

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

1130281

**NÁVRH POSTUPU VYHODNOCOVANIA  
PENETRAČNÝCH MERANÍ S HYDRAULICKÝM  
PENETRAČNÝM PRÍSTROJOM**

**2011**

**Pavol Gál**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

**NÁVRH POSTUPU VYHODNOCOVANIA  
PENETRAČNÝCH MERANÍ S HYDRAULICKÝM  
PENETRAČNÝM PRÍSTROJOM**

**( Bakalárska práca )**

Študijný program:	Manažérstvo kvality produkcie
Študijný odbor:	2386700, Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra konštruovania strojov
Školiteľ:	prof. Ing. Jozef Bajla, PhD.

**Nitra 2011**

**Pavol Gál**

## **Čestné vyhlásenie**

Podpísaný Pavol Gál vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Návrh postupu vyhodnocovania penetračných meraní s hydraulickým penetračným prístrojom“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 4. mája 2011

**Pavol Gál**

## Abstrakt

GÁL, Pavol: Návrh postupu vyhodnocovania penetračných meraní s hydraulickým penetračným prístrojom. Bakalárska práca /Pavol Gál. – Slovenská Poľnohospodárska Univerzita v Nitre. Technická fakulta, Katedra konštruovania strojov. - Školiteľ: prof. Ing. Jozef Bajla, PhD. – Stupeň odbornej kvalifikácie: bakalár – Nitra: 2011.

Cieľom našej bakalárskej práce bolo navrhnuť postup vyhodnocovania meraní penetračného odporu pomocou hydraulicky ovládaného penetračného prístroja. Práca je rozdelená do štyroch hlavných častí. Prvá časť opisuje vlastnosti pôdy, ktoré ovplyvňujú kompakciu pôdy a penetračný odpor pôdy, uvádza opis penetračných prístrojov, ich históriu, základné rozdelenie, použitie a rôzne typy mechanicky ovládaných penetračných zariadení spolu s GPS systémom. V závere prvej časti je popísaná konštrukcia penetračného zariadenia s opornými nohami, navrhnutá na KKS a prístrojové vybavenie, ktoré bude použité na meranie a zaznamenávanie penetračného odporu a hĺbky polohy penetračnej sondy. V druhej časti je popísaný cieľ bakalárskej práce. V tretej časti je uvedená metodika práce, podrobnejšie popísané použité meracie prostriedky a metódy merania. V štvrtej časti je sú analyzované postupy a spôsoby vyhodnocovania a spracovania výsledkov meraní penetračného odporu pôdy, ako aj postup vyhodnocovania chýb merania. V záveroch sú zhrnuté poznatky a návrh využitia spracovania výsledkov penetračných meraní pri experimentálnej činnosti.

**Kľúčové slová:** kompakcia pôdy, penetračné metódy, hydraulické penetračné zariadenie, penetračný odpor, spracovanie výsledkov meraní

## Abstract

GÁL, Paul: Draft procedure for evaluating the penetration measurements with hydraulic penetration device. Bachelor work / Paul Gál. - Slovak Agricultural University in Nitra. Faculty of Engineering, Department of Machine Design. - Supervisor: prof. Ing. Bajla Joseph, PhD.- qualification level: Bachelor - Nitra: 2011th

The aim of our thesis was to propose a procedure for evaluating penetration resistance measurements using hydraulically operated device penetration. The work is divided into four main sections. The first part describes the soil properties that affect soil compaction and soil penetration resistance, provides a description of penetrating instruments, their history, the basic allocation, use and various types of mechanically controlled penetration of devices together with GPS system. At the end of the first section describes the design of the penetration device with support legs, designed to KKS and instrumentation that will be used for measuring and recording of penetration resistance and penetration depth of the probe position. The second part describes the target thesis. The third part introduces the methodology of work, described in more detail used measuring equipment and methods of measurement. The fourth section is analyzed the procedures and methods for evaluating and processing the results of measurements of soil penetration resistance, as well as the evaluation procedure of measurement errors. The conclusions are summarized knowledge and design process using the results of penetration measurements in experimental work.

**Key words:** soil compaction, penetration method, hydraulic penetration device, penetration resistance, processing of measurement results

# Obsah

## Úvod

<b>1 Pôda, štruktúra pôdy a jej vlastnosti.....</b>	<b>8</b>
1.2 Štruktúra pôdy .....	8
1.3 Vlastnosti pôdy .....	9
1.3.1 Fyzikálno – mechanické vlastnosti pôdy .....	9
1.4 História a použitie penetračných prístrojov .....	11
1.4.1 Penetračné prístroje.....	12
1.4.2 Charakteristika penetračných prístrojov .....	13
1.4.3 Druhy penetračných prístrojov .....	14
1.5 Geografický systém GPS.....	19
1.5.1 Čo je to GPS .....	19
1.5.2 Využitie GPS .....	19
1.6 Utláčanie pôdy.....	20
1.7 Ukazovatele ovplyvňujúce výsledky meraní penetrometrom .....	21
1.7.1 Vplyv veľkosti zrna .....	21
1.7.2 Vplyv okrajových podmienok .....	22
1.7.3 Miera vplyvu penetrácie pre hlinenú pôdu .....	22
1.8 Systém presného poľnohospodárstva .....	23
1.9 Popis penetračného prístroja ovládaného hydraulicky .....	24
1.9.1 Konštrukcia penetračného prístroja .....	24
1.9.2 Meranie a záznam veličín .....	26
1.9.2.1 Meranie veličín .....	26
1.9.2.2 Záznam veličín.....	27
<b>2 Cieľ práce.....</b>	<b>28</b>
<b>3 Metodika práce .....</b>	<b>29</b>

<b>4 Výsledky práce.....</b>	<b>30</b>
4.1 Výpočet penetračného odporu.....	30
4.2 Metóda korigovania hodnôt prístrojov .....	31
4.3 Metóda spracovania výsledkov .....	32
4.4 Metóda vyhodnotenia chýb prístrojov .....	32
4.5 Štatistika pri vyhodnocovaní .....	33
<b>Diskusia .....</b>	<b>34</b>
<b>Návrh a využitie výsledkov.....</b>	<b>37</b>
<b>Záver.....</b>	<b>38</b>
<b>Použitá literatúra.....</b>	<b>39</b>

# Úvod

Pôda je prírodný zdroj, ktorý je len veľmi ťažko obnoviteľný. Ak prihliadame na jej vlastnosti, musíme ju považovať za významný zdroj bohatstva pre človeka, a z toho dôvodu je potrebné zachovať ju i ďalším generáciám.

Pre človeka najdôležitejšou vlastnosťou pôdy je schopnosť produkovať potraviny – úrodnosť. Túto je potrebné udržiavať využitím správnych technológií a vhodnou organizáciou poľnohospodárskej výroby. Akékoľvek nesprávne hospodárenie a vyčerpávanie pôdy, ktoré presahuje hranice únosnosti pôdy, spôsobuje dlhodobé znehodnotenie pôdných vlastností. Jedným z procesov negatívne ovplyvňujúcich kvalitu vlastností pôdy je kompakcia.

Kompakcia, čiže zhutnenie pôdy, predstavuje jeden z najvýznamnejších degradačných procesov. Prejavuje sa na penetrometrickom, ale aj orbovom odpore pôdy, čo v konečnom dôsledku vplýva i na jej obrábatelnosť. Štatistiky ukazujú, že za posledných 30 rokov sa orbový odpor výrazne zvýšil, čo má za následok zhoršenie fyzikálneho stavu a biologickej činnosti pôdy.

Práve nadmerné zhutnenie pôdy spôsobuje degradáciu fyzikálnych, chemických i biologických vlastností pôdy.

Cieľom riešenia bakalárskej práce je navrhnúť postup vyhodnocovania meraní penetračného odporu, ktorý bude meraný pomocou hydraulicky ovládaného penetračného prístroja.



# 1 Pôda, štruktúra pôdy a jej vlastnosti

Pôda je prírodný orgán zložený z pôdnych horizontov, ktoré sa líšia od materskej horniny fyzikálnymi, chemickými vlastnosťami a litosférou, hydrosférou, atmosférou a biosférou. Ide o zmes minerálnych a organických zložiek, ktoré sú v pevných, plynných a vodných stavoch. Väčšina pôd má hustotu 1 až 2 g/cm<sup>3</sup>. Pôda sa obvykle skladá z troch fáz: pevná, kvapalná a plynná. Mechanické vlastnosti zemín závisia priamo od interakcie týchto fáz medzi sebou navzájom (napr. tlak, hydraulické hlavy, elektrický potenciál a teplotný rozdiel) (wiki/Soil).

V najširšom zmysle slova, ako zaznamenal Líška (2008), je pôda heterogénna zmes rozličných látok, ktorá sa skladá z tuhej, kvapalnej a plynnej fázy a ktorá môže byť stanovišťom pre rastliny. Z hľadiska rastlinnej výroby je pôda časť kôry zemského povrchu, ktorá sa môže stať stanovišťom kultúrnych rastlín.

Pevná fáza pôdy obsahuje rôzne množstvá kryštalických hlien a neílové minerály, nekryštalické ílové materiály, organické hmoty ktoré sa zrážajú soľou. Tieto minerály sú obyčajne tvorené atómami prvkov, ako napríklad kyslík, kremík, vodík a hliník, ktoré sú organizované na rôzne kryštalické formy. Pevné častice sú klasifikované podľa veľkosti ako íl, bahno, piesok, štrk, dlažobné kocky, alebo balvany.

Kvapalná fáza v pôde sa obvykle skladá z vody, ktorá obsahuje rôzne druhy a množstvo rozpustených elektrolytov. Organické zlúčeniny, rozpustné a nemiešateľné sú prítomné v pôde z chemických únikov, únikov odpadov a kontaminovaných podzemných vôd.

V plynnej fáze, v čiastočne nasýtených zeminách, je zvyčajne vzduch, aj keď organické plyny môžu byť prítomné v oblastiach s vysokou biologickou aktivitou alebo v chemicky kontaminovaných pôdach (Soil\_mechanics).

