

Karakteristike černozeolike karbonatne livadske crnice Ogladnog polja za soju i šećernu repu u Starom Bečeju (Srbija)

Boško Gajić^{1*}, Miodrag Tolimir², Katarina Gajić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd 11080, Srbija

²Institut za kukuruz „Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, Beograd 11185, Srbija

* Autor za korenspondenciju: B. Gajić, bonna@agrif.bg.ac.rs

Izvod

Abstract

U ovoj studiji istraživana je černozeolika karbonatna livadska crnica s područja Starog Bečeja (Srbija) s ciljem da se ocene odabrani hemijski i fizički pokazatelji kvaliteta zemljišta nakon njegovog višegodišnjeg korišćenja u biljnoj proizvodnji. Deset uzoraka u poremećenom stanju (sloj zemljišta: 0–210 cm) prikupljeno je za analizu hemijskih osobina zemljišta (humus, CaCO₃, pH, P₂O₅, K₂O), teksture (šest uzoraka, sloj zemljišta: 0–130 cm), agregatnog sastava i vodootpornosti strukturnih agregata (četiri uzorka, sloj zemljišta: 0–80 cm). Dodatni neporemećeni uzorci (zapremine 100 cm³) takođe su prikupljeni da bi se odredila gustina suvog zemljišta, ukupna poroznost, poroznost aeracije i poljski vodni kapacitet. Kapacitet infiltracije vode je takođe izmeren na terenu korišćenjem dvostrukog prstenastog infiltrometra. Istraživanja pokazuju da se radi o zemljištu sa dvoslojnim profilom, ilovastog mehaničkog sastava (sa sadržajem fizičke gline 41–42%, koloidne gline 27–28%). Humusni horizont do 60 cm dubine pokazuje prilično povoljne hemijske karakteristike, a na dubini 60–80 cm on je alkalizovan, pod uticajem zasoljene podzemne vode. Posmatrano sa agronomskog stanovišta, struktura ovog zemljišta je povoljna. Rezultati određivanja vodootpornosti strukturnih agregata pokazuju da je u Ahp i Ah horizontu na dubinama 0–40 cm, sa sadržajem 41% vodotpornih agregata >0,25 mm, znatno nepovoljnija nego u površinskom delu AhBca horizonta 40–60 cm, sa sadržajem ~58% vodo-stabilnih agregata >0,25 mm. Osnovne fizičke osobine nisu osobito povoljne u Ah i AhB horizontu do dubine 80 cm. Ah horizont je jako zbijen (1,33–1,38 g/cm³), poroznost aeracije je veoma mala (ispod 5%) i mala (5–10%) na svim dubinama do 80 cm, a najmanja (3,8%) je u površinskom sloju (0–20 cm). Infiltracioni kapacitet je mali (15 mm/h). Zalihe biljkama dostupne vode u sloju zemljišta 0–100 cm su veoma dobre. Zaključno, rezultati ove studije pokazuju da višegodišnja obrada zemljište može dovesti do gubitka produktivnosti zemljišta i ozbiljne degradacije zemljišta.

Ključne reči: poroznost zemljišta; humus; infiltracija vode; srednji maseni prečnik; vodni kapaciteti; kvalitet zemljišta

Uvod Introduction

Livadska crnica u Srbiji zahvata velike površine zemljišta koje se uglavnom koriste za poljoprivrednu proizvodnju. Smatraju se jednim od naših najplodnijih poljoprivrednih zemljišta. Treba napomenuti da livadske crnice obrazovane na lesu u Vojvodini mahom pripadaju zemljištu koje smo ranije nazivali „livadski černoze” (Živković i sar., 1972), odnosno tipu „livadsko černozeolnih zemljišta”, u humusnom horizontu veoma sličnom černozeu, koji se dosta razlikuje od livadskih crnica u ostalim delovima Republike Srbije (Gajić, 1996).

Zemljište Oglednog polja za soju i šećernu repu u Starom Bečeju predstavljeno je jako karbonatnom ilovastom, u pothumusnim horizontima jako alkalizovanom černozeolikom livadskom crnicom. Prema klasifikaciji i korelacionom sistemu Svetske referentne baze za resurse zemljišta (WRB) istraživano zemljište je Fluvisol (Loamic) (IUSS Working group WRB, 2022). Gornji deo profila ovog zemljišta, koji obuhvata Ah i AhBca horizont, do dubine 80 cm, je obrazovan od tipičnog (suvozemnog ilovastog) lesa. Ispod njega se, počev od 80 cm do preko 200 cm, nalazi barski (takode ilovasti), oglejani i jako alkalizovani barski les. Dakle, radi se o zemljištu sa dvoslojnim profilom.

Poljoprivredne aktivnosti utiču na prirodne pojave u zemljištu i ekološke procese dovodeći do značajnih promena u svojstvima zemljišta. Konvencionalni sistem obrade zemljišta lišava zemljište sposobnosti zadržavanja vode, pogoršava stabilnost i kompaktnost strukture, snabdevanje i skladištenje hranljivih materija kao i njegov biološki život (Lal, 2004; Yimer i sar., 2008). Mnoge studije su pokazale da višegodišnja obrada zemljišta dovodi do značajnog pogoršanja kvaliteta njegovih fizičkih osobina i smanjenja sadržaja humusa (Gajić, 2013; Tolimir i sar., 2020). Na sva hemijska, fizička i hidraulička svojstva zemljišta utiče sistem obrade, đubriva, plodored, itd. (Kodešová i sar., 2011). Poljoprivredne aktivnosti često dovode do degradacije strukture (Gajić i sar., 2006; Gajić i sar., 2010; Ćirić i sar., 2012; Dugonjić i sar., (2022) i posledično do promene poroznosti (Dhaliwal i Kumar, 2022) i hidrauličkih svojstava zemljišta (Kodešová i sar., 2011; Gajić i sar., 2023).

