

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů

Vliv strojů na půdu při aplikaci digestátu z bioplynové stanice

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Josef Hůla, CSc.

Autor diplomové práce: Kateřina Jiránková

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kateřina Jiránková

obor Obchod a podnikání s technikou

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Vliv strojů na půdu při aplikaci digestátu z bioplynové stanice.**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Literární rešerše
3. Cíl práce a metodika
4. Výsledky
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

Lhotský, J., 2000: Zhutňování půd a opatření proti němu. Studijní informace ÚZPI. Praha, ÚZPI, č. 7, 61 s.
Hůla, J., Procházková, B., 2008: Minimalizace zpracování půdy. Praha, ProfiPress, 248 s.
Håkansson, I., 2005: Compaction of arable soils. Uppsala, SLU, 153 s.
Časopisy Mechanizace zemědělství, Úroda, Farmář.
Sborníky z vědeckých konferencí a odborných seminářů.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Josef Hůla, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv strojů na půdu při aplikaci digestátu z bioplynové stanice“ vypracovala samostatně, s použitím uvedené literatury a po odborných konzultacích s prof. Ing. Josefem Hůlou, CSc.

V Praze dne 8. dubna 2011

.....
Kateřina Jiráňková

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Josefovi Hůlovi, CSc. za odborné konzultace a za vedení při vypracování diplomové práce. Další poděkování patří Ing. Lukášovi Staňkovi za poskytnutí podmínek pro zpracování diplomové práce.

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv přejezdu po pozemku při vývozu digestátu z bioplynové stanice na nežádoucí zhutnění půdy. Pro posouzení tohoto vlivu byly hodnoceny půdní vlastnosti na pozemku ZD Dolní Újezd a.s. střediska Vidlatá Seč v různých datech. První část práce tvoří úvod, ve kterém je popsán problém zhutňování půd, jeho příčiny a možné důsledky s uvedením doporučení k odstranění tohoto nežádoucího jevu. Druhá část se zabývá odbornou literární rešerší, kde jsou zmíněny vybrané fyzikální vlastnosti půd, které souvisí s jevem zhutňování půd. Třetí částí je metodika diplomové práce. V této části jsou uvedeny metody, kterými bylo měřeno zhutnění půd. Čtvrtá část je věnována vyhodnocování naměřených dat. Poslední část této diplomové práce tvoří závěr, kde jsou zhodnoceny poznatky z této práce, uvedení doporučení ke snížení negativního vlivu zhutnění včetně ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova: zhutnění; fyzikální vlastnosti půdy; penetrační odpor; digestát

Effect of machines on to soil at the digestat application of biogas station

Summary: The aim of this thesis was to assess the effect of crossing the land for the export of digestate from biogas plants to harmful soil compaction. To assess the influence of soil properties were assessed on the land ZD Dolní Újezd company the centre of Vidlatá Seč in different dates. The first part is an introduction that described the problem of soil compaction, its causes and possible consequences, under the recommendation to eliminate this undesirable phenomenon. The second part deals with technical literature searches, which are mentioned selected physical properties of soils related to soil compaction phenomenon. The third section is devoted to analyzing measured data. The last part of this work consists of finding where they are assessed, the findings of this study, the recommendations to reduce the negative impact of compaction, including economic evaluation.

Key words: compaction, physical properties of soil penetration resistance; digestat

Obsah

1 Úvod	1
2 Literární řešerše	2
2.1 Fyzikální vlastnosti půdy	2
2.1.1 Objemová hmotnost redukována	2
2.1.2 Měrná hmotnost	3
2.1.3 Celková pórovitost	3
2.1.4 Vzdušná a vodní kapacita	4
2.1.5 Soudržnost (koheze) a přilnavost (adheze)	4
2.1.6 Struktura půdy	4
2.1.7 Barva půdy	5
2.2 Negativní vlivy zhutnění půd	5
2.2.1 Situace ve zhutnění půd v ČR	6
2.2.2 Důsledky zhutňování půd	7
2.2.3 Omezování zhutnění půdy	7
2.3 Styk pojezdového ústrojí s půdou	9
2.3.1 Volba správného spojení soupravy	10
2.3.2 Kolové a pásové podvozky	10
3 Cíl práce a metodika	12
3.1 Cíl práce	12
3.2 Metodika práce	12
3.2.1 Měření penetračního odporu	12
3.2.2 Odběr neporušených půdních vzorků	14
3.2.3 Měření profilu půdní stopy	15
3.2.4 Vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy a půdního odporu	15
3.2.5 Výchozí podmínky měření	16
4 Výsledky	20
4.1 Výsledky měření penetračního odporu	20
4.1.1 Měření 8.4.2010	20
4.1.2 Měření 6.9.2010	27
4.2 Výsledky měření fyzikálních vlastností	34
4.2.1 Měření 8.4.2010	35
4.2.2 Měření 5.10.2010	37

4.3 Výsledky měření profilu stopy pneumatiky.....	38
5 Závěr.....	40
6 Seznam literatury.....	42
7 Seznam obrázků.....	45
8 Seznam tabulek.....	46

1 Úvod

Zhutňování půd je jedním z řešených témat současného zemědělství, kterému se věnuje stále větší pozornost. Přejezdy po pozemcích jsou při současném stavu zemědělství nevyhnutelné, způsobují negativní zhutnění půdy, a tedy mají nežádoucí dopad na fyzikální vlastnosti půdy. Druhotné zhutnění půdy (zemědělskou mechanizací) má vliv jak na ekologickou stránku, tak na ekonomickou. V důsledku tohoto negativního opatření dochází ke snižování výnosů, zhoršení propustnosti vody půdou, nárůstu rizika vodní eroze na svažitéjších pozemcích a k vytvoření bariéry mezi orniční a podorniční vrstvou půdy. Zhutnění ve spodní vrstvě půdy je velice stálé a odstranění nákladné. Je tedy důležité zamyslet se nad tím, jaké používat pěstitelské technologie a zemědělskou techniku, aby se nezhoršovalo zhutnění půdy a následný nárůst nákladů na některé další operace.

Cílem této diplomové práce je posoudit vliv přejezdu po pozemku při vývozu digestátu z bioplynové stanice na nežádoucí zhutnění půdy. Měření byla vyhodnocena statistickými metodami. Z výsledků můžeme posoudit, jak byla půda zhutněna soupravou při vývozu digestátu, a jaké jsou negativní důsledky na půdní vlastnosti.

2 Literární rešerše

2.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Základní fyzikální vlastnosti půdy jsou určovány poměrem půdních fází. Můžeme je rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří vlastnosti určované působením fyzikálních sil na pevné půdní částice (soudržnost, přilnavost a struktura). Druhou skupinu tvoří vlastnosti určované vztahem mezi půdní fází pevnou, kapalnou a plynnou (pórovitost, vzdušná a vodní kapacita). Do poslední, třetí skupiny, řadíme vlastnosti podmíněné vztahy půdy k teplotě a světlu - tepelná jímavost, barva půdy. (Pokorný, Šarapatka, 2003)

2.1.1 Objemová hmotnost redukováná

Objemová hmotnost půdy patří mezi důležité fyzikální vlastnosti. Objemová hmotnost půdy redukováná je podkladem pro výpočet pórovitosti a hmotnosti půdních horizontů, pro výpočet zásoby živin v půdě, vody, humusu, atd. Zpracováním půdy se upravuje hmotnost půdy v přirozeném stavu. Kypřením se objemová hmotnost půdy snižuje a utužováním se zvyšuje, udává Škoda, Kvěch (1985). Změna objemové hmotnosti bezprostředně vyvolává určité změny. Např. zvýšení objemové hmotnosti zvyšuje zastoupení tuhé fáze půdy, tvrdost, ulehlost, penetrační odpor. Tyto změny snižují celkovou pórovitost, vzdušnou kapacitu, propustnost pro vzduch a vodu, zhoršují podmínky pro zakořenění rostlin a rozvoj jejich kořenového systému (Fulajtár 2006). Všeobecně, podle Fulajtára (2006) platí, že zvyšování objemové hmotnosti přirozeně ulehle půdy v zásadě zhoršuje fyzikální stav půdy a opačně. Ledvina et al. (1992) uvádí, že redukováná objemová hmotnost půdy („ O_r “ v g.cm^{-3}) je hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu po vysušení do konstantní hmotnosti, tzn. bez vody v pórech. Jedná se o hodnotu stálejší a pohybuje se ve svrchních půdních vrstvách nejčastěji v rozmezí 1,2 - 1,5 g.cm^{-3} v závislosti na měrné hmotnosti a celkovém objemu pórů v dané půdě. Ve spodině je půda zpravidla slehlejší, s menším objemem pórů a menším obsahem humusu, a hodnota objemové hmotnosti redukováné roste na 1,6–1,8 g.cm^{-3} . Fulajtár (2006) udává, že pokud je hodnota objemové hmotnosti redukováné 1,9 g.cm^{-3} , zastavuje se růst kořenů. Tabulka 1 ukazuje hodnocení nakypřenosti půdy podle velikosti O_r .

Tab. 1: Hodnocení nakypřenosti půdy podle velikosti O_r (Jurča, 1984;
cit. Ledvina et al., 1992)

Objemová hmotnost redukována O_r [g.cm ⁻³]	
ornice	podorničí
pod 0,95 nakypřená čerstvě	pod 1,30 kyprá
0,96 - 1,15 kyprá	1,31 - 1,40 slabě ulehlá
1,16 - 1,25 slabě ulehlá	1,41 - 1,50 ulehlá
1,26 - 1,35 ulehlá	nad 1,50 silně ulehlá
nad 1,35 silně ulehlá	

2.1.2 Měrná hmotnost

Měrná hmotnost půdy ρ_s je hmotnost jednotkového objemu pevné fáze půdy bez pórů, tj. za předpokladu, že pevné částice dokonale vyplňují daný prostor. Definujeme ji také jako poměrové číslo, které udává, kolikrát je určité množství zeminy vysušené při 105° C těžší, než stejný objem vody při 4° C. Měrná hmotnost závisí na obsahu různých minerálů a organických látek (humusu), poněvadž tyto složky mají různou měrnou hmotnost. Nejvíce zastoupeným nerostem v minerálním podílu většiny půd je křemen. Průměrná měrná hmotnost půdy je proto blízká jeho měrné hmotnosti, tj. 2,65. Tuto hodnotu snižuje větší obsah humusu a naopak zvyšuje obsah těžkých minerálů. (Jandák, Pokorný, Prax, 2007)

2.1.3 Celková pórovitost

Pórovitost jako jedna z důležitých vlastností má značný vliv na stav půdy a výnosy plodin. Reguluje pronikání kořenů rostlin do půdy, pohyb a výměnu vzduchu, zasakování a vzlínání vody i život půdních organizmů. V půdních pórech se uskutečňuje většina fyzikálních, fyzikálně - chemických a biologických dějů. (Škoda, Kvěch, 1985)

Celková pórovitost se vyjadřuje buď jako bezrozměrné číslo (0,25 - 0,7) nebo procenticky (25 - 70 %). Kozák (2002)

Pórovitost vypočítáme z měrné a objemové hmotnosti:

$$P = \frac{(Mh - Oh)}{Mh} * 100[\%]$$

P ... pórovitost

Mh ... měrná hmotnost

Oh ... objemová hmotnost

V ornících na území České republiky se pórovitost pohybuje v rozmezí 40–60 %. Nižší hodnoty znamenají, že půda je fyzikálně poškozena a vyžaduje nakypření. (Pokorný, Šarapatka, 2003).

2.1.4 Vzdušná a vodní kapacita

Vodní kapacita - schopnost půdy vodu nejen přijímat, ale také ji v sobě zadržovat. Tzv. plná vodní kapacita udává největší množství vody, které může být do půdy umístěno. Při obsahu vody v kapilárních pórech mluvíme o hodnotě maximální kapilární kapacity. V půdách se hodnota maximální kapilární kapacity pohybuje od 30 do 40 %. Ve většině orníc by neměla stoupnout nad 36 %.