## 1.2 Štruktúra pôdy

Štruktúra pôdy je výsledkom kombinovaného účinku látky (častíc združenia, geometrické usporiadanie častíc, častíc skupín a pórov v pôde). Štruktúra pôdy je tiež používaná k určeniu pre rozdiely medzi vlastnosťami prírodných a znovu vytvorených pôd. Štruktúra pôdy odráža všetky aspekty zloženia pôdy, históriu, súčasný stav a životné prostredie. V počiatočných podmienkach dominujú čerstvo zhutnené pôdy a štruktúra pôd vysokej pórovitosti, zatiaľ čo staršie pôdy s nižšou pórovitosťou odrážajú zmien viac. Pôda, ako každá iná surovina, sa pod

zaťažením narúša. Toto skreslenie je z dvoch druhov a to strihanie alebo posuvné skreslenie a kompresia. Všeobecne pôdy nemôžu vydržať napätie. V niektorých situáciách častice môžu byť tlmené a malému množstvu napätia môže pôda odolať, ale nie na dlhú dobu (Soil\_mechanics).

### 1.3 Vlastnosti pôdy

Pôda je zložená s individuálnych zŕn, ktoré sa priamo alebo nepriamo ovplyvňujú. Pôsobí tu interakcia medzi jednotlivými časticami pevnej fázy. Vlastnosťami pôdy sa zaoberajú rôzne inžinierske i vedné disciplíny ktoré sa líšia historickým vývojom i metodicky. Významnú rolu tu zohráva ich špecializácia, skúmajú pôdu rôznym spôsobom, na rôzne účely a do rôznej hĺbky. Vlastnosti pôdy môžeme posudzovať z rôznych hľadísk, pričom forma vyjadrenia vlastností je podmienená použitím metód a pomocného aparátu, využívaného v príslušnom vednom odbore (Bajla, 1998).

#### 1.3.1 Fyzikálno – mechanické vlastnosti pôdy

Ako zaznamenal Líška (2008), základné fyzikálne vlastnosti pôdy sú štruktúrnosť pôdy, merná a objemová hmotnosť a pórovitosť.

*Merná hmotnosť* - vyjadruje hmotnosť objemovej jednotky (napr.  $m^3$ ) pevnej fázy pôd bez pórov a bez vody. Taktiež ju môžeme charakterizovať ako hmotnosť  $1 m^3$  pôdnej hmoty bez pórov a bez vody, ktorú vyjadrujeme v  $t.m^{-3}$ , alebo v  $kg.m^{-3}$ . Merná hmotnosť pôdnej hmoty sa mení len veľmi málo, pretože je závislá od mernej hmotnosti minerálov, z ktorých pôda pozostáva a od obsahu humusu v pôde. K znižovaniu hodnôt mernej hmotnosti dochádza v humusovom horizonte (ornici) v dôsledku zapracovania organických hmôt (rašelina, pozberové zvyšky a maštalný hnoj). K zvýšeniu dochádza v dôsledku dlhodobého nedodávania organickej hmoty, poklesu obsahu humusu v pôde a tiež zmyvom alebo prehlbovaním ornice. Merná hmotnosť okrem iného sa používa hlavne pre výpočet pórovitosti a zrnitosti pôdy. Dôležitou fyzikálnou charakteristikou pôdy je jej zrnitosť, ktorá ovplyvňuje pohyb vody v pôde. Hodnotí sa podľa obsahu frakcie zŕn veľkosti 0,01 mm stupnicou podľa Nováka. Piesočnatou pôdou prechádza voda oveľa ľahšie ako ílovitou pôdou. Veľmi zrnitá pôda má väčší aktívny povrch, a teda aj lepšie sorpčné vlastnosti.

*Objemová hmotnosť* – je hmotnosť objemovej jednotky pôdy ( $1 m^3$ ) v prirodzenom uložení.

Jej hodnoty sú vždy nižšie ako hodnoty mernej hmotnosti, pretože vyjadrujú hmotnosť nielen pevných častíc, ale i kvapalnej a plynnej fázy pôdy, ktorá vyplňuje pôdne póry. Objemová hmotnosť vyjadrená v  $t.m^{-3}$ , alebo v  $kg.m^{-3}$  závisí predovšetkým od priestorového usporiadania pôdných častíc, od zrnitosti zloženia, štruktúry a momentálneho obsahu vody a vzduchu v pôde.

*Pórovitosť pôdy* - vyjadruje sumárny objem všetkých pórov a medzier nachádzajúcich sa medzi pevnými časticami vyjadrená v % k celkovému objemu pôdy v neporušenom stave. Pórovitosť pôdy spolu so štruktúrou pôdy je hlavným ukazovateľom priestorového usporiadania pôdneho telesa a ukazuje na to, že pôda je porózny útvar. Medzi pevnými časticami a zhlukmi, ako i vo vnútri zhlukov sa formujú voľné priestory – póry, ktoré umožňujú zakoreňovanie a upevňovanie rastlín, existenciu pôdných organizmov, príjem, uvoľňovanie i cirkuláciu vody a vzduchu. Okrem toho sa v póroch uskutočňujú všetky fyzikálne, fyzikálno-chemické, chemické a biologické procesy, ktoré sú pre život pôdy a jej vývoj veľmi dôležité (Poda04.htm).

Okrem fyzikálnych vlastností pôdy sú veľmi dôležité pre charakterizáciu pôdy aj fyzikálno-mechanické vlastnosti. Tieto vlastnosti závisia od zrnitosti zloženia, štruktúrnosti pôdy, vlhkosti a kationového zloženia sorpčného komplexu (Myslivec 1968).

*Súdržnosť* - kohézia pôdy podmieňuje vzájomná príťažlivosť mechanických elementov. To sa prejavuje ako schopnosť pôdy odolávať vonkajšiemu tlaku pôsobiacemu na drobenie agregátov a schopnosť klásť odpor pri vnikaní cudzích telies do pôdy. Ílovité pôdy majú súdržnosť veľmi veľkú a naopak piesočnaté veľmi malú. Humusové látky v ílovitých pôdach súdržnosť znižujú a v piesočných pôdach naopak zvyšujú.

*Lipnavosť* - adhézia je daná vzájomným priťahovaním pôdných častíc s časticami telesa vnikajúcim do pôdy. Prejavuje sa to lipnutím pôdnej hmoty na teleso.

Prilnavosť ovplyvňuje obsah vody v pôde tak, že zvyšovaním vlhkosti sa prilnavosť po určitú hranicu zvyšuje, avšak ďalším zvyšovaním obsahu vody prilnavosť prudko klesá.

*Konzistencia zemín* - stupeň konzistencie závisí od obsahu vody v pôde a od schopnosti koloidných častíc viazať vodu. Konzistenciu pôdy posudzujeme podľa jej reakcie na zaťaženie a tlak.

*Orbový odpor* – vzniká pri obracaní priečného rezu pôdy, pri drobení alebo krájaní toho priečného rezu. (Bedrna, 1968).

$$k = \frac{F_{Rx}}{h.b}, \text{ Pa} \quad \text{kde: } k - \text{merný odpor, } h - \text{hlbka orby,}$$

$F_{Rx}$  – pozdĺžny odpor orbového telesa,  $b$  – šírka rezu,

## 1.4 História a použitie penetračných prístrojov

Sledovanie mechanických vlastností pôdy sa rozvíjalo nielen čo sa týka kvality metód hodnotenia vlastností pôdy, ale aj hľadaním jednoduchým metód, ktoré by spoľahlivo a presne vyhodnotili okamžitý stav pôdy. Jednou z metód bolo zatláčanie dosiek do pôdy to však vyžadovalo väčšie zariadenie aj zaťaženie a preto sa začali uplatňovať tyče s plochým, zaobleným či zahroteným koncom. Rozvoj poznatkov a skúseností využívania metód penetrácie zúžili rôznosť tvarov zatláčaného telesa na kužeľový. Aj keď nie sú písomne doložené záznamy, existujú poznatky o použití penetrometrov už pred rokom 1846. Penetrometer ihlového typu s priemerom 1 mm a hmotnosťou 1 kg bol použitý na odhadnutie súdržnosti viacerých typov ílu rozličnej konzistencie. Čím viac sa metóda rozširovala, tým viac rôznych verzií ručne i mechanicky poháňaných penetrometrov bolo navrhnutých s rozličným rozsahom aplikovaných síl. Šírka variantov penetrometrov a skúšobných postupov vytvárala značnú variabilitu zhromažďovaných údajov, pričom sa hľadali najvhodnejšie metódy správnej interpretácie (Bajla, 1998).

Kužeľový penetrometer je štandardná jednotná metóda na vyznačenie penetračného odporu pôdy. Sila potrebná na stlačenie 30-stupňového kruhového kužeľa prostredníctvom pôdy, vyjadrená v kPa, je index pevnosti zemín ktorý nazývame kužeľ index. Služi na meranie všeobecných mechanických pôdných podmienok, ktoré uľahčujú uvádzanie a interpretáciu dát pôdy rôznymi výskumnými pracovníkmi. Charakterizuje pôdne vlastnosti, z ktorých je možné vytvoriť výkonnostné a predikčné vzťahy (ASAE S 313.3, St. Joseph, 2004).

Skúška kužeľovým penetrometrom sa stala jednou z najbežnejších metód podpovrchového skúmania. Kužeľový penetrometer je tlačný do zeme pri štandardnej rýchlosti 2 cm/s, a údaje sa zaznamenávajú v pravidelných intervaloch (zvyčajne po 2 alebo 5 cm), počas prenikania. Výsledky poskytujú vynikajúci stratigrafický detail.

Kužeľový penetrometer je vybavený prístrojmi na záznam množstva rôznych parametrov, pričom najčastejšie sú, sila hrotu, sila pórového tlaku za špičkou kužeľa. Kužeľové penetrometre boli tiež použité na poskytnutie alebo opatrenie elektrických vlastností, rýchlosti priečných vln, vizuálnych obrazov pôdy, akustických emisií, teploty a vzorky vody (Cone%20Main.html#Anchor-Con-12320).

