

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

TECHNICKÁ FAKULTA

**POROVNANIE UTLAČENIA PÔDY PRI JAZDE NA
HROTOVOM KOLESE A NA PNEUMATIKE PO PÔDE
PRI VYVÍJANÍ ŤAHOVEJ SILY**

2011

Ján Tariška, Bc.

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

TECHNICKÁ FAKULTA

**POROVNANIE UTLAČENIA PÔDY PRI JAZDE NA
HROTOVOM KOLESE A NA PNEUMATIKE PO PÔDE
PRI VYVÍJANÍ ŤAHOVEJ SILY
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný program:	Prevádzka dopravných strojov a zariadení
Študijný odbor:	2302800 Prevádzka strojov a zariadení
Školiace pracovisko:	Katedra dopravy a manipulácie
Školiteľ:	Ing. Rudolf Abrahám, PhD.

Nitra 2011

Ján Tariška, Bc.

ABSTRAKT

Témou mojej diplomovej práce je porovnanie utlačenia pôdy pneumatikovým a hrotovým kolesom pri vyvíjaní ťahovej sily traktorom. Riešená problematika bola realizovaná v laboratórnych a prevádzkových podmienkach. V laboratórnych podmienkach bola stanovená objemová hmotnosť pôdy pre jednotlivé prejazdy ako jeden z mnohých fyzikálnych vlastností pôdy. Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že najväčšiu hodnotu objemovej hmotnosti mala pôda po treťom prejazde pneumatikovým kolesom $1,63\text{g/cm}^3$.

V prevádzkových podmienkach je na vyhodnotenie utlačenia pôdy uplatnená druhá najviac používaná penetračná metóda. Mnoho autorov používa túto metódu k zisteniu vplyvu poľnohospodárskych strojov na utláčanie pôdy. Experimentálnym meraním sa zistilo, že najvýraznejšieho nárastu penetrometrického odporu pôdy sa deje po prvom a druhom prejazde mechanizmov. V práci sú rozobrané jednotlivé metódy zisťovania fyzikálno-mechanických vlastností pôdy a jednotlivé metódy zisťovania utlačenia pôdy.

Kľúčové slová: pôda, zhutnenie pôdy, objemová hmotnosť

SUMMARY

The topic of my thesis is a comparison of soil compaction tire and wheel lathe in the development of tractor pulling force. Handled the issue was conducted in the laboratory and operating conditions. The laboratory was set density for each land crossings as one of many physical properties of soil. The results obtained suggest that the largest density value of the land had to pass the third wheel tire 1.63g/cm³. The operating conditions is to evaluate the soil compaction applied second most used method of penetration. Many authors used this method to determine the impact of agricultural machinery to repress the soil. Experimental measurements revealed that the most prominent increase in penetrometer resistance of soil is going after the first and second pass mechanisms. The paper discussed various methods for the determination of physico-mechanical properties of soil and different methods of investigation of soil compaction.

Key words: soil, soil compaction, bulk density

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Bc. Ján Tariška vyhlasujem ,že som diplomovú prácu na tému „Porovnanie deformácie pôdy traktorom pri vyvíjaní konštantnej ťahovej sily na pneumatikách a na hrotových kolesách” vypracoval samostatne a všetky použité pramene som uviedol v zozname použitej literatúry. Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade ,ak hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

Nitra , apríl 2011

Bc. Ján Tariška

POĎAKOVANIE

Touto formou by som sa rád poďakoval pánovi Ing. Rudolfovi Abrahámovi, PhD., vedúcemu bakalárskej práce za jeho cenné odborné rady a pripomienky pri vypracovávaní tejto diplomovej práce. Tak isto ďakujem mojim rodičom a známym za ich morálnu podporu.

Nitra , apríl 2011

Bc. Ján Tariška

POUŽITÉ SKRATKY, SYMBOLY A OZNAČENIA

A	kontaktná plocha, m^2
c	kohézia, $N \cdot m^{-2}$
f_1	súčiniteli vnútorného trenia
F_h	hnacia sila, N
F_0	maximálne zaťaženie pneumatiky, N
H_z	hmotnosť čerstvej zeminy, g
H_s	hmotnosť suchej zeminy, g
I_c	ukazovateľ konzistencie
I_p	číslo plasticity
m	hmotnosť vzorky, g
n	pórovitosť, %
p_k	kontaktný tlak, Pa
q_s	stredný kontaktný tlak, Pa
S	merná hmotnosť, $g \cdot cm^{-3}$
V_p	objem pórov, m^3
V	celkový objem vzorky, m^3
Y	normálová reakcia, N
W	vlhkosť, %
ρ_v	objemová hmotnosť, $g \cdot cm^{-3}$
σ	normálne zaťaženie pôsobiace na plochu porušenia, Pa
φ_1	úhol vnútorného trenia horniny, °
τ	pevnosť hornín vo šmyku, N

Obsah

ÚVOD.....	9
1 VLASTNOSTI HORNÍN	10
1.1 Fyzikálne vlastnosti hornín	10
1.2 Mechanické vlastnosti hornín	13
1.2.1 Šmyková pevnosť pôdy	13
1.2.2 Zisťovanie fyzikálnych a mechanických vlastností zemín.....	15
1.3 Technologické vlastnosti hornín	18
1.4 Klasifikácia hornín	18
1.4.1 Klasifikácia hornín pre zemné práce – podľa rozpojiteľnosti	18
1.5 Zhutniteľnosť hornín	22
1.6 Vplyv pneumatikového kolesa na zhutnenie pôdy.....	25
1.7 Vplyv hrotového kolesa na zhutnenie pôdy	28
1.7.1 Kontaktný a merný tlak	28
1.8 Metódy merania zhutnenia zemín	30
1.8.1 Metódy laboratórne	30
1.8.2 Metódy priameho merania.....	34
2 CIEĽ PRÁCE.....	38
3 METODIKA PRÁCE	39
4 VLASTNÁ PRÁCA	40
4.1 Kopeckého valčeky na odber vzorky pôdy	40
4.2 Penetrometer	41
4.3 Hrotové koleso	42
4.3.1 Popis funkcie hrotového kolesa.....	43
4.4 Technické parametre traktora MINI-070	45
4.5 Výsledky práce.....	46
4.5.1 Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt	46
4.5.2 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt	47
5 DISKUSIA.....	52
6 ZÁVER	53
7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	54
PRÍLOHA	

ÚVOD

Utláčanie pôdy je v poľnohospodárstve už dlhé roky považované za negatívny vplyv pohybu poľnohospodárskych strojov po pôde. Utláčaním sa zvyšuje objemová hmotnosť pôdy, zvyšuje sa energetická náročnosť strojov pri vykonávaní poľnohospodárskych a kultivačných prác. Znížením pórovitosti sa pôda stáva menej okysličenou a vznikajú nevhodné podmienky pre koreňový systém a úrodnosť pôdy. Súčasným trendom je byť čo najvýkonnejší a najefektívnejší pri minimálnych nákladoch, z toho dôvodu sa v poľnohospodárstve už dlhý čas používajú anorganické a priemyselné hnojivá na úkor organických, čím sa znižuje obsah a kvalita pôdnej organickej hmoty a zvyšuje sa zhutnenie pôdy. Pôda je nenahraditeľným základným výrobným prostriedkom našej spoločnosti, je nenahraditeľným článkom kolobehu života, kde spolu s celou prírodou vytvára regulátor civilizácie. Preto sa o pôdu treba starať s úctou a pristupovať k nej vnímavo.

V práci je porovnané utlačenie pôdy pneumatikovým a hrotovým kolesom prejazdmi traktora pri vyvíjaní ťahovej sily. Pozornosť je venovaná hlavne na faktory ovplyvňujúce stupeň zhutnenia pneumatikovým a hrotovým kolesom, jednotlivým metódam ich hodnotenia.

1 VLASTNOSTI HORNIN

(Celjak, 2009) Z hľadiska spracovateľnosti sa horniny radia k materiálom nehomogénnym a anizotropným. Ich mechanické vlastnosti sú do značnej miery ovplyvnené pôsobením vonkajších vplyvov (vlhkosti, erózie a podobne), čo spôsobuje výrazné problémy pri výpočtoch odporov, ktorými reagujú na svoju spracovateľnosť. Horniny vznikajú v priebehu geologických procesov zvetrávania, preprave a sedimentácií z vyvrelých, hlbinných skalných hornin. Toto zvetrávanie môže byť buď: **Mechanické** – vzniká v dôsledku atmosférických účinkov, vplyvom striedania nízkych a vysokých teplôt, gravitačnými účinkami, erozívnu činnosťou povrchovej a presakujúcej podzemnej vody, ľadu a vetra.

Chemické – je spôsobené slabými chemickými roztokmi, ktoré sa vyskytujú v prírode.

V zemskej kôre sa vyskytujú prvky v zlúčeninách, ktoré nazývame minerály a tie poznáme primárne horninotvorné a sekundárne. V skalných horninách je známych 200 horninotvorných materiálov primárnych (napr.: kremeň, živec, uhličitany, sľudy). Sekundárne minerály sa v skalných horninách nevyskytujú. Vznikajú chemickým zvetrávaním, ktoré spôsobuje rozpad a zmeny mineralogického zloženia skalných hornín.

1.1 Fyzikálne vlastnosti hornín

Tieto vlastnosti charakterizujú horninu buď trvale (merná hmotnosť) alebo vyjadrujú okamžitý stav, ktorý sa môže vplyvom vonkajšieho prostredia (vlhkosť, objemová hmotnosť) meniť. Fyzikálnymi (popisnými) vlastnosťami rozumieme také vlastnosti, ktoré popisujú hmotu materiálu vo vzťahu k objemu, vzťah medzi fázami horniny alebo si všímajú dôsledky vzájomného pôsobenia týchto fáz.

Fyzikálne vlastnosti hornín: granulometrické zloženie (zrornosť), pórovitosť, priepustnosť, vzlínavosť, merná hmotnosť, objemová hmotnosť, konzistencia, rozpustnosť.

Zrornosť – patrí k základným vyhodnocovacím vlastnostiam nesúdržných i súdržných hornin, ktorá spravidla rozhoduje o zatriedení hornin. Zrornosť hornin má priamy vplyv na ich spracovateľnosť a ich ďalšie mechanické vlastnosti.

Tab. 1. Označenie zŕn podľa STN 72 1012

Veľkosť zŕn, mm	Označenie, názov
0,002 a menšie	il
0,02 až 0,063	prach
0,63 až 0,250	jemný piesok
0,250 až 1,0	stredný piesok
1 až 2	hrubý piesok
2 až 8	drobný štrk
8 až 32	stredný štrk
32 až 128	hrubý štrk
128 až 256	kamene
256 a väčšie	balvany

Pórovitosť – pórovitosť horniny je určená pomerom objemov pórov V_p k celkovému objemu vzorky V , teda:

$$n = \frac{V_p}{V} \cdot 100 \, \% \quad (1)$$

Z praktického hľadiska je pórovitosť meradlom uľahnutia hornín. Čím je hornina viac zhutnená, tým je pórovitosť menšia. Pórovitosť má ďalej vplyv na objemovú hmotnosť, stabilitu, nasiakavosť, filtračnú schopnosť a mrazuvzdornosť hornín. Pri ťažení hornín dochádza k nakypreniu, čím sa zväčšuje pórovitosť. Pórovitosť hornín kolíše vo veľkom rozsahu a je závislá predovšetkým na spôsobe vzniku horniny, na tvare a veľkosti zŕn. Sypké horniny usadené v rýchlo tečúcich vodách majú väčšiu pórovitosť ako pri sedimentácii v pomaly tečúcich alebo stojatých vodách. Čím je nehomogenita horniny väčšia, tým je menšia pórovitosť, pretože menšie zrná dobre zaplňujú medzery medzi väčšími zrnami. Pórovitosť horniny je tým väčšia, čím väčší je pomer povrchu jednotlivých zŕn k ich objemu. Horniny so zrnami guľovitého tvaru majú pórovitosť menšiu než horniny so zrnami ostrohrannými, nepravidelnými.

Maximálna pórovitosť sa určuje spravidla ako pórovitosť vysušenej horniny, sypanej do odmernej nádoby pomocou násypky z malej výšky.

Podľa veľkosti sa póry delia na kapilárne (vlásočnice) s prierezom do 0,2mm a na póry nekapilárne (vzdušné), ktoré majú prierez väčší. Kapilárnymi pórmí voda vzlína k povrchu horniny, nekapilárnymi pórmí naopak presakuje smerom dolu. Nekapilárne póry sú väčšinou naplnené vzduchom.

Priepustnosť – závisí vo veľkej miere od tvaru a od pórovitosti. Čím obsahuje hornina viac kapilárnych pórov, tým sa priepustnosť znižuje a naopak. Piesčité horniny sú veľmi priepustné a preto sa s výhodou používajú ako horniny, krycie vrstvy, pretože nezamŕzajú.

Vzlínavosť – predstavuje pohyb vody v hornine od hladiny spodnej vody smerom k povrchu. Závisí na množstve a jemnosti kapilárnych pórov, čím sú menšie, tým viac vzrastá vzlínavosť. Horniny hrubozrnné majú malú vzlínavosť, naopak horniny jemnozrnné, homogénne majú väčšiu vzlínavosť. Čím viac voľnej vody hornina obsahuje, tým dochádza k väčšiemu premŕzaniu a vzniká nebezpečie vážnych porúch stavieb. Pre budovanie násypov sú najvhodnejšie nesúdržné horniny, pretože sú priepustné a dobre zhutňujúce.

Merná hmotnosť – merná hmotnosť, resp. hustota, je pomer hmotnosti pevných častíc horniny vysušenej pri teplote 100-110 °C do stálej hmotnosti m_s k ich objemu V_s . Voda, ktorá je pevne viazaná k povrchu zŕn a zostane v hornine i po vysušení, sa počíta za súčasť horniny.

Objemová hmotnosť – je hmotnosť objemovej jednotky horniny, skladajúcej sa z pevných častíc a pórov, ktoré sú vyplnené čiastočne (prípadne úplne) vodou alebo vzduchom. Pre praktické použitie má najväčší význam objemová hmotnosť v prirodzenom stave. Táto hodnota je potrebná pri výpočtoch výkonnosti zemných strojov a pri preprave horniny. Objemová hmotnosť vysušenej horniny je meradlom jej utlačnosti, a preto sa používa k hodnoteniu zhutnenia hornín.

Ak je možnosť vyrezať z horniny pravidelné teleso, určuje sa objemová hmotnosť (ak už v prirodzenom alebo vysušenom stave), ako podiel hmotnosti telesa k jeho objemu:

$$\rho_v = \frac{m}{V} \cdot 1000, \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (2)$$

kde: m – hmotnosť vzorky, kg

V – objem vzorky, m^3

Takto stanovená objemová hmotnosť udáva hmotnosť horniny v pôvodnom, tzv. prírodnom stave. Pri ťažbe hornín dochádza k ich nakypreniu, teda k zvyšovaniu pôvodného objemu. To znamená, že objemová hmotnosť vytťaženej horniny sa znižuje podľa stupňa nakyprenia. Pri výpočtoch výkonnosti zemných strojov a pri výpočtoch objemu prepravenej horniny sa používajú hodnoty objemových hmotností v rozpojenom stave.

1.2 Mechanické vlastnosti hornín

K zisteniu mechanických vlastností je treba vyvodit' silu, ktorej účinok na pretvárané charakteristiky materiálov sa vyžaduje. Mechanické vlastnosti podstatne ovplyvňujú priebeh rozpojovacieho procesu a spotrebu energie (požiadavky na výkon motora stroja).

Mechanické vlastnosti hornín: kypriteľnosť, šmyková pevnosť, trenie horniny o oceľ.

1.2.1 Šmyková pevnosť pôdy

Pri mechanickom rozpojení hornín, napr. pôsobením pracovných nástrojov u strojov pre zemné práce, vzniká v hornine priestorový stav napätia, ktorý sa pri prenikaní pracovného nástroja zväčšuje, až dosiahne medznej hodnoty odpovedajúcej šmykovej pevnosti danej horniny. V tom okamžiku dôjde k prestrihnutiu odrezávanej triesky. Šmyková pevnosť je rozdielna u hornín nesúdržných a súdržných. U nesúdržných (piesčitých) hornin je hlavným zdrojom ich pevnosti vo šmyku trenie medzi zrnami, ktoré je dané uhlom vnútorného trenia horniny φ_1 , vid' nasledujúca tabuľka 2.