Cilj ovog rada je bio da se analiziraju i ocene neke osnovne hemijske, fizičke i vodno-vazdušne osobine zemljišta koje znatno utiču na njegovu plodnost i funkcije nakon višegodišnje (duže od 100 godina) konvencionalne obrade. Pretpostavili smo da bi višegodišnja obrada uzrokovala značajnu promenu u strukturi (agregatnom sastavu) što bi zauzvrat uticalo na zbijanje, infiltraciju, zadržavanje vode u zemljištu i poroznost aeracije, a time i na smanjenje plodnosti i kvaliteta zemljišta.

Materijal i metode rada

Materials and Methods

Tokom rada na terenu iskopan je profil dubok 210 cm, izučena njegova morfologija i uzeti uzorci u neporemećenom i poremećenom sklopu, u cilju izvođenja određenih fizičkih i hemijskih analiza u laboratoriji. Uzorci u neporemećenom stanju uzeti su metalnim cilindrima zapremine 100 cm³, prečnika 5,4 cm u pet ponavljanja. Tokom izučavanja morfologije profila utvrdili smo da dubina Ah + AhBca horizonta iznosi 80 cm, od 80 do 105 cm nalazi se BcaD1 horizont, koji ne pokazuje znake oglejavanja, a od 105 do 210 cm D1G1 horizont, oglejanog barskog (pogrebenog) lesa, sa dubinom sve jače oglejan.

Uzorci zemljišta u poremećenom sklopu, za određivanje hemijskih osobina, uzeti su do dubine 210 cm, pri čemu su do dubine 130 cm uzeti kontinualno. Određivanje sadržaja humusa, pH vrednosti u suspenziji 1,0 N KCl, lako mobilnih formi K₂O i P₂O₅ i mehaničkog sastava urađeno je u uzorcima do dubine 130 cm, a sadržaj CaCO₃ i pH vrednosti u suspenziji H₂O na čitavoj dubini kopanog profila – do 210 cm.

Higroskopska vlažnost (Gajić, 2005), mehanički sastav zemljišta (Gajić, 2005), sadržaj humusa, tačnije rečeno oksidabilnog organskog ugljenika (Dugalić i Gajić, 2005), pH_{H2O}, pH_{KCl} (Dugalić i Gajić, 2005), sadržaj ukupnog CaCO₃, tačnije rečeno CO₂ karbonata (Dugalić i Gajić, 2005), sadržaj lako mobilnog K₂O i P₂O₅ (Egner i sar., 1960) i vlažnost trajnog uvenuća biljaka (VTUB), odnosno voda vezana silama tenzije jačim od 1500 J/kg (15 000 cm vodenog stuba), određeni su u laboratoriji na poremećenim uzorcima zemljišta, osušenim na vazduhu, usitnjenim i prosejanim kroz sito s otvorima 2 mm (0,2 mm za određivanje humusa). Agregatni sastav i vodootpornost strukturnih (makro)agregata određeni su suvim, odnosno mokrim prosejavanjem, metodom Savinova (Gajić, 2005).

Raspodele veličina vazdušno-suvih i vodootpornih agregata okarakterisane su srednjim masenim prečnikom (MWD, mm) i geometrijskim srednjim prečnikom (GMD, mm). MWD i GMD izračunate su sledećim jednačinama (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 prečnik 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 dMWD i dGMD, odnosno wMWD i wGMD, gde se indeksi d i w odnose na frakcije strukturnih agregata izdvojenih suvim, odnosno mokrim prosejavanjem. Visoke vrednosti dMWD uglavnom ukazuju na kohezivnije uslove zemljišta i manju osetljivost na eolsku eroziju (Gajić i sar., 2010). Veće vrednosti wMWD uglavnom ukazuju na veći stepen stabilnosti agregata, niži nivo erodibilnosti i manju opasnost od stvaranja pokorice (Gajić i sar.,

2010). Indeks stabilnosti zemljišta izračunat je deljenjem wMWD sa, kao što je navedeno u Gajić i sar. (2010); indeks 1 predstavlja savršenu strukturnu stabilnost.

Raspodela veličina suvih agregata takođe je korišćena za izračunavanje koeficijenta strukturnosti zemljišta (K_{str}) (Shein i sar., 2001). Koeficijent strukturnosti zemljišta procenjen je pomoću sledeće jednačine:

$$K_{str} = a/b, \quad (3)$$

gde je a količina agronomski najpovoljnijih strukturnih agregata, tj. agregata veličine između 0,25–10 mm, a b je ukupna količina agregata >10 mm i <0,25 mm. Shein i sar. (2001) predložili su tri klase K_{str} >1,5, 1,5–0,67 i <0,67 za zemljišta dobre, zadovoljavajuće i nezadovoljavajuće strukture u pogledu na plodnost zemljišta.

Gustina suvog zemljišta (zapreminska masa) određena je metalnim cilindrima Kopeckog zapremine 100 cm³ (Gajić, 2005). Poljski vodni kapacitet (PVK), koji odgovara tenziji vode od 33 J/kg (330 cm vodenog stuba), određen je pomoću vakuumkapilarimetra u uzorcima zemljišta neporemećenog sklopa (u metalnim cilindrima Kopeckog) prethodno zasićenim do maksimalnog vodnog kapaciteta. Ukupna poroznost izjednačena je sa eksperimentalno utvrđenim vrednostima maksimalnog vodnog kapaciteta, izraženog u zapreminskim procentima.

Kapacitet biljkama dostupne (produktivne) zemljišne vlage (KPV) određen je računskim putem, kao razlika između veličine poljskog vodnog kapaciteta i vlažnosti trajnog uvenuća biljaka (KPV = PVK – VTUB). Poroznost aeracije, čija je veličina ravna apsolutnom vazдушnom kapacitetu, određena je računskim putem, kao razlika između veličina ukupne i kapilarne poroznosti. Veličina kapilarne poroznosti izjednačena je sa sadržajem vode u zemljištu pri poljskom vodnom kapacitetu. I brzina i kumulativna infiltracija određeni su korišćenjem infiltrometra s dvostrukim cilindrom (Gajić, 2005).

