

## Prilog poznavanju nekih fizičkih i hemijskih osobina krečnjačkih zemljišta planinskog masiva Ozren

Boško Gajić<sup>1\*</sup>, Miodrag Tolimir<sup>2</sup>, Branka Kresović<sup>2</sup>, Aleksa Lipovac<sup>1</sup>, Angelina Tapanarova<sup>1</sup>, Ljubomir Životić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd 11080, Srbija

<sup>2</sup>Institut za kukuruz „Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, Beograd 11185, Srbija

\* Autor za korespondenciju: B. Gajić, [bonna@agrif.bg.ac.rs](mailto:bonna@agrif.bg.ac.rs)

### Izvod

### Abstract

Zemljišta obrazovana na krečnjacima zauzimaju veliku površinu u Srbiji, ali veoma malo podataka ima o njihovim osobinama. U ovom radu su prikazane fizičke i hemijske osobine posmeđenog kalkomelanosola i srednje dubokog kalkokambisola na planini Ozren. Na prevoju Vlasina odabran je lokalitet sa posmeđenim kalkomelanosolom pod prirodnom travnom vegetacijom, a u blizini Ozrenskih livada odabran je lokalitet s kalkokambisolom pod prirodnom mešovitom šumom. Na navedenim lokalitetima iskopani su profili do matičnog supstrata iz kojih su po genetičkim horizontima uzeti uzorci u narušenom i nenarušenom stanju za laboratorijske analize. Određen je mehanički sastav, agregatni sastav i vodootpornost strukturnih agregata, gustina suvog zemljišta, ukupna poroznost, vazdušni kapacitet, vododrživa sposobnost, vodopropustljivost, pH vrednosti, sadržaj humusa, sadržaj fiziološki aktivnog fosfora ( $P_2O_5$ ) i kalijuma ( $K_2O$ ), hidrolitička kiselost, kapacitet adsorpcije katjona (CEC), suma razmenljivih baznih katjona, te stepen zasićenosti razmenljivim baznim katjonima. Humusno akumulativni horizont,  $A_{mo}$ , posmeđenog kalkomelanosola je praškasto glinaste teksture. Kambični ( $B$ )<sub>tz</sub> horizont oba zemljišta je glinovite teksture.  $A_{mo}$  horizont kalkomelanosola odlukuje se mrvičastom strukturom (0,5–5 mm) veoma visoke vodootpornosti. Ukupna poroznost, vazdušni kapacitet i vodopropustljivost oba zemljišta je visoka. Njihova vododrživa sposobnost je visoka.  $A_{mo}$  horizont kalkomelanosola se odlikuje visokim sadržajem humusa (>10%). Hemijska reakcija (pH u  $H_2O$ )  $A_{mo}$  horizonta je neutralna, dok je u ( $B$ )<sub>tz</sub> horizontima oba zemljišta umereno kisela. Oba zemljišta imaju visoke vrednosti CEC (>58 cmol kg<sup>-1</sup>) i veoma su zasićena baznim katjonima (>95%). Posmeđeni kalkomelanosol je srednje do visoko obezbeđen  $K_2O$ , a kalkokambisol je srednje obezbeđen; dok su oba zemljišta veoma siromašna  $P_2O_5$ . Budući da ovo istraživanje pokazuje prilično povoljne fizičke i hemijske osobine istraženih zemljišta na ovom području zbog zadržavanja prirodne šumske i travne vegetacije, rezultati ovih istraživanja mogu pomoći u dubljem razumevanju ekologije zemljišta i očuvanju prirodnog biljnog pokrivača.

*Ključne reči:* kalkomelanosol/Calcomelanosols; kalkokambisol/Calcocambisols; vodootpornost strukturnih agregata/soil aggregate stability; vodni kapaciteti/water retention; organska materija u zemljištu/ soil organic matter; kapacitet razmenljivih katjona/cation exchange capacity

## Uvod

### Introduction

Uticaj degradacije zemljišta na dobrobit ljudi i životnu sredinu predstavlja veliki izazov. Do značajnog pada kvaliteta zemljišta došlo je širom sveta zbog nepovoljnih promena u njegovim fizičkim, hemijskim i biološkim svojstvima, te zagađenja neorganskim i organskim hemikalijama. Postoji potreba za razvojem kriterijuma za procenu kvaliteta zemljišta kako bi se mogao pratiti napredak bilo koje korektivne mere. Trenutno ne postoje opšte prihvaćeni kriterijumi za procenu promena u kvalitetu zemljišta. Ovaj nedostatak onemogućava izradu smislenih programa upravljanja zemljištem. U ovom se radu ispituju glavna fizička i hemijska svojstva koja mogu poslužiti kao pokazatelji promene kvaliteta zemljišta u određenim edafskim uslovima. Predloženi pokazatelji uključuju dubinu zemljišta do sloja koji ograničava rast i razviće korena, kapacitet zadržavanja vode, zapreminsku masu, hidrauličku provodljivost, stabilnost strukturnih agregata, sadržaj organske materije, kapacitet katjonske izmene, pH i stepen zasićenosti baznim katjonima.

Prema podacima koje navode Dugalić i Gajić (2012) kalkomelanosoli u Srbiji zauzimaju površinu veću 250 000 ha, a kalkokambisoli preko 240 000 ha. Istražena zemljišta se obrazuju na jedrim krečnjacima i dolomitima. Kalkomelanosol nastaje neposredno kao primarna zemljišna tvorevina, a kalkokambisol evolucijom kalkomelanosola (Dugalić i Gajić, 2012) kada se humusno-akumulativni horizont razvije do 20–30 cm dubine. Izučavani kalkomelanosoli prema WRB (IUSS Working group, 2022) se mogu svrstati u referentne grupu zemljišta Leptosols, i to najčešće kao Mollic, Lithic i Rendzic, a ako su dublji od 25 cm (30 cm) dubine onda pripadaju najčešće Leptic Rendzic Phaeozems (Životić i sar. 2017). Kalkokambisoli se prema WRB najčešće mogu svrstati u Leptic Phaeozems, Leptic Umbrisols and Leptic Cambisols, i to najčešće kao Cambic Leptic Rendzic Phaeozems (Rhodic ili Chromic), Cambic Leptic Umbrisols (Chromic or Rhodic) ili Leptic Chromic or Rhodic Cambisols. Takođe, i Vertic i Luvic se mogu dodati kao primarne odrednice.

Ova zemljišta su kod nas proučavana uglavnom u okviru pedoloških studija pri izradi pedoloških karata (Tanasijević i sar. 1965; Tanasijević i sar. 1966; Pavićević i sar. 1968; Antonović i sar. 1974; Antonović i sar. 1975; Antonović i Mrvić, 2008). Kalkomelanosole i kalkokambisole pod prirodnom (travnom i šumskom) vegetacijom u Srbiji proučavali su i Živković i Pantović (1954). Takođe, ova zemljišta proučavali su i Knežević i Košanin (2004) u

zajednicama planinske bukve na planini Ozren. U navedenim istraživanjima uglavnom je prikazan mehanički sastav i osnovne hemijske osobine zemljišta. Ni u jednoj od navedenih studija nema rezultata o agregatnom sastavu zemljišta i vodootpornosti strukturnih agregata, dok se samo u radu Antonović i Mrvić (2008) prikazuju neke vodno-fizičke osobine.