Tab. 2. Priemerné hodnoty uhlov vnútorného trenia φ_1 nesúdržných hornín (Celjak, 2009)

Popis horniny	Nakypřený stav	Ulehľý stav
Jemné písky s oblými zrnami	28°	35°
Písky rôznorodé	32°	40°
Písky rôznorodé ostrohranné	35°	45°
Štěrka	35°	50°

Pevnosť hornín vo šmyku τ sa u nesúdržných hornín vyjadruje pomocou Coulombovej rovnice:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_1, \text{ Pa} \quad (3)$$

kde: σ – normálne zaťaženie pôsobiace na plochu porušenia (Pa)

φ_1 - uhol vnútorného trenia horniny, °

Určenie šmykovej pevnosti piesčitých hornín laboratórne je obtiažne, pretože zo sypkých hornín sa nedajú odoberať neporušené vzorky. Preto sa ich šmyková pevnosť určuje jednoduchšie podľa uhlu prirodzeného sklonu, ktorý u sypkých hornín približne odpovedá uhlu vnútorného trenia a jednoduchšie sa zisťuje vid' tabuľka 3

Tab.3.Uhly prirodzených sklonov horniny

Druh a stav horniny		Úhel prirodzeného sklonu (°)
Písek	suchý	35 - 40
	vlhký	40
	mokrý	25
Písčito-hlinitá hornina	suchá	40 - 50
Písčito-hlinitá hornina	vlhká	30 - 40
Písčito-hlinitá hornina	mokrá	20 - 30
Štěrka suchá		35 - 40
Štěrka mokrá		25

U súdržných hornín je šmyková pevnosť závislá na súčiniteli vnútorného trenia f_1 a na súdržnosti - kohézii- horniny c . Závisí teda tak ako na trecej sile medzi časticami a normálnym tlakom, tak na vnútorných silách súdržnosti. Coulombov vzťah má v tomto prípade tvar:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + c = \sigma \cdot f_1 + c \quad (4)$$

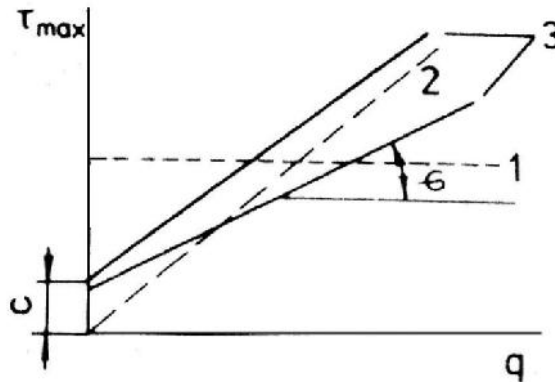
kde: c – kohézia – súdržnosť horniny

Šmyková pevnosť súdržných hornín sa určuje laboratórne na šmykových prístrojoch.

Tab. 4.Hodnoty uhlov vnútorného trenia a súdržnosti pre súdržné horniny.

Popis horniny	Úhel vnútorného trenia φ_1 (°)	Soudržnosť c (°)
Suché spraše	20 - 35	$(0,1 - 0,3) \cdot 10^5$
Mokrú jíly	1 - 3	
Vlhké jíly	méně jak 25	$(0,2 - 0,4) \cdot 10^5$
Suché jíly	méně jak 28	$(1 - 2) \cdot 10^5$
Pevné jíly	30	$(3 - 5) \cdot 10^5$

Podľa Semetka (1986) hodnoty c a φ sú značne závislé na mernej hmotnosti ρ a na vlhkosti zeminy w . Pri rovnakej mernej hmotnosti suchej zeminy ρ_s sa s pribúdajúcou vlhkosťou c a φ znižuje. U hliny má τ_{\max} maximum pri vlhkosti $w = 15 - 17\%$. Táto vlhkosť je preto najvhodnejšia k prenosu hnacej sily F_h .



Obr.1.Priebeh závislosti šmykovej pevnosti τ_{\max} na zaťažení q pre: 1-íl 2-piesok 3-hlina

1.2.2 Zisťovanie fyzikálnych a mechanických vlastností zemín

(Hraško, 1962) Vzorky pôdy, ktoré boli odobraté v teréne sa pred rozborom musia upraviť. Vzorky určené na stanovenie obsahu vody sa prenášajú v uzavretých obaloch. Pre ostatné rozборы sa vzorky vysušia v sušiarňi pri miernej teplote. Vzorka sa rozdrobí na malé kúsočky a odstráni sa z nej kamienky, korene a konkrécie. Po vysušení sa celá vzorka rozotrie v trecej miske. Mimo stanovenia štrku sa celá vzorka preoseje cez 2mm sito. Po preosiatí máme pripravenú základnú jemnozernú časť analýz.

Laboratórne skúšky

vlhkosť

Pôdna vlhkosť je obsah vody v pôde, ktorý sa vyjadruje v %. Môžeme vyjadrovať hmotnostné % na základe pomerov hmotnosti suchej zeminy a vody, alebo objemové % na základe pomerov objemov zeminy a vody. Existuje viacero spôsobov merania pôdnej vlhkosti, podľa spôsobu ich možno rozdeliť:

1. Meranie pôdnej vlhkosti z pôdnej vzorky
 - a. Vysušovacie metódy

Odobratú vzorku zeminy dáme do vysušovacej nádoby a dobre uzavrieme. Odvážíme najprv čerstvú zeminu a potom vysušenú pri 105°C. Vlhkosť vypočítame podľa vzorca:

$$W = \frac{(H_z - H_s) \cdot 100}{H_s}, \% \quad (5)$$

Kde: W - vlhkosť v hmotnostných %

H_z – hmotnosť čerstvej zeminy, g

H_s – hmotnosť suchej zeminy, g

- b. Karbidová metóda
 - c. Liehová metóda
 - d. Pyknometrická metóda
2. Meranie pôdnej vlhkosti na mieste bez porušenia pôdneho profilu
- a. Konduktometrické metódy
 - b. Tenziometrické metódy
 - c. Gamaskopická metóda
 - d. Neutrónová metóda

zrinitosť a konzistenčné medze

Rozbory zrinitosti sú založené na rozdielnej veľkosti zŕn s rovnakou špecifickou hmotnosťou, ktoré sa vo vodnom stĺpci usadzujú rôznou veľkosťou. Existuje viacero metód na stanovenie zrinitosti, najjednoduchšia je Kopeckého vyplavovacia metóda. Táto metóda používa prístroj zložený z troch prepojených valcov s rôznymi priermi. V každom z nich tým pádom preteká voda rôznou rýchlosťou a unáša ľahšie zrná do ďalšieho valca. Prvý najtenší valec je pripojený na zdroj vody. Z posledného (najširšieho) valca voda zo systému vyteká. Vzorku pôdy s vodou preplachujeme až kým sa nevyčistí voda vo všetkých valcoch. Jednotlivé frakcie vyberieme, vysušíme a zvážeme. Dostávame 4 frakcie:

- I.frakcia menšie než 0,01 mm (ílovité častice vyplavené z posledného valca)
- II.frakcia častice od 0,01 do 0,05 mm (prach usadený v poslednom valci)
- III.frakcia častice od 0,05 do 0,1 mm (práškový piesok v strednom valci)
- IV.frakcia častice od 0,1 do 2.0 mm (piesok v prvom, najužšom valci)

Vypočítame hmotnostné percentá zastúpenia jednotlivých frakcií. Pri stanovení celkového zastúpenia jednotlivých frakcií v zemine odpočítame hmotnosť štrku od pôvodnej hmotnosti vzorky a dostaneme obsah jemnozeme. Jednotlivé frakcie potom počítame podľa vzorca:

$$\text{Obsah frakcie} = \frac{(\text{Obsah frakcie jemnozemi v\%}) \cdot (\text{Obsah jemnozeme v zemine v\%})}{100} \quad (6)$$

objemová hmotnosť

Sa počíta podľa vzorca (2).

merná hmotnosť

Merná hmotnosť zeminy je hmotnosť 1 cm³ čistej zeminy bez pórov v gramoch. Pre stanovenie mernej hmotnosti je potrebné vzorku pripraviť. Odvážime 20 g jemnozeme vysušenej pri 105°C do konštantnej hmotnosti hodnota **z**. Odváženú zeminu zalejeme destilovanou vodou a za stáleho miešania povaríme 3 až 4 minúty (odstránenie vzduchu). Pripravíme piknometer, ktorý naplníme destilovanou vodou. Piknometer odvážime a dostaneme hodnotu **n**. Vodu z piknometra vylejeme a naplníme ho vychladenou suspenziou. Do plna ho doplníme destilovanou vodou tak, aby v ňom nezostali žiadne bublinky. Piknometer opäť odvážime a dostaneme hodnotu **m**. Obe váženia piknometra musia byť pri konštantných teplotách. Mernú hmotnosť **S** vypočítame podľa vzorca:

$$S = \frac{z}{(n+z)-m}, \text{ g.cm}^{-3} \quad (7)$$

pórovitosť

Sa počíta podľa vzorca (1).

*šmykové parametre***Poľné skúšky***presiometrické skúšky:*

Ide o zaťažovaciu skúšku radiálnym tlakom na stenu vrtu. Stena vrtu sa postupne zaťažuje radiálnym tlakom, ktorý sa zvyšuje až po medznú únosnosť horniny (medzu presiometrického tlaku p_{lim}).

- medzná pevnosť prostredia
- modul deformácie
- uhol vnútorného trenia

dynamické penetračné skúšky: - merný dynamický penetračný odpor q_{dyn}

- po zistení korelačných závislostí možno odvodiť aj ďalšie vlastnosti.

Chemické rozbory pôdy

- Stanovenie pôdnej reakcie a foriem pôdnej kyslosti
- Stanovenie aktívneho hliníka
- Stanovenie vápnika a horčíka

1.3 Technologické vlastnosti hornín

Technologické vlastnosti hornín majú význam hlavne pri vykonávaní zemných a podzemných stavbách. Patria sem tieto vlastnosti: akustická impedancia, mrazuvzdornosť, sklon horniny.

1.4 Klasifikácia hornín

Pri praktickom nasadení strojov pre zemné práce je otázka určenia charakteristiky príslušnej horniny z hľadiska vzájomného pôsobenia pracovného nástroja a podvozku s pôdou zásadné. Je zrejmé, že iné špecifické vlastnosti hornín budú dôležité pri vykonávaní zemných prác, iné pri sondovacích prácach a iné pri podzemných stavbách či zakladaní stavieb. Z hľadiska pôsobenia pracovných nástrojov strojov pre zemné práce na horninu pri ťažbe bude dôležitá klasifikácia hornín podľa obtiažnosti ich rozpojovania.

1.4.1 Klasifikácia hornín pre zemné práce – podľa rozpojiteľnosti

Klasifikácia hornín podľa ich rozpojiteľnosti je stanovená normou ČSN 73 3050-Zemné práce. Táto norma zatrieduje horniny podľa charakteristických vlastností a podľa obtiažnosti rozpojiteľnosti do siedmych tried. Na rozpojiteľnosť majú vplyv petrografické vlastnosti hornín, úložné pomery, mocnosť vrstiev, ich smer a sklon vzhľadom k hĺbeniu, hustota a rozpukanie, oddeliteľnosť a stupeň zvetrania horniny. Pre posúdenie rozpojiteľnosti je nutné brať do úvahy i vplyv klímy, zvlášť v prípadoch, keď sa posudzuje rozpojiteľnosť horniny dodatočne, po dlhšom časovom období alebo v období mrazov. Rozpojiteľnosť hornín je treba určiť už predbežne pre účely projektu a voľbu strojného zariadenia.

1. **Trieda** Horniny sypké až kypré, rozpojiteľné lopatou. a) Ľahko rozpojiteľné súdržné, mäkkej konzistencie, ukazovateľ konzistencie $I_C = 0,05 - 0,75$, číslo plasticity I_P menšie ako 17. Patrí sem: ornica, hlina, piesčitá hlina, hlinitý piesok. b) Nesúdržné kypré, poprípade so štrkovými zrnami do 5cm. I_P menšie ako 0,33. Patrí sem: piesok, piesok so štrkom, piesčitý štrk a drobný štrk so zrnami do 2cm bez obmedzenia a so štrkovými zrnami od 2 do 5cm v množstve menšom

ako 10% objemu z celkového objemu rozpojovanej horniny 1. triedy. c) Stavebný odpad a navážka obdobného charakteru ako horniny zaradené do 1. triedy.

2. **Trieda** Horniny ľahko rozpojiteľné, ktoré sa dajú rýpať záhradným rýľom. A) Ľahko rozpojiteľné súdržné, tuhej konzistencie $I_C = 0,75$, $I_P =$ menšie ako 17. Patrí sem: ornica, hlina, prachová hlina, piesčitá hlina, hlinitý piesok. B) Nesúdržné, stredne uľahlé, $I_P = 0,33$ až $0,67$, poprípade so štrkovými zrnami do 10cm. Patrí sem: piesčitý štrk a stredný štrk so zrnami do 5cm bez obmedzenia a štrkovými zrnami od 5 do 10cm v množstve menšom ako 10% z celkového objemu rozpojovanej horniny 2. triedy. C) Stavebný odpad a navážka obdobného charakteru ako horniny zaradené do 2. triedy.
3. **Trieda** Horniny rozpojiteľné kopaním krompáčom s plochým koncom. A) Stredne rozpojiteľné – súdržné, pevné a tvrdej konzistencie, $I_C >1$, $I_P <17$. - súdržné, mäkké a tuhej konzistencie, $I_C = 0,05-1$, $I_P <17$. Patrí sem: hlina, spraš, ílovitá hlina, piesčitý íl a íl. B) Nesúdržné uľahlé, $I_P > 0,67$, poprípade s kameňmi najväčšieho rozmeru 25cm. Patrí sem: hrubý piesčitý štrk a hrubý štrk so zrnami do 10cm bez obmedzenia a s kameňmi najväčšieho rozmeru 10 až 25cm v množstve menšom ako 10% objemu z celkového objemu rozpojovanej horniny 3. triedy. C) Nesúdržné, zaradené do 2. a 3. triedy so súdržným tmelom mäkkej a tuhej konzistencie, $I_C = 0,05$ až 1 , nesúdržné, zaradené do 2. a 3. triedy so súdržným tmelom pevnej a tvrdej konzistencie, $I_C >1$, $I_P <17$. D) Skalné a poloskalné silne zvetralé, s veľmi oslabenou štruktúrnou väzbou, technicky hodnotené ako ílovito-piesčité a skeletové horniny, poprípade zvetraliny. Patrí sem: eluvia, tektonicky porušené zóny, hydrotermálne rozložené horniny. E) Stavebný odpad a navážka obdobného charakteru ako horniny zaradené do 3. triedy.
4. **Trieda** Horniny ťažko rozpojiteľné kopaním, respektíve ostrým koncom krompáča s vylamovaním, ľahko rozpojiteľné mechanicky. A) Ťažko rozpojiteľné súdržné, pevnej a tvrdej konzistencie, $I_C >1$, $I_P >17$. Patrí sem: íl, piesčitý íl, ílovitá hlina, piesčitá hlina, prachovitá hlina. B) Nesúdržné, poprípade s balvanmi do objemu $0,1m^3$ jednotlivo. Patrí sem: hrubý štrk so zrnami do 10cm bez obmedzenia, s kameňmi najväčšieho rozmeru 10 až 25 cm v množstve 10 až 50% objemu z celkového objemu rozpojovanej horniny 4.

triedy a s balvanmi nad rozmer 25cm do objemu $0,1\text{m}^3$ jednotlivo v množstve menšom ako 10% objemu z celkového objemu rozpojovanej horniny 4. triedy. C) Nesúdržné zaradené do 2. a 3. triedy so súdržným tmelom pevnej a tvrdej konzistencie, $I_C > 1$, $I_P > 17$. Patrí sem: drobný a stredný štrk s ílovitým alebo hlinitým tmelom. D) Poloskalné stredne spevnené, zvetralé s oslabenou štruktúrnou väzbou. Patrí sem: zvetralé ílovce, prachovce, vulkanické tufy, tufity, zvetralé pieskovce a bridlice, zvetralé mäkké vápence, zvetralá opuka. E) Skalné rozrušené, zvetralé so silne oslabenou štruktúrnou väzbou, stredne a značne rozpukané, hornina je pozdĺž puklín porušená a pri jej rozpojení sa uvoľnenie šíri do okolia záberu, jednotlivé kusy odpovedajú zrnitosti nesúdržným horninám 4. triedy. Patrí sem: rozrušená žula, rozrušený andezit, rozrušený vápenec, rozrušený kremenec. F) Kašovitej a tekutej konzistencie, $I_C < 0.05$. Patrí sem: bahnité náplavy, tekutý piesok. G) Stavebný odpad a navážka obdobného charakteru ako horniny zaradené do 4. triedy.

