

Soil compaction in vineyards of different ages in Pannonian Croatia. Part I. Influence of machinery traffic and soil management on compaction of individual horizons

Zbijenost tala vinograda različite starosti u Panonskoj Hrvatskoj. I dio. Utjecaj gaženja mehanizacijom i gospodarenja tlom na zbijenost pojedinih horizonata

Igor BOGUNOVIĆ^{1*}, Ivica KISIĆ¹, Edi MALETIĆ², Aleksandra PERČIN¹, Stefan MATOŠIĆ³ and Luka ROŠKAR³

¹Department of General Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatia, correspondence: ibogunovic@agr.hr

²Department of Viticulture and Enology, Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatia

³Student Ms study, Faculty of Agriculture, University of Zagreb

Abstract

Soil compaction is one of the most important problems in agricultural production. Tillage system with frequent machinery traffic due protection, agrotechnic operation and harvesting has effect on different soil compaction levels in the vineyards. The aim of this study was to determine and compare the soil resistance, soil bulk density and soil moisture within and between rows in the seven-year and thirty-year vineyard due to tillage and compacting by machinery traffic. Results show statistically lower soil resistance to a depth of 40 cm in tilled interrow position in all vineyards as a direct effect of tillage. The values of bulk density in both vineyards are lowest in row position which is convenient for root growth. Increased values of bulk density that can restrict root development are recorded in interrows position in all vineyards. The moisture content of all vineyards increases with depth. Greater deviation in compaction between seven-year and thirty-year vineyard is not recorded. The research results indicate that the soil management is more important factor than the number of machinery passes. Soil resistance values does not give a complete information about compaction because of all the factors it is most depend on current soil moisture.

Keywords: bulk density, moisture content, soil compaction, soil resistance, vineyard

Sažetak

Zbijenost tla jedan je od važnijih problema u poljoprivrednoj proizvodnji. Način obrade i česti prolasci mehanizacijom uslijed zaštite, agrotehlike i berbe utječu na različite razine zbijenosti tala u vinogradima. Cilj istraživanja bio je utvrditi i usporediti otpor tla, volumnu gustoću te trenutnu vlažnost tla unutar i između redova u sedmogodišnjem i tridesetogodišnjem vinogradu uslijed obrade i zbivanja pri prometu mehanizacijom. Rezultati pokazuju statistički manji otpor tla do 40 cm u obrađenom međurednom prostoru u svim vinogradima kao direktan utjecaj obrade. Vrijednosti volumne gustoće u oba vinograda najmanje su unutar reda što povoljno djeluje na razvoj korijena. Povećane vrijednosti volumne gustoće koje mogu djelovati inhibitorno na razvoj korijena bilježi međuredni prostor u oba vinograda. Sadržaj vlage u svim vinogradima povećava se s dubinom. Nije zabilježeno veće odstupanje u zbijenosti promatrajući tridesetogodišnji i sedmogodišnji vinograd. Rezultati istraživanja navode da je način gospodarenja tlom važniji faktor od broja prolaska mehanizacije. Vrijednosti otpora tla ne daju potpunu sliku jer od svih čimbenika najviše ovise o trenutačnoj vlažnosti tla.

Ključne riječi: otpor tla, trenutačna vlažnost, vinograd, volumna gustoća, zbijenost

Detailed abstract

Soil compaction, caused by natural factors and human influence, as soil degradation process is one of the most important problems in agricultural production. Compaction appears everywhere in the world in all climate zones. Different tillage in row and interrow and frequent machinery traffic due to protection, agrotechnic operation and harvesting effect on different levels of soil compaction in the vineyards. The aim of this study was to determine and compare the soil resistance, soil bulk density and soil moisture within and between rows in the seven-year and thirty-year vineyard due to tillage and compacting by machinery traffic. The experiment was situated on experimental vineyard of Faculty of Agriculture in Zagreb (Pannonian Croatia), on slope terrain with rows down the slope. Measurements (354 penetration measurements and 144 steel cylinders) were conducted in April and May 2014, depending on the studied vineyard from row position, tilled interrow and grass-covered interrow. Results show statistically lower soil resistance to a depth of 40 cm in tilled interrow position in both vineyards compared to grass covered interrow position and row position as a direct effect of tillage. The values of bulk density in both vineyards are the lowest in row position which is convenient for root growth. Increased values of bulk density that can restrict root development are recorded in interrows position in all vineyards. The moisture content in all vineyards was the lowest in surface horizon. Determined moisture content increased with depth in both vineyards. Greater deviation in compaction was not recorded between investigated vineyards. The research results indicate that the soil management is more important factor than the number of machinery passes. Of all investigated factors, soil

resistance values do not give complete information about compaction because it is most depend on current soil moisture, which depends on rainfall at different times of sampling. Research need to be continued and implement a greater number of sampling through the vegetation season for better and more detailed understanding of these issues.