Planina Ozren se nalazi u jugoistočnoj Srbiji, južno od Sokobanje i čini jednu celinu sa planinom Devicom. Ozrenski deo je nešto niži, kraći i ima više šume. Za razliku od Device koja je pretežno krečnjačka planina, na zapadnim delovima Ozrena su zastupljeni škriljci, dok se u centralnim i istočnim delovima pored dominantnog prisustva krečnjaka sreću i piroklasiti, konglomerati i glinci. Planina Ozren je jedna od najšumovitijih planina u Srbiji i poznata je kao vazдушna banja bogata ozonom. Na planini Ozren su najzastupljeni kalkomelanosoli koje Tanasijević i sar. (1965) nazivaju rendzinama. Pored rendzina, odnosno kalkomelanosola po nacionalnoj klasifikaciji (Škorić i sar., 1985), sreću se na velikim prostranstvima asocijacije kalkomelanosola i litosola na krečnjaku, dok se na manjim površinama sreću i rankeri, distrični kambisoli i kalkokambisoli. Kalkokambisoli su zemljišta nižih krečnjačkih terena u odnosu na kalkomelanosole, ali se na višem terenu sreću i u vrtačama, uvalama, na manjim zaravnima, odnosno u erozionim bazama koje se javljaju lokalno.

Cilj ovog rada je da se prikažu karakteristike dubljih zemljišta obrazovanih na krečnjačkim stenama, tj. kalkomelanosola i kalkokambisola pod prirodnom vegetacijom na planini Ozren.

## **Materijali i metode**

### **Materials and Methods**

Terensko istraživanje zemljišta je obavljeno u junu 2021. godine. Na oba tipa zemljišta iskopan je po jedan pedološki profil do matične stene. Celokupni terenski rad je izveden prema metodologiji Jugoslovenskog društva za proučavanje zemljišta (Filipovski i sar., 1967), i priručniku za opisivanje zemljišta (FAO, 2006). Profil kalkomelanosola je iskopan na prevoju Vlasina (43° 35' 42.99" N, 21° 53' 1.81" E, 940 m n.v.), na prirodnoj livadi koja se redovno kosi. Profil kalkokambisola iskopan je u blizini Ozrenskih livada (43° 37' 40.26" N, 21° 52' 14.68" E, 625 m n.v.), na zapadnim padinama vrha Orlovac (867 m n.v.), u listopadno četinarskoj šumi.

Iz horizonata oba profila su uzeti uzorci zemljišta u narušenom i nenarušenom stanju za određivanje fizičkih i hemijskih osobina. Po tri uzorka u nenarušenom stanju su uzeta iz

analiziranih horizonata cilindrima Kopeckog zapremine 100 cm<sup>3</sup>. Zbog veoma male dubine (3 cm) i velikog sadržaja nerazloženih organskih materija, kao i gustog korenovog sistema šumske vegetacije, uzorci nisu uzimani iz površinskog horizonta kalkokambisola.

U laboratoriji su određene sledeće fizičke osobine zemljišta, i to: mehanički sastav zemljišta, agregatni sastav zemljišta i vodootpornost strukturnih agregata, gustina suvog zemljišta ( $\rho_b$ ), maksimalni vodni kapacitet ( $\theta_s$ ), retencioni (poljski) vodni kapacitet ( $\theta_{fc}$ , -33 kPa), vlažnost trajnog uvenuća biljaka ( $\theta_{pwp}$ , -1500 kPa), biljkama pristupačna vlaga (PAWC), brzina vodopropustljivosti (filtracija,  $K_{sat}$ ), ukupna poroznost i apsolutni vazdušni kapacitet. Na uzorcima u narušenom stanju određene su sledeće hemijske osobine zemljišta: aktivna kiselost (pH u H<sub>2</sub>O), razmenljiva kiselost (pH u 1M KCl), sadržaj humusa, hidrolitička kiselost (H), suma razmenljivo-adsorbovanih baznih katjona (S), totalni kapacitet adsorpcije katjona (CEC) i stepen zasićenosti bazama (V). Navedene fizičke i hemijske osobine zemljišta određene su standardnim postupcima (Gajić, 2005; Dugalić i Gajić, 2005). Sadržaji pristupačnog kalijuma (K<sub>2</sub>O) i fosfora (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) određeni su Al-metodom po Egner-Rejmu-Domingu (Минеев и сар., 2001).

Korišćenjem frakcija strukturnih agregata izdvojenih suvim i mokrim prosejavanjem izračunat je srednji maseni dijametar (MWD) i srednji geometrijski dijametar (GWD) jednačinama 1 i 2 (Gajić, 2005):

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \times W_i, \quad (1)$$

$$GMD = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^n W_i \times \ln \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (2)$$

gde je  $\bar{x}_i$  srednji dijametar frakcije agregata  $i$ -te veličine (mm),  $w_i$  procentualni sadržaj frakcije agregata na situ  $i$  u odnosu na ukupnu masu uzorka.

Rezultati određivanja gore navedenih parametara označeni su kao MWD<sub>d</sub> i GMD<sub>d</sub>, odnosno MWD<sub>ws</sub> i GMD<sub>ws</sub>, gde se indeksi  $d$  i  $ws$  odnose na frakcija strukturnih agregata izdvojenih suvim, odnosno mokrim prosejavanjem. Veće vrednosti srednjeg masenog dijametara vodootpornih agregata (MWD<sub>ws</sub>) ukazuju na veći stepen stabilnosti agregata, niži nivo erodibilnosti i manju opasnost od stvaranja pokorice (Gajić i sar., 2010).

## Rezultati

### Results

#### *Unutrašnja morfologija profila kalkomelanosola*

#### *The internal morphology of the calcomelanosols profile*

Građa istraženog profila posmeđenog kalkomelanosola je  $A_{mo1}$ - $A_{mo2}$ -( $B$ )<sub>rz</sub>-R (Slika 1). Humusno-akumulativni – A horizont je moličnog tipa, moćnosti oko 37 cm, u suvom stanju braonkasto crne boje (10YR 3/1), a u vlažnom stanju crne boje (10YR 2/1) i mrvičaste strukture. Kambični ( $B$ )<sub>rz</sub>-horizont je i u suvom (10YR 5/3) i vlažnom stanju (10YR 4/3) zagasito žučkasto braon boje, graškaste strukture, moćnosti 13 cm.



**Slika 1.** Posmeđena crnica na krečnjaku  
**Figure 1.** Brownized Black Soil formed on hard limestones

**Mehanički i agregatni sastav kalkomelanosola****Particle size distribution of Calcomelanosols**

Po mehaničkom sastavu humusni horizont ovog zemljišta spada u praškaste glinuše, a kambični (B)<sub>rz</sub>-horizont u glinuše, što se vidi iz tabele 1. Mehanički sastav istraženog kalkomelanosola karakteriše dominantna zastupljenost frakcije gline čiji je sadržaj redovno veći od 50%, tačnije varira u intervalu 50,0–63,7%. Od izdvojenih mehaničkih frakcija najmanje učešće ima zbirna frakcija peska, tj. čestice veličine 2,00–0,05 mm (0,9–2,1%). Po dubini profila primećuje se osetnije kolebanje u mehaničkom sastavu, tj. sadržaju mehaničkih frakcija praha i gline, dok kod mehaničke frakcije peska to nije slučaj. Naime, zapaža se povećanje mehaničke frakcije gline s dubinom profila, što je posledica dehumizacije i posmeđivanja.

