

# Vliv přejezdu zemědělské techniky na utužení půdy

EFFECT OF AGRICULTURAL MACHINERY MOVEMENT ON SOIL COMPACTION

Adam Polcar<sup>1</sup>, Jana Šimečková<sup>2</sup>, Jiří Votava<sup>1</sup>, Vojtěch Kumbár<sup>1</sup><sup>1</sup> Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova univerzita v Brně<sup>2</sup> Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Mendelova univerzita v Brně

Půda je pravidelně vystavována různým vnějším vlivům, které mohou mít negativní vliv na její vlastnosti. Jedním z nich je pojezd zemědělské techniky, který zhoršuje fyzikální vlastnosti půdy a může vést až k jejímu utužení, resp. pedokompakci, což snižuje půdní úrodnost. Tento stav je nežádoucí a neslučitelný s trvale udržitelným zemědělstvím. Jsou s ním spojeny vyšší finanční náklady na zpracování půdy, zvětšuje náchylnost k erozi anebo vede ke snížení výnosu.

Utužením je v Česku ohroženo kolem 49 % zemědělských půd. Z toho asi 30 % je zranitelných tzv. genetickým utužením při vytvoření zajištěných iluviálních a případně oglejených horizontů a více než 70 % je vystaveno tzv. technogennímu utužení (1). Celosvětově je utužením degradováno asi 68 mil. ha zemědělské půdy (2). Nejčastěji se zhutnění vyskytuje v hloubce 0,3 až 0,4 m (což je možné přisuzovat tomu, že v této hloubce není utužení upravováno agrotechnickými operacemi, např. hlubokou orbou), ale největší napětí půdy bývá sledováno v dolní části ornice (v hloubce 0,1 až 0,2 m) (3).

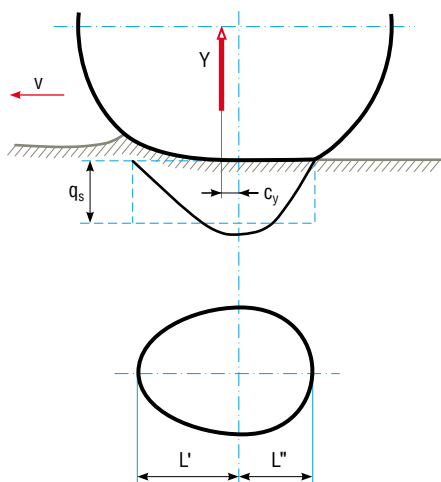
Utužení půdního prostředí se považuje za jeden z nejvíce škodlivých vlivů snižujících potenciální produktivitu zemědělství (4). Kompakci vyvolané změny vodního a vzdušného režimu mají negativní vliv na kořenový systém rostlin. U cukrové řepy se objevuje mrcasatění bulv, u brambor deformace hlíz. U plodin vytvářejících kulový kořen (řepka olejka, sója, slunečnice) se kořen vyvíjí horizontálně a dochází k deformaci. Příjem vody

a živin je omezený a vznikají výnosové ztráty (5). Utužení může negativně působit i na využití dusíkatých hnojiv (6).