Vzdušná kapacita - praktický význam má množství vzduchu, které v půdě zůstane po jejím nasycení vodou na hodnotu maximální kapilární kapacity. Tato hodnota se nazývá minimální vzdušnost a v ornici by neměla klesnout pod 10 %. (Pokorný, Šarapatka, 2003)

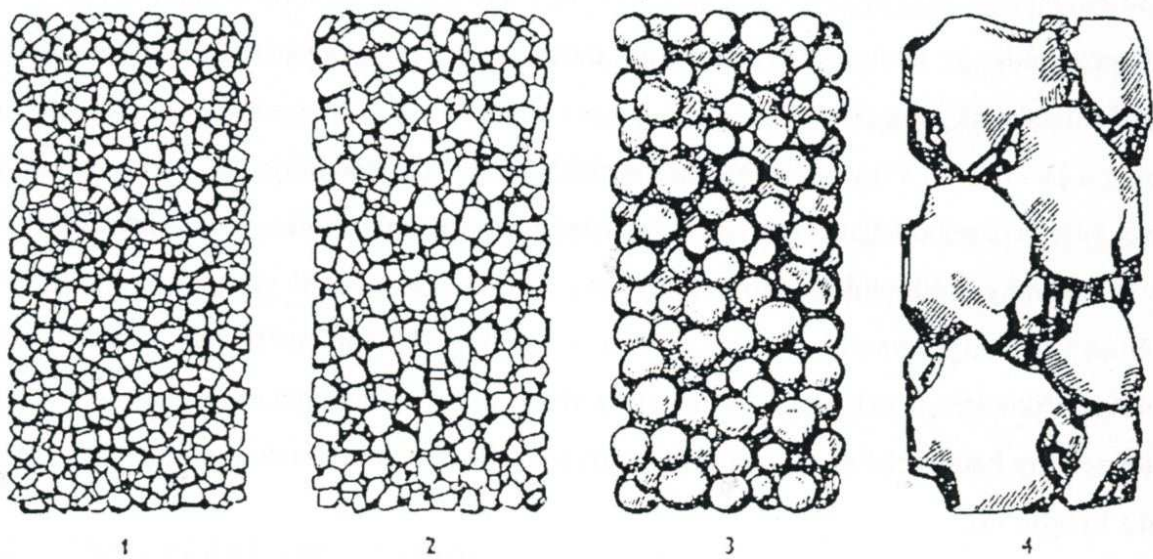
2.1.5 Soudržnost (koheze) a přilnavost (adheze)

Soudržností se vyznačuje síla, která drží půdní částice pohromadě. Soudržnost ovlivňuje půdní zrnitost, vlhkost, humus a tmelivost. Extrémní formy soudržnosti se řeší melioračním zásahem, vápněním, humusováním atd. (Kluibr, 2001). Velkou soudržností se vyznačují těžké půdy, zvláště za sucha. Lehké půdy mají naopak malou soudržnost. Při zvýšení vlhkosti u lehkých půd se soudržnost mírně zvětší. (Hůla et al., 1997)

Přilnavost půdy vyjadřuje schopnost půdy ulpívat na tělesech pronikajících do půdy. Nepříznivě se projevuje zejména při zpracování těžkých a velmi těžkých půd s vyšší půdní vlhkostí, kdy zemina ulpívá na pracovních nástrojích strojů a tím se snižuje kvalita práce a zvyšuje se energetická náročnost zpracování půdy. Přilnavost je důležitým ukazatelem vhodnosti zahájení zpracování půdy po dešti nebo na jaře. (Hůla et al., 1997)

2.1.6 Struktura půdy

Půdní částice se v půdě spojují v droby, hrudky, hroudy a vytváří shluky nebo agregáty. Půdní strukturou rozumíme seskupení půdních částic v agregáty a jejich vzájemný poměr. Půdní struktura je podle tvaru kulovitá, hranolovitá, krychlovitá, deskovitá. Podle původu je struktura přirozená a umělá. Umělá struktura je výsledkem zpracování půdy. Podle velikosti rozeznáváme strukturu částicovitou, hrudkovitou, hrudovitou a drobtovitou. (Kluibr, 2001)



Obr. 1: Struktura orných půd: 1 - zrnitá, 2 – drobtovitá, 3 – hrudkovitá, 4 – hrudovitá (Kluibr, 2001)

2.1.7 Barva půdy

Barva půdy je podmíněna přítomností barvitých součástí, z nichž nejvýznamnější jsou: sloučeniny železa, sloučeniny manganu, uhličitán vápenatý a kaolin, křemen a jí. Humus je výrazně zbarvující součástí půdy. Na intenzitu a odstín barvy působí hlavně zrnitost a vlhkost půdy. S přibývajícím vlhkostí se zbarvení stává výraznějším. Mezi barvou půdy přirozeně vlhké a vysušené mohou být značné rozdíly. Barva půdy působí přímo na její tepelné poměry. Tmavé půdy absorbují více tepla než světlé, větší záhřevností se pak zvyšuje výpar a snižuje se vlhkost. To může mít další důsledky pro biologickou aktivitu a přeměny organických látek. Barva půdy je důležitá především jako jeden z pomocných prostředků pro hodnocení dílčích pochodů půdotvorného procesu (např. akumulace humusu, podzolizace) a pro morfologické rozlišování genetických horizontů při terénním zkoumání půd.

Posuzování barvy půdy je možné buď subjektivním odhadem barvy se slovním označením, nebo objektivním porovnáváním odebraného vzorku s barevnými standarty s jednoznačným označením příslušným číselným symbolem. Obecně se k tomuto účelu používají Munsellovy barevné tabulky. (Jandák, Pokorný, Prax, 2007)

2.2 Negativní vlivy zhutnění půd

Způsob hospodaření na půdě je jedním z činitelů vytvářejících podmínky pro další vývoj půdních procesů. Ukázalo se, že jednotlivá opatření v rostlinné a živočišné výrobě, ale také

intenzifikační opatření, nebyla dostatečně promyšlená a kompenzačně provázaná, takže svými vedlejšími účinky na půdu vytvořila nové problémy spojené se znehodnocováním dříve úrodných půd a ovšem i se stagnací výnosů na nich a se ztížením jejich obdělávání. Příčina je především v jednostrannosti a prvkovém nesystémovém přístupu k intenzifikaci zemědělské výroby a zejména v důsledcích velkovýrobních technologií. K druhotně negativně působícím opatřením počítáme nadměrné zvětšování honů spojené s rozmnožením dopravy na poli, mechanizaci operací práce s půdou a na půdě koncipovanou na pojezdových technologiích a těžkých strojích, koncentraci a specializaci výroby vyvolávající druhotné obtíže v dodržování vhodné struktury plodin a nedohnojování půd chlévským hnojem, v chemizaci i v nedodržování osvědčených agrotechnických zásad, uvádí Lhotský (2000).

2.2.1 Situace ve zhutnění půd v ČR

Podle naposledy provedených odhadů, publikovaných v Situační a výhledové zprávě (Půda) Ministerstva zemědělství ČR (Mze ČR, 1999) je nadměrným zhutněním v různém stupni postiženo zhruba 45 % zemědělského půdního fondu, z toho 15 % je zhutnění genetické, dané přirozenými vlastnostmi těžkých půd a zbývající podíl připadá na zhutnění technogenní v důsledku nevhodného způsobu strojního obdělávání půdy. V současnosti je situace ve zhutnění půdy o to složitější, že ve značné míře je půda dlouhodobě degradována zhutněním v podorničních horizontech. Zhutnění půdních vrstev v těchto hloubkách je velmi perzistentní a odstranitelné pouze v dlouhodobém časovém horizontu. Efektivnímu řešení této závažné problematiky se dosud v zemědělských podnicích nevěnuje dostatečná pozornost. Vývoj fenoménu půdního zhutnění tak směřuje ke zvýšení plošného rozsahu a k zesílenému charakteru půdní degradace. (Javůrek, Vach, 2008)

Tab. 2: Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností zhutnělé půdy (Lhotský, 2000)

Fyzikální vlastnost	Půdní druh (obsah částic pod 0,01 mm v %)					
	J > 75	JV - JH 75 - 46	H 45 - 39	PH 30 - 21	HP 20 - 11	P < 10
Objemová hmotnost po vysoušení (g.cm⁻³)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objem)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Penetrační odpor půdy (MPa)	2,8 - 3,2	3,3 - 3,7	3,8 - 4,2	4,5 - 5,0	5,5	>6,0
Při vlhkosti % hmot.	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10

Legenda: J – jíl, JV – půda jílovitá, JH – půda jílovitohlinitá, H – půda hlinitá, PH – půda písčitohlinitá, HP – půda hlinitopísčitá, P – půda písčitá

2.2.2 Důsledky zhutňování půd

Lhotský (2000) popisuje, jak zhutnění zhoršuje kvalitu fyzikálního prostředí v půdě, od něhož se odvíjí i zhoršená kvalita biochemických a biologických procesů. Dobrá struktura půdy umožňuje optimální vodní a vzdušný režim půdy, v němž probíhají pozitivní biochemické procesy a intenzivní biologická aktivita. Vzniká kvalitní humus, rostlina čerpá vodu a živiny v optimální skladbě. Naopak po zhutnění je narušen vodní a vzdušný režim půdy a to vyvolává negativní důsledky, jako je deficit kyslíku pro kořeny, snížení celkového objemu procesů látkové přeměny, snížení sanitární účinnosti. Okyselením se zhoršuje přijímání živin rostlinou a zvyšuje se mobilita většiny rizikových prvků s důsledkem jejich intenzivnějšího příjmu rostlinami. Dále dochází k nižší efektivnosti hnojení, destrukce struktury půdního povrchu přispívá k snížené infiltraci a k erozi. Deformace až destrukce struktury hlinitých a jílovitých půd způsobuje defekty v růstu a kvalitě rostlin. Absence struktury u lehčích půd má za následek urychlení mineralizačních pochodů s tvorbou dusičnanů a s důsledkem jejich zvýšeného příjmu rostlinou nebo vyplavování do vod.

2.2.3 Omezování zhutnění půdy

Způsoby omezování zhutnění půdy v soustavě hospodaření, hlavně však v technologii pěstování plodin musejí, sehrávat významnou úlohu. Přístupy v omezování zhutnění půdy vyžadují revizi v organizaci půdního fondu a organizaci práce, přehodnocení soustavy hospodaření na půdě a technologických postupů pěstování plodin včetně materiálně technického zabezpečení, ale i vývoj a výrobu nových strojů. Jedná se především o tato opatření:

- ✓ technická a konstrukční řešení zemědělských strojů vedoucí ke snižování jejich tlaku na půdu,
- ✓ revize uspořádání půdního fondu,
- ✓ doba vstupu strojů na pozemek a omezování pojezdu strojů po poli,
- ✓ šetrné a ochranné zpracování půdy. (Javůrek, Vach, 2008)

Technická a konstrukční řešení strojů

V 80. letech minulého století se staly předmětem rozsáhlého výzkumu technická a konstrukční řešení strojů s cílem snížit kontaktní tlak na půdu. Řešení této problematiky v souvislosti se zhutňováním půd se zaměřilo hlavně na nové konstrukce pneumatik a snižování hmotnosti strojů. (Håkansson, 2005)

Dříve, než se dostaly do výroby nové konstrukce pneumatik, se podle Javůrka a Vacha (2008) doporučovalo pro snížení hutnění půdy kontaktními tlaky používat zdvojených kol, případně kombinaci předních pneumatik s oprýžovanými pásy zadního pohonu traktoru. Také se osvědčuje řízené podhušťování pneumatik strojů a návěsů při jízdě na poli.

V současné době však převládají nové konstrukce nízkotlakých pneumatik. Tyto širokoprofilové, nízkotlaké pneumatiky jsou šetrnější k půdě tím, že snižují utužování při pojezdech strojů po poli, a proto jsou již těmito pneumatikami vybavovány sklízecí plodiny, především se zásobníkem produkce. U traktorů a dalších strojů se používají radiální pneumatiky, které v porovnání s klasickými diagonálními vykazují nižší zhutňování půdy. Výrobci zemědělských strojů uplatňují převážně nové konstrukce pneumatik za účelem snížení kontaktních tlaků strojů na půdní profil.

Javůrek a Vach (2008) dále uvádí, že u dřívějších konstrukcí zemědělských strojů, především sklízecích, se zvyšování jejich výkonů neobešlo bez zvýšení jejich hmotnosti, což mělo za následek překračování limitu kontaktních tlaků. Také metody sklizně plodin, kdy sklizený produkt sklizňové stroje ukládaly do současně pojíždějících dopravních souprav s nevhodnými pneumatikami s nastavovanými úložnými prostory, přispěly významnou měrou v kombinaci s druhem půdy a její vlhkostí k nadměrnému zhutňování půd. Zejména při sklizni cukrovky při vyšší vlhkosti půdy docházelo ke značnému zhutňování půdy do velkých hloubek v podorničí.

V současné době již došlo k výrazným změnám sklizňových technologií a konstrukci sklizňových strojů (používání strojů se zásobníky, opatřených nízkotlakými pneumatikami), což snižuje negativní vliv mechanizace, pojíždějící po poli, na půdu. Také využívání strojů s poháněnými pracovními nástroji, kde se převážná část výkonu motoru přenáší přes vývodový hřídel traktoru, snižuje nároky na trakční vlastnosti traktorů, a tím i na jejich hmotnost. Nabídka zemědělské techniky na současném trhu pro rostlinnou výrobu většinou přispívá k redukci kontaktních tlaků na půdu.

Doba vstupu strojů na pozemky

Intenzita negativního působení pojezdů strojů a dopravních prostředků na zhutnění půdy má značnou souvislost s dobou vstupů této techniky na pole. Vstupy strojů na pozemky při zakládání porostu plodin, zejména na jaře, by se měly, vzhledem k tomu, že je v této době půda velmi citlivá na zhutnění, uskutečnit až v době, kdy je ornice tzv. „zralá“, tj. má přiměřenou vlhkost a dobrou únosnost. Předčasné vstupy stroje v jarním období na pozemky nejenže značně zhutňují půdu a poškozují její strukturu, ale jsou i z hlediska nároků plodin nevhodné. Jedná se o tzv. „zamazání osiva“, kdy v kolejových řádcích dochází ke žloutnutí rostlin vlivem nedostatku vzduchu v půdě a k dalším poruchám růstu v důsledku nepříznivých půdních vlastností. Nápravná opatření na zhutnělé půdě v tomto období jsou prakticky nemožná. (Javůrek, Vach, 2008)

Odstraňování zhutnění půdy

Na půdách, kde zhutnění zasahuje do podorniční vrstvy, je nutno tento nepříznivý fyzikální stav odstranit především mechanickými zásahy. Podle hloubky a míry škodlivosti zjištěného zhutnění půdy se uplatňují tyto mechanické zásahy:

- ✓ dlátování pro nakypření zhutnělé podorniční vrstvy půdy do hloubky až 0,45 m,
- ✓ hloubkové meliorační kypření zhutnělých podorničních vrstev přesahující hloubku 0,45 m,
- ✓ následná stabilizující opatření nakypřené zhutnělé půdy. (Javůrek, Vach, 2008)

2.3 Styk pojezdového ústrojí s půdou

V orné vrstvě je zhutnění určeno především kontaktním tlakem vozidel. Jeho následky mohou být napraveny během několika let kultivací půdy a nezdaří se tedy být trvalými. Výnosy plodin jsou zhutněním výrazně ovlivněny – jak příliš kyprá půda ($\rho_d = 1,1 \text{ g.cm}^{-3}$),

tak i příliš zhutnělá půda ($\rho_d > 1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), mají negativní vliv. V podloží ($z > 35\text{cm}$) jsou následky stlačení mnohem trvalejšího rázu. V hlubokých vrstvách ($z > 40\text{cm}$) jsou napětí od pojezdu vozidel určena zejména zatížením jednotlivých kol či náprav nebo za předpokladu stejného kontaktního tlaku velikostí styčné plochy. V přechodové vrstvě půdy (30 - 45 cm) má ovšem výrazný vliv i kontaktní tlak. Opakované přejezdy vozidel mají na zhutnění kumulativní účinek, a to až do velkého počtu přejezdů. Havelec a Hůla (1983) na uježděné souvrati s jílovitohlinitou půdou zjistili zvýšení měrného odporu orby z 58,2 na 94,4 kPa, tj. o 62 %. (Grečenko, 1994).