**Tabela 1.** Mehanički sastav frakcija sitne zemlje (< 2 mm) ispitivanih zemljišta**Table 1.** Particle size distribution of the fine earth fractions (< 2 mm) of the investigated soils

Horizont/ Soil horizon	Dubina/ Depth (cm)	Mehaničke frakcije/ Particle size distribution (%)				Teksturna klasa/Soil texture (USDA)
		Krupan pesak/ Coarse sand (0,2–2,00 mm)	Sitan pesak/ Fine sand (0,05–0,2 mm)	Prah/Silt (0,002–0,05 mm)	Glina/Clay (< 0,002 mm)	
Posmeđeni kalkomelanosol / Brownized Black Soil formed on hard limestones						
A <sub>mo1</sub>	0–12	1,1	1,0	46,9	51,0	praškasta glinuša/ silty clay
A <sub>mo2</sub>	12–37	0,8	0,6	40,5	58,1	praškasta glinuša/ silty clay
(B)	37–50	0,2	0,7	35,4	63,7	glinuša/ clay
Kalkokambisol / Calcocambisol						
(B) <sub>rz</sub>	6–36	2,0	4,8	39,6	53,6	glinuša/ clay

Tabela 2 prikazuje agregatni sastav kalkomelanosola pod prirodnim travnim pokrivačem. Udeo različitih frakcija strukturnih agregata pokazao je različite distribucijske obrasce po dubini istraženog profila. Najveći procenat ukupnih agregata čine mrvičasti agregati veličine 0,5–5 mm, zatim graškasti (5–10 mm) makroagregati, osim u površinskom delu humusno-akumulativnog horizonta, potom sledi frakcija strukturnih agregata veličine 0,5–0,25 mm, dok su najmanje zastupljeni mikroagregati (<0,25 mm) koji se još nazivaju i praškastim agregatima. Procentualni sadržaj mrvičastih agregata bio je najveći u površinskom delu A<sub>mo</sub>-horizonta (A<sub>mo1</sub>-horizont, 0–12

cm), 86,3%. U potpovršinskom delu humusno-akumulativnog horizonta ( $A_{mo2}$ -horizont, 12–37 cm) i kambičnom horizontu sadržaj tih agregata se naglo smanjuje i iznosi 52,8%, odnosno 60,0%. Udeo frakcije graškastih agregata bio je znatno manji u površinskom sloju dubine 0–12 cm (2,2%) nego u potpovršinskim horizontima (28,0–35,1%). Procentualni sadržaj megaagregata varira u intervalu 0,0–9,0%. Najmanju zastupljenost imale su frakcije strukturnih agregata veličine 0,5–0,25 mm (1,8–6,5%) i mikroagregati (1,3–5,1%). Sadržaj poslednje dve frakcije agregata se smanjuje sa povećanjem dubine istraženog profila. Znatnom udelu mrvičastih agregata u ukupnoj zemljišnoj masi doprineo je dubok, gusto razvijen vlaknasti korenov sistem travnate vegetacije.

**Tabela 2.** Zastupljenost frakcija strukturnih agregata (% mas) izdvojenih suvim prosejavanjem zemljišta  
**Table 2.** Dry aggregate size distribution (mass %) of the investigated soils

Horizont/ Soil horizon	Dubina/ Depth (cm)	Frakcija strukturnih agregata/Aggregate size class (mm)								MWD <sub>d</sub> <sup>†</sup> (mm)	GMD <sub>d</sub> <sup>††</sup> (mm)
		> 10	10–5	5–3	3–2	2–1	1– 0,5	0,5– 0,25	< 0,25		
Posmeđeni kalkomelanosol / Brownized Black Soil formed on hard limestones											
$A_{mo1}$	0–12	0,0	2,2	23,4	30,0	30,7	2,2	6,5	5,1	2,36	1,30
$A_{mo2}$	12–37	9,0	35,1	33,7	11,0	7,5	0,6	1,8	1,3	5,46	1,91
$(B)_{tz}$	37–50	7,2	28,0	26,4	15,1	16,7	1,8	3,4	1,5	4,67	1,72
Kalkokambisol / Calcocambisol											
$(B)_{tz}$	6–36	32,9	32,7	20,9	6,8	4,5	0,4	0,9	0,9	7,49	2,21

<sup>†</sup> MWD<sub>d</sub> – srednji maseni dijamentar/mean weight diameter of air-dried aggregates, <sup>††</sup> GMD<sub>d</sub> – srednji geometrijski dijamentar/geometric mean diameter of air-dried aggregates.

Rezultati istraživanja prikazani u tabeli 2 pokazuju veće vrednosti srednjeg masenog dijametara (MWD<sub>d</sub>) i srednjeg geometrijskog dijametara (GWD<sub>d</sub>) u podpovršinskim horizontima u poređenju sa površinskim  $A_{mo1}$ -horizontom, što je posledica dejstva korenovog sistema travne livadske vegetacije. Naime, najveće vrednosti MWD<sub>d</sub> (5,46 mm) i GWD<sub>d</sub> (1,91 mm) utvrđene su u  $A_{mo2}$ -horizontu gde se nalazi glavna masa korenovog sistema travne vegetacije. Veće vrednosti MWD<sub>d</sub> i GWD<sub>d</sub> ukazuju na bolju strukturu zemljišta podpovršinskih horizonata istraženog zemljišnog profila kalkomelanosola u poređenju sa površinskim  $A_{mo1}$ -horizontom.

**Vodootpornost strukturnih agregata****Water-stable aggregate**

Raspodela veličine vodootpornih strukturnih agregata kalkomelanosola prikazana je u tabeli 3. Rezultati pokazuju da je procentualno najzastupljenija frakcija vodootpornih strukturnih agregata veličine 2–1 mm (36,7–47,6%), zatim sledi frakcija mikroagregata <0,25 mm (16,4–20,0%), a potom frakcije agregata veličine 3–2 mm (16,6–17,7%), 1–0,5 mm (13,0–16,3%), >3 mm (3,6–10,5%), dok je najmanje zastupljena frakcija vodootporni agregata dimenzija 0,5–0,25 mm (1,6–2,7%). Udeli izdvojenih vodootpornih frakcija strukturnih agregata bili su slični po horizontima istraženog profila, izuzev udela agregata >3 mm kojih je u A<sub>mo1</sub>-horizontu bilo za oko 2 do 3 puta više nego u podpovršinskim horizontima.

Brojčane vrednosti MWD<sub>ws</sub> pokazuju da je vodootpornost agregata nešto veća u površinskom A<sub>mo1</sub>-horizontu nego u podpovršinskim horizontima (Tabela 3). Rezultati naših istraživanja nisu pokazali značajnije razlike u brojčanim vrednostima GMD<sub>ws</sub> po dubini istraženog profila. Brojčane vrednosti GMD<sub>ws</sub> bile su slične, tj. varirale su u veoma uskom intervalu, 0,99–1,02 mm.

**Tabela 3.** Vodootpornost frakcija strukturnih agregata (% mas.) ispitivanih zemljišta**Table 3.** Water-stable aggregate size distribution (mass %) of the investigated soils

Horizont/ Soil horizon	Dubina/ Depth (cm)	Frakcija strukturnih agregata/Aggregate size class (mm)						MWD <sub>ws</sub> <sup>†</sup> (mm)	GMD <sub>ws</sub> <sup>††</sup> (mm)
		> 3	3–2	2–1	1– 0,5	0,5–0,25	< 0,25		
Posmeđeni kalkomelanosol / Brownized Black Soil formed on hard limestones									
A <sub>mo1</sub>	0–12	10,5	16,6	36,7	13,6	2,7	20,0	1,53	1,00
A <sub>mo2</sub>	12–37	3,6	17,7	47,6	13,0	1,6	16,4	1,43	1,02
(B) <sub>rz</sub>	37–50	4,7	16,8	42,4	16,3	2,0	17,8	1,40	0,99
Kalkokambisol / Calcocambisol									
(B) <sub>rz</sub>	6–36	11,5	28,0	33,1	8,0	1,8	17,5	1,75	1,08

<sup>†</sup> MWD<sub>ws</sub> – srednji maseni dijametar vodootpornih agregata/mean weight diameter of water-stable aggregates, <sup>††</sup> GMD<sub>ws</sub> – srednji geometrijski dijametar vodootpornih agregata/geometric mean diameter of water-stable aggregates.



