasu (*Phragmites* sp., *Scirpus* sp., *Typha* sp., *Cyperus* sp. i druge) (Duncan, 2012). Gustina sadnje od 25 biljaka po m² plutajućeg ostrva u okviru četvrtog bazena sa mešovitim vegetacijom se pokazala kao odgovarajuća, tako da je to ujedno i predložena gustina sadnje za model plutajućih ostrva. Preporučena zastupljenost odabranih vrsta je: 4 kom. *P. australis*, 5 kom. *C. indica*, 4 kom. *I. pseudacorus*, 4 kom. *I. sibirica* 'Perry's Blue', 5 kom. *A. plantago - aquatica* i 3 kom. *L. salicaria*. Da bi se izbegao monotoni izgled Sistema usled ponavljanja identičnih ostrva preporučena zastupljenost vrsta može da se promeni uz napomenu da vegetacija mora da ostane mešovita, u cilju održavanja njene stabilnosti i efikasnosti celokupnog biološkog sistema za prečišćavanje zagađenih voda.



Slika 43. Model plutajućeg ostrva

Sistem plutajućih ostrva se sastoji od deset, trideset ili pedeset povezanih ostrva. Ukoliko je korito reke uzano, Sistem se postavlja duž jedne obale reke, koja je pogodnija za ankerisanje ostrva. Ukoliko širina vodotoka i konfiguracija obala to dozvoljavaju, Sistem plutajućih ostrva može da se postavi i duž obe obale naizmenično. Razmak između dva Sistema postavljenih na istoj obali ne treba da bude manji od 5 m. Ova širina je neophodna kako bi se omogućio nesmetan ulazak u reku javno vodoprivrednim preduzećima u redovnim i vanrednim situacijama, kako i nadležnima za održavanje Sistema plutajućih ostrva i praćenje njegove efikasnosti.

Sistem plutajućih ostrva se ankeriše za bitve postavljene na obali čeličnim plastificiranim sajlama i pratećom opremom. Vezivanje za obalu, kao i međusobno

povezivanje ostrva mora biti takvo da omogućiti nesmetano vertikalno kretanje ostrva pri promeni vodostaja reke.

Po završenom postavljanju Sistema plutajućih ostrva, biološkom sistemu će biti potrebno određeno vreme kako bi sa uspehom počelo da prečišćava otpadne vode. To je vreme, koje će biljkama i mikroorganizmima biti potrebno kako bi se aklimatizovali, ostvarili dobar međusoban kontakt i kontakt sa podlogom (Kadlec i Wallace, 2009). Kako minimum ovog perioda uzima se šest nedelja po sadnji biljaka (Hammer, 1989), što je teorijska vrednost, koja može da se poveća u praksi. U toku ove početne faze monitoring Sistema se vrši nekoliko puta nedeljno. Na ovaj način se kontroliše zdravstveno stanje biljaka i njihov rast, stabilnost podloge i nosača, sigurnost ankerisanja i uočavaju se svi problemi, koji su mogli da nastanu prilikom njegove konstrukcije i postavljanja. Uklanjanje nedostataka u ovoj fazi obezbeđuje brže dostizanje optimalnog tretmana, a nastali problemi se rešavaju u startu.

Sistem plutajućih ostrva za prečišćavanje zagađenih voda je živi sistem u kome se tretman voda vrši zahvaljujući prirodnim procesima, koji teku relativno sporo. Zbog toga je njegovo održavanje posle isteka inicijalnog održavanja malo zahtevno. Biljke će regulisati svoju brojnost same, kroz svoj rast, nestajanje i ponovno pojavljivanje. Osnovne mere kontrole i održavanje su usmerene na očuvanje željenog sastav vegetacije kroz sprečavanje naseljavanja neželjenih biljaka. Korišćenje pesticida nije dozvoljeno. Takođe treba vršiti stalnu kontrolu biljaka kako se ne bi pojavile različite štetočine ili bolesti. Kao i kod uklanjanja neželjenih vrsta biljaka, tako i u borbi protiv štetočina ili bolesti ne treba koristiti pesticide osim u ekstremnim slučajevima. Čak i tada treba njima rukovati pažljivo s obzirom da mogu ozbiljno da oštete druge komponente sistema. Biološki preparati u borbi moraju da imaju prednost.

Košenje vegetacije se ponekad primenjuje u biološkim sistemima za prečišćavanje zagađenih voda kako bi se uklonili azot i ugljenik i kako bi se vegetacija dugo održala u visokoj fiziološkoj aktivnosti i time povećalo odstranjivanje zagađujućih materija iz otpadne vode (Hammer, 1989). Međutim posledice mogu da budu poremećaji u akvatičnom ekosistemu i sprečavanje dostizanja zrelosti biljne vegetacije. Košenje vegetacije u Sistemu plutajućih ostrva se primenjuje samo na kraju vegetacione sezone, pri čemu uklonjena nadzemna biomasa može da se proda daljim korisnicima.

Kadlec i Wallace (2009) navode kako je monitoring sistema je vrlo važan zbog:

- obezbeđivanja podataka koji će dovesti do poboljšanja tretmana,
- identifikovanja problema,
- dokumentovanja akumulacije potencijalnih toksičnih materija pre nego što se one akumuliraju u biljkama i
- određivanja stepena usaglašenosti sa odgovarajućim propisima.

Praćenje rada postrojenja je potrebno i kako bi se procenila ispunjenost ciljeva tretmana i kako bi se naznačio njegov biološki integritet.

Koliko će monitoring biti detaljan i koliko će se često sprovoditi zavisi od veličine i kompleksnosti biološkog sistema (U.S.EPA, 2000). S obzirom na jednostavnost konstrukcije Sistema i malu zahtevnost u pogledu konstantnog monitoring njegovih komponenti, kao minimalni monitoring određuje se onaj koji se sprovodi jednom mesečno. Kontrolu sistema je obavezno izvršiti i posle velikih kiša ili iznenadnog uliva vode sa visokom koncentracijom zagađujućih materija. Uzimanje uzoraka vode iz reke i njihova analiza se vrši onoliko često koliko je to utvrđeno zakonom.

6.3.2 Ekonomski parametri i opravdanost Sistema plutajućih ostrva za fitoremedijaciju

Prilikom ocene opravdanosti realizacije jednog investicionog projekta treba uvek imati u vidu i efekte koje projekat donosi drugim subjektima ili široj društvenoj zajednici. Pojedine investicije, zbog svoje multifunkcionalne uloge, kao što su Sistemi plutajućih ostrva, treba da se posmatraju i ocenjuju sa više aspekta - socijalnog, ekološkog, privrednog, ekonomskog i slično. U cilju realnog sagledavanja procesa investiranja i ocene realizacije projekta potrebno je, pre svega, da se utvrde i analiziraju ukupni efekti koji proističu iz realizacije investicije. U tom kontekstu, Cost-Benefit analiza predstavlja osnovu za donošenje investicionih odluka koje mogu uticati na razvoj određene lokacije, regiona ili određene društvene zajednice.

6.3.2.1 Pokazatelji Cost - Benefit analize

Važniji elementi Cost-Benefit analize investiranja i korišćenja Sistema plutajućih ostrva su: opis lokacije za realizaciju projekta, društveno-ekonomsko okruženje u kome se sistem nalazi, određivanje glavnih grupa koje će biti uključene u realizaciji,

identifikacija optimalne investicije, tok realizacije, vremenski period trajanja, izvodljivost i analiza alternative, finansijska analiza, ekonomska analiza, utvrđivanje stepena povezanosti projekta sa ostalim programima i procena rizika. Analiza se često može odnositi i na značajne indirektne i teško merljive efekte. U okviru procesa prečišćavanja zagađenih voda, veliki deo indirektnih dobiti potiče od ekoloških koristi kao što su npr. očuvanje prirodnih resursa, zemljišta, podzemnih voda i drugo.

Primena Cost-Benefit analiza zahteva da se uzmu u obzir ukupne koristi i troškovi od investicionih projekata koje društvo ima od njih, bez obzira koja je vrsta investicije. Na osnovu poređenja ukupnih koristi i troškova utvrđuje se ocena valjanosti, odnosno rentabilnost konkretne investicije. Pri tome, isti postupci ocene primenjuju se kada je u pitanju privatna investicija i kada je u pitanju javna ili njihovo partnerstvo. Međutim, privatni investitori imaju interes samo za one efekte projekta koji utiču na profitabilnost, dok javni investitor mora da obrati pažnju na mnogo šire i multifunkcionalne efekte investicije. S obzirom na veliki značaj i složenost ove metodologije, neophodan je sistematičan i timski pristup stručnjaka iz nauke i eksperata iz privrede. Primena ove metodologije u praksi realizacije projekata u oblasti vodoprivrede, zaštite životne sredine i slično, zahteva dugotrajan proces koji treba da dovede do poboljšanja stanja u našim uslovima poslovanja, a posebno do poboljšanja efikasnosti od šireg društvenog značaja.

Sprovođenjem Cost-Benefit analize za projekat investiranja i korišćenja Sistema plutajućih ostrva potrebno je: odrediti ciljeve, dokumentovati sve što je potrebno za realizaciju procesa investiranja, proceniti buduće zahteve, izabrati najmanje tri alternative, dokumentovati pretpostavke Cost-Benefit analize, proceniti troškove, proceniti koristi, diskontovati troškove i koristi i oceniti alternative (Sredojević *et al.*, 2010). Pored navedenog, bilo bi korisno napraviti posebnu procenu efektivnosti predloženih Sistema na određenoj lokaciji, u smislu zaštite životne sredine odnosno proceniti ekonomsku vrednost ekosistemskih usluga konstruisanih bioloških sistema.

Posebnu pažnju je potrebno posvetiti upotrebi specifičnih zona, kao što su: parkovi prirode, zaštićene zone, prirodna skloništa, osetljive zone i drugi predeli od posebnog značaja. Iako se daleko otišlo u razvijanju različitih ekonomskih metoda za procenu direktnih i indirektnih vrednosti usluga prirodnih ekosistema, manji broj studija se bavi vrednovanjem ekosistemskih usluga različitih tipova konstruisanih akvatičnih

ekosistema (Yang *et al.*, 2008a). I pored konstantnog isticanja kako ekološki aspekti plutajućih ostrva i drugih bioloških sistema za prečišćavanje zagađenih voda pri izradi Cost-Benefit analiza nikako ne smeju biti zanemareni oni se pri proceni koristi često izostavljaju (Ko *et al.*, 2004). Kao osnovna prepreka za vrednovanje ekoloških koristi najčešće se pominju nepostojanje odgovarajuće metodologije i nedostatak relevantnih podataka o samim biološkim sistemima (Lasat, 2002).

Osnovni princip Cost-Benefit analize nalazi da je projekat za realizaciju opravdan jedino ako je ukupna korist koju on donosi, veća od očekivanih troškova. Kod ocenjivanja investicionih projekata, primenom Cost-Benefit analize, moguće je koristiti veći broj kriterijuma za ocenu, od kojih su važniji: sadašnja vrednost neto koristi, interna stopa rentabilnosti, odnosa koristi i troškova, period vraćanja investiranog kapitala (Sredojević *et al.*, 2010).

Sadašnja vrednost neto koristi predstavlja razliku između sadašnje vrednosti ukupnih koristi projekta i sadašnje vrednosti ukupnih troškova projekta, odnosno:

$$K_{ns} = K_s - T_s \quad (23)$$

gde su :

K_{ns} - sadašnja vrednost neto koristi

K_s - sadašnja vrednost ukupnih koristi projekta, tj. ukupna diskontovana korist

T_s - sadašnja vrednost ukupnih troškova projekta, tj. ukupni diskontovani troškovi

Prema ovom pokazatelju, investicija je ekonomski opravdana i može da se realizuje, ako je vrednost sadašnje vrednosti neto koristi pozitivna, odnosno veća od nule, tj. $K_{ns} > 0$. Pri izboru, između više međusobno isključivih projekata, najprihvatljiviji za realizaciju je onaj koji ima najveću pozitivnu vrednost sadašnje vrednosti neto koristi. Kao pokazatelj, koji operiše sa apsolutnim veličinama, koristi i troškova, ovaj pokazatelj je znatno pogodniji za ocenu pojedinačnih projekata, nego za izbor jedne između više investicionih alternativa. Naime, kod ocene valjanosti jednog projekta ne postoje veće prepreke pri odlučivanju jer se donosilac odluke oslanja na pozitivnu sadašnju vrednost neto koristi. Međutim, kod izbora između više projekata, potrebno je da se još neki faktori od uticaja uzmu u obzir, a samim tim i više drugih pokazatelja.

Interna stopa rentabilnosti predstavlja diskontnu stopu kod koje je suma diskontovane koristi jednaka sumi diskontovanih troškova, odnosno njena sadašnja vrednost neto koristi jednaka je nuli, odnosno:

$$K_{ns} = K_s - T_s (=0) \quad (24)$$

Investicioni projekti su opravdani, ako je pri njihovoj realizaciji, interna stopa rentabilnosti bila veća od kamatne stope na tržištu kapitala (ili od usvojene diskontne stope). Ako se radi o izboru između više međusobno isključivih projekata, u principu smatra se da je povoljniji onaj koji ima veću internu stopu rentabilnosti. Za izbor između više projekata, često se koristi tzv. relativna stopa rentabilnosti. Pri tome, pod relativnom stopom rentabilnosti podrazumeva se ona stopa kod koje su diskontovane razlike koristi jednake diskontovanoj razlici troškova dva posmatrana investiciona projekta.

Način ocenjivanja investicionih projekata pomoću relativne stope rentabilnosti isti je kao i kod interne stope rentabilnosti. Izračunavanje interne stope rentabilnosti dosta je komplikovana operacija. Kod jednostavnijih investicionih projekata, gde se ulaganje vrši jednokratno, a pri tome su koristi i troškovi dobijeni od projekata, jednaki po godinama, izračunavanje interne stope rentabilnosti je relativno jednostavno i vrši se pomoću anuitetnih tablica. U svim drugim slučajevima, ne postoji mogućnost direktnog izračunavanja interne stope rentabilnosti, pa se računanje izvodi primenom iterativnog postupka.

Odnos koristi i troškova izražava se, u stvari, koeficijentom njihovih međusobnih odnosa i predstavlja, kvantitativno posmatrano, relacije ukupnih diskontovanih koristi i ukupnih diskontovanih troškova jednog investicionog projekta. Koeficijent odnosa koristi i troškova pokazuje koliko jedinica koristi donosi svaka jedinica utrošenih sredstava, odnosno:

$$K = K_s/T_s \quad (25)$$

Ukoliko je koeficijent odnosa i koristi veći od jedan, tj. $K > 1$, smatra se da je projekat ekonomski efikasan i opravdan za realizaciju. Pri izboru između više

međusobno isključivih projekata, najprihvatljiviji je onaj koji ima najveću vrednost koeficijenta odnosa koristi i troškova. Iako se u teoriji smatra da je ovaj kriterijum po svojim karakteristikama inferioran, u odnosu na kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi, ipak je dosta pogodan za primenu u praksi, a posebno za izbor između više projekata. Ovaj pokazatelj nije osetljiv na različite strukture koristi i troškova, te je u takvim slučajevima realniji u odnosu na kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi. S tim u vezi, to je još jedna njegova pogodnost za izbor između više raspoloživih investicionih projekata.

Period vraćanja investiranog kapitala podrazumeva broj godina, tokom kojih će se iz sadašnjih vrednosti neto koristi od investicije otplatiti ukupno uložena sredstva, a može se izračunati iz sledećeg obrasca:

$$t = I_s / K_{sk} \quad (26)$$

gde su:

t - period vraćanja investiranog kapitala

I_s - sadašnja vrednost ukupnih investicionih ulaganja

K_{sk} - godišnje diskontovane vrednosti neto koristi

Investicija se smatra ekonomski efikasnom i opravdanom za realizaciju, ako je period vraćanja investiranog kapitala kraći od nekog unapred planiranog perioda vraćanja. Za planirani period uzima se ekonomski vek trajanja investicije. U slučaju izbora jednog, između više međusobno isključivih projekata, prednost se daje onom koji ima najkraći period povraćaja. Ovaj pokazatelj se obično koristi u slučajevima investicionih projekata kod kojih je prisutno brzo tehnološko i ekonomsko zastarevanje, te je težnja investitora da što pre otplati uložena sredstva kako bi mogao ponovo doći do moderne opreme. Ovaj kriterijum je veoma lak za primenu i izračunavanje, a to je jedan od glavnih razloga za njegovo često korišćenje u praksi.

Međutim, osnovni njegov nedostatak je u tome što ne uzima u obzir koristi i troškove projekata u celokupnom periodu eksploatacije investicija, već samo do trenutka svih uložених sredstava. To može činiti veliko i neopravdano pojednostavlјivanje analize i ocene investicija, posebno sa aspekta investitora, koje

prvenstveno zanima da li će ukupne koristi, koje se stvaraju u celokupnom periodu eksploatacije investicija biti iznad ukupnih troškova projekata. Bez obzira koji je projekat u pitanju, Cost-Benefit analiza zahteva da se uzmu u obzir ukupne koristi i troškovi koje društvo ima od njih (Sredojević *et al.*, 2006). Fokusiranje na ekonomsku efikasnost, često, u drugi plan stavlja ekološke i socijalne aspekte investicije.

Cost-Benefit analiza se ne koristi za investicione projekte koji donose samo direktne komercijalne efekte koji se mogu meriti i kvantitativno izraziti, već pre svega, za projekte koji donose i značajne indirektne i nemerljive efekte. Pored toga ona predstavlja metod koji omogućava odlučivanje o izboru između različitih oblika korišćenja resursa i različitih projekata, na osnovu utvrđivanja ukupnih doprinosa projekata dostizanju ekoloških ciljeva. Veoma je korisna metoda za dokazivanje kreatorima ekonomske politike, kako kratkoročno tako naročito dugoročno, za povećavanje obima i kvaliteta proizvodnih i neproizvodnih privrednih aktivnosti i njene efektivnosti i efikasnosti.

Tabela 40. Parametri Cost-Benefit analize korišćenja Sistema plutajućih ostrva za bioremedijaciju zagađene vode na „X“ lokaciji

	Korist /Dobitak	Troškovi
Novčane(i)	Vrednost vode posle fitoremedijacije	Investiciona ulaganja u Sistem plutajućih ostrva za fitoremedijaciju
	Sprečene štete od otpadnih voda	
	Ušteda energije i goriva korišćenjem konvencionalnih metoda remedijacije	Novčana izdavanja za korišćenja i održavanje sistema ostrva tokom godine
Nenovčane(i)	Ublažen ili izbegnut rizik uginuća flore i faune na lokaciji i unapređenje staništa	
	Pozitivni efekti na prirodne resurse - zemljište, vazduh i dr.	
	Smanjena migracija stanovništva	
	Smanjen rizik od bolesti stanovništva	
	Dekoratívni efekti	
	Poboljšani parametri životne sredine i veća vrednost lokacije	

Ako se na kratko da osvrtna značajne oblasti i aktivnosti, kao što su: urbana rešenja, iskorišćavanje vodenih resursa, životna sredina i uopšte, iskorišćavanje

prirodnog kapitala, neophodno je formirati kriterijume za efikasnu alokaciju resursa. Upravo Cost-Benefit analiza je pravi teorijski i praktični pokušaj, da se sa aspekta društva sagradi kriterijum investiranja i vrednovanja. Prema Cost-Benefit analizi postoji razlika u doprinosu projekta pojedinačnim i ukupnim društvenim ciljevima, odnosno postoji razlika u efektima od projekta sa pojedinačnog i ukupnog društvenog stanovišta. Kod ove analize treba uzeti u obzir sve koristi i troškove, bez obzira ko ih uživa (dobija). Takođe, kao troškovi uzimaju se u obzir i izgubljene koristi, a kao koristi smanjenje troškova.

Ova analiza je pogodna kod projekata koji donose višestruke efekte, koje uživa širi krug korisnika i doprinosi optimalnoj alokaciji ograničenih resursa. Primenu Cost-Benefit analize u ekonomskoj analizi projekata posebno preporučuje Svetska banka. Ovaj koncept Svetske banke preporučuje da se pri utvrđivanju troškova i koristi za celo društvo (ekonomska analiza), pođe od individualnog učinka (finansijska analiza) i da se uključivanjem ili isključivanjem određenih grupa koristi i troškova dođe do ukupnih efekata sa stanovišta zemlje u celini. Neke od grupa koristi i troškova mogu biti: transferna plaćanja, nepredviđeni troškovi, prethodni troškovi, eksterni efekti, multiplikacioni efekti, međunarodni efekti i drugo. Nakon utvrđivanja svih društvenih koristi i troškova koje ovakav investicioni projekat donosi, potrebno je ove koristi i troškove vrednovati i izraziti u novčanom obliku. U ovom slučaju treba pribeći odgovarajućem sistemu cena, koji će omogućiti prevođenje raznovrsnih efekata u novčane izraze. Za merenje efekata koje donosi projekat, Cost-Benefit analiza koristi korigovane tržišne cene, koje se obično zovu *obračunske cene* ili *cene u senci* (eng. shadow prices) i često se znatno razlikuju od tržišnih cena (Hernández-Sancho *et al.*, 2015).

Kvantitativno opisivanje inputa i outputa programa je svakako važan korak Cost-Benefit analize, odnosno oni su samo parametri troškova i koristi. Za pojedine ekološke uticaje ne postoji mogućnost da se obezbedi način, na koji će se vršiti merenje koliko zaista ljudi vrednuju te ekološke uticaje. Upravo zbog toga, privredni subjekti, novčane pokazatelje analize troškova i koristi proširuju vrednovanjem takvih neopipljivih uticaja.

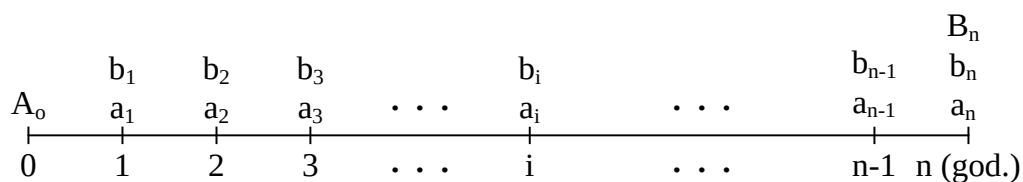
6.3.2.2 *Ekonomsko-finansijski model Sistema plutajućih ostrva*

Finansijskom analizom treba da se predstavi finansijska održivost. Do održivosti dolazi ukoliko je red neto toka nagomilanog ostvarenog novčanog toka pozitivan u svim godinama koje se razmatraju. To se postiže utvrđivanjem: ukupnih troškova, ukupnih prihoda, preostale vrednosti u krajnjoj godini, postupanje sa inflacijom, izbor odgovarajuće diskontne stope i način na koji se obračunava finansijska ili ekonomska stopa rentabilnosti i upotreba iste u svrhu procene (Sredojević *et al.*, 2011).

Ekonomska analiza procenjuje u kojoj meri projekat doprinosi ekonomskom napretku lokalne zajednice, regiona ili zemlje. Dosta je fokusirana na proračunavaju socijalnih troškova i koristi projekta kao i na način na koji oni utiču na krajnje rezultate. Ona se vrši u ime čitavog društva (regiona ili zemlje), a ne samo u ime vlasnika infrastrukture, kao što je slučaj sa finansijskom analizom.

Za uspešnu realizaciju ovakvih investicionih projekata u praksi, potrebno je da se obezbedi merenje važnih parametara, kao što su: kontinuitet prečišćavanja otpadnih voda, efekti prečišćavanja vode, obim uklonjenog polutanta, poboljšanje ekoloških parametara, lokalni razvoj i drugih.

Ukoliko je Sistem plutajućih ostrva smešten u teritorijalni okvir, onda postoji precizna identifikacija investicije. Potrebno je da se osigura da projekat bude u skladu sa: ekonomsko-finansijskim planiranjem u sektoru otpadnih voda, nacionalnom politikom u sektoru otpadnih voda i ekološkom politikom zajednice, republike i regiona. Osnovni ekonomsko-finansijski model plutajućeg ostrva može se grafički predstaviti na x-osi (Slika 44).



Slika 44. Ekonomsko-finansijski model Sistema plutajućih ostrva

gde su:

A_0 - ulaganje u pribavljanje (izgradnju) Sistema plutajućih ostrva,

a_i - novčana izdavanja za održavanje i upotrebu Sistema plutajućih ostrva po godinama njegovog korišćenja ($i=1, 2, 3, \dots n$),

b_i - novčana primanja po godinama korišćenja Sistema plutajućih ostrva ($i=1, 2, 3, \dots n$),

B_n - novčano primanje koje se ostvaruje od Sistema plutajućih ostrva na kraju perioda njegovog korišćenja (prodajom materijala od dotrajalog ostrva na kraju n -te godine),

n - planirani period korišćenja Sistema plutajućih ostrva (godina).

Analiza takođe treba da obuhvati poređenja sa prethodnom situacijom, mogućim alternativama u okviru iste namene, a uz različite tehnike gradnje, različite tehnologije prečišćavanja, upotrebu različitih izvora energije i hemikalija za prečišćavanje, generisanja nus proizvoda i slično. Nekada je čak svrsishodno i uporediti troškove i dobiti, koje nastaju kada se ne preduzima prečišćavanje voda i kada se primeni odabrana metoda revitalizacije zagađenih voda (Hernández-Sancho *et al.*, 2015).

Na osnovu predložene tehničke konstrukcije Modela plutajućih ostrva i potrebnog materijala za njihovu izgradnju obračunat je iznos investicionih ulaganja (Tabela 41.) za različite Sisteme plutajućih ostrva i to Sistem A od 10, Sistem B od 30 i Sistem C od 50 plutajućih ostrva. Za potrebe obračuna, pošlo od pretpostavke da se sva ulaganja čine u kraćem vremenskom periodu, tako da se smatra da je period pripreme/izgradnje ovakve investicije završen u toku jedne godine i nije uzeta u obzir interkalarna kamata.

Prema utvrđenim iznosima u Tabeli 41. za Sistem A od 10 plutajućih ostrva, potrebno je oko 1.800 €, za sistem B od 30 plutajućih ostrva oko 5.000 € i za sistem C koji se sastoji od 50 plutajućih ostrva, potrebno je oko 8.400 €. Ovo je, prema prikazanom ekonomsko-finansijskom modelu, ulaganje u pribavljanje (izgradnju) Sistema plutajućih ostrva vrednost parametra A_0 za pojedine Sisteme. S obzirom na namenu i višegodišnji period postizanja različitih koristi od navedene investicije, visina planiranih ulaganja po sistemima ne predstavlja veliki problem. Ukoliko je investitor, iz privatnog sektora sredstva za ovakvu investiciju mogao bi da pribavi apliciranjem na konkursima fondova EU koji su namenjeni za očuvanje životne sredine, pejzažnu arhitekturu, dekorativne svrhe i slično. Ukoliko je investiranje i vlasništvo javni sektor, za ovakvu investiciju mogla bi da se izdvoje sredstva iz budžeta. Bez obzira o kom se

investitoru radi i iz kojih fondova, od ovakve investicije mogu da se očekuju novčane koristi po osnovu različitih naknada, kao i vrednovanjem drugih nenovčanih efekata koji omogućavaju održivost prirodnih resursa (Sredojević *et al.*, 2014).

Tabela 41. Iznosi investicionih ulaganja za pojedine Sisteme plutajućih ostrva

R. br.	Namena	Jedinica mere	Količina po Sistemima plutajućih ostrva			Cena (€/jed. mere)	Iznos po Sistemima plutajućih ostrva (€)		
			A	B	C		A	B	C
1.	Nosač plutajućeg ostrva	kom.	10	30	50	120,00	1.200,00	3.600,00	6.000,00
2.	Bitva	kom.	10	25	45	25,00	250,00	625,00	1.250,00
3.	Čelična plastificirana sajla (4/5mm)	m	50	180	260	0,30	15,00	54,00	78,00
4.	Alke okretne kovane	kom.	20	70	120	5,30	106,00	371,00	636,00
5.	Kuke okretne sa osiguračem	kom.	20	70	130	1,70	34,00	119,00	221,00
6.	Stege za sajlu	kom.	80	250	420	0,20	16,00	50,00	84,00
7.	Pripreme terena, trajna obrtna sredstva i dr.	RSD	-	-	-	-	100,00	120,00	150,00
8.	Ostali troškovi (tehn. dokum. i sl.)	RSD	-	-	-	-	15,00	20,00	25,00
Ukupno (1.-8.):							1.736,00	4.959,00	8.319,00

Sistemi: A - 10 plutajućih ostrva, B - 30 plutajućih ostrva, C - 50 plutajućih ostrva

U Republici Srbiji je tokom poslednjih godina izrađen normativni sistem prikupljanja prihoda od korišćenja prirodnih dobara, primenom principa *korisnik plaća*, kao i mera za destimulisanje negativnih uticaja na životnu sredinu, primenom principa *zagađivač plaća*. Naknade predstavljaju najčešće netržišnu cenu za korišćenje prirodnih dobara, bilo da se radi o njihovom korišćenju za ekonomsku aktivnost ili da se radi o korišćenju životne sredine kao prostora za ispuštanje štetnih materija, deponovanje štetnih produkata proizvodne, odnosno ekonomske aktivnosti. Suština pojma poreske stope i takse, nije isto što i stopa ili iznos naknada koje se naplaćuju za korišćenje prirodnih dobara, vrednosti ili prirodnog kapitala. Iznos naknada se najčešće ne formira na osnovu ponude i tražnje, već na osnovu administrativnih ili stručnih procena i monitoringa o stanju obnovljivih i neobnovljivih resursa za čije korišćenje se plaća naknada.