- 5. Trieda** Horniny mechanicky obtiažne rozpojiteľné, ľahko rozpojiteľné trhacími prácami. A) Nesúdržné balvany do objemu $0,1\text{m}^3$. Patrí sem: hrubý štrk s kameňmi do 25cm bez obmedzenia a s balvanmi od 25cm do objemu $0,1\text{m}^3$ jednotlivo v množstve 10 až 50% objemu z celkového objemu rozpojovanej horniny 5. triedy. B) Nesúdržné zaradené do 4. triedy so súdržným tmelom pevnej a tvrdej konzistencie, $I_C > 1$, $I_P < 17$. Patrí sem: stredný a hrubý štrk s ílovitým alebo hlinitým tmelom. C) Poloskalné spevnené, zdravé, vo vrstvách o mocnosti do 15cm. Patrí sem: zlepenec s ílovitým tmelom, ílovec, ílovité bridlice, piesčité bridlice, travertin, pieskovce s ílovitým alebo slinitým tmelom, fylit, chloritické bridlice, opuka. D) Skalné vyvrelé, premenené a usadené, porušené, zvetralé, rozpukané s plochami deliteľnosti (vrstevnatosť, pukliny) vzdialené menej ako 15cm. Patrí sem: zvetralá žula, zvetralá rula, zvetralý andezit, zvetralý vápenec, zvetralý kmeň, zvetralý pieskovec. E) Navážka obdobného charakteru ako horniny zaradené do 5. triedy. F) Zmrznuté horniny.
- 6. Trieda** Horniny ťažko rozpojiteľné trhacími prácami. A) Nesúdržné s balvanmi do objemu $0,1\text{m}^3$. Patrí sem: balvany do objemu $0,1\text{m}^3$ bez obmedzenia, balvany nad $0,1\text{m}^3$ v množstve do 50% objemu z celkového objemu rozpojovanej horniny 6. triedy. B) Skalné vyvrelé a premenené, zdravé, s plochami deliteľnosti vzdialenými do 1m v lavicovitej, kvádrovitej odľučnosti,

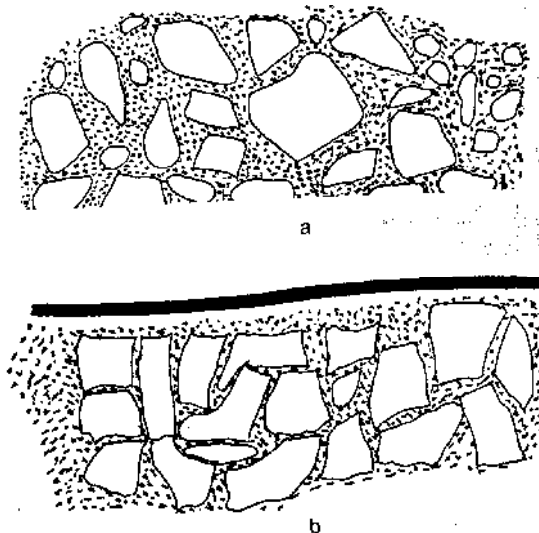
vzdialenosť ostatných puklín je menšia ako 25cm. Patrí sem: žula, rula, andezit, čedič, kremité bridlice, svor, svorová žula, porézny čadič, fylitická bridlica. C) Skálne usadené, zdravé, s mocnosťí vrstvy do 1m (hrubo lavicovité) so vzdialenosťou ostatných puklín do 25cm. Patrí sem: hrubo úlomkovité až balvanité zlepenca a aglomeráty s vápnitým a slinitým tmelom, vápence, droby, pieskovce s vápnitým a kemitovápnitým tmelom, dolomit.

- 7. Trieda** Horniny veľmi ťažko rozpojiteľné. Skálne, zdravé, masívne alebo s odlučnosťou polyedrickou, kulovitou, stĺpcovitou a podobne s jednotlivými zaklínenými hranami, s plochami deliteľnosti zovrenými vo vzdialenosti väčšej ako 25cm. Patrí sem: kremence, kremité žuly, diority, diabasy, spility, rohovce, gabra, andezity, amfibolity, granulity, grandiority, zlepenca s kemitým tmelom, rohovcové vápence, žilné kremene (Celjak, 2009).

1.5 Zhutniteľnosť hornín

(Vaněk, 2003) Zhutňovanie je technologický proces, pri ktorom umelým spôsobom zvyšujeme objemovú hmotnosť zeminy pôsobením statického alebo dynamického zaťaženia. Cieľom zhutňovania je:

- Dosiagnuť v zemine také zmeny, aby v konštrukcii nepodliehala ďalšiemu sadaniu.
- Zvýšiť tesnosť a nepriepustnosť zhutňovanej vrstvy.
- Zlepšiť mechanické vlastnosti zeminy, ako pevnosť v šmyku, zmenšenie trenia medzi jednotlivými zrnami apod.



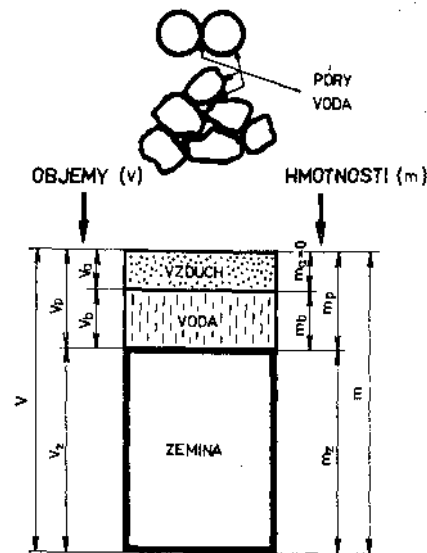
Obr. 2. Zloženie zeminy a) pred zhutnením b) po zhutnení

V každej zemine je kostra z pevných častíc, medzi ktorými sú dutiny vyplnené vzduchom (plynom) a vodou. Pri každom zaťažení zeminy vzniká jej deformácia, ktorá je dvojitého druhu:

- 1) **Pružná deformácia** – Po ukončení zaťažovacej sily sa častice zeminy vracajú do pôvodnej polohy. Pri vonkajšom zaťažení sa priestor medzi časticami v zemine, naplnený vodou a vzduchom, v miestach dotyku a sústredeného tlaku znižuje a v miestach menšieho napätia sa zväčšuje. Akonáhle prestane pôsobiť vonkajšie zaťaženie, vodné priestory sa vzájomne pružne vyrovnajú. Aby mohli

častice v zemine definitívne zaujať novú polohu, musel by účinkujúci tlak pôsobiť tak dlho, aby sa tlak vzduchu vyrovnal.

- 2) **Plastická deformácia** – Nastane vtedy, keď zemné častice zaujmú tesnejšiu vzájomnú polohu na úkor vytlačeného vzduchu z pórov zeminy. Nikdy sa však nepodarí úplne vytlačiť vzduch zo súdržnej a nepriepustnej zeminy. Napríklad v íloch a hlinách ostáva 5-6% vzduchu. Z uvedeného plynie, že pri zhutňovaní je treba prekonávať: vnútorné trenie v zemine a kohéziu, vplyv nepriepustnosti, ktorý bráni vytlačeniu vody a plyných zložiek z dutín, tlak stlačených plynov či vzduchu v dutinách. Prekonanie kohézie, tj. vzájomné priťahovanie jemných častičiek za prítomnosti vody a zvýšenie vnútorného trenia, vytvára trvalé zlepšenie mechanických vlastností zhutnenej zeminy.



Obr. 3. Skladba zeminy a základné ukazovatele pri zhutňovaní

$$W = \frac{m_b}{m_z} \cdot 100, \% \quad (8)$$

W označuje vlhkosť zeminy (vodný obsah v zemine)

$$\rho_h = \frac{m_z}{V}, \text{ g.cm}^{-3} \quad (9)$$

merná hmotnosť suchej zeminy

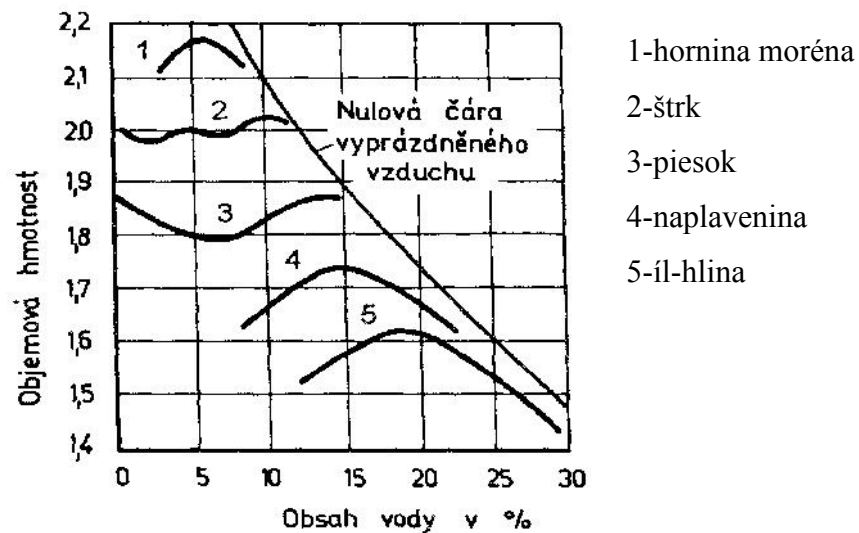
$$n = \frac{V_P}{V} \cdot 100, \% \quad (10)$$

pórovitosť zeminy, ktorá býva v rozmedzí 20-50% i väčšom.

$$e = \frac{V_P}{V_z} \quad (11)$$

číslo pórovitosti

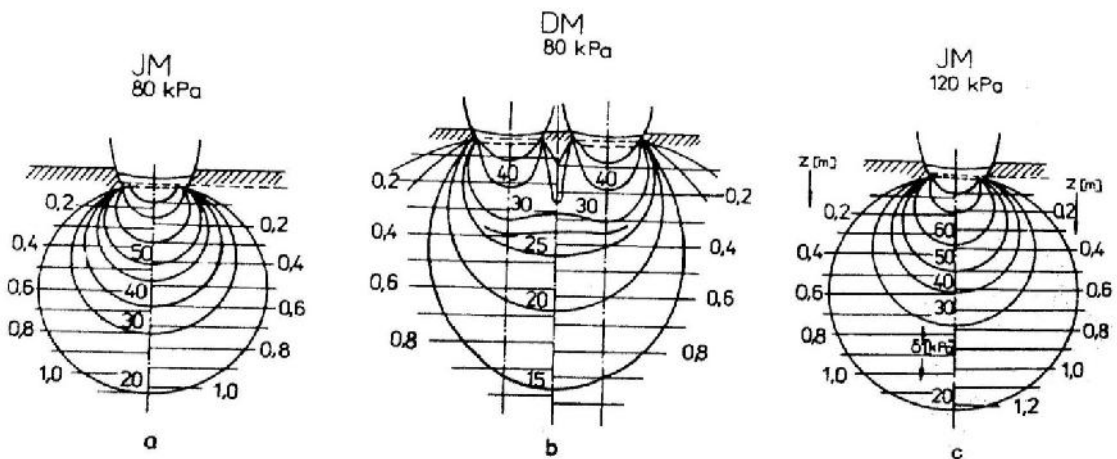
Obsah vody v zemi či vlhkosť zeminy je veľmi dôležitým faktorom v zhutňovacom procese, pretože pri zhutňovaní znižuje vnútorné trenie. Voda tu slúži ako mazivo medzi väčšími zrnami a pôsobí na kohéziu jemných zrn. Rôzne zeminy majú rôznu citlivosť na zhutňovanie, lebo len pri určitej vlhkosti sa u nich dosiahne najväčšieho stupňa zhutnenia, tj. najväčšej objemovej hmotnosti suchej zeminy. Tento vzťah je pre rôzne materiály znázornený na Obr. 4. Piesčité zeminy (pozícia 3) dosahujú pri nižšej optimálnej vlhkosti vyššiu objemovú hmotnosť suchej zeminy, pričom oblasť optimálnej vlhkosti je veľmi obmedzená. Súdržné, masné ílovité zeminy (pozícia 5), majú nižšiu objemovú hmotnosť pri optimálnej vlhkosti, ich oblasť je širšia čo závisí na mineralogickom a chemickom zložení zemných častíc. Pri zhutňovaní zeminy s vlhkosťou o niečo vyššou ako je optimálna sa vylepší jej vodotesnosť, o niečo menej sa zhoršia deformačné vlastnosti a podstatne sa zníži jej šmyková pevnosť. Ak zhutňujeme naopak pri menšej vlhkosti ako je optimálna, tak získame pomerne vysoké šmykové pevnosti. Zemina sa javí veľmi únosnou, ale len do tej doby, keď sa dodatočne navlhčí spodnou alebo zrážkovou vodou. Stupeň vlhkosti v zeminách rozhoduje o tom, aká veľká zhutňovacia práca bude potrebná k dosiahnutiu určitého stupňa a aké budú výsledné mechanické vlastnosti zhutnenej zeminy.



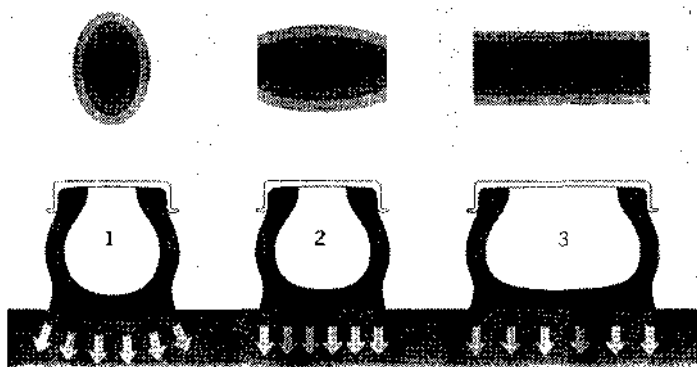
Obr. 4. Závislosti objemových hmotností suchých zemín na obsahu vody pri zhutňovaní.

1.6 Vplyv pneumatikového kolesa na zhutnenie pôdy

(Semetko, 1986) Z agrotechnického hľadiska je dôležitá znalosť rozloženia a veľkosť napätia v pôde, ktorá vzniká zaťažovaním pôdy hnacím ústrojenstvom traktora. Toto zaťažovanie je kombináciou dvoch účinkov – kontaktného tlaku v dosadacej ploche a šmykového napätia, ktoré pôsobí rovnobežne s povrchom. Priebeh tlakov v pôde po pneumatikou sa najčastejšie znázorňuje pomocou kriviek rovnakého napätia, tzv. izobár. Príklady priebehov pod jednoduchým a zdvojeným kolesom sú na Obr. 5. Z obrázku vidieť, že zdvojené koleso stlačuje pôdu menej než jednoduché, ale tlak pôsobí viac do šírky.



Obr. 5. Priebeh tlakov v pôde pod pneumatikou: a, c- jednoduchá montáž tlak hustenia 80 a 120 kPa ; b- dvojitá montáž

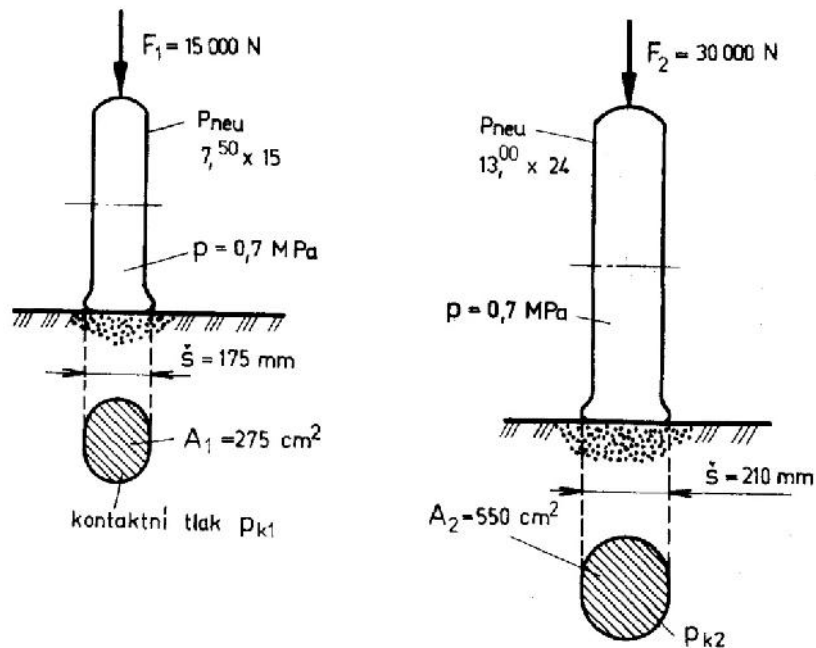


Obr. 6. Kontaktné plôšky rôznych druhov zaťažených pneumatík a ich prenášaných tlakov na podložie.