**Fizičke osobine kalkomelanosola****Calcomelanosols physical properties**

Fizičke osobine kalkomelanosola znatno variraju po genetičkim horizontima (Tabela 4). Gustina suvog zemljišta ( $\rho_b$ ), poljski vazdušni kapacitet (VK), retencija vode pri pritiscima od  $-33$  kPa i  $-1500$  kPa i brzina vodopropustljivosti ( $K_{sat}$ ), pokazuju da se  $A_{mo2}$ -horizont značajno razlikuje od kambičnog ( $B$ )<sub>rz</sub>-horizonta po navedenim fizičkim osobinama. Brojčane vrednosti  $\rho_b$  ( $0,90$  g cm<sup>-3</sup>), poljskog vodnog kapaciteta ( $40,88\%$ ), količine biljkama pristupačne vode ( $25,18\%$ ) i brzine vodopropustljivosti ( $524,4$  cm dan<sup>-1</sup>) veće su u  $A_{mo2}$ -horizontu nego u ( $B$ )<sub>rz</sub>-horizontu ( $0,85$  g cm<sup>-3</sup>,  $38,48\%$ ,  $5,34\%$  odnosno  $488,8$  cm danu<sup>-1</sup>). Međutim, veličine poljskog vazdušnog kapaciteta ( $27,68\%$ ), maksimalnog vodnog kapaciteta ( $68,56\%$ ) i vlažnosti trajnog uvenuća biljaka ( $15,70\%$ ) u  $A_{mo2}$ -horizontu su manje u poređenju sa vrednostima kambičnog horizonta u kojem navedene fizičke osobine imaju vrednosti  $37,73\%$ ,  $76,21\%$  odnosno  $33,14\%$ .

Prema klasifikacijama koje navodi Gajić (2006), poljski vazdušni kapacitet, koji je pokazatelj aeracije zemljišta i brzine vodopropustljivosti je veoma visok u oba analizirana horizonta. Kapacitet pristupačne vode biljkama ( $\theta_{pawc}$ ), često se koristi kao pokazatelj kapaciteta zemljišta da zadržava i obezbedi vodu dostupnu biljkama je „idealno” u  $A_{mo2}$ -horizontu. U ( $B$ )<sub>rz</sub>-horizontu istraženog kalkomelanosola ovaj vodni kapacitet je „loš”. Međutim, s obzirom na relativnu malu moćnost soluma ovog zemljišta ukupne rezerve pristupačne vode biljkama nisu baš mnogo visoke.

**Tabela 4.** Fizičke i vodno-fizičke karakteristike ispitivanih zemljišta**Table 4.** Soil physical properties and water retention characteristics of the investigated soils

Horizont/ Soil horizon	Dubina/ Depth (cm)	$\rho_b^{\S}$ g cm <sup>-3</sup>	VK <sup>†</sup> %	$\theta_s^{\dagger\dagger}$ %	$\theta_{fc}$ %	$\theta_{pwp}$ %	$\theta_{pawc}^{\ddagger}$ %	$K_{sat}^{\dagger\dagger}$ cm day <sup>-1</sup>
Posmeđeni kalkomelanosol / Brownized Black Soil formed on hard limestones								
$A_{mo2}$	12–37	0,90	27,68	68,56	40,88	15,70	25,18	542,4
( $B$ ) <sub>rz</sub>	37–50	0,85	37,73	76,21	38,48	33,14	5,34	488,8
Kalkokambisol / Calcocambisol								
( $B$ ) <sub>rz</sub>	6–36	1,29	13,06	52,21	39,15	33,33	5,82	938,4

<sup>§</sup> – gustina suvog zemljišta/ bulk density, <sup>†</sup> – poroznost aeracije/ air-field porosity, <sup>††</sup>  $\theta_s$  – sadržaj vode pri saturaciji/ saturated water content,  $\theta_{fc}$  – retencioni vodni kapacitet/ field capacity, i  $\theta_{pwp}$  – vlažnost uvenuća/ permanent wilting point su definisani kao volumetrijski sadržaji vode u zemljištu na  $0$ ,  $-33$  i  $-1,500$  kPa vodnog potencijala, <sup>‡</sup> – ukupno pristupačna voda biljkama/ plant available water content (PAWC), <sup>†††</sup> – hidraulička provodljivost/ saturated hydraulic conductivity.

## *Hemijske osobine zemljišta*

### *Basic soil chemical properties*

Hemijska reakcija zemljišnog rastvora je blago kisela do neutralna (Tabela 5). Vrednosti pH u H<sub>2</sub>O (aktivna kiselost) nalaze se u rasponu od 6,58 do 7,19 pH jedinica, a u KCl (razmenljiva kiselost) od 5,73 do 6,38. Iz tabele 6. se vidi da se aktivna, razmenljiva i hidrolitička kiselost (1,04–2,94 cmol kg<sup>-1</sup>) postepeno povećavaju sa povećanjem dubine profila, što je posledica pedogeneze. Sadržaj humusa u površinskih 37 cm (A<sub>mo</sub>-horizont), varira od 10,66% do 11,44%, a u (B)<sub>rz</sub>-horizontu je nešto manji – 6,98% (Tabela 5). Sa dubinom neznatno opada, što je svakako uslovljeno vegetacijom, jer koreni trava prodiru sve do krečne podloge, a delom i aktivnošću zemljišne faune koja intezivno meša površinske i dublje slojeve zemljišta (Slika 2).

Adsorptivni kompleks ispitanog kalkomelanosola je relativno visok (61,86–76,13 cmol kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Najveće vrednosti razmenljivo-adsorbovanih baznih katjona pokazuje najhumozniji deo humusno-akumulativnog horizonta (0–12 cm). Sadržaj razmenljivo-adsorbovanih baznih katjona u glinovitijem kambičnom horizontu je značajno manji u poređenju sa A-horizontom. Zasićenost baznim katjonima je iznad 95%.



**Slika 2.** Krtičnjaci na livadama prevoja Vlasina

**Figure 2.** Mole holes at the meadows of Vlasina pass

**Tabela 5.** Osnovne hemijske karakteristike ispitivanih zemljišta**Table 5.** Basic soil chemical properties of the investigated soils

Horizont/ Soil horizon	Dubina/ Depth (cm)	pH u H <sub>2</sub> O	pH u KCl	Humus %	K <sub>2</sub> O mg 100 g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg 100 g <sup>-1</sup>
Posmeđeni kalkomelanosol / Brownized Black Soil formed on hard limestones						
A <sub>mo1</sub>	0–12	7,19	6,38	11,44	19,37	1,34
A <sub>mo2</sub>	12–37	7,17	6,30	10,66	19,67	0,91
(B) <sub>rz</sub>	37–50	6,58	5,73	6,98	28,10	0,41
Kalkokambisol / Calcocambisol						
(B) <sub>rz</sub>	6–36	6,63	5,76	3,76	13,66	0,39

U pogledu sadržaja hranljivih materija rezultati izvršenih laboratorijskih analiza potvrđuju pravilnosti koje su konstatovane i istaknute kod opisa plićih profila crnica, veliko bogatstvo u azotu, slabu obezbeđenost u P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, srednju i dobru obezbeđenost u lako pristupačnom K<sub>2</sub>O. Povećanje sadržaja kalijuma po dubini profila verovatno je posledica povećanja frakcije gline.