Napominjemo, da su rezultati određivanja sadržaja humusa, CaCO₃, lako mobilnih formi P₂O₅ i K₂O i mehaničkog sastava (sadržaj raznih mehaničkih frakcija) izraženi na masu zemljišta sušenog do konstantne mase na 105 °C. Rezultati agregatne analize (suvog i mokrog prosejavanja zemljišta) izraženi su na masu vazdušno suvog zemljišta.

Rezultati i diskusija

Results and Discussions

Najvažnije hemijske karakteristike zemljišta

The basic chemical soil properties

U Tabeli 1 prikazane su najvažnije hemijske karakteristike profila karbonatne ilovaste u dubini alkalizovane livadske crnice – sadržaj humusa, CaCO₃, lako mobilnih P₂O₅ i K₂O, kao i pH vrednosti. Iz nje se takođe uočava i građa profila tog zemljišta – prisustvo raznih horizonata i dubina (moćnost) istih.

Pre svega, podaci iz Tabele 1 pokazuju da građu ove livadske crnice karakteriše Ah–AhBca–BcaD1–D1G1 profil. Njegov humusni horizont je prilično dubok, oko 80 cm. Do 40 cm to je pravi humusni horizont, dok je na dubini 40–80 cm dosta obogaćen ispranim iz površinskog dela CaCO₃, pa je stoga pravilno obeležiti ga kao AhBca horizont (Ćirić, 1986). Od 105 do 130 cm nailazi se pogrebni barski les, koji na toj dubini ne pokazuje odlike oglejavanja i maksimalno je obogaćen u CaCO₃ (kako iluvijacijom CaCO₃ iz humusnog horizonta tako i kapilarnim putem iz oglejanog D horizonta (hidrogeniziranog barskog lesa). Dublje od 130 cm, do kraja kopanog profila (210 cm) javlja se sa dubinom sve jače oglejani barski les, koga smo obeležili kao D1G1 horizont.

Do 60 cm dubine humusni horizont pokazuje prilično povoljne hemijske karakteristike, a već na dubini 60–80 cm on je alkalizovan, pod uticajem zasoljene podzemne vode. Sadržaj humusa u zemljištu bio je jako stratifikovan (neravnomerno raspoređen) s dubinom zemljišta. Na dubini do 40 cm on je prilično bogat humusom, koga na dubini 0–20 cm (u Ahp horizontu) sadrži nešto preko 5,0%, tako da se, prema klasifikaciji Gračanina (Dugalić i Gajić, 2005), može uvrstiti u jako humozna zemljišta, a na dubini 20–40 cm je sadržaj humusa neznatno manji i iznosi 4,64%. Na dubini 40–60 cm, tj. u gornjem delu AhBca horizonta, uporedno sa znatnim povećanjem sadržaja CaCO₃, jako se smanjuje sadržaj humusa, ali je još uvek dosta visok, i iznosi 3,05% (srednje je humozan), dok na dubini 60–80 cm pada na 2,04%.

Tabela 1. Osnovne hemijske karakteristike istraživanog zemljišta
Table 1. The basic chemical properties of the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Hori-zont/ Soil horizon	Humus (%)	CaCO ₃ (%)	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Lako mobilni (mg/100 g zemljišta)	
						P ₂ O ₅	K ₂ O
0–20	Ahp	5,04	15,07	7,75	7,35	19,7	12,0
20–40	Ah	4,64	19,14	7,85	7,55	13,9	10,7
40–60	AhBca	3,05	30,82	8,09	7,60	3,3	7,6
60–80	AhBca	2,04	32,34	8,76	7,79	2,0	5,4
80–105	BcaD1	0,50	40,84	9,42	8,35	2,0	3,2
105–130	D1G1	0,26	30,62	9,63	8,19	0,5	4,0
150–160	D1G1	–	33,34	9,48	–	–	–
160–170	D1G1	–	32,46	9,51	–	–	–
180–190	D1G1	–	34,96	9,61	–	–	–
200–210	D1G1	–	36,55	9,67	–	–	–

Iznenadujuće je visok sadržaj CaCO₃ u Ahp horizontu, na dubini 0–20 cm, koji iznosi 15,07%, koji se znatno povećava, na dubini 20–40 cm, na 19,14%, pogotovu u AhBca horizontu, na dubinama 40–60 i 60–80 cm, u kojima iznosi 30,8%, odnosno 32,3%. Maksimalnu vrednost, 40,8%, dostiže u prelaznoj zoni profila, između AhBca i D₁G₁ horizonta, na dubini 80–130 cm. Ispod te zone, na dubini preko 130 cm, sadržaj CaCO₃ se dosta smanjuje, na 30,6%, a potom se povećava do dna kopanog profila, u kome pokazuje drugi maksimum, 36,5%.

Pored bogatstva humusom, svakako i ukupnim azotom, koji nije određen, ornični (Ahp) horizont je dobro obezbeđen i lako mobilnim P_2O_5 , što je, svakako, posledica obilnog dubrenja fosforim đubrivom. O tome svedoči podatak da se sadržaj lako mobilnog P_2O_5 već na dubini 20–40 cm znatno smanjuje, mada je zemljište i na toj dubini srednje obezbeđeno (13,9 mg/100 g) tim makrohranivom. Na dubini 40–60 cm sadržaj lako mobilnog P_2O_5 se jako smanjuje, na 3,3 mg/100 g, a na dubinama između 60 i 105 cm na 2,0 mg/100 grama zemljišta, odnosno počev 40–60 cm ono je siromašno lako mobilnim P_2O_5 .

Lako mobilnim K_2O na dubinama 0–20 i 20–40 cm ovo zemljište je srednje obezbeđeno, sa sadržajem istog 12 mg/100 g, odnosno 11 mg/100 g. Na dubinama između 40–60 i 105 cm, slično fosforu, siromašno je i lako mobilnim K_2O , čiji sadržaj na tim dubinama varira između 3,2 i 7,6 mg/100 grama zemljišta.

