

Zalihe organskog ugljenika u zemljištima Srbije u odnosu na nadmorsku visinu Soil organic carbon stocks in relation to the altitude in Serbia

Dragana Vidojević^{1*}, Maja Manojlović², Aleksandar Đorđević³, Radovan Savić², Ljiljana Nešić²,
Božidar Đokić⁴

¹Agencija za zaštitu životne sredine, Ruže Jovanovića 27a, 11160 Beograd, Republika Srbija

²Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Republika Srbija

³Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun, Republika Srbija

⁴Geološki zavod Srbije, Rovinjska 12, 11050 Beograd, Republika Srbija

*Corresponding author: Dragana Vidojević, dragana.vidojevic@sepa.gov.rs, +381 63 421375

Izvod

Abstract

Istraživanje je sprovedeno u cilju određivanja zaliha organskog ugljenika u zemljištu (SOC) u odnosu na nadmorsku visinu u Srbiji. Baza podataka obuhvatila je ukupno 1.140 lokaliteta pedoloških profila. SOC je ispitivan u zemljišnim uzorcima poreklom sa različitih nadmorskih visinama (0-200 m, 200-500 m, 500-1.000 m i 1.000 - 2.000 m) i u okviru dve dubine tla (0-30 cm i 0-100 cm). Korelaciona analiza je urađena za pet regiona u kojima su lokaliteti grupisani prema prostornoj distribuciji. Rezultati pokazuju da su najviše srednje vrednosti SOC izmerene na terenu koji obuhvata planine sa nadmorskom visinom od 1.000-2.000 m i koji zauzima 11,5% teritorije Srbije. Najmanje vrednosti SOC dobijene su za područje nizija gde imamo najveći broj lokaliteta. Veća varijabilnost rezultata zaliha SOC utvrđena je na većim nadmorskim visinama i najveća je na terenu koji uključuje niske planine od 500-1.000 m nadmorske visine. Postoji srednja do jaka statistička zavisnost nadmorske visine sa zalihama SOC u okviru dve dubine zemljišta (0-30 cm i 0-100 cm). Rezultati pokazuju da je veza između zaliha SOC i nadmorske visine različita u različitim regionima. Istraživanje pokazuje da je nadmorska visina važan faktor koji utiče na zalihe SOC.

Ključne reči: organski ugljenik u zemljištu, zalihe, nadmorska visina, korelaciona analiza

Uvod

Introduction

Nadmorska visina je često upotrebljavana za proučavanje efekata klimatskih elemenata na promene organske materije u zemljištu (Townsend et al. 1995; Trumbore et al. 1996; Lemenih and Itanna 2004; Zimov 2006). Međutim, skladišni i prostorni obrasci organskog ugljenika u zemljištu (SOC) u široko rasprostranjenim ekosistemima i dalje su u velikoj meri neizvesni zbog nedovoljnih terenskih posmatranja i velike prostorne heterogenosti (Yang et al. 2008). Generalno, temperatura opada i količina padavina raste sa porastom nadmorske visine. Promena klime sa nadmorskom visinom utiče na kompoziciju i produktivnost vegetacije te stoga, utiče i na količine i dinamiku organske materije u zemljištu (Garten et al. 1999; Hontoria et al. 1999; Quideau et al. 2001). Nadmorska visina takođe utiče

na sadržaj organske materije u zemljištu kontrolišući bilans vode u zemljištu, eroziju zemljišta i procese geološke depozicije (Tan et al. 2004). Pozitivna korelacija je utvrđena i istraživanjem odnosa između sadržaja organske materije u zemljištu i nadmorske visine (Tate 1992). Ispitivanje uticaja nadmorske visine na zalihe organskog ugljenika i azota u zemljištu u Himalajskom lancu šuma Maver pokazalo je da nadmorska visina negativno utiče na stabilizaciju SOC i potrebno je da ona, kao i nagib terena, bude uključena u procenu njegovih zaliha (Bangroo et al. 2017). Rezultati istraživanja u centralnoj Anatoliji pokazuju da su nadmorska visina, klimatski faktori i vegetacija bili najvažniji faktori koji su uticali na sadržaj organske materije u zemljištu, ali i drugih svojstava zemljišta. Uočene su značajne razlike u sadržaju organske materije u zemljištu u zavisnosti od nadmorske visine i klimatskih faktora u području proučavanja. Kako se nadmorska visina povećavala u polusušnim regionima, količina organske materije u zemljištu se povećavala (Göl 2017). Ispitivanje sadržaja organskog ugljenika u zemljištima Golije pod različitim načinima korišćenja zemljišta pokazuje da su način korišćenja zemljišta i nadmorska visina važni faktori koji utiču na sadržaj organskog ugljenika u zemljištu. Rezultati pokazuju da su najveće zalihe organskog ugljenika u zemljištu pod šumom, a najniže pod travnom vegetacijom. Sadržaj organskog ugljenika opada od viših ka nižim nadmorskim visinama (Manojlović et al. 2011). Kadović i saradnici (Kadovic et al. 2012) su analizirali akumulaciju SOC u površinskim slojevima planinskih travnjaka na području planine Durmitor u cilju utvrđivanja uticaja pojedinih varijabli na osetljivost i varijabilnost gustine SOC u površinskim slojevima proučavanog zemljišta. Rezultati ukazuju na to da je sadržaj SOC u prvih 40 cm alpskih pašnjaka procenjen na 560.414,86 t C ili 152,66 t ha⁻¹, sa prosečnom gustinom od 15,27 kg m⁻¹.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da je odnos zaliha organskog ugljenika u zemljištu u zavisnosti od morfometrijskih karakteristika reljefa različita na različitim područjima (Burke et al., 1989; Grigal and Ohmann, 1992; Hontoria et al. 1999; Percival et al. 2000; Ganuza and Almendros, 2003; Lemenih and Itanna, 2004; Zdruli et al. 2004). Autori koji su realizovali slična istraživanja u Kini takođe naglašavaju da je generalno sadržaj organske materije u površinskom sloju u pozitivnoj korelaciji sa nadmorskom visinom (Dai and Huang, 2006). Oni takođe pokazuju da se variranje sadržaja organske materije može opisati različitim kombinacijama zavisnosti od više faktora: temperature, padavina i nadmorske visine za različite regione. Cilj istraživanja je određivanje zaliha organskog ugljenika u zemljištu (SOC) u odnosu na nadmorsku visinu u Republici Srbiji.

