



## VYUŽITIE NOVÝCH TRENDOV MERANIA PEDOKOMPAKCIE USAGE OF NEW TRENDS OF SOIL COMPACTION MEASUREMENT

Tomáš Bod' o, Jozef Bajla

### Abstract

This contribution is focused on the issue of measuring soil penetration resistance with the usage of cone penetrometer. In research and agricultural practice, there are various penetrometers, which operate on different principles. This article analyzes quasi - static types of penetrometers and the possibility of their further improvements. Also in this article is showed a new, hydraulically operated penetration device, which was designed at KKS TF.

**Key words:** soil compaction, measuring methods, penetration resistance, cone penetrometers

### Úvod

Jednou z hlavných príčin zmeny pôdnych vlastností vyvolaných pôsobením ľudskej činnosti je nadmerné mechanické zaťaženie. Znižovanie vlastností je zapríčinené nadmerným mechanickým zaťažením, ktoré pôsobí na povrchu - vo vertikálnej rovine, alebo prenikaním nástroja do pôdy v horizontálnej rovine. Obe tieto mechanické zaťaženia menia objemový stav pôdy. Dôsledok neprimeraného zaťaženia pôd, respektíve používania nevhodnej techniky spôsobuje, že značná časť pôd je nadmerne zhutnená.

Ako uvádza Raper (2006) pedokompakcia má za následok redukciu koreňového systému, infiltrácie, zníženie schopnosti udržania pôdnej vlhky, zníženie prevzdušnenia a ovplyvňuje rast plodín. Tejto problematike sa odborná verejnosť venuje už dlhšie ako jedno storočie. Výskum v tejto oblasti priniesol rôzne podnetné návrhy pre zníženie zaťaženia pôdy vrátane zníženia osového zaťaženia mechanizmov pracujúcich na poliach, používanie radiálnych pneumatík prípadne ich dvoj montáž, alebo kontrolovaný pohyb na poliach.

Napriek týmto a mnohým ďalším návrhom pre riešenie problematiky v tejto oblasti, pokiaľ sa na tej istej pôde, ktorá slúži pre pestovanie poľnohospodárskych plodín budú využívať mechanizmy pre sejbu, ochranu či zber, ku pedokompakcii príde a bude aj naďalej dochádzať.

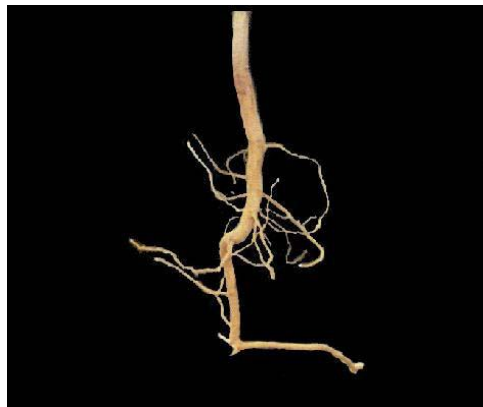
Ku tomu, aby sa podarilo nájsť vhodné riešenie tohto problému je za potreby disponovať presnými informáciami o stave pôdy. Toto sledovanie stavu zhutnenia sa uskutočňuje pomocou penetračných prístrojov, ktoré sa používajú na zisťovanie operatívneho stavu pôdy. Penetračná metóda je empirická metóda, ktorá je zameraná na skúmanie vlastností pôdy, do ktorej sa vtláča špecifické teleso. Touto metódou sa meria penetračný odpor, ktorý nám vyjadruje mieru zhutnenia pôdy. V súčasnosti sa uplatňujú automatizované merania penetračného odporu pôdy pomocou vertikálnych penetrometrov, ktorými dokážeme zistiť v krátkom čase stav pôdy na danom diagnostikovanom pozemku a následne vyhodnotiť graficky odpor resp. utlačenie pôdy do pôdnych máp.

### Materiál a metódy

Penetračná metóda umožňuje skúmanie usporiadania pôdnych častíc pomocou špecifického telesa, v súčasnosti sa používa ustálený tvar telesa – kužeľ, preto sa používa aj pojem kužeľová penetrometria. Touto metódou sa meria odpor proti vnikaniu do pôdy, ktorý vyjadruje mieru kompaktie pôdy. Kompakcia pôdy charakterizuje deštruktívne procesy v pôdy a významne ovplyvňuje všetky aspekty využitia pôdy – obrázok 1.

