

Ратко Кадовић  
Оливера Кошанин  
Снежана Белановић  
Милан Кнежевић

UDK: 630\*114.268:114.35  
Оригинални научни рад

## ТЕШКИ МЕТАЛИ У ОРГАНСКОМ СЛОЈУ ЗЕМЉИШТА БУКОВИХ ШУМА СРБИЈЕ

**Извод:** У току последњих неколико деценија, шумски екосистеми су веома изложени утицају различитих штетних полутаната, посебно оних из атмосфере. Штетне материје из ваздуха, поред директног утицаја на шумско дрвеће, таложу се у земљишту и негативно утичу на хемизам земљишта и педогенетске процесе. Резултати ранијих истраживања у Србији (Кадовић, Кнежевић, 2002, 2004) показали су неке специфичности у погледу акумулације и премештања тешких метала у земљишту. У слојевима шумске простирке и површинским органско-минералним хоризонтима утврђене су највеће концентрације. У овом раду приказани су резултати проучавања садржаја тешких метала (Zn, Mn, Cu, Fe, Cd, Pb, Ni и Cr) у органском хоризонту (шумској простирци) у буковим шумама Србије. Познавање садржаја тешких метала у органском хоризонту (шумској простирци) је од великог значаја, пре свега због праћења тренда њиховог премештања кроз земљишни профил и утицаја на особине и генезу земљишта. Утврђивање квалитета земљишта у буковим шумама Србије обављен је у оквиру пројекта ИСР мониторинга шума, за ниво I, а по методологији UN/ECE-EC, 2000.

**Кључне речи:** тешки метали, органски хоризонти, букове шуме

### HEAVY METALS IN THE ORGANIC SOIL LAYER OF BEECH FORESTS IN SERBIA

**Abstract:** During the last decades, forest ecosystems have been strongly exposed to the effect of different harmful pollutants, especially from the atmosphere. Harmful substances from the air, in addition to the direct effect on forest trees, also deposit in the soil, and have an adverse effect on soil chemistry and pedogenetic processes. The results of previous studies in Serbia (Kadović, Knežević, 2002, 2004) show some

*др Ратко Кадовић, ред. професор, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд  
др Оливера Кошанин, асистент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд  
др Снежана Белановић, асистент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд  
др Милан Кнежевић, ред. професор, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд*

specificities regarding the accumulation and migration of heavy metals in the soil. The highest concentrations were found in the layers of forest litter and in the surface organo-mineral horizons. This paper presents the results of the study of heavy metal contents (Zn, Mn, Cu, Fe, Cd, Pb, Ni and Cr) in the organic horizon (forest litter) of beech forests in Serbia. The study of the heavy metal content in the organic horizon (forest litter) is very significant, primarily in the aim of monitoring the trend of their migration through the soil profile and the effect on the soil properties and genesis. The soil quality in beech forests in Serbia was assessed within the Project ICP Forest, Level I, by the methodology UN/ECE-EC, 2000.

**Key words:** heavy metals, organic horizons, beech forests

## 1. УВОД

Виталност шума, како у свету тако и код нас, нагло се погоршава услед повећане загађености ваздуха и прекограничног транспорта ваздушних полутаната. Међу свим хемијским загађивачима, тешки метали се разматрају као супстанце које имају посебан еколошки, биолошки и здравствени значај (Кадовић, Кнежевић, 2002, 2004).

Шумски екосистеми имају веома висок степен ретенције тешких метала, услед велике адсорптивне површине. Процесима суве и влажне депозиције, по правилу, повећава се садржај тешких метала у површинским хоризонтима земљишта. Слој простирке прихвата метале претходно акумулиране у лишћу или четинама. Слојеви простирке и површински органски слојеви показују највеће концентрације метала у шумским екосистемима (Vanmechelen *et al.*, 1997).

Природне концентрације једног или више елемената, под утицајем антропогеног фактора и даљинског транспорта полутаната, могу се значајно повећати, и могу премашити критичне или токсичне концентрације за одређени екосистем или компоненту екосистема.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Овим проучавањем су обухваћени узорци органског хоризонта (шумске простирке или стеље - О-хоризонт), који су системски распоређени у мрежи биоиндикацијских тачака за ниво I мониторинга (ICPF)<sup>1</sup>, у чистим и мешовитим шумама букве брдског и планинског појаса Србије. Узимање и припрема узорака извршена је према Методологији ИСР, део III, Узорковање и анализа земљишта (Хамбург, 1998).