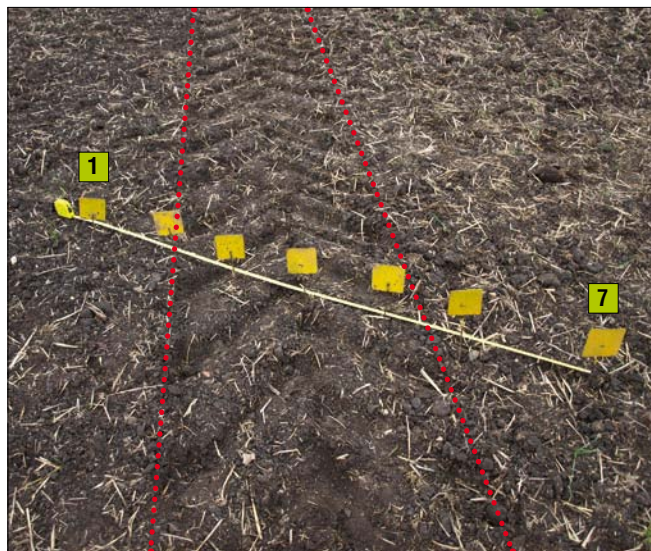
Zhutnění půdy ovlivňuje několik navzájem propojených systémů – vlastnosti stroje, pneumatik a půdy. Hmotnost zařízení ovlivňuje zatížení kol, které působí na půdu (7). Konečná velikost tlaku a jeho rozložení je výrazně ovlivněna pneumatikami (8, 9). Obr. 1. znázorňuje průběh kontaktního tlaku pod pohybující se pneumatikou na měkké podložce. Je z něj patrné, že při pohybu pneumatiky dochází k předsunutí normálové reakce  $Y$  před svislou osou o hodnotu  $c_y$  vlivem deformace pneumatiky. Při pohybu kola na měkké podložce způsobuje toto posunutí normálové reakce nejenom deformace pneumatiky, ale také reakce půdy. Délka dosedací plochy je z tohoto důvodu před osou kola  $L'$  větší než její délka  $L''$  za osou kola (10). Hmotnost stroje je na půdu přenášena na omezené ploše vymezené pneumatikami. Částečně lze regulovat plochu otisku změnou tlaku v pneumatice. Větší zatížení stroje se projevuje na půdě především tehdy, je-li půda v oslabeném stavu (např. velká vlhkost půdy na pozemku) (11).

Jak bylo uvedeno a jak uvádějí BOTTA ET AL. (7), míra vlivu pojezdu zemědělské techniky po orné půdě velmi závisí na půdním typu, vlastnostech půdy a jejím momentálním stavu, zejména na vlhkosti půdy. Výsledky pokusu GHOLAMHOSEINA (12) ukazují na to, že se zvyšující se vlhkostí půdy se lineárně zvyšuje její zhutnění. Zemědělci jsou však často nuceni provádět

Obr. 1. Průběh kontaktního tlaku pod pohybující se pneumatikou na měkké podložce (10)



Obr. 2. Rozmístění vpichů přes kolejový řádek



agrotechnické operace za nepříznivých vlhkostních stavů (jak vyšších, tak nižších) s ohledem na potřebu výsevu či sklizně plodin. Přenášení tlaku v plastickém stavu půdy prochází do větších hloubek (13). Naopak u nižší vlhkosti nemusí docházet k výrazné změně ve větších hloubkách, neboť „přenášecí“ schopnost půdy je omezená.

Cílem našeho článku je charakterizovat vliv dvou různých tlaků huštění pneumatik a zatížení kol traktoru na penetrometrický odpor půdy, resp. na její utužení.

### Materiál a metody

V polním pokusu byly sledovány vlivy dvou různých tlaků huštění pneumatik a zatížení kol traktoru na penetrometrický odpor půdy. Měření se uskutečnilo v říjnu na pozemku jižně od jihomoravské obce Otmarov (49°6'1.848" N a 16°40'21.640" E). Lokalita se nachází 193 m n. m., v místě měření je nulová svažitost.

Půda, na které bylo měření prováděno, na základě české klasifikace půd je černice (14). Z hlediska fyzikálních a chemických půdních vlastností je tento půdní typ popisován jako velmi úrodný. Půdním druhem byla půda hlinitá. Vlhkost se v hloubce od 0 do 10 cm pohybovala v průměru okolo 24,5 % obj., ve větších hloubkách v průměru okolo 32,65 % obj.

Pokus, jak je nutné uvést, byl realizován v reálných podmínkách rostlinné produkce. Pozemek je dlouhodobě využíván pro pěstování plodin soukromým zemědělcem, tj. jako orná půda. Osevní postup tvoří střídání ozimé pšenice a slunečnice roční. Před měřením byla na pozemku pěstována ozimá pšenice. Sklizeň proběhla v průběhu července, sláma byla podrcena a rovnoměrně rozhozena po povrchu. V červenci byl pozemek dále ošetřen podmítkou sklizeného strniště těžkým talířovým kypřičem (hloubka 10 cm) a v průběhu září proběhla podmítka krátkým talířovým kypřičem (hloubka 12 cm).