U površinskom delu profila, na dubinama do 40 cm, hemijska reakcija (pH u suspenziji H_2O) je slabo alkalna, s pH vrednostima 7,75 i 7,85, na dubini 40–60 cm (u gornjem delu AhBca horizonta) već srednje alkalna, s pH vrednošću 8,09, već na dubini 60–80 cm (donji deo AhBca horizonta) jako alkalna s pH vrednošću 8,78, a na dubinama većim od 80 cm, tj. u sloju pogrebenog (i alkalizovanog) barskog lesa, veoma alkalna, s pH vrednostima između 9,42 i 9,67.

Najvažnije fizičke karakteristike *The basic physical soil properties*

Mehanički sastav

Grain size distribution

Pored velike dubine na dubini do 40 cm, fizičke osobine ovog zemljišta karakteriše, pre svega, kao što pokazuju podaci analize prikazani u Tabeli 2, ilovasti mehanički sastav na dubini do 130 cm (do koje je vršena mehanička analiza, a i dublje, sve do 210 cm). Tačnije rečeno, sa sadržajem fizičke gline (čestica s prečnikom < 0,01 mm) od 41 do 42%, a koloidne gline (čestica s prečnikom < 0,002 mm) od 27,1 do 28,4%, na dubinama do 60 cm ovo zemljište spada u tešku praškastu ilovaču (ali blizu granice sa srednjom ilovačom), a na dubinama između 60 i 130 cm (kao i dublje, sve do 210 cm), sa sadržajem fizičke gline od 35 do 39%, a koloidne gline između 20 i 25%, u srednju (praškastu) ilovaču.

Tabela 2. Mehanički sastav istraživanog zemljišta
Table 2. The particle size distribution for the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Procentualni sadržaj raznih mehaničkih frakcija (mm)/ Particle size (mm) distribution (%)						Teksturine klase/ Soil Texture (po Wiegner-u, Gajić, 2006)
	1,0– 0,2	0,2–0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,002	< 0,002	< 0,01	
0–20	0,60	5,76	51,68	14,00	27,98	41,90	Teška ilovača
20–40	0,65	6,22	50,81	13,88	28,44	42,32	Teška ilovača
40–60	0,70	5,83	52,43	13,92	27,12	41,04	Srednja ilovača
60–80	0,95	5,82	54,02	13,83	25,38	39,21	Srednja ilovača
80–105	1,74	6,55	55,03	13,2	23,48	36,68	Srednja ilovača
105–130	0,98	6,16	57,58	15,08	20,20	35,28	Srednja ilovača

Po klasifikaciji Kačinskog (Gajić, 2005), za černozeme i njima slična zemljišta (a ispitivano zemljište je zaista „černozemoliko” takoreći po svim osobinama Ah horizonta – boji, strukturi, sadržaju humusa i dr.), ono bi na svim dubinama (dubinskim zonama) do 130 cm spadalo u srednju ilovaču, u kojoj sadržaj fizičke gline varira od 30 do 43%. Podatak da sadržaj frakcije praha, s prečnikom čestica 0,05–0,002 mm, u svim ispitanim uzorcima do dubine 130 cm varira od 64,9 do 72,6%, svedoči da se radi o praškastoj ilovači, prema američkoj klasifikaciji zemljišta po teksturi (Gajić, 2005). Prema toj klasifikaciji ovo zemljište na dubini 0–40 cm spada u praškasto glinastu ilovaču, a na većim dubinama u praškastu ilovaču.

Agregatni sastav
Aggregate size distribution

Što se tiče strukture ovog zemljišta, rezultati suvog prosejavanja, prikazani u Tabeli 3, pokazuju da je sadržaj raznih frakcija strukturnih agregata, s izuzetkom donekle onih najkrupnijih (s prečnikom > 10 mm) i najsitnijih (s prečnikom < 1 mm) dosta ujednačen po dubini humusnog horizonta, u dubinskoj zoni 0–80 cm.

Tabela 3. Agregatni sastav Ah i AhBca istraživanog zemljišta (suvo prosejavanje)
Table 3. Aggregate size distribution of the Ah i AhBca horizons of the investigated soil (dry sieved)

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	Procentualni sadržaj strukturnih agregata (mm)/ Aggregate size (mm) distribution (%)							
		>10	10–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5-0,25	< 0,25
0–20	Ahp	20,7	20,0	12,3	10,5	17,8	0,4	10,5	7,8
20–40	Ah	25,5	23,9	13,3	10,8	14,9	0,5	7,1	4,0
40–60	AhBca	28,1	23,0	13,4	12,0	14,0	0,3	5,8	3,4
60–80	AhBca	23,2	21,7	14,6	12,2	14,9	0,3	7,5	5,0

Polazeći od toga da sadržaj najpovoljnijih, mrvičastih i graškastih, agregata, s prečnikom 5–1 mm (mrvičasti) i 10–5 mm (graškasti), zajedno uzetih, u sve tri dubinske zone humusnog horizonta varira od 60,6% (u Ahp horizontu) do 63,9% (u podorničnom delu humusnog horizonta), orašastih i sitno

grudvastih od 20,7% (u Ahp horizontu) do 28,1% na dubinama između 20 i 80 cm, a praškastih agregata, s prečnikom manjim od 0,5 mm, od 18,3% u Ahp horizontu do 9,2% na dubini od 40 do 60 cm (agregati s prečnikom od 0,5–1 mm u sve tri dubinske zone manje od 1%) može se reći da je struktura ovog zemljišta povoljna, posmatrana sa agronomskog stanovišta. Zaslužuje da posebno bude naglašen podatak da je sadržaj praškastih agregata najveći (18,3%), a najkrupnijih (s prečnikom > 10 mm) najmanji (20,7%) u Ahp horizontu, što je, svakako, posledica uticaja obrade – na usitnjavanje i rasprašivanje strukturnih agregata u oranično-humusnom horizontu.