2.3.1 Volba správného spojení soupravy

Pokud je zvolena nevhodná velikost strojů o velké hmotnosti vzhledem k použitému traktoru, vede to k neúměrnému zvýšení nárůstu prokluzu hnacích kol, čímž se velice narušuje půdní struktura. Půda je potom v této stopě náchylná na zhutnění. Pokud by byla velikost strojů malá, stoupá četnost přejezdů, a proto je poježděna větší plocha. Upřednostnit by se měly návěsné stroje před nesenými, a to z toho důvodu, že se v soupravách s nesenými stroji přetěžuje zadní náprava traktoru. (Håkansson et al., 1988)

2.3.2 Kolové a pásové podvozky

Pásové traktory měly v minulosti výhradně ocelové pásy. Revoluci v konstrukci a nové možnosti využití pásového podvozku přinesly gumové pásy, které se prvně objevily koncem 90. let minulého století u traktorů Caterpillar Challenger 65. V současné době využívá gumové pásy celá řada výrobců. Společnost John Deere dokonce vyrábí stejný typ traktoru v kolovém i pásovém provedení. Pásové i kolové traktory mají řadu svých výhod a samozřejmě i nevýhod. Obě skupiny traktorů jsou v určitých podmínkách pro použití vhodnější nebo dosahují lepších parametrů. Při prvním pohledu se zdá, že pásový traktor díky menšímu měrnému tlaku na podložku způsobuje jednoznačně nižší utužení půdy než traktor kolový.

Australská Organizace britského společenství pro vědu a průmyslový výzkum prováděla měření a mapování tlaku vytvářeného v půdě zdvojenými pneumatikami a větším gumovým pásem pásového traktoru. Použité snímače tlaku v půdě změřily, co se skutečně stane, když po půdě projede vhodně dotížený traktor (s velkými radiálními pneumatikami, správně nahuštěnými na nižší tlak podle údajů výrobce pneumatiky). Ukázalo se, že ani po průjezdu traktoru zatíženého tahovou silou se měřený tlak podstatně nezvýšil. Vysvětlením je zvětšení

styčné plochy pneumatiky v důsledku většího zatížení. Průměrný kontaktní tlak je jenom o 7 až 14 kPa větší než tlak huštění pneumatiky. To je v protikladu s pásem, protože dojem, že tlak pod pásem zůstává konstantní, je klamný.

Použití kolového či pásového traktoru závisí na konkrétních podmínkách a potřebách zemědělce. Alternativa pásových jednotek ke kolům umožňuje ještě těsnější přiblížení se k parametrům pásových traktorů. V současnosti ale nejsou ještě uspokojivě zodpovězeny všechny otázky spojené s touto, i když se to nezdá, podstatnou změnou v konstrukci traktoru. Změna rozměrů nebude asi působit zásadní problémy. Dojde k prodloužení traktoru. Šířka se bude měnit jen nepatrně, traktor zůstane užší než při užití zdvojených kol. Dopad zvýšené hmotnosti traktoru už může být vážnější. (Pernis, 2010)

3 Cíl práce a metodika

3.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv přejezdu po pozemku při vývozu digestátu z bioplynové stanice na nežádoucí zhutnění půdy. Pro posouzení tohoto vlivu byly hodnoceny půdní vlastnosti na pozemku ZD Dolní Újezd a.s. střediska Vidlatá Seč v různých datech.

3.2 Metodika práce

Jednotlivá měření byla prováděna těmito metodami:

- měření penetračního odporu,
- stanovení základních fyzikálních vlastností půdy pomocí Kopeckého válečků a následného laboratorního rozboru,
- měření profilu stopy stroje.

3.2.1 Měření penetračního odporu

Penetrometr je přístroj, který se často používá k měření odporu, který půda klade při růstu kořenů (Håkansson, 2005).

Hlavními částmi kuželového penetrometru jsou sondovací tyč s kuželovou hlavicí, siloměr a měřidlo zahloubení. U větších penetrometrů se vtlačuje ručně tyč s kuželovou hlavicí do půdy, rychlost průniku kužele půdou má být $3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Ve většině případů se vystačí se sondovací tyčí pro největší zahloubení 0,5 m. Tvar kuželových hlavic penetrometru se ustálil na základě doporučení ASAE. (Hůla, 1996)

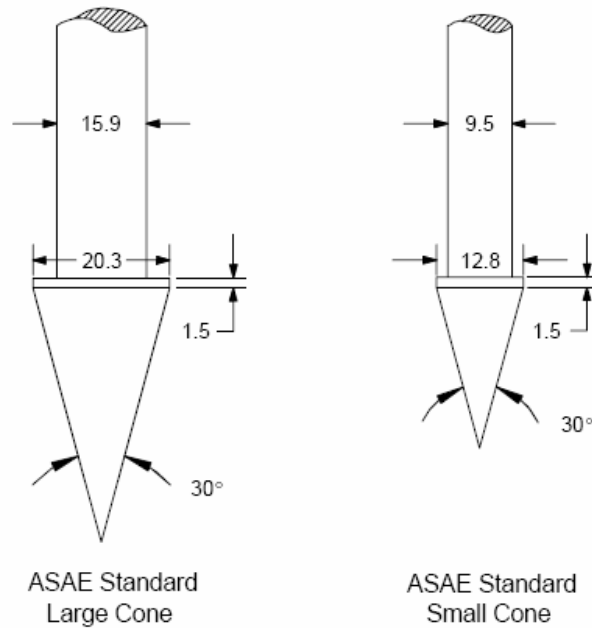
Norma ASAE S 313.2 stanovuje tvar kuželové hlavice penetrometru následovně:

- ✓ ASAE standardní velký kužel
- vrcholový úhel 30°
- průměr základny kužele 20,3 mm
- průměr sondovací tyče 15,9 mm

- ✓ ASAE standardní malý kužel
- vrcholový úhel 30 °
- průměr základny kužele 12,8 mm
- průměr sondovací tyče 9,5 mm.

Využíváme-li penetrometrii k posuzování stupně zhutnění půdy např. po přejezdech traktorů a dalších strojů po půdě, je třeba mít na paměti, že se jedná o metodu nepřímou. Zjištěný penetrační odpor sice souvisí s objemovou hmotností a pórovitostí půdy, což jsou veličiny, které vyjadřují hustotu uložení půdních částic, ale penetrační odpor dále závisí i na zrnitostním složení půdy (půdní druhy) a na momentálním obsahu vody v půdě. Chceme-li podle penetračního odporu usuzovat na stupeň zhutnění půdy, mají naměřené hodnoty penetračního odporu na určitém pozemku pouze vzájemně porovnávací cenu. Zjišťování výskytu zhutněné vrstvy v půdním profilu pomocí penetrometru lze však uskutečnit zpravidla na jaře, kdy je půdní profil rovnoměrně provlhlý. Podle Hůly (1996) měření v létě a na podzim je z tohoto hlediska je zcela nespolehlivé, protože v půdním profilu mohou být velké vlhkostní rozdíly, které se projeví na penetračním odporu. Pro toto měření je zpravidla doba v dubnu, případně na začátku května. V tomto období nebrání v pohybu po pozemcích ani porosty plodin. Pro hlavní půdní druhy byly stanoveny kritické hodnoty penetračního odporu z hlediska zhutnění. Tyto hodnoty však platí pro určitou půdní vlhkost. Korekcí na skutečnou vlhkost, a zvláště zjištění této vlhkosti, lze však uplatnit pouze při podrobném šetření výzkumného charakteru. (Hůla, 1996)

Rezistence je obvykle uvedena v kPa nebo MPa jako síla na jednotku plochy kužele základny. Dle Håkanssona (2005) musí být získané hodnoty hodnoceny s ohledem na strukturu půdy a stav půdy, které jsou do značné míry závislé na obsahu vody.



Obr. 2: Typy kuželové hlavice dle ASAE Standards

K měření penetračního odporu na pozemku v Dolním Újezdu byl použit penetrometr vyvinutý prof. Šařcem a Ing. Proškem, který má následující parametry:

Hloubka měření: 0,74 m

Rychlost měření: cca 3 cm.sec⁻¹

Měřicí rozsah: od 0 do 7 MPa

Přesnost měření: 1,4 %. (www.upv.cz)

3.2.2 Odběr neporušených půdních vzorků

Neporušené vzorky se odebírají do nerezavějících ocelových válečků o objemu 100 cm³. Váleček se do půdy vtlačuje svisle, shora dolů, plynule, bez viklání, tak dlouho, až sloupec vnikající zeminy převyšuje okraj horní základny válečku asi o 0,5 – 1 cm. Pro vtlačování lze použít pákového zařízení různé konstrukce. Pokud není k dispozici, lze postupovat takto: váleček se vtlačí do plošinky až pokud je to možné, potom se uvolní kolem válečku zemina, až vznikne pod částečně vtlačeným válečkem válec zeminy s trochu větším průměrem než u válečku; při dalším vtlačování se přebytečná zemina břitem válečku snadno odkrajuje, vtlačování je snadnější, poněvadž zemina svíráním neklade odpor vnikajícímu břitu. Nakonec se váleček opatrně oddělí a zemina v něm odkrojí do úrovně základny (řeže se nožem od středu ke kraji válečku, do kužele, jehož výška se postupně snižuje až do zarovnání základny).

Odloupne-li se část zeminy, nebo je-li ve válečku větší kámen (viditelný), je třeba provést odběr znovu. Nakonec se válečky zavíčkují, zajistí gumovým kroužkem a uloží do igelitového sáčku.

Křišťufek a Šimek (1998) nedoporučují odebírat půdní vzorky během nebo těsně po dlouhém období (více jak 30 dní) sucha, zmrznutí nebo zatopení.

3.2.3 Měření profilu půdní stopy

Profil stopy stroje se měřil od horní neporušené vrstvy půdy ke dnu stopy každých 20 mm z celkové šířky stopy stroje. Měření probíhalo ve třech variantách (přejezd s plnou cisternou, z poloviny naplněnou cisternou, prázdnou cisternou). U každé varianty přejezdu bylo měřeno třikrát v různých místech.

3.2.4 Vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy a půdního odporu

Hodnoty, které byly naměřeny penetrometrem a hodnoty fyzikálních vlastností neporušených vzorků, jsou zpracovány v programu Microsoft Excel 2003, ve kterém jsou vytvořeny základní grafy.

Statistické zpracování je provedeno v programu Statistica 9.1, ve kterém jsou vytvořeny popisné statistiky a charakteristiky. Také je využito nástroje ANOVA pro analýzu rozptylu naměřených hodnot.

Statistické vyhodnocení naměřených hodnot je zpracováno parametrickým testem, kdy se porovnávají průměry více než dvou normálních rozdělení (analýza rozptylu). Řešení tohoto testu se provádí ve dvou etapách. V první etapě pomocí analýzy rozptylu testujeme hypotézu, kdy se průměry souborů statisticky liší nevýznamně. V případě, že tuto hypotézu nezamítáme, práce je ukončena.

Při zamítnutí nulové hypotézy řešíme ve druhé etapě otázku, které soubory se od sebe významně liší. V tomto případě je nezbytné, aby se výsledky analýzy rozptylu doplnily podrobnějším hodnocením. Podrobnější rozlišení jednotlivých průměrů řeší metody mnohonásobných porovnání - Scheffého metoda (S - metoda) a Tukeyova metoda (T - metoda).

Použití jednoduché analýzy rozptylu je podmíněno splněním předpokladu, že výběry pocházejí z normálního rozdělení se stejným rozptylem. Normalita rozdělení se obvykle neověřuje, protože odchylky od normálního rozdělení ovlivňují správnost výsledků analýzy rozptylu velmi málo. (Kába, Svatošová, 2005)

3.2.5 Výchozí podmínky měření

Zhutnění půdy v závislosti na vývozu digestátu z bioplynové stanice bylo měřeno na pozemku ZD Dolní Újezd, středisko Vidlatá Seč ve východních Čechách. Snímek pozemku je uveden na obrázku 3. Přímkou přesněji vyznačuje místo, kde se měření vykonávalo. Tekutý digestát (fugát) byl vyvážen z bioplynové stanice nedalekého zemědělského družstva. Bioplynová stanice o výkonu 1000 kW byla uvedena do provozu v roce 2008. Zdrojem bioplynu je kukuřičná siláž a hnůj. (www.calla.cz)



Obr. 3: Snímek pozemku v Dolním Újezdu (mapy.cz)

Měření vlivu strojů na půdu při aplikaci digestátu z bioplynové stanice probíhalo od dubna 2010 do října 2010. Půdním druhem je půda hlinitá a půdní typ je kambizem. V tabulce 3 je uvedeno, jaké operace na pozemku v Dolním Újezdu probíhaly.

