

Kadović R., Belanović S., Knežević M., Danilović M., Košanin O., Beloica J. 2012. *Organic carbon stock in some forest soils in Serbia*. Bulletin of the Faculty of Forestry 105: 81-98.

Ратко Кадовић  
Снежана Белановић  
Милан Кнежевић  
Милорад Даниловић  
Оливера Кошанин  
Јелена Белоица

UDK: 630\*114.27 (497.11)  
Оригинални научни рад  
DOI: 10.2298/GSF111230002K

## САДРЖАЈ ОРГАНСКОГ УГЉЕНИКА У НЕКИМ ШУМСКИМ ЗЕМЉИШТИМА У СРБИЈИ

**Извод:** У овом раду се наводе резултати процене садржаја органског угљеника (C) у површинским слојевима (0-20 cm) у најзаступљенијим земљиштима шумских екосистема у централној Србији: еутричном ранкеру, еутричном камбисолу и дистричном камбисолу. Истраживања су базирана на узорковањима земљишта током 2003., 2004. и 2010. године. Лабораторијске анализе су обухватиле одговарајућа физичка и хемијска својства земљишта, неопходна за квантификовање земљишног органског угљеника у органским и минералним слојевима земљишта. Средње вредности количине органског угљеника (SOC) у органским хоризонтима проучаваних земљишта, варирају између:  $1,01 \pm 0,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (дистрични камбисол),  $0,90 \pm 0,41 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (еутрични ранкер) и  $0,94 \pm 0,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (еутрични камбисол). Просечне вредности количине органског угљеника у минералним слојевима (0-20 cm) се крећу између:  $3,83 \pm 1,70 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (дистрични камбисол),  $6,26 \pm 3,41 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (еутрични ранкер) и  $4,36 \pm 1,91 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (еутрични камбисол). Просечна вредност количине органског угљеника, укупно за проучавана земљишта (органске и минералне слојеве)

*др Ратко Кадовић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

*др Снежана Белановић, доцент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (e-mail: snezana.belanovic@sfb.bg.ac.rs)*

*др Милан Кнежевић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

*др Милорад Даниловић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

*др Оливера Кошанин, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд  
дипл. инж. Јелена Белоица, истраживач приправник, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

износи  $5,77 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . У раду се разматрају методолошки аспекти регионалне процене садржаја земљишног органског угљеника као потенцијала за коришћење у програму националне инвентуре шума.

**Кључне речи:** хумусно-силикатна земљишта, смеђа земљишта, минерални слој, органски угљеник

#### ORGANIC CARBON STOCK IN SOME FOREST SOILS IN SERBIA

**Abstract:** The content of organic carbon (C) was researched in topsoil layers (0-20 cm) in the most represented soils of forest ecosystems in central Serbia: eutric ranker, eutric cambisol and dystric cambisol. The soils were sampled during 2003, 2004 and 2010. Laboratory analyses included the soil physical and chemical properties necessary for the quantification of the soil organic carbon in organic and mineral layers. Mean values of the soil organic carbon (SOC) stores in organic horizons of the study soils varied between:  $1.01\pm 0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (dystric cambisol),  $0.90\pm 0.41 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (eutric ranker) and  $0.94\pm 0.36 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (eutric cambisol). Average values of organic carbon in mineral layers (0-20 cm) ranged between:  $3.83\pm 1.70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (dystric cambisol),  $6.26\pm 3.41 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (eutric ranker) and  $4.36\pm 1.91 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (eutric cambisol). The average value of total organic carbon stock in the study soils (both organic and mineral layers) was  $5.77 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . This paper addresses the methodological aspects of regional estimation of soil organic carbon content as the potential to be applied in the National Forest Inventory Program.

**Key words:** humus-siliceous soils, brown soils, mineral layer, organic carbon

## 1. УВОД

Садржај органског угљеника и његове промене представљају један од основних индикатора стања терестричних екосистема. Познато је да земљишта имају кључну улогу у глобалном балансу угљеника (Schimel *et al.*, 1994, Liski *et al.*, 1999, Gardina, Ryan, 2000, Post, Kwon, 2000). Тако, према Woїick-у (1999), земљиште је основни акумулатор угљеника, односно, у земљишту угљеника има 4,2 пута више него у атмосфери. Због тога су прорачуни промена садржаја угљеника у земљишту саставни део инвентара емисија у оквиру сектора LULUCF (2003), као део обавезе за транспарентан извештај о емисији гасова са ефектом стаклене баште (GHG), у оквиру Конвенције УН о промени климе (UNFCCC).

Шумски екосистеми садрже више угљеника по јединици површине него било који други тип коришћења земљишног простора, а земљишта шумских екосистема садрже око 40% укупног угљеника, тако да имају велики значај у систему управљања шумама (Robert, 2001).

У погледу статуса угљеника, шумска земљишта могу бити извор емисије угљеника, али и његов акумулатор, а флуксеви угљеника су изложени специфичној дневној, сезонској и годишњој динамици. Међутим, од посебног значаја су дугорочне промене резерви угљеника на регионалној/националној основи. Регионалне/националне процене резерви угљеника у земљишту, генерално, представљају изазов

услед широке природне варијабилности садржаја земљишног органског угљеника. Висока просторна и временска хетерогеност земљишних процеса и њихови дугорочни ефекти представљају посебан значај. Акумулација угљеника у шумским екосистемима обухвата бројне компоненте укључујући биомасу и земљиште. Количина угљеника која се задржи у шумским екосистемима условљена је бројним факторима, међу којима су најважнији они који утичу на прираст биомасе. Променама у коришћењу шумских, или пашњачких земљишта, трансформишу се велике површине и тако се мењају резерве и кружење угљеника. Садржај органског угљеника у површинском слоју земљишта прихваћен је као индикатор квалитета земљишта, како у пољопривреди тако и уопште за животну средину (2005).

Органски земљишни угљеник је део земљишне органске материје. Количина земљишне органске материје варира зависно од типа земљишта, дубине из земљишних хоризоната. Највећи део угљеника се одржава у органским земљиштима. За већину минералних земљишта, заједничко је да се садржај земљишне органске материје експоненцијално смањује са дубином земљишта, али за већину земљишта, највећа концентрација по јединици површине је у О-хоризонтима (Cienciala *et al.*, 2006).