### Kontaktná adresa:

Ing. Tomáš Bod' o, [bodo.tomas@gmail.com](mailto:bodo.tomas@gmail.com), prof. Ing. Jozef Bajla, PhD., [jozef.bajla@uniag.sk](mailto:jozef.bajla@uniag.sk),  
KKS SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra



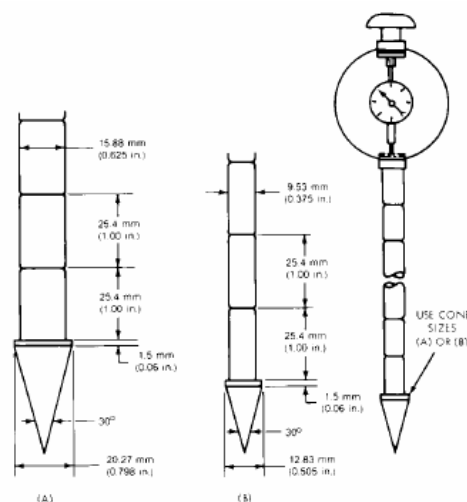
Obr. 1 Jemné korene bavlny deformované pôdnou kompaktiou v rôznych hĺbkach (Raper, 2006)  
Fig. 1 Cotton tap root deformed by soil compaction at multiple depths (Raper, 2006)

Penetrometre našli široké uplatnenie v rôznych konštrukčných úpravách predovšetkým pre tieto výhody (Bajla, 1998):

- Sú rýchlou, ľahkou a lacnou metódou.
- Poskytujú experimentálne údaje, ktoré sa dajú ľahko analyzovať.
- Sú dobrým prostriedkom na vyšetrovanie neporušených pôd.

Prehľad rôznych druhov penetrometrov používaných hlavne v poľných podmienkach sa pokúsili spracovať viacerí autori.

Pretože zaznamenaný penetračný odpor závisí od mnohých faktorov, ako sú veľkosť a tvar kužeľa, rýchlosť penetrácie a povrchová drsnosť kužeľa, bola pre jednotnosť skúšok a správnu interpretáciu výsledkov Americkou spoločnosťou poľnohospodárskych inžinierov v roku 1983 prijatá norma pod označením ASAE S 313.2 (Bajla, 1998) – obrázok 2.



Obr. 2 ASAE štandardný kužeľový penetrometer (Mehari, 1996)  
Fig. 2 ASAE standard cone penetrometer (Mehari, 1996)

Penetračný odpor  $P_p$  definujeme vzťahom:

$$P_p = \frac{F}{S_k}, \text{ MPa (N.mm}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

kde:  $P_p$  – penetračný odpor,  
 $F$  – sila pôsobiaca na kužeľ,



$S_k$  – plocha základne kužeľa.

Vplyvom vývoja sa najpoužívanejším typom penetrometra stal kužeľový penetrometer s kvázistatickým princípom práce, ktorého delenie je v tabuľke 1.

Tab. 1 Kužeľové penetrometre - smery vývoja (Bajla 1998)  
Tab. 1 Cone penetrometers – directions of progress (Bajla 1998)

PENETROMETRE			
kužeľové			
kvázistatické			
mechanické		elektrické	
laboratórne	poľné	laboratórne	poľné
indikátorové hydraulické pneumatické pružinové	indikátorové hydraulické pružinové	ručné stojanové špeciálne	ručné prenosné nesené špeciálne

K podobnému záveru vo svojej práci dospeli i Alexandrou, Stinner a Mosaddeghi (2004). Meracie zariadenia na princípe kužeľového penetrometra sú odporúčané ako vhodné nástroje pre vykonávanie štandardizovaného a ľahko porovnateľného merania pedokompakcie. Taktiež v dnešnej dobe sa jedná o najčastejšie používané meracie zariadenie v danej problematike.