Tab. 3: Přehled pracovních operací a použitých souprav na pozemku v Dolním Újezdu

Pracovní postup	Termín	Souprava		Záběr [m]	Šíře pneumatiky [mm]	
		Traktor	Stroj		přední pneumatika	zadní pneumatika
rozmetání hnoje	18.09.2010	Liaz MTSP 24	nástavba RMA 8	9	250	590
střední orba	19.09.2010	New Holland M 160	Lemken VariDiamant	2	600	650
předseťová příprava	19.09.2010	Št 180 N	Köckerling Vario	5	720	720
seť hořčice	19.09.2010	ZĚS 180	Amazone D8 disk	6	400	460
aplikace fugátu	08.04.2010	New Holland T 7040	Zunhammer K 17000	12	600	650 (470*)
zapravení fugátu – kypření talířovým kypřičem	09.04.2010	New Holland T 7040	Köckerling Vario	5	600	650
kypření	24.04.2010	New Holland G230	Köckerling Vario	5	600	700
předseťová příprava	24.04.2010	New Holland T 7040	Farmet Kompaktor	8	600	650
seť kukuřice s přihnojením	24.04.2010	New Holland G230	Kinze 3600 16 RN	12	600	700
postemergentní postřik	21.05.2010	Tecnomas laser 5240		36	300	300
sklizeň na siláž	10.10.2010	Claas Jaguar 890		5	650	450
odvoz siláže	10.10.2010	Liaz MTSP 24	velkoobjemová nástavba	X	250	590

*) Zunhammer K 17000

První aplikace fugátu byla provedena traktorem New Holland T 7040 se strojem Zunhammer 17000 a ten týž den zapravení digestátu traktorem New Holland T 7040 se strojem Köckerling Vario. Na obrázku 4 vidíme traktor New Holland T 7040 se strojem Zunhammer 17000.



Obr. 4: Traktor New Holland T 7040 se strojem Zunhammer 17000

Technické parametry traktoru New Holland T 7040:

Výkon: 134 kW

Hmotnost: 8 250 kg

Pneumatiky: přední náprava – 600/60

zadní náprava – 710.60

Vnější rozteč: 2 570 cm.

Traktor New Holland T 7040 při vývozu jedné cisterny digestátu ujel 445 m. Cisterna má objem 17 m³ a záběr aplikátorů je 12 m, tzn. aplikace dvou dávek digestátu na 1 ha půdy. Aplikace probíhala po celém poli o výměře 52 ha, tzn. na celý pozemek bylo vyvezeno 901 m³ digestátu. Cisterna je návěsná s hadicovým aplikátorem plněná externím čerpadlem ze skladové jímky. Hmotnost prázdné cisterny je 10 250 kg. Dále jsou uvedeny hmotnosti traktoru s plnou cisternou, z poloviny naplněnou cisternou a prázdnou cisternou.

- Hmotnost traktoru a plné cisterny - 36 000 kg,
- hmotnost traktoru a z poloviny naplněné cisterny - 27 000 kg,
- hmotnost traktoru s prázdnou cisternou - 18 500 kg.

Na traktoru i na návěsu byly širokoprofilové nízkotlaké flotační pneumatiky značky Michelin. Obrázek 5 znázorňuje aplikaci digestátu na pozemek.



Obr. 5: Aplikace digestátu na pozemek

4 Výsledky

4.1 Výsledky měření penetračního odporu

Penetrační odpor byl měřen v pětadvaceti opakováních pro každou variantu. V tabulce 4 jsou uvedeny zkratky pro jednotlivé varianty přejezdů.

Tab. 4: Varianty přejezdů

Varianta přejezdu	Zkratka
bez přejezdu	V1
přejezd soupravy - prázdná cisterna	V2
přejezd soupravy - z poloviny naplněná cisterna	V3
přejezd soupravy - plná cisterna	V4

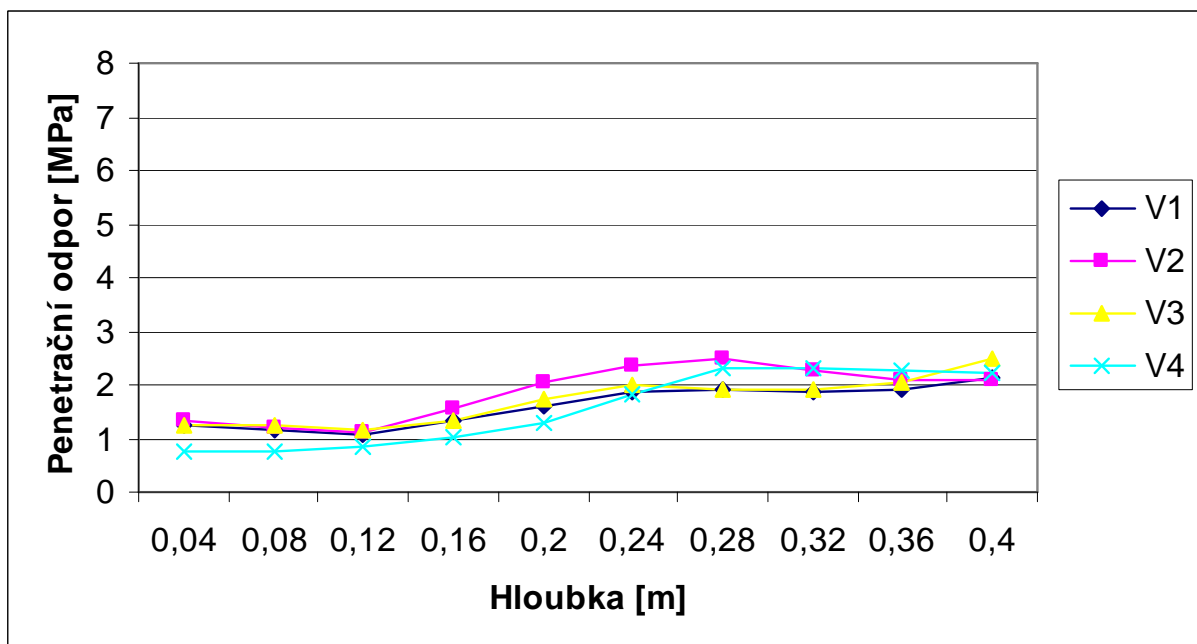
4.1.1 Měření 8.4.2010

Tabulka 5 znázorňuje průměrné hodnoty penetračního odporu jednotlivých variant přejezdu v různých hloubkách.

Tab. 5: Průměrné hodnoty penetračního odporu

Hloubka [m]	Penetrační odpor [MPa]			
	V1	V2	V3	V4
0,04	0,74	1,23	1,31	1,26
0,08	0,75	1,24	1,19	1,16
0,12	0,83	1,15	1,10	1,08
0,16	1,03	1,33	1,55	1,35
0,20	1,31	1,76	2,05	1,58
0,24	1,81	1,98	2,36	1,86
0,28	2,29	1,93	2,50	1,90
0,32	2,33	1,91	2,28	1,86
0,36	2,28	2,04	2,08	1,93
0,40	2,23	2,48	2,10	2,13

Na obrázku 6 je grafické znázornění průběhu penetračního odporu pro jednotlivé varianty. Penetrační odpor byl měřen při vlhkosti půdy 21 % hm.



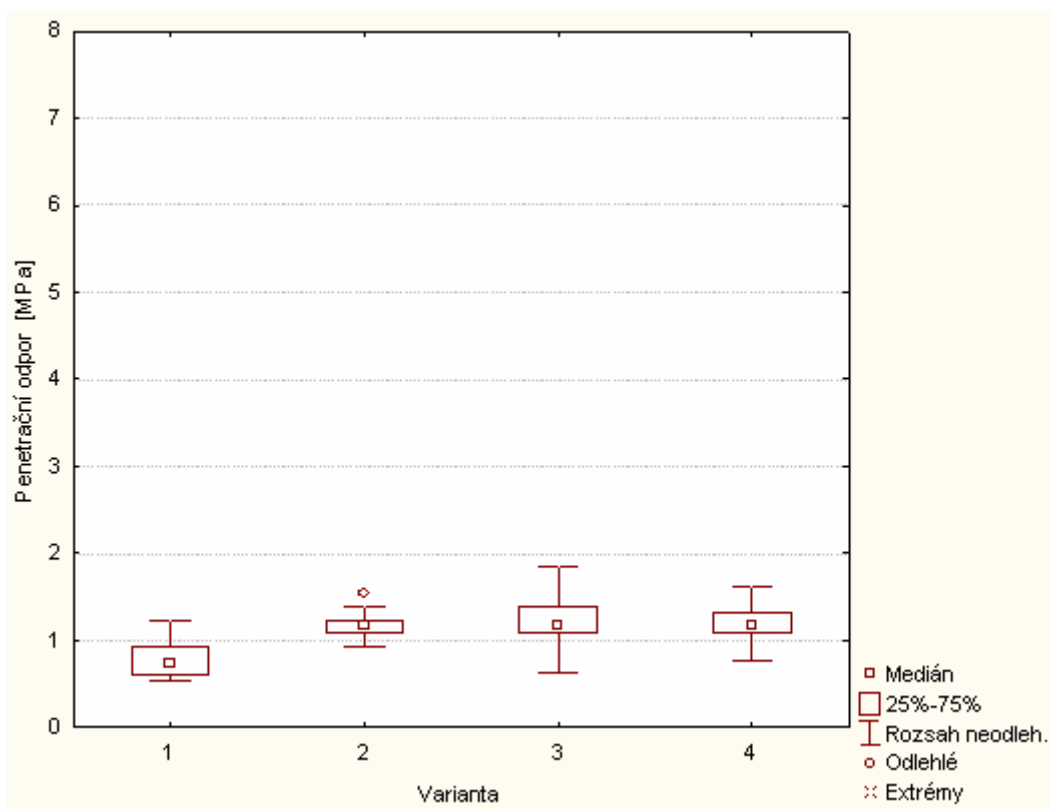
Obr. 6: Grafické znázornění penetračního odporu

Z grafu na obrázku 6 vidíme, že se zvyšující se hloubkou narůstá, dle předpokladu, penetrační odpor. V orniční vrstvě, cca do 20 cm, vychází jednotlivé varianty dle zatížení soupravy. V podorniční vrstvě se projevují nepřímé vlivy (nepravidelné zhutnění orbou v brázdě, nesouměrná výška orné vrstvy a podloží, nesourodosti podorniční vrstvy).

Dále se pozornost ubírá na vybrané úseky hloubky penetračního odporu.

Penetrační odpor v hloubce 0,04 – 0,12 m

Hodnocení penetračního odporu je znázorněno v krabicovém grafu, ze kterého se dá předem určit, které varianty a do jaké míry jsou odlišné od ostatních variant přejezdu. Krabicový graf pro hloubku 0,04 – 0,12 m je znázorněn na obrázku 7.



Obr. 7: Krabicový graf (hloubka 0,04 – 0,12 m)

Z krabicového grafu vidíme, že se varianta V1 liší od variant V2, V3 a V4. Dále pro zpřesnění provedeme podrobnější analýzu.

Tab. 6: Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná penetrační odpor [MPa] (40 - 120 mm) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,03896, sv = 230,00				
	Varianta přejezdu	{1}	{2}	{3}	{4}
1	V1		0,000008	0,000008	0,000008
2	V2	0,000008		0,995816	0,768012
3	V3	0,000008	0,995816		0,635500
4	V4	0,000008	0,768012	0,635500	

Z analýzy rozptylu vyplývá, že statisticky nevýznamný rozdíl je u dvojice V2 a V3, V2 a V4, V4 a V3. Statistický významný rozdíl je mezi variantou V1 a variantami V2, V3 a V4. Hodnoty p (hladina významnosti) u těchto dvojic výrazně překračují hladinu významnosti $\alpha = 0,05$. Pro schematické znázornění použijeme tabulku zobrazující homogenní skupiny (tabulka 7). Vyhodnocení je zde dle pořadí značek – hvězdiček v jednotlivých sloupcích. Varianty, které mají značky ve stejném sloupci, se statisticky významně neliší.