Циљ овог рада је процена количина органског угљеника у органским и површинским минералним слојевима (0-20 cm) у најзаступљенијим шумским земљиштима централне Србије. Процена је базирана на три периода узорковања земљишта током јесени 2003., 2004. и 2010. године. Проучавањима су обухваћени: еутрични ранкер, еутрична и дистрична смеђа земљишта.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

### 2.1. Подручје проучавања

Проучавања су вршена у шумским екосистемима на подручју централне Србије. У већем броју су заступљене лишћарске од четинарских шума, а налазе се у различитим условима станишта, који су условљени климатским и едафским факторима. Према EUNIS класификацији (NATURA - 2000) проучавања су вршена у следећим типовима станишта: G1.69, G1.76, G1.75, G1.C3, G3.4C, G3.52, G4.6, G1.91, G1.73 и G1.A1.

За опис карактеристика климе, изабрани су средње годишње температуре ваздуха и средња годишња количина падавина за период 1961-1990. године. Према анализама Републичког хидрометеоролошког завода (2011/а), клима Србије се може описати као умерено-континентална са мање или више израженим локалним карактеристикама. Просторна расподела параметара климе условљена је географским положајем, рељефом и локалним утицајем, расподелом ваздушног притиска већих размера, експозицијом терена, присуством речних система, вегетацијом, урбанизацијом и другим факторима.

Просечна годишња температура ваздуха за период 1961-1990. године за подручја са надморском висином до 300 *m* износи 10,9°C. Подручја са надморском висином од 300-500 *m* имају просечну годишњу температуру око 10,0°C, а преко 1.000 *m* надморске висине око 6,0°C.

Годишње суме падавина у просеку расту са надморском висином. У нижим пределима годишња висина падавина се креће у интервалу од 540-820 *mm*. Подручја са надморском висином преко 1000 *m* просечно имају 700-1.000 *mm* падавина, а неки планински врхови на југозападу Србије обилније падавине до 1.500 *mm*. Већи део Србије има континентални режим падавина, са већим количинама у топлијој половини године, изузев југозападних крајева где се највише падавина измери у јесен. Најкишовитији је јуни, када у просеку падне 12-13% од укупне годишње суме падавина. Најмање падавина има у фебруару и октобру. Појава снежног покривача карактеристична је за хладнији део године од новембра до марта, а највећи број дана са снежним покривачем је у јануару.

## 2.2. Проучавања земљишта

Проучавањима су обухваћена шумска земљишта укупно 68 педолошких профила (31 - еутрично смеђе земљиште, 25 - дистрично смеђе земљиште и 12 - еутрични ранкер), из којих су узети узорци према критеријумима Методологије ИСР (2006). Приступу за процену садржаја угљеника, захтевају прецизно и транспарентно узорковање земљишта. Применом оваквог поступка, свако поновљено узорковање се обавља у довољно дугом временском периоду чиме се обезбеђују критичне информације о дугорочним променама садржаја угљеника у земљишту.

Узорци земљишта су узети из органских слојева и са фиксних дубина, из следећих слојева: органског, 0-5 *cm*, 5-10 *cm*, 10-20 *cm*. Анализирана су основна својства ових земљишта, као и њихов потенцијал акумулације угљеника у појединим слојевима земљишног профила.

Лабораторијска проучавања земљишта вршена су према Методологији ИСР за Ниво I. Хемијске анализе су рађене за органске и минералне слојеве земљишта. Садржај органског угљеника одређен је у органским слојевима по методи Anstet у модификацији Ponomareva и Plotnikove (1975), а у минералним слојевима по методи Тјурина (Ponomareva, Plotnikova, 1975). Укупан азот одређен је макрометодом Kjeldalh. Поред хемијских, урађене су и анализе механичког састава земљишта, пирофосфатном Б-методом. Густина земљишта је одређена у ненарушеном узорку у цилиндрима по Копецком (Вошњак, 1997). Када густина земљишта није мерена, прорачун је извршен помоћу једначине Adama (2006).

## 2.3. Прорачун садржаја угљеника у земљишту

Прорачун количине органског угљеника (SOCD) за сваки профил земљишта извршен је према формули (Vladimir *et al.*, 2003):

$$SOC_D = \sum_{i=1}^n \left( SOC_i \cdot BD_i \cdot T_i \cdot \left( 1 - \frac{C_i}{100} \right) \right), \dots \dots \dots (1)$$

где су:  $SOC_D$  - количина земљишног органског угљеника [ $kg \cdot m^{-2}$ ],  $T_i$  - дебљина слоја земљишта [ $cm$ ],  $BD_i$  - густина сувог земљишта [ $g \cdot cm^{-3}$ ],  $SOC_i$  - садржај земљишног органског угљеника [ $g \cdot kg^{-1}$ ] и  $C_i$  - процентуално учешће фракције  $>2 \text{ mm}$  у слоју  $i$ , респективно.

Густина сувог земљишта ( $BD$ ), где није мерена, израчуната је према једначини Adama (2006):

$$BD = \frac{100}{\frac{OM}{0,244} + \frac{100 - OM}{MBD}}, \dots \dots \dots (2)$$

где су:  $OM$  - садржај органске материје (у %) и  $MBD$  - густина земљишта минералних слојева.

## 2.4. Статистичке анализе

Аналитички подаци појединих својстава земљишта обрађени су уз примену одговарајућих математичких и статистичких метода међу којима су кумулативне фреквенције, анализа варијансе, методе регресије и корелације. Анализа варијансе у овим истраживањима коришћена је за испитивање значајности разлика између садржаја угљеника, укупних садржаја азота и садржаја глине у појединим типовима земљишта. Анализа варијансе је вршена уз примену  $F$ -теста и  $LSD$ -теста, на нивоу вероватноће 95%. За јачину везе је коришћена расподела Reomer-Orphal.

## 3. РЕЗУЛТАТИ

### 3.1. Количина угљеника у површинским слојевима земљишта

Количине угљеника у органским и минералним слојевима (0-20  $cm$ ) проучаваних земљишта приказане су у табелама 1 и 2.