**Tabela 6.** Osnovne karakteristike adsorptivnog kompleksa ispitivanih zemljišta**Table 6.** Basic adsorptive characteristics of the investigated soils

Horizont/ Soil horizon	Dubina/ Depth (cm)	H <sup>†</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	S <sup>††</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	CEC <sup>†††</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	V <sup>††††</sup> %
Posmeđeni kalkomelanosol / Brownized Black Soil formed on hard limestones					
A <sub>mo1</sub>	0–12	1,04	75,09	76,13	98,63
A <sub>mo2</sub>	12–37	1,31	70,53	71,84	98,17
(B) <sub>rz</sub>	37–50	2,94	58,92	61,86	95,25
Kalkokambisol / Calcocambisol					
(B) <sub>rz</sub>	6–36	1,77	56,93	58,70	96,98

<sup>†</sup> H – hidrolitička kiselost/ hydrolytic acidity, <sup>††</sup> S – suma baznih katjona/ sum of exchangeable bases, <sup>†††</sup> CEC – ukupni kapacitet adsorpcije katjona/ total cation exchange capacity, <sup>††††</sup> V – saturacija zemljišta bazama/ base saturation.

### *Morfološka građa kalkokambisola*

#### *Morphology of Calcocambisol*

Morfološka građa profila istraženog kalkokambisola je O-A-(B)<sub>rz</sub>-R (sl. 3). Podtipovi ovog zemljišta se izdvajaju prema pojavi procesa ilimerizacije na tipične i ilimerizovane kalkokambisole



(Škorić i sar., 1985). Istraženi profil pripada varijetetu srednje dubokih kalkokambisola. O-horizont je male moćnosti (oko 3 cm) i u vidu ježičaka se uvlači u humusno-akumulativni horizont. Čini ga slabo razloženo lišće listopadnog i zimzelenog drveća. Humusno-akumulativni horizont je takođe male moćnosti (3–6 cm), sivkasto žućkasto braon boje (10YR 4/2) u suvom stanju, a u vlažnom stanju braonkasto crne boje (10YR 3/2), rastresit, i zrnaste strukture. Na osnovu terenskog zapažanja, ispod humusnog horizonta obrazuje se kambični (B)<sub>tz</sub>-horizont, zagasito crvenkasto braon boje u suvom (5YR 5/4) i u vlažnom stanju (5YR 4/4), težeg mehaničkog sastava u odnosu na A-horizont.



**Slika 3.** Morfološki izgled kalkokambisola

**Figure 3.** Morphology of Calcocambisol

## Mehanički i agregatni sastav kalkokambisola

### *Particle size distribution of Calcocambisol*

Prema mehaničkom sastavu kambični (B)<sub>tz</sub>-horizont istraženog kalkokambisola pripada glinušama. Na osnovu prikazanih podataka u tab. 1 ovo zemljište se odlikuje visokim sadržajem frakcije gline, 53,6%. Na drugom mestu po procentualnoj zastupljenosti je frakcija praha – 39,6%, dok najmanji sadržaj ima zbirna frakcija ukupnog peska (čestice veličine 2–0,05 mm), 6,8%.

Rezultati istraživanja agregatnog sastava pokazuju da u ovom zemljištu najveći procentualni sadržaj imaju graškasti agregati veličine 0,5–5 mm (65,3%) i makroagregati (>10 mm) (32,9%). Sadržaji frakcija strukturalnih agregata veličine 0,5–0,25 mm i mikroagregata (<0,25 mm) su manji od 1% (tab. 2). Veličine srednjeg masenog dijametra (MWD<sub>d</sub>) i srednjeg geometrijskog dijametra (GMD<sub>d</sub>) su prilično visoke – 7,49 mm, odnosno 2,21 mm. To nije iznenađenje s obzirom na veliki sadržaj mehaničke frakcije gline i humusa, i uticaja korenovog sistema drveća.

Što se tiče distribucije vodootpornih frakcija strukturalnih agregata, iz podataka prikazanih u tab. 3, uočava se znatna dominacija frakcija veličine 2–1 mm (33,1%) i 3–2 mm (28,0%). Sa nešto manjim procentualnim sadržajem zastupljene su frakcije mikroagregata <0,25 mm (17,5%) i agregata >3,0 mm (11,5%). Najmanji sadržaj imaju vodootporni agregati veličine 1–0,5 mm (8,0%) i 0,5–0,25 mm (1,8%). Veličina MWD<sub>ws</sub> i GWD<sub>ws</sub> je 1,75 mm, odnosno 1,08 mm.

## Fizičke osobine kalkokambisola

### *Calcocambisol physical properties*

Fizičke osobine kalkokambisola prikazane su u tab. 4. Ovo zemljište, kao što se vidi, pokazuje umereno visok poljski vazdušni kapacitet (13,06%) kao i veoma visoku brzinu vodopropustljivosti (938,4 cm dan<sup>-1</sup>). Pored toga, odlikuje se i umerenom zbijenošću (1,29 g cm<sup>-3</sup>) i malim kapacitetom pristupačne vode biljkama (< 6% vol.), zbog visoke vlažnosti trajnog uvenuća biljaka (> 33% vol.) koja je uzrokovana visokim sadržajem frakcije gline (53,6%).

## Hemijske osobine kalkokambisola

### *Calcocambisol chemical properties*

Kambični horizont ovog zemljišta, kao što se vidi iz podataka, pokazuje neznatan stepen acidifikacije (tab. 5). Naime, hemijska reakcija u vodnoj suspenziji (pH u H<sub>2</sub>O) je prema američkoj klasifikaciji (Dugalić i Gajić, 2005) neutralna, tačnije rečeno nalazi se skoro na granici između zemljišta slabo kisele i neutralne reakcije, dok je u kalijum-hloridu (pH u KCl) prema klasifikaciji Penkova (Dugalić i Gajić, 2005) takođe neutralna. Hidrolitička kiselost im takođe nije velika (1,77 cmol kg<sup>-1</sup>), a zasićenost bazama iznosi 96,98% (tab. 6). Sadržaj adsorbovanih baznih katjona je veoma visok i iznosi 56,93 cmol kg<sup>-1</sup>, kao i ukupni kapacitet adsorpcije katjona – 58,73 cmol kg<sup>-1</sup>, što je povezano sa sadržajem mineralnih i organskih koloida. U poređenju sa kalkomelanosolom istraženi kalkokambisol ima nešto lošije hemijske osobine. Naime, karakteriše ga srednji sadržaj lako pristupačnog kalijuma, i veoma slaba obezbeđenost lako pristupačnim fosforom.