Tab. 7: Schematické znázornění homogenních skupin
podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná MPa (40 - 120 mm) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,03896, sv = 230,00			
	Varianta přejezdu	MPa Průměr	1	2
1	V1	0,773708		****
4	V4	1,171853	****	
2	V2	1,207161	****	
3	V3	1,215526	****	

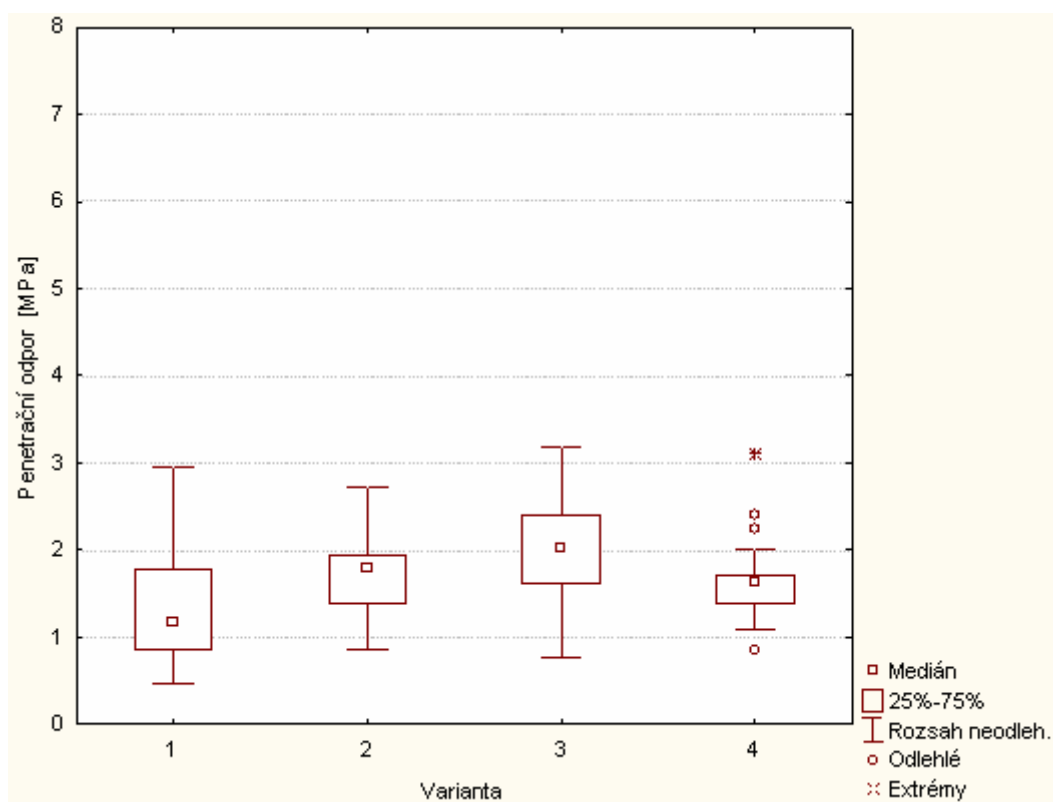
Z podrobnější analýzy vidíme, že se statisticky liší pouze varianta V1 od ostatních variant. Varianty V2, V3 a V4 nejsou od sebe statisticky odlišné. Je tedy potvrzena úvaha z krabicového grafu, že hodnoty penetračního odporu jsou u nepřejeté půdy statisticky významně menší než u ostatních variant přejezdů. Zároveň je ale vidět, že mezi ostatními variantami přejezdů nebyl žádný statisticky významný rozdíl na zvolené hladině významnosti. Pro kontrolu přesnosti provedeme test homogenity rozptylu, která se testuje např. pomocí Hartleyova nebo Bartlettova testu.

Tab. 8: Test homogenity rozptylů

	Testy homogenity rozptylu (40 - 120 mm) Efekt: Přejezd			
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	p
MPa	2,207337	0,3394421	11,13699	0,011008

Test homogenity prokázal, že rozptyly jednotlivých variant jsou nehomogenní. Analýza rozptylu může být ovlivněna chybou. Chyba může být způsobena stavem půdy v jarním období, kdy naměřené hodnoty obsahují větší výkyvy. Jelikož je hladina významnosti nižší než alfa (0,05), je zde statisticky významný rozdíl, a tím se zamítne nulová hypotéza.

Penetrační odpor v hloubce 0,16 – 0,24 m



Obr. 8: Krabicový graf (hloubka 0,16 – 0,24 m)

Z krabicového grafu na obrázku 8 vidíme, že statisticky významný rozdíl zřejmě bude mezi variantou V1 a variantou V2 a variantou V3. Dále je možno pozorovat rozdíl mezi variantou V2 a V3 a také mezi variantou V3 a V4. Pro upřesnění provedeme tedy analýzu rozptylu hodnot.

Tab. 9: Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná penetrační odpor [MPa] (160 - 240 mm) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,24618, sv = 237,00				
	Varianta přejezdu	{1}	{2}	{3}	{4}
1	V1		0,003668	0,000008	0,077910
2	V2	0,003668		0,011405	0,742183
3	V3	0,000008	0,011405		0,000257
4	V4	0,077910	0,742183	0,000257	

Z tabulky 9 vidíme, že statisticky nevýznamný rozdíl je u variant V1 a V4 a variant V2 a V4. Potvrdila se tedy domněnka z krabicového grafu. Dále provedeme schematické znázornění zobrazující homogenní skupiny.

Tab. 10: Schematické znázornění homogenních skupin
podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná MPa (160 - 240 mm) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,24618, sv = 237,00				
	Varianta přejezdu	MPa Průměr	1	2	3
1	V1	1,382083333	****		
4	V4	1,599083333	****	****	
2	V2	1,690791667		****	
3	V3	1,967991803			****

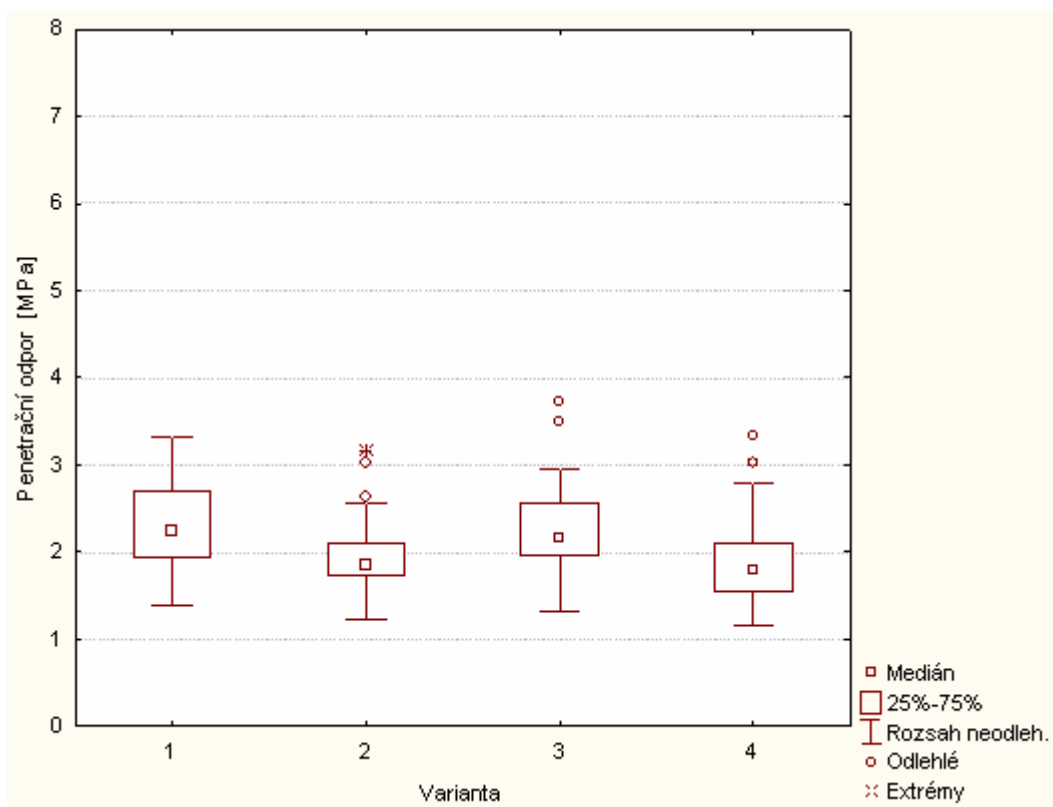
Z tabulky 10 vidíme, že mezi variantou V1 a V4, V4 a V2 není statisticky významný rozdíl a statisticky významný rozdíl je od zbývajících variant. Statisticky významný rozdíl je mezi variantou V3 a ostatními.

Tab. 11: Test homogenity rozptylů

	Testy homogenity rozptylu (160 - 240 mm) Efekt: Přejezd			
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	p
MPa	3,230103	0,4189596	23,97226	0.000025

Z testu homogenity rozptylu dat vyplývá, že data jsou statisticky významně rozdílná a rozptyly jednotlivých variant jsou nehomogenní. Zamítáme nulovou hypotézu.

Penetrační odpor v hloubce 0,28 – 0,36 m



Obr. 9: Krabicový graf (hloubka 0,28- 0,36 m)

Z grafu na obrázku 8 vyplývá, že statisticky významný rozdíl zřejmě bude mezi variantou V1 a variantou V2 a mezi variantou V3 a V4. Pro upřesnění provedeme opět analýzu rozptylu hodnot.

Tab. 12: Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná penetrační odpor [MPa] (280 - 360 mm) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,18959, sv = 236,00				
	Varianta přejezdu	{1}	{2}	{3}	{4}
1	V1		0,000111	0,998886	0,000008
2	V2	0,000111		0,000205	0,735580
3	V3	0,998886	0,000205		0,000009
4	V4	0,000008	0,735580	0,000009	

Z tabulky 12 je patrné, že statisticky nevýznamný rozdíl je mezi variantou V1 a V3 a mezi variantami V2 a V4. Úvaha z krabicového grafu byla tedy správná.

Tab. 13: Schematické znázornění homogenních skupin
podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test, proměnná MPa (280 - 360 mm) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,18959, sv = 236,00			
	Varianta přejezdu	MPa Průměr	1	2
4	V4	1,879375	****	
2	V2	1,960750	****	
3	V3	2,290125		****
1	V1	2,301750		****

V tabulce 13 vidíme, že statisticky odlišné jsou varianty V4 a V2 od variant V3 a V1.

Tab. 14: Test homogenity rozptylů

	Testy homogenity rozptylu (280 - 360 mm) Efekt: Přejezd			
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	p
MPa	2,008011	0,3247084	7,085653	0,069217

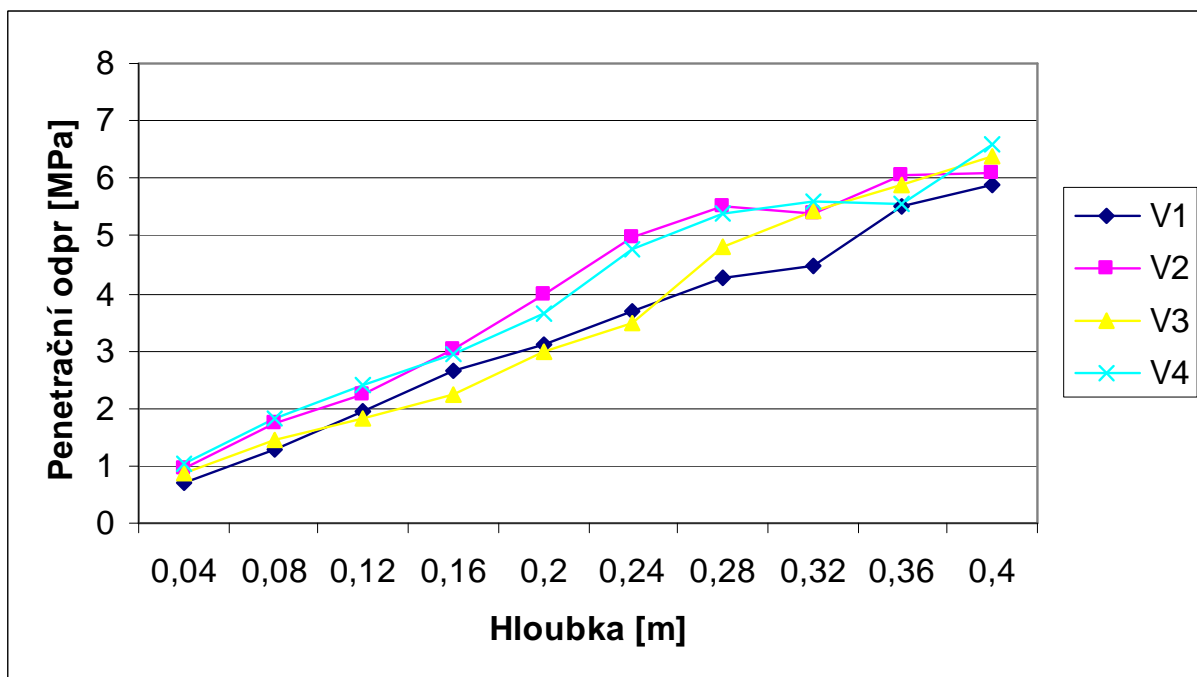
Z testu homogenity vidíme, že rozptyly všech variant jsou homogenní, tudíž analýza rozptylu není zatížena chybou.