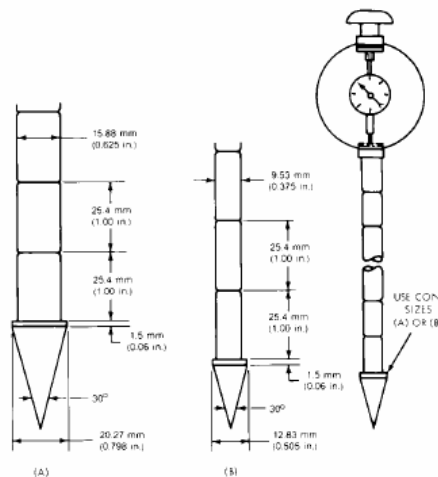
Merania kužeľovým penetrometrom môžu byť použité na vymedzenie typov pôdy a ich priepustnosť. Hustotu pôdy možno určiť pomocou seizmických aplikácií. Funkcia merania

kuželovým penetrometrom je nepretržitý alebo občasný zber dát z odolnosti proti penetrácii. Priepustnosť merania je vypočítaná pomocou rozptylových testov. Vlastnosti pôdy, ktoré riadia tieto merania sú hydrostatický tlak okolitej pôdy, stlačiteľnosť a pevnosť zemín a priepustnosť pôdy. Stlačiteľnosť a priepustnosť pôdy definuje koeficient konsolidácie (cone penetrometer testing.html).

### 1.4.1 Penetračné prístroje

Penetrometre našli uplatnenie v rôznych konštrukčných úpravách predovšetkým preto sú rýchlou, ľahkou a lacnou metódou. Poskytujú experimentálne údaje, ktoré sa dajú ľahko analyzovať a sú dobrým prostriedkom pre vyšetrovanie neporušených pôd.

Pre jednotnosť skúšok a správnu interpretáciu výsledkov Americkou spoločnosťou poľnohospodárskych inžinierov v roku 1983 bola prijatá norma pod označením ASAE S 313.1 (Bajla, 1998).



**Obr. 1** ASAE štandardný kuželový penetrometer (Mehari, 1996)

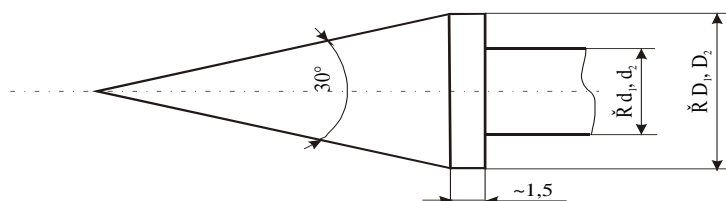
Štandardné rozmery penetračných kuželov sú normované (obr.2):

Φ kužľa:  $D_1 = 20,27 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 12,83 \text{ mm}$

Φ tyče:  $d_1 = 15,9 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 9,5 \text{ mm}$

Uhol vrcholu kužľa:  $\alpha = 30^\circ$

Rýchlosť zatlačania:  $v = 1,829 \text{ m/min}$ .



**Obr. 2** Rozmery kužľa podľa ASAE S 313.1(Bajla 1998)

## 1.4.2 Charakteristika penetračných prístrojov

Na základe vývoja tejto metódy, ako aj súčasne používaných prístrojov, môžeme charakterizovať penetrometre z rôznych pohľadov.

Predovšetkým ich môžeme charakterizovať z hľadiska použitia, princípov metódy merania, tvaru hrotu a záznamu nameraných hodnôt Tab. 1.

**Tab. 1** Rozdelenie penetrometrov podľa rôznych kritérií (Bajla, 1998)

PENETROMETRE			
Použitie	Princíp	Tvar hrotu	Záznam hodnôt
poľnohospodárstvo stavebníctvo lesníctvo životné prostredie poľnohos. technika výskum vývoj skúšobníctvo	statický kvázistatický dynamický inerčný	plochý gul'ový, kužel'ový ihlový	ručný mechanický digitálny

Najlepšie uplatniteľný z týchto penetrometrov je podľa štatistík kužel'ový penetrometer a najpoužívanejšou metódou je kvázistatická metóda.

Pre tento typ penetrometrov je uskutočnená ďalšia špecifikácia typov podľa smeru vývoja Tab. 2.

**Tab. 2** Kužel'ové penetrometre - smery vývoja (Bajla, 1998)

PENETROMETRE			
Kužel'ové			
Kvázistatické			
mechanické		elektrické	
laboratórne	poľné	laboratórne	poľné
indikátorové hydraulické pneumatické pružinové	indikátorové hydraulické pružinové	ručné stojanové špeciálne	ručné prenosné nesené špeciálne

Penetračné merania sa s rozvojom metód merania, vývojom zariadení a využitím rôznych konštrukčných prvkov uplatnili v rôznych technických riešeniach podľa Tab. 3. Táto rôznorodosť poukazuje na rôzne prístupy výskumníkov ku spôsobu merania, pričom sa zohľadňuje účel, pre ktorý je určený navrhovaný prístroj.

**Tab. 3** Rozlíšenie penetračných meraní – súčasný stav (Bajla, 1998)

Penetračné merania				
Spôsob merania		Spôsob záznamu		
sily odporu	hlbky sondy	vizuálne	mechanicky	elektricky
Tenzometricky	mechanicky	odčítanie z odchýlkomeru	na otáčavý bubon	analogový
Indukčne	retiazka	odčítanie z valcového bubna	na otáčavý kotúč	Magnetofónová páska
Tlakovo	tyč s otvormi	odčítanie z displeja prístroja	na posuvnú dosku	mer. magnetofón
piezoelektricky	lanko			X-Y zapisovač
optoelektronicky	elektricky			exter. pamäť (USB flash médium)
	potenciometricky			záznamník
	indukčne			merací magnetofón
	el. impulzmi			Interné pamäťové médium s výstupom
	optoelektronicky			notebook
	ultrazvukom			

### 1.4.3 Druhy penetračných prístrojov

#### *Penetrologer*

Odolnosť proti prenikaniu je spôsob stanovenia nosnosti pôdy z hľadiska zaťaženia. Je to mechanická vlastnosť, ktorá závisí na meniacich sa parametroch ako je miera vlhkosti, hustota a pevnosť spojenia medzi minerálnymi časticami. Meranie odolnosti pôdy proti prenikaniu vo veľkom počte meraní je najlepšie vykonané použitím elektronického penetrometra spolu s ústredňou, ktorá umožňuje okamžité uloženie a spracovanie dát. Za týmto účelom vyvinul Eijelkamp penetrologer: Elektronický penetrometer s vstavaným údajovým záznamníkom, pre ukladanie a spracovanie veľkého počtu nameraných dát ([www.eijelkamp.com](http://www.eijelkamp.com)).

Penetrometer s integrovanou ústredňou a LCD monitorom je určený, pre stanovenie odolnosti pôdy, proti prenikaniu do hĺbky 80 cm. Hĺbka merania sa určuje pomocou

ultrazvuku. Merací systém má kapacitu pamäte až 500 meraní do 10 000kN/m<sup>2</sup> s presnosťou 1kN/m<sup>2</sup>. Ako jediný má vrcholový uhol kužeľa 60° ([www.ugt-online.de](http://www.ugt-online.de)).



**Obr.3** Penetrologer



**Obr.4** Displej penetrológera

### *Kuželový penetrometer CP40-II*

Model CP40-II má voliteľné GPS, ktoré zaznamená globálne alebo lokálne súradnice v každom mieste vloženia. Ultrazvukové hĺbkové snímanie, spojené s plne integrovanou GPS, zhromažďuje údaje extrémne presne (<http://www.soilmeasurement.com/cone.html>).

S maximálnou hĺbkou merania 750 mm, v intervaloch 10, 15, 20 a 25 mm, je možné zaznamenať až 75 údajov indexu kužeľa za prieniku alebo vloženia. CP40-II môže ukladať dáta z 2000 individuálne vložených hodnôt. CP40-II je vybavený grafickým LCD displejom, ktorý slúži na zobrazovanie užitočných informácií a zároveň vloženie, alebo pre jednoduché preskúmanie uložených dát. Okrem sledovania vloženia rýchlosti, môže CP40-II varovať používateľov, pokiaľ prekročí vkladanie nastavenú maximálnu rýchlosť a vie automaticky zrušiť vloženie, ak je táto rýchlosť prekročená. Tieto funkcie zabezpečia, že získané údaje sú čo najpresnejšie. Ak je vloženie prerušené, užívateľ má možnosť uložiť alebo zrušiť zhromaždené údaje pre toto vloženie. CP40-II je dodávaný s vlastným vyhľadávacím softvérom pre počítače so systémom Microsoft Windows, vrátane Windows 98 a Windows XP. Všetky informácie, ako sú GPS dáta, čas, dátum, názov lokality sú zobrazené pre každé



vloženie a software umožňuje ich ukladanie do dátového súboru pre jednoduché spätné prezeranie (cone.html).

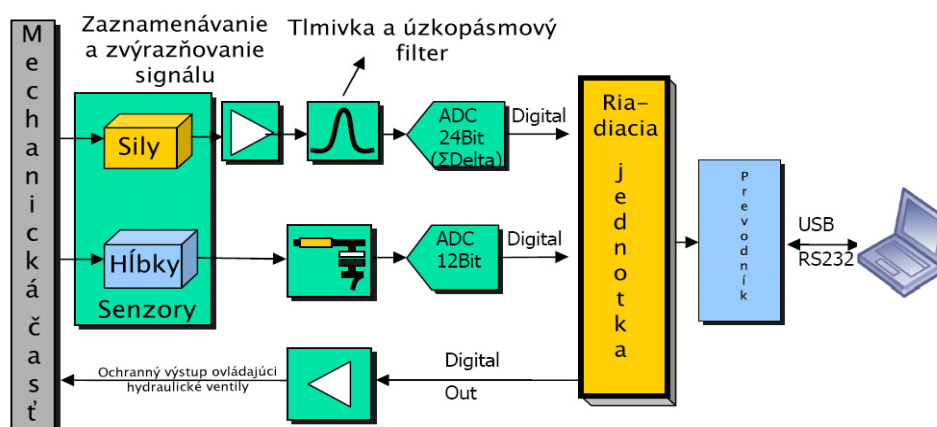


**Obr. 5** Displej penetrometra CP40-II (cone.html)



**Obr. 6** Penetrometer CP40-II (cone.html)

Na rozdiel od skôr uvedeného penetrometra CP40-II sa pri meraní väčších pozemkov prechádza k riešeniam kombinácii penetračného prístroja s dopravným prostriedkom, v našom prípade traktorom. Tieto zariadenia sú väčšinou ovládané hydraulicky čo zabezpečuje konštantnú rýchlosť zatlačania do pôdy, vytvára konštantné podmienky pri meraní a umožňuje rýchle ovládanie pomocných častí meracieho zariadenia. Všetky sú samozrejme vybavené systémom GPS alebo DGPS (Domsch, 2006). Výhody tejto kombinácie sú presnosť výsledkov merania, efektívnosť merania, zníženie prácnosti a zvýšenie efektívnosti merania. Väčšina modelov má identickú funkčnú schému zariadenia. Ako môžeme vidieť na Obr. 7 ide o prepojenie mechanickej a elektronickej časti. (Tekin, 2007).