## Diskusija

### Discussion

Kalkomelanosoli se na krečnjacima Ozrena nalaze u različitim fazama razvoja. Naime, evolucija zemljišta na krečnjaku i dolomitu protiče u nizu sukcesivnih stadija, počinjući sa stadijumom organogenih crnica, preko organo-mineralnih crnica, stadijuma rudih šumskih zemljišta i završavajući se sa luvisolima na krečnjaku i sekundarno pseudooglejanim zemljištima. Karstni reljef doprinosi tome da su kalkomelanosoli po dubini profila veoma neujednačene dubine, pa je i to razlog što se na ograničenom malom prostoru često mogu naći gotovo svi razvojni stadijumi ovog zemljišta. Prema podacima sa pedološke karte kalkomelanosol spada u najrasprostranjenije zemljište na Ozrenu.

Kalkokambisol se pojavljuje na nižim terenima od kalkomelanosola, pre svega u sklopu posmeđenih kalkomelanosola, tako da on predstavlja samo dalji, mada ne završni deo ciklusa razvoja zemljišta na jedrom krečnjaku. Kalkokambisoli se mogu javljati i na višim terenim u asocijaciji sa kalkomelanosolima i tada najčešće zauzimaju ravne ili ulegnute forme reljefa krečnjačkih masiva, uvale, vrtače i kraška polja.

Mehanički sastav ispoljava značajan uticaj na fizičke, vodno-vazdušne, fizičko-mehaničke i toplotne osobine, oksido-redukcione uslove, adsorpcionu sposobnost, nakupljanje humusa i

hranljivih elemenata u zemljištu. Naročito veliki uticaj ima na vodno-vazdušni, toplotni, hranljivi i biološki režim zemljišta (Dugalić i Gajić, 2012). Sa ekološkog stanovišta, može se reći da oba istražena tipa zemljišta u ovom radu imaju optimalne uslove za rast i razviće biljaka. Sadržaj mehaničke frakcije gline ( $< 0,002$  mm) u solumu kalkokambisola ove studije činio je 51,0–63,7% ukupne mase zemljišta, što je znatno više od vrednosti (30,6–42,4%) koje su objavili Tanasijević i sar. (1965) i Knežević i Košanin (2004) (20,2 –34,0%) za smeđa zemljišta na jedrom krečnjaku planine Ozren. Naši rezultati o procentualnom sadržaju frakcije gline u posmeđenom kalkomelanosolu su slični onima koje su objavili Knežević i Košanin (2004).

Struktura zemljišta ima važan uticaj na edafske uslove i okolnu životnu sredinu. Ona je ključni faktor u funkcionisanju zemljišta, njegovoj sposobnosti da podržava biljni i životinjski svet, te umereni kvalitet životne sredine sa posebnim naglaskom na vezivanje ugljenika u zemljištu i kvalitet vode. Stabilnost agregata koristi se kao pokazatelj strukture zemljišta (Six i sar., 2000). Relativno visok procentualni udeo makroagregata ( $>2,0$  mm) u istraženim tipovima zemljišta pod prirodnom šumom i prirodnom livadom planine Ozren mogao bi se pripisati njihovom visokom sadržaju organske materije, njenoj sporoj razgradnji, organo-mineralnoj kompleksaciji i neometanju zemljišta agrotehničkim merama. Pored toga, hidrofobnost u šumskom zemljištu (Buczko i sar., 2006; Mataix-Solera i Doerr, 2004) takođe je mogla zaštititi i poboljšati agregaciju zemljišta (Piccolo i Mbagwu, 1999) obrazovanjem većih makroagregata, povećanjem kohezivnosti i smanjenjem disperzije agregata (Bronick i Lal, 2005; Goebel i sar., 2005). Obilno korenje pod višegodišnjom livadskom i šumskom vegetacijom može pospešiti agregaciju vezivanjem čestica zemljišta ili mikroagregata (Daynes i sar., 2013) i dodavanjem organskog ugljenika u zemljište (Mapfumo i sar., 2002).

Stabilnost strukturnih agregata istraženih zemljišta, procenjena merenjem raspodele veličine agregata nakon mokrog prosejavanja, je pokazatelj stanja zemljišta i na nju uveliko utiče tip zemljišnog pokrivača, kao i druga svojstva zemljišta, i okolna sredina. Prema utvrđenim vrednostima  $MWD_{ws}$  oba istražena tipa zemljišta planine Ozren imaju stabilnu strukturu u vodi, koja se može klasifikovati kao odlična (Dugalić i Gajić, 2012). Prilično visoka vodootpornost strukturnih agregata oba zemljišta može se pripisati velikom unosu organske materije iz nadzemne biomase ispod šuma i prirodnih travnjaka (Blanco-Canqui i Lal, 2004) koja obezbeđuje malčirajući efekat i bolje stanište za mezo- i mikro-faunu i floru zemljišta za poboljšanje agregacije zemljišta.

Hidrofobnost je takođe mogla odigrati svoju ulogu u formiranju visoke vodootpornosti istraživanih zemljišta (Piccolo i Mbagwu, 1999). S druge strane, stabilni vodootporni agregati fizički štite organski ugljenik u zemljištu od mikrobne degradacije i povećavaju vreme njegovog zadržavanja u zemljištu (Daynes i sar., 2013; Stockmann i sar., 2013). Samim tim ako je agregatni sastav dobar i vodootpornost strukture visoka u većini slučajeva su i ostale fizičke i vodno-vazdušne osobine, pored ostalog, prilično dobre.

Struktura zemljišta je osnovno svojstvo za održavanje produktivnosti, očuvanje kvaliteta životne sredine i pružanje usluga ekosistema (Abiven i sar., 2009; Amézketa, 1999; Bronick i Lal, 2005). To je zato što je sposobnost zemljišta da prima, skladišti i provodi vodu, da se odupre stvaranju pokorice i eroziji zemljišta i obezbedi kruženje hranljivih materija (Kay, 1998) povezana sa strukturom zemljišta. Dok je struktura zemljišta heterogeni raspored čvrstog i poroznog prostora u određenom vremenu, strukturna stabilnost zemljišta ili stabilnost agregata odnosi se na sposobnost zadržavanja fizičkog rasporeda čestica, što rezultira šupljinama, kada su podvrgnute različitim stepenima stresa (Angers i Carter, 1996). Stabilnost agregata zemljišta koristi se kao pokazatelj postojanosti strukture zemljišta (Field i sar., 2004; Six i sar., 2000; Zhu i sar., 2009) i stanja zemljišta (Arshad i Coen, 1992; Hortensius i Welling, 1996).

Travnjaci imaju povećanu agregaciju koja proizilazi iz ekstenzivnog rasta korena, što može povećati međuagregatnu poroznost (Bodhinayake i Si, 2004). Velike korenske mase travnjačke vegetacije koje dostižu i do 85% ukupne biljne biomase pomažu razvoju biopora u travnjačkim zemljištima čime se povećava njihova ukupna poroznost (Greenwood i McKenzie, 2001; Bodhinayake i Si, 2004). Navedeni efekat u kombinaciji sa malim poremećajem zemljišta i nakupljanjem organske materije kontinuiranim izumiranjem korena može dovesti do intenzivnijeg stvaranja strukturnih agregata (Daynes i sar., 2013; Hirmas i sar., 2013).