Regulativom u Srbiji su definisane oblasti u kojima se naplaćuju naknade za korišćenje prirodnih dobara. Naknade se naplaćuju za: vode, zemljište, korišćenje ribarskih područja, korišćenje prirodnih lekovitih faktora (banjske vode), šume, puteve, korišćenje turističkog prostora, korišćenje mineralnih sirovina i zaštitu životne sredine. Naknade za korišćenje vodnih resursa su definisane Zakonom o vodama, koji je donet 2010. godine. Zakonom su obuhvaćeni sledeći aspekti: upravljanja vodama, odnosno, pravni status voda, integralno upravljanje vodama, upravljanje vodnim objektima i vodnim zemljištem, izvori sredstava i načini finansiranja vodne delatnosti.

Finansiranje upravljanja vodama obuhvata sledeće aktivnosti: uređenje vodotoka i zaštita od štetnog dejstva voda, uređenje i korišćenje voda, zaštita voda od zagađivanja, izgradnja, održavanje i upravljanje melioracionim sistemima, izgradnja, održavanje i upravljanje regionalnim i višenamenskim hidrosistemima, kao i ostali poslovi od opšteg interesa. Sredstva za finansiranje upravljanja vodama obezbeđuju se iz više izvora: budžeta Republike Srbije, budžeta autonomne pokrajine Vojvodine, naknade za vode, koncesione naknade, ostalih izvora. Zakonska regulativa definiše postojanje sledećih osnova naplaćivanja naknada za: korišćenje vodnog dobra kao resursa, ispuštenu vodu, zagađivanje voda, odvodnjavanje, korišćenje vodnih objekata i sistema u slivnu vodu. *Nivo novčanog iznosa naknada definiše Vlada Republike Srbije godišnjim Uredbama o visini naknade za korišćenje voda, naknade za zaštitu voda i naknade za izvađeni materijal iz vodotoka.*

Za korišćenje vode kao prirodnog resursa naplaćuju se naknade za: korišćenje vode kao resursa za ekonomske aktivnosti u smislu navodnjavanja ili snabdevanja stanovništva vodom, vode kao recipijenta koji prima nus proizvode procesa proizvodnje ili komunalne aktivnosti, što predstavlja i zagađenje, vode kao resursa koji služi za proizvodnju električne energije i vode kao resursa koji služi kao uslov uzgoja pojedinih vrsta ribe za tržište. Saglasno vidovima korišćenja vode kao prirodnog dobra definisani su i oblici naknada koji mogu biti vezani za količine upotrebljene vode ili za količine proizvoda koji nastaju upotrebom vode. Naknade za vode se prikupljaju i koriste posredstvom Fondova za vode Republike Srbije ili autonomne pokrajine Vojvodine. Pored naknada za korišćenje prirodne sredine, prirodnog kapitala i dobara, postoji regulativa koja se odnosi na kazne koje se propisuju za nanošenje štete po životnu sredinu, odnosno nezakonito korišćenje prirodnih vrednosti, flore i faune.

Kalkulativnim postupkom analize ekonomsko-finansijske opravdanosti predloženih Sistema plutajućih ostrva, kao investicije, treba da se utvrde sva novčana izdavanja (a_i) i novčana primanja (b_i) po pojedinim godinama, a zatim niz čistih godišnjih koristi (k_i) za ceo period korišćenja Sistema plutajućih ostrva, tj. za svih n godina (Slika 44.). Finansijski rezultati se utvrđuju kao razlika između iznosa godišnjih novčanih primanja (b_i) i iznosa godišnjih novčanih izdavanja za njihovo korišćenje i održavanje (a_i), tj. kao $b_i - a_i = k_i$, pri čemu parametar i može imati vrednosti od 1, 2, ... n godina korišćenja Sistema plutajućih ostrva. Ovako utvrđeni pokazatelj finansijskog rezultata predstavlja čistu godišnju korist od Sistema plutajućih ostrva. Iz ostvarenog niza čistih godišnjih koristi tokom perioda njihovog korišćenja, tj., $\sum_{i=1}^n (b_i - a_i) = \sum_{i=1}^n k_i$, treba da budu pokriveni troškovi učinjenih investicionih ulaganja u sistem ostrva i godišnja novčana izdavanja za njegovo održavanje i korišćenje.

S obzirom da se u investicionim kalkulacijama obuhvataju sva novčana primanja i izdavanja u višegodišnjem periodu tokom izgradnje i korišćenja investicija, ukupne ekonomske rezultate i njihove odnose je potrebno utvrditi u jednom određenom (istom) obračunskom momentu. Kao obračunski momenat najčešće se uzima početni ili krajnji momenat investicionog perioda. Vrednosti godišnjih ekonomskih pokazatelja (novčanih primanja, izdavanja i dr.) u određenom obračunskom momentu se vrši diskontovanjem ili eskontovanjem ovih iznosa pomoću složene kamate na izabrani obračunski momenat. S obzirom da se radi o višegodišnjem kalkulativnom postupku, pri čemu se u obzir uzima i složeni kamatni račun, značajnu uticaj na visinu iznosa kamate ima i planirana kalkulativna kamatna stopa (p_k). Iznosi, umanjeni ili uvećani za odgovarajući iznos kamate (u zavisnosti od toga da li je vršeno diskontovanje ili eskontovanje) izražavaju „vrednost u datom momentu investicionog perioda“ i mogu se međusobno sabirati (Sredojević *et al.*, 2010).

U Tabeli 42. je data struktura kalkulacije za utvrđivanje pojedinih parametara za jednu godinu korišćenja i održavanja Sistema plutajućih ostrva, a kasnije, uz jasno determinisane izvore naknade i novčane efekte za ovakve investicija, može da se uradi celovita analiza ekonomsko - finansijske opravdanosti njihove realizacije na određenoj lokaciji u našoj praksi.

Tabela 42. Struktura kalkulacija korišćenja Sistema plutajućih ostrva tokom jedne godine

R. br.	Vrste troškova	Jedinica mere	Količina	Cena po jed. mere	Iznos (€)
I	Novčana izdavanja za korišćenje i održavanje Sistema plutajućih ostrva				
1.	Troškovi materijala				
	- podloga za biljke (kamena vuna i sl.)				
	- sadnice biljaka				
	- biološka sredstva za zaštitu				
	- biološko prihranjivanje				
	- popuna mesta uvelih biljaka				
2.	Rad radnika				
	- nega i održavanje biljaka na plutajućim ostrvima				
	- održavanje Sistema plutajućih ostrva na vodi				
	- uklanjanje nadzemne mase od fitoremedijacionih biljaka, čišćenje i skladištenje tehničke konstrukcije ostrva posle vegetacione sezone				
3.	Troškovi skladištenja tehničke konstrukcije plutajućih ostrva				
4.	Ostali troškovi (stručne usluge, osiguranje i sl.)				
Ukupno (I):					
II	Novčana primanja od korišćenja Sistema ostrva				
1.	Procenjeni iznos uštede energije i dr. materijala korišćenjem alternativnih bioloških sistema za prečišćavanje vode				
2.	Naknade od tarifa otpadnih voda				
3.	Naknade od korisnika prečišćene vode				
4.	Naknade od posetilaca rekreativnim lokacijama				
5.	Ostali prihodi (ekološke takse i sl.)				
Ukupno (II):					
III	Čista godišnja korist od Sistema plutaj. ostrva (II-I):				

Novčana izdavanja za predložene Sisteme plutajućih ostrva, mogla bi dosta realno da se projektuju i naturalno i vrednosno za naredni višegodišnji period njihovog korišćenja. Međutim, zbog još uvek nedovoljno regulisane zakonske regulative u našoj zemlji za ovakve investicije, veliki problem predstavlja novčano vrednovanje autputa, a

samim tim i čistih godišnjih koristi od korišćenja Sistema plutajućih ostrva. Ekološki prihodi po osnovu korišćenja prirodnih dobara i vrednosti u Srbiji, pripadaju različitim nivoima državne strukture, centralnoj vlasti, Autonomnoj pokrajini i opštinama i gradovima. Institucije koje sprovode sistem obračuna naknada su: državne institucije centralne i lokalne vlasti, od strane vlade osnovane agencije, javna preduzeća, preduzeća koja su posebnim propisima dobila na upravljanje zaštićena dobra, područja ili resurse, udruženja i nevladine organizacije. U pojedinačnim slučajevima te prihode ubiraju javna preduzeća ili udruženja koja upravljaju pojedinim prirodnim dobrima. Ekološki prihodi predstavljaju parafiskalne prihode budžeta. Postoji nesrazmera između priliva budžetskih sredstava po osnovu ekoloških naknada u užem smislu i budžetskih izdataka za zaštitu i održavanje prirodne sredine i prirodnih vrednosti.

Pored navedenih parametara, treba napomenuti da je potrebno da se proceni i krajnja vrednost sistema plutajućih ostrva (B_n). S obzirom na konstrukciju plutajućih ostrva i materijale od kojih su izgrađeni, vrednost dotrajale (rashodovane) investicije na kraju n -te godine, u ovom slučaju bi mogla da se zanemari. Naime, vrednost dotrajalih materijala na kraju n -te godine, je približna troškovima demontaže sistema, pa se zato pri analizi može uzeti da je krajnja (rezidualna) vrednost sistema jednaka nuli.

Osnovu pri donošenju odluka za realizaciju ovakvih investicija u praksi, čine pokazatelji njihove ekonomske efektivnosti. Utvrđivanje pokazatelja ekonomske efektivnosti investicija zasniva se na utvrđivanju razlika i odnosa između iznosa učinjenih investicionih ulaganja i ostvarenih novčanih primanja u toku investicionog perioda. Pored perioda korišćenja Sistema, važno je da se utvrdi i visina kamatne stope pri kojoj će se obračunavati pojedini ekonomsko-finansijski pokazatelji. Postupak izračunavanja ekonomske efektivnosti može da bude zasnovan na statičkim i dinamičkim metodama.

Statičke metode se baziraju na prosečnim godišnjim iznosima troškova pribavljanja i upotrebe Sistema plutajućih ostrva i prosečnom godišnjem iznosu novčanih primanja od Sistema, kao investicije. Ekonomska ocena se vrši izračunavanjem i interpretiranjem određenih pokazatelja u reprezentativnoj (prosečnoj) godini čiji se iznos ne koriguje po osnovu vremenske promene vrednosti novca izazvane tržišnim kolebanjem kapitala (inflacije ili deflacije). Važniji pokazatelji koji se koriste primenom ovih metoda su: prosečna neto dobit, stopa akumulativnosti i period vraćanja ulaganja.

Dinamičke metode obuhvataju sva novčana primanja i izdavanja u toku investicionog perioda i u ovom slučaju faktor vreme, preko obračunate kamate, može da ima značajan uticaj na dobijene ekonomske rezultate od investicije. Za utvrđivanje ekonomske efektivnosti sistema plutajućih ostrva vrši se poređenje sume novčanih primanja ostvarenih u periodu njihovog korišćenja ($b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$) i sume novčanih izdavanja učinjenih za njihovo pribavljanje i korišćenje ($A_0, a_1, a_2, a_3 \dots, a_n$), utvrđenih pomoću određene kalkulativne kamate na isti obračunski momenat. Važniji pokazatelji koji se utvrđuju dinamičkim metodama su: neto-sadašnja (kapitalna) vrednost investicije, prinosna vrednost investicije, interna kamatna stopa, razlika i odnos između prosečnih godišnjih primanja od investicije (b) i učinjenih prosečnih godišnjih troškova pribavljanja i korišćenja investicionog objekta (t), kao i period povraćaja investicionih ulaganja.

S obzirom na različite načine finansiranja, za utvrđivanje ekonomske efikasnosti ovakve investicija, od presudnog značaja mogu da budu načini i uslovi finansiranja. Od načina finansiranja, mogu se pomenuti sledeći izvori: izvori iz privatnog sektora, novčana sredstva iz javnog sektora, partnerstvo javno-privatnog sektora i drugi. Osnovne uslove finansiranja sa najznačajnijim uticajem na mogućnost realizacije ovakvih investicionih projekata čine: visina raspoloživih finansijskih sredstava, dužina perioda otplate i visina kamatne stope. Jedna od najvažnijih ciljeva finansijske analize u sektoru otpadnih voda je da pokaže dugoročnu finansijsku održivost projekta. U slučaju javno-privatnog partnerstva, pored ključnih pokazatelja ekonomske opravdanosti i finansijske prihvatljivosti, finansijska analiza treba da pokaže kako, finansijski efekti korišćenja Sistema plutajućih ostrva, mogu da se podele između javnog i privatnog sektora u okviru partnerstva.

Ekonomske koristi i troškove realizacije ovakvih projekata u oblasti prerade otpadnih voda treba identifikovati od slučaja do slučaja, u zavisnosti od projektnih ciljeva, lokacije, privrednih subjekata, okruženja, a sve u skladu sa prostornim planom, zakonskom regulativnom i drugim dokumentima od značaja. Analiza treba da obuhvati društveno-ekonomske troškove i koristi u odnosu na: korisnike ovakvih investicija, izvore otpadnih voda, uticaj investicija na životnu sredinu, privredne aktivnosti na lokaciji i drugo.

Analizom rizika može da se utvrdi verovatnoća da li će planirani projekat bioremedijacije, u poređenju sa alternativnim tehnologijama, da ostvari zadovoljavajuće ekonomske pokazatelje, kao npr. interna stopa rentabilnosti, neto-sadašnja vrednost i drugo. *Analizom osetljivosti*, mogu da se utvrde tzv. kritične promenljive i parametri modela, odnosno pozitivne ili negativne varijacije, u poređenju sa vrednošću korišćenom kao najbolja procena u baznom slučaju. Pouzdanost procenjenih kriterijuma koje bi trebalo da se usvoje prilikom izbora kritičnih promenljivih variraju u zavisnosti od određene lokacije ili projekta, i razlikuju se od slučaja do slučaja. Kao opšti kriterijum preporučuje se razmatranje onih parametara za koje varijacija (pozitivna ili negativna) od 1% uzrokuje nastajanje njoj odgovarajuće varijacije od 1% (jedan procenat, ceo broj) u internoj stopi rentabilnosti ili 5% u bazičnoj vrednosti neto-sadašnje vrednosti.

Postavlja se pitanje da li je prognoza i evaluacija fitoremedijacije pouzdana? Ako koristi nisu prirodno merljive i nemaju novčanu vrednost, nema načina da se projekat proceni. Situacije u kojima je stopa rentabilnosti investicije nedovoljna u smislu pokazatelja uticaja, neophodna je dodatna tzv. *višekriterijumska analiza*. Ovom analizom se istovremeno razmatra niz ciljeva u vezi sa intervencijom čija se evaluacija vrši. Olakšava razmatranje ciljeva donosilaca odluka u proceni investicije koji u nekim slučajevima ne mogu biti uvršćeni u finansijsku i ekonomsku analizu. Treba biti veoma pažljiv sa predlozima gde je analiza nemonetarnih koristi nejasna i samo kvalitativna. Za slučajeve koji se ne mogu kvantifikovati (ili ih je teško kvantifikovati) kvalitativna analiza treba da se uradi na bazi bodova ili procenata projekta prema relevantnim kriterijumima.

Kao deo analize društva sa aspekta upravljanja zagađenim vodama, sastavni deo predstavlja identifikacija interesnih grupa (eng. stakeholder). Projektovanje, funkcionisanje i održavanje projekata upravljanja zagađenim vodama nije jednostavan zadatak. Potrebno je široko i sveobuhvatno poznavanje funkcionisanja sistema upravljanja otpadnim vodama, kao i razumevanje specifičnih uslova lokalne zajednice. Multidisciplinarni pristup, koji uključuje prirodne, inženjerske i društvene nauke može na adekvatan način da odgovori i reši složene situacije u oblasti životne sredine u urbanim uslovima (Benn *et al.*, 2009). Razumevanje projekta i lokalnih uslova uključuje i percepciju, stavove i uloge interesnih strana (eng. stakeholder). Interesne strane su

grupe ili organizacije na koje projekat ima uticaj i/ili one svojim aktivnostima utiču na projekat. Morrissey i Browne (2004) su isticali da većina razvijenih modela za upravljanje otpadnim vodama analizira ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu, a jako mali broj analiziraju društveni/socijalni aspekt. Prema Nillson-Djerf i McDougall (2000) održivi sistem upravljanja otpadom je sistem koji je efikasan sa aspekta životne sredine, ekonomski opravdan i društveno prihvatljiv. Društvena prihvatljivost opcija za tretman otpada, takođe su faktori u određivanju politike upravljanja otpadom. Stoga je neophodno modele upravljanja otpadom optimizovati, uključivanjem društvenog aspekta prilikom određivanja (modelovanja) sistema upravljanja otpadnim vodama. Ne uzimajući u obzir uticaje na životnu sredinu u računanju pratećih eksternalija imaće za posledicu precenjivanje ili potcenjivanje socijalnih koristi projekta i izazvaće donošenje loših ekonomskih odluka. SWOT analizom se u određenom stepenu mogu proceniti potencijali ovakvog projekta, rizici u toku njegove realizacije, kao i mogućnosti njegove održivosti.

6.3.3 SWOT analiza Sistema plutajućih ostrva

Primena SWOT analize u ovim istraživanjima pomogla je u određivanju raspoloživih resursa i mogućnosti Sistema plutajućih ostrva prema pretnjama i šansama za njihovo uvođenje u standardnu infrastrukturu za tretman zagađenih voda. U tabeli 43. su prikazani rezultati SWOT analize, koji su poslužili za izbor najbolje strategije za izgradnju predloženog Sistema plutajućih ostrva i njegovu primenu u praksi.

Tabela 43. SWOT analiza primene Sistema plutajućih ostrva

SNAGE	SLABOSTI
- efikasna, ekološki opravdana i ekonomski isplativa tehnologija - tehnički jednostavna i tehnološki lako izvodljiva investicija za primenu u praksi - mogućnost dimenzionisanja Sistema za različite slučajeve - prilagodljivost Sistema konfiguraciji rečnih obala - prilagodljivost Sistema na promene nivoa reke - Sistem ne remeti vodeni tok - zaštita obala reke od erozije - mogućnost korišćenja terestričnih i akvatičnih biljaka - prečišćavanje vode na prirodan način bez upotrebe hemikalija - mogućnost tretmana velikih količina vode - tehnologija bez nus produkta ili sa redukovanom količinom otpada - mogućnost korišćenja dobijene nadzemne biomase u različite svrhe - mogućnost povećanja biodiverziteta flore i faune - uklapanje Sistema u okolini pejzaž - povećanje estetske vrednosti okolnog pejzaža - podstrek za različita naučna istraživanja i edukaciju o korišćenju alternativnih metoda za prečišćavanje voda, koje su u skladu sa održivim razvojem	- nova tehnologija i rizik od neizvesnosti ekonomske opravdanosti ulaganja - ne postoji zakonska podrška državnih institucija i organa - institucionalno nije regulisana nadležnost organa za postavljanje ostrva na odgovarajućim lokacijama - rezultati laboratorijskih eksperimenata ili istraživanja u staklenicima ne moraju uvek da budu sa uspehom preneseni u praksu - zakonski nije uređeno iz kojih fondova mogu da se finansiraju ovakve investicije, kako da se kvantitativno izražavaju efekti njihovog korišćenja i na koji način mogu da se prikupljaju nadoknade od njihovih potencijalnih korisnika - konstrukcioni i operativni kriterijumi još uvek nisu dovoljno precizni i često se razlikuju od slučaja do slučaja - efikasnost prečišćavanja može da varira u odnosu na godišnje doba - osetljivost bioloških komponenti - koristi se za tretman voda koje sadrže niske do srednje koncentracije polutanata - biljke najčešće moraju da se zasnivaju i gaje na nekom drugom mestu, a da se zatim presađuju u Sistem
ŠANSE	PRETNJE
- multidisciplinarni i interdisciplinarni pristup opravdava rešavanje problema - prepoznavanje ekološkog i društvenog značaja biološkog prečišćavanja otpadnih voda od strane javnosti - veća verovatnoća prihvatanja ove tehnologije od strane javnosti i nadležnih organa u odnosu na druge alternativne tehnologije - u skladu sa principima održivog razvoja omogućava racionalno korišćenje prirodnih resursa i simulaciju kruženja materije u prirodi kroz reklamaciju i ponovno korišćenje i voda i hranljivih materija - povećanje vrednosti zemljišta i nekretnina u okolini čiste reke ili jezera - stvaranje atraktivnih prilika i izazova za investitore - stvaranje pogodnih prilika za ulaganje u druge projekte revitalizacije prostora - povećanje potencijala okoline za rekreaciju i odmor stanovništva kroz revitalizaciju pojedinih lokacija - dobri primeri iz prakse otvaraju put za promenu zakona i zakonske regulative - saradnja lokalne zajednice i privatnog sektora - mogućnost prikupljanja prihoda po osnovu raznih taksi/nadoknada - korišćenje sredstava iz IPARD i drugih fondova EU	- neusklađenost biljnih vrsta u biološkom sistemu sa tipom otpadnih voda i opasnost da rešenje ne daje očekivane efekte - osetljivost biljnog sklopa na plutajućim ostrvima da odoli iznenadnim ekstremnim klimatskim faktorima - nedostatak finansijskih sredstava za podršku i investiranje u ekološke projekte - nedostatak stručnog kadra, koji može da projektuje i konstruiše ova postrojenja - kvalifikovana radna snaga i angažovanje stručnjaka mogu da povećaju troškove - složene administrativne i zakonske procedure - državni zakoni u većini zemalja još uvek ne prepoznaju biološke sisteme kao deo standardne infrastrukture za tretman zagađenih voda - deo naučne zajednice je i dalje skeptičan u pogledu primene alternativnih sistema za tretman zagađenih voda u praksi - nema dovoljno preciznih uputstava ili dokumenata za izgradnju Sistema datih od strane državnih institucija - zbog nereguliranih zakonskih nadležnosti o finansiranju i nadoknadi za korišćenje ostrva, dugoročno neodržavanje plutajućih ostrva može izazvati negativne efekte - mogući otpor zajednice predloženim projektima

6.3.3.1 Snage

Na osnovu postojećih podataka i rezultata ovih istraživanja efikasnost bioloških sistema u uklanjanju širokog spektra polutanata iz otpadnih voda je potencijalno vrlo velika, ali i vrlo varijabilna od slučaja do slučaja. Na primer, efikasnost uklanjanja se kreće: 52-96% za organske polutante izražene kroz BPK₅, 23-96% za suspendovane materije, 6-99% za N, 7-95% za P, 75-99% za Cd, 40-96% za Cu, 0-86% za Pb, 49-88% za Ni, 33-96% za Zn i 90-99% za različite patogene mikroorganizme (Kadlec i Wallace, 2009; Cheng *et al.*, 2002b; Groudeva *et al.*, 2001; DeBusk, 1999b; Hammer, 1989; Watson *et al.*, 1988; Knight *et al.*, 1993; Davis, 2000).

Kao što je pokazano u Poglavlju 6.3.1. konstrukcija i izgradnja plutajućih ostrva i njihovo povezivanje u Sistem plutajućih ostrva je vrlo jednostavno. Ovi biološki sistemi za prečišćavanje zagađenih voda se sastoje od plastičnog nosača, supstrata i živih organizama (biljke, alge, mikroorganizmi i dr.), koji prirodnim putem vraćaju ekološki integritet rekama opterećenim različitim polutantima (Davis, 2000).

Troškovi konstrukcije, rada i održavanja Sistema plutajućih ostrva su mnogo manji u poređenju sa istim troškovima konvencionalnih postrojenja, pa čak i drugih alternativnih metoda za tretman otpadne vode, što uglavnom proističe iz lakoće njihove konstrukcije i skromnih potreba za održavanjem (Solano *et al.*, 2004). Postavljanje Sistema na terenu je brzo i dnevno je moguće postaviti 50 - 100 plutajućih ostrva (Biomatrix water, 2016). Troškovi održavanja Sistema su vrlo niski, naročito ako se monitoring obavlja redovno, pa je eventualne greške ili oštećenja osnovnih komponenti lako ukloniti po njihovoj pojavi (Hammer, 1989). Na niske troškove rada Sistema ukazuje i činjenica da za svoj rad Sistem troši isključivo sunčevu energiju, koju biljke koriste za fotosintezu (Stottmeister *et al.*, 2003; Shutes, 2001).

Sistem plutajućih ostrva se sastoji od više povezanih plutajućih ostrva, što ukazuje na mogućnost njegovog dimenzionisanja za različite slučajeve, kao i prilagođavanje različitim konfiguracijama rečnih obala (uređene i neuređene obale, vertikalne i kose obale i dr.). S obzirom na način ankerisanja, Sistem je prilagođen mogućim promenama nivoa vode u reci. Kao što je već napomenuto, u zavisnosti od širine rečnog korita, Sistem se postavlja duž jedne ili duž obe obale. Pri tome on ne remeti stalan vodeni tok, a omogućava zaštitu neuređenih obala reke od erozije.

Još jedna od važnih snaga Sistema je i mogućnost korišćenja terestričnih i akvatičnih biljaka u procesu prečišćavanja. Ovo je značajno, jer terestrične biljke generalno uklanjaju veće količine polutanata od akvatičnih biljaka i pri tome imaju mogućnost stvaranja veće količine biomase (Dushenkov i Kapulnik, 2000). Terestrične biljke se smatraju pogodnijim za rizofiltraciju, jer one imaju duže, jače i obično vlaknaste korenove sa velikom površinom za sorpciju metala i filtraciju čvrstih čestica. Pored toga one imaju i manji sadržaj vode u svojim tkivima, što olakšava njihovo kasnije sušenje, kompostiranje ili spaljivanje (Dushenkov *et al.*, 1995).

Biološki sistemi za prečišćavanje otpadnih voda predstavljaju veštački stvorene, konstruisane, akvatične ekosisteme, koji zahvaljujući simbiotskim odnosima između biljaka, mikroorganizama, algi, podloge i vode, imaju sposobnost da uklanjaju organske i mineralne materije, patogene mikroorganizme, teške metale i druge zagađujuće materije iz otpadnih voda. Oni imaju pozitivan ekološki uticaj, jer se u njima prečišćavanje velikih količina otpadnih voda vrši na osnovu prirodnih procesa (Shutes, 2001). Konvencionalni sistemi za prečišćavanje otpadnih voda predstavljaju jednog od ozbiljnih zagađivača životne sredine. To se može objasniti činjenicom da se štetne materije iz vode uklanjaju pomoću različitih hemijskih jedinjenja, koja destruktivno deluju i na prirodu i na čoveka, kao i da se dobijeni mulj odlaže na deponije gde predstavlja potencijalni izvor zagađenja podzemnih voda (Todd, 1996). Zagađenje iz alternativnih sistema jednostavno ne postoji, a ukoliko se slučajno i pojavi to je znak loše konstrukcije sistema (Hammer, 1989).

