

Utjecaj fizikalnih i kemijskih svojstava različitih tipova tla na optimalno stanje vlažnosti za obradu

Influence of physical and chemical properties of different soil types on optimal soil moisture for tillage

Zebec, V., Semialjac, Z., Marković, M., Tadić, V., Radić, D., Rastija, D.

Poljoprivreda/Agriculture

ISSN: 1848-8080 (Online)

ISSN: 1330-7142 (Print)

<http://dx.doi.org/10.18047/poljo.23.2.2>



Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Poljoprivredni institut Osijek

Faculty of Agriculture in Osijek, Agricultural Institute Osijek

UTJECAJ FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA RAZLIČITIH TIPOVA TLA NA OPTIMALNO STANJE VLAŽNOSTI ZA OBRADU

Zebec, V., Semialjac, Z., Marković, M., Tadić, V., Radić, D., Rastija, D.

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

SAŽETAK

Plastičnost je tla područje konzistencije tla, odnosno predstavlja promjenu stanja tla zbog različite vlažnosti tla djelovanjem vanjskih sila. Konzistencija određuje veličinu otpora koje tlo pruža pri obradi, stoga je cilj istraživanja utvrditi optimalno stanje vlažnosti tla za obradu te utjecaj fizikalnih i kemijskih svojstva oraničnih horizonata na plastičnost tla, kao jednog od svojstava konzistencije. Istraživanje je provedeno na tri različita tipa tla: aluvijalnome, lesiviranome te na ritskoj crnici. Utvrđene su statistički značajne razlike između svih istraživanih tipova tala i to za sadržaj čestica gline, gustoću pakiranja, aktualnu i supstitucijsku kiselost, kationski izmjenjivački kapacitet tla te sadržaj kalcija. Također, utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tipova tala za donju granicu plastičnosti, gornju granicu plastičnosti te indeks plastičnosti. Prosječna utvrđena vrijednost donje granice plastičnosti, kao važnog elementa za određivanje optimalnoga trenutka obrade tla, iznosila je 18,9% mas. na aluvijalnome tlu, 24,0% mas. na lesiviranome tlu, dok je na ritskoj crnici iznosila 28,6% mas. Vrlo značajnu korelaciju pozitivnoga smjera s granicama plastičnosti pokazali su humus, glina, KIK, sitni prah, magnezij, natrij i kalcij, dok su vrlo značajnu korelaciju, ali negativnoga smjera, pokazali hidrolitička kiselost, krupni pijesak, sitni pijesak i krupni prah. Kreiranim regresijskim modelima može se procijeniti optimalno stanje vlažnosti tla za obradu na temelju osnovnih svojstava tala. Preciznost modela značajno se povećava uvođenjem većega broja fizikalnih i kemijskih svojstava tla, a dopunsku preciznost modela mogu povećati podatci o tipu tla.

Ključne riječi: *plastičnost tla, fizikalno-kemijska svojstva tala, tip tla*

UVOD

Tlo je prirodno povijesna tvorevina nastala pod utjecajem pedogenetskih čimbenika (klima, reljef, vrijeme, organizmi, matični supstrat, čovjek) i kao rezultat pedogenetskih procesa (Škorić, 1991.), a osnovna mu je uloga, osim prostora za ukorjenjivanje, i opskrbljivanje biljaka vodom i hranjivim tvarima. Obrada predstavlja neophodnu agrotehničku mjeru u biljnoj proizvodnji. Optimalni uvjeti za obradu tla imaju agroekološki te ekonomski značaj, uslijed smanjenja otpora koje tlo pruža pri obradi. Otpor tla prilikom obrade ovisi o konzistenciji tla, koja je proizvod teksture, strukture, količine i kvalitete koloidnih čestica, sadržaja humusa i stanja vlažnosti (Pavićević, 1972.). Konzistencija tla izražava promjene i stanja unutar tla, koje su posljedica fizikalnih sila (adhezije i kohezije) pri različitom sadržaju vode (Racz, 1986.).

Mulabdić i Glavaš (2000.) navode kako se razlikuju kategorije konzistentnoga stanja od žitkoga (tekućega) do (jako) krutoga, između kojih se u pojedinim pojavljuju dodatne kategorije, ovisno o posebnostima uvjeta i geotehničkoj praksi. Konzistencija pripada u najvažnije fizikalne osobine tla, a vrijednosti koje ju opisuju su granica stezanja, granica plastičnosti, granica ljepljivosti i granica flokulacije. Plastičnost tla podrazumijeva njegovu sposobnost da se u određenome rasponu vlažnosti i pod utjecajem vanjskih sila deformira, tj. mijenja svoje prvobitno stanje, bez pucanja i drobljenja, i da trajno zadrži tu formu, čak i nakon prestanka opterećenja (Živković,

