

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Disertační práce

Vliv technologie řízeného pohybu strojů po pozemcích  
na fyzikální vlastnosti půdy a výnosy plodin

Doktorský studijní program:

Zemědělské inženýrství

Obor:

Technika zemědělských technologických systémů

Vypracoval:

Ing. Jan Chyba

Školitel:

prof. Dr. Ing. František Kumhála

**Praha 2013**

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

## PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl vyjádřit svou vděčnost a poděkovat mému školiteli prof. Františku Kumhálovi nejen za to, že mě vedl a podporoval během práce s velkou trpělivostí a znalostmi, ale také za to, že zajistil spolupráci mezi Českou Zemědělskou Univerzitou v Praze a Harper Adams University (dříve: Harper Adams University College) a tím mi umožnil studovat na zahraniční univerzitě. Také bych chtěl poděkovat doc. Milanu Kroulíkovi za jeho rady a pomoc během jednotlivých měření a sepisování této práce. Děkuji kolegovi Ing. Patriku Vítkovi za pomoc při vyhodnocování vzorků výnosů, pomáhal mi i přes to, že trpí alergií na trávy a seno. Dále bych chtěl vyjádřit svou vděčnost zaměstnancům Harper Adams Univerzity (HAU), jmenovitě: Dr. Paule A. Misiewicz za její vedení a pomoc při mé studijní stáži na HAU; prof. Richardu J. Godwinovi, Dr. Keithu Chaneymu, Davidu Whiteovi a Jamesi Wardovi za jejich rady a pomoc během experimentů a jejich příprav na HAU.

Mé zvláštní poděkování patří kolegům a přátelům prof. Františku Kumhálovi, doc. Milanu Kroulíkovi a Kolomanu Křištofovi Ph.D., kteří mi pomáhali během měření, za jejich připomínky k mé práci a jejich smysl pro humor, který mě nejednou pomohl ve vypjatých situacích.

V neposlední řadě bych chtěl věnovat velké poděkování své rodině a přátelům za jejich podporu, vstřícnost, trpělivost, pomoc při korekturách této práce, za jejich povzbuzování a za to, že mě drželi při smyslech i v těžkých časech.

**ABSTRAKT:** Zemědělské stroje jsou nedílnou součástí moderního zemědělství, přesto přináší negativní dopad na zemědělskou půdu, který se projevuje zejména zhutněním půdy. Zhutnění půdy následně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy, například, zvyšuje objemovou hmotnost, to způsobuje snížení infiltračních vlastností půdy. Kombinace těchto nežádoucích účinků vede k degradaci půdy (např. eroze) a může mít vliv na celkové výnosy plodin.

Cílem této práce je zhodnotit vliv přejezdů na fyzikální vlastnosti půdy a na výnosy plodin. Tato hodnocení byla provedena za kontrolovaných podmínek v Půdní Hale, kde byly simulovány přejezdy zemědělských strojů (0-3 přejezdy). Dále byl hodnocen orební pozemek Large Marsh, kde byly sledovány tři stupně zhutnění půdy (nezhutněná půda, mírně zhutněná půda – zaseté stopy, silně zhutněná půda – stopy postřikovače. Na pozemku Bird's Nest (pastva) byly sledovány tři stupně zhutnění půdy (nezhutněná půda, půda zhutněná traktorem s návěsem, zhutnění hospodářskými zvířaty). Na posledním pozemku Červený Újezd byly zavedeny varianty CTF, náhodné přejezdy a orba (vše s variantou hlubokého kypření), přičemž pro všechny varianty byla měření provedena ve stopě a mimo stopu.

Pro hodnocení infiltračních vlastností půdy byla použita metoda Simplified Falling-Head na všech experimentálních plochách. Tato metoda prokázala významný vliv půdního zhutnění na infiltrační vlastnosti půdy. Metoda indikace toku vody pomocí brilantní modři byla použita pro zjištění preferenčního proudění vody v půdě na pozemcích Large Marsh a Červený Újezd. Tato metoda prokázala vliv přejezdů zemědělských strojů na preferenční tok vody.

Hodnocení fyzikálních vlastností půdy byla provedena odběrem neporušených (Červený Újezd) i porušených (Půdní Hala, Large Marsh, Bird's Nest) půdních vzorků a penetračním měřením. Vliv zhutnění půdy na objemové hmotnosti půdy byl ovlivněn přejezdy strojů, nebyl ovšem ve všech případech zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami. V případě penetračních měření byl statisticky prokázán vliv přejezdů zemědělských strojů na hodnoty penetračních odporů.

Výnosy plodin byly sledovány na pozemku Červený Újezd. V prvním roce byly zjištěny statisticky významné rozdíly výnosů pšenice ozimé (*Ludwig*) mezi jednotlivými variantami zhutnění půdy, rozdíly byly také potvrzeny mezi jednotlivými typy zpracování půdy. Ve druhém roce nebyl nalezen statisticky významný rozdíl u výnosů sladovnického ječmene jarního (*Prestige*) mezi jednotlivými variantami.



**KLÍČOVÁ SLOVA:** CTF - řízený pohyb zemědělských strojů, indikace toku vody pomocí brilantní modři, infiltrační vlastnosti půdy, nasycená hydraulická vodivost, objemová hmotnost půdy, penetrační odpor, pórovitost půdy, pšenice ozimá (*Ludwig*), sladovnický ječmen jarní (*Prestige*), výnosy plodin, zhutnění půdy, zpracování půdy

## **INFLUENCE OF CONTROLLED TRAFFIC TECHNOLOGY OF AGRICULTURAL MACHINERY ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND CROP YIELDS**

**ABSTRACT:** Agricultural machinery is an integral part of modern agriculture; however, it brings adverse effect on soil compaction. The soil compaction affects soil physical properties; for example increases soil bulk density which leads to a reduction of soil water infiltration rate. Combination of these adverse effects leads to soil degradation (i.e. soil erosion) and may affect overall crop yields.

The aim of this thesis is to evaluate the effect of agriculture traffic intensity on physical properties of soil and yield crops. These evaluations were conducted under controlled conditions in the Soil Hall, where was simulated the traffic intensity of agricultural machinery (0-3 passes of machines). Further, was evaluated the arable field Large Marsh, where were monitored three levels of soil compaction (non-compacted soil, mildly compacted soil – drill tracks, severely compacted soil – sprayer tracks). On the plot Bird's Nest (grassland) were monitored three levels of soil compaction (non-compacted soil, soil compacted by tractor with trailer, soil compacted by cattle hooves). On the last plot Červený Újezd were introduced variants: CTF, random traffic and ploughing (all with the option of deep loosening), and for all types of variants the measurements were performed in- and outside of the traffic lines.

For the evaluation of soil infiltration rate was used Simplified Falling-Head method for all experimental plots. This method showed statistically significant influence of soil compaction on the infiltration properties of soil. Water preferential flow by brilliant blue dye tracer was used for detection of water preferential flow in the soil on the fields Large Marsh and Červený Újezd. This method showed influence of agriculture machinery traffic on the water preferential flow.

Evaluation of physical properties of soil was conducted by sampling of undisturbed (Červený Újezd) and disturbed (Soil Hall, Large Marsh, Bird's Nest) soil samples and cone index measurements. Impact of soil compaction on soil bulk density was influenced by agriculture machinery traffic; however, there was no statistically significant difference found between measured variants. In the case of cone index measurements was proved the statistically significant difference between different soil compaction levels.

Yield crops were monitored at Červený Újezd field. In the first year of experiment were found statistically significant differences of winter wheat (*Ludwig*) yield between individual variants of soil compaction, differences occurred also between different types of soil treatments. In the second year of experiment was not found statistically significant difference between individual variants in yield of spring barley (*Prestige*).

**KEYWORDS:** brilliant blue dye tracer, cone index, crop yield, CTF - controlled traffic farming, saturated hydraulic conductivity, soil bulk density, soil compaction, soil porosity, soil treatment, spring barley (*Prestige*), water infiltration rate, winter wheat (*Ludwig*)

# Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 FYZIKÁLNÍ A INFILTRAČNÍ VLASTNOSTI PŮDY</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST .....	3
2.2 PÓROVITOST PŮDY .....	5
2.3 PENETRAČNÍ ODPOR .....	5
2.4 VLV ZHUTNĚNÍ PŮDY NA INFILTRAČNÍ VLASTNOSTI PŮDY .....	6
2.5 VLV ZPRACOVÁNÍ PŮDY NA INFILTRAČNÍ VLASTNOSTI PŮDY .....	8
2.6 VLV PŮDNÍ STRUKTURY NA INFILTRAČNÍ VLASTNOSTI PŮDY .....	9
2.7 NASYČENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST.....	10
2.8 INDIKACE TOKU VODY POMOCÍ BRILANTNÍ MODŘI .....	14
<b>3 ORGANIZACE PŘEJEZDŮ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ</b> .....	<b>18</b>
<b>4 VÝNOSY PLODIN</b> .....	<b>21</b>
<b>5 PŘEDPOKLADY NA ZÁKLADĚ DOSTUPNÉ LITERATURY</b> .....	<b>26</b>
5.1 CÍLE PRÁCE.....	28
<b>6 MATERIÁLY A METODY</b> .....	<b>29</b>
6.1 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ ZA KONTROLOVANÝCH PODMÍNEK.....	29
6.1.1 <i>Schéma metodického postupu za kontrolovaných podmínek</i> .....	29
6.2 EXPERIMENTÁLNÍ POZEMEK LARGE MARSH .....	30
6.2.1 <i>Schéma metodického postupu na pozemku Large Marsh</i> .....	31
6.3 EXPERIMENTÁLNÍ POZEMEK BIRD'S NEST .....	31
6.3.1 <i>Schéma metodického postupu na pozemku Bird's Nest</i> .....	32
6.4 EXPERIMENTÁLNÍ POZEMEK ČERVENÝ ÚJEZD.....	32
6.4.1 <i>Schéma metodického postupu na pozemku Červený Újezd</i> .....	35
6.5 METODY MĚŘENÍ POUŽITÉ PŘI VYHODNOCOVÁNÍ EXPERIMENTU.....	37
6.5.1 <i>Penetrační měření</i> .....	37
6.5.2 <i>Odběr půdních vzorků</i> .....	38
6.5.3 <i>Metoda nasycené hydraulické vodivosti</i> .....	39
6.5.4 <i>Indikace toku vody pomocí brilantní modři</i> .....	41
6.5.5 <i>Zjišťování výnosů plodin</i> .....	42
6.6 SLEDOVÁNÍ HODNOT TEPLOT A SRÁŽEK .....	42
6.7 PROGRAMY A STATISTICKÉ ANALÝZY POUŽITÉ PRO VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....	43

<b>7 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY.....</b>	<b>45</b>
7.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ ZA KONTROLOVANÝCH PODMÍNEK.....	45
7.1.1 Penetrační měření.....	45
7.1.2 Odběr půdních vzorků.....	46
7.1.3 Nasycená hydraulická vodivost.....	47
7.1.4 Porovnání závislostí naměřených hodnot za kontrolovaných podmínek.....	48
7.1.5 Závěry pro měření za kontrolovaných podmínek.....	49
7.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ Z POZEMKU LARGE MARSH.....	50
7.2.1 Penetrační měření.....	50
7.2.2 Odběr půdních vzorků.....	51
7.2.3 Nasycená hydraulická vodivost.....	52
7.2.4 Indikace toku vody pomocí brilantní modři.....	53
7.2.5 Porovnání závislostí naměřených hodnot z pozemku Large Marsh.....	55
7.2.6 Závěry pro měření provedených na pozemku Large Marsh.....	58
7.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ Z POZEMKU BIRD'S NEST.....	59
7.3.1 Penetrační měření.....	59
7.3.2 Nasycená hydraulická vodivost.....	60
7.3.3 Porovnání závislostí naměřených hodnot na pozemku Bird's Nest.....	61
7.3.4 Závěry pro měření provedených na pozemku Bird's Nest.....	61
7.4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ Z POZEMKU ČERVENÝ ÚJEZD.....	62
7.4.1 Rok nula, výchozí podmínky.....	62
7.4.1.1 Penetrační odpor.....	62
7.4.1.2 Odběr půdních vzorků.....	64
7.4.2 První rok experimentu.....	65
7.4.2.1 Penetrační měření.....	65
7.4.2.2 Odběr půdních vzorků.....	68
7.4.2.3 Odhadované výnosy plodin.....	70
7.4.2.4 Porovnání závislostí naměřených hodnot prvního roku na pozemku Červený Újezd.....	72
7.4.3 Druhý rok experimentu.....	74
7.4.3.1 Penetrační měření.....	74
7.4.3.2 Odběr půdních vzorků.....	78
7.4.3.3 Nasycená hydraulická vodivost.....	79
7.4.3.4 Indikace toku vody pomocí brilantní modři.....	81
7.4.3.5 Odhadované výnosy plodin.....	82
7.4.3.6 Porovnání závislostí naměřených hodnot druhého roku na pozemku Červený Újezd.....	85
7.4.4 Porovnání prvního a druhého roku experimentu na pozemku Červený Újezd.....	89
7.4.5 Závěry pro měření provedených na pozemku Červený Újezd.....	91

<b>8 DISKUZE .....</b>	<b>94</b>
8.1 PENETRAČNÍ MĚŘENÍ.....	94
8.2 ODBĚR PŮDNÍCH VZORKŮ.....	95
8.3 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST.....	96
8.4 INDIKACE TOKU VODY POMOCÍ BRILANTNÍ MODŘI .....	98
8.5 ODHADOVANÉ VÝNOSY PLODIN .....	99
8.6 ZJIŠTĚNÉ ZÁVISLOSTI MEZI VELIČINAMI .....	101
<b>9 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM .....</b>	<b>102</b>
<b>10 ZÁVĚRY A SHRNU TÍ .....</b>	<b>104</b>
<b>CITOVANÁ LITERATURA .....</b>	<b>107</b>
<b>SEZNAM VELIČIN A ZKRATEK.....</b>	<b>118</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>120</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>122</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>126</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>128</b>

## 1 Úvod

Půda je důležitým faktorem v životě člověka, ať pro chůzi, stavbu budov, nebo pro pěstování zemědělských plodin. Růst rostlin je spojen se samotným setím a technologií zpracování půdy. Jeden z problémů, který je spojený s novými a většími pracovními nástroji pro obdělávání půdy, je jejich vyšší hmotnost a s tím spojený požadavek na energetické prostředky, jako například traktory, které musí poskytovat dostatek výkonu pro tažení velkých zemědělských strojů. S hmotností zemědělské techniky roste zhutnění půdy, které je způsobeno převážně právě působením kol či pásů zemědělské techniky na povrch půdy tlakem a smykovým napětím kol. Smykové napětí je způsobeno prokluzem kol zemědělské techniky (Johnson et al., 2002).

Kromě vlivu pojezdových mechanismů zemědělské techniky může docházet k půdnímu zhutnění vlivem některých operací zpracování půdy, jako například při orbě radličným pluhem (především během následného zpracování půdy radličným pluhem do stejné hloubky), kde ke zhutnění půdy dochází v nejnižší vrstvě brázdy. Půdní zhutnění vede ke ztrátám výnosu plodin, protože zhutnění zabraňuje kořenovému systému plodin pronikat skrze zhutněnou půdu a získat vodu/živiny z hlubších vrstev půdy. Zhutnění půd má také negativní vliv na životní prostředí (Ball et al., 1999 a Hůla et al., 2009). Tímto negativním vlivem je snížena schopnost půdy absorbovat vodu a v případě intenzivních srážek dochází k povrchovému odtoku vody. Pro lehčí půdy vzniká vyšší riziko půdní eroze v důsledku povrchového odtoku vody (Liebig et al., 1993 a Ball et al., 1999). Dalším důsledkem zhutnění půdy je zvýšení energetické náročnosti na zpracování této půdy (Chamen et al., 1992; Ishaq et al., 2001; Defossez et al., 2002; Gelder et al., 2006 a Hůla et al., 2009). Zhutnění půdy ovlivňuje především fyzikální vlastnosti půdy, ať už v krátkodobém nebo dlouhodobém horizontu. Například při vyšší půdní vlhkosti můžou přejezdy zemědělské techniky vést k nadměrnému půdnímu zhutnění. Negativní vliv půdního zhutnění se projevuje zvýšením objemové hustoty půdy, penetračního odporu, a dalších veličin, to vše vede ke snížení pórovitosti, hydraulických vlastností půdy, stability a dalších veličin (Alakukku, 1996a; Alakukku, 1996b a Hůla et al., 2009). Všechny tyto parametry jsou spojeny a společně ovlivňují výnosy plodin (Hůla et al., 2009).

Další faktor, který ovlivňuje jmenované veličiny, je půdní struktura a její provzdušňování. V případě, že je půda prokypřena, má větší vodní kapacitu než v případě neprokypřené půdy (Kroulík et al., 2007; Qingjie et al., 2009 a Ekwue et al., 2010). Každá půdní struktura má své vlastní typické hodnoty objemové hmotnosti, pórovitosti, hydraulických vlastností a dalších veličin. Například písčito-hlinité půdy mají vyšší kumulativní infiltraci než jílovito-hlinité půdy, nejnižší hodnoty jsou naopak sledovány u jílovitých půd (Ekwue et al., 2010).

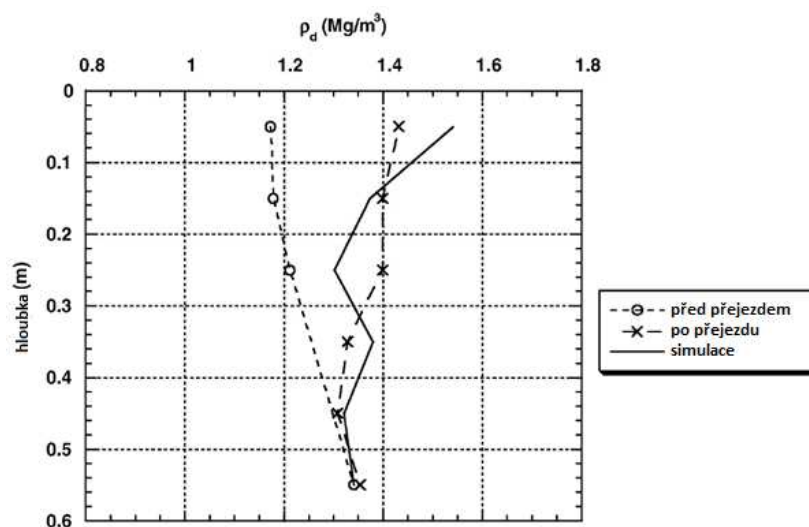
Srovnáním výsledků, které uvedla Alakukku (1996a a 1996b), je zřejmé, že hodnoty nasycené hydraulické vodivosti ( $K_{fs}$ ), penetračních měření a pórovitosti půdy jsou vzájemně propojeny, a že nejvíce postižená vrstva zhutněné a obdělávané půdy je v hloubce 0-0,3 m. Zhutnění orniční vrstvy má také významný vliv na množství vody, které se dostává do půdního profilu a je k dispozici pro rostliny během jejich vegetačního období. To znamená, že měření nasycené hydraulické vodivosti na povrchu půdy by mělo poskytnout dostatek informací o úrovni zhutnění půdy a může poskytnout i údaje o optimálních podmínkách půdy, rostlin a vody. Hodnoty penetračních měření, objemové hmotnosti a pórovitosti půdy se mohou předvídat na základě výsledků z nasycené hydraulické vodivosti v povrchové vrstvě ornice (Bagarello et al., 2004 a Bagarello et al., 2006). Měření Alakukku (1996b) také ukázalo rozdíly ve výsledcích nasycené hydraulické vodivosti pro nezhutněné, středně zhutněné a silně zhutněné půdy.



## 2 Fyzikální a infiltrační vlastnosti půdy

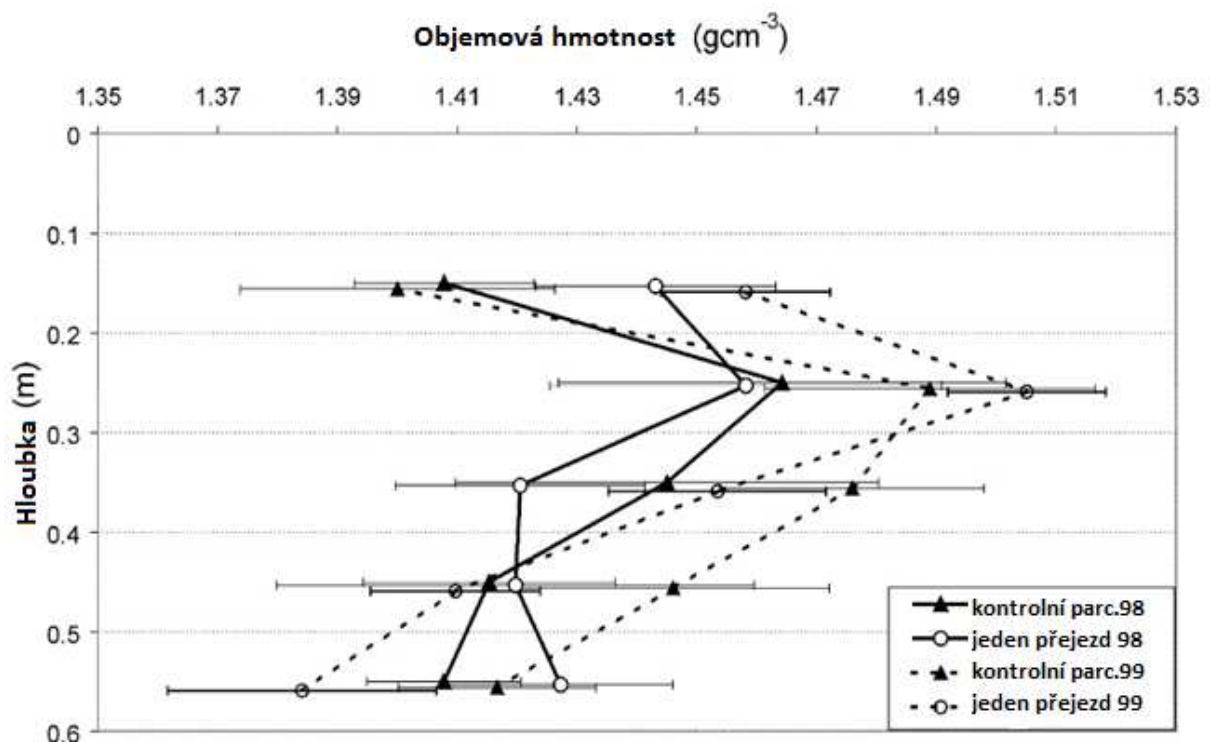
### 2.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost půdy je hmotnost mnoha částic půdy ku objemu, který zaujímají. Je to parametr, který je často používán pro popis úrovně půdního zhutnění (Johnson et al., 2002). Zavedení jednotných kolejevých řádků a minimalizační technologie zpracování půdy vedly k zvýšení zájmu o problematiku zhutňování půd. Vztah mezi půdním zhutněním a fyzikálními vlastnostmi půd v různých hloubkách byl sledován Defossezem et al. (2002). Ten vytvořil model vztahu mezi objemovou hmotností a hloubkou půdy. Model půdního zhutnění byl vytvořen a následně porovnán s měřeními v reálných podmínkách. Hlavním výsledkem bylo, že přejetá (zhutněná) půda má vyšší objemovou hmotnost než nepřejetá (nezhutněná) půda o  $0,2 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$  do hloubky 0,2 m, ukazuje také, že vliv zhutnění půdy se snižuje až do hloubky 0,45 m, kde dosahuje obdobných hodnot jako půda nezhutněná. Dickson et al. (1996) získal podobné výsledky při sledování tří typů tlaků na půdu zemědělskými stroji. Dickson zjistil, že nepřejetá (nezhutněná) půda má nižší hodnoty objemové hmotnosti než zhutněná půda po přejetí zemědělským strojem při použití floatačních pneumatik nebo při použití konvenčních systémů, přesto nedošlo u všech výsledků ke statisticky významným rozdílům (při  $p < 0,05$ ). Další výsledky ukázaly, že nedochází ke statisticky významným rozdílům vlivem měrného tlaku na půdu na objemovou hmotnost půdy v hloubkách větších než 0,24 m.



Obrázek 1 – Vztah mezi objemovou hmotností půdy a hloubkou, porovnání simulace s experimentálním modelem (Defossez et al., 2002) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Zhutnění ornice a podorniční vrstvy má významný vliv na růst plodin. Studie vlivu přejezdů sklízecí cukrové řepy na fyzikální vlastnosti půdy, kterou provedl Gysi (2001) ve Švýcarsku prokázala, že přejezdy vozidel přesahující hmotnost 100 kN nemají vliv na podorniční vrstvy půdy v hloubce 0,25 m a hlubší (Gysi, 2001 a Gelder et al., 2006). Obrázek 2 zobrazuje vztah mezi objemovou hmotností půdy a hloubkou. V hloubce 0,15 m jsou hodnoty nižší než v případě následující hloubky 0,25 m. Ve větších hloubkách má objemová hmotnost klesající trend. Z tohoto obrázku jsou zřetelné rozdíly (při  $p < 0,05$ ) do hloubky 0,15 m půdní vrstvy pro oba roky experimentu (Gysi, 2001). Vliv půdního zhutnění na objemovou hmotnost byl také potvrzen Ekwuem et al. (2010) a Gómezem et al. (1999).

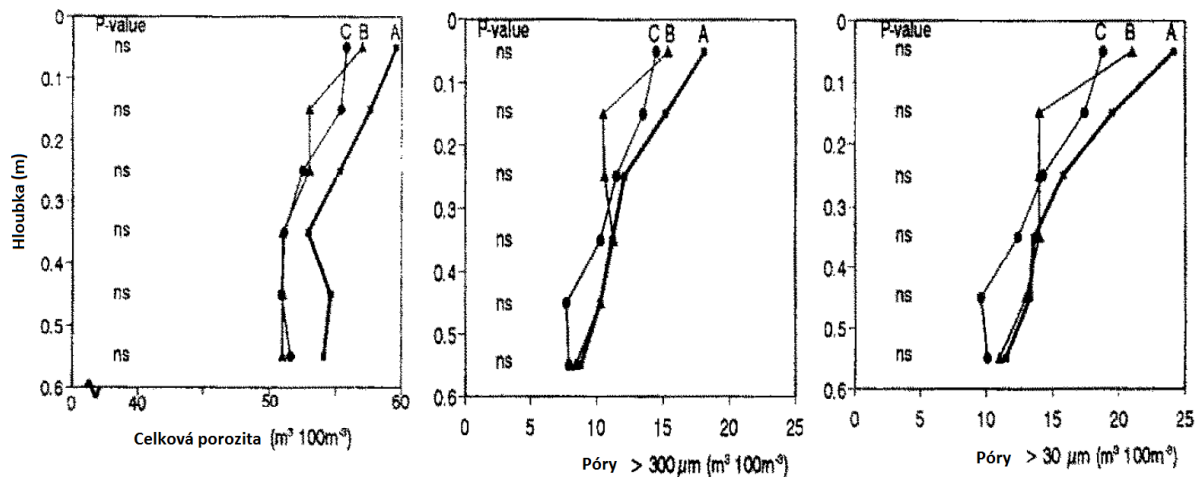


Obrázek 2 – Objemové hmotnosti půdy při jednom přejezdu a kontrolovaný pozemek ve dvouletém experimentu (Gysi, 2001) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Vliv zhutnění půdy na objemovou hmotnost byl také sledován na vinicích v jižní Francii. Výsledky ukázaly, že povrchová vrstva půdy byla ovlivněna do hloubky 0,18 m. Rozdíl v objemové hmotnosti půdy, mezi přejetými a nepřejetými částmi v hloubce 0 – 0,18 m, činil 14%, zatímco nižší hodnoty byly sledovány v případě nepřejetých částí (van Dijck et al., 2002).

## 2.2 Pórovitost půdy

Pórovitost půdy se vztahuje k části objemu půdy, který není zaplněn půdními částicemi nebo organickým materiálem, ale je vyplněn plyny nebo vodou (White, 2006). Pórovitost půdy je důležitý faktor, který může být vzat do souvislostí, protože ovlivňuje tok kapalin a ukládání vody dostupné pro plodiny (Sort et al., 1999). Sort et al. (1999) sledoval krátkodobý vliv velkého zatížení (19 t) na jílovitou půdu a velikost distribuce pórů. Obrázek 3 ukazuje vztah mezi půdní pórovitostí a hloubkou půdy, při různých typech zatížení (půdního zhutnění). Obrázek poukazuje na to, že při přejezdech zemědělských strojů dochází ke snížení pórovitosti půdy. Bylo také zjištěno, že jednou přejetá oblast měla sníženou pórovitost půdy v hloubce od 0 do 0,3 m, zatímco čtyři přejezdy zemědělskou technikou ovlivňují hlavně oblast v hloubce od 0,3 do 0,5 m (Alakukku, 1996a).

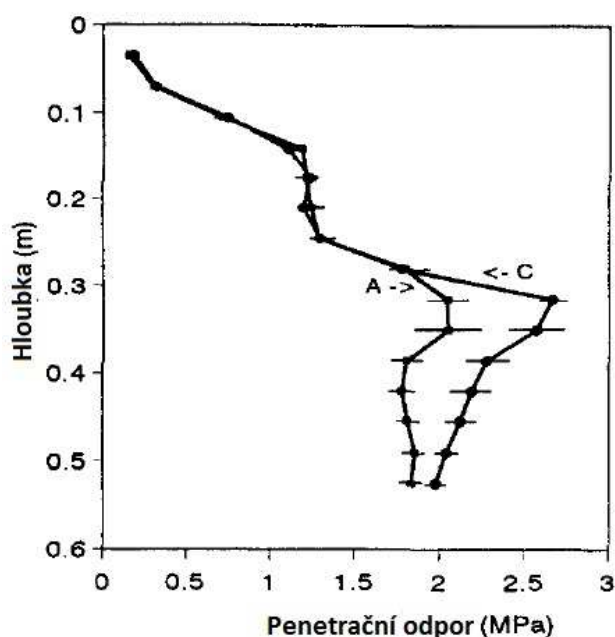


Obrázek 3 – Celková půdní pórovitost jílovité půdy (Alakukku, 1996a) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)  
A – bez přejezdů, B – Jeden přejezd (19 t), C – čtyři přejezdy (19 t)

## 2.3 Penetrační odpor

Pro vyhodnocení půdního zhutnění se obvykle využívá hodnot objemové hmotnosti a penetračních měření. Penetrační měření je také známé jako index kužele, to je hodnota odporu půdy proti kuželu známých rozměrů (úhel a plocha). Měření penetračního odporu má výhody oproti měření objemové hmotnosti v jednoduchém získání dat z celého půdního horizontu (tato hodnota je limitována hloubkou dosahu penetrometru), proces penetračních měření lze také automatizovat (Raper, 2005). Vztah mezi odporem půdy a hloubkou měření na nepřejeté a přejeté půdě je uveden na Obrázku 4. V případě experimentu vyobrazeném na Obrázku 4 byla provedena orba radličným pluhem do hloubky 0,25 m. Vzárovný trend

penetračního odporu s hloubkou poukazuje, že zde nedochází k významným statistickým rozdílům mezi přejetou a nepřejetou oblastí do hloubky, ve které byla provedena orba. K významným rozdílům dochází až v hloubkách, kde orba nebyla provedena (vyšší hodnoty pro přejetou oblast a nižší hodnoty pro nepřejetou oblast). Největší rozdíly byly pozorovány v hloubkách od 0,3 do 0,5 m, tyto rozdíly činily až 22% (Alakukku, 1996b a Arvidsson et al., 1996). Nicméně tato měření odporují tvrzení Dicksona et al. (1996), Stenitzera et al. (2003) a Radforda et al. (2007), kteří zjistili, že hodnoty odporu půdy v případě nepřejeté plochy, jsou výrazně nižší, než v případě nízkého provozu nebo konvenčního systému zpracování půdy do hloubky 0,24 m. Ve větších hloubkách nebyly sledovány významné rozdíly.

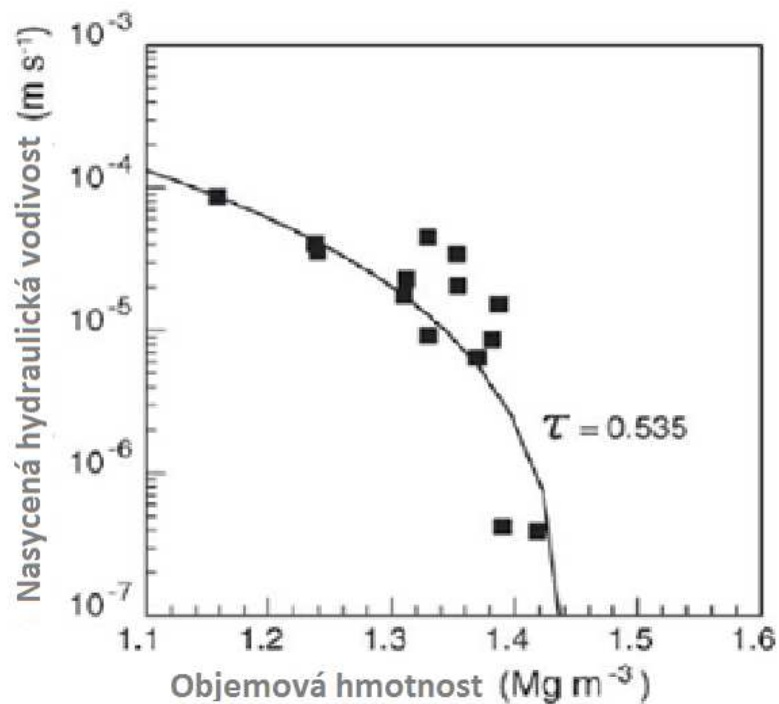


Obrázek 4 – Závislost odporu půdy na hloubce měření po orbě (Alakukku, 1996b) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)  
A – nepřejetá půda, C – čtyři přejezdy (19 t)

## 2.4 Vliv zhutnění půdy na infiltrační vlastnosti půdy

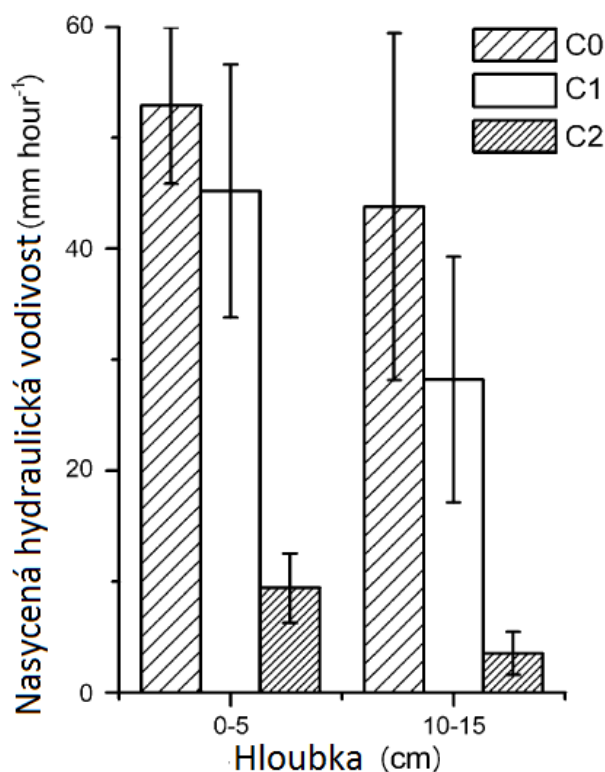
Důležitý faktor, který ovlivňuje hydraulickou vodivost půd, jak již bylo dříve zmíněno, je zhutnění půdy. Zhutnění půdy, které je primárně způsobeno přejezdy zemědělských strojů, snižuje pórovitost a zvyšuje objemovou hmotnost půdy. Jmenované parametry ovlivňují negativně infiltrační vlastnosti půdy v případě porovnání zhutněné půdy s nezhutněnou půdou (Obrázek 5)(Liebig et al., 1993; Yuxia et al., 2001; Hamza et al., 2005 a Raper, 2006). Zhutnění půdy znemožňuje kořenovému systému rostlin dosáhnout do hlubších vrstev půdy a tím získání vody z těchto vrstev (Laker et al., 2001; Li et al., 2007). Například jeden přejezd již významně snižuje čas k ustálení míry kumulativní infiltrace

v porovnání s nezhuťnou půdou. Nezhuťná půda má 4 – 5 krát vyšší míru infiltrace než zhuťná (přejetá) půda (Yuxia et al., 2001; Chamen, 2011). Yuxia et al. (2001) prezentoval, že zhuťnutí půdy má větší vliv na míru infiltrace než zpracování půdy. V případě zhuťné půdy došlo k hromadění stojaté vody po 5 – 7 minutách srážek a k dosažení stabilní infiltrace došlo po 15 minutách. Hlavní zjištění v této studii bylo, že nezhuťná půda má celkovou infiltraci vody 77% z celkových srážek a zhuťná půda pouze 25% z celkových srážek. Přes tyto výsledky existuje odporující tvrzení, že povrch zhuťné půdy nemá významný vliv na parametry infiltrace (van Dijck et al., 2002).



Obrázek 5 – Závislost nasycené hydraulické vodivosti půdy na objemové hmotnosti půdy (Nakano et al., 2005)  
(upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Jiná studie Zhanga et al. (2006) porovnávala vliv tří typů zhuťnutí půdy na hydraulické vlastnosti půdy. Jmenovanými třemi stupni byla zatížení 0%, 10% a 20% (navýšení objemových hmotností půdy v procentech), přičemž vzorky byly odebírány z hloubek 0 – 0,05 m a 0,10–0,15 m. Výsledky ukázaly, že nejvyšší stupeň zhuťnutí značně snížil hodnoty nasycené hydraulické vodivosti v obou sledovaných hloubkách, zatímco mezi 0% a 10% zhuťnutím nebyly sledovány významné rozdíly. Dalším výsledkem bylo snížení variability nasycené hydraulické vodivosti v závislosti na typu zhuťnutí (Obrázek 6). Gómez et al. (1999) zjistil, že konvenční zpracování půdy má vyšší hodnoty nasycené hydraulické vodivosti než půda zpracovaná minimalizační technologií.



Obrázek 6 – Zobrazení nasycené hydraulické vodivosti při různých typech zhuštění (Zhang et al., 2006)  
(upraveno/přeloženo: Jan Chyba)  
C0 – 0%, C1 – 10%, C2 – 20% zatížení

Předběžné výsledky dopadu chovu hospodářských zvířat na objemovou hmotnost půdy a tím i na infiltrační vlastnosti půdy byly získány Castellanoem et al. (2007). Během tohoto experimentu bylo zjištěno, že dlouhodobá zátěž hospodářskými zvířaty na pastvinách může zvýšit infiltrační vlastnosti půdy (s čímž souvisí snížení objemové hmotnosti půdy) a tím také zvýšit hojnost trav na pastvinách. Toto tvrzení vyvrací Ball et al. (1999), který tvrdí, že hospodářská zvířata mohou zhuštnit povrch půdy a tím zvýšit objemovou hmotnost a pevnost půdy, což může vést ke snížené schopnosti kořenového systému rostlin pronikat do nižších vrstev půdy v závislosti na druhu půdy.

## 2.5 Vliv zpracování půdy na infiltrační vlastnosti půdy

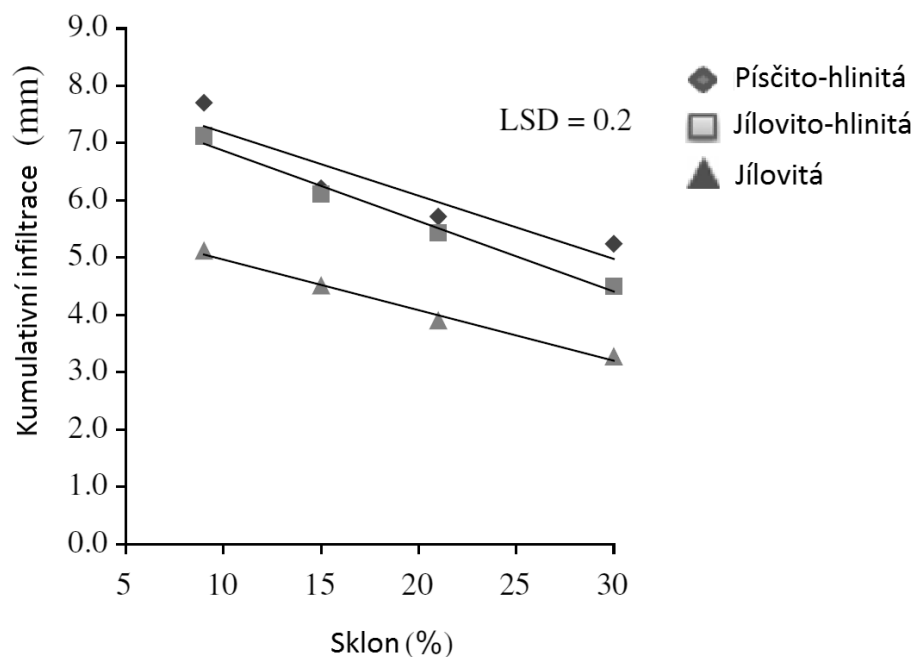
Zpracování půdy je dalším faktorem, který ovlivňuje hydraulickou vodivost půdy a tím také její infiltrační vlastnosti. Kroulík et al. (2007) zjistil, že nejvyšší průměrné infiltrační vlastnosti půdy byly sledovány pro půdu zpracovanou radličným pluhem, kdežto minimální hodnoty byly zaznamenány pro mělké zpracování půdy. Kroulík také zjistil, že prokypřená půda má mnohem větší vodní kapacitu než redukované zpracování půdy (Kroulík et al., 2007; Qingjie et al., 2009 a Ekwue et al., 2010). Dále bylo zjištěno, že řízený provoz zemědělských strojů (CTF – Controlled Traffic Farming) má pozitivní dopad na zachování vody. Tyto

přednosti spočívají ve snížení hodnot objemové hmotnosti půdy a ve zvýšení obsahu vody o 9% v porovnání s konvenčním zpracováním půdy; výnosy se zvýší v případě CTF zhruba o  $0,20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  v porovnání s konvenčním zpracováním půdy (Qingjie et al., 2009).

Soracco et al. (2010) provedl experiment na různě zpracované půdě (konzervační - půdoochranné technologie ponechávající posklizňové zbytky na povrchu půdy; minimalizační technologie představuje zpracování půdy omezené na minimum) za použití tenzního infiltrometru. Vzorky byly měřeny ve dvou hloubkách, jmenovitě: 0–0,15 a 0,15–0,30 m. Výsledky měření hydraulické vodivosti se lišily především ve druhé jmenované hloubce, kde pro minimalizační technologii byla získána hodnota  $1,2 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$  a pro konzervační zpracování půdy byla získána hodnota  $0,67 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ . V hloubkách 0,15 m nebyly zjištěny významné rozdíly ( $1,97 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$  - minimalizační technologie;  $1,92 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$  - konzervační technologie).

## 2.6 Vliv půdní struktury na infiltrační vlastnosti půdy

Ekwue et al. (2010) využil intenzitu deště ( $90 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) a jeho vliv na půdu při čtyřech různě nastavených sklonech (9%, 15%, 21% a 30%), zároveň také zjišťoval kumulativní infiltraci vody. Tato studie ukázala, že nejvyšší hodnoty kumulativní infiltrace vody bylo dosaženo pro písčito–hlinité a pro jílovito–hlinité půdy a značně nižší hodnoty pro jílovité půdy (Obrázek 7). Tyto výsledky také poukázaly na závislost kumulativní infiltrace na sklonu dopadu dešťových srážek/sklonu pozemku.



Obrázek 7 – Závislost kumulativní infiltrace vody při různých sklonech (Ekwue et al., 2010) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

## 2.7 Nasycená hydraulická vodivost

Mechanická pevnost půdy má významný vliv na hydraulickou vodivost půd a řídí se především půdní strukturou. Keller et al. (2010) tvrdí, že hydraulická vodivost půdy je dobrým vodítkem pro zjištění půdní struktury testované půdy. Půdní struktura může být měřena nasycenou hydraulickou vodivostí ( $k_{fs}$ ) (Bagarello et al., 2004), pro kterou je vhodná metoda SFH (Simplified Falling-Head). Bagarello et al. (2006) provedl dvoustupňovou analýzu SFH. Výsledky těchto měření jsou prakticky ekvivalentní s hodnotami nasycené hydraulické vodivosti, které byly získány jinými, detailnějšími analýzami. Na základě výsledků bylo doporučeno využívat v praxi metodu SFH na místo podrobnějších postupů (Bagarello et al., 2006).

Bagarello et al. (2006) použil Philipovu rovnici, která byla původně vyzkoumaná Greenem a Amptem v roce 1911. Výsledkem kombinace těchto rovnic je jednorozměrná kumulativní infiltrace  $I$  (l), za podmínek SFH:

$$t = \frac{\Delta\theta}{K_{fs}(1-\Delta\theta)} \left[ \frac{I(t)}{\Delta\theta} - \frac{H_0 - \psi_f}{1-\Delta\theta} \ln \left( 1 + \frac{(1-\Delta\theta)I(t)}{\Delta\theta(H_0 - \psi_f)} \right) \right] \quad \text{Rovnice 1}$$

kde:

- $t$  – je čas (s)
- $\Delta\theta$  – ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) je rozdíl mezi polním nasyceným vodním obsahem ( $\theta_{fs}$ ) a počátečním objemovým obsahem vody v půdě ( $\theta_i$ )
- $K_{fs}$  – nasycená hydraulická vodivost pole ( $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- $H_0$  – výška hladiny v čase nula (l)
- $\psi_f$  – je tlaková výška na smáčené straně

Hodnota  $\psi_f$  může být zaměněna parametrem  $\alpha^*$  ( $\text{l}^{-1}$ ) použitím následující rovnice:

$$\alpha^* = \frac{K_{fs}}{\phi_m} = -\frac{1}{\psi_f} \quad \text{Rovnice 2}$$

kde:

- $\phi_m$  ( $\text{l}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) – půdní potenciál nasyceného toku

Kombinace Rovnice 1 a Rovnice 2 dává:



$$t = \frac{\Delta\theta}{K_{fs}(1-\Delta\theta)} \left[ \frac{I(t)}{\Delta\theta} - \frac{H_0 + \frac{1}{\alpha^*}}{1-\Delta\theta} \ln \left( 1 + \frac{(1-\Delta\theta)I(t)}{\Delta\theta \left( H_0 + \frac{1}{\alpha^*} \right)} \right) \right] \quad \text{Rovnice 3}$$

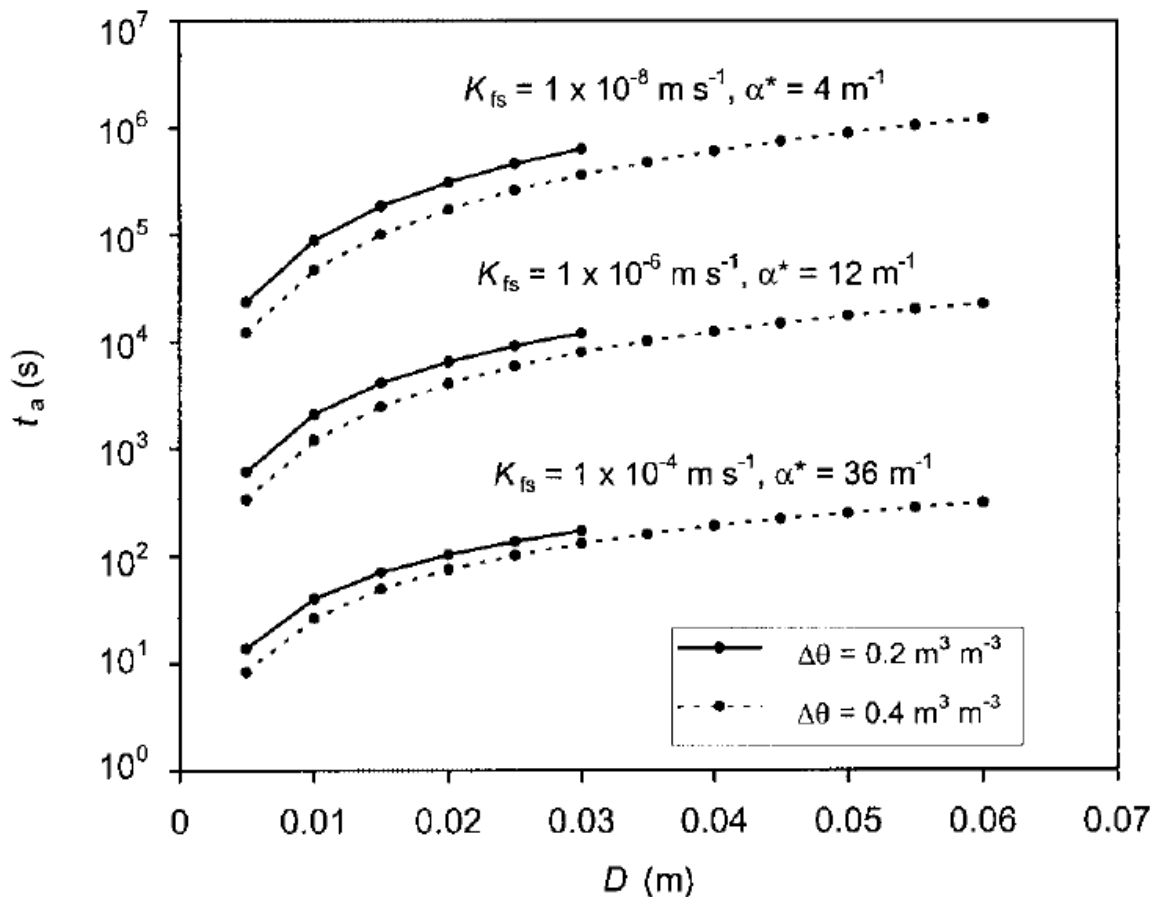
Bagarello et al. (2006) používá Rovnice 3 k určení  $K_{fs}$  pro metodu SFH (viz Rovnice 4). V této metodě se používá známého objemu vody ( $V$ ), která se aplikuje na povrch půdy ohraničené jedním prstencem známého průměru (oblast -  $A$ ). Doba ( $ta$ ) se měří od okamžiku, kdy je voda aplikována na povrch půdy do doby, kdy je veškerá voda v ohraničené oblasti absorbována půdou. V čase  $t = ta$ , jsou hodnoty  $I(ta) = H_0 = D$ , kde  $D = V/A$  je hladina vody odpovídající objemu vody ( $V$ ).

$$K_{fs} = \frac{\Delta\theta}{(1-\Delta\theta)t_a} \left[ \frac{D}{\Delta\theta} - \frac{\left( D + \frac{1}{\alpha^*} \right)}{1-\Delta\theta} \ln \left( 1 + \frac{(1-\Delta\theta)D}{\Delta\theta \left( D + \frac{1}{\alpha^*} \right)} \right) \right] \quad \text{Rovnice 4}$$

Aby bylo možné určit  $K_{fs}$  z Rovnice 4, je nutné provést měření dvou hodnot ( $ta$  a  $\Delta\theta$ ) a určit  $\alpha^*$  (Bagarello et al., 2004), nebo pomocí Tabulky 1 zvolit parametr  $\alpha^*$ . Tabulka je stanovena Elrickem et al. (1989). Teoretické limity pro odběr vzorků nejsou žádné, ale existují praktická omezení. Vzhledem k tomu, že Rovnice 4 obsahuje gravitační složku, jsou zde jen časová omezení, s časem povrchového odtoku vody po stranách prstence dochází k trojrozměrnému toku. Obrázek 8 ukazuje vztah mezi  $D$  a  $ta$  v souladu s Rovnicí 4.

Tabulka 1 – Elrikovo stanovení $\alpha^*$ (Elrick et al., 1989) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)	
$\alpha^* = 1 \text{ m}^{-1}$	Zhutněné jílovité půdy (např. jezerní a mořské sedimenty atd.).
$\alpha^* = 4 \text{ m}^{-1}$	Primárně nestrukturované jemné půdy.
$\alpha^* = 12 \text{ m}^{-1}$	Většina nestrukturovaných půd od hlinitých až po jílovité půdy; i středně nestrukturované jemně písčité a písčité půdy. První volba pro většinu půd.
$\alpha^* = 36 \text{ m}^{-1}$	Hrubé a štěrkovité písky; mohou zahrnovat i některé vysoce strukturované půdy s velkými trhlinami a makropóry.

Znalost  $\Delta\theta$  a hloubky zasunutí prstence do půdy umožňuje stanovení objemu pórů půdy, která je ohraničené prstencem. Maximální hodnoty  $D$  (viz. Obrázek 8), odpovídají objemu vody, která je potřebná k vyplnění vzduchem naplněných pórů v oblasti půdy ohraničené prstencem. Jednorozměrný tok v průběhu experimentu lze určit z objemu vody, který se rovná, nebo je menší než je objem pórů (Bagarello et al., 2004).



Obrázek 8 – Vztah mezi  $t_a$  a  $D$  při různých hodnotách  $K_{fs}$ ,  $\alpha^*$  a  $\Delta\theta$  (Bagarello et al., 2004)  
 $D$  – hladina vody,  $t_a$  – čas infiltrace

SFH metoda vyvolává větší zájem než tradiční metody pro stanovení polní nasycené vodivosti, pro relativně propustné půdy. Tyto tradiční metody se obvykle spoléhají na stabilní průtok vody, který může trvat několik dní (stejně experimenty mohou být použity pro měření pórovitosti půdy v případě, že gravitační složka je zanedbatelná) (Bagarello et al., 2004).

Ve studii Kellera et al. (2010) je uvedeno spojení mezi  $K_{fs}$  a výnosy plodin. Zkoumané oblasti s nižšími hodnotami  $K_{fs}$  poskytují nízké výnosy, zatímco vyšší hodnoty  $K_{fs}$  zajišťují vyšší výnosy plodin. To znamená, že  $K_{fs}$  by mohlo být použito jako indikátor úrody. Nízko výnosové oblasti jsou charakterizovány vyšší průměrnou hmotností agregátů a větší hustotou půdy. Tyto výsledky potvrzují, že existuje vztah mezi  $K_{fs}$  a zhutněním půdy, které bylo potvrzeno jako jeden z faktorů, který ovlivňuje výnosy plodin. Tato zjištění má další důsledky pro precizní zemědělství v praxi, což naznačuje, že hodnoty půdní struktury,  $K_{fs}$  a zhutnění půdy by měly být brány v potaz.

Wuest et al. (2005) uvádí, že oblast přímo pod hloubkou orby je nejvýznamnější vrstva, která omezuje průtok vody. To znamená, že hodnoty infiltrace v této vrstvě jsou nižší

než hodnoty naměřené na povrchu půdy. Wuest také zdůraznil význam velikosti prstence na preferenční tok, který hraje důležitou roli při infiltraci v obdělávané půdě.

