

Česká zemědělská univerzita v Praze



Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny

**Měření infiltrace vody do půdy a povrchového odtoku v místech  
s různou intenzitou zatížení pojezdovým ústrojím strojů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Diplomant: Ing. Tomáš Bečka

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bečka Tomáš

Krajinné inženýrství

Název práce

**Měření infiltrace vody do půdy a povrchového odtoku v místech s různou intenzitou zatížení pojezdovým ústrojím strojů**

Anglický název

**Infiltration and runoff testing in the places with various loading by machines carriage.**

---

### Cíle práce

Cílem práce je posouzení vlivu přejezdu strojů po půdě na infiltraci a kumulaci povrchové vody ve stopách.

### Metodika

Na pokusném pozemku je monitorován pohyb strojů. Následně bude měřena infiltrace ve vybraných částech pole v závislosti na počtu přejezdů. Měření infiltrace se bude provádět dvouválcovou metodou. Měření bude následně statisticky vyhodnoceno. Povrchový odtok bude měřen pomocí simulátoru deště.

### Harmonogram zpracování

Říjen 2011 - Popis přírodních podmínek (poměrů) pozemku včetně půdní struktury.

Listopad 2011 - Vyznačení a navržení vhodných míst pro měření v závislosti na počtu přejezdů strojů.

Prosinec 2011 - Provedení vlastních měření dvouválcovou metodou, infiltrometrem, mini diskem a provedení měření povrchového odtoku v pomoci simulátoru deště.

Únor 2011 - Zpracování dat, formulace diskuse, závěrů a doporučení.

Březen 2011 - Zkonzultování obecné a konkrétní části

Duben 2012 - odevzdání práce

### **Rozsah textové části**

cca 50 stran

### **Klíčová slova**

intenzita infiltrace, dvouválcová metoda, zatížení pojezdy, povrchový odtok

---

### **Doporučené zdroje informací**

Brunotte, J., Fröba, N. Schlaggestaltung-kostensenkend und Bodenschonend. KTBL Schrifz, 2007. 460 s. ISSN: 0173-2811.

Morgan R. P. C. Soil Erosion and Conservation. Blackwell Publishing, 2005. 304 s. ISBN 1-4051-1781-8.

EL Titi A.(ed.) Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press the U.S.A., 2003. 367 s. ISBN 0-8493-1228-0.

Hůla J., Procházková B. a kol. Minimalizace zpracování půdy. Praha: ProfiPress, s.r.o., 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.

Häkansson, I. Machinery-induced Compaction of Arable Soils: Incidence-Consequence-Counter-Measures. Uppsala: SLU Service/Repro, 2005. ISSN: 0348-0976.

---

### **Vedoucí práce**

Štibinger Jakub, doc. Ing., CSc.

### **Konzultant práce**

Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

---

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry



V Praze dne 25.4.2012

---

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jakuba Štibingera, CSc. a Ing. Milana Kroulíka, Ph.D. a uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne:

Podpis:

Tímto bych rád poděkoval panům doc. Ing. Jakobovi Štibingerovi, CSc. a Ing. Milanovi Kroulíkovi, Ph.D. za pomoc, poskytnutou během vypracování této práce.

**Abstrakt:** Cílem této diplomové práce je zhodnocení infiltrace vody do půdy a povrchového odtoku v místech s různou intenzitou zatížení pojezdovým ústrojím strojů, vlivu systému controlled traffic farming (CTF) na půdu, změn jejích fyzikálních vlastností a efekt tohoto zásahu. V úvodu je stručně popsána problematika, kterou se tato práce nadále zabývá. V druhé kapitole jsou podrobněji rozepsány fyzikální půdní vlastnosti, infiltrace, vliv zhutnění na půdu s možností jeho eliminace a stručně popsána technologie CTF. Ve třetí kapitole se nachází samotný cíl práce. Ve čtvrté kapitole je popsána metodika jednotlivých měření a zpracování výsledků. Pátá kapitola obsahuje popis pozemku, na kterém byl proveden pokus a mapa pozemku s odběrovými body. Dále v ní je obsaženo vyhodnocení jednoválcové metody a simulátoru deště s dílčími závěry, které stručně popisují zjištěné vlivy přejezdů strojů na půdu v porovnání s půdou nepřejetou. V závěru je pak zhodnocení celé práce a získaných výsledků.

**Klíčová slova:** intenzita infiltrace, dvouválcová metoda, zatížení pojezdy, povrchový odtok.

### **Infiltration and runoff testing places with various loading by undercarriage of machines.**

**Summary:** The main objective of this thesis is the assessment of infiltration and surface runoff of water in places with various degrees of loading by the passage of agricultural machines, impact of the control traffic farming (CTF) on the soil, changes in its physical properties and the outcome of such effects. Main ideas and topics are briefly outlined in the introduction. The physical properties of the soil, infiltration, influence of compaction of the soil and a brief description of the CTF system form the content of the second chapter of the thesis. The third chapter describes the main objective of the thesis. The fourth chapter contains the methodology of sample collection and data analysis and processing. The fifth chapter includes a short description of the plot of land (including a map with collection points) where the experiment took place. Also given is the evaluation of infiltration using single-ring method, and a rainfall simulator. Partial conclusions, presenting established impacts of the loading by the passage of machines, form the last part of the fifth chapter. The main results are summarized in the conclusion.

**Key words:** intensity of infiltration, double-ring method, undercarriage (passage) loading, runoff

## Obsah:

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Změny fyzikálních vlastností půdy, důsledky a opatření proti nim, používané technologie, zhutnění, eroze a stav půdy</b> .....	<b>2</b>
2.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti půdy .....	2
2.1.1 Měrná hmotnost půdy.....	2
2.1.2 Objemová hmotnost půdy .....	3
2.1.3 Pórovitost půdy .....	4
2.1.4 Textura půdy .....	5
2.1.5 Struktura půdy .....	6
2.1.6 Vlhkost půdy .....	7
2.1.7 Infiltrace .....	8
2.2 Vliv zhutnění a přejezdů po poli.....	9
2.2.1 Zhutnění půd přejezdy mechanizace .....	10
2.2.2 Zhutnění půdy destrukcí půdních agregátů .....	11
2.2.3 Opatření proti zhutňování půd.....	11
2.2.4 Technologie zpracování půdy .....	12
2.3 Půdní eroze .....	18
2.3.1 Ochrana proti erozi.....	19
<b>3. Cíl práce</b> .....	<b>22</b>
<b>4. Metodika práce</b> .....	<b>23</b>
4.1 Simulátor deště .....	23
4.1.1 Simulátor deště.....	23
4.1.2 Hodnocení půdních vlastností a parametrů stanoviště .....	25
4.2 Jednoválcová infiltrační metoda .....	25
<b>5. Výsledky a diskuse</b> .....	<b>28</b>
5.1 Výchozí podmínky.....	28
5.2 Hodnocení měření simulátoru deště .....	32
5.2.1 Hodnocení infiltrace a povrchového odtoku .....	32
5.2.3 Vlhkost .....	36
5.3 Hodnocení jednoválcové infiltrační metody.....	37
5.3.1 Hydraulická nasycená vodivost.....	37
5.3.2 Sorptivita .....	39

<b>6. Závěr .....</b>	<b>42</b>
<b>7. Literatura .....</b>	<b>44</b>
<b>8. Seznam obrázků, grafů a tabulek .....</b>	<b>47</b>



# 1. Úvod

Od chvíle, kdy se začaly na polích užívat stroje o vyšších hmotnostech, začaly se objevovat problémy s kvalitou půdy. Tyto problémy se nějakou dobu ignorovaly, dokud nezačaly být až příliš ekonomicky významné. Od té doby se vědci snaží přijít na různé příčiny a následně postupy, jak tyto negativní vlivy omezit, či úplně eliminovat. Situaci nepomohlo ani to, kdy po snížení kvality a kvantity produkce, se jako ekonomické řešení přistoupilo na využití zemědělských produktů v energetice. Výsledkem bylo opět zhoršení stavu zemědělsky využívané půdy, občas až do stavu, jenž hraničí s mrtvou zemí.

Zhutnění půdy je velice sledované v důsledku zvýšení hmotnosti a výkonů zemědělských strojů. Například Chamen (2006) uvádí, že průměrná hmotnost a výkon zemědělských strojů je oproti roku 1966 trojnásobná a maximální zatížení pneumatikami narostlo až šestkrát. Zhutnění se pak odráží ve výnosech plodin a je možné je pozorovat i po dobu více let. Dochází k narušení půdní struktury a poškození půdní kapilarity. Následkem je narušení vodního koloběhu a špatné podmínky pro růst rostlin.

Příchodem nových technologií dostáváme nové možnosti, jak se s problémy vypořádat. Po povolení technologie GPS pro civilní sektor a odstranění záměrné chyby, která znemožňovala přesné využití, se začala využívat pro navigaci strojů. Tím vznikl základ pro precizní zemědělství. Jednou z jeho částí je systém obdělávání půdy controlled traffic farming. Jedná se o organizaci pohybu strojů a strojních souprav po pozemku tak, aby se jednotlivé přejezdy situovaly do již vyjetých kolejí. Tím pak vzniká zhutnění půdy jen v konkrétních místech, přičemž ostatní plocha zůstává nepřejetá.

Problémem této technologie se jeví stav stálých kolejových řádků. Ty můžou být v podorničí silně utužené i v případě, že se každým rokem prokypřují spolu s ostatní nepřejetou půdou. Při prudkých deštích, které můžou půdu ohrozit erozí, pak tyto kolejové řádky slouží jako linie soustředěného odtoku a může dojít k vymílání a transportu většího množství půdy. Proto je vhodné sledovat vliv této technologie nejen z hlediska zhutnění, ale i z hlediska infiltrační schopnosti půdy.

## 2. Změny fyzikálních vlastností půdy, důsledky a opatření proti nim, používané technologie, zhutnění, eroze a stav půdy

### 2.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti půdy

Půda vznikala a vyvíjela se z povrchových zvětralin v půdotvorném procesu. Je samostatným přírodně historickým útvarem a součástí přírody. Jejím hlavním kvalitativním znakem je úrodnost. Úrodnost je schopnost půdy poskytnout rostlinám vhodné podmínky pro růst a vývoj. Je dána souborem mechanických, fyzikálních, chemických a biologických vlastností, které získala v průběhu svého vývoje.

Půda je heterogenní disperzní systém. Skládá se ze tří základních frakcí. Tuhé, kapalné a plynné. Tuhá frakce je v orné půdě zastoupena nejvíce. Kapalná a plynná frakce je zastoupena převážně v pórech a kapilárách (Hůla, Procházková 2008, Valla 2006).

#### 2.1.1 Měrná hmotnost půdy

Měrná hmotnost neboli hustota půdy, je hmotnost jednotkového objemu pevné, vysušené a neporézní půdy, která dokonale vyplňuje daný prostor. Pro určení měrné hmotnosti půdy se užívá zemina usušená při 105°C v poměru s vodou stejného objemu při 4 °C. Různé minerály a organické látky, ze kterých je půda složena, mají různou měrnou hmotnost, čili přímo závisí na jejich obsahu v dané zemině.

Mezi nejvíce zastoupené minerály většiny půd patří křemen s měrnou hmotností 2,65 g.cm<sup>-3</sup>. Následkem toho se průměrná měrná hmotnost pohybuje mezi 2,3 až 2,8 g.m<sup>-3</sup> v závislosti na obsahu humusu, který tuto hodnotu snižuje a těžkých minerálů, které ji naopak zvyšují (Jandák, Prax 2008, Kuklík 1988).

Tabulka 1: Ukázka měrné hmotnosti vybraných látek

Minerál	Měrná hmotnost [g.cm <sup>-3</sup> ]
Křemen	2,65
Augit	3,30 - 3,60
Humus	1,00 - 1,60

Zdroj: Půdoznalství 2008

## 2.1.2 Objemová hmotnost půdy

Objemová hmotnost půdy je charakteristickým znakem, který zahrnuje strukturu, zrnitost, vlhkost a pórovitost a je tedy ukazatelem skutečného stavu půdy v přírodě. Je proto důležitým parametrem pro hodnocení zhutnění. Je přímo závislá na množství a velikosti přítomných pórů. Při přejezdech techniky se tyto póry vyplňují okolní zeminou, až zanikají. Přímo také ukazuje na schopnost infiltrace vody do půdy, která je závislá na pórovitosti.

Objemovou hmotnost definujeme jako hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu, to znamená s póry vyplněnými momentním obsahem vody a vzduchu. Je především závislá na měrné hmotnosti půdy, podílu pórů v půdě a jejich zaplnění vodou. Vzhledem k velké závislosti na půdní vodě, se jedná o hodnotu nestálou a měnící se v průběhu roku.

U suché půdy stanovujeme objemovou hmotnost jako poměr hmotnosti suché zeminy a jejího objemu. Tato hodnota je nezávislá na půdní vlhkosti a bývá většinou stabilní, pokud nedochází ke zpracování půdy. Ve svrchních půdních vrstvách bývá nejčastěji v rozmezí 1,2 až 1,5 g.cm<sup>-3</sup> v závislosti na celkovém objemu pórů a měrné hmotnosti. S větší hloubkou se objemová hmotnost zvyšuje přibližně na 1,6 – 1,8 g.cm<sup>-3</sup>.

Objemová hmotnost vlhké půdy je nekonstantní hodnota z důvodu závislosti na půdní vlhkosti. Na změnu má vliv například bobtnání půdy, mráz, obdělávání půdy, rozvoj kořenového systému a podobně. Podle objemové hmotnosti suché půdy a pórovitosti lze přibližně hodnotit strukturní stav humusového horizontu středně těžkých a těžkých půd (Jandák, Prax 2008, Valla 2006, Sánka a kol. 2004).

*Tabulka 2: Hodnocení strukturního stavu humusového horizontu*

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost suché půdy (g.cm <sup>-3</sup> )	Pórovitost (%)
výborný	<1,2	>54
dobry	1,2 - 1,4	46 - 54
nevyhovující	1,4 - 1,6	39 - 46
nestrupturní	1,6 - 1,8	31 - 39

*Zdroj: Půdoznalectví 2008*

### 2.1.3 Pórovitost půdy

Půda se skládá z pevné frakce, která vytváří shluky (agregáty) různých velikostí a tvarů. Mezi těmito útvary tak vzniká nepravidelný volný prostor, který nazýváme půdními póry. Póry jsou většinou spojité, různě propojené s různým tvarem a průměrem. Pro zjednodušení předpokládáme póry jako válcovité útvary o stejném průměru. Jejich průměr volíme jako průměrnou hodnotu. Pórovitost půdy nám potom udává procentuální zastoupení pórů v půdě.

Pórovitost půd se výrazně liší v závislosti na hloubce a struktuře. Celková pórovitost u zemědělských půd ve svrchních vrstvách by se měla pohybovat okolo 40 až 50 %. Půdy s vysokým obsahem humusu mohou dosahovat až 80% pórovitosti. U půd s nízkým obsahem humusu, stejně jako u zamokřených (glejových) půd, pak klesá hodnota pórovitosti i pod 30%. Ve spodních vrstvách je také pórovitost nižší, přibližně v rozmezí 30 – 40 %.

Tabulka 3: Ulehlost v půdním profilu podle hodnot pórovitosti

Ornice	Lehké půdy	Středně těžké a těžké půdy
kyprá	>65	>65
mírně ulehlá	50 - 65	55 - 65
ulehlá	40 - 50	45 - 55
velmi ulehlá	<40	<45
Spodina	Lehké půdy	Středně těžké a těžké půdy
kyprá	>50	>57
mírně ulehlá	43 - 50	46 - 57
ulehlá	35 - 43	35 - 46
velmi ulehlá	<35	<35

Zdroj: Pedologické praktikum 2000

Pórovitost lze vypočítat na základě změřené objemové hmotnosti a specifické hmotnosti:

$$P = \frac{(\rho_z - \rho_d) \cdot 100}{\rho_z} [\%] \quad (1)$$

kde:  $\rho_z$  je specifická hmotnost

$\rho_d$  objemová hmotnost redukováná.