**Табела 1.** Количина угљеника у органским слојевима (0-20  $cm$ ) земљишта  
**Table 1.** Carbon content in soil organic layers (0-20  $cm$ )

Тип земљишта Soil type	Просечни садржај SOCD Average content SOCD	<i>min</i>	<i>max</i>
	$kg \cdot m^{-2}$		
дистрична смеђа земљишта	1,01±0,4	0,27	1,6
еутрични ранкери	0,90±0,41	0,19	1,56
еутрична смеђа земљишта	0,94±0,36	0,37	1,70

**Табела 2.** Количина угљеника у минералним слојевима (0-20 cm) земљишта  
**Table 2.** Carbon content in soil mineral layers (0-20 cm)

Тип земљишта Soil type	Просечни садржај SOCD Average content SOCD	<i>min</i>	<i>max</i>
	<i>kg·m<sup>-2</sup></i>		
дистрична смеђа земљишта	3,83±1,70	1,56	9,29
еутрични ранкери	6,26±3,41	1,39	15,01
еутрична смеђа земљишта	4,36±1,91	1,52	9,91

На основу анализе кумулативне фреквенције садржаја угљеника у проучаваним земљиштима, добијене су вредности садржаја угљеника у минералним слојевима за одређене перцентиле (табела 3).

**Табела 3.** Анализа кумулативне фреквенције садржаја угљеника у проучаваним земљиштима

**Table 3.** Analysis of carbon cumulative frequency in the study soils

	Дистрична смеђа земљишта (DC) Dystric brown soils (DC)			Еутрична смеђа земљишта (EC) Eutric brown soils (EC)			Еутрични ранкери (EL) Eutric rankers (EL)		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
<i>min</i>	0,77	0,33	0,45	0,66	0,31	0,23	0,62	0,30	0,47
5	11,8	3,9	3,8	12,5	1,8	1,5	10,4	3,3	0,9
25	21,1	7,5	6,7	22,5	8	5,6	22,6	8,8	7,8
50	30,3	12,8	8,4	32,4	15,6	10,6	34,5	19,1	18,4
75	40,1	20,9	11,9	41,2	23,7	16,3	46,9	35	31,8
90	47,8	32,7	21	47,9	32,4	21,8	57,2	47	45,8
<i>max</i>	3,55	2,08	3,66	3,62	2,72	3,57	5,14	3,83	6,03
<i>n</i>	26	26	26	29	29	29	13	13	13

Испитивање статистички значајних разлика између садржаја угљеника и азота проучаваних земљишта приказано је у табели 4. Резултати анализе варијансе (*F*-тест) и извршеног тестирања (*LSD*-тест) показују да између еутричног ранкера и смеђих земљишта постоје статистички значајне разлике на нивоу значајности 95% у садржају укупног угљеника и укупног азота.

Испитивањем статистички значајних разлика на нивоу значајности 95% утврђене су значајне разлике између садржаја угљеника у површинском слоју 0-5 cm и дубљих слојева код свих типова земљишта, а издвојене хомогене групе приказане су у табели 5.

САДРЖАЈ ОРГАНСКОГ УГЉЕНИКА У НЕКИМ ШУМСКИМ ЗЕМЉИШТИМА...

**Табела 4.** Анализа варијансе садржаја угљеника и азота између типова земљишта  
**Table 4.** Analysis of variance of carbon and nitrogen stocks in soil types

Тип земљишта Soil type	C		N	
<i>F</i>	4,52		7,67	
<i>p</i>	0,0121		0,0001	
	Средња вред.	Хомогеност	Средња вред.	Хомогеност
DC	23,84	*	2,09	*
EC	26,19	*	2,40	*
EL	37,43	*	3,41	*

$p=0,05$ ,  $n=26$  (DC),  $n=29$  (EC),  $n=13$  (EL)

**Табела 5.** Анализа варијансе садржаја угљеника и азота за минералне слојеве проучаваних земљишта

**Table 5.** Analysis of variance of carbon and nitrogen stocks in mineral layers

	C		N		
	<i>F</i>	9,92	<i>F</i>	7,52	
	<i>p-value</i>	0,0000	<i>p-value</i>	0,0000	
<i>LSD-test</i>					
Земљиште Soil	Средина Mean	Хомогена група Homogeneous group	Земљиште Soil	Средина Mean	Хомогена група Homogeneous group
DC 10-20 cm	11,59	*	DC 10-20 cm	1,34	*
EC 10-20 cm	14,26	**	EC 10-20 cm	1,64	**
DC 5-10 cm	19,18	**	DC 5-10 cm	1,90	**
EC 5-10 cm	22,15	**	EC 5-10 cm	2,25	**
EL 10-20 cm	25,89	**	EL 10-20 cm	2,68	**
EL 5-10 cm	33,7	**	EL 5-10 cm	3,04	**
DC 0-5 cm	40,75	**	DC 0-5 cm	3,07	**
EC 0-5 cm	41,01	**	EC 0-5 cm	3,30	*
EL 0-5 cm	53,96	*	EL 0-5 cm	4,48	*

$p=0,05$ ,  $n=26$  (DC),  $n=29$  (EC),  $n=13$  (EL)

Утврђена је регресиона зависност садржаја угљеника и азота са дубином земљишта (табела 6). Функцијом  $Y=e^{a-bH}$  објашњена је веза између садржаја угљеника и дубине земљишта као веза између садржаја азота и дубине земљишта. Коefицијент корелације показује средњу јачину везе код дистричног смеђег земљишта док код еутричног ранкера и еутричног смеђег земљишта показује јаку везу. На слици 1, приказана је зависност садржаја угљеника са дубином земљишта, а на слици 2, зависност садржаја азота са дубином земљишта.

