

БИОАКУМУЛАЦИЈА ЖЕЉЕЗА И МАНГАНА КОД НЕКИХ ВОДЕНИХ МАКРОФИТА НА ПОДРУЧЈУ РИБЊАКА БАРДАЧА

Тања Максимовић¹, Срђан Рончевић², Биљана Кукавица¹

¹Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука

²Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад

Abstract

MAKSIMOVIĆ Tanja, S. RONČEVIĆ, Biljana KUKAVICA: BIOACCUMULATION OF IRON AND MANGANESE IN SOME WATER MACROPHYTES IN THE AREA OF BARDAČA POND [¹University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, ²University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department for Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad]

Fe and Mn contents were analyzed in the water, sediment and tissue of *Phragmites communis* Trin., *Utricularia vulgaris* L. and *Salvinia natans* (L.) All. at two sites in the area of Bardača (Necik and Sinjak-active fish ponds) in the period from May to October. The concentrations of microelements are determined by atomic absorption spectrophotometry directly from a stock solution. Based on the Fe and Mn content in water and according to the Regulation on Classification of Waters and Waterways Categorizations, the waters on the studied locations belong to II/III quality class. Fe and Mn concentration in the tissue of studied macrophytes varied depending on the type, site and period of sampling. In terms of Fe content bioaccumulation sequence at studied macrophyte types on both investigated ponds was declining as follows: *Salvinia natans* > *Utricularia vulgaris* > *Phragmites communis-rhizome* > *Phragmites communis-above-ground part*. For Mn bioaccumulation sequence was somewhat different: *Utricularia vulgaris* > *Salvinia natans* > *Phragmites communis-above-ground part* > *Phragmites communis-rhizome*. Results obtained in the study indicate the different capacity for Fe and Mn uptake between the studied species, which could be of great significance at selection of plant species suitable for the phytoremediation.

Key words: heavy metals, phytoremediation, *Phragmites communis*, *Utricularia vulgaris*, *Salvinia natans*

Сажетак

Садржај Fe и Mn анализиран је у води, седименту и ткиву *Phragmites communis* Trin., *Utricularia vulgaris* L. и *Salvinia natans* (L.) All. на два локалитета на подручју Бардаче (Нецик и Сињак – активни рибњачки базени) у периоду мај–октобар. Концентрације микроелемената одређиване су атомском апсорпционом спектрофотометријом (ААС) директно из матичног раствора. На основу садржаја Fe и Mn у води, а према Уредби о класификацији вода и категоризацији водотока, воде на истраживаним локалитетима припадају II/III класи квалитета. Концентрација Fe и Mn у ткиву испитиваних макрофита варира је у односу на врсту, локалитет и период узимања узорка. У погледу садржаја Fe слијед биоаккумуляције код испитиваних макрофитских врста на оба истраживана базена опадао је у низу: *Salvinia natans* > *Utricularia*

vulgaris > *Phragmites communis*-ризом > *Phragmites communis* – надземни дио. За Mn редослијед биоаккумуляције био је другачији: *Utricularia vulgaris* > *Salvinia natans* > *Phragmites communis* – надземни дио > *Phragmites communis*-ризом. Резултати добијени у раду указују на различит капацитет за усвајањем Fe и Mn између испитиваних врста, што може бити од велике важности при одабору биљних врста погодних за фиторемедијацију.

Кључне ријечи: тешки метали, фиторемедијација, *Phragmites communis*, *Utricularia vulgaris*, *Salvinia natans*

УВОД

Акватичне биљке имају способност да акумулирају знатне количине тешких метала у свом ткиву. Њихова моћ акумулирања креће се у концентрацијама од 100 и више пута већим од других биљних врста гајених у истим условима, без значајних посљедица по преживљавање биљке и њену биопродукцију. Стога имају важну улогу у циркулисању тешких метала у воденим екосистемима изазивајући акумулацијски ефекат (Prasad и Freitas, 2006; Prasad и сар., 2006; Liu и сар., 2007; Rai, 2009; Babović и сар., 2010; Marchand и сар., 2010). На основу резултата истраживања о неким биљним врстима, токсичне концентрације одређених метала су сљедеће: Cd, 0,1; Ni, 10; Pb, 30; Cu, 20; Fe, 100; Zn, 100 и Mn, 300 µg/g суве масе (Alloway, 1995; Liphadzi и Kirkham, 2005). Иако се неки тешки метали као Mn, Fe, Cu и Zn убрајају у есенцијалне нутријенте, њихове повећане концентрације могу бити токсичне за биљке. Хемијски састав акватичних макрофита често се користи у биоиндикацији, јер је садржај елемената у биљном ткиву индикатор присуства датог елемента у воденој средини.