Materijal i metod rada **Materials and Methods**

Baza podataka pedoloških profila/Soil database

Baza podataka obuhvata ukupno 1.140 lokaliteta/profila iz perioda 1962-2010. godine sa parametrima koji ih opisuju i koji su korišćeni za izračunavanja zaliha organskog ugljenika u zemljištu.

Izračunavanje zaliha organskog ugljenika/Calculation of organic carbon stocks

Izračunavanje zaliha organskog ugljenika u zemljištima Srbije sprovedeno je u periodu 2009-2013. godine i rađeno je za dubine 0-30 cm i 0-100 cm (Vidojević 2016).

Izračunavanje je izvršeno na osnovu sledećih formula (Stolbovoy et al., 2007):

Određivanje gustine organskog ugljenika u zemljištu (SCD) za mesto uzorkovanja:

$$SCD_{site} = \sum_{sloj=1}^j (SOC\ content * BulkDensity * Depth * (1-frag))$$

gde je, $SOC_{content}$ = sadržaj SOC, % mase; $BulkDensity$ = zapreminska masa zemljišta; $Depth$ = dubina uzorkovanog sloja; $frag$ = je zapremina krupne mineralne frakcije- skeleta (>2 mm), % mase. SCD_{site} daje prosečnu vrednost za mesto uzorkovanja, koje je izvedeno iz kompozitnog uzorka. Vrednosti se sumiraju do dubine sloja 0-30cm i 0-100 cm u zavisnosti od potreba izveštavanja.

Određivanje referentne vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu za određenu površinu:

$SOC_{reference} = \overline{SCD}_p * A_p$, gde je: \overline{SCD}_p = srednja vrednosti gustine organskog ugljenika u zemljištu za određenu površinu (plot); A_p = površina.

Za potrebe utvrđivanja zaliha organskog ugljenika u zemljištu u odnosu na nadmorsku visinu korišćena je hipsometrijska karta Republike Srbije. Hipsometrijska karta predstavlja osnovu svih geomorfoloških istraživanja i daje predstavu o karakteristikama terena koji analiziramo (Manojlović et al. 2011). Republika Srbija ima heterogen zemljišni pokrivač sa različitim građama profila zemljišta i sa različitim dubinama. Na višim nadmorskim visinama iznad 1.000 m, gde su zemljišta uglavnom plitka i skeletna, sadržaj organskog ugljenika koji je prikazan do 100 cm dubine zapravo predstavlja sadržaj do dubine koju ona dostižu.

Statistička obrada podataka/Statistics

U analizi zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu od nadmorske visine pošlo se od pretpostavke da su vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu uslovljene nadmorskom visinom. U cilju analize ove tvrdnje urađena je korelaciona analiza kojom je utvrđen stepen zavisnosti između nezavisno promenljive (nadmorska visina) i zavisno promenljive - zaliha organskog ugljenika u zemljištu do 30 cm i 100 cm dubine. Za ovu potrebu iz baze podataka izdvojeni su lokaliteti u centralnoj Srbiji za koje je prisutna dovoljna distribucija podataka koji se odnose na nadmorske visine i izvršeno je njihovo grupisanje po područjima. Grupisanje lokaliteta je urađeno na osnovu njihovog fizičko-geografskog položaja uzimajući u obzir prirodne odlike područja i broj lokaliteta u svakom području koji bi zadovoljio statističku analizu. Uslov za definisanje područja bio je da broj lokaliteta koji se nalaze na određenom području bude veći od 20. Definisanih pet područja obuhvataju: područje Šumadije - Beograd i Kragujevac, područje zapadne Srbije – Valjevo, Loznica i Beograd - zapad, područje jugoistočne Srbije - Nišava, područje južne Srbije – Leskovac i područje centralne Srbije -

Kragujevac, zapad i Goč.

Rezultati

Results

Korišćenjem hipsometrijske karte izdvajaju se ravničarski, brdsko-planinski ili planinski tereni i u zavisnosti od visine terena nameću se i mogućnosti njegovog planiranja i pravilnog korišćenja. Analizom hipsometrijske karte reljefa Republike Srbije utvrđeno je da se 35,5 % (31.370 km²) teritorije nalazi na nadmorskoj visini nižoj od 200 m. Do 1.000 m nadmorske visine nalazi se 88,3 % teritorije Republike Srbije (77.990 km²), od 1.000 do 2.000 m nalazi se 11,5 % (10.147 km²), a preko 2.000 m nalazi se 0,2 % reljefa (225 km²) (Manojlović et al. 2004).

Prateći podelu u geomorfologiji (Sretenović and Šobić 1974) koja obuhvata nizije sa nadmorskim visinama od 0-200 m, brežuljkasto-brdske terene sa nadmorskim visinama od 200-500 m, niske planine sa nadmorskim visinama od 500-1.000 m, srednje planine sa nadmorskim visinama od 1.000-2.000 m i visoke planine sa nadmorskim visinama > 2.000 m, izvršena je raspodela udela lokaliteta na kojima je vršen proračun zaliha organskog ugljenika. Ukupni broj obrađenih lokaliteta za potrebe proračuna zaliha organskog ugljenika u zemljištu u odnosu na nadmorsku visinu je 1.140.