Prenosné prístroje, ktoré sa používajú na meranie penetračného odporu sú spravidla ovládané obsluhou, čo neumožňuje zabezpečenie konštantných parametrov zatlačenia penetračného kužeľa do pôdy a aj jednotlivé merania sú náročné na ručnú obsluhu. Preto sa vo svetovom meradle v posledných dvadsiatich rokoch, ale zvlášť v poslednom období, uplatňuje rýchly, jednoduchý a presný spôsob určenia stavu pôdy na princípe penetrácie pôdy pomocou mechanizovaných zariadení. Z hľadiska efektívnosti sa ako najvhodnejšie javia mechanizmy so zdrojom pohonu pomocou hydraulického energie.

To umožňuje okrem rôznych konštrukčných riešení nenáročného a ľahko ovládateľného meracieho zariadenia aj jeho montáž na dopravný prostriedok (najvhodnejšie traktor) a jeho následnú jednoduchú a ergonomickú prevádzku. Výkonné zdroje hydraulického energie okrem iného umožňujú aj zvýšenie presnosti merania zvýšením počtu meracích zariadení. Pre porovnanie rôzne variácie technických riešení sú znázornené na obrázku 3.



a

b

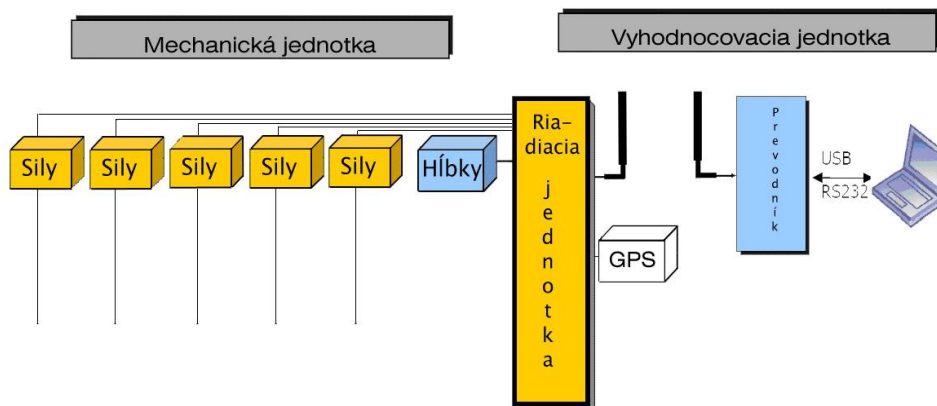
Obr. 3 Hydraulicky ovládaných penetračné zariadenie pre meranie v poľných podmienkach:  
a - Tekin (2007), b - Tekeste (2001)

Fig. 3 Hydraulic-driven soil cone penetrometers for measuring in field conditions:  
a - Tekin (2007), b - Tekeste (2001)

Ako vidieť na obrázku 3a základným prvkom Tekinovho riešenia meracieho systému je silový snímač, ktorý ovplyvňuje presnosť a komfort merania. Spolu so záznamovou časťou vytvárajú jadro celého meracieho zariadenia. Možnosti meracieho systému sú ale podstatne ovplyvňované druhom, rozmermi a typom snímača síl.

Na meranie polohy merného kužeľa, zatláčaného do pôdy je potrebné zvoliť vhodný merací systém. K tomuto úkonu je dostupné veľké množstvo snímačov, ktoré sa medzi sebou odlišujú okrem technických parametrov aj samotným princípom funkcie (optoelektrické, ultrazvukové a iné). Vzhľadom na určité špecifické požiadavky na penetračné meranie a vyjadrovanie výsledkov merania na základe praktických skúseností, sa ukázalo ako vhodné a postačujúce meranie a odčítavanie hĺbky zatlačenia sondy po 10 mm.

Komerčne vyrábané snímače polohy spravidla merajú polohu kontinuálne s presnosťou 0,01 mm a viac, čo pre účely penetračných meraní nie je vhodné. Navyše záznam polohy sondy zvyšuje nároky na pamäťovú kapacitu záznamového zariadenia. Vhodnejší je preto systém merania, kde snímač zahĺbenia vysiela impulz pre záznam penetrometrického odporu po prekonaní určitej hĺbky napr. už uvedených každých 10 mm. Tým sa zjednodušuje záznam a vyhodnocovanie meraní, zaznamenaných v pamäti záznamníka. Schematické usporiadanie navrhnutého meracieho systému je znázornené na obrázku 4.