Водене биљке развиле су комплексне биохемијске механизме за контролу уноса и транслокације тешких метала, а разумијевање ових механизма и њихове генетске основе важан је аспект у развијању биљака као агенаса фиторемедијације (Prasad, 2003; Prasad и Freitas, 2003; Benavides, 2005; Hossain и сар., 2012). Један од таквих механизма јесте и њихова способност да се усвајање и акумулација тешких метала првенствено одвија у коријену што уједно представља и један вид заштите надземних органа од њихове веће концентрације у спољашњој средини. Своју улогу биоаккумулятора, водене биљке најчешће испољавају у приобалним плићим дијеловима ријека, језера и канала (Westlake, 1971; Рајевић и сар., 2001; 2002; Prasad и сар., 2006). Водене макрофите акумулирају тешке метале из воде и седимента те непосредно одређују концентрацију и баланс тих материја у воденој средини, учествујући тако у процесу кружења материја у воденим екосистемима.

Резултати нашег рада указују на сезонско варирање у садржају Fe и Mn између емерзних, субмерзних и флотантних биљака на истражваним басенима. У принципу, утвђене су значајне разлике код истражваних врста у погледу концентрације и акумулације тешких метала у надземном дијелу, подземном дијелу и читавим биљкама. Добијени резултати указују да се водене биљке могу искористити у третманима чишћења отпадних вода које су загађене тешким металима, при чему треба имати у виду да је избор биљне врсте пресудан и да може значајно утицати на ефикасност уклањања и добијање оптималних резултата.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Истраживано подручје рибњака Бардача налази се на 25 km од Бање Луке – општина Србац. Рибњак лежи у алувијалној равни ријеке Саве, на надморској висини од 90 m. Рибњак се састоји од једанаест басена: Превлака, Ракитовац, Мали Дајковац, Велики Дајковац, Брзајски, Нецик, Сињак, Љетни базен, Луг, Дуго Поље I и Дуго Поље II (Ђурић и сар., 2004). Истраживања су обављена на сљедећим локалитетима: 1) Нецик (налази се у средишту комплекса рибњака, површине је 40 ha, просјечне дубине 110 cm; тачка узимања узорака лоцирана је на 45°06'47.7" сјеверне географске ширине и 17°27'04.7" источне географске дужине) и 2) Сињак (обухвата најсјевернији руб рибњака, налази се источно од Љетног басена, површине је 40 ha, просјечне дубине 180 cm; тачка узимања узорака лоцирана је на 45°06'55.1" сјеверне географске ширине и 17°26'02.9" источне географске дужине). Узимање узорака (вода, седимент и биљни материјал) обављано је једанпут мјесечно током вегетационог периода (мај–октобар). За узимање узорака, њихову припрему и хемијске анализе коришћене су стандардне методе, описане у АРНА (1995). Концентрације микроелемената (тешких метала) у биљкама и седименту одређиване су атомском апсорпционом спектрофотометријом (AAS) директно из матичног раствора. Узорци су снимани на атомском апсорпционом спектрофотометру Aanalyst 700, произвођача Perkin Elmer USA, пламеном техником, станардни метод ЕРА 7000В. Садржај микроелемената и тешких метала у води одређиван је у узорцима уз помоћ спектрофотометра Nach DR 2800. За одређивање концентрације жељеза кориштен је FerroVerг метод, за одређивање мангана PAN метод.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Узорци за анализу тешких метала у води прикупљани су једанпут мјесечно током сезоне у периоду мај–октобар на два локалитета (басени Нецик и Сињак) са подручја рибњака Бардача. Категоризација воде рибњачких басена одређена је на основу поређења добијених вриједности физичко хемијских праметара са Уредбом о класификацији вода и категоризацији водотока („Службени гласник“ РС, број: 42/2001). Из резултата приказаних у Табели 1 може се видјети да се садржај жељеза у води кретао од 0,150 до 0,240 mg/l, при чему су добијене вриједности биле веће на локалитету Нецик у односу на Сињак. На основу садржаја жељеза у води током периода истраживања, а према Уредби о класификацији вода и категоризацији водотока, вода на локалитету Нецик и Сињак припадала је II класи квалитета. Такође, током сезоне, уочавају се повећане концентрације жељеза у води током љетњег периода, што је вјероватно резултат редукујућих услова на граници седимента и воде при чему се Fe (III) редукује у Fe (II) које је растворљивије у води и из седимента Fe прелази у водену фазу (Rončević и сар., 2004).

Табела 1. Садржај тешких метала у води на истраживаним локалитетима на подручју Бардача

| Локалитет | Метал | Садржај метала (mg/l) | | | | | | Средња вриједност |
|-----------|-------|-----------------------|-------|-------|--------|-----------|---------|----------------------|
| | | Период (мјесец) | | | | | | |
| | | Мај | Јун | Јул | Август | Септембар | Октобар | |
| Нецик | Fe | 0,050 | 0,120 | 0,240 | 0,210 | 0,240 | 0,210 | 0,178 |
| Сињак | | 0,160 | 0,180 | 0,160 | 0,160 | 0,200 | 0,150 | 0,168 |
| Нецик | Mn | 0,037 | 0,049 | 0,047 | 0,075 | 0,082 | 0,064 | 0,059 |
| Сињак | | 0,039 | 0,062 | 0,076 | 0,063 | 0,086 | 0,066 | 0,065 |

Садржај Mn у води на истраживаним басенима кретао се од 0,037 до 0,076 mg/l, при чему се запажа да је тај садржај био нешто већи на локалитету Сињак у односу на Нецик (Табела 1). На основу садржаја мангана у води током 2010. године, а према Уредби о класификацији вода и категоризацији водотока, воде на истраживаним локалитетима припадају II/III класи квалитета. На истраживаним локалитетима, такође се уочава и пораст концентрације Mn са сезоном, односно максималне вриједности констатоване су у периоду август–септембар, што је, вјероватно, посљедица повећања садржаја органских материја у води и веће биодоступности Mn из седимента. До сличних података за канал Врбас–Бездан дошли су Stojanović и сарадници (1994) у својим истраживањима.