Od ukupnog broja lokaliteta udeo lokaliteta koji imaju nadmorsku visinu do 200 m je 51,3 %, udeo lokaliteta koji obuhvataju brežuljkasto-brdske terene sa nadmorskim visinama od 200-500 m je 20,8 %, udeo lokaliteta koji obuhvataju terene sa nadmorskim visinama od 500-1.000 m je 22,3 % i udeo lokaliteta koji obuhvataju terene sa nadmorskim visinama od 1.000-2.000 m je 5,6 % . U Tabeli 1 predstavljene su zalihe organskog ugljenika u zemljištu u zavisnosti od nadmorske visine.

Istraživanja zaliha SOC u Republici Srbiji pokazala su da se organski ugljenik (t ha⁻¹) do 30 cm dubine kretao u vrednostima od 3,7 t ha⁻¹ za poljoprivredno zemljište referentne grupe Arenosol na nadmorskim visinama od 0-200 m, do 527,22 t ha⁻¹ za šumsko zemljište referentne grupe Leptosol na nadmorskim visinama od 500-1.000 m. Zalihe organskog ugljenika (t ha⁻¹) do 100 cm dubine kretale su se u vrednostima od 10,06 t ha⁻¹ za šumsko zemljište referentne grupe Arenosol na nadmorskim visinama od 0-200 m, do 658,40 t ha⁻¹ za šumsko zemljište referentne grupe Leptosol na nadmorskim visinama od 500-1.000 m.

Vrednosti sadržaja organskog ugljenika do 100 cm dubine predstavljaju vrednosti sadržaja do dubine koju zemljišta dostižu. Distribucija zaliha organskog ugljenika u zemljištu do 30 cm dubine pokazuje veće vrednosti u centralnoj Srbiji gde su i veće površine zemljišta pod šumama u odnosu na područje AP Vojvodine koje uglavnom obuhvata ravnice sa intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom. (Vidojević et al. 2015, 2017; Vidojević et al. 2018; Vidojević et al. 2020). Istraživanje zaliha organskog ugljenika u zemljištima Srbije ukazuje da postoji zavisnost od više različitih faktora, kao što su tip zemljišta, klima, nadmorska visina, geološki supstrat, način korišćenja zemljišta.

Tabela 1. Zalihe organskog ugljenika (SOC) u zemljištu u zavisnosti od nadmorske visine
Table 1. Soil organic carbon (SOC) stocks in relation to altitude

Nadmorska visina (m)	Analizirani parametar	Dubina	
		do 30 cm (SOC _t ha ⁻¹)	do 100 cm (SOC _t ha ⁻¹)
0-200	Broj lokaliteta (n)	585	585
	Min SOC (t ha ⁻¹)	3.72	10.06
	Aritmetička sredina (\bar{x}) (t ha ⁻¹)	66.26	139.98
	Max SOC (t ha ⁻¹)	221.33	436.43
	Standardna devijacija (σ) (t ha ⁻¹)	26.94	62.26
	Koeficijent varijacije (V) (%)	40.66	44.48
200-500	Broj lokaliteta (n)	237	237
	Min SOC (t ha ⁻¹)	14.78	18.25
	Aritmetička sredina (\bar{x}) (t ha ⁻¹)	76.15	112.85
	Max SOC (t ha ⁻¹)	291.71	425.53
	Standardna devijacija (σ) (t ha ⁻¹)	36.36	57.62
	Koeficijent varijacije (V) (%)	47.75	51.06
500-1.000	Broj lokaliteta (n)	254	254
	Min SOC (t ha ⁻¹)	20.44	24.99
	Aritmetička sredina (\bar{x}) (t ha ⁻¹)	138.03	175.78
	Max SOC t ha ⁻¹	527.22	658.40
	Standardna devijacija (σ) (t ha ⁻¹)	87.98	113.11
	Koeficijent varijacije (V) (%)	63.74	64.35
1.000-2.000	Broj lokaliteta (n)	64	64
	Min SOC (t ha ⁻¹)	11.06	11.06
	Aritmetička sredina (\bar{x}) (t ha ⁻¹)	161.98	201.02
	Max SOC (t ha ⁻¹)	408.49	618.11
	Standardna devijacija (σ) (t ha ⁻¹)	91.89	107.77
	Koeficijent varijacije (V) (%)	56.73	53.61

Analiza rezultata istraživanja pokazuje da zalihe organskog ugljenika rastu sa porastom nadmorske visine. Najveće srednje vrednosti gustine izmerene su na terenu koji obuhvata planine sa nadmorskim visinama od 1.000-2.000 m koji obuhvata površinu 11,5 % teritorije Republike Srbije i iznose 161,98 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 201,02 t ha⁻¹ do 100 cm dubine. Najveći broj lokaliteta na ovim nadmorskim visinama pripada šumskom zemljištu. Ovakav rezultat objašnjava se time što se sa povećanjem nadmorske visine smanjuje temperatura zemljišta i time se usporava mikrobiološka aktivnost, što za posledicu ima pojavu akumulacije i smanjenja mineralizacije organske materije. Kao rezultat svega je povećanje sadržaja organske materije u zemljištu čak do 50 % u nekim krečnjačkim crnicama (kalkomelanosol) (Đorđević 1993).