Укупан садржај тешких метала (Zn, Mn, Cu, Fe, Cd, Pb, Ni и Cr) у хоризонту шумске простирке одређен је методом атомске апсорпционе спектрофотометрије на апарату „Varian AA-10” у лабораторији Шумарског факултета у Београду.

<sup>1</sup> Проучавања обављена на парцелама Нивоа I ИСР за шуме на подручју Србије 2003. године.

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати мерења (Кадовић, Кнежевић, 2002) садржаја тешких метала у шумским екосистемима Србије, указали су на неке специфичности у погледу акумулације појединих елемената у површинским слојевима и тренду њиховог премештања кроз земљишни профил. Наиме, слојеви шумске простирке и површински хоризонти, садрже највеће концентрације тешких метала. Исти аутори су утврдили да су четинарске шуме, посебно велики акцептори тешких метала, мада и лишћарске, у одређеним условима акумулирају знатне количине ових полутаната (шуме букве на Црном Врху код Бора) (Кнежевић *et al.*, 2000).

У овом раду анализиран је садржај тешких метала у шумској простирци букових шума Србије. Букове шуме су најзначајнији шумски екосистеми у Србији и имају веома велико вертикално и хоризонтално распрострањење. У укупној површини шума у средњем делу Србије букове шуме учествују са 47,11%, односно, са 50,40% по запремини (Медаревић *et al.*, 2005). Равнотежа између уношења и изношења ових полутаната показује да се концентрације појединих елемената у површинским слојевима земљишта, у глобалним размерама, повећавају у складу са ширењем индустријских и пољопривредних активности. Загађивање земљишта, како се наводи у бројним студијама, настаје, углавном, у индустријским подручјима, великим урбаним срединама и подручјима са интензивном пољопривредом.

Бројни резултати истраживања, такође, показују да су површински слојеви земљишта изложени како локалним, тако и регионалним (трансграничним) загађењима. Таложењем елемената на површини биљних органа почиње процес трансформације њихових форми у екосистему, а таложењем на земљишту (у органском хоризонту), укључују се у биохемијски циклус кружења елемената. Земљиште је најзначајнији рецептор тешких метала у терестричним екосистемима. Неповољни хемијски услови у земљишту, у зони кореновог система, могу изазвати дебаланс режима односа хранљивих материја и појединих токсичних елемената.

Земљиште, као компонента шумског екосистема, повезано је и утиче на остале компоненте. Ваздушна депозиција тешких метала антропогеног порекла утиче на промене хемизма, пре свега, органских слојева шумских земљишта, а по наводу Andrae (1996, према Vanmechelen *et al.*, 1997), тај процес је у Европи снажно изражен, а концентрације су повећане чак и у удаљеним и забаченим подручјима. На регионалном нивоу, у области југоисточне Европе, где се налази и Србија, концентрације олова у ваздуху су највеће и износе од  $2,5-10,0 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{god}^{-1}$ , а кадмијума од  $50-150 (500) \text{ g}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{god}^{-1}$  (Вуковић, 2000).

Шуме букве, чисте и мешовите, су у мрежи биоиндикацијских тачака за ниво I распоређене на 45 локалитета, где се уједно налазе најзначајнији шумски екосистеми у Србији, на различитим типовима земљишта и различитим матичним супстратима (табела 1). Садржај тешких метала у шумској простирци директно је условљен интензитетом таложења из атмосфере, условима станишта, типом земљишта и типом

вегетације. У ниским концентрацијама гвожђе (Fe), цинк (Zn), бакар (Cu) и манган (Mn) су есенцијално потребни биљкама. Олово (Pb), кадмијум (Cd), никал (Ni) и хром (Cr) у већини шумских екосистема не јављају се у изворном облику и немају значаја за исхрану биљака.