Kao jedna od prednosti bioloških sistema se navodi i to da je ovo tehnologija koja ne stvara nus produkt, koji bi mogao da vrši negativan uticaj na životnu sredinu. Ovo je naročito izraženo ako se Sistem plutajućih ostrva koristi za tretman komunalnih otpadnih voda, u čijem sastavu preovlađuje zagađenje koje potiče od organskih materija i ukoliko je kao supstrat korišćen kokosov treset i drugi prirodni materijali. Podloga sistema ima sposobnost da apsorbuje hranljive materije iz otpadnih voda. Kombinacijom procesa evaporacije, isušivanja podloge i usvajanja hranljivih materija od strane biljaka podloga može da se pretvori u supstrat sličan humusu, koji može da se koristi kao đubrivo (Davis, 2000). Ukoliko se Sistem koristio za eliminisanje teških metala i drugih toksičnih elemenata onda se pre misli na tehnologiju sa redukovanom količinom sekundarnog otpada. Kao što je tokom istraživanja pokazano, na kraju

procesa rizofiltracije, teški metali su u biljkama uglavnom locirani u korenovom sistemu, jer translokacija u nadzemne delove izostaje. Na ovaj način količina biljnog otpada za odlaganje je značajno smanjena. Pokošena nadzemna biomasa može da se koristi u različite energetske svrhe, a njenom prodajom je moguće ostvariti novčanu dobit. Uklonjena i osušena podzemna biomasa, može da se spali i na taj način se količina otpada redukuje dodatno pre potencijalnog odlaganja (Dushenkov i Kapulnik, 2000). Neki od metali mogu da budu ponovo ekstrahovani iz pepela uklonjenih biljaka pomoću različitih kiselina, što još dodatno smanjuje generisanje opasnog otpada i omogućava brže stvaranje profita (Raskin *et al.*, 1997).

Pored osnovne funkcije, uklanjanja polutanata, biljke u Sistemu plutajućih ostrva, imaju i druge funkcije, koje su značajne na pojedinim mestima prečišćavanja. Slično kao i u prirodnim akvatičnim ekosistemima, vegetacija formira stanište za različite životinjske vrste (ptice, insekti, gmizavci, ribe i dr.). Ovo je naročito značajno u degradiranim predelima sa osiromašenim biljnim i životinjskim biodiverzitetom. U ovakvim predelima, estetska vrednost vegetacije predstavlja dopunu sveukupnom ambijentu. Zahvaljujući svojoj konstrukciji i osnovnim komponentama Sistemi mogu potpuno da se uklope u okolni pejzaž. Pri unošenju novih biljaka u osetljive akvatične ekosisteme, strogo treba voditi računa da biljne vrste nisu invazivne, već da one doprinesu stvaranju dugoročne stabilnosti akvatičnih ekosistema, koji se prečišćavaju. Takođe, Sistemi plutajućih ostrva, predstavljaju pogodna mesta za podstrek naučne zajednice za sprovođenje različita istraživanja, koja mogu da omoguće bolje shvatanje procesa koji omogućavaju uklanjanje polutanata, olakšaju pravilan izbor vrsta za dati slučaj prečišćavanja, materijala i parametara za konstrukciju ostrva i drugo. Oni mogu da omoguće i edukaciju ljudi u skladu za održivim razvojem, kroz promovisanje važnosti očuvanja životne sredine i konzervacije voda.

6.3.3.2 Slabosti

Kao osnovne slabosti, koje predstavljaju ograničenje za šire korišćenje Sistema plutajućih ostrva, u literaturi se navode činjenice da je ovo nova tehnologija, koja sa sobom nosi različite rizike, da konstrukcioni i operativni kriterijumi još uvek nisu dovoljno precizni i da se često razlikuju od slučaja do slučaja, kao i da ne postoji zakonska podrška od državnih institucija i organa za njihovo uvođenje u praksu (Solano

et al., 2004; Davis, 2000; Hammer, 1989). Pri proceni mogućnosti Sistema treba imati na umu i da rezultati laboratorijskih eksperimenata ili istraživanja u staklenicima ne moraju uvek da budu sa uspehom preneseni u praksu.

S obzirom da Sistemi plutajućih ostrva, kako i drugi biološki sistemi za tretman otpadnih voda, još uvek nisu prepoznati u našim zakonima, institucionalno nije regulisana nadležnost organa za postavljanje ostrva na odgovarajućim lokacijama. Takođe, zakonski nije uređeno ni iz kojih fondova mogu da se finansiraju ovakve investicije i na koji način mogu da se prikupljaju nadoknade od njihovih potencijalnih korisnika. Pri izradi različitih ekonomsko - finansijskih analiza, koje su neophodne kako bi se odabralo optimalno rešenje za dati slučaj, jedan od najvećih problema je kako da se kvantitativno izraze efekti korišćenja Sistema. U prvom redu ovde se misli na kvantitativno izražavanje vrednosti ekosistemskih usluga, koje oni mogu da pruže, a koje imaju direktan uticaj na prosperitet ljudske zajednice. Kao najznačajnije ekosistemske usluge ili koristi bioloških sistema, koje treba kvantitativno izraziti u Cost - Benefit analizi, se najčešće pominju: poboljšanje kvaliteta vode, povećanje estetske vrednosti predela, povećanje biodiverziteta flore i faune, stvaranje pogodnih mesta za rekreaciju i edukaciju (Ghermandi *et al.*, 2010).

Kada se govori o pouzdanosti alternativnih postrojenja obično se postavlja pitanje njihovog rada tokom zime. Na osnovu eksperimenta Jenssen i Vatn (1991) i istraživanja drugih autora (Shutes, 2001; Hammer 1989; Czinki, 1985; Obarska - Pempkowiak, 1991) dokazano je da biološki sistemi mogu da prečišćavaju vodu čak i pri niskim temperaturama, ali sa nešto slabijim intenzitetom uklanjanja polutanata. Ovo je svakako prihvatljivo u slučajevima kada je variranje u kvalitetu vode dozvoljeno tokom godine. Međutim, tamo gde je neophodno da prečišćena voda zadovolji stroge standarde tokom cele godine variranje efikasnosti u odnosu na ekološke uslove sredine predstavlja značajnu slabost Sistema.

Osetljivost bioloških komponenti postrojenja na različite toksične materije, kao što su amonijak, pesticidi i teški metali takođe može da se shvati kao ograničenje Sistema (Davis, 2000). Zato se u literaturi često navodi da su rizofiltracioni sistemi pogodni za tretman velikih količina voda koje sadrže niske, ali značajne koncentracije teških metala i drugih toksičnih materija (Ensley, 2000). I pored toga, iznenadno oštećenje ili propadanje vegetacije plutajućih ostrva, usled nedozvoljenog izlivanja zagađene vode sa

koncentracijom polutanata iznad maksimalno dozvoljenih vrednosti, napada štetočina ili bolesti i ekstremnih vremenskih uslova predstavlja ozbiljnu slabost sistema.

Kao slabost tehnologije može da se shvati i to što biljke (naročito terestrične) najčešće moraju da se zasnivaju i gaje na nekom drugom mestu, a da se zatim presađuju u Sistem gde će apsorbovati i koncentrisati metale i druge polutante u svojim tkivima (Salt *et al.*, 1995; Flathman i Lanza, 1998; Zhu *et al.*, 1999).

6.3.3.3 Šanse

Dalji razvoj svih alternativnih metoda za prečišćavanje otpadnih voda mora da se kreće u pravcu njihove komercijalizacije. Multidisciplinarni i interdisciplinarni pristup rešavanju problema je značajna šansa za Sistem, jer kombinovanje saznanja botanike, genetike, hemije, mikrobiologije, agronomije, ekološkog inženjeringa, ekonomije, prava i drugih naučnih disciplina može da dovede do prevazilaženja različitih slabosti i pretnji, koje kao unutrašnji i spoljašnji faktori utiču na njegovu primenu u praksi.

Konvencionalna postrojenja danas više ne mogu da odgovore na sve zahteve, koji im postavlja ekološki svesno društvo. Ona nisu u skladu sa principima konzervacije vode, ne omogućavaju reklamaciju i ponovno korišćenje vode i hranljivih materija, kao što to čine biološki sistemi za tretman zagađenih voda. Sistem plutajućih ostrva je u skladu sa principima održivog razvoja, jer omogućava racionalno korišćenje prirodnih resursa i simulaciju kruženja materije u prirodi, jer procesi uklanjanja makro- i mikro-elemenata iz vode imitiraju procese samoprečišćavanja, koji se inače javljaju u akvatičnim ekosistemima. Ova činjenica predstavlja još jednu šansu za uvođenje Sistema plutajućih ostrva u standardnu praksu za oporavak zagađenih reka i vodenih površina, jer oni mogu da pomognu u prepoznavanju ekološkog i društvenog značaja biološkog prečišćavanja otpadnih voda od strane javnosti. Ovo ima još veći značaj ako se zna da je veća verovatnoća prihvatanja ove tehnologije od strane javnosti i nadležnih organa u odnosu na druge alternativne tehnologije (Dushenkov *et al.*, 1995; Raskin *et al.*, 1997).

Sistemi plutajućih ostrva mogu da budu značajno sredstvo za povećanje vrednosti zemljišta i nekretnina, koje se nalaze u blizini reke, kroz njenu revitalizaciju i povećanje estetske vrednosti okoline. Ovo će dalje stvoriti atraktivne prilike za privlačenje

Investitora, kako za finansiranje narednih projekata Sistema plutajućih ostrva tako i za ulaganje u druge ekološke projekte revitalizacije prostora.

Vodene površine i vodotoci u urbanim sredinama imaju višestruki značaj s obzirom da predstavljaju jedne od retkih, preostalih prirodnih elemenata u gradu. Umesto da doprinose kvalitetu životne sredine i da upotpunjuju sliku okolnog pejzaža, mali vodotoci se često koriste kao kolektor otpadnih i kišnih voda industrije i naselja i dodatno ugrožavaju vode u koje se ulivaju. Različite neorganske materije i patogeni mikroorganizmi mogu da zagade rečne tokove i obale do te mere da ne mogu da se koriste ni za rekreaciju, a često ni za jednostavno uživanje u šetnji, s obzirom da je miris i izgled vode i priobalja jako neprijatan. Sistemi plutajućih ostrva mogu da pomognu u povećanju potencijala okoline za razvoj turizma, kao i stvaranja prostora za rekreaciju i odmor stanovništva, kroz revitalizaciju lokacija, koje se nalaze u blizini reke ili vodene površine, a koje su označene kako prioritetne lokacije sa velikim potencijalom za razvoj ovih delatnosti.

Pri primeni nove tehnologije u praksi iskustvo je veoma važno, a dobri primeri iz prakse mogu da otvore ne samo put za finansiranje izgradnje novih Sistema plutajućih ostrva već i za promenu zakona i zakonske regulative u pogledu korišćenja različitih bioloških sistema kao dela standardne infrastrukture za tretman zagađenih voda.

Realizacija projekata izgradnje Sistema plutajućih ostrva stvara povoljne prilike za saradnju lokalne zajednice i privatnog sektora. Iskustva u realizaciji projekata sanacije braunfield lokacija su pokazali da je ovakva saradnja pri realizaciji ekoloških projekata vrlo značajna, pri čemu lokalne vlasti pokreću inicijativu za revitalizaciju određenog prostora i plaćaju privatnu firmu da pripremi, izvede i finansira projekat (Ionescu-Heroiu, 2010). Dalji rad, monitoring i održavanje objekta može da sprovede država odnosno lokalna vlast ili ovi poslovi mogu da se poveru privatnom licu. Na ovaj način je izvedena podela rizika, finansiranja i dobiti, što je veoma značajno pri realizaciji ekoloških projekata. Kroz različite oblike podsticaja, finansijske ili nefinansijske prirode, lokalne vlasti mogu da privuku na primer najveće zagađivače u okviru sliva da finansiraju izgradnju Sistema plutajućih ostrva i da na taj način ublaže posledice svog nesavesnog ispuštanja neprečišćene otpadne vode direktno u reku.

Sistem plutajućih ostrva može da ima veliki značaj u ruralnim područjima, neplanski građenim i nehigijenskim naseljima. Postavljanjem ovih bioloških sistema u

okviru reka, jezera ili bara ruralnih područja i pomenutih naselja mogu da se otklone propusti nastali neplanskom gradnjom, kao što je nedostatak vodovodnog i kanalizacionog sistema. Kroz uklanjanje različitih kategorija polutanata iz zagađenih voda doprinelo bi se poboljšanju sanitarno - higijenskih uslova čime bi se sprečile pojave različitih bolesti, koje izazivaju patogeni organizmi prisutni u otpadnim vodama. Kao što je već napomenuto, Sistem plutajućih ostrva ima i dekorativna efekat tako da bi doprineo i poboljšanju estetskih vrednosti ovih naselja. Na osnovu navedenog, moguće je zaključiti da različiti EU fondovi, a prvenstveno IPA (eng. Instrument for Pre-Accession Assistance) fondovi mogu da posluže kao važni elementi za implementaciju projekata konstrukcije i postavljanja Sistema plutajućih ostrva. Ovi fondovi su namenjeni zemljama, koje su kandidati ili potencijalni kandidati za članstvo u EU i predstavljaju instrument prepristupne pomoći na osnovu koga se može ostvariti finansiranje različitih projekata. Od ukupno pet komponenti, koje sačinjavaju IPA fondove, pretpostavlja se da bi za bespovratna finansijska sredstva za implementaciju Sistema moglo da se konkuriše u okviru IPA I komponente, koja nudi pomoć u tranziciji i jačanju institucija i IPA V komponente odnosno IPARD (eng. Instrument for Pre-Accession Assistance for Rural Development) fonda, koji nudi finansijska sredstva za projekte u okviru ruralnog razvoja. Značajna sredstva za realizaciju projekata bi mogla da se dobiju i iz državnog budžeta na osnovu različitih naknada i taksi, koji se posredstvom Fondova za vode Republike Srbije ili autonomne pokrajine Vojvodine, prikupljaju na osnovu korišćenja vode kao prirodnog resursa ili kazni za nanošenje štete životnoj sredini kroz na primer ispuštanje nedovoljno prečišćene vode iz procesa proizvodnje direktno u reku.

6.3.3.4 Pretnje

Posle svih istaknutih prednosti (snaga i šansi) Sistema plutajućih ostrva nameću se pitanja zašto ovi biološki sistemi još uvek nemaju veću primenu u praksi, zašto ih državni zakoni u većini zemalja ne prepoznaju kao deo standardne infrastrukture za tretman zagađenih voda i zašto je deo naučne zajednice i dalje skeptičan u pogledu njihovog korišćenja.

Glavna pretnja za realizaciju svih projekata, pa tako i projekta izgradnje Sistema plutajućih ostrva je često nedostatak finansijskih sredstava za podršku i investiranje u

ekološke projekte. Problem predstavlja i nedostatak stručnog kadra odnosno inženjera, koji mogu da projektuju i konstruišu ova postrojenja. Angažovanje kvalifikovane radne snage i stručnjaka za monitoring i održavanje Sistema, kao i složene administrativne i zakonske procedure za dobijanje različitih neophodnih dozvola mogu da utiču na povećanje troškova celokupnog projekta. Neregulisana zakonska nadležnost o finansiranju i nadoknadi za korišćenje plutajućih ostrva može da dovede do dugoročnog neodržavanja plutajućih ostrva, što može da izazove različite negativne efekte. Ukoliko u okviru biološkog sistema nisu sprovedene pravilne mere monitoring i održavanja efikasnost sistema može da bude ugrožena. U prvom redu ovde se misli na kontrolu vegetacije i zamenu eventualno propalih sadnica novim, uklanjanje nadzemne biomase na kraju vegetacione sezone, kako bi se sprečila translokacija usvojenih nutrijenata nazad u podzemnu biomasu i njihovo potencijalno otpuštanje u vodu, kontrolu konstrukcije ostrva i drugo.

Još jedna od potencijalnih pretnji za uvođenje Sistema plutajućih ostrva, pa i drugih bioloških sistema, u standardnu praksu prečišćavanja je i ta što nema dovoljno preciznih uputstava ili dokumenata za izgradnju Sistema datih od strane državnih institucija (Kumar *et al.*, 1995).

Otpor društva ili negativan stav zajednice može da se javi pri realizaciji bilo kog projekta. Čak i ekološki projekti, za koje se pretpostavlja da će doneti isključivo boljitak društvu, mogu da se nađu pred ovakvom preprekom.

Pored navedenih pretnji, koje proizilaze iz nedostatka finansijskih sredstava i zakonske regulative, ozbiljna pretnja za neuspeh projekta prečišćavanja zagađenih voda pomoću plutajućih ostrva može da bude neusklađenost vrsta bioloških kultura sa tipom otpadnih voda i opasnost da rešenje ne daje očekivane efekte. Biodiverzitet biljnih vrsta pogodnih za korišćenje u fitoremedijaciji voda zagađenih teškim metalima i drugim polutantima je stvarno veliki. Odabir prave vrste za dati slučaj odnosno za postojeće zagađenje još uvek predstavlja jedan od glavnih problema, pogotovo ako se zna da rezultati dobijeni u laboratoriji ne moraju da budu preneseni sa uspehom na teren. Nadovezujući se na ovu pretnju i potencijalna nemogućnosti biljnog sklopa na plutajućim ostrvima da odoli iznenadnim ekstremnim klimatskim faktorima (visoke temperature, prevelika insolacija, mraz i drugo) može da predstavlja ozbiljnu prepreku za uspešnost celokupnog tretmana otpadnih voda.

6.3.3.5 Potencijalne strategije za izgradnju predloženog sistema plutajućih ostrva i njegovu primenu u praksi

U Tabeli 44. prikazane su potencijalne strategije, koje mogu da pomognu u prevazilaženju navedenih problema pri realizaciji projekta izgradnje predloženog Sistema plutajućih ostrva i njegovu primenu u praksi.

Tabela 44. Potencijalne strategije za izgradnju predloženog Sistema plutajućih ostrva i njegovu primenu u praksi

	SNAGE (S)	SLABOSTI (W)
ŠANSE (O)	S-O strategija koristi navedene interne snage Sistema kako bi iskoristila njegove navedene eksterne šanse	W-O strategija teži da ukloni navedene interne slabosti Sistema kako bi iskoristila njegove navedene eksterne šanse
PRETNJE (T)	S-T strategija koristi navedene interne snage Sistema kako bi umanjila njegove navedene eksterne pretnje	W-T defanzivna strategija teži da umanja navedene interne slabosti Sistema i izbegne njegove navedene eksterne pretnje

Na osnovu analize potencijalnih strategija, jasno je da je S-O (snage-šanse) strategija najbolja strategija, koja bi mogla da omogući brzo prihvatanje projekata Sistema plutajući ostrva i njihovu primenu u praksi. Svaka nova tehnologija, koja može da prepozna svoje šanse na tržištu i da ih pretvori u svoje snage se smatra ostvarenom i uspešnom tehnologijom.

Od svih nabrojanih šansi u okviru SWOT analize pretpostavlja se da je prevođenje šanse opisane kao dobri primeri iz prakse, koji mogu da privuku Investitore i omoguće promenu zakona i zakonske regulative, u stvarnu snagu Sistema najznačajnije. To se na primer može postići, ukoliko se troškovi prvih projekata značajno smanje, kroz biranje rečnih tokova sa uređenim obalama, zatim onih u kojima su vrste zagađenja unapred poznate i u okviru kojih je uspostavljen redovan monitoring kvaliteta voda od strane lokalne vlasti ili države. Dalje, prve Sisteme plutajućih ostrva treba postavljati na značajnim lokacijama za grad i njegove stanovnike uz napomenu da je poželjno birati vode sa niskim do umerenim koncentracijama zagađujućih materija. Nakon izvođenja prvih projekata, demonstriranja njihove efikasnosti u praksi i ostvarivanja novčane dobiti, koja može da se iskoristi za realizaciju narednih projekata, stvoriće se povoljna atmosfera za prihvatanje ove tehnologije od strane javnosti i nadležnih organa. Kao što

je već napomenuto, reke sa obnovljenim ekološkim integritetom povećavaju vrednost zemljišta i nekretnina u svojoj okolini i stvaranju atraktivne prilike i izazove za investitore. I na kraju, angažovanje svih interesnih grupa, pri čemu se misli na građane, potencijalne investitore, lokalnu vlast i nadležne državne institucije, može da dovede od promene zakona i zakonske regulative i prepoznavanja Sistema plutajućih ostrva kao dela standardne infrastrukture za tretman zagađenih voda.

Kada se šanse Sistema pretvore u njegove realne snage, moguće je primeniti i S-T (snage-pretnje) strategiju, kako bi se umanjile ili eliminisale eksterne pretnje za uvođenje Sistema plutajućih ostrva u praksu. Novonastala snaga Sistema, dobri primeri iz prakse, može da pomogne u prevazilaženju problema nedostatka materijalnih sredstava. Iako je ovo velika prepreka, koja može da obeshrabri i najvatrenije zagovornike zaštite životne sredine, nedostatak novca u državnim fondovima za zaštitu životne sredine je moguće nadomestiti dobijanjem sredstava iz međunarodnih fondova, organizacija (npr. UNEP) i finansijskih institucija kao što je Svetska banka, za uspešne ekološke projekte od velikog značaja (Ionescu-Heroiu, 2010). Realizacijom projekata i na osnovu znanja stečenog iz dobrih primera iz prakse osposobiće se novi stručnjaci i kvalifikovana radna snaga, koji mogu da projektuju, konstruišu i prate rad ovih bioloških sistema. Na ovaj način, doći će se i do preciznih uputstava i konstrukcionih i operativnih kriterijuma, tako da će nadležne državne institucije biti u prilici da ponude zvanična dokumenta za izgradnju Sistema. Uključivanje naučne zajednice i javnosti, na početku realizacije projekta, omogućiće ovim interesnim grupama lako sagledavanje snaga Sistema i na taj način ublažiti njihov potencijalni otpor korišćenju biljaka za prečišćavanje zagađenih voda.

6.3.4 Verodostojnost postavljenih hipoteza vezanih za ekonomsku isplativost i ekološku pogodnost Sistema plutajućih ostrva

Na osnovu odabranog predmeta i ciljeva ovih istraživanja definisane su dve hipoteze (H6 i H7) vezane za ekonomsku isplativost i ekološku pogodnost fitoremedijacije odnosno predloženog Sistema plutajućih ostrva. Dobijeni i analizirani rezultati istraživanja nedvosmisleno potvrđuju verodostojnost postavljenih hipoteza.

Komunalne otpadne vode predstavljaju ozbiljan izvor zagađivanja površinskih vodenih tokova, jer se najčešće putem kanalizacije ispuštaju direktno u reke. Značaj

ovog problema se dodatno povećava ukoliko se zna da su upravo reke glavni izvor snabdevanja gradova vodom za piće. Kod većih naselja, kao što je grad Beograd, ove otpadne vode se često mešaju sa industrijskim otpadnim vodama i kada dospeju u reke nanose ogromne štete akvatičnoj flori i fauni, onemogućavaju korišćenje vodenih površine u rekreativne svrhe, narušavaju celokupni ambijent rečne doline i drugo. Srbija spada u jednu od siromašnijih zemalja u Evropi u pogledu vode. Količine sopstvene vode bi mogle da zadovolje potrebe stanovništva još neko vreme, a nadalje bi morale da se koriste podzemne ili tranzitne vode, koje su često nekvalitetne, a na njihov kvalitet se ne može lokalno uticati (Velašević i Đorović, 1998). Na osnovu iznetih podataka evidentno je da za jednu relativno malu državu kakva je Srbija, raspolaganje vodnim resursima ima višestruki značaj. Pitanje zaštite i unapređenja voda mora da bude jedno od osnovnih zadataka države i nadležnih institucija. I upravo su sve navedene činjenice poslužile kao povod za multidisciplinarna istraživanja u ovom radu, koja imaju za cilj da ponude ekološki prihvatljivo, efikasno i ekonomski isplativo rešenje, čijom se implementacijom mogu stvoriti preduslovi za kvalitetnu revitalizaciju vodotoka zagađenih antropogenim uticajem.

Na osnovu rezultata SWOT analize i drugih analiziranih rezultata u ovim istraživanjima može da se potvrdi da je predloženi Sistem plutajućih ostrva ekološki opravdana tehnologija, koja uz dostizanje ekološkog optimuma omogućava održivost prirodnih resursa. Na osnovu ustaljenih prirodnih procesa, radom mikroorganizama, biljaka i supstrata, bez upotrebe različitih hemijskih materija i dodatnih izvora energije Sistem može da uklanja sa visokom efikasnošću širok spektar polutanata iz zagađenih voda. Pri tome on stvara redukovani sadržaj otpada, koji može da posluži kao sirovina za druge tehnologije i da na taj način omogući stvaranje dodatnog profita. Sistem takođe može da omogući reklamaciju i ponovno korišćenje voda, hranljivih materija i različitih bioloških resursa, što ukazuje ne samo na njegovu ekološku pogodnost, već i na njegov sklad sa osnovnim principima konzervacije voda i zahtevima, koje proklamuju različite EU direktive u oblastima zaštite životne sredine i voda. Implementacijom plutajućih ostrva moguće je ostvariti revitalizaciju reke, ne samo u smislu prečišćavanja njene zagađene vode, već i obnavljanja njenog nekadašnjeg biodiverziteta kroz povratak biljnih i životinjskih vrsta, koje su vremenom nestale zbog pogoršanih ekoloških uslova.

Najveća prepreka za implementaciju projekata vezanih za korišćenje plutajućih ostrva, pa i drugih alternativnih bioloških sistema za prečišćavanje zagađenih i otpadnih voda je to što oni nisu prepoznati u zakonima koji regulišu oblasti zaštite životne sredine, zaštite prirode, vode i drugim relevantnim propisima Republike Srbije. Ova činjenica je takođe predstavljala i veliki problem pri izradi ekonomsko-finansijskog modela Sistema plutajućih ostrva, jer je kvantitativno vrednovanje koristi od korišćenja Sistema učinila nemogućim.

U literaturi nije pronađena ni jedna studija, projekat ili rad, koji bi mogao da pruži podatke o novčano izraženim koristima od korišćenja plutajućih ostrva kao tehnologije za prečišćavanje zagađenih i otpadnih voda. Pretpostavlja se da je razlog za to što je ovo relativno nova tehnologija o kojoj još uvek nema dovoljno podataka, kao i već napomenuta činjenica da se njihova konstrukcija i efikasnost razlikuju od slučaja do slučaja, tako da je nemoguće izvući jedinstveni zaključak. U literaturi su pronađeni podaci koji pokazuju da biološki sistemi nude efikasnu, ekonomski isplativu, nenametljivu i sigurnu alternativu konvencionalnim tehnikama prečišćavanja kontaminiranih voda (Zhao *et al.*, 2012; Headley i Tanner, 2008; Stewart *et al.*, 2008; Matagi *et al.*, 1998; Cheng *et al.*, 2002b; Prasad i Freitas, 2003; Raskin *et al.*, 1997; Li *et al.*, 2013; Lone *et al.*, 2008) i podaci o vrstama koristi, koje ovakvi alternativni sistemi mogu da pruže (Hernández-Sancho *et al.*, 2015; Kimwaga *et al.*, 2012; Ghermandi *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2008a; Ko *et al.*, 2004; Lasat, 2002). Vrste koristi za predloženi model Sistema plutajućih u ovim istraživanjima su prikazane kroz SWOT analizu i dat je ekonomsko - finansijski model kao osnova za analizu bilo kog investiranja u Sistem plutajućih ostrva u praksi.

Po svojoj konstrukciji i načinu uklanjanja polutanata biološki sistem sa plutajućim ostrvima je najbliži konstruisanim akvatičnim ekosistemima. Ovi alternativni sistemi za prečišćavanje zagađenih i otpadnih voda se opisuju kao isplativa zelena tehnologija, naročito ako se koristi za tretman velikih količina voda sa niskim do srednjim koncentracijama različitih polutanata (Davis, 2000; DeBusk, 1999b; Hammer, 1989; Watson *et al.*, 1988; Knight *et al.*, 1993; U.S. EPA, 2000). Osnovna ograničenja za šire korišćenje konstruisanih akvatičnih sistema su uglavnom vezana za velike površine zemljišta, koje su potrebne za njihovu izgradnju (Solano *et al.*, 2004). Ovaj problem je naročito izražen u urbanim sredinama u kojima je građevinsko zemljište izuzetno skupo.

Kimwaga *et al.* (2012) su koristi od izgradnje konstruisanih akvatičnih ekosistema za tretman komunalnih otpadnih voda preračunali na osnovu troškova koji bi mogli da se prevaziđu korišćenjem ove tehnologije. Autori su zaključili da se implementacijom ove tehnologije mogu izbeći različiti visoki troškovi, što bi predstavljalo korist ili dobit od 38% od početnih investicija na godišnjem nivou. Okurut (2000) i Mannino *et al.* (2008) su došli do sličnih podataka pri upoređivanju konstruisanih akvatičnih ekosistema i drugih sistema za prečišćavanje voda. Manja površina koju zahtevaju konstruisani akvatični ekosistemi u odnosu na stabilizacione bazene ili manji troškovi rada i održavanja u odnosu na konvencionalna postrojenja mogu da ostvare korist od 30% od početnih investicija i više kroz izbegavanje ovih troškova (cena zemljišta, rada i održavanja) ukoliko se za tretman vode koriste konstruisani akvatični ekosistemi.