- 1 – štandardná diagonálna pneumatika pre pretlaky 0,3 – 0,9MPa.
- 2 – radiálna pneumatika so striedavým tlakom.
- 3 – širokoprofilové pneumatiky s pretlakom 0,4MPa.

(Vaněk, 2003) Pre pochopenie vplyvu pneumatiky na zhutňovanie pôdy je potrebné ešte aj poznať určité údaje udávané výrobcom a to:

- Maximálne zaťaženie pneumatiky silou F_0 (N), ktorú je schopná v osi preniesť. Toto zaťaženie sa nazýva osovú zaťaženie pneumatiky. Napríklad pneumatika 7,50x15 má dovolené maximálne zaťaženie $F_0 = 15000\text{N}$.
- Rozsahy minimálnych a maximálnych tlakov p (kPa), ktorými možno pneumatiku hustiť pri určitom zaťažení.



Obr. 7. Vplyv rozmerov pneumatík a ich zaťažení na zhutňovací účinok

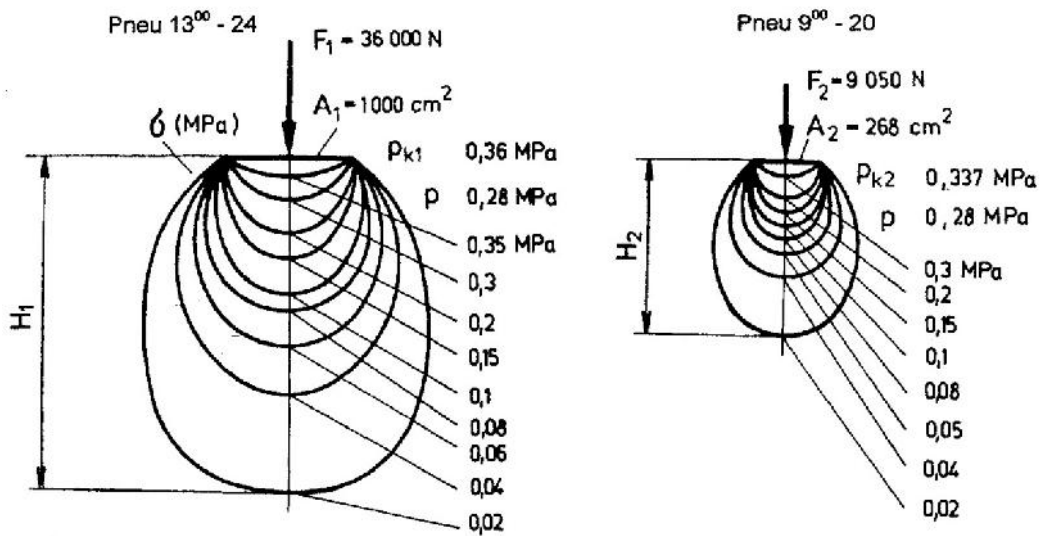
Na obrázku 7 sú obidve pneumatiky o rozmeroch 7,50x15 a 13,00x24 nahustené na tlak $p = 0,7\text{ MPa}$. Takto nahustené a zaťažené pneumatiky vytvoria na podklade kontaktnú plochu A (cm^2), ktorá je rôzneho tvaru vid' obrázok 5. Na tejto ploche vzniká tzv. kontaktný tlak

$$p_k = \frac{F_0}{A}, \text{ kPa} \quad (12)$$

Týmto tlakom pôsobí na tejto ploche pneumatika na zhutňovanú pôdu. V našom prípade je $p_{k1} = 15000\text{N} / 0,0275\text{ m}^2 = 546000\text{Pa} = 0,546\text{ MPa}$

$$p_{k2} = 30000\text{N} / 0,055\text{ m}^2 = 0,545\text{ MPa}$$

Samotný kontaktný tlak p_k nie je ešte rozhodujúcou veličinou na proces utláčania pôdy ako je to zrejme z príkladu veľkorozmerovej pneumatiky, rozmerov 13,00x24 v porovnaní s pneumatikou 9,00x20 obrázok 8.



Obr. 8. Priebehy napätia v zemi u rôznych veľkostí pneumatík pri ich zaťažení.

Majú rovnaký tlak hustenia $p = 0,28 \text{ MPa}$. Prvá pneumatika má takmer štvornásobné zaťaženie $F_1 = 36000 \text{ N}$ a $F_2 = 9050 \text{ N}$ a takmer štvornásobnú kontaktnú plochu $A_1 = 1000 \text{ cm}^2$, $A_2 = 268 \text{ cm}^2$. Majú však približne rovnaké kontaktné tlaky:

$$p_{k1} = 0,36 \text{ MPa} \text{ a } p_{k2} = 0,337 \text{ MPa}$$

Za týchto podmienok je zrejmé, že hĺbkové zhutnenie H_1 (cm) u veľkorozmerovej pneumatiky 13,00x24 je podstatne väčšie ako u malorozmerovej H_2 . Zhutňovaný objem je tu asi osem krát väčší ako u pneumatiky 9,00x20. Krivky napätia v zemi majú cibulovitý tvar a čím je zemina suchšia tým viac sa tvar kriviek približuje kruhu. Priebeh napätia v zemi pre dané zaťaženie kontaktnej plochy je tiež závislý od druhu a zloženia zeminy. Možno uvažovať, že kontaktný tlak p_k má približne rovnakú hodnotu ako je tlak v pneumatikách $p_k = p$. Kontaktný tlak p_k (MPa) sa zvyšuje zmenou tlaku v pneumatikách a zväčšeným zaťažením čo býva najčastejšie. Tento tlak rastie rýchlejšie s rastom tlaku v pneumatikách ako so vzrastajúcim zaťažením kolies. Z rôznych testov a praktických skúseností sa zistilo nasledovné:

-Zaťaženie kola určuje zhutňujúcu silu na zhutňovanú zemiu, pričom vnútorný tlak v pneumatikách v spojení so zaťažením kolies určuje stupeň zhutnenia.

-Najlepšieho hĺbkového účinku zhutnenia sa dá dosiahnuť pri vysokom zaťažení kolies a vysokom tlaku v pneumatikách.

1.7 Vplyv hrotového kola na zhutnenie pôdy

1.7.1 Kontaktný a merný tlak

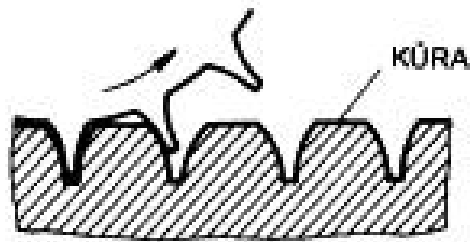
(Semetko, 1968) Z agrotechnického hľadiska je dôležitá znalosť rozloženia a veľkosti napätia v pôde, ktoré vzniká zaťažovaním pôdy hnacím ústrojenstvom traktora. Toto zaťažovanie je kombináciou dvoch účinkov – kontaktného tlaku v dosadacej ploche a šmykového napätia, ktoré pôsobí rovnobežne s povrchom. Vplyv kontaktného tlaku je dôležitejší. Snahou konštruktérov poľnohospodárskych traktorov a mobilných prostriedkov je znížiť tlaky na pôdu na minimum i keď vplyv na pôdu z hľadiska kontaktných tlakov a napätia v pôde v rôznych hĺbkach nie je zatiaľ jednoznačne stanovený a názory v tomto smere sa rôznia. Je však dôležité aby napätosť v pôde bola taká, aby nenastávalo narušovanie podmienok rastu rastlín. Kontaktné tlaky môžeme výrazne znížiť vhodnou voľbou pneumatík použitím traktorov s pohonom 4K4. Pretože k vyvinutiu určitej ťahovej sily môžu byť ľahšie ako traktory s pohonom 4K2. Okrem toho majú traktory 4K4 rovnomernejšie rozloženie tiaže na obidve nápravy a môžu mať všetky kolesá rovnako veľké s pomerne veľkými rozmermi. Vzorec na strednú veľkosť kontaktného tlaku je:

$$q_s = \frac{Y}{A}, \text{ Pa} \quad (13)$$

Kde: Y – normálová reakcia, N

A – kontaktná plocha, m²

U pneumatikového kola je kontaktná plocha väčšia ako u hrotového kola. Dôsledku toho je kontaktný tlak na pôdu u hrotového kola väčší. Na obrázku 9 je znázornená deformácia pôdy po prejazde hrotového kola, kde sa dosiahne vyššieho priechodu vody a vzduchu z utlačenej zeminy.



Obr.9. Vytváranie priehlbín od hrotového kolesa.

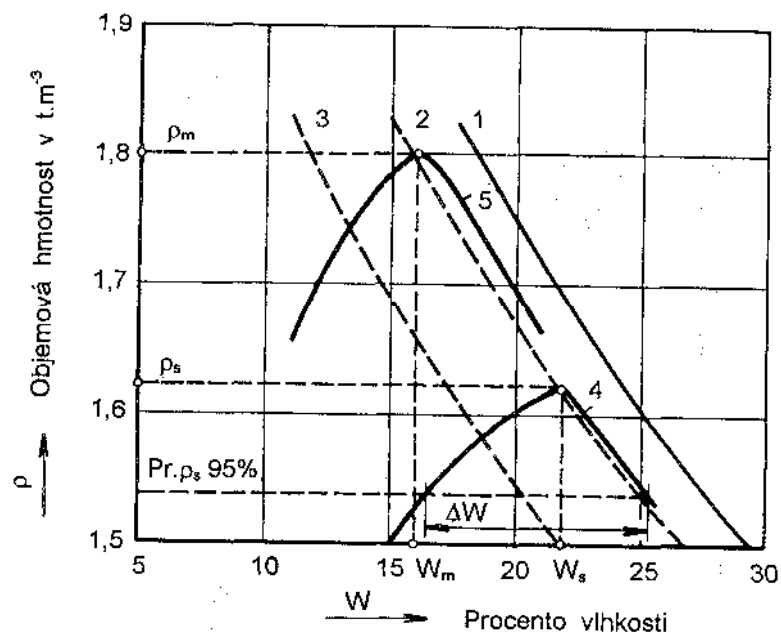
Pri prejazde hrotovým kolesom prenikajú hroty do pôdy, pritom ju tiež kypria a uvoľňujú priechod vzduchu z pórov a umožňujú vytlačovanie a priechod vody zo súdržných a mokrých zemín na povrch, kde sa voda lepšie vyparuje. Po prejazde je povrch pôdy drsný a jednotlivé vrstvy k sebe lepšie priľnú. Na začiatku prejazdu sa tvorí v hornej časti vrstvy kôra, pretože sa behúň opiera o zeminu celou svojou plochou a pracuje s menším kontaktným tlakom q_s . Pri ďalších prejazdoch hroty kôru porušujú, premiešajú zeminu a utlačujú nižšie vrstvy, pretože plocha plášťa behúňa nedosadá na pôdu a hroty vyvíjajú väčší kontaktný tlak. Pri zhutňovaní pôdy je treba sledovať odvaľovanie hrotov, aby nevytrhávali a nekyprili zeminu.

1.8 Metódy merania zhutnenia zemín

1.8.1 Metódy laboratórne

Proctorova skúška

(Vaněk, 2003) Pre stanovenie najúčinnšieho spôsobu zhutňovania je nutné vykonať laboratórne skúšky k zisteniu daného zloženia zeminy, jej zrnitosti, vlhkosti, plasticity a v neposlednom rade stupňa jej zhutniteľnosti, potrebného pre danú konštrukciu stavby. Meradlom zhutniteľnosti ako už bolo spomenuté je objemová hmotnosť ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Metódu merania tohto stavu stanovil Proctor v roku 1933 ako závislosť objemovej hmotnosti zeminy na percente jej vlhkosti. Krivka 1 je krivka nasýtená, tj. 100% zhutnenie, pri ktorom je vzduch z pórov zeminy vytlačený a póry sú vyplnené len vodou. Krivka 2 vyjadruje stav, pri ktorom je v zemine 5% pórov vyplnených vzduchom a pri krivke 3 je v zemine 12% pórov vyplnených vzduchom.



Obr. 10. Proctorov diagram (vyjadruje závislosť objemovej hmotnosti materiálu na jeho vlhkosti pri zhutňovaní).

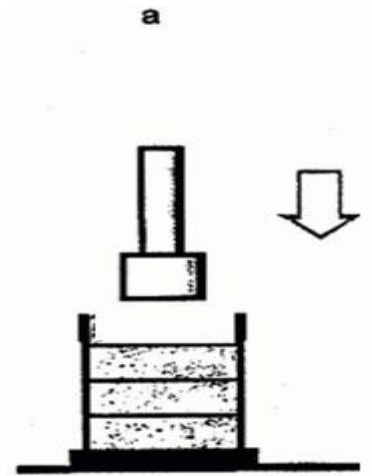
Vzorky tej istej zeminy sa zhutňujú pri rôznej vlhkosti W_v a do grafu sa vynesú závislosti objemovej hmotnosti zeminy ρ po jej vysušení a vlhkosť zhutňovacieho vzorku. Vlhkosť zeminy, pri ktorej je u vzorky dosiahnutá najväčšia objemová

hmotnosť je tzv. optimálna vlhkosť. Hodnota W_s na krivke 4 je optimálna vlhkosť štandardnej Proctorovej skúšky a hodnota W_m na krivke 5 pri modifikovanej Proctorovej skúške. Týmto hodnotám odpovedajú objemové hmotnosti zemín ρ_s a ρ_m . Pre stanovenie správneho zhutňovacieho procesu je treba previesť dve skúšky či kontroly: - laboratórna skúška popísaná v štandardnej alebo modifikovanej Proctorovej skúške. Pri nej sa zisťuje objemová hmotnosť zeminy ρ_i za ideálnych podmienok.

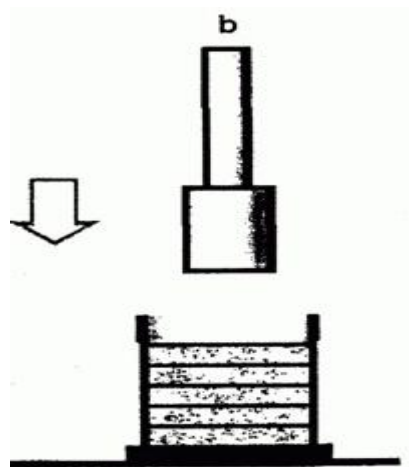
- stavenisková praktická skúška zo vzorky docielenej zhutnením zeminy v stavebnom diele, pri ktorej sa za daných podmienok zisťuje docielená objemová hmotnosť zeminy ρ_p . Miera zhutnenia sa potom stanoví ako podiel ρ_p/ρ_i ktorý má mať sušina zhutneného násypu na stavbe a hmotnosti sušiny vzorky zhutnenej za optimálnej vlhkosti pri štandardnej alebo modifikovanej Proctorovej skúške prevedenej v laboratóriu. Stupeň zhutnenia je rovný $(\rho_p/\rho_i) \cdot 100\%$. Vyššej hodnoty tohto percenta predpisuje zadávateľ (projekt) podľa požiadaviek na zhutnený násyp v závislosti na druhu zeminy a jej stavu. Často sa pripúšťa, že pre bežné násypy postačuje objemová hmotnosť 90-95% objemovej hmotnosti štandardnej Proctorovej skúšky. U cestných alebo letiskových telies sa vyžaduje 90-95%, často i 100% objemovej hmotnosti modifikovanej Proctorovej skúšky. Stanovenie objemovej hmotnosti ρ podľa Proctorovej skúšky, krivka 1 je v praxi ťažko dosiahnuteľná. Hodnota ρ_w značí pre danú zeminu rozsah percent vlhkosti pri 95% štandardnej Proctorovej skúšky. Z grafu je tiež vidieť, že percento optimálnej vlhkosti zeminy nie je pre každé zhutňovacie úsilie rovnaké. Čím je úsilie väčšie, tým je percento optimálnej vlhkosti nižšie. Spojnice vrcholov všetkých kriviek Proctorových grafov ležia na čiare, ktorá je rovnobežná s krivkou nasýtenia 1. Tento vzťah sa využíva k určeniu optimálnej vlhkosti zeminy, ak sa má zhutňovať vyšším úsilím ako pri štandardnej Proctorovej skúške.