Na osnovu prikazanih fizičkih karakteristika vidi se da su oba istražena tipa zemljišta dobro aerisana i propustljiva za vodu. Odlikuju se i prilično velikom sposobnošću da skladište i obezbeđuju biljke pristupačnom vodom. Cockroft i Olsson (1997) sugerišu, da je poljski vazdušni kapacitet od 15% potreban za zemljišta sa finom teksturom da bi se kompenzirale niske stope difuzije gasova i respiratorni zahtevi biološke aktivnosti. Prema navodima Gajić (2006), vrednosti utvrđene brzine vodopropustljivosti ispitivanih zemljišta su „idealne” za obezbeđivanje brze infiltracije i preraspodele pristupačne vode biljkama, smanjeno površinsko oticanje i eroziju



zemljišta, te brzu drenažu viška vode. Međutim, vrednosti znatno iznad utvrđenih u ovom radu mogu podstaći ispiranje hranljivih materija i isušivanje zemljišta, što je povezano s činjenicom da su infiltracija i drenaža prebrzi da bi omogućili odgovarajuću sorpciju. Prilično povoljne fizičke i vodno-vazdušne osobine istraženih zemljišta verovatno su posledica odlične strukture istraženih tipova zemljišta planine Ozren.

U pogledu sadržaja humusa u kambičnom horizontu kalkokambisola, naši rezultati se razlikuju od rezultata do kojih su došli Tanasijević i sar. (1965), a slični su rezultatima koje su saopštili Knežević i Košanin (2004). Tanasijević i sar. (1965) su u svom radu utvrdili svega 1% humusa u kambičnom horizontu istraživanog kalkokambisola planine Ozren. Rezultati ostalih hemijskih osobina istraženih zemljišta su u manjem ili većem stepenu različite od rezultata gore navedenih istraživanja. Jedan od uzorka tome je što različiti tipovi vegetacije mogu uzrokovati značajne razlike u fizičkim, hemijskim i biološkim svojstvima zemljišta (Aon i Colaneri, 2001; Yifru i Taye, 2011; Tauqeer i sar., 2022a,b). Pored toga, tipovi vegetacije obično ispoljavaju dugotrajne uticaje na svojstva zemljišta (Li i sar., 2019).

## **Zaključak**

## **Conclusion**

Ovo istraživanje je izučavalo mehanički i agregatni sastav, kao i najvažnije fizičke i hemijske osobine kalkomelanosola i kalkokambisola, te njihovu ulogu u planinskom ekosistemu Ozrena. Podaci o istraživanim svojstvima svedoče o prilično dobrom fizičkom i hemijskom kvalitetu istraženih zemljišta. Na osnovu tih rezultata može se zaključiti da istraženi kalkomelanosol i kalkokambisol obezbeđuje povoljne ekološke uslove za rast šumskog drveća i travne vegetacije (livada). Osnovni činioci povoljnih ekološki uslova za rast navedene vegetacije u području istraživanja su prilično dobre osobine zemljišta koje utiču na vodni režim i pristupačnost vode biljkama, pre svega struktura zemljišta, a tu su i dubina, mehanički sastav i fiziografija soluma istraženih zemljišta.

Pored toga, naši rezultati pokazuju složeni međuodnos između analiziranih zemljišnih pokazatelja i njihov odnos sa drugim faktorima zemljišta i životne sredine. Međutim, potrebna je detaljnija studija koja će istražiti veći broj tipova zemljišta i njihovih profila da bi se ispitali ovi zamršeni odnosi radi boljeg razumevanja i upravljanja ograničenim prirodnim resursima u

kontekstu povećane degradacije zemljišta, klimatskih promena i gubitka bioraznolikosti i usluga ekosistema, na istraživanom području. Nalazi iz ovog istraživanja omogućiće bolje razumevanje karakteristika zemljišta pod različitim načinima korišćenja zemljišta, što će biti od velike koristi upraviteljima zemljišta, uzgajivačima šuma i livada, i stručnjacima za zemljište.

### Zahvalnica

### Acknowledgment

Rad je rezultat istraživanja u okviru ugovora o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada u 2023. godini između Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu i Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Evidencioni broj ugovora: 451-03-47/2023-01/200116).

### Literatura

### References

- Abiven S, Menasseri S, Chenu C. 2009: The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 41(1): 1–12. DOI: 10.1016/j.soilbio.2008.09.015
- Amezketta E. 1999: Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture* 14: 83–151.
- Antonović G, Nikodijević V, Tanasijević Đ, Vojinović Lj, Pavićević N, Aleksić Ž, Filipović Đ, Jeremić M. 1974: Zemljišta basena Timoka. Centar za poljoprivredna istraživanja, Beograd. Institut za proučavanje zemljišta, Beograd, geokarta.
- Antonović G, Tanasijević Đ, Nikodijević V, Vojinović Lj. 1975: Zemljišta Braničevsko-Zvižke oblasti i Homolja, Institut za proučavanje zemljišta, Beograd.
- Antonović G, Mrvić V. 2008: Zemljišta sliva Nišave. Institut za zemljište, Beograd.
- Angers DA, Carter MR 1996: Aggregation and organic matter storage in cool, humid agricultural soils. In: M. R. Carter, B. A. Stewart (Eds.), *Structure and organic matter storage in agricultural soils* (pp. 193–211). Boca Raton: CRC Press.
- Arshad MA, Coen GM. 1992: Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(1/2): 25–31.
- Aon MA, Colaneri AC. 2001: II. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 18(3): 255–270.

- Blanco-Canqui H, Lal R. 2004: Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 481–504.
- Bodhinayake W, Si BC. 2004: Near-saturated surface soil hydraulic properties under different land uses in the St Denis National Wildlife Area Saskatchewan, Canada. *Hydrological Processes* 18: 2835–2850.
- Bronick CJ, Lal R. 2005: Soil structure and management: A review. *Geoderma* 124(1–2): 3–22.
- Buczko U, Bens O, Huttel RF. 2006: Water infiltration and hydrophobicity in forest soils of a pine–beech transformation chronosequence. *Journal of Hydrology* 331: 383–395.
- Cockroft B, Olsson KA. 1997: Case study of soil quality in southeastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: Gregorich EG, Carter MR (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Developments in Soil Science, vol. 25. Elsevier, New York, NY, pp. 339–350.
- Daynes CN, Field DJ, Saleeba JA, Cole MA, McGee PA. 2013: Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. *Soil Biology and Biochemistry* 57: 683–694.
- Dugalić G, Gajić B. 2005: Pedologija. Praktikum. Agronomski fakultet, Čačak.
- Dugalić JG, Gajić AB. 2012: Pedologija. Udžbenik, 1. izdanje. Univerzitet u Kragujevcu Agronomski fakultet u Čačku. Čačak. 295 str.
- FAO. 2006: Guidelines for soil description, fourth edition, Rome.
- Field DJ, Sullivan LA, Cattle SR, Koppi AJ. 2004: Comparison of four methods for liberating various aggregate fractions in Vertosols to study their morphology. *Soil Research* 42(1): 29–37.
- Filipovski G, Škorić A, Racz Z, Kalinić M, Stepančić D, Kovačević J, Antonović G, Kodrić M, Resulović H, Burlica Č, Altarac-Manuševa L, Tomašegović Z, Juras I, Kovačević P, Pavšer M, Ćirić M. 1967: Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga IV Metodika terenskog uspitivanja zemljišta i izrada pedoloških karata, Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, Beograd.
- Gajić B. 2005: Fizika zemljišta. Praktikum. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet. Beograd. 185 str.