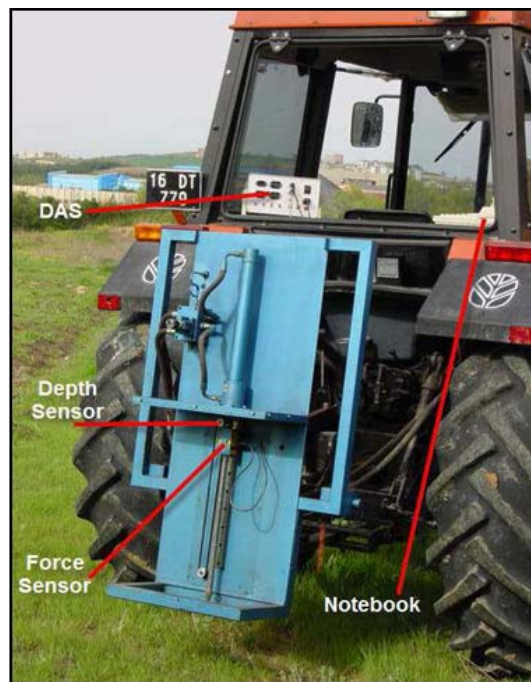


**Obr.7** Schematický obrázok hydraulicky ovládaných penetračných zariadení pre meranie v poľných podmienkach, Tekin (2007)

### *System Tekin*

Je to jeden z najzákladnejších systémov riešenia hydraulického penetrometra. Pozostáva z hydraulického valca na ktorý je napojená penetračná tyč. Hydraulický valec je poháňaný vonkajším hydraulickým okruhom traktora. Hĺbka merania je 400 mm údaje sa zaznamenávajú každých 25 mm. Maximálne zaťaženie je 500 kg, (Tekin, 2007)

*Depth Sensor- snímač hĺbky, Force Sensor- snímač sily, Notebook- prenosný počítač, DAS- riadiaca jednotka*



**Obr.8** *Hydraulicky ovládané penetračné zariadenie (Tekin,2007)*

### *System Domsch*

System Domsch predstavuje zložitejšie konštrukčné riešenie s princípom zvýšiť počet penetračných senzorov kvôli spresneniu meraní. Celá konštrukcia je umiestnená na prednom závесе traktora čo môžeme vidieť na Obr. 9 (Domsch, 2006).



**Obr. 9** *Hydraulický penetrometrický systém (Domsch, 2006)*

### *System Rapper*

Rapper rovnako ako systém Domsch má zvýšený počet penetračných senzorov ale oproti systému Domsch zvolil uchytenie svojho systému na zadný trojbodový záves traktora (obr. 10). Je to ťažké a robustné zariadenie (Rapper, 1999).



**Obr. 10** *Hydraulický penetrometrický systém (Rapper, 1999)*

### *System Tekeste*

System Tekeste skonštruoval zariadenie zamerané na meranie kompaktie ľahkých pôd. Čiže nie je potrebné aby bola konštrukcia robustná ako pri Rapperovi (Tekeste, 2001).



**Obr. 11** *Hydraulický systém penetračného merania (Tekeste, 2001)*

## 1.5 Geografický systém GPS

### 1.5.1 Čo je to GPS

Všetky spôsoby využitia GPS smerujú k získavaniu priestorových dát (polohy v čase), a to buď statických alebo dynamických. Globálny polohový systém (skr. GPS, z angl. Global Positioning system) je družicový systém pre stanovovanie polohy a času na zemskom povrchu a v priľahlom priestore. Je schopný poskytovať tieto údaje nezávisle na počasi a 24 hodín denne. Družice vysielať signály, ktoré sú prijímané prijímačmi a spracované pre meračské alebo navigačné účely. GPS slúži na pozemnú, námornú i leteckú navigáciu, na meračské účely, geofyzikálne výskumy, mapovanie, na navádzania vozidiel a na celý rad iných činností (Klobušiak a i., 2005).

### 1.5.2 Využitie GPS

V porovnaní s bežnými meračskými technikami vykazuje GPS mnoho výhod:

- Medzi jednotlivými meranými bodmi nemusí byť priama viditeľnosť
- GPS je vysoko presný

- Poskytuje výsledky v jednotnom svetovom súradnicovom systéme
- Poskytuje trojrozmerné súradnice
- Pracuje bez ohľadu na počasie cez dennú i nočnú dobu

Má však i nevýhody:

- nemožnosť merania v podzemí;
- horšie výsledky pri meraní v hustom poraste (napr. v lese);
- je potrebná priama viditeľnosť na družice;
- problémy s meraním v husto zastavaných oblastiach;

Systém GPS je zložený z 24 satelitov GPS a pre príjem elektromagnetického signálu z dôvodu korekcie chýb je tvorený aj z množstva pozemných staníc (Jan van Sickle, 2001).

V systéme presného poľnohospodárstva, ako uvádza Nozdrovický (2005) je definovanie geografickej polohy nevyhnutné pri určovaní:

- veľkosti a tvaru pozemku;
- polohy miesta odberu vzoriek pôdy za účelom analýzy vybraných ukazovateľov pôdneho prostredia;
- polohy aplikačného stroja;
- polohy zberového stroja.

## 1.6 Utláčanie pôdy

Zhutnenie pôdy (pedokompakcia) je to proces fyzikálnej degradácie. Na zhutnenie sú náchylné ťažké a zamokrené pôdy, ktoré sa intenzívne využívajú ako orné pôdy. Ide hlavne o ťažké černozeme čiernicové a čiernice glejové.

Zhutnenie pôdy je významný proces degradácie pôdy, ktorý ovplyvňuje produkčnú funkciu pôdy, ale aj jej náchylnosť na iné degradačné procesy pôdy a krajiny (erózia pôdy, záplavy).

Náchylnosť pôdy na zhutnenie môže byť podmienená primárne alebo sekundárne.

*Primárne zhutnenie* - je podmienené genetickými vlastnosťami pôdy. Trpia ním všetky ťažké pôdy (ílovitohlinité, ílovité, íly) ako aj pôdy s mramorovanými a iluviálnymi luvickými horizontmi (pseudogleje, luvizeme).

*Sekundárne zhutnenie*(technogénne) - je spôsobené činnosťou človeka, a to priamo - vplyvom tlaku kolies poľnohospodárskych mechanizmov, alebo nepriamo – znižovaním odolnosti pôd voči zhutneniu nesprávnym hospodárením (nedostatočným organickým hnojením,

nevhodným sortimentom hnojív, nedodržiavaním biologicky vyvážených oševných postupov, spôsobov a podmienok obhospodarovania, a pod.).

Proti zhutneniu pôdy je potrebné využiť odborný a komplexný prístup, v rámci ktorého sú dôležité preventívne pôdochranné opatrenia, v prípade potreby hĺbkové mechanické kyprenie i následné opatrenia. Prevencia je mnohokrát účinnejšia ako nákladné odstraňovanie následkov (Kobza a kol., 2005).

Utlačenie pôdy je proces kumulatívny, kde sa sčítavajú nepriaznivé vplyvy na pôdu. Do hodnoty tlaku 0,10 MPa sa môžu očakávať vratné zmeny. Tlak 0,15 MPa sa prejavuje do hĺbky 0,35 – 0,40 m a čím siaha utlačenie hlbšie tým je vratný proces pomalší a má iba funkčný charakter, nie morfológický (Bajla, 1998).

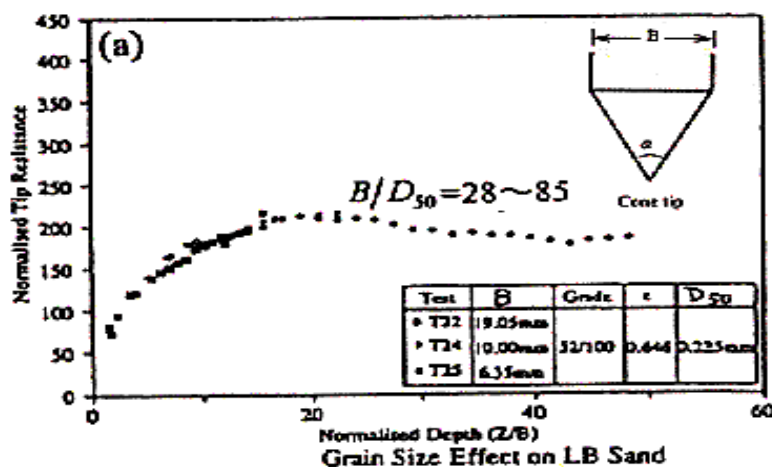
Utlačanie pôdy má negatívny vplyv i na rast a úrodu pestovanej plodiny. Straty na úrode sa pohybujú v rozmedzí 10-30 % (Hanes, 1997).

Utlačanie pôdy rozvíja nežiaduce procesy v pôde. Takmer 90 % výmery poľa trpí následkami pedokompakcie spôsobenej pneumatikami poľnohospodárskych prostriedkov (Munsuz, 1985).