Табела 2. Садржај тешких метала у седименту на истраживаним локалитетима на подручју Бардача

| Локалитет | Метал | Садржај метала (mg/kg) | | | | | |
|-----------|-------|------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| | | Период (мјесец) | | | | | |
| | | Мај | Јун | Јул | Август | Септембар | Октобар |
| Нецик | Fe | 620±0 | 616±0,47 | 617±0 | 619±0,48 | 619±0,48 | 618±0 |
| Сињак | | 620±0 | 618±0 | 617±0,48 | 618±0 | 618±0 | 618±0 |
| Нецик | Mn | 207±7,69 | 257±24,53 | 227±0 | 190±0,96 | 225±4,81 | 618±0 |
| Сињак | | 356±0,47 | 346±3,36 | 251±3,36 | 204±1,63 | 292±0,48 | 299±6,25 |

Садржај жељеза у седименту на истраживаним локалитетима кретао се од 616 mg/kg па до 620 mg/kg (Табела 2). Током периода истраживања вриједности Fe у седименту нису значајно варирале, при чему се запажа да је у просјеку садржај био већи на локалитету Сињак у односу на Нецик. Добијене вриједности биле су ниже у односу на концентрацију Fe у седименту које су измјерене за Сребарно језеро (9060 mg/kg), (Yurkova, 1996), Бегечку јаму (12374 mg/kg) и Ковиљски рит (16154 mg/kg) (Рајевић и сар., 2002). Концентрација Mn у испитиваним узорцима седимента у одређеном периоду прелазила је вриједности максимално дозвољене концентрације (МДК – 400 mg/kg), према Службеном гласнику РС 23/1994. На локалитету Нецик током периода истраживања запажају се значајнија варирања у концентрацији Mn у седименту у односу на Сињак, са максималним вриједностима које су констатоване за октобар (618 mg/kg), што је вјероватно посљедица повећања анаеробних услова у којима је Mn мобилнији (Табела 2).

Измјерене вриједности Mn у седименту биле су до пет пута веће у односу на резултате ранијих истраживања на истом локалитету (Maksimović и сар., 2007). Разлог за знатно повећање концентрације Mn могу бити природни извори (подземне воде), као и вјештачка ђубрива, спирање са околног земљишта, као што је показано у радовима Ubavić

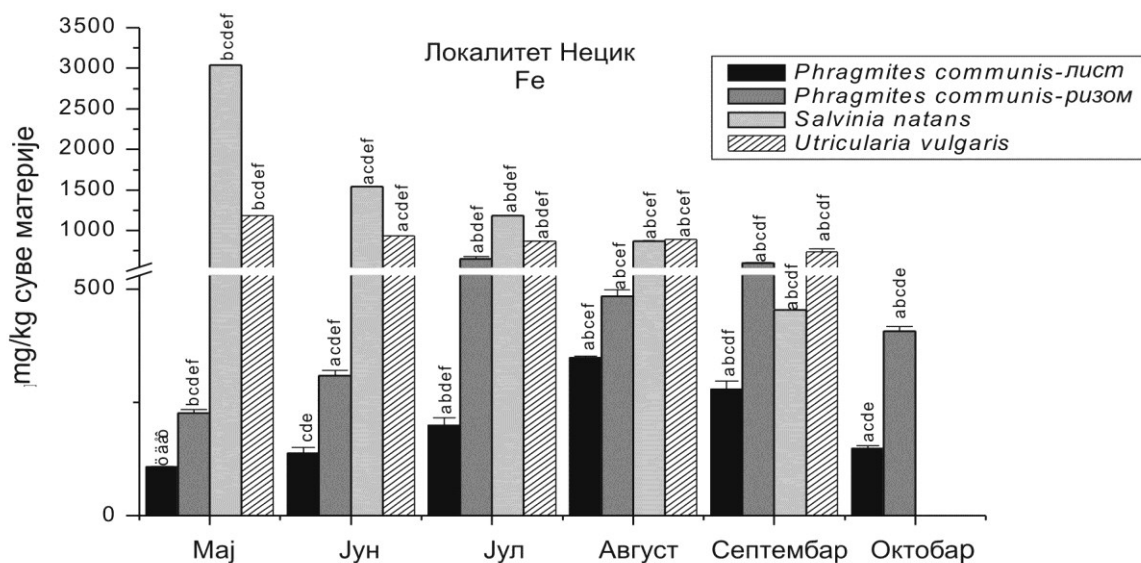
и сарадници (1993), Kastori и Milošević (2011), а што је вјероватно случај и за истраживане локалитете на Бардачу. На истраживаним локалитетима измјерене су знатно ниже концентрације Mn у седименту и води у односу на Fe, што је, вјероватно, резултат повећања рН због кречења воде при чему усљед антагонизма између ова два елемента долази до његовог споријег усвајања (Kastori и Milošević, 2011). Садржај Mn у седименту на истраживаним басенима био је знатно већи у односу на истраживања која су спровели други истраживачи на сличним локалитетима (Yurkova и Kochev, 1996; Stanković и сар., 2000; Рајевић и сар., 2002), који су установили да концентрација Mn варира у зависности од степена усвајања од акватичних макрофита и од хемијских услова седимента.

