

Predicting soil organic matter content using soil color at three locations with different land use in Zagreb (Croatia)

Predikcija sadržaja organske tvari tla pomoću boje tla na tri lokacije s različitim načinom korištenja zemljišta u Zagrebu (Hrvatska)

Vedran RUBINIĆ¹ (✉), Alan PAVLOVIĆ², Ivan MAGDIĆ¹

¹ University of Zagreb Faculty of Agriculture, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatia

² Student at the University of Zagreb Faculty of Agriculture, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatia

✉ Corresponding author: vrubinic@agr.hr

Received: February 18, 2021; accepted: April 13, 2021

ABSTRACT

Soil organic matter (SOM) plays a key role in ecosystems. Reduction of its content due to land-use changes has a negative impact on the soil, but also on the wider environment. Accordingly, SOM content is routinely analyzed in the laboratory. As these are expensive and/or time-consuming, indirect ones are also tested. The aim of this study was to examine the possibility of predicting SOM content by linear regression using soil color as the predictor, at three locations in Zagreb (Croatia), with different soil types (eutric cambisol anthropogenic, humofluvisol, pseudogley) and different land uses (plough land, meadow, forest, respectively). At each location, 5 samples of the surface soil layer were taken. Soil color was determined using the Munsell system, and the hue was 2.5Y and 10YR in dry and moist soil, respectively. Laboratory analyzes showed that the soils are very acid to neutral silt loams. In line with the land-use, they differed significantly in SOM content and were poorly humic (plough land), moderately to highly humic (meadow), and highly humic (forest). Correlation between soil color dimensions and SOM content was significant only for the dry samples, between chroma and SOM and between value/chroma ratio and SOM. Regression analysis showed high coefficients of determination for these two relationships ($R^2 = 0.88$ for chroma-SOM, $R^2 = 0.76$ for value/chroma-SOM). The results suggest that visual soil color determination can be used to estimate SOM content, but only in dry soil. The model calibrated in this paper needs to be validated using samples of other (different) soils.

Keywords: humus, Munsell color system, linear regression, pedotransfer function

SAŽETAK

Organska tvar tla (OTT) ima ključnu ulogu u ekosustavima. Smanjenje njenog sadržaja zbog promjena u načinu korištenja zemljišta negativno utječe na sama tla, ali i na širi okoliš. U skladu s tim, sadržaj OTT redovito se analizira u laboratoriju. Kako su te analize skupe ili dugotrajne, testiraju se i one neizravne. Cilj rada bio je ispitati mogućnost predviđanja sadržaja OTT linearnom regresijom koristeći boju tla kao prediktor, i to na tri lokacije u Zagrebu (Hrvatska), gdje je na svakoj utvrđen različiti tip tla (eutrično smeđe antropogenizirano, humofluvisol, pseudoglej) i različiti način korištenja (redom: oranica, livada, šuma). Na svakoj lokaciji je uzeto po 5 uzoraka površinskog sloja tla. Boja tla određena je Munsellovim sustavom, pri čemu je komponenta *hue* iznosila 2,5Y u suhom i 10YR u mokrom tlu. U laboratoriju je utvrđeno da su tla vrlo kisele do neutralne praškaste ilovače. U skladu s načinom korištenja zemljišta, signifikantno su se razlikovala u sadržaju OTT te su bila slabo humozna (oranica), dosta do jako humozna (livada) i jako humozna (šuma). Korelacija između komponenti boje tla i sadržaja OTT je utvrđena samo za uzorke u suhom stanju, i to između komponente *chroma* i OTT te između omjera komponenti *value/chroma* i OTT. Regresijom su utvrđeni visoki koeficijenti determinacije za navedena dva odnosa ($R^2=0,88$ za *chroma*-OTT, $R^2=0,76$ za *value/chroma*-OTT). Dobiveni rezultati sugeriraju da se

vizualna metoda određivanja boje tla može koristiti za procjenu sadržaja OTT, ali isključivo u suhom tlu. Model kalibriran u ovom radu potrebno je validirati na uzorcima drugih (različitih) tala.

Ključne riječi: humus, Munsell sustav boja, linearna regresija, pedotransfer funkcija

DETAILED ABSTRACT IN ENGLISH

Soil organic matter (SOM) plays a key role in ecosystems, especially in agroecosystems. *Sensu stricto*, SOM comprises the transformed (humified) organic residues which are often labeled as humus. Reduction of its content due to land-use changes has a negative impact on the soil, but also on the wider environment. Accordingly, SOM content is routinely analyzed in the laboratory. As these analyzes are expensive and/or time-consuming, indirect ones are also being tested. Some of the indirect methods include modelling of the SOM content based on the data for other (correlated and easily available) soil properties, such as soil color. Soil color is routinely determined during most soil surveys, requiring not much effort and resources. The aim of this study was to examine the possibility of predicting SOM content by linear regression using soil color as the predictor, at three locations in Zagreb (Croatia), with different soil types (eutric cambisol anthropogenic, humofluvisol, pseudogley) and different land uses (plough land, meadow, forest, respectively). All soils are found on flat terrain, at around 130 m above sea level. The climate of the studied area is humid, moderate continental. At each location, 5 samples of the surface soil layer were taken. Soil color was visually determined using the three dimensions of the Munsell system: *hue*, *value*, and *chroma*. Hue was 2,5Y and 10YR in dry and moist soil, respectively (with the moist soil samples having lower values). Chroma varied across the samples. The color was analyzed in soil peds under standardized conditions (light, moisture). Laboratory analyzes (soil pH, soil particle size distribution by pipette-method, SOM content by wet digestion after the Tjurin method) showed that the soils are very acid to neutral silt loams. In line with the land-use, they significantly differed in SOM content and were poorly humic (plough land), moderately to highly humic (meadow), and highly humic (forest). Statistical analyzes were performed using *MS Excel* and *Minitab 19*, and involved ANOVA, Kruskal-Wallis test, Pearson correlation, and linear regression procedures. The correlation between soil color dimensions and SOM content was significant only for the dry soil samples, between chroma and SOM and between value/chroma ratio and SOM. Regression analysis showed high coefficients of determination for these two relationships ($R^2 = 0,88$ for chroma-SOM, $R^2 = 0,76$ for value/chroma-SOM), with the following prediction errors: RMSE=1,08% and MAE=0,83% (chroma-SOM); RMSE=1,34% and MAE=1,10% (value/chroma-SOM). The obtained results suggest visual soil color determination can be used to estimate SOM content, but only in dry soils. However, the model calibrated in this paper needs to be validated on samples from other (different) soils. Moreover, further research should be conducted using a large number of samples, collected from soils across Croatia and the wider region.