**Табела 1.** Локалитети са супстратима, типовима земљишта и продукцијом органске масе у заједницама букве у Србији

**Table 1.** Localities with bedrock, soil types and organic matter production in beech communities in Serbia

№	Локалитет Locality	Матични супстрат Bedrock	Земљиште Soil	Органска материја Organic matter
				<i>t·ha<sup>-1</sup></i>
3	Бачевци	кречњак	смеђе на кречњаку	30,18
4	Штавица	пешчар	кисело смеђе	37,39
9	Зајача Исток	кречњак	рендзина	25,24
13	Повлен	серпентинит	еутрично смеђе	29,34
16	Памбуковица	терц, јез. седименти	псеудоглеј	19,07
28	Потај Чука	кречњак	рендзина	29,12
31	Ујевац	андезит	еутрично смеђе	18,19
32	Северни Кучај	амфиболитски шкриљцац	еутрично смеђе	21,18
40	Светозарево	гнајс	кисело смеђе	19,70
43	Бељаница	кречњак	смеђе на кречњаку	16,63
44	Ариље	кречњак	еутрично смеђе	9,86
50	Брзова	шкриљци	кисело смеђе	15,90
51	Средња река	глинци	еутрично смеђе	32,82
52	Кладница	кристалести шкриљци	кисело смеђе	24,64
55	Будожела	кристалести шкриљци	кисело смеђе	7,23
56	Лазац	језерски седименти	олимеризовано земљиште	20,47
57	Горачићи	конгломерати	олимеризовано земљиште	23,88
58	Богутовачка бања	шкриљци	кисело смеђе	33,67
61	Гоч	шкриљци	кисело смеђе	32,22
62	Плеш	шкриљци	еутрично смеђе	38,88
63	Лепенац	пешчари	еутрично смеђе	24,22
64	Мозгово	шкриљци	кисело смеђе	37,09
69	Бела Паланка	кречњак	рендзина	13,62
72	Раденковац	пешчари	кисело смеђе	19,07

ТЕШКИ МЕТАЛИ У ОРГАНСКОМ СЛОЈУ ЗЕМЉИШТА БУКОВИХ ШУМА СРБИЈЕ

**Табела 1.** Локалитети са супстратима, типовима земљишта и продукцијом органске масе у заједницама букве у Србији

**Table 1.** Localities with bedrock, soil types and organic matter production in beech communities in Serbia

№	Локалитет Locality	Матични супстрат Bedrock	Земљиште Soil	Органска материја Organic matter
				$t \cdot ha^{-1}$
76	Рит Трнава	дацито андезити	кисело смеђе	14,72
79	Пролом	дацит	дистрични ранкер	23,81
85	Веља глава	контактни	еутрично смеђе	32,50
87	Црна трава	шкриљци	кисело смеђе	31,62
89	Џеп	шкриљци	еутрично смеђе	16,31
90	Горња љубата	филити	дистрични ранкер	31,44
95	Топли дол	пешчари	еутрични ранкер	27,02
96	Муховац	гнајс	кисело смеђе	34,18
99	Врањска бања	шкриљци	еутрично смеђе	25,92
8	Рудник	пешчари	кисело смеђе	29,37
6	Маљен I	серпентинит	еутрично смеђе	17,25
5	Мали јастребац	гнајс	кисело смеђе	21,65
24	Голија Међуречје	филити	смеђе подзоласто	10,12
25	Голија Каралић	филити	кисело смеђе	13,54
1	Кукавица I	шкриљци	смеђе подзоласто	7,91
2	Кукавица II	шкриљци	кисело смеђе	23,78
13	Књажевац	пешчари	дистрични ранкер	14,56
11	Честобродица	кречњак	црница на кречњаку	12,64
3	Муртеница	кречњак	црница на кречњаку	16,36
22	Тара Црни Врх	кречњак	рендзина	18,53
21	Тара I	кречњак	смеђе на кречњаку	18,53

Измерени садржаји проучаваних елемената у органским слојевима поређени су са просечним садржајима по Rademacher-у (2001), критичним вредностима према Vanmechelen-у и сарадницима (1997), и са максимално прихватљивим концентрацијама (MPC) према Кадовићу и Кнежевићу (2002).

Медиан вредности Zn, Mn, Cu, Fe, Cd, Pb, Ni и Cr, за органске слојеве земљишта у шумским екосистемима Србије, узети су из годишњег извештаја ICP Forests (2003).