Uvod

Zbijanje tla je proces sabijanja teksturnih čestica tla (Håkansson, 1990) i predstavlja jedan od najizrazitijih degradacijskih procesa tla koji imaju za posljedicu narušavanje strukture, smanjenje zraka u tlu i smanjenje hidrauličke provodljivosti (Hamza i Anderson, 2005). Procjena je da je površina pretjerano zbijenih tala u agroekosustavima diljem svijeta u razmjerima od 68 milijuna hektara (Flowers i Lal, 1998). Proces zbijanja u osnovi je jednostavan i predstavlja promjenu u masi tla u određenom volumenu tla, čime je otežana penetracija korijena kulturne biljke, a kao posljedica povećanja volumne gustoće tla, smanjena je aktivnost i brojnost gujavica i drugih živih organizama u tlu, što rezultira niskim ili smanjenim prinosima (Birkás i sur., 2002, 2004). Zbijanje je degradacijski proces koji može nastati uslijed prirodnih pojava ili antropogenim putem kao posljedica neodgovarajućeg korištenja tla. Promjene u zbijenosti tla uvjetovane su mehanizacijom, posebno brojem njihovih prolazaka u svim agrotehničkim operacijama te prirodnim procesima poput sušenja, vlaženja i drugo (Harris, 1971). U mnogim sustavima obrade tla oranični sloj prolazi kroz godišnje cikluse smanjenja zbijenosti obradom i zbijanja gaženjem tijekom ostalih agrotehničkih zahvata. Birkás i sur. (1996) navode da je zbijenost u centralnoj i istočnoj Europi česta pojava koja je uvjetovana obradom, ali je često manje važna od zbijanja nastalog prometom mehanizacije. Ta problematika je vrlo često predmet istraživanja koja se navode u zapadnoeuropskoj literaturi (Håkansson i Voorhees, 1997). Posebno u vinogradima, gdje se godišnje provode brojne agrotehničke mjere uslijed kojih tlo trpi veliki broj prohoda traktora s priključnim ratilima. Općeniti godišnji broj prolazaka mehanizacije u vinogradima se kreće od 12 do 16 i općenito ovise o regiji, odnosno klimatskim uvjetima. Radi određenih međurednih razmaka dolazi do stalnih mjesta prohoda gdje je opasnost od pojave zbijenih slojeva veća. Također, zbijenost tla se može očekivati u gušće sađenim vinogradima gdje su tragovi guma bliže trsovima.

U ovim istraživanjima korištene varijable za procjenu zbijenosti tla u vinogradima u ovisnosti o obradi i gaženjem mehanizacijom su volumna gustoća tla i mehanički otpor tla mjeren penetrometrom. Te varijable su međusobno povezane i uporaba samo jednog od tih varijabli može dovesti do pogrešnih rezultata (Campbell i Henshall, 1991; Cassel, 1982). Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi te usporediti otpore tla i volumnu gustoću uz različite uvjete trenutne vlažnosti tla unutar i između redova (zatavljenom i obrađenom) u sedmogodišnjem i tridesetogodišnjem vinogradu, te utvrditi zbijenost pojedinih horizonata tla.

Materijali i metode rada

Istraživanja su provedena u vinogradima pokušališta Jazbina Agronomskog fakulteta u Zagrebu na području kontinentalne Hrvatske (45° 51' S 16° 0' I, 258 m n.v.). Klima je umjerena kontinentalna s tridesetogodišnjim prosjekom (1961.-1990.) od 852 mm oborina i prosječnom godišnjom temperaturom od 10.3 °C (DHMZ, mjerna stanica Maksimir, 5 km od mjesta istraživanja). Prije podizanja vinograda na kojima su provedena istraživanja provedeno je rigolanje i melioracijska gnojidba, te tanjuranje i ručno sađenje cijepova.

Redovita godišnja agrotehnika podrazumijeva podrivanje s gnojidbom svakog drugog reda u svim vinogradima, a u međurednim razmacima koji nisu obrađivani izvršeno je malčiranje korova. Kod oba vinograda je međuredni prostor obrađen rotirajućom lopatom do dubine 30 cm u proljeće 2014. godine. U redovima odnosno između trsova tlo nije obrađivano, dok se zaštita od korova provodi herbicidima.

Jednokratno su u travnju (tridesetogodišnji vinograd - 30G) i svibnju (sedmogodišnji vinograd - 7G) 2014. godine izmjereni otpori tla unutar i između redova (zatravljenom i obrađenom) u oba ta nasada. Prije mjerenja svojstava zbijenosti prezentiranih u ovome radu, u tridesetogodišnjem vinogradu je zabilježen jedan prolazak mehanizacijom (4. travanj), dok je u sedmogodišnjem vinogradu zabilježena tri prolaska mehanizacijom (4. travanj, 14. svibanj, 20. svibanj). Za provedbu istraživanja korišten je Eijkelkamp penetrolgger. Tim penetrometrom je u svakom vinogradu mjeren otpor tla (engl. penetrometer resistance - PR, MPa) između redova u 72 ponavljanja (po 36 ponavljanja u zatravljenom i obrađenom međuredu) i unutar trsova u 105 ponavljanja do 40 cm dubine. Podaci o otporima grupirani su u slojeve od 10 cm (0-10, 11-20, 21-30 i 31-40 cm) i izraženi kao srednja vrijednost. S istih mjesta prikupljeni su uzorci tla u neporušenom stanju (n = 72) (po 24 uzoraka u svakom od međuredova, te u redu) u metalnim cilindrima zapremnine 100 cm³ s tri dubine 0-10 (n = 24), 11-20 (n = 24) i 21-30 cm (n = 24). Trenutačna vlaga (Mv, % vol) je određena gravimetrijski sušenjem uzoraka u pećnici 72 sata na 105 °C, a volumna gustoća (ρ_v , g*cm⁻³) je određena iz omjera mase suhoga tla iz cilindra i njegovog volumena.