V jihovýchodní Nebrasce byla provedena studie zabývající se vlivem dlouhodobých kontrolovaných provozů s kypřením na půdní vlastnosti. Největší rozdíly ve vlastnostech půdy byly zjištěny při odběru vzorků v hloubce 0-75 mm. V této práci byly naměřeny největší hodnoty (objemové hmotnosti půdy, půdní pevnosti, celkové průměrné hmotnosti agregátů, polní vodní kapacita a obsahu vody v bodu vadnutí) uvnitř stop zemědělských strojů. Minimální hodnoty těchto parametrů byly naměřeny mimo stopy zemědělských strojů. Průměrná hodnota  $K_{fs}$  ve stopách zemědělských strojů byla asi o 75% menší než průměrné hodnoty naměřené mimo stopy. Hodnoty  $K_{fs}$  z hloubky větší než 0,15 m mají nízkou nebo žádnou korelaci mezi hodnotami naměřenými uvnitř a mimo stopy zemědělských strojů. Během období dešťů se předpokládalo, že větší odtok vody z povrchu půdy nastane ve stopách zemědělských strojů, zatímco mimo stopy se předpokládal odtok vody minimální z důvodu rozdílné půdní infiltrace (Liebig et al., 1993). Nicméně, i přes velkou zátěž na jílovitou půdu s dobrou strukturou, mají tyto půdy obvykle vysoké hodnoty  $K_{fs}$ , což snižuje škodlivé účinky (např. objemová hmotnost) dopravy a množství zhutnění půdy ve větších hloubkách (Alakukku, 1996b). Podobné výsledky získal D'Haene et al. (2008), který porovnával minimalizační zpracování půdy (zpracování půdy omezené na minimum) s konvenčním zpracováním půdy (při využití orby) měřením hodnot objemové hmotnosti, retence vody, stability agregátů a polní nasycené hydraulické vodivosti. Výsledky ukázaly rozdíly objemových hmotností půdy ve vrstvě 0,05-0,1 m, kde byly nižší hodnoty získané pro minimalizační zpracování půdy a vyšší hodnoty byly zaznamenány pro konvenční zpracování půdy. Zatímco obsah vody v půdě při saturaci byl zjištěn vyšší v případě minimalizačního zpracování půdy a nižší pro konvenční zpracování půdy ve stejné hloubce. Nicméně ve vrstvě půdy v hloubce 0,25–0,3 m nebyly nalezeny žádné významné rozdíly hodnot objemové hmotnosti půdy a obsahu vody při saturaci při rozdílně zpracované půdě. Index stability byl přibližně o 40% vyšší při minimalizačním zpracování půdy, než v případě konvenčního zpracování půdy v hloubce 0 až 0,1 metru.

Zemědělský provoz a zpracování půdy ovlivňuje pórovitost půdy, což vede ke změnám hodnot  $K_{fs}$  podle hloubky zpracování půdy. Richard et al. (2001) dokázal, že zhutnění půdy má vliv na pórovitost půdy a tím i na zadržování vody v půdě a na další

hydraulické vodivosti půdy. V práci Richarda byly také měřeny hodnoty vodního potenciálu. Zhutněná vrstva půdy obsahuje méně vody než nezhutněná půda, nicméně hydraulická vodivost je vyšší u zhutněných půd, než v případě nezhutněné půdy. V tomto případě nedochází ke změně struktury pórovitosti, ale dochází k vytvoření reliktních strukturálních pórů. Tyto póry mohou být použity jako identifikátor účinku zhutnění na hydraulické vodivosti, protože tyto póry mohou zapříčinit změnu hydraulické vodivosti půdy. Qingjie et al. (2009) porovnával řízený provoz zemědělských strojů s konvenčními technologiemi. Výsledky ukázaly, že zavedení řízeného provozu výrazně snižuje objemové hmotnosti půdy v hloubce 0,1-0,2 m a také výrazně zvyšuje obsah vody v hloubce 0-1,5 m půdního profilu. Alakukku (1996b) prezentovala výsledky  $K_{fs}$  z různých hloubek. V Tabulce 2 jsou jasné rozdíly mezi  $K_{fs}$  v hloubce 0-0,2 m. Ve větších hloubkách (od 0,2 do 0,41 m), byly nejvyšší hodnoty  $K_{fs}$  získané mimo stopu zemědělských strojů, potom pro jeden přejezd a nejnižší hodnoty  $K_{fs}$  pro čtyři přejezdy. Je také možné sledovat hodnotu  $K_{fs}$  v hloubce 0,41-0,55 m, kde přejezdy měly za následek snížení hodnot  $K_{fs}$  na minimum.

Tabulka 2 – Průměry nasycené hydraulické vodivosti v jílovité půdě (Alakukku, 1996b) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

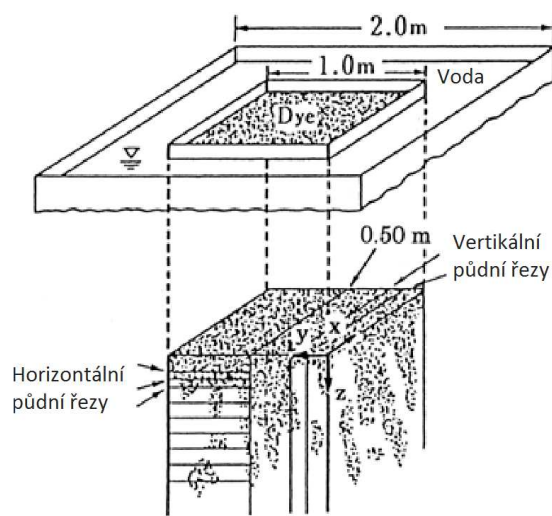
Hloubka (m)	Nasycená hydraulická vodivost ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )		
	Bez přejezdu	Jeden 19 t přejezd	Čtyři 19 t přejezdy
0 – 0,2	866	774	707
0,2 – 0,41	38	22	23
0,41 – 0,55	62	21	1

## 2.8 Indikace toku vody pomocí brilantní modří

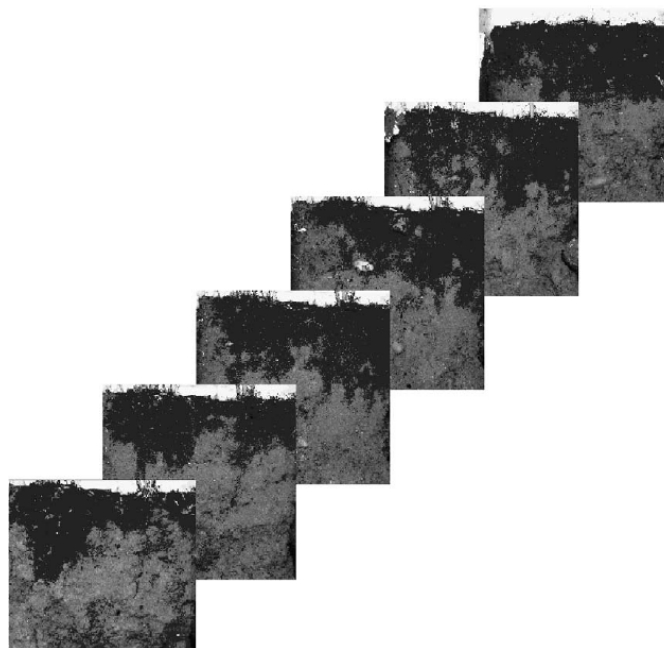
Aby bylo možné identifikovat a charakterizovat mechanismy a preferenční proudění vody v půdě, používají se stopovací látky v podobě barviva. Barviva (stopovací látky) mohou pomoci při sledování a kvantifikaci přenosu vody a chemických látek v půdě (Weiler, 2005), prostřednictvím sledování preferenčního proudění vody (Alaoui et al., 2008), a tím je možné předvídat pronikání škodlivých látek povrchem půdy do podzemních vod (Öhrström et al., 2004).

Obrázek 9 zobrazuje experimentální schéma infiltrace brilantní modří. Použití fotografií půdních horizontů a vhodného programu pro filtrování čisté půdní složky a půdní složky pokryté brilantní modří, lze zaznamenat preferenční průtok vody půdou. Je také možné sledovat a charakterizovat vztah mezi morfologickými a fyzikálními vlastnostmi půdy a

charakterizovat heterogenitu proudění vody v půdě (Morris et al., 2004; Schlather et al., 2005; Wang et al., 2006 a Wang et al., 2009). Z jejich pozorování bylo zjištěno, že voda dosáhne hlubších vrstev ve strukturovaných půdách, zatímco v půdách nestruturovaných takové hloubky nebylo dosaženo (Yasuda et al., 2001). Tato metoda byla použita Morrisem et al. (2004) při simulaci dešťových srážek po dobu dvou hodin za pomoci simulátoru deště a brilantní modři FCF (hexadecimální kód barviva) s cílem stanovit hloubku, které dešťová voda může dosáhnout, a zjistit, jaké bude preferenční proudění vody v půdě (viz. Obrázek 10). Tato měření ukázala, jaký preferenční tok vody může být očekáván během silných dešťových srážek.

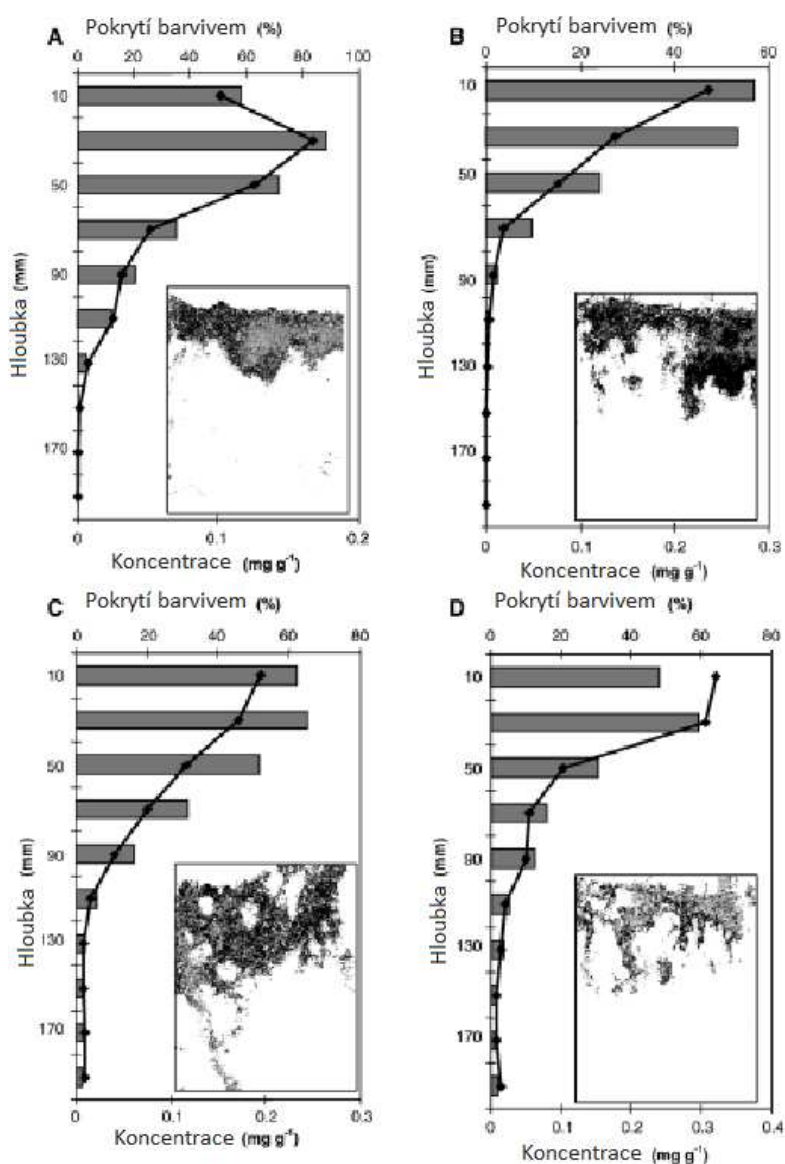


Obrázek 9 – Experimentální schéma infiltrace brilantní modří (Yasuda et al., 2001) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)



Obrázek 10 – Série snímků vertikálních řezů při použití rozestupů 0,01 – 0,20 m (Morris et al., 2004)

Stopovací látky v podobě barviv můžou být také použity k měření jedno-rozměrové hodnoty průměrné koncentrace barviva proti hloubce (viz. Obrázek 11). Jiné pokrytí barvivem na povrchu půdy, lze vysvětlit rostlinným materiálem (např. kořenový systém rostlin a posklizňové zbytky), půdní strukturou na povrchu a zadržováním vody na povrchu půdy v důsledku zhutnění půdy (Mooney et al., 2008). Možnou příčinou různého pokrytí barvivem brilantní modří je také adsorpční schopnost půdy. Ukázalo se, že jílovité půdy (s vysokým obsahem jílových minerálů) jsou hlavní sorbent, přičemž organický uhlík nemá vliv na sorpci brilantní modří FCF (Ketelsen et al., 1999).



Obrázek 11 – Jednorozměrné měření průměrné koncentrace barviva na hloubce měření (Mooney et al., 2008)  
(upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

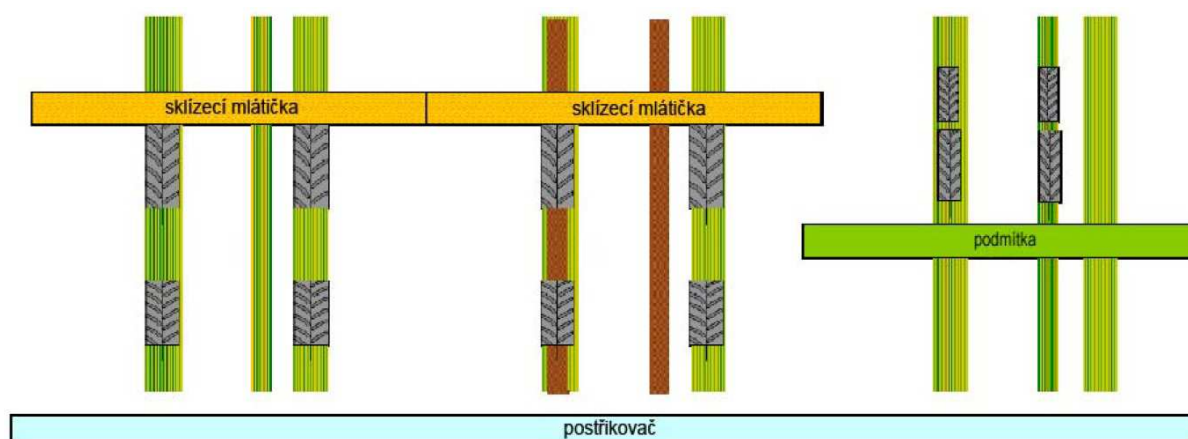
čára – koncentrace barviva, sloupce – pokrytí barvivem, A – písčité půda, B – písčité půda s prachovými částicemi, C – jílovitá půda s prachovými částicemi, D – jílovitá půda

Kramers et al. (2009) provedl experiment s indikátorem brilantní modři na třech různých půdních texturách (*Luvic gleysol*, *Haplic luvisol* a *Haplic cambisol*). V tomto experimentu bylo zjištěno, že se barvivo šíří půdou heterogenně při nízké intenzitě zavlažování. Suché počáteční podmínky zvýšily účinek heterogenní distribuce vody. Bylo zjištěno, že u půd s jemnými strukturami je směřováno přednostní proudění vody v půdě skrze makro póry. Tento tok ukázal možnou existenci heterogenní distribuce vody v půdním profilu.

Jednoduchá metoda reflektometrie (Time domain reflektometry) (Alaoui et al., 2005), potvrzuje, že pracovní operace v oblasti zemědělství a následné zhutňování půdy způsobuje snížení půdní struktury v horní části půdy (0,1 m). Toto zhutňování půdy vede ke snížení průtoku vody do spodních vrstev půdy. Metoda reflektometrie ukázala špatnou průchodnost pórů mezi orniční a podorniční vrstvou půdy. Tato tvrzení byla podpořena odběrem půdních vzorků (objemové hmotnosti, makro-pórovitosti) a infiltračním měřením za pomoci stopovacího barviva.

### 3 Organizace přejezdů zemědělských strojů

Řízený provoz zemědělství (CTF) je systém, jehož cílem je kontrolovat a zmírňovat projevy ztuhnutí půdy. Jinak řečeno omezovat provoz zemědělských strojů do úzkých pruhů (stop pneumatik) po celém pozemku a maximalizovat zbývající nepoškozenou půdní plochu pro pěstební účely. V praxi to znamená, že stopy jednotlivých strojů jsou sestaveny tak, že zabírají co nejmenší prostor (Obrázek 12). Takovýto způsob organizace je možné provést za pomoci konvenčního značení jízdních stop, nicméně využití navigací (GPS a DGPS) je značně jednodušší. V případě dobrého plánování a včasné investice mohou zajistit až 15% návratnost kapitálu, zvýšení výnosů plodin a podstatné snížení nákladů (Chamen et al., 2003).



Obrázek 12 – Příklad organizace jízdních stop (vytvořil: Milan Kroulík)

Existuje mnoho výhod spojených se soustředěním jízdních stop, které pomáhají zajistit dva nejdůležitější faktory zemědělských činností - zvýšení zisku a zlepšení udržitelnosti. Tyto činnosti zajišťují zdraví půdy, které snižuje náklady a zvyšuje výnos, také zajišťují lepší životní prostředí (Mašek et al., 2009). Nižší náklady a zvýšené výnosy jsou vyvolány:

- Nižší spotřebou pro kultivaci.
- Nižší spotřebou energie pro řízení zemědělských strojů.
- Lepší půdní strukturou.
- Zlepšením účinnosti hnojiv.
- Schopností udržet více organické hmoty a půdních organismů.
- Zlepšenou akumulací vody.



Kroulík et al., (2009) a Mašek et al. (2010) provedli experiment, při kterém byl použit DGPS přijímač, pomocí přijímače byly sledovány trajektorie zemědělských strojů při různém zpracování půdy. Trajektorie byly následně zaneseny do programu ArcGIS 9 a po té byla vypočítaná přejetá plocha pozemku (při známých rozchodech kol a šířkách pneumatik). Výsledkem experimentů bylo, že stopy pneumatik při konvenční technologii s orbou pokrývaly 96% pozemku, u konzervační technologie 65,5% a při použití minimalizační technologie 42,2% plochy pozemku. Přičemž je uvedeno, že pokrytí stopami pneumatik lze snížit pod 30% při použití konzervační technologie spolu se systémem jednotných kolejových řádků. Tyto výsledky znovu potvrdili Kroulík et al., (2010), kde pokrytí stopami pneumatik při náhodném provozu a při použití konvenční technologie s orbou se dosáhlo celkové hodnoty pokrytí pozemku 86,14% stopami a při náhodném provozu a konzervačním zpracováním půdy 63,75%. Zatímco při použití jednotných kolejových řádků a konzervačního zpracování půdy (modulová šířka nářadí 4 m) byla plocha pokrytá stopami 37,38%, při stejné technologii a modulové šířce nářadí 8 m pouze 30,88%. Podrobný popis těchto výsledků je uveden v Tabulce 3.

Tabulka 3 – Přejeté plochy pro různé zpracování půdy (Kroulík et al., 2010) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Opakovaně přejetá plocha [%]	Konvenční zpracování půdy s orbou (Nahodilý provoz)	Konzervační zpracování půdy (Nahodilý provoz)	Konzervační zpracování půdy (modulová šířka nářadí 4 m)	Konzervační zpracování půdy (modulová šířka nářadí 8 m)
1x	33,26	39,26	4,58	10,38
2x	31,06	19,56	3,24	--
3x	15,6	4,41	5,18	8,46
4x	5,03	0,51	16,51	7,65
5x	1,04	0,1	0,16	1,36
6x	0,14	--	7,71	0,76
7x	0,01	--	--	0,78
8x	--	--	--	0,52
9x	--	--	--	0,46
10x	--	--	--	0,51
<b>Celková přejetá plocha [%]</b>	86,14	63,75	37,38	30,88

Významnou roli pro zavedení jednotných jízdních stop (CTF) do praxe hraje standardizace zemědělských strojů. Všeobecně se jedná především o rozchod kol jednotlivých zemědělských strojů, šířku pneumatik, ale také o jednotlivé pracovní záběry všech strojů, které jsou v praxi využívány. Aby bylo docíleno jednotných jízdních stop, je

třeba navrhnout a realizovat úpravy zemědělských strojů tak, aby splňovaly podmínky stejných pracovních záběrů (modulů), případně jejich násobků (týká se především strojů s většími záběry, jako například postřikovače). Pokud není možné realizovat úpravy stejných rozchodů kol u všech strojů, je potřeba realizovat organizaci přejezdů tak, aby byla přejetá plocha půdy co nejmenší. Jednou z variant je využití sousedních stop pro sklízecí mlátičky, případně použití jedné stávající jízdni stopy a tím omezit vliv druhého páru pneumatik na jeden přejezd mimo jednotné jízdni stopy.

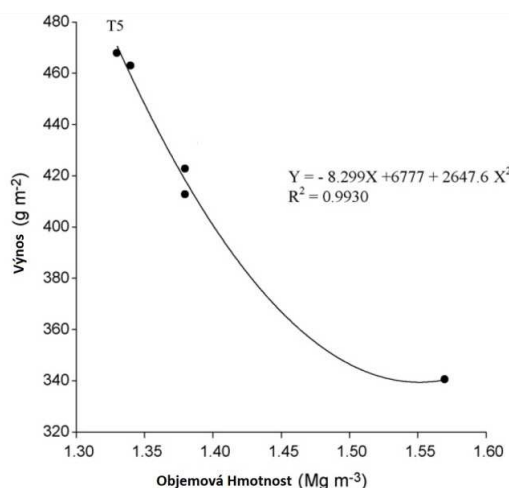
## 4 Výnosy plodin

Voorhees (1991) se zabýval vědeckou hypotézou: „Je vliv zhutnění půdy na výnosy plodin významný?“. Odpovědí je, že zhutnění půdy skutečně ovlivňuje výnosy plodin v negativním smyslu, což bylo potvrzeno mnoha studiemi (McKyes, 1989; Chamen et al., 1990; Arvidsson et al., 1996; Radford et al., 2000 a 2001; Defosse et al., 2002; Motavalli et al., 2003; Saquib et al., 2004; Gelder et al., 2006; Radford et al., 2007; Godwin, 2009 a Ahmad et al., 2009a; Reintam et al. 2009).

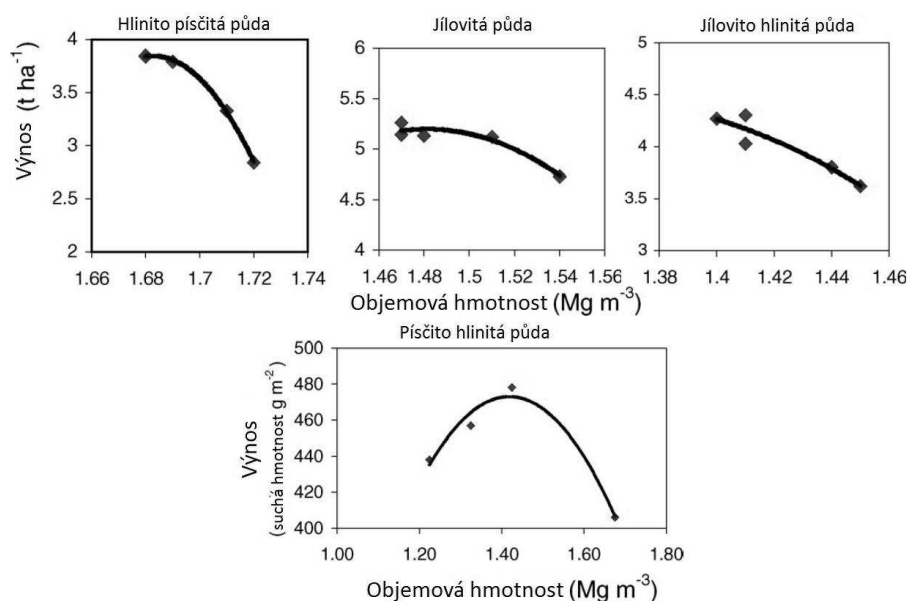
Radford et al. (2001) provedl výzkum vlivu zhutnění půdy na pšenici v Austrálii. Zjistil, že v prvním roce experimentu nebyl nalezen rozdíl ve výnosech pšenice mezi pozemkem s minimálními přejezdy a pozemkem kde byly provedeny přejezdy se zátěží 6 tun na nápravu stroje. K významným rozdílům došlo po dvou a třech letech experimentu, kdy došlo ke ztrátám výnosu na přejeté půdě až o 23% oproti nepřejeté půdě. Podobné výsledky přinesl pětiletý experiment ze Švédska kde ztráty při přejezdech  $350 \text{ t}\cdot\text{km}\cdot\text{ha}^{-1}$  a při pěstování ječmene jarního (*Hordeum vulgare L.*) činily 12% v porovnání s nepřejetou půdou (Arvidsson et al., 1996), to bylo potvrzeno při dalších experimentech (Lipiec et al., 2003). Stejný pokus byl proveden s pšenicí ozimou (*Triticum aestivum L.*), kde výsledky nepotvrdily vliv zhutnění na výnosy (Arvidsson et al., 1996). Tento výsledek vyvrací experimentální pokus provedený v Pákistánu, kde byly provedeny jednotlivé varianty zhutnění půdy pomocí samojízdného válce o hmotnosti 7 t a záběru 1,5 m (nezhutněná půda, 2 přejezdy, 4 a 6 přejezdů). Během dvouletého sledování bylo zjištěno, že dva přejezdy 7 t válcem sníží výnos pšenice ozimé (*Triticum aestivum L.*) o 19%, čtyři přejezdy o 25% a šest přejezdů o 28% v porovnání s nezhutněnou půdou (Ahmad et al., 2009a; Hassan et al., 2007). Také byl potvrzen pozitivní vliv orby na zhutněnou půdu (Ahmad et al., 2009b).

Dlouhodobý experiment prokázal snížení výnosů plodin po zavedení technologie CTF. Při experimentu byl sledován vliv zhutnění na výnosy ječmene a prokázal, že při zavedení minimálních přejezdů po pozemku poklesne výnos plodin a to v průměru o 6% (Alakukku et al., 1995), to potvrzují i další výsledky (Whalley et al., 2008; Whitmore et al., 2010). Ke zvýšení výnosů došlo teprve po třech letech od začátku experimentu, kdy byl ve čtvrtém roce zaznamenán nárůst výnosů o 3,5% oproti půdám, kde byl proveden jeden a čtyři přejezdy (zatížení 16-19 t).

Závislost výnosů plodin na objemové hmotnosti půdy je znázorněn na Obrázku 13 (Whalley et al., 1995; Ahmad et al., 2009b). Průběh závislostí výnosů na objemové hmotnosti má i jiné interpretace například experiment, ve kterém se hodnotily výnosy ječmene jarního v Polsku (Obrázek 14). Obdobná závislost byla také zjištěna u sledování závislosti výnosů kukuřice na objemové hmotnosti při pěstování na jílovité půdě (McKyes et al., 1979; Negi et al., 1981 a McKyes, 1985).



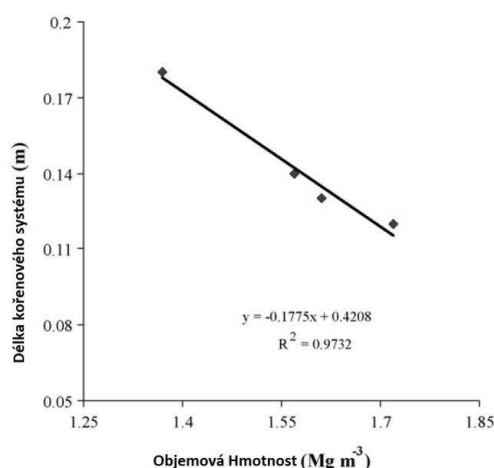
Obrázek 13 – Vztah mezi výnosy plodin a objemovou hmotností půdy (Ahmad et al., 2009b) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)



Obrázek 14 - Vztah mezi výnosy plodin a objemovou hmotností půdy, pro různé typy půd (Czyz, 2004) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Nicméně vliv zhutnění půdy na jednu plodinu nemusí mít významný vliv na jinou plodinu (Voorhees, 1991). Zhutnění půdy nemusí nezbytně přinášet pouze negativní vliv na výnosy plodin. Střední zhutnění půdy (přibližné zatížení 4,5 t, zatížení 1 t vytváří tlak 100-

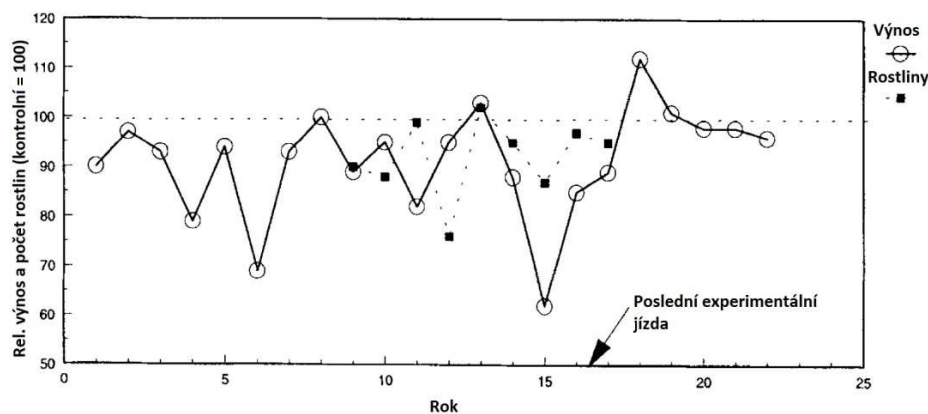
500 kg·dm<sup>2</sup>, v závislosti na kompaktní schopnosti horní vrstvy půdy, suché/mokrě podmínky) může zajišťovat vyšší výnosy plodin, jak bylo zmíněno Arvidssonem et al. (1996) a Bouwmanem et al. (2000). Avšak vyšší hodnoty zhutnění půdy (při penetračním odporu > 2 MPa) zamezují kořenovému systému rostlin pronikat do hlubších vrstev půdy (hlubší než 0,2 m), což způsobuje výnosové ztráty (viz. Obrázek 15)(Scott et al., 2005 a Hassan et al., 2007). Mimo celkové výnosy může půdní zhutnění ovlivňovat i kvalitu plodin (Voorhees, 1991 a Arvidsson et al., 1996). Další výsledky prokázaly v případě minimálních přejezdů (CTF) nárůst výnosů o 2 – 14% u cukrové řepy, brambor, cibule a jílku, než v případě využití konvenční technologie. U ječmene a pšenice byly sledovány výnosy pro minimální přejezdy, které kolísaly od -9% do 21% (tedy projev byl negativní i pozitivní) v porovnání s konvenčními technologiemi na pozemcích v Anglii, Skotsku, Německu a Nizozemí (Chamen et al., 1992). Ishaq et al. (2001) získal obdobné výsledky při sledování výnosů při zhutněném podloží, navíc uvedl v závěru, že hmotnost tisíce semen (HTS) ve výnosech není ovlivněna zhutněním podloží.



Obrázek 15 – Vztah mezi objemovou hmotností půdy a délkou kořenového systému (Hassan et al., 2007) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Vlivem zhutnění půdy na výnosy plodin se zabýval Arvidsson et al. (1996) a zjistil, že účinky zhutnění půdy vlivem přejezdů zemědělských strojů přetrvávají i po orbě radličným pluhem. Zhutnění způsobilo snížení výnosů následných plodin a zároveň korelovalo s obsahem jílu v půdě. V případě lehkých písčitých půd (přejezdy 35 t) nedocházelo k tolik výrazným ztrátám (do 10%), jako v případě těžkých jílovitých půd, kde docházelo ke ztrátám větším než 20% a jílovito-hlinitých půd, kde ztráty činily 10-20%. Tyto ztráty přetrvaly 3 až 4 roky od aplikace přejezdů a lineárně korelují s množstvím provozu zemědělských strojů na

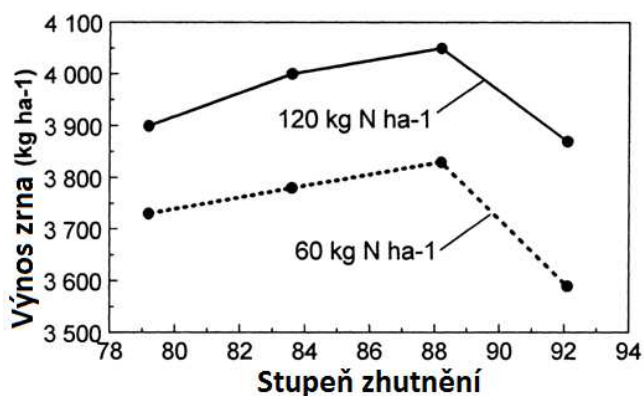
daném pozemku. Obrázek 16 zobrazuje dlouhodobý experiment, při kterém byla aplikována zátěž  $350 \text{ t} \cdot \text{km} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Ztráty výnosů plodin se, při experimentálním zatěžování během let, pohybovaly mezi 0-40%. Z obrázku je zřejmý nárůst výnosů po ukončení experimentálního zatěžování.



Obrázek 16 – Relativní výnosy plodin a počet rostlin dvaadvacetiletého experimentu (Arvidsson et al., 1996) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Dalším faktorem, který je ovlivněn zhutněním půdy, jsou emise oxidu dusného. Vysoké zhutnění půdy může vést ke zvýšení emisí oxidu dusného po aplikaci hnojiv. Je to způsobené zvýšenou vlhkostí horní vrstvy ornice. Toto zhutnění vede k anaerobním podmínkám, které vedou ke snížení vodivosti plynů (Ball et al., 1999 a Tullberg, 2009).

Håkansson (1983) provedl experiment, kde zapojil tzv. „stupeň zhutnění“, který je definován jako suchá objemová hmotnost půdní vrstvy v procentech k referenční suché objemové hmotnosti stejné půdy vystavené jednoosému tlaku 200 kPa. Na Obrázku 17 je zobrazena závislost výnosů plodin na stupni zhutnění, z obrázku je patrný výrazný pokles výnosů při stupni zhutnění větším než 90.



Obrázek 17 – Průměrný výnos ječmene, jako funkce stupně zhutnění ve vrstvě 4-25 cm při hnojení 60 a 120 kg dusíku na hektar (Håkansson et al., 1983) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Další experiment, věnující se tématice vlivu zhutnění na výnosy plodin (*Vigna čínská* - *Vigna unguiculata*), provedl Dauda et al. (2002). Experiment spočíval v založení dvouletého pokusu, kde byl simulován provoz traktoru (tlak na půdu 43,3 kN) s rozsahem od 0 do 20-ti přejezdů s odstupňováním po 5-ti přejezdech (viz. Tabulka 4). Experimenty byl zjištěn nejvyšší výnos po pěti a deseti přejezdech. Zvýšení výnosů ve druhém roce bylo pravděpodobně způsobeno zvýšeným množstvím srážek. Snížení výnosů po patnácti a dvaceti přejezdech bylo odůvodněno sníženým vývojem kořenového systému v důsledku neschopnosti kořenového systému pronikat zhutněnou půdu. Dalším vlivem byla vlhkost rostlin, která při dvaceti přejezdech činila průměrně 40,4%, zatímco u nepřejeté půdy 28,8%. Vliv mírného zhutnění na vyšší výnosy byl také zaznamenán Arvidssonem et al. (1996) a Bouwmanem et al. (2000).

Tabulka 4 – Tabulka výnosů a obsahu vlhkosti rostlin Vignie čínské (Dauda et al., 2002) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)

Počet přejezdů (43,3 kN)	První rok		Druhý rok	
	Výnos [kg·ha <sup>-1</sup> ]	Vlhkost rostlin [g·kg <sup>-1</sup> ]	Výnos [kg·ha <sup>-1</sup> ]	Vlhkost rostlin [g·kg <sup>-1</sup> ]
<b>0x</b>	980	28,4	989	29,15
<b>5x</b>	1050	30,6	1085	31,7
<b>10x</b>	1200	35,3	1353	36,8
<b>15x</b>	750	36,8	800	37,75
<b>20x</b>	550	40	560	40,8

## 5 Předpoklady na základě dostupné literatury

Předchozí kapitoly odhalují řadu studií prováděných v minulosti v oblasti zhutnění půdy, které je způsobené zemědělskými stroji a hospodářskými zvířaty. Zaměřuje se na účinky zhutnění půdy na půdní vlastnosti (vlhkosti, dostupnosti a výnosu plodin) v tříletém horizontu (včetně přípravného roku). Vzhledem k uvedeným pramenům a jejich výsledkům lze předpokládat, že doprava po zemědělských plochách značně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy a tím také plodiny a jejich výnosy.

Jak bylo uvedeno v přehledu literatury, může jediný přejezd zemědělského stroje zvýšit objemovou hmotnost půdy o 16 a více procent v hloubkách 0-0,2 m (Dickson et al., 1996; Gómez et al., 1999; Gysi, 2001; van Dijck et al., 2002; Defosse et al., 2002; Gelder et al., 2006; Ekwue et al. 2010). Zároveň s těmito výsledky korespondují hodnoty pórovitosti a penetračních odporů (Alakukku, 1996a; Alakukku, 1996b; Arvidsson et al., 1996; Dickson et al., 1996; Sort et al., 1999; Stenitzer et al., 2003; Radford et al., 2007). Na základě těchto experimentů je zde předpoklad, že hodnoty objemové hmotnosti a penetračního odporu půdy budou navýšeny oproti nepřejeté půdě a to především v hloubce 0-0,2 m. Tento předpoklad platí i pro pórovitost, ovšem v tomto případě dojde ke snížení hodnot a to až o 18%.

V případě infiltračních vlastností půdy bude předpokládané snížení hodnot po jednom přejezdu čtyřnásobně nižší oproti nepřejeté půdě (po několikanásobném po sobě jdoucím přejezdu se mohou hodnoty infiltračních vlastností půdy snížit více než třicetkrát, oproti nepřejeté půdě) (Liebig et al., 1993; Yuxia et al., 2001; Yuxia et al., 2001; Hamza et al., 2005; Nakano et al., 2005; Raper, 2006; Zhang et al., 2006; Chamen, 2011). Taktéž u modré infiltrace (indikace toku vody pomocí brilantní modři) by měl být zřejmý vliv působení pojezdových mechanismů zemědělských strojů na půdu (Alaoui et al., 2008; Yasuda et al., 2001; Morris et al., 2004; Mooney et al., 2008). Největší rozdíly by měly být zjištěny, stejně jako v předchozích případech, do hloubky 0,2 m.

Všechny uvedené předpoklady samozřejmě závisí na půdních vlastnostech při průběhu experimentu. Například vlivem vyšší vlhkosti půdy při přejezdu, může dojít k mnohem vyššímu účinku pojezdových mechanismů na půdu a tím k významnému ovlivnění



jmenovaných hodnot. Taktéž zpracování a hloubka zpracování půdy hrají významnou roli (Kroulík et al., 2007; Qingjie et al., 2009; Ekwue et al., 2010; Soracco et al., 2010).

Jak již bylo zmíněno, výnosy plodin jsou ovlivněny fyzikálními vlastnostmi půdy a lze očekávat trend snížení výnosů, především u velmi zhutněných půd. Tento pokles je vyvolán především neschopností kořenového systému plodin pronikat do větších hloubek (Laker et al., 2001; Li et al., 2007). Tímto je omezen přísun živin i vody k plodině. Zhutnění půdy nemusí mít vždy negativní vliv, při středním zatížení půdy může docházet i k navýšení výnosů (především při suchých sezónách, kdy si středně zhutněná půda dokáže zachovat vlhkost).

S přihlédnutím na citovanou literaturu, která pojednává o technologii CTF, je možné očekávat stagnaci či malý pokles výnosů plodin v prvních letech po zavedení experimentu (oproti tradičnímu zpracování půdy) (Arvidsson et al., 1996; Radford et al., 2001; Defossez et al., 2002; Gelder et al., 2006 a Ahmad et al., 2009a). Na druhou stranu lze po třech až čtyřech letech očekávat navýšení výnosů v řádu 4-10% v závislosti na plodině.

## 5.1 Cíle práce

Cílem disertační práce je porovnání a zhodnocení pozemků zpracovávaných tradiční technologií a pozemků zpracovávaných technologií řízeného provozu strojů po pozemcích (CTF – Controlled Traffic Farming).

Dílčí cíle práce:

- Zhodnotit vliv přejezdů na fyzikální vlastnosti půdy.
- Zhodnotit vliv přejezdů na infiltrační vlastnosti půdy.
- Zhodnotit vliv přejezdů na výsledné výnosy plodin.

Hypotézy:

- a. Má technologie CTF vliv na výnosy plodin?
- b. Existuje rozdíl vlivu mezi zhutněním půdy sešlapáním hospodářskými zvířaty a přejezdy zemědělské techniky na fyzikální a infiltrační vlastnosti půdy?
- c. Existuje vztah mezi nasycenou hydraulickou vodivostí měřenou metodou Simplified Falling-Head (SFH) a výnosy plodin?

## 6 Materiály a metody

### 6.1 Experimentální měření za kontrolovaných podmínek

Experiment byl proveden v Půdní Hale, která je situovaná na Harper Adams University, Shropshire, Velká Británie. Laboratorně bylo zjištěno, že půda v Půdní Hale je písčito-hlinitá půda s podíly frakcí: 65% písek, 19% jíla a 16% splavenin (Křištof et al., 2010).

Příprava půdy pro experiment při „suchých“ (výchozích) podmínkách byla následující: hluboké kypření do hloubky 0,5 m, orba do hloubky 0,2 m a zpracování vířivým kypřičem do hloubky 0,075 m. Následně byly připraveny čtyři případy zhutnění půdy pomocí přejezdů: 0 přejezdů (nezhutněná půda), jeden přejezd, dva přejezdy a tři přejezdy traktoru.

Stejným způsobem byla připravena půda v Půdní Hale pro měření s přidanou vlhkostí do půdy („vlhké“ podmínky). Toto přidání vlhkosti bylo provedeno za pomoci odměřeného množství vody na plochu. Odměřené množství bylo následně za pomoci difuzéru aplikováno na povrch půdy (35 mm vodního sloupce). K přejezdům takto připravené půdy došlo po třech dnech od aplikace vody na povrch půdy.

Hmotnost traktoru použitého ke zhutnění půdy byla 13,16 t (včetně hmotnosti nářadí, zatěžovacího bloku, řidiče a plné palivové nádrže). Distribuce hmotnosti byla 75,1 kN pro přední nápravu a 54,0 kN pro zadní nápravu, přičemž tlak v pneumatikách přední nápravy byl 0,14 MPa a zadní nápravy 0,12 MPa.

V případě tohoto experimentu bylo použito měření penetračního odporu, nasycené hydraulické vodivosti (SFH) a odběr půdních vzorků pro stanovení objemové hmotnosti a momentální vlhkosti.

#### 6.1.1 Schéma metodického postupu za kontrolovaných podmínek

- 22.6.2012 - Příprava Půdní Haly (zpracování půdy, aplikace vody na vybrané části Půdní Haly).
- 25.6.2012 - Příprava jednotlivých typů zhutnění půdy.
- 25.6.2012 - Experiment nasycené hydraulické vodivosti (SFH) s minimálně sedmi opakováními pro každou variantu v případě "suchých" podmínek a s deseti opakováními pro "vlhké" podmínky.

- 26.6.2012 - Měření penetračních odporů s pěti opakováními pro všechny varianty a obě ("suché", "vlhké") podmínky do hloubky 0,3 m.
- 27.6.2013 - Odběr půdních vzorků se třemi opakováními pro každou variantu v případě "suchých" podmínek a se dvěma opakováními pro "vlhké" podmínky do hloubky 0,28 m s krokem 0,07 m.

## 6.2 Experimentální pozemek Large Marsh

Pozemek Large Marsh (orná půda) je situovaný na farmě Harper Adams University, Shropshire, Velká Británie. Na tomto pozemku byl během měření založen první rok projektu řízeného provozu strojů po pozemcích (CTF). Pozemek Large Marsh byl před založením prokypřen do hloubky 0,45 m, následně byla provedena orba do hloubky 0,25 m a po té proběhlo kypření vířivým kypřičem do hloubky 0,1 m (Smith et al., 2012). Veškerá následná měření byla provedena během vegetačních stádií pšenice ozimé, a to: pozdní fáze GS 39 (prodloužení stonku) s počátkem fáze GS 49 (zavádění a vznik nových listů).

Měření na tomto pozemku bylo provedeno pro tři typy zhutnění půdy, a to: mimo stopy zemědělských strojů (nezhutněná půda), v zasetých stopách (kombinace setí a vířivého kypřiče - mírně zhutněná půda) a v nezasetých stopách (stopy postřikovače - velmi zhutněná půda). Stopy postřikovače byly přejety postřikovačem třikrát a přihnojování proběhlo také třikrát. Na části pozemku, kde byla měření provedena, je půdní typ Claverley (*Chromic Eutric Albic Luvic Stagnosols*, dle WRB - mezinárodní taxonomický klasifikační systém půd) (Tabulka 5).

Tabulka 5 - Popis půdního typu na pozemku Large Marsh

Půdní typ	Charakteristiky ornice / WRB	Charakteristiky podorniční vrstvy	Půdní vodní režim
Claverley	Velmi kamenitá písčito-hlinitá / <i>Chromic Eutric Albic Luvic Stagnosols</i>	Středně propustná velmi málo kamenitá výrazně zrnitá písčitá hlína s hustou málo propustnou jílovitou hlínou v hloubce 0,5 m, často obsahují kapsy jílovin.	Sezónně podmáčené. Ornice střídavě vlhká, horní podloží mokré po většinu zimy a brzy na jaře. Většina přebytečné vody se pohybuje příčně přes horní části půdy.

Provedená měření na pozemku Large Marsh byla: penetrační odpor, nasycená hydraulická vodivost (SFH), indikace toku vody pomocí brilantní modři a odběr půdních vzorků pro stanovení objemové hmotnosti a momentální vlhkosti.

### 6.2.1 Schéma metodického postupu na pozemku Large Marsh

- 20.5.2012 - Výběr vhodných ploch na pozemku Large Marsh pro provedení experimentů.
- 24 - 26.5.2012 - Provádění experimentů nasycené hydraulické vodivosti (SFH) s deseti opakováními u variant nezhutněné půdy a zasetých stop a s osmi opakováními v případě nezasetých stop.
- 26.5.2012 - Měření penetračních odporů s deseti opakováními ve všech variantách do hloubky 0,3 m.
- 28 - 29.5.2012 - Indikace toku vody pomocí brilantní modři s šestnácti opakováními u varianty nezhutněné půdy a s osmi opakováními v případě zbylých dvou variant.
- 30 - 31.5.2012 - Odběr půdních vzorků se dvěma opakováními pro každou variantu do hloubky 0,28 m s krokem 0,07 m.

### 6.3 Experimentální pozemek Bird's Nest

Pozemek Bird's Nest (louky a pastvy) je situovaný na farmě Harper Adams University, Shropshire, Velká Británie. Měření pobíhalo během projektu měření emisí plynů z lučin a pastvin do atmosféry. Pozemek Bird's Nest byl připraven pomocí lučního kypřiče do hloubky 0,12 až 0,15 m (Bonnett S., Baker K., 2012, osobní komunikace). Veškeré experimenty situované na pozemku Bird's Nest byly provedené na půdním typu Wick (*Eutric Cambisols*, dle WRB) (Tabulka 6).

Tabulka 6 - Popis půdního typu na pozemku Bird's Nest

Půdní typ	Charakteristiky ornice / WRB	Charakteristiky podorniční vrstvy	Půdní vodní režim
Wick	Mírně kamenitá písčito-hlinitá / <i>Eutric Cambisols</i>	Hluboká propustná mírně kamenitá písčito-hlinitá často sestávající se z hlinito-písčité půdy pod 0,6 m hloubky.	Dobře odvodněná. Podloží je zřídka mokré.

Měření proběhlo na třech typech zhutnění půdy. Prvním typem zhutnění bylo zhutnění sešlapáním hospodářskými zvířaty (paznehty skotu) s cílovým tlakem na povrch půdy 200-250 kPa, druhým typem zhutnění byla nezhutněná půda a třetím typem zhutnění bylo přejetí traktorem s návěsem v na sebe navazujících pásech s cílovým tlakem na půdu 200-250 kPa.

V případě pozemku Bird's Nest bylo použito metod penetračního odporu a nasycené hydraulické vodivosti (SFH).

### 6.3.1 Schéma metodického postupu na pozemku Bird's Nest

- 18.6.2012 - Výběr vhodných ploch na pozemku Bird's Nest pro provedení experimentů.
- 19.6.2012 - Provádění experimentů nasycené hydraulické vodivosti (SFH) s osmi opakováními pro každou variantu.
- 19.6.2012 - Měření penetračních odporů s deseti opakováními pro každou variantu do hloubky 0,3 m.

### 6.4 Experimentální pozemek Červený Újezd

Pro měření byl rovněž založen experimentální pozemek v oblasti Červený Újezd (Česká Republika) s výměrou 6,7 ha. Lokalita, kde byl experimentální pozemek založen, spadá do oblasti mírně teplé, mírně suché, převážně s mírnou zimou. Dle TKSP (taxonomický klasifikační systém půd) a WRB je genetický půdní typ na pozemku hnědozem modální (*Haplic Luvisol*). Základní charakteristiky pozemku jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7 – Charakteristika půdního profilu experimentálního pozemku (0 – 0,30 m)

Půdní typ (TKSP, WRB)	Hnědozem modální, <i>Haplic Luvisol</i>
Druh půdy	Jílovito-hlinitý
Zeměpisná délka (°)	14°10'11.3"E
Zeměpisná šířka (°)	50°04'08.6"N
Nadmořská výška (m)	410
Jíl (%)	46,3
Prach (%)	41,4
Jemný písek (%)	7,9
Písek (%)	4,4

Měření byla provedena na jednom pozemku rozděleném do osmi parcel. Tím byly zajištěny podobné podmínky pro všechny experimenty, jako jsou některé z následujících:

- Klimatické, geografické a geomorfologické podmínky.
- Základní fyzikální vlastnosti (zrnitost půdy, strukturnost půdy, objemová hmotnost a pórovitost, atd.).
- Hydrofyzikální a aerační vlastnosti (vlhkost, vododržnost, atd.).
- Teplotní vlastnosti (tepelná kapacita, atd.).
- Fyzikálně - mechanické vlastnosti (soudržnost, lepidivost, atd.).

Na jednotlivých parcelách byla aplikována různá intenzita přejezdů zemědělských strojů a různá intenzita obdělávání půdy v případě druhého roku pokusu. Pokusy byly založeny v roce 2009 po sklizni řepky olejky a následně byl pozemek oset pšenící ozimou (*Ludwig*). V roce 2011 byl pozemek oset sladovnickým ječmenem jarním (*Prestige*). Před založením experimentu bylo na části pozemku provedeno hluboké kypření a následně založeny dvě hlavní schémata organizace přejezdů strojů:

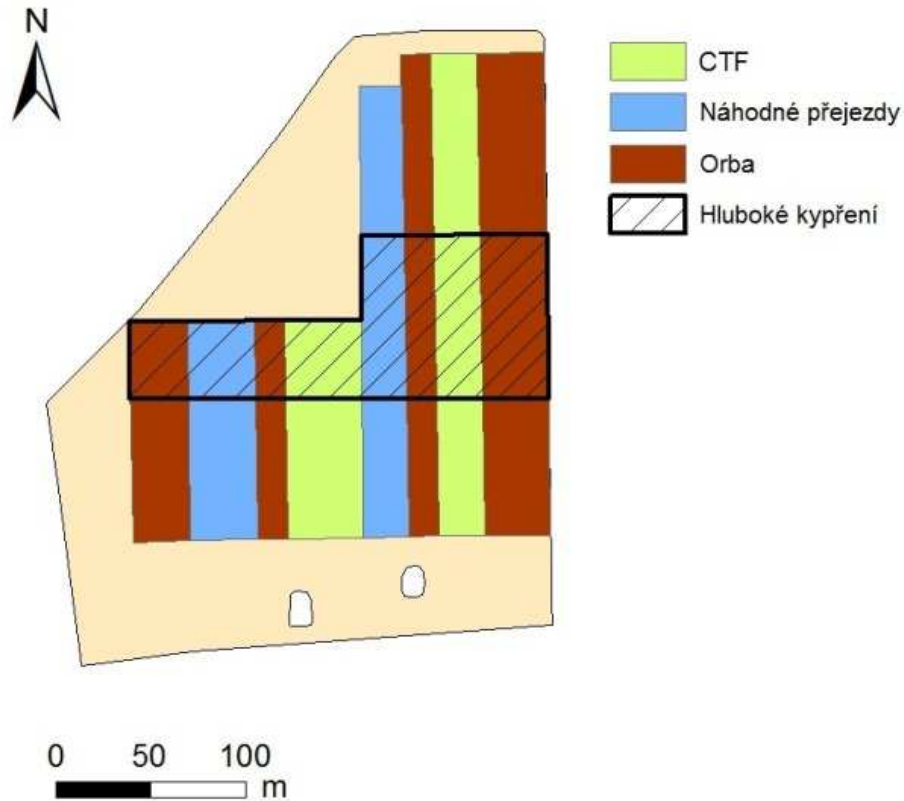
- Systém CTF (Controlled Traffic Farming), kde byly stopy kol traktorů a sklízecí mlátičky soustředěny do dvou jízdních stop. Plocha přejetá pneumatikami strojů v tomto režimu činila 37,4% (Tabulka 8).
- Na plochách s náhodnými přejezdy byla v během podmítky nebo přípravy půdy posunuta trajektorie jízdy v navigaci stroje. Tím došlo k navýšení plochy přejeté během sezony o 32,4% na celkovou plochu přejetou alespoň jednou za sezonu na 69,8%.

V roce 2010 byl pozemek doplněn o variantu s orbou (viz. Obrázek 18), jednotlivé odběrné body jsou zobrazeny v Příloze 1.

Tabulka 8 – Přejezdy aplikované pro variantu CTF

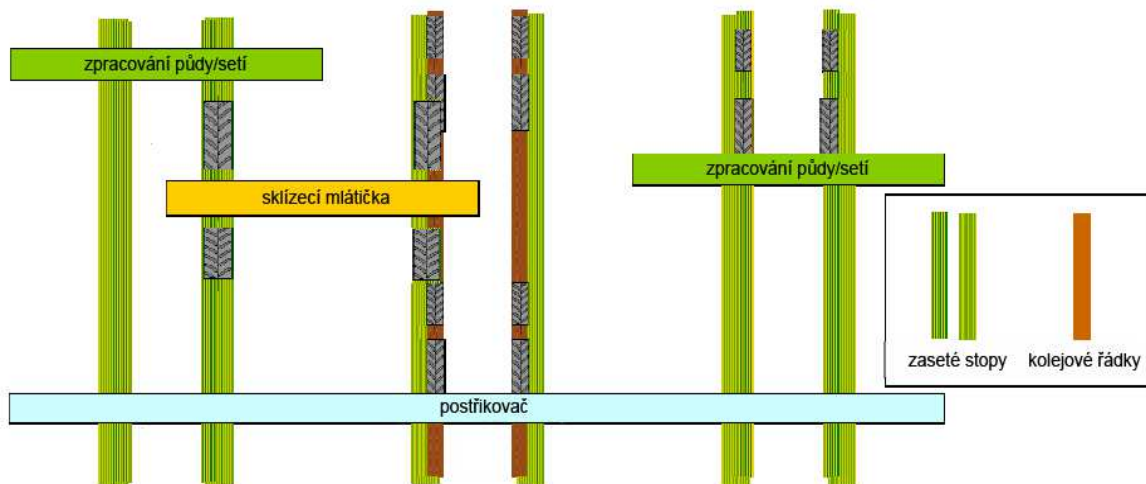
CTF - Modul 4 m	CTF Přejetá plocha (%)
<b>Opakované přejezdy</b>	
1x	4,58
2x	3,24
3x	5,18
4x	16,51
5x	0,16
6x	7,71
<b>Celková přejetá plocha (%)</b>	<b>37,38</b>

Na pozemku byl zvolen modul 4 m, přičemž záběry strojů byly vždy 4 m, případně násobky 4 (Obrázek 19). Pro navigaci traktorů a sklízecí mlátičky byla použita navigace firmy Trimble s korekcí signálu RTK. Přehled jednotlivých operací během sezóny je uveden v Tabulce 9.