Proctor vykonal laboratórne skúšky zhutnenia zeminy v dvoch kvalitatívnych úrovniach:

- a) **Štandardná Proctorova skúška** – Vzorka zeminy s objemom $V=934\text{cm}^3$ sa ukladá do skúšobného valčeka o priemere 102mm v troch vrstvách. Každá vrstva sa zhutní dvadsiatimi piatimi pádmi barana o hmotnosti 2,5kg z výšky 305mm. Tým sa dosiahol určitý stupeň zhutnenia, ktorý odpovedá konsolidovaným vysokým vrstvám násypov, napr. priehrad a hrádz, ktoré vykazujú dostatočnú stabilitu.



Obr. 11.Štandardná Proctorova skúška

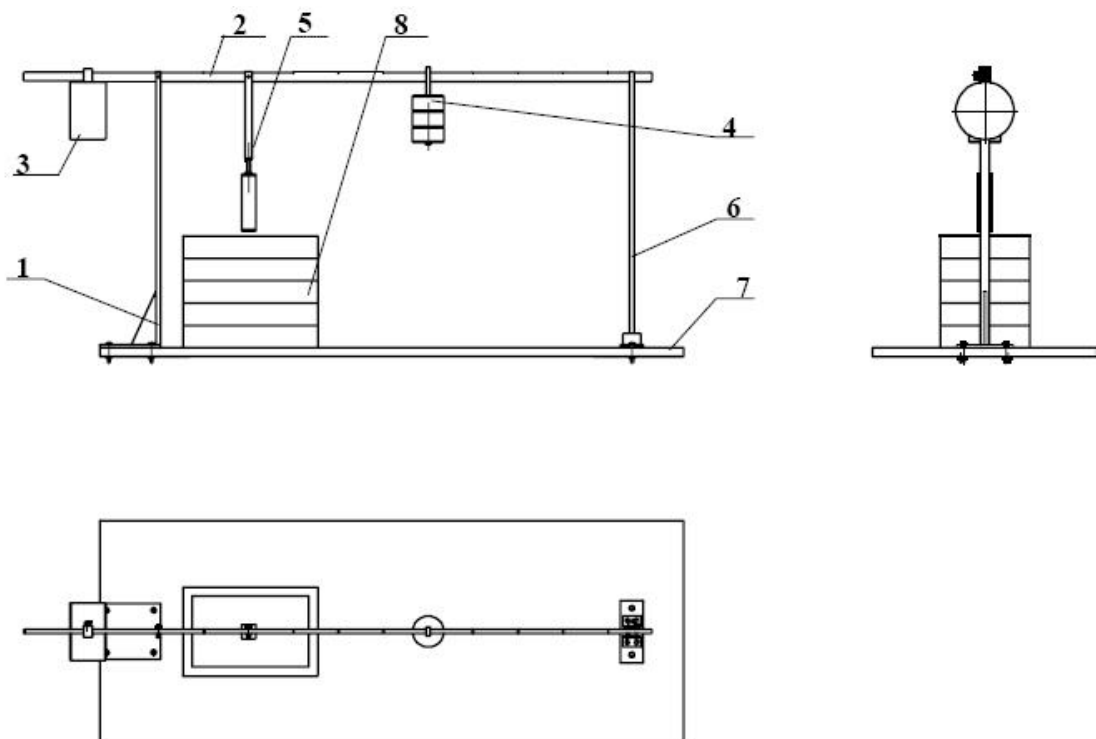


Obr. 12.Modifikovaná Proctorova skúška

- b) **Modifikovaná Proctorova skúška** –Kvalitatívne sa tu dosahuje vyšší stupeň zhutnenia ako pri štandardnej skúške. Hmotnosť padajúceho barana sa zvýšila na 4,54kg, výška dopadu na 457mm a počet vrstiev sa zväčšil na päť. Toto náročné hutnenie je potrebné napríklad u podkladov cestných telies, letiskových dráh a pod. Je to maximálne zhutnenie, ktoré sa dá dosiahnuť na staveniskách tradičnými strojmi.

Laboratórne meracie zariadenie

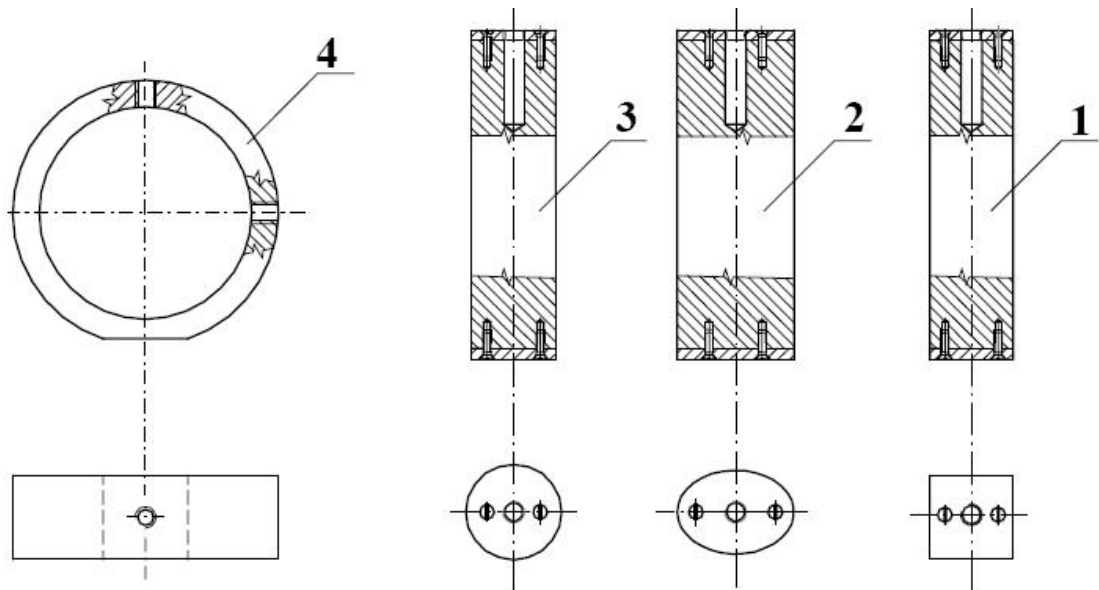
(Abrahám, 2005) Laboratórne meracie zariadenie slúži na určenie vplyvu tlačného telesa na pôdu. Slúži na získanie hodnôt tlaku korešpondujúcich s veľkosťou deformácie pôdy v jednotlivých vrstvách. Pomocou takto laboratórne získaných hodnôt tlaku a deformácie pôdy, vieme potom určiť hodnoty deformácie pôdy v reálnych podmienkach pri prejazde poľnohospodárskou technikou.



Obr.13. Laboratórne meracie zariadenie

Hlavné časti meracieho zariadenia:

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1- nosné rameno | 5- tlačné teleso |
| 2- vahadlo | 6- oporné rameno |
| 3- protizávažie | 7- merací stôl |
| 4- posuvné závažie | 8- segmentová meracia nádoba |



Obr. 14. Tvary tlačných telies

- 1- hranol so štvorcovým prierezom o rozmeroch 31,4x31,4mm z tvrdého dreva
- 2- tvar elipsoidu o rozmeroch 44x31,5mm z tvrdého dreva
- 3- valec s priemerom 36mm z tvrdého dreva
- 4- valcový tvar z oceli, ktorý má dve polohy uchytenia. Prvá poloha predstavuje ideálne nedeformované koleso s tuhým obvodom. Druhá poloha je pootočená o 90° a predstavuje koleso s pneumatikou s dosadacou plochou 10cm².

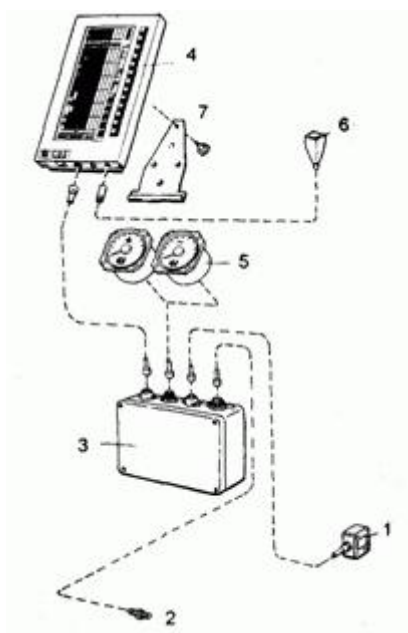
1.8.2 Metódy priameho merania

Dosiaľ zmienené konvenčné metódy nezaručovali ich spoľahlivosť. Dochádzalo buď k nedostatočnému hutneniu, alebo k prehutneniu, čo spôsobovalo značné poruchy na zhutňovaných objektoch. Spoľahlivé kontroly bolo možné dosiahnuť len odoberaním zhutňovaných vzoriek a ich zhodnotením v laboratóriu alebo geodeticky po skončení hutnenia. U zhutňovacích prostriedkov chýbalo zariadenie, ktoré by zaručovalo sústavné vyhodnocovanie stavu hutnenia pri každom pojazde hutniaceho valca v rozsahu, ktorý umožní dosiahnuť a skontrolovať predpísanú kvalitu zhutnenia. Pri tejto metóde existuje viacero spôsobov merania sú to najmä:

- a) Meranie stupňa zhutnenia v mieste práve prechádzanej zeminu – Toto zariadenie pre svoju činnosť využíva snímač, ktorý je umiestnený na ráme valca, ktorý je natuho spojený s oceľovým behúňom. Snímač registruje spätné reakcie

vibrujúceho behúňa proti zhutňovanému materiálu. Tieto reakčné sily sú tým väčšie a rýchlejšie, čím je podklad tvrdší a stabilnejší (čím viac je pojazdov). Tieto signály sú ďalej vedené do mikropočítača, do ktorého pamäti boli už skôr uložené údaje o požadovanom stupni zhutnenia. S týmito údajmi sa hodnoty privedené zo snímača porovnajú a výsledok je zaslaný na číselnú stupnicu meracieho prístroja. Na stupnici strojník potom vidí či na danom mieste dosiahol požadovaný stupeň zhutnenia, stanovený na stupnici nastavenou ručičkou. Opakované prejazdy sa robia tak dlho, kým sa pohyblivá ručička prístroja nekryje s nastavenou hodnotou.

- b) Zariadenie na meranie plošného stupňa zhutnenia – Pri zhutňovaní veľkých plôch na dôležitých prácach ako stavba ciest, železničných zvrškov, letiskových plôch, základových plôch, zemných a betónových priehrad, veľmi záleží nie len na kvalite ale i na rovnomernosti zhutňovanej plochy. Na obrázku 15. je zariadenie firmy Zeppelin-CAT s označením FDVK, ktoré dokáže kontrolovať a dokumentovať zhutňovací efekt kontinuálne a nedeštruktívne na ploche menšej ako jeden meter štvorcový. Zariadenie obsahuje: 1- senzor pre meranie vibrácii behúňa 2- senzor merania dráhy pojazdu pri danej rýchlosti 3- počítač pre vyhodnotenie všetkých faktorov rozhodujúcich o stave zhutňovacieho efektu. 4- farebný monitor CDS 012 5- analógový ukazovateľ stupňa zhutnenia a frekvencie vibrácií. 6- tlačidlo ON/OFF.

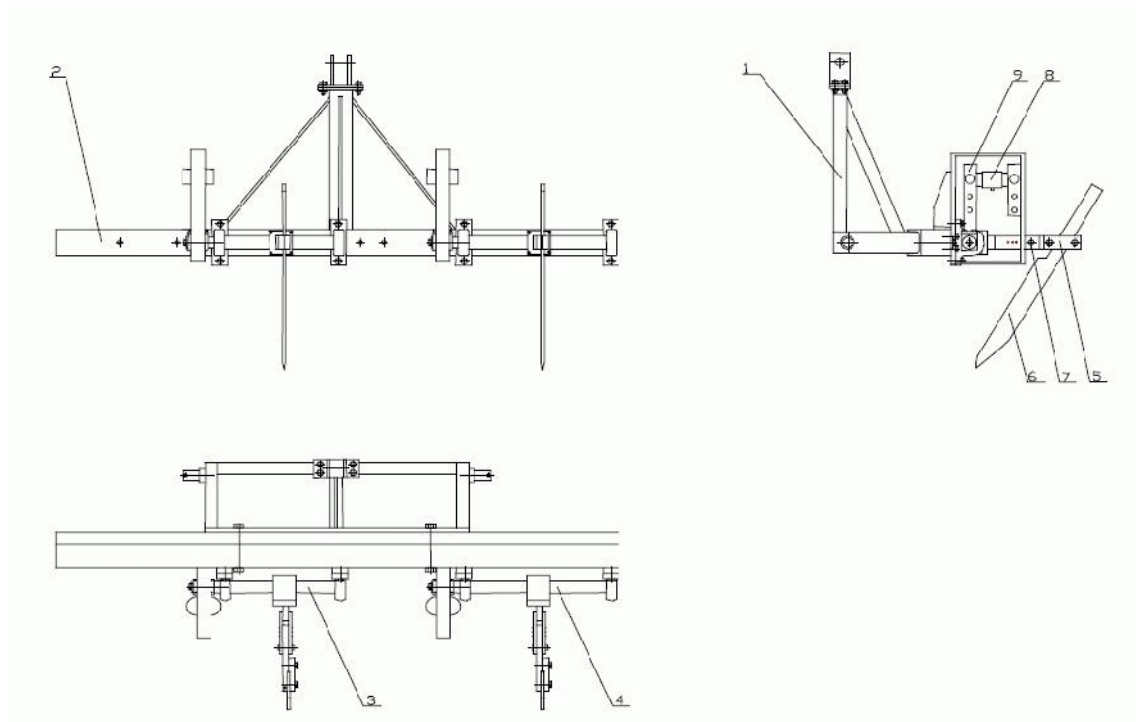


Obr. 15. Zloženie a zapojenie súpravy FDVK

Plocha obrazovky 4 je na šírku rozdelená na 10 prejazdových dráh zhutňovacieho valca. Na výšku je rozdelená na políčka napr. po 20 metroch. Pri prejazde valca v určitej dráhe počítač kontinuálne vyhodnocuje jeho zhutňovací efekt a vo farebnej forme ho zaznamenáva v príslušnom políčku kde sa valec nachádza. Farebné signály sú v 4-6 odtieňoch, pričom stupeň zhutnenia rastie od zelenej farby cez hnedú až po červenú. Strojník presne vidí a kontroluje, ktoré miesta už majú predpísaný stupeň zhutnenia a ktoré ešte treba zhutniť, aby celá plocha bola rovnomerne zhutnená. Celý zhutňovací proces je možné zdokumentovať, buď vytvorením protokolu z pamäťového modulu monitora CDS 012 alebo vytvorením grafickej analýzy celého procesu.

Dvojparametrová komparačná metóda

(Abrahám, 2005) Princíp dvojparametrovej komparačnej metódy spočíva v kontinuálnom meraní dvoch veličín, pričom jedna veličina charakterizuje utlačenie pôdy pred pôsobením negatívnych faktorov utlačania pôdy, druhá veličina práve zohľadňuje účinok týchto negatívnych faktorov po utlačení pôdy. Konštrukcia a činnosť zariadenia je popísaná nižšie.



Obr. 16. Meracie zariadenie pre dvojparametrovú komparačnú metódu.

1-Nosný rám	6-nožové krájadlo
2-Nosník z U profilov	7-čap
3,4- hriadele	8-tenzometrický snímač sily
5-čelúste	9-rameno

Nosným rámom **1** je zabezpečené uchytenie zariadenia na trojbodový záves traktora. Nosník z U profilov **2** sa dá upnúť pomocou dvoch spojovacích skrutiek do štyroch polôh, voči nosnému rámu. Jednotlivé polohy umožňujú nastaviť krájadlá **6** do stopy, alebo mimo stopu kolesa traktora. Čelúste **5** sú otočne uložené okolo čapu **7**, takže v prípade narazenia krájadla na prekážku (kameň a pod.), dôjde k prestrihnutiu poistiek. Týmto spôsobom je zabezpečená ochrana pred preťažením celého meracieho zariadenia a krájadla.

Vlastné meranie odporu pôdy pomocou krájadla **6** je zabezpečené tým spôsobom, že sila pôsobiaca na krájadlo spôsobuje vzhľadom k osi hriadeľa **3**, resp. **4** krútiaci moment, ktorý sa prostredníctvom kratšieho ramena **9** prenáša na tenzometrický snímač sily **8**. Sila z tenzometrických snímačov je zaznamenávaná prostredníctvom pamäťovej jednotky MC 23 od firmy BMC Messysteme Berlin. Prostredníctvom sériového portu je možné údaje z pamäťovej jednotky exportovať do PC. Zariadenie umožňuje kontinuálne sledovať odpor pôdy v stope a mimo stopy pojazďového ústrojenstva do maximálnej hĺbky 0,5m s plynule nastaviteľnou pracovnou hĺbkou. Uchytiť ho je možné na všetky traktory vybavené trojbodovým závesom s rozchodom kolies od 1000 do 2000mm.