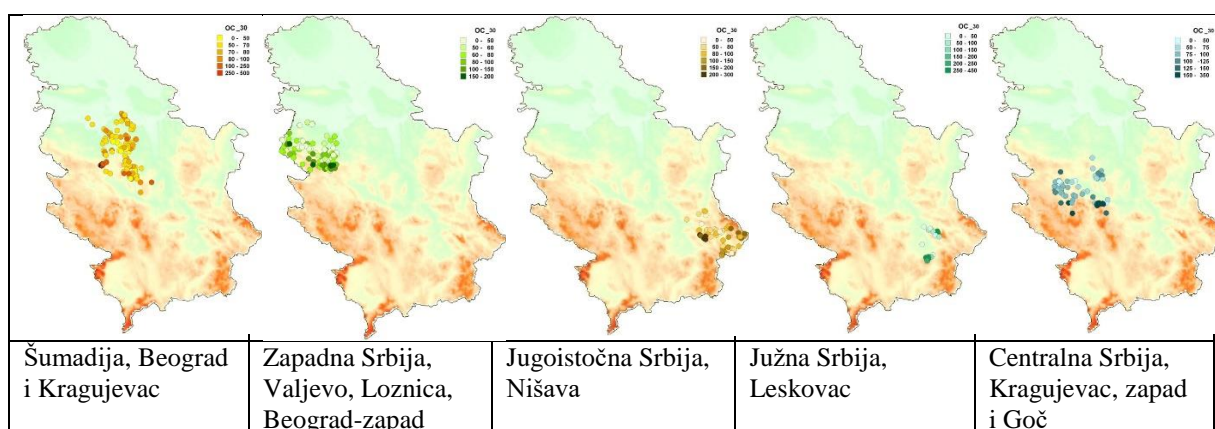
Najniže vrednosti zaliha organskog ugljenika su u području nizija, gde imamo i najveći broj lokaliteta sa nadmorskim visinama od 0-200 m i iznose 66,26 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 139,98 t ha⁻¹ do 100 cm dubine. Najveći broj lokaliteta na ovim nadmorskim visinama pripada poljoprivrednom zemljištu. Interesantan podatak predstavlja rezultat zaliha organskog ugljenika u zemljištu do 100 cm

dubine, koji je veći u nizijama nego na brežuljkasto-brdskom terenu. Razloge treba tražiti u distribuciji lokaliteta prema načinu korišćenja i tipu zemljišta, pri čemu je sadržaj manji u nizijama do 30 cm dubine od sadržaja na brežuljkasto-brdskom terenu. Rezultat dobijen proračunom do 30 cm dubine u nizijama objašnjava se načinom korišćenja zemljišta u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Istraživanja su pokazala da je veća varijabilnost rezultata na većim nadmorskim visinama i najveća je na terenu koji obuhvata niske planine od 500-1.000 m nadmorske visine. U Tabeli 2 predstavljene su zalihe organskog ugljenika u zemljištu na lokalitetima koji su grupisani na osnovu njihovog fizičko-geografskog položaja uzimajući u obzir prirodne odlike područja u zavisnosti od geomorfologije terena.

Tabela 2. Statističke vrednosti zaliha OC u zemljištu do 30 cm i 100 cm dubine za različita područja
Table 2. Statistical values of SOC stocks up to 30 cm and 100 cm depth for areas studied

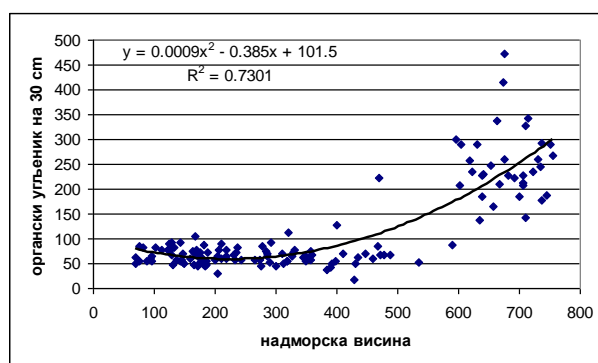
Područje	Šumadija - Beograd i Kragujevac		Zapadna Srbija - Valjevo, Loznica, Beograd-zapad		Jugoistočna Srbija - Nišava		Južna Srbija - Leskovac		Centralna Srbija - Kragujevac, zapad i Goč	
	30	100	30	100	30	100	30	100	30	100
Analizirani parametar	Dubina (cm)									
Broj lokaliteta (n)	138	138	100	100	61	61	22	22	64	64
Min SOC (t ha ⁻¹)	18.25	18.25	14.29	32.48	26.51	26.51	27.97	27.97	36.4	53.9
Max SOC (t ha ⁻¹)	471.70	658.40	195.71	245.21	274.89	444.03	443.76	646.98	347.62	353.23
Aritmetička sredina (\bar{x}) (t ha ⁻¹)	112.12	165.95	78.46	109.52	102.13	156.76	173.47	220.51	104.54	143.42
Standardna devijacija (σ) (t ha ⁻¹)	88.98	114.63	38.62	44.41	55.90	78.95	142.64	168.06	61.36	69.71
Koeficijent varijacije (V) (%)	79.37	69.07	49.23	40.55	54.74	50.37	82.23	76.21	58.70	48.61

Na Slici 1 je prikazan raspored lokaliteta i vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu do 30 cm dubine.

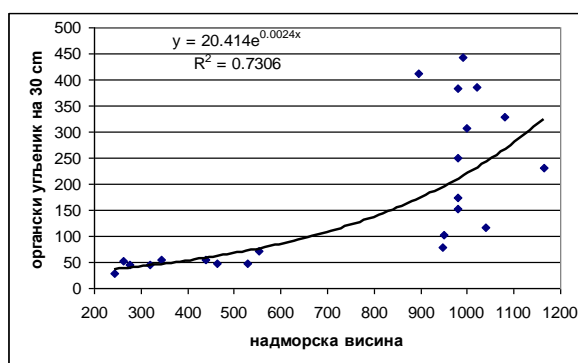


Slika 1. Raspored lokaliteta i vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu do 30 cm dubine (t ha⁻¹)
Figure 1. Distribution of OC stocks in the soil up to 30 cm depth over the locations (t ha⁻¹)

Upoređujući zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu od nadmorske visine po izdvojenim područjima, može se zaključiti da je do 30 cm dubine zavisnost najizraženija i jednako prisutna na području Šumadije – Beograd i Kragujevac (Slika 2) i južne Srbije - Leskovac (Slika 3) i nešto manja u centralnoj Srbiji, Kragujevac zapad i Goč.