Jemné (kapilární) póry: průměry těchto pórů jsou tak malé, že v nich působí kapilární síly, které zadržují vodu (půdní roztok) v půdním profilu. Zároveň mohou způsobovat vztlínání spodní vody až do vrstev přístupných kořenům rostlin. Z těchto kapilár získávají vodu rostliny v době nedostatku dešťových dotací. Zastoupení kapilárních pórů v půdě by mělo být přibližně 2/3.

Hrubé (nekapilární) póry: tyto póry jsou tak velkého průměru, že v nich nepůsobí kapilární síly. Voda jimi volně protéká působením gravitační síly. Mají největší podíl na infiltraci vody za deště. Po odtoku vody zůstávají volné a zaplní se vzduchem. Tím napomáhají k výměně vzduchu v půdním profilu.

Střední (semikapilární) póry: v těchto pórech jednoznačně nepřevažuje ani jedna z předchozích možností. Jsou schopny vázat vodu, ale zároveň přispívají k infiltraci a výměně vzduchu.

(Jandák, Prax 2008, Kutílek 2004, Valla 2006, Sáňka a kol. 2004, Kuklík 1988)

#### **2.1.4 Textura půdy**

Textura půdy udává její složení v závislosti na velikosti zrn jednotlivých frakcí půdy. Těmito zrny jsou úlomky mateční horniny, primární a sekundární minerály půdotvorného substrátu. Z hlediska velikosti částic je půda polydisperzním systémem obsahující:

- Hrubé disperze – prach, písek, kameny a štěrk. Částice větší jak 1  $\mu\text{m}$ , působí v půdě převážně mechanicky. Tyto částice jsou většinou přibližně kulovitěho tvaru. Půda složená z těchto částic je sypká, drobtovitá a propustná.
- Koloidní disperze – koloidní jíly, kyselina křemičitá, hydratované sesquioxidy. Částice o rozměru 1  $\mu\text{m}$  až 1 nm s velkou specifickou povrchovou plochou a energií. V půdě působí především fyzikálně-chemicky jako pojivo. Tyto částice mají většinou tvar šupinkový či vláknitý.
- Molekulární disperze – většinou ve vodě rozpuštěné soli, kyseliny, zásady a disociované ionty. Velikost částic je menší jak 1 nm a v půdě působí chemicky.

Textura je výrazně ovlivněna zastoupením jednotlivých částí udávajících jejich soudržnost a odolnost vzniklých půdních agregátů proti rozrušení. Čím menší velikost

minerálních částic, tím vyšší specifická plocha a přitažlivé síly mezi nimi. Adheze a koheze vzrůstá, ovšem je značně ovlivněna velikostí a tvarem částic. To pak zásadně ovlivňuje téměř všechny půdní vlastnosti. Půdy z větší části složené z koloidních a molekulárních disperzí, jsou často tuhé, ulehlé a málo propustné v důsledku vysoké koheze a malého prostoru mezi částicemi (Jandák, Prax 2008).

### 2.1.5 Struktura půdy

Půdní částice se většinou nevyskytují v půdě samostatně, ale shlukují se a vytváří takzvané půdní agregáty. To je podmíněno schopností se shlukovat. K tomu slouží různé tmelící látky a schopnost koagulace. Díky tomu jsou pak agregáty stabilní ve vodě. Pojmem půdní struktura označujeme souhrnně prostorové uspořádání agregátů v půdě. Podle tvaru a velikosti vzniklých agregátů určujeme různé druhy struktur.

Podle velikosti agregátů rozlišujeme:

- Mikrostruktura - agregáty menší než 0,25 mm.
- Makrostruktura - 0,25 až 0,50 mm.
- Megastruktura - agregáty (hroudy) větší než 50 mm.

Dále podle tvaru agregátů lze dělit strukturu na:

- Strukturní elementy isometrické (rovnoměrně vyvinuté ve třech směrech)
- Kulovitá struktura - porézní agregáty, plochy a hrany nezřetelně vyvinuty (zaoblené), volně uložené s velkou meziagregátovou pórovitostí (hrudovitá, drobtovitá, práškovitá).
- Struktura zrnitá - agregáty s nižší pórovitostí a ostře vyvinutými hranami. Jsou volně uložené se značnou meziagregátovou pórovitostí (zrnitá, jemně zrnitá).
- Struktura polyedrická – málo porézní agregáty s ostře vyvinutými hranami a plochami. Jsou těsně uložené s nízkou meziagregátovou pórovitostí (polyedrická).

- Strukturní elementy anisometrické (jeden nebo dva rozměry odlišné délky)
  - Vertikálně protažené agregáty - (hranolovitá struktura) je buď prismatická (s nezaoblenou svrchní částí), nebo sloupkovitá (se zaoblenou svrchní částí).
  - Horizontálně protažené agregáty - tvoří deskovitou strukturu (destičková, lístkovitá).

(Jandák, Prax 2008, Kutílek 2004, Valla 2006)

### 2.1.6 Vlhkost půdy

Voda se v půdě nevyskytuje většinou jako čistá tekutina, ale jako roztok obsahující rozpuštěné a dispergované látky a minerály. Takovou vodu potom označujeme jako půdní roztok. Složení půdního roztoku je značně odlišné v závislosti na prostředí, především půdotvornými faktory, interakcemi půdní vody s minerálními a organickými složkami půdy a vegetací.

Voda v půdě je jedním ze základních parametrů, kterým je ovlivněn růst rostlin. Schopnost půdy zadržovat vodu je ovlivněna její strukturou a texturou. Zdrojem vody jsou srážky a podzemní voda. Hlavní ztráty jsou pak, mimo povrchového odtoku vody, kterou již půda není schopna pojmout, odpařování a evapotranspirace. Optimální půdní vlhkost se pro většinu organismů pohybuje od 50 do 80 %.

- Momentní vlhkost půdy - zjišťuje se zvážením odebraného vzorku a porovnáním hmotnosti s hmotností ve vysušeném stavu. Ukazuje její obsah v konkrétním okamžiku.
- Hmotnostní vlhkost půdy - k zjištění se používají většinou porušené vzorky. Pro její výpočet je dán vztah:

$$w = \frac{m_w}{m_z} \cdot 100 [\% \text{ hmotnosti}] \quad (2)$$

kde:  $m_w$  je hmotnost vody ve vzorku

$m_z$  je hmotnost vysušeného vzorku.

- Objemová vlhkost půdy – se určuje z neporušeného vzorku půdy a vypočítá se vztahem:

$$\Theta = \frac{V_w}{V_s} \cdot 100 [\% \text{ objemu}] \quad (3)$$

kde:  $V_w$  je objem vody ve vzorku

$V_s$  je objem neporušeného vzorku (zpravidla kopeckého váleček o objemu  $100 \text{ cm}^3$ ).

- Zásobní vlhkost půdy – používá se pro porovnání vlhkosti půdy se srážkami, závlahou, nebo výparem při bilancování vody.

V rámci rozborů půdy se sledují hlavně momentální vlhkost, nasákivost, maximální kapilární vodní kapacita a retenční vodní kapacita. Tyto hodnoty se stanovují z neporušených půdních vzorků (Jandák, Prax 2008, Kutílek 2004, Valla 2006, Sáníka a kol. 2004).

### 2.1.7 Infiltrace

Infiltrace do půdy je charakteristikou daného půdního profilu za určitých momentálních podmínek závislá na několika faktorech hlavně na textuře a pórovitosti. Infiltrace se zjišťuje z výtoky povrchu nebo při dešti a je dána rychlostí vsakování této vody do půdy. Infiltrace probíhající ve vertikálním směru může probíhat za Dirichletovy nebo Neumanovy okrajové podmínky. Dirichletovu okrajovou podmínku jinak označujeme za okrajovou podmínku vlhkosti. Neumanovu za okrajovou podmínku průtoku.

Infiltrační schopnost podstatnou měrou ovlivňuje intenzitu povrchového odtoku. Čím více vody je půda schopná infiltrovat za určitý čas, tím méně vody zbývá na povrchu pro potenciální povrchový odtok. V průběhu deště se hodnota infiltrace může značně lišit. Ze začátku je infiltrace rychlejší, postupně dochází k zaplňování pórů, kapilár a dalších prostor mezi půdními zrny. Po zaplnění půdního profilu vodou se infiltrace ustálí na konstantní hodnotě. V tom případě odpovídá infiltrační kapacita půdy teoreticky nasycené hydraulické vodivosti půdy.

Kategorie půdy (Gardner et al., 1999) podle infiltrační schopnosti jsou uvedeny v tabulkách č. 4 a 5, zvlášť pro nenasycenou a nasycenou půdu.



Tabulka 4: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nenasyčení vodou (Gardner et al., 1999)

Kategorie	Infiltrace	Charakteristika půdy
A	Velmi vysoká 2,5 - 5,0 mm.min-1 a vyšší	Vysoká až nadměrná infiltrace; převážně hluboké a nadměrné odvodněné písky a štěrkopísky; s časem se infiltrace nezpomaluje
B	Vysoká 0,85 - 2,5 mm.min-1	Hlinitopísčité půdy nebo půdy s velmi propustným podložím a středně těžkou orníci; např. lehké spraše
C	Střední 0,25 - 0,85 mm.min-1	Hlinité, dobře strukturní půdy, případně středně těžké v povrchové vrstvě a těžší ve spodině
D	Nízká 0,08 - 0,25 mm.min-1	Jílovitohlinité půdy, půdy nestrukturní, půdy s výrazným utužením, půdy lehčí s povrchovou vrstvou a těžší (jílovitou) spodinou
E	Velmi nízká pod 0,08 mm.min-1	Velmi nízká infiltrace do povrchu; těžké, jílovité půdy nebo jíly, popř. půdy obdobného charakteru; v počátku může být infiltrace velmi rychlá do gravitačních pórů (trhlin) do nabobtnání jílu

Zdroj: indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR 2004

Tabulka 5: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení půdního profilu vodou (Gardner et al., 1999)

Kategorie	Infiltrace	Charakteristika půdy
A	Velmi vysoká 0,25 mm.min-1	Vysoká nasycenost při úplném nasycení; převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a štěrky
B	Vysoká 1,12 - 0,25 mm.min-1	Dobrá propustnost i při úplném nasycení; hlinitopísčité profily nebo např. spraš na písku; hluboké půdy
C	Střední 0,05 - 0,12 mm.min-1	Půdy hlinité v celém profilu nebo středně těžké v povrchové vrstvě a těžší (jílovitohlinitou) spodinou
D	Nízká 0,025 - 0,05 mm.min-1	Nízká propustnost při úplném nasycení; půdy v celém profilu jílovitohlinité nebo s vylehčenou orníci a těžší spodinou; půdy se silně utuženým podorničím
E	Velmi nízká pod 0,025 mm.min-1	velmi nízká propustnost při úplném nasycení; převážně jílovité půdy nebo jíly s vysokou bobtnavostí; půdy s vysokou hladinou podzemní vody při povrchu; některé mělké půdy nad téměř nepropustným podložím

Zdroj: indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR 2004

## 2.2 Vliv zhutnění a přejezdů po poli

„Ukázalo se, že jednotlivá opatření v rostlinné a živočišné výrobě, ale také opatření v technologiích a organizaci operací, vydávaných vesměs za intenzifikační opatření, nebyla dostatečně promyšlená a kompenzačně provázaná, takže svými vedlejšími účinky na půdu vytvořila nové problémy spojené se znehodnocováním dříve úrodných půd a ovšem i se stagnací výnosů na nich a se ztížením jejich obdělávání“ Jiří Lhotský 2000.

Zhutnění zemědělskými stroji je velký problém dnešního zemědělství. Negativní vlivy přejezdů těžké techniky se projevují již řadu let. Zhutněním označujeme nepříznivý vliv tlaku na půdu. Tento tlak je způsobován převážně působením přejezdy těžkých kolových mechanizačních prostředků, zvláště při dopravě. Při tomto procesu dochází k degradaci půdy

a její objemové redukci. K tomu přispívají i další okolnosti, zvláště pak vlastnosti půdy jako vlhkost, zrnitost, obsah humusu, klima a způsob hospodaření.

Zhutnění půdy může způsobit, mimo přejezdů mechanizace, i mechanické rozrušování půdních agregátů na jednotlivé částice. Ty jsou unášeny vodou buď ve směru povrchového odtoku anebo splavovány do půdy. Současně dochází k disperzi jednotlivých frakcí půdy podle velikosti částic. Jemné částice se potom zachytávají v kapilárách, ucpávají je a výsledným efektem je zvýšení objemové hmotnosti půdy, snížení infiltrace, zvýšení povrchového odtoku a následná zvýšená náchylnost vůči erozi (Kutílek 2004, Janeček 2008).

### **2.2.1 Zhutnění půd přejezdy mechanizace**

Z hlediska mechanizace jsou hlavní faktory ovlivňující zhutnění zatížení kol a s ním přímo úměrně huštění pneumatik, kontaktní plocha, kontaktní tlak, počet přejezdů, rychlost přejezdu a velikost kola. Z těchto faktorů má nevýznamnější vliv tlak, huštění a zatížení kol. Za limitní hodnoty se udávají ty, které již poškozují půdní režim (tab. č. 6). Kontaktní tlak by neměl přesáhnout 50 až 100 kPa podle úrodnosti půdy a období, ve kterém k přejezdům dochází, objemová hmotnost by neměla být vyšší jak 1,3 až 1,7 g.cm<sup>-3</sup> podle zrnitosti, napětí v půdy v hloubce 50 cm by nemělo přesáhnout 25 až 50 kPa a vzdušnost by měla být vyšší než 12 % objemu.

Technogenní zhutnění je způsobeno především působením tlaků pojezdových kol (nebo pásů) na půdu a smykové namáhání půdy při prokluzu kol. Při zhutnění dochází k zaplňování pórů a kapilár zeminou. Pod vrstvou ornice 30 až 40 cm může vzniknout neprostupná bariéra. Ta má negativní vliv na prostupnost povrchové vody do podloží a vzlínání podzemní vody ke kořenům rostlin. Výsledkem je podesychnání rostlin v suchých a utápění v mokrých obdobích nebo naopak nedostatek vody i při dostatečných dešťových dotacích (většina odteče v podobě povrchového odtoku, protože půda má nedostatečnou kapacitu). Navíc voda v kapilárách je jen těžce dostupná rostlinám, protože je silně vázaná kapilárními silami.

Půda je nejvíce náchylná na zhutnění přejezdy mechanizací v jarním období. Má sníženou únosnost vlivem vyšší vlhkosti. Vyšší tlaky pneumatik a velké hmotnosti strojních souprav pak mohou mít za následek přílišné zhutnění. Opakovanými přejezdy se následně zhutnění v půdě akumuluje a postupuje do hloubky. Zhutnělá vrstva může svojí

nosností tlumit ztuhnutí půdy pod sebou. Stále však bude fungovat jako velmi málo propustná bariéra. Aby k tomu nedocházelo, je vhodné snížení kontaktních tlaků na půdu. Toho lze částečně dosáhnout použitím přídavných kol u kolových traktorů nebo pásového podvozku (Lhotský 2000, Hůla, Procházková 2008, Grečenko 1994, Bečka 2011).

*Tabulka 6: Mezní hodnoty kritických vlastností ztuhnělých půd*

Kritická vlastnost	Půdní druh					
	J	J V, JH	H	PH	HP	P
Pórovitost [% obj.]	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70
Objemová hmotnost redukovaná [g.cm <sup>-3</sup> ]	<48	<47	<45	<42	<40	<38
Min. vzdušnost [% obj.]	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Penetrační odpor [MPa] při vlhkosti [% hm.]	2,8 - 3,2	3,2 - 3,7	3,7 - 4,2	4,5 - 5,0	5,5	6,0
	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10

*Zdroj: Ztuhňování půd a opatření proti němu 2000*

### 2.2.2 Ztuhnutí půdy destrukcí půdních agregátů

K destrukci půdních agregátů může dojít několika způsoby. Relativně přirozeným procesem je dopad dešťových kapek na povrch půdy bez vegetačního krytu. K tomuto jevu dochází pouze za určitých podmínek. Kapka dopadá na zem rychlostí přibližně 30 m.s<sup>-1</sup>, svojí energií tak způsobí rozbití půdních agregátů a oddělí od půdní hmoty jednotlivé částice. Při transportu půdních částic rozpuštěných ve vodě (formou suspenze), dochází k selekci podle velikosti půdních částic. Jednotlivé frakce se následně dostávají při infiltraci do půdy, kde zanášejí póry a půdní kapiláry. Voda současně rozpouští a odplavuje část organické hmoty v půdě, která je pojící látkou. Dochází tím k destrukuralizaci půdy. Rozpuštění pojících látek v půdě mají za následek i některá minerální hnojiva, zvláště pak draselná hnojiva (Lhotský 2000, Kutílek 2004).