У овом раду анализиран је садржај Fe и Mn у ткиву *Phragmites communis*, *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris* током 2010. године. Садржај тешких метала изражен је у mg/kg суве масе. Код емерзне врсте *Phragmites communis* дат је садржај микроелемената за поједине органе. Резултати истраживања приказани су графички, како у цијелим биљкама тако и у појединим органима (Слика 1). Добијени резултати указују на специфичност у усвајању тешких метала у зависности од врсте, при чему је забиљежена и варијација унутар истих врста. Поред тога, концентрација која је пронађена у различитим биљним врстама варијала је од локације до локације због стања загађења животне средине на тој локацији.

Добијене вриједности садржаја жељеза у надземном дијелу *Phragmites communis* кретале су се од 106 до 347 mg/kg (Слика 1 и 2). У надземном дијелу трске је забиљежен 2–3 пута нижи садржај Fe у односу на ризом на оба истраживана локалитета. Разлог је вјероватно резултат постојања физиолошке баријере која омета бољу транслокацију у надземне органе, а што су забиљежили Liu и сарадници (2007) у својим истраживањима. Такође, до сличних резултата за *Phragmites communis* дошли су у свом раду Рајевић и сар., 2002; Nikolić и сар., 2003; Babović и сар., 2010, и указали на то да се Fe више акумулира у ризому, а Mn у надземном дијелу, што може бити веома важно ако се ове врсте користе у фиторемедијацији. Концентрације Fe у ткиву *Salvinia natans* на локалитету Нецик кретале су се од 454 mg/kg па до 3035 mg/kg при чему се запажа да су веће вриједности добијене почетком вегетационог периода (мај) а значајно ниже (за 80 %) до краја периода истраживања (септембар–октобар). Оваква дистрибуција у садржају Fe током сезоне резултат је његове боље биодоступности усљед снижења рН, што повећава редистрибуцију овог елемента, при чему су утврђене концентрације Fe код *Salvinia natans* у одређеном периоду биле далеко изнад допуштене границе и имале токсичан ефекат (Слике 1 и 2). Гледано у просјеку утврђено је да је најбољи акумулатор овог тешког метала *Salvinia natans*, те да је највећа измјерена концентрација испитиваног елемента у мају (3035 mg/kg) у односу на остале врсте, а да је локалитет Нецик оптерећенији овим елементом од локалитета Сињак.

Добијене вриједности садржаја Fe на истраживаним локалитетима код *Salvinia natans* (453–3035 mg/kg) у овом раду у сагласности су са вриједностима код других аутора које су забиљежене за Ри�њак Ечка (198–5979 mg/kg) (Babović и сар., 2010) и Змајево (2527 mg/kg) (Borišev, 2005), Змајево (2518 mg/kg) (Ilić, 2005). Акумулација Fe у ткиву *Utricularia vulgaris* била је за 11 % нижа на локалитету Сињак у односу на Нецик (Слике 1 и 2). Садржај Fe на локалитету Нецик био је већи почетком сезоне (мај–јун), нижи и уједначенији током периода јул–август, а најнижи је констатован у септембру (Слика 1).

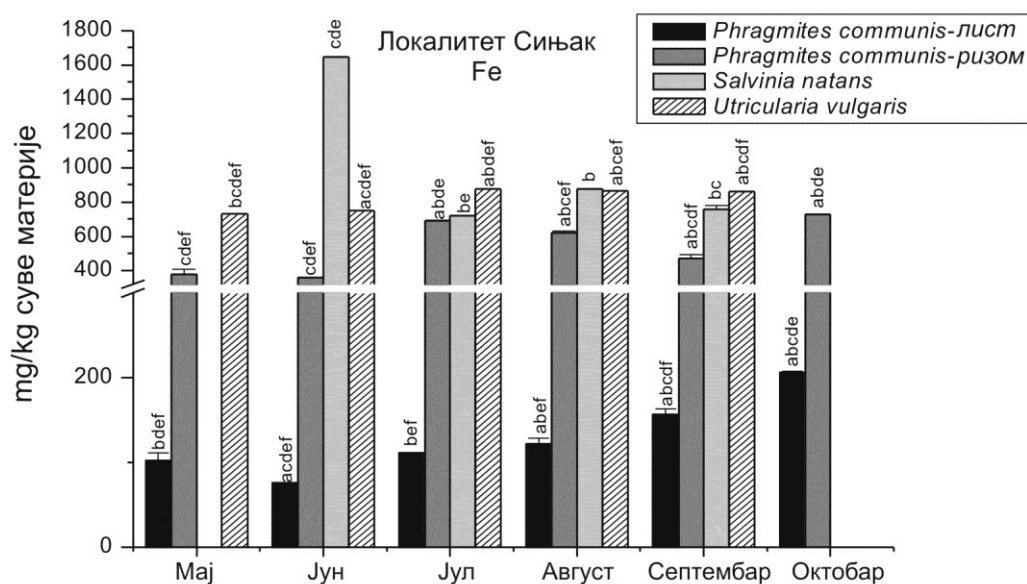
На локалитету Сињак је забиљежена другачија ситуација, ниже вриједности измјерене су почетком периода истраживања (мај–јун), док су повећане и уједначеније вриједности констатоване до краја периода истраживања (Слика 2).



