

UDK 631.417:551.583

Оригинални научни рад

<https://doi.org/10.2298/GSF2327029K>

ПРОСТОРНА ВАРИЈАБИЛНОСТ ОРГАНСКОГ УГЉЕНИКА У ПЕСКОВИТИМ ЗЕМЉИШТИМА: СТУДИЈА СЛУЧАЈА ДЕЛИБЛАТСКЕ ПЕШЧАРЕ (СРБИЈА)

др Ратко Кадовић, редовни професор у пензији, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Србија
др Снежана Белановић Симић, редовни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Србија
др Вељко Перовић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду, Институт за биолошка истраживања
„Синиша Станковић“, Србија

др Сара Лукић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Србија
др Предраг Миљковић, асистент са докторатом, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Србија
др Yousef Ali Bohajar Mansour, Пољопривредна школа, Azzaytuna Универзитет, Bani Walid, Либија
Мариус Олђа, референт за заштиту природе у пензији, Јавно предузеће „Војводинашуме“, Србија

Извод: У овом раду су приказани резултати проучавања и варијабилности садржаја органског угљеника у земљиштима образованим на песку Делиблатске пешчаре, специјалном резервату природе (СРП). Песковита земљишта Делиблатске пешчаре су веома осетљива на деградацију, док је систем коришћења земљишта регулисан законом. Анализе су обављене за слојеве земљишта 0-10 cm и 10-20 cm према референтним типовима земљишта и идентификованим типовима вегетације. Средње вредности садржаја SOC (енг. Soil Organic Carbon) (g/kg) су 23,13 (0-10 cm) и 11,20 (10-20 cm), док су вредности за SOCD (енг. Soil Organic Carbon Density) (g/m²) 2,40 (0-10 cm) и 1,22 (10-20 cm). Укупне резерве SOC-а у земљиштима Делиблатске пешчаре процењене су на 1,18×10⁶ Mg у горњим слојевима (0-20 cm). Анализе просторне варијабилности SOC (g/kg) и SOCD (g/m²) спроведене су применом ГИС техника у циљу мапирања дистрибуције ових параметара. Утврђен је висок степен просторне варијабилности у погледу садржаја и густине SOC-а, како по референтним типовима земљишта тако и по типовима вегетације. Добијени резултати показују да у процесу управљања СРП Делиблатска пешчара, а самим тим и резервама SOC-а, пажњу треба усмерити на заштиту аутохтоне вегетације.

Кључне речи: Делиблатска пешчара, Специјални Резерват Приорде, Arenosol, текстура земљишта, органски угљеник у земљишту, просторна варијабилност

SPATIAL VARIABILITY OF ORGANIC CARBON IN SANDY SOILS: CASE STUDY OF DELIBLATO SANDS (SERBIA)

Abstract: This paper presents the results of the study and variability of organic carbon content in soils formed in the Deliblato Sands, a Special Nature Reserve (SNR). The sandy soils of Deliblato Sands are very sensitive to degradation, while the land use system is regulated by law. Analyses were performed for soil layers 0-10 cm and 10-20 cm according to reference soil groups and identified vegetation groups. The mean values of SOC content (Soil Organic Carbon) (g/kg) are 23.13 (0-10 cm) and 11.20 (10-20 cm), while the values for SOCD (Soil Organic Carbon Density) (g/m²) are 2.40 (0-10 cm) and 1.22 (10-20 cm). The total reserves of SOC in

the soils of the Deliblato Sands were estimated at 1.18×10^6 Mg in the upper layers (0-20 cm). Analyzes of the spatial variability of SOC (g/kg) and SOCD (g/m^2) were carried out using GIS techniques in order to map the distribution of these parameters. A high degree of spatial variability was determined in terms of SOC content and density, both by reference soil groups and by vegetation groups. The obtained results show that in the management process of SNR Deliblato Sands, and therefore SOC reserves, attention should be focused on the protection of autochthonous vegetation.

Keywords: Deliblato Sand, Special Nature Reserve, Arenosol, soil texture, soil organic carbon, spatial variability

1. УВОД

Садржај органског угљеника у земљишту (SOC) и промене садржаја су неки од главних показатеља стања терестричних екосистема. Перспектива SOC-а се променила од његове примарне улоге у процени квалитета земљишта до садашњег стања, у којем се, поред квалитета земљишта, проучава акумулација SOC-а у контексту процене баланса и динамике гасова стаклене баште (GHG – eng. Greenhouses Gasses) у односу на глобални циклус угљеника. Узимајући у обзир висок потенцијал за секвестрацију угљеника, одговарајући системи управљања земљиштем омогућавају повећање секвестрације, смањење емисије CO_2 и побољшање функција и услуга екосистема (Corsi *et al.*, 2012). Такође, важно је успоставити адекватнији метод за прецизно мерење SOC-а, као и предвиђање складиштења угљеника у земљишту. Потенцијал употребе SOC-а, било као индикатор квалитета земљишта или, у ширем смислу, као одговор екосистема на промене животне средине је посебно повећан потребом за правилним складиштењем угљеника у земљишту. Неадекватни системи управљања доводе до губитка земљишног угљеника са значајним емисијама GHG у атмосферу, иако односи између SOC-а и климе још нису у потпуности објашњени (Schmidt *et al.*, 2011).

Актуелна питања која се односе на улогу SOC-а на плодност земљишта, функционисање екосистема и глобалне промене могу се решити само учењем о стабилизацији SOC-а и његовим интеракцијама (Sleutel *et al.*, 2010).

Глобалне резерве угљеника у земљишту се процењују на 2.400 Gt до дубине од два метра

(Batjes, 1996), што представља у просеку 161 t/ha (Minasny *et al.*, 2017). Количина SOC-а, као дела органске материје земљишта, варира у зависности од типа земљишта, његовог развоја и моћности земљишног профила. У органоминералним земљиштима, по правилу садржај органске материје опада експоненцијално са дубином, а највећа концентрација по јединици површине може се наћи у О-хоризонту, за разлику од органских земљишта (енгл. peat soils) која задржавају велику количину угљеника (Cienciala *et al.*, 2006). Истраживања су показала да на резерве органског угљеника у земљишту утиче коришћење земљишта (Wang *et al.*, 2018).

Радна група Светске референтне базе за земљишне ресурсе (WRB) идентификовала је песковита земљишта (Arenosol) међу најзаступљенија земљишта на свету, која покривају око 900 милиона ha или 7% површине копна, а укључујући пешчане неземљишне творевине и активне дине, тај број расте на 10%. Песковита земљишта су најчешће заступљена у аридним и семиаридним регионима и типична су азонална земљишта. Спадају у референтне земљишне групе, према WRB класификацији, а обухватају минерална земљишта чије је формирање условљено специфичним својствима њиховог матичног супстрата. Ареносоли су земљишта развијена на резидуалном или еолском песку. Песковита земљишта која се лако еродирају, спорије се распадају под утицајем временских услова, малог капацитета за задржавање воде и хранљивих материја и ниске zasiћености базама. А-хоризонт је јасно издиференциран и/или садржи мало или слабо разложену органску материју.

Према Malagnoux (2007), око 230 милиона хектара (приближно 6% површина под шумама на глобалном нивоу) налази се у сушним регионима. Значај природне, посебно шумске вегетације на сувом земљишту може утицати на стратегије које укључују смањење сиромаштва, смањење оскудице хране, као и стратегије које се односе на климатске промене и борбу против десертификације. Природна (шумска) вегетација опстаје захваљујући кружењу хранљивих материја и корењу скоро искључиво у О-хоризонту и у плитком А-хоризонту. Према Међународном центру за референтна земљишта (ISRIC – International Soil Reference and Information Centre), садржај органског угљеника у добро дренираним песковитим земљиштима је мањи од 1%; али у погледу само површинског слоја (до 20 cm дубине) садржај може бити већи тј. 2 до 3%. Велики део Arenosol-а у умереном појасу се налази под шумама, било производним или природним састојинама у резерватима природе којима се пажљиво управља (FAO, 2019).

У Европи, песковито земљиште је повезано са познатим „европским пешчаном појасом“, који се протеже од Велике Британије до пољско-руске границе. Само у северозападном делу Европе процењена површина износи око 3000-4000 km² (Koster, 2009). Према истом аутору, у западном делу овог пешчаног појаса, углавном услед прекомерне експлоатације, развијају се песковита земљишта, током касног холоцена, а у последњих 200 година већи део ових површина је стабилизован природним путем или пошумљавањем.