## 1.7 Ukazovatele ovplyvňujúce výsledky meraní penetrometrom

### 1.7.1 Vplyv veľkosti zrna

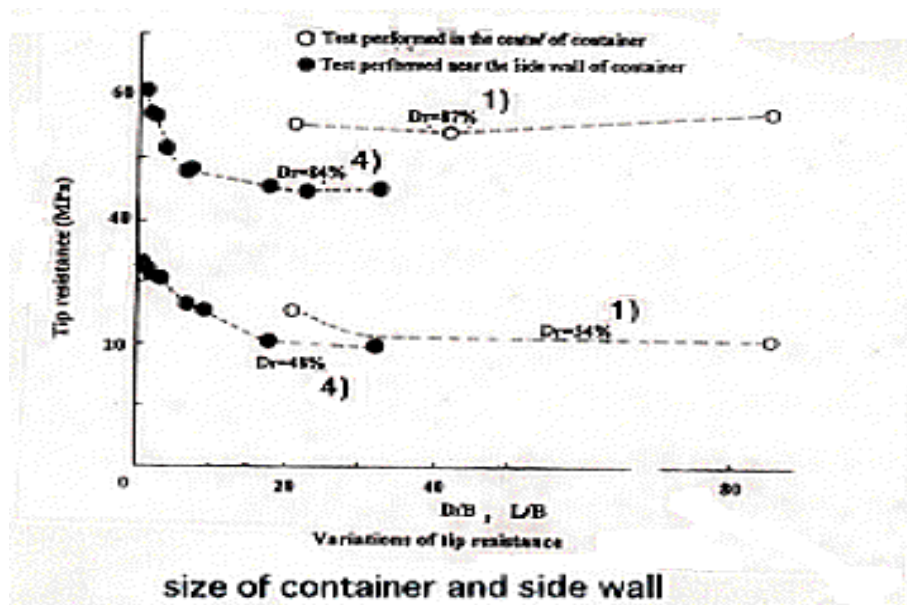
B- priemer základne kužeľa       $D_{50}$ - stredná veľkosť zrna



Obr. 12 Vplyv veľkosti zrna pri penetrácii (GRAIN\_SI.HTM)

## 1.7.2 Vplyv okrajových podmienok

Penetračné testy vykonané v relatívne malom pôdnom obale a v okolí bočnej steny nádoby, môžu typom odporu ovplyvniť hranice obmedzenia. Pre odstránenie účinku tejto hranice, by mali byť pomery  $D/B$  alebo  $L/B$  dostatočne veľké, kde  $L$  je vzdialenosť od bočnej steny kontajnera ku kužeľu,  $D$  je priemer pôdy kontajnera a  $B$  je priemer základne kužeľa. Obrázok ukazuje výsledky testov odstredivky zamerané na posúdenie hraníc efektu. Prázdné kruhy na obrázku zodpovedajú skúškam, v ktorých kužeľ prenikol do stredu modelu, zatiaľ čo vyplnené kruhy zodpovedajú skúškam vykonávaným pri bočnej stene nádoby. Pomer  $L/B$  a  $D/B$  vyšší ako 20 sa odporúča pre piesok, však táto prahová hodnota môže byť ovplyvnená stlačiteľnosťou a hustotou zeminy, tlakom, nakladacou rýchlosťou a iným (Tani, 1995).

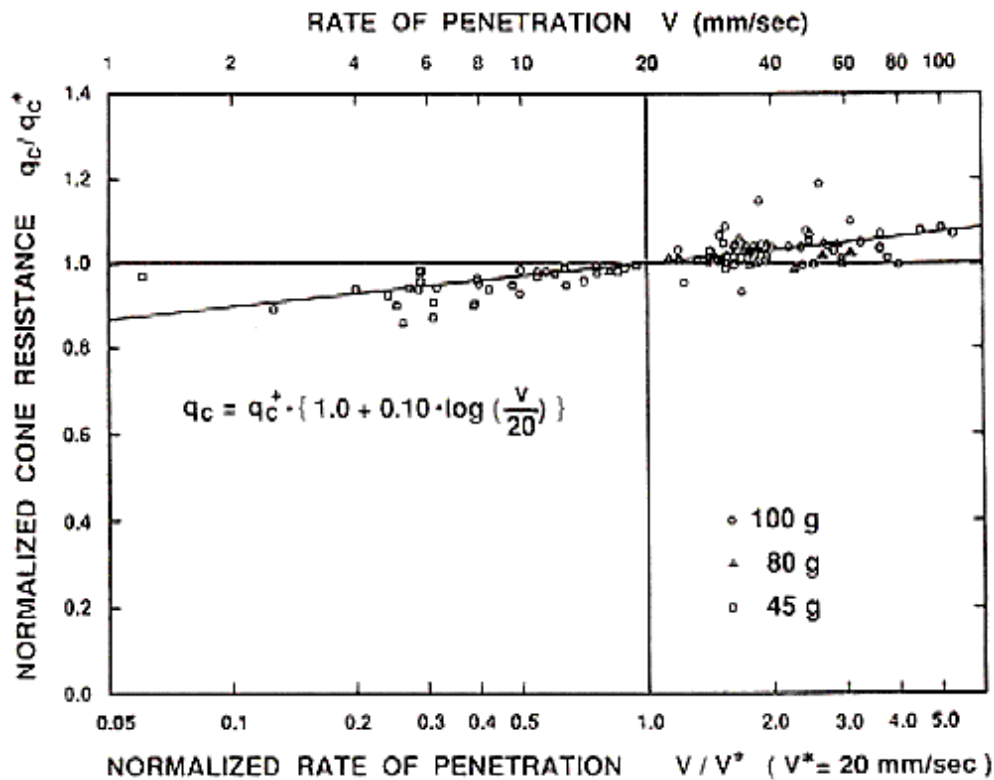


Obr.13 Posúdenie hraníc efektu (BOUNDARY.HTM).

## 1.7.3 Miera vplyvu penetrácie pre hlinitú pôdu

Odvodnenie stavu počas skúšok penetrácie kužeľom závisí od pomeru stabilnej penetračnej miery na priepustnosť pôdy. Štandardná miera rozšírenia 20mm/s v oblasti testu vyrába neodvodnené podmienky pre íl alebo ílovité bahno z dôvodu svojej nízkej priepustnosti. Pre piesok a hrubší materiál, pórový tlak vody nie je generovaný, a preto, penetrácia sa vykonáva pod podmienkou odvodnenia. Pre prašné pôdy so strednou hodnotou priepustnosti, môže čiastočné odvodnenie nastať počas penetrácie. Situáciu čiastočného odvodnenia je všeobecne veľmi ťažké analyzovať, a môže zahŕňať značné nejasnosti v

interpretácii merania. Pre kuželové penetračné testy v ílu pod neodvodneným stavom je odpor kužela závislý na miere rozšírenia. Môžu byť za to zodpovedné rýchlosti deformácie a závislosť mechanických vlastností súdržnej zeminy. Za účelom posúdenia neodvodnenej pevnosti ílu, by mala penetračná miera potrebné vziať do úvahy. Obrázok ukazuje príklad variácie odporu kužela s logaritmom penetračnej miery (Tani, 1995).



Obr. 14 Vplyv penetrácie (Tani, 1995).

## 1.8 Systém presného poľnohospodárstva

Presné poľnohospodárstvo predstavuje nový prístup hospodárenia na pôde založený na rozvoji informačných technológií. Od tradičného hospodárenia sa odlišuje tým, že zohľadňuje skutočnosť, že pole ako celok, ako aj pôda svojimi vlastnosťami, zásobami živín a vlhkosťou je priestorovo diferencované prostredie.

Zdá sa byť logické a efektívne využiť znalosti o variabilite produkčného potenciálu pôdy a prispôbiť jednotlivé prístupy hospodárenia k charakteru pôdno-klimatických podmienok konkrétnej lokality (ait.html).



Variabilitu spôsobujú pôdotvorné faktory ako klíma, zloženie materskej horniny, vegetácia. Vlastnosti pôd vykazujú prirodzenú priestorovú variabilitu v rámci plochy, po celej krajine (Mulla a McBratney, 1999).

Príchodom nových technológií a techniky a sprístupnením systému Global Position System pre verejnosť je možné nevyrovnanosť polí presne zmapovať a následne vykonávať agrotechnické opatrenia reagujúce na túto variabilitu.

Základnou filozofiou systému presného poľnohospodárstva je maximalizovať efektívnosť hospodárenia na pôde prostredníctvom prispôsobenia aplikačných vstupov k presne priestorovo vymedzenému produkčnému potenciálu pôdy (ait.html).

Zavedenie systému pozostáva z niekoľkých dielčích celkov a realizuje sa v reťazci:

- *Zber údajov* - mapovanie hraníc pozemkov a založenie GIS systému o pôde
  - mapovanie produkčného potenciálu pôdy
  - analýza rozdielnosti produkčného potenciálu pôdy
- *Spracovanie údajov*
- *Aplikácia*

## **1.9 Popis penetračného prístroja, ovládaného hydraulicky**

### **1.9.1 Konštrukcia penetračného prístroja**

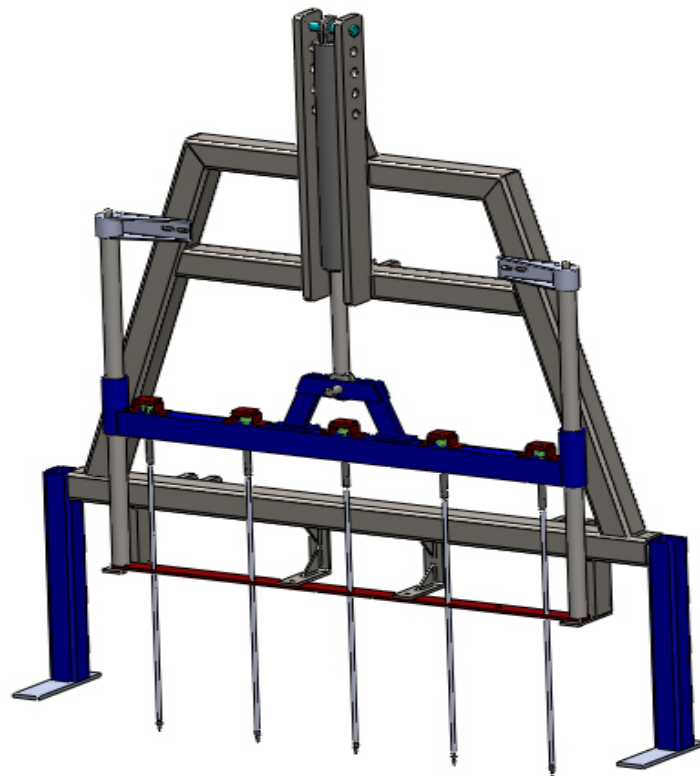
Pri návrhu meracieho zariadenia sme vychádzali z dlhoročných skúseností meraní penetračnými prístrojmi na Katedre konštruovania strojov. Okrem toho sme brali do úvahy aj systémy, ktoré boli vyvinuté pre automatizačný penetračný prieskum. Našou snahou bolo navrhnuť také zariadenie, ktoré je možné vyrobiť v našich laboratórnych podmienkach pretože vo väčšine prípadoch v celosvetovom meradle ide o geotechnické systémy s veľkými zatlačacími silami. Tieto komplexné laboratóriá na kolesách sú veľmi nákladné a pre poľnohospodárske využitie nevhodné.