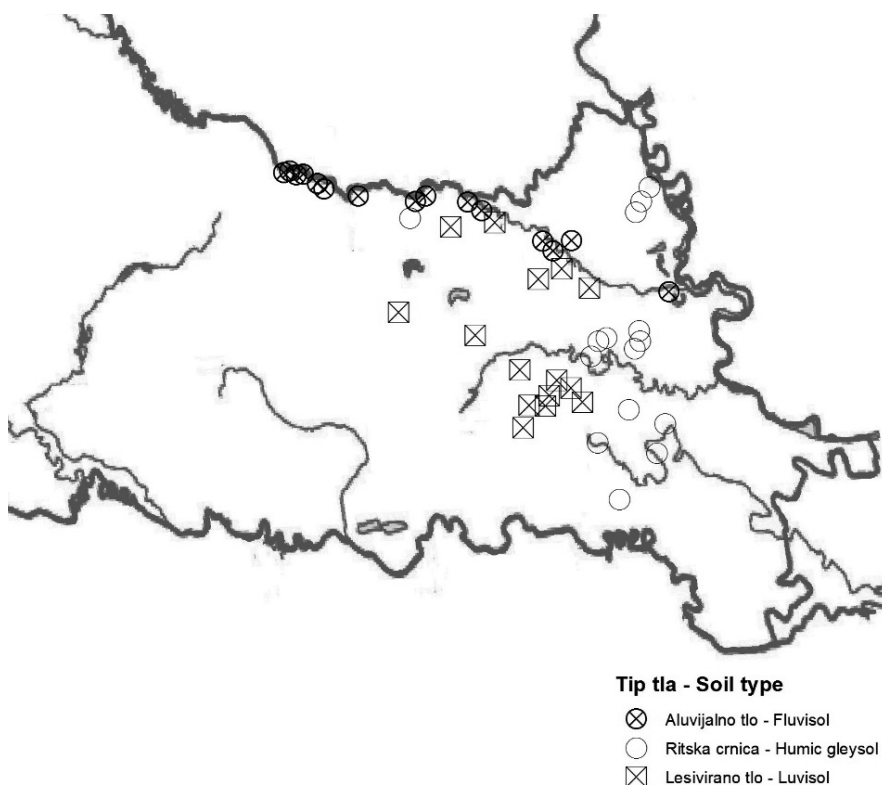
(1) Dr. sc. Vladimir Zebec (vzebec@pfos.hr), dipl. ing. Zoran Semialjac, doc. dr. sc. Monika Marković, doc. dr. sc. Vjekoslav Tadić, Domagoj Radić, prof. dr. sc. Domagoj Rastija - Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Vladimira Preloga 1, 31000, Osijek, Hrvatska

1991.). Donja granica plastičnosti odgovara vlažnosti kod koje se počinju drobiti valjčići tla debljine 3 mm te je upravo ona mjesto najslabijega djelovanja kohezijske i adhezijske sile u tlu i trenutak za optimalnu obradu tla. Prema navodima Belića i sur. (2014.), optimalna vlažnost tla za obradu nešto je manja od vlažnosti donje granice plastičnosti, odnosno to je stanje polutvrde konzistencije. Kanisek i sur. (2001.) navode da je pri proizvodnji pšenice konvencionalnom obradom tla utrošeno 9,35 sati/ha rada strojeva te troškovi obrade tla čine 44,8% ukupnih troškova rada strojeva. Prema istraživanjima Francaviglija i sur. (2016.), obrada pri visokome sadržaju vlage, u odnosu na optimalno stanje, prouzrokuje smanjenje prinosa ratarskih kultura do 20%. Isti autori, nadalje, navode kako praćenje fizikalnih svojstava predstavlja dobar pokazatelj degradacije tla te se može primijeniti u istraživanjima koja se bave učincima vlažnosti tla na degradaciju zbog obrade. Husnjak (2000.) navodi kako je u okviru intenzivne poljoprivredne proizvodnje važno poznavanje pedofizikalnih i pedomehaničkih svojstava tla za primjenu mehanizacije bez mehaničkih oštećenja tla. Dexter i Bird (2001.), pak, navode kako postoji potreba za jednostavnijim, bržim metodama ili modelima za predviđanje optimalnoga sadržaja vlage u tlu za obradu. Cilj je ovih istraživanja utvrđivanje optimalne vlažnosti tla za obradu, odnosno prosječne vrijednosti vlažnosti tla pri donjoj granici plastičnosti za tri tipa tla: aluvijalno tlo, lesivirano tlo i ritsku crnicu. Također, cilj je utvrditi utjecaj fizikalno-kemijskih svojstava tla na granice plastično-

sti te izraditi regresijske modele za procjenu optimalne vlažnosti tla za obradu temeljem jednog ili više različitih svojstava tla, dobivenih provedbom standardnih laboratorijskih analiza.

MATERIJAL I METODE

Na istraživanome području Istočne Hrvatske uzorkovan je oranični sloj (horizont) tla do dubine 30 cm, uz utvrđivanje pedogenskih horizonata pomoću sondažnog izvatka tla za svaki pojedinačni uzorak ($n=45$), odnosno lokalitet (Karta 1.). Sondiranje tla obavljeno je Edelmanovim svrdlom do dubine matičnoga supstrata ili do razine podzemne vode. Sukcesivnim slaganjem sondažnih izvadaka tla uočen je broj i redosljed genetskih horizonata, koji služe za determinaciju tipa tla na određenome lokalitetu. Svaki je pojedinačni uzorak tla klasificiran (Škorić, 1973.), što uključuje pravilno imenovanje horizonata pedološkoga profila te određivanje odjela, klase, tipa i podtipa tla. Kontrolno kružno uzorkovanje (Lončarić i sur., 2014.) koristilo se za pripremu prosječnoga uzorka s odabranih poljoprivrednih površina. Prosječni uzorak tla težio je od 4 do 5 kg i sačinjen je od dobro izmiješanih pojedinačnih poduzoraka, ravnomjerno uzetih s proizvodne površine svrdlom. Na navedeni način prikupljeni su uzorci označeni, dopremljeni u laboratorij, očišćeni od primjesa, osušeni na sobnoj temperaturi, usitnjeni mlinom za tlo i prosijani kroz sito promjera 2 mm (Lončarić i sur., 2014.).