UVOD

Organska tvar tla (OTT) predstavlja manje od 10% ukupne mase većine mineralnih tala, u kojima je odraz ravnoteže između unosa i gubitaka procesima kao što su mineralizacija i ispiranje (Campbell i Paustian, 2015). U širem smislu, OTT podrazumijeva žive i nežive organizme, odnosno sve njihove ostatke u tlu (koji mogu biti svježi, razgrađeni do različitog stupnja ili transformirani). U užem smislu (i u ovom radu), OTT predstavlja humificirane ostatke organizama, odnosno humus. Humus je kompleksna, stabilna, amorfna, smeđa do crna smjesa tvari stvorenih transformacijom biljnih ili životinjskih ostataka uz djelovanje mikroorganizama tla (Senn i Kingman, 1973).

Pozitivan utjecaj organske tvari na kvalitetu (plodnost) tla je višestruk: ona poboljšava strukturiranost tla, infiltraciju i zadržavanje vode u tlu, otpornost tla na eroziju, opskrbu tla hranjivima, itd. (Lal, 2014). Osim toga, OTT je primarni izvor ugljika/energije za mikroorganizme tla, a ima i široki ekološki značaj jer utječe na emisije stakleničkih plinova u atmosferu (Heimann i Reichstein, 2008). Na globalnoj razini, tla su glavni spremnik ugljika u kopnenim ekosustavima. Stoga pad sadržaja OTT, primarno kao posljedica promjena u korištenju zemljišta ili poljoprivrednoj praksi, može značajno pridonijeti emisiji CO₂ u atmosferu (Kotrocó i sur., 2014). Obzirom na osjetljivost OTT na izravne i neizravne utjecaje čovjeka (Campbell i Paustian, 2015), ne iznenađuje da je neviđeno

širenje i intenziviranje poljoprivrede tijekom 20. stoljeća dovelo do pada njenog sadržaja u mnogim tlima (Lal, 2009).

Zbog važnosti organske tvari za tla i širi okoliš, njen se sadržaj redovito analizira u laboratoriju. Nažalost, takve su analize skupe i/ili dugotrajne, a mnoge podrazumijevaju i upotrebu toksičnih kemikalija. Posljedično, sve se više radi na modeliranju OTT (Campbell i Paustian, 2015) i uvođenju neizravnih metoda njenog određivanja (Fox i Sabbagh, 2002; Konen i sur., 2002; Siewert, 2004; Chen i sur., 2005). Poznato je da postoji povezanost između OTT i spektralnih karakteristika tla (Barouchas i Moustakas, 2004). Naime, organska tvar je jedan od primarnih pigmenta u tlu (npr. Sugita i Marumo, 1996). Stoga boja tla može poslužiti kao ekonomično sredstvo za predikciju sadržaja OTT (Steinhardt i Franzmeier, 1979; Fernandez i sur., 1988; Konen i sur., 2003; Aitkenhead i sur., 2013; Vodyanitskii i Kirillova, 2016). S agronomskog stajališta, važnost utvrđivanja boje tla proizlazi iz činjenice da su, osim sadržaja organske tvari, i neka druga svojstva (npr. oblik željeza i sadržaj vlage u tlu) povezana s bojom tla (Sánchez-Marañón i sur., 2004). Načelno, tla tamnije boje imaju više OTT te se smatraju plodnijim. Obzirom na izneseno, razumljivo je da je boja tla jedan od ključnih kriterija u vodećim svjetskim sustavima za klasifikaciju, kao što su WRB for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2015) i Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999).

Ovaj rad ima za cilj ispitati mogućnost korištenja boje tla, određene referentnom metodom za njenu vizualnu determinaciju (Munsell Color, 2000), kao prediktora sadržaja OTT, i to pomoću modela temeljenog na linearnoj regresiji. Modeli za predikciju pojedinih svojstava tla (pedotransfer funkcije) često se upotrebljavaju za procjenu svojstava čija su izravna mjerenja zahtjevnija, i to koristeći lako dostupne podatke o drugim (koreliranim) svojstvima tla (npr., Gupta i Larson, 1979; Schaap i sur., 2001; Rubinić i Safner, 2019; Rubinić i sur., 2020; Reichert i sur., 2020). Boja je temeljno morfološko svojstvo tla, koje se redovito evidentira pri opisu tla na terenu uz minimalni utrošak vremena i sredstava. Zbog toga bi rezultati ovog istraživanja trebali biti korisni za jednostavno i ekonomično stjecanje uvida u sadržaj organske tvari u

tlima. Istraživanje je zamišljeno kao preliminarno, te je provedeno na malom broju uzoraka ($n=15$), i to na tri različita tipa tla, od kojih se svako nalazi pod različitim načinom korištenja, odnosno pod različitom vegetacijom (oranica, livada, šuma).

MATERIJALI I METODE

Područje istraživanja i terenski rad

Procjena sadržaja OTT temeljem boje tla može se poboljšati uključivanjem podataka poput sistematske jedinice tla ili teksture tla (Suuster i sur., 2012), topografskih karakteristika terena (Chaplot i sur., 2001), te parametara klime ili vegetacije (Zhang i sur., 2011). U svrhu povećanja robusnosti regresijskog modela, istraživanje je provedeno na tri različita tipa tla, od kojih se svako nalazi pod različitim korištenjem/pokrovom. Pedološkom sondom, uzeto je po pet porušenih uzoraka površinskog sloja tla (u ponavljanju), i to s tri različita zemljišta: oranica - O, livada - L, šuma - Š (Slika 1). Ukupno je, dakle, analizirano 15 uzoraka tla. Sva tri zemljišta nalaze se na ravnom terenu, na nadmorskoj visini između 128 m (O i L) i 133 m (Š), u blizini ulice Fakultetsko dobro na području oko Agronomskog fakulteta u Zagrebu (Slika 1). Klima je humidna, umjerena kontinentalna, s godišnjim prosjecima temperature i oborine redom 10,7 °C i 840,1 mm (Zaninović i sur., 2008). Više o području istraživanja, kao i o tlima na ove tri lokacije, nalazi se u ranije objavljenom radu (Rubinić i sur., 2015a).