Podaci su obračunati analizom varijance koristeći GLM proceduru (SAS institute, version 9.3) radi procjene utjecaja agrotehnike u vinogradima na zbijenost i trenutačnu vlažnost. Dobivene su procjene o najmanjim značajnim razlikama otpora tla, volumne gustoće i trenutačne vlažnosti (Tukeyevim LSD) između tretmana na istoj ili različitim dubinama za svaki pojedini vinograd. Statističke razlike su utvrđene na razini vjerojatnosti od $P < 0.05$.

Rezultati

Detaljni rezultati istraživanih čimbenika prikazani su u Tablici 1 i grafovima 1, 2 i 3.

Utjecaj pozicije i dubine tla na otpore tla (PR) su značajni ($P < 0.001$) i kod 7G i kod 30G vinograda (Tablica 1). Interakcijski efekt $P \times D$ također je statistički opravdan kod oba vinograda ($P < 0.001$ i $P = 0.0075$). Izmjerene vrijednosti PR kreću se između 0.67 i 1.91 MPa, kod 30G i 0.39 i 1.58 MPa kod 7G (Grafikon 1c). Srednja vrijednost svih mjerenja je veća kod 30G i iznosi 1.53 MPa, što je prosječno 35%

veća zbijenost nego u 7G gdje je zbijenost u prosjeku 1.13 MPa (Tablica 1), a zabilježena varijabilnost PR je manja u 30G (CV 27.43%) nego u 7G (CV 32.74%).

Table 1. Analysis of variance for soil resistance (MPa), soil moisture (% vol) and bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) in thirty-years and seven-year vineyard.

Tablica 1. Analiza varijance otpora tla (MPa), trenutačne vlažnosti (% vol) i volumne gustoće tla ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) u tridesetogodišnjem i sedmogodišnjem vinogradu.

Glavni čimbenik (srednja vrijednost)	30G			7G		
Main effects (means)	PR	Mv	ρ_v	PR	Mv	ρ_v
CV (%)	27.43	13.88	3.73	32.74	12.71	3.40
Srednjak (Mean)	1.53	33.91	1.52	1.13	37.57	1.57
<i>P vrijednosti</i> (values)						
Pozicija (Position) – P	<0.0001***	0.0002***	0.0033**	<0.0001***	0.3751 ^{n.s.}	0.0708 ^{n.s.}
Dubina (Depth) – D	<0.0001***	0.7738 ^{n.s.}	<0.0001***	<0.0001***	0.0015**	0.0024**
Pozicija x Dubina (Position x Depth) - P x D	<0.0001***	0.2176 ^{n.s.}	0.8887 ^{n.s.}	0.0075**	0.4650 ^{n.s.}	0.9608 ^{n.s.}

^{a)}PR – otpor tla (soil resistance); Mv – trenutačna vlažnost (soil moisture); ρ_v – volumna gustoća tla (bulk density).

^{b)} $P \geq 0.05$ n.s., * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ i (and) *** $P < 0.001$ prema Tukey LSD (according to Tukey LSD)

Promatrano po slojevima tla PR su statistički najmanji u površinskom sloju kod oba vinograda (1.22 MPa kod 30G i 0.62 MPa kod 7G), u usporedbi s drugim slojevima (Grafikon 1a), što je i razumljivo s obzirom na načine obrade. Općenito, PR se statistički značajno povećavaju u oba vinograda s dubinom. Pozicijski učinci PR također su statistički opravdani kod oba vinograda na razini značajnosti $P < 0.001$ (tablica 1), s time da 30G značajno najmanji PR bilježi (grafikon 1b) u obrađenom međuredu (1.19 MPa), dok je značajno najveći zabilježen u zatravljenom međuredu (1.79 MPa). Prema grafikonu 1b, 7G također bilježi najmanje PR u obrađenom međuredu (0.89 MPa), dok su najveći zabilježeni unutar reda (1.18 MPa). Kada promatramo utjecaj pozicije na svakoj dubini (grafikon 1c), 30G najmanje vrijednosti bilježi obrađeni međuredni prostor (u većini promatranih slojeva, dok su najveći PR kod zatravljenog međureda). Kod 7G najmanje vrijednosti bilježi obrađeni međuredni prostor na svim dubinama, dok je najveći PR zabilježen u zatravljenom međuredu na

dubini 0-10 cm (0.79 MPa), te unutar reda na dubinama 11-20 (1.02 MPa), 21-30 (1.43 MPa) i 31-40 cm (1.58 MPa).