**Табела 2.** Критеријуми са којима су поређени измерени садржаји тешких метала у органским слојевима у шумама букве у Србији

**Table 2.** Criteria of classifying the measured heavy metal contents in the organic layers of beech forests in Serbia

Елемент Element	Просечни садржаји за европска земљ. Average contents in European countries	Критичне вредности Critical value	МРС MAC
	Rademacher, 2001	Vanmechelen <i>et al.</i> , 1997	Kadović, Knežević, 2002
<i>mg·kg<sup>-1</sup></i>			
Cu	20,0	15,0	14,45
Zn	300,0	56,2	38,02
Mn	-	473,0	-
Fe	-	5.613,0	-
Cd	3,5	0,63	0,69
Pb	-	74,9	35,48
Ni	100,0	-	-
Cr	100,0	-	-

### 3.1. Кадмијум

Према мишљењу Kabata-Pendias и Pendias (1989) све концентрације кадмијума  $>0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  су антропогеног порекла. Проучавањима квалитета земљишта, у оквиру мониторинга шумских екосистема Србије, добијена је медиан вредност кадмијума за органске слојеве која износи  $1,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Концентрације Cd на истраживаним локалитетима у буковим шумама Србије, крећу се од  $0,19\text{-}1,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , са просечном вредношћу  $0,98 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Све измерене вредности налазе се испод просечног садржаја за Европске земље (Rademacher, 2001). Код 35 узорака органске материје утврђене су концентрације Cd веће од МРС вредности (Кадовић, Кнежевић, 2002) и веће од „критичне“ концентрације за биљке по Vanmechelen-у и сарадницима (1997), односно у 77,78% случајева, док је у свега 10 узорака, односно 22,22% случајева, измерена нижа концентрација.

Највеће концентрације Cd ( $1,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) измерене су на локалитету Зајача - Исток у органском хоризонту рендине на кречњаку. Иста концентрација кадмијума измерена је и на локалитету Врањска Бања у органском хоризонту еутричног смеђег земљишта на шкриљцу.

Најнижа концентрација Cd од  $0,19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  утврђена је на локалитету Тара-Црни Врх на рензини на кречњаку, и локалитету Голија-Каралић, на киселом смеђем земљишту на филитима.

### 3.2. Цинк

Према великом броју аутора (Adriano, 1986, Kastori, 1991, Kabata-Pendias, Pendias, 1989, и други), садржај укупног цинка у земљишту креће се од 10-300  $mg \cdot kg^{-1}$ . У шумским земљиштима Европе (Vanmechelen *et al.*, 1997), концентрације Zn у органским слојевима обично су мање од 100  $mg \cdot kg^{-1}$ , мада су мерене и вредности веће од 400  $mg \cdot kg^{-1}$ . Tyler (1992), према Vanmechelen-у и сарадницима (1997), сматра да је за хумусне слојеве шумских земљишта у Шведској критична концентрација цинка 300  $mg \cdot kg^{-1}$ . Медиан вредност Zn за органске слојеве, у шумским екосистемима Србије, износи 35,96  $mg \cdot kg^{-1}$ .

У шумској простирци букве, на подручју Србије, измерене концентрације Zn крећу се у границама од 22,45-108,04  $mg \cdot kg^{-1}$ , а просечан садржај је од 53,78  $mg \cdot kg^{-1}$ . Највећа концентрација Zn утврђена је у узорку са локалитета Тара-Црни Врх на рендзини на кречњаку, а најнижа у узорку са локалитета Памбуковица на псеудоглеју на терцијерним језерским седиментима. Све измерене концентрације цинка у узорцима шумске простирке букве у Србији, су ниже од „критичне” концентрације по Vanmechelen-у и сарадницима (1997). Код 36 узорака органске материје утврђене су концентрације Zn веће од „максимално прихватљивих“ (Кадовић, Кнежевић, 2002), односно у 80,0% случајева, док је у свега 9 узорака, односно 20,0% случајева, измерена нижа концентрација. Код 16 узорака шумске простирке (35,56%), утврђене су концентрације цинка веће од просечне вредности за земљишта Европе (Rademacher, 2001).