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom mojej diplomovej práce je porovnať utlačenie pôdy medzi hrotovým a pneumatikovým kolesom so šípovým dezénom pri rôznych vlhkostiach pri vyvíjaní ťahovej sily. Prostredníctvom meracieho zariadenia na vyhodnotenie utlačenia pôdy v prevádzkových podmienkach experimentálne zistiť utlačenie pôdy spôsobené hrotovým a pneumatikovým kolesom v závislosti od počtu prejazdov.

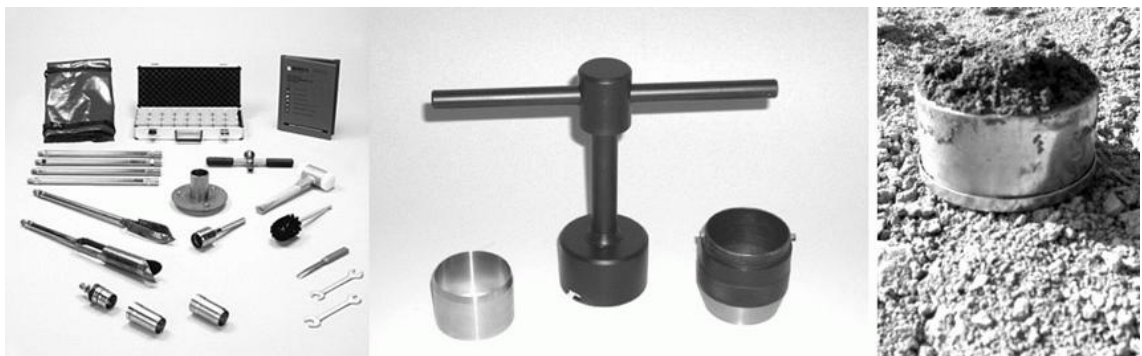
3 METODIKA PRÁCE

1. Zapojit' za traktor zátáž automobil pomocou reťaze a na vhodnom pozemku uskutočniť meranie. Zistiť technické parametre traktora MINI-070.
2. Pomocou Kopeckého valčekov odobrať vzorku prirodzeného stavu pôdy mimo stopy pre stanovenie objemovej hmotnosti a vlhkosti pôdy. Zistiť penetrometrický odpor pôdy mimo stopy (prirodzený stav) pomocou penetrometra STS ŠUMPERK.
3. Vykonať na pneumatikových kolesách a potom na hrotových kolesách tri prejazdy na 1. prevodovom stupni, po každom prejazde odobrať vzorku pôdy zo stredu stopy pre stanovenie objemových hmotností a vlhkostí. Tak isto po každom prejazde stanoviť penetrometrický odpor pôdy v oboch stopách.
4. Namerané hodnoty zapísať, graficky zobrazit' a vyhodnotiť. Porovnať pneumatikové koleso a hrotové koleso z hľadiska utlačenia pôdy, objemovej hmotnosti a vlhkosti.

4 VLASTNÁ PRÁCA

4.1 Kopečkého valčeky na odber vzorky pôdy

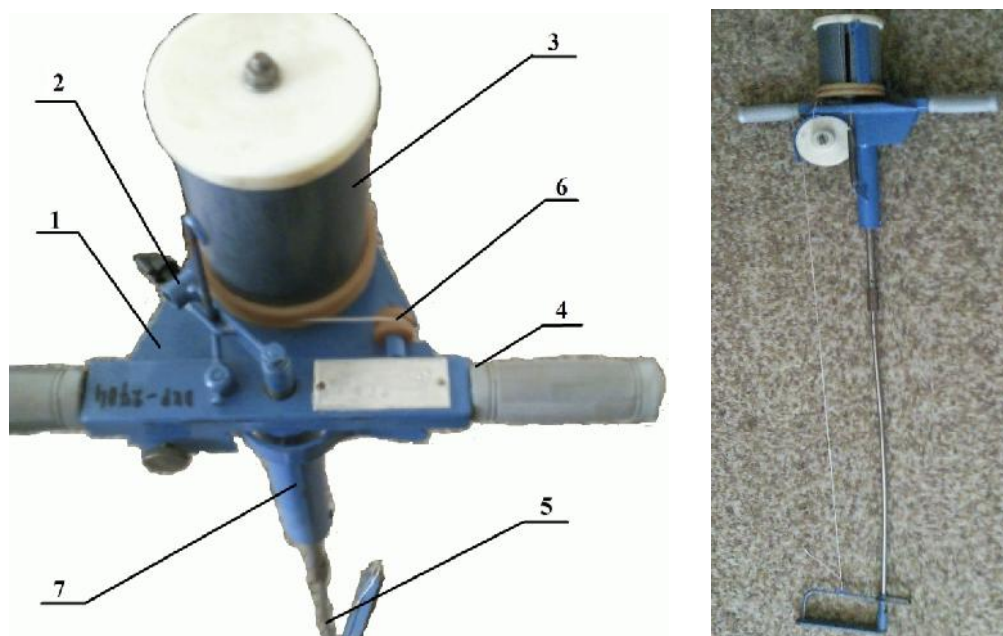
Kopečkého fyzikálne valčeky slúžia k odberu neporušených pôdných vzoriek pre stanovenie fyzikálnych, resp. hydrofyzikálnych vlastností pôdy. Sú to 5cm vysoké tenkostenné nerezové valčeky s ostrím na ich vonkajšej spodnej hrane. Vnútorý objem štandardne predstavuje 100cm^3 , ale môžu byť i s objemom 200,500 prípadne 1000cm^3 . Valčeky sú vtlačované do jednotlivých horizontov pôdneho profilu pozvoľným tlakom dreveným hranolom alebo oceľovým nástavcom, pričom je treba dbať na to, aby sa pôda neutlačala. Po vtlačení sú valčeky z pôdy vyrypnuté nožom alebo lopatkou a prečnievajúca pôda je odrezaná nožom. Valčeky sa uzatvoria vekami, ktoré sa zafixujú a dajú sa do plastových vreciek aby nezmenila vzorka svoje hydrofyzikálne vlastnosti. Odber vzorky pôdy sme urobili pred prejazdmi ešte z neutlačenej pôdy a potom po každom prejazde. Z odobraných vzoriek sme v laboratóriu určili objemovú hmotnosť a vlhkosť pôdy.



Obr. 17. Kopečkého valčeky

4.2 Penetrometer

Penetrometer je prístroj na meranie zhutnenia zeminy. Existuje mnoho variant penetrometrov, mechanické, hydraulické, elektrické atď. Zhutnenie sa vyhodnocuje na základe vtláčovania prístroja do pôdy alebo pôdy na prístroj. Výsledkom merania zhutnenia pôdy penetrometrickou metódou je penetrogram (závislosť penetrometrického odporu pôdy od hĺbky). V práci sme na určenie zhutnenia pôdy použili penetrometer STS ŠUMPERK r.v.88, ktorý sme vtláčovali do hĺbky 40cm. Popis penetrometra je na obrázku 18.



Obr. 18. Penetrometer

1-rám

2-objímka na uchytenie pera

3-zapisovací valec

4-rukoväť

5-vpichovací hrot

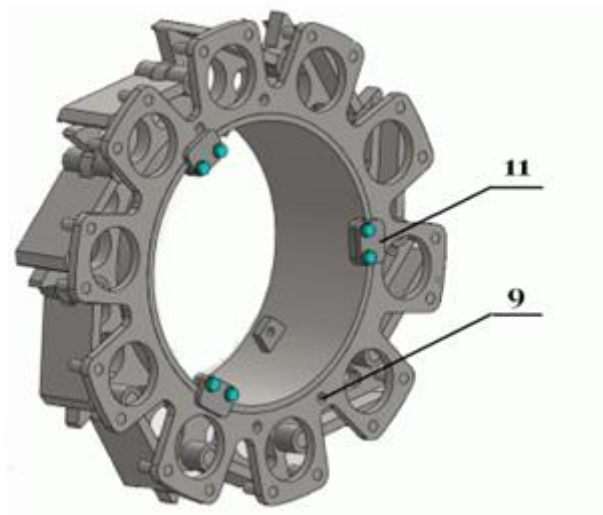
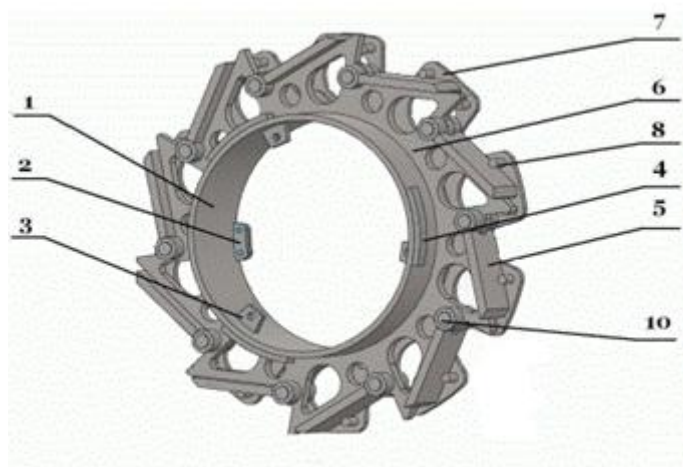
6-prevodový mechanizmus pre otáčanie valca

7-prevodový mechanizmus pre zápis hodnoty

4.3 Hrotové koleso

Hrotové koleso je zariadenie, ktoré sa montuje na disk pneumatikového kolesa traktora MINI-070. Pneumatikové koleso v prípade preklzu hnacích kolies traktora poklesne, resp. je zaborené hlbšie do pôdy, čím sa lopatky hrotového kolesa dostanú do záberu, vysunú sa a dôjde k zníženiu preklzu a k zvýšeniu ťahovej sily traktora. Na obrázku 19 sú popísané jednotlivé časti hrotového kolesa.

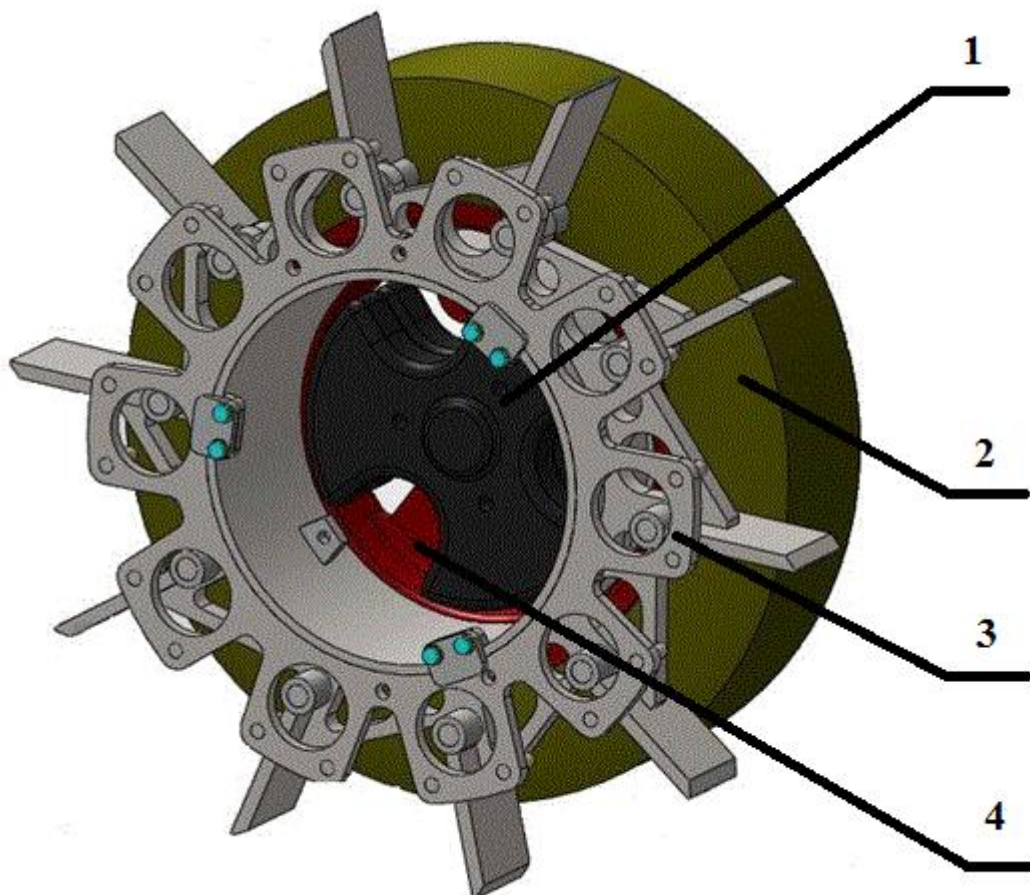
- 1-nosný valec
- 2-zaist'ovacie ucho
- 3-pripojovacie ucho
- 4-vymedzovacia podložka
- 5-lopatka
- 6-unášač
- 7-veniec dorazu lopatiek
- 8-dorazový kolík
- 9-zaist'ovací otvor
- 10-čap lopatky
- 11-oporná platnička



Obr. 19.Hrotové koleso

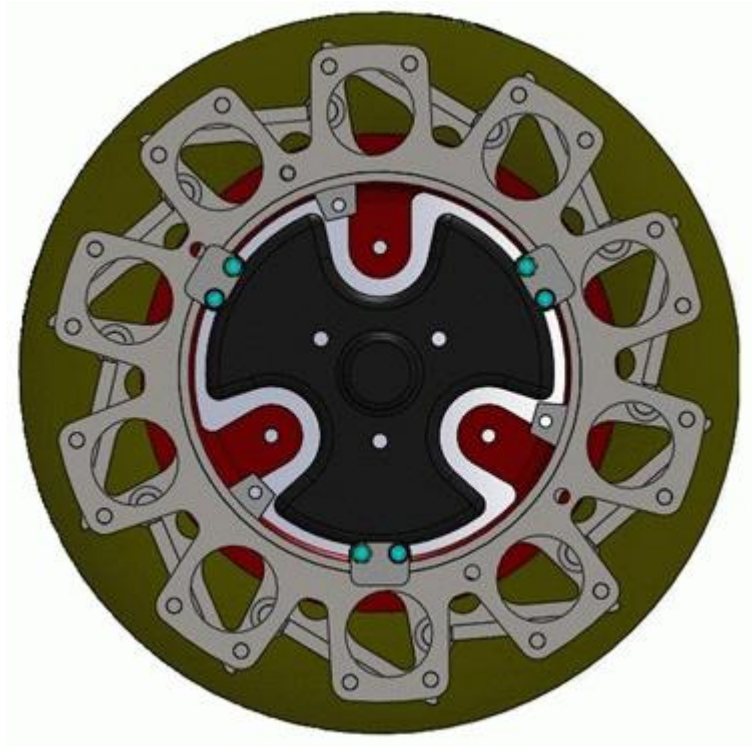
4.3.1 Popis funkcie hrotového kolesa

Celé hrotové koleso je prostredníctvom troch skrutiek a pripojovacích úch 3 spojené s hnacím diskom traktora. Vymedzovacie podložky 4 presne vymedzujú polohu a fixujú hrotové koleso na disku traktora. Pre činnosť hrotového kolesa je nutné vyskrutkovať skrutky zo zaistovacích otvorov 9 na otočne uloženom venci dorazu lopatiek 7. V prípade preklzu pneumatikového kolesa traktora sa lopatky 5 hrotového kolesa dostanú do odporu s podložkou a vysunú sa prostredníctvom dorazových kolíkov 8 pevne spojených s vencom dorazu lopatiek. K spätnému pretočeniu lopatky zabraňuje trojuholníkový výstupok na unášači 6, ktorý je pevne spojený s nosným valcom 1. Takto vysunuté lopatky prečnievajú nad úroveň dezénu pneumatikového kolesa traktora a traktor dosiahne vyššiu hnaciu silu aj súčiniteľ záberu.