Na oranici, uzorci tla su uzeti s dubine 0-30 cm, odnosno iz oraničnog horizonta (Ap horizont). Svaki od pet uzoraka je uzet na površini pod različitim ratarskom kulturom, jedna od kojih je bila duhan (*Nicotiana Tabacum*, Slika 1). Na livadnom zemljištu, koje se nalazilo neposredno uz potok Bliznec (Slika 1), uzeti su uzorci iz humusno akumulativnog horizonta (A horizonta) dubokog oko 10 cm. Na trećem uzorkovanom zemljištu, u listopadnoj šumi parka Maksimir (Slika 1), uzeto je pet uzoraka iz A horizonta dubine oko 12 cm. Prema Škorić i sur. (1985), na oranici tip tla je eutrični kambisol antropogenizirani (odjel automorfni tala), dok su na lokacijama L i Š tipovi tla redom humofluvisol i pseudoglej (oba svrstana u odjel hidromorfni tala).

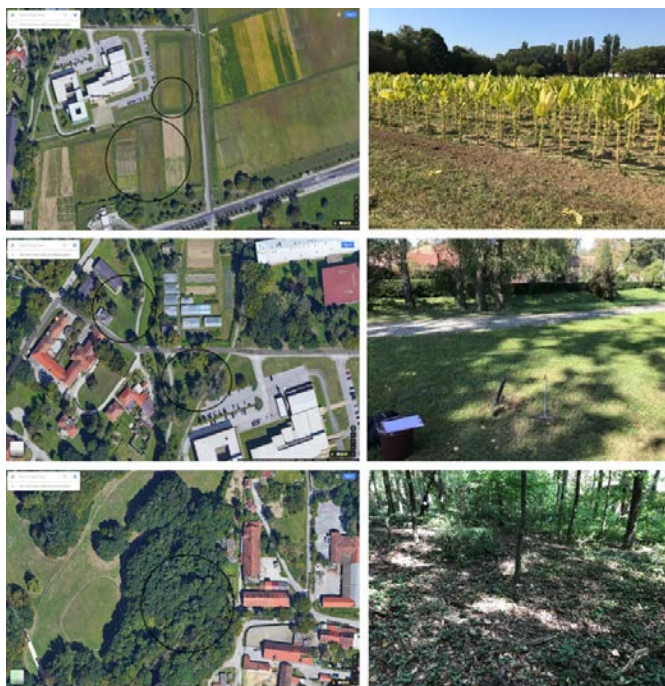


Figure 1. Satellite images of the three studied locations situated near the Faculty of Agriculture in Zagreb (source: *Google Maps*) and the corresponding landscape photographs (two upper figures: plough land; two middle figures: grassland; two lower figures: forest land)

Slika 1. Satelitske slike tri istražene lokacije u blizini Agronomskog fakulteta u Zagrebu (izvor: *Google Maps*) i pripadajuće fotografije krajobraza (gornje dvije slike: oranica; srednje dvije slike: livada; donje dvije slike: šuma)

Laboratorijske analize

Uzorci tla su prosušeni na zraku te su iz njih odstranjeni ostaci biljaka. Nakon što su iz uzoraka tla izdvojeni najveći agregati (koji su se koristili za utvrđivanje boje tla), oni su samljeveni u mlinu i prosijani kroz sito promjera 2 mm, kako bi se dobila sitnica za laboratorijske analize (HRN ISO 11464:2009). U laboratoriju je u svakom uzorku elektrometrijski određena reakcija tla (pH), i to u vodi i u kalijevom kloridu (HRN ISO 10390:2005). Utvrđen je i mehanički sastav tla (prosijavanjem i sedimentacijom, nakon disperzije uzorka pomoću $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), odnosno teksturna oznaka tla (FAO, 2006). Mehanički sastav tla predstavlja postotne udjele mineralnih čestica različitih veličina (pijesak, prah, glina), temeljem kojih se tlu pridaje određena teksturna oznaka. Sadržaj OTT određen je kao sadržaj humusa, mokrim spaljivanjem po Tjurinu (JDPZ, 1966).

Određivanje boje tla prema Munsell sustavu

Boja tla je vizualno utvrđena u neprosijanom tlu (na/u agregatima), i to pri standardiziranim laboratorijskim uvjetima osvjetljenja i vlažnosti tla (npr., Melville i Atkinson, 1985). U svakom uzorku tla, boja je određena u zrakosuhom i u mokrom stanju - uzorci u mokrom stanju su, neposredno prije određivanja boje, pomoću kapaljke navlaženi destiliranom vodom (FAO, 2006).

Vizualna determinacija boje tla je napravljena pomoću Munsellovog atlasa (Munsell Color, 2000), koji omogućuje mjerenje boje usporedbom uzorka tla sa standardnim grafiknima. Atlas sadrži 9 grafikona, koji zajedno sadržavaju 322 standardizirane obojene kartice, sistematično posložene u skladu s njihovim Munsell oznakama u tri komponente boje: 1) *hue* - dominantna boja u odnosu na crvenu, žutu, zelenu, plavu i ljubičastu, 2) *value* - stupanj svjetlosti/tamnosti na ljestvici sive boje u rasponu od čisto crne (iznos 0) do čisto bijele (iznos 10), te 3) *chroma* - intenzitet, odnosno čistoća/zasićenost boje na ljestvici od 0 (neutralna boja) do 8 (najintenzivnija boja). Munsell oznake vezane za svaku od navedene tri komponente kombiniraju se kako bi se dobila brojčano-slovnica šifra i pripadajući standardizirani opis riječima za boju uzorka tla (npr. 10R 6/4 znači da je *hue* 10R - 100% crvene boje, *value* 6 i *chroma* 4, dok je pripadajući opis boje *blijedo crvena*).

Statistička obrada podataka

Statističke analize su provedene primjenom softvera *MS Excel* i *Minitab 19*. Osim deskriptivne statistike, za utvrđivanje signifikantnosti razlika u vrijednostima pH tla, mehaničkog sastava tla i sadržaja OTT obzirom na način korištenja zemljišta, napravljena je analiza varijance (ANOVA) pri 95% pouzdanosti. Obzirom da su podaci kojima se opisuje boja tla prema Munsellovom atlasu ordinalni, statistička analiza komponenti boje provedena je korištenjem neparametrijskog testa Kruskal-Wallis.

Kako bi se ispitalo da li postoji povezanost komponenti boje tla i sadržaja OTT, napravljene su korelacijske analize. U slučaju postojanja signifikantne korelacije, napravljena je jednostavna linearna regresija u svrhu definiranja

povezanosti između varijabli, odnosno korištenja te povezanosti za predviđanje kretanja vrijednosti zavisne varijable (sadržaj OTT) u ovisnosti o izmjerenim vrijednostima prediktora (Munsell *value* i/ili *chroma*). Jačina utjecaja komponenti boje tla na sadržaj OTT procijenjena je pomoću koeficijenta determinacije (R^2). Efikasnost regresijskog modela dodatno je evaluirana pomoću korijena prosječnog kvadratnog odstupanja - *root mean squared error* (RMSE) i prosječne apsolutne pogreške - *mean absolute error* (MAE).