4.1.2 Měření 6.9.2010

Tab. 15: Průměrné hodnoty penetračního odporu

Hloubka [m]	Penetrační odpor [MPa]			
	V1	V2	V3	V4
0,04	1,06	0,87	0,94	0,71
0,08	1,83	1,46	1,76	1,29
0,12	2,40	1,82	2,24	1,95
0,16	2,95	2,24	3,01	2,66
0,20	3,64	2,99	3,97	3,10
0,24	4,78	3,49	4,99	3,68
0,28	5,39	4,81	5,51	4,26
0,32	5,59	5,45	5,39	4,48
0,36	5,56	5,90	6,05	5,52
0,40	6,60	6,40	6,10	5,87

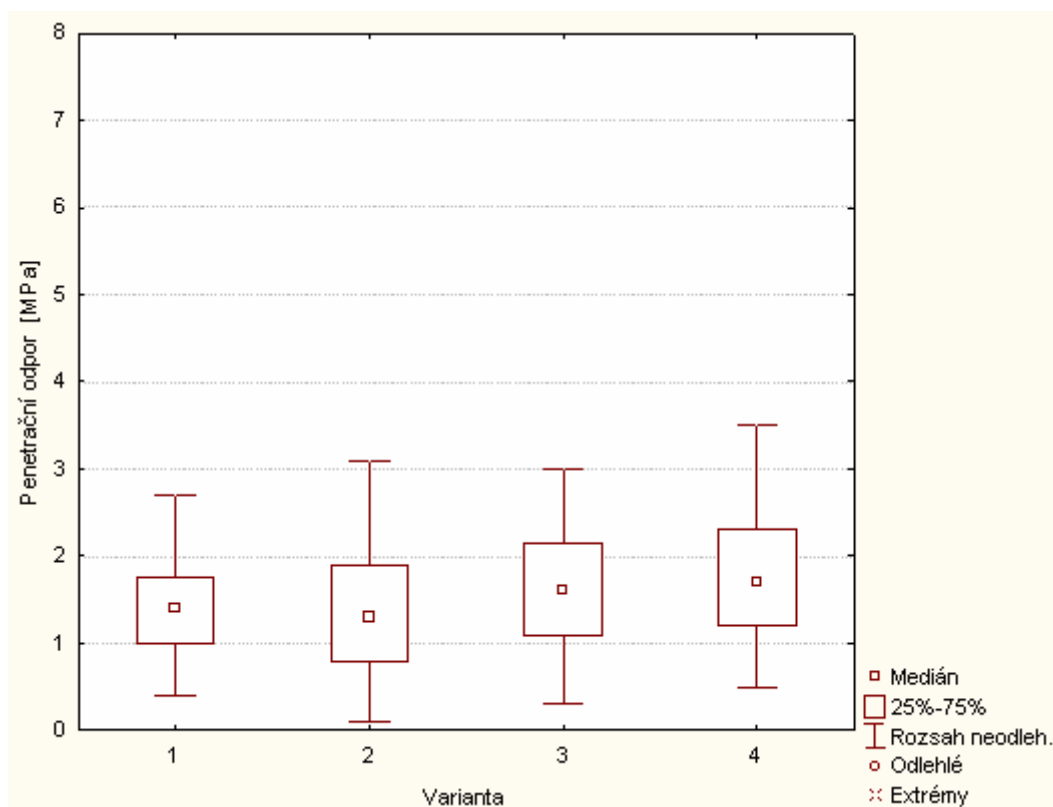
Na obrázku 7 je grafické znázornění penetračního odporu. Penetrační odpor byl měřen při vlhkosti půdy 22 % hm.



Obr. 10: Grafické znázornění penetračního odporu

Z grafu je patrné, že se vzrůstající hloubkou roste penetrační odpor. U varianty bez přejezdu (varianta V1) je penetrační odpor nižší než u varianty, kdy byla cisterna zcela naplněná (varianta V4). Penetrační odpor nabývá výrazně vyšších hodnot oproti měření provedenému dne 8.4.2010. V orniční vrstvě, cca do 20 cm, vychází jednotlivé varianty dle zatížení soupravy. V podorniční vrstvě se opět projevují nepřímé vlivy.

Penetrační odpor v hloubce 0,04 – 0,12 m



Obr. 11: Krabicový graf (hloubka 0,04 – 0,12 m)

Z grafu na obrázku 11 není patrný žádný rozdíl mezi všemi variantami. Pro upřesnění provedeme opět analýzu rozptylu hodnot.

Tab. 16: Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná penetrační odpor [MPa] (40 - 120 mm) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,45300, sv = 233,00				
	Varianta přejezdu	{1}	{2}	{3}	{4}
1	V1		0,989626	0,187099	0,009624
2	V2	0,989626		0,081963	0,002445
3	V3	0,187099	0,081963		0,612303
4	V4	0,009624	0,002445	0,612303	

Tabulka 16 udává, že statisticky významný rozdíl je mezi variantou V1 a V4 a také u variant V2 a V4. Dále zjistíme, které varianty se mezi sebou statisticky významně liší.

Tab. 17: Schematické znázornění homogenních skupin
podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test, proměnná MPa (40 - 120 mm) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,45300, sv = 233,00			
	Varianta přejezdu	MPa Průměr	1	2
4	V4	1,339216	****	
2	V2	1,381250	****	
3	V3	1,635294	****	****
1	V1	1,775429		****

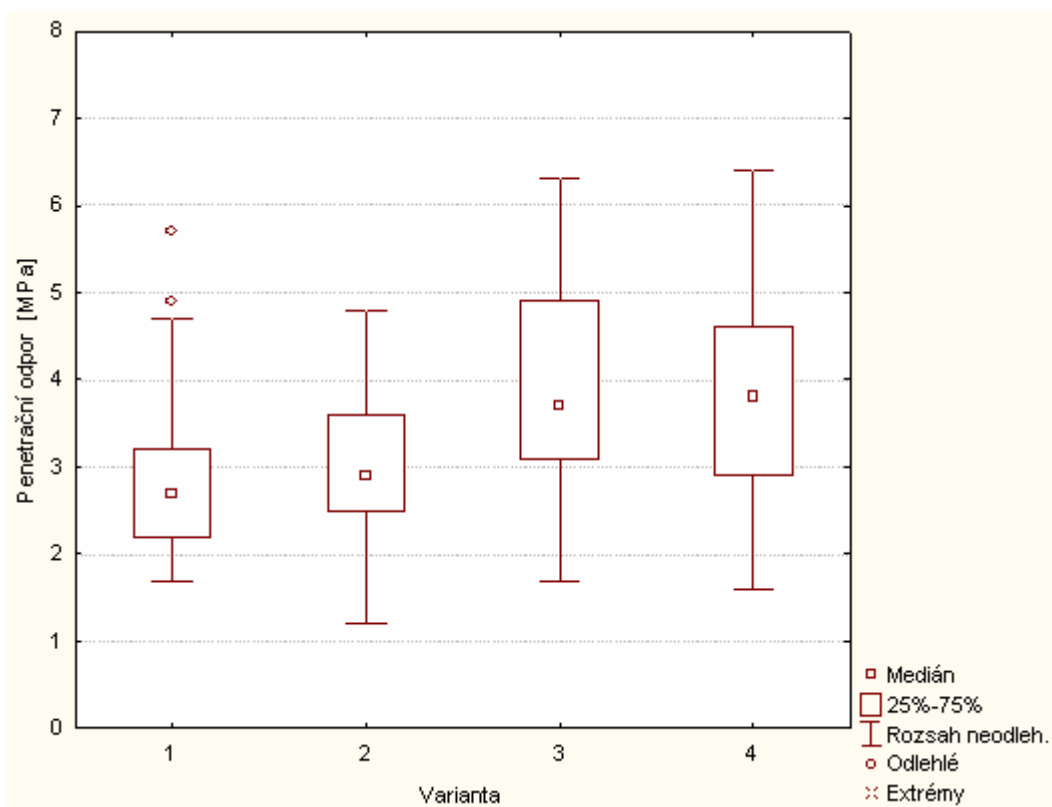
Z testu homogenních skupin je patrné, že se statisticky neliší varianta V4, V2 a V3 mezi sebou. Varianta V3 a V1 se mezi sebou také statisticky neliší, ale liší se od variant V4 a V2.

Tab. 18: Test homogenity rozptylů

	Testy homogenity rozptylu (40 - 120 mm) Efekt: Přejezd			
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	p
MPa	1,923935	0,2997614	6,162835	0,103951

Z testu homogenity rozptylu dat vyplývá, že data jsou statisticky nevýznamná a jednotlivé varianty jsou homogenní. Nulovou hypotézu přijímáme.

Penetrační odpor v hloubce 0,16 – 0,24 m



Obr. 12: Krabicový graf (hloubka 0,16 – 0,24 m)

Z krabicového grafu vidíme, že statisticky významný je rozdíl mezi variantou V1 a V3 a variantou V1 a V4. Dále mezi variantami V2 a V3, V2 a V4. Pro potvrzení provedeme podrobnější vyhodnocení.

Tab. 19: Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná penetrační odpor [MPa] (160 - 240 mm) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1,1563, sv = 214,00				
	Varianta přejezdu	{1}	{2}	{3}	{4}
1	V1		0,826453	0,000009	0,000045
2	V2	0,826453		0,000245	0,003249
3	V3	0,000009	0,000245		0,841230
4	V4	0,000045	0,003249	0,841230	

Tabulka 19 potvrzuje úvahu z krabicového grafu. Statisticky významný rozdíl se potvrdil u varianty V1 a V3, varianty V1 a V4. Dále mezi variantami V2 a V3, V2 a V4. Opět budeme zjišťovat, které varianty se mezi sebou významně statisticky liší.

Tab. 20: Schematické znázornění homogenních skupin
podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná MPa (160 - 240 mm) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = 1,1563, sv = 214,00			
	Varianta přejezdu	MPa Průměr	1	2
1	V1	2,866667	****	
2	V2	3,065854	****	
4	V4	3,795652		****
3	V3	3,950794		****

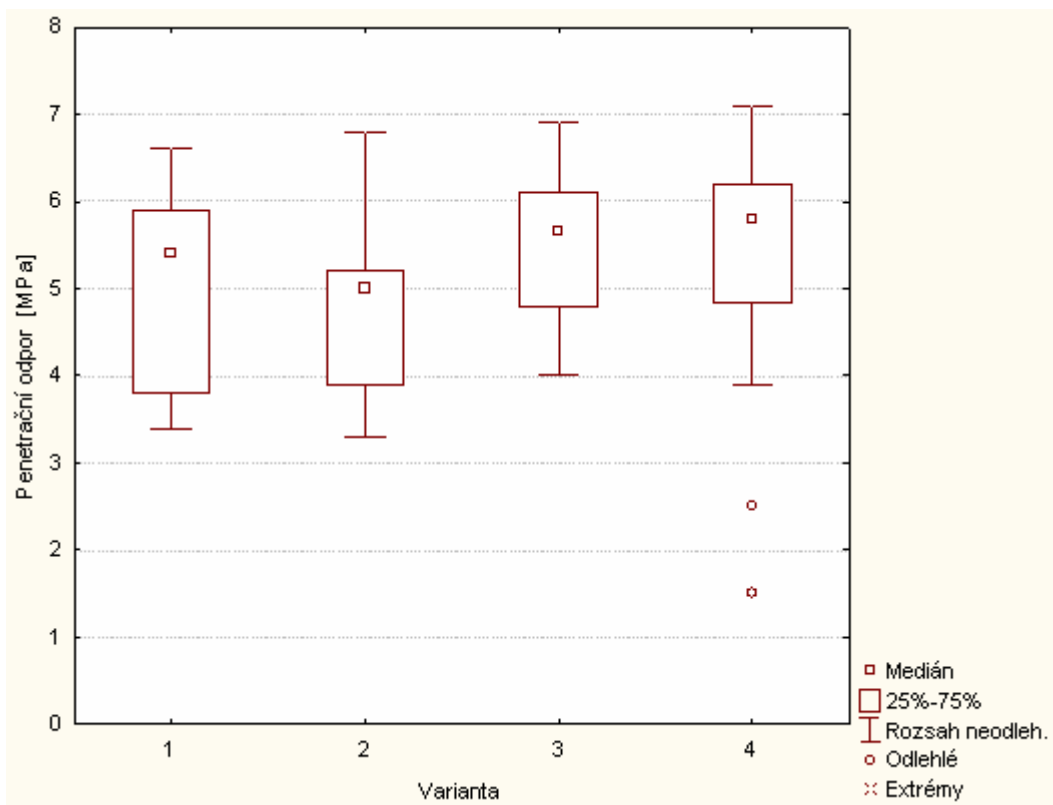
Varianty V1 a V2 se mezi sebou statisticky neliší, ale liší se od variant V3 a V4, které se mezi sebou také statisticky neliší.

Tab. 21: Test homogenity rozptylů

	Testy homogenity rozptylu (160 - 240 mm) Efekt: Přejezd			
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	p
MPa	1,968456	0,3257709	9,309497	0,025447

Z testu homogenity rozptylu dat vyplývá, že data jsou statisticky významně rozdílná a rozptyly jednotlivých variant jsou nehomogenní. Zamítáme nulovou hypotézu.

Penetrační odpor v hloubce 0,28 – 0,36 m



Obr. 13: Krabicový graf (hloubka 0,28- 0,36 m)

Z krabicového grafu vidíme, že statisticky významný je rozdíl mezi variantou V2 a V3 a mezi variantou V2 a V4. Pro potvrzení úvahy provedeme podrobnější vyhodnocení.

Tab. 22: Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná penetrační odpor [MPa] (280 - 360 mm) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,99414, sv = 107,00				
	Varianta přejezdu	{1}	{2}	{3}	{4}
1	V1		0,594631	0,444085	0,480537
2	V2	0,594631		0,016010	0,014587
3	V3	0,444085	0,016010		0,998618
4	V4	0,480537	0,014587	0,998618	

Z tabulky 22 je zřejmé, že statisticky významný rozdíl je mezi variantou V2 a V3 a mezi variantou V2 a V4. Statistický nevýznamný rozdíl je u variant V1 a V2, dále u variant V1 a V3, V1 a V4 a u variant V4 a V3. Zjistíme, které varianty se mezi sebou významně statisticky liší.

Tab. 23: Schematické znázornění homogenních skupin
podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná MPa (280 - 360 mm) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,99414, sv = 107,00			
	Varianta přejezdu	MPa Průměr	1	2
2	V2	4,695652174		****
1	V1	5,088888889	****	****
4	V4	5,495000000	****	
3	V3	5,533333333	****	

Z tabulky 23 je patrné, že varianty V1, V4 a V3 se mezi sebou statisticky významně neliší, ale liší se s variantou V2. Varianty V1 a V2 se od sebe statisticky významně neliší.

Tab. 24: Test homogenity rozptylů

	Testy homogenity rozptylu (260 - 380 mm) Efekt: Přejezd			
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	p
MPa	1,905798	0,3420804	4,438005	0,217887

Z testu homogenity rozptylu dat vyplývá, že data jsou statisticky nevýznamná a jednotlivé varianty jsou homogenní. Nulovou hypotézu přijímáme.