Pro zjištění vlivu různého tlaku pneumatik na utužení půdy byl zvolen traktor německé výroby Deutz-Fahr, model Agrottron X720. V první variantě „bez zatížení“ bylo provedeno měření se samotným traktorem, jehož hmotnost byla 10 160 kg. V druhé variantě byl traktor osazený v předním tříbodovém závěsu závažím a v zadním tříbodovém závěsu neseným talířovým kypřičem. Celková hmotnost stroje ve variantě „zatížený“ byla 14 750 kg, rozměr předních pneumatik byl 600/65 R38 a zadních pneumatik 710/70 R42. Pneumatiky byly radiální se směrovým šípovým dezénem.

Tlak huštění pneumatik byl zvolen 200 a 100 kPa pro obě varianty zatížení kol. Celkem tedy byly měřeny 4 varianty. S tlakem huštění 200 kPa byly pneumatiky standardně provozovány. Nízký tlak huštění (100 kPa) byl zvolen s ohledem na doporučení výrobce pneumatik. Pojezdová rychlost traktoru přes zkušební parcelu byla přibližně 10 km·h<sup>-1</sup>. Pro porovnání bylo také provedeno měření penetrometrického odporu půdy na volném pozemku – bez pojezdu traktoru.

Měření odporu půdy bylo prováděno pomocí penetrometru typu Penetrolloger od společnosti Eijkelkamp. Přesnost přístroje je ≤ 1 %, data jsou zobrazována na grafickém displeji a ukládána do vestavěné paměti přístroje.

V každé variantě bylo prováděno sedm vpichů o rovnoměrném odstupu mezi jednotlivými vpichy (obr. 2.). Protože se tlak v půdě při přejezdu traktoru může šířit také do stran, bylo uvnitř koleje provedeno pět vpichů, zbývající dva vpichy byly vedle stopy. Měření bylo prováděno do hloubky 60 cm. Pro zajištění

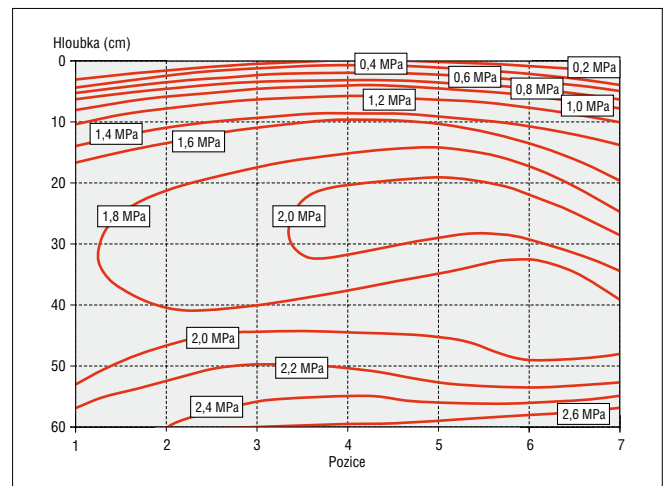
statistické významnosti byla každá varianta třikrát opakována. Pro hodnocení, zda jsou rozdíly v jednotlivých variantách statisticky významné, byl použit ANOVA test s následným mnohonásobným porovnáváním pomocí Fischerova testu.