Слика 1. Садржај Fe (mg/kg) у ткиву *Phragmites communis*, *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris* на локалитету Нецик

^{abcdef}-различита мала слова означавају вриједности током периода истраживања; а – мај, б – јун, с – јул, д – август, е – септембар, ф – октобар, који се статистички значајно разликују за ниво значајности $p < 0,05$).

У ткиву *Utricularia vulgaris* највећа измјерена вриједност Fe (1184 mg/kg) била је у мају на локалитету Нецик, да би до краја периода истраживања измјерена за 60 % нижа вриједност (Слика 1). Ако се упореде вриједности Fe у ткиву *Utricularia vulgaris* са резултатима Kovács-а (1978) за исту врсту, може се закључити да је *Utricularia vulgaris* на подручју Бардача акумулирала нижу концентрацију испитиваног елемента. Stanković и сарадници (2000) у својим истраживањима наводе да су повећане вриједности Fe у ткиву субмерзних врста *Myriophyllum spicatum* и *Ceratophyllum demersum* (1157-2075 mg/kg) за канале Врбас–Бездан и Банатска Паланка – Нови Бечеј утицај околних пољопривредних површина као и ослобађања метала из седимента, што је вјероватно један од разлога повећаних концентрација Fe и на овом подручју.



Слика 2. Садржај Fe (mg/kg) у ткиву *Phragmites communis*, *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris* на локалитету Сињак

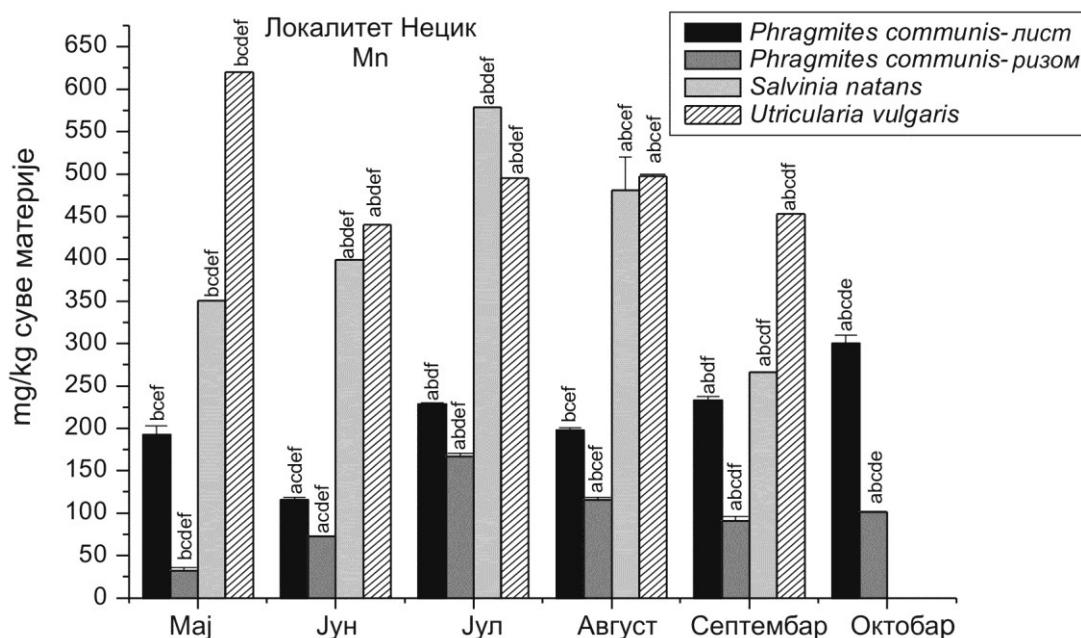
abcdef – различита мала слова означавају вриједности током периода истраживања; а – мај, b – јун, c – јул, d – август, e – септембар, f – октобар, који се статистички значајно разликују за ниво значајности $p < 0,05$).

На основу добијених резултата о садржају Fe код све три макрофитске врсте може се закључити да су врсте са локалитета Нецик акумулирале више Fe у односу на биљке из басена Сињак.