Pri zhotovení konštrukcie zariadenia a uchytenia penetrometrov k rámu sme sa snažili o čo najjednoduchšie riešenie navrhnuté podľa nami definovaných požiadaviek. Pri návrhu konštrukcie je dôležitou úlohou navrhnuť robustnú konštrukciu s možnosťou uchytenia na trojbodový záves traktora, ktorá zabezpečí dostatočnú stabilitu pre meracie zariadenie.

Nové konštrukčné usporiadanie je zrejmé z obrázku, pričom valcová objímka je osadená bronzovými puzdrami pre zabezpečenie optimálnych klzných vlastností. Penetračná sonda je

tvorená snímačom sily a mernou tyčou, ukončenou merným kužeľom podľa parametrov, uvedených v norme ASAE S 313.3.

Nosný rám môže slúžiť aj ako ochrana pred preťažením snímačov a ich poškodením doplnením o strihovú ochranu uchytania silových snímačov. Ako ďalšie navrhované je doplnenie nosného rámu a oporné nohy pre účely merania v poľných podmienkach ako aj počas servisných úkonov. Systém oporných nôh je na obrázku číslo 30 modrou farbou (Boďo, 2008).



**Obr. 15** Model hydraulického penetračného zariadenia s opornými nohami (Boďo, 2008).

## 1.9.2 Meranie a záznam veličín

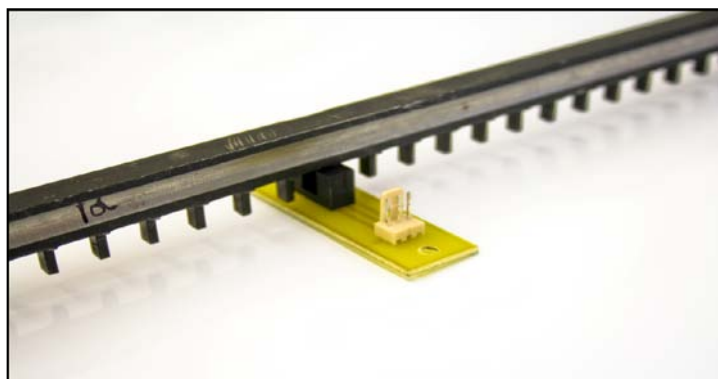
### 1.9.2.1 Meranie veličín

Na meranie veličín ktoré určujeme počas penetračného merania sú potrebné snímače, ktoré sa od seba odlišujú nielen technickými parametrami ale aj princípom ich funkcie napr. (snímač sily, optoelektronický snímač hĺbky alebo ultrazvukový snímač hĺbky a iné.).



**Obr. 16** Snímač sily a riadiaca jednotka

Na meranie polohy zatláčaného kužeľa do pôdy je dôležité vybrať vhodný merací systém. My sme sa rozhodli pre jednoduché optoelektronické hradlo (Obr.17), ktoré pri posunutí o definovanú hodnotu indukuje jednotkový skok, ktorý je impulzom pre riadiacu jednotku prístroja na záznam signálu zo snímača sily. Pre optoelektronické hradlo sme sa rozhodli, pretože komerčne vyrábané snímače merajú polohu kontinuálne s presnosťou 0,01 mm a viac, čo nie je vyhovujúce pre penetračné merania a pri meraní dvoch alebo viacerých veličín je potrebná vyššia pamäťová kapacita zariadenia. Pohyb optoelektronického snímača je jednosmerný a vykonávaný pomerne nízkou rýchlosťou, čiže záznam o sile udáva aj polohu kužeľa v akej hĺbke sa nachádza.



**Obr. 17** Optoelektronický snímač hĺbky

### 1.9.2.2 Záznam veličín

V princípe pri meraniach budú použité snímače sily (5 kusov) spolu so snímačom polohy. Pre zjednodušenie spôsobu záznamu, budú do pamäti dataloggera zaznamenávané údaje zo snímačov a upravené pomocou meracieho bloku do kalibrovannej formy. Údaje zo snímačov a signál GPS zaznamenáva riadiaca jednotka (Obr.18), na ktorú sú napojené snímače sily a snímač hĺbky, ktoré sú napojené na penetračné sondy. V prípade poškodenia meracej jednotky alebo hrozby poškodenia, môže byť riadiaca jednotka doplnená o ochranný systém. Údaje zaznamenané riadiacou jednotkou sa prenášajú do vyhodnocovacej jednotky pomocou drôtového spojenia. Vyhodnocovacia jednotka je tvorená prijímačom s prevodníkom, ktorý transformuje dáta do prenosného počítača. Pre potreby záznamu miesta merania a následne pre vytvorenie pôdných máp bude zaradená do meracieho systému aj prijímacia jednotka GPS.



**Obr. 18** Riadiaca jednotka

Riadiaca jednotka bude pomocou kábla prepojená s notebookom, v ktorom budú pomocou špeciálne upraveného softvéru ukladané namerané údaje. Jednotlivé súbory nameraných údajov budú spracované v prostredí Excel na základe postupu, ktorý bude uvedený v ďalšej časti práce.

## 2 Cieľ práce

Metódy merania vlastností pôdy sa rozvíjajú s cieľom hľadania jednoduchých a rýchlych metód, ktoré by dostatočne presne a spoľahlivo zhodnotili okamžitý stav pôdy. Medzi najpoužívanejšie metódy merania vlastností pôdy patria penetračné metódy. Ich základnou úlohou je meranie pôdneho odporu pri zatláčaní špecifického telesa do pôdy. Tieto metódy sa uplatňujú pri utlačovacích a kypriacich činnostiach poľnohospodárskej techniky, aby došlo k zvýšeniu výnosnosti pôdy.

Cieľom riešenia bakalárskej práce bolo analyzovať princípy hodnotenia kompaktie pôdy pre účely hodnotenia stavu pôdy na základe merania penetračného odporu. Popísať princípy podľa literárnych prameňov, spracovať prehľad používaných penetračných prístrojov a poukázať na rozdiely medzi nimi. Spracovať popis hydraulicky ovládaného penetračného prístroja, zhotoveného na KKS a navrhnúť postup vyhodnocovania meraní.

### 3 Metodika práce

Na základe spracovaného literárneho prehľadu a popisu použitého meracieho zariadenia s meracím reťazcom bude popísaný postup prác pri vyhodnocovaní výsledkov.

Charakteristika použitých prostriedkov:

- spracovať literárny prehľad pôdy, zameraný na meranie kompaktie pôdy kužeľovými penetrometrami v poľnohospodárstve, doprave a lesníctve;
- analyzovať použitie rôznych penetračných prístupov;
- stanoviť penetračný odpor;
- pri spracovaní využiť dostupnú domácu a zahraničnú literatúru.

Charakteristika použitých metód:

- zhodnotiť a porovnať metódy merania penetračného odporu pôdy;
- popísať možnosti ich vyhodnocovania;
- navrhnúť postup vyhodnocovania meraní hydraulickým penetrometrom.

## 4 Výsledky práce

### 4.1 Výpočet penetračného odporu

Penetračný odpor je podľa normy ASAE S 313.3 definovaný ako podiel sily, potrebnej na zatlačenie kužeľa do pôdy a plochy základne kužeľa.

V zahraničnej literatúre sa často tento parameter nazýva ako index kužeľa (CI - cone index), ktorý sa potom dá vyjadriť nasledovne:

$$I_K = F/S$$

$I_K$  – index odporu, N/mm<sup>2</sup>

$F$  – zatlačacia sila do pôdy, N

$S$  – plocha základne kužeľa, mm<sup>2</sup>

Mulqueen a kol. (1977) uvádza, že v momente, keď sa hrot kužeľa zabára do pôdy, dochádza k vytlačaniu pôdy nahor a do strán a zároveň sa menia aj sily, ktoré pôsobia na kužeľ a aj plocha kužeľa, ktorá prichádza do styku s pôdou.

V prípade, že dôjde v dôsledku opakovaných prejazdov vozidla k zmenám v pôde, zavádza sa pojem pretvárny index – RI (remolding index). Je definovaný ako pomer indexu odporu kužeľa ( $CI = I_K$ ) po pretvorení a pred pretvorením pôdy.

$$RI = CI_A/CI_B$$

Index -  $A$  – po pretvorení

-  $B$  – pred pretvorením

Pretvorenie povrchovej vrstvy pôdy spôsobuje zmenu pevnosti pôdy. Pevnosť pôdy závisí od typu a podmienok terénu, a preto sa zaviedol tzv. menovitý index odporu kužeľa RCI (rating cone index), ktorý vyjadruje vplyv týchto zmien:

$$RCI = RI \cdot CI$$

Na charakterizáciu priechodnosti terénu sa zaviedol tzv. vozidlový index odporu kužeľa VCI (vehicle cone index), ktorý je charakterizovaný minimálnym indexom odporu kužeľa pôdy na

kritickej úrovni, ktorý umožňuje vozidlu uskutočniť určený počet prejazdov bez zapadnutia (Bajla, 1998).