Obrázek 18 – Organizace pokusu Červený Újezd (vytvořil: Milan Kroulík)

Na pozemku Červený Újezd byly použity následující metody: penetrační odpor, nasycená hydraulická vodivost (SFH), indikace toku vody pomocí brilantní modři, odběr neporušených půdních vzorků, metoda výsečí v rozmezí zvolené plochy (výnosy plodin).



Obrázek 19 - Organizace obdělávání pozemku Červený Újezd, varianta CTF (vytvořil: Milan Kroulík)

Modulová šířka nářadí: násobek 4 m; rozchod kol traktoru JD 5820: 1710 mm, šířka pneu. 480 mm; rozchod kol sklízecí mlátičky Sampo 2075: 2340 mm, šířka pneu. 600 mm; rozchod kol traktoru Fendt 820: 1900 mm, šířka pneu. 700 mm.



Tabulka 9 – Přehled pracovních operací během experimentu

1. rok	2. rok
<p><b>Kypření,</b> Souprava Fendt, Radličkový kypřič Farmet, hloubka 0,15 m</p>	<p><b>Kypření,</b> Souprava JD 8100, Radličkový kypřič Farmet, hloubka 0,15 m</p> <p><b>Orba,</b> Souprava JD 8100, pluh Kverneland, hloubka 0,20 m</p>
	<p><b>Kypření,</b> Souprava JD 8100, Farmet Compactomat</p>
<p><b>Předsetová příprava a setí,</b> Kombinace vířivý kypřič a secí stroj. Souprava JD 8100, Kverneland Accord Pneumatic DA-C</p>	<p><b>Předsetová příprava a setí,</b> Kombinace vířivý kypřič a secí stroj. souprava JD 8100, Kverneland Accord Pneumatic DA-C</p>
<p><b>Sklizeň,</b> Sklízecí mlátička Sampo</p>	<p><b>Sklizeň,</b> Sklízecí mlátička John Deere</p>

#### 6.4.1 Schéma metodického postupu na pozemku Červený Újezd

V přípravném roce (rok 0), byly provedeny následující úkony:

- **22.4.09** - Měření penetračního odporu napříč směru jízdy. Penetrační odpor byl měřen v rozsahu 9 m s krokem 0,15 m do hloubky 0,4 m se třemi opakováními ve dvou náhodně vybraných částech pozemku.
- **23.4.09 a 29.4.09** - Odběr fyzikálních válečků napříč směru jízdy. V případě odběru fyzikálních válečků byl odběr proveden v rozsahu 9 m s krokem 0,3 m (odebírané hloubky: 0-0,05; 0,15-0,2; 0,25-0,3 m). Pro každou ze dvou náhodně vybraných částí pozemku (stejně jako v případě penetračních měření z 22.4.09) byla provedena dvě měření.
- **15.7.09** - Sklizeň řepky.
- **6.8.09** - Vyměření hranic pokusných parcel s využitím GPS firmy Trimble přijímače a korekcí RTK.
- **30.8.09** - Na vybrané části pozemku bylo provedeno hloubkové kypření do hloubky cca 0,45 m za účelem odstranění zhutněné vrstvy půdy.
- **7.10.09** - Desikace výdrolu řepky, záběr 12 m, Roundup, dávka 2 l/ha.

- **15.10.09** - Kypření, radličkový kypřič Farmet, hloubka kypření byla nastavena na 0,15 m.
- **27.10.09** - Aplikace hnojiva Amofos. Dávka 54 kg/ha.
- **28.10.09** - Setí pšenice, výsevek 250kg/ha. Kombinace vířivý kypřič a secí stroj.

V prvním roce měření byly provedeny následující operace:

- **11.5.2010** - Instalace čidel vlhkosti a teploty půdy do hloubek 0,10-0,122 m, 0,20-0,222m, 0,30-0,322 m.
- **11.5.2010** – Kontrolní penetrační měření pro varianty CTF (body 1 a 2) a CTF s hlubokým kypřením (body 5, 6) ve stopě a mimo stopu (viz. Příloha 1).
- **5.8.2010** - Sklizeň v pruzích o šířce 0,75 m napříč směru jízdy pro stanovení odhadovaného výnosu. Pro každou variantu (stopa, mimo stopu) byla provedena dvě opakování.
- **12.8.2010** - Odběry fyzikálních válečků pro stanovení fyzikálních vlastností půdy; odběry ve stopě a mimo stopu. Pro každý bod a variantu (stopa, mimo stopu) bylo provedeno měření s jedním opakováním.
- **21.8.2010** - Měření penetračního odporu napříč směru jízdy. Penetrační odpor byl měřen v rozsahu 4,05 m s krokem 0,15 m do hloubky 0,4 m s jedním opakováním. Měření byla provedena na bodech 1, 2, 5, 6, 9, 10, 12 a 13 (viz. Příloha 1).

Ve druhém závěrečném roce byly provedeny operace:

- **24.3.2011** – Setí sladovnického ječmene, výsevek 220 kg/ha
- **28.4.2011** - Instalace čidel vlhkosti a teploty půdy do hloubek 0,10-0,122 m, 0,20-0,222m, 0,30-0,322 m.
- **15.8.2011** - Sklizeň v pruzích o šířce 0,75 m napříč směru jízdy pro stanovení odhadovaného výnosu. Pro každou variantu (stopa, mimo stopu) byla provedena dvě opakování.
- **6.11.2011** - Měření penetračního odporu napříč směru jízdy v rozsahu 4 m s krokem 0,15 m do hloubky 0,4 m se dvěma opakováními pro každý bod.
- **8.11.2011** - Odběry fyzikálních válečků pro stanovení fyzikálních vlastností půdy; odběry ve stopě a mimo stopu. Pro každý bod a variantu (stopa, mimo

stopu) byla provedena dvě opakování. Do měření nebyly zahrnuty varianty náhodného provozu strojů (RAN).

- **11.11.2011** - Měření infiltračních vlastností půdy metodou SFH. Pro každou variantu (stopa, mimo stopu) bylo provedeno pět opakování. Pro variantu náhodných stop (RAN) nebylo měření provedeno.
- **14-15.2011** - Měření indikace toku vody v půdě za pomoci brilantní modři. Pro každou variantu (stopa, mimo stopu) bylo provedeno pět opakování (vertikálních řezů). Do měření nebyly zahrnuty varianty náhodného provozu strojů (RAN).

## 6.5 Metody měření použité při vyhodnocování experimentu

### 6.5.1 Penetrační měření

Pro měření penetračních odporů na pozemku Červený Újezd byl použit kužel s úhlem  $30^\circ$  o ploše  $100 \text{ mm}^2$  a penetrometr pn-10. Měření bylo prováděno v celé šíři záběru (4 m) po 0,15 m.

V případě ostatních měření (Půdní Hala, Large Marsh a Bird's Nest) byl použit kužel s úhlem  $30^\circ$  o ploše  $100 \text{ mm}^2$  a penetrometr Eijkelkamp penetrologger ART.NR. 06.15.01 (Obrázek 20). Měření bylo prováděno vždy v jednotlivých bodech měření s opakováním.

Další podrobnosti viz. ASAE (2004).



Obrázek 20 - Eijkelkamp penetrologger ART.NR. 06.15.01

### 6.5.2 Odběr půdních vzorků

Pro měření fyzikálních vlastností půdy byla zvolena (kromě zmíněného penetračního měření) metoda odběru neporušených a porušených půdních vzorků (Valla et al., 2011). Neporušené půdní vzorky se odebírají do ocelových válečků o objemu  $100 \text{ cm}^3$ , a analyzují se vodní a vzdušné poměry, provádí se stanovení pórovitosti a další parametry. Odběr vzorků se provádí v terénu ze středu jednotlivých horizontů do Kopeckého ocelových válečků. Pro zjištění jednotlivých hodnot fyzikálních vlastností půdy je třeba provést několik operací a zjistit následující dílčí hodnoty (hmotnosti v gramech, objem v  $\text{cm}^3$ ):

$G_A$	vzorek s přirozenou vlhkostí;
$G_B$	vzorek kapilárně nasycený (po 12 h);
$G_C$	vzorek po $\frac{1}{2}$ hodině odsávání;
$G_D$	vzorek po 2 hodinách odsávání;
$G_E$	vzorek po 24 hodinách odsávání;
$G_F$	vzorek po vysušení při $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
$G_H$	čistá hmotnost vzorku po vysušení při $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
$G_V$	hmotnost fyzikálního válečku;
$G_S$	hmotnost hodinového skla;
$n$	navážka pro stanovení specifické hmotnosti;
$p_{H_2O}$	hmotnost pyknometru s vodou;
$p_z$	hmotnost pyknometru se zeminou;
$V_s$	objem fyzikálního válečku.

Jmenované hodnoty se dosadí do vzorců z Tabulky 10 a získají se jednotlivé hodnoty fyzikálních vlastností půdy.

Neporušené půdní vzorky byly odebírány na pozemku Červený Újezd pro jednotlivé varianty experimentu uvnitř a mimo stopy zemědělských strojů pro hloubky 0-0,25 m s krokem 0,05 m.

V případě pozemků Large Marsh, Bird's Nest a v Půdní Hale byly odebírány porušené půdní vzorky do válečků o objemu  $285 \text{ cm}^3$  pro hloubky 0-0,28 m s krokem 0,07 m. V těchto případech se půdní vzorky posuzovaly pouze z hlediska momentální vlhkosti a objemové hmotnosti.

Tabulka 10 – Přehled stanovení hodnot neporušených půdních vzorků (Valla et al., 2011)

Stanovení	Symbol	Provedení	Jednotka
Momentální vlhkost	$\Theta_{mom}$	$(G_A - G_F)^*$	% obj.
Nasáklivost	$\Theta_{ns}$	$(G_B - G_F)^*$	% obj.
Vlhkost 30-minutová	$\Theta_{30}$	$(G_C - G_F)^*$	% obj.
Max.kap.vodní kapacita	$\Theta_{MKK}$	$(G_D - G_F)^*$	% obj.
Retenční vodní kapacita	$\Theta_{RVK}$	$(G_E - G_F)^*$	% obj.
Specifická hmotnost (zdánlivá hustota pevných částic zeminy)	$\rho_z$	$n/(n + p_{H_2O} - p_z)$	$g \cdot cm^{-3}$
Sušina	$G_H$	$G_F - (G_V - G_S)^*$	g
Objemová hmotnost	$\rho_d$	$G_H/V_S$	$g \cdot cm^{-3}$
Pórovitost celková	P	$(\rho_z - \rho_d)100/\rho_z$	% obj.
Pórovitost kapilární	$P_k$	$\Theta_{RVK}$	% obj.
Pórovitost nekapilární	$P_n$	$P - \Theta_{30}$	% obj.
Provzdušenost	$V_z$	$P - \Theta_{mom}$	% obj.
Max.kap. vzdušná kapacita	$K_{MKKvz}$	$P - \Theta_{MKK}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	$K_{RVKvz}$	$P - \Theta_{RVK}$	% obj.

\*V případě použití válečků o objemu  $V_s$  jiném než je  $100 \text{ cm}^3$ , se výsledný rozdíl hmotností dělí objemem válečků a násobí se stem.

### 6.5.3 Metoda nasycené hydraulické vodivosti

Pro měření infiltračních vlastností půdy byla použita metoda nasycené hydraulické vodivosti SFH (Bagarello et al., 2004), která byla blíže popsána v kapitole 2.7.



Obrázek 21 – Fotografie z měření nasycené hydraulické vodivosti

Pro měření na pozemku Červený Újezd byl použit prstenec o vnitřním průměru 150 mm (A), výšce 150 mm a tloušťce stěny 2 mm (Obrázek 21). Pro měření obsahu vlhkosti v půdě bylo použito zařízení Theta probe (type HH2 Moisture meter, Delta T Devices, viz. Obrázek 22). Aplikovaný objem vody byl 0,5 l (V). Parametr  $\alpha^*$  byl zvolen  $12 \text{ m}^{-1}$ . Hodnoty byly vyhodnoceny pomocí Rovnice 4 z kapitoly 2.7. Měření bylo provedeno vždy vně a uvnitř stopy zemědělských strojů pro každou variantu.

Pro měření na pozemcích Large Marsh, Bird's Nest a v Půdní Hale byl použit prstenec o průměru 152 mm ( $A$ ), výšce 150 mm a tloušťce stěny 2 mm. Objem použité vody by 0,3 l ( $V$ ). Parametr  $\alpha^*$  byl zvolen  $12 \text{ m}^{-1}$ , kromě varianty měření v Půdní Hale, kde byl použit Parametr  $\alpha^*=30 \text{ m}^{-1}$ , protože půda v Půdní Hale měla špatnou strukturu a povrch byl pokryt prachovými částmi půdy.

Průběh měření byl následující:

- Prstenec byl vložen/vtlučen do půdy alespoň do hloubky 0,04 m a zároveň se změřila a zaznamenala vlhkost půdy ( $\theta_i$ ) v nejbližším okolí prstence tak, aby nebyla porušena půdní vrstva ohraničená prstencem.
- Na plochu ohraničenou prstencem byla aplikována voda o známém objemu ( $V$ ), přičemž se začal měřit čas infiltrace ( $t_a$ ).
- Ve chvíli, kdy byla voda vstřebána do půdy, byl zastaven a zaznamenán čas infiltrace ( $t_a$ ) a zároveň proběhlo měření a zaznamenání vlhkosti ( $\theta_{fs}$ ) půdy ohraničené prstencem.
- Výsledné hodnoty ( $\Delta\theta = \theta_{fs} - \theta_i$ ;  $D = V/A$ ;  $H_0 = D$ ) byly vyhodnoceny pomocí Rovnice 4 z kapitoly 2.7.

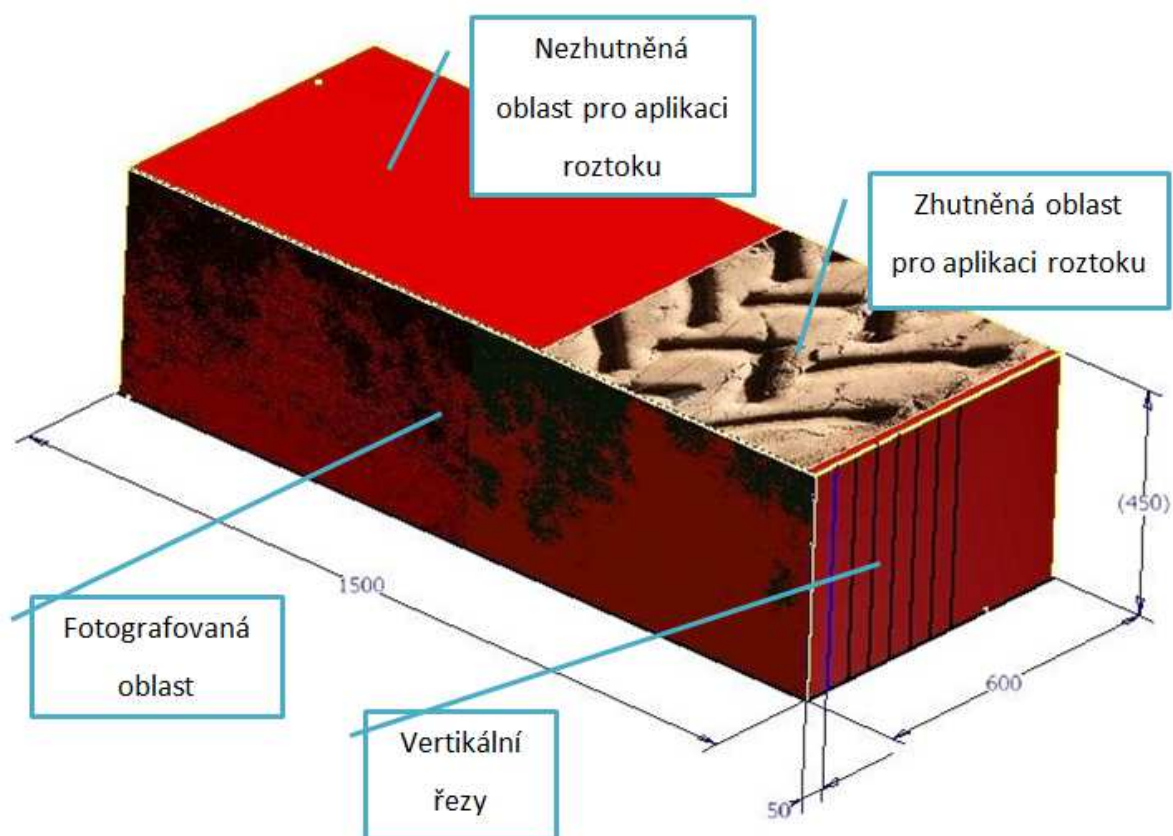


Obrázek 22 - Theta Probe, HH2 Moisture meter, Delta T Devices

### 6.5.4 Indikace toku vody pomocí brilantní modři

Pro měření indikace toku vody pomocí brilantní modři byl použit 0,3% roztok barviva E133 brilantní modři CFC s vodou. Nejdříve byl roztok pomalu a rovnoměrně (aby nedocházelo k povrchovému odtoku roztoku z povrchu půdy) aplikován pomocí difuzéru na povrch půdy tak, aby byl roztok vstřebán půdou (10 l na 1 m<sup>2</sup>). Následně 24 hodin po té co byl roztok aplikován, byla vykopána jáma tak, aby bylo možné pořizovat snímky vertikálních řezů (bylo pořízeno vždy několik řezů pro každou variantu uvnitř a vně stopy zemědělských strojů). Vertikální řezy byly vždy opatřeny rámem (0,4 x 0,6 m). Obrázek 23 zobrazuje příklad provedení infiltrace s indikátorem brilantní modři.

Po nafocení vertikálních řezů byly snímky zpracované pomocí programu BMPTools (Anken et al., 2004), který oddělil obarvenou část půdy od neobarvené. Pro vyhodnocení procentuálního zastoupení modré barvy v jednotlivých hloubkách byl zvolen krok 0,05 m.



Obrázek 23 – Příklad provedení infiltrace s indikátorem brilantní modři (hodnoty jsou uvedeny v mm)

■ - obarvený povrch, ■ - půda

### 6.5.5 Zjišťování výnosů plodin

Pro zjišťování výnosů plodin byla vybrána metoda odběrů výsečí v rozmezí zvolené plochy na pozemku Červený Újezd. Metoda spočívá v několikanásobném odběru těchto výsečí v rámci jedné varianty a následný přepočet předpokládaného výnosu na hektar. Tento odběr byl prováděn pro každou variantu uvnitř a vně stopy zemědělských strojů. Kromě předpokládaného výnosu na hektar byly měřeny následující hodnoty:

- Počet klasů ze sledované plochy.
- Celková hmotnost semen ze sledované plochy.
- Hmotnost tisíce semen (HTS) ze sledované plochy

Průběh měření byl následující:

- Z každého bodu pozemku byly vybrány minimálně čtyři plochy (dvě ve stopě a dvě mimo stopu), které byly odebrány žacíím strojem (prototyp) o šíři záběru 0,75 m.
- Odebrané vzorky byly označeny po snopcích pro další zpracování a vyhodnocení.
- Z označených snopků byly ostříhány klasy. Počet klasů byl spočítán a zaznamenán.
- Ostříhané klasy byly dále zpracovány na stacionárních zařízeních (mlátící mechanismus - Paul Polikei od firmy Palle a.s., vzduchový proud - K 294 od firmy Petkus), tak aby výsledným produktem bylo čisté zrno.
- Celková hmotnost čistého zrna byla zvážena a zaznamenána. Také se pomocí počítadla zrn (DIPOS - DPS 01 od JZD Libuň) zjišťovaly hmotnosti tisíce semen (HTS).

### 6.6 Sledování hodnot teplot a srážek

Pro kontinuální měření teploty půdy ( $t_s$ , °C) bylo použito půdních teploměrů PT 100/8 (EMS Brno, CZ) v kombinaci s ústřednou Minikin TT (EMS Brno, CZ). Měření teploty půdy probíhalo v hloubce půdy 100, 200 a 300 mm na vybraných variantách. Čidla byla vždy umístěna ve středu meziřádku. Záznam hodnot byl prováděn v 10 min intervalech. Jednotlivé



teploměry byly vzájemně kalibrovány a získané hodnoty byly přepočteny dle kalibračních rovnic.

Vodní potenciál půdy ( $\Psi_s$ , MPa) byl kontinuálně měřen na vybraných variantách v letech 2010 a 2011 ve vrstvě půdy 100-122 mm, 200-222 mm, 300-322 mm čidly Watermark 200SS-X (Irrometer, U.S.A.) v kombinaci s ústřednou Microlog SP (EMS Brno, CZ). Záznam hodnot byl prováděn v 10 min intervalech.

Pro měření srážek byla použita meteorologická stanice České Zemědělské Univerzity v Praze, která je umístěná na zeměpisných souřadnicích: 50°7'52.372"N, 14°22'11.299"E. Další specifikace meteorologické stanice viz. Příloha 2.

## 6.7 Programy a statistické analýzy použité pro vyhodnocení experimentu

Pro základní zpracování dat (základní statistiky, popisné statistiky, závislosti veličin, zpracování dat) byl použit tabulkový procesor MS Excel 2007 a 2010.

Pro další zpracování dat byl použit program STATISTICA Cz verze 9.0a a 10. Jednalo se především o grafické zpracování výsledných hodnot jako například 2D Grafy průměrů s odchylkami a 3D Sekvenční grafy (vrstevnice). Dále se jednalo o statistické analýzy a to především nástroj ANOVA s možností Tukeyova HSD testu (testu homogenních skupin).

V případech porovnávání a hledání závislostí mezi jednotlivými veličinami byl zvolen korelační koeficient pro posuzování věcné významnosti statisticky testovaných rozdílů. Tento koeficient, přes některé nedostatky, určuje míru síly vztahu mezi dvěma náhodnými, spojitými veličinami (Hendl, 2004). Rozdělení závislostí a jejich přibližná interpretace je uvedena v Tabulce 11.

Tabulka 11 - Rozdělení závislostí na základě korelačního koeficientu (Chráška, 2000)

Koeficient korelace	Interpretace
$ R  = 1$	naprostá závislost
$1,00 >  R  \geq 0,90$	velmi vysoká závislost
$0,90 >  R  \geq 0,70$	vysoká závislost
$0,70 >  R  \geq 0,40$	střední závislost
$0,40 >  R  \geq 0,20$	nízká závislost
$0,20 >  R  \geq 0,00$	slabá (nepoužitelná) závislost
$ R  = 0$	naprostá nezávislost

Korelační koeficient nabývá hodnot  $-1 \leq R \leq 1$ , přičemž jsou veličiny naprosto nezávislé při  $R=0$  a závislé při  $\pm 1$  (při kladné závislosti platí přímá úměra, při záporné závislosti nepřímá úměra).

I když je v Tabulce 11 rozdělení koeficientů korelace na nízkou a slabou závislost, Chráska (2000) ve své publikaci také uvádí, že závislosti popsané trendem při hodnotách korelačního koeficientu  $R < \pm 0,40$  jsou nepoužitelné.

## 7 Naměřené výsledky

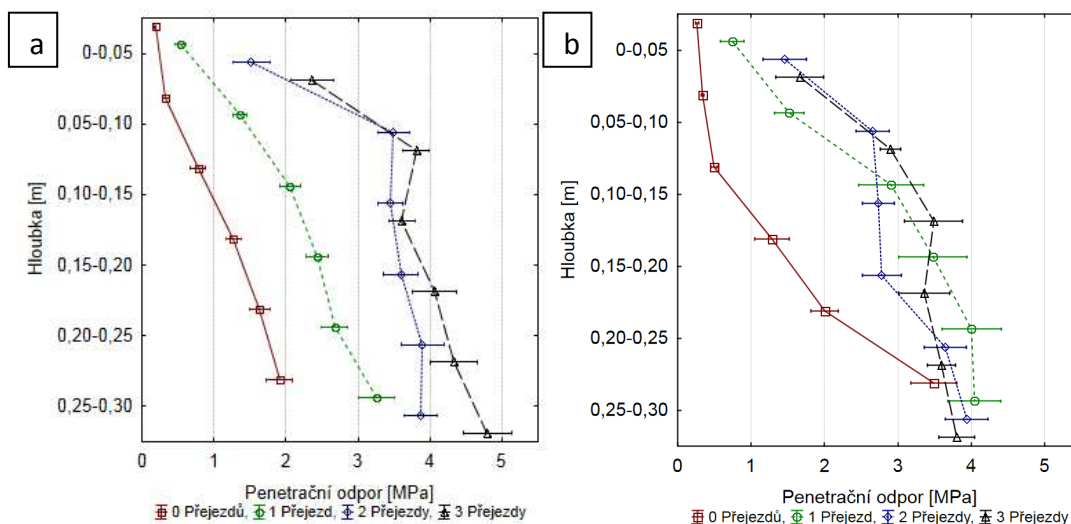
### 7.1 Výsledky měření za kontrolovaných podmínek

#### 7.1.1 Penetrační měření

Výsledky penetračních měření jsou uvedeny na Obrázku 24. Je zcela zřejmé, že výsledky penetračních odporů v případě "suchých" podmínek mají tři homogenní skupiny. Podobné výsledky byly zjištěny za "vlhkých" podmínek, kde je rozdíl mezi nepřejetou půdou a ostatními variantami výraznější.

Pokud porovnáme přejezdy za "suchých" podmínek, dojde po prvním přejezdu k více než čtyřnásobnému navýšení penetračního odporu oproti nepřejeté půdě v hloubce 0,05-0,1 m. Pro stejnou hloubku je v případě dvou a tří přejezdů nárůst oproti nepřejeté půdě více než desetinásobný. V případě "vlhkých" podmínek došlo po prvním přejezdu k obdobnému nárůstu jako v případě "suchých" podmínek, ovšem v případě dvou a tří přejezdů došlo k pětinašobnému navýšení hodnot penetračního odporu.

Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory za "suchých" podmínek je v Příloze 3 a pro "vlhké" podmínky v Příloze 4.



Obrázek 24 - Penetrační odpory (Půdní Hala)  
a - "suché" podmínky, b - "vlhké" podmínky

## 7.1.2 Odběr půdních vzorků

Průměrné objemové hmotnosti jednotlivých variant pro "suché" i "vlhké" podmínky jsou uvedeny v Tabulce 12. Momentální vlhkosti pro "suché" i "vlhké" podmínky jsou uvedeny v Tabulce 13.

**Tabulka 12 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti (Půdní Hala)**

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*

Hloubka	"Suché" podmínky, Objemová hmotnost [g·cm <sup>-3</sup> ]				"Vlhké" podmínky, Objemová hmotnost [g·cm <sup>-3</sup> ]											
	0		1		2		3		0		1		2		3	
	Přejezdů		Přejezd		Přejezdy		Přejezdy		Přejezdů		Přejezd		Přejezdy		Přejezdy	
0-0,07	1,42	a 1	1,60	a,b 1	1,71	b,c 1	1,68	b,c 1	1,43	a 1	1,72	b,c 1	1,54	a,b 1	1,82	c 1
0,07-0,14	1,41	a 1	1,58	a 1	1,61	a 1	1,60	a 1	1,46	a 1	1,61	a 1	1,52	a 1	1,52	a 1
0,14-0,21	1,44	a 1	1,58	a 1	1,59	a 1	1,57	a 1	1,51	a 1	1,58	a 1	1,60	a 1	1,60	a 1
0,21-0,28	1,43	a 1	1,56	a,b 1	1,63	b 1	1,59	a,b 1	1,53	a,b 1	1,68	b 1	1,57	a,b 1	1,67	b 1

Z Tabulky 12 lze zjistit, že k největšímu navýšení objemové hmotnosti za "suchých" i "vlhkých" podmínek došlo po prvním přejezdu a to o zhruba 12%, nicméně za "vlhkých" podmínek došlo po druhém přejezdu k poklesu objemových hmotností.

V případě momentálních vlhkostí (vlhkosti půdy v daném termínu měření) nedošlo k výraznému navýšení vlhkosti v porovnání "suché" a "vlhké" půdy. Vyšší hodnoty momentálních vlhkostí lze sledovat až od hloubky 0,14 m. Vzhledem k tomu, že k přejetí půdy a následnému přejetí došlo až po třech dnech od aplikace vody na půdu, došlo k průsaku vody do spodních vrstev půdy a k možnému částečnému výparu vody z půdy.

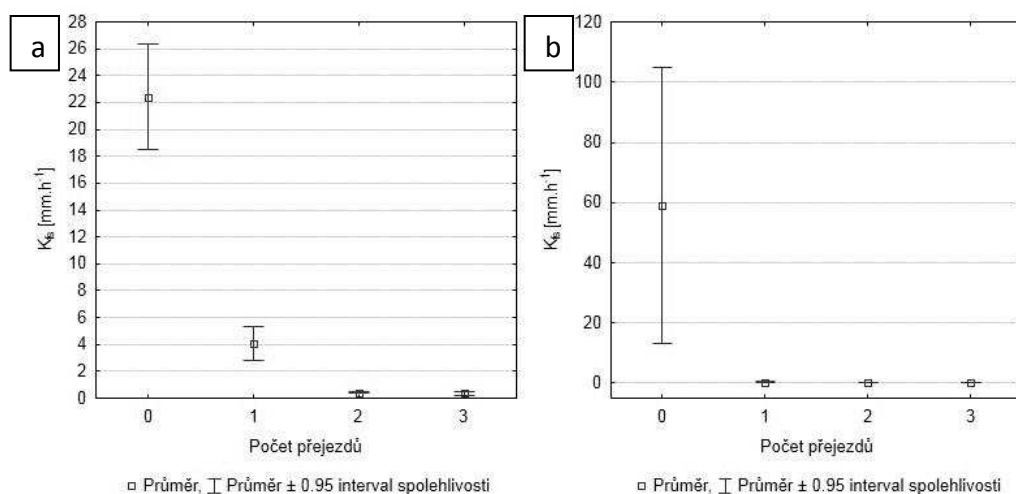
**Tabulka 13 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti (Půdní Hala)**

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*

Hloubka	"Suché" podmínky, Momentální vlhkost [% obj.]				"Vlhké" podmínky, Momentální vlhkost [% obj.]											
	0		1		2		3		0		1		2		3	
	Přejezdů		Přejezd		Přejezdy		Přejezdy		Přejezdů		Přejezd		Přejezdy		Přejezdy	
0-0,07	14,33	a 1	18,35	a 1	18,46	a 1	17,23	a 1	16,09	a 1	17,07	a 1	13,65	a 1	17,11	a 1
0,07-0,14	13,45	a 1	16,38	a 1	17,32	a 1	16,63	a 1	13,91	a 1	17,82	a 1	18,68	a 1	16,87	a 1
0,14-0,21	11,75	a 1	17,25	a,b 1	16,63	a,b 1	14,87	a,b 1	17,10	a,b 1	22,09	b 1	13,95	a,b 1	20,12	b 1
0,21-0,28	12,89	a 1	16,49	a,b 1	15,99	a,b 1	14,63	a,b 1	14,15	a,b 1	16,62	a,b 1	18,03	a,b 1	21,35	b 1

### 7.1.3 Nasycená hydraulická vodivost

Obrázek 25a zobrazuje výsledky měření infiltrace půdy při "suchých" podmínkách při čtyřech různých stupních zhutnění půdy. Z obrázku je možné sledovat změny hodnot infiltračních vlastností půdy a to jak jejich velikosti, tak i změnu intervalu spolehlivosti pro jednotlivé varianty. Již z Obrázku 25a je možné sledovat statisticky významné rozdíly a lze konstatovat, že při těchto podmínkách nedochází ke statisticky významným rozdílům po druhém přejezdu zemědělského stroje. Nicméně po prvním přejezdu došlo ke snížení průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti o 82% a po druhém přejezdu o 98% v porovnání s nepřejetou půdou.



**Obrázek 25 - Nasycená hydraulická vodivost (Půdní Hala)**  
a - "suché" podmínky, b - "vlhké" podmínky

Výsledky nasycené hydraulické vodivosti za „vlhkých“ podmínek jsou zobrazeny na Obrázku 25b a homogenní skupiny pro „suché“ i „vlhké“ jsou uvedeny v Tabulce 14. přičemž po prvním přejezdu došlo ke snížení hodnot nasycené hydraulické vodivosti o více než 99%. Při porovnání výsledků s případem „suchých“ podmínek je zřejmé, že interval spolehlivosti se u "vlhkých" podmínek značně zvětšil a průměrná hodnota nasycené hydraulické vodivosti značně vzrostla. Tento vliv se dá přičíst prachovým částicím nestrukturované půdy Půdní Haly. Popisná statistika pro „suché“ podmínky je uvedena v Příloze 5 a pro "vlhké" podmínky v Příloze 6.

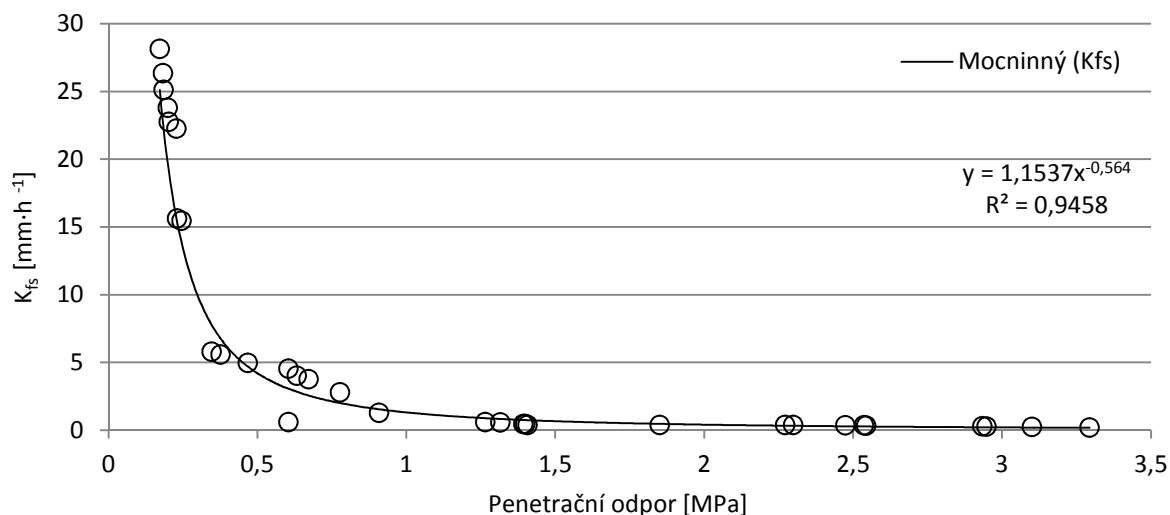
**Tabulka 14 - Tukeyův HSD test, nasycená hydraulická vodivost (Půdní Hala)**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádku; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*

Varianta	Suché podmínky		Vlhké podmínky	
	Průměr $K_{fs}$ [mm·h <sup>-1</sup> ]		Průměr $K_{fs}$ [mm·h <sup>-1</sup> ]	
<b>0 Přejezdů</b>	22,43	a 1	59,04	b 1
<b>1 Přejezd</b>	4,10	a 2	0,40	b 2
<b>2 Přejezdy</b>	0,43	a 3	0,22	b 2
<b>3 Přejezdy</b>	0,35	a 3	0,16	b 2

### 7.1.4 Porovnání závislostí naměřených hodnot za kontrolovaných podmínek

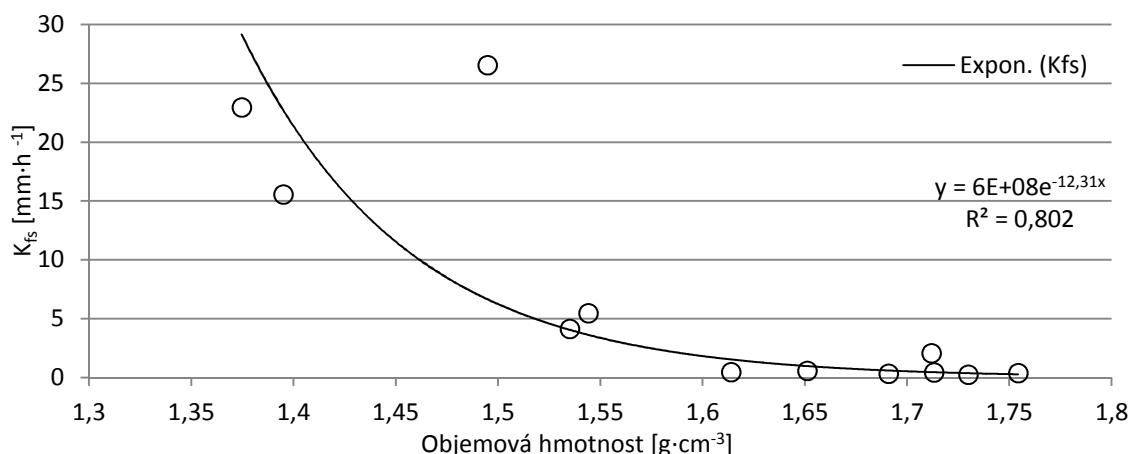
Veškeré hodnoty byly porovnávány z povrchové vrstvy půdy (0-0,07 m) a to vzhledem k povrchovým měřením nasycené hydraulické vodivosti.

Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu je zobrazena na Obrázku 26. Závislost je popsána mocninným trendem s koeficientem korelace  $|R|=0,98$  (v případě exponenciální funkce byla zjištěna hodnota  $R^2 = 0,7722$ , tedy  $|R|=0,89$  vysoká závislost). Můžeme tedy říci, že křivkou popisovaná závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu je klesající a velmi vysoká.



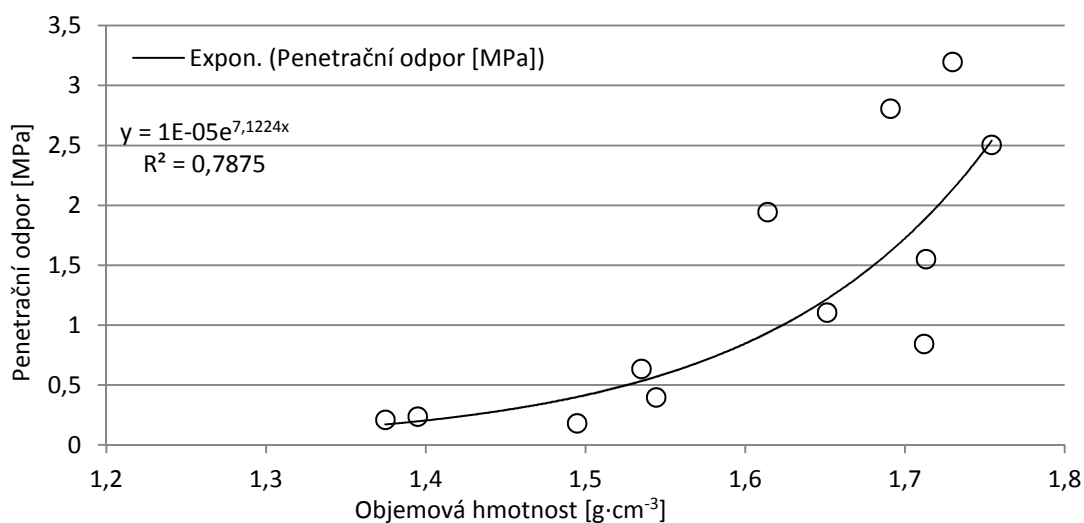
**Obrázek 26 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy (Půdní Hala)**

Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti je na Obrázku 27. V tomto případě byl nejlépe hodnotící trend exponenciální, při kterém byla zjištěna hodnota  $|R|=0,90$ . Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti půdy je tedy klesající a velmi vysoká.



Obrázek 27 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti půdy (Půdní Hala)

Poslední závislostí, zkoumanou za kontrolovaných podmínek, je závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy (Obrázek 28). I v tomto případě, stejně jako v předchozím, byl nejlépe popisující trend exponenciální s hodnotou  $|R|=0,89$ . Lze říci, že závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy je exponenciálně stoupající s vysokou závislostí.



Obrázek 28 - Závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy (Půdní Hala)

### 7.1.5 Závěry pro měření za kontrolovaných podmínek

Pomocí penetračních měření bylo zjištěno, že již po prvním přejezdu došlo k třinásobnému navýšení hodnot penetračních odporů a po druhém přejezdu k šesti až osminásobnému navýšení penetračních hodnot v porovnání s nepřejetou půdou.

Uvedené výsledky jsou podpořeny průměrnými hodnotami objemových hmotností, které s počtem přejezdů vzrůstají. V případě měřené hloubky 0-0,07 m došlo ke statisticky

významným rozdílům mezi jednotlivými variantami, nicméně ve větších hloubkách k významným rozdílům nedošlo.

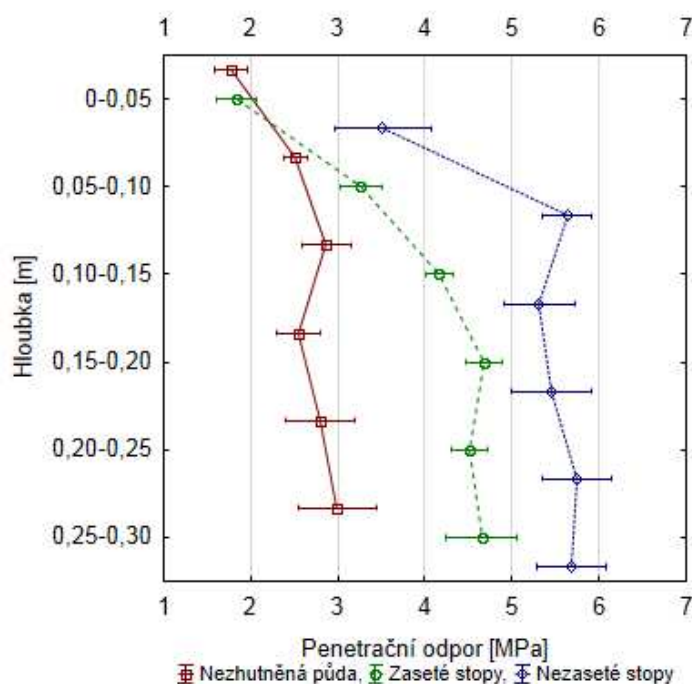
Výsledky měření nasycené hydraulické vodivosti prokázaly významný vliv přejezdů zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy a podporují předchozí výsledky. V případě suchých podmínek došlo k výraznému poklesu hodnot nasycené hydraulické vodivosti již po prvním přejezdu traktoru a to o 82-99%, přičemž druhý přejezd traktoru způsobil pokles o 98-99%.

Měření za kontrolovaných podmínek je možné brát jako standardní výsledky vlivu přejezdů na půdu. Obdržené výsledky jsou poměrně přesné s minimálním rozptylem dat. Musí se ovšem brát zřetel na to, že půda v Půdní Hale je málo strukturovaná, není ovlivněna půdními organismy a je minimálně ovlivněna vnějšími vlivy.

## 7.2 Výsledky měření z pozemku Large Marsh

### 7.2.1 Penetrační měření

Penetrační odpory naměřené v průběhu experimentu na pozemku Large Marsh jsou uvedeny na Obrázku 29.. Statistické vyhodnocení homogenních skupin je uvedeno v Tabulce 15.



Obrázek 29 – Penetrační odpory naměřené na pozemku Large Marsh



Z tabulky homogenních skupin je zřejmé, že zásadní změny penetračních odporů probíhají především mezi hloubkami 0 – 0,05 a 0,05 – 0,1 m. V případě nezhutněné půdy a zasetých stop jsou tato měření pravděpodobně ovlivněna setím (v kombinaci s vířivým kypřičem) a/nebo kořenovým systémem plodin. V případě nezasetých stop byla tato vrchní vrstva silně ovlivněna pneumatikami strojů.

**Tabulka 15 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory na pozemku Large Marsh**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0,05$*

Hloubka [m]	Nezhutněná půda		Zaseté stopy		Nezaseté stopy	
<b>0 - 0,05</b>	1,77	a 1	1,83	a 1	3,51	b 1
<b>0,05 - 0,10</b>	2,52	a 2	3,27	b 2	5,63	c 2
<b>0,10 - 0,15</b>	2,87	a 2	4,17	b 3	5,31	c 2
<b>0,15 - 0,20</b>	2,54	a 2	4,68	b 4	5,45	c 2
<b>0,20 - 0,25</b>	2,79	a 2	4,51	b 3,4	5,75	c 2
<b>0,25 - 0,30</b>	2,99	a 2	4,65	b 3,4	5,68	c 2

## 7.2.2 Odběr půdních vzorků

Průměrné objemové hmotnosti jednotlivých variant jsou uvedeny v Tabulce 16. Momentální vlhkosti jsou uvedeny v Tabulce 17.

**Tabulka 16 – Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti naměřené na pozemku Large Marsh**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0,05$*

Hloubka [m]	Objemová hmotnost [g·cm <sup>-3</sup> ]					
	Nezhutněná půda		Zaseté stopy		Nezaseté stopy	
<b>0 - 0,07</b>	1,35	a 1	1,51	a 1	1,64	a 1
<b>0,07 - 0,14</b>	1,39	a 1	1,45	a 1	1,39	a 1
<b>0,14 - 0,21</b>	1,41	a 1	1,53	a 1	1,53	a 1
<b>0,21 - 0,28</b>	1,42	a 1	1,52	a 1	1,52	a 1

Hodnoty v Tabulce 16 se oproti nezhutněné půdě zvýšily v povrchové vrstvě o 12%, přičemž hodnoty v nezasetých stopách se zvýšily o 22% (bez statistické průkaznosti). V případě momentálních vlhkostí je zřejmé, že v povrchové vrstvě se hodnoty také zvyšují. U

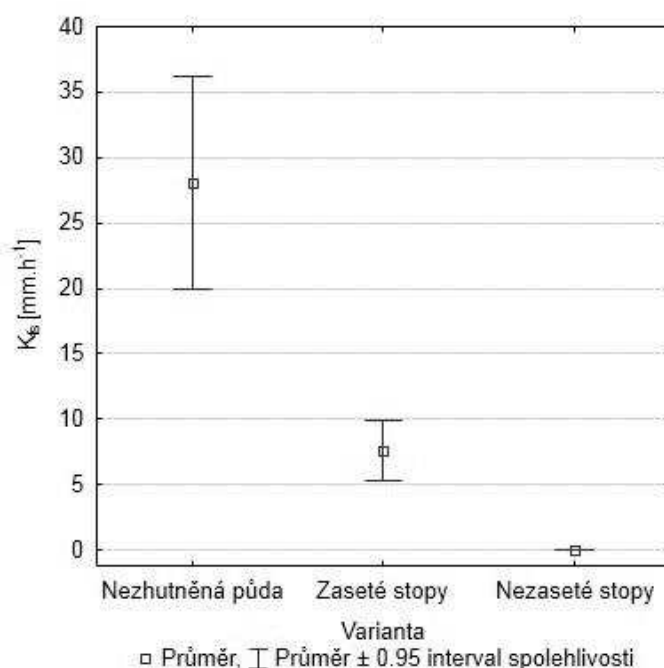
varianty zasetých stop o 7% a v případě varianty nezasetých stop o 5% oproti výsledkům naměřeným na nezhutněné půdě.

**Tabulka 17 – Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti naměřené na pozemku Large Marsh**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0,05$*

Momentální vlhkost [%Obj.]						
Hloubka	Nezhutněná půda	Zaseté stopy		Nezaseté stopy		
0 - 0,07	27,73	a 1	29,58	a 1	28,99	a 1
0,07 - 0,14	27,72	a 1	23,38	a 1	30,07	a 1
0,14 - 0,21	25,84	a 1	25,47	a 1	32,71	b 1
0,21 - 0,28	23,96	a 1	20,79	a 1	26,93	a 1

### 7.2.3 Nasycená hydraulická vodivost

Vliv provozu strojů na infiltrační vlastnosti půdy (SFH) je na Obrázku 30. Již z obrázku je zřejmé, že každá z variant má svou vlastní homogenní skupinu (viz. Tabulka 18).



**Obrázek 30 - Nasycená hydraulická vodivost na pozemku Large Marsh**

V případě zasetých stop (stálých kolejových řádků) došlo ke snížení průměrných hodnot nasycené hydraulické vodivosti o 73%, ovšem v případě nezasetých stop (stopy

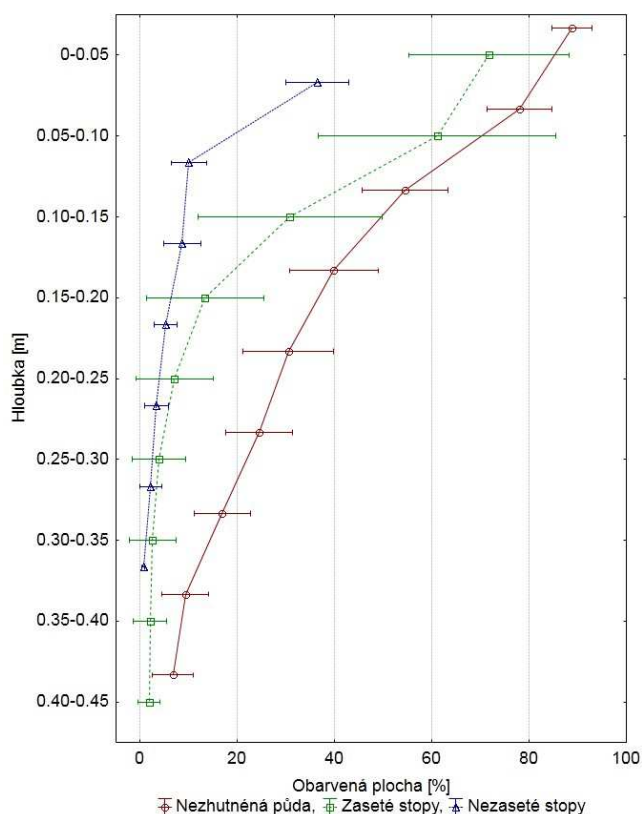
postřikovače) došlo k více než 99% snížení průměrných hodnot nasycené hydraulické vodivosti. Popisná statistika hodnot nasycené hydraulické vodivosti je uvedena v Příloze 7.

Tabulka 18 - Tukeyův HSD test homogenních skupin nasycené hydraulické vodivosti na pozemku Large Marsh při  $\alpha = 0,05$

Varianta	$K_{fs}$ [mm·h <sup>-1</sup> ]	1	2	3
Nezhtutněná půda	28,09	****		
Zaseté stopy	7,59		****	
Nezaseté stopy	0,02			****

## 7.2.4 Indikace toku vody pomocí brilantní modři

Výsledky získané z měření pomocí brilantní modři jsou uvedené na Obrázku 31. Hodnoty měření pomocí brilantní modři korespondují s výsledky penetračních odporů (Obrázek 29), kde hodnoty klesají s vyšším zhutněním půdy a hloubkou, naopak penetrační odpory s vyšším zhutněním a hloubkou stoupají.



Obrázek 31 - Indikace toku vody pomocí brilantní modři na pozemku Large Marsh

Na obrázku jsou uvedeny střední hodnoty procentuálního zastoupení modré barvy pro jednotlivé stupně zhutnění půdy. Nejvyšší procentuální zastoupení modré barvy bylo zjištěno u varianty nezhtutněné půdy. Můžeme ovšem sledovat, že hodnoty zasetých stop se

výrazně blíží hodnotám nezhtutněné půdy, a to především do hloubky 0,15 m. Tato podobnost mohla být způsobena setím v kombinaci s vířivým kypřičem, ale také vzniklým kořenovým systémem zaseté plodiny (především v menších hloubkách). Vliv zhutnění půdy je nejvíce zřetelný v případě nezasetých stop (stop postřikovače), kde došlo k posunu hodnot, kvůli příčné nevyrovnanosti v oblasti stop (chybějí data z hloubek 0,35-0,40 a 0,40-0,45 m).

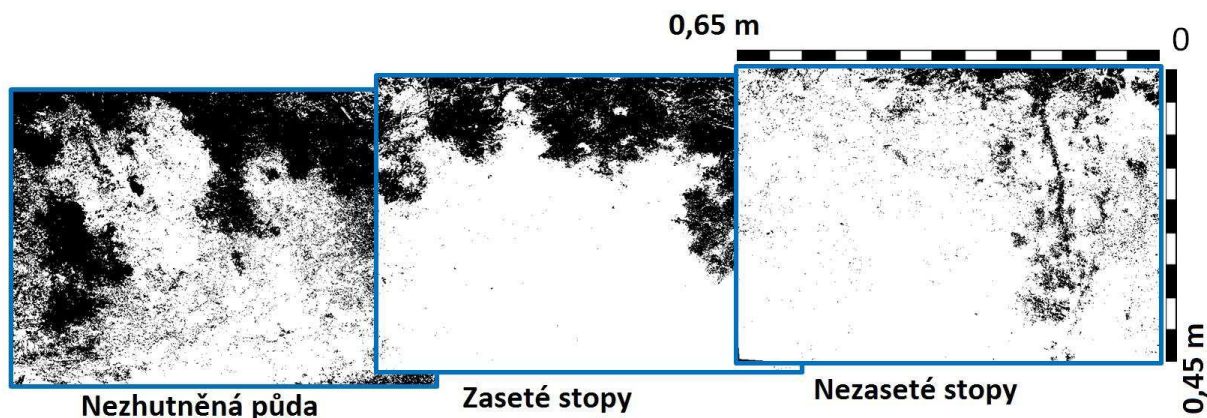
Tukeyův HSD test homogenních skupin je uveden v Tabulce 19. Z těchto výsledků je zřejmé, že zhutnění půdy má značný vliv na počet homogenních skupin v měřeném půdním horizontu. V případě zasetých stop nedochází ke statisticky významným rozdílům v hloubkách od 0,15 do 0,45 m, nicméně v případě nezasetých stop nedochází ke statisticky významným rozdílům již od hloubky 0,05 m. Největší variabilita homogenních skupin byla nalezena v případě nezhtutněné půdy. Tukeyův HSD test také prokázal, že nedošlo ke statisticky významným rozdílům v případě nezhtutněné půdy a zasetých stop v hloubce 0-0,10 m, avšak od hloubky 0,10 do 0,30 m se tyto dvě varianty statisticky významně liší. Od hloubky 0,30 m již nedošlo ke statisticky významným rozdílům mezi jednotlivými variantami.