На подручју централне и источне Европе, земљишта типа Arenosol заузимају 102×10³ km² (Batjes, 2002). Према WRB класификацији, ареносоли покривају 0,72% површине Републике Србије (Vidojević *et al.*, 2018). Ово подручје се може поделити на две велике целине: Суботичко-Хоргошка пешчара (северна Србија) површине око 250 km² и Делиблатска пешчара површине око 338 km².

Делиблатска пешчара је највећа европска континентална пустиња и представља најстарију пустињу у Европи, чије се настанак везује за епоху холоцена или чак плеистоцена. Делиблатска пешчара, позната и под називом „Европска Сахара“ је изолован комплекс пешчаних маса који се налази у северном делу Србије и

јужном делу Баната, између реке Дунав и западних падина Карпата (Drakulić, 1969a). Овај рад укључује идентификацију различитих референтних типова земљишта под различитим типовима вегетације.

Законом о Делиблатској пешчари ово подручје је 1977. године добило статус Специјалног резервата природе, чиме се истиче његова примарна функција – заштита од ерозије ветром. Прописом о заштити, објављеним у Службеном гласнику РС 3/2002 и 81/2008, Делиблатска пешчара је проглашена за Специјални резерват природе као последња и највећа оаза пешчане, степске, шумске и мочварне вегетације у Панонском басену. Као подручје изузетне и јединствене вредности за заштиту природе и за научне потребе, Делиблатска пешчара је подељена на три зоне заштите (Kadović *et al.*, 2016).

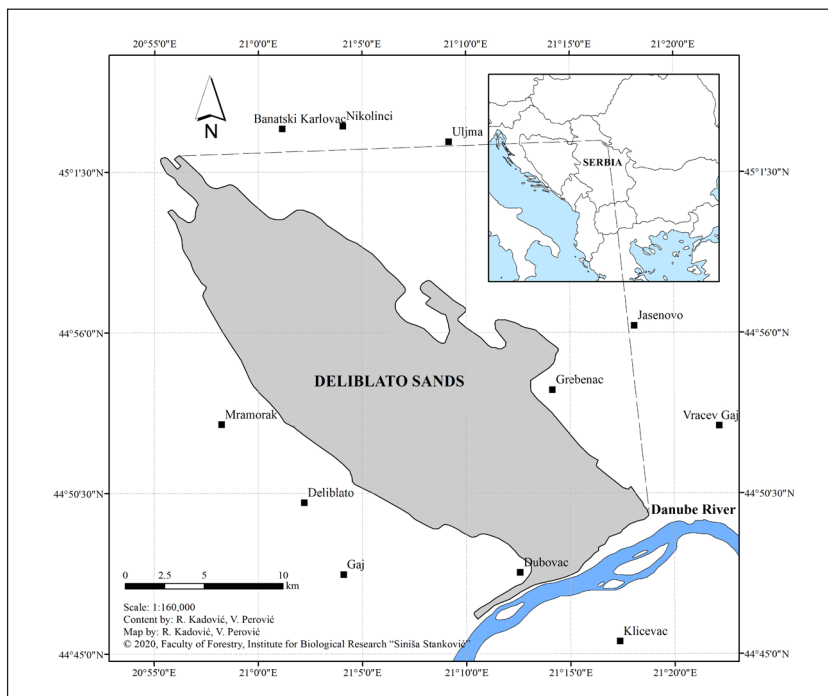
У педолошком смислу, Делиблатска пешчара по степену еволуције представља релативно младу формацију земљишта. Карактеришу је биљке које су се прилагодиле специфичним условима животне средине, у којима се смењују сукцесивне фазе вегетације тако да обилује различитим, мозаично распоређеним микростаништима, што је чини оазом биодиверзитета.

Имајући у виду локалну варијабилност подручја Делиблатске пешчаре у погледу топографије, земљишта и вегетације, основни циљ овог рада је да се утврди просторна варијабилност садржаја и густине органског угљеника у земљишту, да се процене резерве угљеника у слоју земљишта 0-20 cm, као елемент стратегије заштите и ублажавања деградационих процеса на проучаваном подручју као Специјалном резервату природе.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

2.1. Подручје проучавања

Проучавано подручје (Делиблатска пешчара) има елиптични облик и оријентисано је југоисток – северозапад, простире се између координата: 44°46' – 45°02' северне географске ширине и 20°55' – 21°18' источне географске дужине (слика 1). Делиблатска пешчара је дуга око 35 km и широка око 11 km и заузима површину од 337,98 km².

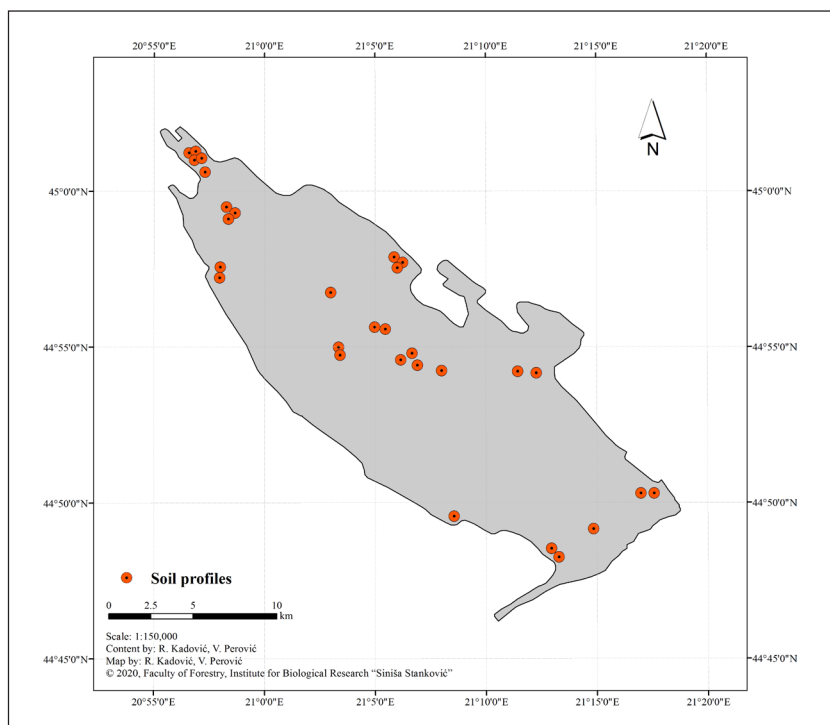


Слика 1. Подручје проучавања
Image 1. Study area

Специфичност Делиблатске пешчаре је њена динска топографија, где разлика између врхова дина и међудинских удубљења достиже 30 m. Карактерише је и недостатак површинских токова. На крајњем северозападном делу дине имају блажу форму. Надморска висина Делиблатске пешчаре креће се од 70 до 194 m (највиши врх је Плуц) на крајњем северозападу. Главне пешчане масе налазе се у центру плодних пољопривредних површина (Drakulić, 1969б). Координате сваке тачке узорковања земљишта, узете су ГПС уређајем са прецизношћу од 1-3 метра и приказан је њихов просторни распоред (слика 2).

Клима Делиблатске пешчаре је углавном полусушна са специфичном микроклимом, коју карактеришу рани зимски и касни пролећни мразеви и значајна годишња температурна колебања, у распону од -25 до +45 °C, за период 2010-2019. За Банатски Карловац, који се налази на периферији Делиблатске пешчаре, просечна годишња количина падавина изно-

си 642,6 mm док максимална годишња сума падавина износи 972,7 mm (2014. године), а минимална 449 mm (2017. године). У погледу температуре ваздуха, просечна годишња вредност износи 12,4 °C, са максималном годишњом температуром 13,2 °C и 2018. и 2019. године, а минималном годишњом температуром 11,5 °C у 2011. години. Годишњи тренд падавина за посматрани период је позитиван (Bohajar, 2016). Годишње вредности потенцијалне евапотранспирације крећу се између 728 и 788 mm за период 2010-2019, са вредностима које прелазе месечне количине падавина током вегетационог периода, посебно у периоду јун-септембар. Током зиме, кошава достиже брзину од 174 km/h (Zarić, 2014). Овај олујни ветар спада у групу опасних хидрометеоролошких појава, посебно када брзина ветра прелази 17,2 m/s или када се јавља у виду пијавица или торнада који су карактеристични за југозападни Банат (Kadović *et al.*, 2014).