Naši rezultati su se u potpunosti slagali sa rezultatima Ćirića i sar. (2012), koji su saopštili da površinski (0–20 cm) sloj Fluvisola ima povećan sadržaj (47,25%, prosek tri načina korišćenja zemljišta – oranica, livada i šuma, sa tri lokacije – Kać, Veternik, Novi Bečej) strukturnih agregata > 5 mm. Slični su rezultatima Lipiec i sar. (2007), koji su saopštili da su u orničnom horizontu (0–15 cm) praškasto ilovastog eutričnog fluvisola (Eutric Fluvisol) u Poljskoj, najviše zastupljeni (sa više od 50% od ukupne zemljišne mase) krupni agregati (> 5 mm). Dominacija krupnih i stabilnih strukturnih agregata u oranicama fine teksture doprinosi ublažavanju erozije vetrom (Colazo i Buschiazzo, 2010). Boix-Fayos i sar. (2001) navode da veliki strukturni agregati ne doprinose poboljšanju strukture i povećanju gustine suvog zemljišta, dok istovremeno smanjuju vododrživu sposobnost zemljišta. Noellemeyer i sar. (2008) saopštili su da je posle višegodišnje (14 godina) obrade sadržaj agregata srednje veličine 1–4 mm (obuhvataju klase agregata 3–4, 2–3 i 1–2 mm) smanjen za 30% u beskarbonatnom peskovito ilovastom zemljištu semiaridnog područja središnje Argentine.

Rezultati mokrog prosejavanja zemljišta, tj. određivanja stabilnosti (vodootpornosti) strukturnih agregata, prikazani u Tabeli 4, pokazuju da je, prema klasifikaciji Šeina i sar. (Gajić, 2005), sa sadržajem 41% stabilnih agregata s prečnikom > 0,25 mm, na dubinama 0–40 cm (u Ahp i Ah horizontu), u gornjem delu AhBca horizonta, na dubini 40–60 cm, sa sadržajem oko 58 % stabilnih agregata većih od 0,25 mm znatno bolja (povoljnija) nego u površinskom delu profila.

Tabela 4. Vodootpornost strukturnih agregata Ah i AhBca horizonta istraživanog zemljišta (moko prosejavanje)
Table 4. Distribution of water-stable aggregates of the Ah i AhBca horizons of the investigated soil (dry sieved)

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	Procentualni sadržaj vodootpornih strukturnih agregata (mm)/ Water-stable aggregate (mm) distribution (%)					
		5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
0–20	Ahp	0,9	0,8	3,0	18,7	17,8	58,6
20–40	Ah	0,5	1,0	2,4	20,4	16,5	58,9
40–60	AhBca	4,9	2,2	9,0	24,5	16,7	42,6
60–80	AhBca	0,2	0,9	1,7	5,0	18,7	73,6

U donjem delu AhBca horizonta, na dubini 60–80 cm, sa sadržajem samo oko 26% stabilnih agregata većih od 0,25 mm, vodootpornost strukturnih agregata je već nezadovoljavajuća, tj. struktura je prilično nestabilna, što je, svakako, posledica ne samo znatno nižeg sadržaja humusa (oko 2,0%) na toj

dubini, već u mnogo jačoj meri u izvesnom stepenu izražene alkalizacije ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - 8,76$), pod uticajem u izvesnom stepenu zasoljene podzemne vode.

U Tabeli 5 prikazani su neki od najčešće korišćenih indeksa strukture za ocenu strukturnog stanja zemljišta.

Tabela 5. Indeksi strukture istraživanog zemljišta
Table 5. Structure indices of the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	dMWD (mm)	dGMD (mm)	<i>Kstr</i>	wMWD (mm)	wGMD (mm)	wMWD/dMWD
0–20	Ahp	5,68	2,82	2,51	0,40	0,24	0,070
20–40	Ah	5,68	3,90	2,39	0,38	0,24	0,067
40–60	AhBca	7,01	4,26	2,17	0,81	0,38	0,115
60–80	AhBca	6,26	3,53	2,55	0,26	0,18	0,041

Napomena/ Note. dMWD i dGMW, prosečni maseni prečnik i srednji geometrijski prečnik agregata nakon suvog prosejavanja zemljišta/ mean-weight diameter following dry sieving of soil; *Kstr*, koeficijent strukturnosti zemljišta/ structure coefficient; wMWD i wGMD, prosečni maseni prečnik i srednji geometrijski prečnik vodootpornih agregata nakon mokrog prosejavanja zemljišta/ mean-weight diameter following wet sieving of soil; wMWD/dMWD, indeks stabilnosti zemljišta/ soil stability index.

Srednje maseni prečnik (MWD) i geometrijski srednji prečnik (GMD) kako suvih tako i vodostabilnih agregata značajno su varirali po dubini zemljišta (Tabela 5). Veličina dMWD i dGMD povećavala se sa povećanjem dubine istraženog zemljišta, a njihove veličine varirale su od 5,68 do 7,01 mm, odnosno od 2,82 do 4,26 mm. Takva zakonitost nije utvrđena kod MWD i GMD vodostabilnih agregata. Kod ovih strukturnih agregata najveća vrednost wMWD (0,81 mm) i wGMD (0,38 mm) utvrđena je u zemljišnom sloju na dubini 40–60 cm, a najmanja u sloju na dubini 60–80 cm, 0,26 mm, odnosno 0,18 mm.

Indeks stabilnosti zemljišta, koji odražava dinamička svojstva zemljišta na koja utiče upravljanje zemljištem, jako je mali (Tabela 5). Najveća stabilnost (0,115) bila je u zemljišnom sloju na dubini 40–60 cm, a najmanja (0,041) zabeležena je u najdublje istraživanom sloju zemljišta (60–80 cm).

Što su veće vrednosti wMWD i wGMD veća je i otpornost zemljišta prema razarajućem dejstvu pod dejstvom erozionih agenasa i degradacije.