Karta 1. Prostorna rasprostranjenost uzoraka

Map 1. Soil sampling sites

Reakcija tla, izražena kao pH vrijednost, pokazatelj je niza agrokemijskih svojstava tla važnih za svojstva tla. pH vrijednost tla određena je elektrometrijski (HRN ISO10390:2005.) u suspenziji tla u omjeru 1:2,5 s destiliranom vodom (aktualna kiselost) i u 1 M KCl (supstitucijska ili izmjenjiva kiselost) na pH metru Metrel MA 5750. Sadržaj humusa u tlu određen je bikromatnom metodom (HRN ISO14235:1994.), koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom. Sadržaj karbonata u tlu određen je Scheiblerovim kalcimetrom u svim istraživanim uzorcima čije vrijednosti supstitucijske kiselosti prelaze 5,5 pH jedinica. Sadržaj karbonata određen je volumetrijskom metodom (HRN ISO10693:2004.) mjerenjem volumena CO₂ koji se iz karbonata tla razvija djelovanjem 10%-tne klorovodične kiseline. Hidrolitička kiselost u tlu određena je u svim istraživanim uzorcima čije vrijednosti supstitucijske kiselosti (pH 1M KCl) ne prelaze 5,5 pH jedinica. Hidrolitička kiselost, kao ukupna potencijalna kiselost tla, određena je ekstrakcijom tla s 1 M natrijevim acetatom (ISO 10693, 1994.). Koncentracija izmjenjivih kationa na adsorpcijskome kompleksu utvrđena je metodom ekstrakcije tla s 1 M amonijevim acetatom (AA), uz trostruko centrifugiranje tla (Jones, 2001.). Koncentracija navedenih alkalnih kationa Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ i Na⁺ utvrđena je supstitucijom s NH₄⁺ kationom iz otopine amonijevog acetata te je njihova koncentracija u otopini mjerena na atomskom adsorpcijskom spektrofotometru Perkin Elmer Analyst 200. Emisijskom tehnikom izmjerene su koncentracije K i Na na valnoj duljini 404,4 nm, odnosno 589,0 nm, a koncentracije Ca i Mg apsorpcijskom tehnikom na valnoj duljini 422,7 nm, odnosno 202,6 nm. Higroskopna vlaga tla predstavlja sposobnost tla da na površini svojih čestica kondenzira vodenu paru iz zraka. Postupak određivanja higroskopske vlage (Škorić, 1973.) izveden je termogravimetrijskom metodom sušenjem uzoraka na 105°C do konstantne mase. Granulometrijskom analizom tla izdvajamo pojedine skupine (frakcije) mehaničkih elemenata. U istraživanju je primijenjena ISO metoda (HRN ISO 11277:2004), koja se zasniva, dijelom, na principu prosijavanja, a dijelom na principu sedimentacije u mirnoj vodi. Interpretacija kvantitativnog udjela mehaničkih elemenata obavljena je na temelju američke klasifikacije tekstone prema tekturnome trokutu (Soil Survey Staff, 2014.) Donja granica plastičnosti predstavlja sadržaj vode u tlu, kada tlo postaje plastično, odnosno sadržaj vode kada se valjanjem tla u valjčice debljine 3 mm oni lome, odnosno raspadaju. Ispitivanje donje granice plastičnosti svodi se na formiranje kuglice među dlanovima od pripremljene smjese (promjera od 1 do 2 cm) i valjanja te kuglice na staklenoj ploči u valjčice promjera 3 mm, koji bi se kod te debljine trebali početi kidati ili pucati. Valjčici koji su počeli pucati pri debljini 3 mm spremaju se u posudu te se pristupa određivanju trenutne vlažnosti tla termogravimetrijskom metodom do konstantne mase na 105°C. Gornja je granica plastičnosti vlažnost tla, kada ono prelazi u žitko stanje, odnosno količina vode u tlu pri kojoj se u Casagrandeovom aparatu brazda načinjena u pasti tla ponovno pri 25 udaraca zatvori na

debljinu 1 cm. Broj udaraca treba se kretati u intervalu od 10 do 40 udaraca, stoga uzorke s manjim ili većim brojem udaraca treba korigirati s dodatnom vodom ili sitnicom te testiranje ponoviti. Od svakoga testiranoga uzorka uzima se reprezentativni uzorak, koji se stavlja u posudicu, važe, potom stavlja na sušenje na 105°C i, nakon sušenja, opet važe kako bi se mogao odrediti trenutni sadržaj vode u tlu pri gornjoj granici plastičnosti termogravimetrijskom metodom (Belić i sur., 2014.). Indeks plastičnosti raspon je vlažnosti, unutar kojega je tlo plastično ili ljepljivo, tj. razlika između gornje i donje granice plastičnosti, a izračunava se prema izrazu

$$IP = GGP - DGP (\% \text{ mas.})$$

Rezultati su statistički obrađeni PC aplikacijama SAS for Windows (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) i Excel za utvrđivanje analize varijance, korelacija i multi-regresijskih ovisnosti.

REZULTATI I RASPRAVA

Endomorfologiju aluvijalnih tala karakterizira pojava većega ili manjega broja horizonata različitoga teksturnoga sastava, koji su manje ili više odvojeni jedan od drugog. Prema Husnjaku (2014.), aluvijalno tlo ima razvijen tek inicijalni humusno-akumulativni horizont (A), što je u skladu s utvrđenim endomorfološkim svojstvima na istraživanim tlima. Martinović (2000.) navodi da se lesivirana tla formiraju na ilovastim supstratima ili na stijenama čijim se raspadanjem može formirati dublji ilovasti solum i da su vezana za humidna područja, jer je za njih karakteristično ispiranje čestica gline iz eluvijalnoga horizonta i njegovo akumuliranje u iluvijalnome horizontu. Škorić (1977.) navodi kako se ritska crnica javlja na području istočne Slavonije i manje u Baranji, gdje topografsko-hidrološke prilike omogućavaju dizanje podzemne vode do površine, uz velike oscilacije i stvaranje dubokoga humusnoga horizonta, ispod kojeg se nalazi glejni sekundarni oksidirani horizont, koji je dijagnostičiran i na istraživanim lokalitetima. Statističkom obradom podataka utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tala za aktualnu i supstitucijsku kiselost, kationski izmjenjivački kapacitet tla te sadržaj kalcija (Tablica 1.). Prosječna vrijednost hidrolitičke kiselosti na lesiviranome tlu imala je statistički značajno veću utvrđenu vrijednost u odnosu na ritsku crnicu, dok za sadržaj karbonata u istraživanim tlima nije utvrđena značajnija razlika između istraživanih tipova tala ritske crnice i aluvijalnoga tla. Prema Rastiji (2006.), niske pH vrijednosti zabilježene na lesiviranome tlu posljedica su uznapredovalih procesa debazifikacije i pojačane acidifikacije površinskih horizonata zbog descendentnoga kretanja vode uz utvrđene količine oborina za to područje više od 700 mm/god. Nadalje je utvrđeno kako su statistički značajno više vrijednosti humusa, magnezija i natrija utvrđene na ritskoj crnici u odnosu na ostale istraživane tipove tala, između kojih nije utvrđena statistički značajna razlika. Utvrđen je statistički značajno manji udio kalija na aluvijalnome tlu u odnosu na lesivirano tlo