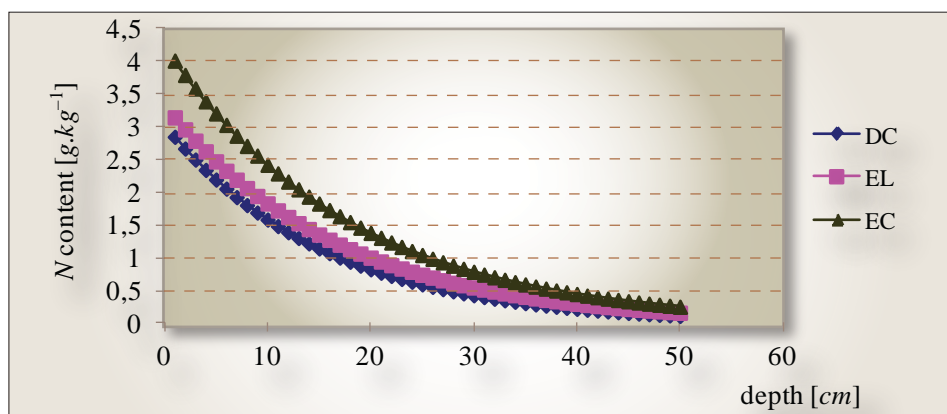
Веза између садржаја угљеника и односа  $C/N$  у етричном ранкеру објашњена је функцијом  $Y=a+b\cdot X$ , и показује јаку везу. Функцијом  $Y=a\cdot b^X$  објашњена је веза између садржаја угљеника и односа  $C/N$  у етричном смеђем земљишту са средњом јачином везе, док је у дистричном камбисолу објашњена функцијом  $Y=a+b\cdot \ln X$  слабом јачином везе.

**Табела 6.** Резултати регресионе анализе садржаја угљеника и азота са дубином и садржаја угљеника и односа  $C/N$

**Table 6.** Results of regression analysis of carbon and nitrogen contents and depth, and carbon content and  $C/N$  ratio

Земљиште Soil	$a$	$b$	$R$	$p$	$F$	Средина Mean
C						
EC	3,726	0,099	-0,70	0,000	70,74	0,52
EL	3,75	0,090	-0,63	0,000	56,73	0,58
DC	3,827	0,058	-0,39	0,017	6,31	0,73
N						
EC	1,113	0,065	-0,57	0,000	36,78	0,48
EL	1,207	0,060	-0,52	0,000	30,83	0,52
DC	1,446	0,056	-0,34	0,032	4,92	0,81
C/N						
EC	2,99	0,82	0,41	0,027	5,43	0,47
EL	-55,09	8,615	0,62	0,024	6,74	21,8
DC	-13,52	14,21	0,25	0,208	1,67	11,18

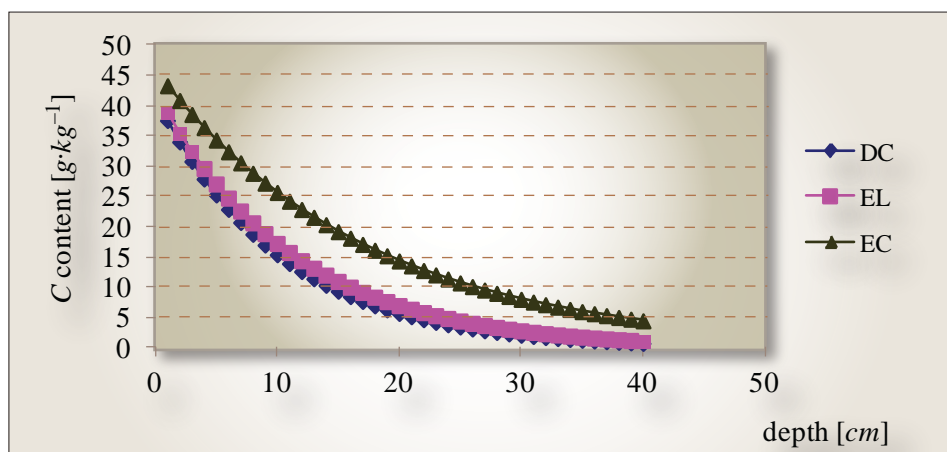
$a, b$  - параметри функције,  $p$  - ниво поверења,  $F$  - вредност Фишерове статистике,  $R$  - коефицијент корелације



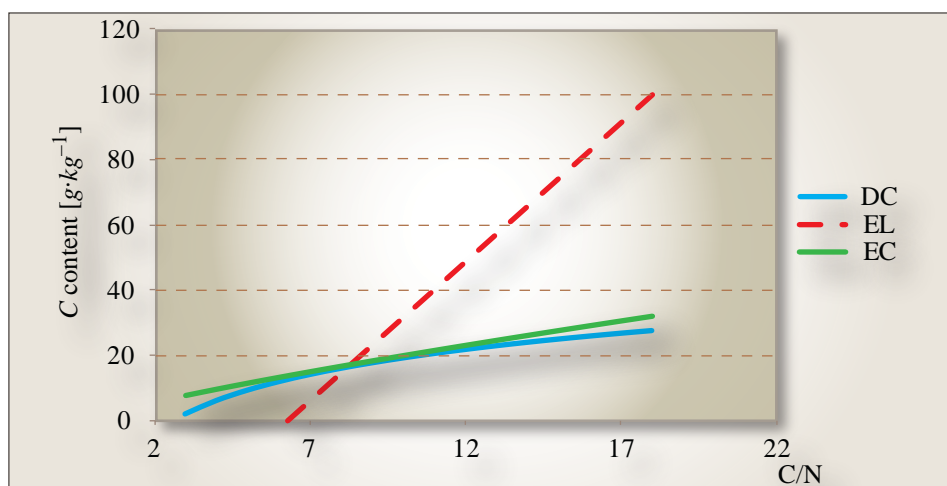
**Слика 1.** Зависност садржаја угљеника од дубине профила

**Figure 1.** Dependence of carbon content on profile depth





Слика 2. Зависност садржаја азота од дубине профила  
 Figure 2. Dependence of nitrogen content on profile depth



Слика 3. Зависност садржаја угљеника од односа C/N  
 Figure 3. Dependence of carbon content on C/N ratio

### 3.2. Зависност садржаја глине и количине органског угљеника у земљиштима

Испитивањем статистички значајних разлика на нивоу значајности 95%, утврђено је да према садржају глине проучавана земљишта припадају различитим хомогеним групама (табела 7).

Реципрочном једначином објашњена је веза између садржаја глине и садржаја угљеника у проучаваним земљиштима, и мултиплом код еутричног ранкера у слоју 10-20 *cm* и експоненцијалном у слоју 10-20 *cm* код еутричног смеђег земљишта

(табела 8). Коэффициент корелације показује средњу јачину везе код еутричног ранкера док код еутричног и дистричног смеђег земљишта показује јако слабу везу.