REZULTATI I RASPRAVA

Mehanički sastav (tekstura), pH i sadržaj organske tvari tla

Osim kod uzoraka L_5 , \check{S}_2 i \check{S}_3 , teksturna oznaka tla je praškasta ilovača (Tablica 1). U sva tri ispitana tla dominiraju čestice praha (Tablica 1). Najveći postoci praha utvrđeni su kod šumskog tla i kreću se u rasponu od 75,4% do 81,8%. Kod oraničnog tla, praha je nešto manje (67,7-71,7%), a kod livadnog ga je najmanje, uz najveći raspon vrijednosti između uzoraka (50,1-68,2%). Rezultati statističke analize su ukazali na postojanje značajnih razlika ($P < 0,05$) u udjelu svake od tri frakcije mehaničkog sastava tla obzirom na način korištenja zemljišta (Tablica 1), osim u slučaju sadržaja gline u polju i u šumi (prosjeci redom 12,3% i 11,5%; $P = 0,269$).

Izmjerene pH vrijednosti svih uzoraka tla prikazane su u Tablici 2. Kod oraničnog tla reakcija je kisela (osim kod uzorka P_1 , kod kojeg je slabo kisela), kod livadnog je neutralna, a kod šumskog jako kisela. Obzirom na tip zemljišta, razlike između izmjerenih pH vrijednosti tla (u vodi i u KCl-u) su statistički značajne ($P = 0,000$) i očekivane. Iako je i tlo na oraničnom i tlo na livadnom zemljištu nastalo na izvorno karbonatnom fluvijalnom nanosu, ovo potonje je znatno mlađe (bliže potoku koji je još donedavno plavio), pa iz njega još nisu isprani karbonati, koji djeluju kao puferi (Rubinić i sur., 2015a). Osim toga, niže pH vrijednosti na poljoprivrednim tlima mogu se objasniti i korištenjem gnojiva koja zakiseljuju tlo (npr. Butorac i sur., 2005). Na livadnom području, vrijednosti pH ne variraju značajno između uzoraka,

odnosno kreću se od 6,92 do 7,10 u KCl-u te od 7,27 do 7,63 u vodi. Kod šumskog tla, vrijednosti pH variraju još i manje, odnosno kreću se od 3,63 do 3,73 u KCl-u i od 4,53 do 4,75 u vodi. Približno jednake vrijednosti pH šumskog pseudogleja diljem kontinentalne Hrvatske prikazuju Rubinić i sur. (2015b).

Prema dobivenim vrijednostima sadržaja OTT (Tablica 2), može se zaključiti da je oranično tlo slabo humozno, a šumskojako humozno. Livadno tlo pak pokazuje odstupanja između uzoraka, pa su L_2 i L_3 dosta humozni, dok su ostali uzorci jako humozni. Preciznije, sadržaji humusa kreću se u rasponu 1,60-2,15% za oranično, 3,88-9,41% za livadno i 5,28-8,56% za šumsko tlo (Tablica 2). Rezultati ukazuju na nepostojanje značajne razlike ($P = 0,606$) između sadržaja OTT livadnog i šumskog tla, kao i na značajno niži sadržaj OTT u oraničnom tlu u odnosu na preostala dva ($P = 0,000$ za oba slučaja). Manji postoci sadržaja OTT u oraničnom tlu, u odnosu na livadno i šumsko, mogu se objasniti nepostojanjem prirodne vegetacije i iznošenjem usjeva, odnosno obradom tla, koja potiče mineralizaciju organske tvari i smanjuje količinu humusa (Jiang i sur., 2006; Haghghi i sur., 2010; Pollakova i sur., 2016). Na sadržaj humusa u poljoprivrednim tlima značajno utječe i tip gnojidbe (npr. Tomov i Artinova, 2005). Celik (2005) navodi da se količina organske tvari antropogeniziranog tla smanjuje u prosjeku za 49% u odnosu na prirodno tlo.

Komponente boje tla

U Tablici 3 vidi se da uzorci svih tala u suhom stanju imaju konstantnu *hue* komponentu, i to 2,5Y (25% žute boje). Oranično i šumsko tlo pokazuju istovjetnost i u komponenti *value*, koja im iznosi 6. Razliku ipak pokazuju u komponenti *chroma*, koja kod oraničnog tla ima iznos 4, a kod šumskog 3 (osim u uzorku \check{S}_5 , gdje iznosi 2). Livadno tlo se od preostala dva razlikuje u obje potonje komponente, odnosno blago je tamnije i nešto manje intenzivno obojano (Tablica 3). Posljedično, utvrđeno je da, obzirom na način korištenja zemljišta, postoji značajna razlika u pogledu *chroma* ($P = 0,009$) i *value* ($P = 0,008$) komponenti boje suhog tla. Na temelju dominantnih boja, može se zaključiti da je u analiziranim uzorcima tla prevladavajući mineral željeza getit ($\alpha\text{-FeOOH}$), koji tlima

daje žuto smeđu boju (Schwertmann, 1985).

Obično se boja tla primjetno mijenja tijekom njegovog isušivanja. Kao i u suhim uzorcima, u svim mokrim uzorcima tla je ustanovljena jednaka *hue* komponenta (Tablici 4), i to 10YR (100% žutosmeđe boje). Prema očekivanju, mokri uzorci tla su tamniji od suhih (imaju nižu vrijednost *value* komponente). Komponente *value* i *chroma* pokazuju neujednačenost između uzoraka tla,

i to kako unutar pojedinih načina korištenja zemljišta, tako i između njih (Tablica 4). Ipak, utvrđeno je da, u odnosu na način korištenja zemljišta, statistički značajna razlika postoji samo u *value* ($P=0,048$), ali ne i u *chroma* komponenti boje ($P=0,365$).