4.2 Výsledky měření fyzikálních vlastností

Fyzikální vlastnosti půdy byly zjišťovány rozborem neporušených půdních vzorků v laboratoři České zemědělské univerzity v Praze. Vzorky byly odebírány do Kopeckého válečků, a sice ve třech opakováních ve čtyřech hloubkách (5 - 10 cm, 15 - 20 cm, 25 - 30 cm a 35 - 40 cm) a pro čtyři varianty. První variantou je varianta přejezdu s plnou cisternou, druhá varianta je pro přejezd z poloviny naplněnou cisternou, třetí je pro přejezd s prázdnou cisternou. Čtvrtá varianta je mimo stopu kolejových rádků.

V tabulce 25 jsou uvedeny zkratky po jednotlivé varianty přejezdu.

Tab. 25: Varianty přejezdů

Varianta přejezdu	Zkratka
bez přejezdu	V1
přejezd soupravy - prázdná cisterna	V2
přejezd soupravy - z poloviny naplněná cisterna	V3
přejezd soupravy - plná cisterna	V4

4.2.1 Měření 8.4.2010

Měření probíhalo při vlhkosti půdy 21 % hm. Průměrné hodnoty objemové hmotnosti redukované a pórovitosti jsou uvedeny v tabulce 26.

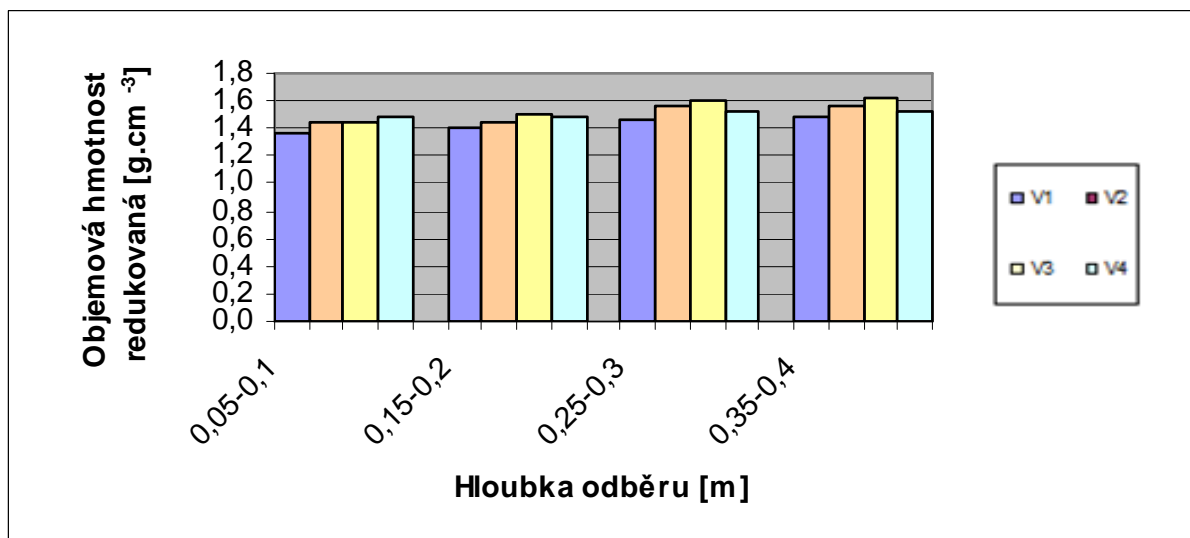
Tab. 26: Průměrné hodnoty objemové hmotnosti redukované a pórovitosti

Hloubka odběru [m]	Varianta	Objemová hm. [g.cm ⁻³]	Pórovitost [%]
0,05-0,1	V1	1,37	47,76
	V2	1,44	47,66
	V3	1,44	49,03
	V4	1,48	43,51
0,15-0,2	V1	1,40	46,58
	V2	1,44	44,99
	V3	1,51	42,31
	V4	1,48	43,55
0,25-0,3	V1	1,46	44,09
	V2	1,56	40,52
	V3	1,61	38,61
	V4	1,52	41,98
0,35-0,4	V1	1,49	43,23
	V2	1,56	40,53
	V3	1,62	38,17
	V4	1,52	41,98

Mezní hodnoty, dle Lhotského (2000), jsou uvedeny v tabulce 27.

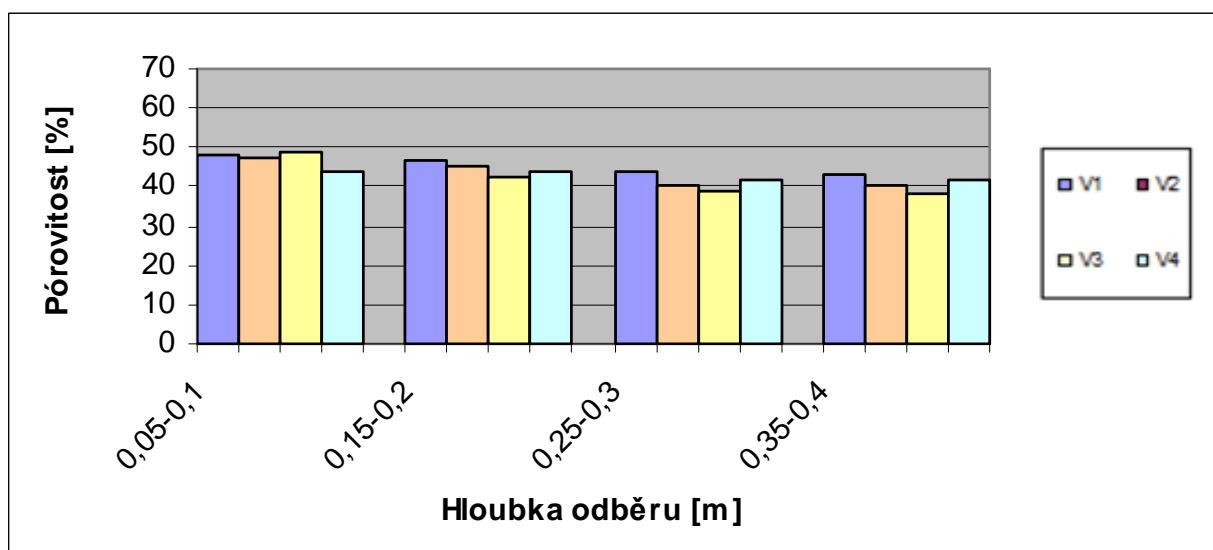
Tab. 27: Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností zhutnělé půdy (Lhotský, 2000)

Fyzikální vlastnost	Půdní druh (obsah částic pod 0,01 mm v %)					
	J > 75	JV - JH 75 - 46	H 45 - 39	PH 30 - 21	HP 20 - 11	P < 10
Objemová hmotnost po vysoušení (g.cm ⁻³)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objem)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Penetrační odpor půdy (MPa)	2,8 - 3,2	3,3 - 3,7	3,8 - 4,2	4,5 - 5,0	5,5	>6,0
Při vlhkosti % hmot.	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10



Obr.14: Objemová hmotnost redukovaná 8.4.2010

Ze sloupcového grafu objemové hmotnosti redukované na obrázku 14 je patrné, že objemová hmotnost se po přejetí stroje zvýšila téměř ve všech hloubkách. Největší rozdíl je ve vrchní vrstvě půdy. Zde došlo k největšímu zhutnění, a tím k velkému nárůstu objemové hmotnosti. I zde se projevují nepřímé vlivy zhutnění v podorniční vrstvě půdy.



Obr. 15: Pórovitost 8.4.2010

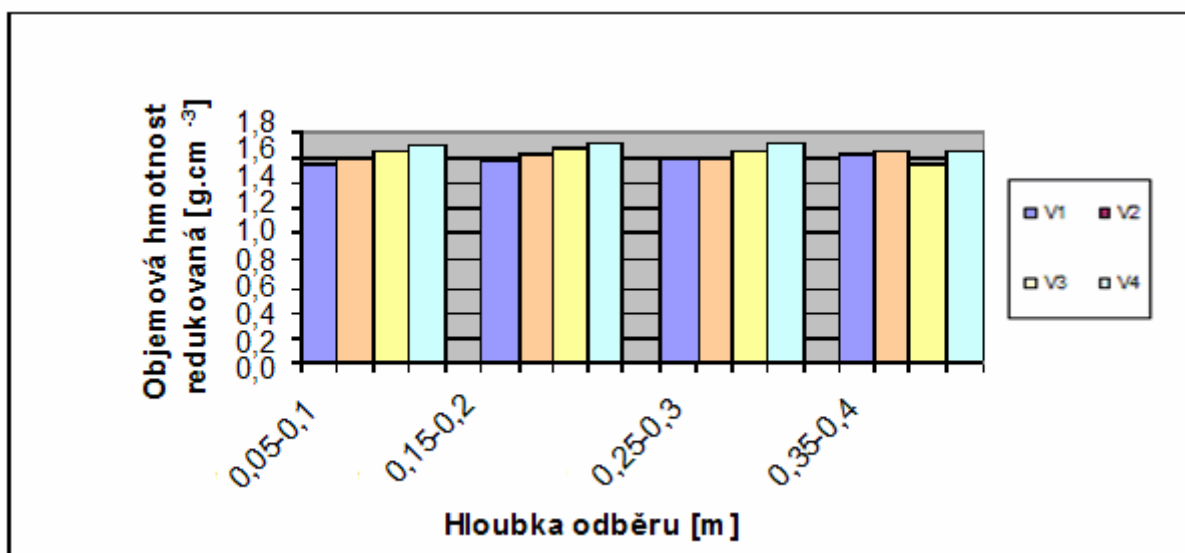
Graf pórovitosti zobrazuje změny pórovitosti v jednotlivých hloubkách po 4 variantách přejezdu. V grafu vidíme, že největší změny pórovitosti se opět vyskytují v horních vrstvách půdy a ve větších hloubkách byly tyto změny menší. To, že je pórovitost ve větších hloubkách větší, může být způsobeno nehomogenitou nižších vrstev půdy.

4.2.2 Měření 5.10.2010

Měření probíhalo při vlhkosti půdy 19 % hm.

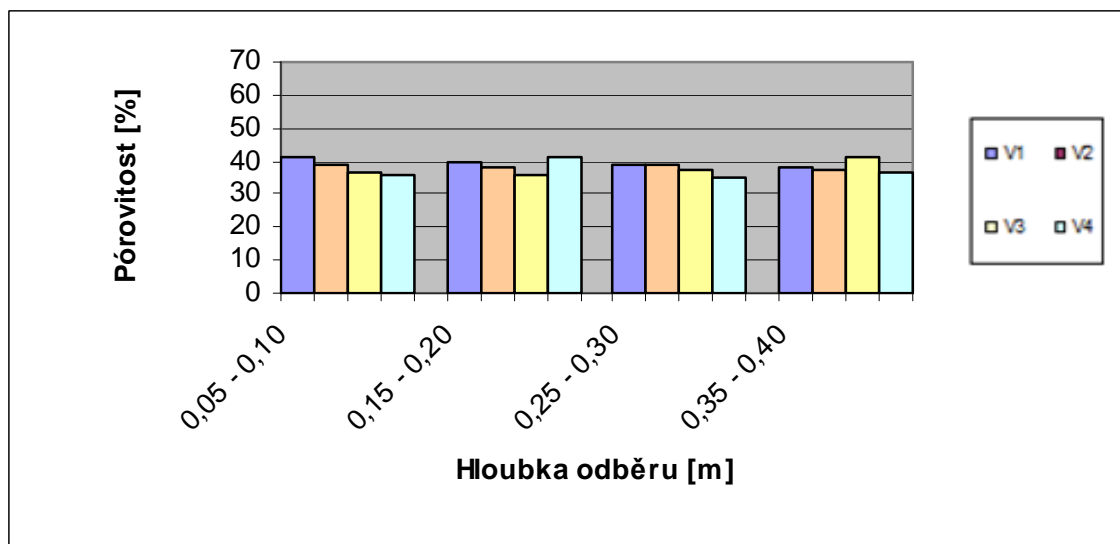
Tab. 28: Průměrné hodnoty objemové hmotnosti
redukovaná pórovitost

Hloubka odběru [m]	Varianta	Objemová hm. [g.cm ⁻³]	Pórovitost [%]
0,05 - 0,10	V1	1,54	41,06
	V2	1,60	38,78
	V3	1,65	36,90
	V4	1,69	35,66
0,15 - 0,20	V1	1,57	40,05
	V2	1,61	38,40
	V3	1,68	35,83
	V4	1,71	40,89
0,25 - 0,30	V1	1,60	39,06
	V2	1,60	39,12
	V3	1,65	37,10
	V4	1,71	34,64
0,35 - 0,40	V1	1,62	38,23
	V2	1,64	37,40
	V3	1,54	41,25
	V4	1,66	36,53



Obr.16 : Objemová hmotnost redukovaná 5.10.2010

Z grafu na obrázku 16 vidíme, že objemová hmotnost redukovaná v hloubce 5 – 10 cm stoupala s hmotností cisterny. Taktéž se objemová hmotnost redukovaná zvyšovala v hloubce 15 – 20 cm a v hloubce 25 – 30 cm. V hloubce 35 – 40 cm objemová hmotnost redukovaná kolísala. Zde to může být způsobeno nehomogenitou nižších vrstev půdy.