i ritsku crnicu, između kojih je značajna razlika izostala. Statističkom obradom podataka utvrđene su statistički značajne razlike između svih istraživanih tipova tala i to za glinu te za gustoću pakiranja (Tablica 2.). Nadalje je utvrđen statistički značajno manji udio krupnoga pijeska na ritskoj crnici u odnosu na lesivirano i aluvijalno tlo, između kojih je značajna razlika izostala te statistički značajno više vrijednosti udjela sitnoga pijeska na

aluvijalnome tlu. Statistički značajne više vrijednosti krupnog praha nalaze se na lesiviranom tipu tla dok je za sitni prah statistički značajno niža vrijednost utvrđena na aluvijalnome tlu. Slični rezultati kemijskih i fizikalnih svojstava utvrđeni su i u istraživanjima drugih autora na navedenim tipovima tala (Škorić, 1977.; Martinović, 2000.; Husnjak, 2014., itd.).

Tablica 1. Prosječne vrijednosti kemijskih svojstava istraživanih tala (oranični horizont 0-30 cm)

Table 1. Average values of chemical properties of explored soils (arable horizon 0-30 cm)

Tip tla Soil type	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Humus	CaCO ₃	Hidrolitska kiselost	KIK	Ca	Mg	K	Na
			Organic matter	(%)	Hydrolytic acidity	CEC				
Svi uzorci All samples	7,09	6,04	3,07	3,48	4,26	23,1	3352,1	484,1	158,8	26,5
Aluvijalno tlo Fluvisol	8,31a	7,48a	2,30b	3,32	-	21,3b	3799,7b	246,0b	80,2b	21,2b
Lesivirano tlo Luvisol	5,46c	4,22c	1,97b	-	4,65a	11,6c	969,5c	180,3b	214,2a	17,7b
Ritska crnica Humic gleysol	7,51b	6,42b	4,94a	3,65	1,32b	36,3a	5286,9a	1025,9a	182,0a	40,7a

*Vrijednosti označene različitim slovima odnose se na statistički značajne razlike ($P < 0,05$) ovisno o tipu tla

*Values marked with different letters refer to statistically significant differences ($P < 0,05$) depending on soil type

Tablica 2. Teksturni sastav istraživanih tala (oranični horizont 0-30 cm)

Table 2. Texture of explored soils (arable horizon 0-30 cm)

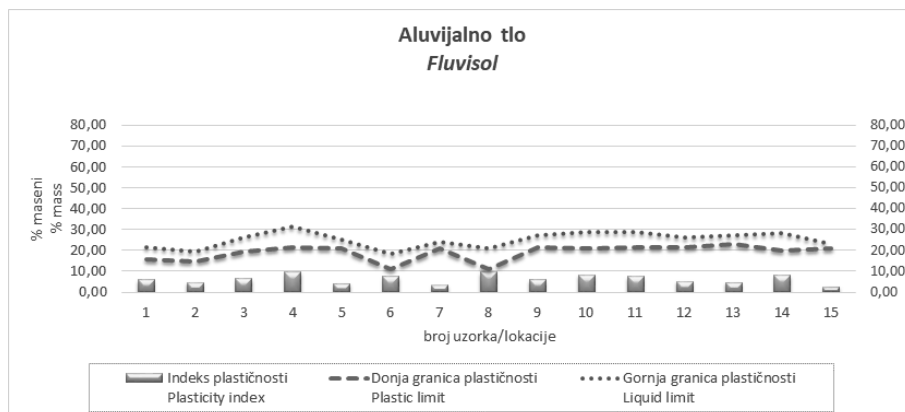
Tip tla Soil type	Krupni pijesak	Sitni pijesak	Krupni prah	Sitni prah	Glina
	Coarse sand	Fine sand	Coarse silt	Fine silt	Clay
	%				
Svi uzorci All samples	2,29	13,55	33,99	29,74	20,42
Aluvijalno tlo Fluvisol	3,77 a	32,37 a	33,71 b	23,02 b	7,14 c
Lesivirano tlo Luvisol	2,51 a	5,19 b	40,47 a	32,62 a	19,22 b
Ritska crnica Humic gleysol	0,60 b	3,10 b	27,80 b	33,58 a	34,92 a

*Vrijednosti označene različitim slovima odnose se na statistički značajne razlike ($P < 0,05$) ovisno o tipu tla

*Values marked with different letters refer to statistically significant differences ($P < 0,05$) depending on soil type