Utvrđivanje boje tla prema Munsellu, iako prihvaćeno kao standardna metoda temeljena na referentnom materijalu (atlas) i striktnim uputama za njegovo

Table 1. Particle size distribution and texture of the analyzed soil samples from plough land (O), grassland (L), and forest land (Š) with means and standard errors (SEMs)

Tablica 1. Mehanički sastav i tekstura analiziranih uzoraka tla oraničnog (O), livadnog (L) i šumskog (Š) zemljišta s prosjecima i njihovim standardnim pogreškama (SEM)

Sample	Sand	Silt	Clay	Texture ¹
Uzorak	Pijesak	Prah	Glina	Tekstura ¹
	2-0,063 mm	0,063-0,002 mm	<0,002 mm	
		%		
O ₁	18,9	67,7	13,4	PrI
O ₂	17,9	69,1	13,0	PrI
O ₃	18,4	68,6	13,0	PrI
O ₄	17,4	71,2	11,4	PrI
O ₅	17,4	71,7	10,9	PrI
Mean (SEM)				
Prosjeak (SEM)	18,0 (0,3)	69,7 (0,8)	12,3 (0,5)	
L ₁	32,8	59,7	7,5	PrI
L ₂	24,5	68,2	7,3	PrI
L ₃	32,4	62,7	4,9	PrI
L ₄	42,3	53,0	4,7	PrI
L ₅	44,4	50,1	5,5	PrI-PjI
Mean (SEM)				
Prosjeak (SEM)	35,3 (3,6)	58,7 (3,3)	6,0 (0,6)	
Š ₁	10,6	77,1	12,3	PrI
Š ₂	8,6	81,2	10,2	Pr
Š ₃	8,1	81,8	10,1	Pr
Š ₄	8,7	78,8	12,5	PrI
Š ₅	12,4	75,4	12,2	PrI
Mean (SEM)				
Prosjeak (SEM)	9,7 (0,8)	78,9 (1,2)	11,5 (0,5)	

¹ Texture designations: PrI – silt loam, PjI – sand loam, Pr – silt

¹ Teksturine oznake: PrI – praškasta ilovača, PjI – pjeskovita ilovača, Pr – prah

korištenje, ima neka ograničenja, koja uključuju slijedeće: (1) nejednaka senzitivnost ispitivača (npr. daltonizam, subjektivnost) (Mouazen i sur., 2007); (2) nepotpuna ujednačenost uvjeta pri ispitivanju (npr. sadržaj vlage tla, osvjetljenje) (Mouazen i sur., 2007); te (3) otežana statistička analiza (Kirillova i sur., 2014). Prvo gore navedeno ograničenje je ujedno i jedino koje je teško rješivo u potpunosti (kako u ovom slučaju, tako i u slučaju drugih analiza koje se temelje na opažanju ispitivača). Određivanje boje tla različitim instrumentima je, jasno,

Table 2. Soil pH and organic matter content of the analyzed samples from plough land (O), grassland (L), and forest land (Š) with means and standard errors (SEMs)

Tablica 2. Reakcija (pH) i sadržaj organske tvari u analiziranim uzorcima tla oraničnog (O), livadnog (L) i šumskog (Š) zemljišta s prosjecima i njihovim standardnim pogreškama (SEM)

Sample Uzorak	pH		OTT ¹
	KCl	H ₂ O	%
O ₁	6,01	7,22	2,15
O ₂	4,83	6,29	2,07
O ₃	4,64	6,17	1,76
O ₄	4,66	6,26	1,60
O ₅	4,67	6,06	1,73
Mean (SEM)			
Prosjek (SEM)	4,96 (0,26)	6,42 (0,21)	1,86 (0,11)
L ₁	6,92	7,39	6,28
L ₂	7,04	7,63	3,88
L ₃	6,92	7,41	3,98
L ₄	7,10	7,54	5,40
L ₅	6,93	7,27	9,41
Mean (SEM)			
Prosjek (SEM)	6,98 (0,04)	7,45 (0,06)	5,79 (1,01)
Š ₁	3,68	4,53	6,49
Š ₂	3,63	4,60	5,87
Š ₃	3,69	4,75	5,90
Š ₄	3,66	4,75	5,28
Š ₅	3,73	4,70	8,56
Mean (SEM)			
Prosjek (SEM)	3,68 (0,02)	4,67 (0,04)	6,67 (0,81)

¹ OTT = soil organic matter content determined as the content of humus

¹ OTT = sadržaj organske tvari tla određen kao sadržaj humusa

moguće (vidi Viscarra Rossel i Webster, 2011) te je u više istraživanja zabilježena uspješna upotreba prijenosnih spektrofotometara (npr. Barrett, 2002). Međutim, ograničena prenosivost potrebne opreme i visoki troškovi mjerenja predstavljaju nedostatak takvih metoda. Alternativa su digitalni fotoaparati – oni pružaju nove mogućnosti za karakterizaciju boje tla i kvantitativnu obradu rezultata njezinog mjerenja (Levin i sur., 2005; Doi i Ranamukhaarachchi, 2007). Jeftini su i jednostavni za rukovanje, te bi mogli omogućiti brzo određivanje sadržaja OTT temeljem boje tla (Gregory i sur., 2006; Viscarra Rossel i sur., 2008.). Međutim, kako korištenje digitalnih fotoaparata u navedene svrhe u pravilu zahtijeva potpuno standardiziran i konzistentan izvor svjetlosti, oni su često neprikladni za upotrebu na terenu (Gómez-Robledo i sur., 2013).

Table 3. Munsell dry soil color of the analyzed samples from plough land (O), grassland (L), and forest land (Š)

Tablica 3. Munsell boje analiziranih suhih uzoraka tla oraničnog (O), livadnog (L) i šumskog zemljišta (Š)

Sample Uzorak	Hue Boja	Value/Chroma Vrijednost/Intenzitet	Opis boje Color description
O ₁		6/4	
O ₂		6/4	svijetlo žućkasto smeđa
O ₃	2,5Y	6/4	light yellowish brown
O ₄		6/4	
O ₅		6/4	
L ₁		5/2	sivkasto smeđa grayish brown
L ₂		5/3	svijetlo maslinasto smeđa
L ₃	2,5Y	5/3	light olive brown
L ₄		5/3	
L ₅		4/1	tamno siva dark gray
Š ₁		6/3	svijetlo žućkasto smeđa
Š ₂		6/3	
Š ₃	2,5Y	6/3	light yellowish brown
Š ₄		6/3	
Š ₅		6/2	svijetlo smeđe siva light brown gray

Table 4. Munsell moist soil color of the analyzed samples from plough land (O), grassland (L), and forest land (Š)**Tablica 4.** Munsell boje analiziranih mokrih uzoraka tla oran-
ičnog (O), livadnog (L) i šumskog zemljišta (Š)