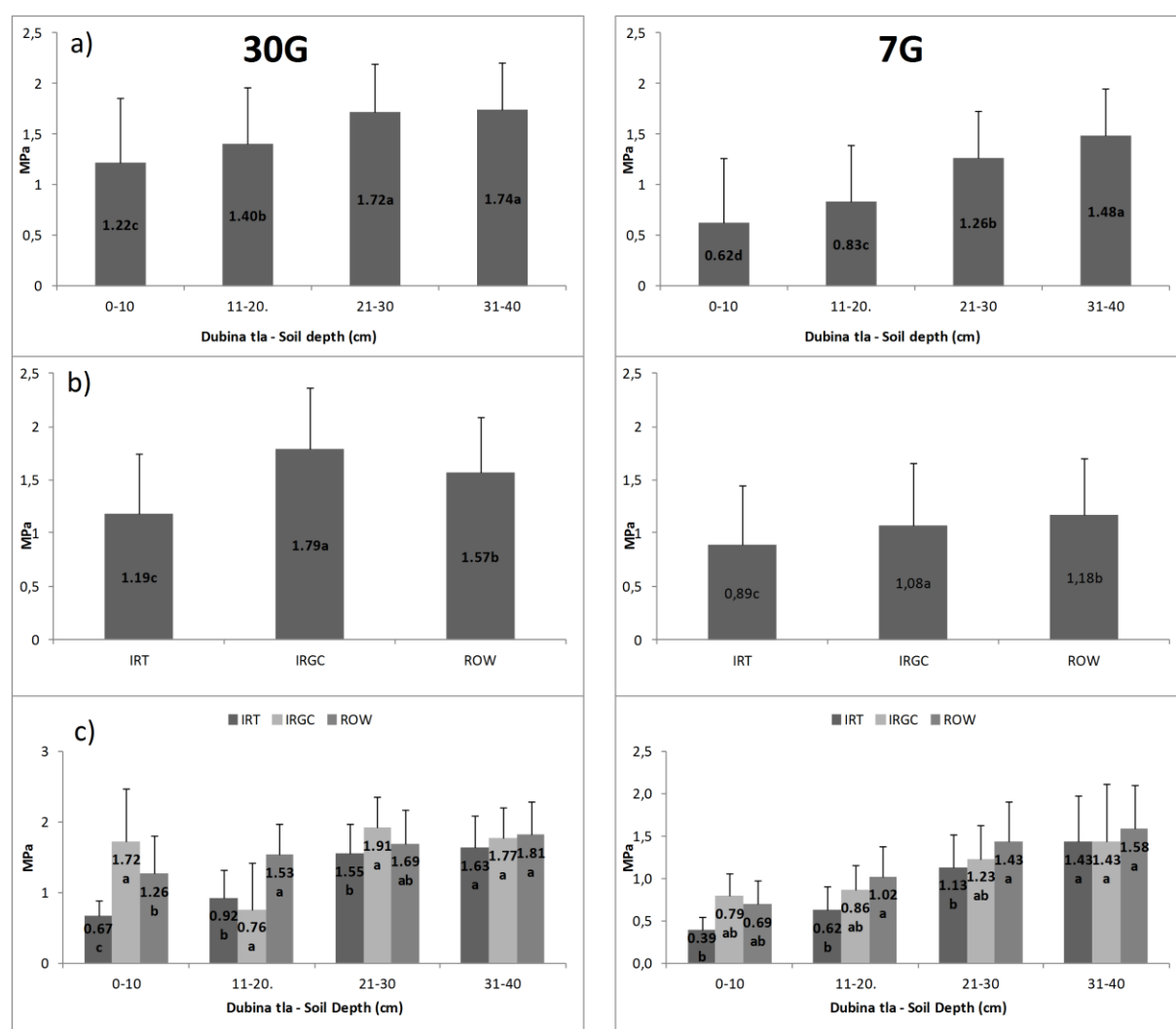


Figure 1. Penetration resistance post-hoc test (Tukey) for a) Depth, b) Position and c) Depth * Position interaction for thirty-years (left side) and seven-year (right side) vineyard.

Grafikon 1. Post-hoc test (Tukey) otpora tla za: a) Dubinu, b) Poziciju i c) interakciju Dubina * Pozicija za tridesetogodišnji (lijeva strana) i sedmogodišnji (desna strana) vinograd.

*Different letters means significant difference at a P < 0.05. Hanging bars represent standard deviation. IRT – tilled interrow; IRGC –grass covered interrow; ROW – row position

*Drugačija slova znače da su razlike značajne na razini P < 0.05. Okomite trake označuju standardnu devijaciju. IRT – obrađeni međuredni prostor; IRGC – zatravljeni međuredni prostor; ROW – red.

Prema grafikonu 2 trenutačna vlažnost (Mv) obrnuto je proporcionalna srednjim vrijednostima otpora zabilježenim u 30G i 7G. Između vinograda (tablica 1), 7G bilježi 10% više vlage (37.57 % vol) nego 30G (33.91 %vol). Analiza varijance nije

zabilježila značajne razlike između mjesta uzorkovanja ($P = 0.3751$) kod 7G, te među dubinama kod 30G (tablica 1). Također, interakcija Pozicija x Dubina nije zabilježila značajnu razliku u Mv kod oba vinograda (30G, $P = 0.2176$; 7G, $P = 0.4650$). Povećanje sadržaja vlage po istraživanim slojevima zabilježeno je s povećanjem dubine (grafikon 2a). Najmanja Mv zabilježena je u sloju tla od 0 do 10 cm, a najveća na dubini od 20 do 30 cm u svim vinogradima.