**Табела 7.** Анализа варијансе садржаја глине за минералне слојеве проучаваних земљишта  
**Table 7.** Analysis of variance of clay content in mineral layers

<i>F</i>			4,06	<i>F</i>			5,31	<i>F</i>			5,43
<i>p</i>			0,022	<i>p</i>			0,0074	<i>p</i>			0,0066
0 – 5 cm			5 – 10 cm			10 – 20 cm					
Земљиште Soil	Средина Mean	Хомог. група Homogeneous group	Земљиште Soil	Средина Mean	Хомог. група Homogeneous group	Земљиште Soil	Средина Mean	Хомог. група Homogeneous group			
DC	15,53	*	DC	15,08	*	DC	16,04	*			
EL	19,51	* *	EL	22,28	*	EL	22,9	* *			
EC	21,24	*	EC	23,36	*	EC	25,5	*			

$p=0,05, n=26$  (DC),  $n=29$  (EC),  $n=13$  (EL)

**Табела 8.** Зависност између садржаја угљеника и садржаја глине  
**Table 8.** Dependence between carbon content and clay content

Земљиште Soil	Једначина регресије Regression equation	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	Средина Mean
0-5 cm					
DC	$C = 5,76 - \frac{22,93}{G}$	-0,196	0,348	0,92	2,218
EC	$C = \frac{1}{0,381 - 0,00313 \cdot G}$	-0,218	0,256	1,35	0,16
EL	$C = \frac{1}{0,4983 - 0,0116 \cdot G}$	-0,498	0,083	3,65	0,160
5-10 cm					
DC	$C = \frac{1}{0,479 + 0,01452 \cdot G}$	0,227	0,275	1,25	0,336
EC	$C = \frac{1}{0,7805 - 0,0067 \cdot G}$	-0,210	0,263	1,31	0,38
EL	$C = 4,611 - \frac{22,3}{G}$	-0,288	0,339	1,0	2,5
10-20 cm					
DC	$C = \frac{1}{0,877 + 0,0130 \cdot G}$	0,169	0,418	0,68	0,462
EC	$C = e^{0,0133 + 0,0057 \cdot G}$	0,112	0,562	0,34	0,68
EL	$C = 0,393 \cdot G^{0,54299}$	0,380	0,199	1,87	0,76

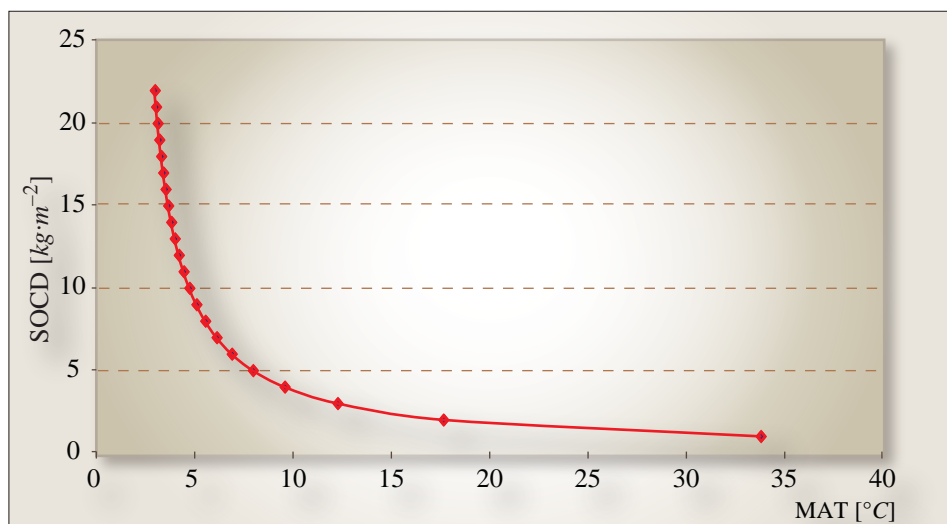
$p=0,05, n=26$  (DC),  $n=29$  (EC),  $n=13$  (EL)

### 3.3. Зависност између количине органског угљеника и средње годишње температуре ваздуха

Реципрочном једначином објашњена је веза између количине органског угљеника и средње годишње температуре ваздуха (MAT):

$$SOC_D = 1,471 + \frac{32,32}{MAT} \dots \dots \dots (3)$$

Коефицијент корелације показује средњу јачину везе између SOC<sub>D</sub> и MAT на нивоу поверења 99%.



Слика 4. Зависност количине органског угљеника и средње годишње температуре ваздуха

Figure 4. Dependence of organic carbon content and mean annual air temperature

## 4. ДИСКУСИЈА

Дрвеће и друге биљке усвајају угљен-диоксид из атмосфере и користе за свој раст у процесу фотосинтезе. Ово доводи до смањења концентрација угљен-диоксида у атмосфери и доприноси редуковању ефекта стаклене баште. Дрвеће користи усвојени (везани) угљеник за раст лишћа, стабала, коре и корена. Количина угљеника у шумским земљиштима се, такође, повећава током времена. Систем везивања угљеника током периода активног прираста дрвећа назива се акумулација угљеника (енг. carbon sink).

Акумулација угљеника у шумама обезбеђује практичан допринос у напорима да се редукују емисије GHG на националном нивоу у атмосферу, као и

потенцијалном доприносу осталим економским циљевима и циљевима везаним за животну средину Србије. Добро планирање активности може, такође, да допринесе систему управљања природним ресурсима, унапређивању биодиверзитета, побољшању квалитета земљишта и вода.

До 2003. године, у Србији анализе и процене садржаја угљеника у шумским земљиштима су имале екстензиван карактер, а проучавања су се вршила парцијално, у оквиру појединих научних пројеката. Систематске анализе и процене садржаја угљеника у Србији се врше од 2003. године, када је успостављен систем мониторинга ICPF за Ниво I. Успостављена је мрежа од 106 биондикацијских парцела у мрежи 16×16 km. Током 2004. године мрежа биондикацијских парцела је допуњена са 27 парцела у мрежи 4×4 km, са циљем да се обухвате најважније врсте шумског дрвећа и успостави равнотежа између државних и приватних шума.