- Gajić B. 2006: Fizika zemljišta. Udžbenik. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet. Beograd. 275 str.
- Gajić B, Đurović N, Dugalić G. 2010: Composition and stability of soil aggregates in Fluvisols under forest, meadows, and 100 years of conventional tillage. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173:502–509.
- Goebel M-O, Bachmann J, Woche SK, Fischer WR. 2005: Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. *Geoderma* 128: 80–93.
- Greenwood KL, McKenzie BM. 2001: Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 1231–1250.
- Hirmas DR, Gimenez D, Subroy V, Platt BF. 2013: Fractal distribution of mass from the millimeter- to decimeter-scale in two soils under native and restored tallgrass prairie. *Geoderma* 207–208: 121–130.
- Hortensius D, Welling R. 1996: International standardization of soil quality measurements. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27(3–4): 387–402.
- IUSS Working Group WRB. 2022. *World Reference Base for Soil Resources*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- Kay BD. 1998: Soil structure and organic carbon: A review. In: R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet, B. A. Steward (Eds.), *Soil processes and the carbon cycle*, Advances in Soil Science Series (pp. 169–197): CRC Press, Boca Raton, 169–197.
- Knežević M, Košanin O. 2004: Zemljišta u zajednicama planinske bukve na krečnjacima planine Ozren. *Šumarstvo*, 3 (Jul-Septembar): 87–95.
- Li H, Liao X, Zhu H, Wei X, Shao M, Naeth MA. 2019: Soil physical and hydraulic properties under different land uses in the black soil region of Northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*, 99(4): 406–419.
- Mapfumo E, Naeth MA, Baron VS, Dick AC, Chanasyk DS. 2002: Grazing impacts on litter and roots: annual versus perennial forages. *Journal of Range Management* 55: 16–22.
- Mataix-Solera J, Doerr SH. 2004: Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire- affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma* 118: 77–88.

- Минеев ВГ, Сычев ВГ, Амелянчик ОА, Большеева ТН, Гомонова НФ, Дурьнина ЕП, Егоров ВС, Егорова ЕВ, Едемская НЛ, Карпова ЕА, Прижукова ВГ. 2001: *Практикум по агрохимии* - 2-е изд. - Учебное пособие.
- Pavićević N, Antonović G, Nikodijević V, Tanasijević Đ. 1968: *Zemljišta Starog vlaha i Raške*. Beograd.
- Piccolo A, Mbagwu JSC. 1999: Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1801–1810.
- Six J, Elliott ET, Paustian K. 2000: Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32(14): 2099–2103.
- Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field DJ, Henakaarchchi N, Jenkins M, Minasny B, McBratney AB, Courcelles VR, de Singh K, Wheeler I, Abbott L, Angers DA, Baldock J, Bird M, Brookes PC, Chenu C, Jastrow JD, Lal R, Lehmann J, O'Donnell, AG, Parton WJ, Whitehead D, Zimmermann M. 2013: The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164: 80–99.
- Škorić A, Filipovski G, Ćirić M. 1985: *Klasifikacija zemljišta Jugoslavije*. Urednik: Vuković T. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Posebna izdanja, Knjiga LXXVIII, odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, Knjiga 13, Međukademijski odbor za proučavanje zemljišta, Sarajevo.
- Tanasijević Đ, Pavićević N, Nikodijević B, Antonović G. 1965: *Zemljišta Sokobanjske kotline i njihova problematika / Soils of Soko Banja Basin and Their Problems*. *Arhiv za poljoprivredne nauke*, God. XVIII – Sv. 60: 3–39. / *Journal for Scientific Agricultural Research*, Edit. Year XVIII – Number 60: 3–39. Socijalistička Federativna Republika Jugoslavija, Institut za proučavanje zemljišta – Beograd / Socialist Federal Republic of Yugoslavia, The Institute for Soil Science – Belgrade.
- Tanasijević MĐ, Antonović A, Aleksić Ž, Pavićević N, Filipović Đ, Spasojević M. 1966: *Pedološki pokrivač zapadne i severozapadne Srbije*. Institut za proučavanje zemljišta u Topčideru.

- Tauqeer HM, Turan V, Farhad M, Iqbal M. 2022a: *In: Managing Plant Production Under Changing Environment*. Springer Nature Singapore, Singapore, pp. 21–42.
- Tauqeer HM, Turan V, Iqbal M. 2022b: *In: Production of safer vegetables from heavy metals contaminated soils: the current situation, concerns associated with human health and novel management strategies*. Springer, Cham, pp. 301–312.
- Yifru A, Taye B. 2011: Land use effects on soil organic carbon and nitrogen in some soils of Bale, Southeastern Ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (1): 229–235.
- Zhu ZL, Minasny B, Field DJ. 2009: Measurement of aggregate bond energy using ultrasonic dispersion. *European Journal of Soil Science* 60(4): 695–705.
- Živković M, Pantović M. 1954: Zemljišta Rtnja. *Zemljište i biljka*, God. III, 1–3:109–147.
- Životić Lj, Radmanović S, Gajić B, Mrvić V, Đorđević A. 2017: Classification and spatial distribution of soils in the foot and toe slopes of mountain Vukan, East-Central Serbia. *Catena* 159: 70–83.

## Contribution to the knowledge of the soils formed on limestones on the Ozren Mountain

Boško Gajić<sup>1\*</sup>, Miodrag Tolimir<sup>2</sup>, Branka Kresović<sup>2</sup>, Aleksa Lipovac<sup>1</sup>, Angelina Tapanarova<sup>1</sup>,  
Ljubomir Životić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>Maize Research Institute “Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, 11185 Belgrade, Serbia

\*Corresponding author: B. Gajić, [bonna@agrif.bg.ac.rs](mailto:bonna@agrif.bg.ac.rs)

### Abstract

Soils formed on limestones occupy large area in Serbia, but there is not a lot of information about their properties. This paper presents physical and chemical properties of the Brownized Calcomelanosols and Moderately-deep Calcocambisols of the Ozren Mountain. Brownized Calcomelanosols under natural grassy vegetation were investigated at the Vlasina pass, whereas Calcocambisols under mixed forests were investigated near the site “Ozrenske livade”. Soil profiles were excavated up to the parent material, and disturbed and undisturbed soil samples were collected from soil genetic horizons. Following soil characteristics were determined: particle size distribution, soil structure and water resistance of structural aggregates, bulk density, total porosity, air capacity, water-holding capacity, water conductivity, pH, content of humus, available phosphorus ( $P_2O_5$ ) and potassium ( $K_2O$ ), hydrolytic acidity, cation exchange capacity (CEC), sum of exchangeable base cations, and base saturation. Humus-accumulative horizon ( $A_{mo}$ ) of the Brownized Calcomelanosols has silty clay texture, whereas the cambic ( $B_{tz}$ ) horizon of both soils has a clay texture. The  $A_{mo}$  horizon of Calcomelanosols is characterized by fine to medium granular structure (0.5–5 mm) of very high water resistance. The total porosity, air capacity and water permeability of both soils is high. Their water-holding capacity is high.  $A_{mo}$  horizon of Calcomelanosols is characterized by a high humus content (>10%). Soil reaction in water of  $A_{mo}$  horizon is neutral, whereas in ( $B_{tz}$ ) horizons both soils are moderately acid. Both soils have high CEC (>58 cmol kg<sup>-1</sup>) and base saturation (>95%). Brownized Calcomelanosol is moderately to highly supplied with available  $K_2O$ , whereas Calcocambisol is moderately supplied; while both soils are very poor in available  $P_2O_5$ . Since this study presents quite favorable physical and chemical properties of the investigated soils due to the conservation of natural forests and grasslands, the results can help in a deeper understanding of soil ecology and the preservation of natural plant cover.

**Keywords:** Calcomelanosols; Calcocambisols; soil aggregate stability; water retention; organic matter; cation exchange capacity

Received 31.08.2023  
Revised 03.10.2023  
Accepted 17.10.2023