Obr. 4 Schéma meracieho systému  
Fig. 4 Scheme of measuring system



Mechanická jednotka, ktorú tvoria penetračné sondy napojené na snímače sily so snímačom hĺbky je napojená na riadiacu jednotku. V riadiacej jednotke sú spracovávané údaje zo snímačov spolu so signálom GPS. Zaznamenané údaje sa vysielajú pomocou už spomenutého wireless spojenia do vyhodnocovacej jednotky s prevodníkom v prijímači, ktorý prijaté dáta zasiela do záznamového zariadenia, resp. prenosného počítača. Prijímacia jednotka GPS je do systému zaradená z dôvodu potreby záznamu lokalizácie miesta merania. Identifikácia miesta merania umožňuje spracovanie výsledkov do formy pôdných máp. Postup a spôsob ich vyhodnocovania je závislý na voľbe hustoty mriežky vyhodnocovacích miest na parcele.

### Výsledky a diskusia

V súčasnosti sa podporuje prechod na systém tzv. presného poľnohospodárstva, kde podstatnou zložkou pri pracovnom nasadení strojov je čo najpresnejšia informácia o pestovanej plodine, resp. pôdných podmienkach. Ako bolo uvedené v úvode sú pre požiadavky rýchleho a presného vyhodnotenia pôdných vlastností vhodné penetračné prístroje.

Donedávna sa pre vyhodnocovanie používali rôzne modely penetračných prístrojov ktoré mali jednu základnú spoločnú vlastnosť: boli do pôdy zatláčané ručne. To umožňovalo ich konštrukčnú jednoduchosť a nenáročnosť. Avšak s rastúcimi požiadavkami na získavanie presných údajov sa začal vynárať problém spôsobený nedodržaním konštantnej rýchlosti ich zatláčania do pôdy. Táto rýchlosť je uvedená medzi základnými podmienkami normy ASAE pre penetrometre. Dodržať konštantnú rýchlosť zatláčania pri manuálnom penetrometri je takpovediac nemožné.

Tak sa v poslednom období začalo experimentovať s rôznymi možnými riešeniami, ktoré by zabezpečovali rovnomerné zatláčanie penetrometrov do pôdy. V technickej praxi sa najviac zaužívali zariadenia s hydraulickým pohonom. Ten poskytuje dostatočný výkon, spoľahlivosť a jednoduchosť v porovnaní s inými zdrojmi energie napr. elektromotory.

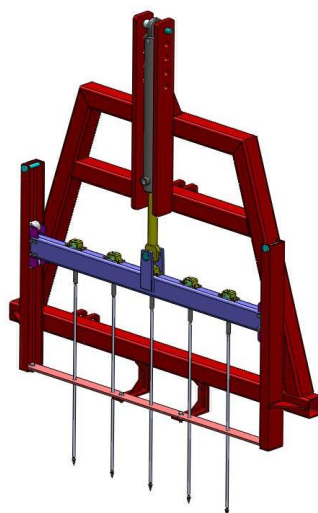
Ako výhodná sa uplatnila kombinácia dopravného prostriedku, ktorý slúži k presunu penetračného zariadenia. Túto podmienku najvhodnejšie spĺňajú rôzne typy traktorov nie len pre jednoduchú montáž prídavných zariadení na trojbodový záves, ale aj z dôvodu toho, že sú zdrojom hydraulickej energie. To umožňuje zjednodušenie penetračného zariadenia, keďže odpadá potreba samostatného zdroja energie potrebnej pre jeho pohon.

Samotné zariadenia sa medzi sebou rozlišujú okrem spôsobu uchytenia k pracovnému stroju aj počtom penetromerov. V začiatkoch to býval jeden, v dnešnej dobe sa už ale stretávame aj s piatimi. Toto riešenie ponúka vyššiu presnosť merania (spriemerovaním hodnôt), čím sa znižuje skreslenie a nepresnosť samotného merania.