Na osnovu prikazanih vrednosti za konstruisane akvatične ekosisteme i upoređivanjem ovih postrojenja sa Sistemom plutajućih ostrva može se pretpostaviti da bi predloženo rešenje moglo da ostvari još veću procentualnu korist kroz izbegavanje pomenutih troškova. Zahvaljujući velikoj slobodnoj površini korenovog sistema biljaka plutajuća ostrva obezbeđuju efikasniji tretman zagađenih voda u odnosu na konstruisane akvatične ekosisteme (Stewart *et al.*, 2008). Za njihovo postavljanje nije neophodno skupo građevinsko zemljište već se oni postavljaju direktno na reci ili jezeru i tretman se vrši *in situ*. Troškovi konstrukcije rada i održavanja ovih sistema su još niži u odnosu na konstruisane akvatične ekosisteme, jer nije neophodno graditi bazene, trošiti električnu ili drugu vrstu energije za pokretanje pumpi ili aeraciju, vršiti redovnu proveru nivoa vode u postrojenju i drugo.

Na osnovu svega rečenog, može se zaključiti da je predloženi model fitoremedijacije zagađene vode ekonomski isplativa tehnologija. Prepoznavanje plutajućih ostrva i drugih bioloških sistema kao dela standardne infrastrukture za tretman zagađenih i otpadnih voda u okviru zakonske regulative će omogućiti i olakšati prikupljanje svih neophodnih parametara za ekonomsko - finansijsku analizu i novčano prikazivanje svih troškova i koristi, koje nastaju u predelu njegovom implementacijom.

Na kraju još može da se pretpostavi da kako se državni budžeti budu smanjivali, cena vode rasla, a savezni ili državni normativi postajali sve strožiji, jednostavni, ekonomski isplativi i efikasni biološki sistemi za tretman otpadnih voda i njihovu reciklažu u praksi će imati sve veći značaj. Kroz dalje usavršavanje ova tehnologija bi u

budućnosti mogla da zauzme vodeće mesto u procesu prečišćavanja otpadnih voda i oporavka vodenih površina.

7. ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja fitoremedijacionog potencijala vrste *Canna indica* L. u laboratorijskim uslovima su pokazali da:

- kana usvaja značajne količine olova (Pb) pri različitim koncentracijama ciljanog teškog metala u medijumu za gajenje,
- kana reguliše usvajanje Pb tako da koncentracija ciljanog metala u biljnom tkivu odražava njegove koncentracije u medijumu za gajenje,
- se sadržaj Pb povećava sa povećanjem vremena izloženosti kane ispitivanom teškom metalu,
- kana limitira translokaciju Pb iz korena u nadzemne delove nezavisno od koncentracije Pb u medijumu za gajenje,
- je koncentracija Pb u podzemnoj biomasi kane i do 90 puta veća u odnosu na akumulaciju Pb u nadzemnoj biomasi,
- je kana dobar akumulator u skladu sa svojom sposobnošću da usvaja, akumulira i toleriše različite koncentracije Pb u svojim tkivima,
- je kana tolerantna na visoke koncentracije Pb u medijumu za gajenje,
- da promene u usvajanju različitih mikro- i makro-nutrijenata iz hranljivog rastvora pod uticajem visoke koncentracije Pb, kao i visok sadržaj Pb u medijumu za gajenje ne utiču na inhibiciju biomase, već da kana brzo raste u kontaminiranom medijumu i pri tome stvara veliku količinu biomase i gust korenov sistem,
- je zasnivanje kane iz rizoma i njeno gajenje vrlo jednostavno.

Na osnovu ovoga može da se zaključi da je *C. indica* vrlo pogodna vrsta za biološko prečišćavanje voda zagađenih Pb.

Rezultati ispitivanja fitoremedijacionog potencijala biljke *Canna indica* L. i odabranih dekorativnih makrofita u biološkom sistemu za prečišćavanje zagađenih voda su pokazali da:

- vrsta *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. ima dobar potencijal za uklanjanje Cr, Ni, Al i Zn, kao i As i Co iz zagađene vode,

- vrsta *Canna indica* L. ima dobar potencijal za uklanjanje As i Mn, kao i Al, Ba i Sr iz zagađene vode,
- vrsta *Iris pseudacorus* L. ima dobar potencijal za uklanjanje Al, Ba i Sr, kao i Mn i Ni iz zagađene vode,
- vrsta *Iris sibirica* 'Perry's Blue' ima dobar potencijal za uklanjanje Zn, Al i Sr, kao i Cr i Zn iz zagađene vode,
- vrsta *Alisma plantago - aquatica* L. ima dobar potencijal za uklanjanje Al, Co, Sr i Na, kao i Cr i Ba iz zagađene vode,
- vrsta *Lythrum salicaria* L. ima dobar potencijal za uklanjanje Zn, kao i Ba, Co i Sr iz zagađene vode,
- vrsta *Menyanthes trifoliata* L. ima dobar potencijal za uklanjanje Na i Zn, kao i Al, Cr i Sr iz zagađene vode,
- postoje razlike u efikasnosti fitoremedijacije u zavisnosti od vrste odabranih biljaka,
- vegetaciju plutajućih ostrva treba da čine različite odabrane biljne vrste,
- je translokacija metala od interesa iz podzemne biomase u nadzemnu biomasu bila limitirana ili izuzetno mala,
- su sve ispitivane vrste osim *M. trifoliata* u biološkom sistemu rasle brzo i pri tome su stvarale znatnu količinu podzemne i nadzemne biomase,
- je vrsta *Canna indica* L. ostvarila najveću produkciju biomase,
- je vrsta *Lythrum salicaria* L. ostvarila najveću produkciju biomase u odnosu na ostale dekorativne makrofite,
- su sve ispitivane vrste otporne na različite ekološke uslove sredine, štetočine i bolesti,
- vrsta *Canna indica* L. ima veliku regenerativnu sposobnost,
- su sve ispitivane vrste tolerantne na širok spektar polutanata,
- je zasnivanje biljaka, njihovo presađivanje u biološki sistem i održavanje vegetacije plutajućih ostrva jednostavno.

Na osnovu ovoga može da se zaključi da su sve odabrane vrste u biološkom sistemu, osim vrste *M. trifoliata*, dobri kandidati za biološko prečišćavanje zagađenih voda. Iako je vrsta *M. trifoliata* usvajala znatne količine metala od interesa, ona u ovim

istraživanjima nije okarakterisana kao biljka sa dobrim fitoremedijacionim potencijalom, jer je tokom vegetacionog perioda produkovala izuzetno malu biomasu.

Rezultati ispitivanja efikasnosti biološkog sistema sa plutajućim ostrvima za prečišćavanje zagađenih voda su pokazali da:

- je uliv u biološki sistem na osnovu sadržaja većine polutanata, koji predstavljaju parametre za ocenu ekološkog statusa voda, okarakterisan kao voda lošeg (klasa V) i umerenog (klasa III) ekološkog statusa,
- je izliv biološkog sistema na osnovu sadržaja većine polutanata, koji predstavljaju parametre za ocenu ekološkog statusa voda, okarakterisan kao voda odličnog ekološkog statusa (klasa I),
- je biološki sistem dobra sredina za rast odabranih vrsta biljaka i algi,
- biljke i alge pored usvajanja različitih elemenata, u biološkom sistemu potpomažu druge fizičke, hemijske i biološke mehanizme za uklanjanje polutanata iz zagađenih voda,
- pokrivenost bazena plutajućim ostrvima treba da bude manja od 100% kako bi se omogućila prirodna aeracija vode.

Na osnovu ovoga može da se zaključi da je biološki sistem bio vrlo efikasan u uklanjanju različitih polutanata iz zagađene vode. Uz manje modifikacije biološki sistem sa plutajućim ostrvima bi mogao da ima još veću efikasnost.

Rezultati ispitivanja ekonomske isplativosti i ekološke pogodnosti predloženog Sistema plutajućih ostrva su pokazali da:

- predloženi Sistem plutajućih ostrva ima veću prilagodljivost za različite slučajeve korišćenja u odnosu na druge alternativne sisteme za tretman zagađenih voda,
- je predloženi Sistem plutajućih ostrva ekološki opravdana tehnologija, koja uz dostizanje ekološkog optimuma omogućava održivost prirodnih resursa,
- da implementacija ove tehnologije u praksi može da obezbedi prečišćavanje otpadnih i zagađenih voda na osnovu prirodnih procesa bez upotrebe različitih hemijskih materija i dodatnih izvora energije,
- za razliku od ustaljene tehnologije prečišćavanja voda Sistem plutajućih ostrva na kraju tretmana stvara redukovan sadržaj otpada, koji može da posluži kao

sirovina za druge tehnologije i da na taj način omogućiti stvaranje dodatnog profita,

- postavljanje Sistema plutajućih ostrva u okviru reka, jezera i bara može da omogućiti reklamaciju i ponovno korišćenje voda, hranljivih materija i različitih bioloških resursa, kao i obnavljanje nekadašnjeg biodiverziteta,
- je najveća prepreka za implementaciju Sistema plutajućih ostrva, kao alternativnih bioloških sistema za prečišćavanje zagađenih i otpadnih voda to što oni nisu prepoznati u zakonima i drugim relevantnim propisima Republike Srbije,
- je neophodno razviti odgovarajuću ili modifikovanu metodu za kvantitativno vrednovanje koristi od korišćenja Sistema plutajućih ostrva, pri čemu se prvenstveno misli na vrednovanje ekosistemskih usluga i ekoloških aspekata ovih sistema,
- dat ekonomsko - finansijski model i SWOT analiza mogu da se koriste kao osnova za analizu bilo kog investiranja u Sistem plutajućih ostrva u praksi,
- u odnosu na druge alternativne tehnologije za prečišćavanje voda predloženi Sistem plutajućih ostrva je ekonomski isplativa tehnologija.

8. LITERATURA

- *** (1961): Standard methods for Examination of Water and Wastewater“ 11th Edition
APHA, AWWA, WEF.
- *** (1990): Voda za piće, Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti,
Savezni Zavod za zdravstvenu zaštitu NIP Privredni pregled, Beograd.
- *** (1995): Standard methods for Examination of Water and Wastewater“ 19th Edition
APHA, AWWA, WEF.
- *** (2011): Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i
parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda. Službeni glasnik
RS, br. 74/2011.
- *** (2012): Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i
podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje Službeni glasnik
RS, br. 50/2012
- Adriano, D.C. (1986): Trace Elements in Terrestrial Ecosystems. Springer Verlag, New
York. 533.
- Aksorn, E. and Visootviseth, P. (2004): Selection of suitable emergent plants for
removal of arsenic from arsenic contaminated water. Sci Asia, 30(2), 105-113.
- Aksoy, A. and Sahin, U. (1999): *Elaeagnus angustifolia* L. as a Biomonitor of Heavy
Metal Pollution. Tr. J. of Botany 23, 83-87.
- Allirand, J.-M. & Gosse, G. (1995): An aboveground biomass production model for a
common reed (*Phragmites communis* Trin.) stand. Biomass and Bioenergy, 9(6),
441–448.
- Alloway, B. J. (1995): Heavy metals in soils. Springer; 2nd edition, 384. WWW
dokument dostupan na URL
[http://books.google.com/books?id=CX1GwLBhkC4C&printsec=frontcover&dq=H
eavy+metals+in+soils&hl=sr&cd=1#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=CX1GwLBhkC4C&printsec=frontcover&dq=Heavy+metals+in+soils&hl=sr&cd=1#v=onepage&q&f=false)
- Arduini, I., Ercoli, L., Mariotti, M., & Masoni, A. (2006): Response of miscanthus to
toxic cadmium applications during the period of maximum growth. Environmental
and Experimental Botany, 55(1), 29-40.

- Audet, P., Charest, C. (2008): Allocation plasticity and plant-metal partitioning: Meta-analytical perspectives in phytoremediation. *Environmental Pollution*, 156, 290-296.
- Austin, C. (2005): *Irises: a gardeners encyclopedia*. Portland, Timber Press, 339. ISBN 08-819-2730-9.
- Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka, R. M. and Adrian, D. D. (1999): A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Res.* 33: 2469–2479.
- Barker A.V., Pilbeam D.J. (2006): *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton, CRC Press, 632.
- Batty, L. C., & Younger, P. L. (2004). Growth of *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex. Steudel in mine water treatment wetlands: effects of metal and nutrient uptake. *Environmental Pollution*, 132(1), 85-93.
- Batty, L.C., Baker, A.J., & Wheeler, B.D. (2002): Aluminium and phosphate uptake by *Phragmites australis*: the role of Fe, Mn and Al root plaques. *Annals of Botany*, 89(4), 443-449.
- Benn S., Dunphy D., Martin A. (2009): Governance of environmental risk: New approaches to managing stakeholder involvement. *Journal of Environmental Management* 90 1567-1575.
- Bernet, N., Dangcong, P., Delgenes, J.P., Moletta, R. (2001): Nitrification at low oxygen concentration in biofilm reactor. *Journal of environmental engineering*, 127(3), 266-271.
- Biomatrix water (2016): Biomatrix water. WWW proizvođača dostupan na URL <http://www.biomatrixwater.com/>
- Blaylock, M.J. and Huang, J.W. (2000): Phytoextraction of metals. In: I. Raskin and B.D. Ensley eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 53-70.
- Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D. and Raskin. I. (1997): Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science and Technology*, 31 (3), 860- 865.

- Bose, S., Jain, A., Rai, V., Ramanathan, A.L. (2008): Chemical fractionation and translocation of heavy metals in *Canna indica* L. grown on industrial waste amended soil. *Journal of Hazardous Materials* 160(1), 187-193.
- Bragato, C., Schiavon, M., Polese, R., Ertani, A., Pittarello, M., Malagoli, M. (2009): Seasonal variations of Cu, Zn, Ni and Cr concentration in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in a constructed wetland of North Italy. *Desalination*, 246(1-3), 35-44.
- Breckle, C.W. (1991): Growth under heavy metals. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (eds.): *Plant roots: the hidden half*. New York, NY: Marcel Dekker, 351-373.
- Brix, H. (1988): Gas exchange through dead culms of reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Aquatic Botany*, 35(1), 81-98.
- Brix, H. (1993): Macrophytes-mediated oxygen transfer in wetlands: Transport mechanism and rate. In: G. A. Moshiri (Ed). *Constructed wetlands for water quality improvement*. Ann Arbor, Lewis Publishers, London.
- Burton, K.W., Morgan, E., & Roig, A. (1984): The influence of heavy metals upon the growth of sitka-spruce in South Wales forests. *Plant and Soil*, 78(3), 271-282.
- Caldelas, C., Araus, J.L., Febrero, A., Bort, J. (2012): Accumulation and toxic effects of chromium and zinc in *Iris pseudacorus* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(3), 1217-1228.
- Calheiros, C.S.C., Rangel, A.O.S.S., Castro, P.M.L. (2009): Treatment of industrial wastewater with two-stage constructed wetlands planted with *Typha latifolia* and *Phragmites australis*. *Bioresource Technology*, 100(13), 3205-3213.
- Campbell C.R. and Plank, C.O. (1998): Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In: Yash P. Kalra (ed.): *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 37-49.
- Canadianpond.ca Products Ltd. (2016): Canadianpond.ca Products Ltd. WWW proizvođača dostupan na URL <https://canadianpond.ca/>
- Chappelle, E.W., Kim, M.S., McMurtrey, J.E. (1992): Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sensing of Environment*, 39(3), 239-247.

- Cheng, S., Grosse, W., Karrenbrock, F., Thoennessen, M. (2002b): Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecological Engineering*, 18, 317–325.
- Cheng, S., Ren, F., Grosse, W., and Wu, Z. (2002a): Effects of Cadmium on Chlorophyll Content, Photochemical Efficiency, and Photosynthetic Intensity of *Canna indica* Linn. *International Journal of Phytoremediation*: Vol. 4, No. 3, 239–246.
- Chmielewska, E., Medved, J. (2001): Bioaccumulation of heavy metals by green algae *Cladophora glomerata* in a refinery sewage lagoon. *Croatica Chemica Acta*, 74(1), 135-145.
- Chum, H. L., Overend, R. P. (2001): Biomass and renewable fuels. *Fuel processing technology*, 71(1), 187-195.
- Cools, N, De Vos, B. (2010): Sampling and Analysis of Soil. Manual Part X. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, UNECE, ICP Forests, Hamburg, 208. ISBN: 978-3-926301-03-1.
- Crist, R. H., Oberholser, K., Schwartz, D., Marzoff, J., Ryder, D., Crist, D.L.R. (1988): Interactions of Metals and Protons with Algae. *Environmental Science and Technology*. 22(7), 755-760.
- Cule, N., Jovanovic, Lj., Drazic, D., Veselinovic, M., Mitrovic, S., Nesic, M. (2011): Indian shoot (*Canna indica* L.) in phytoremediation of water contaminated with heavy metals. *Sustainable Forestry* 63-64, 51-64.
- Cunningham, S.D. and Ow, D.W. (1996): Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology*, 110(3), 715-719.
- Cunningham, S.D., Shann, J.R., Crowley, D.E. and Anderson, T.A. (1997): Phytoremediation of contaminated water and soil. In: E.L., Kruger, T.A., Anderson and J.R., Coats, eds. *Phytoremediation of soil and water contaminants*. ACS symposium series 664. Washington, DC, American Chemical Society, 2-19.
- Czinki, L.(1985): Pilotprojekt zur Sanirung von Gewässern, Garten + Landschaft, 7/85, 43-48.
- Davis, L., (2000): *A Handbook of Constructed Wetlands A Guide to Creating Wetlands for: Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage*,

- Stormwater in the Mid-Atlantic Region. Prepared for the Environmental Protection Agency (EPA). WWW dokument dostupan na URL <http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf>
- Davis, T.A., Volesky, B., Vieira, R.H.S.F. (2000): Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metals. *Water Res.* 34 (17), 4270–4278.
- De Jesus, B.R. and Yllano, O.B. (2005): Bioaccumulation and Bioconcentration of Pb in the Tissues of *Zea mays* L. *Philippine Journal of Science* 134 (1), 21-29.
- DeBusk, W.F. (1999a): Wastewater treatment wetlands: Contaminant Removal Processes. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, 5.
- DeBusk, W.F. (1999b): Wastewater treatment wetlands: Applications and Treatment Efficiency. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, 7.
- Degrémont (1976): Tehnika prečišćavanja voda. Građevinska knjiga, Beograd.
- Denny, P., Bailey, R., Tukahirwa E., and Mafabi, P. (1995): Heavy metal contamination of Lake George (Uganda) and its wetlands. *Hydrobiologia* 297, 229-239.
- Dodds, W.K., Gudder, D.A. (1992): The ecology of *Cladophora*. *Journal of Phycology*, 28(4), 415-427.
- Dodkins, I., Mendzil, A.F. (2014): Enterprise Assist: Floating Treatment Wetlands: Treatment efficiency and potential benefits of activated carbon. Sustainable Expansion of the Applied Coastal And Marine Sectors (SEACAMS), Swansea University, Swansea, Wales. 44.
- Dolgen, D., Alpaslan, M.N., & Delen, N. (2004): Use of an agro-industry treatment plant sludge on iceberg lettuce growth. *Ecological engineering*, 23(2), 117-125.
- Dražić, D., Veselinović, M., Batos, B., Rakonjac, Lj., Čule, N., Mitrović, S., Djurovic-Petrovic, M. (2011): Energy plantations of dendroflora species on open-pit coal mines overburden deposits. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 6(14), 3272-3283.
- Dunbabin, J. S. and Bowmer, K. H. (1992): Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial waste waters containing metals. *Science of the Total Environment* 3, 151-168.
- Duncan, T. (2012): Floating reedbeds biofilter performance in urban stormwater treatment wetlands. *Proceedings of National Conference Stormwater*, 15-19 October 2012, Melbourne, Australia. WWW dokument dostupan na URL

- http://www.stormwater.asn.au/images/Conference_Papers/Stormwater12/Duncan_Tom_-_Non_Refereed_Paper.pdf
- Dushenkov, S. and Kapulnik, Y. (2000): Phytofiltration of metals. In: I., Raskin. and B.D., Ensley (eds.): Phytoremediation of toxic metals - using plants to clean-up the environment. New York, John Wiley & Sons, Inc., 89-106.
- Dushenkov, S., Kumar, P.B.A.N., Motto, H. and Raskin, I. (1995): Rhizofiltration: the Use of Plants to Remove Heavy Metals From Aqueous Streams. Environ Sci Technol., 29(5), 1239-1245.
- Dushenkov, S., Vasudev, D., Kapulnik, Y., Gleba, D., Fleisher, D., Ting K.C., Ensley. B. (1997): Removal of uranium from water using terrestrial plants. Environmental Science and Technology, , vol. 31, no. 12, p. 3468-3474.
- Džamić, R., Stevanović, D., Jakovljević, M. (1966): Praktikum iz agrohemije. Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Eger, P. (1994): Wetland treatment for trace metal removal from mine drainage: the importance of aerobic and anaerobic process. Water, Science and Technology 29, 4, 249-256.
- Ennabili, A., Ater, M., Radoux, M. (1998): Biomass production and NPK retention in macrophytes from wetlands of the Tingitan Peninsula. Aquatic Botany 62, 45-56.
- Ensley, B.D. (2000): Rational for use of phytoremediation. In: I., Raskin and B.D., Ensley, eds. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment. New York, John Wiley & Sons, Inc., 3-12.
- Entry, J.A., Watrud, L.S. and Reeves, M. (1999): Accumulation Of ^{137}Cs And ^{90}Sr From Contaminated Soil By Three Grass Species Inoculated With Mycorrhizal Fungi. Environmental Pollution, , Vol. 104, 449-457.
- Fediuc, E., Erdei, L. (2002): Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. Journal of Plant Physiology, 159, 265-271.
- Ferreira, E.V.d.O., Novais, R.F., Médice, B.M., Barros, N.F.d., Silva, I.R. (2015): Leaf total nitrogen concentration as an indicator of nitrogen status for plantlets and young plants of *Eucalyptus* clones. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39, 1127-1140.

- Flathman, P.E. and Lanza, G.R. (1998): Phytoremediation: Current Views On An Emerging Green Technology. *Journal Of Soil Contamination*, Vol. 7, No. 4, 415-432.
- Floating Island International, Inc. (2016): Floating Island International, Inc. WWW proizvođača dostupan na URL <http://www.floatingislandinternational.com>
- Foo, J. (2002): Integrated Bio-Systems: A Global Perspective. U: Warburton, K., Pillai-McGarry, U., Ramage, D. (eds.): Integrated biosystems for sustainable development. Proceedings of the InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. Rural Industries Research and Development Corporation. 37-50.
- Fritioff, A., Greger, M. (2003): Aquatic and terrestrial plant species with potential to remove heavy metals from storm-water. *Int J Phytoremediation*, 5(3), 211-24.
- Fu, F., Qi, W. (2011): Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418.
- Fu, X. (2015): Phosphorus removal from wastewater by five aquatic plants. U: Prasard, Y. (ed.): Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Energy and Environmental Science. 1013-1017.
- Gao, J., Wang, W., Guo, X., Zhu, S., Chen, S. and Zhang, R. (2014): Nutrient removal capability and growth characteristics of *Iris sibirica* in subsurface vertical flow constructed wetlands in winter. *Ecological Engineering*, 70, 351-361.
- Gao, J., Zhang, J., Ma, N., Wang, W., Ma, Changde, M. and Zhang, R. (2015): Cadmium removal capability and growth characteristics of *Iris sibirica* in subsurface vertical flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 84, 443-450.
- Garcia, M, Soto, F., Gonzalez, JM., Becares, E. (2008): A comparison of bacterial removal efficiencies in constructed wetlands and algae-based systems. *Ecological engineering*, 32(3), 238-243.
- Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., de la Rosa, G., Parsons, J.G. (2005): Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews* Vol. 249, No.17-18, 1797-1810.

- Gaur, A. (2014): Nutritive value of rhizome of the *Canna indica* linn. and characteristics of various extracted materials from the rhizome. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 5(4), 644 - 648.
- Gawronski, S.W., Gawronska, H. (2007): Plant Taxonomy For Phytoremediation. In: N. Marmiroli et al. (eds.): *Advanced Science and Technology for Biological Decontamination of Sites Affected by Chemical and Radiological Nuclear Agents*, 79-88.
- Gerloff, G.C., Fitzgerald, G.P. (1976): The nutrition of Great Lakes *Cladophora* (Vol. 76, No. 44). U.S. EPA, Office of Research and Development, Environmental Research Laboratory. WWW dokument dostupan na URL https://books.google.rs/books?hl=sr&lr=&id=YmL0n9AUvEwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Cladophora+mineral+nutrition&ots=7MrBzXf1uJ&sig=qSeKHfAxZmhIaB-oe2sq5kGl_F8&redir_esc=y#v=onepage&q=Cladophora%20mineral%20nutrition&f=false
- Ghermandi, A., van den Bergh, J.C.J.M., Brander, L.M., de Groot, H.L.F., Nunes, P.A.L.D. (2010): Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resources Research*, 46, W125116, 1-12.
- Ghosh, M., Singh, S.P. (2005a): A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian J Energy Environ*, 6(4), 18.
- Ghosh, M., Singh, S.P. (2005b): A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution* 133, 365–371.
- Gitelson, A.A., Keydan, G.P., Merzlyak, M.N. (2006): Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophysical Research Letters*, 33, L11402.
- Gitelson, A.A., Zur, Y., Chivkunova, O.B., Merzlyak, M.N. (2002): Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 75(3), 272-281.
- Groudeva, V.I., Groudev, S.N., Doycheva, A.S. (2001): Bioremediation of waters contaminated with crude oil and toxic heavy metals. *Int. J. Miner. Process.* 62, 293–299.
- Gupta, D., Singh, L. K., Gupta, A. D., Babu, V. (2012): *Phytoremediation: An Efficient Approach for Bioremediation of Organic and Metallic Ions Pollutants*.

-
- In: Mohee, R., Mudhoo, A. (eds.): Bioremediation and Sustainability: Research and Applications, 213-240.
- Hall, D.O., House, J.I. (1995): Biomass: a modern and environmentally acceptable fuel. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 38(1), 521-542.
- Hallam, A., Anderson, I.C., Buxton, D.R. (2001): Comparative economic analysis of perennial, annual, and intercrops for biomass production. *Biomass and Bioenergy*, 21(6), 407-424.
- Hammer, D. A. (ed.) (1989): *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 831.
- Haslam, S.M. (2010): *A Book of Reed: (Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steudel, Formerly Phragmites communis Trin.)*. Forrest Text, Cardigan, GB, 254.
- Headley, TR., Tanner, CC. (2008): Floating Treatment Wetlands: an Innovative Option for Stormwater Quality Applications. Proceedings of 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 1-7, 2008 Indore, India, 1101-1106. WWW dokument dostupan na URL <http://www.floatingislandinternational.com/wp-content/plugins/fii/research/8.pdf>
- Hernández-Sancho, F., Lamizana-Diallo, B., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M. (2015): Economic Valuation of Wastewater - The cost of action and the cost of no action. United Nations Environment Programme. 69. ISBN: ISBN: 978-92-807-3474-4.
- Hikosaka, K., Terashima, I. (1995): A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. *Plant, Cell & Environment*, 18(6), 605-618. doi
- Hislop, D., Hall, D. (1996): Biomass Resources for Gasification Plant. ETSU B/M3/00388/31/REP. 30.
- Hogg, E.H., Wein, R.W. (1988): The contribution of Typha components to floating mat buoyancy. *Ecology*, 69 (4), 1025-1031.
- Horneck D.A. and Miller, R.O. (1998): Determination of total nitrogen in plant tissue. In: Yash P. Kalra (ed.): *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 75-83.
- Huang, J.W., Cunningham, S.D. (1996): Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New phytologist*, 134(1), 75-84.
-

- Iannelli, M.A., Pietrini, F., Fiore, L., Petrilli, L., Massacci, A. (2002): Antioxidant response to cadmium in *Phragmites australis* plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40, 977-982.
- IARC, International Agency for Research on Cancer (1988): Man-made mineral fibres and radon. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 43. WWW dokument dostupan na URL <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol43/mono43.pdf>
- Iital, A., Kloga, M., Kask, U., Voronova, V. & Cahill, B. (2012): Reed harvesting. U: SchultzZehden, A. & Matczak, M. (eds.) *Compendium: An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources*, Maritime Institute in Gdansk, Gdansk, 103–124.
- Ionescu-Heroiu, M. (2010): The management of brownfields redevelopment: a guidance note. Washington, DC, World Bank. WWW dokument dostupan na URL <http://documents.worldbank.org/curated/en/2010/03/12413206/management-brownfields-redevelopment-guidance-note>.
- ITRC - Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group (1999): *Phytoremediation Decision Tree*. Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group, 35.
- Jenssen, P. D., Vatn, A. (1991): Ecologically Sound Wastewater Treatment: Concepts And Implementation. In: *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*, 2nd edition. C. Etner and B. Guterstam (eds.). CRC Press, New York. pp. 305-320.
- John, D.A. and Leventhal, J.S. (1995): Bioavailability of metals. U: du Bray EA. (ed): *Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models*. U.S. Department Of The Interior U.S. Geological Survey, Open-File Report 95-831, Denver, Colorado, 10-18.
- Jovanović, Lj., Dražić, D., Veselinović, M., Nešić, N. (2006): Mogućnosti korišćenja nekih vrsta perena i zeljastih biljaka za dobijanje energije iz biomase. *Energija, ekonomija, ekologija* 3-4, 89-93. ISSN 0354-8651.
- Kabata-Pendias, A. & Mukherjee, A.B. (2007): *Trace elements from soil to human*. Springer Science & Business Media.
- Kabata-Pendias, A. (2011): *Trace elements in the soils and plants*. Fourth edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida. 548.

