

## MEHANIČKI OTPOR TLA U ŠUMSKOM I LIVADNOM EKOSUSTAVU

### MECHANICAL RESISTANCE OF SOIL IN THE FOREST AND GRASSLAND ECOSYSTEMS

**Andrija ŠPOLJAR**

**Ivka KVATERNJAK**

**Vlado KUŠEC**

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima

Katedra za bilinogojstvo

M. Demerca 1, 48 260 Križevci

e-mail: [aspoljar@vguk.hr](mailto:aspoljar@vguk.hr)

Primljeno / Received: 15. 9. 2018.

Prihvaćeno / Accepted: 23. 11. 2018.

Prethodno priopćenje

Preliminary communication

UDK / UDC: 630\*114(497.525.1Kalnik)

630\*12(497.525.1Kalnik)

#### SAŽETAK

*S ciljem utvrđivanja zbijenosti tla u prirodnim uvjetima na luvisolu i rendzini u šumskom i livadnom ekosustavu tijekom 2014. i 2015. godine na području Kalnika provedena su istraživanja mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla. U razmatranoj 2014. godini najmanja vrijednost mehaničkog otpora tla u humusno akumulativnom A horizontu zabilježena je kod rendzina u šumskom ekosustavu tijekom sva tri mjerenja, a najveća vrijednost bila je u livadnom ekosustavu kod luvisola. Slični rezultati zabilježeni su i u narednoj godini istraživanja. Najmanja vrijednost mehaničkog otpora tla također je zabilježena tijekom sva tri mjerenja kod rendzina u šumskom ekosustavu. Međutim, statistički opravdano manja vrijednost mehaničkog otpora tla kod rendzina u šumskom ekosustavu bila je samo kod trećeg mjerenja u odnosu na sve druge istraživane varijante ( $p < 0,05$ ). Tijekom istraživanja također je utvrđen prosječno veći sadržaj trenutne vlage u tlu kod rendzine u šumskom ekosustavu, a najmanja vrijednost zabilježena je kod luvisola u šumskom ekosustavu. Općenito nepovoljniji uvjeti zbijenosti tla te prosječno manje vrijednosti trenutnog sadržaja vlage u tlu zabilježeni su u klimatski nepovoljnijoj 2015. godini istraživanja. Temeljem navedenoga, može se konstatirati da su kod rendzina u odnosu na luvisol utvrđeni povoljniji uvjeti zbijenosti, kao i prosječno veći sadržaj vlage u tlu.*

**Ključne riječi:** zbijenost tla, trenutni sadržaj vlage u tlu, Kalnik

**Key words:** soil compaction, current moisture content in the soil, Kalnik

#### UVOD I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Brojni se autori kod nas i u svijetu bave istraživanjima zbijenosti tla, međutim uglavnom se ta istraživanja odnose na antropogeno zbijanje tla na obradivim poljoprivrednim površinama i u industrijskim plantažama šumskih biljnih vrsta (Batey, 2009; Botta i sur., 2012; Frey i sur., 2009; Gomez i sur., 2002; Hamza i Anderson 2005; Krebstein i sur., 2013; Kvaternjak i sur., 2012; Špoljar i sur., 2014; Špoljar i sur., 2017). Handayani (2004) na tlima praškasto ilovaste teksture utvrđuje najmanju vrijednost gustoće pakiranja čestica tla (PD) u šumskim ekosustavima, a najveća je zabilježena na obradivim površinama. Najveći sadržaj trenutne vlage u tlu, kako navodi autor, također je bio u šumskom, a najmanji u livadnom ekosustavu.

Hamza i Anderson (2005) navode da povećanu zbijenost tla uzrokuje malen sadržaj organske tvari i učestali prohodni mehanizacije. Rezultat toga je, kako ističu autori, povećana čvrstoća tla te manja konzervacija vlage i hranjivih tvari, što umanjuje njegovu plodnost. Zbijenost tla ima za posljedicu

slabiji rast i razvoj biljaka sa znatno manjim unosom svježije organske tvari u tlo, a zbog slabije aktivnosti mikroorganizama suzdržani su i procesi mineralizacije. Shah i sur., (2017) upozoravaju kako velika mehanička opterećenja i neadekvatni način korištenja zemljišta dovode do zbijanja tla s nizom negativnih posljedica. Zbog zbijanja tla povećava se njegova volumna gustoća i čvrstoća, a smanjuju se poroznost, indeks stabilnosti agregata, hidraulička provodljivost i pristupačnost hranjiva, što nepovoljno utječe na zdravlje tla. Kao posljedica toga slabije se razvija korijenov sustav biljaka. Nepovoljan utjecaj povećane zbijenosti tla na rast korijena također utvrđuju Tracy i sur., (2011). Autori ističu, kako zbijanje uvjetuje povećanu čvrstoću tla s istovremenim smanjenjem njegove prozračnosti i hidrauličke provodljivosti.