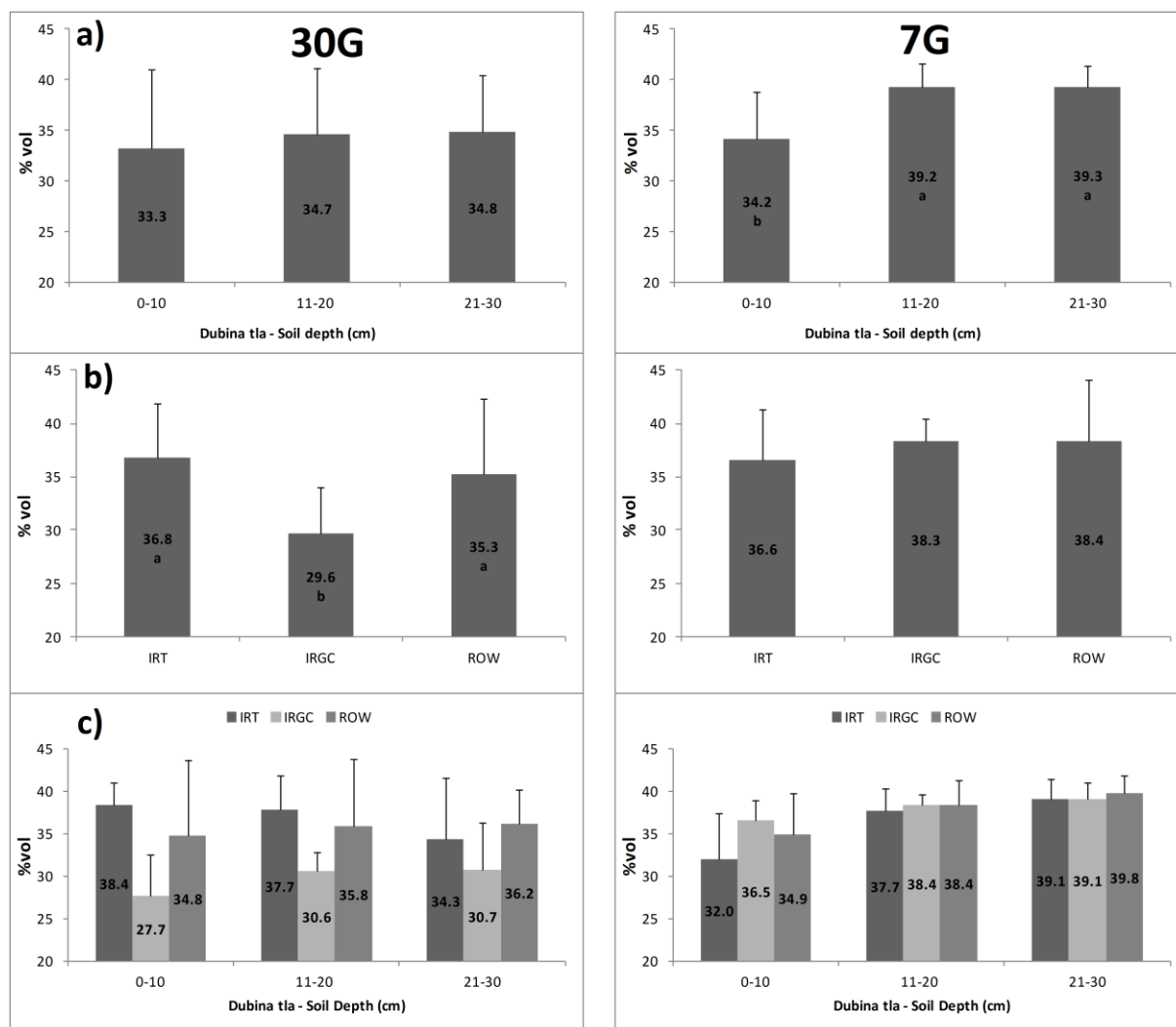


Figure 2. Soil moisture post-hoc test (Tukey) for a) Depth, b) Position and c) Depth * Position interaction for thirty-years (left side) and seven-year (right side) vineyard.

Grafikon 2. Post-hoc test (Tukey) trenutačne vlažnosti tla za a) Dubinu, b) Poziciju i c) interakciju Dubina * Pozicija za tridesetogodišnji (lijeva strana) i sedmogodišnji (desna strana) vinograd.

*Different letters means significant difference at a $P < 0.05$. Hanging bars represent standard deviation. IRT – tilled interrow; IRGC – grass covered interrow; ROW – row position.

*Drugačija slova znače da su razlike značajne na razini $P < 0.05$. Okomite trake označuju standardnu devijaciju. IRT – obrađeni međuredni prostor; IRGC – zatravljeni međuredni prostor; ROW – red.