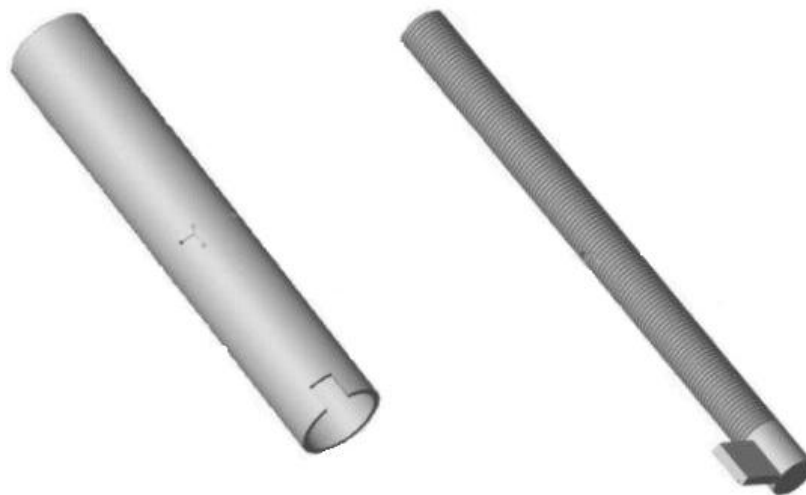


Obr. 20. Hrotové koleso s vysunutými lopatkami v montáži na disku pneumatikového kolesa

1-závažie 2-pneumatikové koleso 3-hrotové koleso 4-disk



Obr. 21. Hrotové koleso so sklopenými lopatkami v montáži na disku pneumatikového kolesa



Obr.22 .Upevňovacia trubka a skrutka

Na obrázku 22 je znázornená upevňovacia skrutka a trubka, pomocou ktorých sa hrotové koleso montuje na disk traktora. Upevňovacie trubky sú tri a sú privarené z vnútornej strany nosného valca v mieste pripojovacieho ucha. Upevňovacia skrutka so zámkom na konci sa vloží do trubky cez disk traktora a pripojovacie ucho, následne sa pomocou dvoch podložiek a matíc utiahne dostatočne pevne, tak aby hrotové koleso pevne držalo na disku traktora.

4.4 Technické parametre traktora MINI-070

Výrobca:	Agrozet Prostějov k.p.
Typ:	MT8 – 070
Rok výroby:	1989
Celková hmotnosť:	330 kg
Maximálna rýchlosť:	15 km/h
Dovolená hmotnosť na nápravu:	500 kg
Dovolená celková hmotnosť prívesu – návesu:	420 kg
Objem valcov:	412 cm ³
Maximálna ťahová sila:	2,8 kN

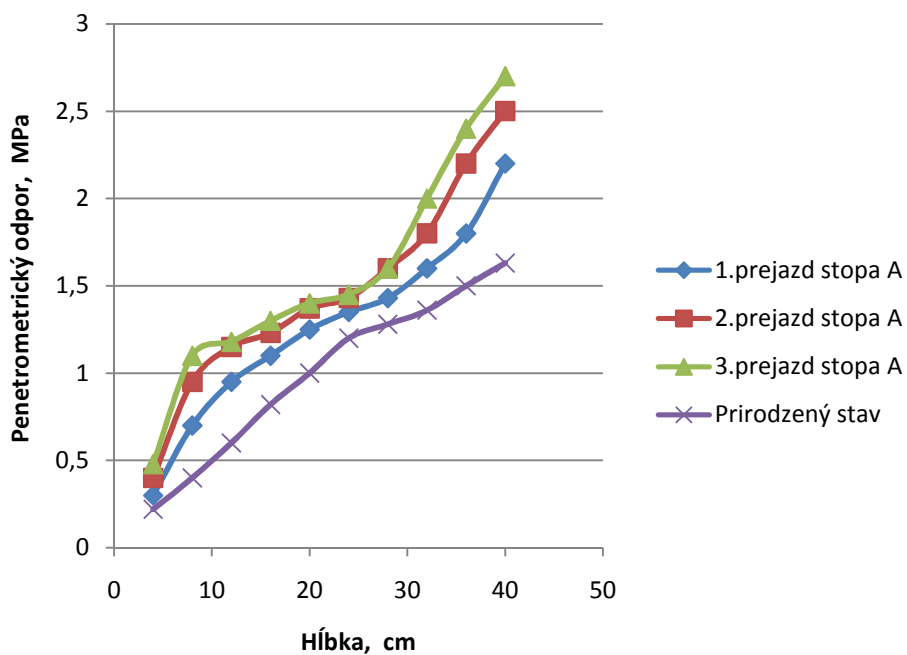
4.5 Výsledky práce

4.5.1 Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt

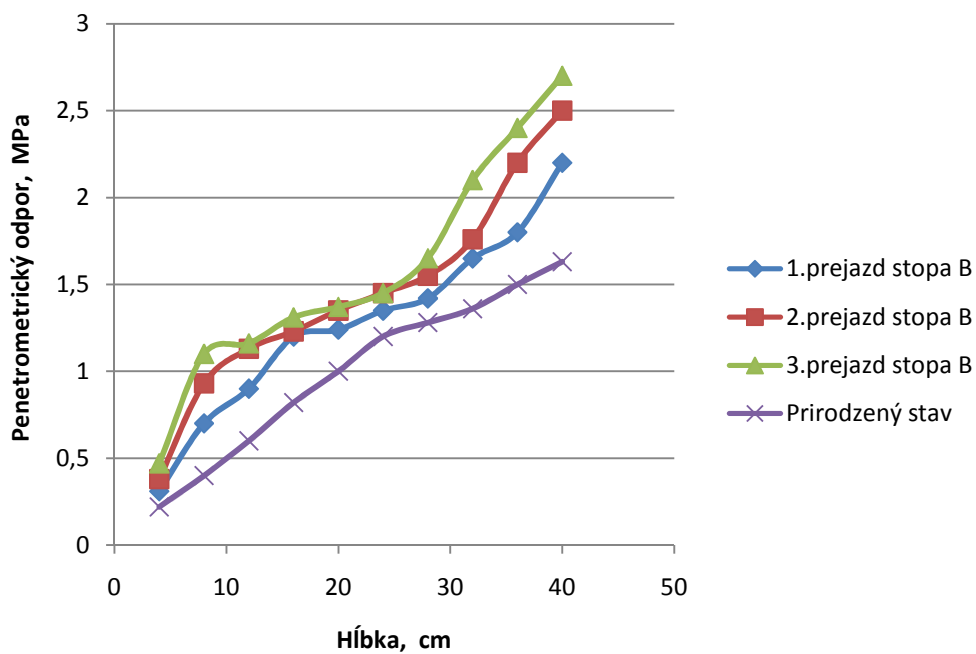
Tab. 5. Penetrometrický odpor, vlhkosť a objemová hmotnosť pôdy

		PENETROMETRICKÝ ODPOR, Mpa							
				1 Prejazd		2 Prejazd		3 Prejazd	
		Hĺbka, cm	Prirodzený stav	Stopa A	Stopa B	Stopa A	Stopa B	Stopa A	Stopa B
Pneumatikové koleso	I. Prevodový stupeň	4	0,22	0,3	0,31	0,4	0,38	0,48	0,47
		8	0,4	0,7	0,7	0,95	0,93	1,1	1,1
		12	0,6	0,95	0,9	1,15	1,13	1,18	1,16
		16	0,82	1,1	1,2	1,23	1,23	1,3	1,31
		20	1	1,25	1,24	1,37	1,35	1,4	1,37
		24	1,2	1,35	1,35	1,43	1,45	1,45	1,45
		28	1,28	1,43	1,42	1,6	1,55	1,6	1,65
		32	1,36	1,6	1,65	1,8	1,76	2	2,1
		36	1,5	1,8	1,8	2,2	2,2	2,4	2,4
		40	1,63	2,2	2,2	2,5	2,5	2,7	2,7
		Priemerná hodnota		1	1,27	1,28	1,46	1,45	1,56
Objemová hmotnosť, g/cm ³		1,5	1,57		1,59		1,63		
Vlhkosť, %		8,64	8,78		8,85		8,95		
		PENETROMETRICKÝ ODPOR, Mpa							
				1Prejazd		2 Prejazd		3 Prejazd	
		Hĺbka, cm	Prirodzený stav	Stopa A	Stopa B	Stopa A	Stopa B	Stopa A	Stopa B
Hrotové koleso	I. Prevodový stupeň	4	0,22	0,27	0,27	0,32	0,31	0,35	0,35
		8	0,4	0,5	0,45	0,56	0,56	0,7	0,7
		12	0,6	0,8	0,75	0,9	0,88	1	1
		16	0,82	1	1	1,18	1,19	1,2	1,22
		20	1	1,22	1,23	1,24	1,24	1,3	1,32
		24	1,2	1,28	1,28	1,3	1,29	1,39	1,41
		28	1,28	1,35	1,36	1,39	1,38	1,49	1,49
		32	1,36	1,45	1,47	1,54	1,56	1,6	1,6
		36	1,5	1,6	1,6	1,65	1,66	1,77	1,76
		40	1,63	1,7	1,68	1,8	1,8	2	2,1
		Priemerná hodnota		1	1,12	1,11	1,19	1,19	1,28
Objemová hmotnosť, g/cm ³		1,5	1,51		1,53		1,59		
Vlhkosť, %		8,64	8,05		8,19		8,22		

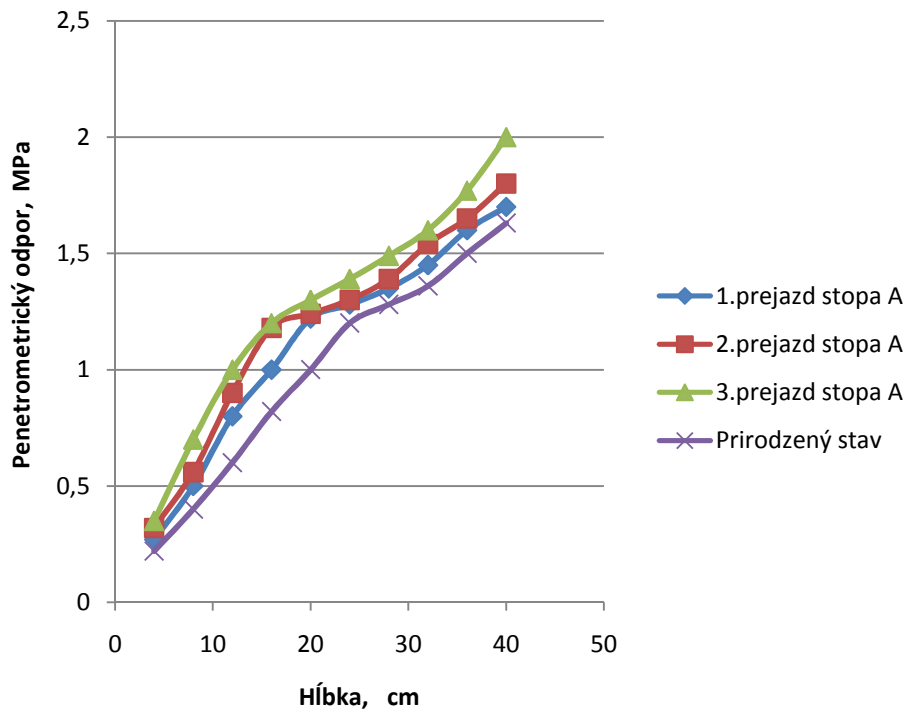
4.5.2 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt



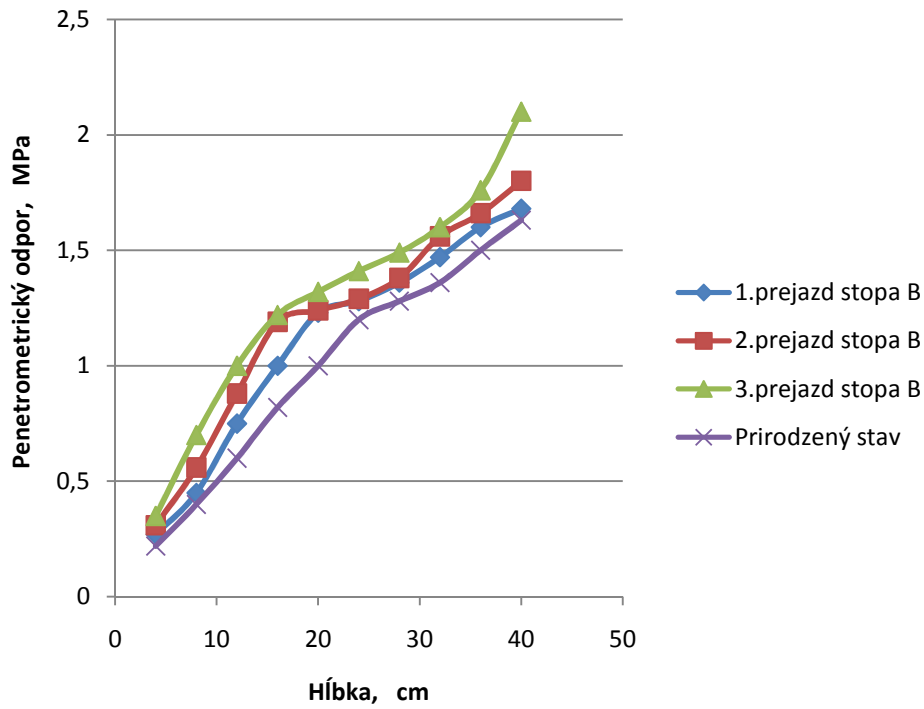
Graf 1. Penetrogram stopy A na pneumatikách



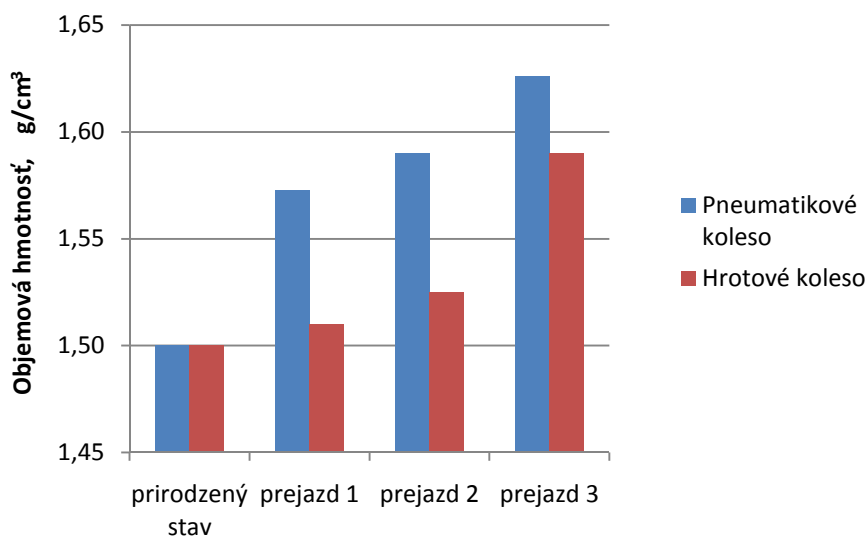
Graf 2. Penetrogram stopy B na pneumatikách



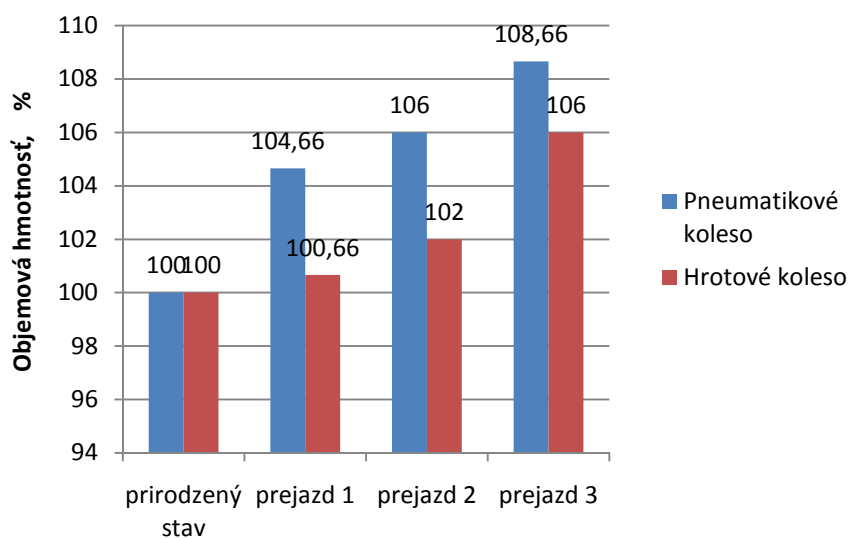
Graf 3. Penetrogram stopy A na hrotovom kolese