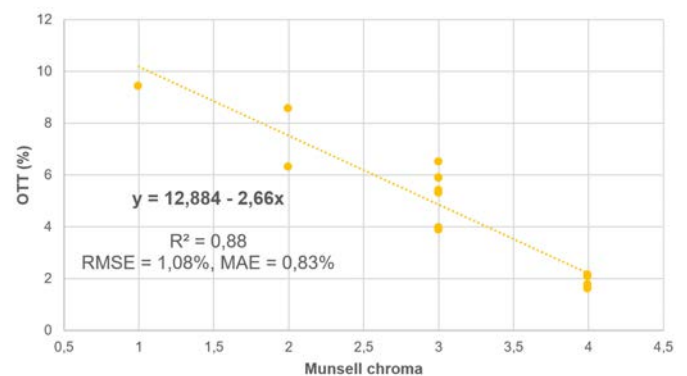
Sample	Hue	Value/Chroma	Opis boje
Uzorak	Boja	Vrijednost/Intenzitet	Color description
O ₁	10Y	4/3	smeđa brown
O ₂		4/4	tamno žutosmeđa dark yellow brown
O ₃		3/4	
O ₄		4/3	smeđa brown
O ₅		4/3	
L ₁	10Y	3/1	vrlo tamno siva very dark gray
L ₂		3/3	tamno smeđa dark brown
L ₃		3/3	
L ₄		3/4	tamno žutosmeđa dark yellow brown
L ₅		3/1	vrlo tamno siva very dark gray
Š ₁	10Y	3/2	vrlo tamno sivkasto smeđa very dark grayish brown
Š ₂		4/3	smeđa brown
Š ₃		4/4	tamno žutosmeđa dark yellow brown
Š ₄		5/4	žučkasto smeđa yellowish brown
Š ₅		4/4	tamno žutosmeđa dark yellow brown

Odnos između boje tla i sadržaja organske tvari tla

U cilju utvrđivanja povezanosti boje uzoraka tla, izražene u komponentama *chroma* i *value*, te sadržaja OTT, provedena je korelacijska analiza (Tablica 5). Utjecaj komponente *hue* nije analiziran, obzirom na njenu ujednačenost među uzorcima (Tablice 3 i 4). Samo kod suhih uzoraka tla, i to između komponente *chroma* i sadržaja OTT, utvrđena je signifikantna korelacija ($P=0.000$), koja je bila vrlo jaka i negativna ($r=-0,936$). I drugi istraživači su utvrdili jaču povezanost boje i sadržaja OTT u suhom, nego u mokrom tlu (Fernandez i sur., 1988;

Konen i sur., 2003; Wills i sur., 2007). Iako je Munsell *value* u pravilu negativno korelirana sa sadržajem OTT (Moritsuka i sur., 2014), u ovom istraživanju taj odnos nije bio statistički značajan. Spielvogel i sur. (2004) su utvrdili isključivo povezanost *value* (a ne *chroma*) i sadržaja OTT u suhim uzorcima tla.

Za odnos *chroma* komponente suhog tla i sadržaja OTT provedena je regresijska analiza (Slika 2). Obzirom da je njome utvrđena vrijednost R^2 iznosila čak 0,88 (uz male pogreške predikcije, Slika 2) može se zaključiti da vizualno određivanje boje tla pomoću Munsellovog atlasa u ovom slučaju omogućuje procjenu sadržaja OTT. Konen i sur. (2003) su također utvrdili da je *chroma* suhih uzoraka tla dobar prediktor sadržaja OTT ($R^2 = 0,77$). Prema Fernandez i sur. (1988) te Wills i sur. (2007), postoji povezanost obje komponente boje (*value* i *chroma*) sa sadržajem OTT u suhim uzorcima tla ($R^2 > 0,9$ za prvo, $R^2 = 0,79$ za drugo navedeno istraživanje).

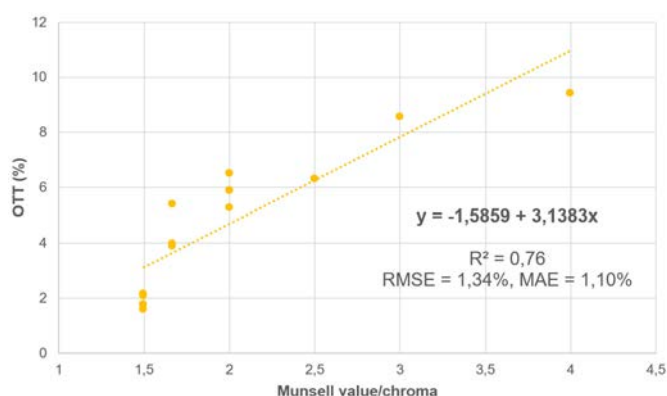
**Figure 2.** Relation of the dry soil Munsell chroma and the soil organic matter content (OTT)**Slika 2.** Odnos intenziteta boje (Munsell *chroma*) suhog tla i sadržaja organske tvari tla (OTT)

Obzirom da se često sugerira korištenje obje ovdje testirane komponente boje za adekvatno predviđanje sadržaja OTT umjesto samo jedne od njih (npr. Franzmeier, 1993), provedene su dodatne korelacijske i regresijske analize, pri kojima je promatrana povezanost između omjera *value/chroma* boje tla i sadržaja OTT. Uočeno je da u slučaju mokrih uzoraka tla opet nema signifikantne korelacije ($P=0,070$; $r=0,480$). Kod suhih uzoraka tla, s druge strane, utvrđeno je postojanje vrlo jake pozitivne korelacije između omjera *value/chroma* i sadržaja OTT ($P=0,000$; $r=0,87$), te je u skladu s time napravljena

Table 5. Correlations between the Munsell value and chroma soil color dimensions and the soil organic matter content (OTT)**Tablica 5.** Korelacije između Munsell *value* (vrijednosti) i *chroma* (intenziteta) komponenti boje tla i sadržaja organske tvari tla (OTT)

Correlated parameters	P-value	Pearson coefficient (r)
Korelirani parametri	P-vrijednost	Pearsonov koeficijent (r)
Value (moist soil) and OTT content	0,545	-0,170
<i>Value</i> (mokro tlo) i sadržaj OTT		
Chroma (moist soil) and OTT content	0,169	-0,375
<i>Chroma</i> (mokro tlo) i sadržaj OTT		
Value (dry soil) and OTT content	0,085	-0,460
<i>Value</i> (suho tlo) i sadržaj OTT		
Chroma (dry soil) and OTT content	0,000	-0,936
<i>Chroma</i> (suho tlo) i sadržaj OTT		

odgovarajuća regresijska analiza (Slika 3). Ona je polučila visoki koeficijent determinacije R^2 od 0,76 te pokazala da se i omjer *value/chroma* može koristiti za predikciju sadržaja organske tvari u ovdje istraživanim (i sličnim) tlima, i to uz malu pogrešku (Slika 3). Međutim, obzirom da je varijabilnost sadržaja OTT bila bolje i točnije opisana modelom temeljenim samo na *chroma* komponenti (Slika 2), ona bi, u odnosu na omjer *value/chroma*, svakako trebala imati prednost pri izboru prediktora (tim više što je jednostavnije odrediti samo jednu, nego obje ove komponente boje).