Příklad vybraných fotografií po zpracování programem BMPTools je na Obrázku 32. Příklad vizuální stránky fotografií je zobrazen a okomentován v Příloze 8.

**Tabulka 19 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro indikaci toku vody pomocí brilantní modři na pozemku Large Marsh**

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádku; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v %;  $\alpha = 0,05$*

Hloubka [m]	Nezhtutněná půda	Zaseté stopy	Nezaseté stopy
<b>0 - 0,05</b>	88,84 a 1	71,77 b 1	36,45 c 1
<b>0,05 - 0,10</b>	78,03 a 1	61,07 a 1	9,99 b 2
<b>0,10 - 0,15</b>	54,47 a 2	30,81 b 2	8,63 c 2,3
<b>0,15 - 0,20</b>	39,83 a 3	13,34 b 2,3	5,16 b 2,3,4
<b>0,20 - 0,25</b>	30,49 a 3,4	7,06 b 2,3	3,31 b 3,4
<b>0,25 - 0,30</b>	24,36 a 4	3,88 b 3	2,12 b 4
<b>0,30 - 0,35</b>	16,85 a 4,5	2,51 b 3	0,61 b 4
<b>0,35 - 0,40</b>	9,31 a 5	2,03 b 3	N/A N/A
<b>0,40 - 0,45</b>	6,71 a 5	1,81 a 3	N/A N/A

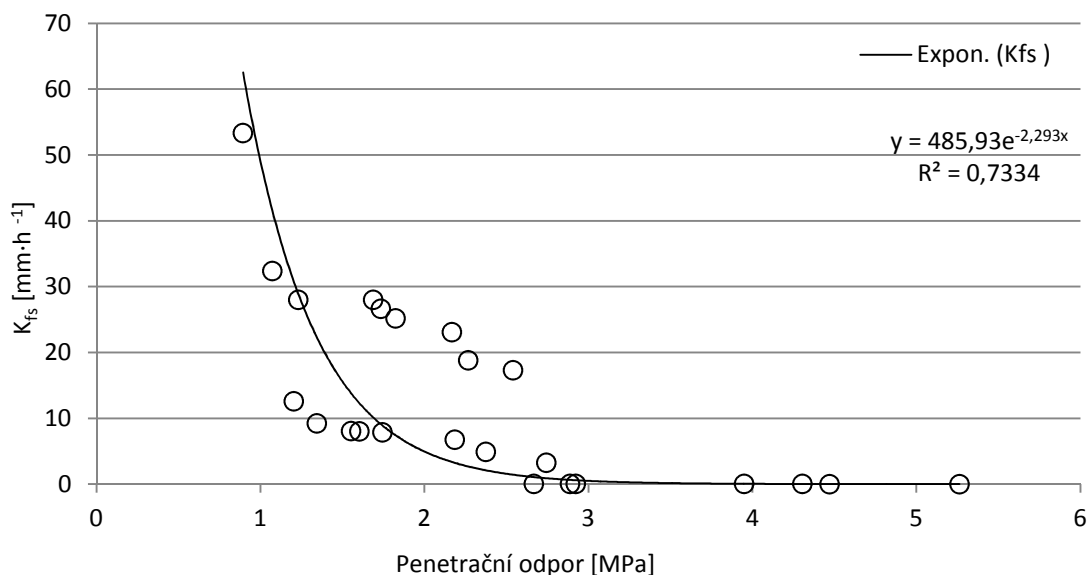


Obrázek 32 - Zobrazení modré barvy po zpracování programem BMPTools  
 Bílá barva - půda, černá barva - obarvená plocha

### 7.2.5 Porovnání závislostí naměřených hodnot z pozemku Large Marsh

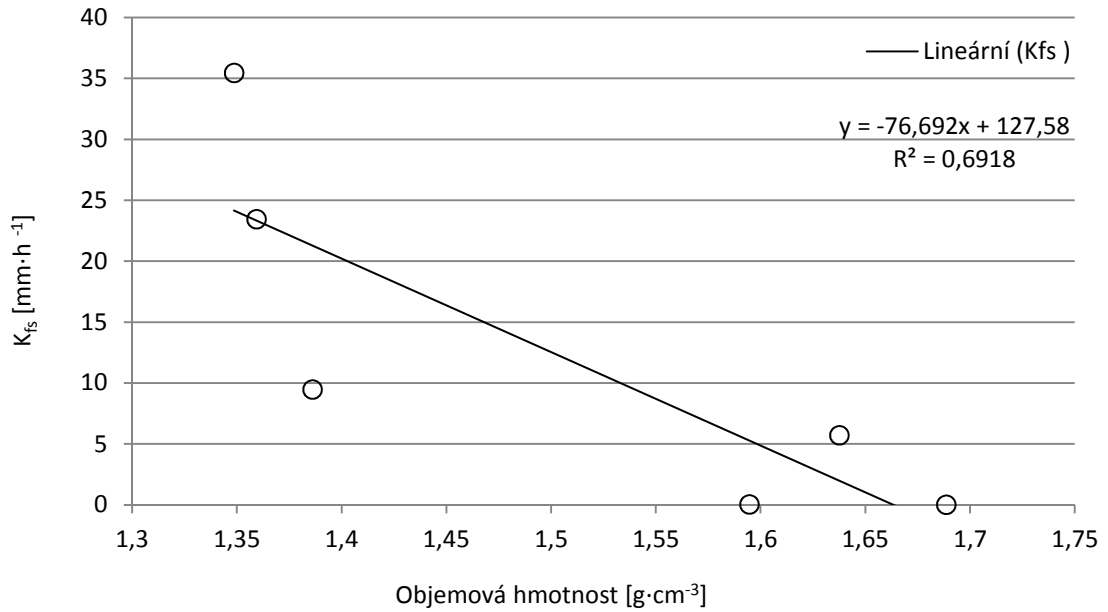
Veškeré hodnoty byly porovnávány z povrchové vrstvy půdy (hloubka 0-0,07 m) a to vzhledem k povrchovým měřením nasycené hydraulické vodivosti.

Při zkoumání závislosti nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy byla zjištěna klesající exponenciální závislost s korelačním koeficientem  $|R|=0,86$  (viz. Obrázek 33). Jedná se o závislost vysokou.



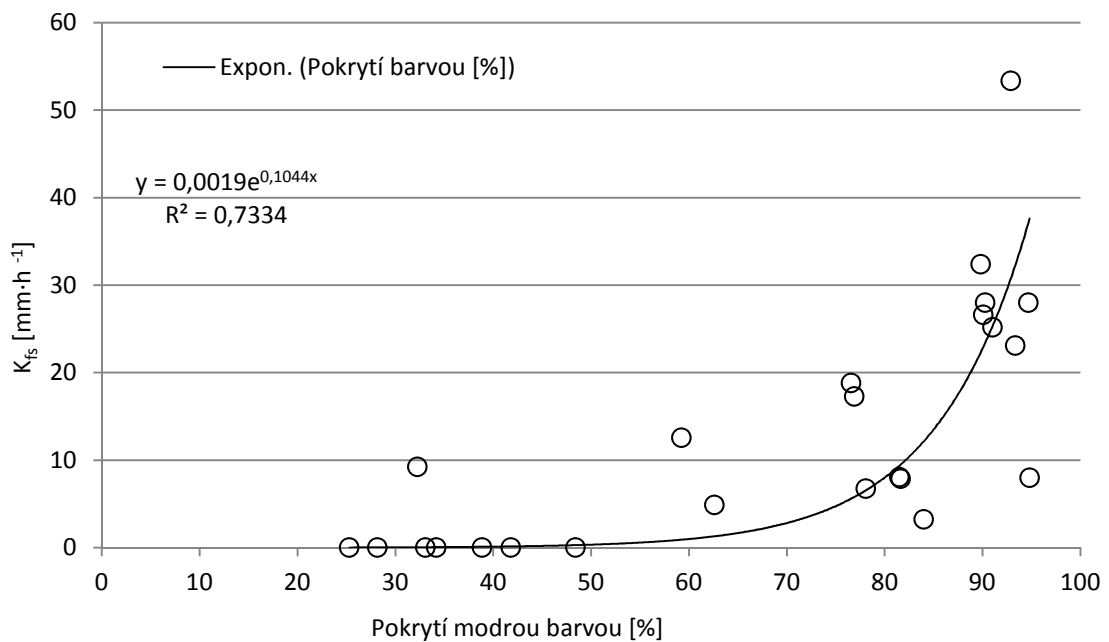
Obrázek 33 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy (Large Marsh)

V případě závislosti nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti půdy byl zjištěn klesající lineární trend s vysokou závislostí a korelačním koeficientem  $|R|=83$  (viz. Obrázek 34).



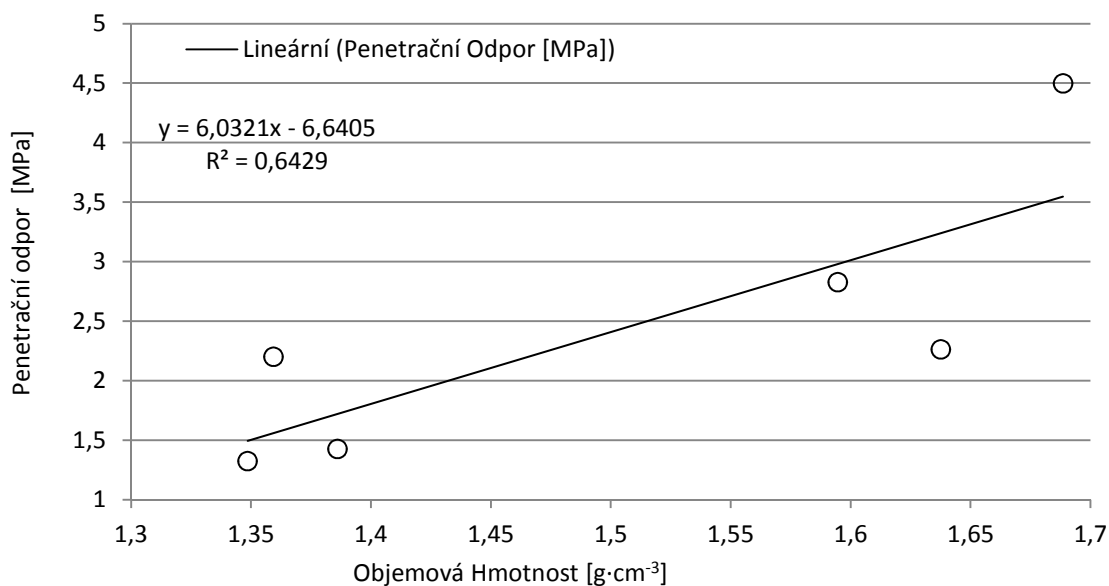
Obrázek 34 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti půdy (Large Marsh)

Závislost nasycené hydraulické vodivosti na pokrytí povrchu modrou barvou (indikace toku vody pomocí brilantní modři) byla zjištěna exponenciálně stoupající. Výsledná hodnota koeficientu korelace byla zjištěna  $|R|=0,86$ , což znamená vysokou závislost (Obrázek 35).



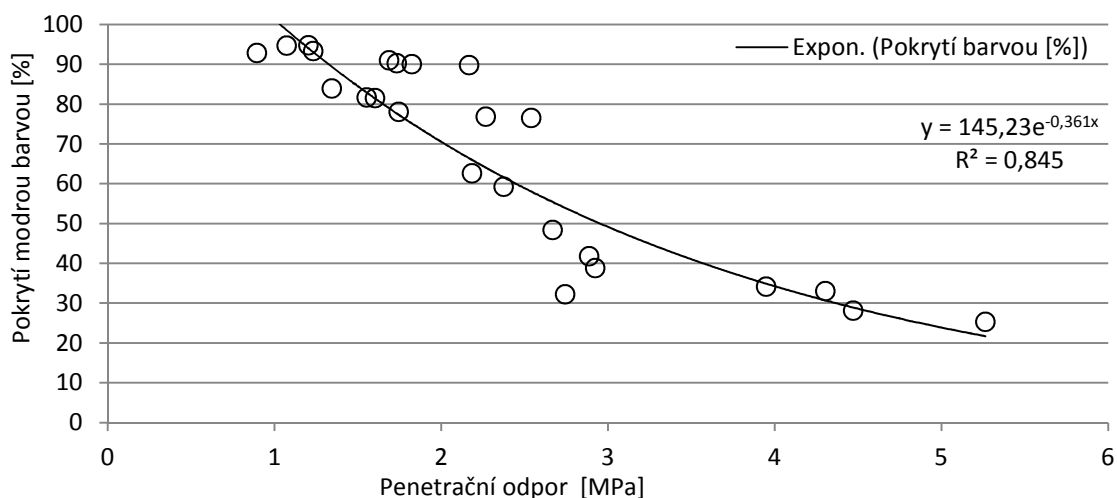
Obrázek 35 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na pokrytí modrou barvou (Large Marsh)

Při zkoumání závislosti penetračního odporu na objemovou hmotnost půdy byla zjištěna závislost lineárně stoupající (Obrázek 36). Korelační koeficient  $|R|=0,80$  (vysoká závislost).



Obrázek 36 - Závislost penetračního odporu půdy na objemovou hmotnost půdy (Large Marsh)

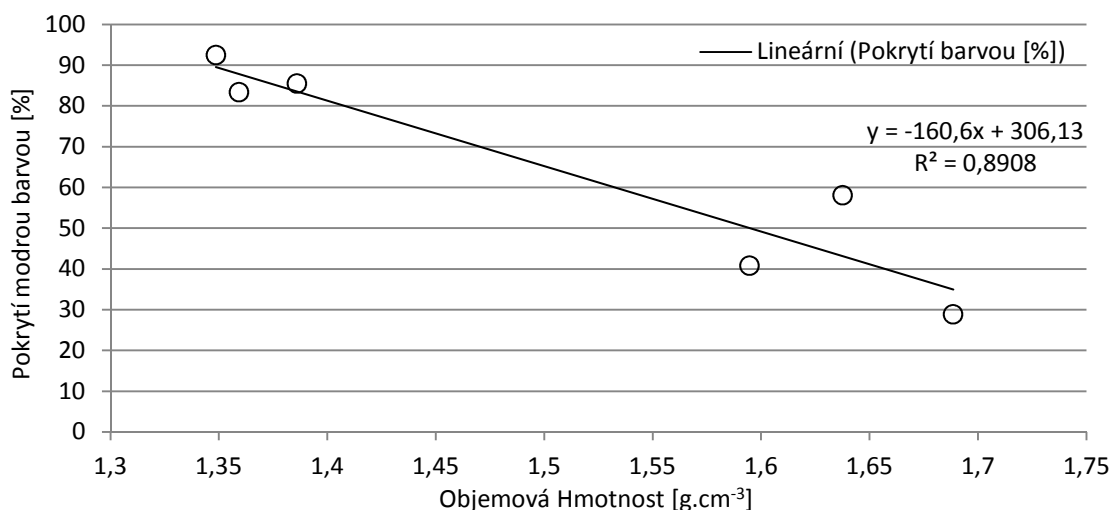
Pokrytí modrou barvou (indikace toku vody pomocí brilantní modři) měla závislost na penetračním odporu půdy exponenciálně klesající s koeficientem  $|R|=0,92$  (velmi vysoká závislost). Obrázek 37 tuto závislost znázorňuje.



Obrázek 37 - Závislost pokrytí modrou barvou na penetračním odporu půdy (Large Marsh)

Klesající závislost byla také nalezena při vztahu pokrytí modrou barvou (indikace toku vody pomocí brilantní modři) na objemové hmotnosti (Obrázek 38) půdy, ovšem v tomto případě se jednalo o lineární závislost s  $|R|=0,94$  (velmi vysoká závislost).

Závislosti, kde byly hodnoceny penetrační odpory půdy, mohly být ovlivněny vysokou kamenitostí pozemku. To znamená, že mohly být naměřeny vyšší hodnoty korelačního koeficientu nebo i jiné závislosti.



Obrázek 38 - Závislost pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti půdy (Large Marsh)

### 7.2.6 Závěry pro měření provedených na pozemku Large Marsh

Výsledky penetračních měření prokázaly vliv přejezdů zemědělských strojů na zhutnění půdy. Byly nalezeny statisticky významné rozdíly od hloubky 0,2 m mezi všemi měřenými variantami, přičemž hodnoty penetračních odporů v nezasetých stopách se statisticky významně lišily od ostatních variant v celé sledované hloubce půdního horizontu.

Výsledky objemových hmotností půdy (půdní vzorky) neprokázaly statisticky významné rozdíly, jak mezi jednotlivými sledovanými variantami, tak mezi jednotlivými měřenými hloubkami, i když byl nalezen nárůst průměrných hodnot se stupněm zhutnění. Obdobné výsledky přineslo měření momentálního obsahu vlhkosti, kde je možné sledovat v horní vrstvě půdy nárůst momentální vlhkosti se stupněm zhutnění (1-3 přejezdy), přičemž v případě nezasetých stop došlo k výraznému nárůstu průměrných hodnot momentální vlhkosti v hloubce 0,14-0,21 m. Tento nárůst mohl být způsoben vytvořeným "žlabem" ve stopě zemědělských strojů, ale mohl být také ovlivněn tím, že daná plocha nebyla zasetá (plocha nabyla ovlivněna kořenovým systémem, případně výživou plodin).

Výsledky nasycené hydraulické vodivosti prokázaly vliv zhutnění půdy na infiltrační vlastnosti půdy. Lze konstatovat, že vliv přejezdů po pozemcích má významný vliv na schopnost půdy vstřebávat vodu (viz. kapitola 7.2.3, Tabulka 18). Hodnoty prokázaly statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami, přičemž nejvyšších hodnot bylo dosaženo v případě nezhutněné půdy, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u varianty nezasetých stop.

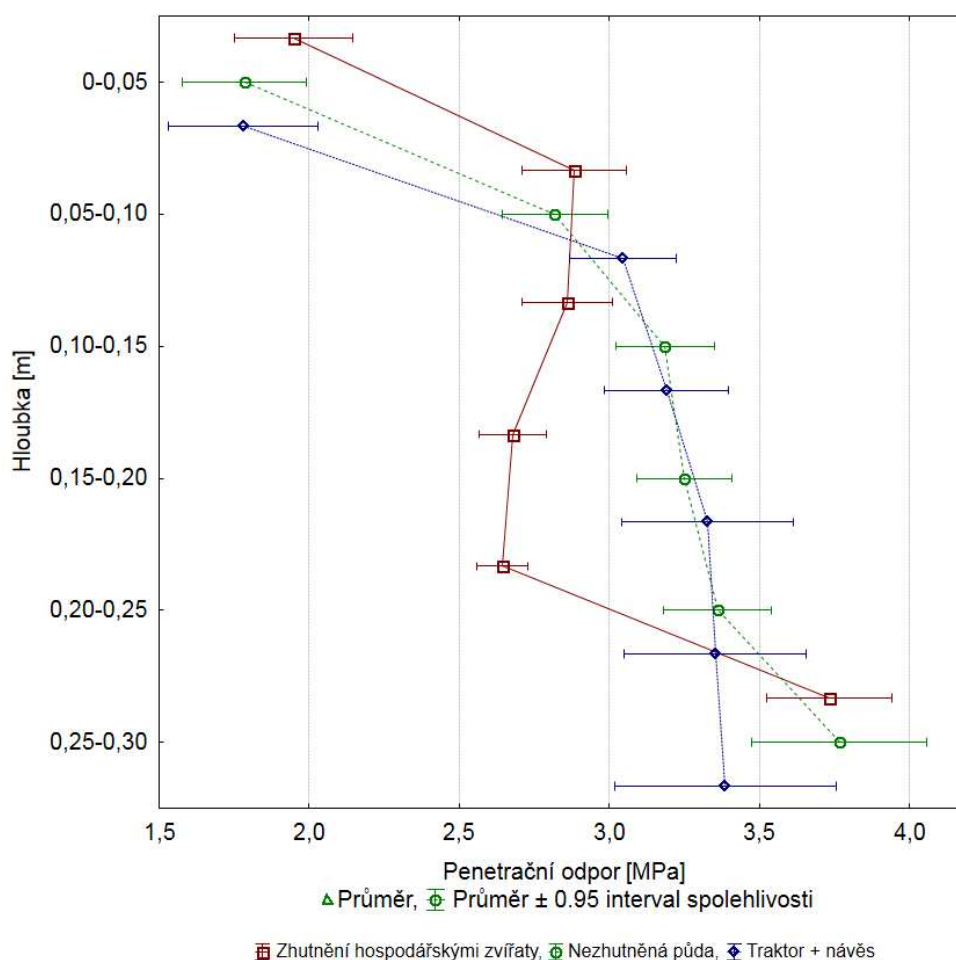


Metoda indikace toku vody pomocí brilantní modři potvrdila výsledky naměřené pomocí metody nasycené hydraulické vodivosti. Přesto se nepotvrdil statisticky významný rozdíl mezi variantami nezhuťněné půdy a zasetých stop v horní vrstvě sledovaného horizontu půdy (do hloubky 0,1 m), zatímco ve větších hloubkách než 0,2 m nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi zasetými stopami a nezasetými stopami.

## 7.3 Výsledky měření z pozemku Bird's Nest

### 7.3.1 Penetrační měření

Hodnoty penetračních odporů na Obrázku 39 poukazují na minimální odlišnosti mezi jednotlivými typy zhutnění půdy. K odlišnosti došlo pouze v případě zhutnění sešlapáním hospodářskými zvířaty (hloubka 0,1-0,25 m) a zde byl také nalezen statisticky významný rozdíl od ostatních variant (viz. Tabulka 20).



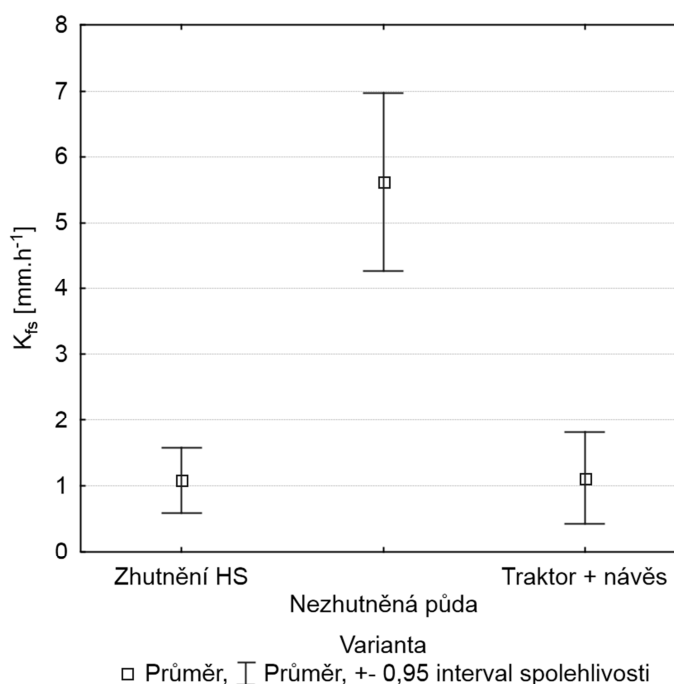
Obrázek 39 – Penetrační odpory naměřené na pozemku Bird's Nest

**Tabulka 20 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory na pozemku Bird's Nest**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v MPa; HS - hospodářská zvířata;  $\alpha = 0,05$*

Hloubka	Zhutnění sešlapáním HS		Nezhutněná půda		Traktor + návěs	
0 - 0,05	1,95	a <sub>1</sub>	1,79	a <sub>1</sub>	1,78	a <sub>1</sub>
0,05 - 010	2,89	a <sub>2</sub>	2,82	a <sub>2</sub>	3,05	a <sub>2</sub>
0,10 - 0,15	2,86	a <sub>2</sub>	3,19	b <sub>2,3</sub>	3,19	b <sub>2</sub>
0,15 - 0,20	2,68	a <sub>2</sub>	3,25	b <sub>3</sub>	3,33	b <sub>2</sub>
0,20 - 0,25	2,64	a <sub>2</sub>	3,36	b <sub>3</sub>	3,35	b <sub>2</sub>
0,25 - 0,30	3,73	a <sub>3</sub>	3,77	a <sub>4</sub>	3,39	a <sub>2</sub>

### 7.3.2 Nasycená hydraulická vodivost

Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti (SFH) jsou na Obrázku 40 a zcela nekorespondují s hodnotami penetračních odporů (viz. kapitola 7.3.1, Obrázek 39) a to v případě varianty traktoru s návěsem. U této varianty by mohl být očekáván, na základě penetračních odporů, nárůst hodnot nasycené hydraulické vodivosti ke kterému nedošlo.



**Obrázek 40 – Nasycená hydraulická vodivost na pozemku Bird's Nest**  
*HS - hospodářskými zvířaty*

Z hodnot je zcela zřejmé, že kontaktní tlak 200 – 250 kPa byl velmi dobře rozložen po celé ploše parcely vzhledem k náhodně vybraným měřicím bodům. Je také možné říci, že při stejném kontaktním tlaku omezí hodnoty infiltrace (nasycené hydraulické vodivosti) traktor

s návěsem stejnou měrou, jako sešlapání hospodářskými zvířaty na pastvě, což potvrzuje Tukeyův HSD test homogenních skupin (viz. Tabulka 21). Rozdíly průměrných hodnot mezi zhutněním sešlapáním hospodářskými zvířaty a traktorem s návěsem jsou minimální (3%), přesto došlo k více než 80% poklesu oproti hodnotám naměřeným na nezhutněné půdě. Popisná statistika hodnot nasycené hydraulické vodivosti (SFH) je uvedena v Příloze 9.

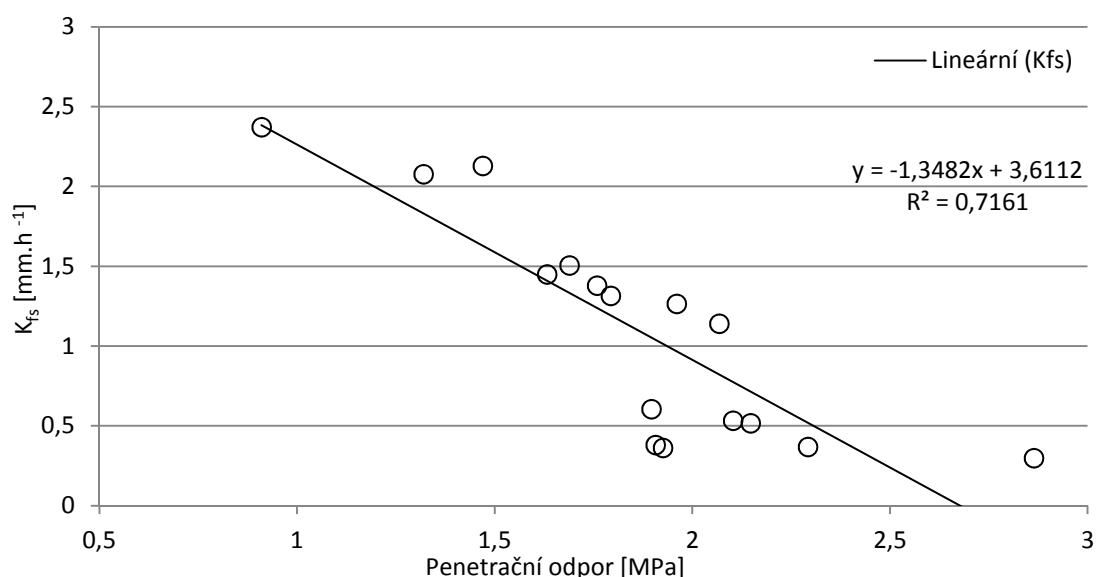
Tabulka 21 - Tukeyův HSD test homogenních skupin nasycené hydraulické vodivosti na pozemku Bird's Nest  
HS - hospodářská zvířata; při  $\alpha = 0,05$

Varianta	$K_{fs}$ [mm·h <sup>-1</sup> ]	1	2
Zhutnění sešlapáním HS	1,09	****	
Nezhutněná půda	5,63		****
Traktor + návěs	1,12	****	

### 7.3.3 Porovnání závislostí naměřených hodnot na pozemku Bird's Nest

V případě pozemku Bird's Nest byla zjišťována jediná závislost a to závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy. Hodnoty byly porovnávány z povrchové vrstvy půdy (hloubka 0-0,05 m).

Nalezená závislost mezi veličinami nasycené hydraulické vodivosti a penetračního odporu byla zjištěna klesající a lineární (Obrázek 41). Koeficient korelace měl hodnotu  $|R|=0,85$ , to je vysoká závislost.



Obrázek 41 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy (Bird's Nest)

### 7.3.4 Závěry pro měření provedených na pozemku Bird's Nest

V případě penetračních odporů nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi variantami a to až do hloubky 0,10 m. V hloubkách větších 0,10-0,25 m byly naměřeny

statisticky významné nejnižší hodnoty pro variantu zhutnění hospodářskými zvířaty, což je s výsledky nasycené hydraulické vodivosti v rozporu. Tento rozpor lze vysvětlit velmi kamenitou půdou na pozemku Bird's Nest, a tím mohly být výsledky penetračních odporů do značné míry ovlivněny.

Výsledky nasycené hydraulické vodivosti potvrdily předchozí měření ve smyslu, že zhutnění půdy významně ovlivňuje infiltrační vlastnosti půdy. I když bylo toto ovlivnění potvrzeno, nedošlo ke statisticky významným rozdílům mezi zhutněním hospodářskými zvířaty a traktorem s návěsem. Naopak výsledky prokazují, že mezi zhutněním hospodářskými zvířaty a zemědělskými stroji, při stejném kontaktním tlaku, nevzniká statisticky významný rozdíl. Vlivem zhutnění při kontaktním tlaku 200-250 kPa dochází ke snížení infiltračních vlastností půdy o 80-81% v porovnání s nezhutněnou půdou.

## **7.4 Výsledky měření z pozemku Červený Újezd**

### **7.4.1 Rok nula, výchozí podmínky**

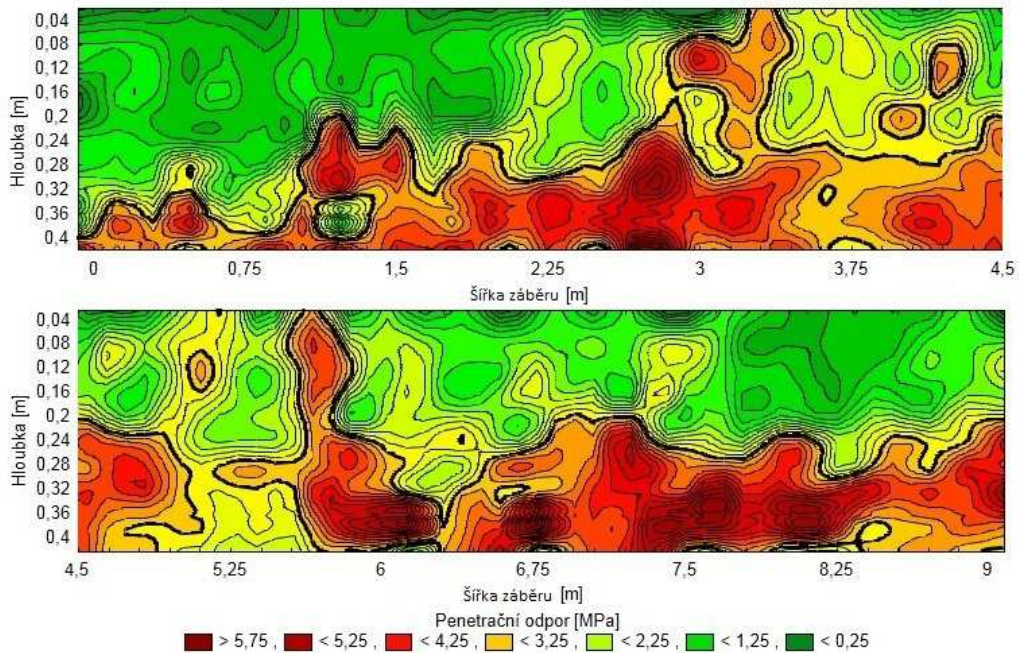
#### **7.4.1.1 Penetrační odpor**

V případě výchozích podmínek byly náhodně zvoleny dvě části pozemku, kde se provedlo měření penetračních odporů ve výsečích o délce 9 m, které byly kolmo na směr jízdy zemědělských strojů.

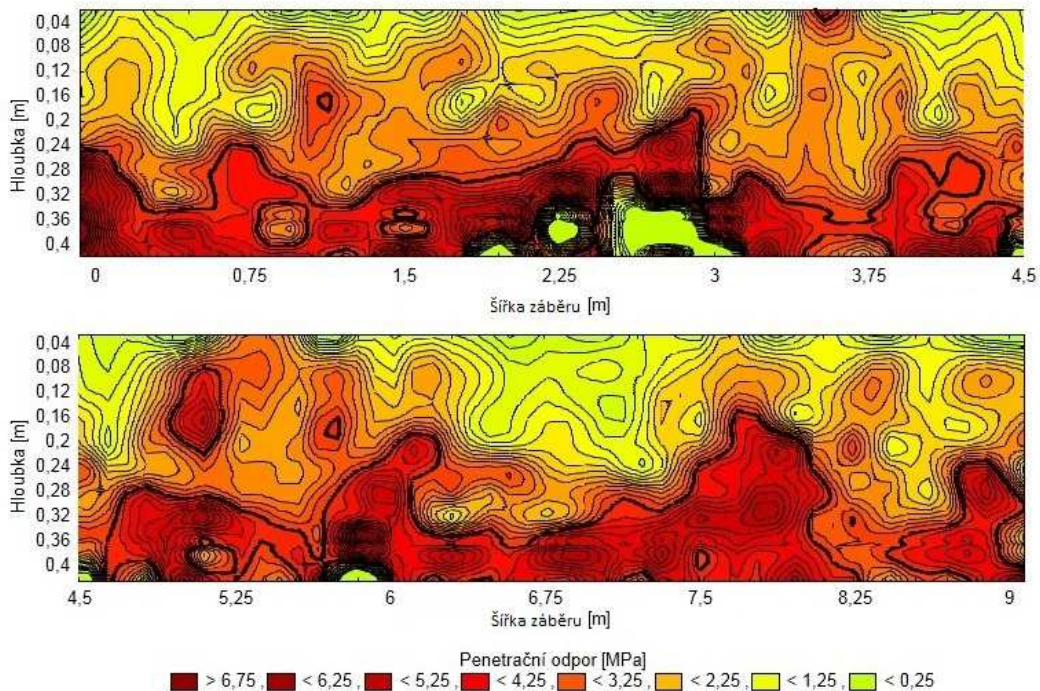
První měření penetračních odporů je na Obrázku 42. Silná čára na obrázku rozděluje hodnoty na hranici hodnot 2 MPa (střední hodnota zastoupených hodnot penetračních odporů), může být konstatováno, že pozemek byl v této části zpracováván do hloubky 0,2 m. Zvýšené hodnoty v oblastech vzdálenosti šířky záběru 3-4,35 m a 4,95-6,30 m je možné vysvětlit provozem zemědělských strojů při pěstování řepky.

Druhé měření penetračních odporů (Obrázek 43) ukázalo celkové navýšení hodnot penetračního odporu především v hloubkách větších než 0,28 m. V tomto případě je výrazně oddělena oblast na hranici hodnoty 3 MPa (střední hodnota zastoupených hodnot penetračních odporů), nicméně pokud jsou obrázky porovnány, je možné konstatovat jako v předchozím případě, že půda byla zpracovávána do hloubky 0,2 m. I v tomto případě je možné sledovat navýšené hodnoty do hloubky 0,2 m a to ve vzdálenostech šířky záběru 3,6; 4,95-5,85 m. Vzhledem k celkovému navýšení penetračních odporů nebylo možné naměřit

penetrační odpory v hloubkách větších než 0,36 m pro vzdálenosti šířky záběru 1,95; 2,25; 2,55-3 a 5,85 m.



Obrázek 42 - První výšeč penetračních měření (rok 0, Červený Újezd)



Obrázek 43 - Druhá výšeč penetračních měření (rok 0, Červený Újezd)

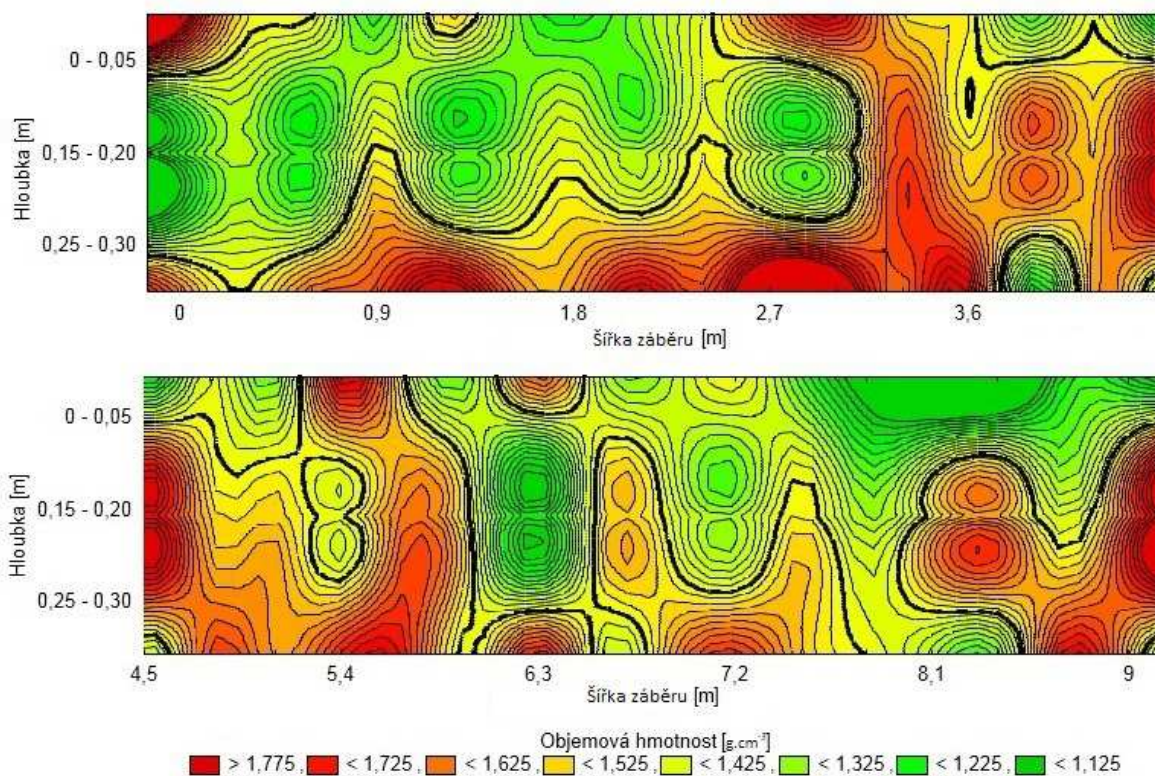
V obou případech byla použita tři opakování v celé měřené šířce záběru (obrázky jsou vyhodnoceny z průměrných hodnot jednotlivých opakování). Vzhledem k organizaci jízd po pozemku nebylo provedeno statistické hodnocení pro penetrační odpory v roce nula.



### 7.4.1.2 Odběr půdních vzorků

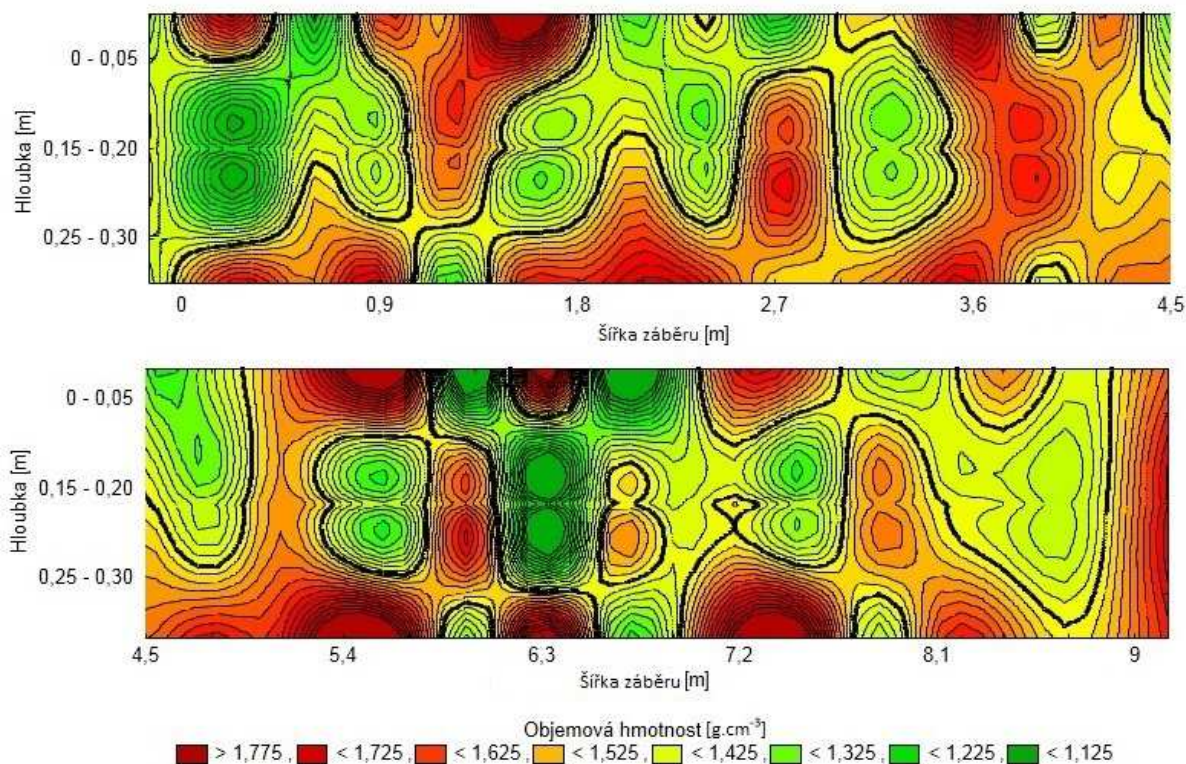
Odběry vzorků fyzikálních válečků probíhaly stejně jako v předchozím případě ve výsečích, odlišnost je v hloubkách odběru (0-0,05; 0,15-0,20 a 0,25-0,30m) a ve velikosti kroku 0,30 m bez opakování. Pozornost byla soustředěna na výsledky objemové hmotnosti.

První výseč objemových hmotností (Obrázek 44) ukazuje obdobné výsledky jako měření penetračních odporů (vzdálenosti šířky záběru 2,4-4,6 a 5,10-6,30 m) ovšem s menším rozlišením, které bylo způsobeno menším počtem měření (hloubky a krok). Silná čára zobrazuje objemové hmotnosti rovnající se  $1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (střední hodnota zastoupených hodnot objemových hmotností).



Obrázek 44 - První výseč objemových hmotností (rok 0, Červený Újezd)

Obrázek 45 uvádí druhou výseč objemových hmotností. V tomto případě je zřejmá značná variabilita objemových hmotností v menších hloubkách v porovnání s první výsečí (Obrázek 44). Je také možné říci, že v případě druhé výseče došlo k navýšení hodnot objemových hmotností, což koresponduje s výsledky penetračních odporů (viz. Obrázek 43). I v tomto případě silná dělicí čára rozděluje hodnoty na hranici  $1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

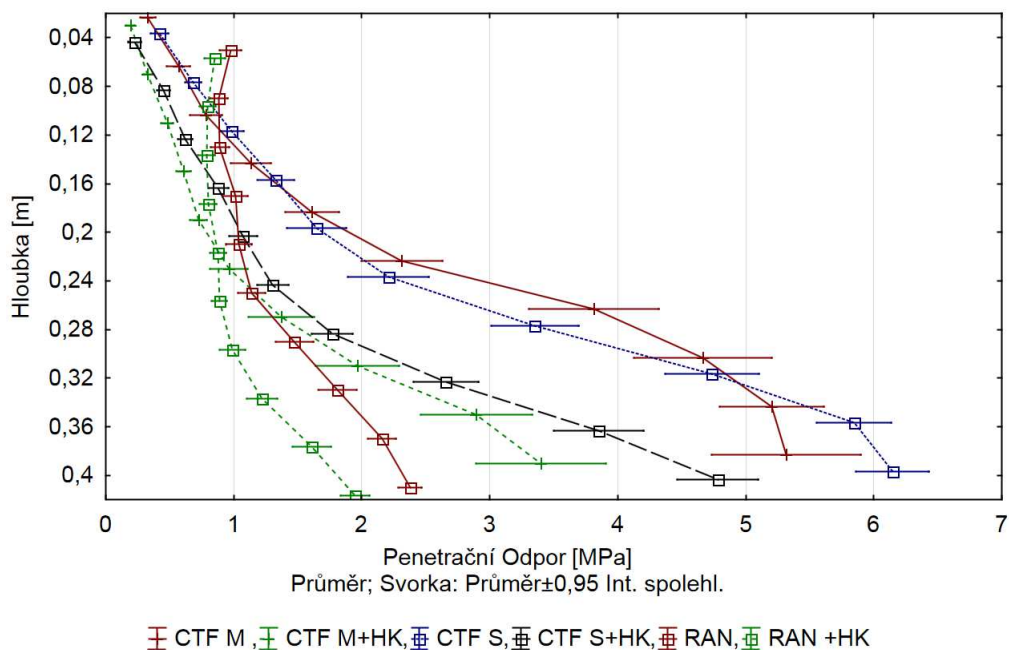


Obrázek 45 - Druhá výseč objemových hmotností (rok 0, Červený Újezd)

## 7.4.2 První rok experimentu

### 7.4.2.1 Penetrační měření

Obrázek 46 zobrazuje penetrační odpory pro jednotlivé varianty v prvním roce experimentu. Až do hloubky 0,12 m se většina variant pohybuje pod hodnotou, nebo kolem hodnoty 1 MPa. K významnějším rozdílům mezi penetračními odpory dochází především od hloubky 0,2 m, kde se oddělují hodnoty CTF mimo stopu a CTF ve stopě. Celkově nejlépe vychází hodnoty CTF mimo stopu s variantou hlubokého kypření, které jsou až do hloubky 0,24 m pod hodnotou 1 MPa podobně je na tom varianta náhodných přejezdů s variantou hlubokého kypření. V Tabulce 22 jsou uvedeny průměrné hodnoty penetračních odporů se statisticky významnými rozdíly. Jak je zřejmé již z Obrázku 46 dochází k významným statistickým rozdílům jak v jednotlivých hloubkách, tak mezi jednotlivými variantami a to již od nejmenší hloubky 0,04 m a to i přes to, že se všechny varianty pohybovaly pod hodnotou 1 MPa do hloubky 0,12 m.



**Obrázek 46 - Penetrační odpory (1. rok, Červený Újezd)**

CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Měření penetračních odporů byla uskutečněna pro každou variantu ve výsečích v celkové délce 4,05 m s krokem 0,15 m. U varianty CTF je zřejmý vliv hlubokého kypření před založením pokusu (před rokem 0), což potvrzují hodnoty uvedené v Tabulce 22.

**Tabulka 22 - Tukeyův HSD test, penetračních odporů (1. rok, Červený Újezd)**

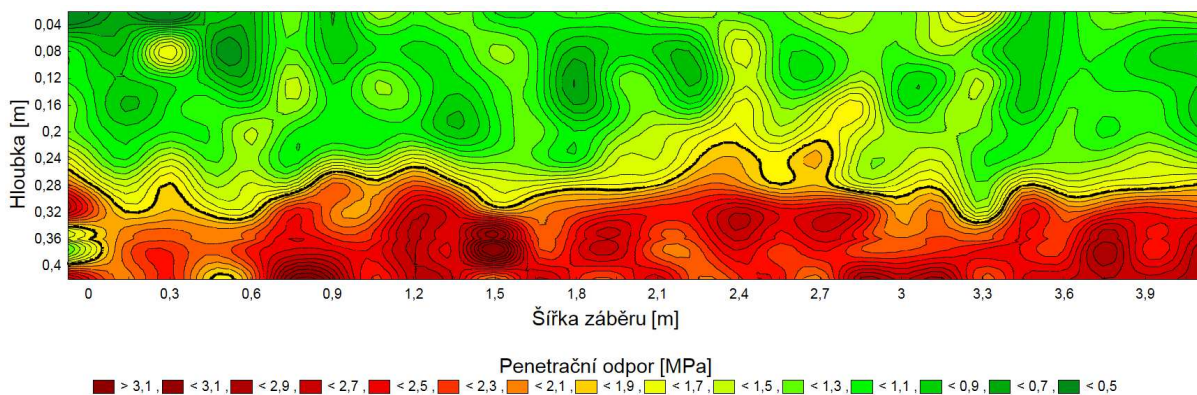
a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; průměrné hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0,05$   
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Hloubka [m]	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	RAN	RAN +HK
0,04	0,33 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	0,19 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	0,42 <sup>b</sup> <sub>1</sub>	0,23 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	0,98 <sup>c</sup> <sub>1,2</sub>	0,85 <sup>c</sup> <sub>1</sub>
0,08	0,57 <sup>b,c</sup> <sub>1,2</sub>	0,33 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	0,68 <sup>c</sup> <sub>1,2</sub>	0,45 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	0,88 <sup>e</sup> <sub>1</sub>	0,79 <sup>d</sup> <sub>1</sub>
0,12	0,79 <sup>b,c</sup> <sub>1,2</sub>	0,48 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	0,99 <sup>d</sup> <sub>2,3</sub>	0,62 <sup>a,b</sup> <sub>1,2</sub>	0,89 <sup>d</sup> <sub>1</sub>	0,79 <sup>c</sup> <sub>1</sub>
0,16	1,13 <sup>b</sup> <sub>2,3</sub>	0,61 <sup>c</sup> <sub>1,2</sub>	1,33 <sup>d</sup> <sub>3,4</sub>	0,88 <sup>a</sup> <sub>2,3</sub>	1,01 <sup>b</sup> <sub>1,2</sub>	0,80 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,2	1,61 <sup>c</sup> <sub>3,4</sub>	0,73 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,64 <sup>c</sup> <sub>4</sub>	1,07 <sup>b</sup> <sub>3,4</sub>	1,04 <sup>b</sup> <sub>1,2</sub>	0,88 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,24	2,31 <sup>c</sup> <sub>4</sub>	0,96 <sup>a</sup> <sub>2,3</sub>	2,21 <sup>c</sup> <sub>5</sub>	1,31 <sup>b</sup> <sub>4</sub>	1,14 <sup>b</sup> <sub>2</sub>	0,89 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,28	3,82 <sup>d</sup> <sub>5</sub>	1,37 <sup>a,b</sup> <sub>3</sub>	3,35 <sup>c</sup> <sub>6</sub>	1,77 <sup>a</sup> <sub>5</sub>	1,47 <sup>a</sup> <sub>3</sub>	0,99 <sup>b</sup> <sub>1</sub>
0,32	4,67 <sup>b</sup> <sub>6</sub>	1,97 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	4,74 <sup>b</sup> <sub>7</sub>	2,66 <sup>d</sup> <sub>6</sub>	1,81 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	1,22 <sup>c</sup> <sub>2</sub>
0,36	5,20 <sup>e</sup> <sub>6</sub>	2,90 <sup>c</sup> <sub>5</sub>	5,85 <sup>f</sup> <sub>8</sub>	3,85 <sup>d</sup> <sub>7</sub>	2,16 <sup>b</sup> <sub>5</sub>	1,61 <sup>a</sup> <sub>3</sub>
0,4	5,32 <sup>b</sup> <sub>6</sub>	3,40 <sup>c</sup> <sub>5</sub>	6,15 <sup>d</sup> <sub>8</sub>	4,78 <sup>b</sup> <sub>8</sub>	2,38 <sup>a</sup> <sub>5</sub>	1,95 <sup>a</sup> <sub>4</sub>

Zobrazení hodnot penetračních odporů ve výseči pro variantu CTF (viz. Obrázek 47) ukazuje na vliv zemědělských strojů na penetrační odpor půdy a to zejména ve vzdálenostech šířky záběru 0,7-1,7 a 2,3-3,3 m, kde došlo k navýšení penetračních hodnot. Je

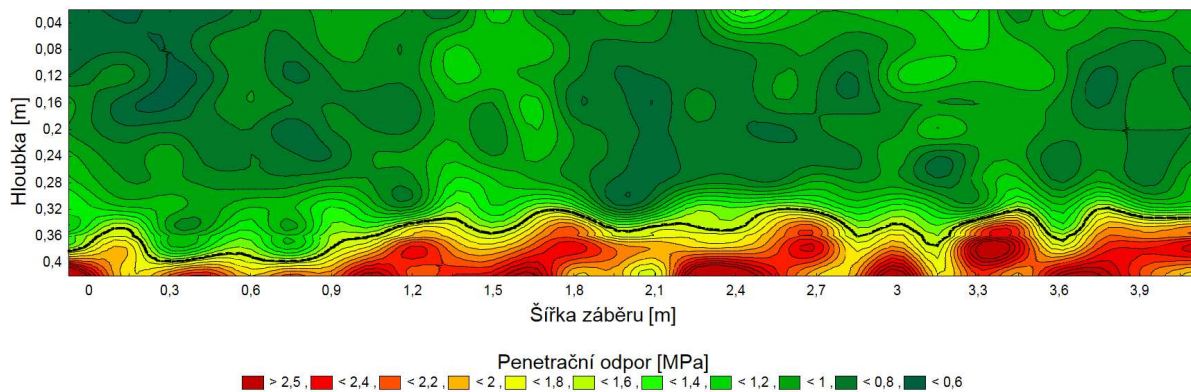


zde také možné sledovat významný vliv zpracování půdy na penetrační odpor do hloubky 0,24 m. Předěl o hodnotě 2 MPa (střední hodnota zastoupených hodnot) je zvýrazněn silnou čarou.



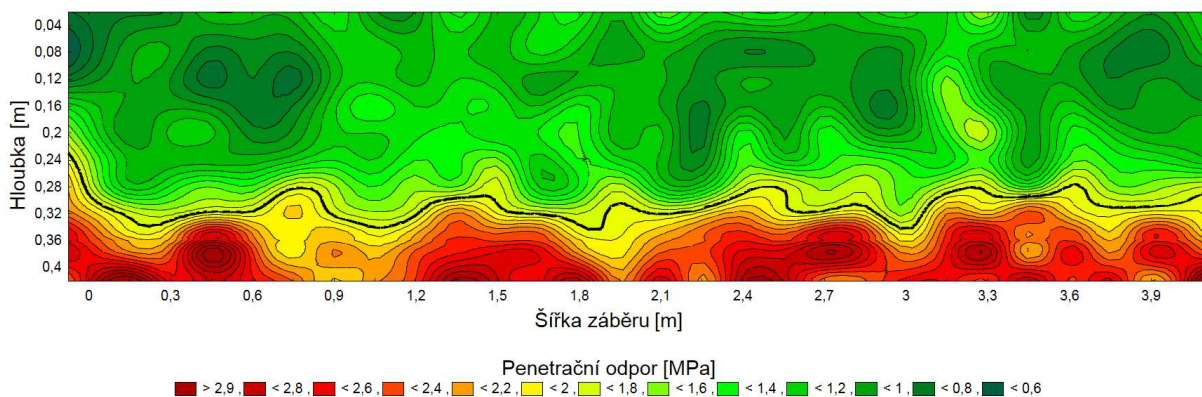
**Obrázek 47 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF (1. rok, Červený Újezd)**

Stejně jako u varianty CTF je možné nalézt vliv přejezdů zemědělských strojů na penetrační odpor půdy v případě varianty CTF s hlubokým kypřením (viz. Obrázek 48) ve vzdálenostech šířky záběru 1,2-1,8 a 3-3,6 m. Při porovnání obou variant (CTF a CTF s hlubokým kypřením), je možné říci, že varianta s hlubokým kypřením má více homogenní strukturu než varianta bez hlubokého kypření. Lze také konstatovat, že hluboké kypření snížilo hodnoty penetračních odporů pod hranici 2 MPa až do hloubky 0,32 m (hluboké kypření bylo provedeno do hloubky 0,45 m).