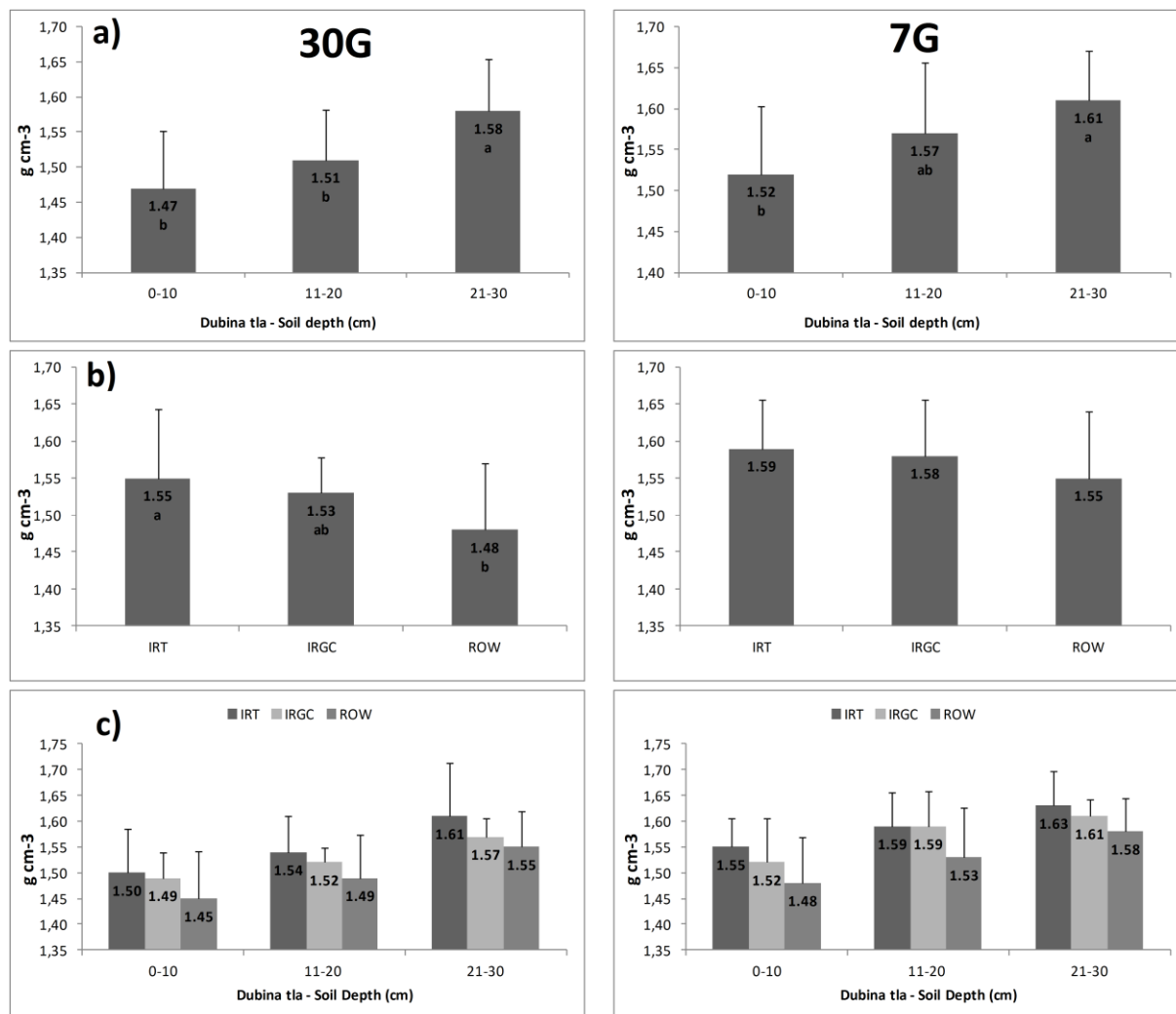


Figure 3. Bulk density post-hoc test (Tukey) for a) Depth, b) Position and c) Depth * Position interaction for thirty-year (left side) and seven-year (right side) vineyard.

Grafikon 3. Post-hoc test (Tukey) volumne gustoće tla za a) Dubinu, b) Poziciju i c) interakciju Dubina * Pozicija za tridesetogodišnji (lijeva strana) i sedmogodišnji (desna strana) vinograd.

*Different letters means significant difference at a P < 0.05. Hanging bars represent standard deviation. IRT – tilled interrow; IRGC – grass covered interrow; ROW – row position.

*Drugačija slova znače da su razlike značajne na razini P < 0.05. Okomite trake označuju standardnu devijaciju. IRT – obrađeni međuredni prostor; IRGC – zatravljeni međuredni prostor; ROW – red.

Vrijednosti izmjerene volumne gustoće (ρ_v) kreću se između 1.45 i 1.61 g*cm⁻³ kod 30G, te 1.48 i 1.63 g*cm⁻³ kod 7G (grafikon 3c). Srednje vrijednosti ρ_v veće su kod 7G (1.57 g*cm⁻³) nego kod 30G (1.52 g*cm⁻³), dok je varijabilnost ρ_v u prostoru niska u oba vinograda s CV ispod 4% (tablica 1). Signifikantan utjecaj dubine tla na ρ_v je značajan i kod 7G (P = 0.0024) i kod 30G (P < 0.001), dok je utjecaj pozicije značajan samo kod 30G (P = 0.0033), ali ne kod 7G (P = 0.0708). Interakcijski efekt P x D nije pokazao da se ρ_v značajno razlikuju između pozicija na određenim dubinama (tablica 1). Međutim, promatranjem ρ_v po horizontima, vidljiv je isti obrazac

kao i kod otpora tla – ρ_v raste s dubinom kod oba vinograda (grafikon 3a). Oba vinograda na svim dubinama bilježe manje vrijednosti ρ_v u prostoru unutar reda, dok je veća ρ_v zabilježena u međurednom prostoru, bilo obrađenom ili zatravljenom (grafikon 3c). Općenito, u svim slojevima tla svih vinograda obrađeni međured bilježi veće vrijednosti ρ_v nego zatravljeni međuredni prostor.