**Figure 3.** Relation of the dry soil Munsell value/chroma ratio and the soil organic matter content (OTT)

Slika 3. Ovisnost omjera vrijednosti i intenziteta boje (Munsell *value* i *chroma*) suhog tla i sadržaja organske tvari tla (OTT)

ZAKLJUČCI

Cilj rada bio je, u tri različita tipa tla (eutrično smeđe antropogenizirano, humofluvisol, pseudoglej) s različitim načinima korištenja, ispitati mogućnost procjene sadržaja OTT pomoću linearne regresije, i to koristeći boju mokrog i suhog tla kao prediktor. U skladu s načinom korištenja zemljišta (biljnim pokrovom), analizirana tla su se signifikantno razlikovala u sadržaju OTT te su bila slabo humozna (oronica), dosta do jako humozna (livada) ili jako humozna (šuma). U pogledu teksture, na sva tri zemljišta prevladavale su praškaste ilovače.

Korelacija između Munsell komponenti boje tla i sadržaja OTT je utvrđena samo za uzorke u suhom stanju, i to između komponente *chroma* i OTT te između omjera komponenti *value/chroma* i OTT. Regresijskom analizom utvrđeni su visoki koeficijenti determinacije za navedena dva odnosa, uz male pogreške predikcije ($R^2=0,88$, $RMSE=1,08\%$, $MAE=0,83\%$ za *chroma*-OTT; $R^2=0,76$, $RMSE=1,34\%$, $MAE=1,10\%$ za *value/chroma*-OTT). Ovakvi rezultati sugeriraju da se vizualna metoda određivanja boje tla prema Munsellu može koristiti za procjenu sadržaja OTT, ali isključivo u suhom tlu. Međutim, model kalibriran u ovom radu potrebno je validirati na uzorcima drugih (različitih) tala.

Također, daljnja istraživanja s ciljem razvoja modela trebaju se provesti na velikom broju uzoraka, uzetih iz tala diljem Hrvatske i šire regije.

LITERATURA

- Aitkenhead, M.J., Coull, M., Towers, W., Hudson, G., Black H.I.J. (2013) Prediction of soil characteristics and colour using data from the National Soils Inventory of Scotland. *Geoderma*, 200-201, 99–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.013>
- Barouchas, P.E., Moustakas, N.K. (2004) Soil colour and spectral analysis employing linear regression models. I: Effect of organic matter. *International Agrophysics*, 18, 1–10.
- Barrett, L.R. (2002) Spectrophotometric color measurement in situ in well drained sandy soils. *Geoderma*, 108, 49–77. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00121-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00121-0)
- Butorac, A., Butorac, J., Bašić, F., Mesić, M., Kisić, I. (2005) Utjecaj gnojidbe na zalihu fosforom i kalijem na prinos korijena šećerne repe i neka kemijska svojstva tla u plodoređu kukuruz-soja-ozimapašenica-šećernarepa. *Agronomski glasnik*, 1, 3-16.
- Campbell, E.E., Paustian K. (2015) Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review. *Environmental Research Letters*, 10 (12), 123004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/123004>
- Celik, I. (2005). Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 83/2, 270-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.001>
- Chaplot, V., Bernoux, M., Walter, C., Curmi, P., Herpin, U. (2001) Soil carbon storage prediction in temperate hydromorphic soils using a morphologic index and digital elevation model. *Soil Science*, 166, 48–60. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-200101000-00008>
- Chen, F., Kissel, D.E., West, L.T., Rickman, D., Luvall, J.C., Adkins, W. (2005) Mapping surface soil organic carbon for crop fields with remote sensing. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61, 51–57.
- Doi, R., Ranamukhaarachchi, S.L. (2007) Soil colour designation using Adobe Photoshop™ in estimating soil fertility restoration by *Acacia auriculiformis* plantation on degraded land. *Current Science*, 92 (11), 1604–1609.
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. Fourth edition. FAO, Rome.
- Fernandez, R.A., Schulze, D.G., Coffin, D.L., Van Scoyoc, G.E. (1988) Color, organic carbon, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 1023–1026. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040023x>
- Fox, G.A., Sabbagh, G.J. (2002) Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line Euclidean distance technique. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1922–1929. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1922>
- Franzmeier, D.P. (1993) Relation of organic matter content to texture and color of Indiana soils. *Indiana Academy of Science*, 98, 463–471. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1823>
- Gómez-Robledo, L., López-Ruiz, N., Melgosa, M., Palma, A.J., Capitán-Vallvey, L.F., Sánchez-Marañón, M. (2013) Using the mobile phone as Munsell soil-colour sensor: an experiment under controlled illumination conditions. *Computers & Electronics in Agriculture*, 99, 200–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.002>
- Gregory, S.D.L., Lauzon, J.D., O'Halloran, I.P., Heck, R.J. (2006) Predicting Soil Organic Matter Content in Southwestern Ontario Fields Using Imagery from High-Resolution Digital Cameras. *Canadian Journal of Soil Science*, 86 (3), 573–584. DOI: <https://doi.org/10.4141/S05-043>
- Gupta, S.C., Larson, W.E. (1979) Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content and bulk density. *Water Resources Research*, 15, 1633–1635. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01633>
- Haghighi, F., Gorji, M., Shorafa, M. (2010) A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land degradation and development*, 21 (5), 496–502. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.999>
- Heimann, M., Reichstein, M. (2008) Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature*, 451, 289–92. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature06591>
- HRN ISO (10390:2005) Kakvoća tla - Određivanje pH-vrijednosti.
- HRN ISO (11464:2009) Kakvoća tla - Priprema uzorka za fizikalno kemijske analize (ISO 11464:2006).
- IUSS Working Group WRB (2015) World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome.
- JDPZ (1966) Priručnik za ispitivanje zemljišta. Knjiga I - Hemijske metode ispitivanja zemljišta. JDPZ, Beograd.
- Jiang, Y.J., Yuan, D.X., Zhang, C. (2006) Impact of land use change on soil properties in a typical karst agricultural region of southwest China: a case study of Xiaojiang watershed, Yunan. *Environmental Geology*, 50, 911–918. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0262-9>
- Kirilova, N.P., Vodyanitskii, Y.N., Sileva, T.M. (2014) Conversion of soil color parameters from the Munsell System to the CIE-L*a*b* System. *Eurasian Soil Science*, 48 (5), 468–475. DOI: <https://doi.org/10.1134/S10644229315050026>
- Konen, M.E., Jacobs, P.M., Burras, C.L., Talaga, B.J., Mason, J.A. (2002) Equations for predicting soil organic carbon using loss-on-ignition for north central U.S. soils. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1878–1881. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1878>
- Konen, M.E., Burras, C.L., Sandor, J.A. (2003) Organic carbon, texture, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in north central Iowa. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1823–1830. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1823>
- Kotrocó, Zs., Veres, Zs., Biró, B., Tóth, J.A., Fekete, I. (2014) Influence of temperature and organic matter content on soil respiration in a deciduous oak forest. *European Journal of Soil Science*, 3, 303–310. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.87903>
- Lal, R. (2009) Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 60, 158–169. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>
- Lal, R. (2014). Soil carbon management and climate change. *Carbon Management*, 4, 439–462. DOI: <https://doi.org/10.4155/cmt.13.31>
- Levin, N., Ben-Dor, E., Singer, A. (2005) A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (24), 5475–5492. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160500099444>
- Melville, M.D., Atkinson, G. (1985) Soil colour: its measurement and its designation in models of uniform colour space. *Journal of Soil Science*, 36, 495–512. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00353.x>
- Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., Sano, S., Yanai, J. (2014) Soil color analysis for statistically estimating total carbon, total nitrogen and active iron contents in Japanese agricultural soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60 (4), 475–485.

- DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.906295>
- Mouazen, A., Karoui, R., Deckers, J., De Baerdemaeker, J., Ramon, H. (2007) Potential of visible and near-infrared spectroscopy to derive colour groups utilising the Munsell soil colour charts. *Biosystems Engineering*, 97, 131–143.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.03.023>
- Munsell Color (2000) Munsell soil color charts: Year 2000 Revised Washable Ed. Grand Rapids, MI.
- Polláková, N., Jonczak, J., Szlováková, T., Kolenčík, M. (2016) Soil organic matter quantity and quality of land transformed from arable to forest. *Journal of Central European Agriculture*, 17 (3), 661–674.
DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/17.3.1760>
- Reichert, J.M., Albuquerque, J.A., Peraza, J.E.S., da Costa, A. (2020) Estimating water retention and availability in cultivated soils of southern Brazil. *Geoderma Regional*, 21 (1), 1–12.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoder.2020.e00277>
- Rubinić, V., Pejić, M., Vukoje, I., Bensa, A. (2015a) Influence of Geomorphology and Land Use on Soil Formation – Case Study Maksimir (Zagreb, Croatia). *Agriculturae conspectus scientificus*, 80 (1), 1–8.
- Rubinić, V., Lazarević, B., Husnjak, S., Durn, G. (2015b) Climate and relief influence on particle size distribution and chemical properties of Pseudogley soils in Croatia. *Catena*, 127, 340–348.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.024>
- Rubinić, V., Safner, T., 2019. Prediction of bulk density in Croatian forest Pseudogleys based on contents of soil organic matter and clay. *Journal of Central European Agriculture*, 20 (1), 491–503.
DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2159>
- Rubinić, V., Ilijanić, N., Magdić, I., Bensa, A., Husnjak, S., Krklec, K. (2020) Plasticity, Mineralogy, and WRB Classification of Some Typical Clay Soils Along the Two Major Rivers in Croatia. *Eurasian Soil Science*, 53 (7), 922–940. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229320070121>
- Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Melgosa, M., Delgado, G., Delgado, R. (2004). Quantifying the effects of aggregation, particle size and components on the colour of Mediterranean soils. *European Journal of Soil Science*, 55 (3), 551–565.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00624.x>
- Schaap, M.G., Feike, J.L., van Genuchten, M.T. (2001) ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251, 163–176. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00466-8)
- Schwertmann, U. (1985) The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Advances in Soil Science*, 1, 171–200.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5046-3_5
- Senn, T.L., Kingman, A.R. (1973) A Review of Humus and Humic Acids. Clemson University, Department of Horticulture, Research Series No. 145.
- Siewert, C. (2004) Rapid screening of soil properties using thermogravimetry. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1656–1661. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1656>
- Soil Survey Staff (1999) Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Spielvogel, S., Knicker, H., Kögel-Knabner, I. (2004) Soil organic matter composition and soil lightness. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (5), 545–555.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200421424>
- Steinhardt, G.C., Franzmeier, D.P. (1979) Comparison of organic matter content with soil color for silt loam soils of Indiana. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10, 1271–1277.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00103627909366981>
- Sugita, R., Marumo, Y. (1996) Validity of color examination for forensic soil identification. *Forensic Science International* 83, 201–210.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(96\)02038-5](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(96)02038-5)
- Suuster, E., Ritz, C., Roostalu, H., Kolli, R., Astover, A. (2012) Modelling soil organic carbon concentration of mineral soils in arable land using legacy soil data. *European Journal of Soil Science*, 63, 351–359. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01440.x>
- Škorić, A., Filipovski, G., Čirić, M. (1985) Klasifikacija zemljišta Jugoslavije. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo.
- Tomov, T., Artinova, N. (2005) Effect of system mineral and organic-mineral fertilization on the humus content and humus fractions in mollic fluvisols. *Journal of Central European Agriculture*, 6 (4), 577–582.
- Viscarrá Rossel, R.A., Fouad, Y., Walter, C. (2008) Using a Digital Camera to Measure Soil Organic Carbon and Iron Contents. *Biosystems Engineering*, 100 (2), 149–159.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.02.007>
- Viscarrá Rossel, R.A., Webster, R. (2011) Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra. *European Journal of Soil Science*, 62, 637–647.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01356.x>
- Vodyanitskii Y.N., Kirillova, N.P. (2016) Application of the CIE- L*a*b* system to characterize soil color. *Eurasian Soil Science*, 49 (11), 1259–1268.
DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316110107>
- Wills, S.A., Burras, C.L., Sandor, J.A. (2007) Prediction of Soil Organic Carbon Content Using Field and Laboratory Measurements of Soil Color. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 380–388.
DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0384>
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. (2008) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990, 1971–2000. DHMZ, Zagreb,
- Zhang, C.S., Tang, Y., Xu, X.L., Kiely, G. (2011) Towards spatial geochemical modelling: use of geographically weighted regression for mapping soil organic carbon contents in Ireland. *Applied Geochemistry*, 26, 1239–1248.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.04.014>