### Výsledky a diskuse

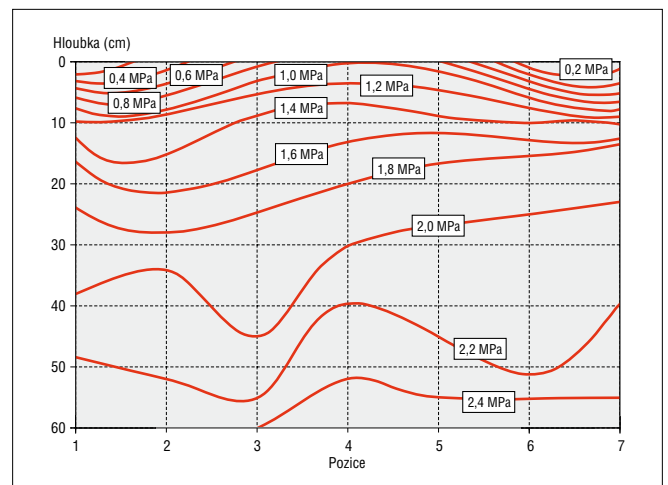
V první fázi proběhlo hodnocení vlivu zatížení na změnu rozložení průběhu tlaku pod pneumatikou. Výsledky jsou vyjádřeny na obr. 3. a 4. V grafech jsou znázorněny křivky konstantních penetrometrických tlaků u nezatíženého (obr. 3.) i zatíženého traktoru (obr. 4.) při tlaku huštění pneumatik 100 kPa. Jak je z grafů patrné, k největším změnám resp. k nejvyšším hodnotám penetrometrického odporu dochází uprostřed jízdní stopy – tedy u pozice vpichu 3 až 5. V důsledku pojezdu dochází ke značným změnám do hloubky cca 10 cm jak pro nezatížený, tak i pro zatížený traktor. To úzce souvisí s předcházející hloubkou zpracování pozemku pomocí talířového kypřiče.

Podrobnější hodnocení změn penetrometrického odporu do hloubky 20 cm (nejenom z hlediska rozdílného zatížení traktoru,

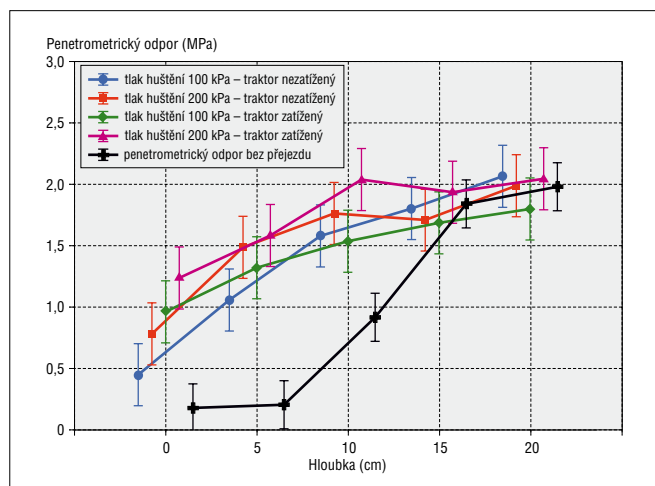
Obr. 3. Rozložení penetrometrického odporu v půdě po přejezdu nezatíženého traktoru při tlaku huštění pneumatik 100 kPa



Obr. 4. Rozložení penetrometrického odporu v půdě po přejezdu zatíženého traktoru při tlaku huštění pneumatik 100 kPa



Obr. 5. Výsledky ANOVA testu, body představují průměrné hodnoty a 95% intervaly spolehlivosti



ale i tlaku huštění pneumatik) je znázorněno na obr. 5., kde jsou již uvedeny vypočtené průměrné hodnoty z opakovaných měření pro jednotlivé hloubky, které byly naměřeny ve střední části pneumatiky. Jsou v něm vyneseny i hodnoty naměřené na

volném pozemku, tj. na pozemku bez přejezdu. Jak je z obr. 5. patrné, tak po přejezdu dochází k nárůstu penetrometrického odporu půdy. Ke změně odporu půdy dochází zejména ve svrchních vrstvách do 10 cm hloubky. V hloubce 15 a 20 cm jsou hodnoty penetrometrického odporu srovnatelné s hodnotami naměřenými na pozemku bez přejezdu traktoru. K největšímu nárůstu dochází při tlaku huštění 200 kPa při zatíženém traktoru, nejméně u traktoru nezatíženého, při tlaku huštění 100 kPa. Přehled o tom, zda je změna penetrometrického odporu statisticky významná je patrná z výsledků mnohonásobného porovnávání pomocí Fischerova testu (tab. I.). Jak je z tabulky patrné, tak ve svrchní vrstvě byl zjištěn statisticky významný rozdíl (na hladině významnosti 95 %) mezi variantami s různým zatížením (bez zjištěného vlivu tlaku huštění). V hloubce 5 cm byl zjištěn statisticky významný rozdíl penetrometrického odporu přejezdu nezatíženého traktoru s tlakem huštění 100 kPa od dalších variant. V hloubce 10 cm byly zjištěny statistické rozdíly variant s rozdílným tlakem huštění (bez pozorovaného vlivu zatížení). Od hloubky 15 cm nebyly zjištěny (až na variantu 100 kPa zatížený traktor) statisticky významné rozdíly.