Kozłowski (1999) navodi da zbijanje tla nepovoljno utječe na strukturu tla i mijenja njegovu hidrologiju pri čemu se povećava volumna gustoća, smanjuje poroznost, aeracija i infiltracija vode u tlo te se pospješuju otjecanje vode i erozijski procesi. Ono također dovodi do fizioloških poremećaja u biljkama, smanjuje se apsorpcija vode, dolazi do poremećaja ravnoteže hormona rasta, otežano je primanje hranjiva, a zbog manje površine listova smanjena je i fotosintetska aktivnost biljka. Kod jako zbijenih tala zbog anaerobnih uvjeta otežana je respiracija korijena, smanjena je klijavost sjemena i ograničen je rast i razvoj biljaka. Da antropogeno zbijanje tla ima negativan utjecaj na istraživane značajke tla upozoravaju i drugi autori (Cambi i sur., 2015; Evrendilek i sur., 2004; Frey i sur., 2009; Kozłowski 1999; Li i Shao 2006 i dr.).

Razvidno je, da se autori pretežno bave negativnim posljedicama antropogenog zbijanja, a manje su provedena istraživanja zbijenosti tla u prirodnim ekosustavima. Stoga su na području Kalnika tijekom 2014. i 2015. godine provedena istraživanja mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla na luvisolu i rendzini u šumskom i livadnom ekosustavu. Temeljem navedenoga, ciljevi istraživanja obuhvatili su utvrđivanje zbijenosti tla i njezinog utjecaja na konzervaciju vlage u prirodnim ekosustavima.

## METODE ISTRAŽIVANJA

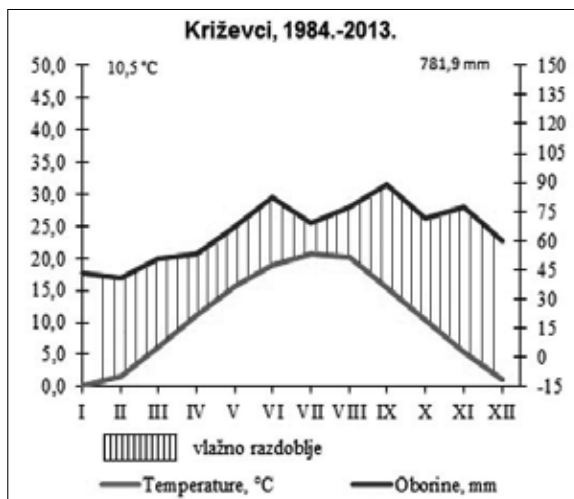
Na luvisolu i rendzini (Husnjak, 2014) u šumskom i livadnom ekosustavu tijekom 2014. i 2015. godine obavljena su na području Kalnika mjerenja mehaničkog otpora tla i njegove trenutne vlažnosti. Ranije je tijekom 2014. godine određena količina humusa prema metodi Tjurina i mehanički sastav tla u natrijevom pirofosfatu (Špoljar i Kvaternjak, 2017). Pedološka istraživanja provedena su prema prihvaćenim međunarodnim standardima (Pernar i sur., 2013).

Tijekom vegetacijskog razdoblja u tri su navrata na dubini humusno akumulativnoga A horizonta obavljena mjerenja mehaničkog otpora tla uporabom digitalnog penetrometra (*Penetrologger, Eijkkelkamp*). Za istu dubinu također je istovremeno određena trenutna vlažnost tla »*Theta probe*«  
senzomom u četiri ponavljanja. Istraživane su dvije tipološke jedinice tla i dva načina korištenja zemljišta (varijante): lesivirano u livadnom ekosustavu (LSL), lesivirano u šumskom ekosustavu (LSŠ), rendzina u livadnom ekosustavu (RSL) i rendzina u šumskom ekosustavu (RSŠ). Srednje vrijednosti mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti za tri mjerenja tijekom vegetacije po istraživanim varijantama u 2014. i 2015. godini te srednje vrijednosti za obje razmatrane godine statistički su obrađene analizom varijance i testirane HSD Tukey testom. Statistička analiza provedena je pomoću programskog paketa Statistica 12 (StatSoft Inc. 2012).