Године 2006. у Србији (без КиМ) је завршена Национална инвентура шума (NFI), што је омогућило израду реалнијих и стању шума примеренијих макроекономских планова и Националног шумарског програма. NFI је методолошки дефинисан обим информација, компатибилан са стандардима и искуствима европских земаља и међународних организација које се баве мониторингом шумских екосистема на регионалном и глобалном нивоу (Banković *et al.*, 2009). У NFI су наведене резерве угљеника у односу на порекло шума и у односу на најзаступљеније врсте дрвећа. Методолошки је дефинисан поступак одређивања и заступљености шумске простирке по инвентурној јединици и процес хумификације. Међутим, у инвентури није јасно наведена веза са системом мониторинга ICPF за Ниво I, са поступком ширег описа и узорковања, како органских слојева, тако и површинских, минералних слојева земљишта. У програму следеће Националне инвентуре шума, неопходно је да се, методолошки, успостави веза са програмом мониторинга ICPF.

#### 4.1. Количина угљеника у површинским слојевима земљишта

Полазећи од наведених прорачуна, према средњим вредностима, количине органског угљеника у проучаваним земљиштима (органским и минералним слојевима) су: 7,16 kg·m<sup>-2</sup> у еутричном ранкеру, 5,30 kg·m<sup>-2</sup> у еутричном камбисолу и 4,84 kg·m<sup>-2</sup> у дистричном камбисолу. Просечне вредности количине органског угљеника у минералним слојевима (0-20 cm) се креће између: 3,83±1,70 kg·m<sup>-2</sup> (дистрични камбисол), 6,26±3,41 kg·m<sup>-2</sup> (еутрични ранкер) и 4,36±1,91 kg·m<sup>-2</sup> (еутрични камбисол).

Према изворима из стране литературе, као компаративна информација, наводе се следећи подаци: према приручнику за потребе инвентара емисија за LULUCF сектор (2003), наведене су вредности количине земљишног органског угљеника (SOC) у горњих 30 cm земљишта. Ове вредности варирају од 1,7-4,2 kg·m<sup>-2</sup> за органске слојеве и од 5,0-9,5 kg·m<sup>-2</sup> за минералне слојеве. Без обзира што је у овим проучавањима узет слој од 20 cm, може се констатовати да у значајној мери кореспондирају са њима. Према подацима за шумска земљишта у Швајцарској,

количина органског угљеника у органским слојевима се креће до  $3,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  и  $3,6\text{--}15,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  за минералне слојеве. Varitz и сарадници (2005) наводе податке проучавања из западне и централне Европе. Вредности садржаја органског угљеника за Немачку и Аустрију варирају од  $1\text{--}3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  у камбисолима и глејним земљиштима и са нешто већим вредностима за подзоле. За минералне слојеве до 20 и 30 cm резерве C се крећу од  $2\text{--}12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  у смеђим, лесивираним, подзоластим и глејним земљиштима. Lettens (2005) наводи да за подручје Белгије просечан садржај SOC у слоју до 30 cm у земљишту лишћарских шума износи  $8,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  у земљиштима четинарских шума  $9,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , а мешовитих  $9,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Однос C/N у појединим земљиштима указује на одређену правилност њиховог географског распрострањења на биоклиматској основи. Уколико је однос угљеника према азоту ужи минерализација је бржа а количина органског угљеника мања. Хумус минералних хоризоната одликује се значајно ужим односом C/N у односу на органске хоризонте. Особине хумусних материја су последица различитих општих особина екосистема у ком су формиране, али оне, такође, повратно утичу на земљиште (Piccolo, 2001).

Међутим, органска материја земљишта представља сложену хетерогену мешавину остатака биљака и микроорганизама различитог степена деструкције и разложености, нискомолекуларних и високомолекуларних продуката рападања и синтезе, новообразованих и старих, делимично или потпуно стабилизираних хумусних материја (Semenov *et al.*, 2004), односно, органска материја земљишта представљена је неспецифичним (не хумифицираним) и специфичним (хумифицираним) органским материјама, тј. земљишним хумусом.

Код сва три проучавана типа земљишта (еутричног хумусно силикатног земљишта, дистричног и еутричног смеђег земљишта) расте садржај органског угљеника у минералном слоју од 0-20 cm, са ширењем односа C/N. При томе највеће повећање количине органског угљеника, са ширењем односа C/N, утврђено је код еутричног хумусно силикатног земљишта.

Имајући у виду добијене резултате можемо закључити да у хумусно силикатном земљишту имамо веома интензивну акумулацију органских материја неспецифичне природе, које не садрже азот, због чега је однос C/N широк. Неспецифичне органске материје у земљишту служе као сировина за образовање специфичних (правих) хумусних материја, а минерализацијом дају хранљиве материје за биљке. Највећа количина органског угљеника утврђена је у минералном слоју (0-20 cm) еутричног хумусно силикатног земљишта, добијени резултати су у складу са доминантним педогенетским процесом у овом земљишту- хумизацијом, образовањем и акумулацијом органских материја. Код дистричног смеђег земљишта утврђене су најмање количине органског угљеника у минералним хоризонтима што је резултат ацидификације.

#### 4.2. Ефекти садржаја глине на количину органског угљеника

Текстура земљишта значајно утиче на динамику угљеника у земљишту. Велика активна површина фракције глине и праха утиче на формирање органоминералних комплекса и на тај начин спречавају учешће угљеника у микробиолошким процесима оксидације (Lal, 2005). Тако се декомпозиција органске материје брже врши у песковитим него у глиновитим земљиштима. Разлике у садржају угљеника у земљишту под различитим типовима шума релативно су мале (<0,23% годишње). Садржаји угљеника у минералним слојевима земљишта су различити у различитим типовима шума не само због разлика у количини шумског отпада већ и самог премештања С кроз земљиште. С једне стране, падавине и клима су најбољи показатељи укупног органског угљеника у површинском слоју од 20 cm земљишта, док је садржај глине најбољи показатељ у дубљим слојевима (Jobbágy, Jackson, 2000). Пошто су резерве угљеника снажно повезане са честицама глине и аморфним минералима, којима се везује и тако стабилише органска материја (Torn *et al.*, 1997).