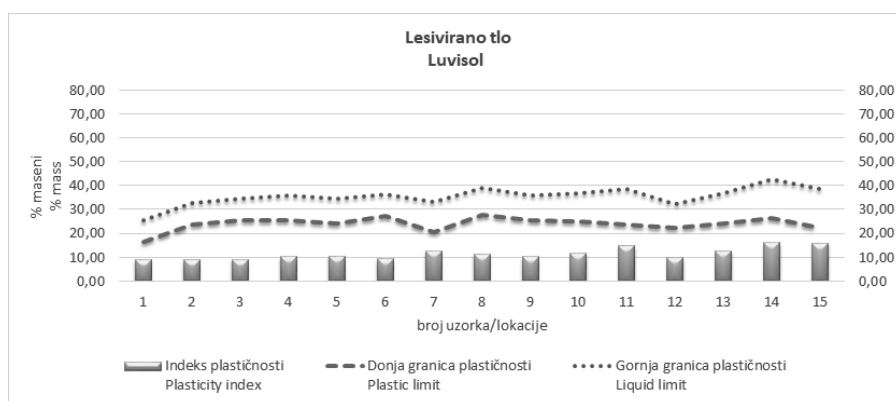
Indeks plastičnosti aluvijanoga tla kretao se od 2,45 do 9,56, s prosječnom vrijednošću od 6,24. Prema rezultatima indeksa plastičnosti za aluvijalni tip tla, u grupu slabo plastičnih tala (1-7) pripadalo je 9 uzoraka, dok je 6 uzoraka pripalo u grupu plastičnih tala (7-17). Utvrđeni rezultati donje granice plastičnosti kretali su se od 10,80 do 22,81, sa srednjom utvrđenom vrijednošću 18,90, dok je za gornju granicu plastičnosti utvrđena minimalna vrijednost od 18,30 a maksimalna od 31,19, s prosječnom vrijednošću od 25,13 (Slika 1.). Prema navodima Špoljara i sur. (1999.), prosječna vrijednost indeksa plastičnosti

iznosi 8,0, uz utvrđeni raspon gdje je gornja granica plastičnosti 29,5, a donja granica plastičnosti 21,5. Utvrđene vrijednosti donje granice plastičnosti lesiviranoga tla iznosile su od 16,49 do 27,71, s prosječnom vrijednošću od 24,06 (Slika 2.), dok su se vrijednosti gornje granice plastičnosti kretale od 25,49 do 42,61, uz utvrđenu srednju vrijednost od 35,52 (Slika 2.). Minimalna utvrđena vrijednost indeksa plastičnosti za lesivirano tlo iznosila je 8,77, maksimalna 16,04, a prosječna utvrđena vrijednost iznosila je 11,45 (Slika 2.). Svi uzorci lesiviranoga tla svrstani su u grupu plastičnih tala (7-17).



Slika 1. Donja i gornja granice te indeks plastičnosti aluvijalnoga tla (oranični horizont 0-30 cm)

Figure 1. Plastic limit, liquid limit and plasticity index of fluvisol (arable horizon 0-30 cm)

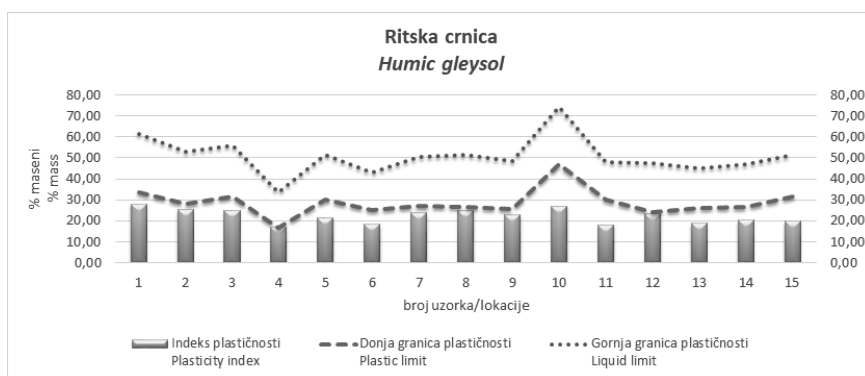


Slika 2. Donja i gornja granice te indeks plastičnosti lesiviranoga tla (oranični horizont 0-30 cm)

Figure 2. Plastic limit, liquid limit and plasticity index of luvisol (arable horizon 0-30 cm)

Donja granica plastičnosti ritske crnice imala je utvrđeni raspon vrijednosti od 16,68 do 47,20, s prosječnom vrijednošću od 28,60, dok je gornja granica plastičnosti, čija je minimalna vrijednost iznosila 33,42, a maksimalna 74,26, imala prosječnu vrijednost od 50,77 (Slika 3.). Na temelju indeksa plastičnosti, jedan uzorak ritske crnice pripada grupi plastičnih tala (7-17), dok je 14 uzoraka pripadalo grupi jako plastičnih tala (>17) (Slika 3.) Slične rezultate navodi Gajić (2005.), istražujući plastičnost na 53 uzorka pseudogleja te navodi kako je

prosječna vrijednost donje granice plastičnosti iznosila 20, gornja granica plastičnosti 38 te indeks plastičnosti 18. Čirić i sur. (2008.) navode kako je indeks plastičnosti na černozemu imao prosječnu vrijednost od 11,69, prosječna vrijednost gornje granice plastičnosti iznosila je 38,39, dok je kod donje granice plastičnosti izračunata prosječna vrijednost od 25,86. Statističkom obradom podataka utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tala za donju granicu plastičnosti, za gornju granicu plastičnosti i za indeks plastičnosti (Tablica 3.).



Slika 3. Donja i gornja granice te indeks plastičnosti ritske crnice (oranični horizont 0-30 cm)

Figure 3. Plastic limit, liquid limit and plasticity index of humic gleysol (arable horizon 0-30 cm)

Tablica 3. Statistička značajnost plastičnosti na istraživanim tlima (oranični horizont 0-30 cm)

Table 3. Statistical significance of the plastic properties on investigated soils (arable horizon 0-30 cm)

	Donja granica plastičnosti <i>Plastic limit</i>	Gornja granica plastičnosti <i>Liquid limit</i>	Indeks plastičnosti <i>Plasticity index</i>
	% maseni <i>% mass</i>		
Svi uzorci <i>All samples</i>	23,85	37,14	13,29
Aluvijalno tlo <i>Fluvisol</i>	18,90 c	25,13 c	6,24 c
Lesivirano tlo <i>Luvisol</i>	24,06 b	35,52 b	11,45 b
Ritska crnica <i>Humic gleysol</i>	28,60 a	50,77 a	22,16 a