Слика 2. Распоред профила узоркованог земљишта у Делиблатској пешчари
Image 2. Distribution of soil samples in Deliblato Sands

Првим истраживањима у Делиблатској пешчари су идентификовани следећи типови вегетације: песковити, степски, мочварни и шумски типови вегетације. Међу одређеним типовима постоје асоцијације, са одређеним бројем субасоцијација. Данас је Делиблатска пешчара скуп фитоценоза развијених у различитим микроекосистемима. Подручје садржи веома широк спектар станишта – од пешчара, преко степа, пашњака, жбунова, шума и ливада, до бројних антропогених састојина. Према наводима (Сук, 2019), вегетација Делиблатске пешчаре се може сврстати у неколико категорија, које садрже ниже системске целине: пешчана вегетација, степска вегетација, ливадска и мочварна вегетација, жбунаста вегетација, шумска вегетација, шумске културе). Пошумљавање Делиблатске пешчаре почело је 1818. године и карактерише га неколико периода, од којих је последњи започет 2002. године (Letić, Malešević, 2004).

2.2. Методе проучавања земљишта

Проучавање земљишта у овом раду се састоји из теренских истраживања и лабораторијских анализа. За одабрана својства земљишта урађене су статистичке анализе.

2.3. Теренска истраживања

Током теренских истраживања, 2011. и 2013. године, отворен је укупно 31 педолошки профил. Од свих земљишних профила, 10 се налази на пашњацима, 16 у шумама (природне шуме и шумски културе) и 5 на влажним ливадама. У оквиру теренског проучавања, извршен је морфолошки опис земљишта уз све поступке прописане методама (Bogdanović *et al.*, 1966; Вошњак *et al.*, 1997).

Узорци земљишта су узети из отворених педолошких профила по фиксним дубинама

од 0-10 cm и 10-20 cm, у складу са методологијом Међународног програма сарадње за процену и праћење утицаја загађења ваздуха на шуме (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests – ICP Forests). У шумским земљиштима, у површинском слоју 0-20 cm дубине, акумулира се више од 60% угљеника. Због тога се у оквиру проучавања земљишта разматрао површински слој земљишта до 20 cm дубине, према методологији (Stolbovoy *et al.*, 2005), као и одређивање запреминске густине за ове фиксне дубине, што је неопходно за даље прорачуне. Непоремећени узорци узети су из истих слојева, у цилиндрима по Копецком.

2.4. Лабораторијско проучавање земљишта

Лабораторијско проучавање је спроведено применом метода описаних у (Vogdanović *et al.*, 1966; Вошњак *et al.*, 1997) за 31 профил земљишта и сваки идентификовани слој земљишта. Урађене су анализе за основна физичко-хемијска својства земљишта.

Гранулометријски састав земљишта је одређен третирањем узорака Na-пирофосфатом. Фракционисање је одрађено комбинованом пипет Б методом елутрације, помоћу Атеберговог сита, и одређивањем процентуалног учешћа фракција: 2-0,2 mm, 0,2-0,06 mm, 0,06-0,02 mm, 0,02-0,006 mm, 0,006-0,002 mm и <0,002 mm (Вошњак *et al.*, 1997). Запреминска маса земљишта одређена је применом стандардних Копецки цилиндара запремине 100 cm³ (пречника 55,5 mm и висине 41,4 mm) са тачношћу мерења од 0,1 g (SRPS ISO 11272:2007). Хигроскопна влага је одређена сушењем на температури од 105 °C током 6-8 сати.

Узорци земљишта за анализе су такође просејани (сита 2 mm), ручно пречишћени од ситног корења, а затим млевени. Садржај органског угљеника се одредио методом Тјурина, у модификацији Симакова. Анализа садржаја СаСО₃ извршена је помоћу Шајблеровог калциметра (SRPS ISO 10693:2005). Све анализе су обављене у 3 понављања.

Густина органског угљеника за сваки слој земљишног профила је израчуната према формули:

$$SOCD = \sum_{i=1}^n T_i \times BD_i \times SOC_i \times \left(1 - \frac{C_i}{100}\right) \quad (1)$$

где:

SOCД – густина органског угљеника у земљишту (kg/m²),

T_i – слој земљишта (cm),

BD_i – запреминска маса земљишта (g/cm³),

SOC_i – садржај органског угљеника (g/kg), и

C_i – учешће фракције > 2 mm за одређени слој.

Према WRB класификацији, земљишта су сврстана у 4 групе: I - Arenosol (Protic, Calcaric), II - Arenosol (Haplic, Calcaric), III - Chernozem (Arenic), IV - Gleysol (Calcaric, Arenic).

Анализа структуре површина извршена је на основу података ЈП „Војводинашуме“, ЈП „Банат“ из Панчева и CORINE Land Cover базе. На одабраној површини, профили земљишта су груписани у четири изолована типа вегетације: I – вегетација степа и пешчане траве (најчешће врсте су: *Stipa joannis*, *Paenonia officinalis ssp. banatica*, *Adonis vernalis*, *Anemone sylvestris*, *Anacamptis pyramidalis*, *Comandra elegans*, *Fritillaria degeniana*, *Iris pumila*, *Orchis mascula*, *Orchis morio*, *Orchis simia*, *Prunus tenella*, *Pulsatilla vulgaris*, итд.); II – влажне ливаде (најзаступљеније врсте су: *Achillea millefolium*, *Acorus calamus*, *Althea officinalis*, *Eranthis hyemalis*, *Gentiana pneumonanthe*, *Hottonia palustris*, *Iris pseudacorus*, *Leucorum aestivum*, *Marsilea quadrifolia*, *Orchis purpurea*, итд.); III – аутохтона жбунаста и шумска вегетација (најзаступљеније врсте су: *Quercus virgiliana*, *Tilia tomentosa*, *Populus alba*, *Cornus mas*, *Crataegus nigra*, *Juniperus communis*, *Cotinus coggygria*, *Crataegus monogyna*, итд.) и IV – шумске културе (чисте шумске састојине: *Robinia pseudoacacia*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Populus euramericana*).

2.5. Статистичке анализе

Статистичке анализе су урађене помоћу STATGRAPHICS Centurion софтвера, верзија

XVI, поређењем већег броја узорака. Садржаји SOC (g/kg) и SOCD (kg/m²) за категорисана земљишта и типове вегетације су анализирани помоћу ANOVA методе.

Карте дистрибуције SOC и SOCD у земљишима су генерисане применом методе инверзних тежина (IDW). IDW је једна од најчешће примењених техника детерминистичке интерполације у области науке о земљишту. Метода је примењена на основу података из профила земљишта и тежинских коефицијената. Блиски профили су подешени да имају већу тежину од удаљених и обрнуто. У овом раду, локални Моранов индекс (Local Moran's I index) је коришћен као локални индикатор просторне асоцијације (LISA - Local Indicators of Spatial Autocorrelation). На овај начин је одређена просторна дистрибуција значајних просторних кластера SOC-а, односно за сваку локацију израчунат је степен просторне аутокорејације (Anselin, 1995). Позитивна локална Моранова вредност се односи

на локацију која се проучава и има сличне високе или ниске вредности као њени суседи, и тада се локација назива „просторни кластер“. С друге стране, негативна локална Моранова вредност указује на потенцијални просторни излаз који се разликује од вредности околних локација (Lalor, Zhang, 2001). LISA статистика је израчуната за свако посматрање и кластер, са значајним нивоом на $p < 0,05$ примењеним у софтверу GeoDa (верзија 1.14) (Anselin *et al.*, 2006).

3. РЕЗУЛТАТИ

Основни статистички параметри дати су у табели 1, за песак, прах, глину (%) и запреминску масу земљишта (g/cm³) према типу вегетације. Анализа варијансе за садржај органског угљеника (g/kg) одређена је у слојевима 0-10 cm и 10-20 cm за референтне типове земљишта, а резултати су приказани у табели 2.