Na základě těchto výsledků nelze jednoznačně říci, zda změna tlaku huštění z 200 kPa na 100 kPa nebo změna zatížení traktoru o 4 590 kg má statisticky významný vliv na rozdíly v penetrometrickém odporu půdy. S ohledem na již zmíněné

Tab. I. Výsledky mnohonásobného porovnávání pomocí Fischerova testu (na hladině významnosti 95 %)

Hloubka (cm)	Varianta	Penetrometrický odpor (MPa)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	bez přejezdu	0,172	a											
5		0,198	a											
10		0,912			c									
15		1,838								h	i	j	k	
20		1,978										j	k	
0	100 kPa – N	0,443333	a	b										
5		1,053333			c	d	e							
10		1,576667						f	g	h	i			
15		1,8								g	h	i	j	k
20		2,063333												k
0	200 kPa – N	0,776667		b	c									
5		1,483333						f	g					
10		1,76								g	h	i	j	k
15		1,706667								g	h	i	j	k
20		1,986667											j	k
0	100 kPa – Z	0,956667			c	d								
5		1,316667					e	f						
10		1,533333							f	g	h			
15		1,683333								g	h	i	j	
20		1,796667								g	h	i	j	k
0	200 kPa – Z	1,233333				d	e	f						
5		1,58							f	g	h	i		
10		2,036667											j	k
15		1,933333										i	j	k
20		2,043333												k

N – traktor nezatížený; Z – traktor zatížený; stejné indexy (písmeno) indikují statistickou nevýznamnost rozdílu penetrometrického odporu dané varianty v příslušné hloubce.

skutečnosti v úvodní části článku je možné říci, že zjištěné závěry budou do jisté míry ovlivněny zejména vlastnostmi a stavem půdy, na které měření probíhalo.

Na základě mezních hodnot kritických vlastností zhutněných půd lze říci, že limitní hodnoty penetrometrického odporu hlinité půdy by ve vrchní vrstvě (0–10 cm) při zjištěné vlhkosti 24,5 % měly být 2,2–2,6 MPa (15). Uvedené limitní hodnoty nebyly ve vrstvách do 10 cm žádnou z prováděných variant překročeny.

ARVIDSSON A KELLER (17) publikovali výsledky studie, která se zabývala vlivem tlaku pod styčnou plochou pneumatik traktoru na nežádoucí zhutnění půdy. Výsledky jejich práce poukazují na to, že tlak huštění významně ovlivňuje utužení půdy zejména v menších hloubkách (do 30 cm). Nežádoucí zhutnění vyskytující se v půdním podloží (hloubky nad 30 cm) je pak výsledkem zhutnění způsobeném zejména zatížením kol a v dlouhodobějším měřítku nedostatečnou hloubkou zpracování půdy (17).

Jak uvádějí RENČÍN ET AL. (18), zabývající se vlivem zatížení traktorových pneumatik na měrný tlak působící na půdu, tak změna tlaku huštění a zatížení se promítne do plochy otisku pneumatiky. Hodnocení prováděli u pneumatik Michelin Multibib 650/65 R38 při změně tlaku z 80 kPa na 160 kPa (při různém zatížení kola od 21,5 kN do 36,55 kN). Autoři článku zjistili, že největší změny nastávají mezi tlakem 80 a 120 kPa. Změna plochy otisku mezi těmito huštěními byla 485,4 cm<sup>2</sup> s nárůstem tlaku v ploše otisku o 17,03 kPa (s ohledem na všechny varianty zatížení). Změna plochy otisku mezi 120 kPa a 160 kPa byla téměř trojnásobně menší, resp. pouze 171,1 cm<sup>2</sup>. Změna tlaku v ploše otisku mezi 120 kPa a 160 kPa byla pouze 7,83 kPa.