- Kadlec, R.H., Wallace, S.D. (2009): Treatment Wetlands (2nd Edition). CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 1016.
- Kahkoen, M.A. and Manninen, P.K.G. (1998): The uptake of nickel and chromium from water by *Elodea canadensis* at different nickel and chromium exposure levels, *Chemosphere* 36, 1381–1390.
- Kamal, M., Ghaly, A.E., Mahmoud, N., & Cote, R. (2004): Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environment international*, 29(8), 1029-1039.
- Kastori, R., Bogdanović, D., Kadar, I., Milošević, N., Sekulić, P., Pucarević, M. (2006): Uzorkovanje zemljišta i biljaka nezagađenih i zagađenih staništa. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo.
- Khan, S., Ahmad, I., Shah, MT., Rehman, S. and Khaliq, A. (2009): Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3451-3457.
- Kimwaga, R., Gastory, L., Nyamboge, C., Mutabazi, F. (2012): Financial or Socio-Economic Mechanisms Controlling the Constructed Wetlands Services Chain in Tanzania. WWW dokument dostupan na URL http://www.constructedwetlands.net/IR1-Financial%20or%20Socio-Economic%20Mechanisms_FIN.pdf
- Kitajima, K., Hogan, K. (2003): Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. *Plant, Cell & Environment*, 26(6), 857-865.
- Knauf Insulation d.o.o., Beograd (2016): Knauf Insulation d.o.o., Beograd. WWW proizvođača dostupan na URL <http://www.knaufinsulation.rs/sr/content/urbanscape-green-roll-supstrat>
- Knight, R.L., Rible, R.W., Kadlec, R.H. and Reed, S. (1993): Wetlands for wastewater treatment: performance database. In: Moshiri G.A. (ed.): *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL., 35-58.
- Ko, J.Y., Day, J.W., Lane, R.R., Day, J.N. (2004): A comparative evaluation of money-based and energy-based cost–benefit analyses of tertiary municipal wastewater treatment using forested wetlands vs. sand filtration in Louisiana. *Ecological Economics*, 49(3), 331-347.

- Köbbing, J.F., Thevs, N. and Zerbe, S. (2013): The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review. *Mires and Peat*, Volume 13, Article 01, 1-14.
- Komulainen, M., Simi, P., Hagelberg, E., Ikonen, I. and Lyytinen, S. (2008): Reed Energy - Possibilities of Using the Common Reed for Energy Generation in Southern Finland. Reports from Turku University of Applied Sciences, 67, 81. WWW dokument dostupan na URL: <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522160355.pdf>
- Korner, S., Vermaat JE. (1998): The relative importance of *Lemna gibba* L., bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater. *Water Research*, 32(12), 3651-3661.
- Kostrakiewicz, Kinga. (2011). The effect of dominant species on numbers and age structure of *Iris sibirica* L. population on blue moor-grass meadow in southern Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 76(2), 165-173.
- Kramer, U. (2005): Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current opinion in biotechnology*, 16(2), 133-141.
- Kramer, U. and Chardonnens, A.N. (2001): The use of transgenic plants in the bioremediation of soils contaminated with trace elements. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55, 6, 661-672.
- Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I. (1995): Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental science & technology*, 29(5), 1232-1238.
- Laing, G.D., Tack, F.M.G., Verloo, M.G. (2003): Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants (*Phragmites australis*). *Analytic Chimica Acta* 497, 191-198.
- Lamers, L.P., Falla, S.J., Samborska, E.M., van Dulken, I.A., Hengstum, G.V., Roelofs, J.G. (2002): Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulfate polluted freshwater wetlands. *Limnology and Oceanography*, 47(2), 585-593.
- Lasat, M.M. (2002): Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 31, 109-120).
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Scurlock, J.M.O., Huisman, W. (2000): *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 209-227.

- Lewandowski, I., Scurlock, J.M., Lindvall, E., Christou, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 335-361.
- Li, S., Zhang, K., Zhou, S., Zhang, L., & Chen, Q. (2009): Use of dewatered municipal sludge on Canna growth in pot experiments with a barren clay soil. *Waste Management*, 29(6), 1870-1876.
- Li, Z., Li, Y., Huang, W., Sang, L. (2013): Artificial Floating Islands: a Technology for Clean Water and Agricultural Production in Rural China. *International Journal of Environmental Protection*, 3(1), 7.
- Liu, G., Tian, K., Sun, J., Xiao, D., Yuan, X. (2015): Evaluating the Effects of Wetland Restoration at the Watershed Scale in Northwest Yunnan Plateau, China. *Wetlands*, 36(1), 169-183.
- Lone, M.I., He, Z., Stoffella, P.J., Yang, X. (2008): Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 9(3), 210-220.
- Maas-van de Kamer, H., Maas, P.J.M. (2008): The Cannaceae of the world. *Blumea - Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, Volume 53, Number 2, 247-318(72).
- Manios, T., Stentiford, E.I., Millner, P.A. (2003): The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. *Ecological Engineering*, 20(1), 65-74.
- Mannino, I., Franco, D., Piccioni, E., Favero, L., Mattiuzzo, E., Zanetto, G. (2008): A Cost-Effectiveness Analysis of Seminatural Wetlands and Activated Sludge Wastewater-Treatment Systems. *Environmental Management*, 41, 118-129.
- Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., Zerbi, G. (2004): Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution* 132, 21-27.
- Masters, B. (2012): The ability of vegetated floating Islands to improve water quality in natural and constructed wetlands: a review. *Water Practice and Technology*, 7(1), wpt2012022.

- Matagi, S.V., Swai, D, Mugabe, R. (1998): A Review of heavy metal removal mechanisms in wetland. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish.*, 8, 23-35.
- Matheson, F.E., Nguyen, M.L., Cooper, A.B., Burt, T.P., & Bull, D.C. (2002): Fate of 15 N-nitrate in unplanted, planted and harvested riparian wetland soil microcosms. *Ecological Engineering*, 19(4), 249-264.
- McKendry, P. (2002): Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, 83(1), 37-46.
- Medina, E., Francisco, M. (1997): Osmolality and $\delta^{13}\text{C}$ of leaf tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45(3), 337-344.
- Mellem, J.J., Baijnath, H., Bharti Odhav, B. (2009) Translocation and accumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni by *Amaranthus dubius* (Amaranthaceae) from contaminated sites. *Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, 44 (6), 568–575.
- Minganti, V., Cornara, L., Piana, M., Corallo, A. and Mariotti, M.G. (2004): Arsenic biomonitoring using a hyperaccumulator fern (*Pteris vittata*). *J. Environ. Monit.* 6, 23-25.
- Mishra, A. and Choudhuri, M.A. (1998): Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. *Biologia Plantarum*, 41(3), 469-473.
- Mitić, V., Stankov Jovanović, V., Dimitrijević, M., Cvetković, J., Petrović, G., Stojanović, G. (2013): Chemometric Analysis of Chlorophyll a, b and Carotenoid Content in Green Leafy Vegetables. *Biologica Nyssana*, 4 (1-2), 49-55.
- Miyashita, S., Shimoya, M., Kamidate, Y., Kuroiwa, T., Shikino, O., Fujiwara, S., Francesconi, K.A., Kaise, T. (2009): Rapid determination of arsenic species in freshwater organisms from the arsenic-rich Hayakawa River in Japan using HPLC-ICP-MS. *Chemosphere*, 75(8), 1065-1073.
- Morais, S., e Costa, F.G., de Lourdes Pereira, M. (2012): Heavy metals and human health. In: Oosthuizen, J. (ed.): *Environmental Health - Emerging Issues and Practice*, InTech, Croatia, 227-246. WWW dokument dostupan na URL <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/27687.pdf>

- Morales, F., Abadía, A., Belkhodja, R., Abadía, J. (1994): Iron deficiency-induced changes in the photosynthetic pigment composition of field-grown pear (*Pyrus communis* L.) leaves. *Plant, Cell & Environment*, 17(10), 1153-1160.
- Morrissey J. Browne J. (2004): Waste management models and their application to sustainable waste management. *Waste management* (New York, N.Y.), 24(3), pp.297–308.
- Nešić, M., Obratov-Petković, D., Skočajić, D., Bjedov, I., Đukić, M., Đunisijević-Bojović, D. (2016): Allelopathic potential of the invasive species *Aster lanceolatus* Willd. *Periodicum Biologorum*, 118, 1-7.
- Nešić, N. (2004): Konstruisani akvatični ekosistemi za tretman otpadnih voda iz domaćinstva. Diplomski rad, Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 85.
- Nešković, M., Konjević, R., Čulafić, L., Ivašković, S. (2003). *Fiziologija biljaka*: NNK International.
- Netto, A.T., Campostrini, E., de Oliveira, J.G., Bressan-Smith, R.E. (2005): Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104(2), 199-209.
- Nilsson-Djerf J., McDougall F. (2000): Social factors in sustainable waste management. *Warmer Bulletin* 73, 18–20.
- NRC (1997): Challenges of groundwater and soil cleanup. In: *Innovations in Groundwater and Soil Cleanup*. Washington, DC, National Academy Press, 18-41.
- Obarska – Pempkowiak, H. (1991): Seasonal Variations In The Efficiency of The Nutrient Removal From Domestic Effluent In A Quasi – natural Field of Reeds (*Phragmites communis*). In: *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*, 2nd edition. C. Etnier and B. Guterstam (eds.). CRC Press, New York, 207-116.
- Obroucheva, N.V., Bystrova, E.I., Ivanov, V.B., Antipova, O.V., Seregin, I.V. (1998): Root growth responses to lead in young maize seedlings. *Plant and Soil*, 200(1), 55-61.
- Okurut, T.O. (2000): A Pilot Study on Municipal Wastewater Treatment Using a Constructed Wetland in Uganda. A.A. Balkema, Rotterdam. WWW dokument dostupan na URL <https://books.google.rs/books?id=5B0-GGky1sQC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=Okurut+a+pilot+study&source=bl&ots=Uo0>

[piQ6_js&sig=8N3dYir_0dyGR1ctDkgeNfHgiVw&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiKw8LG26TNAhVDthoKHbhIBP8Q6AEIJDAB#v=onepage&q=Okurut%20a%20pilot%20study&f=false](#)

- Ottova, V., Balcarova, J., Vymazal, J. (1997): Microbial characteristics of constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 35(5), 117-123.
- Papazoglou, E.G., Karantounias, G.A., & Bouranis, D.L. (2005): Growth and biomass allocation of *Arundo donax* L. under heavy metal application. In: *Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology*, vol. 1, 1194-1199.
- Pattee, O.H., Pain, D.J. (2003): Lead in the environment. In: Hoffman, D.J, Rattner, B.A., Burton, A.Jr., Cairns, J.Jr. (eds.): *Handbook of ecotoxicology*, Second edition, Lewis Publishers, 373-399.
- Pell, A., Márquez, A., López-Sánchez, J.F., Rubio, R., Barbero, M., Stegen, S., Queirolo, F., Díaz-Palma, P. (2013): Occurrence of arsenic species in algae and freshwater plants of an extreme arid region in northern Chile, the Loa River Basin. *Chemosphere*, 90(2), 556-564.
- Peltier, F.E., Webb, S.M., Gaillard, J.F. (2003): Zinc and lead sequestration in an impacted wetland system. *Advance in Environmental Research*, 8, 103-112.
- Penuelas, J., Frederic, B., Filella, I. (1995): Semi-empirical indices. *Photosynthetica*, 31(2), 221-230.
- Pérez-Harguindeguy N., Díaz S., Garnier E., Lavorel S., Poorter H., Jaureguiberry P., Bret-Harte M. S., Cornwell W. K., Craine J. M., Gurvich D. E., Urcelay C., Veneklaas E. J., Reich P. B., Poorter L., Wright I. J., Ray P., Enrico L., Pausas J. G., de Vos A. C., Buchmann N., Funes G., Quétier F., Hodgson J. G., Thompson K., Morgan H. D., ter Steege H., van der Heijden M. G. A., Sack L., Blonder B., Poschlod P., Vaieretti M. V., Conti G., Staver A. C., Aquino S., Cornelissen J. H. C. (2013): New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61, 167-234.
- Pessarakli, M., Golovko, T., Dymova, O., Yatsco, Y., Tabalenkova, G. (2010). Photosynthetic Pigment Apparatus in Northern. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*, Third Edition, CRC Press, 391-405.

- Pip, E. and Stepaniuk, J. (1992): Cadmium, Copper and Lead in Sediments and Aquatic Macrophytes in the Lower Nelson River System, Manitoba, Canada: I. Interspecific Differences and Macrophyte-Sediment Relations. *Archiv fur Hydrobiologie* 124, 337- 355.
- Poorter, H., Nagel, O. (2000): The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Aust. J. Plant Physiol.* 27, 595-607.
- Poorter, H., Niklas, K.J., Reich, P.B., Oleksyn, J., Poot, P. and Mommer, L. (2012): Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193, 30-50.
- Prasad, M.N.V., Freitas, H.M.O (2003): Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 225-321.
- Qian, J.H., Zayed, A., Zhu, Y.L., Yu, M., & Terry, N. (1999): Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: III. Uptake and accumulation of ten trace elements by twelve plant species. *Journal of Environmental Quality*, 28(5), 1448-1455.
- Rai, U.N, Sinha, S., Tripathi, R.D., Chandra, P. (1995): Wastewater treatability potential of some aquatic macrophytes: Removal of heavy metals. *Ecological Engineering* 5, 5-12.
- Rai, UN., Upadhyay, AK., Singh, NK. (2015): Constructed wetlands: An Ecotechnology for Wastewater Tretment and Conservation of Ganga Water Quality. U: Thangavel, P., Sridevi, G. (eds.): *Environmental Sustainability*. 251-264.
- Raskin I., Smith R.D. and Salt D.E. (1997): Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, 8(2), 221-226.
- Raskin, I.; Kumar, P.B.A.N.; Dushenkov, S. and Salt, D.E. (1994): Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 5, no. 3, 285-290.

- Reddy, K. R., Campbell, K. L., Graetz, D. A. and Portier, K. M. (1982): Use of biological filters for agricultural drainage water treatment. *Journal of Environmental Quality* 11, 591–595.
- Reddy, K.R., Patrick, W.H., & Lindau, C.W. (1989): Nitrification - denitrification at the plant root - sediment interface in wetlands. *Limnology and Oceanography*, 34(6), 1004-1013.
- Reynolds, J.S., Machemer, S.D., Updegraff, D.M., & Wildeman, T.R. (1997): Potentiometric titration method for determining rates of sulfate reduction in a constructed wetland. *Geomicrobiology Journal*, 14(1), 65-79.
- Rmiki, N.-E., Lemoine, Y., Schoeff, B. (1999): Carotenoids and stress in higher plants and algae. In: Pessarakli M, (Ed.), *Handbook of plant and crop stress*. New York: Marcel Dekker. pp. 465–482.
- Rossini, M., Panigada, C., Meroni, M., Colombo, R. (2006): Assessment of oak forest condition based on leaf biochemical variables and chlorophyll fluorescence. *Tree Physiology*, 26(11), 1487-1496.
- Ryser, P. and Emerson, Ph. (2007): Growth, root and leaf structure, and biomass allocation in *Leucanthemum vulgare* Lam. (Asteraceae) as influenced by heavy-metal-containing slag. *Plant Soil*, 301, 315–324.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, D., Chet, I. and Raskin, I. (1995): Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13, 468-474.
- Salt, D.E.; Smith, R.D. and Raskin, I. (1998): Phytoremediation. *Annual Review Of Plant Physiology And Plant Molecular Biology*, , Vol. 49, 643-668.
- Sarić, M., Kastori, R., Petrović, M., Stanković, Ž., Krstić, B., Petrović, N. (1986): *Praktikum iz fiziologije biljaka*. Naučna knjiga, Beograd.
- Sarić, M.R. (1979): *Fiziologija biljaka*. Univerzitet u Novom Sadu, Naučna knjiga, Beograd.
- Scholes, L., Shutes, R.B.E., Revitt, D.M., Forshaw, M., Purchase, D.T. (1998): The treatment of metals in urban runoff by constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 214(1), 211-219.
- Sekulić, P., Kastori, R., Hadžić, V. (2003): *Zaštita zemljišta od degradacije*. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 230.

- Senila, M., Senila, L., Roman, C. (2011): Evaluation of performance parameters for trace elements analysis in perennial plants using ICP-OES technique. *J. Plant Develop.* 18, 87-93.
- Senzia, M.A., Mashauri, D.A., Mayo, A.W. (2003): Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds in wastewater treatment: nitrogen transformation and removal. *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 1117-1124.
- Seregin, I.V., Shpigun, L.K., & Ivanov, V.B. (2004): Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51(4), 525-533.
- Sharma, P., Dubey, R.S. (2002): Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35-52.
- Sharma, S.S., Gaur, J.P. (1995): Potential of *Lemna polyrrhiza* for removal of heavy metals. *Ecological Engineering* 4, 37-43.
- Shutes, R.B.E. (2001): Artificial wetlands and water quality improvement. *Environmental International*, 26, 441-447.
- Singh, R., Agrawal, M. (2010): Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) grown on different sewage sludge amendments rates. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 84(5), 606-612.
- Solano, M.L., Soriano, P., Coroa, M.P. (2004): Constructed Wetlands as a Sustainable Solution for Wastewater treatment in Small Villages. *Biosystems Engineering*, 879(1), 109-118.
- Soon, Y.K. (1998): Determination of cadmium, chromium, cobalt, lead and nickel in plant tissue. In: Yash P. Kalra (ed.): *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 193-198.
- Sparks, D.L. (2003): *Environmental Soil Chemistry*. Second Edition. Academic Press, Elsevier Science, USA, 352.
- Sredojević Z., Gajić B., Živković D. (2006): Ekonomski parametri optimalne strukture proizvodnje u uslovima navodnjavanja. *Ekonomika poljoprivrede God./Vol.LIII, br./N0 3* (525 – 934), Beograd, 799 – 809.
- Sredojević Z., Jeločnik M., Popović N. (2011): Economic situation analysis and irrigation use possibilities in the Republic of Serbia. *University of Agricultural*

- Sciences and Veterinary Medicine, Bucharest, Romania, Vol.11, No1, ISSN 2247–3527, 194-198.
- Sredojević Z., Kljajić N., Arsić S. (2014): Resources of water and agricultural potential in function of sustainable development of Belgrade, Agricultural Bulletin of Stavropol Region, №1(13), ISSN 2222-9345, 98-102.
- Sredojević Z., Savić B., Popović N. (2010): Finansijska opravdanost investiranja u melioracione sisteme. Tematski zbornik radova–Melioracije 10, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, ISBN 978-86-7520-178-6, 215-222.
- Stanković, D., Šijačić-Nikolić, M., Krstić, B., Vilotić, D. (2009): Heavy metals in leaves of tree species *Paulownia elongata* S.Y. Hu in the region of the city Belgrade. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 23 (3), 1330-1336.
- State Master (2010): Encyclopedia – *Canna indica*. WWW dokument dostupan na URL [http://www.statemaster.com/encyclopedia/Canna-\(plant\)#Uses](http://www.statemaster.com/encyclopedia/Canna-(plant)#Uses)
- Stewart, FM., Mulholland, T., Cunningham, AB., Kania, BG., Osterlund, MT. (2008): Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes – results of laboratory-scale tests. Land Contamination & Reclamation, 16 (1), 25-33.
- Stomp, A. M., Han, K. H., Wilbert, S., and Gordon, M. P. (1993): Genetic improvement of tree species for remediation of hazardous wastes. In Vitro Cellular & Developmental Biology: Plant, 29, 4, 227- 232.
- Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R.A., Moormann, H. (2003): Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances, 22, 93-117.
- Subhashini, V., Swamy, A.V.V.S. (2004): Phytoremediation of Metal (Pb, Ni, Zn, Cd And Cr) Contaminated Soils Using *Canna Indica*. Curr World Environ., 9(3), 780-784.
- Sun, H., Wang, Z., Gao, P. and Liu, P. (2013): Selection of aquatic plants for phytoremediation of heavy metal in electroplate wastewater. Acta physiologiae plantarum, 35(2), 355-364.
- Sun, L., Liu, Y., Jin, H. (2009): Nitrogen removal from polluted river by enhanced floating bed grown canna. Ecological engineering 35, 135-140.

- Šijačić-Nikolić, M., Krstić, B., Vilotić, D., Stanković, D., Oljača, R. (2011): Comparative research of accumulation of heavy metals in woody and plants and herbs, *Fresen. Environ. Bull.*, 20(12), 3095-3100.
- Tam, N. F. Y. and Wong, Y. S. (1994): Nutrient and Heavy metal retention in mangrove sediments receiving wastewater. *Water, Science and Technology* 29, 193- 199.
- Teuchies, J., Jacobs, S., Oosterlee, L., Bervoets, L., Meire, P. (2013): Role of plants in metal cycling in a tidal wetland: Implications for phytoremediation. *Science of the Total Environment*, 445-446, 146–154.
- Todd, J. (1996): Ecological Engineering, Living Machines, AndThe Visionary Landscape. In: *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*, 2nd edition. C. Etnier and B. Guterstam (eds.). CRC Press, New York, 113-122.
- U.S. EPA (1994): Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, revision 4.4.
- U.S. EPA (1999): Phytoremediation Resource Guide. U.S. Environmental Protection Agency. EPA542-B-99-003. Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Washington, DC 20460, 56.
- U.S. EPA (2000): Manual – Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater. U.S. Environmental Protection Agency. Report no. EPA/625/R-99/010. Office of Research and Development, Cincinnati, OH, 165.
- U.S. EPA (2001): Method 200.7: Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, revision 5.0, EPA-821-R-01-010.
- Van de Moortel, A.M.K., Meers, E., Pauw, N., Tack, F.M.G. (2010): Effects of Vegetation, Season and Temperature on the Removal of Pollutants in Experimental Floating Treatment Wetlands. *Water, Air, & Soil Pollution* 212, 281–297.
- Velašević, V., Đorović, M. (1998): Uticaj šumskih ekosistema na životnu sredinu. Šumarski fakultet, Beograd.
- Vile, D., Garnier, E., Shipley, B., Laurent, G., Navas, M-L., Roumet, C., Lavorel, S., Díaz, S., Hodgson, J.G., Lloret, F., Midgley, G.F., Poorter, H., Rutherford, M.C., Wilson, P.J., Wright, I.J. (2005): Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 96, 1129-1136.

- Vymazal, J. (2007): Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the total environment*, 380(1), 48-65.
- Wang, Q., Cui, Y., & Dong, Y. (2002): Phytoremediation of polluted waters potentials and prospects of wetland plants. *Acta Biotechnologica*, 22(1-2), 199-208.
- Watson, J.T., Reed, S.C., Kadlec, R.H., Knight, R.L., Whitehouse A.E. (1988): Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands. In: Hammer D.A. (ed.): *Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, And Agricultural*. Lewis Publishers Inc., Michigan, USA. 319-351.
- Weiner, R.E and Matthews, R.A. (2003): *Environmental Engineering*. Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, Elsevier Science, 484.
- White, S.A., Cousins, M.M. (2013): Floating treatment wetland aided remediation of nitrogen and phosphorus from simulated stormwater runoff. *Ecological Engineering*, 61, 207-215.
- Whitton, B.A., Burrows, I.G., Kelly, M.G. (1989): Use of *Cladophora glomerata* to monitor heavy metals in rivers. *Journal of applied phycology*, 1(4), 293-299.
- Wierzbicka, M. (1998): Lead in the apoplast of *Allium cepa* L. root tips-ultrastructural studies. *Plant Science*, 33(1), 105-119.
- Wojcik, W., Wojcik, M. (2000): Data on the Biala River Wetland and the Results of the Field Experiments. U: Odum, H.T. (ed.): *Heavy Metals in the Environment. Using Wetlands for Their Removal*. CRC Press. 211-254.
- Wu, H., Zhang, J., Li, P., Zhang, J., Xie, H. and Zhang, B. (2011): Nutrient removal in constructed microcosm wetlands for treating polluted river water in northern China. *Ecological Engineering*, 37(4), 560-568.
- Yang, W., Chang, J., Xu, B., Peng, C., Ge, Y. (2008a): Ecosystem service value assessment for constructed wetlands: A case study in Hangzhou, China. *Ecological Economics*, 68, 116–125.
- Yang, Y.Y., Jung, J.Y., Song, W.Y., Suh, H.S., Lee, Y. (2000): Identification of rice varieties with high tolerance or sensitivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance. *Plant Physiology*, 124(3), 1019-1026.
- Yang, Z., Zheng, S., Chen, J., Sun, M. (2008b): Purification of nitrate-rich agricultural runoff by a hydroponic system. *Bioresource technology* 99: 8049–8053.

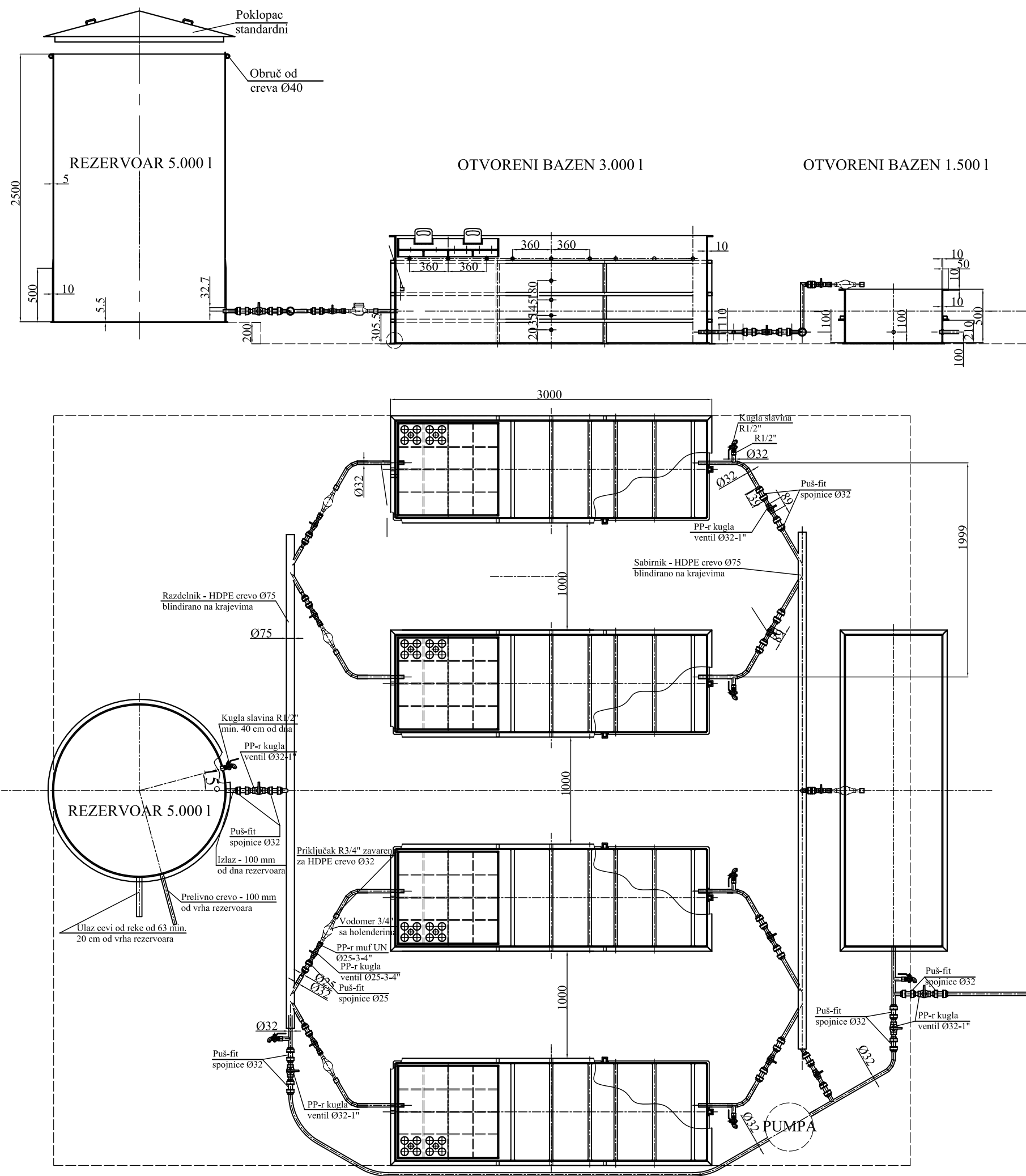
- Ye, Z.H., Baker, A.J.M., Wong, M.H., Willis, A.J. (1997): Zinc, Lead and Cadmium Tolerance, Uptake and Accumulation by the Common Reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Annals of Botany* 80, 363-370.
- Ye, Z.H., Wong, M.H., Baker, A.J.M., Willis, A.J. (1998): Comparison of biomass and metal uptake between two populations of *Phragmites australis* grown in flooded and dry conditions. *Annals of Botany* 82, 83-87.
- Yulan, P., Weiguo, T.U., Weikai, B.A.O., Xinfen, G.A.O., Ning, W.U., Peng, L.U.O., Weiyang, X.I.A.O. (2008): Aboveground biomass allocation and growth of *Phragmites australis* ramets at four water depths in the Jiuzhaigou Nature Reserve, China. *Journal of Applied Environmental Biology*, 14 (2), 153-157.
- Zayed, A., Gowthaman, S., Terry, N. (1998a): Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 27, No. 3, 715-721.
- Zayed, A., Lytle, C.M., Qian, J.-H. & Terry, N. (1998b): Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta*, 206, 293-299.
- Zdragas, A., Zalidis, G.C., Takavakoglou, V., Katsavouni, S., Anastasiadis, E.T., Eskridge, K. (2003): The effects of environmental conditions on the ability of a constructed wetland to disinfect municipal wastewaters. *Environmental Management*, 29 (4), 510-515.
- Zenk, M.H. (1996): Heavy metal detoxification in higher plants - a review. *Gene* 179, 21-30.
- Zhang, X.B., Liu, P., Yang, Y.S. and Chen, W.R. (2007a): Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. *Journal of Environmental Sciences*, 19(8), 902-909.
- Zhang, Z., Rengel, Z., Meney, K. (2007b): Growth and resource allocation of *Canna indica* and *Schoenoplectus validus* as affected by interspecific competition and nutrient availability. *Hydrobiologia*, 589, 235-248.
- Zhang, Z., Rengel, Z., Meney, K. (2008): Interactive effects of N and P on growth but not on resource allocation of *Canna indica* in wetland microcosms. *Aquatic Botany*, 89, 317-323.