Концентрације мангана у надземном дијелу *Phragmites communis* варирале су од 116 mg/kg (јун) па до 300 mg/kg (октобар) при чему су забиљежене вриједности на локалитету Сињак у просјеку биле незнатно ниже у односу на исту врсту са локалитета Нецик. Измјерене вриједности Mn у ризому трске кретале су се од 32 mg/kg па до 166 mg/kg, при чему су минималне вриједности забиљежене током периода, мај–јуни а максималне вриједности добијене су током периода цвјетања (јул–август), затим слиједи благи пад до краја периода истраживања. Концентрације Mn у ризому испитиване врсте на истраживаним локалитетима (Слике 3 и 4) током периода истраживања биле су за 2–3 пута ниже у односу на надземни дио. До другачијих резултата у својим истраживањима дошли су Nikolić и сарадници (2003), који су већи садржај Mn установили у ризому у односу на надземни дио *Phragmites communis*. Доказано је да је покретљивост Mn мала, али ипак већа од Fe и Cu, а да се нарочито повећава код монокотиледоних биљака (Kastori, 1998; Kabata-Pendias и Pendias, 2001), па се већа акумулација може појаснити и овом чињеницом односно бољом транслокацијом Mn у надземни дио, као и већом мобилношћу Mn из седимента.

Концентрација Mn у ткиву *Salvinia natans* варирала је од 266 до 579 mg/kg, при чему се уочава да током истраживаног периода нису забиљежене значајније разлике у садржају Mn на истраживаним локалитетима. Добијене вриједности Mn код *Salvinia natans* (325–578 mg/kg) биле су знатно ниже у односу на вриједности концентрација Mn

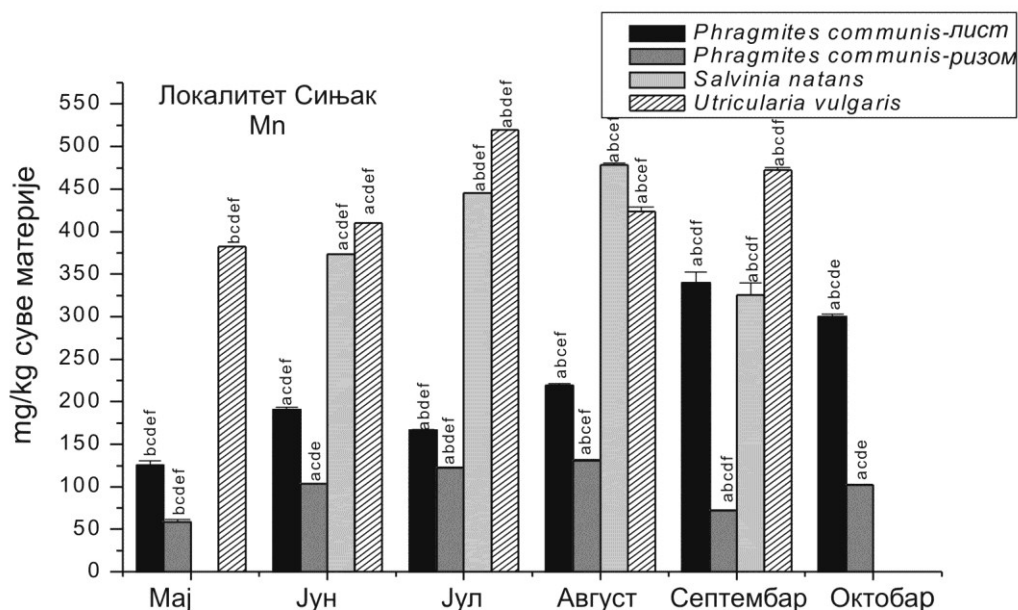
које су забиљежене за рибњак Ечка (344–4889 mg/kg) (Вабовић и сар., 2010), Бегечка јама (2406 mg/kg) и Ковиљски рит (2455 mg/kg) (Рајевић и сар., 2002). Концентрација Mn у ткиву *Salvinia natans* била је нижа у односу на *Utricularia vulgaris*, што су документовали Рајевић и сарадници (2002) у свом раду на подручју Ковиљског рита и канала Дунав–Тиса–Дунав.



Слика 3. Садржај Mn (mg/kg) у ткиву *Phragmites communis*, *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris* на локалитету Нецик

^{abcdef}-различита мала слова означавају вриједности током периода истраживања; а – мај, b – јун, c – јул, d – август, e – септембар, f – октобар, који се статистички значајно разликују за ниво значајности $p < 0,05$).

Концентрације Mn у ткиву *Utricularia vulgaris* варирале су од 382 до 620 mg/kg, што је било у складу са истраживањима Stanković и сарадника (1998) на подручју локалитета Дунав–Тиса–Дунав у ткиву субмерзних врста *Ceratophyllum demersum* и *Myriophyllum spicatum*. Већи садржај Mn утврђен је на локалитету Нецик у односу на Сињак. Оваква дистрибуција Mn у ткиву флотантних и субмерзних врста последица је физичко-хемијских услова средине, специфичности саме врсте као и утицаја отпадних вода које снабдијевају ове басене, што је документовано и у другим радовима са сличном проблематиком. Значајне разлике у садржају Mn (капацитет акумулације) биле су између испитиваних врста; највећи капацитет за акумулацијом испољила је *Utricularia vulgaris* (501 mg/kg), затим *Salvinia natans* 415 mg/kg), а најмање надземни дио (262 mg/kg) и ризом (96 mg/kg) *Phragmites communis*.