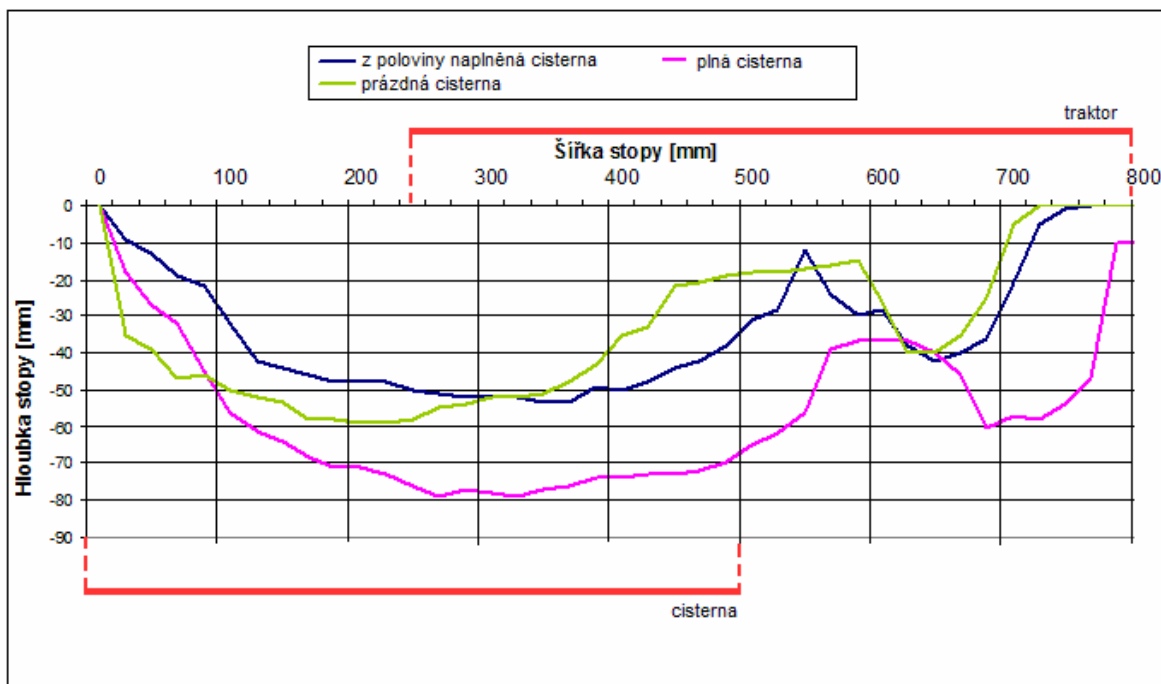


Obr. 17: Pórovitost 5.10.2010

Největší změny pórovitosti se opět vyskytují v horních vrstvách půdy a ve větších hloubkách byly tyto změny menší. To, že je pórovitost ve větších hloubkách větší, může být opět způsobeno nehomogenitou nižších vrstev půdy.

4.3 Výsledky měření profilu stopy pneumatiky

Měření profilu stopy pneumatiky po přejezdu probíhalo na pozemku v Dolním Újezdě dne 8.4.2010. Vlhkost půdy při měření byla 21 % hm. Profil stopy byl měřen z otisku levé pneumatiky po přejetí celé soupravy.



Obr. 18: Profil stopy přejezdu traktoru a cisterny 8.4.2010

Z obrázku 18 vyplývá, že při přejezdu pozemku s plnou cisternou je zhutnění půdy větší než při přejezdu z poloviny naplněnou cisternou. Přejezd soupravy způsobil na povrchu pozemku výrazné koleje. Z důvodu vysokého zhutnění je důležitá optimalizace přejezdů soupravy na souvratích – minimalizování přejeté plochy pozemku, využití polních cest a vytvoření dočasných cest.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv přejezdů po pozemku při vývozu digestátu z bioplynové stanice na nežádoucí zhutnění půdy. Pro posouzení tohoto vlivu byly hodnoceny půdní vlastnosti na pozemku ZD Dolní Újezd a.s. střediska Vidlatá Seč v různých datech.

Na pozemku v Dolním Újezdu byly měřeny vlastnosti půdy po přejezdu stroje s kolovým podvozkem. Aby se minimalizovaly náhodné chyby, bylo měření penetračního odporu penetrometrem provedeno v každé variantě přejezdu pětadvacetkrát. Následně byly naměřené hodnoty zpracovány a vyhodnoceny v programu Microsoft Excel 2003 a v programu Statistica 9.1. Pro další posouzení vlivu přejezdů po pozemku byly odebírány neporušené půdní vzorky do Kopeckého válečků ve čtyřech hloubkách ve třech opakováních. Vzorky byly analyzovány v laboratoři České zemědělské univerzity v Praze. Dále byl měřen profil stopy stroje, který byl měřen z otisku levé pneumatiky po přjetí celé soupravy.

Z vykázaných hodnot penetračního odporu je zřejmé, že s vyšším zatížením hmotnosti soupravy přejezdů se penetrační odpor zvyšoval. Z hlediska rozboru fyzikálních vlastností půdy na tomto pozemku vyplývá, že varianta přejezdu s plnou cisternou je statisticky rozdílná od ostatních variant a z hlediska zhutnění půdy dosahuje půda mezních hodnot objemové hmotnosti redukované (viz tabulka 2). Toto nepřímo potvrzuje i měření profilu stopy stroje. Přejezd soupravy způsobil na povrchu pozemku výrazné koleje a tím dochází k vysokému zhutnění půdy.

Z důvodu vysokého zhutnění po přejezdu soupravy po aplikaci digestátu je důležitá optimalizace přejezdů soupravy na souvratích – minimalizování přejeté plochy pozemku, využití polních cest, vytvoření dočasných cest. Vysoké zhutnění půdy negativně ovlivňuje ekonomickou stránku – nárůst nákladů na následné zpracování půdy, případné hloubkové kypření (jež musí mít cílený efekt), především na snížení výnosů plodin, zvláště u hodně náchylných plodin, nevyrovnanost růstových stadií porostu, nedodržení agrotechnických lhůt, ale i ekologickou stránku – zhoršení propustnosti vody půdou, nárůst rizika vodní eroze na svažitéjších pozemcích. Z těchto důvodů se jeví jako potřebná preventivní opatření, která omezují zhutnění na minimální plochu, snižování kontaktního tlaku pneumatik na půdu, dodržování předepsaného tlaku v pneumatikách, automatická regulace tlaku v pneumatikách, oddělení polní dopravy a dopravy po komunikacích a využívání optimálně řešených strojů.

Jízdou po pozemku byla přejetá více jak 1/10 půdy (13 %). Zejména na jaře, kdy má půda vyšší vlhkost, je nežádoucí efekt zhutnění vysoký a výnos ve stopách kolejových řádků nízký. Při prokypření půdy vzniká v kolejových řádcích velká hrudovitost a následkem toho jsou opět nižší výnosy plodiny.

6 Seznam literatury

1. Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie. [online]. Publikováno 2008 [cit. 7.4.2011]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?kat=1&id=1935>
2. Fulajtár, E. *Fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy, 2006. 142 s. ISBN 80-89128-20-3
3. GEODIS BRNO, s.r.o, SHOCart, spol. s r.o., PLANstudio. *Mapy.cz* [online]. Publikováno 2005 – 2010 [cit. 5.2.2011]. Dostupné z: http://mapy.cz/#mm=TtTcPFh@sa=s@st=s@ssq=doln%C3%AD%20%C3%BAjezd@sss=1@ssp=120446060_126463692_150133868_150007500@x=137202176@y=135033088@z=13
4. Grečenko, A. *Vlastnosti terénních vozidel*. Praha: Vysoká škola zemědělská v Praze, 1994. 118 s. ISBN 80-213-0190-2
5. Håkansson, I. et al. *Voorhees, W. B., Riley. H.: Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. Soil and Tillage Res., 1988, Vol. 11, s. 239-282. ISSN 0167-1987*
6. Håkansson, I. et al. *Machinery-induced compaction of arable soils: incidence – consequences – counter - measures*. Uppsala: SLU, Sweden, 2005. 153 p. ISSN 0348-0976
7. Hůla, J. Některé možnosti penetrometrie při hodnocení půdních vlastností. *Mechanizace zemědělství*, 1996, ročník 46, č. 2, s. 7
8. Hůla, J. et al. *Zpracování půdy*. Praha: Zemědělské nakladatelství Brázda, 1997. 144 s. ISBN 80-209-0265-1
9. Jandák, J. et al. *Půdoznalství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. 142 s. ISBN 978-80-7375-061-9
10. Javůrek, M., Vach, M. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008. 24 s. ISBN 978-80-87011-57-7

11. Jurča, V. *Výživa rostlin a půdoznalství*. Praha: Skripta VŠZ, 1984.
12. Kluiibr, J. *Pedologie*. Vodňany: Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2001. 97 s. ISBN 978-80-87096-01-7
13. Kozák, J. et al. *Pedologie*. Praha: ČZU, katedra pedologie a geologie AF, 2002. 140 s. ISBN 80-213-0907-5
14. Krištůfek, V., Šimek, M., Šantrůčková, H. *Odběr, skladování a zpracování půdních vzorků pro biologické a chemické analýzy*. České Budějovice: Ústav půdní biologie AV ČR, 1998. 114 s. ISBN 80-902020-3-9
15. Ledvina, R., Koubalíková, J., Horáček, J. *Geologie a půdoznalství*. České Budějovice: Scientific – Pedagogical Publishing České Budějovice, 1992. 82 s. ISBN 80-900364-6-5
16. Lhotský, J. *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000. 61 s. ISBN 82-7271-067-2
17. Pokorný, E., Šarapatka, B. *Půdoznalství pro ekozemědělce*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003. 40 s. ISBN 80-7084-295-4
18. Pernis, P. Kola versus pásy. *Mechanizace zemědělství*, 2010, ročník 60, č. 1, s. 44 – 50
19. Sudduth, K. A., Hummel, J. W., Drummond, S. T. *ASAE – Standard penetrometer*. [online] 49th Edition. Publikováno 2004 [cit. 7.4.2011]. Dostupné z: <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/36221500/cswq-0004-143496.pdf>
20. Svatošová, L. et al. *Zdroje a zpracování sociálních a ekonomických dat, učební texty*. Praha: ČZU v Praze, 2005. 196 s. ISBN 80-213-1189-4
21. Šařec, O. Úřad průmyslového vlastnictví [online]. *Zařízení pro měření utužení půdy – penetrometr*. Publikováno 2007 [cit. 27.3.2011]. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0017/uv017266.pdf>
22. Škoda, V., Kvěch, O. *Současné a perspektivní způsoby zpracování půdy*. Praha: VŠZ, 1995. 111 s.

23. Valla, M. et al. *Pedologické praktikum*. Praha: ČZU, katedra pedologie a geologie AF, 2002. 151 s. + 4 přílohy. ISBN 80-213-0914-8

7 Seznam obrázků

- Obr. 1 Struktura orných půd: 1 – zrnitá, 2 – drobtovitá, 3 – hrudkovitá, 4 – hrudovitá (Kluibr, 2001)
- Obr. 2 Typy kuželové hlavice dle ASAE Standards
- Obr. 3 Snímek pozemku v Dolním Újezdu (mapy.cz)
- Obr. 4 Traktor New Holland T 7040 se strojem Zunhammer 17000
- Obr. 5 Aplikace digestátu na pozemek
- Obr. 6 Grafické znázornění penetračního odporu
- Obr. 7 Krabicový graf (hloubka 0,04 – 0,12 m)
- Obr. 8 Krabicový graf (hloubka 0,16 – 0,24 m)
- Obr. 9 Krabicový graf (hloubka 0,28- 0,36 m)
- Obr. 10 Grafické znázornění penetračního odporu
- Obr. 11 Krabicový graf (hloubka 0,04 – 0,12 m)
- Obr. 12 Krabicový graf (hloubka 0,16 – 0,24 m)
- Obr. 13 Krabicový graf (hloubka 0,28- 0,36 m)
- Obr. 14 Objemová hmotnost redukována 8.4.2010
- Obr. 15 Pórovitost 8.4.2010
- Obr. 16 Objemová hmotnost redukována 5.10.2010
- Obr. 17 Pórovitost 5.10.2010
- Obr. 18 Profil stopy přejezdu traktoru a cisterny 8.4.2010

8 Seznam tabulek

- Tab. 1 Hodnocení nakypřenosti půdy podle velikosti O_r (Jurča, 1984; cit. Ledvina et. al., 1992)
- Tab. 2 Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností zhutnělé půdy (Lhotský, 2000)
- Tab. 3 Přehled pracovních operací a použitých souprav na pozemku v Dolním Újezdu
- Tab. 4 Varianty přejezdů
- Tab. 5 Průměrné hodnoty penetračního odporu
- Tab. 6 Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 7 Schematické znázornění homogenních skupin podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 8 Test homogenity rozptylů
- Tab. 9 Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 10 Schematické znázornění homogenních skupin podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 11 Test homogenity rozptylů
- Tab. 12 Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 13 Schematické znázornění homogenních skupin podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 14 Test homogenity rozptylů
- Tab. 15 Průměrné hodnoty penetračního odporu
- Tab. 16 Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 17 Schematické znázornění homogenních skupin podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 18 Test homogenity rozptylů
- Tab. 19 Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 20 Schematické znázornění homogenních skupin podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 21 Test homogenity rozptylů
- Tab. 22 Podrobnější vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 23 Schematické znázornění homogenních skupin podrobnějšího vyhodnocení analýzy rozptylu
- Tab. 24 Test homogenity rozptylů

- Tab. 25 Varianty přejezdů
- Tab. 26 Průměrné hodnoty objemové hmotnosti redukované a pórovitosti
- Tab. 27 Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností zhutnělé půdy (Lhotský, 2000)
- Tab. 28 Průměrné hodnoty objemové hmotnosti redukované a pórovitosti