Vrednosti *Kstr* u analiziranim horizontima znatno su $>1,50$ (tj. variraju u veoma uskom intervalu – između 2,17 i 2,55), i sa dubinom se uglavnom smanjuju. Prema klasifikaciji koju su predložili Shein i sar. (2001), utvrđene *Kstr* vrednosti karakteristične su za zemljišta dobre strukture.

Pokazatelji ostrukturenosti i stabilnosti agregata bili su u skladu s homogenizacijom distribucije humusa sa dubinom ali su imali znatno veće brojčane vrednosti u poređenju sa prethodnim rezultatima na sličnim beskarbonatnim zemljištima (Gajić i sar., 2010). Razlog tome može biti to što je u ovom istraživanju izučavano zemljište prilično karbonatno. Bronick i Lal (2005) su izvestili da CaCO_3 povećava agregaciju zemljišta u semiaridnom području, odnosno da divalentni Ca^{2+} i Mg^{2+} katjoni poboljšavaju

strukturu zemljišta obrazovanjem katjonskih mostova sa česticama gline i organskim ugljenikom u zemljištu. U poređenju sa rezultatima naših istraživanja, Ćirić i sar. (2012) saopštili su znatno veće vrednosti dMWD (8,06 mm), odnosno znatno manje vrednosti wGMD (1,78 mm), kao i nešto malo veće vrednosti *Kstr* (2,81) za površinski (8–20 cm) sloj Fluvisola. Veće vrednosti *Kstr* znače bolju ostrukturenost zemljišta.

Vodno - vazdušne osobine

Rezultati određivanja osnovnih fizičkih osobina – gustina suvog zemljišta i poroznost aeracije, u nešto manjem stepenu i ukupne poroznosti, prikazani u Tabeli 6, pokazuju da te fizičke osobine nisu baš osobito povoljne u Ah i AhB horizontu, do dubine 80 cm, livadske crnice Oglednog polja, što je, svakako, posledica u prvom redu zbijanja zemljišta pri obradi teškom mehanizacijom pri različitom, i visokom, stepenu vlažnosti. Iz podataka u Tabeli 6 vidi se da gustina suvog zemljišta na dubinama 0–40 cm u analiziranom profilu karbonatne ilovaste livadske crnice varira od 1,33 do 1,38 g/cm³. To su prilično visoke vrednosti, koje su, po Kačinskom (Gajić, 2006), karakteristične za jako zbijenu ornicu. U gornjem delu podornične zone, na dubini 40–60 cm, vrednost gustine suvog zemljišta (zbijenosti) povećava se čak na 1,44 g/cm³. Taj podatak nam svedoči da je uticaj zbijanja pri obradi zemljišta bio najveći na toj dubini, što je i razumljivo. Na dubini 60–80 cm gustina suvog zemljišta se znatno smanjuje i iznosi 1,34 g/cm³. Gustina suvog zemljišta je, pored ostalog, i pokazatelj koliko se koreni biljaka mogu proširiti u zemljište.

Jasno je, da raspodela agregata različitih veličina unutar horizonata zemljišta utiče na njegovu poroznost. Po veličini ukupne poroznosti, čije vrednosti u raznim dubinskim zonama do 80 cm variraju od 45,2 do 49,5%, ovo zemljište bi, prema klasifikaciji Pelišeka (Gajić, 2006), spadalo u srednje porozna. Nešto niže vrednosti ukupne poroznosti u Ahp horizontu u poređenju sa podoraničnim delom Ah horizonta, na dubini 20–40 cm, verovatno je posledica gušćeg pakovanja zemljišnih čestica.

Poroznost aeracije, čije brojčane vrednosti se poklapaju s veličinom apsolutnog (ili poljskog) vazdušnog kapaciteta, veoma mala (ispod 5%) i mala (između 5 i 10%) na svim dubinama do 80 cm. Najmanja je u površinskih 20 cm zemljišta (približno odgovara orničnom horizontu), samo 3,8%, znatno veća (9,4%) na dubini 20–40 cm, i potom se jako smanjuje po dubini 40–60 cm, na kojoj je najmanja i ukupna poroznost, a najveća gustina suvog zemljišta.

Tabela 6. Glavne fizičke i hidrološke osobine istraživanog zemljišta
Table 6. The main physical and hydrological properties of the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	ρ_b (g/cm ³)	TP (%)	AP (%)	PVK		VTUB		KPV	
					% zap.	mm	% zap.	mm	% zap.	mm
0–20	Ahp	1,38	46,5	3,8	42,7	85	17,9	36	24,8	49
20–40	Ah	1,33	49,5	9,4	40,1	80	23,7	47	16,4	33
40–60	AhBca	1,44	45,2	4,2	41,0	82	22,9	46	18,1	36
60–80	AhBca	1,34	46,3	5,4	40,9	82	28,1	56	12,8	36
0–80	–	–	–	–	–	329	–	185	–	154

Napomena/ Note. PVK, poljski vodni kapacitet/ field capacity; VTUB, vlažnost trajnog uvenuća biljaka/ permanent wilting point; KPV, kapacitet produktivne vlage biljkama/ available water content; ρ_b , gustina suvog zemljišta/ bulk density; TP, ukupna poroznost/ total porosity; AP, poroznost aeracije/ air-filled porosity.

Poroznost zemljišta važan je fizički atribut strukture zemljišta jer određuje dostupnost kiseonika i vode biljkama, što zauzvrat utiče na izmenu gasova i prinos useva (Franzluebbbers, 2002). Obrada zemljišta oštećuje strukturne agregate i uništava makropore (Gajić i sar., 2023). Lal i Shukla (2004) tvrde da je kritična granica za poroznost aeracije 10%, ispod koje se rast biljaka podvrgava negativnom uticaju zbog nedostatka dovoljne količine vazduha ili anaerobiozisa.