### 2.2.3 Opatření proti ztuhňování půd

Z předešlého vyplývá, že by měl být brán ohled na přejezdy po poli a vhodnost jejich sledování. Podle pokusu (Kroulík a kol. 2009) byly naměřeny různé intenzity zatížení půdy pneumatikami zemědělských strojů. Bylo zjištěno, že největší množství přejeté plochy je při orební technologii a to 95,3 %. Dále bylo 145,6 % přejeto minimálně dvakrát. Při orbě navíc dochází k přímému ztuhňování podorničí jízdou v brázdě.

Z polního pokusu (Hůla a kol.) bylo zjištěno, že při opakovaných přejezdech po poli se snižuje nárůst zhutnění půdy. Při osminásobném přejetí traktoru ve stejné stopě se zvýšil odpor půdy vůči kuželu penetrometru 3,3 krát, přičemž první přejezd představoval 50 % z celkového nárůstu odporu. Další přejezdy pak způsobily výrazně nižší nárůst zhutnění, při druhém přejezdu to bylo 24,2%, další dva přejezdy 13,3% a poslední čtyři přejezdy 12,5 % nárůstu odporu. Hůla a kol. v důsledku tohoto pokusu doporučili, aby se v rámci předcházení negativních vlivů přejezdů techniky po poli, zvláště v jarním období omezil počet přejezdů po poli a pokud možno byla snaha o situování jednotlivých jízd do předchozích kolejí.

Při použití systému CTF se podařilo dosáhnout snížení přejeté plochy až na 31,3 % při modulu 8 m a 37,6 % při modulu 4 m. Samozřejmě se výrazně zvýší plocha, která je přejetá více než jednou ovšem všechna bude na stálých kolejových řádcích. Dle uvedeného výše by proto bylo vhodné do technologie pěstování rostlin zařadit hloubkové kypření. Díky tomu, že přejíždíme konkrétními kolejemi, stačí kypřit právě tuhle plochu.

Další možnost CTF je nekypřit stálé kolejové řádky vůbec a ponechávat je stále utužené. Tím se sníží valivý odpor a nebude se spotřebovávat energie tažného prostředku na opětovnou degradaci půdy. Podle Grečenka (1994) se odpor valení při přejezdu po poli snížil o 43 % po čtvrtém průjezdu stejnou stopou. Za předpokladu, že se 30 % výkonu motoru spotřebuje na degradaci půdy ve formě jejího zhutnění, sníží se pro stejnou operaci spotřeba tahové síly o čtvrtinu (McPhee a kol. 1995, Lhotský 2000, Kroulík 2009, Hůla, Procházková 2008, Hůla a kol. 2003).

#### **2.2.4 Technologie zpracování půdy**

Existují různé technologie zpracování půdy, které se v průběhu mnoha let vyvíjely. Mezi dnes nejčastěji využívané v našich podmínkách patří:

- Konvenční zpracování půdy.
- Minimalizační zpracování půdy.

Každá z těchto technologií má své zásady a vliv na půdu. Podle typů a druhů půd lze jednotlivé technologie využívat na jednotlivých územích. V některých oblastech ovšem nelze vynechat některé ze základních operací.

Od roku 2000 se začal využívat i systém precizního zemědělství. Tento systém obsahuje kombinaci jak konvenčních technologií, tak minimalizace. Z ekonomického i ekologického hlediska je velmi významný a v budoucnu se bude jistě velmi rozšiřovat.

#### **2.2.4.1 Konvenční zpracování půdy**

Jedná se o klasické zpracování půdy s každoroční orbou. Orbou zapravujeme rostlinné zbytky a plevele do půdy. Účel orby je nakypření, drobení, promísení a obrácení půdy. Vyznačuje se zvýšeným počtem přejezdů po pozemku (Kroulík a kol 2009 uvádí z výsledků sledování 85,4 % přejeté plochy), vysokou energetickou náročností na zpracování půdy, v důsledku zapravení všech rostlinných zbytků z povrchu do půdy a jejího prokypření i zvýšenou náchylností k erozi (Kumhála 2007, Janeček 2008).

#### **2.2.4.2 Minimalizační technologie**

Pro podmínky v České republice, lze tyto technologie rozdělit (dle Hůly a Procházkové 2008) do tří obecných kategorií zpracování půdy:

- minimalizace s kypřením do zvolené hloubky s případným hloubkovým prokypřením,
- půdoochranné zpracování, kdy necháváme na povrchu po zasetí minimálně 30 % rostlinných zbytků. Půda je díky tomu chráněna proti erozi,
- přímé setí do nezpracované půdy.

Z ekologického hlediska je minimalizace považována za šetrnou technologii, s efektem zkvalitnění půdního a životního prostředí. Tento efekt se výrazně liší v závislosti na půdních a klimatických podmínkách. Změny půdního prostředí způsobené různou intenzitou zpracování, hloubky a množství rostlinných zbytků, jsou také značně rozdílné.

Cílem využívání těchto technologií je zlepšení strukturního stavu půdy, redukce vodní a větrné eroze a lepší hospodaření s vodou. Samozřejmostí je výrazné snížení nákladů při zpracování půdy. Pozitivním dopadem je zároveň snížení počtu přejezdů po poli, čímž se předchází zhutnění půdy. Kroulík a kol. 2009 uvádí pokles oproti orební technologii na 64,6 % a při přímém setí pouze na 42,3 % přejeté plochy. Negativním dopadem je zvýšená

potřeba herbicidů. Obracením půdy při orbě se výrazně snižuje klíčivost semen plevelů, kdežto u kypření se jim naopak připravují výborné podmínky pro vegetaci. Navíc vyšší potřebou herbicidů roste riziko vytváření jejich rezistence (Hůla, Procházková 2008, Hůla a kol. 2003, Bečka 2011).

#### **2.2.4.3 Precizní zemědělství, controlled traffic farming (CTF)**

V posledních letech se začal v rostlinné výrobě objevovat poměrně často termín precizní zemědělství. V klasickém zemědělství, tak jak ho známe dnes, se o poli přemýšlí jako o homogenní ploše se stejnými parametry, kde není brán ohled na rozdílné požadavky jednotlivých částí. Přitom v dřívějších dobách každý hospodář přistupoval k jednotlivým částem polí, právě podle toho, jak se daný kus pozemku choval a co vyžadoval. Precizní zemědělství se pouze vrací zpět k této myšlence, kdy dáváme na jednotlivé části pole to, co je potřeba a tolik, kolik je potřeba, abychom dosáhli co nejlepšího výsledku (Chamen, Kumhála 2007, Bečka 2011).

K umožnění takovéto z dnešního pohledu zvýšené péče o pozemky velice napomohl systém navigace GPS. Jiné systémy navigace, většinou mechanické, nejsou ideální z mnoha důvodů. Jeden z nejdůležitějších faktorů je opakovatelnost přejezdů a to v dlouhodobém časovém horizontu. Poměrně velká nepřesnost nastává i při ručním navádění soupravy. Díky záznamové technice a přesné navigaci s korekcí signálu je možné opakovat jednotlivé přejezdy rok co rok s velkou přesností. Přesností dosahujeme především vyššího využití stroje a snížení doby na provedení operace, čímž se výrazně zvyšuje účinnost.

GPS zároveň využíváme při zjišťování vlastností pozemků. První myšlenkou bylo sledování výnosů v závislosti na momentální poloze. Výsledkem toho jsou výnosové mapy. Ty nám mnohé napoví o stavu půdy na jednotlivých částech pozemku. Ovšem pro zjištění skutečného stavu půdy je potřeba její rozbor. Při kombinaci rozboru půdy na živiny a výnosové mapy je možné efektivní vytvoření aplikační mapy. Tímto způsobem máme možnost dodat půdě to, co potřebuje a kde to potřebuje.

Velice významný přínos užití precizního zemědělství jsou finanční úspory. Přesnou navigací nedochází k překrývání jednotlivých pracovních jízd, čímž se sníží náklady na obhospodaření plochy, kterou do té doby obhospodařujeme dvakrát. Zároveň při aplikaci hnojiv a při ochraně rostlin dáváme na jednotlivá místa tolik, kolik půda potřebuje.

Tím docílíme efektivního využití jak hnojiv, tak postřiků. Zároveň je tento způsob aplikace šetrnější k životnímu prostředí. Výsledkem je snížení nákladů na naftu, čas pracovníka, kratší doba provádění jednotlivých operací, osivo, postřiky, hnojiva a v neposlední řadě opotřebení pracovních orgánů stroje.

System controlled traffic farming (dále jen CTF) je součástí precizního zemědělství. Jedná se prakticky o stav provozování precizního zemědělství na té nejvyšší úrovni. V CTF systému nejen že sledujeme půdní vlastnosti v rámci toho, jak se půda chová a jaké má nároky, ale zároveň se snažíme respektovat její přirozený stav. Snažíme se omezit zatížení půdy a nepříznivý vliv zhutňování způsobený přejezdy těžké techniky. Zemědělská technika se stále vyvíjí a trend zvyšování výkonů strojů a jejich hmotnosti se negativně projevuje na půdních vlastnostech. Tvorbou kolejových řádků, které jsou přesně dodržovány, vytváříme stav, kdy větší obdělávaná plocha zůstává nezatížená přejezdy a neprojevují se na ní negativní vlivy zhutnění. Zároveň docílíme snížení energetické náročnosti na obdělávání půdy díky tomu, že energie tažného prostředku se méně spotřebovává na degradaci půdy.

CTF je bezorebná technologie. Ze všech prováděných operací dochází právě při orbě k největšímu počtu přejezdů po poli. Zároveň se zapravují do půdy všechny rostlinné zbytky z povrchu, čímž se půda na povrchu stává náchylnější na erozi. Při minimalizačních technologiích k tomu nedochází v takové míře a tím se půda stává méně náchylnou. Díky snížení počtu přejezdů zároveň dochází ke snížení zhutnění. Díky tomu není tolik narušena půdní kapilarita a vodní režim. Tím dochází k zlepšení infiltrace. Voda se tedy lépe vsakuje a nedochází ke kumulaci povrchové vody a následné vodní erozi (Webb 2004, Kumhála 2007, Bečka 2011).

#### 2.2.4.3.1 Navigace v precizním zemědělství

K navigaci strojů, pro dodržení přesných kolejových stop, lze využít několika systémů. Důraz se klade především na přesnost a možnost opakování jednotlivých jízd v dlouhodobém horizontu. Technologie controlled traffic farming se bez satelitní navigace s vysokou přesností stává poměrně složitou na realizaci, ne-li nemožnou. Satelitní navigace výrazně pomohla hlavní myšlence zachování přesných kolejových řádků rok za rokem (Webb 2004, Kumhála 2007, Bečka 2011).

- znamenáky: „znamenák se skládá z výkyvně zavěšené tyče vysunuté do strany a zakončené talířem, který tvoří rýhu, aby traktorista při další jízdě věděl kudy jet. Délka znamenáku se obvykle volí tak, aby po vyryté rýze mohl jet traktor levým nebo pravým kolem“ (Kumhála 2007). Pomocí nich lze poměrně přesně navazovat jednotlivé jízdy stejně, jako se tomu dělá při setí. Problémem ovšem je, že znamenáky musíme nainstalovat na všechny používané stroje, což se může, pokud nemáme stroje pro více operací pro jeden přejezd, výrazně prodražit. Dalším problémem je uhýbání překážkám na poli. Znamenáky jsou většinou ovládány hydraulicky nebo pneumaticky. Problémy nastávají při objíždění překážek, kdy se znamenák musí složit. Pokud je překážka v poli, na druhé straně pak řidič nemá rýhu, podle které by se řídil. Tím dochází k nepřesnostem, které se rok od roku budou lišit. Tyto operace prodlužují pracovní čas. Nejsou tak účinné jako satelitní navigace a nelze využívat technologií výnosových a aplikačních map.
- pěnové značkovače: vytváří přilnavou pěnu s životností přibližně 15 minut. Problém nastává při silnějším větru, kdy dochází k odfukování pěny a při vyšších teplotách, kdy pěna zmizí dříve, než se souprava stačí otočit a dojet zpět na původní souvrať. Další problémy jsou podobné jako u znamenáků (Kovaříček a kol. 2005).
- Videokamera: na kraj stroje je umístěna kamera, která má v zorném úhlu jak předchozí přejezd, tak kraj stroje tak, aby bylo jasné, kudy stroj jede. V kabině traktoru je pak umístěná obrazovka. Tento systém se používal u sklízecích mlátiček s širokým záběrem žacího adaptéru. Systém je nákladný na instalaci. V praxi se příliš nepoužívá, i když je možno dosáhnout vysoké přesnosti.
- Satelitní navigace: satelitní navigace se v České republice během posledních let velice rozšiřuje. Tuto technologii je možné v zemědělství využívat od roku 2000, kdy byla zpřístupněna s dostatečnou přesností pro řízení strojů a vytváření aplikačních a výnosových map. Prozatím jsou využitelné satelitní sítě NAVSTAR – GPS, vyvinutý a ovládaný americkou armádou, a GLONASS vyvinutý ruskou armádou. Další sítě se snaží vytvořit Evropská unie (Galileo) a Čína (Kumhála 2007, Bečka 2011).



#### 2.2.4.3.2 DGPS (diferenční GPS)

Jedná se o signál GPS doplněný korekcí ze stabilní pozemní stanice. Pokud jsou tyto dva přijímače dostatečně blízko sebe (to je do 200 km v závislosti na členitosti terénu mezi nimi) lze předpokládat, že zaměřují stejné družice. Jeden z přijímačů je stabilně umístěn na konkrétním zaměřeném bodě (referenční stanice). Tato stanice pak je schopna vypočítat odchylku mezi přijímaným signálem a její stabilní polohou, která je přesně zeměpisně změřena. Odchylku většinou počítá v reálném čase a vysílá druhému přijímači korekci. Tímto se velice zpřesní stanování polohy, hlavně díky redukci náhodných chyb v přenosu signálu od družice k mobilnímu přijímači. Nevýhodou zůstává nutnost Real-time přenosu. Komunikace mezi družicí a pozemním vysílačem a zároveň mobilním přijímačem, je závislá na nepřímé úměrnosti mezi vzdáleností referenční stanice a mobilního přijímače (Kumhála 2007, Bečka 2011).

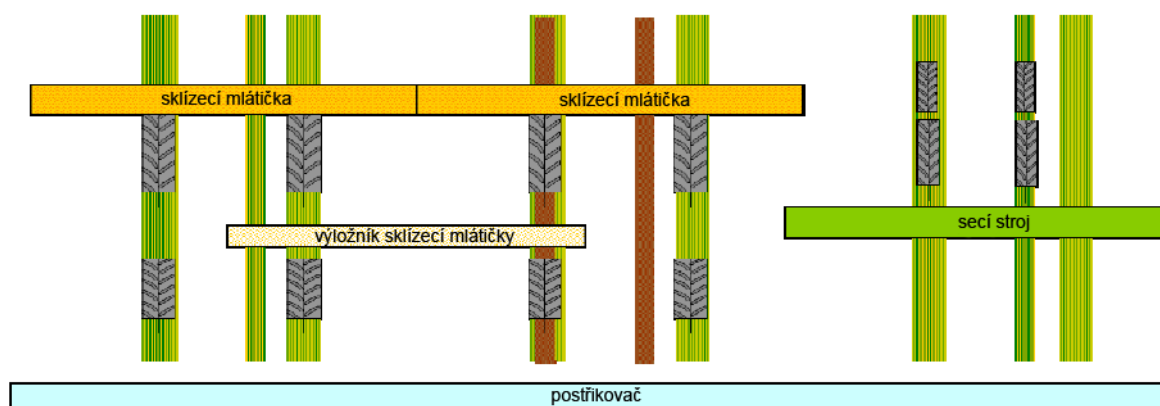
#### 2.2.4.3.3 RTK (Real Time Kinematic)

Označení metody sloužící pro určování polohy v reálném čase. „Z referenční aparatury umístěné na bodě o známých souřadnicích se pomocí radiového spojení vysílají data do pohyblivé aparatury, kde se vyhodnocují“ (Kumhála 2007). Tuto metodu lze využít při vzdálenosti referenční stanice od mobilního přijímače do 10 km. Přesnost určení polohy se pak pohybuje od 5 do 20 mm. Pro zvýšení dosahu lze použít internetu nebo GSM sítě (Kumhála 2007, Bečka 2011).