Rasprava

Promatrajući PR u 30G i 7G primjećuje se da je radi provedenih zahvata obrade između redova utvrđena manja zbijenost nego u redovima. Slične rezultate dobivaju Kvaternjak i sur. (2012) u agroekološkim uvjetima Križevaca na istraživanju otpora tla u petogodišnjem i tridesetogodišnjem vinogradu. Isti autori također zamjećuju veće PR u tridesetogodišnjem vinogradu u svim dubinama tla od petogodišnjeg vinograda. Iako se navedeni rezultati njihove studije poklapaju s rezultatima ovih istraživanja, ne možemo tvrditi da je zbijenost 30G uslijed dugogodišnjeg gaženja veća od 7G. Inače, PR mjereni penetrometrom najviše ovise o stanju trenutačne vlažnosti (Hamza i Anderson, 2005) što uvjetuje njihovu veliku vremensku varijabilnost već zamijećenu u prijašnjim radovima (Bogunović i sur., 2014; Kisić i sur., 2000). Zabilježeni rezultati PR u vinogradima izmjereni su pri različitim stanjima vlažnosti (u prosjeku 7G ima 10% vol više vlage nego 30G), stoga ih treba uzeti s rezervom. Također, promjene u zbijenosti tla česte su tijekom godina, a razlozi su uporaba mehanizacije pri osnovnoj i dopunskoj obradi, transportu, unosu gnojiva i zaštitnih sredstava, čime se dinamično na istoj površini mijenjaju vrijednosti zbijenosti. Također, treba uzeti u obzir da se PR mjeri u jednoj točki (Castrignanò i sur., 2002), što uvjetuje njegovu veliku varijabilnost, koja je posljedica prostornih i dubinskih promjena nekih značajki tla: teksture, strukture i sadržaja organske tvari, te prethodnog načina gospodarenja tlom (Cassel, 1982). U ovom istraživanju zamjećujemo povećanje PR a s dubinom, a najveće vrijednosti u svim vinogradima dobivene su u najdubljem sloju (30 - 40 cm). Povećanje PR s dubinom odgovara mnogim drugim radovima u inozemstvu (Gooderham, 1976; López i sur., 1996; Unger i Jones, 1998) te u ekološkim uvjetima Panonske Hrvatske (Bogunović i sur., 2014; Kisić i sur., 2000; Tursic i Mesic, 2011), neovisno o načinu gospodarenja tlom. Usporedno s povećanjem PR povećavaju se vrijednosti ρ_v . Za razliku od PR, ρ_v je čimbenik koji daje vrijednosti izravno usporedive za sva tla (Håkansson i Lipiec, 2000). Tako Van Dijck i Van Asch (2002) utvrđuju ρ_v u međuredu koja se kreće od $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ na površini međureda, do $1.61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ u podpovršinskom horizontu. Iznesene vrijednosti ne odstupaju drastično od zabilježenih vrijednosti u ovom istraživanju. Ipak, rezultati ovog istraživanja navode da tlo istraživanih vinograda nije ograničavajući faktor za razvoj korijena vinove loze, jer tla imaju povoljne fizikalne značajke kada je porozitet tla oko 48 %, ρ_v oko $1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, a mehanički PR između 1.5 i 2.5 MPa (Birkás i sur., 2008). Sadašnje istraživanje bilježi PR ispod razine od 2 MPa koji su prema Taylor-u (1971) povoljne za neometan rast korijena. Vrijednosti ρ_v unutar redova su oko $1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ i ne predstavljaju bitno ograničenje za korijenov razvoj, dok međuredni prostor, obrađeni i zatravljeni, bilježe povećane vrijednosti (do $1.59 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) i mogu predstavljati ograničenje za neometan razvoj (Hassan i sur., 2007). Razlog za zadržavanje stanja tla ispod kritičnih razina PR (> 3.0 MPa) i donekle kritičnih razina ρ_v (> $1.60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) su provedeni zahvati obrade u toku vegetacije, čiji rezidualni učinak (čak i u zatravljenom međuredu) djeluju na način da zbijenost tla u istraživanim vinogradima

nije značajnije izražena, čak i pod utjecajem višestrukog gaženja mehanizacijom i priključnim ratilima.

Zaključak

U istraživanim vinogradima zabilježen je signifikantno manji PR u obrađenim međuređovima u odnosu na zatravljene međuređove što je direktan utjecaj provedene obrade. Vrijednosti ρ_v u oba vinograda najmanje su unutar reda što povoljno djeluje na razvoj korijena. Povećane vrijednosti ρ_v koje mogu djelovati inhibitorno na razvoj korijena bilježi prostor međuređova na dubini 20-30 cm u svim vinogradima. Sadržaj vlage u svim vinogradima bio je najmanji u površinskom sloju tla. Utvrđena vlažnost povećavala se s povećanjem dubine. Nije zabilježeno veće odstupanje u zbijenosti promatrajući 30G i 7G. Dapače, veće vrijednosti ρ_v zabilježene kod 7G navode da je način gospodarenja (obrada u redovima i međuređnom prostoru) tlo važniji faktor od broja prolaska mehanizacije. Vrijednosti PR ne daju potpunu sliku jer od svih čimbenika najviše ovise o Mv tla, koja ovisi o padalinama i različitim vremenima uzorkovanja. U budućim istraživanjima potrebno je provesti veći broj uzorkovanja kroz vegetacijsku sezonu, te uzeti u obzir i detaljne značajke pedofizikalnih parametara, kako bi se potpunije shvatila ova problematika i detaljnije utvrdilo vremensko variranje čimbenika zbijenosti tla uslijed obrade i gaženja mehanizacijom.