## 4.2 Metóda korigovania hodnôt prístrojov

Pretože rozmery i tvar kužeľa sondy u jednotlivých penetrometrov neboli rovnaké, bolo potrebné použiť prepočtové vzťahy na korekciu rozmerov. Pre korekciu priemeru sa použil Perumpralov vzťah v tvare:

$$\frac{I_{Kx}}{I_{Ks}} = \left( \frac{d_s}{d_x} \right)^n$$

Z toho vyplýva:

$$I_{Ks} = \frac{I_{Kx}}{\left( d_s / d_x \right)^n}$$

Po dosadení: pre hodnoty  $d_x = 11,28$  mm,  $d_s = 12,83$  mm a  $n = 0,1$  potom bude:

$$I_{Ks} = 0,9872402 \cdot I_{Kx}$$

Pre korekciu výsledkov na štandardný uhol kužeľa sa používa vzťah podľa Fritona:

$$I_{Ks^0} = \frac{I_{Kx}}{k_2}$$

Ale keďže všetky prístroje (okrem Eijkelkampu), ktoré boli použité pri meraniach na túto prácu mali štandardný uhol  $30^\circ$  a preto ich nebolo potrebné korigovať na štandardný uhol.

Prístroj Eijkelkamp i keď mal použitý kužeľ so  $60^\circ$  vrcholovým uhlom neboli výsledky pri spracovaní korigované, pretože sa korekcia uskutočňovala automaticky, priamo v prístroji (Bajla, 1998).



### 4.3 Metóda spracovania výsledkov

Pre spracovanie výsledkov boli použité štatistické metódy, ktorými sa docielila vhodná úprava výsledkov pre ich ďalšie skúmanie. Týmito metódami boli medián a aritmetický priemer.

Medián  $\tilde{x}$  je stredná hodnota, ktorá rozdeľuje súbor hodnôt na dve rovnako početné časti, pričom prvá časť má hodnoty menšie ako je medián a druhá časť má hodnoty väčšie.

Aritmetický priemer  $\bar{x}$  vyjadruje aký objem hodnôt môže pripadnúť na jednu jednotku súboru.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

### 4.4 Metóda vyhodnotenia chýb prístrojov

Merania sa uskutočňovali vždy s dvomi prístrojmi pričom jeden bol vždy P-BDH 3A, ktorý bol považovaný za základný. Meranie sa uskutočňovalo za rovnakých podmienok aby sa prejavili chyby, ktorými sú výsledky meraní zaťažené.

Ako absolútna chyba  $d$  sa označuje rozdiel medzi nájdenou hodnotou  $x$  a skutočnou hodnotou  $\zeta$ , pričom je výhodné vyjadriť absolútnu chybu  $d$  bez zreteľa na znamienko.

$$d = |x - \zeta|$$

Hodnota absolútnej chyby však sama o sebe neposkytuje dost' názornú informáciu o správnosti výsledku. Preto sa ako miera správnosti uvádza tzv. relatívna chyba –  $e$ :

$$e = \frac{d}{\zeta} = \frac{|x - \zeta|}{\zeta}$$

Relatívna chyba je bezrozmerným číslom. V praxi sa spravidla uvádza v percentách -  $e_p$ :

$$e_p = \frac{|x - \zeta|}{\zeta} \cdot 100$$

Často je treba zistiť chybu výsledku získaného meraním alebo výpočtom z niekoľkých meraní, ktoré sú sami o sebe zaťažené určitými chybami. Môžu stanoviť na základe zákona o šírení chýb. Vzhľadom na možnosti a rozsah práce sa k porovnaniu bude využívať vyššie popísaný aparát (Dupač, 1962).

## 4.5 Štatistika pri vyhodnocovaní

Pri vyhodnocovaní meraní je vhodné použitie štatistických metód. Najbežnejšími štatistickými metódami ktoré sa používajú pri vyhodnocovaní je aritmetický priemer, priemer krajných hodnôt a medián.

Našou úlohou je na základe pozorovaní odhadnúť konštantu  $\mu$ , následne si vypočítame:

- *aritmetický priemer pozorovaní*  $\bar{x}$ : je najjednoduchší druh priemeru

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- *medián*:  $\tilde{x}$  je hodnota, ktorá rozdeľuje postupnosť podľa veľkosti zoradených výsledkov na dve rovnako početné polovice. V štatistike patrí medzi stredné hodnoty. Platí, že najmenej 50 % hodnôt je menších alebo rovných a najmenej 50 % hodnôt je väčších alebo rovných mediánu.
- *priemer krajných hodnôt*:  $x = 1/2 \cdot (h_{min} + h_{max})$
- *štvorcové odchýlky* - pre aritmetický priemer:  $(\bar{x} - \mu)^2$ 
  - pre medián:  $(\tilde{x} - \mu)^2$
  - pre priemer krajných hodnôt:  $(x - \mu)^2$

Z tohto vyplýva, že z možných pozorovaní sa dá určiť pomocou výslednej štvorcovej odchýlky, ktorá štatistická metóda je najvýhodnejšia pre vyhodnocovanie (Dupač, 1962).

## Diskusia

Kuželové penetrometre sú prístroje na meranie penetračného odporu pôd, používané mnoho rokov v rôznych aplikáciách vo viacerých oblastiach, pretože majú ľahkú, rýchlu a ekonomickú obsluhu. Aplikácie metódy zahŕňajú poľné výskumy, odhady pevnosti pôdy a prejazdnej schopnosti ako aj odhady odporu rastu koreňov a utlačenia pôdy. Dôležité faktory ovplyvňujúce penetračný odpor sú predovšetkým vlhkosť, hustota pôdy, pórovitosť pôdy, pevnosť pôdy, priemer základne kužeľa, vrcholový uhol a povrchová drsnosť kužeľa.

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 vyšetrenie neporušených pôd.

Penetrometre môžeme z hľadiska spôsobu merania rozdeliť do dvoch základných skupín – na kontinuálne a diskontinuálne. Hlavnou výhodou kontinuálnych penetrometrov, ktorých typickým predstaviteľom sú horizontálne penetrometre, je získanie väčšieho množstva dát, ktoré sa vyhodnocujú napr. pomocou funkcie strednej efektívnej hodnoty. Meranie prebieha rýchlo, čo má výhody najmä pri veľkých plochách. Ich najväčšou nevýhodou je fakt, že merané hodnoty pochádzajú z jednej vopred určenej hĺbky. V praxi to znamená, že treba použiť väčší počet horizontálnych penetrometrov t.j. pre každú hĺbku iné rozmiestnenie sond, alebo opakovať meranie vždy s iným nastavením hĺbky, čo však už predlžuje dobu merania.

Hlavným predstaviteľom skupiny diskontinuálnych penetrometrov sú vertikálne penetrometre. Z hľadiska princípu merania ich radíme medzi kvázistatické princípy. Ich najväčšou výhodou je ich konštantná rýchlosť zatlačania, ktorá je podmienkou merania podľa normy ASAE a získavania dát v rôznej hĺbke pôdneho horizontu. Pri použití konštrukčného riešenia s väčším počtom sond sa zvyšuje presnosť získaných údajov (Rapper, 1999).

Priestorová variabilita sa prejavuje rozmanitosťou vlastností jednotlivých geografických častí pozemkov, čo spôsobuje variabilitu v produktivite rastlín a ich výnosov. Je typickou charakteristikou poľnohospodárskeho prostredia, predovšetkým pôdneho prostredia. Časová variabilita sa prejavuje ročníkovými rozdielmi pôdných parametrov a výnosov.

Variabilita je hlavne spôsobená vplyvmi pôdotvorných faktorov (klíma, vegetácia, geologické zloženie materskej horniny, topografia a čas) ako aj zvolenými metódami

spracovávaní pody. Pôdne vlastnosti vykazujú prirodzenú priestorovú variabilitu v rámci sledovanej plochy, v rámci celej krajiny alebo regionálnu (Mulla a McBratney, 1999). Viac pôdnych vlastností vykazuje priestorové závislosti, pričom platí, že menej priestorovo oddelené ukazovatele sú viac podobné ako vzdialená dvojica.

V závislosti od lokálnych podmienok v rámci poľa je následne možné presne a cielene riadiť vstupy a technológie v správnom čase a vhodným spôsobom čo je hlavnou myšlienkou presného poľnohospodárstva. Celý tento systém vyžaduje ale rozsiahlu technickú podporu z dôvodu získavania a spracovania dát o pôde, poli a plodine s tým, že každá informácia sa vzťahuje na presné miesto poľa so známou geografickou polohou (Nozdrovický, 2005).

Vzhľadom na to, že proces rastlinnej výroby je spojený s konkrétnou lokalitou, základná informácia musí byť viazaná na túto lokalitu, t.j. pole. Hlavným zdrojom informácii o rôznorodosti pôdnych vlastností v rámci poľa sú geograficky orientované odbery pôdnych vzoriek (s presne zaznamenanou polohou pomocou GPS), údaje diaľkového prieskumu Zeme DPZ (radarové údaje vysokého rozlíšenia) a mapy úrody. Zjednotením databázy odborných informácii s informáciami o presnej polohe pomocou GPS umožňuje využívanie GIS, ktorý priradzuje získaným údajom ich geografickú polohu a dáva základ pre lokálne diferencované riadenie (Šimonides, 2000).

Získané údaje, ktoré označujeme ako primárne sa zapracujú do digitálnych máp pozemku, do nich sa v ďalších krokoch importujú „sekundárne“ údaje ako napríklad informácie z pedologického a agronomického hľadiska.

Ako základné riešenie hydraulicky ovládaného penetrometra pre meranie in situ sa môže označiť návrh Tekina, (2007) z jeho práce na Univerzite Uludag v Turecku. Zariadenie pozostáva z jednej penetračnej tyče napojenej na hydraulicky valec, ktorý je poháňaný od vonkajšieho hydraulického okruhu traktora. Hĺbka merania v uvedenom prípade je 400 mm a údaje sú zaznamenávané každých 25 mm. Maximálne zaťaženie je 500 kg, pri väčšom už zasiahne ochranný systém, ktorý hydraulickú kvapalinu prepúšťa cez poistný ventil.

Vyhodnocovanie spolu s ochranou celého systému má na starosti DAS jednotka. Samotné meranie spolu s vyhodnotením a zaznamenaním neprekračuje čas 13,3 s.