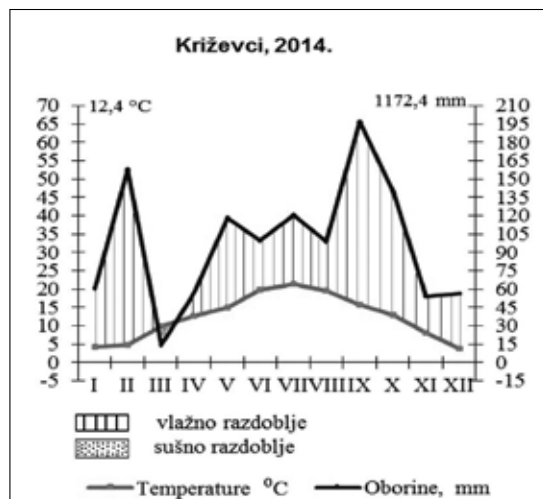
## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### Klimatski uvjeti

Hod mjesečnih količina oborina i srednjih mjesečnih temperatura zraka za tridesetogodišnje razdoblje od 1984. do 2013. godine prikazuje grafikon 1., a grafikon 2. i 3. prikazuju hod mjesečnih količina oborina i srednjih mjesečnih temperatura zraka u razmatranoj 2014. i 2015. godini. Srednja godišnja temperatura zraka u tridesetogodišnjem razdoblju iznosila je 10,5 °C, a prosječna količina oborina bila je 781,9 mm. Razvidno je, na temelju klima dijagrama prema Walteru, kako u višegodišnjem razdoblju nisu zabilježeni sušni uvjeti, dok su u istraživanoj 2014. godini sušni uvjeti bili u ožujku.



**Grafikon 1.** Hod oborina i temperatura za višegodišnje razdoblje prema Walteru

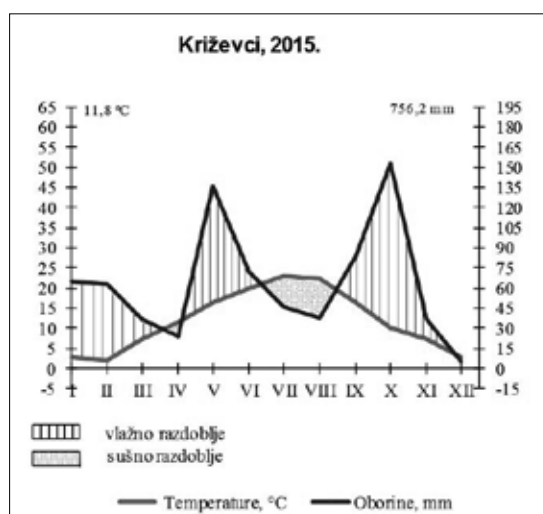


**Grafikon 2.** Hod oborina i temperatura za razmatranu 2014. godinu prema Walteru

Godišnja količina oborina u toj godini bila je veća u odnosu na višegodišnji prosjek za čak 390,5 mm, a srednja mjesečna temperatura zraka za 1,9 0C. U narednoj 2015. godini zabilježena su dva sušna razdoblja, krajem ožujka i početkom travnja te u lipnju, srpnju i kolovozu. U toj godini godišnja količina oborina bila je u odnosu na višegodišnji prosjek manja za 25,7 mm, a srednja godišnja temperatura zraka bila je veća za 1,3 0C. Zabilježena sušna razdoblja u ovoj godini imala su nepovoljan utjecaj na izmjerene vrijednosti mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla.