#### 2.2.4.3.4 Modul

Modulem označujeme pracovní záběr strojů. Abychom mohli dodržovat stálé kolejové řádky, je nutné tomu přizpůsobit i techniku, kterou v rámci podniku používáme. Modulem se tedy rozumí minimální záběr strojů (obr. č.:1). Ten je možné různě modifikovat podle záběru jednotlivých strojů v závislosti na výkonech tažných prostředků (například radličkový kypřič bude mít záběr 6 m, kdežto postřikovač 24 m).

Obrázek 1. CTF se systémem OutTrac při kterém jsou stopy sklízecí mlátičky na vnějšku společných úzkých permanentních stop pro ostatní stroje. Pracovní šířka strojů a nářadí je stejná.



Zdroj: Sborník příspěvků z konference Autopiloty v zemědělství 2009

## 2.3 Půdní eroze

Erozi charakterizujeme přírodní proces rozrušování půdy, transport uvolněných půdních částic a jejich usazování. Mechanické rozrušování půdy má za následek působení vodou, větrem, ledem a jinými destruktivními činiteli.

Pro určení ohroženosti pozemků vodní erozí se používá Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemku (Wischmeier, Smith 1978).

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (4)$$

kde:

- $G$  – průměrná dlouhodobá ztráta půdy ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ),
- $K$  – faktor erodovatelnosti půdy – závislost na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a zrnitosti,
- $R$  – faktor erozní účinnosti deště – závislost na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště,
- $L$  – faktor délky svahu – vyjadřuje nepřerušenu délku svahu v závislosti

na velikosti ztráty půdy erozí,

- S – faktor sklonu svahu – vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikosti ztráty půdy erozí,
- C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu – ochrana vegetačního pokryvu před působením kapek a zpomalování povrchového odtoku,
- P – faktor účinnosti protierozních opatření

Vlivem eroze dochází k degradaci půdy. Degradace půdy má za následek snížení produkční schopnosti půd. Dochází ke změně fyzikálních vlastností, zejména textury objemové hmotnosti, vodní kapacity, pórovitosti a infiltrační schopnosti. Navíc se snižuje hloubka pro vývoj kořenů, dochází k odplavování živin a tím nastává potřeba doplňování těchto živin hnojivy. Rostlinné zbytky na povrchu napomáhají snížení degradace půdy formou rozrušování půdních agregátů, vlivem účinku dešťových kapek. Rozrušením agregátů dešťovými kapkami vzniká jemný roztok půdy a vody, který se dostává snadno do pórů v půdě a způsobuje jejich zanášení, popřípadě úplné ucpání. Tím se snižuje infiltrační schopnost půdy a zvyšuje se povrchový odtok. Navíc voda v kapilárních pórech je vázaná kapilárními silami a tím těžko dostupná pro rostliny.

Vodní eroze – povrch půdy je rozrušován dopadem dešťových kapek. Při větším množství vody začíná docházet k akumulaci vody na povrchu v kalužích, až dojde k povrchovému odtoku a transportu částic půdy (Janeček 2008, Hůla, Procházková 2008, Hůla a kol. 2003, Holý 1994).

### **2.3.1 Ochrana proti erozi**

Protierozní opatření slouží k omezení rozrušování a transportu půdy. Jejich použití je dáno tím k čemu slouží. Může se jednat čistě o zamezení odnosu půdy, jindy ovšem může být hlavním cílem ochrana různých objektů, ochrana přírody, životního prostředí či samotná tvorba krajiny. Protierozní opatření dělíme na organizační, agrotechnická a technická. Jednotlivá opatření se většinou vzájemně kombinují, což zvyšuje jejich konečný efekt (Janeček 2008).

### **2.3.1.1 Organizační opatření**

Cílem je předejít erozi vytvořením vhodných podmínek již při volbě pozemků pro daný účel. Mezi organizační opatření řadíme:

- Tvar a velikost pozemku – volíme (při pozemkových úpravách je můžeme i tvořit s vhodným doplněním příkopů či hrázek) pozemky pro obdělávání po vrstevnicích, se zkrácením odtokové linie v závislosti na sklonu pozemku a náchylnosti na odnos půdy.
- Delimitace druhu pozemků a ochranné zatravnění a zalesnění – jedná se o prostorovou a funkční optimalizaci pozemků při pěstování jednotlivých kultur. Pozemky nevhodné pro využití jako orná půda se snažíme využít jako pastviny, lesy nebo pro jiné využití.
- Protierozní rozmíst'ování plodin – na pozemcích s vyšší náchylností na erozi nepěstujeme plodiny s nedostatečnou ochranou proti erozi (hlavně širokořádkové plodiny).
- Pásové střídání plodin – plodiny s vyšší náchylností k erozi pásově střídáme ve směru vrstevnic s plodinami s celoročním pokryvem povrchu (vojtěška, traviny, jetel, apod.) (Janeček 2008).

### **2.3.1.2 Agrotechnická opatření**

Jedná se především o vhodnou volbu zpracování půdy pro danou plodinu v závislosti na stavu ohrožení půdy. Výsledným efektem by mělo být zvýšení vsakovací schopnosti půdy a vytvoření ochrany povrchu v období největšího výskytu přívalových srážek.

- Ochranné obdělávání půdy – systém, při kterém ponecháváme minimálně 30 % rostlinných zbytků na povrchu. Příklady technologií a jejich dopad na erozi jsou v tabulce č. 7.

Tabulka 7. Snížení ztrát půdy erozí v závislosti na množství ponechaných posklizňových zbytků na povrchu půdy

Druh agrotechnické operace:	Zbytky slámy (t.ha <sup>-1</sup> )	Snížení smyvu na (%)
Orba	0,0	0
Diskový kypřič	1,5	40
Radličkový kypřič	4,0	70
Bezorebné setí	6,0	95

Zdroj: Janeček, *Základy erodologie*, 2008

Další opatření se skládají převážně z obdělávání svahů po vrstevnicích, se snahou zanechání co největšího množství rostlinných zbytků na povrchu půdy. Snaha je o vynechání orby, při které se veškeré rostlinné zbytky zapraví do země. Již ale není brán zřetel na to, že při orbě oboustranným otočným pluhem po vrstevnicích směrem do svahu, přesouváme veškerou ornici směrem vzhůru, čili proti působení eroze. Jedná se prakticky o jediný způsob, kdy se navrátí ornice zpět do vyšší polohy. Odhaduje se, že při orbě do svahu lze zadržet až 10 tun ornice na hektar, která by se při orbě záhonovými pluhy jinak sunula po svahu.

Do této kategorie ochrany proti erozi spadá systém CTF. Vynecháním orby a použitím minimalizačních technologií s vyšším podílem rostlinných zbytků na povrchu, by měla být půda méně náchylná erozi. Dále díky nižšímu zhutnění větší části pozemku vznikají lepší podmínky pro infiltraci. Díky tomu může půda pojmout větší množství vody a o to méně jí zůstává na povrchový odtok (Janeček 2008).

### 2.3.1.3 Technická opatření

Technická protierozní opatření slouží k vyrovnání terénních nerovností, ochraně pozemků před cizí vodou, snížení podélného sklonu a podobně. Používají se i tam kde nelze vhodně využít organizačních či agrotechnických opatření.

Patří sem například terénní urovnávky, protierozní meze, terasování, protierozní příkopy a další (Janeček 2008).

### **3. Cíl práce**

Cílem práce je posouzení vlivu přejezdů strojů po půdě na infiltraci a kumulaci povrchové vody ve stopách. Záměr vznikl na základě pokusu s technologií controlled traffic farming, kde po dobu tří let docházelo ke sledování přejezdů techniky po poli a jejich dopad. Jako vedlejší efekt vytvoření stálých kolejových řádků na poli se ukázalo, že slouží jako linie soustředěného povrchového odtoku a na svažitéjších pozemcích docházelo v těchto stopách k značné erozi.

Cílem práce je na tomto základě porovnat vsakování vody na dlouhodobě nepřejeté půdě proti ploše, přejížděné technikou při pracovních operacích.

## 4. Metodika práce

Při provádění experimentálních prací byly použity tyto metody:

- Simulátor deště
- Jednoválcová infiltrační metoda

Z organizačních důvodů byla, oproti zadání, změněna dvouválcová metoda měření infiltrace za jednoválcovou.

### 4.1 Simulátor deště

#### 4.1.1 Simulátor deště

Pro měření infiltrace byl použit simulátor deště s měřicí plochou 0,7 m x 0,7 m (0,5 m<sup>2</sup>). Základem zadešťovacího zařízení je tryska Lechler L460788 s kuželovým rozptylem, která je umístěna ve výšce 1 m nad středem měřicí plochy. Měřicí plocha je ohraničena do půdy zapuštěnými plechovými pásy. Infiltraci měříme na mírně sklonitém stanovišti. Optimální svah pro měření je v rozmezí 2° až 7°. Na spodní hraně měřicí plochy je umístěn sběrač, který soustřeďuje odtékající vodu do trubky. Voda z povrchového odtoku se odvádí mimo dosah rozptylu trysky do sběrné nádoby umístěné na digitální váze (přesnost vážení ± 0,1 g). Tryska je napájena soupravou složenou z elektrocentrály, odstředivého čerpadla, rozdělovače s regulací postřikového tlaku vody ve výtláčné větvi pomocí regulačního ventilu. Intenzita zadešťování a kinetická energie kroupení se reguluje změnou postřikového tlaku. Regulační ventil tlaku udržuje po celou dobu měření postřikový tlak před tryskou na konstantní nastavené hodnotě. Postřikový tlak je kontrolován tlakoměrem připojeným před postřikovou tryskou. Pro kontrolu nastavené intenzity zadešťování na poli jsou na stranách zadešťované plochy umístěny dešťoměry. Infiltraci zjištěnou na měřicí ploše lze považovat za vertikální složku její celkové hodnoty, neboť její okolí je v dostatečné šířce zadešťováno se shodnou intenzitou.

Hmotnost vody z povrchového odtoku se v časovém intervalu 15 s zaznamenává do připojeného PC. Z přírůstku hmotnosti zachyceného objemu vody se průběžně stanovuje rychlost povrchového odtoku vody. Při definované intenzitě zadešťování a srovnatelných půdních vlastnostech a popisných parametrech měřicího stanoviště jsou počátek výtopy, rychlost povrchového odtoku vody a rychlost infiltrace vody do půdy vzájemně porovnatelné.

Intenzita zadešťování  $I$  (mm dešťové srážky/min) byla v laboratorních podmínkách pro výšku postřiku 1 m stanovena v závislosti na postřikovém tlaku  $P$  [kPa] (Kovaříček 2007). Závislost postřikového tlaku od 50 do 150 kPa (tlakoměr Ø 160 mm, třída přesnosti 1 %) a intenzity dešťové srážky statisticky nejtěsněji zachycuje lineární závislost (koeficient korelace  $r = 0,976$ ) ve tvaru:

$$I = 0,4081 \cdot P[kPa] + 46,945 \left[ \frac{mm}{min} \right] \quad (5)$$

kde:

$I$  – intenzita zadešťování [mm/min],

$P$  – postřikový tlak [kPa].

Pro naměřenou velikost kapek  $VMD=2$  mm (Volume Middle Diameter) a průměrnou rychlost kapek  $2,225 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  byla při postřikovém tlaku 100 kPa stanovena kinetická energie 1 mm dešťové srážky  $24,75 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ . Intenzita srážky byla  $1,463 \text{ (l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1})$ .

Pro pokus byl využit simulátor deště, který byl navržen a sestrojen Ing. Pavlem Kovaříčkem, CSc. ve VÚZT Praha, v.v.i. Pro vyhodnocení dat byl použit stejný postup.

Naměřená data byla nahrána do počítače, do tabulkového procesoru Microsoft Excel. Zde byla z dříve zjištěných údajů spočítána rychlost povrchového odtoku a to jako dvojnásobek povrchového odtoku, dělený tisícinásobkem rozdílu času v jednotlivých intervalech mezi měřeními v minutách.

Odečtením rychlosti povrchového odtoku od intenzity srážky jsme získali rychlost infiltrace. Posléze byly z těchto hodnot vytvořeny grafy (xy bodový) jako grafické výstupy.



#### 4.1.2 Hodnocení půdních vlastností a parametrů stanoviště

Před pokusem byly odebrány v blízkém okolí neporušené půdní vzorky pro stanovení momentální vlhkosti. Vzorky byly odebrány v hloubkách 5, 10, 15, 20, 25 a 30 cm. Stanovení vlhkosti proběhlo gravimetrickou metodou.

Pokryvnost povrchu rostlinnými zbytky byla posouzena z pořízených svislých fotografií stanoviště před samotným pokusem.

Drsnost půdy byla stanovena pomocí válečkového řetězu. Válečkový řetěz, dlouhý 700 mm, byl pokládán ve směru po spádnici na povrch tak, aby co nejpřesněji kopíroval povrchové nerovnosti. Při kopírování povrchových nerovností se délka řetězu zkrátí, čímž získáme základní data pro určení drsnosti povrchu.

Svažítost pozemku byla změřena digitálním sklonoměrem.

#### 4.2 Jednoválcová infiltrační metoda

Kromě infiltrace, která byla měřena při simulované srážce, byla měřena polní nasycená hydraulická vodivost,  $K_{fs}$  s využitím infiltrační metody popsané v práci Bagarella a kol. (2004). Tato technika spočívá v aplikaci malého objemu vody  $V$ , na povrch půdy uvnitř kruhového infiltrometru s plochou  $A$ , který je částečně vtlačen do sledované plochy. Následně je měřen čas,  $t_a$ , od počátku aplikace vody až po zasáknutí celého objemu vody. Následně je hydraulická vodivost spočítána na základě vzorce:

$$K_{fs} = \frac{\Delta\Theta}{(1-\Delta\Theta)t_a} \left[ \frac{D}{\Delta\Theta} - \frac{D + \frac{1}{\alpha^*}}{(1-\Delta\Theta)} \ln \left( 1 + \frac{(1-\Delta\Theta)D}{\Delta\Theta \left( D + \frac{1}{\alpha^*} \right)} \right) \right] \quad (6)$$

Kde  $\Delta\Theta$  je rozdíl mezi polní nasycenou vlhkostí a počáteční vlhkostí,  $D=V/A$ , jedná se o výšku vody ve válci na počátku měření a  $\alpha^*$  je poměr  $K_{fs}$  k potenciálu nasyceného toku, který prezentoval se své práci Elrick a Reynolds (1992).

V našem případě byl použit kruhový infiltrometr o průměru 0,15 m a výšce 0,15 m, všechna měření byla prováděna s konstantním objemem vody 0,5 l na základě literárních pramenů, byl koeficient  $\alpha^*$  zvolen, na základě druhu půdy,  $12 \text{ m}^{-1}$  (Elrick a Reynolds 1992, Bagarello a kol. 2004 Bagarello a kol. 2006). Na každé ploše bylo uskutečněno 10 opakování. Z hodnocení byly vyloučeny extrémní hodnoty.