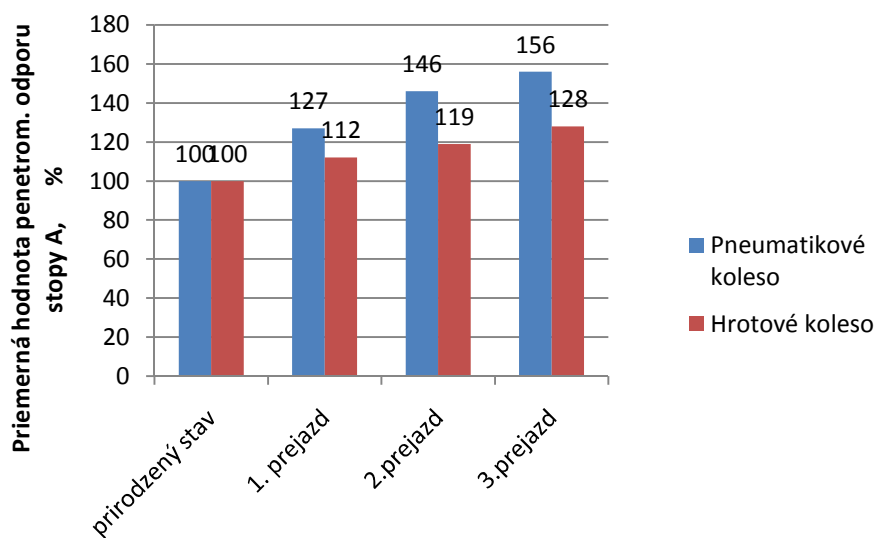
Graf 4. Penetrogram stopy B na hrotovom kolese



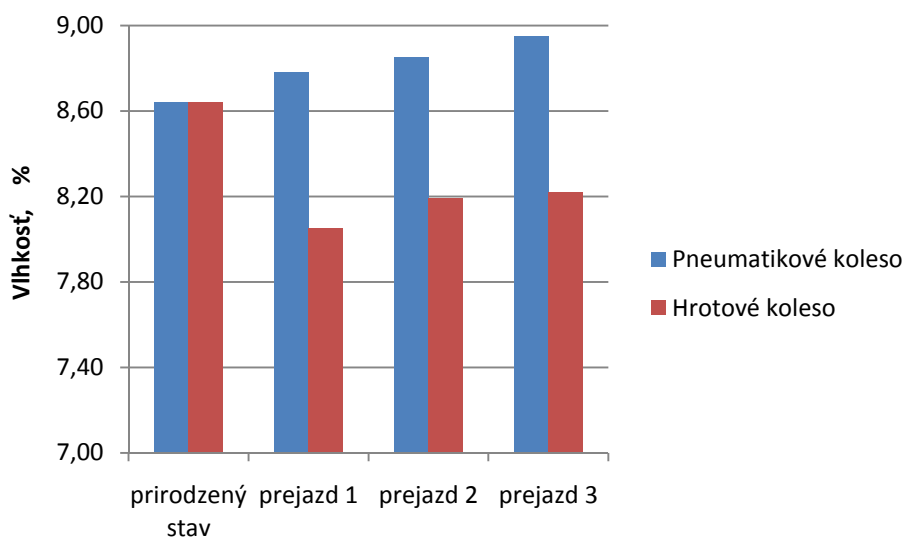
Graf 5. Objemová hmotnosť pri prejazde pneumatikovým kolesom a hrotovým kolesom



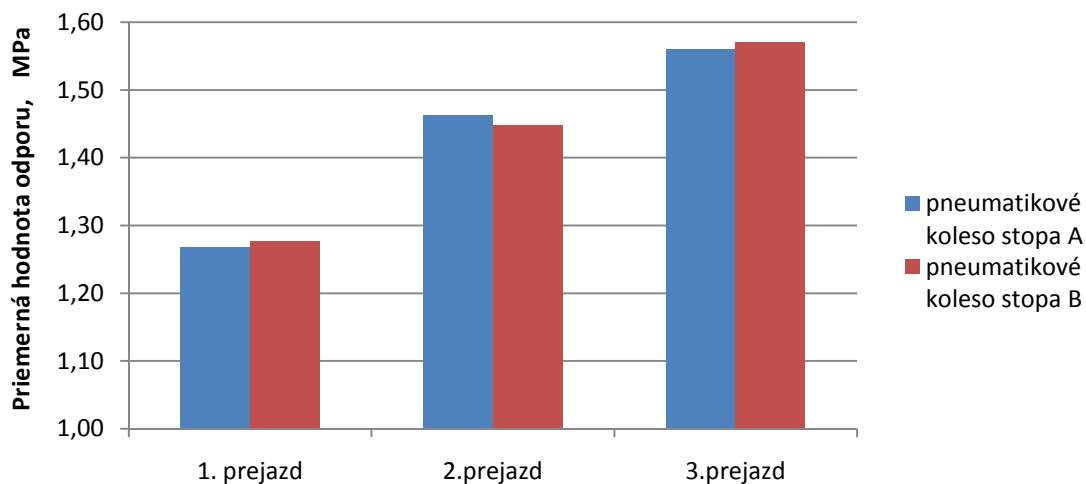
Graf 6. Percentuálne porovnanie objemovej hmotnosti po jednotlivých prejazdoch



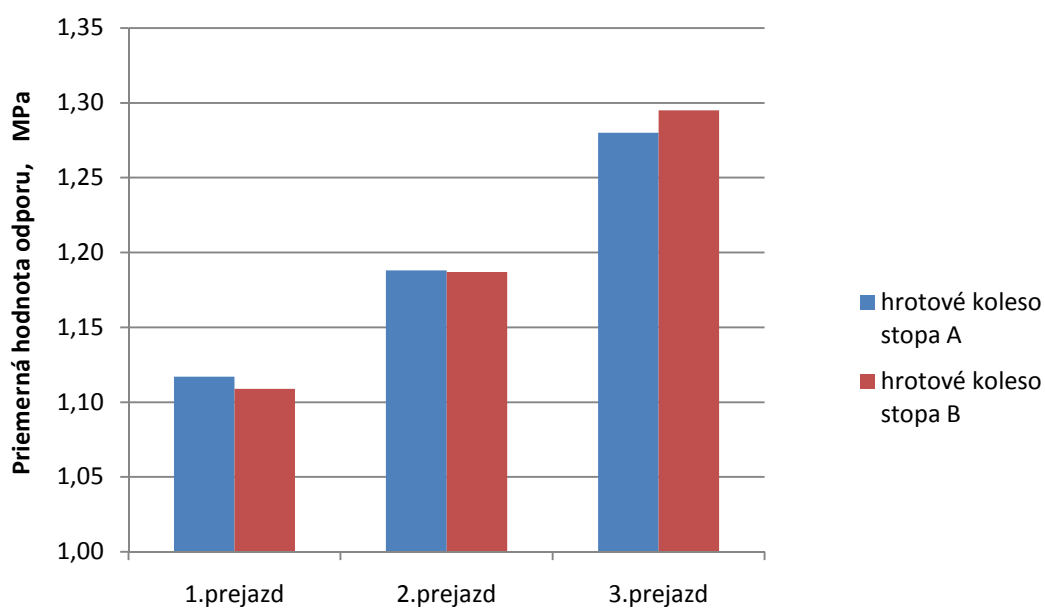
Graf 7. Percentuálne porovnanie priemerných hodnôt penetrometrického odporu stopy A



Graf 8. Vlhkosť pôdy pri prejazde pneumatikovým kolesom a hrotovým kolesom



Graf 9. Závislosť priemernej hodnoty odporu pôdy na prejazdoch pneumatikového kolesa



Graf 10. Závislosť priemernej hodnoty odporu pôdy na prejazdoch hrotového kolesa

5 DISKUSIA

V práci sme utlačenie pôdy zisťovali penetrometrickou metódou kde výstupnou veličinou bol penetrometrický odpor pôdy a k presnejšiemu meraniu sme použili aj Kopeckého valčeky k zisteniu objemovej hmotnosti pôdy. Ako je známe vplyvom prejazdov poľnohospodárskych strojov po pôde dochádza k utláčaniu pôdy a k zvýšeniu objemovej hmotnosti, k zníženiu pórovitosti, k zníženiu priepustnosti vody, vzduchu a k ďalším dôsledkom.

Z nameraných a graficky zobrazených hodnôt Graf 1 až 4 vyplýva, že penetrometrický odpor pôdy rástol úmerne s počtom prejazdov, či už v stope A alebo v stope B pneumatikového aj hrotového kolesa. Z grafov 3 a 4, ktoré vyjadrujú účinok hrotového kolesa na utlačenie pôdy vyplýva menšie utlačenie pôdy ako pneumatikovým kolesom. Maximálna hodnota penetrometrického odporu bola v tomto prípade 2,1MPa. U pneumatikového kolesa bola táto hodnota až 2,7MPa. Ako ďalej vyplýva z grafu 7, kde je znázornené percentuálne porovnanie priemerných hodnôt odporu pôdy v stope A najvýraznejšie zvýšenie odporu bolo po prvom prejazde 19%, po druhom prejazde už výraznejšieho zvýšenia nenastalo. Čo potvrdzuje aj Raghavan et al. (67) v práci, kde maximálny rast utlačenia je medzi prvým až piatym prejazdom, veľmi slabý medzi desiatym až pätnástym prejazdom. U hrotového kolesa predstavuje utlačenie prvým prejazdom najvyššiu hodnotu 12%. Porovnanie utlačenia pôdy v stope A aj v stope B je na grafe 9,10. Z nich možno konštatovať, že výrazných rozdielov v utlačení niet. Na utlačenie má vplyv aj doba trvania zaťaženia pôdy pojazdom ústrojenstvom a pojazdom rýchlota po poli. Cohorn (12) uvádza, že poľnohospodárske stroje by mali pracovať pri vysokých rýchlostiach.

Na grafe 5,6 je znázornená objemová hmotnosť a percentuálne porovnanie nárastu objemovej hmotnosti v závislosti od prejazdov. Možno konštatovať, že s rastúcim počtom prejazdov rastie aj hodnota objemovej hmotnosti. Najmenší nárast bol u hrotového kolesa prvým prejazdom 0,66%. Na presnosť merania má vplyv aj miesto odberu vzorky, keďže v mieste medzi lopatkami k výraznému utlačeniu pôdy nedošlo. Najvyššia objemová hmotnosť $1,63 \text{ g/cm}^3$ bola u pneumatikového kolesa a u hrotového najvyššia bola $1,59 \text{ g/cm}^3$. Z grafu 8 je vidieť, že vlhkosť pôdy po prejazde hrotovým kolesom je podstatne nižšia ako po prejazde pneumatikovým kolesom. Čo je spôsobené menším utlačením pôdy.

6 ZÁVER

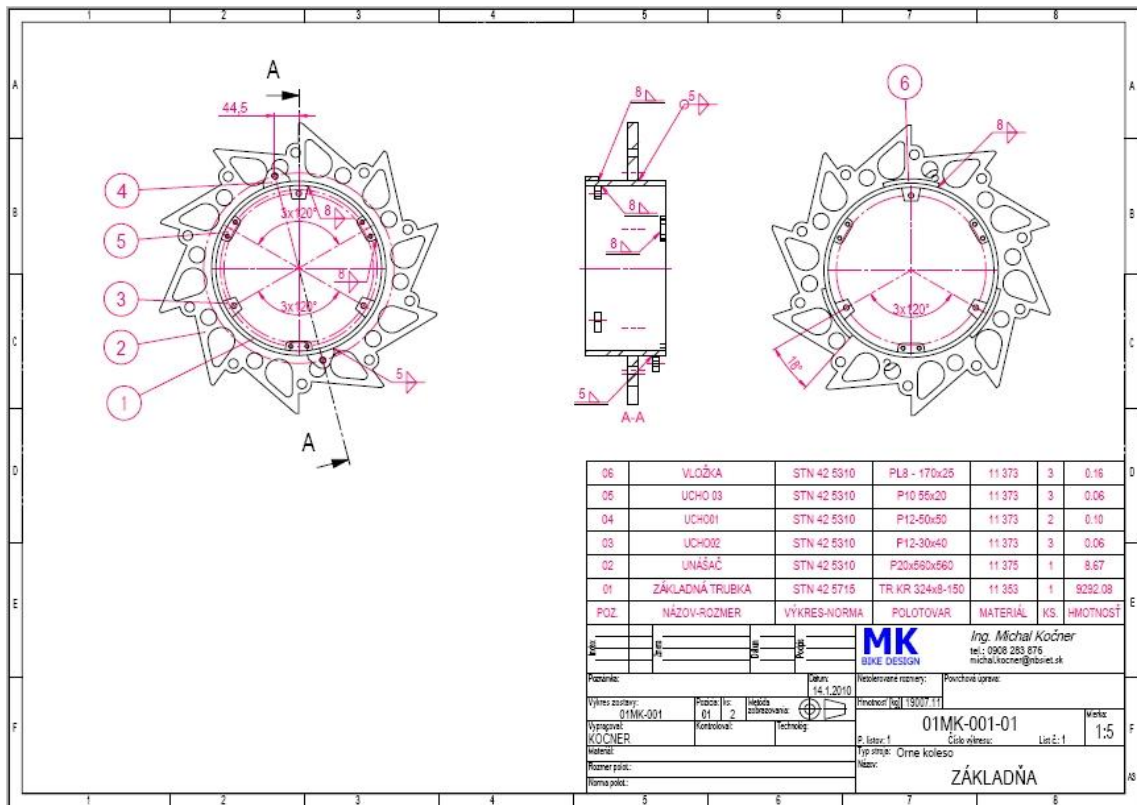
Dosiahnuté výsledky práce nám podávajú lepšiu predstavu o pôsobení pojazdového ústrojenstva poľnohospodárskych strojov na utlačanie pôdy. V predloženej práci možno skonštatovať, že z dosiahnutých výsledkov sa podarilo naplniť po stránke metodologickej i obsahovej vytýčený cieľ. O utlačaní ako o negatívnom vplyvu pôsobenia poľnohospodárskych strojov na pôdu sa vie už dlho a mnoho ľudí sa už zaoberalo touto témou vo svojich prácach.

Z nameraných údajov bolo utlačenie pôdy pneumatikovým kolesom väčšie ako u hrotového kolesa. Dôsledky zhutnenia na mechanicko-fyzikálne vlastnosti pôdy sa prejavujú najmä zvýšením objemovej hmotnosti a znížením pórovitosti. V konečnom dôsledku má negatívny dopad na pestovanie a úrodnosť plodín ako aj na energetickú náročnosť poľnohospodárskych strojov. Zistili sme len určité špecifické a svojim rozsahom limitované ukazovatele na základe ktorých sme vyvodili závery. Vychádzali sme hlavne z penetrometrickej metódy hodnotenia utlačenia pôdy. Samotné pôsobenie mobilnej techniky na pôdu si vyžaduje použitie viacerých moderných metód hodnotenia napr. polarizačné optické metódy, ultrazvukové, elektrónová mikroskopia, rentgenová analýza atď. Ide o problematiku so širokým rozsahom a detailne ju preskúmať by vyžadovalo samostatné štúdium a tematicky by presahovalo náplň tejto práce.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. ABRAHÁM, Rudolf. 2005. Interakcia pôdy a pojazdového ústrojenstva : dizertačná práca. Nitra : SPU, 2005.
2. SEMETKO, Jozef. 1986. Mobilné energetické prostriedky 3. 2. vyd. Bratislava: Príroda 1986. 453 s.
3. VANĚK, Antonín. 2003:Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Praha: Academia, 2003. 563 s. ISBN 80-200-1045-9.
4. HRAŠKO, J. a kol.: Rozbory pôd. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry v Bratislave, 1962, vydanie prvé.
5. CELJAK, I: Strojní zařízení pro realizaci stavebních prací, Interní učební text, ZF České Budějovice 2009, 134 s.
6. SHRBENÁ, B. et al.: Zhutňování půd pojezdy zemědělských mechanismů. Stud. Inform. ÚVTIZ, Ř. Půdoznal.-Melior.-Výž. Rostl., 1982, č.4, 48 s.
7. ŽIKLA, A.: Silové a kinematické pomery pri prenose sily pojazdovým ústrojenstvom. Habilitačná práca. Nitra: VŠP, 143 s.
8. HANES, J. a kol.: Pedológia (practikum). Nitra: 1995, 154 s., ISBN 80-7137-195-5.
9. SEMETKO, Jozef. 1985. Mobilné energetické prostriedky 2. 1.vyd.Bratislava: Príroda 1985. 386 s.
10. MAAS, Peter; MATYS, Mirko 2011. Stabilita odkalísk [online]. Prírodovedecká fakulta UK Katedra inžinierskej geológie, 2011 [cit. 2011-4-27]. Dostupné na internete: <<http://www.banskeodpady.sk/files/Maas%20a%20Matys.pps>>

PRÍLOHA



Obr. 1. Zostavný výkres hrotového kolesa



Obr. 2. Zapojenie traktora a automobilu pri meraní



Obr. 3. Namontované hrotové koleso na traktore



Obr. 4. Upevňovacia trubka a skrutka



Obr. 5. Vysunuté hrotové koleso