- Zhao, F., Xi, S., Yang, X., Yang, W., Li, J., Gu, B., He, Z. (2012): Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. *Ecological Engineering*, 40, 53-60.
- Zhu, Y.L., Zayed, A.M., Quian, J.H., De Souza, M., Terry, N. (1999): Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. *Journal of Environmental Quality*, 28, 339-344.
- Zurayk, R., Sukkariyah, B., Baalbaki, R., Ghanem, D.A. (2002): Ni Phytoaccumulation in *Mentha aquatica* L. and *Mentha sylvestris* L. *Water, Air & Soil Pollution*, 139(1), 355-364.

9. PRILOZI

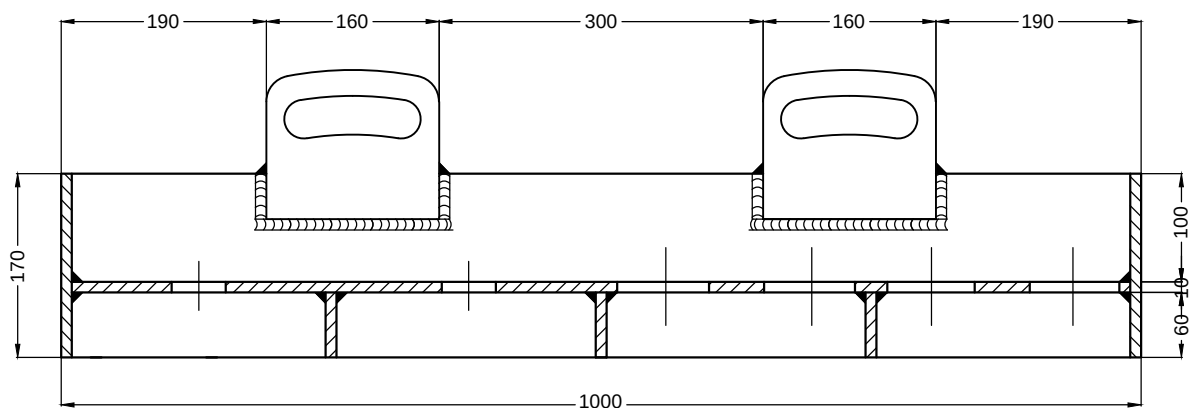
Prilog 1

Osnova i presek biološkog sistema

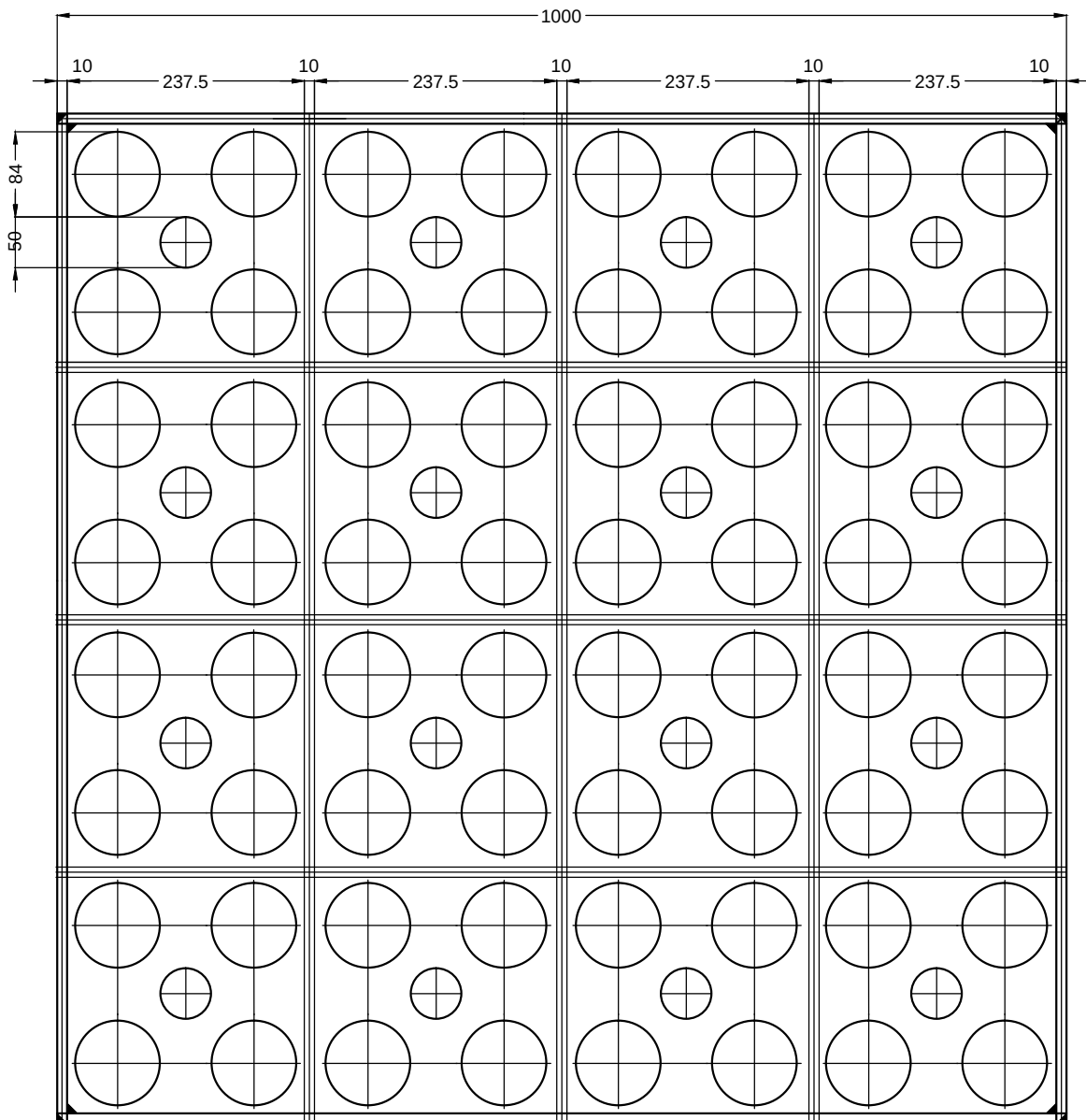


Prilog 2

Presek nosača plutajućeg ostrva



Osnova nosača plutajućeg ostrva



PRILOG 3

Tabela 45. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa

Tabela 46. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa

Tabela 47. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa

Tabela 48. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa

Tabela 49. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa

Tabela 50. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa

Tabela 51. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa

Tabela 52. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa

Tabela 53. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa

Tabela 54. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa

Tabela 55. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa

Tabela 56. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa

Tabela 57. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa

Tabela 58. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa

Tabela 59. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa

Tabela 60. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *L. salicaria* zavisno od ciklusa

Tabela 61. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *L. salicaria* zavisno od ciklusa

Tabela 62. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa

Tabela 63. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa

Tabela 64. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa

Tabela 65. Osnovni parametri deskriptivne statistike dvo-faktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) zavisno od biljne vrste i ciklusa

Tabela 66. Osnovni parametri deskriptivne statistike dvo-faktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) zavisno od biljne vrste i ciklusa

Tabela 67. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) zavisno od biljne vrste

Tabela 45. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 50,56±14,51 ^b	15,18±1,35	4245,61±664,27	10,61±1,99	20,08±3,67 ^b	130,41±25,70 ^b	17927,00±2863,83	1571,30±211,26
	C1	23,62±2,67 ^b	12,84±1,37	3444,97±374,85	13,34±1,73	10,10±3,85 ^{bc}	123,68±10,94 ^b	17611,70±1398,69	1551,65±98,68
	C2	30,41±6,23 ^b	12,63±0,86	4832,26±1189,36	7,99±2,16	36,97±8,39 ^a	90,26±18,44 ^b	17020,00±1100,07	1636,48±171,93
	C3	29,68±8,79 ^b	12,65±0,76	4435,77±432,64	9,28±1,07	3,95±1,82 ^c	119,80±12,07 ^b	17578,10±817,70	1492,26±64,61
	C4	267,95±107,95 ^a	14,04±1,18	4743,53±806,12	10,00±3,59	3,23±0,82 ^c	337,02±103,08 ^a	15846,80±543,02	1205,31±88,32
		^B F _{4,31} =3,41*	ns	ns	ns	F _{4,31} =12,88*	F _{4,31} =3,20*	ns	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C0 - početak prvog eksperimenta, C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta, C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta, C3 - treći ciklus prvog eksperimenta, C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 45. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	174,80±8,38 ^a	1098,67±385,41 ^a	5,32±0,59	16024,80±1447,47 ^c	5089,23±714,43 ^c	31,39±2,40	25,66±1,98 ^b
	C1	151,32±10,06 ^a	426,98±135,88 ^b	3,61±0,29	33392,30±2117,61 ^a	5746,40±521,13 ^{bc}	26,80±2,22	35,39±2,29 ^a
	C2	156,55±15,03 ^a	347,22±99,06 ^b	3,26±0,40	30252,20±1278,70 ^a	8101,50±1184,15 ^b	28,00±2,29	33,83±2,57 ^a
	C3	159,19±8,89 ^a	351,85±98,59 ^b	2,86±0,22	26274,90±793,09 ^b	9342,84±526,52 ^a	29,73±1,01	34,30±1,59 ^a
	C4	115,07±12,79 ^b	1174,94±145,02 ^a	3,45±1,06	16245,40±695,97 ^c	8071,07±830,06 ^a	28,26±1,59	27,69±2,09 ^b
		F _{4,31} =4,13*	F _{4,31} =5,43*	ns	F _{4,31} =41,12*	F _{4,31} =5,11*	ns	F _{4,31} =4,22*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C0 - početak prvog eksperimenta, C1 - prvi ciklus prvog eksperimenta, C2 - drugi ciklus prvog eksperimenta, C3 - treći ciklus prvog eksperimenta, C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 46. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa

Element	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
C4	^A 428,32±148,85	2,90±1,16	1195,31±425,15	10,80±6,01	17,69±12,14	370,23±121,18	8353,95±793,02	610,77±85,25

C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta; ^A= srednja vrednost ± SE

Tabela 46. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa (nastavak)

Element	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
C4	40,86±5,83	1389,24±328,53	4,78±2,05	17974,10±1151,68	1700,44±210,62	6,39±1,12	23,60±2,36

C4 - jedini ciklus trećeg eksperimenta; ^A= srednja vrednost ± SE

Tabela 47. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 1283,21±243,01 ^c	5,32±1,97	17,71±1,77 ^c	4850,91±1062,90 ^b	2,82±0,29 ^c	36,23±10,71 ^{bc}	46,14±10,92	2641,38±245,76 ^c	20909,10±3916,52 ^a
	C1	3890,60±770,76 ^b	9,90±1,97	30,18±5,85 ^{bc}	15470,90±2879,86 ^a	3,76±0,66 ^{bc}	27,65±8,20 ^c	92,99±25,86	3766,94±511,99 ^{bc}	10309,70±2355,53 ^b
	C2	4974,16±921,92 ^b	11,89±2,34	38,23±5,81 ^{ab}	17457,60±3372,47 ^a	4,92±0,72 ^{ab}	69,64±18,70 ^{ab}	85,42±10,77	4518,98±912,05 ^{bc}	6357,29±1381,19 ^b
	C3	5719,48±866,44 ^b	9,60±2,43	50,03±5,78 ^a	20463,70±2070,59 ^a	4,11±0,53 ^{bc}	26,14±3,63 ^c	65,90±9,14	5009,86±449,94 ^b	7166,44±779,40 ^b
	C4	8902,63±1321,38 ^a	9,60±1,59	46,60±6,63 ^a	18549,80±3285,49 ^a	6,26±0,71 ^a	82,43±22,26 ^a	36,21±5,64	7794,96±1094,51 ^a	8816,03±1067,46 ^b
		^B F _{4,24} =9,86*	ns	F _{4,24} =5,95*	F _{4,24} =5,55*	F _{4,24} =4,45*	F _{4,24} =3,41*	ns	F _{4,24} =7,35*	F _{4,24} =6,89*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 5 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 47. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *P. australis* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	4147,11±401,57	372,81±32,34 ^{ab}	6734,38±2454,92	22,46±4,26 ^c	19036,50±1354,60 ^d	10494,40±599,82 ^a	5,64±2,65	18,93±2,51 ^b	64,32±6,46 ^b
	C1	4314,05±479,27	265,00±40,05 ^{bc}	5613,83±623,85	24,37±2,70 ^{bc}	24226,10±1875,05 ^{bc}	11573,00±1093,94 ^a	4,05±1,75	38,37±6,62 ^a	174,10±28,61 ^a
	C2	3392,56±422,11	195,51±21,73 ^c	3554,74±549,89	39,82±7,62 ^{ab}	26520,50±2612,83 ^b	9983,14±775,73 ^a	7,32±3,17	36,79±4,95 ^a	174,00±20,29 ^a
	C3	3436,94±329,58	373,17±67,61 ^{ab}	4188,03±1073,36	22,07±1,75 ^c	35993,40±628,79 ^a	10518,70±736,38 ^a	10,98±6,92	39,77±4,11 ^a	188,82±25,73 ^a
	C4	3666,70±490,18	471,90±55,70 ^a	5606,45±259,07	43,58±8,68 ^a	19305,30±330,53 ^{bd}	5689,96±330,12 ^b	13,34±0,00	34,82±5,20 ^a	93,59±5,31 ^b
		ns	F _{4,24} =5,26*	ns	F _{4,24} =3,52*	F _{4,24} =17,66*	F _{4,24} =7,90*	ns	F _{4,24} =3,15*	F _{4,24} =7,51*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 5 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 48. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 60,15±5,63 ^b	1,94±0,21 ^b	12495,50±971,76 ^c	3,38±0,92	8,91±0,90	92,75±16,22	25786,80±1805,58 ^b	7139,95±856,65 ^a
	C1	69,67±10,21 ^b	2,26±0,36 ^b	13228,60±971,09 ^b ^c	2,41±0,89	19,07±4,46	146,33±25,57	25301,70±716,83 ^b	6361,47±523,74 ^{ab}
	C2	89,90±42,22 ^b	2,45±0,84 ^b	10969,50±1203,38 ^c	13,25±3,97	77,91±37,61	222,14±85,19	20759,50±2892,94 ^b	5869,84±653,23 ^{abc}
	C3	71,82±16,98 ^b	2,36±0,51 ^b	12634,50±1481,41 ^{bc}	5,20±2,99	5,07±2,38	145,48±38,53	24676,70±1206,65 ^b	4581,34±383,27 ^c
	C4	227,79±29,82 ^a	4,28±0,76 ^a	15786,40±954,58 ^b	5,77±2,16	19,35±15,53	263,42±30,52	32844,60±2651,89 ^a	5737,29±423,38 ^{abc}
	Ø	94,17±2,05 ^b	2,25±0,18 ^b	20852,10±202,47 ^a	2,08±0,15	13,20±0,31	168,62±23,87	22360,30±142,70 ^b	4518,38±5,56 ^{bc}
		^B F _{5,27} =6,87*	F _{5,20} =3,00*	F _{5,27} =6,73*	ns	ns	ns	F _{5,27} =4,30*	F _{5,27} =2,71*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 48. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	331,50±43,95 ^a	5610,17±2128,82	2,37±0,34	14449,20±1252,95 ^b	1547,22±434,76	25,67±2,16	14,76±1,61 ^{bc}
	C1	331,99±49,71 ^a	5314,91±1150,73	3,08±0,48	17242,60±988,47 ^b	2828,42±755,17	24,86±2,07	14,16±2,02 ^c
	C2	295,09±41,73 ^a	4307,19±1432,25	5,26±1,28	15993,30±1376,30 ^b	3468,57±533,72	21,07±2,06	16,86±4,89 ^{abc}
	C3	282,06±32,35 ^a	3852,91±1268,43	2,25±0,61	18018,10±556,99 ^b	3434,44±613,31	21,02±2,45	10,58±0,98 ^c
	C4	250,43±26,32 ^a	5416,75±1460,42	3,80±0,90	22671,80±2523,69 ^a	3564,56±919,46	28,16±2,35	22,67±3,66 ^{ab}
	Ø	86,62±1,06 ^b	4613,46±20,49	2,07±0,21	13571,30±311,54 ^b	4447,97±692,21	21,60±0,07	25,04±0,33 ^a
		F _{5,27} =3,45*	ns	ns	F _{5,27} =4,48*	ns	ns	F _{5,27} =2,84*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 49. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C4	^A 558,82±80,68 ^a	6,42±1,04 ^a	12777,10±2771,63	6,74±1,12	932,48±481,55	12927,20±2091,78 ^b	4842,13±446,86 ^a
	Ø	116,10±1,19 ^b	1,34±0,04 ^b	9801,28±41,77	7,24±0,28	89,37±9,62	22977,40±184,59 ^a	3102,66±23,95 ^b
		^B F _{1,6} =16,94*	F _{1,6} =13,34*	ns	ns	ns	F _{1,6} =12,95*	F _{1,6} =8,52*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 49. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C4	57,92±7,18 ^a	5792,88±1377,89	18570,20±2569,85	6272,30±963,93 ^a	1,63±0,00	31,34±4,79 ^a	44,05±10,60
	Ø	17,01±1,72 ^b	1923,83±9,56	25126,10±310,14	2749,62±175,11 ^b	9,58±1,66	15,23±0,08 ^b	52,66±1,47
		F _{1,6} =17,98*	ns	ns	F _{1,6} =7,44*	ns	F _{1,6} =6,37*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 50. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 1940,14±835,91 ^{bc}	15,67±4,31	21,72±4,65 ^c	11857,10±2549,07 ^c	3,99±0,29	4,84±1,12	27,67±4,35	3256,95±471,41 ^{bc}	24027,00±6048,37
	C1	1586,28±355,34 ^{bc}	10,37±3,44	17,62±2,71 ^c	18990,60±1122,69 ^{bc}	2,80±0,37	6,55±1,23	40,92±11,69	2169,07±599,73 ^{cd}	13450,30±3497,96
	C2	2526,05±609,58 ^{bc}	6,44±1,04	25,06±4,00 ^{bc}	16352,80±1726,53 ^{bc}	2,76±0,43	16,39±8,30	64,49±21,04	2708,47±459,26 ^{bcd}	15842,20±3417,37
	C3	3422,68±475,48 ^{bc}	9,66±1,52	38,21±2,68 ^{ab}	24536,30±2056,73 ^b	4,52±0,48	12,61±1,34	33,64±5,01	3979,82±286,15 ^b	15003,20±3242,66
	C4	6641,52±1524,50 ^a	14,43±5,44	48,40±11,04 ^a	35550,20±5484,82 ^a	4,89±0,96	14,23±1,89	26,61±7,37	6074,10±1005,58 ^a	8910,71±811,24
	Ø	447,30±1,78 ^c	0,00±0,00	7,29±0,08 ^c	16760,60±96,33 ^{bc}	0,00±0,00	0,00±0,00	12,40±0,30	801,47±3,24 ^d	20328,40±191,59
		^B F _{5,27} =5,78*	ns	F _{5,27} =5,53*	F _{5,27} =8,21*	ns	ns	ns	F _{5,27} =7,37*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

Tabela 50. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *C. indica* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	9313,58±1288,13 ^a	499,47±156,76 ^a	22063,90±3864,31 ^a	21,32±1,93 ^a	21339,80±1820,53 ^b	20057,30±6577,99	6,36±2,62	41,17±7,42 ^{bc}	74,63±20,99 ^b
	C1	6486,78±1042,77 ^{bc}	149,61±31,01 ^b	12988,90±2725,72 ^b	14,24±2,73 ^b	19344,40±3583,47 ^b	12789,30±2656,46	7,14±1,93	47,12±2,33 ^b	83,76±12,92 ^b
	C2	5404,73±457,19 ^c	214,80±34,46 ^b	11721,20±1650,40 ^b	22,41±3,00 ^a	22208,10±1105,65 ^b	19565,10±3472,77	10,37±0,00	41,65±2,15 ^{bc}	107,65±24,22 ^b
	C3	6118,31±217,22 ^{bc}	517,70±68,09 ^a	13405,20±1577,35 ^b	21,77±1,41 ^a	28580,90±2618,58 ^a	20417,20±4360,17	6,89±0,25	54,36±5,30 ^{ab}	104,28±11,62 ^b
	C4	8473,59±890,40 ^{ab}	493,33±83,69 ^a	12723,70±1735,32 ^b	21,35±2,96 ^a	16149,80±652,01 ^{ab}	8041,19±1205,24	3,27±1,39	68,64±10,79 ^a	70,02±2,48 ^b
	Ø	5453,17±36,06 ^c	71,94±3,62 ^b	6067,40±44,74 ^b	3,92±0,25 ^c	11668,80±752,96 ^c	6225,49±2993,74	0,00±0,00	23,98±0,25 ^c	210,93±0,17 ^a
		F _{5,27} =3,50*	F _{5,27} =4,73*	F _{5,27} =3,69*	F _{5,27} =5,80*	F _{5,27} =5,58*	ns	ns	F _{5,27} =4,34*	F _{5,27} =6,50*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