Табела 1. Збирна статистика за текстуру земљишта и густину земљишта према типу вегетацији
Table 1. Summary statistics for soil texture and bulk density according to referent vegetation group

Својства земљишта		Тип вегетације							
		F однос	p вредност	Степска и пешчана травна вегетација (n=10) (a)	Влажне ливаде (n=5) (b)	Аутохтона жбунаста и шумска вегетација (n=8) (c)	Шумске културе (n=8) (d)	Укупно (n=31)	
0-10 cm	Песак (%)	Средња вредност	1,73	0,1842	91,42 ^(b)	86,72 ^(a)	89,025 ^(ab)	90,75 ^(ab)	89,75
		SD			4,18	2,90	3,58	4,41	4,01
		CV			4,57	3,35	4,03	4,88	4,54
	Прах (%)	Средња вредност	1,53	0,23	5,40 ^(a)	8,32 ^(b)	7,00 ^(ab)	6,475 ^(ab)	6,56
		SD			2,54	2,43	2,76	2,54	2,65
		CV			46,99	29,26	39,40	39,21	40,38
	Глина (%)	Средња вредност	1,22	0,3229	3,18 ^(a)	4,96 ^(a)	3,95 ^(a)	3,24 ^(a)	3,68
		SD			2,12	1,01	1,43	2,28	1,90
		CV			66,62	20,44	36,16	70,30	51,52
	BD (g cm ⁻³)	Средња вредност	0,92	0,4682	1,28 ^(b)	1,16 ^(b)	0,975 ^(a)	0,90 ^(a)	1,08
		SD			0,13	0,15	0,15	0,09	0,20
		CV			10,29	13,07	15,26	10,29	18,77

Својства земљишта		Тип вегетације							
		F однос	p вредност	Степска и пешчана травна вегетација (n=10) (a)	Влажне ливаде (n=5) (b)	Аутохтона жбунаста и шумска вегетација (n=8) (c)	Шумске културе (n=8) (d)	Укупно (n=31)	
10-20 cm	Песак (%)	Средња вредност	1,23	0,3189	90,82 ^(a)	87,56 ^(a)	92,04 ^(a)	90,77 ^(a)	90,62
		SD			4,44	2,44	4,83	3,72	4,21
		CV			4,89	2,79	5,24	4,10	4,64
	Праш (%)	Средња вредност	1,77	0,1765	4,84 ^(a)	7,86 ^(b)	5,04 ^(ab)	4,90 ^(ab)	5,39
		SD			3,09	0,94	2,84	2,38	2,72
		CV			63,76	11,99	56,38	48,49	50,40
	Глина (%)	Средња вредност	1,24	0,3138	3,93 ^(a)	5,36 ^(a)	3,60 ^(a)	3,60 ^(a)	3,99
		SD			1,70	1,10	2,04	1,93	1,80
		CV			43,22	20,55	56,58	53,55	45,23
	BD (g cm ⁻³)	Средња вредност	8,24	0,0005	1,25 ^(c)	0,88 ^(a)	1,07 ^(b)	1,04 ^(ab)	1,09
		SD			0,13	0,04	0,17	0,16	0,19
		CV			10,83	5,08	15,53	15,40	17,13

SD – стандардна девијација
 CV – коефицијент варијације
 BD – густина земљишта

Табела 2. Анализа варијансе садржаја угљеника (g/kg) по референтним типовима земљишта
Table 2. Variance analysis for carbont content (g/kg) according to referent soil group

Земљишно својство		Референтни типови земљишта (са главним и допунским квалификаторима)						
		F однос	p вредност	Arenosol (Protic, Calcaric) (n=9)	Arenosol (Haplic, Calcaric) (n=9)	Chernozem (Arenic) (n=8)	Gleysol (Calcaric, Arenic) (n=5)	Укупно (n=31)
SOC (g kg ⁻¹) (0-10 cm)	Средња вредност	11,15	0,0001	12,41 ^(a)	25,18 ^(b)	28,90 ^(b)	29,51 ^(b)	23,13
	SD			6,22	9,08	5,54	3,90	9,64
	CV			50,14	36,06	19,16	13,23	41,67
SOC (g kg ⁻¹) (10-20 cm)	Средња вредност	3,98	0,0181	7,21 ^(a)	10,61 ^(ab)	13,45 ^(b)	15,86 ^(b)	11,20
	SD			5,17	5,91	4,62	2,53	5,67
	CV			71,67	55,69	34,34	15,94	50,58

SOC – органски угљеник у земљишту
 SD – стандардна девијација
 CV – коефицијент варијације

С обзиром на текстуру земљишта, може се закључити да је у површинском слоју највећи садржај песка у земљиштима под степском и травном вегетацијом, док се слој 10-20 cm карактерише највећим садржајем фракције песка испод аутохтоног шибља и шумске вегетације. Влажне ливаде карактерише најмања вредност песка у оба слоја. Запреминска густина у површинском слоју шумских земљишта је најмања, када се ради о типовима вегетације, док је најмања запреминска маса земљишта у слоју 10-20 cm у земљиштима под влажним ливадама (табела 1). Ови параметри показују да кошава има велики утицај на транспорт праха и глине из површинског слоја.

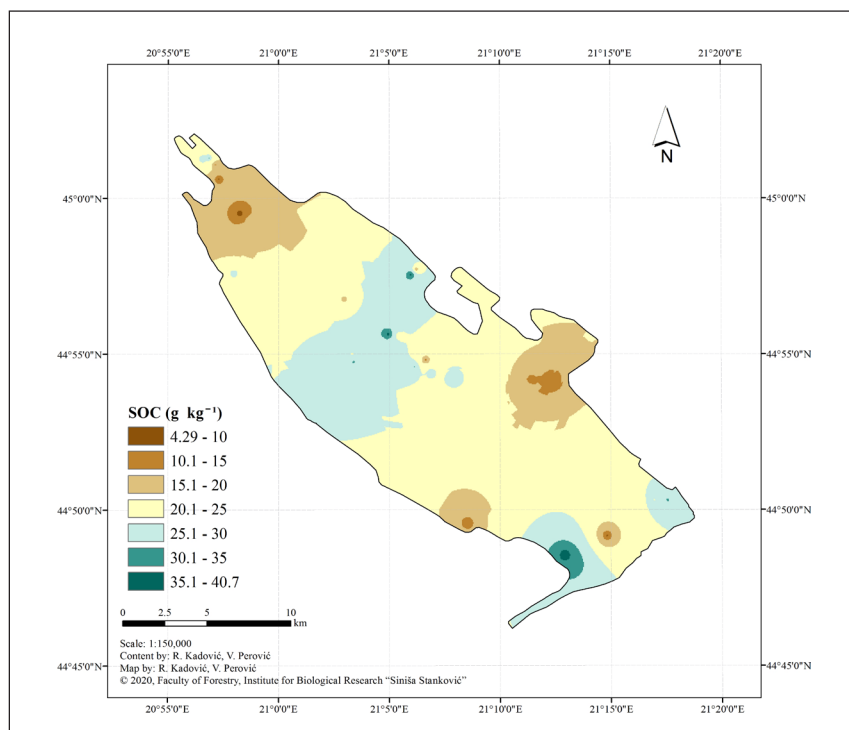
Профили земљишта су распоређени према типовима вегетације, а анализа варијансе је одређена за садржај органског угљеника (g/kg), а резултати су приказани у табели 3.

На слици 3 приказана је просторна варијабилност садржаја SOC-а (g/kg) у површинском

слоју (0-10 cm) песковитих земљишта Делиблатске пешчаре.

У табелама 4 и 5 приказани су основни статистички параметри за садржај SOC (kg/m^2) према типовима земљишта и типовима вегетације.