Slika 2. Statistička zavisnost vrednosti zaliha OC u zemljištu ($t\ ha^{-1}$) i nadmorske visine (m) do 30 cm dubine za područje Šumadije (Beograd i Kragujevac)
Figure 2. Statistical dependence of the OC stocks in the soil ($t\ ha^{-1}$) and altitude (m) in the 30 and 100 cm depth in Šumadija (Belgrade and Kragujevac)



Slika 3. Statistička zavisnost vrednosti zaliha OC u zemljištu ($t\ ha^{-1}$) i nadmorske visine (m) do 30 cm dubine za područje južne Srbije (Leskovac)
Figure 3. Statistical dependence of OC stocks in the soil ($t\ ha^{-1}$) and altitude (m) in the 30 and 100 cm depth in southern Serbia (Leskovac)

Zavisnost do 100 cm dubine najizraženija je na području Šumadije – Beograd i Kragujevac i u centralnoj Srbiji, Kragujevac zapad i Goč. Najmanja zavisnost uočena je na području Zapadne, a zatim jugoistočne Srbije. Dalja istraživanja treba da pokažu raspored tipova zemljišta na ovim područjima i način korišćenja zemljišta na izabranim lokalitetima da bi se dobila detaljnija objašnjenja (Tabela 3).

Tabela 3. Jednačine korelacione analize i koeficijenti determinacije za definisana područja

Table 3. Correlation analysis and coefficients of determination for the areas studied

		PODRUČJE				
Utvrđena zavisnost organskog ugljenika u zemljištu od nadmorske visine	Dubina (cm)	Šumadija - Beograd i Kragujevac	Zapadna Srbija - Valjevo, Loznica, Beograd-zapad	Jugoistočna Srbija - Nišava	Južna Srbija - Leskovac	Centralna Srbija - Kragujevac, zapad i Goč
	30	$y = 0,0009x^2 - 0,385x + 101,5$ $R^2 = 0,7301$	$y = 0,0972x + 39,043$ $R^2 = 0,4484$	$y = 0,0001x^2 - 0,0399x + 65,665$ $R^2 = 0,5221$	$y = 20,414e^{0,0024x}$ $R^2 = 0,7306$	$y = 0,0003x^2 - 0,2399x + 113,4$ $R^2 = 0,6161$
	100	$y = 0,0015x^2 - 0,9193x + 230,22$ $R^2 = 0,6195$	$y = 6E-05x^2 - 0,0066x + 90,582$ $R^2 = 0,1505$	$y = 0,1092x + 51,794$ $R^2 = 0,2927$	$y = 0,0004x^2 - 0,2286x + 119,08$ $R^2 = 0,5269$	$y = 0,0006x^2 - 0,5835x + 247,24$ $R^2 = 0,6291$

U kojoj meri nadmorska visina utiče na sadržaj organskog ugljenika na zemljištima različitih načina korišćenja, poljoprivrednom i šumskom zemljištu, i u okviru referentnih grupa Kambisol i Leptosol ispitano je izračunavanjem Pearsonovog koeficijenta korelacije (Tabela 4). Ispitivanje je sprovedeno na teritoriji centralne Srbije, u okviru dve referentne grupe zemljišta, Kambisol, kao najzastupljenije grupe i Leptosol, referentna grupe sa najvećom srednjom vrednosti sadržaja i zaliha organskog ugljenika. Leptosoli su plitka zemljišta prisutna uglavnom u planinskim regionima ili na područjima gde je zemljište erodiralo do te mere da je stena blizu površine, pa vrednosti sadržaja organskog ugljenika do 100 cm dubine zapravo predstavljaju vrednosti sadržaja do dubine koju ova zemljišta dostižu. Ova zemljišta obuhvataju humusno-karbonatna zemljišta, Rendzine, koje se mogu naći pod različitim šumskim fitocenoza, mada travne zajednice bolje pogoduju obrazovanju ovog tipa zemljišta, s obzirom na njihov tip akumulacije humusa. Leptosol-i obuhvataju i Rankere, humusno-silikatno zemljište obrazovano na silikatnom supstratu u kojem se ističe humusni horizont.

Tabela 4. Pearson-ovi koeficijenti korelacije između posmatranih promenljivih

Table 4. Pearson correlation coefficients between the observed variables

	SOC							
	Poljoprivredno zemljište grupe Kambisol		Šumsko zemljište grupe Kambisol		Poljoprivredno zemljište grupe Leptosol		Šumsko zemljište grupe Leptosol	
Broj lokaliteta	90		64		35		71	
Dubina zemljišta (cm)	30	100	30	100	30	100	30	100
Nadmorska visina	0,411**	0,320**	0,616**	0,558**	0,404**	0,313*	0,358**	0,320**

*p<0,05 **p<0,01

Statističkom analizom koja je obuhvatila dve referentne grupe i to Kambisol, koji predstavlja najrasprostranjeniju grupu na teritoriji Republike Srbije (27.99 % teritorije) i referentnu grupu Leptosol, koja ima najveću vrednost zaliha organskog ugljenika u zemljištu, praćen je efekat dejstva dva faktora i to načina korišćenja zemljišta (poljoprivredno i šumsko) i uticaja referentne grupe na zalihe organskog ugljenika u zemljištu. Zaključeno je da način korišćenja zemljišta i referentna grupa zemljišta imaju gotovo identičan efekat dejstva na varijabilitet zaliha organskog ugljenika u zemljištu, tj. uticaj načina korišćenja zemljišta iznosi 9,3 %, a referentna grupa 9,2 % (Vidojević 2016). Statističkom analizom jačine odnosa između nadmorske visine i zaliha organskog ugljenika na zemljištima različitih načina korišćenja, poljoprivrednom i na šumskom zemljištu, i u okviru referentnih grupa Kambisol i Leptosol utvrđeno je da postoji pozitivna, srednja do jaka korelacija, pri čemu je najjača korelacija prisutna kod šumskog zemljišta grupe Kambisol.

Diskusija Discussion

Utvrđivanje zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu i nadmorske visine izvršeno je za pet područja u koja su grupisani lokaliteti prema prostornoj pripadnosti. Grupisanje lokaliteta je urađeno na osnovu njihovog fizičko-geografskog položaja.