Metodika výpočtu sorptivity (citace Štibinger 2011)

Philipovo rozdělení vychází z řešení Richardsovy parciální diferenciální parabolické rovnice nestacionárního proudění vody v pórovité nenasycené zóně s Dirichletovou okrajovou podmínkou. V případě nestacionárního vertikálního proudění ve směru osy  $z$  [M] v nenasycené zóně je možné, s použitím Darcyho-Buckinghamova zákona a za předpokladu zachování rovnice kontinuity proudění, prezentovat výše zmíněnou Richardsovu rovnici ve tvaru:

$$\frac{\partial[k(H) \cdot (\partial G / \partial z)]}{\partial z} = \frac{\partial W}{\partial t} \quad (7)$$

Zjednodušený vztah pro vyjádření potenciálu  $G$  [M] v nenasyceném pórovitém prostředí bez volné hladiny je možné interpretovat ve tvaru  $G=z+H$ , kde  $z$  [M] je geodetická výška nad srovnávací rovinou a  $H$  [M] reprezentuje hydraulickou nasycenou vodivost, která je však závislá na sacím tlaku  $H$  [M], a tedy i na vlhkosti  $W$  [-]. Čas je označen parametrem  $t$  [T], symbol  $M$ , resp. symbol  $T$  reprezentují délkovou, resp. časovou jednotku.

Postupným upravením a dosazením konkrétních vztahů a parametrů dojdeme k rovnici:

$$i(t) = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t \quad (8)$$

Kde:  $i(t)$  [M] je kumulativní infiltrace,

$S$  [ $M \cdot T^{-1/2}$ ] sorptivita, vyjadřuje schopnost půdy pohlcovat vodu,

$t$  [s] čas.

Tato rovnice byla použita při vyhodnocování dat kumulativní infilrací získaných přímým terénním měřením. V našem případě se jednalo o pokusný pozemek se zemědělskou

výrobou. Koeficient  $A[M.T^{-1}]$  je součinitelem rychlosti, jenž charakterizuje vliv působení gravitace a je velmi blízký hodnotě hydraulické nasycené vodivosti  $K [M.T^{-1}]$ . V našem případě vliv součinitele rychlosti zanedbáváme vzhledem k malému množství vsakované vody (0,5 [l]), tudíž se zde nestihl projevit. Výška hladiny po aplikaci vody byla 28,3 mm.

Naměřená data byla zpracována v programu Microsoft Excel, kde z průměrných hodnot byly vytvořeny grafické výstupy. Krabicový graf byl vytvořen v programu Statistica.

## 5. Výsledky a diskuse

### 5.1 Výchozí podmínky

První pokusný pozemek byl založen v lokalitě Červený Újezd. Základní charakteristiku pozemku přináší tabulka 8. Oblast spadá do klimatické oblasti mírně teplé, mírně suché, převážně s mírnou zimou. Genetickým půdním typem na pozemku je podle TKSP a WRB Hnědozem modální, Haplic Luvisol.

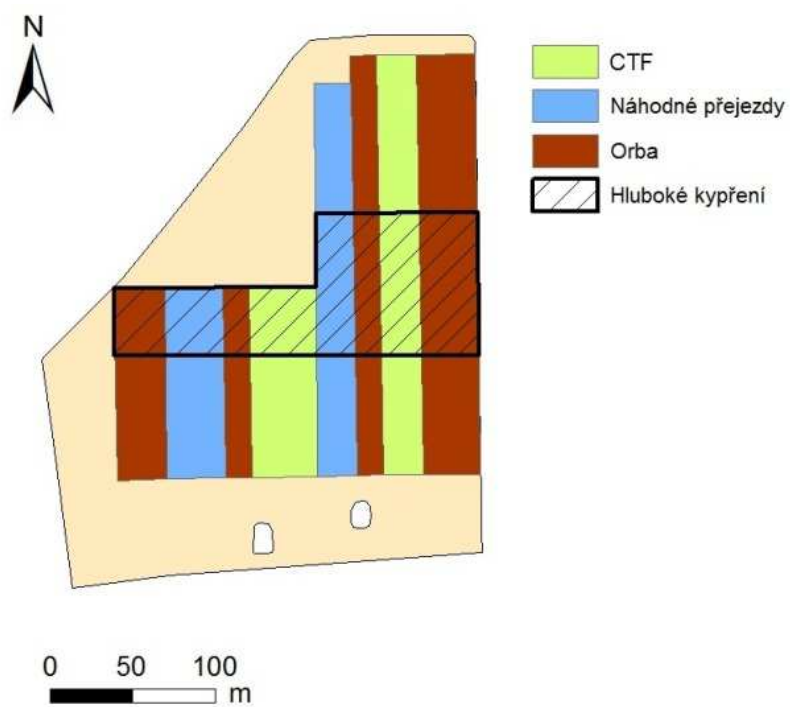
Na tomto pozemku byl proveden pokus s jednoválcovou metodou.

*Tabulka 8: Charakteristika půdního profilu (0 - 0,30 m) povrchu (0 - 0,20 m) na pokusném pozemku kde byly vedeny pokusy s organizací jízdních stop.*

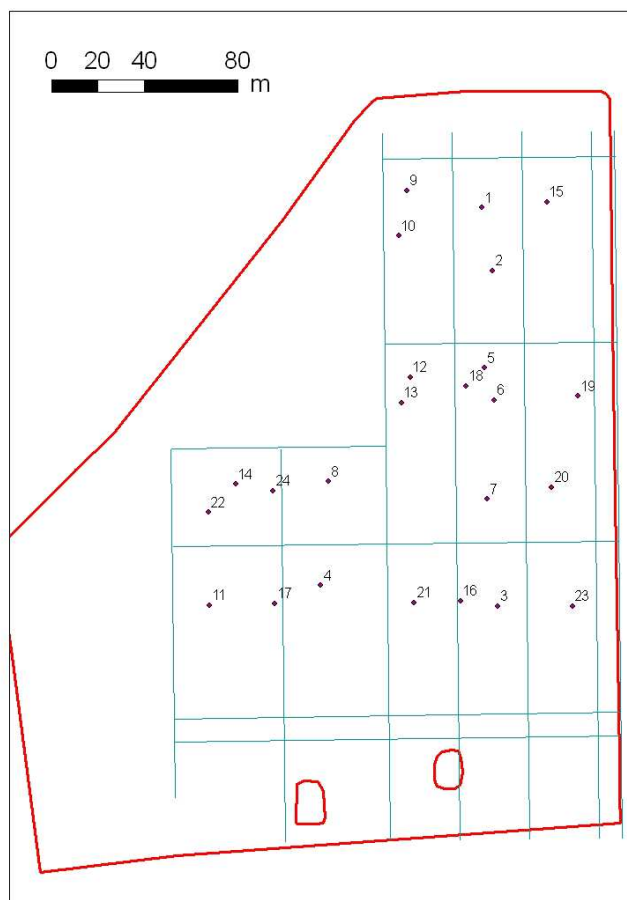
Půdní typ (TKSP, WRB)	Hnědozem modální, Haplic Luvisol
Druh půdy	Jílovito-hlinitý
Lon (°)	14°10'11.3"E
Lat (°)	50°04'08.6"N
Nadmořská výška (m)	410
Jíl (%)	46.3
Prach (%)	41.4
Jemný písek (%)	7.9
Písek (%)	4.4

Pokusný pozemek byl rozdělen na bloky, kde byla uplatňována rozdílná intenzita zpracování půdy a organizace přejezdů (Obr.2). Výměra pokusné plochy byla 6,7 ha. Pokusy byly založeny v roce 2009 po sklizni řepky olejky. Pozemek byl následně oset pšenicí ozimou. V roce 2011 byl na pozemku ječmen jarní. Před založením pokusů bylo na části pozemku provedeno hluboké kypření do hloubky okolo 0,45 m. Varianty s orbou byly doplněny na podzim v roce 2010.

Obrázek 2: organizace polního pokusu v lokalitě Červený Újezd.



Obrázek 3. Mapa pozemku s body pro odběr vzorků



Přehled jednotlivých hlavních operací sezony během roku přináší tabulka 9. Na pozemku byl zvolen modul 4 m. Záběry strojů byly vždy 4 m nebo násobky. Přejezdy po pozemku byly organizovány ve dvou hlavních schématech. V systému CTF (controlled traffic farming), neboli jednotných jízdních stop, byly stopy kol traktorů a sklízecí mlátičky soustředěny do dvou jízdních stop. Plocha přejetá pneumatikami strojů v tomto režimu činila 37,4 %. Na plochách s náhodnými přejezdy byla během podmítky nebo přípravy 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 %. Pro navigaci traktorů a pro sklízecí mlátičky byla použita navigace Trimble s korekcí signálu RTK.

Systém controlled traffic farming byl provozován ve dvou variantách a to s hloubkovým (odběrové body č.: 6, 7) a mělkým kypřením (odběrové body č.: 1, 2, 3). Pro porovnání byla na pozemku provozována klasická minimalizační technologie, kde se sice sledovaly jednotlivé přejezdy, ale nebyly situovány do stejných stop jako u CTF. I v této technologii bylo provedeno zvlášť hloubkové a mělké kypření. Dále byla k systému v CTF v posledním roce přidána orba, opět v kombinaci s hloubkovým (odběrové body č.: 18, 19, 20) a mělkým kypřením (odběrové body č.: 15, 16, 23) (viz. obr. 3).

Tabulka 9: Přehled hlavních vstupů na první pokusný pozemek

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

Druhý pokusný pozemek byl založen v lokalitě Davle. Oblast spadá do klimatické oblasti mírně teplé, suché. Genetickým půdním typem na pozemku je podle TKSP a WRB Kambizem modální, Haplic Cambisol. Na pozemku převládá středně těžká půda, slabě až středně skeletovitá. Pozemek se nachází v nadmořské výšce od 343 m do 360 m.

Na pozemku byl zvolen osmi metrový pracovní modul. Jízdy traktoru byly soustředěny do dvou stop. Sklízecí mlátička vytvářela navíc jednu jízdní stopu. Při použité organizaci práce byl plocha přejetá pneumatikami během jednoho roku 30,8 %.

Na pozemku je dlouhodobě uplatňovaná minimalizační technologie založená na opakovaném mělkém kypření radličkovým kypřičem na hloubku pracování do 12 cm a následném setí do mulče.

Používané stroje:

Kypřič Horsch Phantom FG 7.5 (přestavba na záběr 8 m)

Secí stroj Horsch Pronto 8 DC

*Tabulka 10: Přehled strojů na druhém pokusném pozemku*

stroj	Rozchod kol (mm)	Šířka pneu (mm)
Traktor CASE 310	2000	800
SM CASE 8010	3300	900
Postřikovač Hardi	2500	467

Pokusy s jednotnými jízdními stopami byly založeny v roce 2009 po sklizni pšenice. Pozemek byl následně oset triticales. V roce 2011 byla zasetá ředkev olejná určená na produkci semene. Měření pomocí simulátoru deště následovalo po sklizni ve variantě stopa sklízecí mlátičky a nepřejetá plocha.

## 5.2 Hodnocení měření simulátoru deště

Simulátor deště byl použit na dvou stanovištích vždy s jedním opakováním pokusu. První měření probíhalo na stanovišti ve stopě sklízecí mlátičky. Druhé stanoviště bylo mimo stopy strojů, čili již dva roky bez zatížení přejezdy. Byl odebrán vzorek půdy v blízkosti stanoviště pro určení vlhkosti a uděláno jedno opakování pokusu. Řetězovou metodou byla stanovena drsnost povrchu půdy. Doba zadešťování byla jedna hodina. Základní údaje o stanovištích jsou v tabulce 10.

Tabulka 11: Základní údaje o stanovištích v Červeném Újezdě

Měření číslo:	Svah (%)	Drsnost povrchu půdy (mm)	Pokryvnost povrchu půdy (%)
1	4,87	16,31	16,06
2	6,53	18,3	14,72
3	6,93	20,11	17,04
4	5,93	25,93	14,08

### 5.2.1 Hodnocení infiltrace a povrchového odtoku

Pokus byl proveden za účelem zjištění infiltrační schopnosti půdy a začátku povrchového odtoku. Měřeno bylo na dvou stanovištích pro porovnání infiltrační schopnosti půdy nezatížené přejezdy strojů a půdy zatížené přejezdy pojezdovým ústrojím strojů. Pro zpřesnění výsledků byly před pokusem z povrchu odstraněny rostlinné zbytky. V tabulce č. 11 jsou uvedeny sledované parametry při jednotlivých měřeních a jejich hodnoty.

Tabulka 12: Naměřené hodnoty ze simulátoru deště

technologie	opakování	Počátek výtopy tp (min)	Kumulativní povrchový odtok vody (l.m <sup>-2</sup> )	
			za 0,5 h	za 1,0 h
CTF ve stopě sklízecí mlátičky	1	7,433	8,53	26,13
CTF ve stopě sklízecí mlátičky	2	3,117	20,21	52,86
CTF mimo stopu	1	18,733	0,42	1,85
CTF mimo stopu	2	32,733	0,15	18,79



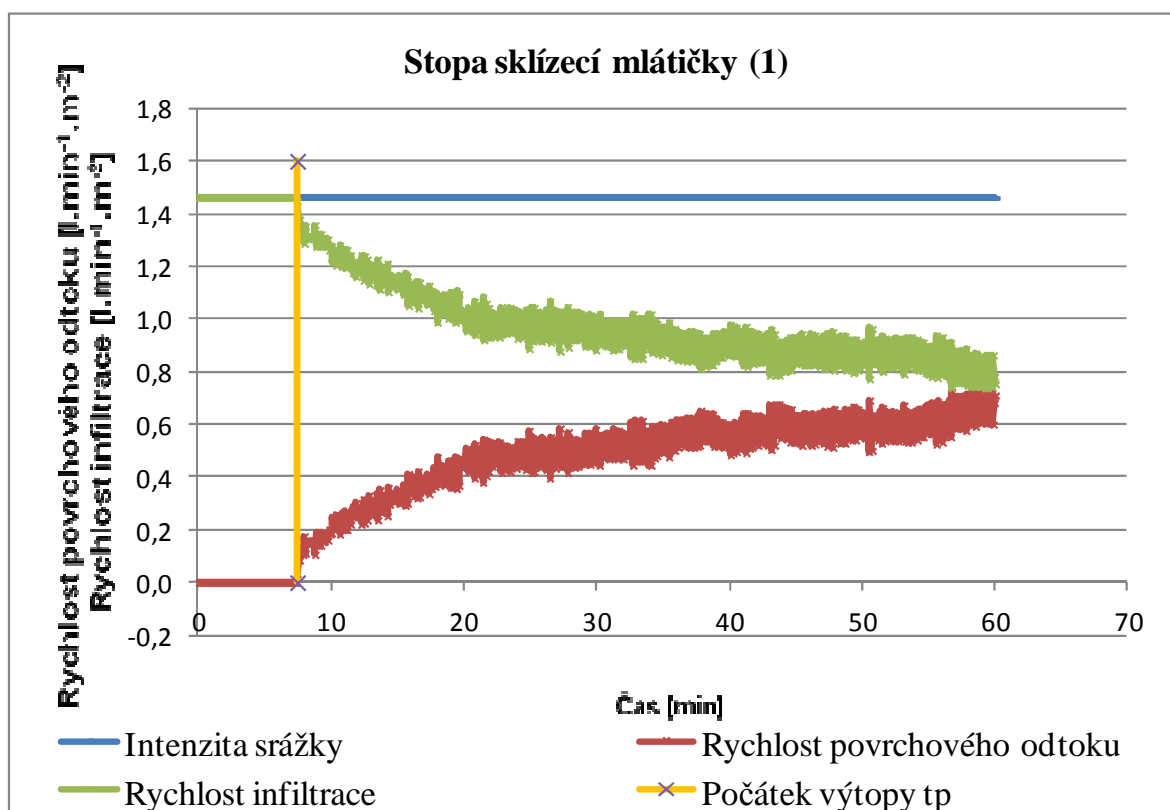
Z naměřených údajů lze posoudit, že nepřejetá půda má lepší infiltrační schopnosti. Při prvním pokusu na přejeté půdě nastal počátek odtoku  $t_p$  po 7,43 minutách. Při opakování pak již za 3,12 minut. Půlhodinový kumulativní odtok byl u měření ve stopě sklízecí mlátičky při prvním měření  $8,53 \text{ l.m}^{-2}$  a při opakování téměř dvojnásobný a to  $20,21 \text{ l.m}^{-2}$ . V jedné hodině byl rozdíl relativně stabilní. První měření mělo  $26,13 \text{ l.m}^{-2}$ . Při opakování byla hodnota kumulativního povrchového odtoku opět dvojnásobná  $52,86 \text{ l.m}^{-2}$ . Přejezd sklízecí mlátičky pravděpodobně měl na místě, kde bylo provedeno opakování pokusu, výrazně větší vliv na zhutnění půdy.