*Vrijednosti označene različitim slovima odnose se na statistički značajne razlike ($P < 0,05$) ovisno o tipu tla*Values marked with different letters refer to statistically significant differences ($P < 0,05$) depending on soil type

Plastičnost je vezana uglavnom za prisustvo čestica gline, iako je u slabijoj mjeri izražena već i kod frakcija srednjega praha i određeni interval umjerene vlažnosti, dok se pri niskoj i visokoj vlažnosti plastičnost ne pokazuje. Indeks plastičnosti, isto kao i gornja granica plastičnosti, rastu s povećavanjem sadržaja glinastih čestica, posebno montmorilonita, koji ima najveću specifičnu površinu i jako bubi (Racz, 1986.). Isti autor navodi da su u pjeskovitim tlima, gdje je nizak sadržaj gline, obje granice plastičnosti niske i približno jednake, što rezultira da je indeks plastičnosti praktično jednak nuli. Prema utvrđenim koeficijentima korelacije između fizikalno-kemijskih svojstava svih istraživanih uzoraka i plastičnosti, utvrđena je vrlo značajna korelacija ($P=0,01$) pozitivnoga smjera između donje granice plastičnosti i humusa, gline, KIK-a, magnezija i natrija, dok je vrlo značajna korelacija, ali negativnoga smjera, utvrđena između donje granice plastičnosti i sitnoga pijeska. Značajna korelacija ($P=0,05$) pozitivnoga smjera utvrđena je, pak, između donje granice plastičnosti te sitnoga praha i kalija, dok je negativnoga smjera utvrđena s krupnim prahom (Tablica 4.). Također su utvrđeni koeficijenti korelacije između fizikalno-kemijskih svojstava svih istraživanih uzoraka i gornje granice plastičnosti. Utvrđena je vrlo značajna korelacija ($P=0,01$) pozitivnoga smjera između gornje granice plastičnosti i humusa, sitnoga praha, gline, KIK-a, kalcija, magnezija, kalija i natrija. Vrlo značajna korelacija, ali negativnoga smjera, utvrđena je između gornje granice plastičnosti i hidrolitičke kiselosti, sitnoga pijeska i krupnoga praha. Značajna

korelacija ($P=0,05$) negativnoga smjera utvrđena je između gornje granice plastičnosti i krupnoga pijeska (Tablica 4.). Koeficijenti korelacije između fizikalno-kemijskih svojstava svih istraživanih uzoraka i indeksa plastičnosti imali su vrlo značajnu korelaciju ($P=0,01$) pozitivnoga smjera za humus, sitni prah, glinu, KIK, kalcij, magnezij i natrij. Vrlo značajna korelacija, ali negativnoga smjera, utvrđena je između indeksa plastičnosti i hidrolitičke kiselosti, krupnoga pijeska, sitnoga pijeska i krupnoga praha. Značajna korelacija ($P=0,05$) pozitivnoga smjera utvrđena je između indeksa plastičnosti i kalija. Seybold i sur. (2008.) u svojim istraživanjima navode korelacijske koeficijente između fizikalno-kemijskih svojstava tla i gornje granice plastičnosti. Za gornju granicu plastičnosti vrlo značajnu korelaciju ($P=0,01$) pozitivnoga smjera imali su KIK, glina i organska tvar, dok je vrlo značajna korelacija negativnoga smjera uočena kod pijeska. Značajna korelacija ($P=0,05$) negativnoga smjera utvrđena je kod praha. Isti autor navodi i korelacijske koeficijente između fizikalno-kemijskih svojstava tla i indeksa plastičnosti. Vrlo značajna korelacija ($P=0,01$) pozitivnoga smjera bila je kod KIK-a i gline, a negativnoga smjera kod pijeska i praha. Značajna korelacija pozitivnoga smjera utvrđena je kod humusa. Plastičnost definiraju granice plastičnosti: donja i gornja, a ovisi o teksturi i strukturi tla, humusu, količini vode i gustoći pakiranja čestica, ali i o tipu gline, vrsti i količini adsorbiranih kationa, ispiranju i drugim tipskim procesima (Pavićević, 1972.).

Tablica 4. Koeficijenti korelacije kemijskih i fizikalnih svojstava tla i plastičnosti (oranični horizont 0-30 cm)

Table 4. Correlation coefficients of chemical and physical properties and soil plasticity (arable horizon 0-30 cm)

	Donja granica plastičnosti <i>Plastic limit</i>	Gornja granica plastičnosti <i>Liquid limit</i>	Indeks plastič- nosti <i>Plasticity index</i>		Donja granica plastičnosti <i>Plastic limit</i>	Gornja granica plastičnosti <i>Liquid limit</i>	Indeks plastič- nosti <i>Plasticity index</i>
pH(H ₂ O)	-0,14	-0,07	-0,01	Gustoća pako- vanja <i>Density packing</i>	-0,21	0,14	0,60**
pH(KCl)	-0,14	-0,09	-0,04	KIK CEC	0,40**	0,62**	0,71**
Humus <i>Organic matter</i>	0,69**	0,76**	0,70**	Ca	0,21	0,39**	0,49**
CaCO ₃	0,27	0,21	0,13	Mg	0,40**	0,67**	0,79**
Hidrolitska kiselost <i>Hydrolytic acidity</i>	-0,06	-0,49**	-0,73**	K	0,31*	0,37**	0,36*
Krupni pijesak <i>Coarse sand</i>	-0,18	-0,31*	-0,37**	Na	0,58**	0,75**	0,79**
Sitni pijesak <i>Fine sand</i>	-0,41**	-0,60**	-0,68**	Donja granica plastičnosti <i>Plastic limit</i>	-	0,90**	0,68**
Krupni prah <i>Coarse silt</i>	-0,34*	-0,41**	-0,40**	Gornja granica plastičnosti <i>Liquid limit</i>	0,90**	-	0,93**
Sitni prah <i>Fine silt</i>	0,30*	0,43**	0,48**	Indeks plastič- nosti <i>Plasticity index</i>	0,68**	0,93**	-
Glina <i>Clay</i>	0,61**	0,85**	0,93**				