Hodnocení vlastností pneumatik z hlediska faktorů ovlivňujících ekonomiku traktorových souprav prováděl KATREŇČÍK (19). Z výsledků jeho práce mimo jiné vyplývá, že tahové vlastnosti traktoru výrazně ovlivňuje tlak huštění pneumatik a úhel sklonu šípů pneumatik. Zjistil, že při změně tlaku huštění u stejného typu pneumatik ze 160 kPa na 80 kPa se průměrně zvýší tahová účinnost traktoru o 13 % a měrná tahová spotřeba klesne o 13,1 %. Obdobné výsledky přináší i studie zkoumající vliv tlaku huštění pneumatik na výstupní parametry traktorové soupravy v roce 2007 publikovaná SEDLÁKEM ET AL. (20), kteří na základě výsledku měření došli k závěrům, že snížení tlaku v pneumatikách dochází ke zvýšení tahové síly, tahového výkonu, poklesu prokluzu kol a poklesu měrné tahové spotřeby.

## Závěr

Provedená měření měla za cíl zhodnotit vliv změny tlaku huštění pneumatik a zatížení na penetrometrický odpor půdy. Výsledky měření na daném pozemku nepotvrdily jednoznačný statisticky významný vliv mezi změnou zatížení kol a tlaku jejich huštění na rozdíly v penetrometrickém odporu půdy v celém půdním profilu, ve kterém ke změnám vlivem přejezdu docházelo. Nicméně, jak některé další studie ukázaly, změna tlaku huštění má vliv na změnu styčné plochy pneumatiky, změnu měrného tlaku pod pneumatikou a v nižších hloubkách i významný vliv na utužení půdy. Jak ale ARVIDSSON A KELLER (17) podotýkají, stres půdy není jednoduchou funkcí jak k tlaku pneumatik, tak ani k zatížení stroje. Mimo tyto parametry závisí také zejména na vlastnostech půdy a půdní kondici. Jak již bylo zmíněno v úvodu, je možné očekávat odlišné výsledky změn v utužení půdy v závislosti na pracovním tlaku pneumatik při jiných vlhkostrních podmínkách (především vyšší vlhkosti).



*Príspevek vznikl za podpory projektu ZETOR (EG15\_019/0004799–Zetor Tractors, a. s.): Optimální agregace stroje s traktorem.*

### Souhrn

Utuzení půdního prostředí se považuje za jeden z neškodlivějších vlivů snižujících potencionální produktivitu zemědělství. Zhutnění půdy ovlivňuje několik navzájem propojených systémů – vlastnost stroje, pneumatik a půdy. Cílem článku je zhodnotit vliv změnu tlaku huštění traktorových pneumatik o 100 kPa a zatížení o 4 590 kg na změnu penetrometrického odporu půdy. Provedená měření ukázala, že jak vlivem změny tlaku huštění pneumatik, tak i změnou zatížení kol dochází ke změně penetrometrického odporu, nicméně výsledky měření na daném pozemku nepotvrdily jednoznačný statistický významný vliv mezi změnou zatížení kol a tlaku jejich huštění na rozdíl v penetrometrickém odporu půdy v celém měřeném půdním profilu. Jak však některé další studie ukázaly, změna tlaku huštění má vliv na změnu styčné plochy pneumatiky, změnu měrného tlaku pod pneumatikou a v nižších hloubkách i vliv na utuzení půdy, nicméně velikost této změny bude dána mimo jiné zejména vlastnostmi dané půdy.