Tabela 51. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 639,14±620,77	75,27±28,39b	23327,10±3660,64 ^b	2,71±0,00	16,94±8,11 ^b	1082,29±1022,12	13799,60±3600,60 ^{bc}	4218,49±583,18 ^a
	C1	75,38±33,23	91,27±5,60b	24520,70±1225,10 ^b	17,46±4,53	166,12±97,63 ^a	205,08±16,25	14982,00±1798,86 ^{bc}	4754,27±68,64a
	C2	34,63±12,98	103,27±4,43a ^b	26802,30±2333,80 ^b	13,59±4,05	45,91±19,08 ^b	101,92±23,88	11803,20±1402,74 ^{bc}	4862,96±182,84 ^a
	C3	39,87±8,84	88,18±4,39b	25900,10±460,57b	0,00±0,00	3,14±0,49 ^b	105,31±37,35	10031,90±564,05 ^c	4311,40±78,04 ^a
	C4	773,16±300,55	157,41±40,62 ^a	37784,50±6322,09 ^a	14,87±13,30	3,85±1,11 ^b	935,38±341,51	35429,00±11672,80 ^a	5346,70±899,03 ^a
	Ø	122,58±2,42	7,71±0,04 ^c	11259,10±41,46 ^c	0,00±0,00	8,02±0,26 ^b	101,47±6,70	24316,90±130,74 ^{ab}	2595,71±10,76 ^b
		ns	^B F _{5,15} =1,91*	F _{5,15} =8,80*	ns	F _{5,15} =3,22*	ns	F _{5,15} =5,11*	F _{5,15} =5,57*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 51. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	203,27±146,38	2839,12±708,43 ^c	7,14±4,62	14462,90±2807,04	4222,45±932,08 ^{ab}	65,10±13,75 ^a	22,83±17,07
	C1	64,30±8,11	1141,99±113,20 ^d	7,87±2,50	14815,70±509,12	6403,83±574,68 ^a	71,80±3,40 ^a	20,94±8,38
	C2	62,70±6,91	2241,78±37,38c	6,87±1,92	12493,80±1108,75	3388,35±675,17 ^b	76,40±3,32 ^a	6,76±1,74
	C3	48,68±2,77	2067,26±165,41c	5,34±2,65	11760,70±334,36	3792,15±397,65 ^b	69,58±0,54 ^a	3,51±0,36
	C4	90,49±29,25	4115,74±389,72 ^b	2,46±0,00	28319,30±11680,60	6353,95±1386,84 ^a	80,43±13,24 ^a	30,41±13,50
	Ø	5,35±2,39	8923,14±96,30 ^a	0,00±0,00	25025,20±291,73	278,50±102,66 ^c	24,91±0,24 ^b	8,13±0,67
		ns	F _{5,15} =76,10*	ns	ns	F _{5,15} =8,79*	F _{5,15} =7,96*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 52. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C4	^A 1606,63±318,86 ^a	38,91±3,76 ^a	14332,10±976,81 ^a	40,96±24,46	2151,04±547,22 ^a	6707,02±903,43	1637,24±135,51 ^a
	Ø	165,45±1,10 ^b	7,59±0,15 ^b	6280,06±121,99 ^b	13,56±0,26	223,36±53,27 ^b	4760,27±32,29	793,60±3,77 ^b
		^B F _{1,4} =20,43*	F _{1,4} =69,14*	F _{1,4} =66,91*	ns	F _{1,4} =12,29*	ns	F _{1,4} =38,73*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 52. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C4	52,16±9,63 ^a	723,43±105,95 ^b	5,22±1,08	21809,00±2240,76 ^a	3135,07±926,49	28,47±0,58 ^a	23,34±2,89 ^a
	Ø	5,17±1,66 ^b	1747,34±14,83 ^a	2,57±0,09	15021,40±203,09 ^b	2047,94±900,90	20,55±0,07 ^b	12,50±1,24 ^b
		F _{1,4} =23,12*	F _{1,4} =91,61*	ns	F _{1,4} =9,10*	ns	F _{1,4} =184,80*	F _{1,4} =11,89*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 53. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 1523,56±590,30 ^{bc}	7,95±1,02	99,97±2,75 ^b	16220,90±3294,33 ^{ab}	3,01±0,68	11,93±3,21 ^b	56,75±18,91 ^b	3852,45±43,43 ^a	15068,10±3518,73 ^a
	C1	1982,06±675,16 ^{abc}	5,96±2,09	108,59±22,67 ^{ab}	19375,80±7134,25 ^a	3,59±0,90	5,99±1,96 ^b	47,04±3,26 ^b	5081,36±1274,29 ^a	6440,86±1539,04 ^{cd}
	C2	2977,84±271,03 ^{ab}	10,30±0,98	144,26±20,96 ^a	26877,70±6900,60 ^a	4,35±0,56	43,89±13,51 ^a	644,35±187,97 ^a	6271,55±510,63 ^a	4911,71±770,49 ^d
	C3	3434,58±634,40 ^a	6,81±2,11	114,00±5,59 ^{ab}	25122,70±1426,98 ^a	3,05±0,36	10,00±2,11 ^b	43,88±6,02 ^b	5948,95±726,70 ^a	9862,11±1812,02 ^{bc}
	C4	3726,23±617,48 ^a	6,18±1,11	58,49±3,57 ^c	21737,10±3369,37 ^a	4,01±0,25	52,38±8,58 ^a	9,53±0,20 ^b	5397,92±852,99 ^a	9968,64±946,44 ^{abc}
	Ø	146,81±0,14 ^c	5,02±0,60	2,37±0,11 ^d	2897,93±60,29 ^b	0,00±0,00	0,00±0,00	6,92±0,23 ^b	138,36±9,70 ^b	13574,60±130,16 ^{ab}
		^B F _{5,20} =4,49*	ns	F _{5,20} =14,15*	F _{5,20} =3,30*	ns	F _{4,18} =7,23*	F _{5,20} =8,55*	F _{5,20} =6,94*	F _{5,20} =4,34*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 53. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *I. pseudacorus* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	4626,98±979,52 ^a	873,44±107,86 ^a	7670,93±491,52 ^a	17,59±1,45 ^{bc}	19747,10±2572,68 ^b	9600,02±1601,31 ^b	3,09±1,25	72,93±5,70 ^{ab}	46,69±2,78 ^{cd}
	C1	3587,34±992,64 ^{ab}	143,70±60,24 ^b	5454,71±1041,54 ^{bc}	15,56±4,64 ^c	17718,90±2928,29 ^b	13185,10±398,93 ^{ab}	5,39±0,00	75,82±11,23 ^{ab}	150,24±24,67 ^{bc}
	C2	3351,01±534,22 ^{ab}	148,42±24,84 ^b	5774,87±216,81 ^b	28,65±3,38 ^a	18949,20±438,60 ^b	14889,20±736,03 ^a	5,90±1,62	83,33±3,79 ^a	284,54±48,09 ^a
	C3	2865,56±37,24 ^b	122,38±11,24 ^b	4447,42±303,05 ^c	16,59±1,83 ^c	25016,10±181,42 ^a	15561,50±1118,47 ^a	1,94±0,00	66,58±1,24 ^b	238,69±39,47 ^{ab}
	C4	2931,95±176,70 ^b	198,69±30,41 ^b	5753,97±292,88 ^b	25,70±3,47 ^{ab}	11760,30±1320,92 ^c	5297,99±859,37 ^c	3,68±0,00	42,47±1,82 ^c	43,43±2,94 ^{cd}
	Ø	537,19±7,74 ^c	7,34±1,24 ^c	4719,30±62,42 ^{bc}	3,59±0,37 ^d	9549,16±526,64 ^c	4798,64±979,53 ^c	0,00±0,00	12,44±0,25 ^d	17,18±0,45 ^d
		F _{5,20} =6,19*	F _{5,20} =47,87*	F _{5,20} =6,74*	F _{5,20} =7,89*	F _{5,20} =23,08*	F _{5,20} =20,66*	ns	F _{5,20} =36,72*	F _{5,20} =9,94*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 54. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *I. sibirica* ‘Perry’s Blue’ zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 41,71±8,87 ^c	6,33±0,26 ^c	14715,70±573,50 ^d	5,52±0,00 ^a	13,01±7,49	65,09±3,99 ^c	12585,60±656,13 ^a	3474,89±125,02 ^b
	C1	48,25±20,76 ^c	8,47±1,58 ^{bc}	21651,90±476,31 ^b	0,00±0,00	33,94±5,90	186,77±109,09 ^c	11377,40±812,54 ^{ab}	3331,12±115,13 ^{bc}
	C2	25,37±6,56 ^c	6,79±0,37 ^{bc}	19993,70±1308,22 ^{bc}	0,00±0,00	47,42±23,59	24,32±17,32 ^c	10111,70±471,51 ^{ab}	3254,96±146,62 ^{bc}
	C3	22,86±2,99 ^c	6,69±0,81 ^c	18418,70±896,78 ^c	0,00±0,00	11,34±4,79	57,60±6,27 ^c	8251,51±654,00 ^{bc}	2989,88±15,69 ^c
	C4	419,25±103,54 ^b	13,31±2,25 ^a	25024,90±1316,01 ^a	2,88±0,50 ^b	2,66±0,56	437,15±121,74 ^b	6334,28±2144,42 ^c	4360,69±159,18 ^a
	Ø	906,15±2,72 ^a	10,37±0,18 ^{ab}	21169,10±219,56 ^b	7,28±0,31 ^a	10,90±0,35	1219,66±20,20 ^a	8779,94±42,30 ^{bc}	1975,31±10,24 ^d
		^B F _{5,12} =68,57*	F _{5,12} =5,32*	F _{5,12} =14,74*	F _{2,3} =32,76*	ns	F _{5,12} =46,34*	F _{5,12} =4,82*	F _{5,12} =47,03*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 54. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *I. sibirica* ‘Perry’s Blue’ zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	38,41±4,16	96,19±33,30 ^c	2,86±0,00 ^b	15149,70±691,39 ^b	1510,20±181,31 ^{bc}	0,00±0,00	37,11±1,37 ^d	7,03±0,26 ^b
	C1	47,82±3,16	135,94±29,86 ^c	1,18±0,00 ^c	15236,00±757,22 ^b	2792,25±1210,67 ^{ab}	10,72±5,46	48,36±1,85 ^{ab}	3,06±0,99 ^b
	C2	43,42±2,76	103,53±29,74 ^c	1,08±0,15 ^c	13101,90±304,92 ^{bc}	2980,76±523,83 ^{ab}	6,45±0,60	44,07±2,12 ^{bc}	5,01±3,06 ^b
	C3	35,72±1,41	433,15±287,56 ^{bc}	1,09±0,07 ^c	11828,30±145,79 ^c	3688,06±341,49 ^a	2,34±0,88	39,65±1,94 ^{cd}	2,49±0,80 ^b
	C4	37,18±9,13	704,30±77,02 ^{ab}	3,27±0,63 ^b	8446,06±1626,36 ^d	4077,37±393,42 ^a	14,95±0,00	51,51±1,00 ^a	7,38±3,50 ^b
	Ø	28,68±1,22	840,62±9,51 ^a	5,56±0,26 ^a	20563,60±549,86 ^a	803,40±320,62 ^c	0,00±0,00	30,22±0,21 ^e	24,87±0,56 ^a
		ns	F _{5,12} =7,03*	F _{5,6} =36,35*	F _{5,6} =24,01*	F _{5,12} =4,44*ns	ns	F _{5,12} =24,91*	F _{5,11} =15,98*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 55. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C4	^A 1771,87±516,55	26,70±1,06a	25357,80±2497,46	12,34±5,45	7,67±2,23	1961,49±437,09	6359,66±702,02	1820,86±365,30
	Ø	986,48±5,36	10,43±0,43b	25276,90±218,18	6,53±0,03	8,54±0,24	1267,05±17,06	5018,18±18,04	1285,21±6,60
		ns	^B F _{1,4} =202,91*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (P> 0,05); * = statistički značajna razlika (P≤ 0,05).

Tabela 55. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C4	65,10±13,48 ^a	645,55±228,30	10,30±2,21	15297,40±1781,91 ^b	1936,58±75,15	44,14±3,43 ^a	24,16±2,04
	Ø	23,14±4,09 ^b	614,02±7,83	10,19±0,20	23141,40±102,12 ^a	1514,02±142,11	33,79±0,20 ^b	26,85±0,40
		F _{1,4} =8,87*	ns	ns	F _{1,4} =19,31*	ns	F _{1,4} =9,07*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (P> 0,05); * = statistički značajna razlika (P≤ 0,05).

Tabela 56. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 1246,30±349,73	2,90±1,39 ^b	24,22±2,09 ^{ab}	18203,00±1274,29	3,89±0,86	4,71±0,23 ^b	27,12±1,61 ^b	3635,31±441,64 ^{ab}	7863,38±344,97 ^a
	C1	1537,40±393,23	4,62±3,07 ^b	21,52±5,32 ^b	19914,60±6571,09	3,39±0,88	2,59±0,70 ^b	46,96±11,90 ^b	4086,10±793,34 ^a	4185,90±656,75 ^{cd}
	C2	1968,71±98,49	7,07±1,37 ^{ab}	26,63±2,70 ^{ab}	19733,00±3777,41	3,84±0,50	8,06±1,67 ^a	127,62±44,49 ^a	4254,58±131,60 ^a	2936,95±594,53 ^d
	C3	3105,49±840,05	4,08±0,80 ^b	32,81±4,27 ^{ab}	27504,50±4814,29	3,88±0,97	8,55±0,79 ^a	40,72±6,35 ^b	5116,92±671,76 ^a	4954,88±879,79 ^{bc}
	C4	4543,44±1587,96	2,09±1,18 ^b	34,94±5,90 ^a	22438,10±5678,75	3,98±1,19	7,37±0,13 ^a	9,11±1,80 ^b	4737,83±1305,02 ^a	6615,67±421,32 ^{ab}
	Ø	1403,15±3,62	10,87±1,89 ^a	9,16±0,08 ^c	11498,10±111,00	0,00±0,00	2,87±0,07 ^b	5,13±0,32 ^b	1587,17±37,26 ^b	5438,56±12,78 ^{bc}
		^B ns	$F_{5,8}=3,99^*$	$F_{5,12}=5,49^*$	ns	ns	$F_{5,12}=10,65^*$	$F_{5,12}=5,54^*$	$F_{5,12}=3,11^*$	$F_{5,12}=9,87^*$

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 56. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *I. sibirica* 'Perry's Blue' zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	6742,14±938,78 ^a	779,94±103,74 ^a	7390,53±1374,72 ^a	15,56±1,60	19128,90±1942,05 ^{ab}	8380,74±1452,26 ^a	5,47±0,54	50,87±1,85	45,90±2,33 ^c
	C1	4410,05±1392,34 ^{ab}	167,83±51,88 ^{bc}	3264,30±1464,70 ^b	16,92±3,53	16092,80±2003,45 ^{bc}	9782,86±1344,30 ^a	0,00±0,00	46,13±11,02	89,29±15,07 ^b
	C2	3514,62±802,82 ^{bc}	158,99±46,58 ^{bc}	2147,26±601,01 ^b	15,03±1,02	14635,00±681,29 ^c	8878,61±836,68 ^a	0,00±0,00	45,91±7,54	137,60±15,94 ^a
	C3	3516,23±866,66 ^{bc}	138,66±26,51 ^{bc}	3235,46±364,42 ^b	14,96±0,65	20558,70±1018,99 ^a	11142,10±269,58 ^a	0,00±0,00	49,95±8,58	165,88±11,21 ^a
	C4	3440,09±935,64 ^{bc}	219,14±51,85 ^b	3356,10±842,15 ^b	10,80±1,32	9717,62±328,21 ^d	3635,47±513,73 ^b	5,04±0,00	45,36±8,52	27,33±3,17 ^c
	Ø	1018,38±13,18 ^c	23,85±1,07 ^c	1880,95±16,35 ^b	12,78±0,34	9561,56±312,42 ^d	4405,91±600,74 ^b	0,00±0,00	20,66±0,44	15,76±0,19 ^c
		$F_{5,12}=4,02^*$	$F_{5,12}=22,74^*$	$F_{5,12}=4,52^*$	ns	$F_{5,12}=13,49^*$	$F_{5,12}=10,26^*$	ns	ns	$F_{5,12}=36,33^*$

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 57. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 32,54±7,56 ^b	27,53±2,32 ^a	22536,90±1404,07 ^b	99,57±96,46	350,14±343,11	402,19±345,38 ^b	7679,07±2980,69 ^c	3943,67±725,78
	C1	61,52±4,67 ^b	26,85±2,65 ^a	20052,40±178,77 ^b	0,00±0,00	14,19±3,30	56,53±19,93 ^b	6954,10±1089,06 ^c	3486,13±316,28
	C2	65,47±13,94 ^b	28,63±3,00 ^a	28791,60±2472,04 ^a	6,22±2,94	112,00±83,13	84,39±39,99 ^b	4621,89±1057,37 ^c	3270,54±269,88
	C3	87,14±38,64 ^b	24,04±1,31 ^a	20190,90±1583,03 ^b	0,00±0,00	3,81±0,98	80,93±26,60 ^b	12023,20±2852,55 ^c	2744,96±122,62
	C4	969,53±270,62 ^a	24,55±1,87 ^a	22393,40±3032,98 ^b	2,17±0,39	5,46±1,28	1058,69±263,15 ^a	21307,60±5692,40 ^b	3291,17±252,23
	Ø	246,36±0,91 ^b	10,21±0,27 ^b	20993,00±361,51 ^b	10,17±0,26	8,58±0,24	524,03±27,72 ^{ab}	37657,40±203,32 ^a	2587,78±13,74
		^B F _{5,12} =10,57*	F _{5,12} =10,47*	F _{5,12} =3,20*	ns	ns	F _{5,12} =4,76*	F _{5,12} =18,27*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 57. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	123,30±28,34 ^b	7477,92±822,12 ^{bc}	18,71±17,63	15269,40±2986,78 ^b	2725,82±329,06	58,05±4,36 ^a	41,28±24,92
	C1	93,84±4,49 ^b	6612,91±195,58 ^{bc}	1,29±0,38	13839,30±1290,31 ^b	5213,81±2988,97	56,44±3,48 ^{ab}	14,82±1,48
	C2	110,43±11,11 ^b	8471,65±2426,62 ^{ab}	3,44±2,34	12641,90±1531,48 ^b	4120,28±697,77	62,36±2,93 ^a	19,27±7,30
	C3	82,73±7,59 ^b	7445,06±1393,88 ^{bc}	0,00±0,00	18054,40±2953,13 ^b	6171,92±1510,09	47,69±2,00 ^{bc}	13,03±4,10
	C4	101,72±8,40 ^b	11599,40±1127,22 ^a	3,62±0,77	34068,37±8713,60 ^a	5178,62±1136,43	45,14±2,87 ^c	31,05±8,07
	Ø	568,95±7,70 ^a	4397,67±28,13 ^c	4,43±0,95	34631,10±502,42 ^a	5556,98±1042,45	25,74±0,34 ^d	32,72±0,21
		F _{5,12} =192,89*	F _{5,12} =3,42*	ns	F _{5,12} =6,36*	ns	F _{5,12} =20,16*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 58. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C4	^A 882,99±166,98	14,50±2,09 ^a	10707,70±1415,54 ^a	4,45±1,21 ^b	927,77±188,16	13877,80±529,49 ^a	2976,80±435,47 ^a
	Ø	545,27±6,19	2,80±0,21 ^b	4740,46±167,84 ^b	14,10±0,23 ^a	737,56±18,04	10150,10±40,47 ^b	958,78±4,92 ^b
		ns	^B F _{1,4} =31,13*	F _{1,4} =17,52*	F _{1,4} =61,67*	ns	F _{1,4} =49,28*	F _{1,4} =21,47*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 58. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C4	104,41±27,95	9761,83±953,13 ^a	3,66±0,48	21353,80±2309,59 ^a	5853,75±809,29	32,94±3,46 ^a	19,73±4,29 ^b
	Ø	149,17±4,60	671,23±12,15 ^b	2,48±0,52	45387,40±522,86 ^b	3633,08±1454,44	11,19±0,12 ^b	48,37±1,13 ^a
		ns	F _{1,4} =90,95*	ns	F _{1,4} =103,01*	ns	F _{1,4} =39,40*	F _{1,4} =41,72*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 59. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 1504,89±840,97 ^d	12,25±6,01	58,31±22,69	31308,30±4894,57 ^{bc}	5,03±0,07 ^b	6,90±1,29 ^{bc}	37,81±14,92	2970,81±1483,12 ^d	10898,30±4185,40 ^{ab}
	C1	6726,52±1789,34 ^{bc}	5,69±1,25	58,50±5,98	39373,80±878,01 ^{ab}	5,09±0,67 ^b	18,08±5,71 ^a	105,74±49,66	8312,26±1445,52 ^b	3667,49±1168,47 ^{cd}
	C2	7681,35±1743,54 ^{ab}	8,92±4,04	61,36±9,44	42313,10±3345,67 ^{ab}	5,92±1,08 ^{ab}	15,08±3,74 ^{ab}	57,86±7,69	7608,66±698,04 ^{bc}	5966,38±1105,20 ^{bcd}
	C3	3194,85±613,93 ^{cd}	4,25±0,41	52,20±3,87	25424,90±3005,93 ^c	2,52±0,26 ^c	3,14±0,20 ^c	28,90±6,03	4767,03±686,20 ^{cd}	12542,40±1953,46 ^a
	C4	11567,90±2045,75 ^a	11,64±5,30	71,96±10,98	47114,30±7881,67 ^a	7,72±0,95 ^a	20,87±0,88 ^a	20,47±3,01	11562,30±895,29 ^a	9112,58±689,98 ^{abc}
	Ø	1534,21±11,79 ^d	4,69±0,97	45,41±0,70	38709,40±229,15 ^{ab}	4,67±0,27 ^{bc}	5,46±0,23 ^c	19,84±0,32	6193,47±36,61 ^{bc}	1833,33±25,09 ^d
		^B F _{5,12} =8,34*	ns	ns	F _{5,12} =3,41*	F _{5,12} =5,59*	F _{5,12} =6,03*	ns	F _{5,12} =8,87*	F _{5,12} =4,36*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 59. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *A. plantago-aquatica* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	5475,89±328,89 ^{ab}	733,36±373,41	5140,48±1150,86 ^{bc}	20,33±9,59	20839,20±3005,03	7841,44±1286,48 ^{abc}	71,60±9,43 ^{ab}	61,07±36,03
	C1	5347,37±74,27 ^{ab}	333,32±36,37	3112,66±339,40 ^{cd}	29,57±5,10	19267,80±2237,37	8780,25±1551,08 ^{ab}	73,58±4,82 ^{ab}	129,31±23,78
	C2	6660,75±1217,81 ^a	196,04±25,65	7603,07±584,84 ^{ab}	23,53±5,11	20012,60±2750,65	10338,40±1852,28 ^a	88,10±11,37 ^a	108,65±25,86
	C3	3596,23±267,60 ^{bc}	447,07±211,33	8848,19±1558,14 ^a	8,73±0,25	25662,70±3143,21	11776,30±1724,96 ^a	57,43±3,83 ^{bc}	63,01±7,65
	C4	6734,06±1631,34 ^a	746,61±157,47	10762,00±1768,69 ^a	18,04±1,89	22158,40±2937,74	3924,05±1093,36 ^c	77,81±14,51 ^{ab}	98,51±29,55
	Ø	1478,09±13,88 ^c	655,03±16,32	1505,86±16,18 ^d	7,52±0,07	28141,20±491,76	5471,94±280,63 ^{bc}	40,54±0,11 ^c	75,36±0,26
		F _{5,12} =5,65*	ns	F _{5,12} =10,22*	ns	ns	F _{5,12} =4,43*	F _{5,12} =3,63*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 60. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *L. salicaria* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 54,35±10,36 ^b	5,35±0,89 ^b ^c	25045,80±3355,14 ^{cd}	7,30±0,95 ^b	45,38±17,06 ^b	4360,64±210,45 ^{abc}	4482,73±642,03 ^{bc}
	C1	76,59±5,77 ^b	7,33±0,52 ^a	36764,20±3485,70 ^b	40,25±18,16 ^{ab}	101,40±23,37 ^b	3087,66±417,67 ^d	5846,80±482,99 ^a
	C2	74,62±9,93 ^b	5,97±0,27 ^{ab}	34303,90±1448,94 ^b	58,00±24,21 ^a	91,35±19,04 ^b	4196,86±196,53 ^{bc}	4485,18±190,96 ^{bc}
	C3	80,21±11,79 ^b	6,83±0,58 ^a ^b	44186,70±839,82 ^a	2,89±0,10 ^b	116,77±27,20 ^b	3915,85±197,35 ^c	5294,82±299,27 ^{ab}
	C4	179,64±67,53 ^a	5,43±0,72 ^b ^c	31680,40±2527,43 ^{bc}	2,50±0,57 ^b	290,25±94,80 ^a	5087,46±263,76 ^a	3744,64±234,43 ^c
	Ø	206,77±2,12 ^a	3,81±0,06 ^c	19770,10±403,56 ^d	2,86±0,26 ^b	263,02±12,80 ^a	4927,08±31,91 ^a ^b	2253,37±14,34 ^d
		^B $F_{5,12}=4,99^*$	$F_{5,12}=4,66^*$	$F_{5,12}=13,72^*$	$F_{5,12}=3,80^*$	$F_{5,12}=5,44^*$	$F_{5,12}=8,62^*$	$F_{5,12}=11,51^*$

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= *F*-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

Tabela 60. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *L. salicaria* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	65,10±3,48 ^b	799,85±282,43 ^c	1,38±0,11 ^b	9057,89±1404,35 ^{bc}	1484,22±228,31 ^d	5,91±1,30	49,01±5,73 ^b	19,39±2,22
	C1	89,36±16,94 ^b	197,67±31,61 ^d	1,63±0,24 ^b	8457,72±817,69 ^c	2293,12±60,61 ^{cd}	3,06±0,00	66,36±3,67 ^a	24,96±1,86
	C2	77,94±10,28 ^b	331,60±86,70 ^{cd}	1,39±0,13 ^b	11227,00±515,57 ^b	3171,64±766,75 ^{bcd}	0,00±0,00	56,07±3,19 ^{ab}	24,05±2,28
	C3	87,25±7,83 ^b	112,49±16,63 ^d	1,12±0,00 ^b	10123,90±648,61 ^{bc}	4677,79±698,76 ^{ab}	1,97±0,00	63,86±4,16 ^a	16,23±3,13
	C4	67,39±18,52 ^b	1580,20±335,23 ^b	1,79±0,14 ^b	9746,97±281,85 ^{bc}	3518,49±650,18 ^{abc}	7,05±0,00	44,99±2,63 ^b	18,51±4,39
	Ø	141,22±0,49 ^a	3242,19±17,73 ^a	2,90±0,00 ^a	15384,80±51,74 ^a	5503,35±978,03 ^a	14,10±3,79	26,30±0,20 ^c	18,05±0,03
		$F_{5,12}=5,76^*$	$F_{5,12}=43,35^*$	$F_{5,12}=5,89^*$	$F_{5,12}=10,98^*$	$F_{5,12}=5,26^*$	ns	$F_{5,12}=16,01^*$	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: ciklus C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= *F*-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

Tabela 61. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *L. salicaria* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 1325,78±77,26	8,62±2,78	24,17±1,53 ^c	17737,60±2259,12 ^a	5,30±1,18 ^a	43,67±39,84	238,63±204,89	3713,25±505,97	7771,81±1205,65 ^a
	C1	2071,36±164,38	8,28±3,01	33,83±0,77 ^b	32295,60±1498,81 ^b	5,70±0,99 ^a	14,56±5,88	205,79±72,39	5246,23±278,58	2356,77±598,26 ^b
	C2	2913,56±495,71	4,58±1,47	45,05±4,87 ^{ab}	30537,60±3574,38 ^b	4,56±0,41 ^{ab}	9,06±1,06	60,53±5,89	6578,11±1296,53	1229,92±364,44 ^b
	C3	3496,38±231,85	17,44±4,26	49,44±0,88 ^a	40931,00±2682,62 ^a	5,23±0,20 ^a	11,87±1,26	56,12±4,39	6742,81±580,80	1500,82±60,23 ^b
	C4	3388,72±1358,32	8,13±0,00	30,25±8,14 ^c	32026,70±4400,66 ^b	2,97±0,45 ^{bc}	14,49±5,37	39,45±1,19	5137,18±1387,05	3051,65±927,22 ^b
	Ø	1050,00±3,72	8,33±3,68	21,62±0,91 ^c	28861,20±575,28 ^b	2,26±0,39 ^c	3,10±0,52	32,24±0,21	4312,70±53,64	1222,90±22,07 ^b
		^B ns	ns	$F_{5,12}=7,92^*$	$F_{5,12}=7,14^*$	$F_{5,12}=4,00^*$	ns	ns	ns	$F_{5,12}=13,50^*$

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 61. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *L. salicaria* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	6768,47±687,21 ^a	754,38±175,69 ^a	8500,14±1041,24 ^a	28,15±9,25	17720,40±1231,43 ^b	8672,98±301,27 ^b	49,91±5,22 ^b	61,85±10,76 ^{bc}
	C1	7657,52±196,03 ^a	336,56±16,68 ^b	6175,73±742,94 ^b	23,86±2,56	20205,20±1357,92 ^{ab}	10956,30±1636,83 ^{ab}	70,51±1,23 ^a	117,48±8,04 ^c
	C2	4578,05±247,75 ^b	274,56±11,68 ^b	2374,79±111,80 ^c	19,64±0,97	18783,70±1262,95 ^{ab}	9288,41±331,62 ^{ab}	68,88±5,72 ^a	188,67±38,00 ^{ab}
	C3	5187,06±396,20 ^b	204,04±10,62 ^b	3089,40±184,01 ^c	21,23±0,69	23830,60±1561,33 ^a	11883,40±653,07 ^a	75,47±3,97 ^a	225,13±2,20 ^a
	C4	2604,77±316,12 ^c	179,77±18,04 ^b	2333,19±621,38 ^c	13,97±6,04	15647,00±3055,08 ^{bc}	4147,95±939,72 ^c	46,78±4,59 ^{bc}	104,23±53,91 ^{bc}
	Ø	1284,90±11,77 ^d	348,46±13,05 ^b	3389,97±40,84 ^c	5,25±0,47	12103,30±200,04 ^c	1753,64±539,35 ^c	34,79±0,25 ^c	35,38±18,68 ^c
		$F_{5,12}=42,45^*$	$F_{5,12}=8,27^*$	$F_{5,12}=17,98^*$	ns	$F_{5,12}=5,71^*$	$F_{5,12}=21,30^*$	$F_{5,12}=15,99^*$	$F_{5,12}=7,02^*$

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 62. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
ciklusi (A)	C0	^A 59,94±19,75 ^b	2,18±0,32 ^b	17349,10±1455,16	9,62±7,25	44,68±31,01	132,10±11,73 ^b	13732,70±1771,20	6809,37±179,59 ^a
	C1	83,50±14,04 ^b	1,58±0,18 ^b	15339,20±1026,30	13,43±0,00	141,30±111,97	171,13±47,87 ^b	15451,30±1774,73	5537,45±321,12 ^b
	C2	117,80±29,41 ^b	1,89±0,30 ^b	16548,90±2129,82	9,44±4,23	195,70±39,39	213,20±46,33 ^b	18955,90±4020,47	5123,83±411,02 ^b
	C3	77,52±17,84 ^b	1,92±0,19 ^b	16423,10±2086,01	0,00±0,00	4,21±0,91	91,58±18,80 ^b	16029,30±4195,39	4572,59±485,25 ^b
	C4	575,49±168,16 ^a	6,11±0,66 ^a	13767,90±982,75	1,27±0,00	5,27±0,55	677,42±203,22 ^a	25056,50±2953,95	3232,69±302,53 ^c
	Ø	378,19±3,92 ^a	6,28±0,04 ^a	13120,60±84,43	0,00±0,00	8,34±0,29	649,25±7,57 ^a	25210,60±143,21	2181,37±13,86 ^d
		^B F _{5,12} =9,03*	F _{5,12} =43,07*	ns	ns	ns	F _{5,12} =9,26*	ns	F _{5,12} =36,13*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 62. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	151,63±14,60 ^b	8591,80±369,47	4,56±1,81	13727,10±1167,12 ^b	2839,45±473,62 ^{bc}	0,00±0,00	30,69±2,03	26,71±6,36
	C1	134,42±16,47 ^b	6890,55±410,90	2,85±1,13	16352,80±505,33 ^b	4706,17±621,42 ^{ab}	4,28±1,40	25,68±1,14	36,52±7,25
	C2	126,88±13,40 ^b	7018,72±2193,73	4,05±1,38	18139,20±447,08 ^b	6290,88±1343,25 ^a	6,03±3,09	23,89±2,03	36,89±4,48
	C3	123,48±14,59 ^{bc}	8724,59±812,33	0,91±0,08	19707,00±4501,95 ^b	5587,85±1168,11 ^{ab}	0,00±0,00	25,32±2,90	23,16±3,35
	C4	84,73±11,55 ^c	8373,58±893,78	2,36±0,80	29968,30±2997,48 ^a	4771,45±1156,85 ^{ab}	5,81±0,00	24,66±3,41	40,99±2,94
	Ø	436,77±8,64 ^a	7092,04±5,61	1,80±0,31	30442,10±351,41 ^a	1700,66±702,98 ^c	0,00±0,00	20,02±0,12	36,00±2,02
		F _{5,12} =93,73*	ns	ns	F _{5,12} =9,73*	F _{5,12} =3,19*	ns	ns	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 63. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn
ciklusi (A)	C ₄	^A 325,64±43,89 ^b	5,42±1,12	7839,75±762,57	7,91±0,37 ^b	483,92±78,81 ^b	7324,68±433,90 ^a	1484,15±133,65 ^a	53,76±9,09 ^b
	Ø	552,29±1,38 ^a	6,89±0,19	9308,75±136,53	21,08±0,29 ^a	1511,25±26,72 ^a	5477,08±40,48 ^b	944,53±8,35 ^b	111,17±7,53 ^a
		^B $F_{1,4}=26,64^*$	ns	ns	$F_{1,4}=803,31^*$	$F_{1,4}=152,39^*$	$F_{1,4}=17,98^*$	$F_{1,4}=16,24^*$	$F_{1,4}=23,64^*$