* značajna korelacija (0,05) ** vrlo značajna korelacija (0,01)

* significant correlation (0.05) ** very significant correlation (0.01)

Tablica 5. Regresijski modeli, apsolutno i relativno odstupanje modela

Table 5. Regression models, absolute and relative model deviation

			Svi uzorci <i>All samples</i>	Aluvijalno tlo <i>Fluvisol</i>	Lesivirano tlo <i>Luvisol</i>	Ritska crnica <i>Humic gleysol</i>
	Regresijski model	R ²	Apsolutno odstupanje modela <i>Absolute model deviation</i>			
I	24,75-0,0141*prah	0,37	4,28	5,05	2,10	5,67
II	16,93+2,262*humus-0,0004*prah	0,47	3,14	3,49	3,39	2,54
III	28,30-2,18*pH(H ₂ O)+2,545*humus +0,53*pH(KCl)	0,55	2,93	3,48	2,32	3,01
IV	14,59+1,65*humus+0,022759*pijesak +0,0001*prah+0,187*glina	0,58	3,04	3,19	3,16	2,78
V	24,56-2,1147*pH(H ₂ O)+2,2372*humus +0,148*pijesak+0,001*prah+0,2481*glina	0,66	2,75	3,03	2,62	2,60
	Regression model	R ²	Relativno odstupanje modela (%) <i>Relative model deviation (%)</i>			
I	24,75-0,0141*silt	0,37	17,93	21,10	8,86	23,76
II	16,93+2,262* organic matter -0,0004*silt	0,47	13,17	15,81	15,85	9,06
III	28,30-2,18*pH(H ₂ O)+2,545*organic matter+0,53*pH(KCl)	0,55	12,30	17,42	9,79	10,77
IV	14,59+1,65* organic matter +0,022759 *sand+0,0001*silt+0,187*clay	0,58	12,77	15,54	14,59	9,49
V	24,56-2,1147*pH(H ₂ O)+2,2372*organic matter+0,148*sand+0,001*silt+0,2481*clay	0,66	11,54	15,77	11,23	8,99

Regresijski modeli za procjenu donje granice plastičnosti kreirani su kako bi omogućili izračun vrijednosti bez provođenja analize, na temelju jednoga ili više različitih svojstava tla, utvrđenih provedbom standardnih laboratorijskih analiza. Na temelju rezultata i utjecaja na odstupanje modela, u ovom je istraživanju prikazano pet razina modela, koji, kao ulazne vrijednosti, koriste analitičke rezultate. Zbog različitosti uzoraka, postoje određena odstupanja vrijednosti regresijskoga modela od stvarnih utvrđenih vrijednosti te je takvo odstupanje prikazano kao apsolutno i relativno (%) odstupanje modela od prosjeka analitički utvrđene donje granice plastičnosti. Smanjivanje navedenih odstupanja znači veću preciznost modela, tj. manju pogrešku pri proračunu. Očekivano, uvođenjem dodatnih varijabli, došlo je do promjene u preciznosti modela za procjenu donje granice plastičnosti. Tako je u početnoj, prvoj razini modela utvrđeno odstupanje od 17,93%, promatrajući sve istraživane uzorke, dok je utvrđeno odstupanje osnovnoga modela za pojedini tip tla iznosilo od 8,86%, na lesiviranome tlu, do 23,76%, na ritskoj crnici. Promatrano s obzirom na cijeli set uzoraka, uvođenjem dodatnih svojstava u model utvrđeno je povećanje preciznosti regresijskoga modela, što je rezultiralo najmanjim odstupanjem na V. razini od 11,54% (Tablica 5.). Drugi su autori (De Jong, 1990.; Seybold, 2008.), koristeći druge ulazne parametre za procjenu donje granice plastičnosti, utvrdili slična odstupanja modela od analitički utvrđenih vrijednosti.

ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja i utvrđenih rezultata, može se zaključiti kako su agrokemijska i agrofizikalna svojstva unutar pojedinih pedosistematskih jedinica bila izrazito heterogena, sa širokim rasponom vrijednosti po svim svojstvima. Statistički značajna razlika utvrđena je između pedosistematskih jedinica za donju granicu plastičnosti, gornju granicu plastičnosti te indeks plastičnosti. Plastičnost definiraju granice plastičnosti, a ovise o fizikalno-kemijskim svojstvima pojedinoga tla. Sadržaj vode u tlu pri donjoj granici plastičnosti, odnosno optimalna vlažnost aluvijalnoga tla za obradu, iznosi 19% mas. (11 do 23%), lesiviranoga tla 24,06% mas. (17-28%) te ritske crnice 28,60% mas. (17-47%). Kreirani regresijski modeli jednostavni su i primjenjivi, jer mogu dati nove podatke, na temelju raspoloživih podataka. Preciznost modela značajno se povećava uvođenjem većega broja agrokemijskih i agrofizikalnih svojstava tla, a dopunsku preciznost modela mogu povećati podatci o tipu tla. Najveća utvrđena preciznost regresijskoga modela utvrđena je na V. razini, gdje su, kao ulazni parametri, korišteni podatci o pH reakciji tla, sadržaju organske tvari, pijeska, praha i gline.