Literatura

- Birkás, M., Jolánkai, M., Gyuricza, C., Percze, A. (2004) Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil and Tillage Research*, 78 (2), 185-196. DOI: [10.1016/j.still.2004.02.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.006)
- Birkás, M., Szalai, T., Gyuricza, C., Gecse, M., Bordás, K. (2002) Effects of disk tillage on soil condition, crop yield and weed infestation. *Rostlinna Vyroba*, 48 (1), 20-26.
- Birkás, M., Szalai, T., Nyárai Horvath, F. (1996) Problems of the soil physical condition and the soil tillage in Hungary. *Hungarian Agricultural Research*, 1, 8–12.
- Birkás, M., Szemők, A., Antos, G., Neményi, M. (2008) Environmentally-sound adaptable tillage. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Bogunović, I., Kisić, I., Jurišić, A. (2014) Soil Compaction under Different Tillage System on Stagnic Luvisols. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79 (1), 57-63.
- Campbell, D. J., Henshall, J. K. (1991) Bulk density. In: K. A. Smith, C. E. Mullins, eds. (1991) *Soil Analysis: Physical Methods*. New York: Marcel Dekker, 329-366.

- Cassel, D. K. (1982) Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: P. W. Unger, D. M. Van Doren Jr., eds. (1982) Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison, WI: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. American Society of Agronomy Special Publication Number, 44, 45-67. DOI: [10.2134/asaspecpub44.c4](https://doi.org/10.2134/asaspecpub44.c4)
- Castrignanò, A., Maiorana, M., Fornaro, F., Lopez, N. (2002) 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 65 (1), 95-108. DOI: [10.1016/S0167-1987\(01\)00288-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00288-4)
- Flowers, M. D., Lal, R. (1998) Axle load and tillage effect on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. *Soil and Tillage Research*, 48 (1-2), 21–35. DOI: [10.1016/S0167-1987\(98\)00095-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00095-6)
- Gooderham, P. T. (1976) The effect on soil conditions of mechanized cultivation at high moisture content and of loosening by hand digging. *The Journal of Agricultural Science*, 86 (3), 567-571. DOI: [10.1017/S0021859600061116](https://doi.org/10.1017/S0021859600061116)
- Hamza, M. A., Anderson, W. K. (2005) Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2), 121-145. DOI: [10.1016/j.still.2004.08.009](https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009)
- Harris, W. L. (1971) The soil compaction process. *Compaction of agricultural soils*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 9-44.
- Hassan, F. U., Ahmad, M., Ahmad, N., Abbasi, M. K. (2007) Effects of subsoil compaction on yield and yield attributes of wheat in the sub-humid region of Pakistan. *Soil and Tillage Research*, 96 (1), 361-366. DOI: [10.1016/j.still.2007.06.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2007.06.005)
- Håkansson, I. (1990) A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil and Tillage Research*, 16 (1-2), 105-120. DOI: [10.1016/0167-1987\(90\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90024-8)
- Håkansson, I., Lipiec, J. (2000) A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53 (2), 71–85. DOI: [10.1016/S0167-1987\(99\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00095-1)
- Håkansson, I., Voorhees, W. B. (1997) Soil compaction. In: R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine, B. A. Stewart, eds. (1997) *Methods for Assessment of Soil Degradation*. New York: CRC Press, 167–179.
- Kisić, I., Bašić, F., Mesić, M., Butorac, A. (2000) Soil resistance under different tillage methods. In: Kheoruenromne, Irb., *Proceedings of 2 Workshop and International Conference - 17 World Congress of Soil Science: Confronting New Realities in the 21 Century*. Bangkok, Thailand, August 14-21 2000, The Congress: Kasetsart University.

- Kvaternjak, I., Kisić, I., Špoljar, A., Kamenjak, D., Jelen, R. (2012) Mechanical resistance of soil in selected vineyards of different ages in Križevci area. In: Pospišil, M., Proceedings of the 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture. Opatija, Croatia, 13-17 February 2012, Zagreb: University of Zagreb Faculty of Agriculture, 74-77.
- López, M. V., Arrúe, J. L., Sánchez-Girón, V. (1996) A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon. *Soil and Tillage Research*, 37 (4), 251-271. DOI: [10.1016/0167-1987\(96\)01011-2](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01011-2)
- Taylor, H. M. (1971) Effect of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: K. K. Barnes, W. M. Carleton, H. M. Taylor, R. I. Thorckmorton, G. E. Vanden Berg, eds. (1971) *Compaction of Agricultural Soils*, American Society of Agricultural Engineering. Michigan: St. Joseph, 292–305.
- Tursic, I., Mesic, M. (2011) Soil compaction consequences in tobacco production in Croatia. In: M. Birkas, M. Mesić, eds (2011) *Impact of tillage and fertilization on probable climate threats in Hungary and Croatia, soil vulnerability and protection*. Godollo: Szent Istvan University Press, 131-137.
- Unger, P. W., Jones, O. R. (1998) Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil and Tillage Research*, 45 (1), 39-57. DOI: [10.1016/S0167-1987\(97\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00068-8)
- Van Dijck, S. J. E., van Asch, T. W. (2002) Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil and Tillage Research*, 63 (3), 141-153. DOI: [10.1016/S0167-1987\(01\)00237-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00237-9)