Z měření mimo stopu sklízecí mlátičky byla zjištěna hodnota počátku odtoku v prvním měření 18,73 minut a v opakovaném měření o 14 minut později. Tyto hodnoty svědčí o dobré infiltrační schopnosti. Po půlhodině zadešťování při prvním pokusu odteklo z povrchu pouze  $0,42 \text{ l.m}^{-2}$  v prvním měření a  $0,15 \text{ l.m}^{-2}$  v druhém měření. Vzhledem k intenzitě srážky, která činila  $1,46 \text{ l.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$  se jedná o skutečně velmi dobrý výsledek. Výsledný hodinový odtok v prvním měření vyšel nízký a to  $1,85 \text{ l.m}^{-2}$ , čili půda si zachovala svoji infiltrační schopnost po celou dobu pokusu. V druhém měření byla hodnota o dost vyšší a to  $1,18 \text{ l.m}^{-2}$ . Ke změně podmínek došlo přibližně ve čtyřicáté minutě pokusu, kdy se výrazně zvýšil povrchový odtok. Je možné, že z počátku docházelo k rychlejší infiltraci vody, dokud se nenasytil půdní horizont. Po nasycení se snížila intenzita infiltrace a narostl povrchový odtok. Tento případ by ovšem pravděpodobně nastal výrazně dříve než po čtyřiceti minutách. Další možností je, že po začátku povrchového odtoku došlo k postupnému zanesení pórů zeminou, čímž by se následně snížila infiltrační schopnost a výrazně zvýšil povrchový odtok, což je ostatně vidět v grafu č. 2 a č. 4.

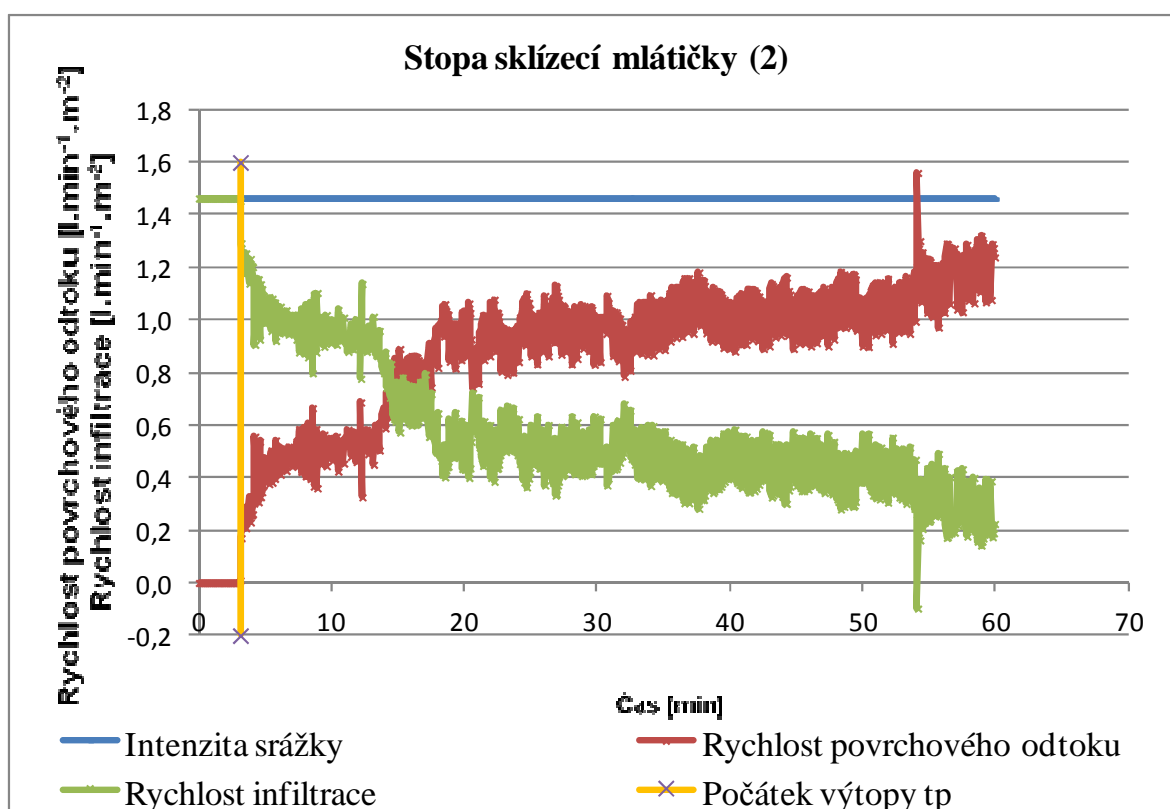
Mezi variantami ve stopě a mimo ni tedy vznikl výrazný rozdíl. Doba počátku povrchového odtoku se prodloužila až o 11 minut a rozdíl v celkovém množství odeklé vody formou povrchového odtoku je až  $50 \text{ l.m}^{-2}$  což je značný rozdíl.

Pro lepší představu průběhu změny intenzity infiltrace do půdy, počátku povrchového odtoku a jeho následné kumulace při jednotlivých pokusech jsou přiloženy grafické záznamy (grafy č.: 1, 2, 3, 4).

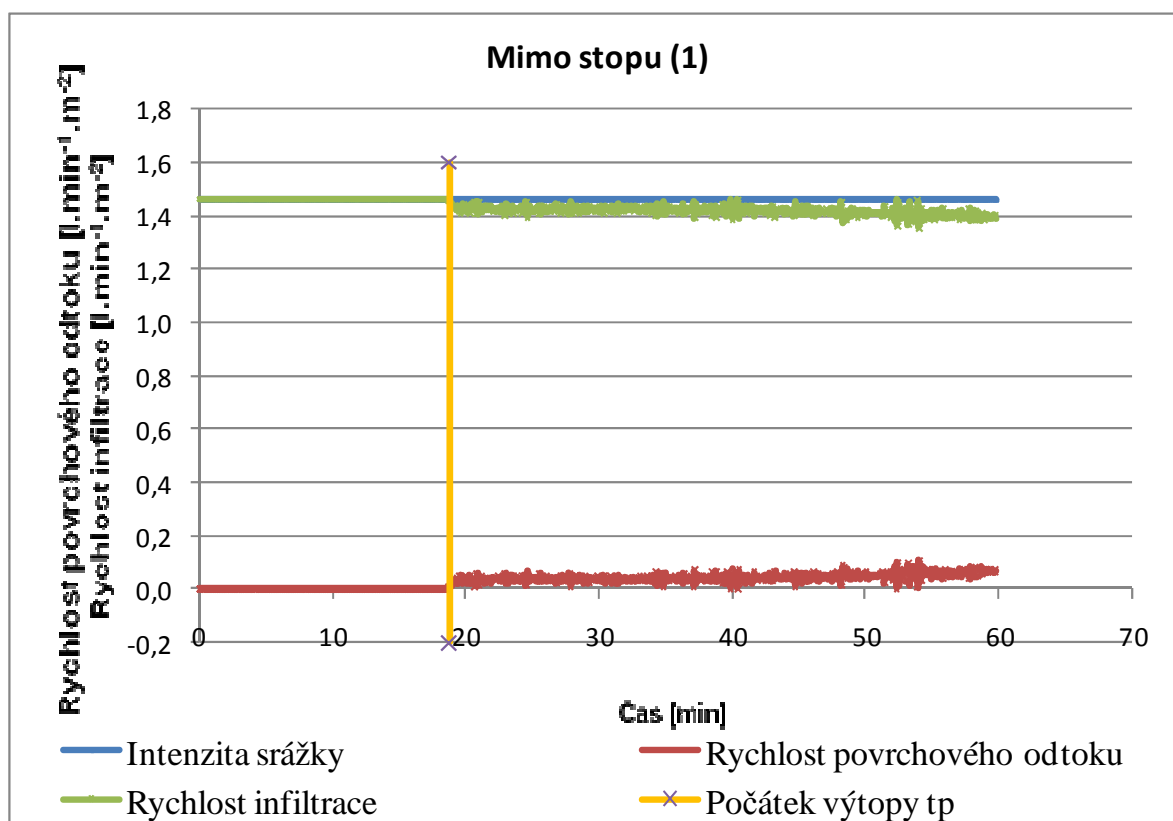
Graf: 1 Průběh měření simulátorem deště ve stopě sklízecí mlátičky (1)



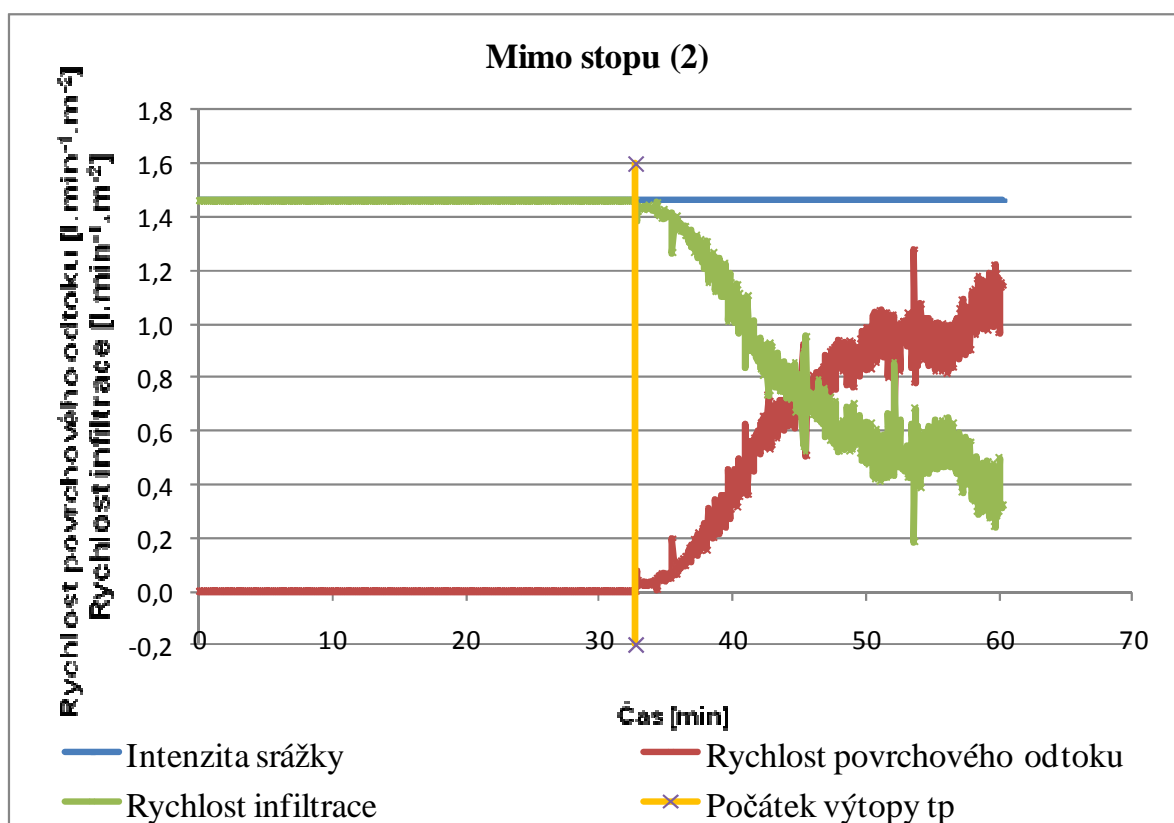
Graf: 2 Průběh měření simulátorem deště ve stopě sklízecí mlátičky (2)



Graf: 3 Průběh měření simulátorem deště mimo stopu sklízecí mlátičky (1)



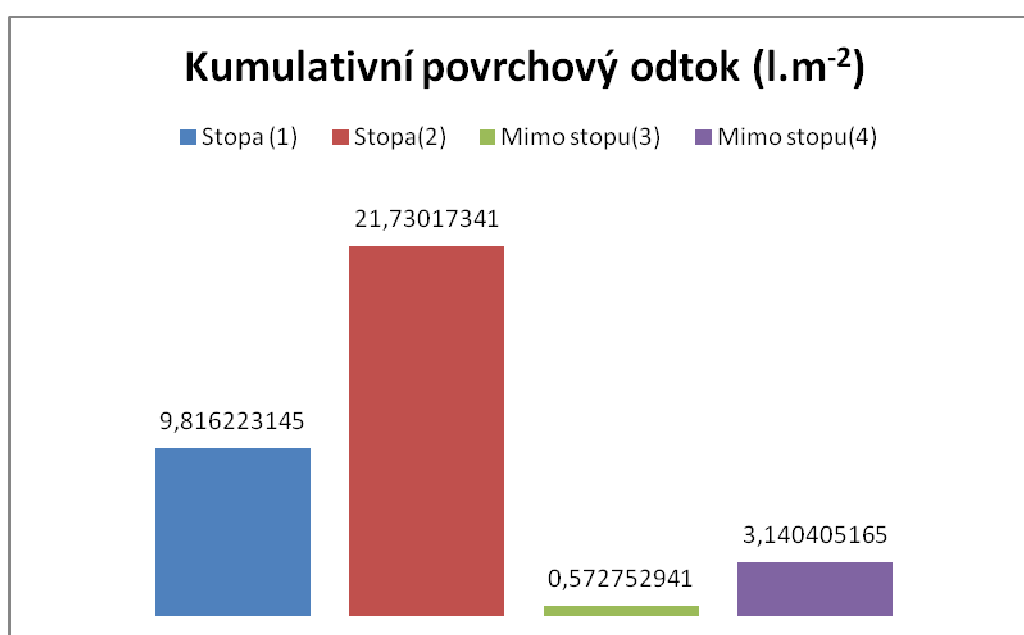
Graf: 4 Průběh měření simulátorem deště mimo stopu sklízecí mlátičky (2)



## 5.2.2 Výsledný kumulativní povrchový odtok

Pro vizuální porovnání je zde přidán i graf průměrů měření kumulativních povrchových odtoků (graf 5). Průměrná hodnota ve stopě sklízecí mlátičky byla v obou případech výrazně vyšší než při měření mimo stopu. Nejvyšší hodnota byla naměřena při opakovaní měření ve stopě sklízecí mlátičky, nejnižší pak při prvním měření mimo stopu. Maximální rozdíl zde byl  $21,16 \text{ l.m}^{-2}$ . Z těchto údajů lze posoudit, jak velký dopad může mít přejezd techniky po poli na infiltraci. Se zvýšením povrchového odtoku výrazně roste erozní ohroženost půdy. Je proto vhodné pokud možno tyto přejezdy omezit na minimum.

Graf: 5 Kumulativní povrchový odtok

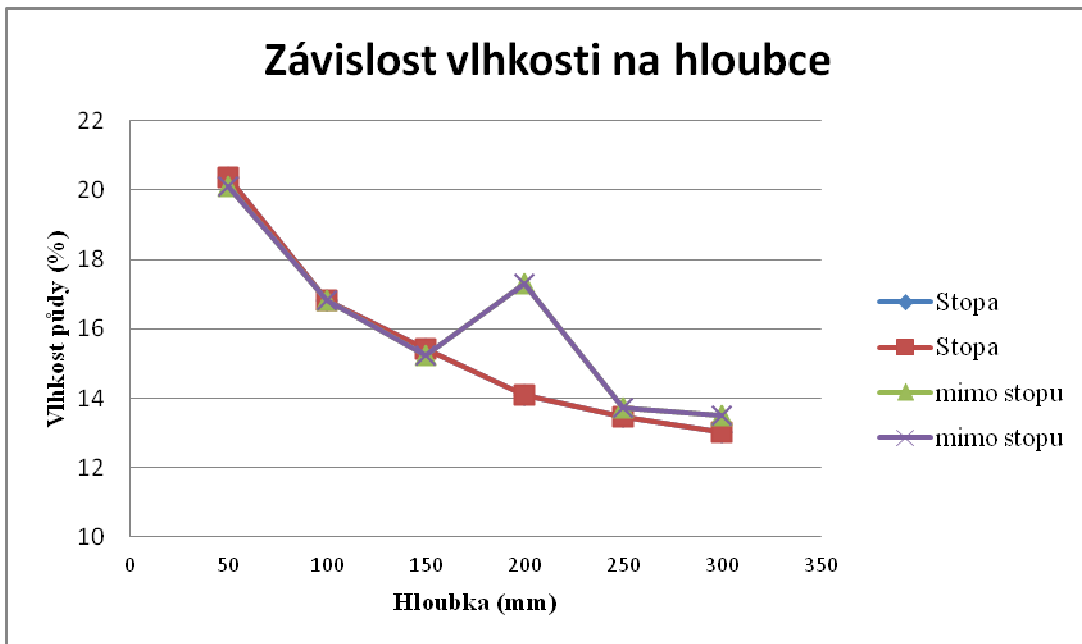


## 5.2.3 Vlhkost

Vlhkost půdy před měřením byla zjištěna rozborem odebraných neporušených půdních vzorků v laboratoři. Výsledná vlhkost je graficky znázorněna v grafu č. 6.