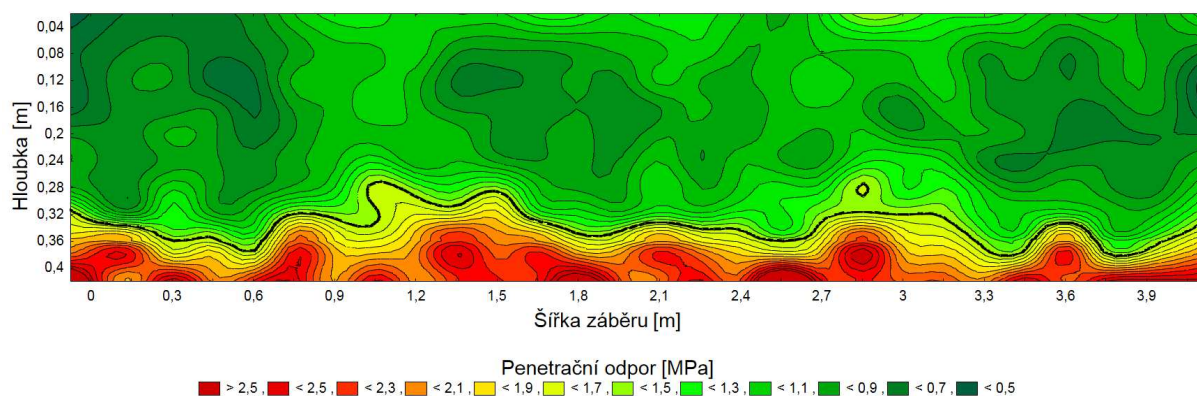
**Obrázek 48 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF s hlubokým kypřením (1. rok, Červený Újezd)**

Hodnoty penetračních odporů varianty náhodných přejezdů (viz. Obrázek 49) ukazují na přejezdy zemědělských strojů ve vzdálenosti šířky záběru od 0,8-3,6 m s méně zhuštěnou částí ve vzdálenosti šířky záběru 2,2-3 m. Hranice 2 MPa je znázorněna silnou čarou a nachází se v hloubce cca 0,28 m.



Obrázek 49 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů (1. rok, Červený Újezd)

U varianty náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (viz. Obrázek 50) je zřejmá větší homogenita zpracované půdní vrstvy, celkově jsou hodnoty penetračních odporů, do hloubky 0,32 m, nižší než ve variantě bez hlubokého kypření. Vliv přejezdů na penetrační odpory je zřetelný ve vzdálenostech šířky záběru 0,7-0,3 a 2,1-3,3 m. Hranice 2 MPa je opět zvýrazněna silnou čarou.



Obrázek 50 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (1. rok, Červený Újezd)

#### 7.4.2.2 Odběr půdních vzorků

Hlavní sledované parametry při odběru půdních vzorků byly hodnoty objemové hmotnosti, momentální vlhkosti, celkové pórovitosti, kapilární a nekapilární pórovitosti pro jednotlivé varianty v pěti různých hloubkách.

Tabulka 23 zobrazuje průměrné hodnoty objemových hmotností, je v ní možné sledovat navýšení těchto hodnot měřených ve stopě oproti hodnotám naměřeným mimo stopu. Nicméně při porovnání variant pro jednotlivé hloubky, nebyly ve většině případů nalezeny statisticky významné rozdíly. Výjimku tvoří hodnoty naměřené v hloubce 0,20-0,25 m, kde došlo ke statisticky významným rozdílům a to především mezi variantami CTF mimo stopu s hlubokým kypřením a CTF ve stopě.

**Tabulka 23 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti (1. rok, Červen Újezd)**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*   
*CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Objemová hmotnost $\rho_d$ [g·cm <sup>-3</sup> ]												
Hloubka	CTF M		CTF M+HK		CTF S		CTF S+HK		RAN		RAN +HK	
<b>0 - 0,05</b>	1,38	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,31	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,44	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,41	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,39	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,36	<sup>a</sup> <sub>1</sub>
<b>0,05 - 0,10</b>	1,40	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,37	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,48	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,47	<sup>a</sup> <sub>1,2,3</sub>	1,40	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,40	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	1,43	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,45	<sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,52	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,43	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,46	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,43	<sup>a</sup> <sub>1,2,3</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	1,43	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,45	<sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,53	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,53	<sup>a</sup> <sub>3</sub>	1,47	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,44	<sup>a</sup> <sub>2,3</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	1,53	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,46	<sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,56	<sup>b</sup> <sub>2</sub>	1,52	<sup>a,b</sup> <sub>2,3</sub>	1,51	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,49	<sup>a</sup> <sub>3</sub>

Hodnoty momentálních vlhkostí (viz. Tabulka 24) také, jako v případě objemových hmotností, neukázaly příliš velkou variabilitu. Do hloubky 0,10 m nedošlo ke statisticky významným rozdílům jak v jednotlivých hloubkách měření, tak pro jednotlivé varianty. Co se jednotlivých hloubek týče, je možné říci, že v celém měřeném profilu pro každou variantu je pouze jedna homogenní skupina. Při hodnocení jednotlivých variant je zjevný nárůst průměrných hodnot momentálních vlhkostí, byť statisticky nevýznamný, mimo stopy zemědělských strojů.

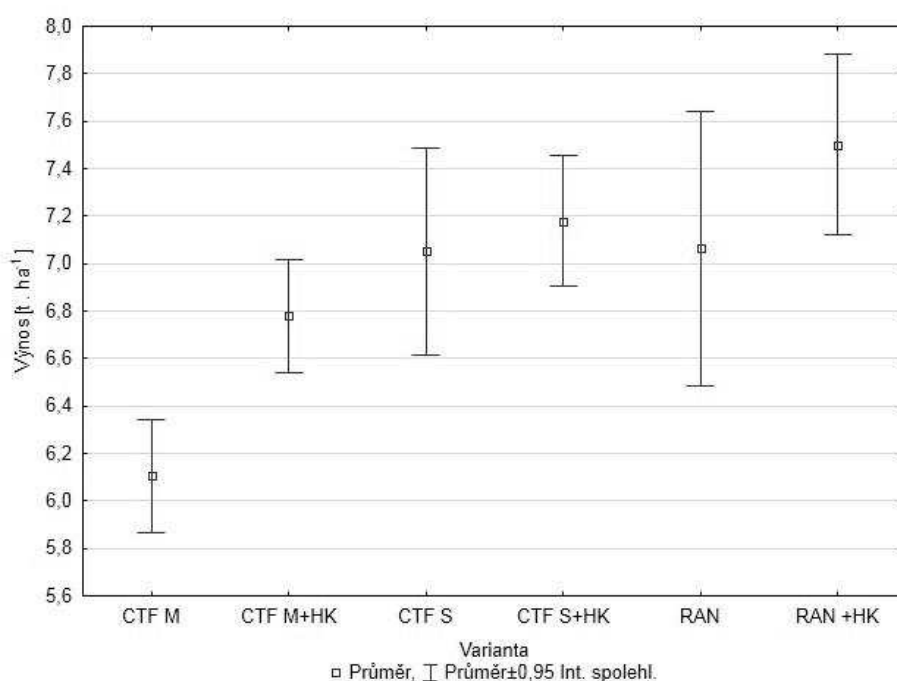
**Tabulka 24 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti (1. rok, Červený Újezd)**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*   
*CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Momentální vlhkost $\theta_{mom}$ [% obj.]												
Hloubka	CTF M		CTF M+HK		CTF S		CTF S+HK		RAN		RAN +HK	
<b>0 - 0,05</b>	36,95	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	36,85	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,67	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,51	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	36,40	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	36,84	<sup>a</sup> <sub>1</sub>
<b>0,05 - 0,10</b>	36,88	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,77	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,11	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,85	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,34	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	36,29	<sup>a</sup> <sub>1</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	37,83	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,89	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	35,66	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	34,60	<sup>b</sup> <sub>1</sub>	35,84	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	36,80	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	37,06	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	38,23	<sup>b</sup> <sub>1</sub>	34,66	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	34,39	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	36,31	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	37,19	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	35,39	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	37,04	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	34,31	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,38	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	36,25	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	38,98	<sup>b</sup> <sub>1</sub>

Tabulka průměrných hodnot celkové pórovitosti s homogenními skupinami je uvedena v Příloze 10. Výsledky pórovitostí kapilárních a nekapilárních jsou uvedeny v Příloze 11 a 12. U naměřených hodnot celkové a kapilární pórovitosti je možné sledovat pokles průměrných hodnot pórovitostí pro varianty ve stopě, přičemž byl nalezen minimální počet homogenních skupin. U hodnot nekapilární pórovitosti byl zaznamenán nárůst průměrných hodnot a to především u variant měřených ve stopě zemědělských strojů, přesto i zde byl nalezen minimální počet homogenních skupin.

### 7.4.2.3 Odhadované výnosy plodin

Grafické zobrazení výnosů plodin pro všechny varianty mimo stopu i ve stopě je uvedeno na Obrázku 51. Velmi zajímavým výsledkem jsou nejmenší průměrné výnosy u varianty CTF mimo stopu a to jak u klasické varianty, tak i u varianty s hlubokým kypřením. Tento výsledek je také podpořen testem homogenních skupin (viz. Tabulka 25), kde varianta CTF mimo stopu je osamocena v jedné z homogenních skupin a to v té s nejnižším výnosem. Naopak nejvyšších průměrných výnosů bylo dosaženo v případě náhodných přejezdů s variantou hlubokého kypření. Také varianty měřené ve stopě dosáhly vyšších průměrných hodnot než varianty mimo stopu (popisná statistika celkových výnosů plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu, viz. Příloha 13).

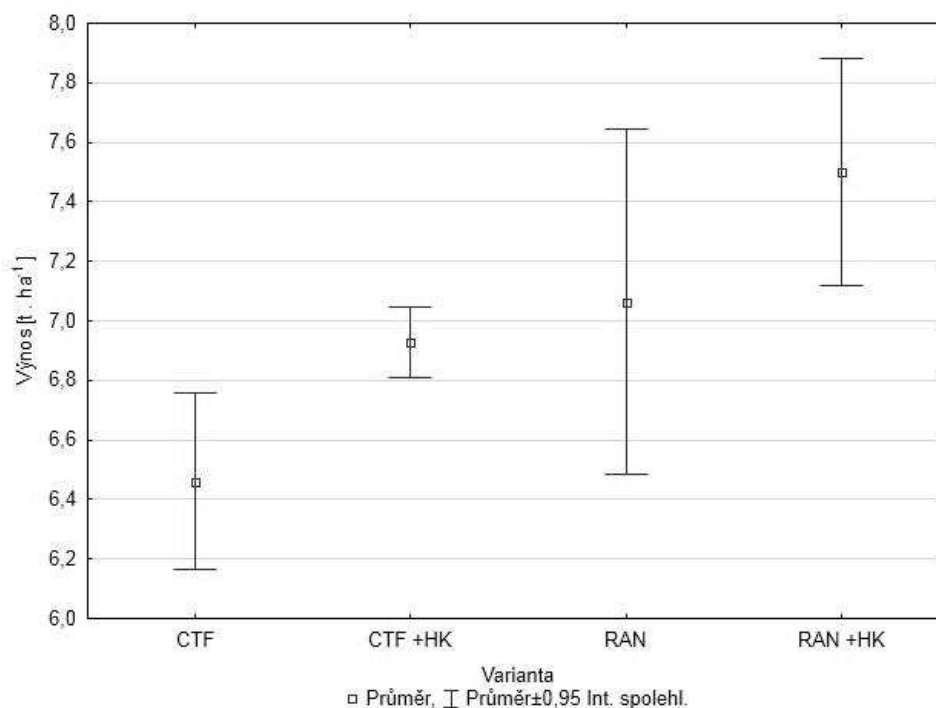


**Obrázek 51 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd)**  
 CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

**Tabulka 25 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červen Újezd)**  
 CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; ;  $\alpha = 0,05$

Varianta	Výnos [t·ha <sup>-1</sup> ]	1	2	3
CTF M	6,11	****		
CTF M+HK	6,78		****	
CTF S	7,05		****	****
CTF S+HK	7,18		****	****
RAN	7,06		****	****
RAN+HK	7,50			****

Po přepočtu hodnot výnosů plodin na jednotlivé varianty (CTF pokryto stopami z 37,4% a náhodný provoz byl pokryt stopami z 69,8%) bylo možné získat předpokládaný výnos plodin pro každou variantu z hlediska nasimulovaného provozu strojů (Obrázek 52).



**Obrázek 52 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty (1. rok, Červený Újezd)**  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření

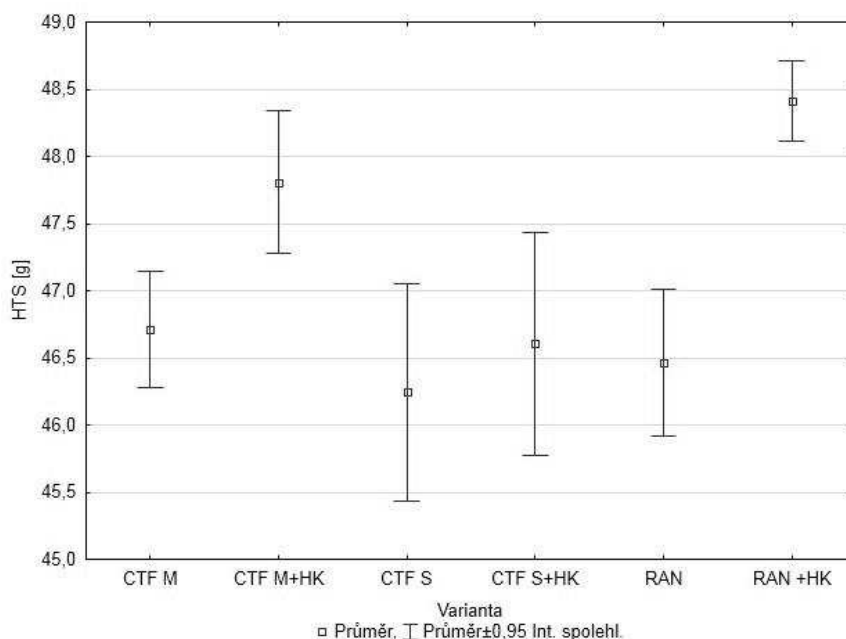
I v tomto případě nasimulovaného provozu strojů byl nalezen nejnižší výnos u varianty CTF a naopak nejvyšší výnos v případě náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (Tabulka 26). Velmi zajímavé výsledky měla varianta CTF s hlubokým kypřením, kde byl zjištěn nejmenší interval spolehlivosti.

**Tabulka 26 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin (1. rok, Červen Újezd)**  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě;  $\alpha = 0,05$

Varianta	Výnos [t·ha <sup>-1</sup> ]	1	2
CTF	6,46	****	
CTF +HK	6,93	****	****
RAN	7,06	****	****
RAN +HK	7,50		****

Jistě neméně zajímavým výsledkem jsou hmotnosti tisíce semen (HTS) na Obrázku 53. I v tomto případě byly zjištěny nejvyšší průměrné hmotnosti tisíce semen u varianty náhodných přejezdů s hlubokým kypřením. Tato varianta je srovnatelná pouze s výsledky CTF naměřených mimo stopu s variantou hlubokého kypření (viz. Tabulka 27). Nejnižší hodnoty

byly získány u variant, kde nebylo provedeno hluboké kypření na počátku experimentu, výjimku zde tvoří varianta CTF ve stopě s hlubokým kypřením.



**Obrázek 53 - Hmotnosti tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd)**  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Průběhy vybraných hodnot teplot, srážek a vodního potenciálu naměřené během prvního roku experimentu viz. Příloha 14. Popisná statistika pro výsledky hmotnosti tisíce semen v případě jednotlivých variant ve stopě a mimo stopu je uvedena v Příloze 15.

**Tabulka 27 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro hmotnosti tisíce semen (1. rok, Červen Újezd)**  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě;  $\alpha = 0,05$

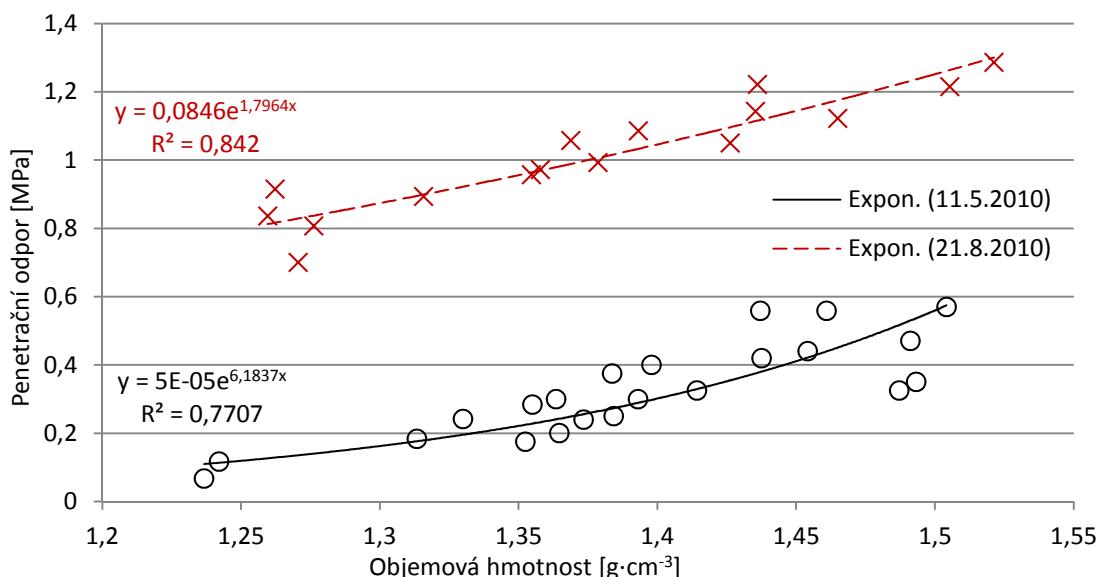
Varianta	HTS [g]	1	2	3
CTF S	46,25	****		
RAN	46,46	****		
CTF S+HK	46,61	****	****	
CTF M	46,71	****		
CTF M+HK	47,81		****	****
RAN +HK	48,41			****

#### 7.4.2.4 Porovnání závislostí naměřených hodnot prvního roku na pozemku Červený Újezd

Veškeré hodnoty byly porovnávány z povrchové vrstvy půdy a to vzhledem k dostatečné variabilitě hodnot v této vrstvě. Byly provedeny také další testy do hloubky 0,2 m, výsledky byly popsány totožnými trendy, ovšem s nižšími hodnotami korelačních koeficientů.

Závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy (Obrázek 54) je popsána exponenciálním trendem se stoupající závislostí. Korelační koeficient  $|R|$  byl zjištěn 0,88, tedy byla zjištěna silná závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy. Hodnoty bylo možné popsat také mocninnou závislostí s korelačním koeficientem  $|R|=0,89$ .

Vzhledem k tomu, že měření penetračních odporů bylo provedeno ve dvou termínech, došlo k navýšení hodnot penetračních odporů. K tomuto navýšení došlo pravděpodobně vlivem nižšího obsahu vlhkosti v půdě, případně dalších vlivů mezi termíny měření. Z tohoto důvodu je Obrázek 54 doplněn o další křivku, která popisuje rostoucí závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy. Trend je exponenciálního charakteru a popisuje body korelačním koeficientem  $|R|=0,92$ . Závislost v tomto případě je velmi silná.

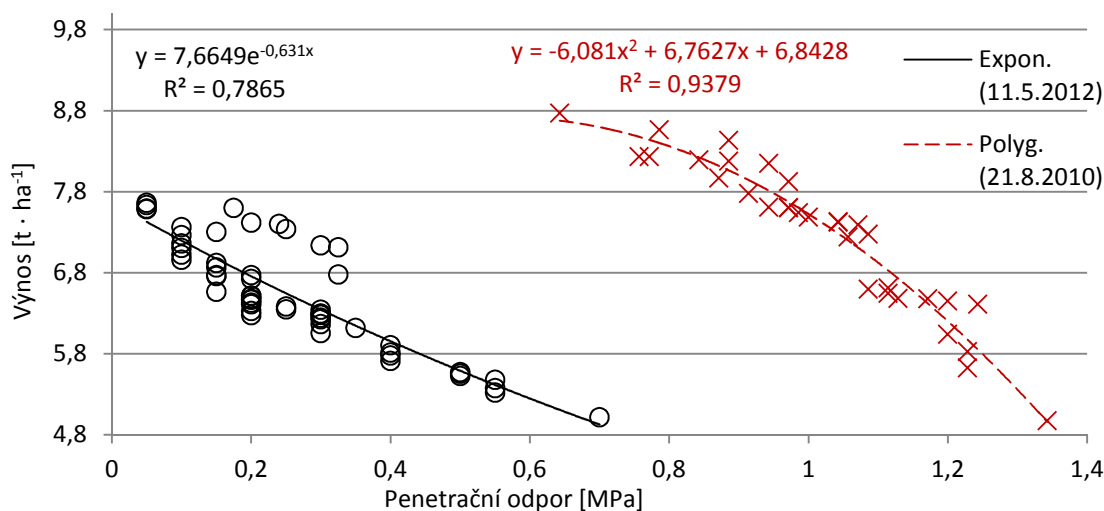


Obrázek 54 - Závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy (1. rok, Červený Újezd)

Další zkoumanou závislostí byla závislost výnosů plodin na penetračním odporu půdy (Obrázek 55). Klesající závislost byla nejlépe popsána exponenciální funkcí s korelačním koeficientem  $|R|=0,89$ . Hodnota korelačního koeficientu vypovídá o silné závislosti výnosů plodin na penetračním odporu.

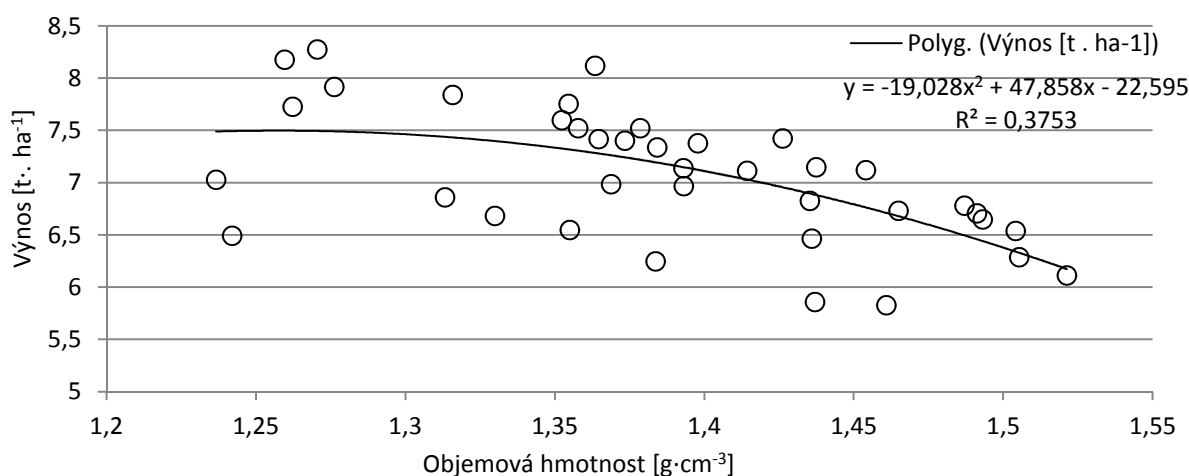
Také v tomto případě, stejně jako předchozím, došlo vlivem dvou různých termínů měření penetračních odporů k rozdělení hodnot do dvou oblastí (Obrázek 55). Oblast s vyššími hodnotami byla nejlépe popsána klesající polynomicou funkcí druhého stupně s velmi silnou závislostí a hodnotou  $|R|=0,97$ .





Obrázek 55 - Závislost výnosů plodin na penetračním odporu (1. rok, Červený Újezd)

Poslední závislostí, zkoumanou v prvním roce na pozemku Červený Újezd, byla závislost výnosů plodin na objemové hmotnosti půdy (viz. Obrázek 56). V tomto případě byl zjištěn klesající polynomičtý trend druhého stupně s korelačním koeficientem  $|R|=0,61$ . Jedná se o střední závislost, přesto je možné říci, že výnosy plodin klesají s rostoucí objemovou hmotností půdy.



Obrázek 56 - Závislost výnosů plodin na objemové hmotnosti půdy (1. rok, Červený Újezd)

## 7.4.3 Druhý rok experimentu

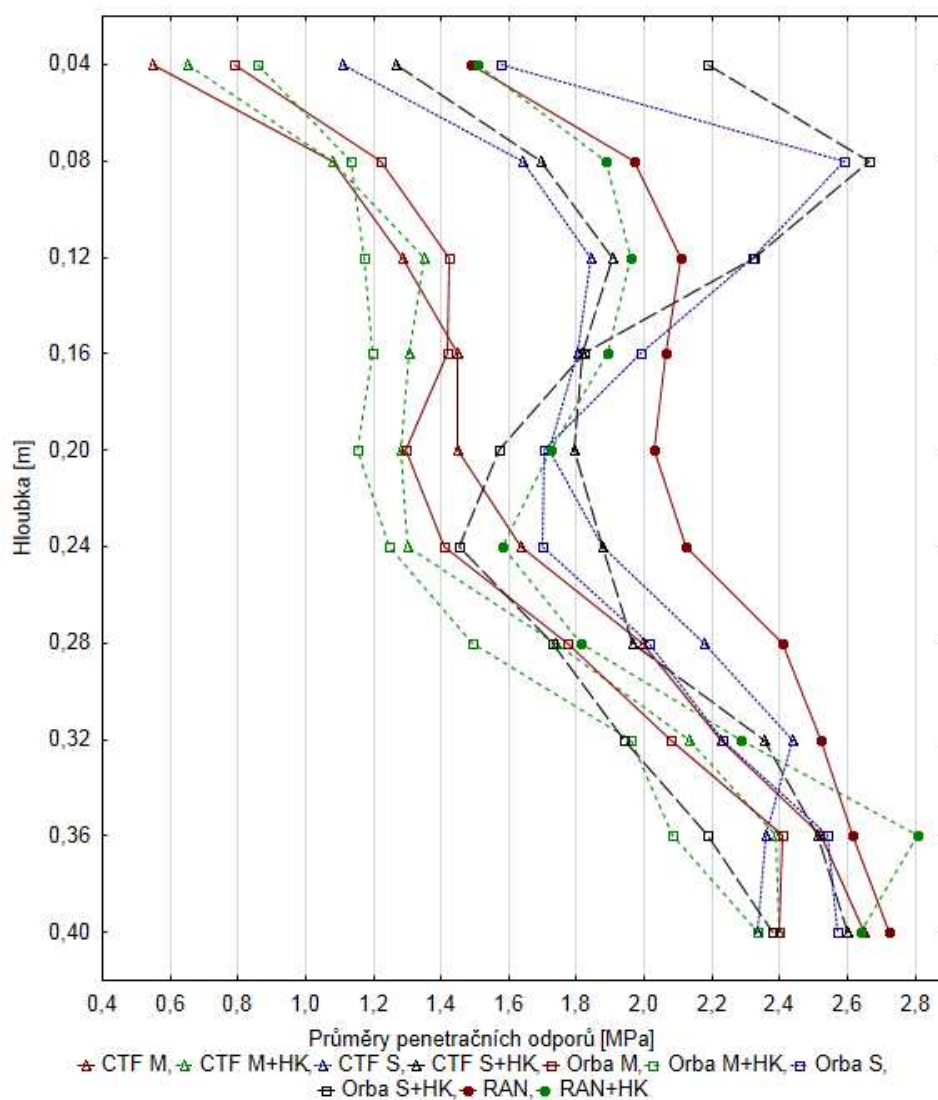
### 7.4.3.1 Penetrační měření

Průměrné hodnoty penetračních odporů jsou zobrazeny na Obrázku 57. Nejnížší hodnoty penetračních odporů byly naměřeny pro varianty CTF mimo stopu a orbu mimo stopu a to v obou variantách s/bez hlubokého kypření na začátku experimentu. Výsledky orby ve stopě jak pro variantu bez hlubokého kypření, tak i pro variantu s hlubokým



kypřením, ukázaly vysoký nárůst hodnot v hloubkách 0,08 a 0,12 m. Tento jev je možné vysvětlit vlivem obracení zhutněné skývy, která se nedrobí a zůstává zhutněná.

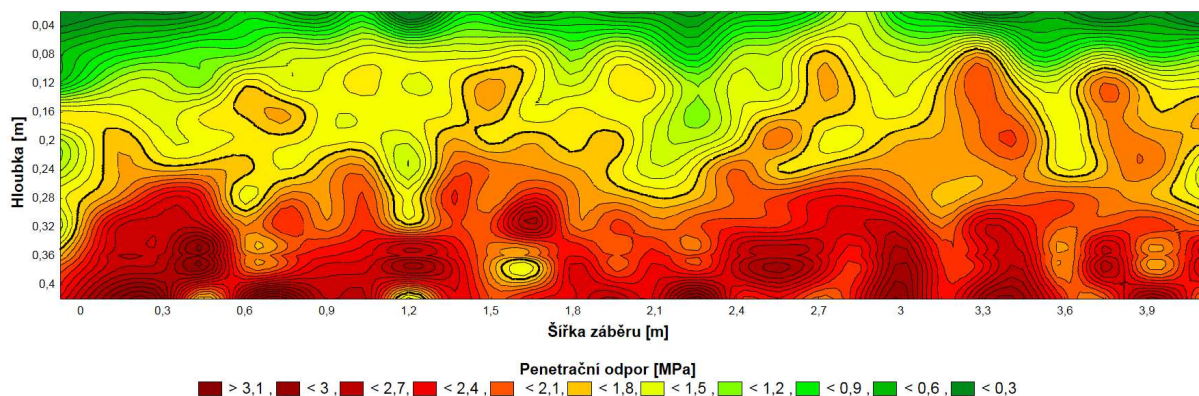
Tabulka homogenních skupin pro penetrační odpory naměřené v druhém roce na pozemku Červený Újezd je uvedena v Příloze 16.



**Obrázek 57 – Průměrné penetrační odpory (2. rok, Červený Újezd)**

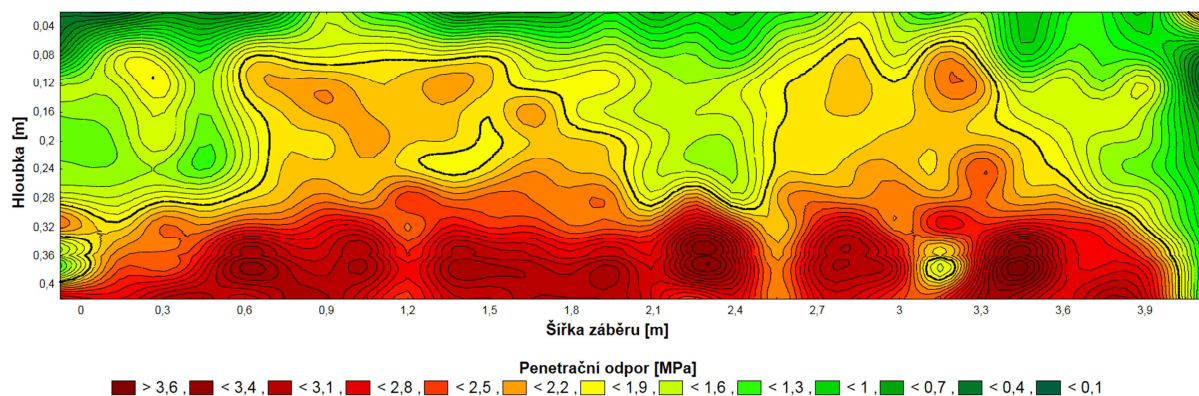
*CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Ve druhém roce měření plošných grafů naměřených hodnot penetračních odporů došlo, ve variantě CTF (viz. Obrázek 58), vlivem přejezdů a sesednutí půdních vrstev v kombinaci s mělkým zpracováním půdy k navýšení penetračních odporů oproti prvnímu roku. Vliv přejezdů zemědělských strojů je výraznější než v prvním roce, ale již není jednoduché je v půdním profilu identifikovat. Hranice 2 MPa (silná čára - střední hodnota zastoupených hodnot) byla v tomto roce posunuta do průměrné hloubky 0,16-0,2 m.



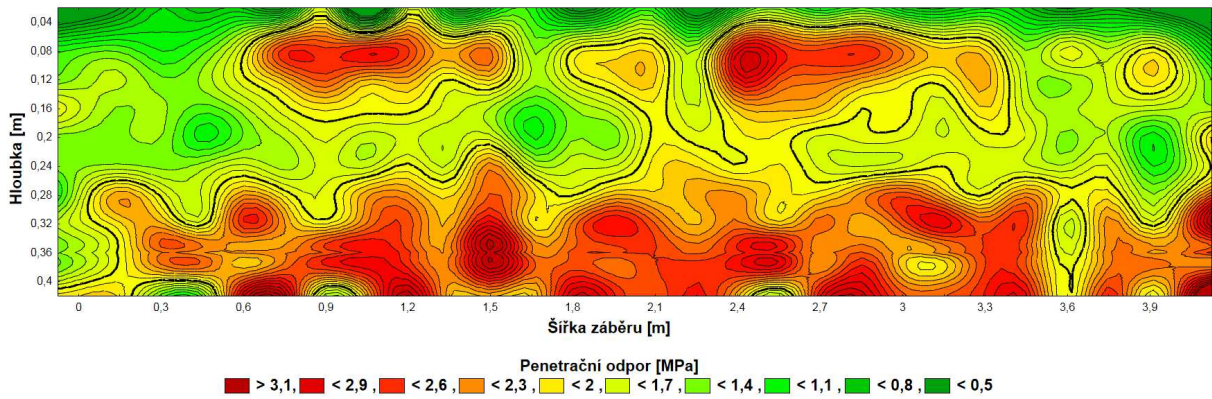
Obrázek 58 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF (2. rok, Červený Újezd)

Oproti variantě bez hlubokého kypření je u varianty CTF s hlubokým kypřením (viz. Obrázek 59) snadné identifikovat vliv přejezdů zemědělských strojů na penetrační odpor a to ve vzdálenostech šířky záběru 0,6-1,8 a 2,3-3,5 m. Také jako v prvním roce lze konstatovat, že hluboké kypření má významný vliv na penetrační odpory. Silná čára, která označuje hranici 2 MPa se posunula na průměrnou hodnotu ve stopě 0,08 m (pravděpodobně ovlivněno setím a mělkým zpracováním půdy) a mimo stopu 0,24 m.



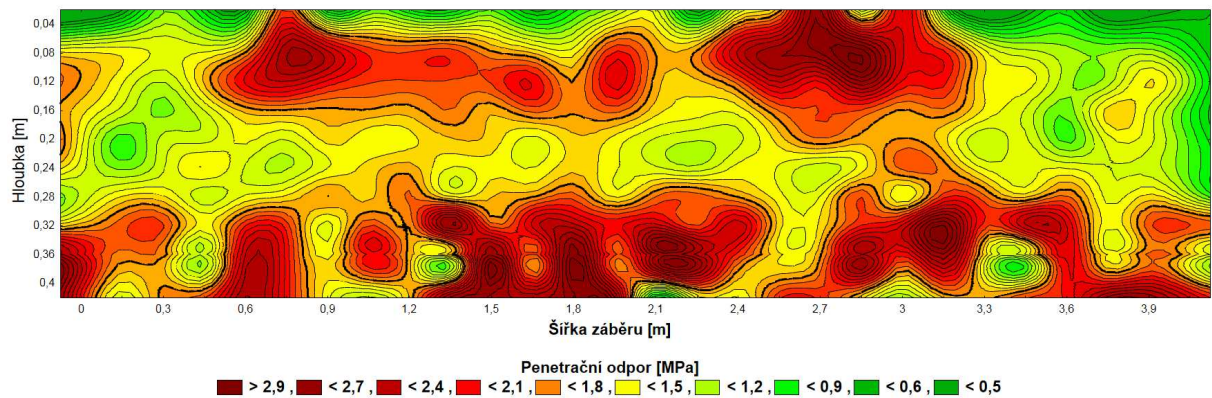
Obrázek 59 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF s hlubokým kypřením (2. rok, Červený Újezd)

U varianty s orbou byl zjištěn pomocí penetračních měření vlivu orby v kombinaci s přejezdy (viz. Obrázek 60). Tento vliv usnadňuje identifikaci přejeté části půdy zemědělskými stroji (vzdálenosti šířky záběru 0,6-1,6 a 2,4-3,4 m). Hranice 2 MPa byla nalezena v případě nepřejetých stop v hloubce 0,04 m, tato hloubka byla pravděpodobně ovlivněna setím jako v předchozím případě. Mimo stopu se hranice 2 MPa vyskytovala v hloubce 0,24 m. Výrazné stopy pravděpodobně vznikly obrácením zhuštěné skývy půdy, která se málo drobila, čímž nedošlo k prokypření.



**Obrázek 60 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu s orbou (2. rok, Červený Újezd)**

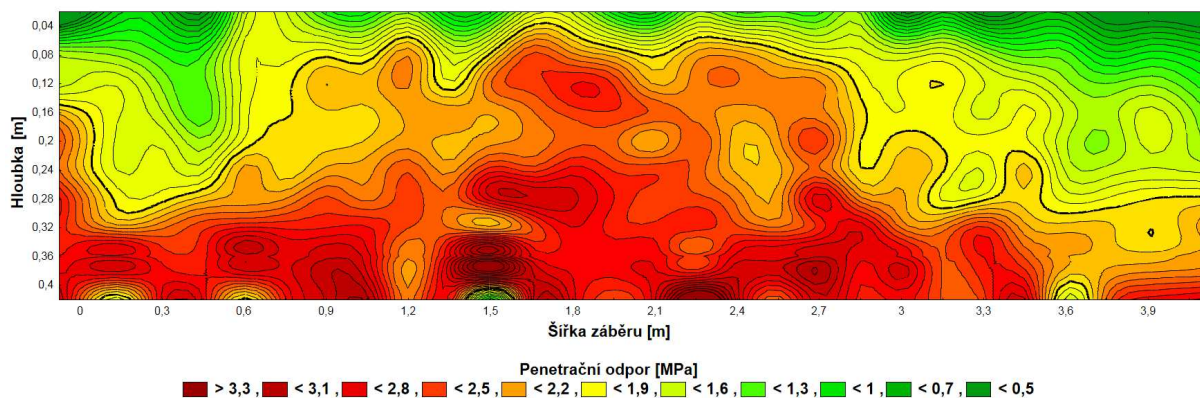
Stejně jako u varianty bez hlubokého kypření byl nalezen vliv orby v kombinaci s přejezdy u varianty orby s hlubokým kypřením (viz. Obrázek 61), opět s velmi výraznými oblastmi. Celkově má varianta s hlubokým kypřením nižší hodnoty penetračních odporů v porovnání s variantou bez hlubokého kypření. Vliv přejezdů zemědělských strojů na penetrační odpor je zřejmý ve vzdálenostech šířky záběru 0,5-2,1 a 2,2-3,3 m (vliv šířky zasažené oblasti mohla být ovlivněna posunem ztuhlé půdy přes odhrnovačku radlice do strany) s hloubkou ovlivnění 0-0,08 m. Nepřejeté části výšeče mají hodnoty menší než 2 MPa do hloubky 0,28 m.



**Obrázek 61 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu orby s hlubokým kypřením (2. rok, Červený Újezd)**

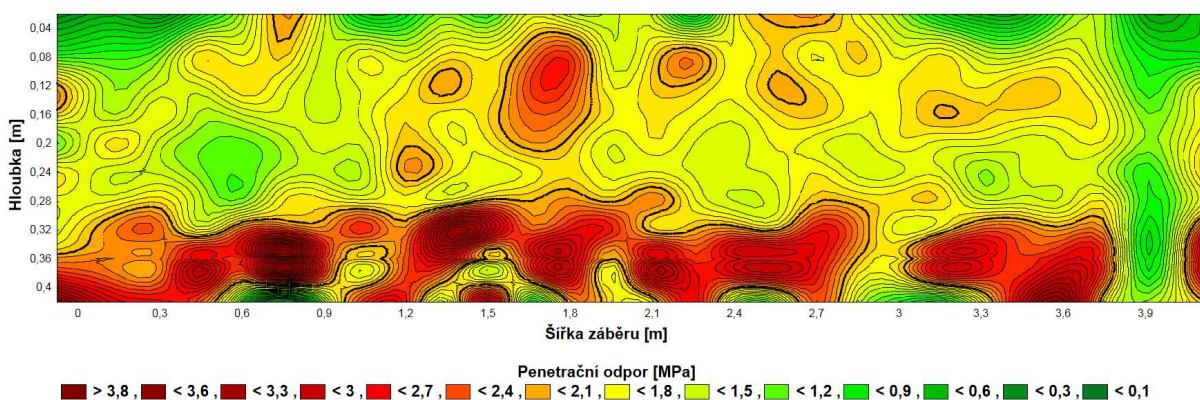
Varianta bez hlubokého kypření (viz. Obrázek 62) ukázala vliv náhodných přejezdů na penetrační odpor půdy ve vzdálenosti šířky záběru od 0,6 do 3 m. Při srovnání s výsledky z prvního roku došlo k rapidnímu navýšení hodnot penetračního odporu v rozsahu celé měřené šířky záběru. Ve většině vzdálenosti šířek záběru (ovlivněné přejezdy) byla hranice 2 MPa nalezena v hloubce 0,08 m.





Obrázek 62 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů (2. rok, Červený Újezd)

Oproti variantě bez hlubokého kypření si varianta náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (viz. Obrázek 63) zachovala valnou část homogenity hodnot penetračních odporů v celé měřené šířce záběru. Nicméně, je možné konstatovat, že u této varianty byly výsledky penetračních odporů ovlivněny přejezdy zemědělských strojů ve vzdálenosti šířky záběru 0-3,8 m (hodnoty penetračních odporů ve vzdálenosti šířky záběru 3,9 m byly pravděpodobně ovlivněny vnějšími vlivy). K překročení hodnoty 2 MPa došlo místně v celém rozsahu, jinak bylo toto překročení sledováno v hloubce 0,28 m.



Obrázek 63 - Výšeč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (2. rok, Červený Újezd)

#### 7.4.3.2 Odběr půdních vzorků

Stejně jako v prvním roce byla soustředěna pozornost na hodnoty objemové hmotnosti, momentální vlhkosti, celkové pórovitosti, kapilární a nekapilární pórovitosti pro jednotlivé varianty v pěti různých hloubkách.

Hodnoty průměrných objemových hmotností se zobrazenými homogenními skupinami (Tabulka 28) ukazují na dvě významně se odlišující varianty (v hloubce 0-0,15 m).

Těmito variantami jsou CTF mimo stopu a orba ve stopě s hlubokým kypřením, v těchto hloubkách jsou rozdíly objemových hmotností daných variant 12-20%.

**Tabulka 28 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti (2. rok, Červen Újezd)**

*a, b.. - Homogenní skupiny v řádku; 1, 2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*

*CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

**Objemová hmotnost pd [g·cm<sup>-3</sup>]**

Hloubka [m]	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK
0-0,05	1,23 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,35 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,30 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,31 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,41 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,30 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,40 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,48 <sup>b</sup> <sub>1</sub>
0,05-0,10	1,40 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,43 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,47 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,57 <sup>b</sup> <sub>2</sub>	1,46 <sup>a,b</sup> <sub>1,2</sub>	1,46 <sup>a,b</sup> <sub>1,2</sub>	1,56 <sup>b</sup> <sub>2</sub>	1,57 <sup>b</sup> <sub>1</sub>
0,10-0,15	1,51 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,48 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,58 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,62 <sup>b</sup> <sub>2</sub>	1,55 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,48 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,54 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,57 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>
0,15-0,20	1,53 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,46 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,58 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,58 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,47 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,48 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,54 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,59 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,20-0,25	1,53 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,49 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	1,60 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,62 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,51 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,48 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,56 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,62 <sup>a</sup> <sub>1</sub>

Tukeyův test homogenních skupin s průměrnými hodnotami prokázal statisticky významný rozdíl mezi variantami pouze v hloubce 0,20-0,25 m, a to mezi variantami CTF mimo stopu a variantami s orbou s rozdílem průměrných hodnot 18%. Při porovnání jednotlivých hloubek pro každou variantu byly nalezeny statisticky významné rozdíly u variant s orbou a to mezi hloubkami 0-0,20 a 0,20-0,25 m. Tabulka 29 uvádí Tukeyův test homogenních skupin pro momentální vlhkosti.

Tabulka průměrných hodnot celkové pórovitosti s uvedenými homogenními skupinami viz. Příloha 17. Tabulka průměrných hodnot pórovitostí kapilárních a nekapilárních viz. Příloha 18 a 19.

**Tabulka 29 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti (2. rok, Červen Újezd)**

*a, b.. - Homogenní skupiny v řádku; 1, 2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$*

*CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

**Momentální vlhkost  $\theta_{mom}$  [% obj.]**

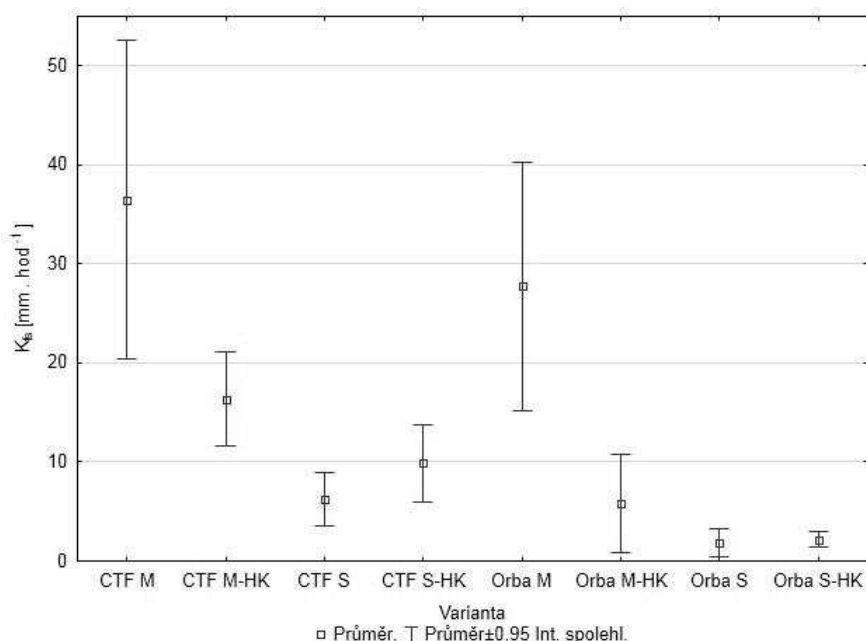
Hloubka	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK
0 - 0,05	31,45 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	32,85 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,31 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	31,82 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	33,17 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	29,90 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	32,47 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,47 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,05 - 0,10	32,91 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	31,34 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,78 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	33,61 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,83 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	33,00 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	35,65 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,70 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,10 - 0,15	34,16 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	31,77 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,74 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	32,64 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,89 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	33,26 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	36,08 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	36,02 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,15 - 0,20	33,00 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	31,07 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	33,75 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	32,37 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,72 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	33,59 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	35,43 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	35,28 <sup>a</sup> <sub>1</sub>
0,20 - 0,25	32,60 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	30,34 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	34,44 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	32,09 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	35,11 <sup>b</sup> <sub>1</sub>	35,26 <sup>b</sup> <sub>2</sub>	35,83 <sup>b</sup> <sub>1</sub>	35,39 <sup>b</sup> <sub>1</sub>

### 7.4.3.3 Nasycená hydraulická vodivost

Vliv jednotlivých technologií zpracování půdy a přejezdů zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy je znázorněn na Obrázku 64. Obrázek ukazuje, že nasycená

hydraulická vodivost mimo stopu má nepoměrně vyšší průměrné hodnoty, než ostatní varianty experimentu.

Při porovnání hodnot na části pozemku s řízeným provozem strojů (CTF) došlo ke snížení hodnot nasycené hydraulické vodivosti o 55% při CTF mimo stopu s variantou hlubokého kypření oproti CTF mimo stopu bez hlubokého kypření, v případě orby při stejných variantách došlo k poklesu o 79%. Rozdíl průměrných hodnot měřených mimo stopu pro CTF a orbu činí 23%, přičemž obě tyto varianty spadají do stejné homogenní skupiny (Tabulka 30).



**Obrázek 64 - Nasycená hydraulická vodivost (2. rok, Červený Újezd)**  
 CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Zajímavým výsledkem je navýšení hodnot nasycené hydraulické vodivosti ve stopách s variantou hlubokého kypření, naopak snížení hodnot mimo stopu s variantou hlubokého kypření. U varianty CTF ve stopě je tento nárůst průměrných hodnot o téměř 60%, u varianty s orbou je toto navýšení o 22%.

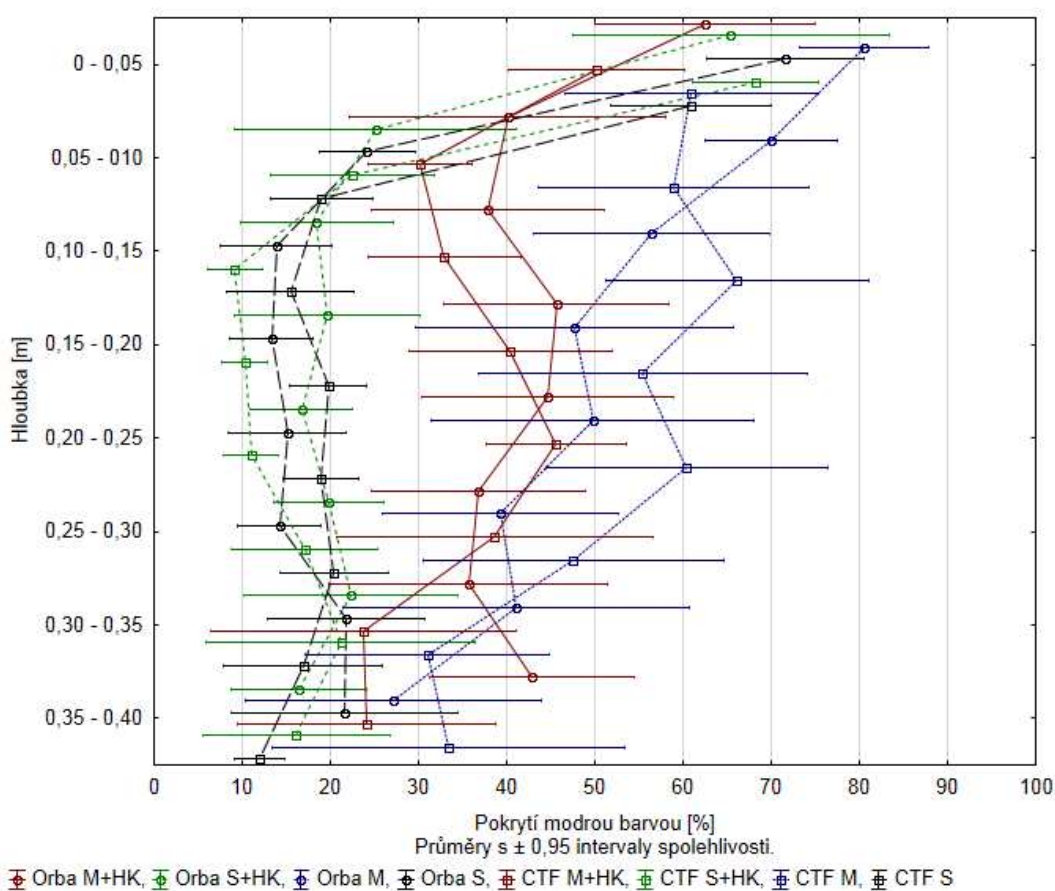
Popisná statistika výsledných hodnot nasycené hydraulické vodivosti ve druhém roce na pozemku Červený Újezd, je uvedena v Příloze 20.

Tabulka 30 - Tukeyův HSD test homogenních skupin nasycené hydraulické vodivosti (2. rok, Červený Újezd)  
CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě; při  $\alpha = 0,05$

Varianta	$K_{fs}$ [mm·h <sup>-1</sup> ]	1	2	3
CTF M	36,46			****
CTF M-HK	16,38	****	****	
CTF S	6,21	****		
CTF S-HK	9,88	****		
Orba M	27,74		****	****
Orba M-HK	5,80	****		
Orba S	1,81	****		
Orba S-HK	2,20	****		

#### 7.4.3.4 Indikace toku vody pomocí brilantní modři

Obrázek 65 ukazuje průměrné hodnoty s intervaly spolehlivosti pokrytí modrou barvou pro jednotlivé hloubky a varianty experimentu. Všeobecně lze říci, že varianty mimo stopu mají nejvyšší procentuální zastoupení modré barvy, následují hodnoty mimo stopu s variantou hlubokého kypření a nejnižší zastoupení modré barvy bylo zjištěno pro varianty ve stopě.



Obrázek 65 - Indikace toku vody pomocí brilantní modři (2. rok, Červený Újezd)  
CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Z testu homogenních skupin (viz. Příloha 21) je možné říci, že ke statisticky významným rozdílům dochází především od hloubky 0,05 – 0,30 m. Zmíněná vrstva je ovlivněna jak zhutněním půdy, tak i zpracováním půdy, přesto je zřejmé, že hlavním vlivem omezujícím proudění vody do spodních vrstev je zhutnění půdy. Toto zhutnění se projevuje snížením pokrytí modré barvy na horizontu půdy o 50% vůči kypřeným variantám mimo stopu. Bylo sledováno až 70% snížení pokrytí modrou barvou u variant měřených ve stopě oproti variantám měřeným mimo stopu v hloubce 0,10 – 0,20 m.

Výsledek je tedy obdobný jako v případě měření nasycené hydraulické vodivosti v témže roce. V případě nezhutněné půdy hluboké kypření negativně ovlivnilo infiltrační vlastnosti půdy u obou měřených metod. V případě měření na zhutněné půdě hluboké kypření lehce zvýšilo infiltrační vlastnosti půdy u orané varianty, nicméně bez statisticky významných rozdílů. U variant CTF ve stopě naopak hluboké kypření snížilo průměrné hodnoty infiltračních vlastností půdy o téměř 50% v hloubce 0,15 – 0,20 m.