Što se tiče veličine vodnih kapaciteta u Ahp i AhBca horizontu, do dubine 80 cm, podaci analiza prikazani u Tabeli 6 pokazuju da vrednosti poljskog ili bolje reći retencionog vodnog kapaciteta variraju u raznim dubinskim zonama od 40,9 do 42,70 % zap. Njihove veličine izražene u mm visine vodenog stuba variraju od 80 mm (na dubini 20–40 cm) do 85 mm (na dubini 0–20 cm), a u čitavoj dubinskoj zoni od 0 do 80 cm iznose 329 mm.

Dok je poljski vodni kapacitet najveći, 42,7% ili 85 mm, u površinskom sloju, na dubini 0–20 cm, vlažnost trajnog uvenuća biljaka, ili kapacitet biljnim korenima nedostupne vlage, je najmanji (17,9% ili 36 mm) u površinskom sloju i sa dubinom se povećava, a u čitavoj dubinskoj zoni od 0 do 80 cm, tj. u Ah + AhBca horizontu, iznosi 185 mm, što znači znatno veći od kapaciteta produktivne vlage, što je iznenađujuća pojava, s obzirom da se ne radi o teškoj glinuši, već o ilovači (svakako da je to posledica znatne zbijenosti tog zemljišta).

Bilo da je njegova veličina izražena u zapreminskim procentima ili u visini stuba vode, tj. u mm, kapacitet produktivne, biljkama dostupne vlage je najveći (24,8% zap. ili 49 mm stuba vode) u površinskoj probi, na dubini 0–20 cm, a znatno manji na dubinama 20–40, 40–60 i 60–80 cm, dok na čitavoj dubini od 0 do 80 cm njegova veličina iznosi 154 mm. Prema klasifikaciji Vadjunine i Korčagine (Gajić, 2005), zalihe biljkama dostupne vode u metarskom sloju su veoma dobre.

Slično ovim istraživanjima, Gajić i sar. (2023) nedavno su pronašli da vrednosti poljskog vodnog kapaciteta višegodišnje obrađivanih livadskih crnica doline Kolubare na dubini 0–45 cm variraju u veoma

uzanom intervalu, 41,1–42,7%. Isti autori su otkrili da vrednosti vlažnosti trajnog uvenuća biljaka i dostupne (produktivne) vode biljkama variraju od 20,7 do 22,8%, odnosno od 16,9 do 21,9% u površinskom sloju zemljišta do dubine 45 cm. Takođe, navode da višegodišnja obrada zemljišta dovodi do znatnog smanjenja vododržive sposobnosti.

Zbog prilično velike zbijenosti, koju karakterišu velika gustina suvog zemljišta ($1,38 \text{ g/cm}^3$) i, pogotovu, nizak sadržaj drenirajućih pora aeracije (3,8%), površinski sloj, na dubini 0–20 cm, poseduje prilično malu infiltracionu sposobnost za vodu o čemu svedoči podatak da srednja brzina infiltracije vode iznosi samo 15 mm/h. Utvrđena vodopropustljivost je prema klasifikaciji Kačinskog (Gajić, 2005) nezadovoljavajuća. Gajić (2013) uočava znatno veću brzinu ustaljene infiltracije vode (43 mm/h) u duže od 100 godina konvencionalno obrađivanu, fino teksturnu, livadsku crnicu (Fluvisol) doline reke Kolubare.

Zaključci

Conclusions

Ova studija je istraživala uticaj višegodišnje konvencionalne obrade na neke najvažnije hemijske i fizičke pokazatelje kvaliteta černozeolike karbonatne livadske crnice sa područja Bečeja. Rezultati pokazuju da višegodišnja konvencionalna obrada ima značajan uticaj, uglavnom u površinskih 20 cm zemljišta (što približno odgovara orničnom horizontu), na različite klase veličine vodootpornih agregata zemljišta, kao i na zbijenost, tj. veličinu gustine suvog zemljišta, poroznost aeracije i infiltracioni kapacitet zemljišta. Promene u strukturi zemljišta, uzrokovane obradom zemljišta verovatno su glavni faktori koji uzrokuju visoku gustinu suvog zemljišta i smanjenje kapaciteta infiltracije vode i poroznost aeracije. Humusni horizont u sloju do dubine 60 cm pokazuje prilično povoljne hemijske karakteristike, a na dubini 60–80 cm on je alkalizovan, pod uticajem zasoljene podzemne vode.

Uočene promene fizičkih svojstava negativno utiču na plodnost zemljišta, a time i ugrožavaju održivost poljoprivrede u razmatranom regionu. Očito je da postoji potreba za većom pažnjom u razvoju praksi održivog korišćenja zemljišta kako bi se sprečila dalja degradacija zemljišta. Ova studija, takođe pruža osnovu za dalja hemijska, biološka i fizička istraživanja zemljišta kako bi se planirala održiva i produktivna poljoprivreda u ovom okruženju. Za potvrđivanje ovih nalaza neophodno je sprovođenje znatno obimnijih i detaljnih poljskih istraživanja u širokom rasponu uslova.

Zahvalnica

Acknowledgement

Ovo istraživanje finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru ugovora o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada u 2023. godini između

Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu i gore navedenog Ministarstva, evidencioni broj ugovora: 451-03-47/2023-01/200116.

Literatura

References

- Boix-Fayos C, Calvo-Cases A, Imeson AC. (2001): Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indices. *Catena* 44:47–67.
- Bronick CJ, Lal R. (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124:3–22.
- Colazo JC, Buschiazzo DE. (2010): Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159:228–236.
- Ćirić M. (1986): Pedologija. SOUR „Svjetlost”, Sarajevo, p. 312.
- Ćirić V, Manojlović M, Nešić LJ, Belić M. (2012): Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(4):689–703.
- Dhaliwal JK, Kumar S. (2022): 3D-visualization and quantification of soil porous structure using X-ray micro-tomography scanning under native pasture and crop-livestock systems. *Soil and Tillage Research* 218 (2022) 105305.
- Dugalić GJ, Gajić BA. (2005): Pedologija. Praktikum. Agronomski fakultet Čačak, Čačak, p. 175.
- Dugonjić M, Đorđević A, Golubović S, Radmanović S. (2022): Land use impact on soil structure of Pseudogleys in southern Mačva and Pocerina, Serbia. *Zemljište i biljka* 71(1):1–14. DOI: 10.5937/ZemBilj2201001D.
- Egner H, Riehm H, Domingo WR. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden, II: Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphorund Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26:199–215.
- Franzluebbers AJ. (2002): Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66:197–205.
- Gajić BA. (1996): Usporedna istraživanja fizičkih osobina u raznim varijetetima livadskih crnica doline Kolubare. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Gajić BA. (2005): Fizika zemljišta. Praktikum. Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni fakultet, Beograd, p. 185.
- Gajić B, Dugalić G, Djurović N. (2006): Comparison of soil organic matter content, aggregate composition and water stability of gleyic fluvisol from adjacent forest and cultivated areas. *Agronomy Research* 42(2):499–508.