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 63. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Na	Ni	P	S	Se	Sr	Zn
ciklusi (A)	C ₄	3596,09±519,30 ^a	1,46±0,07 ^b	14607,00±1553,94 ^a	3390,08±239,51 ^a	2,68±0,00	22,85±1,40	31,55±1,30
	Ø	2116,25±20,63 ^b	3,69±0,81 ^a	10019,70±183,08 ^b	1388,75±653,26 ^b	12,43±1,99	19,75±0,13	30,05±0,41
		$F_{1,4}=18,11^*$	$F_{1,4}=13,23^*$	$F_{1,4}=8,60^*$	$F_{1,4}=20,438,27^*$	ns	ns	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 2 nivoa: C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 64. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
ciklusi (A)	C0	^A 891,47±366,50 ^b	6,51±0,55	21,43±7,32	21037,80±8626,35 ^b	4,16±0,12	13,52±6,96	70,75±27,89 ^b	3190,76±1068,20	10522,40±1450,93 ^a
	C1	5860,57±2162,93 ^a	7,20±0,34	47,49±5,75	46609,90±9335,02 ^a	5,45±0,72	27,05±15,45	59,54±5,62 ^b	8260,49±394,66	3687,27±700,43 ^c
	C2	3167,35±1016,90 ^{ab}	10,15±4,89	36,77±11,71	26310,20±8816,31 ^{ab}	4,48±1,09	18,44±8,88	259,65±106,02 ^a	6165,61±2070,49	3898,25±1187,26 ^c
	C3	5650,14±393,67 ^a	2,43±0,82	39,56±1,68	34876,30±1898,73 ^{ab}	4,91±0,24	59,44±49,83	33,16±5,01 ^b	6844,55±828,72	5123,22±980,35 ^{bc}
	C4	2329,79±666,50 ^b	5,26±1,27	22,69±5,75	16727,10±4714,26 ^b	2,76±0,02	6,75±2,80	16,00±4,31 ^b	3631,00±1018,86	7142,51±438,87 ^b
	Ø	827,52±3,41 ^b	4,95±1,00	21,64±0,29	15017,70±179,08 ^b	6,14±0,28	0,00±0,00	22,65±0,32 ^b	5655,53±55,19	5531,77±47,83 ^{bc}
		^B F _{5,12} =4,61*	ns	ns	F _{5,12} =3,31*	ns	ns	F _{5,12} =4,20*	ns	F _{5,12} =7,56*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 64. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) *M. trifoliata* zavisno od ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
ciklusi (A)	C0	4670,85±1315,82 ^{ab}	927,87±301,36 ^a	6818,83±699,57	17,27±2,09	22103,10±1336,88	8475,20±570,49	45,31±11,54 ^{bc}	40,89±8,36 ^c
	C1	6326,69±1027,39 ^a	256,73±11,08 ^b	4864,22±1274,79	31,13±3,71	20810,00±3016,54	10127,90±2610,44	84,29±8,00 ^a	157,63±47,69 ^{ab}
	C2	3613,18±1042,10 ^{bc}	183,95±56,37 ^b	3505,68±73,08	22,28±6,12	20796,00±2228,50	9781,85±2451,24	55,71±15,25 ^b	168,60±53,94 ^a
	C3	3902,43±114,44 ^{abc}	182,95±31,84 ^b	3609,31±1031,31	27,24±13,69	19424,30±3002,97	8358,16±1789,88	54,46±4,38 ^b	72,65±8,80 ^{bc}
	C4	2116,75±362,77 ^{cd}	176,94±33,11 ^b	4503,22±236,20	8,03±2,08	20339,30±2124,86	4958,96±797,63	32,78±4,96 ^{bc}	46,18±5,17 ^c
	Ø	976,76±4,23 ^d	350,70±11,19 ^b	3578,38±12,59	3,84±0,19	25897,40±170,95	3828,80±1714,43	22,65±0,14 ^c	49,93±1,09 ^c
		F _{5,12} =5,30*	F _{5,12} =5,33*	ns	ns	ns	ns	F _{5,12} =5,81*	F _{5,12} =3,80*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (ciklusi) sa 6 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i Ø - kontrola; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 65. Osnovni parametri deskriptivne statistike dvo-faktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) zavisno od biljne vrste i ciklusa

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg
biljna vrsta(A)	PA	^A 80,44±31,20 ^c	13,47±0,50 ^c	4340,43±318,67 ^g	14,87±2,62	160,24±30,12 ^b	17196,70±585,75 ^b	1491,40±58,30 ^d
	CI	103,87±15,57 ^c	2,66±0,30 ^d	13022,90±554,18 ^f	26,06±9,23	174,02±22,20 ^b	25873,90±1113,17 ^a	5937,98±291,42 ^a
	IP	312,44±123,01 ^a	103,08±9,64 ^a	27666,90±1597,56 ^b	47,19±19,91	485,99±182,25 ^a	17209,10±2772,84 ^b	4698,76±182,29 ^b
	IS	111,49±44,95 ^b	8,32±0,85 ^{cd}	19961,00±985,63 ^d	21,68±6,21	154,19±49,20 ^b	9,732,10±731,04 ^c	3482,31±133,13 ^c
	APA	243,24±107,63 ^{ab}	26,32±0,99 ^b	22793,00±1134,71 ^c	97,12±69,44	336,54±126,24 ^{ab}	10517,20±1991,64 ^c	3347,30±181,40 ^c
	LS	93,08±16,75 ^c	6,18±0,32 ^{cd}	34396,20±1932,70 ^a	22,19±7,95	129,03±28,58 ^b	4129,70±201,37 ^d	4770,84±247,93 ^b
	MT	182,85±60,30 ^{abc}	2,73±0,47 ^d	15885,60±693,88 ^e	78,23±29,23	257,09±67,77 ^b	17845,20±1588,95 ^b	5055,19±340,83 ^b
		^B F _{6,109} =3,55*	F _{6,102} =139,24*	F _{6,109} =215,92*	ns	F _{6,109} =3,29*	F _{6,109} =43,15*	F _{6,109} =87,87*
ciklus (B)	C0	134,06±68,01 ^b	19,11±5,10 ^b	17102,20±1530,73 ^c	65,86±37,96 ^a	278,60±117,33 ^b	13695,90±1586,15 ^b	4520,06±454,34 ^a
	C1	62,65±6,10 ^b	21,51±5,47 ^b	19286,00±1980,02 ^b	60,71±17,76 ^a	141,56±15,33 ^{bc}	13538,00±1442,01 ^b	4409,84±376,02 ^a
	C2	62,60±11,30 ^b	23,09±6,66 ^b	20320,30±2044,56 ^{ab}	81,99±15,40 ^a	118,23±23,43 ^{bc}	12495,60±1421,64 ^b	4071,97±337,95 ^{ab}
	C3	58,44±6,64 ^b	20,38±5,98 ^b	20312,80±2041,08 ^{ab}	4,91±0,83 ^b	102,50±11,03 ^c	13215,20±1215,99 ^b	3712,47±256,86 ^b
	C4	487,54±68,35 ^a	32,16±8,90 ^a	21597,30±2041,08 ^a	6,05±2,70 ^b	571,33±72,84 ^a	20272,30±2269,39 ^a	3845,50±343,41 ^b
		F _{4,,109} =20,84*	F _{4,,102} =4,26*	F _{4,,109} =6,91*	F _{4,,108} =3,70*	F _{4,,109} =10,92*	F _{4,,109} =10,65*	F _{4,,109} =4,39*
interakcija (AXB)		F _{24,109} =2,16*	F _{24,,102} =2,93*	F _{24,,109} =5,03*	ns	F _{24,,109} =1,07*	F _{24,,109} =3,35*	F _{24,,109} =2,54*

Dvo-faktorska analiza varijanse (ANOVA II). Faktor A (vrsta biljke) sa 7 nivoa: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L.; faktor B (ciklusi) sa 5 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i njihove interakcije, ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 65. Osnovni parametri deskriptivne statistike dvo-faktorske ANOVA za sadržaj elemenata u nadzemnoj biomasi (mg/kg) zavisno od biljne vrste i ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	P	S	Sr	Zn
biljna vrsta(A)	PA	151,39±5,98 ^b	679,93±100,73 ^d	24437,90±1278,50 ^a	7270,21±421,71 ^a	28,83±0,80 ^d	31,37±1,09 ^a
	CI	298,21±17,46 ^a	4900,39±646,67 ^b	17675,00±805,62 ^b	2968,64±312,84 ^c	24,16±1,06 ^e	15,81±1,45 ^c
	IP	93,89±24,74 ^{cd}	2481,18±253,88 ^c	16370,50±2204,16 ^b	4832,15±419,65 ^b	72,66±3,01 ^a	16,89±4,15 ^{bc}
	IS	40,51±2,21 ^e	294,62±82,04 ^d	12752,40±746,97 ^c	3009,73±337,76 ^c	44,14±1,56 ^c	4,99±1,02 ^d
	APA	102,40±6,67 ^{cd}	8321,38±705,07 ^a	18774,70±2682,83 ^b	4682,09±687,58 ^b	53,93±2,12 ^b	23,89±5,47 ^b
	LS	77,41±5,49 ^{de}	604,36±163,62 ^d	9722,69±401,43 ^c	3029,05±358,88 ^c	56,06±2,67 ^b	20,63±1,42 ^{bc}
	MT	124,23±7,97 ^{bc}	7919,85±482,99 ^a	19578,90±1759,95 ^b	4839,16±491,71 ^b	26,05±1,12 ^{de}	32,85±2,65 ^a
		$F_{6,109}=44^*$	$F_{6,109}=49,88^*$	$F_{6,109}=22,90^*$	$F_{6,109}=20,34^*$	$F_{6,109}=147,81^*$	$F_{6,108}=16,53^*$
ciklus (B)	C0	155,43±25,21	3787,67±747,55 ^{ab}	14020,10±696,04 ^c	2774,08±349,18 ^b	42,43±3,12	22,53±3,42
	C1	130,44±22,45	2960,14±604,45 ^b	17048,00±1677,21 ^b	4283,43±466,38 ^a	45,76±3,71	21,41±2,50
	C2	124,72±19,50	3260,24±721,09 ^b	16264,20±1432,76 ^{bc}	4503,14±506,67 ^a	44,55±3,89	20,38±2,59
	C3	117,02±15,81	3283,90±565,62 ^b	16538,20±1148,73 ^{bc}	5242,15±486,11 ^a	42,41±3,28	14,76±2,26
	C4	106,72±14,38	4709,27±714,45 ^a	21352,30±2019,73 ^a	5076,50±490,89 ^a	43,31±3,35	25,53±2,29
		ns	$F_{4,,109}=2,80^*$	$F_{4,,109}=8,26^*$	$F_{4,,109}=7,30^*$	ns	ns
interakcija (AXB)		ns	ns	$F_{24,,109}=6,91^*$	ns	$F_{24,,109}=2,62^*$	$F_{24,,109}=1,79^*$

Dvo-faktorska analiza varijanse (ANOVA II). Faktor A (vrsta biljke) sa 7 nivoa: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L.; faktor B (ciklusi) sa 5 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i njihove interakcije, ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= *F*-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P*> 0,05); * = statistički značajna razlika (*P*≤ 0,05).

Tabela 66. Osnovni parametri deskriptivne statistike dvo-faktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) zavisno od biljne vrste i ciklusa

Faktor	Nivo	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
biljna vrsta (A)	PA	^A 4954,02±577,82 ^a	9,26±0,97 ^{ab}	36,55±3,14 ^c	15358,60±1515,25 ^d	4,37±0,33 ^{bc}	48,42±7,12 ^a	65,33±7,34 ^{bc}	4746,43±420,94 ^{bc}	10711,70±1384,64 ^b
	CI	3223,34±493,20 ^b	11,31±1,50 ^a	30,20±3,24 ^c	21457,40±1961,10 ^c	3,79±0,30 ^c	10,92±1,99 ^{bc}	38,67±5,48 ^c	3637,68±358,62 ^d	15446,70±1817,59 ^a
	IP	2728,85±296,21 ^b	7,44±0,82 ^{bc}	105,06±8,03 ^a	21866,80±1951,46 ^c	3,60±0,23 ^c	24,84±5,27 ^b	160,31±65,33 ^a	5310,45±357,88 ^{bc}	9250,29±973,70 ^{bc}
	IS	2480,27±452,75 ^b	4,15±0,75 ^c	28,02±2,12 ^c	21558,60±2008,61 ^c	3,79±0,35 ^{bc}	6,26±0,69 ^c	50,31±13,44 ^{bc}	4366,15±323,35 ^{cd}	5311,36±520,39 ^{de}
	APA	6135,11±1104,29 ^a	8,55±1,73 ^{abc}	60,47±5,01 ^b	37106,90±2716,72 ^a	5,25±0,56 ^a	12,81±2,26 ^{bc}	50,15±12,08 ^{bc}	7044,22±896,15 ^a	8437,42±1201,27 ^{bcd}
	LS	2639,16±333,26 ^b	9,41±1,78 ^{ab}	36,55±2,99 ^c	30705,70±2300,33 ^b	4,75±0,38 ^{ab}	18,73±7,66 ^{bc}	120,11±43,11 ^{ab}	5483,52±457,41 ^{bc}	3182,20±697,10 ^e
	MT	3579,86±669,11 ^b	6,31±1,23 ^{bc}	33,59±3,83 ^c	29112,20±3957,01 ^b	4,35±0,36 ^{abc}	25,04±10,29 ^b	87,82±29,99 ^{bc}	5618,48±689,14 ^b	6074,74±779,95 ^{cde}
		^B F _{6,107} =9,20*	F _{6,90} =2,79*	F _{6,107} =55,64*	F _{6,107} =15,37*	F _{6,100} =3,20*	F _{6,103} =7,98*	F _{6,107} =3,77*	F _{6,107} =8,26*	F _{6,107} =11,53*
ciklus (B)	C0	1387,91±218,06 ^c	8,46±1,59	38,22±5,68 ^b	17316,50±1911,11 ^b	4,03±0,25	17,40±5,64	72,13±23,02 ^{bc}	3322,99±226,09 ^c	13865,70±2018,92 ^a
	C1	3379,26±486,68 ^b	7,43±0,92	45,39±5,96 ^{ab}	27433,00±2533,46 ^a	4,25±0,33	14,64±3,24	85,57±14,07 ^b	5274,63±491,09 ^b	6299,76±1209,37 ^b
	C2	3744,15±421,06 ^b	8,48±0,92	53,91±8,78 ^a	25654,60±2200,73 ^a	4,40±0,29	25,80±6,29	185,70±51,14 ^a	5443,71±429,10 ^{ab}	5877,53±1170,60 ^b
	C3	4003,37±309,63 ^b	7,75±1,10	53,75±5,74 ^a	28408,50±1348,96 ^a	4,03±0,23	18,82±4,95	43,19±3,36 ^{bc}	5487,13±275,45 ^{ab}	8021,87±1060,72 ^b
	C4	5871,47±724,59 ^a	8,19±1,41	44,76±3,97 ^{ab}	27734,80±2508,52 ^a	4,66±0,40	28,36±6,65	22,48±2,79 ^c	6333,62±555,12 ^a	7659,68±492,60 ^b
		F _{4,107} =17,78*	ns	F _{4,107} =4,05*	F _{4,107} =7,81*	ns	ns	F _{4,107} =9,73*	F _{4,107} =11,12*	F _{4,107} =8,21*
interakcija (AXB)		F _{24,107} =2,78*	ns	F _{24,107} =3,62*	F _{24,107} =2,57*	F _{24,100} =2,66*	F _{24,103} =1,73*	F _{24,107} =4,67*	F _{24,107} =3,35*	ns

Dvo-faktorska analiza varijanse (ANOVA II). Faktor A (vrsta biljke) sa 7 nivoa: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L.; faktor B (ciklusi) sa 5 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i njihove interakcije, ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

Tabela 66. Osnovni parametri deskriptivne statistike dvo-faktorske ANOVA za sadržaj elemenata u korenu (mg/kg) zavisno od biljne vrste i ciklusa (nastavak)

Faktor	Nivo	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
biljna vrsta(A)	PA	3791,47±190,03 ^d	335,68±26,01	5139,49±582,64 ^{bc}	30,46±2,83 ^a	25016,30±1357,42 ^a	9651,84±487,16 ^b	33,74±2,48 ^e	138,97±12,75 ^a
	CI	7159,40±454,56 ^a	374,98±46,84	14580,60±1244,20 ^a	20,22±1,17 ^{bc}	21524,60±1195,50 ^b	16174,00±1923,42 ^a	50,59±3,29 ^d	88,06±7,36 ^b
	IP	3472,57±224,92 ^d	297,33±54,55	5820,38±270,24 ^{bc}	20,82±1,67 ^{bc}	18638,30±1135,66 ^{cd}	11706,80±964,67 ^b	68,22±3,46 ^{ab}	152,72±25,96 ^a
	IS	4324,63±508,86 ^{cd}	292,91±69,49	3878,73±619,59 ^c	14,65±0,91 ^c	16026,60±1138,29 ^d	8363,96±777,00 ^b	47,64±3,12 ^d	93,20±14,68 ^b
	APA	5562,86±465,34 ^b	491,28±97,07	7093,27±854,68 ^b	20,04±2,75 ^{bc}	21588,20±1228,12 ^b	8532,08±917,18 ^b	73,70±4,51 ^a	92,11±12,21 ^b
	LS	5359,17±495,02 ^{bc}	349,86±63,60	4494,65±698,44 ^c	21,37±2,30 ^b	19237,40±1006,31 ^{bc}	8989,81±795,10 ^b	62,31±3,54 ^{bc}	139,47±19,49 ^a
	MT	4125,98±500,36 ^d	345,69±94,14	4660,25±441,45 ^{bc}	21,19±3,42 ^{bc}	20694,50±945,05 ^{bc}	8340,42±851,07 ^b	54,51±5,85 ^{cd}	97,19±19,21 ^b
		$F_{6,107}=18,69^*$	ns	$F_{6,107}=30,28^*$	$F_{6,107}=6,06^*$	$F_{6,107}=9,89^*$	$F_{6,107}=7,57^*$	$F_{6,107}=22,19^*$	$F_{6,107}=5,77^*$
ciklus (B)	C0	5963,57±507,39 ^a	705,89±71,13 ^a	9188,45±1573,27 ^a	20,38±1,73	19987,90±696,53 ^b	10503,20±1656,50 ^a	50,10±4,19 ^b	56,48±6,21 ^c
	C1	5447,11±393,05 ^a	236,11±19,74 ^c	5924,91±925,78 ^b	22,24±1,67	19666,50±1091,46 ^b	11027,80±741,18 ^a	60,05±3,99 ^a	128,83±11,03 ^b
	C2	4359,27±301,79 ^b	196,04±12,91 ^c	5240,23±733,96 ^b	24,48±2,34	20272,20±918,35 ^b	11817,80±1066,81 ^a	62,26±4,28 ^a	167,10±16,17 ^a
	C3	4088,97±240,61 ^b	283,71±37,51 ^{bc}	5831,85±795,71 ^b	18,94±1,52	25581,00±1141,59 ^a	12808,20±1117,38 ^a	56,86±2,50 ^{ab}	151,21±15,44 ^{ab}
	C4	4281,13±524,86 ^b	355,20±44,06 ^b	6434,08±812,79 ^b	20,21±2,79	16439,70±903,30 ^c	5099,37±433,01 ^b	49,81±4,13 ^b	69,04±7,56 ^c
		$F_{4,107}=7,62^*$	$F_{4,107}=29,94^*$	$F_{4,107}=5,01^*$	ns	$F_{4,107}=16,85^*$	$F_{4,107}=8,72^*$	$F_{4,107}=4,54^*$	$F_{4,107}=22,41^*$
interakcija (AXB)		$F_{24,107}=2,32^*$	$F_{24,107}=2,97^*$	ns	$F_{24,107}=2,28^*$	$F_{24,107}=1,99^*$	ns	$F_{24,107}=3,36^*$	$F_{24,107}=2,62^*$

Dvo-faktorska analiza varijanse (ANOVA II). Faktor A (vrsta biljke) sa 7 nivoa: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L.; faktor B (ciklusi) sa 5 nivoa: C₀ - početak prvog eksperimenta, C₁ - prvi ciklus prvog eksperimenta, C₂ - drugi ciklus prvog eksperimenta, C₃ - treći ciklus prvog eksperimenta, C₄ - jedini ciklus trećeg eksperimenta i njihove interakcije, ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= F-test pokazatelj sa brojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija ($P > 0,05$); * = statistički značajna razlika ($P \leq 0,05$).

Tabela 67. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) zavisno od biljne vrste

Faktor	Nivo	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg
biljna vrsta (A)	PA	^A 428,32±148,85 ^c	2,90±1,16 ^d	1195,31±425,15 ^d	10,80±6,01	17,69±12,14	370,23±121,18 ^c	8353,95±793,02 ^b	610,77±85,25 ^d
	CI	558,82±80,68 ^c	6,42±1,04 ^d	12777,10±2771,63 ^{bc}	12,85±9,63	6,74±1,12	932,48±481,55 ^{bc}	12927,20±2091,78 ^a	4842,13±446,86 ^a
	IP	1606,63±318,86 ^{ab}	38,91±3,76 ^a	14332,10±976,81 ^b	8,24±6,99	40,96±24,46	2151,04±547,22 ^a	6707,02±903,43 ^b	1637,24±135,51 ^c
	IS	1771,87±516,55 ^a	26,70±1,06 ^b	25357,80±2497,46 ^a	12,34±5,45	7,67±2,23	1961,49±437,09 ^{ab}	6359,66±702,02 ^b	1820,86±365,30 ^c
	APA	882,99±166,98 ^b	14,50±2,09 ^c	10707,70±1415,54 ^{bc}	2,28±0,86	4,45±1,21	927,77±188,16 ^{bc}	13877,80±529,49 ^a	2976,80±435,47 ^b
	MT	325,64±43,89 ^c	5,42±1,12 ^d	7839,75±762,57 ^c	0,00±0,00	7,91±0,37	483,92±78,81 ^c	7324,68±433,90 ^b	1484,15±133,651 ^c
		^B F _{5,18} =7,03*	F _{5,16} =63,79*	F _{5,18} =22,24*	ns	ns	F _{5,18} =4,42*	F _{5,18} =5,56*	F _{5,18} =31,96*

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (vrsta biljke) sa 7 nivoa: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L.; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= *F*-test pokazatelj sabrojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

Tabela 67. Osnovni parametri deskriptivne statistike jednofaktorske ANOVA za sadržaj elemenata u rizomu (mg/kg) zavisno od biljne vrste (nastavak)

Faktor	Nivo	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Zn
biljna vrsta (A)	PA	40,86±5,83 ^b	1389,24±328,53 ^{cd}	4,78±2,05	17974,10±1151,68	1700,44±210,62 ^b	6,39±1,12 ^c	23,60±2,36
	CI	57,92±7,18 ^b	5792,88±1377,89 ^b	5,16±2,05	18570,20±2569,85	6272,30±963,93 ^a	31,34±4,79 ^b	44,05±10,60
	IP	52,16±9,63 ^b	723,43±105,95 ^d	5,22±1,08	21809,00±2240,76	3135,07±926,49 ^b	28,47±0,58 ^b	23,34±2,89
	IS	65,10±13,48 ^b	645,55±228,30 ^d	10,30±2,21	15297,40±1781,91	1936,58±75,15 ^b	44,14±3,43 ^a	24,16±2,04
	APA	104,41±27,95 ^a	9761,83±953,13 ^a	3,66±0,48	21353,80±2309,59	5853,75±809,29 ^a	32,94±3,46 ^b	19,73±4,29
	MT	53,76±9,09 ^b	3596,09±519,30 ^{bc}	1,46±0,07	14607,00±1553,94	3390,08±239,51 ^b	22,85±1,40 ^b	31,55±1,30
		F _{5,18} =3,42*	F _{5,18} =16,05*	ns	ns	F _{5,18} =10,27*	F _{5,18} =21,33*	ns

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA I). Faktor A (vrsta biljke) sa 7 nivoa: PA - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., CI - *Canna indica* L., IP - *Iris pseudacorus* L., IS - *Iris sibirica* 'Perry's Blue', APA - *Alisma plantago - aquatica* L., LS - *Lythrum salicaria* L., MT - *Menyanthes trifoliata* L.; ^A= srednja vrednost ± SE; ^B= *F*-test pokazatelj sabrojevima stepeni slobode; ns = nesignifikantna razlika između srednjih vrednosti populacija (*P* > 0,05); * = statistički značajna razlika (*P* ≤ 0,05).

BIOGRAFIJA

Nevena (Milan) Čule (devojačko Nešić) je rođena 01.04.1974. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu i srednju školu. Šumarski fakultet, Univerziteta u Beogradu, smer pejzažna arhitektura, je završila 2004. godine, sa prosečnom ocenom 9,28, stekavši zvanje Diplomiranog inženjera šumarstva za pejzažnu arhitekturu. Tema diplomskog rada, koga je odbranila sa ocenom 10, je bila „Konstruisani akvatični ekosistemi za tretman otpadnih voda iz domaćinstva“. Iste godine je dobila nagradu Privredne komore Beograda za najbolje diplomske radove studenata fakulteta i viših škola za 2003/2004. godinu.

Školske 2004/2005. godine je upisala prvi semestar doktorskih studija iz interdisciplinarnih i multidisciplinarnih naučnih oblasti, koje organizuje Univerzitet u Beogradu, smer Upravljanje životnom sredinom. Na studijama je položila sve predviđene ispite sa prosečnom ocenom 9,63 i stekla pravo na prijavu doktorske teze.

Tokom 2004. godine je volontirala u Laboratoriji za zaštitu životne sredine, Odsek za prirodne resurse i životnu sredinu, Centar za multidisciplinarne studije Univerziteta u Beogradu, a tokom 2005. godine u Odeljenju za zaštitu i unapređenje životne sredine, Institut za šumarstvo, Beograd.

Od 2005. do 2007. godine je bila zaposlena kao istraživač pripravnik u Odeljenju za zaštitu i unapređenje životne sredine, Institut za šumarstvo, Beograd. Danas je zaposlena u istoj instituciji.

Na radnom mestu bavi se istraživanjima iz oblasti: fitoremedijacije, zaštite životne sredine, biološke rekultivacije degradiranih površina, pejzažne arhitekture, uređivanja predela, urbanog šumarstva, primenjenih istraživanja flore, biomase i drugo. Tokom 2014. godine završila je obuku za rad na instrumentu ICP - OES (Atomska emisijska spektroskopija - Indukovana kuplovana plazma). Koordinator je projekta „Revitalizacija Topčiderske reke biološkim sistemima za prečišćavanje zagađenih voda“, Grad Beograd - Gradska uprava grada Beograda - Sekretarijat za zaštitu životne sredine (2014-2016. god).

Nevena Čule je do sad učestvovala u realizaciji preko 40 naučno-istraživačkih i drugih projekata, obavila preko 50 naučnih radova i saopštenja na naučnim skupovima kao prvi autor ili koautor. Udata je i ima jednog sina.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Невена М. Чуле

Број индекса 2/04

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним
декоративним макрофитама“

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 29.06.2016.

Невена Чуле

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Невена М. Чуле

Број индекса 2/04

Студијски програм Управљање животном средином

Наслов рада „Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама“

Ментори др Драгица Вилотић, редовни професор Универзитета у Београду
Шумарског факултета

др Зорица Средојевић, редовни професор Универзитета у Београду
Пољопривредног факултета

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 29.06.2016.

Невена Чуле

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ☒ 3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 29.06.2016.

Марија Сиве