Vlhkost byla v obou případech velmi podobná až na odchylku v hloubce 200 mm, kde na nepřejeté půdě byla vlhkost oproti přejeté půdě vyšší o 2,5 %. Nejvyšší vlhkost byla na povrchu ve stopě sklízecí mlátičky a to 20,36 %. Vlhkost mimo stopu sklízecí mlátičky byla o 0,27 % nižší. Minimální vlhkost byla 13,03 % ve stopě sklízecí mlátičky a mimo ni 13,48 %.

Graf: 6 Graf průběhu vlhkosti



### 5.3 Hodnocení jednoválcové infiltrační metody

#### 5.3.1 Hydraulická nasycená vodivost

Polní hydraulická nasycená vodivost byla měřena společně se sorptivitou za použití jednoválcové metody měření infiltrace. Získané hodnoty polní hydraulické vodivosti jsou uvedené v tabulce č. 12 a graficky znázorněny v grafu č. 8. Pro lepší přehled jsou v tabulce č. 12 uvedeny hodnoty polní hydraulické nasycené vodivosti v různých jednotkách.

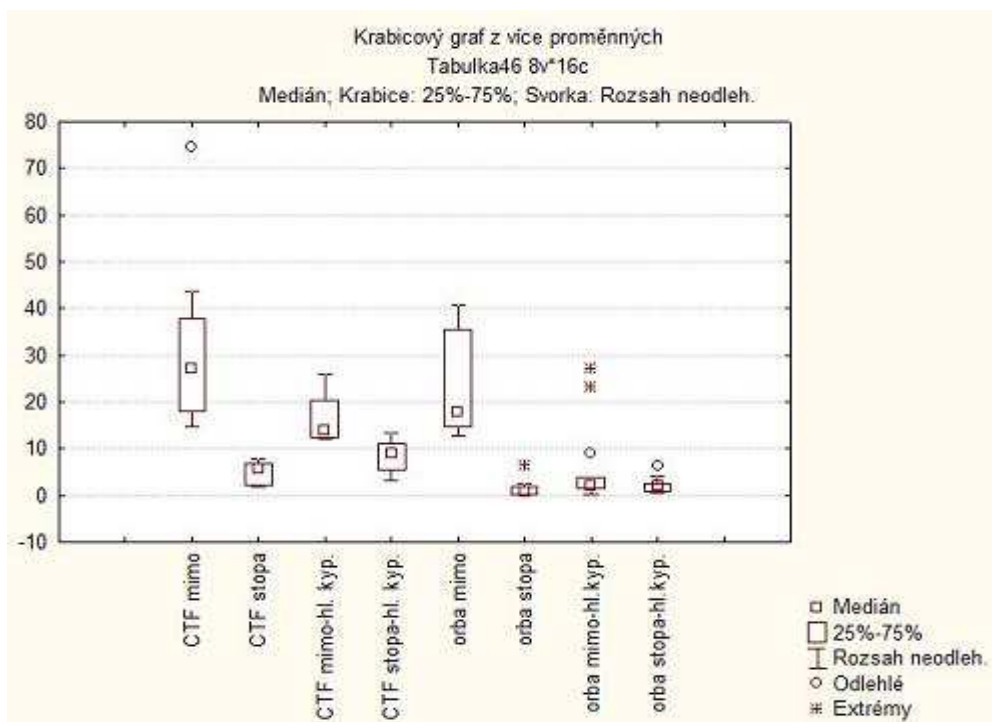
Tabulka 13: Polní hydraulická nasycená vodivost

Technologie	$K_{fs}$ (mm.hod <sup>-1</sup> )	$K_{fs}$ (m.den <sup>-1</sup> )	$K_{fs}$ (cm.min <sup>-1</sup> )	Odpovídající stav půdy (Holý 1994)
CTF mimo	30,600	0,734	0,051	Středně těžké půdy na hranici s lehkými
CTF stopa	4,887	0,117	0,008	Těžké a středně těžké půdy
CTF mimo-hl. kyp.	16,375	0,393	0,027	Středně těžké půdy
CTF stopa-hl. kyp.	8,581	0,206	0,014	Středně těžké půdy na hranici s těžkými
orba mimo	23,694	0,569	0,039	Středně těžké půdy
orba stopa	1,335	0,032	0,002	Těžké až středně těžké půdy
orba mimo-hl.kyp.	5,799	0,139	0,010	Těžké a středně těžké půdy
orba stopa-hl.kyp.	2,198	0,053	0,004	Těžké až středně těžké půdy

U všech technologií byl vždy významný rozdíl mezi přejetou a nepřejetou půdou. Nejlépe z technologií vychází systém CTF (controlled traffic farming) s mělkým kypřením, kde hodnota polní nasycené hydraulické vodivosti v nepřejeté části byla  $0,73 \text{ m.den}^{-1}$  a rozdíl mezi přejetou a nepřejetou plochou byl  $0,62 \text{ m.den}^{-1}$ . Hodnota  $0,73 \text{ m.den}^{-1}$  odpovídá přibližně hodnotě hydraulické nasycené vodivosti středně těžkých až lehkých půd. Tím, že je přejetá část pouze v konkrétních kolejkách na poli lze usoudit, že snížená hodnota hydraulické nasycené vodivosti by nemusela mít zásadní význam. Je ovšem třeba myslet i na skutečnost, že tímto na poli vznikají linie, které mohou být, a v praxi často jsou, soustředěnými liniemi povrchového odtoku.

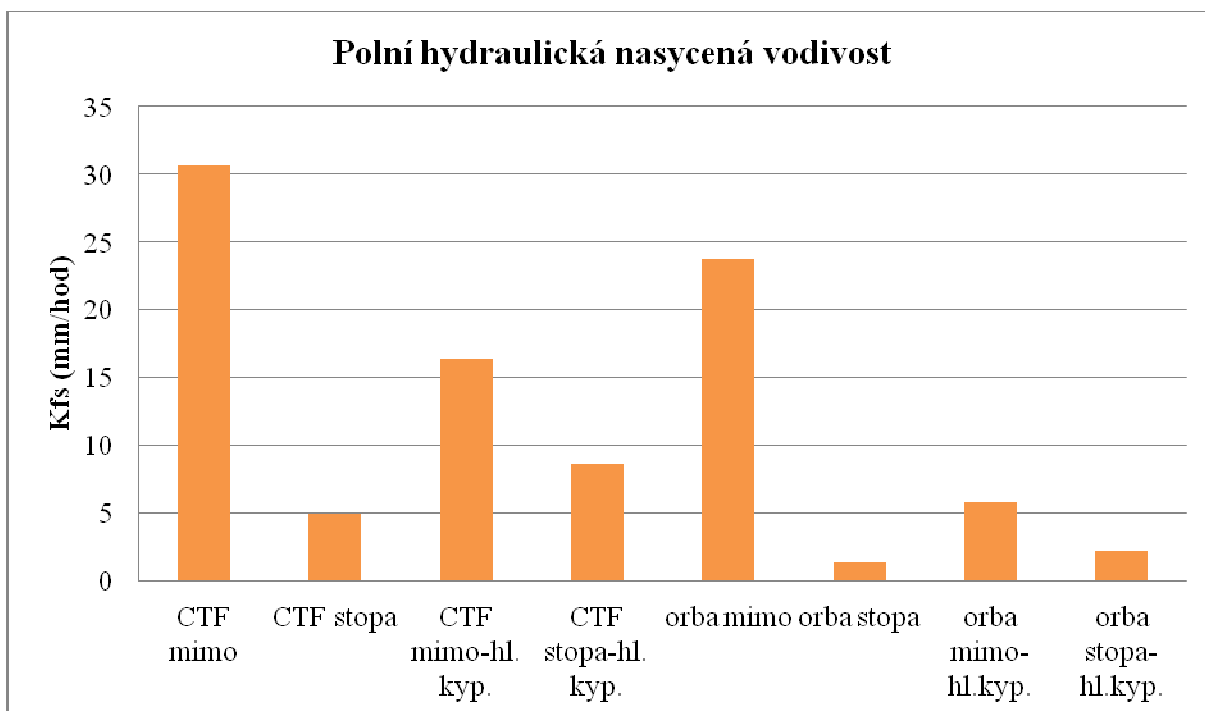
Hůře než minimalizace vychází podle předpokladu orba. Ve variantě s mělkým kypřením byla naměřena hodnota ve stopě  $0,032 \text{ m.den}^{-1}$ , což je v tabulkových hodnotách hydraulická nasycená vodivost těžkých půd. Tento efekt je způsoben zvýšeným zatížením přejezdy a narušením struktury půdy, kdy se po přejezdu a prokypření půdy jejím obracením, přerušuje půdní kapilarita. Půda se stává nestrukturní. Orba v místech nepřejetých pojezdovým ústrojím a pouze mělkým kypřením měla hodnotu  $0,569 \text{ m.den}^{-1}$ . To odpovídá středně těžkým půdám, čili usuzujeme, že se po prokypření celého půdního horizontu stihla aspoň částečně navrátit do strukturního stavu.

Graf: 7 Krabicový graf naměřených hodnot polní hydraulické nasycené vodivosti



Rozdíly mezi dalšími technologiemi již nebyly tak významné a spíše poukazují na společný problém, kdy po přejetí a destrukci půdní struktury dochází k významnému poklesu půdní nasycené hydraulické vodivosti. Při využití hloubkového kypření se její hodnota snížila oproti mělkému kypření. Je ovšem vhodné poukázat na to, že nepřejetá půda při orbě má velice dobrou hydraulickou vodivost. Bohužel při této technologii je zároveň výrazně vyšší procento přejeté plochy.

Graf: 8 Polní hydraulická nasycená vodivost



### 5.3.2 Sorptivita

Sorptivita vyjadřuje schopnost půdy pohlcovat vodu v prvních okamžicích při nenasyčeném stavu. V té chvíli působí převážně gravitační síly při zatápní pórů a trhlin. Z naměřených hodnot na pokusném pozemku v Červeném Újezdě (tab. č. 13) vychází rozdíl v sorptivitě mezi přejetou a nepřejetou plochou většinou závislý hlavně na hloubce zpracování. Hloubkové kypření bylo provedeno do hloubky přibližně 45 cm, a mělké kypření přibližně 15 cm.

Tabulka 14: Sorptivita

Technologie	Sorptivita (cm.s <sup>-1/2</sup> )
CTF mimo	1,10
CTF stopa	0,45
CTF mimo-hl. kyp.	0,79
CTF stopa-hl. kyp.	0,72
orba mimo	0,68
orba stopa	0,26
orba mimo-hl.kyp.	0,36
orba stopa-hl.kyp.	0,42

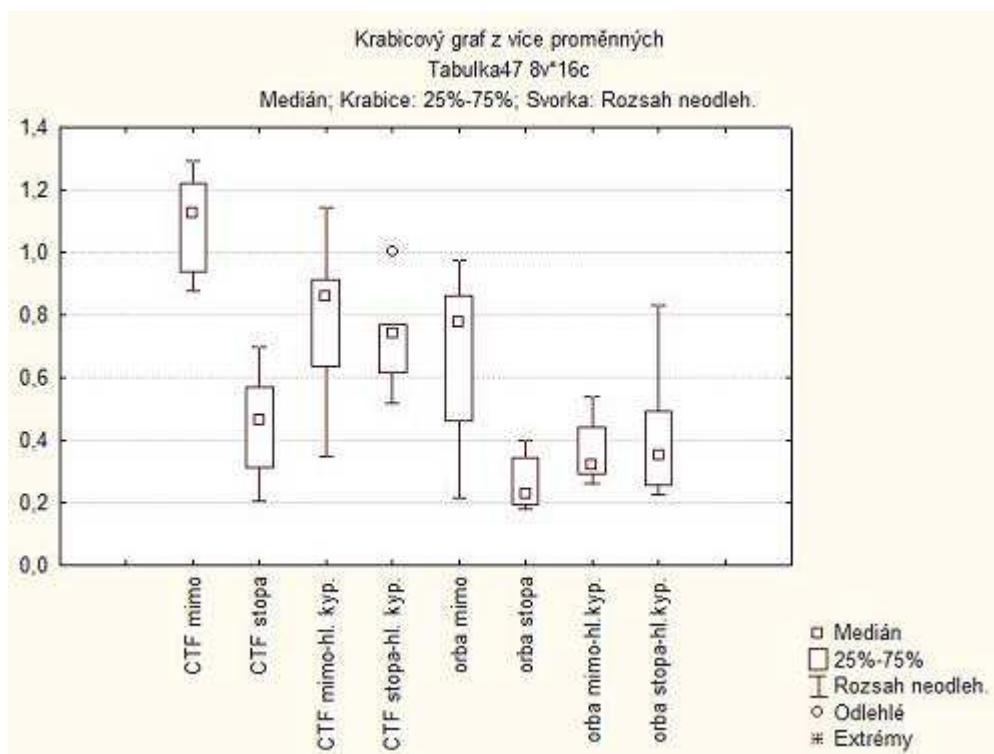
V jednotlivých měřeních občas docházelo k značným odchylkám. Rozsah naměřených hodnot je znázorněn krabicovým grafem č. 9. Odlehlé a extrémní hodnoty byly většinou důsledkem velkých trhlin v půdě, nebo působením hlodavců v dané lokalitě. Extrémní hodnoty byly pro zpřesnění výsledků odstraněny, a pokus byl opakován.

Při porovnání rozdílu mezi přejetou a nepřejetou plochou v jednotlivých technologiích vychází, že rozdíl byl pouze mezi technologiemi s mělkým a hloubkovým kypřením. U hloubkového kypření nebyl nalezen výrazný rozdíl mezi přejetou a nepřejetou plochou. Hodnoty u technologie CTF s hloubkovým kypřením byly 0,72 cm.s<sup>-1/2</sup> mimo stopu a 0,79 cm.s<sup>-1/2</sup> ve stopě. Podobně tomu tak bylo u orby s hloubkovým kypřením, kdy dokonce hodnota sorptivity v přejeté stopě byla vyšší o 0,42 cm.s<sup>-1/2</sup> než u nepřejeté půdy (0,36 cm.s<sup>-1/2</sup>). To může být důsledkem částečné restrukturalizace prokypřené půdy po přejezdu techniky. Nicméně hodnoty sorptivity jsou výrazně nižší oproti technologii CTF.

Při porovnání orby s CTF není příliš významný rozdíl mezi orbou s mělkým kypřením, kde nedošlo k přejetí technikou a systémem CTF s hloubkovým kypřením jak ve stopě tak mimo ni. Rozdíl už však opět není v porovnání měření orby mimo stopu a v ní. Mimo stopu byla naměřena hodnota 0,68 cm.s<sup>-1/2</sup> a ve stopě hodnota výrazně nižší a to 0,26 cm.s<sup>-1/2</sup>.