Највеће вредности садржаја SOC-а измерене су у типу земљишта *Calcaric* (*Calcaric*, *Arenic*) у оба слоја земљишта (табела 2), затим у *Chernozem* (*Arenic*), док су најниже вредности измерене у *Arenosol* (*Protic*, *Calcaric*). У погледу густине угљеника (SOCD), највеће вредности су измерене у *Arenosol* (*Harlic*, *Calcaric*) (табела 4). Међу идентификованим типовима вегетације, највеће вредности садржаја SOC-а (0-10 cm) налазе се под влажним ливадама, затим у групи аутохтоне жбунасте и шумске вегетације (табела 3), шумских култура и степске и пешчане вегетације. Вредности SOCD-а су највеће под аутохтоном вегетацијом, затим под шумским културама и степском и



Слика 3. Просторна варијабилност SOC садржаја (g/kg) у површинском слоју (0-10 cm)
Image 3. The spatial variability of SOC content (g/kg) in the surface soil layer (0-10 cm)

Табела 3. Анализа варијансе садржаја угљеника (g/kg) према типу вегетације
Table 3. Variance analysis of carbon content (g/kg) according to referent vegetation group

Земљишно својство		F однос p вредност		Тип вегетације				Укупно (n=31)
				Степска и пешчана травна вегетација (n=10)	Влажне ливаде (n=5)	Аутохтона жбунаста и шумска вегетација (n=8)	Шумске културе (n=8)	
SOC (g kg ⁻¹) (0-10 cm)	Average			16,85 ^(a)	29,51 ^(a)	26,36 ^(a)	23,77 ^(a)	23,13
	SD	2,93	0,0517	10,91	3,90	6,86	9,57	9,64
	CV			64,76	13,23	26,04	40,24	41,67
SOC (g kg ⁻¹) (10-20 cm)	Average			10,50 ^(a)	15,86 ^(a)	9,81 ^(a)	10,56 ^(a)	11,20
	SD	1,43	0,2559	6,52	2,53	5,36	5,63	5,67
	CV			62,08	15,94	54,67	53,29	50,58

SOC – органски угљеник у земљишту

SD – стандардна девијација

CV – коефицијент варијације

пешчаном вегетацијом (табела 4), што је последица његовог утицаја на својства земљишта (текстуру).

На слици 4 приказана је просторна варијабилност SOCD (kg/m²) у површинским слојевима (0-10 cm) песковитих земљишта Делиблатске пешчаре.

LISA карта (слика 5) показује да су High-High кластери идентификовани у централном и јуж-

ном делу истраживаног подручја. Ово подручје углавном покрива аутохтона шумска и жбунаста вегетација богата органским угљеником. Најчешћи тип земљишта на овим просторима Делиблатске пешчаре је Chernozem (Arenic). Већа распрострањеност SOC забележена је и у јужном делу Делиблатске пешчаре, што је типично обележје подручја покривених влажним ливадама. Земљишта у горњем делу пешчаре

Табела 4. Збирна статистика за SOCD (kg/m²) према референтним типовима земљишта
Table 4. Summary statistics for SOCD (kg/m²) according to referent soil group

Земљишно својство		F однос p вредност		Референтни типови земљишта (са главним и допунским квалификаторима)				Укупно (n=31)
				Arenosol (Protic, Calcaric) (n=9)	Arenosol (Haplic, Calcaric) (n=9)	Chernozem (Arenic) (n=8)	Gleysol (Calcaric, Arenic) (n=5)	
SOCD (kg m ⁻²) (0-10 cm)	Средња вредност			1,59 ^(a)	3,14 ^(b)	2,38 ^(ab)	2,57 ^(ab)	2,40
	SD	4,83	0,0081	0,82	1,11	0,54	0,91	1,03
	CV			51,55	35,24	22,82	35,76	42,77
SOCD (kg m ⁻²) (10-20 cm)	Средња вредност			0,90 ^(a)	1,19 ^(a)	1,39 ^(a)	1,56 ^(a)	1,22
	SD	1,40	0,2641	0,69	0,61	0,66	0,62	0,66
	CV			77,18	50,83	47,65	39,99	54,44

SOCD – густина органског угљеника у земљишту

SD – стандардна девијација

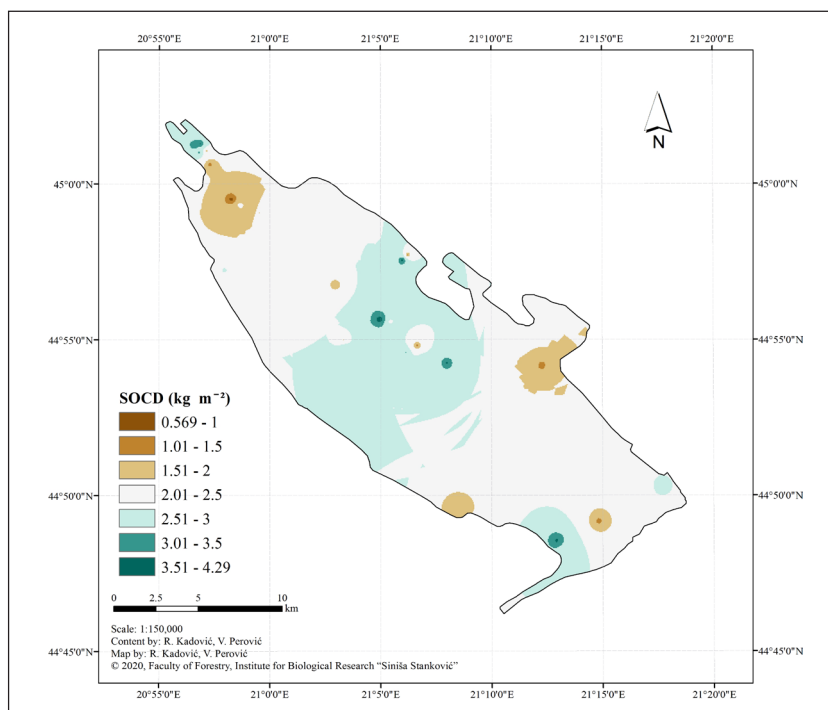
CV – коефицијент варијације

Табела 5. Збирна статистика за SOCD (kg/m^2) према типу вегетације
Table 5. Summary statistics for SOCD (kg/m^2) according to referent vegetation group

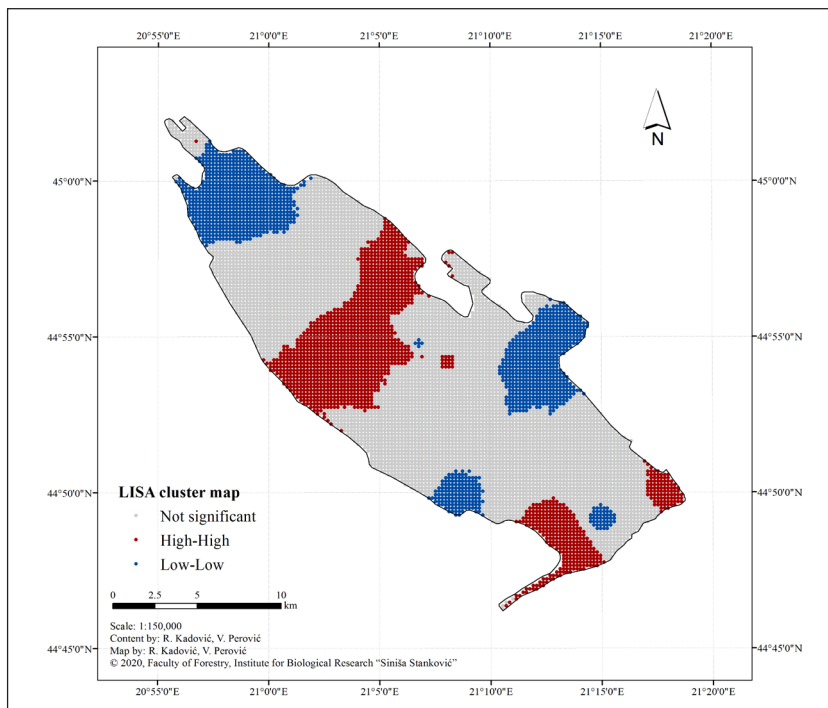
Земљишно својство		F однос ρ вредност		Тип вегетације				Укупно (n=31)
				Степска и пешчана травна вегетација (n=10)	Влажне ливаде (n=5)	Аутохтона жбунаста и шумска вегетација (n=8)	Шумске културе (n=8)	
SOCD (kg m^{-2}) (0-10 cm)	Средња вредност	4,53	0,0107	1,70 ^(a)	2,56 ^(ab)	3,24 ^(b)	2,34 ^(ab)	2,40
	SD			0,83	0,90	0,99	0,82	1,03
	CV			48,66	35,46	30,64	34,86	42,73
SOCD (kg m^{-2}) (10-20 cm)	Средња вредност	0,85	0,4784	1,31 ^(a)	1,56 ^(a)	1,02 ^(a)	1,08 ^(a)	1,22
	SD			0,82	0,62	0,55	0,58	0,66
	CV			62,37	39,40	53,95	53,45	54,44

имају већи садржај воде и акумулирају значајну количину SOC-а, како је приказано High-High кластерима. Већина Low-Low кластера налази се у северним и источним деловима

Делиблатске пешчаре, што сугерише да ова подручја имају релативно ниске резерве SOC-а у односу на остатак подручја. Ова подручја су углавном песковита земљишта покривена



Слика 4. Просторна варијабилност SOCD (kg/m^2) у површинском слоју (0–10 cm)
Image 4. The spatial variability of SOCD (kg/m^2) in the surface soil layer (0–10 cm)



Слика 5. Карта LISA кластера за дистрибуцију садржаја SOC-а
Image 5. The LISA cluster map of SOC distribution

степском и пешчаном вегетацијом. Просторна анализа је указала на велики број кластера које је локални Моранов индекс класификовао као „незначајан“. Категорија „незначајан“ указује да постоји слаба варијабилност података (високе вредности окружене ниским вредностима или обрнуто) у овим областима.