### 3.3. Бакар

Садржај укупног бакра у земљишту креће се од 2-100  $mg \cdot kg^{-1}$ , а приступачног 2-50  $mg \cdot kg^{-1}$  (Kastori, 1991). Медиан вредност Cu за органске слојеве, у шумским екосистемима Србије, износи 14,22  $mg \cdot kg^{-1}$ .

У простирци букових шума Србије измерене концентрације бакра крећу се од 5,99-81,91  $mg \cdot kg^{-1}$ , сапросечном вредношћу 16,85  $mg \cdot kg^{-1}$ . „Критична” концентрација Cu у органским слојевима (Vanmechelen *et al.*, 1997) измерена је у свега 9 узорака (20%). Код 27 узорака органске материје утврђене су концентрације Cu веће од „максимално прихватљивих“ 14,45  $mg \cdot kg^{-1}$  (Кадовић, Кнежевић, 2002), или у 60,0% случајева, док је у свега 18 узорака, односно 40,0% случајева, измерена нешто нижа концентрација. Поређењем добијених садржаја са просечном вредношћу за европске земље (Rademacher, 2001), код 22 узорака (48,89%) утврђене су нешто веће концентрације.

Највећа концентрација бакра (81,91  $mg \cdot kg^{-1}$ ) измерена је на локалитету Потај Чука на рендзини на кречњаку, док је следећа највећа концентрација Cu утврђена је локалитету Тара-Црни Врх и износи 28,51  $mg \cdot kg^{-1}$ . Код свега 8 узорака (20%) измерне концентрације бакра налазе се у границама од 20-28,51  $mg \cdot kg^{-1}$ . Најнижа

концентрација  $\text{Cu}$  од  $5,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  измерена је на локалитету Памбуковица, на псеудоглеју, на терцијрним језерским седиментима.

### 3.4. Манган

Према Vanmechelen-у и сарадницима (1997), у односу на друге микроелементе, манган је биљкама потребан у релативно великим количинама. Kabata-Pendias и Pendias (1989) предложили су за „критичну” концентрацију  $1.500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , при којој се могу јавити токсични симптоми на биљкама. Количина за биљке приступачног  $\text{Mn}$  у земљишту је утолико већа уколико су редокс потенцијал и вредност  $\text{pH}$  мањи, односно, што су услови за редукционе процесе у земљишту повољнији (Кадовић, Кнежевић, 2002). Медиан вредност  $\text{Mn}$  за органске слојеве, у шумским екосистемима Србије, износи  $1.322,90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

У узорцима шумске простирке букве, на истраживаним локалитетима у Србији, измерене концентрације  $\text{Mn}$  крећу се од  $512,64$ - $5.200,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Просечна концентрација мангана је  $1.627,83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Све измерене концентрације су веће од просечне вредности за европска земљишта (Rademacher, 2001). Највећа концентрација измерена је на локалитету Памбуковица у износу од  $5.200,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  на псеудоглеју на терцијрним језерским седиментима. Најнижа концентрација утврђена је на подручју Честобродице на црници на кречњаку. „Критичне” концентрације изнад  $1.500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Kabata-Pendias, Pendias, 1989), измерене су код 13 узорака, односно у 28,89% случајева.

### 3.5. Гвожђе

Гвожђе је веома значајан елемент минералне исхране биљака. Код карбонатних земљишта смањена је приступачност  $\text{Fe}$  биљкама, а када се јавља у већим концентрацијама постаје токсичан. Садржаји гвожђа у органским хоризонтима крећу се до  $10.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , мада могу бити и већи, чак и до  $50.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Vanmechelen *et al.*, 1997). На основу резултата проучавања за ниво II мониторинга, у шумским земљиштима Европе (Rademacher, 2001), средња вредност за  $\text{Fe}$  у органским слојевима износи  $5.613,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , минимална  $243,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , а максимална  $40.174,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

У шумским земљиштима Србије, у органским слојевима, концентрације  $\text{Fe}$  се налазе испод  $10.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , изузев код кисело смеђег земљишта у планинској шуми букве на Црном Врху, где износи  $20.068,58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Кадовић, Кнежевић, 2002). Медиан вредност  $\text{Fe}$  за органске слојеве, у шумским екосистемима Србије, износи  $2.240,10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

У узорцима простирке букве на подручју Србије, измерене концентрације  $\text{Fe}$  крећу се од  $588,66 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  до  $25.909,07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , са просечном вредношћу од  $3.448,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . У узорцима простирке букве са 36 (80,0%) локалитета у Србији, измерене су ниже концентрације  $\text{Fe}$  од просечних за европска земљишта (Rademacher, 2001). Поређењем утврђених концентрација са медиан вредношћу за органске

слојеве шумских екосистема Србије, можемо констатовати да су код 22 узорка (48,89%) утврђени нижи садржаји. Највеће концентрације Fe измерене су у узорцима са локалитета Тара-Црни Врх на рендзини на кречњаку, а најнижа на подручју Памбуковице на псеудоглеју на терцијерним језерским седиментима.