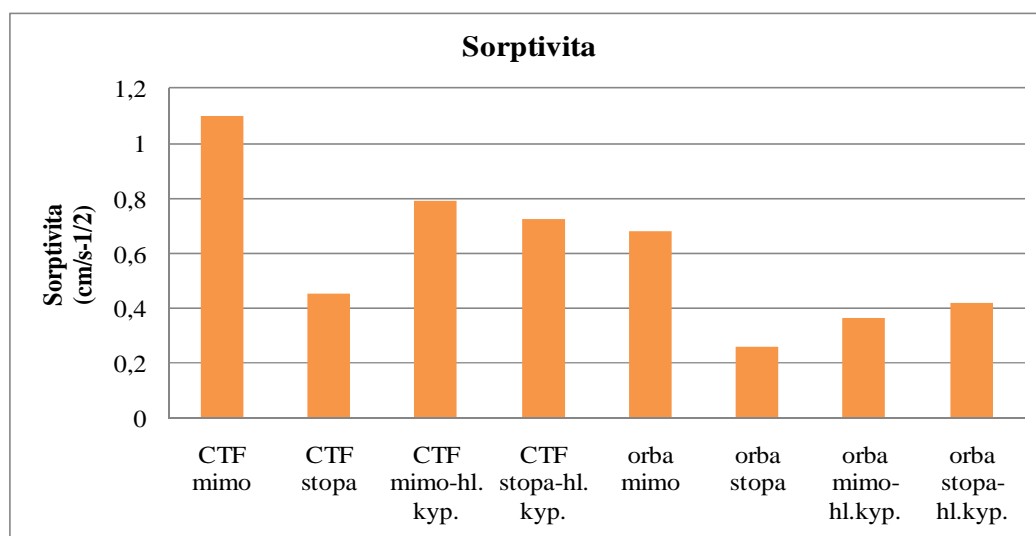


Graf: 9 Krabicový graf hodnot sorptivity



Technologie CTF v obou variantách kypření má průměrnou hodnotu sorptivity vyšší, než orba také v obou variantách. Sorptivita zde slouží pouze jako ukazatel schopnosti půdy pohlcovat vodu při začátku měření. Při dlouhodobém vsakování vody do půdy, kdy dojde k jejímu plnému nasycení, budou hodnoty odpovídat hodnotám polní hydraulické nasycené vodivosti.

Graf: 10 Sorptivita



## 6. Závěr

V této diplomové práci byla hodnocena infiltrační schopnost půdy a povrchový odtok v závislosti na přejezdech pojezdovým ústrojím strojů. Vliv přejezdů zemědělské techniky po půdě, mívá negativní dopady na její strukturu. Postupným nepříznivým zhutňováním, se snižuje infiltrační schopnost půdy, následně se zvyšuje povrchový odtok a s ním spojená vyšší náchylnost k erozi. Po zpřístupnění možnosti využít GPS navigaci pro civilní sektor, byla tato technologie využita pro mapování pozemků s následným využitím k navádění strojů.

Pro potřeby pokusu se simulátorem deště, byl využit pozemek, kde se již dva roky provozovala technologie controlled traffic farming (CTF). Modul byl 8 metrů. Byl použit systém outtrack, kde se všechny stopy překrývají, pouze sklízecí mlátička má, z důvodu širšího rozchodu kol, jednu stopu mimo hlavní kolejový řádek. Právě tato samostatná stopa byla zvolena jako vhodná pro porovnání změny infiltrace vůči nepřejeté půdě.

V rámci výzkumu byl použit simulátor deště sestrojený Ing. Pavlem Kovaříčkem, CSc. ve VÚZT Praha, v.v.i. Simulátorem deště byla simulována srážka o intenzitě  $1,463 \text{ l.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$ . Následně byla měřena doba, po které začalo docházet k výtopě povrchu a povrchovému odtoku. Voda, která se nestihla vsáknout do půdy, byla odváděna na váhu a tím byla získána hodnota kumulativního povrchového odtoku.

Z naměřených hodnot vychází, že mimo stopu po sklízecí mlátičce nedošlo k porušení půdní struktury a ovlivnění infiltrační schopnosti půdy. Na nepřejeté ploše v obou pokusech po dobu minimálně čtyřiceti minut došlo k minimálnímu povrchovému odtoku. Při prvním pokusu došlo k výtopě po 18 minutách. Po půl hodině odteklo pouze  $0,42 \text{ l.m}^{-2}$  vody a za hodinu  $1,85 \text{ l.m}^{-2}$ . Při opakování pokusu došlo k výtopě po 32 minutách, po půl hodině odteklo  $0,15 \text{ l.m}^{-2}$ , ale v zápětí se intenzita povrchového odtoku výrazně zvýšila. Po hodině od začátku pokusu pak odteklo  $18,79 \text{ l.m}^{-2}$  vody odteklé formou povrchového odtoku. Ke změně v infiltraci došlo po 40 minutách. Předpokládáme, že došlo k zanesení půdních pórů zeminou a tím došlo ke snížení infiltrační schopnosti půdy.

Ve stopě po sklízecí mlátičce došlo ke zhutnění půdy. To mělo za následek snížení infiltrační schopnosti půdy. K výtopě povrchu při prvním měření došlo po 7,4 minutách a hodnoty rovnoměrně rostly až na výsledných  $26,13 \text{ l.m}^{-2}$  po hodině zadešťování. Při opakování pokusu vyšly hodnoty prakticky dvojnásobné. Doba výtopy nastala po 3,1

minutách a výsledný hodinový odtok byl  $52,86 \text{ l.m}^{-2}$ . Předpoklad je, že na konkrétním místě opakovaného měření, mohlo dojít k větší degradaci půdy oproti prvnímu měření. Hmotnost a zatížení sklízecí mlátičky se může lišit v závislosti na naklopení stroje na svahu nebo naplnění zásobníku zrna.

Pro potřeby druhého pokusu v Červeném Újezdu byly na části pozemku provozovány různé technologie zpracování půdy. Systém controlled traffic farming byl provozován ve dvou variantách a to s hloubkovým a mělkým kypřením. Pro porovnání byla dále na pozemku minimalizační technologie a v posledním roce přidána orba. I tyto technologie byly provozovány ve dvou variantách kypření. Výstupem pro nás byla hodnota polní hydraulické nasycené vodivosti a sorptivity.

Nepřejetá půda vykazovala vyšší hodnotu polní nasycené hydraulické vodivosti. U technologie CTF s mělkým kypřením byla tato hodnota nejvyšší a to  $0,73 \text{ m.den}^{-1}$ . Ve stálých kolejových řádcích pak byla hodnota výrazně nižší ( $0,12 \text{ m.den}^{-1}$ ). U technologie CTF s hloubkovým kypřením došlo k poklesu na  $0,39 \text{ m.den}^{-1}$  na nepřejeté půdě, ale naopak vzrostla hodnota u půdy přejeté na  $0,21 \text{ m.den}^{-1}$ . V porovnání s technologií CTF s mělkým kypřením vykazuje CTF s hloubkovým kypřením stabilnější hodnoty, ale vzhledem k malé přejeté ploše, je u tohoto systému žádoucí tato hodnota co možná nejvyšší.

Orba v porovnání s CTF vyšla výrazně hůře. U mělkého kypření bez přejezdů technikou ( $0,57 \text{ m.den}^{-1}$ ) je sice hodnota polní nasycené hydraulické vodivosti vysoká, ale této plochy je v praxi na běžných pozemcích pouze nepatrné množství. Přejetá plocha má hodnotu  $0,03 \text{ m.den}^{-1}$ . Technologie orby s hloubkovým kypřením vychází podstatně nižší. Hodnoty se pohybují od  $0,05 \text{ m.den}^{-1}$  ve stopě po  $0,14 \text{ m.den}^{-1}$  mimo stopu.

Při použití systému CTF nedochází k degradaci půdy v důsledku přejezdu strojů na velké ploše pozemku. Půdní struktura je výrazně zachovalejší oproti orbě, při které se půda intenzivně prokypří a následkem toho ztrácí svoji strukturu. To má samozřejmě výrazný vliv na infiltraci. Negativní věcí u CTF jsou stálé kolejové řádky, které se svojí nízkou schopností infiltrace a prohloubením oproti kypré nepřejeté půdě stávají soustředěnými liniemi odtoku. Dalším negativem je zvýšená potřeba pesticidů a následná rezistence plevelů a škůdců proti nim. Na pozemcích s vyšší sklonitostí pak dochází ke značné erozi. Do budoucna je vhodné doporučit snahu o snížení zatížení půdy, jak přejezdy techniky, tak i hmotností.

## 7. Literatura

1. BAGARELLO, V., ELRICK, D.E. IOVINO, M. & SGROI, A. 2006. A laboratory analysis of falling head infiltration procedures for estimating the hydraulic conductivity of soils. *Geoderma*, 135, 322-334.
2. BAGARELLO, V., IOVINO, M. & ELRICK, D. 2004. A simplified falling-head technique for rapid determination of field saturated conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 66-73.
3. BEČKA, T. Technika a technologie v systému controlled traffic farming. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Zemědělská technika. Praha, 2011.
4. ELRICK, D.E. & REYNOLDS, W.D. 1992. Methods for analyzing constant-head well permeameter data. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 320 – 323.
5. GARDNER, C.M.K. et al. Soil physical constraints to plant growth and crop production. FAO publication, Land and Water Development Division. Rome, 1999.
6. GREČENKO, ALEXANDR. *Vlastnosti terénních vozidel*. 1. vydání. Praha: Vysoká škola zemědělská v Praze, 1994. 118 s. ISBN 80-213-0190-2.
7. HOLÝ, M., Eroze a životní prostředí. Skriptum. Vydavatelství ČVUT, Praha 1994. 383 s. ISBN 80-01-01078-3.
8. HŮLA, a kol. *Agrotechnická protierozní opatření*. 1. vydání. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2003. 48 s. ISSN 1211-3972
9. HŮLA, J. – KROULÍK, M. – KOVAŘÍČEK, P. Vliv opakovaných přejezdů po půdě na stupeň zhutnění půdy. In GPS autopiloty v zemědělství. [CD-ROM]. Praha, ČZU v Praze, 2009. s. 39-44. ISBN 978-80-213-1993-6.
10. HŮLA, J. - PROCHÁZKOVÁ, B., a kol. *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.
11. JANDÁK, J. – POKORNÝ, E. – PRAX, A. *Půdoznalectví*. dotisk 1. vydání. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 2008. 148 stran. ISBN 978-80-7375-061-9.
12. JANEČEK, MIROSLAV. *Základy erodologie*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 180 s. ISBN 978-80-213-1842-7

13. CHAMEN, W.C.T. *Controlled traffic farming on a field scale in the UK*. In: Horn, R., Fleige, H., Peth, S., Peng, X.H., (Eds.), *Soil Management for Sustainability, Advances in Geocology* 38, 251-260.
14. Klik A., Kaitana R., Badraoui M.,: *Desertification Hazard in a Mountainous Ecosystem in the High Atlas Region, Marocco*. 12th ISCO Conference, Beijing, 2002, s. 636-644.
15. Kolektiv: *Sborník příspěvků z konference Autopiloty v zemědělství*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009. 50 s. ISBN 978-80-213-1993-6
16. KOVAŘÍČEK, P., a kol. *Stroní linky pro hnojení*. 4. vydání. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005. 86 s. ISBN 80-86884-10-4
17. KOVAŘÍČEK P., ŠINDELÁŘ R., HŮLA J., HONZÍK I.: *Measurement of water infiltration in soil using the rain simulation method*. *Research in Agricultural Engineering*. 2008, vol. 54., no. 3., p. 123-129. ISSN 1212-9151
18. KROULIK, M., a kol. *The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies*. *Soil & Tillage Research*, No 1 Vol 105. s. 171 – 175.
19. KROULÍK, M. - HŮLA, J. - KUMHÁLA, F. - MAŠEK, J. - HONZÍK I. *Hodnocení intenzity zatížení půdy pneumatikami zemědělských strojů*. In *GPS autopiloty v zemědělství*. [CD-ROM]. Praha, ČZU v Praze, 2009. s. 28-33. ISBN 978-80-213-1993-6.
20. KUKLÍK, V. - KŘOVÁK, F. *Cvičení z meliorací*. 1. vydání. Praha: Vysoká škola zemědělská Praha. náklad 600 ks. rok vydání 1988. 214 s.
21. KUMHÁLA, F., a kol. *Zemědělská technika*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 438 s. ISBN 978-80-213-1701-7.
22. KUTÍLEK, M., a kol. *Hydropedologie 10* Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2004. 176 s. ISBN 80-01-12237-4
23. LHOTSKÝ, J. *Zhutňování půd a opatření proti němu (Studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000. 63 s. ISBN 80-7271-067-2

24. MCPHEE J.E., BRAUNACK M. V., GARSIDE A. L., REID D. J. HILTON D. J. (1995): *Controlled traffic for irrigated double cropping in a semi-arid tropical environment: part 1, machinery requirements and modifications*. J. agric. Engng Res. 60, p. 175 – 182. (a)
25. SÁŇKA, M. – MATERNA, J. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *PLANETA*, 2004, vol. 11, s. 5-58
26. ŠTIBINGER, J. Infiltrační schopnosti agrárních valů. *Stavební obzor*, 2011, roč. 20, č. 2/ 2011, s. 78-83. ISSN: 1210- 4027.
27. VALLA, M., a kol. *Pedologické praktikum*. 1. dotisk 2. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2006. 151 s. ISBN 80-213-0914-8
28. WEBB, B., a kol. *Tramline Farming Systems – Technical manual*. Bulletin 4607, Government of Western Australia – Department of Agriculture. 2004, 47 s. ISSN 1448-0352

## 8. Seznam obrázků, grafů a tabulek

<i>Obrázek 1. CTF se systémem OutTrac při kterém jsou stopy sklízecí mlátičky na vnějšku společných úzkých permanentních stop pro ostatní stroje. Pracovní šířka strojů a náradí je stejná.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 2: organizace polního pokusu v lokalitě Červený Újezd. ....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 3. Mapa pozemku s body pro odběr vzorků .....</i>	<i>29</i>
<i>Graf: 1 Průběh měření simulátorem deště ve stopě sklízecí mlátičky (1) .....</i>	<i>34</i>
<i>Graf: 2 Průběh měření simulátorem deště ve stopě sklízecí mlátičky (2) .....</i>	<i>34</i>
<i>Graf: 3 Průběh měření simulátorem deště mimo stopu sklízecí mlátičky (1).....</i>	<i>35</i>
<i>Graf: 4 Průběh měření simulátorem deště mimo stopu sklízecí mlátičky (2).....</i>	<i>35</i>
<i>Graf: 5 Kumulativní povrchový odtok.....</i>	<i>36</i>
<i>Graf: 6 Graf průběhu vlhkosti.....</i>	<i>37</i>
<i>Graf: 7 Krabicový graf naměřených hodnot polní hydraulické nasycené vodivosti .....</i>	<i>38</i>
<i>Graf: 8 Polní hydraulická nasycená vodivost .....</i>	<i>39</i>
<i>Graf: 9 Krabicový graf hodnot sorptivity.....</i>	<i>41</i>
<i>Graf: 10 Sorptivita .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 1: Ukázka měrné hmotnosti vybraných látek .....</i>	<i>2</i>
<i>Tabulka 2: Hodnocení strukturního stavu humusového horizontu.....</i>	<i>3</i>
<i>Tabulka 3: Ulehlost v půdním profilu podle hodnot pórovitosti .....</i>	<i>4</i>
<i>Tabulka 4: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nenasyčení vodou (Gardner et al., 1999).....</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka 5: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení půdního profilu vodou (Gardner et al., 1999).....</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka 6: Mezní hodnoty kritických vlastností zhutnělých půd.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabulka 7. Snížení ztrát půdy erozí v závislosti na množství ponechaných posklizňových zbytků na povrchu půdy .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 8: Charakteristika půdního profilu (0 - 0,30 m) povrchu (0 - 0.20 m) na pokusném pozemku kde byly vedeny pokusy s organizací jízdních stop.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 9: Přehled hlavních vstupů na první pokusný pozemek .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 10: Přehled strojů na druhém pokusném pozemku.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 11: Základní údaje o stanovištích v Červeném Újezdě .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 12: Naměřené hodnoty ze simulátoru deště.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 13: Polní hydraulická nasycená vodivost.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 14: Sorptivita.....</i>	<i>40</i>