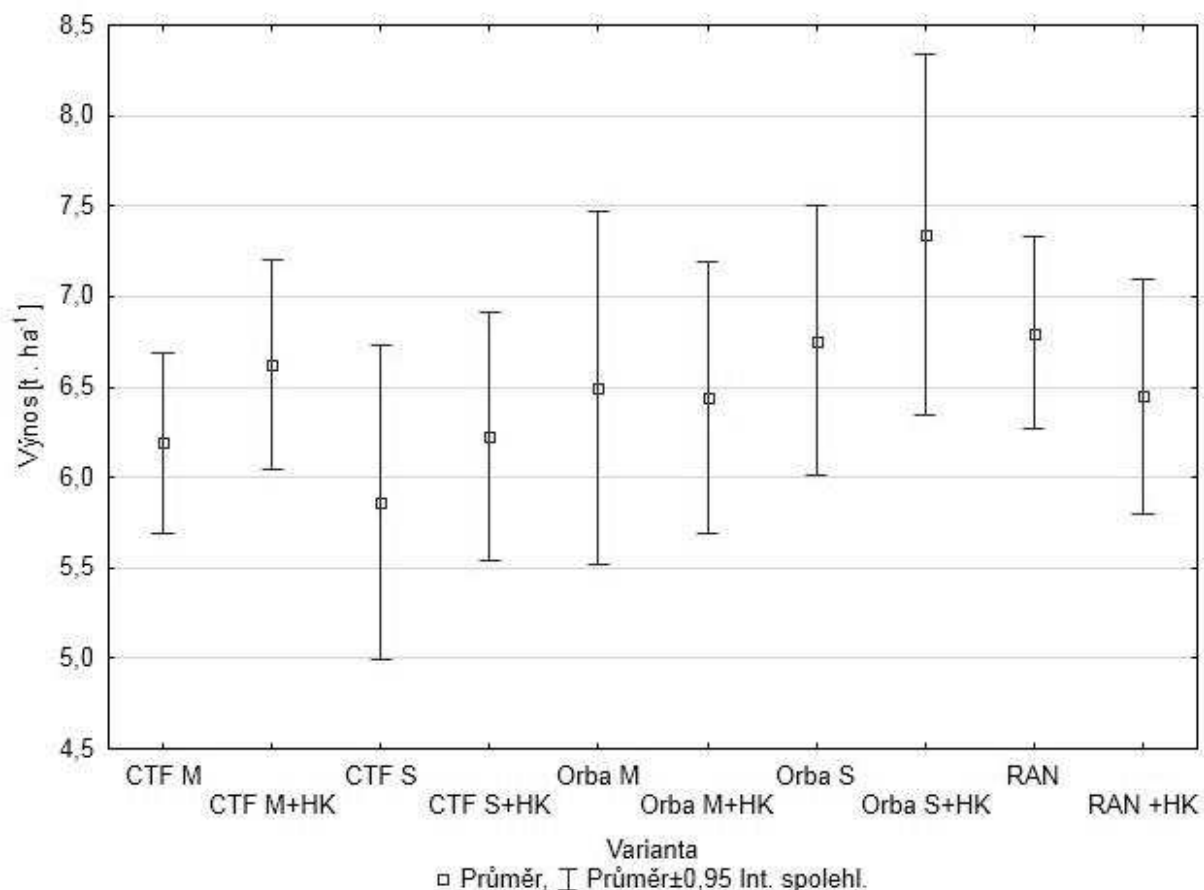
#### 7.4.3.5 Odhadované výnosy plodin

Grafické znázornění hodnot odhadovaných výnosů plodin je na Obrázku 66. Mezi variantami nebyl nalezen statisticky významný rozdíl (viz. Tabulka 31), přesto je zřejmé, že průměrné hodnoty se značně odlišují. Například průměrné hodnoty výnosů u orby ve stopě s variantou hlubokého kypření přesáhly sedm tun na hektar, oproti tomu výsledky výnosů u CTF měřené ve stopě jsou pod hranicí šesti tun a tím došlo ke snížení odhadovaných výnosů o 20%. Ostatní hodnoty jsou velmi podobné a pohybují se okolo hranice šesti a půl tuny na hektar.

**Tabulka 31 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červen Újezd)**  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě;  $\alpha = 0,05$

Varianta	Výnos [t·ha <sup>-1</sup> ]	1
CTF M	6,19	****
CTF M+HK	6,62	****
CTF S	5,86	****
CTF S+HK	6,23	****
Orba M	6,50	****
Orba M+HK	6,44	****
Orba S	6,76	****
Orba S+HK	7,35	****
RAN	6,80	****
RAN +HK	6,45	****



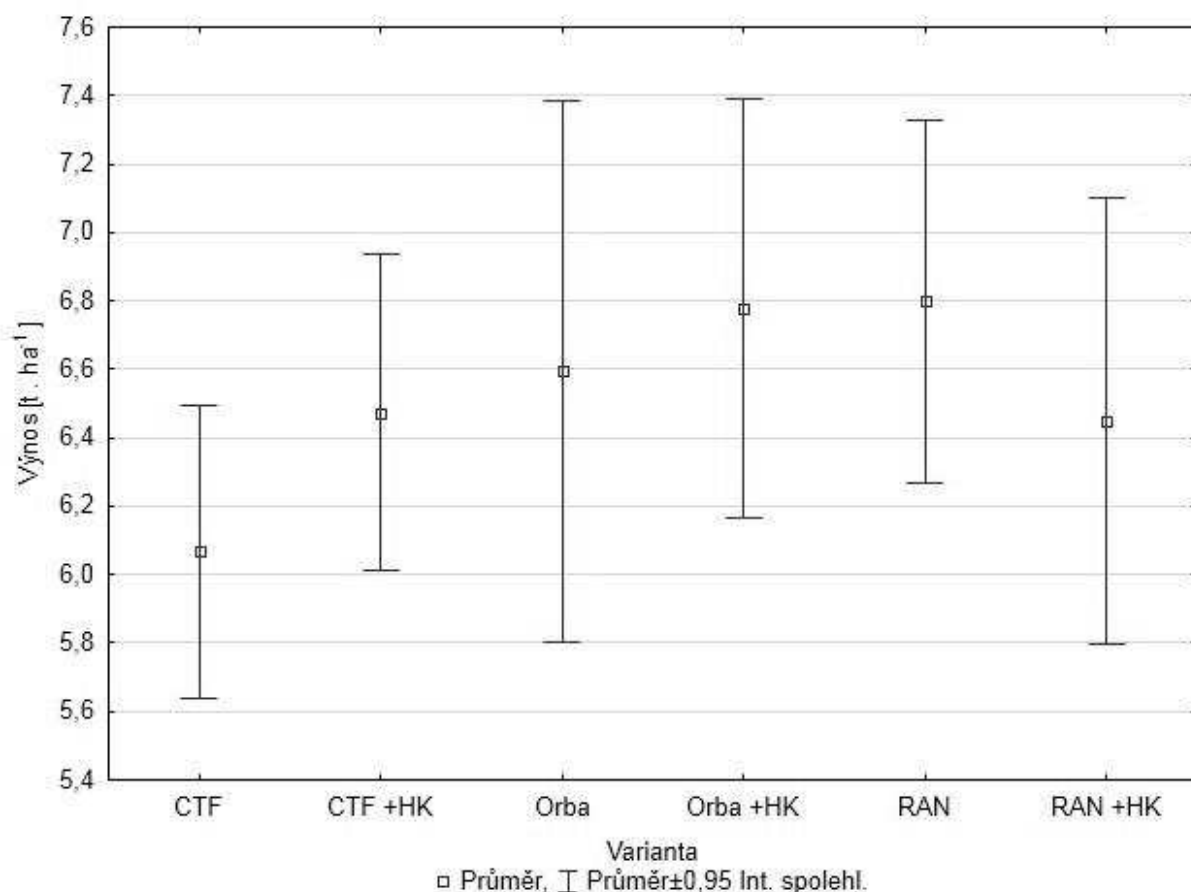


**Obrázek 66 - Celkové řynosy plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, řervený Űjezd)**  
 CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Při přepočtu hodnot odhadovaných řynosů plodin z variant ve stopě a mimo stopu na předpokládaný řynos se zastoupením pokrytí stopami pneumatik (CTF pokryto stopami z 37,4% a náhodný provoz a orba byly pokryty stopami z 69,8%), byly zjiřtěny hodnoty zobrazené na Obrázku 67, ze kterého je možné sledovat snížení variability celé skupiny. Ani v tomto případě nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly (Tabulka 32).

**Tabulka 32 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro řynosy plodin (2. rok, řerven Űjezd)**  
 CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření;  $\alpha = 0,05$

Varianta	řynos [t · ha <sup>-1</sup> ]	1
CTF	6,07	****
CTF +HK	6,48	****
Orba	6,60	****
Orba +HK	6,78	****
RAN	6,80	****
RAN +HK	6,45	****

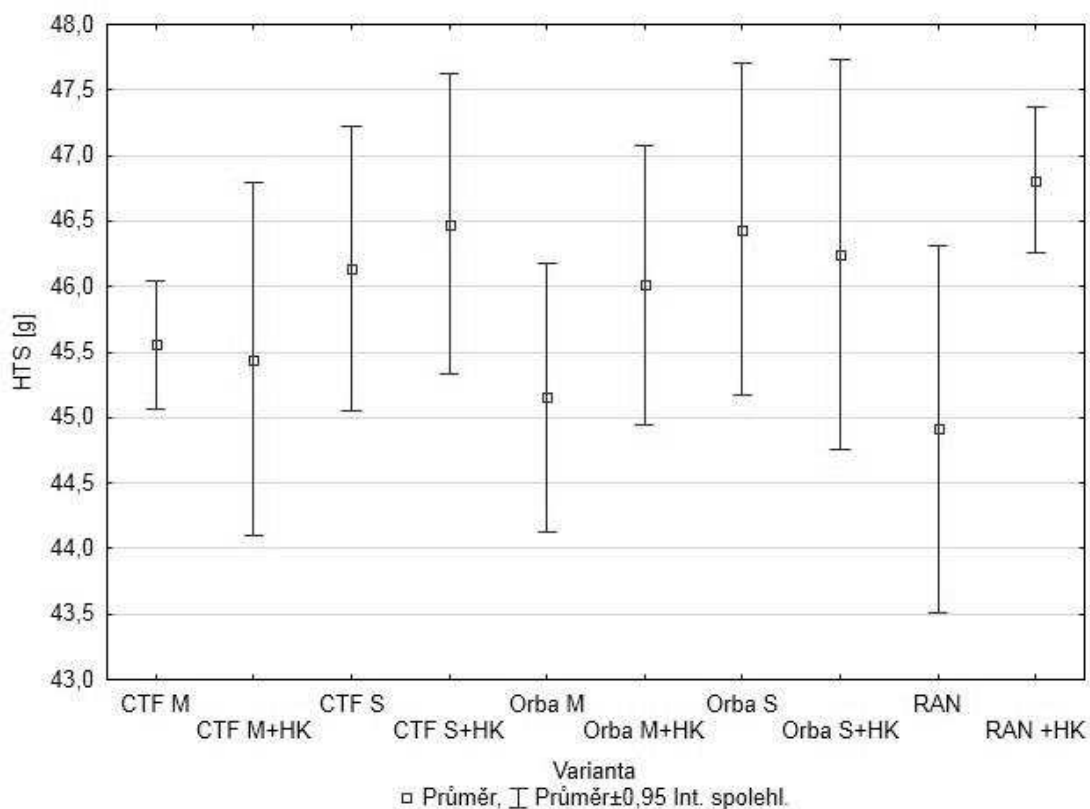


Obrázek 67 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty (1. rok, Červený Újezd)  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření

Průměrné hodnoty hmotností tisíce semen s intervaly spolehlivosti (viz. Obrázek 68) ukazují minimální variabilitu, přesto zde byl nalezen statisticky významný rozdíl, a to mezi hodnotami CTF ve stopě a náhodným přejezdem strojů s variantou hlubokého kypření (Tabulka 33).

Tabulka 33 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro hmotnosti tisíce semen (2. rok, Červen Újezd)  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě;  $\alpha = 0,05$

Varianta	HTS [g]	1	2
RAN	44,91	****	
CTF M	45,55	****	****
CTF M+HK	45,44	****	****
CTF S	46,13	****	****
CTF S+HK	46,48	****	****
Orba M	45,15	****	****
Orba M+HK	46,01	****	****
Orba S	46,44	****	****
Orba S+HK	46,24	****	****
RAN +HK	46,81		****



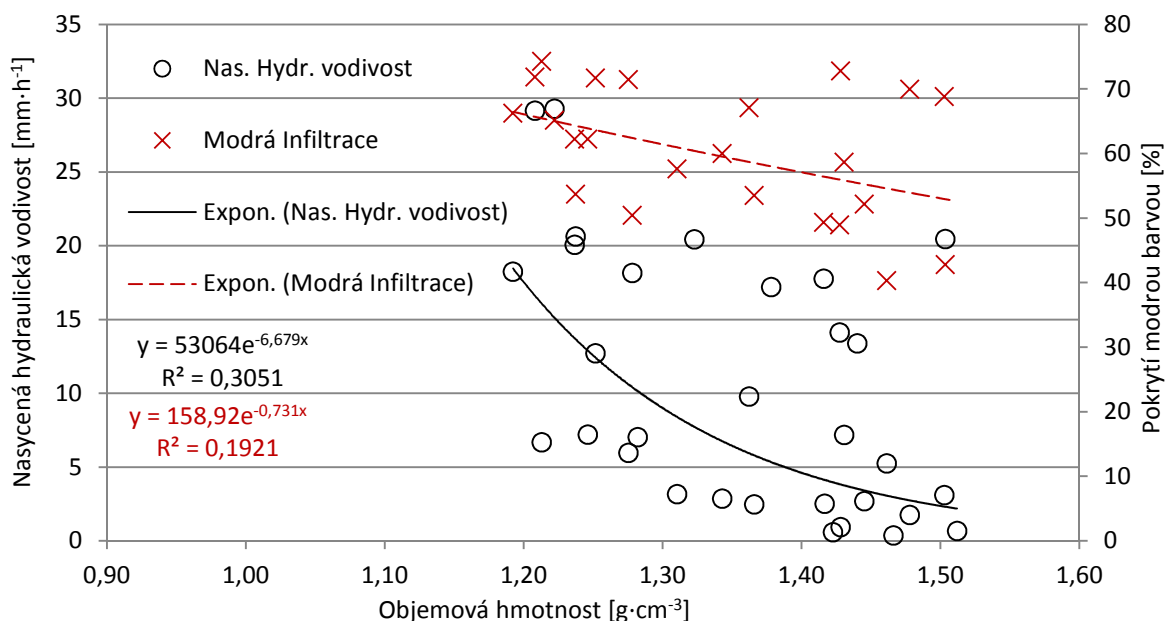
**Obrázek 68 - Hmotnosti tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červený Újezd)**  
 CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Průběhy vybraných hodnot teplot, srážek a vodního potenciálu naměřené během druhého roku experimentu jsou uvedeny v Příloze 22. Popisná statistika předpokládaných výnosů plodin je uvedena v Příloze 23 a pro hmotnosti tisíce semen v Příloze 24.

#### **7.4.3.6 Porovnání závislosti naměřených hodnot druhého roku na pozemku Červený Újezd**

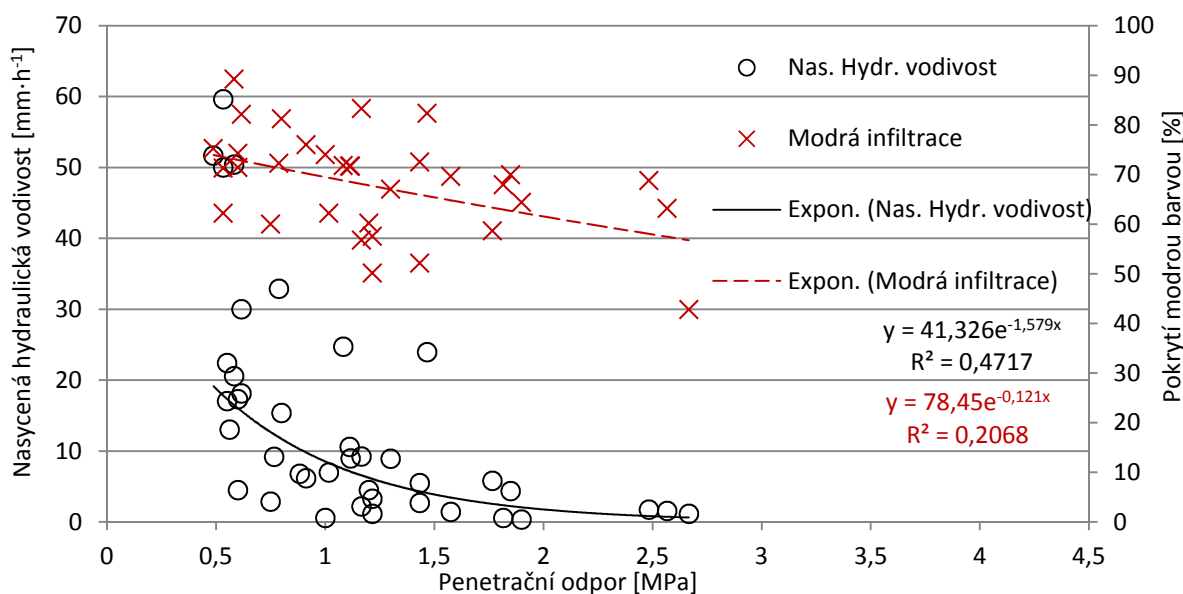
Veškeré hodnoty byly porovnávány z povrchové vrstvy půdy a to vzhledem k dostatečné variabilitě hodnot v této vrstvě. Byly provedeny také další testy do hloubky 0,2 m, výsledky byly popsány totožnými trendy, ovšem s nižšími hodnotami korelačních koeficientů, stejně jako v případě porovnání z prvního roku.

První variantou porovnání hodnot z druhého roku měření byla závislost nasycené hydraulické vodivosti a pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti (Obrázek 69). Závislost pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti byla popsána jako téměř lineární, klesající, exponenciální funkcí se střední závislostí  $|R|=0,44$ . Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti také byla popsána klesající, exponenciální funkcí se středně silnou závislostí  $|R|=0,55$ .



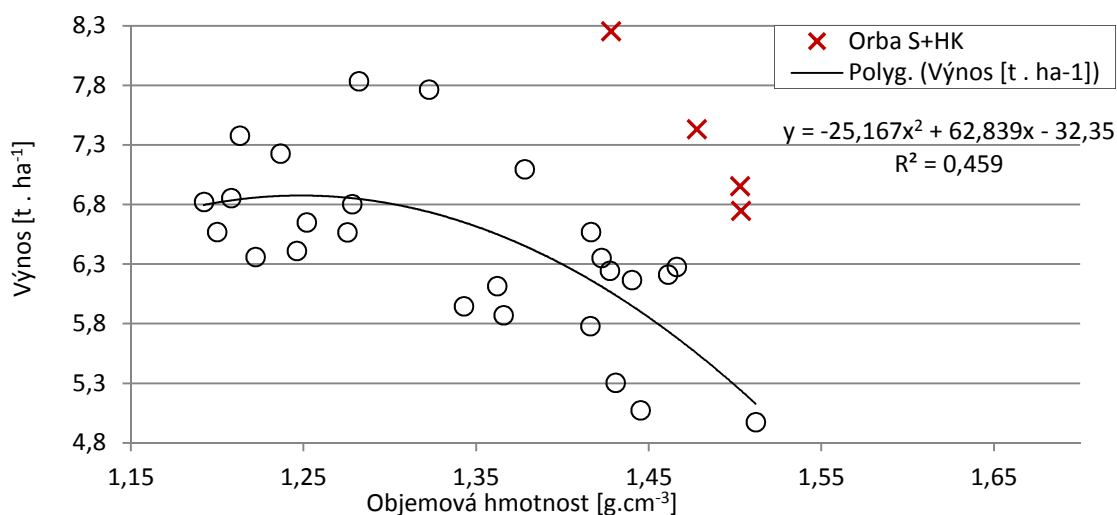
Obrázek 69 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti a pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti půdy (2. rok, Červený Újezd)

Závislost nasycené hydraulické vodivosti a pokrytí modrou barvou na penetračním odporu je na Obrázku 70. I v tomto případě jsou obě závislosti popsány exponenciální klesající funkcí. Křivka pokrytí modrou barvou na penetračním odporu byla opět téměř lineární s korelačním koeficientem  $|R|=0,46$ , pro závislost nasycené hydraulické vodivosti hodnota  $|R|$  nabyla hodnoty 0,69. I v tomto případě jsou obě hodnoty středně závislé na penetračním odporu.



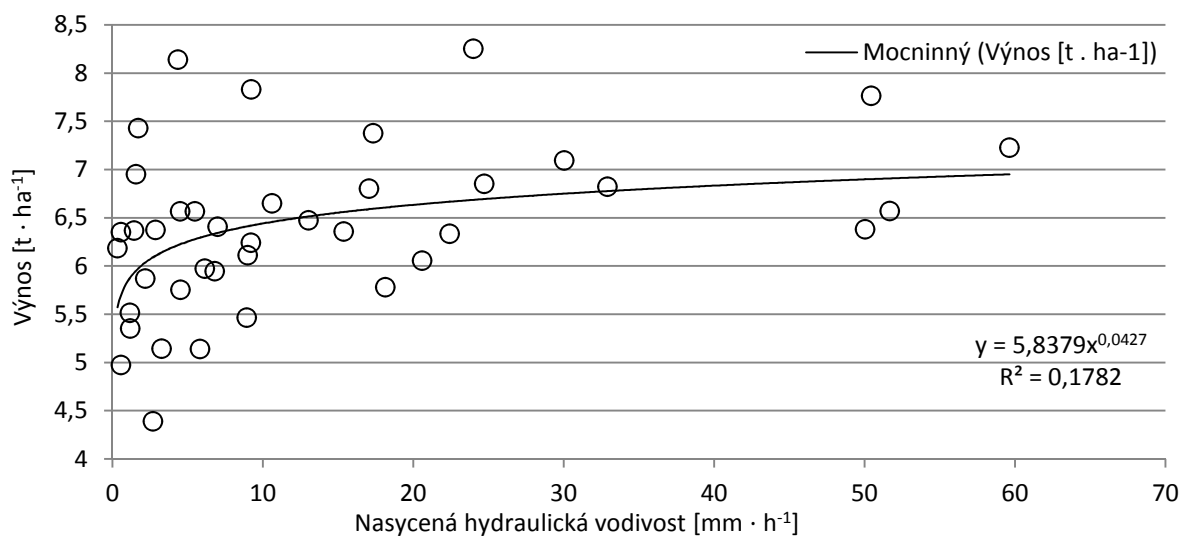
Obrázek 70 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti a pokrytí modrou barvou na penetračním odporu půdy (2. rok, Červený Újezd)

Závislost výnosů na objemové hmotnosti byla zjištěna klesající polynommická závislost druhého řádu s hodnotou  $|R|=0,68$ , to znamená střední závislost (Obrázek 71). V případě závislosti výnosů na penetračním odporu byla zjištěna klesající mocninná závislost s  $|R|=0,39$  (nízká závislost). V obou případech byla vynechána data orby ze stopy s hlubokým kypřením. V případě použití těchto dat byl nejvyšší zjištěný korelační koeficient menší než 0,18, což znamená neprůkaznou závislost.



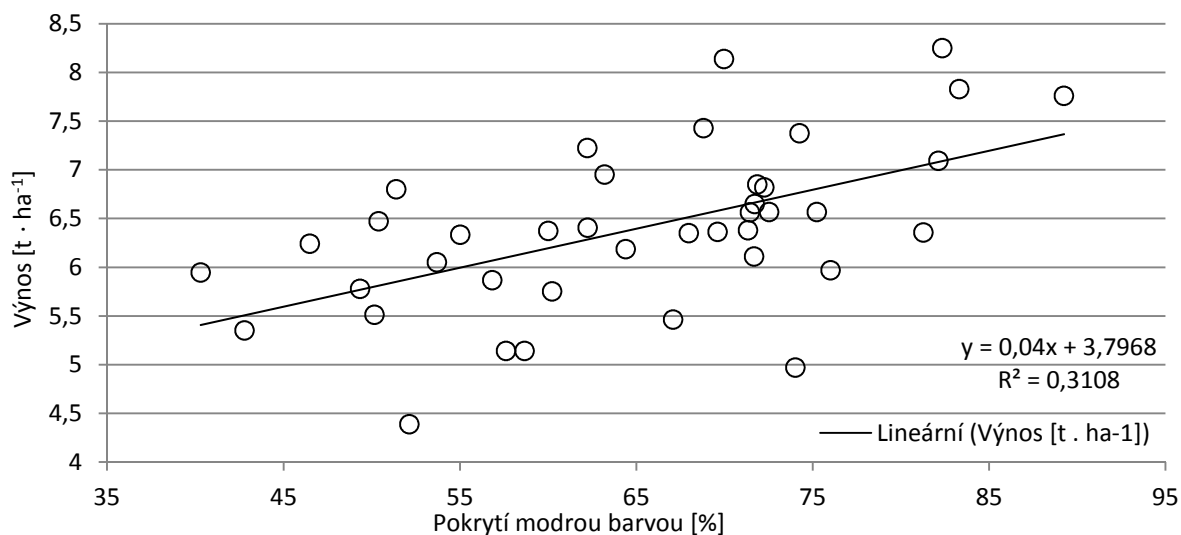
Obrázek 71 - Závislost výnosů na objemové hmotnosti půdy (2. rok, Červený Újezd)  
S - měřeno ve stopě; HK - hluboké kypření

Závislost výnosů plodin na nasycené hydraulické vodivosti (viz. Obrázek 72) byla popsána rostoucí mocninnou funkcí s hodnotou korelačního koeficientu  $|R|=0,42$  (střední závislost). Při nepoužití hodnot varianty orby ve stopě s hlubokým kypřením byl získán stejný trend s  $|R|=0,52$ .



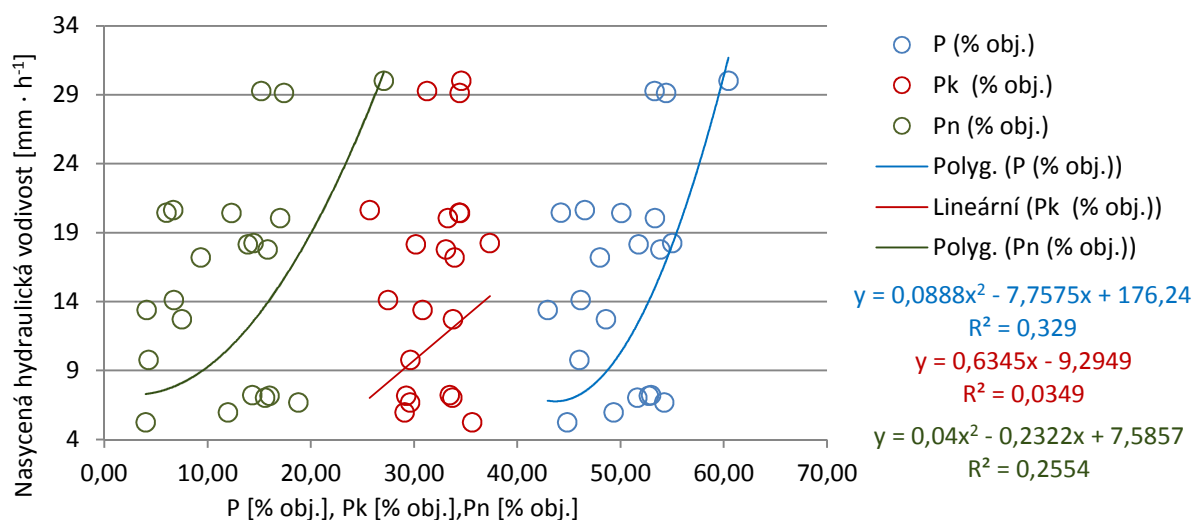
Obrázek 72 - Závislost výnosů na nasycené hydraulické vodivosti (2. rok, Červený Újezd)

Rostoucí lineární funkcí byla popsána závislost výnosů na pokrytí modrou barvou (viz. Obrázek 73) s korelačním koeficientem  $|R|=0,56$ , tedy i v tomto případě byla nalezena pouze střední závislost.



Obrázek 73 - Závislost výnosů na pokrytí modrou barvou (2. rok, Červený Újezd)

V druhém roce mohla být porovnána nasycená hydraulická vodivost s jednotlivými typy pórovitosti (viz. Obrázek 74). Závislost na celkové pórovitosti ( $P$ ) byla nalezena rostoucí a byla popsána polynomickou funkcí druhého řádu ( $|R|=0,57$ , střední závislost), při kapilární pórovitosti ( $P_k$ ) byla nalezena rostoucí lineární závislost se slabou závislostí ( $|R|=0,19$ , neprůkazné). Nekapilární závislost ( $P_n$ ) byla popsána rostoucí, polynomickou funkcí druhého řádu se střední závislostí ( $|R|=0,51$ ).



Obrázek 74 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na celkové, kapilární a nekapilární pórovitosti (2. rok, Červený Újezd)

$P$  - pórovitost celková;  $P_k$  - pórovitost kapilární;  $P_n$  - pórovitost nekapilární

#### 7.4.4 Porovnání prvního a druhého roku experimentu na pozemku Červený Újezd

Při porovnání hodnot penetračních odporů při použití technologie CTF (Tabulka 34) došlo k výraznému navýšení hodnot ve druhém roce pro variantu mimo stopu s hlubokým kypřením na začátku experimentu. Ke statisticky významnému rozdílu a navýšení hodnot ve druhém roce došlo také při stejné variantě ve stopě. Všeobecně výsledky penetračních odporů pro variantu CTF prokazují statisticky významné navýšení hodnot ve druhém roce oproti prvnímu roku.

**Tabulka 34 – Porovnání výsledků penetračních odporů variant CTF z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd)**  
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; průměrné hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0,05$   
 CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Hloubka [m]	CTF M 1. rok		CTF M 2. rok		CTF M+HK 1. rok		CTF M+HK 2. rok		CTF S 1. rok		CTF S 2. rok		CTF S+HK 1. rok		CTF S+HK 2. rok	
<b>0,04</b>	0,33	a,b 1	0,55	b,c 1	0,19	a 1	0,65	c 1	0,42	a,b,c 1	1,11	d 1	0,23	a 1	1,27	d 1
<b>0,08</b>	0,57	b,c 1,2	1,08	d 2	0,33	a 1	1,08	d 2	0,68	c 1,2	1,64	e 2	0,45	a,b 1	1,70	e 2
<b>0,12</b>	0,79	b,c 1,2	1,29	d 2,3	0,48	a 1,2	1,35	d 2,3	0,99	c 2,3	1,84	e 2,3	0,62	a,b 1,2	1,91	e 2
<b>0,16</b>	1,13	a,d 2,3	1,45	b 2,3	0,61	c 1,2	1,31	a,b 2	1,33	a,b 3,4	1,80	e 2,3	0,88	c,d 2,3	1,82	e 2
<b>0,2</b>	1,61	a,b 3,4	1,45	a,b 2,3	0,73	d 1,2	1,28	b,c 2	1,64	a 4	1,72	a 2	1,07	c 3,4	1,79	a 2
<b>0,24</b>	2,31	a 4	1,63	c,d 3,4	0,96	b 2,3	1,30	b,c 2	2,21	a 5	1,88	a,d 2,3	1,31	b,c 4	1,88	a,d 2
<b>0,28</b>	3,82	c 5	2,00	a,b 4,5	1,37	a 3	1,74	a,b 3,4	3,35	c 6	2,18	b 3,4	1,77	a,b 5	1,97	a,b 2,3
<b>0,32</b>	4,67	c 6	2,23	a,b 5,6	1,97	a 4	2,13	a,b 4,5	4,74	c 7	2,44	a,b 4	2,66	b 6	2,35	a,b 3,4
<b>0,36</b>	5,20	b 6	2,52	a 6	2,90	a 5	2,39	a 5	5,85	b 8	2,36	a 4	3,85	c 7	2,51	a 4
<b>0,4</b>	5,32	b,c 6	2,65	a 6	3,40	d 5	2,40	a 5	6,15	c 8	2,34	a 4	4,78	b 8	2,60	a 4

V případě variant náhodných přejezdů (Tabulka 35) došlo také, jako v případě CTF, ke statisticky významnému navýšení hodnot penetračních odporů do hloubky 0,08 m. Penetrační odpory naměřené na náhodných variantách prokázaly pozitivní vliv hlubokého kypření na snížení penetračních hodnot a to od hloubky 0,20 m.

**Tabulka 35 - Porovnání výsledků penetračních odporů variant náhodných přejezdů z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd)**

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; průměrné hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0,05$   
RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Hloubka [m]	RAN +HK 1. rok		RAN +HK 2. rok		RAN 1. rok		RAN 2. rok	
0,04	0,85	a 1	1,51	b 1	0,98	a 1,2	1,49	b 1
0,08	0,79	a 1	1,89	b 1,2	0,88	a 1	1,97	b 1,2
0,12	0,79	a 1	1,96	b 1,2	0,89	c 1	2,11	b 2,3
0,16	0,80	a 1	1,89	b 1,2	1,01	c 1,2	2,06	b 2,3
0,2	0,88	a 1	1,72	c 1	1,04	b 1,2	2,03	d 1,2
0,24	0,89	a 1	1,58	c 1	1,14	b 2	2,12	d 2,3
0,28	0,99	a 1	1,81	c 1,2	1,47	b 3	2,41	d 2,3,4
0,32	1,22	a 2	2,28	b 2,3	1,81	c 4	2,52	b 2,3,4
0,36	1,61	a 3	2,81	b 3	2,16	c 5	2,61	b 3,4
0,4	1,95	a 4	2,64	b 3	2,38	b 5	2,72	b 4

Výsledky objemových hmotností (Tabulka 36) neprokázaly žádné statisticky významné rozdíly hodnot při porovnání obou let experimentu. Jedinou výjimku tvoří hodnoty řízeného provozu strojů ve stopě s variantou hlubokého kypření v hloubkách 0,10-0,15 m a 0,20-0,25 m, kde došlo ve druhém roce ke statisticky významnému zvýšení objemových hmotností.

**Tabulka 36 - Porovnání výsledků objemových hmotností z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd)**

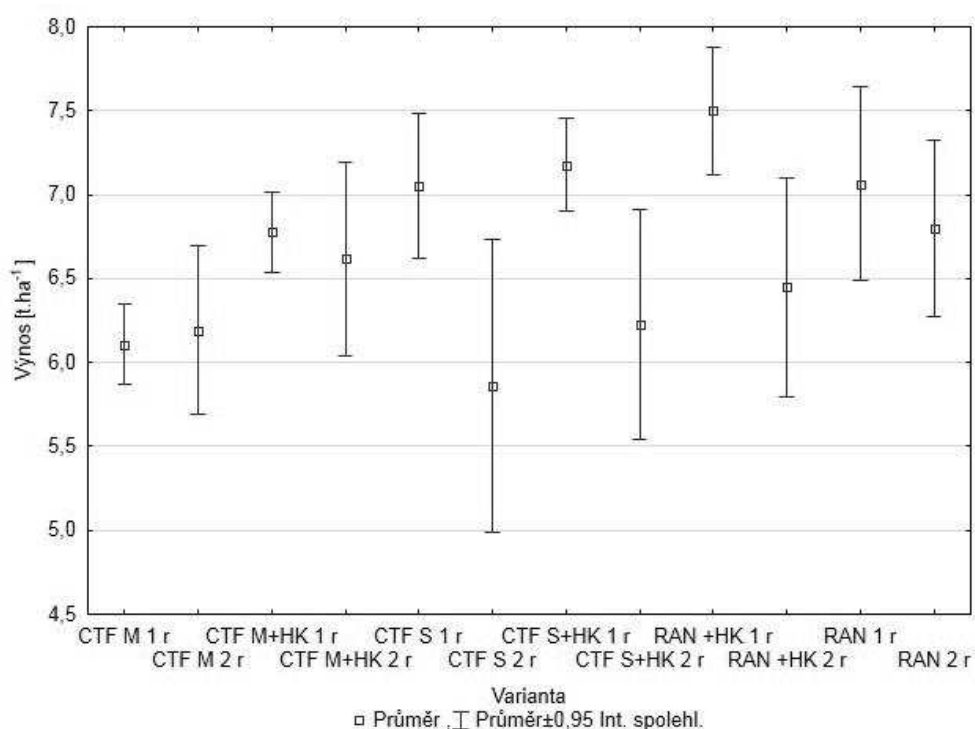
*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; průměrné hodnoty jsou v  $g.cm^{-3}$ ;  $\alpha = 0,05$   
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Hloubka [m]	CTF M 1. rok		CTF M 2. rok		CTF M+HK 1. rok		CTF M+HK 2. rok		CTF S 1. rok		CTF S 2. rok		CTF S+HK 1. rok		CTF S+HK 2. rok	
0-0,05	1,38	a,b 1	1,23	a 1	1,31	a,b 1	1,35	a,b 1	1,44	b 1	1,30	a,b 1	1,41	a,b 1	1,31	a,b 1
0,05-0,10	1,40	a 1	1,40	a 1,2	1,37	a 1,2	1,43	a,b 1	1,48	a,b 1,2	1,47	a,b 2	1,47	a,b 1,2,3	1,57	b 2
0,10-0,15	1,43	a 1	1,51	a,b,c 2	1,45	a 2	1,48	a,b 1	1,52	a,b,c 1,2	1,58	b,c 2	1,43	a 1,2	1,62	c 2
0,15-0,20	1,43	a 1	1,53	a 2	1,45	a 2	1,46	a 1	1,53	a 1,2	1,58	a 2	1,53	a 3	1,58	a 2
0,20-0,25	1,53	a,b,c 1	1,53	a,b,c 2	1,46	a 2	1,49	a,b 1	1,56	b,c,d 2	1,60	c,d 2	1,52	a,b 2,3	1,62	d 2

Při porovnávání výsledků odhadu výnosu plodin z obou hodnocených let (Obrázek 75) pro jednotlivé varianty byl zaznamenán pouze jeden statisticky významný případ. Jde o pokles výnosů v případě náhodných přejezdů s variantou hlubokého kypření (Tabulka 37). Všeobecně byl zaznamenán pokles výnosů ve druhém roce, oproti prvnímu roku, u všech



variant, kromě varianty CTF mimo stopu, kde bylo zjištěno minimální navýšení průměrných hodnot.



**Obrázek 75 - Porovnání výsledků odhadovaných výnosů plodin z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd)**  
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě; 1.2. r- rok měření

**Tabulka 37 - Statistické porovnání výsledků odhadovaných výnosů plodin z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd)**

CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě; 1.2. r- rok měření;  $\alpha=0,05$

Varianta	Výnos [t·ha <sup>-1</sup> ]	1	2	3
CTF S 2 r	5,86	****		
CTF M 1 r	6,11	****		
CTF M 2 r	6,19	****	****	
CTF S+HK 2 r	6,23	****	****	
RAN +HK 2 r	6,45	****	****	
CTF M+HK 2 r	6,62	****	****	****
CTF M+HK 1 r	6,78	****	****	****
RAN 2 r	6,80	****	****	****
CTF S 1 r	7,05	****	****	****
RAN 1 r	7,06		****	****
CTF S+HK 1 r	7,18	****	****	****
RAN +HK 1 r	7,50			****

#### 7.4.5 Závěry pro měření provedených na pozemku Červený Újezd

Výsledky penetračních měření prokázaly v obou letech experimentu, že hodnoty penetračních odporů jsou ovlivněny jak provozem zemědělských strojů po pozemku, tak i technologií zpracování půdy. Statisticky významné rozdíly byly nalezeny při porovnávání

výsledků naměřených ve stopě a mimo stopu, přičemž nárůst hodnot penetračních odporů ve stopě vzrostl až dvojnásobně oproti nepřejeté půdě. Rozdíly mezi technologiemi zpracování půdy byly nalezeny především u variant hlubokého kypření ve stopě a to mezi CTF a orbou, zde bylo zjištěno jeden a půl násobné navýšení hodnot u orební technologie.

Odběr fyzikálních válečků neprokázal vliv zhutnění či technologie zpracování půdy na momentální vlhkost. K jedinému statisticky významnému rozdílu došlo pouze v hloubce 0,2-0,25 m při porovnání CTF s hlubokým kypřením mimo stopu s variantami s orbou ve druhém roce měření. Obdobné výsledky přineslo porovnávání objemových hmotností, kde v prvním roce nedošlo ke statisticky významným rozdílům do hloubky 0,2 m. Ve druhém roce již byly nalezeny rozdíly v hloubce 0-0,05 m pro varianty CTF mimo stopu a orbou ve stopě s hlubokým kypřením, a v hloubce 0,05-0,1 m pro variantu CTF s hlubokým kypřením mezi hodnotami mimo stopu a ve stopě.

Výsledky nasycené hydraulické vodivosti ukazují na to, že jsou ovlivněny přejezdy zemědělských strojů a to velmi silně. Vliv technologie zpracování půdy na nasycenou hydraulickou vodivost nebyl prokázán mezi variantami CTF a orbou, naopak byl zjištěn vliv hlubokého kypření. Vliv hlubokého kypření na nasycenou hydraulickou vodivost byl zjištěn negativní (došlo k poklesu hodnot nasycené hydraulické vodivosti) a statisticky významný v případě nezhutněné půdy (mimo stopu). Naopak byl zaznamenán pozitivní vliv hlubokého kypření na průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti měřené ve stopě, nicméně tyto výsledky neměly statisticky významnou průkaznost.

Vyhodnocené výsledky toku vody indikované modrou barvou prokázaly vliv zhutnění půdy (měřených ve stopách) na výsledné pokrytí půdního profilu barvivem. Vliv zpracování půdy (CTF, orba, hluboké kypření) byl prokázán pouze v horních vrstvách půdního horizontu (do hloubky 0,15 m). I když nedošlo k výrazným statistickým rozdílům ve větších hloubkách, je možné říci, že hluboké kypření snižuje průměrné hodnoty toku vody půdním profilem v nezhutněné půdě.

Statisticky významné rozdíly u odhadovaných výnosů plodin byly nalezeny pouze v případě prvního roku měření, kde nejnižší hodnoty výnosů byly zjištěny u varianty CTF mimo stopu a tato varianta byla osamocena ve své vlastní homogenní skupině. Druhé nejnižší hodnoty výnosů měla varianta CTF mimo stopu s hlubokým kypřením, kde došlo ke

statisticky významné odlišnosti od variant CTF mimo stopu a náhodnými přejezdy s hlubokým kypřením. Při porovnání obou let došlo k poklesu výnosů na jednotlivých variantách, přičemž u variant CTF ve stopě, CTF ve stopě s hlubokým kypřením a u varianty náhodných přejezdů s hlubokým kypřením došlo ke snížení průměrných výnosů zhruba o  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

## 8 Diskuze

### 8.1 Penetrační měření

Na jednotlivých pozemcích byl zjištěn významný vliv zhutnění půdy na výsledky penetračních odporů.

V případě měření za kontrolovaných „suchých“ podmínek (Půdní Hala) lze konstatovat, že již první přejezd traktoru zvýší hodnoty penetračních odporů více než čtyřnásobně, přičemž u druhého a třetího přejezdu došlo k více než desetinásobnému zvýšení penetračních hodnot. Stejně jako v případě nasycené hydraulické vodivosti nedošlo po třetím přejezdu k výrazným změnám hodnot penetračního odporu v porovnání s druhým přejezdem.

Výsledné hodnoty penetračních odporů z pozemku Large Marsh potvrzují jejich vztah s indikací toku vody pomocí brilantní modři. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny v případě nezasetých stop, naopak nižší a nejnižší v případě zasetých stop a nezhutněné půdy. Stejně jako v případě indikace toku vody pomocí brilantní modři byla zaznamenána ovlivněná oblast půdy do hloubky 0,1-0,15 m (kypření do hloubky 0,1m a setí).

Na pozemku Bird's Nest došlo k neočekávané shodě hodnot penetračních odporů u variant nezhutněné půdy a traktoru s návěsem. Penetrační odpory u varianty zhutněné půdy hospodářskými zvířaty ukázaly také překvapivé výsledky, a to pozitivní vliv zhutnění tohoto typu na vrstvu půdy v hloubce 0,1-0,2m, kde byly měřeny nižší hodnoty penetračních odporů půdy oproti ostatním variantám. Vzhledem k několikanásobnému opakování měření penetračních odporů s obdobnými výsledky je možné potvrdit spojitost s výsledky Castellana et al. (2007), který zjistil pozitivní vliv dlouhodobé zátěže hospodářskými zvířaty na objemovou hmotnost půdy a infiltrační vlastnosti půdy. Nicméně lze říci, že výsledky penetračních odporů na pozemku Bird's Nest byly do jisté míry ovlivněny kamenitou půdou.

Experiment na pozemku Červený Újezd ukázal v prvním roce vliv přejezdů zemědělských strojů po pozemku na penetrační odpory půdy ve variantách náhodných přejezdů a CTF ve stopě. První rok byl do jisté míry ovlivněn hlubokým kypřením, které se projevilo v případě varianty CTF ve stopě s hlubokým kypřením. Ve druhém roce již byly průměrné hodnoty penetračních odporů seřazeny do skupin. V první skupině s nejnižšími

průměrnými hodnotami penetračních odporů byly varianty měřené mimo stopu CTF a orba s i bez hlubokého kypření. Ve druhé skupině byly nalezeny hodnoty obou variant CTF měřené ve stopách společně s oběma variantami náhodného provozu. Ve zvláštní skupině byly zjištěny hodnoty obou variant orby ve stopě, u kterých došlo k významnému navýšení hodnot penetračních odporů v hloubce 0,08 m. Tyto nárůsty hodnot penetračních odporů byly zaznamenány během dalších experimentů (Kouwenhoven et al., 2002; Munkholm et al., 2005 a Arrvidsson, 1998). Navýšení hodnot penetračních odporů bylo způsobeno převrácením zhutněné skývy do brázdy bez většího drobení či lámání skývy, zhutněná skýva byla pouze převrácena a odsunuta odhrnovačkou do strany kolmo na směr jízdy.

Výsledky měření potvrdily tvrzení, že hodnoty penetračních odporů půdy v případě nepřejeté plochy jsou výrazně nižší než v případě nízkého provozu nebo konvenčního systému zpracování půdy do hloubky 0,24 m (Dickson et al., 1996; Stenitzer et al., 2003 a Radford et al., 2007), přičemž ve větších hloubkách nebyly sledovány významné rozdíly na pozemcích Červený Újezd ve druhém roce měření a na pozemku Bird's Nest. Ostatní výsledky potvrdily vliv zhutnění půdy s významnými rozdíly do hloubek větších než 0,4 m, které mohly být ovlivněny hlubokým kypřením. Vliv hlubokého kypření mohou potvrdit výsledky na pozemku Červený Újezd, kde v prvním roce po hlubokém kypření byly nalezeny statisticky významné rozdíly až do hloubky 0,4 m a ve druhém roce pouze do hloubky 0,28 m (s výjimkou variant náhodných přejezdů). Z tohoto pohledu lze potvrdit výsledky Alakukku (1996b) a Arvidssona et al. (1996), kteří našli po zpracování půdy největší rozdíly penetračních odporů mezi nezhutněnou půdou a zhutněnou půdou v hloubkách větších než 0,3 m.

## 8.2 Odběr půdních vzorků

Za kontrolovaných podmínek byly nalezeny statisticky významné rozdíly objemových hmotností především v horní vrstvě půdy (0-0,07 m) a to mezi variantami bez přejezdu za „suchých“ podmínek a se třemi přejezdy za „vlhkých“ podmínek. Nicméně byl zjištěn nárůst průměrných hodnot objemových hmotností v závislosti na počtu přejezdů. Obdobné výsledky byly získány v případě měření na pozemku Large Marsh.

Na pozemku Červený Újezd během prvního roku měření byl zjištěn pouze jeden statisticky významný rozdíl u varianty CTF ve stopě v hloubce 0,2-0,25 m. V případě druhého

roku měření byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi variantami do hloubky 0,15 m a to u variant CTF ve stopě s hlubokým kypřením, orba ve stopě a orba ve stopě s hlubokým kypřením. V celkovém pohledu na oba roky, s přihlédnutím na průměrné hodnoty objemových hmotností, lze říci, že hluboké kypření na počátku experimentu sice snížilo hodnoty objemových hmotností půdy, ale ve druhém roce byly tyto hodnoty naopak zvýšené. Vliv přejezdů na objemové hmotnosti byl potvrzen v prvním i druhém roce experimentu, přestože nedošlo ke statisticky významným rozdílům. Hodnoty pórovitosti, až na výjimky, korespondují s výsledky objemových hmotností.

Výsledky měření objemových hmotností a pórovitosti potvrzují výsledky jiných autorů (Alakukku, 1996a; Dickson et al., 1996; Gómez et al., 1999; Sort et al., 1999; Gysi, 2001; Defosse et al., 2002; van Dijck et al., 2002; Gelder et al., 2006; Ekwue et al., 2010). Přesto je nutné říci, že výsledky získané v Půdní Hale a na pozemku Large Marsh byly do značné míry ovlivněny malým počtem měření (z organizačních důvodů). Ve všech případech byla zjištěná značná variabilita hodnot a s tím spojený velký interval spolehlivosti pro jednotlivé body odběru i jednotlivé hloubky. Tato variabilita snižuje přesnost výsledků a byla ovlivněna především homogenitou půdy, v případě pozemku Large Marsh i značnou kamenitostí pozemku.

### **8.3 Nasycená hydraulická vodivost**

Naměřené hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pro různé typy zhutnění půdy ukázaly, že jsou závislé na úrovni zhutnění. Toto ovlivnění nasycené hydraulické vodivosti zhutněním půdy bylo nalezeno a prokázáno na všech měřených pozemcích.

V Půdní Hale byl zaznamenán pokles průměrné nasycené hydraulické vodivosti po prvním přejezdu o 82% a po druhém o 98%. Tato data byla naměřena ve stejný den, kdy došlo k zhutnění půdy, navíc měření nebylo ovlivněno dalšími vnějšími vlivy, z tohoto důvodu nemohla půda pracovat a nemohlo dojít k tzv. „samovolnému kypření půdy“ (nedocházelo k navlhání a vysychání půdy vlivem vnějších podmínek). Dále hodnoty naměřené v Půdní Hale nebyly ovlivněny kořenovým systémem plodin a živými organismy v půdě. Z tohoto pohledu je možné brát výsledky naměřené v Půdní Hale jako výchozí neovlivněné podmínky pro polní měření.

Na pozemku Large Marsh byly získány obdobné výsledky jako v případě Půdní Haly. Průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti poklesly vlivem přejezdů v zasetých stopách o 73% a v nezasetých stopách o 99%.

V případě experimentu provedeného na pastvině (Bird's Nest) bylo zjištěno, že neexistuje rozdíl nasycené hydraulické vodivosti mezi zhutněním způsobeným hospodářskými zvířaty a traktorem s návěsem při stejném měrném tlaku.

Na pozemku Červený Újezd bylo měření nasycené hydraulické vodivosti provedeno pouze ve druhém roce experimentu. U všech variant bez hlubokého kypření byl nalezen statisticky významný rozdíl hodnot nasycené hydraulické vodivosti mezi variantami měřenými ve stopě a mimo stopu. Zajímavým výsledkem byly naměřené hodnoty nasycené hydraulické vodivosti u variant s hlubokým kypřením, kde došlo k navýšení průměrných hodnot nasycené hydraulické vodivosti ve stopě oproti hodnotám naměřeným mimo stopu o 22-60%. Nicméně v tomto případě nedošlo ke statisticky významným rozdílům. Tento nárůst v hluboce prokypřené půdě může být podporou pro tvrzení, že povrch zhutněné půdy nemá významný vliv na parametry infiltrace (van Dijck et al., 2002), přesto by měl být tento poznatek zaznamenán i v ostatních variantách bez hlubokého kypření a na dalších experimentálních pozemcích, k čemuž nedošlo. Měření nasycené hydraulické vodivosti mimo stopy prokázalo negativní vliv hlubokého kypření na infiltrační vlastnosti půdy.

Všeobecně lze říci, že výsledky naměřené nasycené hydraulické vodivosti na jednotlivých pozemcích souhlasí s citovanými prameny (Liebig et al., 1993; Yuxia et al., 2001; Hamza et al., 2005; Nakano et al., 2005; Raper, 2006; Yhang et al., 2006; Zhang et al., 2006; Chamen, 2011 a další). Například Chamen (2011) zjistil významný vliv zhutnění půdy na infiltrační vlastnosti půdy s nárůstem průměrných infiltračních hodnot na nezhutněné půdě o 200-400% v porovnání se zhutněnou půdou. Dále Chamen uvádí, že jediný přejezd traktoru může významně snížit infiltrační vlastnosti půdy, což bylo potvrzeno při měření v Půdní Hale. Hypotézu, že konvenční zpracování půdy má vyšší hodnoty nasycené hydraulické vodivosti než minimalizační zpracování půdy, se nepodařilo potvrdit (Gómez et al., 1999). Naopak se podařilo zjistit, že konvenční technologie má nižší průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti než minimalizační technologie (v tomto případě varianty orba a CTF), a že různé technologie zpracování půdy ovlivňují infiltrační vlastnosti půdy (Bagarello et al., 2004 a

2006; Qingjie et al., 2009 a Keller et al., 2010). Byl také potvrzen vliv hodpodářských zvířat na zhutnění půdy, potažmo na infiltrační vlastnosti půdy (Ball et al., 1999). Pozitivní vliv dlouhodobé pastvy na infiltrační vlastnosti půdy (Castellano et al., 2007) potvrzen nebyl, nicméně tento vliv nelze vyvrátit z hlediska metodiky krátkodobého zatížení pastviny hospodářskými zvířaty (skotem).

#### **8.4 Indikace toku vody pomocí brilantní modři**

Výsledné hodnoty indikace toku vody pomocí brilantní modři potvrdily vliv zhutnění půdy na výsledné procentuální zastoupení modré barvy na vertikálním řezu půdy.

Na pozemku Large Marsh byl zjištěn statisticky významný pokles pokrytí modrým barvivem v případě nezasetých stop (stopy postřikovače) až o 87% v porovnání s nezhutněnou půdou. Při porovnání variant zasetých stop a nezhutněné půdy nedošlo ke statisticky významným rozdílům do hloubky 0,15 m, nicméně byl zaznamenán pokles průměrných hodnot pokrytí barvivem v celém měřeném rozsahu pro variantu zasetých stop. V menších hloubkách (do 0,15 m) mohlo dojít ke statisticky významným rozdílům, ale tyto hloubky byly ovlivněny vířivým kypřičem do hloubky 0,1 m, setím a v neposlední řadě kořenovým systémem plodin (měření bylo provedeno během vegetace pšenice ozimé ve stádiu: GS 39-GS 49).