Zložitejšie konštrukčné riešenie v tejto oblasti predstavujú systémy Domsch (2006) a Rapper (1999). Napriek konštrukčne rozdielnym poňatiam problematiky vychádzajú z rovnakého princípu – zvýšenie počtu penetračných senzorov pre spresnenie meraných výsledkov. Domsch umiestnil celú konštrukciu na predný záves dopravného prostriedku, kým Rapper uchytil konštrukciu na trojbodovom závесе hydrauliky.

Tekeste (2001), vychádzal pri návrhu z Raperovho systému, a pod jeho vedením skonštruoval zmenšený systém, ktorý je doplnený systémom vyhodnocovania a zaznamenávania dát pomocou notebooku. Konštrukcia bola vyľahčená preto, že bola navrhnutá pre meranie kompaktie ľahkých pôd. Všetky uvedené systémy sú už samozrejme vybavené systémom GPS prípadne DGPS pre následné vyhodnocovanie prostredníctvom GIS systému.

## Návrh na využitie výsledkov

Zariadenie navrhnuté Boďom pozostáva z nosného rámu, na ktorom sú vodiace tyče s pohyblivým nosníkom, ktorý nesie päť penetračných tyčí, uchytených cez snímač a držiak s nosníkom. Nosník je spojený s hydraulickým valcom, ktorý je napojený na vonkajší hydraulický okruh traktora a posúva nosník vo vertikálnom smere pri zatláčaní sond do pôdy a následne vyťahovaní sond z pôdy. Hĺbka merania navrhnutého systému je 0,5 až 0,6 m a údaje sú zaznamenávané pri posuve každých 0,01 m. Maximálna zaťažujúca sila je 1 kN, s možným 1,5 násobným preťažením. Záznam nameraných údajov sa uskutočňuje prepojením s meracím notebookom. Návrh vyhodnocovania nameraných výsledkov môže zabezpečiť dostatočnú presnosť meraní a objektívne posúdenie kompaktie pôdy v meranom horizonte.

Popísaný spôsob merania je možné použiť vo výskume variability vlastností pôdy, ale aj pri skutočných pestovateľských systémoch s využitím systému pôdnych máp.

## Záver

Kuželové penetrometre sú zariadenia, ktoré sú určené pre meranie penetračného odporu pôdy. Sú využívané vo viacerých oblastiach z dôvodu jednoduchej, rýchlej a ekonomickej obsluhy. Pri tom nám ponúkajú dostatočne presné hodnoty merania.

Kuželová penetrometria sa často používa pri vyhodnocovaní stupňa utlačenia pôdy. Meranie kuželovým penetrometrom má široké možnosti využitia pri vyhodnocovaní fyzikálno – mechanických a technologických vlastností pôd.

Zo stupňa utlačenia pôdy vyplýva penetračný odpor pôdy. Ten nám charakterizuje stupeň obtiažnosti kyprenia, energetickú náročnosť spracovania pôdy a pod. Penetračný odpor súvisí s objemovou hmotnosťou a pórovitosťou pôdy (veličiny vyjadrujúce hustotu uloženia pôdných častíc), ale je tiež závislý od zrnitosti uloženia pôdy, pôdneho druhu a hlavne od okamžitého obsahu pôdnej vlahy v pôde.

Pedokompakcia je najčastejšie definovaná pomocou penetračného odporu (Cone Index, CI) pri meraní penetrometrom. Najjednoduchšie penetrometre v dnešnej dobe pozostávajú z penetračnej tyče ukončenej kuželom o normou definovaných rozmeroch a senzorom zachytávajúcim hodnoty pôsobiacej sily. Veľmi často sa využívajú prenosné penetrometre, ktorých určitou nevýhodou je rôzna rýchlosť zatlačania kužela, ktorá je spôsobená rôznym odporom pôdy pri zatlačaní do pôdy. Práve táto skutočnosť bola hlavným dôvodom pre návrh hydraulického zatlačania sond do pôdy. Zlepší sa tým presnosť meraní a opakovateľnosť.

Navrhnutý počet sond by mal umožniť zvýšenie rýchlosti merania, presnosti merania a komfortu záznamu meraných dát a vyhodnocovania výsledkov.

Spôsob vyhodnocovania výsledkov je založený na klasických štatistických metódach, pričom sa zohľadňuje princíp hľadania minimálnej odchýlky od očakávanej hodnoty s použitím porovnania priemeru a mediánu metódou najmenších štvorcov odchýlok. Tento postup umožňuje odstrániť z meraní extrémne vybočujúce hodnoty a zvýšiť správnosť výsledkov.

## Použitá literatúra

1. BAJLA, J. 1998. Penetrometrické merania pôdnych vlastností. Metódy, prístroje a interpretácia. Monografia. 1. vyd. Nitra, VES SPU Nitra 1998. 112 s. ISBN 80-7137-543-8.
2. BEDRNA, Z., HRAŠKO, J., SOTÁKOVÁ, S. 1968. Poľnohospodárske pôdoznanectvo. Bratislava. SVPhL. 1968. 362s. 1 vyd.
3. BOĎO, T., BAJLA, J. 2008. Konštrukčný návrh penetračného prístroja ovládaného hydraulicky (Design of penetrating device with hydraulic control) In: *Medzinárodná študentská vedecká konferencia* [elektronický zdroj] : mnohoautorské CD, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2008. ISBN 978-80-552-0042-2. - S. 8-16
4. DOMSCH, H.D., A. EHLERT, K. GIEBEL AND J. BOESS, 2006. Evaluation of the soil penetration resistance along a transect to determinate the loosening depth. In: *Precision Agric.*, 2006, 7: 309-326.
5. EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT: *Penetrologger*. [online] [cit.2008-4-5]. Dostupné na internete: <<http://www.eijkelkamp.com/>>
6. HANES, J. 1997. Ekologické aspekty využívania poľnohospodárskej pôdy. In: *Pôda v súčasných environmentálnych podmienkach*. Zvolen: TU, 1997.
7. SICKLE, J. V. 2001. GPS for Land Surveyors. In: CRC Press. 2001. ISBN 15-7504-075-1, 284 pages
8. KLOBUŠIAK, M., LEITMANOVÁ, K., FERIANC, A. 2005. Slovenská permanentná služba využitia GNSS a inteligentné dopravné systémy [online] [cit.2007-8-12]. Dostupné na internete: <<http://www.gku.sk/slo/doc/odborne/spsgnss.pdf>>
9. KOBZA J. a kol., 2005, Bratislava, VÚPOP, s. 14: Návrh regulačných pôdoochranných opatrení z výsledkov monitoringu pôd SR.
10. LÍŠKA, E., a kol. Všeobecná rastlinná výroba. 1. vyd. Nitra. 2008. Slovenská poľnohospodárska univerzita. 2008. 452 s. ISBN 978-80-552-0016-3.
11. MCBRATNEY, A., WHELAN, B., ANCEV, T. 2005. Future directions of precision agriculture precision In: *Agriculture*, 6, 7–23, 2005.
12. MULLA, D.J. and A.B. McBRATNEY. 1999. Soil spatial variability. In: *Hand book of soil science*. M.E. Summer. Editor-in Chief. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida. U.S.A.



13. MUNSUZ, N. 1985. Soil mechanic and technology. In: Agric. Faculty Issue. 1985, number 260, Ankara, Turkey.
14. NOZDROVICKÝ, L. 2005. Presné poľnohospodárstvo- obsah, význam, zamera-nie. Dostupné na internete: <<http://agris.czu.cz/kznp/detail.php?id=140153&iSub=518> >
15. 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.
16. ŠIMONIDES, I., 2000. Základy geografických informačných systémov: Pre študentov SPU 3. vyd. Nitra. Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2000. 109 s. ISBN 80-8069-717-5.
17. Tani, K. and Craig, W.H. (1995) : Development of centrifuge cone penetration test to evaluate the undrained shear strength profile, Soils and Foundations, Vol. 35, No. 2, pp. <[http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~cen98/Library/4\\_SUPPLE/4\\_1\\_1\\_CO/BOUNDARY.HTM](http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~cen98/Library/4_SUPPLE/4_1_1_CO/BOUNDARY.HTM) >
18. 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\\_40606.pdf](http://www.ifaanet.org/Social%20Science/mehari_zewde_tekeste_j_phd_40606.pdf) >
19. TEKIN, Y., KUL B., and OKURSOY, R. 2008 Sensing and 3D mapping of soil compaction In: Sensors 2008, 8, 3447-3459.
20. DUPAČ, V., HÁJEK, J. 1962. *Pravděpodobnost ve vědě a technice*. vyd. Nakladatelství Československé akademie věd Praha, 1962.

#### **Zdroje z internetu:**

1. [http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~cen-98/Library/0\\_COVER1.HTM](http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~cen-98/Library/0_COVER1.HTM)
2. [http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/boulanger/geo\\_photo\\_album/Site%20characterization/Cone%20Penetration%20Test/Cone%20Main.html#Anchor-Con-12320](http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/boulanger/geo_photo_album/Site%20characterization/Cone%20Penetration%20Test/Cone%20Main.html#Anchor-Con-12320)
3. cone penetrometer testing.html
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Soil>
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Soil\\_mechanics](http://en.wikipedia.org/wiki/Soil_mechanics)
6. [http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~cen98/Library/4\\_SUPPLE/4\\_1\\_1\\_CO/GRAIN\\_SI.HTM](http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~cen98/Library/4_SUPPLE/4_1_1_CO/GRAIN_SI.HTM)
7. [www.ugt-online.de](http://www.ugt-online.de)
8. <http://www.soilmeasurement.com/cone.html>
9. <http://www.fpv.umb.sk/~vzdchem/KEGA/TUR/PODA/Poda04.htm>

10. <http://www.agro-divizia.sk-/ait.html>

**Normy:**

1. ASAE, 1998. Soil cone penetrometer. ASAE Standard S313.3 02. 2004 STANDARDS. 45th Ed. American Society of Agricultural Engineer, St. Joseph, MI
2. STN 47 0125 Skúšanie poľnohospodárskych strojov, 1988