За просечне вредности садржаја SOCD (kg/m^2) и површине према идентификованим типовима вегетације, израчунате су резерве SOC-а у слоју земљишта од 0-20 cm (Mg), као и процентуално учешће, које је приказано у табели 6, за површину (без урбанистичког дела) од 32.923,24 ha.

Табела 6. Резерве органског угљеника у земљишту у слоју 0-20 cm (Mg)
Table 6. Storage of soil organic carbon in the layer 0-20 cm (Mg)

Категорија начина коришћења земљишта	Назив	Удео		SOC резерве у слоју 0-20 cm	
		ha	%	Mg	%
I	Степска и пешчана травна вегетација	5.967,39	17,66	179.618,44	15,27
II	Влажне ливаде	308,71	0,91	12.718,86	1,08
III	Аутохтона жбунаста и дрвенаста вегетација	5.442,46	16,1	231.848,79	19,71
IV	Шумске културе	21.204,68	62,74	752.200,05	63,94
V	Урбане површине	874,58	2,59	-	-
УКУПНО		33.797,82	100,00	1.176.386,14	100,00

4. ДИСКУСИЈА

Подручје Делиблатске пешчаре карактеришу екстремни и специфични еколошки услови станишта, са доминантном степском вегетацијом и шумским екосистемима у различитим фазама развоја песковитих земљишта. Утицај вегетације, посебно шума, има позитивну улогу у процесу педогенезе. Шумско дрвеће својим кореновим системом и крошњама ублажава екстремне услове станишта, стварајући специфичну микроклиму. Степска вегетација такође има позитиван утицај на земљиште. Међутим, њен утицај на микроклиму је знатно мањи (Belanović *et al.*, 2013).

У Делиблатској пешчари постоји висок степен просторне варијабилности SOC-а и SOCD-а (слика 3 и слика 4), што је типично за оба анализирана слоја земљишта (дубине 0-10 cm и 10-20 cm) како према референтним типовима земљишта тако и према типовима вегетације. Ови резултати су очекивани јер SOC у великој мери зависи од климе (углавном падавина), текстуре земљишта (табела 1) и вегетације (табела 3), што све утиче на дистрибуцију SOC-а у профилу земљишта и у складу је са типом екосистема (Zhang *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2019). Поред тога, истраживање Lacoste *et al.*, (2014) процењује да се само 33% укупног SOC-а складишти на дубинама испод 30 cm.

Према базама података (Yost, Hartemink, 2019), садржај SOC у горњем слоју земље у песковитим земљиштима (≤ 30 cm), у просеку варира између 23 g/kg и 195 g/kg у Аустралији; 6 g/kg у Азији, 19 g/kg у Европи, 13 g/kg у Јужној Америци, а у Северној Америци 14 g/kg. У умереном појасу садржај SOC-а иде до 158 g/kg на западној хемисфери, око 21 g/kg у централном делу, а у просеку 131 g/kg SOC-а на источној хемисфери. Аутори (Hartemink, Huting, 2008) су објавили следеће вредности садржаја C (g/kg), у слојевима од 0-10 и 10-20 cm : у Анголи $6,2 \pm 4,2$ и $4,4 \pm 4,0$; Боцвана $2,9 \pm 1,1$ и $2,8 \pm 0,9$; Намибија $2,6 \pm 0,7$ и $2,5 \pm 0,7$ g/kg, респективно за песковита земљишта пустињских региона земаља на југу Африке. У региону централне и источне Европе просечна густина SOC-а у песковитим земљиштима у

слоју од 0-30 cm износи $2,2 \text{ kg/m}^2$ C, а у слоју од 0-100 cm $3,9 \text{ kg/m}^2$ (Batjes, 2002). Средњи садржај SOC-а у слоју 0-30 cm износи $41,78 \text{ t/ha}$ C ($4,18 \text{ kg/m}^2$), у песковитим земљиштима Србије (Vidojević *et al.*, 2018). Према резултатима из Литваније (Armolaitis *et al.*, 2007), у раније обрађеном слоју земљишта од 0-30 cm акумулирано је 57-60% укупних резерви угљеника у земљишту, од чега у просеку $2,58 \text{ kg/m}^2$ C, у засадима белог бора (*Pinus sylvestris* L.) и $2,08 \text{ kg/m}^2$ C у напуштеним ораницама. Према резултатима Националне процене екосистема (Alonso *et al.*, 2012), пешчане дине на западној обали УК акумулирају (складиште) од 0,58 до $0,73 \text{ t/ha/god}$ C, иако је укупна површина ових станишта мала. У холандским песковитим земљиштима, количина SOC-а нагло опада са дубином земљишта, а највеће количине се налазе у горњем слоју (0-10 cm). SOC у горњем слоју земљишта варира у зависности од типа земљишта, мање од 1%, а количина SOC-а у горњих 30 cm износи приближно 50-100 Mg/ha (Römkens, Oenema, 2004). У песковитим земљиштима у суббореалној зони Средње Европе (Пољска) (Janowski, 2010), SOC у А-хоризонту износи 0,24%.

Резултати показују да су, посебно у слоју 0-10 cm, највеће вредности SOC-а и SOCD-а утврђене испод аутохтоних влажних ливада и шибља и шумске вегетације и нешто ниже у земљиштима под шумским културама. Разлог за веће вредности SOC-а у површинском хоризонту често је повезан са повећањем пропорција SOC-а и његовим спорим циклусом ка дубљим хоризонтима, смањеним пуферским капацитетом земљишта и ужим опсегом садржаја SOC-а у дубљим слојевима земљишта (Rumpel, Kogel-Knabner, 2011). Овој разлици је допринело више фактора, али је извесно да у деловима Делиблатске пешчаре који су под сталним природним шумама, шумским културама и шибљем, различити облици стеље обогаћују земљиште током процеса разлагања.

У овим земљиштима генерално има више органског угљеника у поређењу са другим начинима коришћења земљишта, првенствено због шумске стеље. Што се тиче земљишног покривача (Yost, Hartemink, 2019), SOC је

био најнижи у песковитим земљиштима испод степске вегетације (7 g/kg), а мањи од 10 g/kg у земљиштима под пољопривредом, травњацима и шикарама. Према истим ауторима, већина песковитих земљишта под пољопривредом има максималну вредност SOC-а од 18 g/kg, док је у земљиштима под шумама износила 53 g/kg, у земљиштима под травњацима 19 g/kg, под степском вегетацијом 13 g/kg и 16 g/kg у земљиштима под жбунастом вегетацијом. Иако жбунасте врсте имају разгранат коренов систем који продире дубље у земљиште, дуг природни циклус успорава разлагање и кретање већих количина SOC-а у дубље слојеве. Поред тога, релативно густ покривач земљишта са крошњама дрвећа и жбуња и густим травним покривачем задржава део падавина и смањује губитке SOC-а споријим и slabим испирањем и површинским отицајем (Turner, Lambert, 2000). С друге стране, земљишта под степском и пешчаном вегетацијом показују ниже вредности SOC-а, посебно у дубоким слојевима. Испаша може смањити унос SOC-а у дубље слојеве, првенствено због уклањања биомасе са површине, чиме се смањује транслокација, што резултира смањењем садржаја SOC-а са дубином (Hobley *et al.*, 2015).

Резултати такође показују да у процесу управљања СРП Делиблатска пешчара, а самим тим и управљања резервама угљеника, основну пажњу треба усмерити на заштиту аутохтоних шума, шибља и травњака. Садржај SOCД у аутохтоној шумској вегетацији је 1,92 пута већи него у код степске и пешчане вегетације и 1,38 пута већи него у шумским културама. У групи влажних ливада садржај SOCД је 1,51 пута већи него у групи степске и пешчане вегетације. Генерално, пошумљавање повећава садржај SOC-а и приоритет треба дати очувању аутохтоних врста дрвећа.