### Rezultati mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla

Istraživanja su provedena na luvisolu pjeskovi-to glinasto ilovaste teksture i na rendzini ilovaste teksture (Špoljar i Kvaternjak, 2017). Tablice 1. i 2. prikazuju rezultate analize varijance mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla za 2014. i 2015. godinu, a u tablici 3. daju se prosječne vrijednosti za obje istraživane godine. U razmatranoj 2014. godini najmanja vrijednost mehaničkog otpora tla u humusno akumulativnom A horizontu zabilježena je kod rendzina u šumskom ekosustavu tijekom sva tri mjerenja, a najveća vrijednost bila je u livadnom ekosustavu kod luvisola, Tablica 1. Slični rezultati zabilježeni su i u narednoj godini istraživanja. Najmanja vrijednost mehaničkog otpora tla također je zabilježena tijekom sva tri mjerenja kod rendzina u šumskom ekosustavu. Međutim, statistički opravdano manja vrijednost mehaničkog otpora tla kod rendzina u šumskom ekosustavu bila je samo kod trećeg mjerenja u odnosu na sve druge istraživane varijante, Tablica 2. Prosječne vrijednosti za obje godine istraživanja također ukazuju na manje vrijednosti mehaničkog otpora tla kod rendzina u šumskom ekosustavu, Tablica 3. Na temelju dvogodišnjeg istraživanja rezultati mehaničkog otpora tla mogu se prikazati u sljedećem nizu: LSL > LSŠ > RZL > RZŠ. Kako je iz podataka vidljivo, rendzine u šumskom i livadnom ekosustavu manje su zbijene u odnosu na lesivirana tla u šumskom i livadnom ekosustavu. Iz podataka je razvidno, kako su kod svih istraživanih varijanata utvrđene veće vrijednosti mehaničkog otpora tla u 2015. godini kod koje su zabilježena dva sušna razdoblja, Grafikon 3.



**Grafikon 3.** Hod oborina i temperatura za razmatranu 2015. godinu prema Walteru

Batey (2009) navodi kako do zbijanja tla može doći i u prirodnim uvjetima bez utjecaja čovjeka, a štetni učinci povezani su sa smanjivanjem propusnosti tla za zrak i vodu te slabijim razvojem korijenovog sustava. Autor ističe, kako rendzine i druga karbonatana tla nemaju problema sa zbijanjem. Celik (2005) također utvrđuje najveće vrijednosti volumne gustoće kod obradivih tala, a manje vrijednosti zabilježene su u šumskom ekosustavu i kod pašnjaka. Utvrđena je također veća stabilnost strukturnih agregata u šumskom ekosustavu i kod pašnjaka naspram obradivih površina. Slično tome Gregory i sur., (2009) utvrđuju veću otpornost travnjaka izloženih zbijanju i biološkom toplinskom stresu u odnosu na obradiva tla. Autori ističu, kako su postignuti povoljni rezultati, poglavito rezultat utjecaja gospodarenja tlom na sadržaj organske tvari. Dorner i sur., (2011) navode kako intenziviranje korištenja zemljišta dovodi do većih mehaničkih i hidrauličkih naprezanja u tlu, što rezultira smanjenjem poroznosti te povećanjem gustoće tla. Kao posljedica manjeg sadržaja makro pora u tlu, kako ističu autori, smanjuje se njegova propusnost za zrak.

Najveći sadržaj trenutne vlage u tlu u 2014. godini zabilježen je kod rendzina, osim prilikom trećeg mjerenja. Međutim, statistički opravdano veće vrijednosti trenutnog sadržaja vlage u tlu bile su kod drugog mjerenja u odnosu na druge istraživane varijante. Prosječno veći sadržaj trenutne vlage u tlu bio je kod rendzine u šumskom ekosustavu i iznosio je 23,44% vol., a najmanja vrijednost zabilježena je kod luvisola u šumskom ekosustavu (14,26 % vol.), Tablica 1. U narednoj godini istraživanja utvrđeni su slični rezultati mjerenja sadržaja trenutne vlažnosti tla. Prosječno veća vrijednost sadržaja trenutne vlage u tlu zabilježena je kod rendzina u šumskom ekosustavu, Tablica 2. Kod svih istraživanih varijanata u ovoj je godini trenutni sadržaj vlage u prosjeku bio manji u odnosu na 2014. godinu, što je dakako, poglavito u svezi s klimatskim uvjetima koji su vladali tijekom istraživanja. Naime, u 2015. godini, evidentirane su nepovoljnije klimatske prilike s dva sušna razdoblja, što se odrazilo na manje vrijednosti trenutnog sadržaja vlage kod svih istraživanih varijanata. Prosječne vrijednosti za obje godine istraživanja ukazuju na veće vrijednosti trenutnog sadržaja vlage u tlu kod rendzina u šumskom ekosustavu, Tablica 3. Na temelju dvogodišnjeg istraživanja moguće je rezultate trenutnog sadržaja vlage u tlu po varijantama prikazati u sljedećem nizu: RZŠ > RZL > LSL > LSŠ. Temeljem navedenoga, može se konstatirati da su kod rendzina utvrđeni povoljniji uvjeti zbijenosti tla, kao i prosječno veći sadržaj vlage u tlu.