Слика 4. Садржај Mn (mg/kg) у ткиву *Phragmites communis*, *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris* на локалитету Сињак

^{abcdef}-различита мала слова означавају вриједности током периода истраживања; а – мај, б – јун, с – јул, d – август, е – септембар, f – октобар, који се статистички значајно разликују за ниво значајности $p < 0,05$).

Рајевић и сарадници (2002) на подручју Бегечке јаме, Ковиљског рита и канала Дунав–Тиса–Дунав, пратили су концентрације макро и микроелемената за неколико флотантних и субмерзних врста, при чему су утврдили да *Phragmites communis* има мањи капацитет акумулације (Mn) у односу на субмерзне и флотантне биљке, што је у складу са добијеним резултатима у овом раду.

Концентрације Mn код *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris* биле су дупло веће од максимално дозвољених, при чему је садржај био у просјеку већи на локалитету Нецик у односу на Сињак, што је вјероватно последица веће доступности испитиваног елемента, физичко-хемијских услова средине, присуства метала у растворљивој форми односно његовог бржег ослобађања из седимента (Слике 4 и 5). Додавање кречњака почетком сезоне као једна од агротехничких мјера у рибњачким басенима вјероватно утиче на капацитет акумулације других елемената, првенствено мангана, а пошто је познат његов антагонизам према Са, може се претпоставити да је Са утицао на смањење апсорпције Mn из седимента као и на усвајање код биљака, па је и то један од разлога ниже концентрације Mn у односу на Fe.

ЗАКЉУЧАК

Добијени резултати у овом раду указују на то да су највеће разлике између испитиваних биљних врста уочене у погледу акумулације Fe: од 76 mg/kg у ризому *Phragmites communis* до 3035 mg/kg код *Salvinia natans*. Као најбољи акумулатор Fe на оба истраживана локалитета показала се врста *Salvinia natans*, слиједи *Utricularia vulgaris* па *Phragmites communis*. Токсичне концентрације Fe утврђене су током периода мај–јун у ткиву *Salvinia natans* и *Utricularia vulgaris*. За разлику од Fe вриједности Mn у ткиву

испитиваних макрофитски врста су биле 2–3 пута ниже током истраживаног периода. Као најбољи акумулатор Мп показала се врста *Utricularia vulgaris*, затим *Salvinia natans*, а најмањи надземни дио и ризом *Phragmites communis*. Такође би се на основу добијених резултата могло закључити да испитиване макрофитске врсте највише акумулирају жељезо, а да је локалитет Нецик оптерећенији у садржају испитиваних елемената. У сваком случају, одступања која су нађена у садржајима Мп и Fe код тестираних биљака највјероватније су изазвана посебним адаптационим прилагођеностима биљака, у вези са начином и могућностима акумулације, као и степеном њихове толеранције на токсичне ефекте тешких метала. Истраживане макрофитске врсте показале су се као веома добри биоаккумулятори испитиваних елемената, те се могу користити у процјени квалитета воде и успјешно примјенити у фиторемедијацији тешких метала у акватичним екосистемима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alloway, B. J : **Heavy metals in soils** 2nd Ed. Blackie Academic and Professional, London, 1995.
2. American Public Health Association (APHA) Standard methods, for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition Washington DC 20005, 10–55, 1995.
3. Babović, N., Drazic, G., Đorđević, A., Mihailović, N. : Heavy and toxic metal accumulation in six macrophyte species from fish pond Ecka, Republic of Serbia. Balwois-Ohrid, Republic of Macedonia, 2010.
4. Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. : Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1): 21–34, 2005.
5. Borišev, M. : Vaskularne vodene biljke vodotoka Jegrička - Magistarska teza. Univerzitet u Novom Sadu. Prirodno-matematički fakultet. Departman za biologiju i ekologiju. Novi Sad, 2005.
6. Đurić, D., Sopić, D., Trifković, A., Jandrić, B. : Hidrotehnički radovi u području močvare Bardača. U: Šarić, Ž., Stanković, M., Butler, D. (Eds.). *Život u močvari*, Urbanistički zavod Republike Srpske, a.d. Banja Luka, pp. 17–27, 2004.
7. Hossain, M. A., Piyatida, P., da Silva, J. A. T. Fujita, M. : Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. Review Article. *Journal of Botany*, 10:1–37, 2012.
8. Ilić, P. : Akvatične makrofite kao biološki resursi u kontroli zagađenja kanalske mreže Dunav-Tisa-Dunav (DTD). Magistarska teza. Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet. Novi Sad, 2005.
9. Kabata-Pendias, A. Pendias, H. : **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton, Fla, CRC Press, 2001.
10. Kastori, R. : **Mineralna ishrana**. Feljton, Novi Sad, pp: 137–235, 1998.
11. Kastori, R., Milošević, N. : **Ekološki i fiziološki aspekti kisele sredine, zemljište, biljke i mikroorganizmi**. Institut za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad, 2011.
12. Liphadzi, M. S, Kirkham, M. B. : Phytoremediation of soil contaminated with heavy metals: a technology for rehabilitation of the environment. *South African Journal of Botany*, 71:24–37, 2005.