У последњих 200 година извршено је значајно пошумљавање тако да су пешчане површине везане и стабилизоване. Међутим, очуване су релативно мале површине аутохтоне шумске и жбунасте вегетације (16,1%) на којима се може пратити природна сукцесија. Природна пешчана вегетација је заступљена са 0,87%, степска са 1,16%, а влажне ливаде са 0,91%. Аутохтоне шуме заступљене су са 2,29%.

Савремени концепти очувања и рехабилитације природе (Koster, 2009), истичу обнављање примарне динамике екосистема на песковитим земљиштима у циљу постизања максималног биодиверзитета и сукцесије природне вегетације. У основи, овај приступ може бити у супротности са класичним стратегијама управљања специјалним резерватом природе Делиблатска пешчара. Значајно је да основе газдовања шумама треба да буду сачињене на типолошкој основи и усклађене са законима и актима којима је ова проблематика регулисана. Ипак, императив је да се будуће праксе управљања заснивају на чврстом разумевању и праћењу интеракција између геоморфолошких, климатских, едафских и вегетационих услова. Ова област није значајна само са економског, већ и са научног, образовног, етичког и естетског становишта. Према анализама осетљивости, у односу на процесе деградације (Kadović *et al.*, 2016), 99,44% површине припада класама фрагилне и критичне осетљивости на деградацију. С обзиром на климатске промене, ове студије су од посебне вредности.

Ово истраживање је укључивало идентификацију фокалних тачака са високим или ниским количинама SOC-а. Студије просторне варијабилности SOC-а биле су једна од главних тема у екологији земљишта у последњих неколико деценија. Просторна варијабилност и свеобухватна процена SOC-а анализирани су широм света, као што су: Данска (Adhikari *et al.*, 2014), Француска (Martin *et al.*, 2010), Гана (Owusu *et al.*, 2020), Казахстан (Takata *et al.*, 2007), Кина (Yao *et al.*, 2019) и Иран (Tajik *et al.*, 2020). Локални Моранов индекс показао се као користан алат за идентификацију просторне дистрибуције SOC-а, односно за класификацију у просторне кластере и просторне екстреме. Овај метод нам олакшава тумачење основних података, односно прерасподелу просторних кластера различитих категорија.

Предвиђене промене климе (температура и падавине) ће вероватно утицати на резерве SOC-а, директно и индиректно. Директно – на брзину разлагања микробним процесима утичу и температура земљишта и режими влажности. Индиректно – климатске промене утичу на раст биљака, нето примарну продуктивност, над-

земну и подземну биомасу и на тип и количину биљних остатака итд. (FAO, 2015). За подручја као што је Специјални резерват природе Делиблатска пешчара, будуће климатске промене су један од кључних изазова, јер су тренутне дневне и годишње температурне флукуације веома велике. Због тога је загревање песка веома изражено током дана и лети, тако да температуре често достижу и до 60 °C, док зими температура знатно опада, а годишња колебања температуре су и до 80 °C, што ова станишта чини екстремним за одржавање вегетације.

5. ЗАКЉУЧАК

Овај рад представља резултате проучавања органског угљеника у песковитим земљиштима Делиблатске пешчаре, специјалном резервату природе. Песковита земљишта истраживаног подручја су веома осетљива на деградацију (с обзиром на њихову фрагилност). Анализе су вршене за слојеве земљишта дубине 0-10 cm и 10-20 cm за референтне типове земљишта: Arenosol (Protic, Calcaric); Arenosol (Naplic, Calcaric); Chernozem (Arenic) и Gleysol (Calcaric, Arenic) и различите типове вегетације: степска и пешчана травна вегетација, влажне ливаде, аутохтона жбунаста и шумска вегетација и шумске културе. Средње вредности садржаја SOC-а (g/kg) су 23,13±9,64 (0-10 cm) и 11,20±5,67 (10-20 cm). Средње вредности SOCD (kg/m²) су 2,40±1,03 (у слоју 0-10 cm), и 1,22±0,66 (у слоју 10-20 cm). У односу на тип вегетације, средње вредности у слоју 0-10 cm су 23,13±9,64, а у слоју 10-20 cm је 11,20±5,67. Утврђен је висок степен просторне варијабилности у погледу садржаја и густине SOC-а, како по референтним типовима земљишта, тако и по типовима вегетације. Укупне резерве SOC-а у земљиштима Делиблатске пешчаре процењене су на 1,18×10⁶ Mg у горњим (0-20 cm) слојевима. Добијени резултати указују да у процесу управљања СРП Делиблатска пешчара, и управљања резервама SOC-а, главна пажња треба бити усмерена на заштиту аутохтоне вегетације.

Напомена: Рад је реализован у оквиру Уговора о реализацији и финансирању научноис-

траживачког рада Научноистраживачке организације – Шумарског факултета Универзитета у Београду 2022. године, Рег. бр. 451-03-47/2023-01/200169 и 451-03-68/2022-14/200007, финансирани од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- Adhikari, K., A. E. Hartemink, B. Minasny, R. Bou Kheir, M. B. Greve, M. H. Greve. 2014. Digital Mapping of Soil Organic Carbon Contents and Stocks in Denmark. *PLOS ONE* 9(8). doi: 10.1371/journal.pone.0105519.
- Alonso, I., K. Weston, R. Gregg, M. Morecroft. 2012. Carbon storage by habitat - Review of the evidence of the impacts of management decisions and condition on carbon stores and sources. *Natural England Research Reports* 043.
- Anselin, L. 1995. Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis* 27: 93–115. doi: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.
- Anselin L., I. Syabri, Y. Kho. 2006. Geoda: An introduction to spatial data analysis. *Geographical Analysis* 38(1): 5–22.
- Armolaitis, K., J. Aleinikovienė, A. Baniūnienė, J. Lubytė, V. Žekaitė. 2007. Carbon Sequestration and Nitrogen Status in Arenosols Following Afforestation or Following Abandonment of Arable Land. *Baltic Forestry* 13(2): 169–178.
- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 151–163.
- Batjes, N. H. 2002. Carbon and nitrogen stocks in the soils of Central and Eastern Europe. *Soil Use and Management* 18. doi: 10.1079/SUM2002138.
- Belanović, S., O. Košanin, R. Kadović, M. Knežević, J. Beloica, Y. A. M. Bohajar. 2013. The impact of vegetation on arenosol properties at Deliblato Sands. *Soil – Water – Plant. Proceedings of the 1st International Congress on Soil Science*. Belgrade.
- Bogdanović, N., N. Velikonja, Z. Racz. 1966. Hemijske metode ispitivanja zemljišta (eng. Chemical methods for soil investigation). *Priručnik za ispitivanje zemljišta (Knjiga 1)*. Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta. Beograd-Novi Sad.