Стабилна земљишна структура за одређено земљиште налази се у функцији од интеракције између органске и минералне материје (глина, калцијум, алумосиликати и оксиди), начина везивања земљишних компоненти и еколошких фактора попут земљишне аерације (Avnimelech, Cohen, 1988) и темпетатуре.

У проучаваним земљиштима у површинском слоју 0-5 cm утицај глине на садржај угљеника израженији у односу на слој 5-20 cm. Образовање стабилних глинено-хумусних комплекса, праћено је интензивном хумификацијом, zasiћеношћу адсорптивног комплекса базама и присуством органске и минералне колодине компоненте што условљава интензивну акумулацију SOC-а.

#### 4.3. Зависност између SOC количине и средње годишње температуре ваздуха

Температура ваздуха је значајна варијабла која утиче на количину земљишног органског угљеника (Jobbágy, Jackson, 2000, Callesen *et al.*, 2003). Регресиони модели регионалних база података земљишта указују на повећање органског угљеника са повећањем падавина, смањењем температуре и повећањем садржаја (Schimel *et al.*, 1994, Burke *et al.*, 1989). Смањење количине земљишног органског угљеника са повећањем температуре настаје као резултат убрзане декомпозиције органске материје (Jobbágy, Jackson, 2000).

Статистичка анализа за шумска земљишта на проучаваном подручју Србије указује на средњу везу, према Reomer-Ogphal расподеле, између варијабли (SOC и MAT) коефицијент корелације је 0,487, док је коефицијент детерминације  $R^2=0,237$  са стандардном грешком од 2,06.

Климатски параметри су у функцији од промене надморске висине, што значајно утиче на динамику органске материје у земљишту. Са повећањем надморске висине температура ваздуха се смањује, а падавине се повећавају, што утиче на

повећану акумулацију органске материје. Према Sheikh-у (2009), утврђена је јака веза између промене климе и акумулације угљеника у земљишту, тако што се садржај органског угљеника смањује са повећањем температуре, јер се са повећањем температуре за  $10^{\circ}\text{C}$ , разлагање органске материје дупло брже одвија.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду се наводе резултати проучавања садржаја земљишног органског угљеника у доминантним шумским земљиштима у централној Србији: еутричном ранкеру, еутричним и дистричним смеђим земљиштима. Просечне вредности количине органског угљеника у минералним слојевима (0-20 cm) се креће између:  $3,83 \pm 1,70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (дистрични камбисол),  $6,26 \pm 3,41 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (еутрични ранкер) и  $4,36 \pm 1,91 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (еутрични камбисол).

Регресиона зависност садржаја угљеника са дубином земљишта објашњена је функцијом. Коефицијент корелације показује средњу јачину везе код дистричног смеђег земљишта док код еутричног ранкера и еутричног смеђег земљишта показује јаку везу.

Реципрочном једначином објашњена је веза између садржаја глине и садржаја угљеника у дистричном смеђем земљишту, и мултиплом код еутричног ранкера у слоју 10-20 cm и експоненцијалном у слоју 10-20 cm код еутричног смеђег земљишта. Коефицијент корелације показује средњу јачину везе код еутричног ранкера док код еутричног и дистричног смеђег земљишта показује јако слабу везу. У проучаваним земљиштима у површинском слоју 0-5 cm утицај глине на садржај угљеника израженији у односу на слој 5-20 cm.

Програм националне инвентуре шума, у будућности, треба да постане компатибилан са програмом мониторинга ICPF. Програм ICPF у Србији је конципиран тако да обезбеђује неопходне информације о резервама органског угљеника у шумским земљиштима, а после поновљеног мониторинга земљишта који је планиран за 2013. годину, и његове промене.

**Напомена:** Овај рад је реализован у оквиру пројекта „Истраживање климатских промена на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање“ (III43007) који финансира Министарство за просвету и науку Републике Србије у оквиру програма Интегрисаних и интердисциплинарних истраживања за период 2011-2014. године.

## ЛИТЕРАТУРА

Avnimelech Y., Cohen A. (1988): *On use of organic manures for amendment of compacted clay soils: Effects of aerobic and anaerobic conditions*, Biological Wastes 4, Vol. 26, Elsevier, London (331-339)



- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N. (2009): *Nacionalna inventura šuma Republike Srbije - Šumski fond Republike Srbije*, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede - Uprava za šume, Beograd (244)
- Baritz R., Van Ranst E., Seufert G., (2005): *Soil carbon default values relevant for evaluations of the carbon status of forest soils in Europe*, WP3-D32-RUG (Final Report for Deliverable 3.2, CarboInvent, [www.joanneum.at/CarboInvent/soils.php](http://www.joanneum.at/CarboInvent/soils.php))
- Bošnjak Đ. (1997): *Određivanje zapreminske i specifične mase zemljišta*, Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta, Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, Novi Sad (51-58)
- Burke I.C., Yonker C.M., Parton C.W., Cole J.V., Schimel D. S. (1989): *Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils*, Soil Science Society of America Journal 53, Soil Science Society of America, Madison (800-805)
- Callesen I., Liski J., Raulund-Rasmussen K. (2003): *Soil carbon stores in Nordic well-drained forest soils - relationships with climate and texture clas*, Global Change Biology 3, Vol. 9, Blackwell publishing, Oxford (358-370)
- Cienciala E., Exnerová Z., Macků J., Henžlík V. (2006): *Forest topsoil organic carbon content in Southwest Bohemia region*, Journal of Forest Science 52(9), Praha (387-398)
- (2011/a): *EUNIS biodiversity database*, <http://eunis.eea.europa.eu/index.jsp/> (posećeno: oktobar 2011. god.)
- Gardina C.P., Ryan M.G. (2000): *Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature*, Nature 404, London (858-861)
- (2003/a): *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change & Forestry* (eds. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F.), IPCC/OECD/IEA/IGES. Hayama
- (2003/6): *IPCC Report on Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*, LUCF Sector Good Practice Guidance, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/> (posećeno: oktobar, 2011. god.)
- (2006): *IPC Forest Manual*, Part III, Soil Sampling and Analysis, Hamburg
- Jobbágy E.G., Jackson R.B. (2000): *The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation*, Ecological Applications Vol. 10, no. 2, Ecological Society of America, Washington DC (423-436)
- Lal R. (2005): *Forest soils and carbon sequestration*, Forest Ecology and Management Vol 220, no. 1-3, Elsevier, Amsterdam (242-258)
- Lettens S., Van Orshoven J., Van Wesemael B., Muys B., Perrin D. (2005): *Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990*, Global Change Biology 12, Vol. 11, Blackwell publishing, Oxford (DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01074.x) (2128-2140)
- Liski J., Ilvesniemi H., Makela A., Westman C.J. (1999): *CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to climatic warming are overestimated - the decomposition of old soil organic matter is tolerant of temperature*, Ambio 2, Vol. 28, Springer, Stockholm (171-174)
- Piccolo A. (2001): *The supramolecular structure of humic substances*, Soil science 11, Vol. 166, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia (810-832)