13. Liu, J., Dong, Y., Xu, H., Wang, D., Xu, J. : Accumulation of Cd, Pb and Zn by wetland plant species in constructed wetland. *Journal of Hazardous Materials*, 147 (3): 947–953, 2007.
14. Maksimović, T., Stanković, Ž., Ilić, P. : Bioakumulacija Mn, Cd, Pb u vodenim makrofitama na području ribnjaka Barдача. 36. Konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda, "Voda 2007", Jugoslovensko društvo za zaštitu voda, Tara, 26–29 jun, Knjiga radova: 131-136, 2007.
15. Marchand, L., Mench, M., Jacob, D. L., Otte, M. L. : Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements. Review. *Environmental Pollution*, 158:3447–3461, 2010.
16. Nikolić, Lj., Stojanović, S., Stanković, Ž. : Content of macro - (N, P, K) and micronutrients (Fe, Mn, Zn) in four promising emergent macrophytic species. *Archiv für Hydrobiologie Supplement*, 147/3-4:297–306, 2003.
17. Pajević, S., Stanković, Ž., Vučković, M. : Concentrations of macronutrients in dominant aquatic plants of the lake Provala (Vojvodina, Yugoslavia). *Zbornik Matice Srpske za prirodne nauke*, 101:77–83, 2001.
18. Pajević, S., Vučković, M., Stanković, Ž., Kevrešan, Ž., Radulović, S. : The content of some macronutrients and heavy metals in aquatic macrophytes of three ecosystems connected to the Danube in Yugoslavia. *Archiv für Hydrobiologie- Supplement Large Rivers*, 13 (1-2):91–109, 2002.
19. Prasad, M. N. V. : Phytoremediation of metal polluted ecosystems: Hope for commercialization. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50:764–780, 2003.
20. Prasad, M. N. V., Freitas, H. M. D. : Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6 (3):285–321, 2003.
21. Prasad, M. N. V., Freitas, H. : Metal-tolerant plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. In: Prasad, M. N. V., Sajwan, K. S., Naidu, R. (Eds.). *Trace Elements in the Environment, Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation*. CRC, Taylor and Francis Group, LLC, pp: 483–507, 2006.
22. Prasad, M. N. V., Greger, M., Aravind, P. (2006): Biogeochemical cycling of trace elements by aquatic and wetland plants: relevance to phytoremediation. In: Prasad, M. N. V., Sajwan, K. S., Naidu, R. (Eds.). *Trace Elements in the Environment, Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation*. CRC, Taylor and Francis Group, LLC, pp: 483–507, 2006.
23. Rai, P. K.: Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39 (9):697–753.
24. Rončević, S., Dalmacija, B., Klačnja, M., Krčmar, D., Tamaš, Z. (2004): **Neorganske materije**. U: Dalmacija, B., Ivančev-Tumbas, I. (Eds.). *Analiza vode – kontrola kvaliteta, tumačenje rezultata*. Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Novi Sad, pp: 80–151, 2004.
25. Stanković, Ž., Pajević, S., Vučković, M., Stojanović, S. : Concentrations of trace metals in dominant aquatic plants of the Lake Provala (Vojvodina, Yugoslavia). *Biologia Plantarum*, 43 (4):583–585, 2000.

26. Stanković, Ž., Stojanović, S., Pajević, S., Žderić, M., Kilibrada, P. : Trace Metals In Some Aquatic Macrophytes Of The Danube-Theiss-Danube Hydrosystem. 3rd International Symposium Interdisciplinary Regional Research (Hungary, Romania, Yugoslavia) Part II, Novi Sad, FR Yugoslavia, 1998.
27. Stojanović, S., Butorac, B., Vučković, M., Stanković, Ž., Žderić, M., Kilibrada, P., Radak, Lj. : Biljni svet kanala Vrbas–Bezdan. Univerzitet u Novom Sadu. Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju, Novi Sad, 1994.
28. Службени гласник Републике Српске: Уредба о класификацији вода и категоризацији водотока, бр. 42, 2001.
29. Ubavić, M., Dozet, D., Bogdanović, D. : Teški metali u zemljištu. U: Kastori, R. (Ed.). Teški metali i pesticidi u zemljištu. Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, pp: 31–47, 1993.
30. Westlake, D. F. : Macrophytes. In: Vollenweider R. A. (Ed.). A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. Blackwell Scientific Publication, Oxford and Edinburgh, 1971.
31. Yurkova, L., Kochev, H. : Heavy metal concentrations in main macrophytes from the Srebarna Lake along the Danube (Bulgaria). In: 31. Konferenz der IAD, Baja-Ungarn: pp: 195–200, 1996.

Примљено: 20.11.2015.

Одобрено: 20.04.2016.