U ranijim istraživanjima, na istim lokacijama tijekom 2013. godine, Špoljar i Kvaternjak (2017), utvrđuju prosječno veći sadržaj humusa i trenutnog sadržaja vlage u tlu kod rendzina u odnosu na lesivirana tla. Autori navode kako je mehanički otpor tla u negativnoj korelacijskoj vezi sa sadržajem humusa i s trenutnim sadržajem vlage u tlu. Najveće vrijednosti negativnog korelacijskog koeficijenta

**Tablica 1.** Analiza varijance mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla u 2014. godini

Varijabla	Mjerenje	Varijanta			
		LSL	LSŠ	RZL	RZŠ
Mehanički otpor tla, MPa	1. mjerenje (22. svibnja)	1,75a	1,63a	1,38b	1,34b
Mehanički otpor tla, MPa	2. mjerenje (21. srpnja)	0,53b	0,67a	0,56b	0,29c
Mehanički otpor tla, MPa	3. mjerenje (24. rujna)	0,39a	0,36a	0,32ab	0,27c
Trenutna vlažnost, % mas.	1. mjerenja (22. svibnja)	18,22a	18,22a	18,83a	20,63a
Trenutna vlažnost, % mas.	2. mjerenje (21. srpnja)	12,00b	9,00c	13,47b	33,37a
Trenutna vlažnost, % mas.	3. mjerenje (24. rujna)	19,67a	15,56b	19,66a	16,33ab

Tumač kratica: LSL - lesivirano, livada; LSŠ – lesivirano, šuma; RZL – rendzina, livada; RZŠ – rendzina, šuma

\*\*\* Vrijednosti u redovima označene različitim slovima značajno se razlikuju ( $p < 0,05$ )

**Tablica 2.** Analiza varijance mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla u 2015. godini

Varijabla	Mjerenje	Varijanta			
		LSL	LSŠ	RZL	RZŠ
Mehanički otpor tla, MPa	1. mjerenje (6. svibnja)	3,08a	2,40b	2,13bc	1,74c
Mehanički otpor tla, MPa	2. mjerenje (10. srpnja)	1,61a	1,47a	1,43a	1,23a
Mehanički otpor tla, MPa	3. mjerenje (24. rujna)	1,93a	1,84a	1,70a	1,43b
Trenutna vlažnost, % mas.	1. mjerenja (6. svibnja)	6,64c	13,22a	11,21 ab	9,33c
Trenutna vlažnost, % mas.	2. mjerenja (10. srpnja)	13,33b	8,11c	11,66bc	21,83a
Trenutna vlažnost, % mas.	3. mjerenje (24. rujna)	8,90b	8,89c	11,75a	10,33ab

Tumač kratica: LSL - lesivirano, livada; LSŠ – lesivirano, šuma; RZL – rendzina, livada; RZŠ – rendzina, šuma

\*\*\* Vrijednosti u redovima označene različitim slovima značajno se razlikuju ( $p < 0,05$ )

**Tablica 3.** Analiza varijance mehaničkog otpora i trenutne vlažnosti tla za 2014. i 2015. godinu

Varijabla	Mjerenje	Varijanta			
		LSL	LSŠ	RZL	RZŠ
Mehanički otpor tla, MPa	1. mjerenja	2,42a	2,02b	1,75bc	1,53c
Mehanički otpor tla, MPa	2. mjerenje	1,07a	0,99a	0,99a	0,75a
Mehanički otpor tla, MPa	3. mjerenje	1,16a	1,10a	1,14a	0,96b
Trenutna vlažnost, % mas.	1. mjerenja	12,43a	15,72a	15,02a	15,00a
Trenutna vlažnost, % mas.	2. mjerenje	12,67a	8,56b	12,42a	27,60c
Trenutna vlažnost, % mas.	3. mjerenje	14,28ab	11,06b	15,71a	13,33ab

Tumač kratica: LSL - lesivirano, livada; LSŠ – lesivirano, šuma; RZL – rendzina, livada; RZŠ – rendzina, šuma

\*\*\* Vrijednosti u redovima označene različitim slovima značajno se razlikuju ( $p < 0,05$ )

između mehaničkog otpora tla i sadržaja humusa utvrđene su kod rendzina u šumskom ekosustavu, a između mehaničkog otpora i sadržaja trenutne vlage u tlu najveći negativni korelacijski koeficijent bio je kod rendzina u livadnom ekosustavu. Autori ističu, kako mehanički otpor tla u prirodnim ekosustavima manje ovisi o načinu korištenja, a više je pod utjecajem drugih okolišnih čimbenika, odnosno više je značajka tipa tla.