**Klíčová slova:** tlak huštění pneumatik, zatížení kol, utuzení půdy.

### Literatura

1. *Situační a výhledová zpráva – půda*. 1. vyd., Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2018, 143 s.
2. FLOWERS, M. D.; LAL, R.: Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. *Soil Tillage Res.*, 1998 (48), s. 21–35.
3. BOTTA, G. F.; BECERRA, A. T.; MELCON, F. B.: Seedbed compaction produced by traffic on four tillage regimes in the rolling Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.*, 2009 (105), s. 128–134.
4. FLEIGE, H.; HORN, R.: Field experiments on the effect of soil compaction on soil properties, runoff, interflow and erosion. In HORN, R.; VAN DEN AKKER, J. J. H.; ARVIDSSON, J. (EDS.): *Subsoil Compaction: Distribution, Processes and Consequences*. Catena Verlag, 2000, s. 258–268.
5. SLOEY, T.; HESTER, M.: Interactions between soil physicochemistry and belowground biomass production in a freshwater tidal marsh. *Plant and Soil.*, 2016 (401), s. 397–408.
6. TULLBERG, J.: Tillage, traffic and sustainability – A challenge for ISTRO. *Soil Tillage Res.*, 2010 (111), s. 26–32.

7. BOTTA, G. F. ET AL.: Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. *Soil Tillage Res.*, 2008 (101), s. 44–51.
8. LAMANDE, M.; SCHJØNNING, P.: Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load. *Soil Tillage Res.*, 2011 (114), s. 71–77.
9. BARBOSA, L. A. P.; MAGALHÃES, P. S. G.: Tire tread pattern design trigger on the stress distribution over rigid surfaces and soil compaction. *J. Terramechanics*, 2015 (58), s. 27–38.
10. BAUER, F. ET AL.: *Traktory a jejich využití*. 2. vyd., Praha: Profi Press, 2013, 224 s., ISBN 978-80-86726-52-6.
11. JAVŮREK, M. ET AL.: Impact of different soil tillage technologies on soil erosion effect mitigation. *Scientia Agric. Bohem.*, 2008 (39), s. 218–223.
12. GHOLAMHOSSEIN, S.; MOHAMMADREZA, A.: Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer. *J. Terramechanics*, 2015 (59), s. 19–25.
13. MOSADDEGHI, M. R. ET AL.: Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil Tillage Res.*, 2000 (55), s. 87–97.
14. NĚMEČEK, J.: *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. vyd., Praha: ČZU v Praze, 2011, 78 s.
15. LHOTSKÝ, J.: *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Praha: ÚZPI, 2000, 61 s., ISBN 80-7271-067-2
16. KELLER, T.; ARVIDSSON, J.: Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. *Soil and Tillage Res.*, 79, 2004 (2), s. 191–205.
17. ARVIDSSON, J.; KELLER, T.: Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. *Soil and Tillage Res.*, 96 2007 (1–2), s. 284–291.
18. RENČIN, L.; POLCAR, A.; BAUER, F.: The Effect of the Tractor Tires Load on the Ground Loading Pressure. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.*, 65, 2017 (5), s. 1607–1614.
19. KATREŇČEK, J.: *Faktory ovlivňující ekonomiku traktorových souprav*. Brno, 2014, disertační práce na Mendelově univerzitě v Brně.
20. SEDLÁK, P. ET AL.: Vliv huštění pneumatik na tahové vlastnosti traktoru. In *Sborník mezinárodní konf. Technika zemědělství a potravinářství ve třetím tisíciletí*. Brno: MZLU, 2007, s. 359–364.

### Polcar A., Šimečková J., Votava J., Kumbár V.: Effect of Agricultural Machinery Movement on Soil Compaction

Soil compaction is considered to have one of the most detrimental effects on reducing potential agricultural productivity. Soil compaction is affected by several connected systems – machine, tyre and soil properties. The aim of the article is to evaluate the effect of a change of the tractor tyre inflation pressure by 100 kPa and change of the wheel load by 4,590 kg on the change of the penetrometric soil resistance. The performed measurements showed that both the change of tyre inflation pressure and the change of wheels load resulted in a change of penetrometric resistance. However, the results of measurements did not confirm a clear statistically significant effect between measurement variations. As some other studies have shown, the tyre inflation pressure changes affect the tyre contact area, the specific pressure under the tyre and soil compaction in lower depth. Yet, the magnitude of these changes is determined by soil properties.

**Key words:** tyre inflation pressure, load of wheel, soil compaction.

### Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Adam Polcar, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: xpolcar@node.mendelu.cz