Měření indikace toku vody pomocí brilantní modři provedené na pozemku Červený Újezd, také prokázaly významný vliv zhutnění půdy na infiltrační vlastnosti půdy. Nejvyšších průměrných hodnot pokrytí modrou barvou bylo dosaženo u variant mimo stopu bez hlubokého kypření, dalších nejvyšších hodnot bylo dosaženo u stejných variant s hlubokým kypřením (I v tomto případě byl nalezen negativní dopad hlubokého kypření na infiltrační vlastnosti půdy, stejně jako u metody nasycené hydraulické vodivosti). Tento negativní dopad na infiltrační vlastnosti půdy je možné vysvětlit narušením pórovitosti půdy (kapilární i nekapilární) během hlubokého kypření a zapříčinit tak „zaslepení“ dříve vzniklých kanálků pro odtok vody. K nejnižším průměrným hodnotám pokrytí modrým barvivem došlo u variant měřených ve stopě se statisticky významným rozdílem v porovnání s variantami měřenými mimo stopu v hloubkách 0,1-0,3 m.

Měření indikace toku pomocí brilantní modři potvrdily vliv přejezdů zemědělských strojů na horní část půdního horizontu (do 0,3 m), což koresponduje s mnoha literárními



prameny (Gysi, 2001; Defosse et al., 2002; Alaoui et al., 2005 a 2008; Mooney et al., 2008; Alakukku 1996a a 1996 b). Hodnoty indikace toku vody pomocí brilantní modři potvrdily, že na povrchu půdy může docházet k zadržování vody v důsledku zhutnění půdy (Mooney et al., 2008), což je možné vizuálně pozorovat na fotografiích (viz. Příloha 8, nezaseté stopy – stopy postřikovače). Indikace toku vody pomocí brilantní modři je velmi užitečná technika, nicméně je velmi náročná na čas, lidskou práci a v neposlední řadě dochází i k poškození částí pozemku, kde je experiment prováděn (vykopání jámy pro pořízení fotografií). Je také potřeba věnovat experimentu velkou pozornost pro stanovení realistických výsledků.

### 8.5 Odhadované výnosy plodin

Odhadované výnosy plodin byly sledovány pouze na pozemku Červený Újezd. V prvním roce byly sledovány nejvyšší průměrné hodnoty výnosů pšenice ozimé (*Ludwig*) u varianty náhodných přejezdů, naopak nejnižší, statisticky významně se lišící, průměrné výnosy byly sledovány u varianty CTF mimo stopu. Pokud jsou porovnány zmiňované varianty, došlo v případě CTF mimo stopu k poklesu průměrných výnosů o 18,5%. Celkově bylo zjištěno, že varianty CTF mimo stopu měly nejnižší výnosy oproti ostatním variantám. Po přepočtu variant ve stopě a mimo stopu na celkové výnosy na hektar byly nalezeny nejnižší hodnoty odhadovaných výnosů opět v případě variant CTF. S přihlédnutím na hodnoty penetračních odporů a objemové hmotnosti půdy, lze zjistit, že vyšší výnosy byly získány na půdě s vyššími hodnotami penetračních odporů a objemových hmotností (vyšší zhutnění půdy).

Lze tedy říci, že zhutnění půdy v prvním roce prokázalo vliv zhutnění na výnosy plodin, ale v pozitivním smyslu (Voohees, 1991). Vysvětlení přináší experiment Alakukku et al. (1995), kde byly zjištěny výnosové ztráty (6%) po zavedení technologie CTF a až do třetího roku experimentu. Práce některých autorů potvrzují výsledky, které byly zjištěné v prvním roce měření na pozemku Červený Újezd a to, že střední zhutnění půdy nemusí nezbytně přinášet negativní efekt na výnosy plodin, ale může zajišťovat vyšší výnosy plodin (Chamen et al., 1992; Arvidsson et al., 1996; Bouwman et al., 2000 a Voohees, 1991). Výnosy mohly být také ovlivněny suchým obdobím od 20.6.2010 do 4.7.2010, kdy byla pšenice ozimá (*Ludwig*) ve stádiu GS 70-89 (nalévání zrna). K průměrným srážkám 8 mm došlo až 5-6.7.2010 (viz. Příloha 14). Tyto srážky ovlivnily potenciál půdní vody a byly zaregistrovány zvýšené hodnoty ve stopě po šest dní, kdežto mimo stopu pouze jeden až dva dny. To znamená, že u

nezhutněné půdy došlo k rychlému odtoku vody do spodních vrstev půdy, případně k evaporaci vody z půdy. Naproti tomu u zhutněných variant se voda lépe udržela v horních vrstvách půdního profilu. Lze tedy říci, že zpracování půdy bez přejezdů napomáhá infiltračním vlastnostem půdy. Na druhou stranu zůstává otázkou, do jaké míry je kyprost půdy vhodná pro pěstování plodin.

Ve druhém roce experimentu byly hodnoty odhadovaných výnosů vyrovnané a nedošlo ke statisticky významnému rozdílu mezi variantami, což koresponduje s výsledky Bakera (2007). K této homogenitě výsledků přispěla značná variabilita hodnot (především u variant s orbou), která způsobila zvětšení rozsahů intervalů spolehlivosti. Při srovnání jednotlivých variant v průměrných hodnotách byly nejvyšší průměrné výnosy zaznamenány u varianty orby ve stopě s hlubokým kypřením a nejnižší průměrný výnos u varianty CTF ve stopě s rozdílem průměrných hodnot 20%. U variant CTF byl zjištěn pokles průměrných hodnot výnosů ve stopě, kdežto u variant s orbou tomu bylo naopak. Stejně jako v prvním roce experimentu byly zjištěny nejvyšší průměrné výnosy u variant, kde byly naměřeny nejvyšší průměrné hodnoty penetračních odporů, tedy nižší hodnoty infiltračních vlastností půdy.

Výsledky z druhého roku experimentu potvrzují, stejně jako v prvním roce, že vliv zhutnění půdy může přinášet pozitivní vliv na výnosy plodin (Chamen et al., 1992; Arvidsson et al., 1996; Bouwman et al., 2000 a Voorhees, 1991).

Při porovnání výsledků hmotností tisíce semen (HTS) lze říci, že hmotnost tisíce semen je ovlivněna zhutněním půdy, technologií přejezdů a technologií zpracování půdy. Nicméně nelze vyvrátit tvrzení, že zhutnění podloží půdy nemá vliv na HTS (Ishaq et al., 2001). V prvním roce po hlubokém kypření došlo ke statisticky významným rozdílům, které se projevily nárůstem hodnot HTS mimo stopy v porovnání s variantami měřenými ve stopách. Ve druhém roce byl nalezen jediný statisticky významný rozdíl a to mezi variantami náhodných přejezdů, kde vyšší hodnoty HTS byly zjištěny u varianty s hlubokým kypřením.

Při porovnání obou let je možné konstatovat, že zhutnění půdy ovlivňuje výnosy plodin a to pozitivně. Konstatování, že vliv zhutnění půdy na jednu plodinu (pšenice ozimá - *Ludwig*) nemusí mít významný vliv na jinou plodinu (sladovnický ječmen jarní - *Prestige*), nebylo potvrzeno, ale také nebylo vyvráceno (Voorhees, 1991).

V budoucnu by bylo možné předpokládat navýšení výnosů na pozemku Červený Újezd v případech CTF mimo stopu, a to ve čtvrtém a pátém roce experimentu. Pokud by k tomuto nárůstu došlo, potom by bylo možné potvrdit výsledky jiných autorů (Chamen et al., 1992; Alakukku et al., 1995; Arvidsson et al., 1996; Ratford et al., 2001; Lipiec et al., 2003; Chamen, 2011).

## 8.6 Zjištěné závislosti mezi veličinami

V případě závislostí nasycené hydraulické vodivosti a indikace toku vody pomocí brilantní modři na penetračním odporu byly ve všech případech zjištěny klesající závislosti, což podporují výsledky závislostí nasycené hydraulické vodivosti na penetračních odporech půdy. Tyto dosažené potvrzují klesající závislosti Nakana et al. (2005), nicméně nelze potvrdit trend, kterým Nakano et al. (2005) závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti popsal.

Závislosti výnosů plodin na objemové hmotnosti půdy, zjištěné během dvouletého výzkumu, potvrdily trendy závislostí, které byly publikované McKyesem et al. (1979 a 1985), Negim et al. (1981) a Czyz (2004). Zjištěný trend byl polynomického tvaru druhého stupně, s nejvyšším bodem hodnot výnosů při objemové hmotnosti  $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$ . Naopak nebyl potvrzen výsledek Ahmada et al. (2009b), kde byl zjištěn zrcadlený polynomický trend druhého řádu.

## 9 Doporučení pro další výzkum

Doporučení pro další výzkum jsou:

- Provést výzkum více zaměřený na vliv technologií zpracování půdy na infiltrační vlastnosti půdy.
- Vzhledem k tomu, že všechna měření infiltračních vlastností půdy (s výjimkou Půdní Haly) mohla být ovlivněna pěstovanou plodinou (pšenice, ječmen, píce), doporučuje se provést další měření infiltračních vlastností půdy, kde by infiltrační vlastnosti půdy nebyly ovlivněny plodinami a jejich kořenovým systémem. Toto doporučení platí pro obě zkoumané varianty měření: nasycená hydraulická vodivost, indikace toku vody pomocí brilantní modři. Dále se doporučuje podpořit výsledky infiltračních vlastností půdy např. neporušenými půdními vzorky, případně penetračním měřením.
- Realizovat měření infiltračních vlastností půdy pro různé hloubky půdního horizontu, například pro hloubky 0,1; 0,2 a 0,3 m.
- Provést více zaměřený výzkum, který by se zabýval vlivem zhutněné půdy hospodářskými zvířaty na infiltrační a další fyzikální vlastnosti půdy (objemová hmotnost, penetrační odpor atd.) a porovnat tento vliv s různými simulovanými typy zhutnění půdy. Pro výše uvedené se doporučuje provést měření a porovnání všech zmiňovaných parametrů pro různé hloubky půdního horizontu (vzhledem k dosaženým výsledkům se doporučují experimenty na povrchu půdy a v hloubkách 0,1; 0,2 a 0,3 m).
- Před založením experimentu vlivu zhutnění půdy a technologie zpracování půdy se doporučuje provést zhodnocení (variabilitu) výnosů plodin za stávajících/výchozích podmínek. Následně vybrat části pozemku, kde by byly výnosy nejstabilnější, případně vyhodnocovat výsledky a porovnávat je s výchozími podmínkami. Výchozí podmínky je možné hodnotit např.: výnosovou mapou, odhadovaným výnosem plodin, leteckými snímky, měřením vodivosti půdy atd..
- Provést dlouhodobý experiment, který by zkoumal vliv zhutnění půdy a technologie zpracování půdy na výsledné výnosy plodin v horizontu minimálně pěti let společně se sledováním potenciálu půdní vody. Pro tento

experiment se doporučuje použít následných technologií přejezdů a zpracování půdy: náhodné přejezdy (případně jejich simulace), technologie CTF, orba, minimalizační zpracování půdy a případně technologii Strip Tillage (zpracování půdy v pruzích – varianta minimalizační technologie).

- Zaměřit se na variabilitu výnosů plodin při použití technologie s orbou, případně získávat výnosy plodin u této varianty z větších ploch pozemků. Toto doporučení vyplývá z výsledků v druhém roce experimentu na pozemku Červený Újezd, kde byla data výnosů vyňata ze zkoumaných závislostí jednotlivých výsledků z důvodů značné variability (byly zjištěny pouze nepoužitelné závislosti výnosů plodin na ostatních veličinách).

## 10 Závěry a shrnutí

- I. Zhutnění půdy způsobené přejezdy zemědělských strojů a technologie zpracování půdy má významný vliv na penetrační odpor půdy:
  - Potvrzeno na základě výsledků měření za kontrolovaných podmínek (Půdní Hala) a na pozemcích Large Marsh, Bird's Nest, Červený újezd.
- II. Zhutnění půdy způsobené přejezdy zemědělských strojů má vliv na objemové hmotnosti a pórovitosti půdy:
  - Potvrzeno na základě výsledků měření za kontrolovaných podmínek (Půdní Hala) a na pozemcích Large Marsh, Červený újezd.
- III. Zhutnění půdy způsobené přejezdy zemědělských strojů a technologie zpracování půdy má významný vliv na hodnoty nasycené hydraulické vodivosti:
  - Potvrzeno na základě výsledků měření za kontrolovaných podmínek (Půdní Hala) a na pozemcích Large Marsh, Bird's Nest, Červený újezd.
- IV. Zhutnění půdy způsobené přejezdy zemědělských strojů a technologie zpracování půdy má významný vliv na preferenční proudění vody (indikace toku vody pomocí brilantní modři):
  - Potvrzeno na základě výsledků měření na pozemcích Large Marsh a Červený Újezd.
- V. Zhutnění půdy způsobené přejezdy zemědělských strojů a technologie zpracování půdy má vliv na výnosy plodin:
  - Potvrzeno na základě výsledků měření na pozemku Červený újezd.
- VI. Výsledky zkoumaných závislostí:
  - Závislosti nasycených hydraulických vodivostí na penetračních odporech a objemových hmotnostech půdy byl ve všech případech zjištěný klesající trend, s korelačním koeficientem  $|R| > 0,8$ . V případě experimentu Červený Újezd byly také nalezeny klesající exponenciální závislosti, ale s výslednými hodnotami  $0,4 < |R| < 0,7$ . Dá se říci, že nasycená hydraulická vodivost je silně závislá na hodnotách objemové hmotnosti půdy a penetračních odporech.
  - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu byla zjištěna klesající s velmi vysokou závislostí ( $|R| > 0,9$ ) a byla popsána exponenciální

křivkou (v případě Bird's Nest lineárním trendem). Nasycená hydraulická vodivost je silně závislá na penetračním odporu půdy.

- Při sledování závislosti pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti půdy byl vypočten klesající lineární trend s velmi vysokou závislostí ( $|R| > 0.9$ ). Preferenční tok vody je silně závislý na objemové hmotnosti půdy.
- Závislost výnosů na objemové hmotnosti půdy byla v prvním i druhém roce měření popsána klesajícím polynomickým tvarem druhého stupně se střední závislostí ( $0,6 < |R| < 0,7$ ). Výnos plodin je středně závislý na objemové hmotnosti půdy.
- Při zkoumání závislosti výnosů na nasycené hydraulické vodivosti byl zjištěn rostoucí mocninný trend se středně silnou závislostí ( $|R| > 0,4$ ). Výnos plodin je středně závislý na nasycené hydraulické vodivosti.

#### VII. Odpovědi na hypotézy:

- a. Má technologie CTF vliv na výnosy plodin?
  - i. Technologie CTF má vliv na výnosy plodin v kombinaci s vnějšími vlivy.
  - ii. V průběhu prvního roku měření na pozemku Červený Újezd byl zjištěn statisticky významný pokles celkového výnosu u varianty CTF v porovnání s variantou náhodných přejezdů s hlubokým kypřením. V celkovém porovnání prvního roku byly zjištěny nižší průměrné hodnoty výnosů variant CTF v porovnání s variantami náhodných přejezdů. Snížení výnosu u variant CTF bylo vysvětleno nižšími hodnotami vodního potenciálu během suchého období v případě nepřejetých ploch. Na těchto plochách pravděpodobně došlo k průsaku do nižších vrstev půdy či evaporaci dešťových srážek vlivem kypřejší půdy.
  - iii. Ve druhém sledovaném roce na pozemku Červený Újezd nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi variantami, nicméně byly zaznamenány nejnižší hodnoty celkových výnosů u variant CTF.
- b. Existuje rozdíl vlivu mezi zhutněním půdy sešlapáním hospodářskými zvířaty a přejezdy zemědělské techniky na fyzikální a infiltrační vlastnosti půdy?
  - i. Byl nalezen statisticky významný rozdíl vlivu mezi jmenovanými variantami zhutnění půdy na fyzikální vlastnosti půdy sledované penetračním měřením. Tento rozdíl byl nalezen v hloubkách 0,1-0,25 m, přičemž nižší hodnoty

penetračních odporů byly zjištěny u varianty zhutnění sešlapáním hospodářskými zvířaty.

- ii. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi jmenovanými variantami zhutnění půdy na infiltrační vlastnosti půdy.
- c. Existuje vztah mezi nasycenou hydraulickou vodivostí půdy a výnosy plodin?
  - i. Byla nalezena kladná středně silná mocninná závislost výnosů plodin na nasycené hydraulické vodivosti půdy.

VIII. Nové poznatky:

- Vliv hlubokého kypření se projevuje negativně na nasycenou hydraulickou vodivost měřenou pomocí metody SFH v případě nezhutněné (mimo stopy zemědělských strojů) půdy.
- Výnosy stoupají v závislosti na nasycené hydraulické vodivosti podle mocninného trendu.
- Při měření na pozemku Červený Újezd byly získány komplexní výsledky v rámci České Republiky.
- Nově byla použita metoda výsečí horizontů penetračních odporů půdy v modulové šířce záběru pro všechny varianty a roky na pozemku Červený Újezd.



## Citovaná literatura

- Ahmad N., Hassan F. U. a Belford R. K., 2009a**, Effect of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (*Triticum aestivum*): I. Compaction, *Field Crops Research* - 2009 - 1 : Sv. 110. - stránky 61-68. - ISSN 0378-4290.
- Ahmad N., Hassan F. U. a Belford R. K., 2009b**, Effects of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (*Triticum aestivum*): II: Alleviation, *Field Crops Research* - 2009 - 1 : Sv. 110. - stránky 61-68. - ISSN 0378-4290.
- Alakukku L., Elonen P., 1995**, Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops, *Soil and Tillage Research* - 1995 - Sv. 36. - stránky 141-152. - ISSN 0167-1987.
- Alakukku L., 1996 a**, Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils, *Soil and Tillage Research* - 1996 - 4 : Sv. 37. - stránky 211-222. - ISSN 0167-1987.
- Alakukku L., 1996 b**, Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils, *Soil and Tillage Research* - 1996 - 4 : Sv. 37. - stránky 223-238. - ISSN 0167-1987.
- Alaoui A. a Goetz B., 2008**, Dye tracer and infiltration experiments to investigate macropore flow, *Geoderma* -2008 - 1-2 : Sv. 144. - stránky 279-286. - ISSN 0016-7061.
- Alaoui A. a Helbling A., 2005**, Evaluation of soil compaction using hydrodynamic water content variation: Comparison between compacted and non-compacted soil, *Geoderma* - 2005 - 1-2 : Sv. 134. - stránky 97-108. - ISSN 0016-7061.
- Anken T., Weisskopf P., Zihlmann U., Forrer H., Jansa J., Perhacova K., 2004**, Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland, *Soil and Tillage Research* - 2004 - 2 : Sv. 78. - stránky 171-183. - ISSN 0167-1987.

- Arvidsson J. a Håkansson I., 1996**, Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden, *Soil and Tillage Research* - 1996 - 3-4 : Sv. 39. - stránky 175-197. - ISSN 0167-1987.
- Arvidsson J., 1998**, Effect of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens, *European Journal of Agronomy* - 1998: Sv. 9. - stránky 79-85. - ISSN 1161-0301.
- ASAE, 2004**, ASAE Standards Soil cone penetrometer. - St. Joseph : St. Joseph, Mich.: ASAE, 49th Ed.. - ASAE S313.3.
- Bagarello V., Iovino M. a Elrick D. A., 2004**, Simplified Falling-Head Technique for Rapid Determination of Field-Saturated Hydraulic Conductivity, *Soil Science Society of America Journal* - 2004 - Sv. 68. - stránky 66-73. - ISSN 0361-5995.
- Bagarello V., Elrick D. E., Iovino M. a Sgro, A., 2006**, A laboratory analysis of falling head infiltration procedures for estimating the hydraulic conductivity of soils, *Geoderma* - 2006 - Sv. 135. - stránky 322-334. - ISSN 0016-7061.
- Baker C.J., Saxton K.E., 2007**, No-tillage seeding in conservation agriculture, Rome, Italy: CAB International and FAO, 2007.- 2. Vyd. ISBN 92-5-105389-8
- Ball B. C., Parker J. P. a Scott A., 1999**, Soil and residue management effects on cropping conditions and nitrous oxide fluxes under controlled traffic in Scotland, *Soil & Tillage Research* - 1999 - 3-4 : Sv. 52. - stránky 191-201. - ISSN 0167-1987.
- Bell L. W., Kirkegaard J. A., Swan A., Hunt J. R., Huth N. I. a Fettell N. A., 2011**, Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity, *Soil & Tillage Research* - 2011 - 1 : Sv. 113. - stránky 19–29. - ISSN 0167-1987.
- Bouwman L. A. a Arts W. B., M., 2000**, Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties, *Applied Soil Ecology* - 2000 - 3 : Sv. 14. - stránky 213-222. - ISSN 0929-1393.
- Castellano M. J. a Valone T. J., 2007**, Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism, *Journal of Arid Environments* - 2007 - 1 : Sv. 71. - stránky 97–108. - ISSN 0140-1963.

- Czyz E.A., 2004**, Effect of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley, *Soil and Tillage Research* - 2004: Sv. 79. - stránky 153-166. - ISSN 0167-1987.
- D'Haene K., Vermang J., Cornelis W. M., Leroy B. L. M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D. a Hofman G., 2008**, Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops, *Soil and Tillage Research* - 2008 - 2 : Sv. 99. - stránky 279-290. - ISSN 0167-1987.
- Dauda A. a Samari A., 2002**, Cowpea yield response to soil compaction under tractor traffic on a sandy loam soil in the semi-arid region of northern Nigeria, *Soil and Tillage Research* - 2002 - 1 : Sv. 68. - stránky 17-22. - ISSN 0167-1987.
- Defossez P. a Richard G., 2002**, Models of soil compaction due to traffic and their evaluation, *Soil and Tillage Research* - 2002 - 1 : Sv. 67. - stránky 41-64. - ISSN 0167-1987.
- Dickson J. W. a Ritchie R. M., 1996**, Zero and reduced ground pressure traffic systems in an arable rotation 2. Soil and crop responses, *Soil and Tillage Research* - 1996 - 1-2 : Sv. 38. - stránky 89–113. - ISSN 0167-1987.
- Ekwue E. I. a Harrilal A., 2010**, Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils, *Biosystems Engineering* - 2010 - 1 : Sv. 105. - stránky 112–118. - ISSN 1537-5110.
- Elrick D. E., Reynolds W. D. a Tan K. A., 1989**, Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated zone using improved well analyses, *Ground Water Monitoring & Remediation* - 9. - Sv. 3. - stránky 184-193. - [On-line]. URL: <http://info.ngwa.org/gwol/pdf/891849364.PDF> [14.5.2012]..
- Gelder B. K., Cruse R. M. a Zhang X. Y., 2006**, Comparison of Track and Tire Effects of Planter Tractors on Corn Yield and Soil Properties, *the Power & Machinery Division of ASABE* - 2006 - 2 : Sv. 50. - stránky 365-370. - ISSN 0001–2351.

- Godwin R.J., 2009**, Precision management of soil compaction and alternative approaches, R&D Conference "Precision in arable farming: current practice and future potential", Grantham, Lincolnshire, UK, 28.-29.10.2009, [On-line], CabDirect. URL: <http://www.cabi.org/cabdirect/FullTextPDF/2010/20103068746.pdf> [14.3.2013].
- Gómez J. A., Giraldez J. V., Pastor M. a Fereres E., 1999**, Effects of tillagemethod on soilphysicalproperties, infiltration and yield in an olive orchard, *Soil & Tillage Research* - 1999 - 3-4 : Sv. 52. - stránky 167–175. - ISSN 0167-1987.
- Gysi M., 2001**, Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: Field data and a critical state soil mechanics model approach, *Soil & Tillage Research* - 2001 - 3-4 : Sv. 61. - stránky 133-142. - ISSN 0167-1987.
- Håkansson I., 1983**, On the reasons for influences of machinery, [Konference] *Proceedings of the Symposium: Zmeny Pudniho Prostredi ve vztahu k intenzifikacnim faktorum.* - Brno : Dům techniky ČSVTS České Budějovice, stránky 57-66. - V Německém Jazyce.
- Hamza M. A. a Anderson W.K., 2005**, Soilcompaction in croppingsystems: A review of the nature, causes and possible solutions, *Soil & Tillage Research* - 2005 - 2 : Sv. 82. - stránky 121-145. - ISSN 0167-1987.
- Hassan F.U., Ahmad M., Ahmad N. a Kaleem Abbasi M., 2007**, Effects of subsoil compaction on yield and yield attributes of wheat in the sub-humid region of Pakistan, *Soil & Tillage Research* - 2007 - 1-2 : Sv. 96. - stránky 361-366. - ISSN 0167-1987.
- Hendl J., 2012**, Přehled statistických metod zpracování dat, Analýza a metaanalýza dat. - Praha : Portál 2012, 4 rozšířené vyd. ISBN 978-80-262-0200-4
- Hůla J., Kroulík M. a Kovaříček P., 2009**, Vliv opakovaných přejezdů po půdě nastupeň zhutnění půdy [CD ROM] = GPS autopiloty v zemědělství. - Praha : ČZU, 2009. - ISBN 978-80-213-1993-6.
- Chamen W.C.T., Chithey E.T., Leede P.R., Goss M.J., Howse K.R. (1990)**, The effect of tyre soil contact pressure and zero traffic on soil and crop responses when growing winter wheat, *Journal of Agricultural Engineering Research* – 1990: Sv. 47. - stránky 1–21. – ISSN 0021-8634

- Chamen W. C. T., Vermeulen, G. D., Campbell, D. J. a Sommer, C., 1992**, Reduction of traffic-induced soil compaction: a synthesis, *Soil & Tillage Research* - 1992 - 4 : Sv. 24. - stránky 303-318. - ISSN 0167-1987.
- Chamen T., Alakukku L., Pires S., Sommer C., Spoor G., Tijink F. a Weisskopf P., 2003**, Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices, *Soil & Tillage Research* - 2003 - 1-2 : Sv. 73. - stránky 161-174. - ISSN 0167-1987.
- Chamen W.C.T., 2011**, The effect of low and controlled traffic systems on soil physical properties, yields and the profitability of cereal crops on a range of soil types, Cranfield University. - Práce předložená při plnění požadavků pro udělení titulu Ph.D..
- Chráska M., 1998**, Základy výzkumu v pedagogice. - Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998. - 2 vyd. - ISBN - 978-80-706-7798-8
- Ishaq M., Hassan A., Saeed M., Ibrahim M. a Lal R. , 2001**, Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: I. Soil physical properties and crop yield, *Soil & Tillage Research* - 2001 - 1-2 : Sv. 59. - stránky 57–65. - ISSN 0167-1987.
- Johnson C. E. a Bailey A. C., 2002**, Soil Compaction, *Advances in Soil Dynamics* - 2002 - Sv. 2. - stránky 155-183. - ISSN 0254-9689
- Keller T., Sutter J. A., Nissen K. a Rydberg T., 2010**, Soil structure explains some within-field variation in crop yield, [Konference] *International Conference on Agricultural Engineering - AgEng 2010: towards environmental technologies*. - Clermont-Ferrand : Cemagref, 2010. - str. REF374. - ISBN 978-2-85362-684-2.
- Ketelsen H. a Meyer-Windel S., 1999**, Adsorption of brilliantblueFCF by soils, *Geoderma* - 1999 - 1-2 : Sv. 90. - stránky 131–145. - ISSN 0016-7061.
- Kouwenhoven J.K., Perdok U.D., Boer J., Oomen G.J.M., 2002**, Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands, *Soil & Tillage Research* - 2002: Sv. 65. - stránky 125–139. - ISSN 0167-1987.

- Kramers G., Richards K. G. a Holden N. M., 2009**, Assessing the potential for the occurrence and character of preferential flow in three Irish grassland soils using image analysis, *Geoderma* - 2009 - 3-4 : Sv. 153. - stránky 362–371. - ISSN 0016-7061.
- Krištof K., Boďo T., Misiewicz P. A., 2010**, Vplyv pracovného náradia na vybrané pôdne vlastnosti, *Technika v technológiách agrosektora* 2010 - 1: Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra - stránky 86-92. - ISBN 9788055204673.
- Kroulík M., Hůla J., Šindelař R. a Illek F., 2007**, Water Infiltration into Soil Related to the Soil Tillage Intensity, *Soil & Water Res.* - 2007 - 2 : Sv. 2. - stránky 15-24. - ISSN 1801-5395.
- Kroulík M., Kviz Z., Kumhála F., Hůla J. a Loch T., 2010**, Procedures of soil farming allowing reduction of compaction, *PRECISION AGRICULTURE* - 2010 - 3 : Sv. 12.: SPRINGER, VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311 GZ DORDRECHT, NETHERLANDS, 2011. - stránky 317-333. - ISSN 1385-2256.
- Kroulík M., Kumhála F., Hůla J. a Honzík I., 2009**, The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies, *Soil & Tillage Research* - 2009 - 1 : Sv. 105. - stránky 171-175. - ISSN 0167-1987.
- Laker M. C., 2001**, Soil compaction: Effect and amelioration, Proceedings. Congress of the South African Sugar Technologists Association - Sv. 75. - stránky 125-128, [On-line], SASTA. URL: [http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/2000s/2001\\_laker\\_SOIL%20COMPACTION.pdf](http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/2000s/2001_laker_SOIL%20COMPACTION.pdf) [14.3.2012].
- Li X. Y., Tullberg J. N. a Freebairn D. M., 2007**, Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield, *Soil & Tillage Research* - 2007 - 2 : Sv. 97. - stránky 282–292. - ISSN 0167-1987.
- Liebig M. A., Jones A. J., Mielke L. N. a Doran J. W., 1993**, Controlled Wheel Traffic Effects on Soil Properties in Ridge Tillage, *Soil Science Society of America Journal* - 1993 - Sv. 57. - stránky 1061-1066. ISSN 1435-0661

- Lipiec J., Hatano R., 2003**, Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth, *Geoderma* - 2003: Sv. 116. - stránky 107-136, ISSN 0016-7061.
- Mašek J., Kroulík M. a Kumhála F., 2009**, BENEFITS OF CONTROLLED TRAFFIC FARMING, [Konference] *Engineering for Rural Development*. - Jelgava : LATVIA UNIV AGRICULTURE, FACULTY ENGINEERING, INST MECHANICS, 5 J CAKSTES BLVD, JELGAVA, LV-3001, LATVIA, 2009. - stránky 54-58. - ISSN 1691-3043.
- Mašek J., Kroulík M. a Kumhála F., 2010**, CONTROLLED TRAFFIC FARMING [Konference] *Engineering for Rural Development*. - Jelgava : LATVIA UNIV AGRICULTURE, FACULTY ENGINEERING, INST MECHANICS, 5 J CAKSTES BLVD, JELGAVA, LV-3001, LATVIA, 2010. - stránky 37-41. - ISSN 1691-3043.
- McKyes E., 1985**, Soil cutting and tillage, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier science publishers B.V., 1985, ISBN 0-444-42548-9.
- McKyes E., Negi S., Douglas E., Taylor F., Raghavan V., 1979**, The effect of machinery traffic and tillage operations on the physical properties of clay and on yield of silage corn, *Journal of Agriculture Engineering Research* - 1979: Sv. 24 - - stránky 143-148. ISSN 0021-8634.
- McKyes E., 1989**, Agricultural engineering soil mechanics, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier science publishers B.V., 1989, ISBN 0-444-88080-1.
- Mooney S. J. a Morris C., 2008**, Amorphological approach to understanding preferential flow using image analysis with dye tracers and X-ray Computed Tomography, *CATENA* - 2008 - 2 : Sv. 73. - stránky 204–211. - ISSN 0341-8162.
- Morris C. a Mooney S. J., 2004**, A high-resolution system for the quantification of preferential flow in undisturbed soil using observations of tracers, *Geoderma* - 2004 - 1-2 : Sv. 118. - stránky 133-143, ISSN 0016-7061.
- Motavalli P.P., Stevens W.E., Hartwig G., 2003**, Remediation of subsoil compaction and compaction effects on corn N availability by deep tillage and application of poultry manure in a sandy-textured soil, *Soil & Tillage Research* - 2003: Sv. 71. - stránky 121–131. - ISSN 0167-1987.

- Munkholm L.J., Schjønning P., Rüegg K., 2005**, Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing: I. Soil response, *Soil & Tillage Research* - 2005: Sv. 80. - stránky 149–158. - ISSN 0167-1987.
- Nakano K. a Miyazaki T., 2005**, Predicting the saturated hydraulic conductivity of compacted subsoils using the non-similar media concept, *Soil & Tillage Research* - 2005 - 2 : Sv. 84. - stránky 145–153. - ISSN 0167-1987.
- Negi S.C., McKyes E., Raghavan G.S.V., Taylor F., 1981**, Relationship of field traffic and tillage to corn yields and soil properties, *Journal of Terramechanics* - 1981 - 18: Sv. 2. - stránky 81–90. - ISSN 0022-4898.
- Öhrström P., Hamed, Y., Persson, M. a Berndtsson, R., 2004**, Characterizing unsaturated solute transport by simultaneous use of dye and bromide, *Journal of Hydrology* - 2004 - 1-4 : Sv. 289. - stránky 23–35. - ISSN 0022-1694.
- Qingjie W., Hao C., Hongwen L., Wenying L., Xiaoyan W., McHugh A. D., Jin H. a Huanwen G., 2009**, Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau, *Soil and Tillage Research* - 2009 - 1 : Sv. 104. - stránky 192-197. - ISSN 0167-1987.
- Radford B.J., Bridge B.J., Davis R.J., McGarry D., Pillai U.P., Rickman J.F., Walsh P.A., Yule D.F., 2000**, Changes in the properties of a Vertisol and response of wheat after compaction with harvest traffic, *Soil and Tillage Research* - 2000 - 1 : Sv. 54. - stránky 155-170. - ISSN 0167-1987.
- Radford B.J., Yule D.F., McGarry D. a Playford C., 2007**, Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics, *Soil & Tillage Research* - 2007 - 2 : Sv. 97. - stránky 249-255. - ISSN 0167-1987.
- Radford B.J., Yule D.F., McGarry D. a Playford C., 2001**, Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments, *Soil & Tillage Research* - 2001. - 3-4 : Sv. 61. - stránky 157-166. - ISSN 0167-1987.



- Raper R. L. a Kirby J. M., 2006**, Soil compaction: How to do it, undo it, or avoid it [Konference] *Agricultural Equipment Technology Conference*. - Louisville, Kentucky, USA - 2006. - stránky 1-14. [On-line]. USDA. URL: [http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64200500/csr/ResearchPubs/raper/raper\\_06d.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64200500/csr/ResearchPubs/raper/raper_06d.pdf) [25.3.2012].
- Raper R. L., 2005**, Agricultural traffic impacts on soil, *Journal of Terramechanics* - 2005. - 3-4 : Sv. 42. - stránky 259–280. - ISSN 0022-4898.
- Reintam E., Trükmann K., Kuht J., Nugis E., Edesi L., Astover A., Noormets M., Kauer K., Krestein K., Rannik K. (2009)**, Soil compaction effects on soil bulk density and penetration resistance and growth of spring barley (*Hordeum vulgare* L.), *Plant Soil Science* – 2009. - 3: Sv. 59. - stránky 265-272. – ISSN 0906-4710.
- Richard G., Cousin I., Sillon J. F., Bruand A. a Guerif J., 2001**, Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties, *European Journal of Soil Science* - 2001. - 1 : Sv. 52. - stránky 49-58. - ISSN 13510754.
- Saqqib M., Akhtar J., Qureshi R.H., 2004**, Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil: I. Grain yield and yield components, *Soil & Tillage Research* - 2004. - 1 : Sv. 77. - stránky 169–177. – ISSN 0167-1987.
- Scott D.I., Tams A.R., Berry P.M., Mooney S.J., 2005**, The effect of wheel-induced soil compaction on anchorage strength and resistance to root lodging of winter barley (*Hordeum vulgare* L.), *Soil & Tillage Research* - 2005. - 1 : Sv. 82. - stránky 147–160. - ISSN 0167-1987.
- Schlather M. a Huwe B., 2005**, A stochastic model for 3-dimensional flow patterns in infiltration experiments, *Journal of Hydrology* - 2005. - 1-4 : Sv. 310. - stránky 17–27. - ISSN 0022-1694.
- Smith E. K., Krištof K., Misiewicz P. A., Chaney K., White D. R., Godwin R. J., 2012**, Establishment of a long term experiment into tillage and traffic management. Part One: Study background and experimental design. *International Conference of Agricultural Engineering* - 2012. - [On-Line] CIGR-AfEng2012. URL: [http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla\\_137\\_C0996.pdf](http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C0996.pdf) [14.3.2012].

- Soracco G. C., Lozano L. A., Sarli G. O., Gelati P. R. a Filgueira R. R., 2010**, Anisotropy of Saturated Hydraulic Conductivity in a soil under conservation and no-till treatments, *Soil & Tillage Research* - 2010. - 1 : Sv. 109. - stránky 18–22. - ISSN 0167-1987.
- Sort X. a Alcañiz J. M., 1999**, Modification of soil porosity after application of sewage sludge, *Soil & Tillage Research* - 1999. - 4 : Sv. 49. - stránky 337–345. - ISSN 0167-1987.
- Stenitzer E. a Murer E., 2003**, Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model, *Soil & Tillage Research* - 2003 - 1-2 : Sv. 73. - stránky 43-56. - ISSN 0167-1987.
- Tullberg J., 2009**, Tillage, traffic and sustainability—A challenge for ISTRO, *Soil & Tillage Research* - 2009 - 1 : Sv. 111. - stránky 26–32. - ISSN 0167-1987.
- Valla M., Kozák, J. Němeček J., Matula S., Borůvka L. a Drábek O., 2000**, Pedologické praktikum. - Praha : Česká Zemědělská Univerzita v Praze, 2011. - ISBN 978-80-213-0914-2.
- van Dijck S. J. E. a van Asch Th. W. J., 2002**, Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France, *Soil and Tillage Research* - 2002. - 3-4 : Sv. 63. - stránky 141–153. - ISSN 0167-1987.
- Voorhees W. B., 1991**, Compaction effects on yield - are they significant?, *ASAE* - 1991. - 4 : Sv. 34. - stránky 1667-1672. [On-line]. ASABE. URL: <http://elibrary.asabe.org/> [14.3. 2012].
- Wang K., Zhang R. a Hiroshi Y., 2009**, Characterizing heterogeneous soil water flow and solute transport using information measures, *Journal of Hydrology* - 2009. - 1-4 : Sv. 370. - stránky 109–121. - ISSN 0022-1694.
- Wang K., Zhang R. a Yasuda H., 2006**, Characterizing heterogeneity of soil water flow by dye infiltration experiments, *Journal of Hydrology* - 2006. - 3-4 : Sv. 328. - stránky 559–571. - ISSN 0022-1694.
- Weiler M., 2005**, An infiltration model based on flow variability in macropores: development, sensitivity analysis and applications, *Journal of Hydrology* - 2005. - 1-4 : Sv. 310. - stránky 294–315. - ISSN 0022-1694.

- Whalley W.R., Dumitru E., Dexter A.R., 1995**, Biological effect of soil compaction, *Soil and Tillage Research* - 2005.: Sv. 35. - stránky 53-68. - ISSN 0167-1987.
- Whalley W.R., Watts C.W., Gregory A.S., Mooney S.J., Clark L.J, Whitmore A.P. (2008)**, The effect of soil strength on the yield of wheat, *Plant and Soil* – 2008. – 1-2: SV. 306. - stránky 237-247. - ISSN 1573-5036.
- White R. E., 2006**, Principles and practice of soil science - Oxford : Blackwell, 2006. - 4. - ISBN-10: 0-632-06455-2.
- Whitmore A.P., Whalley R.W., Bird N.R.A., Watts C.W., Gregory A.S. (2010)**, Estimating soil strength in the rooting zone of wheat, *Plant and Soil* – 2010. – 1-2: Sv. 339. - stránky 363-375. - ISSN 1573-5036.
- Wuest S. B., Caesar-TonThat T. C. Wright, S. F. a Williams, J. D., 2005**, Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration, biological, and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil, *Soil and Tillage Research* - 2005. - 2 : Sv. 84. - stránky 154-167. - ISSN 0167-1987.
- Yasuda H., Berndtsson R., Persson H., Bahri A. a Takuma K., 2001**, Characterizing preferential transport during flood irrigation of a heavy clay soil using the dye Vitasyn Blau, *Geoderma* - 2001. - 1-2 : Sv. 100. - stránky 49–66. - ISSN 0016-7061.
- Yuxia L., Tullberg J. N. a Freebairn D. M., 2001**, Traffic and residue cover effects on infiltration, *Australian Journal of Soil Research* - 2001 - Sv. 39. - stránky 239-247. ISSN 0004-9573
- Zhang S., Grip H. a Lövdahl L., 2006**, Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess soils in China, *Soil and Tillage Research* - 2006. - 1-2 : Sv. 90. - stránky 117–125. - ISSN 0167-1987.

## Seznam veličin a zkratk

Veličiny	Interpretace	Jednotky
$A$	Průměr prstence	[mm]
$D$	Hladina vody odpovídající objemu ( $V$ ), $D = V / A$	[l.mm <sup>-1</sup> ]
$G_A$	Vzorek půdy s přirozenou vlhkostí	[g]
$G_B$	Vzorek půdy kapilárně nasycený (po 12 h)	[g]
$G_C$	Vzorek půdy po 30' odsávání	[g]
$G_D$	Vzorek půdy po 2 hodinách odsávání	[g]
$G_E$	Vzorek půdy po 24 hodinách odsávání	[g]
$G_F$	Vzorek půdy po vysušení při 105 °C	[g]
$G_H$	Sušina	[g]
$G_H$	Čistá hmotnost vzorku půdy po vysušení při 105 °C	[g]
$G_S$	Hmotnost hodinového skla	[g]
$G_V$	Hmotnost fyzikálního válečku	[g]
$H_0$	Výška hladiny v čase $t = 0$	[l]
$k_{fs}$	Nasycená hydraulická vodivost	[mm.h <sup>-1</sup> ]
$K_{MKKVZ}$	Max.kap. vzdušná kapacita	[% obj.]
$K_{RVKVZ}$	Retenční vzdušná kapacita	[% obj.]
$I$	Kumulativní infiltrace	[l]
$n$	Navážka pro stanovení specifické hmotnosti	[g]
$P$	Pórovitost celková	[% obj.]
$\rho_{H_2O}$	Hmotnost pyknometru s vodou	[g]
$P_k$	Pórovitost kapilární	[% obj.]
$P_n$	Pórovitost nekapilární	[% obj.]
$\rho_z$	Hmotnost pyknometru se zeminou	[g]
$t$	Čas	[s]
$ta$	Čas	[s]
$V$	Objem vody	[l]
$V_s$	Objem fyzikálního válečku	[cm <sup>3</sup> ]
$V_z$	Provzdušenost	[% obj.]
$\alpha^*$	Parametr stanovený Elrikem et al. (1989)	[m <sup>-1</sup> ]
$\Delta\theta$	Rozdíl mezi $\theta_{fs}$ a $\theta_i$	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
$\theta_{30}$	Vlhkost 30-minutová	[% obj.]
$\theta_{fs}$	Nasycený vodní obsah	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
$\theta_i$	Momentální vodní obsah	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
$\theta_{MKK}$	Max.kap.vodní kapacita	[% obj.]
$\theta_{mom}$	Momentální vlhkost	[% obj.]

<b>Veličiny</b>	<b>Interpretace</b>	<b>Jednotky</b>
$\theta_{ns}$	Nasáklivost	[% obj.]
$\theta_{RVK}$	Retenční vodní kapacita	[% obj.]
$\rho_d$	Objemová hmotnost	[g.cm <sup>-3</sup> ]
$\rho_z$	Specifická hmotnost (zdánlivá hustota pevných částic zeminy)	[g.cm <sup>-3</sup> ]
$\varphi_m$	Půdní potenciál nasyceného toku	[l <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\psi_f$	Tlaková výška na smáčené straně	[m]
$\psi_s$	Vodní potenciál půdy	[MPa]
$t_s$	Teplota půdy	[°C]

<b>Zkratky</b>	<b>Interpretace</b>
<b>CFC</b>	Barevný kód červené, zelené a modré barvy v hexadecimálním kódu
<b>CTF</b>	Řízený provoz strojů (Controlled Traffic Farming)
<b>DGPS</b>	Diferenciální globální družicový polohový systém (Differential Global Positioning System)
<b>GPS</b>	Globální družicový polohový systém (Global Positioning System)
<b>HK</b>	Hluboké kypření
<b>HS</b>	Hospodářská zvířata
<b>M</b>	Mimo stopy zemědělských strojů
<b>RAN</b>	Náhodný provoz strojů
<b>S</b>	Ve stopách zemědělských strojů
<b>SFH</b>	Metoda měření nasycené hydraulické vodivosti (Simplified Falling-Head)
<b>TKSP</b>	Taxonomický klasifikační systém půd
<b>WRB</b>	Mezinárodní taxonomický klasifikační systém půd (World Reference Base for Soil Resources)

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Elrikovo stanovení $\alpha^*$ (Elrick et al., 1989) ( upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	11
Tabulka 2 – Průměry nasycené hydraulické vodivosti v jílovitě půdě (Alakukku, 1996b) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	14
Tabulka 3 – Přejeté plochy pro různé zpracování půdy (Kroulík et al., 2010) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	19
Tabulka 4 – Tabulka výnosů a obsahu vlhkosti rostlin Vignie čínské (Dauda et al., 2002) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	25
Tabulka 5 - Popis půdního typu na pozemku Large Marsh .....	30
Tabulka 6 - Popis půdního typu na pozemku Bird's Nest.....	31
Tabulka 7 – Charakteristika půdního profilu experimentálního pozemku (0 – 0,30 m) .....	32
Tabulka 8 – Přejezdy aplikované pro variantu CTF.....	33
Tabulka 9 – Přehled pracovních operací během experimentu .....	35
Tabulka 10 – Přehled stanovení hodnot neporušených půdních vzorků (Valla et al., 2011)...	39
Tabulka 11 - Rozdělení závislostí na základě korelačního koeficientu (Chráška, 2000).....	43
Tabulka 12 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti (Půdní Hala) 46	
Tabulka 13 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti (Půdní Hala) .46	
Tabulka 14 - Tukeyův HSD test, nasycená hydraulická vodivost (Půdní Hala) .....	48
Tabulka 15 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory na pozemku Large Marsh.....	51
Tabulka 16 – Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti naměřené na pozemku Large Marsh.....	51
Tabulka 17 – Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti naměřené na pozemku Large Marsh.....	52
Tabulka 18 - Tukeyův HSD test homogenních skupin nasycené hydraulické vodivosti na pozemku Large Marsh.....	53
Tabulka 19 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro indikaci toku vody pomocí brilantní modři na pozemku Large Marsh.....	54
Tabulka 20 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory na pozemku Bird's Nest.....	60
Tabulka 21 - Tukeyův HSD test homogenních skupin nasycené hydraulické vodivosti na pozemku Bird's Nest .....	61

Tabulka 22 - Tukeyův HSD test, penetračních odporů (1. rok, Červený Újezd) .....	66
Tabulka 23 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti (1. rok, Červen Újezd).....	69
Tabulka 24 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti (1. rok, Červený Újezd).....	69
Tabulka 25 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červen Újezd).....	70
Tabulka 26 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin (1. rok, Červen Újezd).....	71
Tabulka 27 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro hmotnosti tisíce semen (1. rok, Červen Újezd).....	72
Tabulka 28 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro objemové hmotnosti (2. rok, Červen Újezd).....	79
Tabulka 29 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro momentální vlhkosti (2. rok, Červen Újezd).....	79
Tabulka 30 - Tukeyův HSD test homogenních skupin nasycené hydraulické vodivosti (2. rok, Červený Újezd).....	81
Tabulka 31 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červen Újezd).....	82
Tabulka 32 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro výnosy plodin (2. rok, Červen Újezd).....	83
Tabulka 33 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro hmotnosti tisíce semen (2. rok, Červen Újezd).....	84
Tabulka 34 – Porovnání výsledků penetračních odporů variant CTF z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd) .....	89
Tabulka 35 - Porovnání výsledků penetračních odporů variant náhodných přejezdů z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd).....	90
Tabulka 36 - Porovnání výsledků objemových hmotností z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd).....	90
Tabulka 37 - Statistické porovnání výsledků odhadovaných výnosů plodin z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd).....	91

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vztah mezi objemovou hmotností půdy a hloubkou, porovnání simulace s experimentálním modelem (Defosse et al., 2002) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba)...	3
Obrázek 2 – Objemové hmotnosti půdy při jednom přejezdu a kontrolovaný pozemek ve dvouletém experimentu (Gysi, 2001) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba) .....	4
Obrázek 3 – Celková půdní pórovitost jílovité půdy (Alakukku, 1996a) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	5
Obrázek 4 – Závislost odporu půdy na hloubce měření po orbě (Alakukku, 1996b) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	6
Obrázek 5 – Závislost nasycené hydraulické vodivosti půdy na objemové hmotnosti půdy (Nakano et al., 2005) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	7
Obrázek 6 – Zobrazení nasycené hydraulické vodivosti při různých typech zhutnění (Zhang et al., 2006) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba) .....	8
Obrázek 7 – Závislost kumulativní infiltrace vody při různých sklonech (Ekwue et al., 2010) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	9
Obrázek 8 – Vztah mezi $ta$ a $D$ při různých hodnotách $Kfs$ , $\alpha^*$ a $\Delta\theta$ (Bagarello et al., 2004)...	12
Obrázek 9 – Experimentální schéma infiltrace brilantní modří (Yasuda et al., 2001) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	15
Obrázek 10 – Série snímku vertikálních řezů při použití rozestupů 0,01 – 0,20 m (Morris et al., 2004) .....	15
Obrázek 11 – Jednorozměrné měření průměrné koncentrace barviva na hloubce měření (Mooney et al., 2008) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	16
Obrázek 12 – Příklad organizace jízdnic stop (vytvořil: Milan Kroulík) .....	18
Obrázek 13 – Vztah mezi výnosy plodin a objemovou hmotností půdy (Ahmad et al., 2009b) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	22
Obrázek 14 - Vztah mezi výnosy plodin a objemovou hmotností půdy, pro různé typy půd (Czyz, 2004) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba) .....	22
Obrázek 15 – Vztah mezi objemovou hmotností půdy a délkou kořenového systému (Hassan et al., 2007) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	23
Obrázek 16 – Relativní výnosy plodin a počet rostlin dvaadvacetiletého experimentu (Arvidsson et al., 1996) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba) .....	24



Obrázek 17 – Průměrný výnos ječmene, jako funkce stupě zhutnění ve vrstvě 4-25 cm při hnojení 60 a 120 kg dusíku na hektar (Håkansson et al., 1983) (upraveno/přeloženo: Jan Chyba).....	24
Obrázek 18 – Organizace pokusu Červený Újezd (vytvořil: Milan Kroulík) .....	34
Obrázek 19 - Organizace obdělávání pozemku Červený Újezd, varianta CTF (vytvořil: Milan Kroulík).....	34
Obrázek 20 - Eijkelkamp penetrologger ART.NR. 06.15.01.....	37
Obrázek 21 – Fotografie z měření nasycené hydraulické vodivosti .....	39
Obrázek 22 - Theta Probe, HH2 Moisture meter, Delta T Devices.....	40
Obrázek 23 – Příklad provedení infiltrace s indikátorem brilantní modři (hodnoty jsou uvedeny v mm) .....	41
Obrázek 24 - Penetrační odpory (Půdní Hala) .....	45
Obrázek 25 - Nasycená hydraulická vodivost (Půdní Hala) .....	47
Obrázek 26 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy (Půdní Hala).....	48
Obrázek 27 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti půdy (Půdní Hala).....	49
Obrázek 28 - Závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy (Půdní Hala).....	49
Obrázek 29 – Penetrační odpory naměřené na pozemku Large Marsh.....	50
Obrázek 30 - Nasycená hydraulická vodivost na pozemku Large Marsh .....	52
Obrázek 31 - Indikace toku vody pomocí brilantní modři na pozemku Large Marsh .....	53
Obrázek 32 - Zobrazení modré barvy po zpracování programem BMPTools .....	55
Obrázek 33 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy (Large Marsh) .....	55
Obrázek 34 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti půdy (Large Marsh) .....	56
Obrázek 35 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na pokrytí modrou barvou (Large Marsh) .....	56
Obrázek 36 - Závislost penetračního odporu půdy na objemovou hmotnost půdy (Large Marsh) .....	57
Obrázek 37 - Závislost pokrytí modrou barvou na penetračním odporu půdy (Large Marsh)	57
Obrázek 38 - Závislost pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti půdy (Large Marsh)	58

Obrázek 39 – Penetrační odpory naměřené na pozemku Bird’s Nest.....	59
Obrázek 40 – Nasycená hydraulická vodivost na pozemku Bird’s Nest.....	60
Obrázek 41 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na penetračním odporu půdy (Bird’s Nest).....	61
Obrázek 42 - První výseč penetračních měření (rok 0, Červený Újezd) .....	63
Obrázek 43 - Druhá výseč penetračních měření (rok 0, Červený Újezd) .....	63
Obrázek 44 - První výseč objemových hmotností (rok 0, Červený Újezd) .....	64
Obrázek 45 - Druhá výseč objemových hmotností (rok 0, Červený Újezd).....	65
Obrázek 46 - Penetrační odpory (1. rok, Červený Újezd).....	66
Obrázek 47 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF (1. rok, Červený Újezd).....	67
Obrázek 48 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF s hlubokým kypřením (1. rok, Červený Újezd).....	67
Obrázek 49 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů (1. rok, Červený Újezd).....	68
Obrázek 50 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (1. rok, Červený Újezd).....	68
Obrázek 51 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd).....	70
Obrázek 52 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty (1. rok, Červený Újezd) .....	71
Obrázek 53 - Hmotnosti tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd).....	72
Obrázek 54 - Závislost penetračního odporu na objemové hmotnosti půdy (1. rok, Červený Újezd).....	73
Obrázek 55 - Závislost výnosů plodin na penetračním odporu (1. rok, Červený Újezd).....	74
Obrázek 56 - Závislost výnosů plodin na objemové hmotnosti půdy (1. rok, Červený Újezd).	74
Obrázek 57 – Průměrné penetrační odpory (2. rok, Červený Újezd).....	75
Obrázek 58 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF (2. rok, Červený Újezd).....	76
Obrázek 59 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu CTF s hlubokým kypřením (2. rok, Červený Újezd).....	76