- Bohajar, Y. A. M. 2016. Suše i proces aridizacije kao faktor degradacije zemljišta na području Deliblatske peščare (eng. Droughts and the Process of Aridification as Soil Degradation Factor in Deliblato Sands). Doctoral Dissertation, University of Belgrade, Faculty of Forestry, Beograd.
- Bošnjak, Đ., S. Dragović, V. Hadžić, V. Babović, N. Kostić, Č. Burlica, M. Đorović, M. Pejković, T. D. Mihajlović, S. Stojanović, G. Vasić, R. Stričević, B. Gajić, V. Popović, G. Šekularac, Lj. Nešić, M. Belić, A. Đorđević, B. Pejić, Đ. Maksimović Karagić, B. Lalić, I. Arsenić. 1997. Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta (eng. Methods of investigation and determination of physical soil properties). *Priručnik za proučavanje zemljišta*. Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, Komisija za fiziku zemljišta: 278, Novi Sad.
- Cienciala, E., Z. Exnerová, J. Macků, V. Henžlík. 2006. Forest topsoil organic carbon content in Southwest Bohemia region, *Journal of Forest Science*: 52–9.
- Corsi, S., T. Friedrich, A. Kassam, M. Pisante, J. de Moraes Sà. 2012. Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: A literature review, *Integrated crop management* 16: 101.
- Ćuk, M. 2019. Status i vremenska dinamika flore i vegetacije Deliblatske peščare (eng. Status and time dynamics of flora and vegetation in Deliblato Sands). Doctoral Dissertation, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Prirodno-matematički fakultet, Department of Biology and Ecology.
- Ćurić, M., N. Ranđelović, D. Avramović, D. Spasić, N. Hristovski. 2010. Rare plant species of Deliblato Sands. Proceedings of the XVIII International Scientific and Professional Meeting "Ecological truth" Eco-Ist'10. Apatin.
- Drakulić, J. 1969a. Položaj i opšti uslovi objekta (eng. Location and general conditions of the building). „Deliblatska peščara 1818-1986“. *Šumsko industrijski kombinat*: 9–12.
- Drakulić, J. 1969b. Istorijat Deliblatske peščare (eng. History of Deliblato Sands). „Deliblatska peščara 1818-1986“. *Šumsko industrijski kombinat*: 13–26.
- FAO – Food and Agriculture Organization. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR): Main Report. Rome.
- FAO – Food and Agriculture Organization. 2019. *In: Lecture notes on the major soils of the world. Mineral Soils conditioned by Parent Material*. Rome.
- Hartemink, A. E., J. Huting. 2008. Land Cover, Extent, and Properties of Arenosols in Southern Africa. *Arid Land Research and Management* 22(2): 134–147. doi: 10.1080/15324980801957689.
- Hobley, E., B. Wilson, A. Wilkie, J. Gray, T. Koen. 2015. Drivers of soil organic carbon storage and vertical distribution in Eastern Australia. *Plant Soil* 390(1-2): 111–127. doi: 10.1007/s11104-015-2380-1.
- Jankowski, M. 2010. Diversity and classification problems of sandy soils in subboreal zone (Central Europe, Poland). 19th World Congress of Soil Science: soil solutions for a changing world. Brisbane.
- Kadović, R., P. Spasov, Y. A. M. Bohajar, S. Belanović Simić, O. Košanin. 2014. Analysis of aridity indicators in Deliblato Sands. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 109: 97–112.
- Kadović, R., Y. A. M. Bohajar, V. Perović, S. Belanović Simić, M. Todosijević, S. Tošić, M. Anđelić, D. Mlađan, U. Dovezenski. 2016. Land Sensitivity Analysis of Degradation using MEDALUS model: Case Study of Deliblato Sands, Serbia. *Archives of Environmental Protection*: 42(4). doi: 10.1515/aep-2016-0045.
- Koster, E. 2009. The "European Aeolian Sand Belt": Geoconservation of Drift Sand Landscapes. *Geoheritage* 1. doi: 10.1007/s12371-009-0007-8.
- Lacoste, M., B. Minasny, A. McBratney, D. Michot, V. Viaud, C. Walter. 2014. High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape. *Geoderma* 213: 296–311. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.07.002.
- Lalor, G., C. S. Zhang. 2001. Multivariate outlier detection and remediation in geochemical databases. *Science of The Total Environment* 281(1-3): 99–109. doi: 10.1016/S0048-9697(01)00839-7.
- Letić, Lj., R. Malešević. 2004. Povodom jubileja 185. Godišnjice pošumljavanja Deliblatske peščare (eng. On the occasion of the 185th anniversary of the afforestation of Deliblato Sands). SRP "Deliblatska peščara" *Zbornik radova* VII. Pančevo.

- Malagnoux, M. 2007. Arid Land Forests of the World. Global Environmental Perspectives. Paper presented at Afforestation and Sustainable Forests as a Means to Combat Desertification, Jerusalem, Israel, 16–19 April 2007.
- Martin, M. P., M. Wattenbach, P. Smith, J. Meersmans, C. Jolivet, L. Boulonne, D. Arrouays. 2010. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences* 8. doi: 10.5194/bg-8-1053-2011.
- Minasny, B., B. P. Malone, A. B. McBratney, D. A. Angers, D. Arrouays, A. Chambers, V. Chaplot, Z. S. Chen, K. Cheng, B. S. Das, D. J. Field, A. Gimona, C. B. Hedlez, S. Y. Hong, B. Mandal, B. P. Marchant, M. Martin, B. G. McConkey, V. L. Mulder, S. O'Rourke, A. C. Richer-de-Forges, I. Odeh, J. Padarian, K. Paustin, G. Pan, L. Poggio, I. Savin, V. Stolbovoy, U. Stockmann, Y. Sulaeman, C. C. Tsui, T. G. Vågen, B. van Wesemael, L. Winowiecki. 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.
- Owusu, S., Y. Yigini, G. F. Olmedo, C. T. Omuto. 2020. Spatial prediction of soil organic carbon stocks in Ghana using legacy data. *Geoderma* 360. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114008.
- Römken, P. F. A. M., O. Oenema. 2004. Quick Scan Soils in The Netherlands. Overview of the soil status with reference to the forthcoming EU Soil Strategy. *Alterra-rapport* 948. Wageningen.
- Rumpel, C., I. Kögel-Knabner. 2011. Deep soil organic matter – a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil* 338. doi: 10.1007/s11104-010-0391-5.
- Schmidt, M. W. I., M. S. Torn, S. Abiven, T. Dittmar, G. Guggenberger, I. A. Janssens, M. Kleber, I. Kögel-Knabner, J. Lehmann, D. A. C. Manning, P. Nannipieri, D. P. Rasse, W. Steve, S. E. Trumbore. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 479, 49–56.
- Sleutel, S., A. M. Kader, A. S. Begum, S. De Neve. 2010. Soil-organic-matter stability in sandy cropland soils is related to land-use history. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173–1. doi:10.1002/jpln.200900062.
- Stolbovoy, V., L. Montanarella, N. Filippi, S. Selvaradjou, J. Gallego. 2005. Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of the European Union. EUR 21576 EN. 2005. JRC32323.
- Tajik, S., S. Ayoubi, M. Zeraatpisheh. 2020. Digital mapping of soil organic carbon using ensemble learning model in Mollisols of Hyrcanian forests, northern Iran. *Geoderma Regional* 20. doi: 10.1016/j.geodrs.2020.e00256
- Takata, Y., S. Funakawa, K. Akshalov, N. Ishida, T. Kosaki. 2007. Spatial prediction of soil organic matter in northern Kazakhstan based on topographic and vegetation information. *Soil Science and Plant Nutrition* 53(3). doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00142.x.
- Turner, J., M. Lambert. 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 3(3). doi: 10.1016/S0378-1127(99)00236-4.
- Vidojević, D., M. Manojlović, A. Đorđević, Lj. Nešić, B. Dimić. 2018. Estimation of soil organic carbon stock in the Republic of Serbia. The proceedings of the 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia "Solutions and projections for sustainable soil management". 25-28th September. Novi Sad.
- Wang, F. P., X. C. Wang, B. Q. Yao, Z. H. Zhang, G. X. Shi, Z. Ma, Z. Chen, H. K. Zhou. 2018. Effects of land-use types on soil organic carbon stocks: a case study across an altitudinal gradient within a farm-pastoral area on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Journal of Mountain Science* 15. doi: 10.1007/s11629-018-4980-8.
- Yao, X., K. Yu, Y. Deng, J. Liu, Z. Lai. 2019. Spatial variability of soil organic carbon and total nitrogen in the hilly red soil region of Southern China. *Journal of Forestry Research*. doi: 10.1007/s11676-019-01014-8.
- Yost, L. J., E. A. Hartemink. 2019. Soil organic carbon in sandy soils: A review. *Advances in Agronomy* 158. doi: 10.1016/bs.agron.2019.07.004.
- Zarić, M. 2014. Olujni i orkanski udari košave – mećava i vejavice u severnim i severoistočnim delovima Srbije: Analiza sinoptičke situacije i vremena u periodu od 26. januara do 4. februara 2014. godine (eng. Storm and Košava wind gusts - blizzards and snowstorms in the northern and northeastern parts of Serbia: Analysis of the synoptic situation and weather in the period from January 26 to February

4, 2014). Republic Hydrometeorological Service of Serbia: 1–28.

- Zhang, C., G. B. Liu, S. Xue, C. Sun. 2013. Soil organic carbon and total nitrogen storage as affected by land use in a small watershed of the Loess Plateau, China. *European Journal of Soil Biology* 54. doi: 10.1016/j.ejsobi.2012.10.007
- Zhao, C., M. Shao, X. Jia, L. Huang, Y. Zhu. 2019. Spatial distribution of water-active soil layer along the south-north transect in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Land* 11(2). doi: 10.1007/s40333-019-0051-4



© 2023 Authors. Published by the University of Belgrade, Faculty of Forestry. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)