- Gajić B. (2013): Physical properties and organic matter of Fluvisols under forest, grassland, and 100 years of conventional tillage. *Geoderma* 200–201:114–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.018>
- 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.
- Gajić B, Tapanarova A, Tomić Z, Kresović B, Vujović D, Pejić B. (2013): Land use effects on aggregation and erodibility of Luvisols on undulating slopes. *Australian Journal of Crop Science* (8):1198–1204. https://www.researchgate.net/publication/286560190_Land_use_effects_on_aggregation_and_erodibility_of_luvisols_on_undulating_slopes
- Gajić K, Kresović B, Tolimir M, Životić LJ, Lipovac A, Gajić B. (2023): Hydraulic properties of fine-textured soils in lowland ecosystems of Western Serbia vary depending on land use. *Geoderma Regional* 32 (2023) e00603. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00603>
- 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, p. 236.
- Kodešová R, Jirků V, Kodeš V, Mühlhansellová M, Nikodem A, Žigová A. (2011): Soil structure and soil hydraulic properties of Haplic Luvisol used as arable land and grassland. *Soil and Tillage Research* 111:154–161.
- Lal R. (2004): Soil carbon sequestration impacts on Global climate change and food security. *Soil Science* 304:1613.
- Lal R, Shukla MK. (2004): *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 716.
- Lipiec J, Walczak R, Witkowska-Walczak B, Nosalewicz A, Słowińska-Jurkiewicz A, Sławiński C. (2007): The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. *Soil and Tillage Research* 97:239–246.
- Noellemeyer E, Frank F, Alvarez C, Morazzo G, Quiroga A. (2008): Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. *Soil and Tillage Research* 99:179–190.
- Shein Ye.V, Arhangel'skaya, TA, Goncharov VM, Guber AK, Pochatkova TN, Sidorova MA, Smagin AV, Umarova AB. (2001): Field and laboratory methods of physical properties and soil status investigations. Publisher: The University of Moscow, Russia, < p. 199, (in Russian).
- Tolimir M, Kresović B, Životić LJ, Dragović S, Dragović R, Sredojević Z, Gajić B. (2020): The conversion of forestland into agricultural land without appropriate measures to conserve SOM

leads to the degradation of physical and rheological soil properties. *Scientific Reports* (2020) 10:13668. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70464-6>

Živković B, Nejgebauer V, Tanasijević Đ, Miljković N, Stojković L, Drezgić P. (1972): Zemljišta Vojvodine. Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad, p. 685.

Yimer F, Messing I, Ledin S, Abdelkadir A. (2008): Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. *Soil Use Management* 24:344–349.

Characteristics of Fluvisol on the experimental field for soybeans and sugar beets in Stari Bečej (Serbia)

Boško Gajić^{1*}, Miodrag Tolimir², Katarina Gajić¹

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Belgrade, Serbia

²Maize Research Institute “Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, 11185 Belgrade, Serbia

* *Corresponding author*: B. Gajić, bonna@agrif.bg.ac.rs

Abstract

In this study, Fluvisol from the area of Stari Bečej (Serbia) was investigated with the aim of evaluating selected chemical and physical indicators of soil quality after its long-term use in crop production. Ten bulk soil samples (soil depth: 0–210 cm) were collected to analyze soil chemical properties (humus, CaCO₃, pH, P₂O₅, K₂O), texture (six samples, soil depth: 0–130 cm), dry-stable aggregate distribution and stability of soil aggregates (four samples, soil depth: 0–80 cm). Additional undisturbed core samples (100 cm³ volume) were also collected to determine soil bulk density, total porosity, field air capacity, and field water capacity. Water infiltration capacity was also measured in the field using a double ring infiltrometer. The results indicated that the soil had a two-layer profile and a silty loam texture (with a physical clay content of 41–42% and a colloidal clay content of 27–28%). The humus horizon has quite favorable chemical properties up to a depth of 60 cm, and at a depth of 60–80 cm it is alkalized under the influence of saline groundwater. From an agronomic point of view, the structure of this soil is favorable. The results of determining the stability soil aggregates show that the soil structure in the Ahp and Ah horizons at depth (0–40 cm) with a content of 41% of water-stable aggregates < 0.25 mm is significantly worse (less favorable) than in the surface part of the AhBca horizon (40–60 cm) with a content of ~58% of water-stable aggregates < 0.25 mm. The main physical properties are not particularly favorable in the Ah and AhBca horizons to a depth of 80 cm. The Ah horizon is very compact (bulk density: 1.33–1.38 g/cm³), and the air-filled porosity is very low (less than 5%) and small (5–10%) at all depths up to 80 cm, and it is lowest in the surface 0–20 cm layer, only 3.8%. Infiltration capacity is low. The reserves of soil moisture available for plant growth in the soil layer 0–100 cm are very good (> 160 mm water depth). In summary, the results of this study show that perennial tillage can lead to a loss of soil productivity and serious soil degradation.

Keywords: soil porosity; humus; water infiltration; mean-weight diameter; water retention capacity; soil quality

Received 08.11.2023
Revised 23.11.2023
Accepted 23.11.2023