Концентрације Fe до  $10.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  утврђене су на 43 биоиндикацијске тачке односно код 95,56% узорака. Концентрација Fe веће од  $10.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  забележене су само на два локалитета: Кукавица I на смеђем подзоластом земљишту на филиту ( $12.668,92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) и Тара-Црни Врх на рендзини на кречњаку ( $25.909,07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

### 3.6. Олово

Природни садржај Pb у земљиштима потиче од матичног супстрата и обично је мањи од  $1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Олово је неесенцијални елемент минералне исхране биљака. Садржаји Pb у земљиштима  $>11,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Adriano, 1986) су антропогеног порекла, услед чега су баш површински хоризонти (органски слојеви) „најбогатији” овим елементом. Медиан вредност за концентрацију Pb у органским слојевима шумских земљишта Европе је  $41,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Vanmechelen *et al.*, 1997).

Према истраживањима Бурлице и сарадника (1997) и Кадовића и Кнежевића (2002), у органским слојевима букве на подручју Црног Врха код Бора утврђене су концентрације Pb које знатно премашују вредност од  $500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Медиан вредност концентрација олова у органским слојевима шумских екосистемима Србије, износи  $11,95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Према истраживањима Кадовића и Кнежевића (2002), „максимално прихватљива” концентрација олова за органски слој, за подручје Србије, износи  $35,48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (табела 2).

У шумској простирци букве, на подручју Србије, измерене су концентрације олова од  $3,99 - 108,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , са просечном вредношћу од  $25,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Код свега 8 узорака органске материје утврђене су концентрације Pb веће од „максимално прихватљиве концентрације” (Кадовић, Кнежевић, 2002), односно у 17,78% случајева. Ако упоредимо утврђене концентрације са просечном вредношћу по Rademacher-у (2001) дате у табели 2, можемо констатовати да су само у 2 узорка утврђени већи садржаји.

Највећа концентрација олова ( $108,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) измерена је на локалитету Зајача Исток, на рендзини, на кречњаку, док је најмања концентрација утврђена на подручју Памбуковице, на псеудоглеју, на терцијерним језерским седиментима ( $3,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

### 3.7 Никал

Како тврди Klocke (1974, према Цамић *et al.*, 1996), најчешћи садржај никла у земљишту креће се у границама  $10-50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Према истом аутору, гранично допуштена концентрација Ni у земљишту је  $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , мада се у новије време, по неким

изворима, често се користи концентрација од  $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Медиан вредност за Ni у органским слојевима шумских екосистема Србије износи  $17,86 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

На основу резултата истраживања на биоиндикацијским тачкама у Србији, у органским слојевима букве утврђени су садржаји никла од  $1,00\text{-}110,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , са просечном концентрацијом од  $21,48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . У 18 узорка шумске простирке измерене су концентрације Ni веће од медиан вредности за органске слојеве шумских екосистема Србије. Највећа концентрација измерена је на подручју локалитета Тара-Црни Врх на рендзини на кречњаку ( $110,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Високе концентрације никла измерене су и на локалитетима Маљен I, на еутричном смеђем земљишту на серпентиниту ( $108,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) и Бачевци, на смеђем земљишту на кречњаку ( $73,60\text{-}100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

Код највећег броја узорка (28, односно 62,22%) измерене су концентрације Ni до  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . У два узорка шумске простирке није детектовано присуство Ni и то на локалитетима Брзова, на киселом смеђем земљишту на шкриљцима, и Рит Трнава, на кисело смеђем земљишту на дацити-андезитима.