Za područje Šumadije, koje obuhvata teritorije grada Beograda i Kragujevca, dobijene su srednje vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu koje iznose 112,12 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 165,95 t ha⁻¹ do 100 cm dubine. Ove vrednosti su veće u odnosu na prosečne vrednosti na celoj teritoriji zemlje. Postojanje velikih varijacija u vrednostima aritmetičke sredine može se objasniti heterogenošću terena i prisustvom više tipova zemljišta, kao i različitih praksi upravljanja zemljištem koji dovode do velikih razlika u zalihama organskog ugljenika u zemljištu. Analiza statističke zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu i nadmorske visine pokazuje da postoji jaka statistička zavisnost do 30 cm i do 100 cm dubine. Zalihe organskog ugljenika u zemljištu su relativno konstantne do nadmorske visine do 600 m, a zatim rastu sa porastom nadmorske visine, što potvrđuje istraživanje na Goliji gde sadržaj organskog ugljenika opada od viših ka nižim nadmorskim visinama (Manojlović et al. 2011). Do ovakve promene dolazi najverovatnije promenom vegetacije i načina korišćenja zemljišta na višim nadmorskim visinama.

Na području zapadne Srbije dobijene su srednje vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu koje iznose 78,46 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 109,52 t ha⁻¹ do 100 cm dubine koje su manje u odnosu na prosečne vrednosti na celoj teritoriji zemlje. Koeficijent varijacije pokazuje da su vrednosti aritmetičke sredine dovoljno reprezentativne za ovo područje. Analizom statističke zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu i nadmorske visine za obe dubine, utvrđena je srednje jaka do slaba povezanost na ovom području.

Na području jugoistočne Srbije dobijene su srednje vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu koje iznose 102,13 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 156,76 t ha⁻¹ do 100 cm dubine, što je iznad prosečne vrednosti utvrđene na celoj teritoriji zemlje. Koeficijent varijacije pokazuje da vrednosti aritmetičke sredine nisu dovoljno reprezentativne za ovo područje. Analiza statističke zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu i nadmorske visine do 30 cm dubine pokazuje da postoji srednje jaka statistička zavisnost. Do 100 cm dubine statistička zavisnost je manja i ona je u kategoriji srednje jake do slabe veze.

Na području južne Srbije - Leskovac dobijene su srednje vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu koje iznose 173,47 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 220,51 t ha⁻¹ do 100 cm dubine, što je znatno iznad prosečne vrednosti utvrđene na celoj teritoriji zemlje. Lokaliteti koji se nalaze na ovoj teritoriji pripadaju u najvećem broju referentnim grupama Kambisol i, nešto manji broj lokaliteta, grupi Leptosol. Uglavnom su to šumska zemljišta, što objašnjava visok prosečni sadržaj organskog ugljenika.

Prosečno odstupanje od srednje vrednosti relativno je visoko. Koeficijent varijacije pokazuje da vrednosti aritmetičke sredine nisu dovoljno reprezentativne za ovo područje. Analiza statističke zavisnosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu i nadmorske visine pokazuje da postoji jaka statistička povezanost do 30 cm dubine i srednje jaka veza do 100 cm dubine. Analizom kretanja vrednosti zaliha organskog ugljenika uočava se da je sadržaj relativno konstantan na nižim nadmorskim visinama do 500 m, dok je na nadmorskoj visini oko 1.000 m velika razlika od lokaliteta do lokaliteta. Na osnovu ove analize može se zaključiti da zalihe organskog ugljenika u zemljištu ne zavise u značajnoj meri od nadmorske visine na ovom području, što se objašnjava uticajem drugih faktora. Isto se može reći i za zavisnost do 100 cm dubine. Ono što u ovoj analizi treba istaći, to je da na ovom području imamo relativno mali broj lokaliteta, samo 22, što može da bude organičavajući faktor pri davanju zaključaka.

Na području centralne Srbije - Kragujevac, zapad i Goč dobijene su srednje vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu koje iznose 104,54 t ha⁻¹ do 30 cm dubine i 143,42 t ha⁻¹ do 100 cm dubine. Vrednosti za dubinu do 30 cm su iznad prosečne vrednosti utvrđene na celoj teritoriji zemlje. Koeficijent varijacije do 30 cm dubine pokazuje da vrednosti aritmetičke sredine nisu dovoljno reprezentativne do 30 cm dubine, a da su do 100 cm dubine vrednosti aritmetičke sredine dovoljno reprezentativne za ovo područje. Analiza statističke zavisnosti zaliha organskog ugljenika i nadmorske visine pokazuje da postoji srednje jaka statistička povezanost do 30 cm dubine i jaka veza do 100 cm dubine. S obzirom da su zalihe organskog ugljenika u zemljištu relativno konstantne na nižim nadmorskim visinama do 700 m, dok se na nadmorskoj visini od oko 900-1.000 m uočava velika razlika od lokaliteta do lokaliteta, može se zaključiti da zalihe organskog ugljenika u zemljištu ne zavise u značajnoj meri od nadmorske visine na ovom području, što se objašnjava uticajem drugih faktora. Za zavisnost do 100 cm dubine se može reći da praktično ne postoji.

Analizirajući podatke po područjima i posmatrajući vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu do 30 cm dubine za ona područja za koja je statistički uzorak veći od 60 lokaliteta (područje Šumadije-Beograd i Kragujevac, područje zapadne Srbije, jugoistočne Srbije i centralne Srbije-Kragujevac zapad i Goč), može se izvesti zaključak da je najveća statistička zavisnost u odnosu na promenljivu nadmorska visina uočena za područje Šumadije (teritorija grada Beograda i Kragujevca) i zatim za područje centralne Srbije (Kragujevac zapadni deo i Goč). Što se tiče rezultata do 100 cm dubine može se izvesti zaključak da je najveća statistička zavisnost za promenljivu nadmorska visina najveća takođe za područje centralne Srbije (Kragujevac zapadni deo i Goč), zatim za područje Šumadije (teritorija grada Beograda i Kragujevca).