Obrázek 60 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu s orbou (2. rok, Červený Újezd).....	77
Obrázek 61 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu orby s hlubokým kypřením (2. rok, Červený Újezd).....	77
Obrázek 62 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů (2. rok, Červený Újezd).....	78
Obrázek 63 - Výseč penetračních odporů naměřených pro variantu náhodných přejezdů s hlubokým kypřením (2. rok, Červený Újezd).....	78
Obrázek 64 - Nasycená hydraulická vodivost (2. rok, Červený Újezd).....	80
Obrázek 65 - Indikace toku vody pomocí brilantní modři (2. rok, Červený Újezd).....	81
Obrázek 66 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červený Újezd).....	83
Obrázek 67 - Celkové výnosy plodin pro jednotlivé varianty (1. rok, Červený Újezd).....	84
Obrázek 68 - Hmotnosti tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červený Újezd).....	85
Obrázek 69 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti a pokrytí modrou barvou na objemové hmotnosti půdy (2. rok, Červený Újezd).....	86
Obrázek 70 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti a pokrytí modrou barvou na penetračním odporu půdy (2. rok, Červený Újezd).....	86
Obrázek 71 - Závislost výnosů na objemové hmotnosti půdy (2. rok, Červený Újezd).....	87
Obrázek 72 - Závislost výnosů na nasycené hydraulické vodivosti (2. rok, Červený Újezd)....	87
Obrázek 73 - Závislost výnosů na pokrytí modrou barvou (2. rok, Červený Újezd).....	88
Obrázek 74 - Závislost nasycené hydraulické vodivosti na celkové, kapilární a nekapilární pórovitosti (2. rok, Červený Újezd).....	88
Obrázek 75 - Porovnání výsledků odhadovaných výnosů plodin z prvního a druhého roku experimentu (Červený újezd).....	91

## Seznam příloh

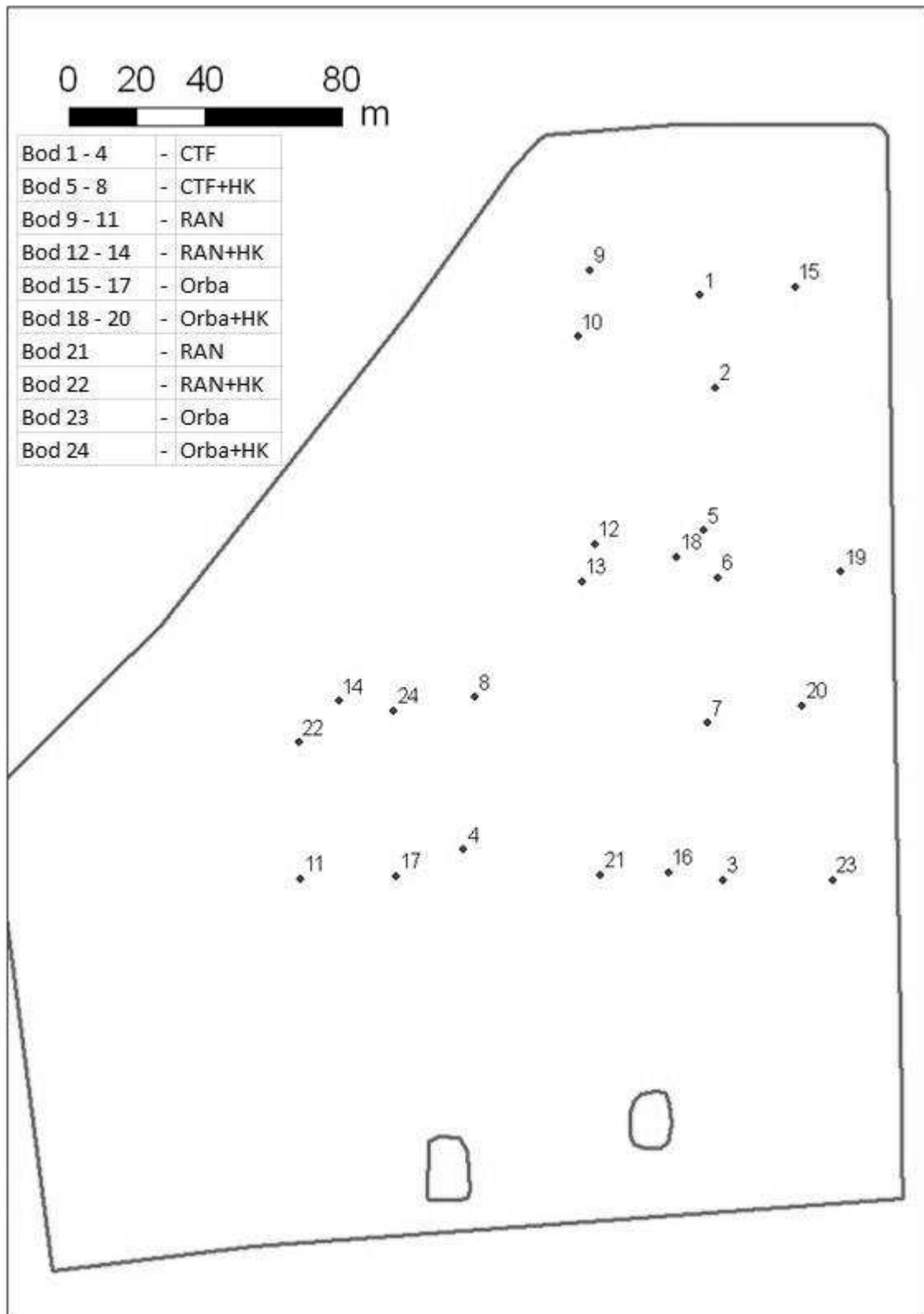
Příloha 1 - Zobrazení bodů pro jednotlivá měření na pozemku Červený Újezd (vytvořil: Milan Kroulík, upravil: Jan Chyba) .....	I
Příloha 2 – Specifikace meteorologické stanice České Zemědělské Univerzity v Praze .....	II
Příloha 3 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory za "suchých" podmínek (Půdní Hala).....	III
Příloha 4 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory za "vlhkých" podmínek (Půdní Hala).....	III
Příloha 5 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) (Půdní Hala - "suché" podmínky).....	III
Příloha 6 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) (Půdní Hala - "vlhké" podmínky).....	IV
Příloha 7 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) na pozemku Large Marsh .....	IV
Příloha 8 – Porovnání fotografií pořízených při měření indikace toku vody pomocí brilantní modři s fotografiemi zpracováními programem BMPTools.....	V
Příloha 9 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) na pozemku Bird's Nest .	VI
Příloha 10 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro celkovou pórovitost (1. rok, Červený Újezd).....	VI
Příloha 11 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro kapilární pórovitost (1. rok, Červený Újezd).....	VI
Příloha 12 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro nekapilární pórovitost (1. rok, Červený Újezd).....	VII
Příloha 13 - Popisná statistika výnosů plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd).....	VII
Příloha 14 – Průběhy vybraných hodnot srážek, teplot a vodního potenciálu (1. rok, Červený Újezd).....	VIII
Příloha 15 - Popisná statistika hmotností tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd) .....	IX
Příloha 16 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory (2. rok, Červený Újezd).....	X

Příloha 17 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro celkovou pórovitost (2. rok, Červený Újezd).....	XI
Příloha 18 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro kapilární pórovitost (2. rok, Červený Újezd).....	XI
Příloha 19 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro nekapilární pórovitost (2. rok, Červený Újezd).....	XII
Příloha 20 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (2. rok, Červený Újezd) .....	XII
Příloha 21 – Tukeyův HSD test homogenních skupin indikace toku vody pomocí brilantní modři (2. rok, Červený Újezd) .....	XIII
Příloha 22 - Průběhy vybraných hodnot srážek, teplot a vodního potenciálu (2. rok, Červený Újezd).....	XIV
Příloha 23 - Popisná statistika výnosů plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červený Újezd).....	XV
Příloha 24 - Popisná statistika hmotností tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červený Újezd) .....	XVI

## **Přílohy**

Příloha 1 - Zobrazení bodů pro jednotlivá měření na pozemku Červený Újezd (vytvořil: Milan Kroulík, upravil: Jan Chyba)

CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě



## Příloha 2 – Specifikace meteorologické stanice České Zemědělské Univerzity v Praze

## Technická specifikace

**Ústředna a telekomunikace**

<b>1</b>	Ústředna	Měřicí a ovládací jednotka CR10X-2M (Campbell Scientific, USA)
	Telekomunikace	NL100 Network Link Interface (Campbell Scientific, USA) a DWL-900AP + bezdrátový vysílač
<b>2</b>	Ústředna	Datalogger EdgeBox V8 (EMS Brno, Česká republika)
	Telekomunikace	Datový GSM modul Cinterion TC65 – Terminal

## Měřené veličiny

Měřené veličiny	Jednotky	Čidlo
<b>Sluneční záření (2m)</b>	W/m <sup>2</sup>	Pyranometr CM11
<b>Tlak vzduchu (2m)</b>	Pa	Tlakoměr RPT410F
<b>Teplota vzduchu (přízemní minimum)</b>	°C	Teploměr PT100/3 1/3 DIN
<b>Teplota vzduchu (2m)</b>	°C	Čidlo teploty a vlhkosti vzduchu HMP45C
<b>Vlhkost vzduchu (2 m)</b>	%	
<b>Směr větru (10 m)</b>	deg	Čidlo směru a rychlosti větru A100R/W200P
<b>Rychlost větru (10 m)</b>	m/s <sup>1</sup>	
<b>Srážky</b>	mm	Srážkoměr SR 03 (500 cm <sup>2</sup> )



## Příloha 3 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory za "suchých" podmínek (Půdní Hala)

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0.05$*

Hloubka [m]	0 Přejezdů	1 Přejezd	2 Přejezdy	3 Přejezdy
<b>0 - 0,05</b>	0,19 a <sub>1</sub>	0,54 a <sub>1</sub>	1,52 b <sub>1</sub>	2,37 c <sub>1</sub>
<b>0,05 - 010</b>	0,33 a <sub>1</sub>	1,36 b <sub>2</sub>	3,45 c <sub>2</sub>	3,61 d <sub>2</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	0,78 a <sub>2</sub>	2,06 b <sub>3</sub>	3,49 c <sub>2</sub>	3,81 c <sub>2,3</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	1,27 a <sub>3</sub>	2,44 b <sub>4</sub>	3,60 c <sub>2</sub>	4,06 d <sub>2,3</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	1,64 a <sub>4</sub>	2,68 b <sub>4</sub>	3,87 c <sub>2</sub>	4,33 c <sub>3,4</sub>
<b>0,25 - 0,30</b>	1,91 a <sub>5</sub>	3,26 b <sub>5</sub>	3,90 c <sub>2</sub>	4,80 d <sub>4</sub>

## Příloha 4 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory za "vlhkých" podmínek (Půdní Hala)

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci; Uvedené hodnoty jsou v MPa;  $\alpha = 0.05$*

Hloubka [m]	0 Přejezdů	1 Přejezd	2 Přejezdy	3 Přejezdy
<b>0 - 0,05</b>	0,26 a <sub>1</sub>	0,74 b <sub>1</sub>	1,46 c <sub>1</sub>	1,66 c <sub>1</sub>
<b>0,05 - 010</b>	0,34 a <sub>1</sub>	1,52 b <sub>2</sub>	2,65 c <sub>2</sub>	2,90 c <sub>2</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	0,49 a <sub>1</sub>	2,91 b <sub>3</sub>	2,73 b <sub>2</sub>	3,36 c <sub>2,3</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	1,29 a <sub>2</sub>	3,48 b <sub>3,4</sub>	2,78 c <sub>2</sub>	3,49 b,c <sub>3</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	2,00 a <sub>3</sub>	4,00 b <sub>4</sub>	3,64 b <sub>3</sub>	3,59 b <sub>3</sub>
<b>0,25 - 0,30</b>	3,49 a <sub>4</sub>	4,04 b <sub>4</sub>	3,94 a,b <sub>3</sub>	3,80 a,b <sub>3</sub>

## Příloha 5 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) (Půdní Hala - "suché" podmínky)

	0 Přejezdů	1 Přejezd	2 Přejezdy	3 Přejezdy
<b>Stř. hodnota</b>	22,43	4,10	0,43	0,34
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	1,65	0,53	0,04	0,04
<b>Medián</b>	23,27	4,29	0,40	0,32
<b>Směr. odchylka</b>	4,66	1,50	0,11	0,12
<b>Rozptyl výběru</b>	21,73	2,24	0,01	0,01
<b>Minimum</b>	15,45	1,30	0,24	0,21
<b>Maximum</b>	28,13	5,80	0,61	0,60
<b>Počet</b>	8	8	9	8

Příloha 6 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) (Půdní Hala - "vlhké" podmínky)

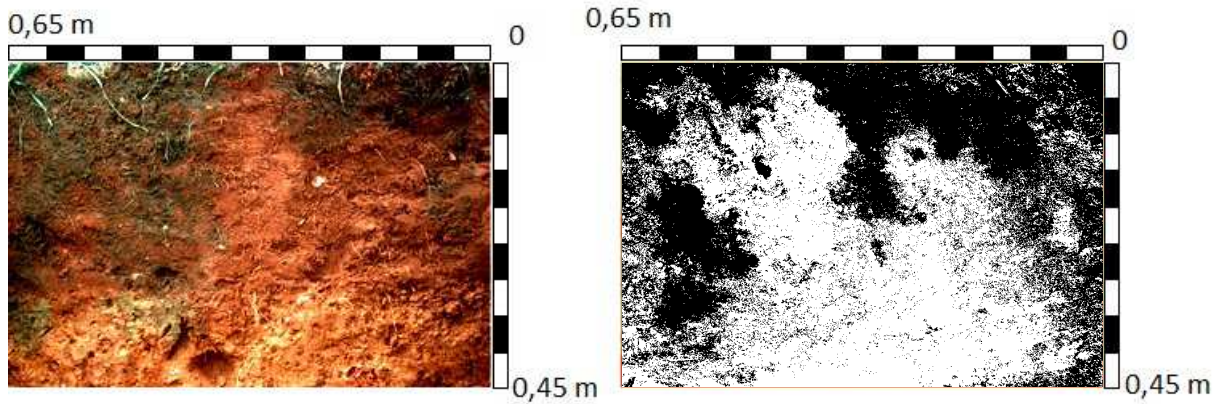
	<i>0 Přejezdů</i>	<i>1 Přejezd</i>	<i>2 Přejezdy</i>	<i>3 Přejezdy</i>
<b>Stř. hodnota</b>	59,04	0,40	0,22	0,16
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	16,53	0,12	0,03	0,05
<b>Medián</b>	57,02	0,46	0,25	0,18
<b>Směr. odchylka</b>	36,97	0,26	0,08	0,11
<b>Rozptyl výběru</b>	1366,76	0,07	0,01	0,01
<b>Minimum</b>	20,27	0,11	0,12	0,04
<b>Maximum</b>	110,50	0,66	0,31	0,30
<b>Počet</b>	5	5	5	5

Příloha 7 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) na pozemku Large Marsh

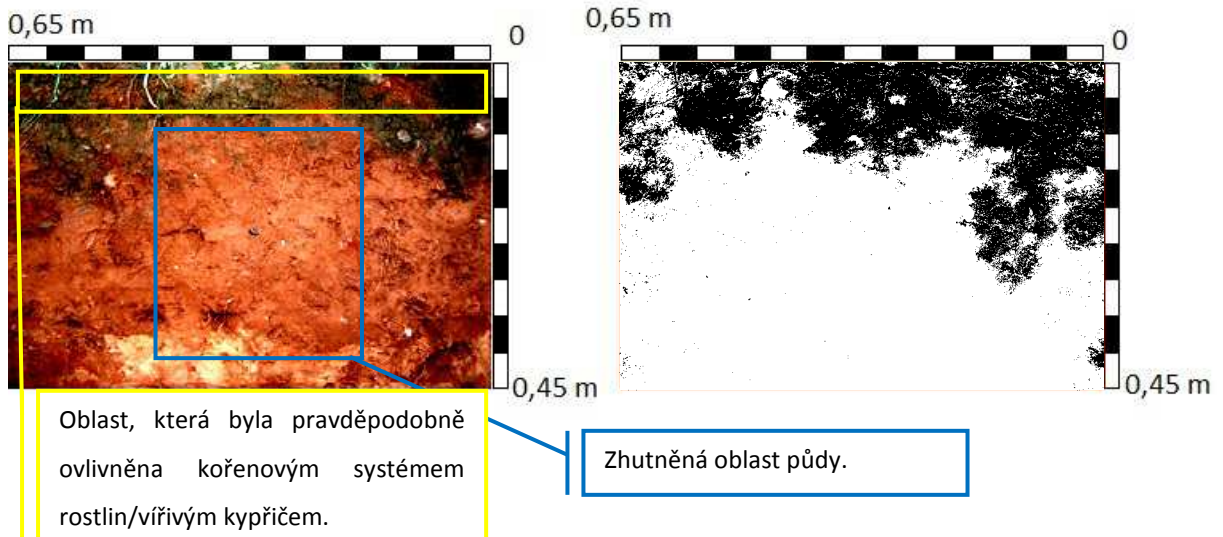
	<i>Nezhutněná půda</i>	<i>Zaseté stopy</i>	<i>Nezaseté stopy</i>
<b>Stř. hodnota</b>	28,09	7,59	0,02
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	3,53	0,99	0,00
<b>Medián</b>	26,63	7,95	0,03
<b>Směr. odchylka</b>	10,58	2,80	0,01
<b>Rozptyl výběru</b>	111,89	7,84	0,00
<b>Minimum</b>	17,28	3,24	0,01
<b>Maximum</b>	53,35	12,57	0,03
<b>Počet</b>	9	8	7

Příloha 8 – Porovnání fotografií pořízených při měření indikace toku vody pomocí brilantní modři s fotografiemi zpracovány programem BMPTools

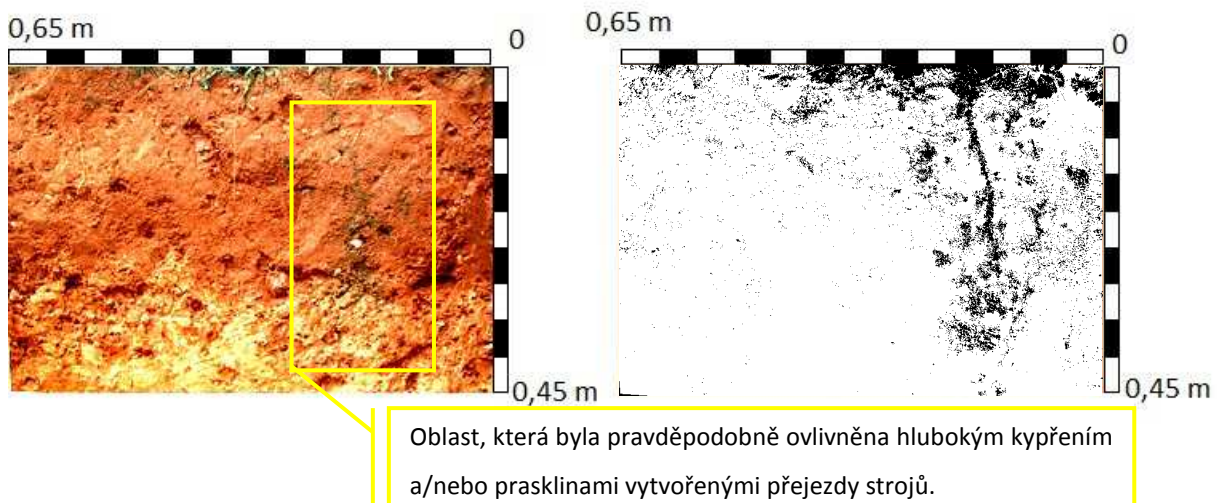
Nezhutněná půda



Zaseté stopy (stále kolejové řádky)



Nezaseté stopy (stopy postřikovače)



Příloha 9 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (SFH) na pozemku Bird's Nest

	<i>Zhutnění hospodářskými zvířaty</i>	<i>Nezhutněná půda</i>	<i>Traktor + návěš</i>
<b>Stř. hodnota</b>	1,09	5,63	1,12
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	0,21	0,57	0,29
<b>Medián</b>	1,20	5,19	0,99
<b>Směr. odchylka</b>	0,59	1,62	0,82
<b>Rozptyl výběru</b>	0,35	2,61	0,68
<b>Minimum</b>	0,37	3,87	0,30
<b>Maximum</b>	2,13	8,53	2,37
<b>Počet</b>	8	8	8

Příloha 10 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro celkovou pórovitost (1. rok, Červený Újezd)

*a, b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1, 2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$   
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

## Pórovitost celková P [% obj.]

Hloubka	CTF M		CTF M+HK		CTF S		CTF S+HK		RAN		RAN +HK	
<b>0 - 0,05</b>	46,27	a <sub>1</sub>	49,08	a <sub>1</sub>	43,91	a <sub>1</sub>	45,22	a <sub>1</sub>	45,85	a <sub>1</sub>	47,02	a <sub>1</sub>
<b>0,05 - 0,10</b>	45,54	a <sub>1</sub>	46,55	a <sub>1,2</sub>	42,46	a <sub>1,2</sub>	42,82	a <sub>1,2,3</sub>	45,59	a <sub>1</sub>	45,40	a <sub>1,2</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	44,45	a <sub>1</sub>	43,76	a <sub>2</sub>	40,91	a <sub>1,2</sub>	44,34	a <sub>1,2</sub>	43,28	a <sub>1</sub>	44,46	a <sub>1,2,3</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	44,28	a <sub>1</sub>	43,54	a <sub>2</sub>	40,54	a <sub>1,2</sub>	40,54	a <sub>3</sub>	42,92	a <sub>1</sub>	43,84	a <sub>2,3</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	40,54	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	43,29	a <sub>2</sub>	39,19	b <sub>2</sub>	41,00	a <sub>2,3</sub> <sup>a,b</sup>	41,39	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	42,02	a <sub>3</sub>

Příloha 11 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro kapilární pórovitost (1. rok, Červený Újezd)

*a, b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1, 2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$   
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

## Pórovitost kapilární Pk [% obj.]

Hloubka	CTF M		CTF M+HK		CTF S		CTF S+HK		RAN		RAN +HK	
<b>0 - 0,05</b>	34,55	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	33,46	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	34,42	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	32,21	a <sub>1</sub>	34,41	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	36,84	b <sub>1</sub>
<b>0,05 - 0,10</b>	35,13	a <sub>1</sub>	33,08	a <sub>1</sub>	33,42	a <sub>1</sub>	32,40	a <sub>1</sub>	34,06	a <sub>1</sub>	35,38	a <sub>1</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	35,77	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	33,52	b <sub>1</sub> <sup>b,c</sup>	33,88	b <sub>1</sub> <sup>b,c</sup>	32,56	c <sub>1</sub>	34,17	b <sub>1</sub> <sup>b,c</sup>	37,43	a <sub>1</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	35,56	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	35,14	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	32,58	a <sub>1</sub>	32,40	a <sub>1</sub>	34,71	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	36,75	b <sub>1</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	34,16	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	34,73	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	32,97	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	32,91	a <sub>1</sub>	34,36	a <sub>1</sub> <sup>a,b</sup>	36,33	b <sub>1</sub>

## Příloha 12 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro nekapilární pórovitost (1. rok, Červený Újezd)

*a, b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1, 2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$   
CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

## Pórovitost nekapilární Pn [% obj.]

Hloubka	CTF M		CTF M+HK		CTF S		CTF S+HK		RAN		RAN +HK	
<b>0 - 0,05</b>	6,42	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	8,84	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	5,08	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	7,10	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	6,30	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	7,27	<sup>a</sup> <sub>1</sub>
<b>0,05 - 0,10</b>	5,94	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	7,24	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	4,33	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	5,38	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	6,34	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	6,58	<sup>a</sup> <sub>1</sub>
<b>0,10 - 0,15</b>	3,42	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	4,26	<sup>a,b</sup> <sub>1,2</sub>	2,99	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	6,15	<sup>b</sup> <sub>1,2</sub>	4,23	<sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	4,64	<sup>a,b</sup> <sub>1,2</sub>
<b>0,15 - 0,20</b>	4,03	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	3,71	<sup>a</sup> <sub>2</sub>	3,79	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	4,82	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	3,51	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	3,77	<sup>a</sup> <sub>1,2</sub>
<b>0,20 - 0,25</b>	2,59	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	3,62	<sup>a</sup> <sub>2</sub>	2,64	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	3,43	<sup>a</sup> <sub>2</sub>	2,92	<sup>a</sup> <sub>1</sub>	2,30	<sup>a</sup> <sub>2</sub>

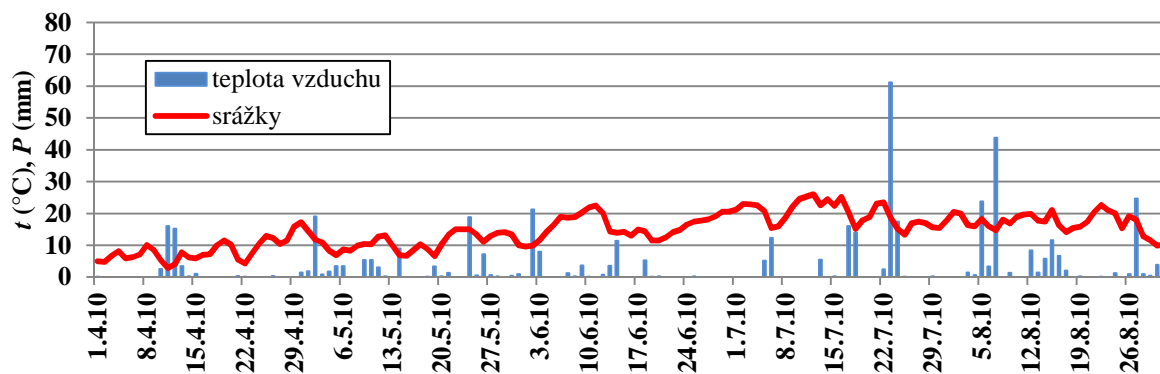
## Příloha 13 - Popisná statistika výnosů plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (1. rok, Červený Újezd)

*CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

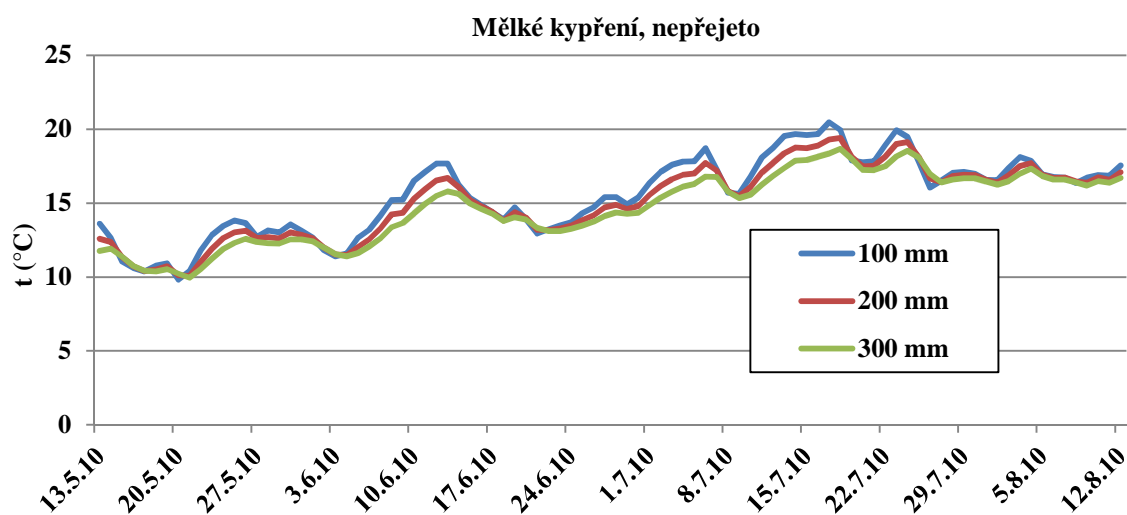
	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	RAN	RAN +HK
<b>Stř. hodnota</b>	6,11	6,78	7,05	7,18	7,06	7,50
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	0,12	0,12	0,18	0,12	0,27	0,18
<b>Medián</b>	6,26	6,76	6,96	7,24	7,33	7,57
<b>Směr. odchylka</b>	0,57	0,57	0,52	0,33	1,09	0,72
<b>Rozptyl výběru</b>	0,32	0,32	0,27	0,11	1,18	0,51
<b>Špičatost</b>	-0,49	-1,02	1,77	-0,71	-0,90	-0,74
<b>Šikmost</b>	-0,04	0,04	1,31	-0,60	-0,36	-0,21
<b>Minimum</b>	5,02	5,78	6,54	6,65	4,97	6,41
<b>Maximum</b>	7,30	7,66	8,12	7,60	8,56	8,77
<b>Součet</b>	146,55	162,69	56,42	57,43	113,02	120,03
<b>Počet</b>	24,00	24,00	8,00	8,00	16,00	16,00
<b>Největší (1)</b>	7,30	7,66	8,12	7,60	8,56	8,77
<b>Nejmenší (1)</b>	5,02	5,78	6,54	6,65	4,97	6,41
<b>Hladina spolehlivosti (95,0%)</b>	0,24	0,24	0,44	0,27	0,58	0,38

## Příloha 14 – Průběhy vybraných hodnot srážek, teplot a vodního potenciálu (1. rok, Červený Újezd)

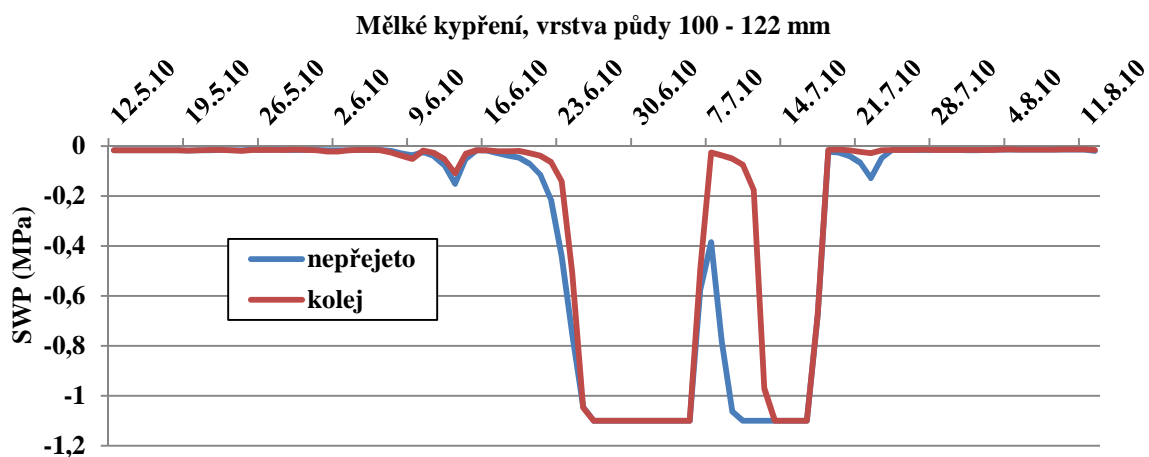
## Průběhy teplot vzduchu a denních srážek



## Průběhy teplot půdy



## Průběhy vodních potenciálů



**Příloha 15 - Popisná statistika hmotností tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu  
(1. rok, Červený Újezd)**

*CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	RAN	RAN +HK
<b>Stř. hodnota</b>	46,71	47,81	46,25	46,61	46,46	48,41
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	0,22	0,26	0,38	0,39	0,27	0,15
<b>Medián</b>	46,94	47,99	46,93	46,63	46,70	48,42
<b>Směr. odchylka</b>	1,49	1,83	1,52	1,56	1,51	0,83
<b>Rozptyl výběru</b>	2,23	3,35	2,31	2,43	2,29	0,69
<b>Špičatost</b>	-0,38	4,06	0,76	0,81	2,03	-0,12
<b>Šikmost</b>	-0,70	-1,70	-1,26	-0,98	-1,21	-0,27
<b>Minimum</b>	43,20	41,18	42,86	43,12	41,90	46,52
<b>Maximum</b>	48,98	49,96	47,74	48,70	48,68	49,98
<b>Součet</b>	2241,98	2294,68	739,92	745,70	1486,82	1549,16
<b>Počet</b>	48,00	48,00	16,00	16,00	32,00	32,00
<b>Největší (1)</b>	48,98	49,96	47,74	48,70	48,68	49,98
<b>Nejmenší (1)</b>	43,20	41,18	42,86	43,12	41,90	46,52
<b>Hladina spolehlivosti (95,0%)</b>	0,43	0,53	0,81	0,83	0,55	0,30

Příloha 16 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro penetrační odpory (2. rok, Červený Újezd)

a,b,... - Homogenní skupiny v řádku; 1,2,... - Homogenní skupiny v sloupci; uvedené hodnoty jsou v MPa  $\alpha = 0,05$   
 CTF - řízený pohyb strojí; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Hloubka [m]	CTF M	CTF M-HK	CTF S	CTF S-HK	Orba M	Orba M-HK	Orba S	Orba S-HK	RAN	RAN+HK
0,04	0,55 <sup>a</sup> <sub>1</sub>	0,65 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,11 <sup>a,b,c</sup> <sub>1</sub>	1,27 <sup>b,c</sup> <sub>1</sub>	0,79 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	0,86 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	1,58 <sup>c,d</sup> <sub>1</sub>	2,18 <sup>d</sup> <sub>2,3,4,5</sub>	1,49 <sup>c</sup> <sub>1</sub>	1,51 <sup>c</sup> <sub>1</sub>
0,08	1,08 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,08 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,64 <sup>b,c</sup> <sub>2</sub>	1,7 <sup>b,c</sup> <sub>2</sub>	1,22 <sup>a,b</sup> <sub>1,2</sub>	1,13 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	2,59 <sup>d</sup> <sub>2</sub>	2,67 <sup>d</sup> <sub>5</sub>	1,97 <sup>c</sup> <sub>1,2</sub>	1,89 <sup>c</sup> <sub>1,2</sub>
0,12	1,29 <sup>a</sup> <sub>2,3</sub>	1,35 <sup>a,b</sup> <sub>2,3</sub>	1,84 <sup>b,c,d</sup> <sub>2,3</sub>	1,91 <sup>c,d</sup> <sub>2</sub>	1,43 <sup>a,b,c</sup> <sub>2,3</sub>	1,17 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	2,32 <sup>d</sup> <sub>2,3</sub>	2,33 <sup>d</sup> <sub>3,4,5</sub>	2,11 <sup>d</sup> <sub>2,3</sub>	1,96 <sup>d</sup> <sub>1,2</sub>
0,16	1,45 <sup>a,b</sup> <sub>2,3</sub>	1,31 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	1,8 <sup>b,c</sup> <sub>2,3</sub>	1,82 <sup>b,c</sup> <sub>2</sub>	1,42 <sup>a,b</sup> <sub>2,3</sub>	1,2 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,99 <sup>c</sup> <sub>2,3,4</sub>	1,82 <sup>b,c</sup> <sub>1,2,3</sub>	2,06 <sup>c</sup> <sub>2,3</sub>	1,89 <sup>c</sup> <sub>1,2</sub>
0,2	1,45 <sup>a,b,c</sup> <sub>2,3</sub>	1,28 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,72 <sup>c,d</sup> <sub>2</sub>	1,79 <sup>c,d</sup> <sub>2</sub>	1,29 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,15 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,7 <sup>c,d</sup> <sub>3,4</sub>	1,57 <sup>b,c</sup> <sub>1</sub>	2,03 <sup>d</sup> <sub>1,2</sub>	1,72 <sup>c,d</sup> <sub>1</sub>
0,24	1,63 <sup>a,b,c</sup> <sub>3,4</sub>	1,3 <sup>a,b</sup> <sub>2</sub>	1,88 <sup>c,d</sup> <sub>2,3</sub>	1,88 <sup>c,d</sup> <sub>2</sub>	1,41 <sup>a,b</sup> <sub>2,3</sub>	1,25 <sup>a</sup> <sub>1,2</sub>	1,7 <sup>b,c</sup> <sub>3,4</sub>	1,45 <sup>a,b</sup> <sub>1</sub>	2,12 <sup>d</sup> <sub>2,3</sub>	1,58 <sup>a,b,c</sup> <sub>1</sub>
0,28	2 <sup>a,b,c</sup> <sub>4,5</sub>	1,74 <sup>b,c</sup> <sub>3,4</sub>	2,18 <sup>a,b</sup> <sub>3,4</sub>	1,97 <sup>a,b,c</sup> <sub>2,3</sub>	1,78 <sup>b,c</sup> <sub>3,4</sub>	1,49 <sup>c</sup> <sub>2,3</sub>	2,01 <sup>a,b</sup> <sub>2,3,4</sub>	1,73 <sup>b,c</sup> <sub>1,2</sub>	2,41 <sup>a</sup> <sub>2,3,4</sub>	1,81 <sup>b,c</sup> <sub>1,2</sub>
0,32	2,23 <sup>a,b</sup> <sub>5,6</sub>	2,13 <sup>a,b</sup> <sub>4,5</sub>	2,44 <sup>a,b</sup> <sub>4</sub>	2,35 <sup>a,b</sup> <sub>3,4</sub>	2,08 <sup>a,b</sup> <sub>4,5</sub>	1,96 <sup>a</sup> <sub>3,4</sub>	2,23 <sup>a,b</sup> <sub>2,3,4</sub>	1,94 <sup>a</sup> <sub>1,2,3,4</sub>	2,52 <sup>b</sup> <sub>2,3,4</sub>	2,28 <sup>a,b</sup> <sub>2,3</sub>
0,36	2,52 <sup>a,b,c</sup> <sub>6</sub>	2,39 <sup>a,b,c</sup> <sub>5</sub>	2,36 <sup>a,b,c</sup> <sub>4</sub>	2,51 <sup>a,b,c</sup> <sub>4</sub>	2,41 <sup>a,b,c</sup> <sub>5</sub>	2,08 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	2,54 <sup>a,b,c</sup> <sub>2</sub>	2,19 <sup>a,b</sup> <sub>2,3,4,5</sub>	2,61 <sup>b,c</sup> <sub>3,4</sub>	2,81 <sup>c</sup> <sub>3</sub>
0,4	2,65 <sup>a</sup> <sub>6</sub>	2,4 <sup>a</sup> <sub>5</sub>	2,34 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	2,6 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	2,4 <sup>a</sup> <sub>5</sub>	2,33 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	2,57 <sup>a</sup> <sub>2</sub>	2,38 <sup>a</sup> <sub>4,5</sub>	2,72 <sup>a</sup> <sub>4</sub>	2,64 <sup>a</sup> <sub>3</sub>



## Příloha 17 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro celkovou pórovitost (2. rok, Červený Újezd)

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$   
CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Celková pórovitost P [% obj.]

Hloubka	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK								
0-0,05	53,55	a 1	49,02	a,b 1	51,00	a,b 1	50,44	a,b 1	46,67	a,b 1	50,97	a,b 1	47,29	a,b 1	44,22	a 1
	0,05-0,10	47,19	a 1,2	45,98	a 1	44,54	a,b 2	40,76	b 2	45,07	a,b 1,2	44,93	a,b 1,2	41,22	b 2	40,75
0,10-0,15		43,15	a,b 2	44,12	a 1	40,34	a,b 2	39,03	b 2	41,57	a,b 2	43,96	a 2	41,76	a,b 2	40,73
	0,15-0,20	42,24	a 2	44,72	a 1	40,22	a 2	40,38	a 2	44,52	a 1,2	44,05	a 2	41,73	a 2	39,99
0,20-0,25		42,25	a 2	43,63	a 1	39,75	a 2	38,99	a 2	43,00	a 1,2	44,15	a 2	41,00	a 2	38,92

## Příloha 18 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro kapilární pórovitost (2. rok, Červený Újezd)

*a,b.. - Homogenní skupiny v řádce; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$   
CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě*

Pórovitost kapilární Pk (% obj.)

Hloubka	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK								
0-0,05	31,15	a 1	31,64	a 1	34,47	a 1	31,76	a 1	33,51	a 1	29,13	a 1	31,42	a 1	32,63	a 1
	0,05-0,10	32,93	a,b 1	30,12	b 1	34,83	a 1	32,82	a,b 1	34,26	a 1	31,42	a,b 1	34,59	a 1,2	32,88
0,10-0,15		33,82	a 1	31,11	a,b 1	33,99	a,b 1	31,84	a,b 1	34,13	a,b 1	31,72	a,b 1	35,11	b 2	34,41
	0,15-0,20	33,41	a,b 1	30,66	b 1	33,79	a,b 1	31,86	a,b 1	35,30	a 1	32,12	a,b 1	35,27	a 2	34,32
0,20-0,25		32,99	a 1	30,43	a 1	34,38	a 1	31,79	a 1	34,63	a 1	34,26	a 1	34,76	a 1,2	33,97

## Příloha 19 - Tukeyův HSD test homogenních skupin pro nekapilární pórovitost (2. rok, Červený Újezd)

a,b.. - Homogenní skupiny v řádku; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$   
 CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

Pórovitost nekapilární Pn (% obj.)

Hloubka	CTF M		CTF M+HK		CTF S		CTF S+HK		Orba M		Orba M+HK		Orba S		Orba S+HK	
<b>0 - 0,05</b>	16,19	a	10,42	a	11,21	a	11,30	a	8,08	a	14,49	a	9,95	a	5,98	a
		1		1		1		1		1		1		1		1
<b>0,05 - 0,10</b>	9,21	a	9,13	b	6,01	b	3,29	a,b	5,90	a,b	7,72	a,b	3,30	a	3,54	a
		1,2		1		2		2		1,2		2		2		1
<b>0,10 - 0,15</b>	4,71	a	6,08	a	3,15	a	2,56	a	3,17	a	6,09	a	3,09	a	2,04	a
		2		1		2		2		2		2		2		1
<b>0,15 - 0,20</b>	4,48	a,b	6,67	b	2,89	a,b	3,89	a,b	4,26	a	4,20	a,b	2,91	a	1,58	a
		2		1		2		2		1,2		2		2		1
<b>0,20 - 0,25</b>	4,75	a	6,36	a	2,00	a	3,12	a	4,76	a	5,26	a	3,06	a	3,70	a
		2		1		2		2		1,2		2		2		1

## Příloha 20 - Popisná statistika nasycené hydraulické vodivosti (2. rok, Červený Újezd)

CTF - řízený pohyb strojů; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK
<b>Stř. hodnota</b>	36,46	16,37	6,20	9,88	27,74	5,80	1,80	2,20
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	7,39	1,94	1,18	1,71	5,46	2,27	0,66	0,39
<b>Medián</b>	28,64	13,84	5,95	9,88	18,94	1,91	0,61	1,96
<b>Směr. odchylka</b>	26,63	5,12	3,72	5,13	16,38	8,50	2,39	1,57
<b>Rozptyl výběru</b>	709,41	26,21	13,84	26,27	268,41	72,33	5,69	2,46
<b>Špičatost</b>	3,56	1,29	3,32	1,15	0,20	3,30	2,32	2,11
<b>Šikmost</b>	1,91	1,40	1,44	0,83	1,02	2,10	1,83	1,47
<b>Minimum</b>	14,69	12,13	2,10	3,29	12,65	0,39	0,17	0,55
<b>Maximum</b>	106,81	26,10	15,04	20,29	60,11	27,20	7,45	6,36
<b>Součet</b>	474,01	114,62	62,05	88,94	249,66	81,18	23,46	35,16
<b>Počet</b>	15	10	14	10	14	14	14	20
<b>Největší (1)</b>	106,81	26,10	15,04	20,29	60,11	27,20	7,45	6,36
<b>Nejmenší (1)</b>	14,69	12,13	2,10	3,29	12,65	0,39	0,17	0,55
<b>Hladina spolehlivosti (95,0%)</b>	16,10	4,73	2,66	3,94	12,59	4,91	1,44	0,84

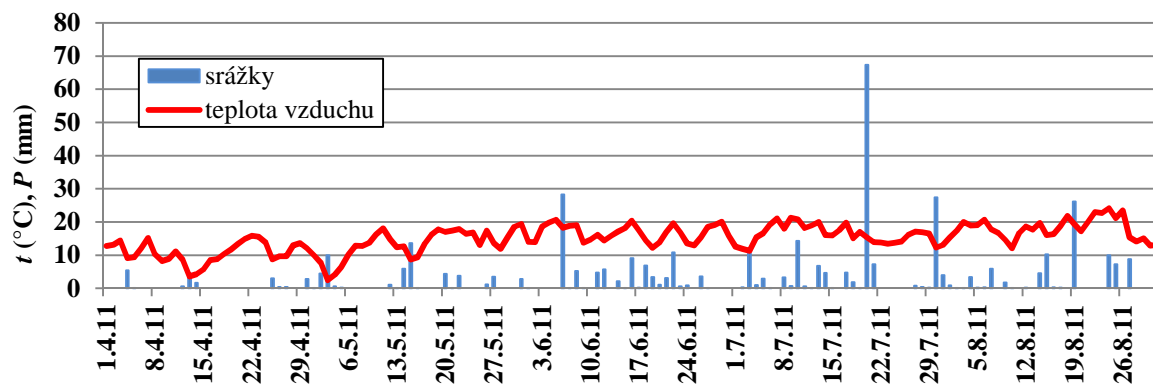
Příloha 21 – Tukeyův HSD test homogenních skupin indikace toku vody pomocí brilantní modři (2. rok, Červený Újezd)

a,b,.. - Homogenní skupiny v řádku; 1,2,.. - Homogenní skupiny v sloupci; uvedené hodnoty jsou v %;  $\alpha = 0.05$   
 CTF - řízený pohyb strojí; +HK - hluboké kyprění; M - mimo stopu; S - ve stopě

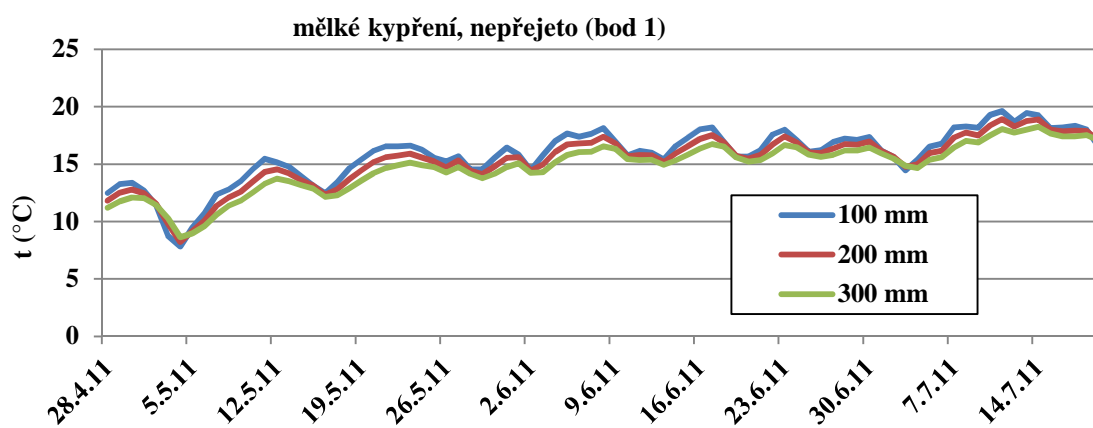
Hloubka [m]	CTF M	CTF M-HK	CTF S	CTF S-HK	Orba M	Orba M-HK	Orba S	Orba S-HK
<b>0 - 0,05</b>	60,92 a,b 1	50,16 a 1	60,89 a,b 1	68,19 a,b,c 1	80,53 c 1	62,54 a,b,c 1	71,57 b,c 1	65,42 a,b,c 1
<b>0,05 - 0,10</b>	58,92 c,d 1,2	30,23 a,b 1,2	19,02 a 2	22,54 a,b 2	69,96 d 1,2	40,17 b,c 1,2	24,17 a,b 2	25,11 a,b 2
<b>0,10 - 0,15</b>	66,16 c 1	32,93 b 1,2	15,52 a 2	9,15 a 2	56,51 c 1,2,3	37,83 b 2	13,85 a 2	18,46 a 2
<b>0,15 - 0,20</b>	55,44 b 1,2,3	40,41 b 1,2	19,75 a 2	10,29 a 2	47,68 b 2,3,4	45,67 b 1,2	13,33 a 2	19,69 a 2
<b>0,20 - 0,25</b>	60,42 b 1,2	45,63 b 1	18,92 a 2	11,00 a 2	49,79 b 2,3,4	44,71 b 1,2	15,11 a 2	16,70 a 2
<b>0,25 - 0,30</b>	47,57 d 1,2,3	38,66 b,c,d 1,2	20,44 a,b,c 2	17,14 a 2	39,33 c,d 3,4	36,81 b,c,d 2	14,21 a 2	19,85 a,b 2
<b>0,30 - 0,35</b>	30,99 a,b 3	23,79 a,b 2	16,89 a 2	21,19 a,b 2	41,02 b 3,4	35,67 a,b 2	21,78 a,b 2	22,38 a,b 2
<b>0,35 - 0,40</b>	33,39 a,b 2,3	24,13 a,b 2	12,04 a 2	16,16 a 2	27,14 a,b 4	42,83 b 1,2	21,63 a,b 2	16,41 a 2

## Příloha 22 - Průběhy vybraných hodnot srážek, teplot a vodního potenciálu (2. rok, Červený Újezd)

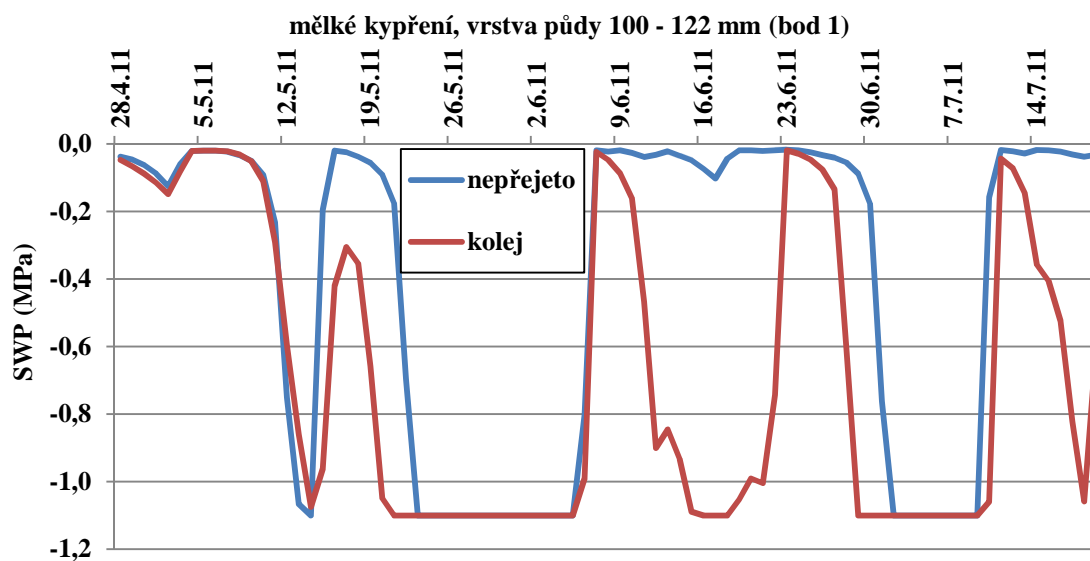
## Průběhy teplot vzduchu a denních srážek



## Průběhy teplot půdy



## Průběhy vodních potenciálů



Příloha 23 - Popisná statistika výnosů plodin pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu (2. rok, Červený Újezd)

a,b.. - Homogenní skupiny v řádku; 1,2.. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0,05$

CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK	RAN	RAN +HK
<b>Stř. hodnota</b>	6,19	6,62	5,86	6,23	6,5	6,44	6,76	7,35	6,8	6,45
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	0,21	0,24	0,37	0,29	0,41	0,32	0,31	0,42	0,25	0,31
<b>Medián</b>	6,36	6,7	5,94	6,5	6,69	6,39	6,43	7,94	6,68	6,34
<b>Směr. odchylka</b>	0,6	0,69	1,04	0,82	1,17	0,9	0,89	1,19	0,99	1,22
<b>Rozptyl výběru</b>	0,36	0,48	1,08	0,67	1,36	0,81	0,79	1,43	0,98	1,49
<b>Špičatost</b>	0,74	-1,47	-0,94	-1,77	-0,53	2,09	-0,04	-0,7	0,27	-0,66
<b>Šikmost</b>	-0,37	-0,3	-0,68	-0,32	-0,2	1,06	0,78	-0,97	0,82	0,23
<b>Minimum</b>	5,14	5,57	4,3	5,14	4,68	5,34	5,64	5,35	5,61	4,36
<b>Maximum</b>	7,14	7,45	6,91	7,28	8,26	8,27	8,36	8,55	9,08	8,65
<b>Součet</b>	49,52	52,97	46,89	49,84	52	51,51	54,06	58,76	108,77	103,16
<b>Počet</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	16	16
<b>Největší (1)</b>	7,14	7,45	6,91	7,28	8,26	8,27	8,36	8,55	9,08	8,65
<b>Nejmenší (1)</b>	5,14	5,57	4,3	5,14	4,68	5,34	5,64	5,35	5,61	4,36
<b>Hladina spolehlivosti (95,0%)</b>	0,5	0,58	0,87	0,69	0,98	0,75	0,74	1	0,53	0,65

Příloha 24 - Popisná statistika hmotností tisíce semen pro jednotlivé varianty ve stopě a mimo stopu  
(2. rok, Červený Újezd)

a, b, .. - Homogenní skupiny v řádku; 1, 2, .. - Homogenní skupiny v sloupci;  $\alpha = 0.05$

CTF - řízený pohyb strojů; RAN - náhodné přejezdy; +HK - hluboké kypření; M - mimo stopu; S - ve stopě

	CTF M	CTF M+HK	CTF S	CTF S+HK	Orba M	Orba M+HK	Orba S	Orba S+HK	RAN	RAN +HK
<b>Stř. hodnota</b>	45,55	45,44	46,13	46,48	45,15	46,01	46,44	46,24	44,91	46,81
<b>Chyba stř. hodnoty</b>	0,21	0,57	0,46	0,48	0,43	0,45	0,53	0,63	0,66	0,26
<b>Medián</b>	45,73	45,14	46,32	45,98	44,99	46,53	46,79	46,67	45,28	46,66
<b>Směr. odchylka</b>	0,58	1,61	1,3	1,37	1,23	1,28	1,51	1,78	2,63	1,05
<b>Rozptyl výběru</b>	0,34	2,59	1,69	1,88	1,5	1,63	2,28	3,17	6,94	1,1
<b>Špičatost</b>	-1,23	-0,34	1,58	-0,7	-0,29	1,65	-1,21	-1,36	1,42	0,2
<b>Šikmost</b>	-0,55	0,3	-0,33	0,48	0,09	-1,35	-0,55	-0,51	-1,06	-0,18
<b>Minimum</b>	44,61	43,09	43,76	44,6	43,24	43,41	44,18	43,36	38,38	44,57
<b>Maximum</b>	46,2	48,11	48,28	48,74	47,04	47,34	48,1	48,04	48,74	48,49
<b>Součet</b>	364,43	363,56	369,07	371,82	361,23	368,1	371,49	369,96	718,58	749,01
<b>Počet</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	16	16
<b>Největší (1)</b>	46,2	48,11	48,28	48,74	47,04	47,34	48,1	48,04	48,74	48,49
<b>Nejmenší (1)</b>	44,61	43,09	43,76	44,6	43,24	43,41	44,18	43,36	38,38	44,57
<b>Hladina spolehlivosti (95,0%)</b>	0,49	1,35	1,09	1,15	1,02	1,07	1,26	1,49	1,4	0,56