### 3.8. Хром

Садржаји хрома у земљишту крећу се у веома широким границама, од  $1\text{-}100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , а најчешће се крећу у распону од  $10\text{-}50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Клоксе (1974, према Цамић *et al.*, 1996). По истом аутору, „гранично допуштени” садржај Cr у земљишту је  $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Медиан вредност за садржај Cr у органским слојевима у шумским земљиштима Србије износи  $13,70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Концентрације хрома у шумској простирци букве на подручју Србије налазе се у границама од  $3,40\text{-}120,23 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , са просечном вредношћу од  $19,20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Највећи садржај хрома од  $120,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  измерен је у шумској простирци букве на локалитету Куковица I, на смеђем подзолостом земљишту на шкриљцима. Високе концентрације Cr утврђене су и на подручју локалитета Тара-Црни Врх, на рендзини на кречњаку ( $98,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Најнижа концентрација Cr утврђена је на локалитету Муртеница, на црници на кречњаку ( $3,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). У 22 узорка шумске простирке измерене су концентрације Cr веће од медиан вредности за органске слојеве шумских екосистема Србије. Код највећег броја узорка (32, односно 71,11%) измерене су концентрације Cr до  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

## 4. ЗАКЉУЦИ

Измерене концентрације тешких метала (Zn, Mn, Cu, Fe, Cd, Pb, Ni и Cr) у органским слојевима земљишта наших најзначајнијих шумских екосистема, јасно указују да је атмосферска депозиција главни извор ових елемената у шумским земљиштима. Ово је посебно значајно за Pb и Cd јер су њихове депозиције, на подручју наше земље, на нивоу средњих, односно највећих, у односу на остале земље

Европе. Акумулацијом у земљишту, тешки метали се укључују у биогеохемијске процесе кружења елемената, где подлежу различитим нивоима промена, које утичу на њихову покретљивост везивање и испирање или површински транспорт.

На основу резултата проучавања садржаја тешких метала у органском слоју букових шума Србије, можемо констатовати да су концентрације Pb у „максимално прихватљивим” границама (Кадовић, Кнежевић, 2002), док су садржаји Cd, Cu и Zn изнад ове границе, код већине узорака.

Поређењем добијених концентрација тешких метала са просечним садржајима за европска земљишта (Rademacher et al., 2001), можемо закључити да већина узорака има ниже концентрације Fe, Cu, Zn и Pb, док су садржаји Cd и Mn већи. Измерене концентрације Cu, Zn, Cd, Ni и Cr код већине узорака су ниже од „критичних” (Vanmechelen et al., 1997). Концентрације Ni и Cr, код највећег броја узорака, налазе се у границама до  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Добијени резултати представљају полазну основу за сагледавање тренутног стања садржаја тешких метала у органском слоју у буковим шумама Србије. Неопходна су даља истраживања која би омогућила сагледавање улоге тешких метала у одвијању низа реакција и процеса који доводе до промене природних (првобитних) својстава земљишта.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Adriano D.C. (1986): *Trace Elements in the Terrestrial Environment*, Springer, Verlag Inc., New York (1-517)
- Бурлица Ч., Кнежевић М., Кадовић Р., Јовић Н., Белановић С., Кошанин О. (1997): *Садржај неких тешких метала у шумским земљиштима Црној Врха и Голије, „Уређење, коришћење и очување земљишта“*, Југословенско друштво за проучавање земљишта, Нови Сад (166-171)
- Vanmechelen L., Groenemans P., Vanranst E. (1997): *Forest Soils Condition in Europe of Large-Scale Soil Survey*, 1997 Technical Report, EC, UN/ECE, Ministry of the Flemish Community, Bryssee - Geneva (259)
- Вуковић Т. (2000): *Measurements of heavy metals in precipitation at the Yugoslav GAW/EMEP/MED POL station (1991-1998)*, Workshops on harmonization of sampling and analyses for heavy metals, Ispra
- Devries W., Bakker D.J. (1998): *Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems*, Guidelines for critical limits, calculation methods and input data, DLO Windand Staring Centre, Report 166, Wageingen (1-144)
- Кабата-Pendias A., Pendias H. (1989): *Микроелементи в почвах и растениях*, Мир, Москва (1-439)
- Кадовић Р., Кнежевић М. (2002): *Тешки метали у шумским екосистемима Србије*, монографија, Шумарски факултет Универзитета у Београду и Министарство за заштиту природних богатстава и животне средине Републике Србије, Београд (1-279)
- Кадовић Р., Кнежевић М. (2004): *Мониторинг здравствености стања шума у Републици Србији*, Годишњи извештај ICP Forests 2003, Ниво I. Министарство науке и заштите