U celoj analizi ističe se područje centralne Srbije, koje obuhvata južni deo teritorije grada Beograda, Šumadiju sa teritorijom grada Kragujevca i planinu Goč, na kome je ustanovljena značajna statistička zavisnost, pa se može smatrati da je ovo područje pogodno za dalja detaljnija istraživanja. Takođe se zapaža da su srednje vrednosti zaliha organskog ugljenika u zemljištu na nivou prosečnih za

teritoriju zemlje.

Najmanja statistička zavisnost ustanovljena je na području zapadne Srbije. Razlog treba tražiti u uticaju drugih faktora koji utiču na zalihe organskog ugljenika u zemljištu kao što je tip vegetacije, način korišćenja zemljišta, prisustvo različitih tipova zemljišta, prakse u upravljanju zemljištem, nagib, ekspozicija. Na ovom području je interesantno naglasiti da su utvrđene najmanje vrednosti zaliha organskog ugljenika od svih posmatranih područja, i one su manje od prosečnih za teritoriju zemlje, posebno do 100 cm dubine.

Na područjima na kojima je statistički uzorak bio veći od 60 lokaliteta, uglavnom je uočen pad statističke zavisnosti u okviru analiza izvršenih do 100 cm dubine. Izuzetak je područje centralne Srbije (Kragujevac zapad i Goč) za koje je ustanovljeno neznatno povećanje statističke zavisnosti za analize zaliha organskog ugljenika do 100 cm dubine. Ovo potvrđuje navode da je manja zavisnost zaliha organskog ugljenika u zemljištu u dubljim slojevima posledica manjeg uticaja spoljašnjih faktora.

Zaključak **Conclusion**

Proračun zaliha organskog ugljenika u zemljištu u zavisnosti od nadmorske visine pokazuje da zalihe rastu sa porastom nadmorske visine. Najveće srednje vrednosti izmerene su na terenu koji obuhvata planine sa nadmorskim visinama od 1.000-2.000 m. Najmanji dobijeni rezultat vezan je za područja nizija gde imamo i najveći broj lokaliteta. Veća varijabilnost rezultata utvrđena je na većim nadmorskim visinama i najveća je na terenu koji obuhvata niske planine od 500-1.000 m nadmorske visine.

Na osnovu iznetog izvodi se zaključak da postoji srednje jaka do jaka statistička zavisnost nadmorske visine sa zaliham organskog ugljenika u zemljištu u okviru ispitivanja realizovanih do 30 cm i 100 cm dubine. Utvrđene zalihe organskog ugljenika imaju veću varijabilnost rezultata do 30 cm dubine u odnosu na rezultate do 100 cm dubine na svim područjima.

Kada se posmatraju različiti načini korišćenja zemljišta i referentne grupe, uočava se pozitivna, srednja do jaka korelacija između nadmorske visine i zaliha organskog ugljenika na zemljištima različitih načina korišćenja, poljoprivrednom i na šumskom zemljištu, i u okviru referentnih grupa Kambisol i Leptosol. Variranje zaliha organske materije može se opisati različitim kombinacijama zavisnosti od više faktora za različite regione, što potvrđuje i ovo istraživanje.

Zahvalnica **Acknowledgment**

Ovo istraživanje je delom podržano Norveškim programom u oblasti visokog obrazovanja, istraživanja i razvoja za Zapadni Balkan (HERD) preko Projekta "Agricultural Adaptation to Climate Change – Networking, Education, Research and Extension in the West Balkans".

Literatura References

- Bangroo SA, Najjar GR, Rasool A. 2017: Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer Forest Range. *Catena*. Elsevier B.V., 158:63–68. doi: 10.1016/j.catena.2017.06.017.
- Burke IC, Yonker CM, Parton WJ, Cole CV, Flach K, Schimel DS. 1989: Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. *Soil Science Society of America Journal*. Wiley, 53(3):800–805. doi: 10.2136/sssaj1989.03615995005300030029x.
- Dai W, Huang Y. 2006: Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China. *Catena*, 65(1):87–94. doi: 10.1016/j.catena.2005.10.006.
- Đorđević A. 1993: Geneza, klasifikacija i osobine zemljišta krečnjačkog masiva Rajca kao osnove za njihovo racionalnije korišćenje. Magistarski rad, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Ganuza A, Almendros G. 2003: Organic carbon storage in soils of the Basque Country (Spain): The effect of climate, vegetation type and edaphic variables. *Biology and Fertility of Soils*. Springer Verlag, 37(3):154–162. doi: 10.1007/s00374-003-0579-4.
- Garten CT, Post WM, Hanson PJ, Cooper LW. 1999: Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains. *Biogeochemistry*, 45(2):115–145. doi: 10.1023/A:1006121511680.
- Göl C. 2017: Assessing the amount of soil organic matter and soil properties in high mountain forests in Central Anatolia and the effects of climate and altitude. *Journal of Forest Science*. Czech Academy of Agricultural Sciences, 63(5):199–205. doi: 10.17221/70/2016-JFS.
- Grigal DF, Ohmann LF. 1992: Carbon storage in upland forests of the Lake States. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3):935–943. doi: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030042x.
- Hontoria C, Saa A, Rodríguez-Murillo JC. 1999: Relationships Between Soil Organic Carbon and Site Characteristics in Peninsular Spain. *Soil Science Society of America Journal*. Wiley, 63(3):614–621. doi: 10.2136/sssaj1999.03615995006300030026x.
- Kadović R, Belanović S, Obratov-Petković D, Bjedov I, Perović V, Anđelić M, Knežević M, Ranković N. 2012: Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Lake Plateau at Mt. Durmitor in Montenegro. *Glasnik Sumarskog fakulteta/Bulletin of the Faculty of Forestry*. National Library of Serbia, (106):113–128. doi: 10.2298/gsf1206113k.
- Lemenih M, Itanna F. 2004: Soil carbon stocks and turnovers in various vegetation types and arable lands along an elevation gradient in southern Ethiopia. *Geoderma*, 123(1–2):177–188. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.02.004.
- Manojlović M, Čabilovski R, Sitaula B. 2011: Soil organic carbon in Serbian Mountain soils: Effects