### Záver

Zmeny fyzikálneho stavu pôdy, v dobe v ktorej sa začína čoraz viac dohliadať na ochranu pôdy a zavádzať pôdoochranné postupy pri jej spracovaní, sú pre nás hlavným zdrojom informácii o jej stave. Tieto informácie sa môžu zisťovať rôznymi metódami, ktoré však v niektorých prípadoch vyžadujú veľké množstvo meraní. Preto sa neustále hľadajú nové, efektívnejšie metódy, ktoré by dokázali jednoducho a rýchlo charakterizovať stav pôdy. Prenosné kuželové penetrometre, ktoré sú v súčasnosti najčastejšie využívané prístroje pre rýchle monitorovanie stavu pôdy, však neumožňujú kontinuálne získať veľké množstvo údajov a zabezpečiť požadovanú presnosť merania.

Vzhľadom na narastajúce snahy po zrýchlení a spracovaní veľkého počtu meraní, začínajú sa využívať automatizované penetračné systémy spolu s funkciou lokalizácie miesta merania pomocou systémov GPS. To nám umožňuje rýchle zmapovanie reálnych podmienok pôdneho prostredia a ich spracovanie do pôdných máp. Pre potrebu udržania kroku s vývojom v zahraničí ako aj pre zlepšenie kvality výskumu v problematike pedokompakcie je v rámci projektu VEGA na Katedre konštruovania strojov navrhnutý systém merania podľa najnovších trendov v tomto odbore a postupne sa realizuje – obrázok 5.



Obr. 5 Hydraulicky ovládané penetračné zariadenie  
Fig 5 Hydraulic-driven soil cone penetrometer

## Literatúra

1. ALEXANDROU, A., STINNER, D., MOSADDEGHI, M. R., 2004 A Comparison Of Penetration Resistance Of Transitional Organic And Conventional Soils, Ottawa, Ontario, Canada 1 - 4 August 2004
2. BAJLA, J. 1998. Penetrometrické merania pôdnych vlastností. Metódy, prístroje a interpretácia. 1. vyd. Nitra, VES 1998. 112 s. ISBN 80-7137-543-8.
3. HALL, N.W., ZHONG, H.Q., YILIRNAZ, K., Y. TEKIN, SHAW, M.S., HOWARD-SMITH, M.J., NCUBE P.W.R., AND OSMAN, J. J. 2005. Sustainable soil use in the UK. In: *Proceeding of I Agree Annual Conference Sustainability in Engineering Design 2005*. Landwards, 60: 13-21.
4. LÍŠKA, E. a kol., 2008. Všeobecná rastlinná výroba. 1. vyd. Vyd. VES SPU v Nitre, 2008, s.452
5. RAPPER, R.L., WASHINGTON, B.H., and JARREL, J.D. 1999. A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. In: *Applied Eng. Agric.*, 1999, 15: 287-290.
6. R. L. RAPER AND J. M. KIRBY. 2006. Soil Compaction: How to Do It, Undo It, or Avoid Doing It. In: *ASAE Distinguished Lecture Series No. 30, pp. 1-14*. 2006
7. TEKESTE, M., Z., Site - specific characterization, modeling and spatial analysis of sub-soil compaction (hardpan) for precision agriculture on southeastern US soils. [online] [cit.2008-11-10]. Dostupné na internete: <[http://www.ifaanet.org/Social%20Science/mehari\\_zewde\\_tekeste\\_j\\_phd\\_4\\_0606.pdf](http://www.ifaanet.org/Social%20Science/mehari_zewde_tekeste_j_phd_4_0606.pdf)>
8. TEKIN, Y., KUL B., and OKURSOY, R. 2008 Sensing and 3D mapping of soil compaction In: *Sensors* 2008, 8, 3447-3459.

## Súhrn

Príspevok je zameraný na problematiku merania penetračného odporu pôdy kužeľovými penetrometrami. Vo výskume a poľnohospodárskej praxi sa vyskytujú rôzne penetrometre, ktoré pracujú na rôznych princípoch. V príspevku sa analyzujú kvázistatické typy penetrometrov a možnosti ich ďalšieho zdokonaľovania. Uvedený je návrh nového, hydraulicky ovládaného penetračného zariadenia, ktoré bolo navrhnuté na KKS TF.

**Kľúčové slová:** kompakcia pôdy, metódy merania, penetračný odpor, kužeľové penetrometre