Slične korelacijske odnose između mehaničkog otpora i sadržaja organske tvari u tlu utvrđuju Askin i sur., (2003). Autori navode, kako je volumna gustoća tla, kao indikator njegove zbijenosti, u negativnoj korelacijskoj vezi sa sadržajem gline i organske tvari u tlu. Krzic i sur., (2004), također dobivaju jaku negativnu korelacijsku vezu između maksimalnih vrijednosti volumne gustoće tla i gravimetrijskog sadržaja vlage u tlu te ukupnog sadržaja ugljika. Povećani sadržaj organske tvari u tlu, kako ističu autori, smanjuje rizik od zbijanja. U ranijim istraživanjima provedenim na istim lokacijama tijekom 2013. godine dobiveni su slični rezultati glede zbijenosti tla i trenutnog sadržaja vlage u tlu. Naime kod rendzina u šumskom ekosustavu s većim sadržajem humusa utvrđena je ujedno i najmanja zbijenost tla, te najveća konzervacija vlage u tlu (Špoljar i Kvaternjak 2017). U naredne dvije godine istraživanja dobiveni su glede ovih parametara slični rezultati. Također su zabilježene prosječno manje vrijednosti mehaničkog otpora tla kao i najveće vrijednosti trenutnog sadržaja vlage u tlu kod rendzina u šumskom ekosustavu naspram drugih istraživanih varijanata.

## ZAKLJUČAK

Temeljem navedenoga može se zaključiti sljedeće:

- Najmanja vrijednost mehaničkog otpora tla tijekom istraživanja u sva tri mjerenja zabilježena je u humusno akumulativnom A horizontu kod rendzina u šumskom ekosustavu, a najveća vrijednost bila je u livadnom ekosustavu kod luvisola. Međutim, statistički opravdano manja vrijednost mehaničkog otpora tla kod rendzina u šumskom ekosustavu bila je samo kod trećeg mjerenja u odnosu na sve druge istraživane varijante u 2015. godini ( $p < 0,05$ ). Na temelju dvogodišnjeg istraživanja rezultati mehaničkog otpora tla mogu se prikazati u sljedećem nizu:  $LSL > LSŠ > RZL > RZŠ$ .
- Tijekom istraživanja utvrđen je prosječno veći sadržaj trenutne vlage u tlu kod rendzine u šumskom ekosustavu, a najmanja vrijednost zabilježena je kod luvisola u šumskom ekosustavu. Na temelju dvogodišnjeg istraživanja moguće je rezultate trenutnog sadržaja vlage u tlu po varijantama prikazati u sljedećem nizu:  $RZŠ > RZL > LSL > LSŠ$ .
- Općenito nepovoljniji uvjeti zbijenosti tla te prosječno manje vrijednosti trenutnog sadržaja vlage u tlu zabilježeni su u klimatski nepovoljnijoj 2015. godini istraživanja. Temeljem navedenoga, može se konstatirati da su kod rendzina u odnosu na luvisole utvrđeni povoljniji uvjeti zbijenosti, kao i prosječno veći sadržaj trenutne vlage u tlu.