- Post W.M., Kwon K.C. (2000): *Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential*, Global Change Biology 3, Vol. 6, Blackwell publishing, Oxford (317-327)
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. (1975): *Определение содержания и состава органического вещества в торфяно - болотных почвах*, Методические указания по поределению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных), Центральный музей почвоведения им. В.Б. Докучаева, Ленинград
- (2012/a): *Републички хидрометеоролошки завод Србије*, <http://www.hidmet.gov.rs/> (posećeno: maj 2012. god.)
- Robert M. (2001): *Soil Carbon Sequestration for improved land management*, World Soil Resources Reports 96, FAO, Rome
- Schimel D.S., Braswell B.H., Holland E.A., Mc-Keown R., Ojima D.S., Painter T.H., Parton W.J., Townsend A.R., (1994): *Climatic, edaphic, and Biotic controls over storage and turnover of carbon in soils*, Global Biogeochemical Cycles 3, Vol. 8, American Geophysical Union, Washington DC, (279-293)
- Semenov V.M., Ivannikova L.A., Kuzneceva T.V., Semenova N.A. (2004): *Роль растительной биомассы в формировании активного пула органического вещества почвы*, Почвоведение 11, Издательство Наука, Москва (1350-1360)
- Sheikh M. A., Kumar M., Bussmann R. W. (2009): *Altitudinal variation in soil organic carbon stock in coniferous subtropical and broadleaf temperate forests in Garhwal Himalaya*, Carbon Balance & Management 4:6, Biomed central, DOI:10.1186/1750-0680-4-6, (1-6)
- (2012/б): *Staništa Srbije*, [http://habitat.bio.bg.ac.rs/stanista\\_srbije.htm/](http://habitat.bio.bg.ac.rs/stanista_srbije.htm/) (posećeno: maj 2012. godine)
- Torn M. S., Trumbore S. E., Chadwick O. A., Vitousek P. M., Hendricks D. M. (1997): *Mineral control of soil organic carbon storage and turnover*, Nature 6647, Vol. 389, Nature Publishing Group, London (170-173)
- Thurig E. (2005): *Carbon budget of Swiss forests: evaluation and application of empirical models for assessing future management impacts*, Dissertation ETHY No. 15872, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich
- Vladimir S., Montanarella L., Filippi N., Selvaradjou S., Gallego J. (2005): *Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of European Union*, Office for Official Publications of the European Communities (EUR 21576 EN), Luxembourg (19)
- Wojick D. E. (1999): *Carbon storage in soil, The Ultimate No-Regrets Policy? A Report to Greening Earth Society*, <http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/ambiente/carbonstorageinsoil.htm/> (posećeno: septembar 2011. god.)

Ratko Kadović  
Snežana Belanović  
Milan Knežević  
Milorad Danilović  
Olivera Košanin  
Jelena Beloica

## ORGANIC CARBON STOCK IN SOME FOREST SOILS IN SERBIA

### Summary

Organic carbon stock and its changes are some of the basic indicators of terrestrial ecosystems. This paper is aimed at the assessment of organic carbon budget in organic and topsoil mineral layers (0-20 *cm*) in the most represented forest soils of central Serbia. The estimation was based on three soil sampling periods during the autumn of 2003, 2004 and 2010. Forest soils of 68 soil profiles (31 - eutric brown soil, 25 - dystric brown soil and 12 - eutric ranker) were sampled according to ICP Methodology criteria (ICP Forest Manual, Part III, Soil Sampling and Analysis, Hamburg, 2006). Soil samples were taken from organic layers, from fixed depths of 0-5 *cm*, 5-10 *cm*, and 10-20 *cm*. The analysis included the main characteristics of these soils, as well as their potentials of carbon sequestration in different layers of the soil profile.

Average values of organic carbon in mineral layers (0-20 *cm*) ranged between:  $3.83 \pm 1.70 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (dystric cambisol),  $6.26 \pm 3.41 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (eutric ranker) and  $4.36 \pm 1.91 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (eutric cambisol).

Regression dependence between carbon content and soil depth was explained by the function . Correlation coefficient indicated modest correlation for dystric brown soils and strong correlation for eutric rankers and eutric brown soils. In all three study soil types (eutric humus-siliceous soils, dystric brown soils, and eutric brown soils) organic carbon stock increased in the mineral layer 0-20 *cm* with the C/N ratio widening, especially in eutric humus-siliceous soils. In humus-siliceous soils there was an intensive accumulation of organic matter of unspecific nature, which affected the widening of C/N ratio. The lowest stocks of organic carbon in mineral horizons were measured in dystric brown soils, which was the result of acidification.

The correlation between clay content and carbon content was explained by reciprocal equation in dystric brown soil, by multiple equation in eutric ranker layer 10-20 *cm* and by exponential equation in eutric brown soil layer 10-20 *cm*. Correlation coefficient showed modest correlation for eutric ranker and very weak correlation for eutric and dystric brown soils. In the topsoil layer 0-5 *cm*, the effect of clay on carbon content was higher than that in 5-20 *cm* layer.

In future, the National Forest Inventory Program should become compatible with the ICPF monitoring program. ICPF Program in Serbia is conceived so as to provide the required information on organic carbon budget in forest soils, and also to show its changes after the repeated soil monitoring planned in 2013.