LITERATURA

1. Belić, M., Nešić, Lj., Ćirić, V. (2014.): Praktikum iz pedologije. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
2. Ćirić V., Nešić Lj., Belić M. (2008.): Plastičnost i lepljivost u funkciji određivanja optimalne vlažnosti za obradu černozema lesne terase. *Letopis naučnih radova*, 1: 43.-50.
3. DeJong, E., Acton, D.F., Stonehouse, H.B. (1990): Estimating the Atterberg limits of Southern Saskatchewan soils from texture and carbon contents. *Canadian journal of soil science*, 70: 543-554.
4. Dexter, A.R., Bird, N.R.A. (2000): Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research*, 57: 203-212.
doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00154-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00154-9)
5. Francaviglia, R., Carroni, A., Bazzoffi, P., Troccoli, A., Borrelli, L., Napoli, R., Ventrella, D., Montemurro, F., Chiarini, F. (2016): Testing the Effectiveness of the European Cross-compliance Standard 3.1 "Ploughing in Good Soil Moisture Conditions". *International Journal of Environmental Research*, 10(4): 655-666.
doi: <http://dx.doi.org/10.22059/ijer.2016.60018>
6. Gajić, B. (2005): Plasticity of pseudogley soils in UB community. *Journal of Agricultural Sciences*, 50: 153-159.
doi: <http://dx.doi.org/10.2298/JAS0502153G>
7. HRN ISO (11277:2004.): Kvaliteta tla - Određivanje raspodjele veličine čestica (mehaničkog sastava) u mineralnom dijelu tla. Hrvatski zavod za norme, Zagreb.
8. HRN ISO (10693:2004.): Kakvoća tla - Određivanje sadržaja karbonata - Volumetrijska metoda. Hrvatski zavod za norme, Zagreb.
9. HRN ISO (14235:1994.): Kakvoća tla - Određivanje organskog ugljika sulfokromnom oksidacijom Hrvatski zavod za norme, Zagreb.
10. HRN ISO (10390:2005.): Kakvoća tla - Određivanje pH-vrijednosti. Hrvatski zavod za norme, Zagreb.
11. Husnjak, S. (2014.): Sistematika tala Hrvatske. Agronomski fakultet, Zagreb.
12. Husnjak S. (2000.): Pedofizikalna i pedomehanička svojstva hidromelioriranih tala Srednje Posavine. *Agronomski glasnik*, 62(3-4): 99.-112.
13. Jones, J.B.J. (2001): Laboratory guide for conducting soil test and Plant analysis. CRC Press. Boca Raton.
doi: <http://dx.doi.org/10.1201/9781420025293>
14. Kanisek, J., Žugec, I., Jurišić, M. (2001.): Ekonomski rezultati proizvodnje pšenice pri različitim načinima obrade tla. *Poljoprivreda/Agriculture*, 7: 1.-8.
15. Lončarić, Z., Rastija, D., Popović, B., Karalić, K., Ivezić, V., Zebec, V. (2014.): Uzorkovanje tla i biljke za agrokemijske i pedološke analize. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
16. Martinović, J. (2000.): Tla u Hrvatskoj. Pokret prijatelja prirode Lijepa Naša, Zagreb.
17. Mulabdić, M., Glavaš T. (2000.): Određivanje konzistentnog stanja tla. *Građevinar*, 52: 719.-725.

18. Pavićević, N. (1972.): Fizika zemljišta. Savez studenata Poljoprivrednog fakulteta, Beograd-Zemun.
19. Racz, Z. (1986.): Agrikulturna mehanika tla. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.
20. Rastija, D., (2006.): Režim vlažnosti i prinosi kukuruza i pšenice na kalciziranim kiselim tlima, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, doktorski rad.
21. Seybold, C.A., Elrashidi, M.A., Engel, R.J. (2008): Linear regression models to estimate soil liquid limit and plasticity index from basic soil properties, *Soil science*, 173: 25-34. doi: <http://dx.doi.org/10.1097/ss.0b013e318159a5e1>
22. Soil Survey Staff (2014): Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, <https://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/>. Accessed [10/10/2017].
23. Škorić, A. (1973.): Pedološki praktikum. Agronomski fakultet, Zagreb.
24. Škorić, A. (1977.): Tla Slavonije i Baranje. Izdavački zavod Jugoslavenske akademije, Zagreb.
25. Škorić, A. (1991.): Sastav i svojstva tla. Pedološko i biljnoekološko značenje, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
26. Špoljar, A., Jagar, N., Stojnović, M. (1999.): Utjecaj grahorice kao pretkulture na značajke tla. *Agronomski glasnik*, 61(1-2): 43.-49.
27. Živković, M. (1991.): Pedologija, Prva knjiga, Geneza sastav i osobine zemljišta. Naučna knjiga, Beograd.

INFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF DIFFERENT SOIL TYPES ON OPTIMAL SOIL MOISTURE FOR TILLAGE

SUMMARY

Soil plasticity is the area of soil consistency, i.e. it represents a change in soil condition due to different soil moisture influenced by external forces activity. Consistency determines soil resistance in tillage, therefore, the aim of the research was to determine the optimum soil moisture condition for tillage and the influence of the chemical and physical properties of the arable land horizons on the soil plasticity on three different types of soil (fluvisol, luvisol and humic gleysol). Statistically significant differences were found between all examined soil types, such as the content of clay particles, the density of packaging and the actual and substitution acidity, the cation exchange capacity and the content of calcium. There were also statistically significant differences between the examined types of soil for the plasticity limit, liquid limit and the plasticity index. The average established value of plasticity limit as an important element for determining the optimal moment of soil tillage was 18.9% mass on fluvisol, 24.0% mass on luvisol and 28.6% mass on humic gleysol. Very significant positive direction correlation with plasticity limits was shown by organic matter, clay, fine silt, magnesium, sodium and calcium, while very significant negative direction correlation was shown by hydrolytic acidity, coarse sand, fine sand and coarse silt. Created regression models can estimate the optimal soil moisture condition for soil cultivation based on the basic soil properties. The model precision is significantly increased by introducing a greater number of agrochemical and agrophysical soil properties, and the additional precision of the model can be increased by soil type data.

Key-words: soil plasticity, physical and chemical soil properties, soil type

(Primljeno 06. rujna 2017.; prihvaćeno 23. studenoga 2017. - Received on 6 September 2017; accepted on 23 November 2017)