- of land use and altitude. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(4):977–986.
- Manojlović PS, Dragičević S, Mustafić S. 2004: Osnovne morfometrijske karakteristike reljefa Srbije. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, LXXXIV-B.
- Percival HJ, Parfitt RL, Scott NA. 2000: Factors Controlling Soil Carbon Levels in New Zealand Grasslands Is Clay Content Important?. *Soil Science Society of America Journal*. Wiley, 64(5):1623–1630. doi: 10.2136/sssaj2000.6451623x.
- Quideau SA, Chadwick QA, Benesi A, Graham RC, Anderson MA. 2001: A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. *Geoderma*, 104(1–2):41–60. doi: 10.1016/S0016-7061(01)00055-6.
- Sretenović L, Šobić D. 1974. Reljef - Predstavljanje reljefa zemljišta na kartama. *Vojna enciklopedija*, 8 p.
- Stolbovoy V, Montanarella L, Filippi N, Jones A, Gallego J, Grassi G. 2007: Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union. *Office for Official Publications of the European Communities*.
- Tan ZX, Lal R, Smeck NE, Calhoun FG. 2004: Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. *Geoderma*, 121(3–4):187–195. doi: 10.1016/j.geoderma.2003.11.003.
- Tate KR. 1992: Assessment, based on a climosequence of soils in tussock grasslands, of soil carbon storage and release in response to global warming. *Journal of Soil Science*, 43(4):697–707. doi: 10.1111/j.1365-2389.1992.tb00169.x.
- Townsend AR, Vitousek PM, Trumbore SE. 1995: Soil Organic Matter Dynamics Along Gradients in Temperature and Land Use on the Island of Hawaii. *Ecology*. Ecological Society of America, 76(3):721–733. doi: 10.2307/1939339.
- Trumbore SE, Chadwick OA, Amundson R. 1996: Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science*. American Association for the Advancement of Science, 272(5260):393–396. doi: 10.1126/science.272.5260.393.
- Vidojević D, Manojlović M, Đorđević A, Nešić Lj, Dimić B. 2015: Organic carbon stocks in the soils of Serbia. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.*, 10:75–83.
- Vidojević D, Manojlović M, Đorđević A, Nešić Lj, Predić T. 2020: Correlations between soil organic carbon, land use and soil type in Serbia. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, (138):9–18. doi: 10.2298/ZMSPN2038009V.
- Vidojević D. 2016: *Procena rezervi organske materije u zemljištima Srbije*. Doktorska teza, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet. Available at: <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/8742>.
- Vidojević D, Manojlović M, Đorđević A, Nešić Lj, Dimić B. 2017: Spatial distribution of soil organic carbon stocks in Serbia. In: *Proceedings of the Global Symposium on Soil Organic Carbon, Food*

and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 195–198.

- Vidojević D, Manojlović M, Đorđević A, Nešić Lj, Dimić B. 2018: Estimation of soil organic carbon stock in the Republic of Serbia. in Belić, M. (ed.) *Congress proceedings / 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia Solutions and Projections for Sustainable Soil Management*. Soil Science Society of Serbia, Novi Sad (Serbia), pp. 154–159.
- Yang Y, Fang J, Tang Y, Ji C, Zeng C, He J, Zhu B. 2008: Storage, patterns and controls of soil organic carbon in the Tibetan grasslands. *Global Change Biology*, 14(7):1592–1599. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01591.x.
- Zdruli P, Jones R.J.A. and Montanarella L. 2004: *Organic Matter in the Soils of Southern Europe. European Soil Bureau Technical Report, EUR 21083 EN*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg: European Commission. Available at: http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eussoils_docs/esb_rr/n15_OMsouthEurope.pdf.
- Zimov SA. 2006: CLIMATE CHANGE: Permafrost and the Global Carbon Budget. *Science*, 312(5780):1612–1613. doi: 10.1126/science.1128908.

Soil organic carbon stocks in relation to the altitude in Serbia

Dragana Vidojević^{1*}, Maja Manojlović², Aleksandar Đorđević³, Radovan Savić², Ljiljana Nešić², Božidar Đokić⁴

¹Agency for Environmental Protection, Ruže Jovanovića 27a, 11160 Belgrade, Serbia

²Novi Sad University, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

³Belgrade University, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Belgrade -Zemun, Serbia

⁴Geological Survey institution, Rovinjska 12, 11050 Belgrade, Serbia

*Corresponding author: Dragana Vidojević, dragana.vidojevic@sepa.gov.rs, +381 63 421375

Abstract

The research was conducted to determine the soil organic carbon (SOC) stocks in relation to the altitude in Serbia. The database included a total of 1,140 soil profiles. SOC were investigated at different the altitudes (0-200 m, 200-500 m, 500-1,000 m, 1,000 – 2.000 m) and at two soil depths (0-30 cm and 0-100 cm). Statistical correlation was done for five regions where locations were grouped according to the spatial distribution. The results showed that the highest mean values of SOC were measured on the terrain that includes mountains with the altitudes of 1,000-2,000 m and covers an area of 11.5% of the territory of Serbia. The lowest obtained result is related to the lowland areas with the largest number of locations. Greater variability in the results of SOC stocks were found at the higher altitudes and the greatest on the low mountains of 500-1,000 m altitude. There is a medium to strong statistical dependence of the altitude with the SOC stocks at two soil depths (0-30 cm and 0-100 cm). The result indicate that the relationship between SOC stocks and altitude varies between the regions. This study shows that altitude is an important factor affecting SOC stocks.

Keywords: soil organic carbon, stocks, altitude, correlation analysis

Received 30.03.2021

Revised 12.04.2021

Accepted 17.05.2021