## LITERATURA

1. Askin, T., Ozdemir, N. (2003): Soil bulk density as related to soil particle size distribution and organic matter content. *Agriculture*, 9: 1-4.
2. Batey, T. (2009): Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 25 (4): 335-345.
3. Botta, G.F., Vazquez, A., Becerra, A.T., Balbuena, R., Stadler, S. (2012): Soil compaction distribution under land clearing in calden (*Prosopis Caldenia Buirkat L.*) forest in Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research*, 119: 70-75.
4. Cambi, M., Certini, G., Neri, F., Marchi, E. (2015): The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management*, 338 (15): 124-138.
5. 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.
6. Dorner, J., Dec, D., Zuniga, F., Sandoval, P., Horn, R. (2011): Effect of land use change on Andosol, pore functions and their functional resilience after mechanical and hydraulic stress. *Soil and Tillage Research*, 115-116: 71-79.
7. Evrendilek, F., Celik, I., Kilic, S. (2004): Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. *Journal of Arid Environments*, 59 (4): 743-752.
8. Frey, B., Kremer, J., Rudt, A., Sciacca, S., Mathies, D., Luscher, P., (2009): Compaction of forest soils with heavy machinery affects soil bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 45 (4): 312-320.
9. Gomez, A., Powers, R.F., Singer, M.J., Horwath, W.R. (2002): Soil Compaction Effects on Growth of Young Ponderosa Pine Following Litter removal in California, Sierra Nevada. *Soil Science Society of America Journal Abstract - DIVISION S-7 - Forest and Range Soils*, 66 (4): 1334-1343.
10. Gregory, A.S., Watts, C.W., Griffiths, B.S., Hallett, P.D., Kuan, H.L., Whitmore, A.P., (2009): The effect of long-term soil management on the physical and biological resilience of range of arable and grassland in England. *Geoderma*, 153 (1-2): 172-185.
11. Hamza, M.A., Anderson, W.K. (2005): Soil compaction in cropping system: A review of nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2): 121-145.
12. Handayani, L.P. (2004): Soil quality changes following forest clearance in Bengkulu, Sumatra. *Biotropia*, 22 (3): 15-28.
13. Husnjak, S. (2014): *Sistematika tala Hrvatske*. Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, 373 str.
14. Kozłowski, T. T. (1999): Soil Compaction and Growth of Woody Plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (&): 596-619.
15. Krestein, K., Von Janowsky, K., Reintam, E., Horn, R., Leeduks, J., Kuht, J. (2013): Soil compaction in a Cambisol under grassland in Estonia. *Zemdirbyste – Agriculture*, 100 (1): 33-38.

16. Krzic, M., Bulmer, C.E., Teste, F., Dampier, L., Rahman, S. (2004): Soil properties influencing compactability of forest soils in British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science*, 84 (2): 219-226.
17. Kvaternjak, I., Kisić, I., Špoljar, A., Kamenjak, D., Jelen, R. (2012): Mehanički otpor tla odabranih vinograda različite starosti na području Kalnika. 47. hrvatski i 7. međunarodni simpozij agronoma u Opatiji, Opatija, str. 74-77.
18. Li, Y.Y., Shao, M.A. (2006): Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*, 64 (1): 77-96.
19. Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I. (2013): Terenska i laboratorijska istraživanja tla. Sveučilište u Zagrebu, udžbenik, 192 str.
20. Shah, A.N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M.A., Tung, S.A., Hafez, A., Soliyanah, B. (2017): Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (11): 10056-10067.
21. Špoljar, A., Kvaternjak, I., Slunjski, D. (2014): Mehanički otpor tla u vinogradima različite starosti. *Agronomski glasnik*, 76 (6): 267-276.
22. Špoljar, A., Kvaternjak, I. (2017): Mehanički otpor tla u prirodnim ekosustavima. 52. hrvatski i 12. međunarodni simpozij agronoma u Dubrovniku, str. 96-99.
23. Tracy, S.R., Black, C.R., Roberts, J.A., Mooney, S.J. (2011): Soil compaction: a review and present techniques for investigation effects on root growth. *Science of Food and Agriculture*, 91(9): 1528-1537.
24. \*\*\* Statistica 12 (StatSoft Inc. 2012)

## SUMMARY

In order to establish the level of soil compaction in natural conditions on Luvisol and Rendzina in forest and meadow ecosystem of Kalnik area research of mechanical soil resistance and current moisture content was conducted in 2014 and 2015. In 2014 the lowest value of mechanical soil resistance in humus accumulative horizon A was observed in Rendzina in the forest ecosystem in all three measurements, whereas the highest value was observed in the Luvisol of the meadow ecosystem. Similar results were observed in the following year of research. The lowest value of mechanical soil resistance was also observed in Rendzina of the forest ecosystem in all three measurements. However, statistically justifiable lower value of mechanical soil resistance of Rendzina in the forest ecosystem was observed only in the third measuring in relation to all other researched variants ( $p < 0,05$ ). The research also established average higher content of current moisture in the soil for Rendzina in the forest ecosystem, whereas the lowest value was observed in Luvisol in the forest ecosystem. Less favourable conditions of soil compaction and lower average values of the current moisture content in the soil were generally observed in 2015. Based on the above stated it can be concluded that for Rendzina, in comparison with Luvisol, more favourable conditions of soil compaction were observed, as well as higher average moisture content.