- животне средине Републике Србије - Управа за заштиту животне средине, Министарство Пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије - Управа за шуме, Београд (1-79)
- Кастори Р. (1991): *Физиологија биљака*, ИП Наука, Београд (1-495)
- Кнежевић М., Белановић С., Кошанин О., Кадовић Р. (2000): *Садржај тешких метала у шуми букве на Црном Врху и кишњака на Фрушкој Гори*, Земљиште и биљка № 1, Vol. 49, Београд (19-28)
- Медаревић М., Банковић С., Пантић Д., Петровић Н. (2005): *Стање букових шума у Србији*, „Буква у Србији“, Удружење шумарских инжењера и техничара Србије и Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд (49-71)
- Rademacher P. (2001): *Atmospheric heavy metals and forest ecosystems*, Federal research centre for forestry and forest products (BFH), UN/ECE, Geneva
- Џамић Р., Стевановић Д., Јаковљевић М. (1996): *Практикум из аирохемије*, Пољопривредни факултет Универзитета у Београду, Београд - Земун (93-95)

Ratko Kadović  
Olivera Košanin  
Snežana Belanović  
Milan Knežević

## HEAVY METALS IN THE ORGANIC SOIL LAYER OF BEECH FORESTS IN SERBIA

### Summary

The content of heavy metals (Zn, Mn, Cu, Fe, Cd, Pb, Ni and Cr) was studied in forest litter of beech forests in Serbia. Beech forests are the most significant forest ecosystems in Serbia, having a very large vertical and horizontal distribution. The results of heavy metal measurement in forest ecosystems in Serbia (Kadović, Knežević, 2002) indicate some specificities regarding the accumulation of individual elements in the surface layers and the trend of their migration through the soil profile. The highest concentrations were found in the layers of forest litter and in the surface horizons. Conifer forests are usually greater acceptors of heavy metals, although the research shows (Burlica *et al.*, 1997, Knežević *et al.*, 2000, Kadović, Knežević, 2002) that broadleaf forests, in the definite conditions, can accumulate considerable quantities of these pollutants, e.g. beech forests on Crni Vrh near Bor.

The measured heavy metal concentrations in the soil organic layers of our most significant forest ecosystems show that atmospheric deposition is the main source of these elements in forest soils. This is especially significant for Pb and Cd, because their deposition in Serbia is at the level of the mean, i.e. the highest depositions in other European countries. By the accumulation in the soil, heavy metals are included in the biochemical processes of cycling elements, where they are subject to different levels of changes, which affect their mobility, binding and leaching, or the surface transport.

Beech forests, pure and mixed, are in the Level I network of sampling points, distributed at 45 localities of the most significant forest ecosystems in Serbia, on different soil types and different bedrocks. The content of heavy metals in forest litter is directly conditioned by the deposition from the atmosphere, but indirectly it depends on the soil type, i.e. the uptaking of the elements of the soil solution and the accumulation in the foliage.

Based on the study results of the heavy metal content in organic layer of beech forests in Serbia, it can be concluded that Pb concentrations are within the “maximal acceptable concentrations” (Kadović, Knežević, 2002), while in most samples the contents of Cd, Cu and Zn are above this limit.

By the comparison of the study heavy metal concentrations with the average contents in the European soils (Rademacher *et al.*, 2001), it can be concluded that most samples have lower concentrations of Fe, Cu, Zn and Pb, while the contents of Cd and Mn are higher. The measured concentrations of Cu, Zn, Cd, Ni and Cr are lower than critical in most samples (Vanmechelen *et al.*, 1997). Ni and Cr concentrations in the greatest number of samples range up to 20 mg·kg<sup>-1</sup>.

The study results are the initial base for the study of the present state of heavy metal and microelement contents in the organic layer of beech forests in Serbia. Further study should be undertaken in the aim of identifying the role of heavy metals in a series of reactions and processes leading to the change of the natural (original) soil properties.

