

Česká zemědělská univerzita v Praze



Technická fakulta



Katedra zemědělských strojů

**Hodnocení vlivu zátěže půdy
pojezdovými ústrojími zemědělských
strojů na infiltrační vlastnosti půdy**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Kroulík, Ph.D.**

Autor diplomové práce: **Bc. Karel Sobotka**

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra zemědělských strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Sobotka Karel

Zemědělská technika

Název práce

Hodnocení vlivu zátěže půdy pojezdovými ústrojími zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy.

Anglický název

Influence of agricultural machines passages on water infiltration into soil.

Cíle práce

Vyhodnotit vliv intenzity přejezdů pro vybranou technologii zpracování půdy na infiltrační schopnosti půdy.

Metodika

Rozbor literárních pramenů a získání poznatků o dané problematice. Příprava měřicího zařízení. Výběr a popis sledovaných lokalit (bude měřeno na stanovištích, kde již byly založeny pokusy s rozdílnou intenzitou zatěžování půdy pojezdovými ústrojími zemědělských strojů). Měření rychlosti infiltrace vody do půdy. Hodnocení získaných dat.

Osnova práce

Úvod

Literární rozbor

Cíl práce

Metodika práce

Hodnocení a popis stanovištních podmínek

Měření a hodnocení rychlosti infiltrace vody do půdy

Výsledky a diskuse

Závěr

Rozsah textové části

50 stran včetně tabulek, obrázků a grafů

Klíčová slova

utužení půdy, přejezdy, eroze, infiltrace

Doporučené zdroje informací

Sborník z konference GPS autopiloty v zemědělství. Praha: TF ČZU v Praze, 2009. 50 s. ISBN: 978-80-213-1993-6.

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

Kroulík Milan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012



doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 4.2.2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji na svou čest, že jsem diplomovou práci na téma „Hodnocení vlivu zátěže půdy pojezdovými ústrojími zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Milana Kroulíka, Ph.D. a všechny zdroje, ze kterých jsem čerpal jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Králově Dvoře dne 9. dubna 2012

Bc. Karel Sobotka

PODĚKOVÁNÍ

Dovoluji si tímto poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za odborné konzultace, rady a připomínky, a za vedení při zpracování mé diplomové práce na téma „Hodnocení vlivu zátěže půdy pojezdovými ústrojími zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy“.

ABSTRAKT

Infiltrační schopnost půdy je jedním z hlavních faktorů hrající roli při ochraně půdy před nežádoucími účinky vodní eroze. Cílem práce bylo vyhodnotit vliv intenzity přejezdů zemědělské mechanizace na infiltrační schopnost půdy. V této práci byly porovnávány čtyři vybrané varianty zpracování půdy. První variantou byla orba, druhou variantou metoda CTF (řízené pojezdy po pozemcích). Třetím způsobem zpracování půdy byla orba + hluboké kypření a poslední variantou metoda CTF + hluboké kypření. Hluboké kypření bylo provedeno na vybraném pozemku před zahájením pokusů. Práce byla rozdělena na teoretickou a na praktickou část. V teoretické části byl popsán vývoj zpracování půdy a současná zemědělská praxe při zpracování půdy. V dalších kapitolách byla popsána infiltrační schopnost půdy při různých způsobech zpracování půdy a zhutňování půdy přejezdy zemědělské techniky. Pozornost byla také věnována erozi půdy, která představuje v současné době vážný problém nejen v České republice, ale i v celosvětovém měřítku. V praktické části byla zpracována a vyhodnocena jednotlivá měření infiltrace vody do půdy, polní nasycená hydraulická vodivost, penetrační odpor a objemová hmotnost půdy pro všechny varianty zpracování půdy. Na závěr byly zhodnoceny dosažené výsledky jednotlivých měření a celkový vliv a přínos testovaných způsobů zpracování půdy na infiltrační vlastnosti půdy.

Klíčová slova: půda; infiltrace; eroze, zhutnění půdy; přejezdy zemědělské mechanizace

ABSTRACT

The infiltration capacity of soil is one the main factor which is important when the soil conservation is affected by water erosion. The aim of the diploma thesis was to evaluate the effect of intensity of the crossing by agriculture mechanism on the infiltration soil capacity. The first variation of soil processing was an entirely plowing. The method CTF (Control Traffic Farming) was the second option. The deep loosening of soil was done before infiltration experiments on selected fields were investigated. The third way of soil processing was a plowing with deep loosening of soil and the last variation was the method of the CTF with deep loosening of soil. The thesis was divided into two parts: theoretical and practical. The evolution of soil processing and the current agriculture practices of soil processing were described in the theoretical part. Further the infiltration capacity of soil with different ways of soil processing and compacting soil by the crossing of agriculture machines were depicted. The patient was dedicated to the soil erosion which cause nowadays serious problem in the Czech Republic and in global scale as well. Measurements of infiltration, field saturated hydraulic conductivity, penetration resistance and bulk density of soil for all variations of soil processing were conducted in practical part. Obtained results of different measurements and the influence and contributions of testing variations of the soil processing on infiltration soil capacity were discussed in conclusions.

Key words: soil; infiltration; erosion; soil compaction; crossings agricultural mechanization

OBSAH

1	Úvod.....	9
1.1	Cíl práce.....	9
1.2	Metodika práce	9
2	Literární rozbor	11
2.1	Půda	11
2.1.1	Vývoj systémů zpracování půdy.....	12
2.1.2	Současná situace v zemědělské praxi při zpracování půdy	12
2.1.3	Hospodářský význam zpracování půdy	12
2.1.4	Ekologický (enviromentální) význam zpracování půdy.....	14
2.2	Infiltrační schopnosti půdy	15
2.3	Eroze půdy	17
2.3.1	Vznik vodní eroze	18
2.3.2	Udržitelné hospodaření z pohledu protierozní ochrany	19
2.3.2.1	Organizační protierozní opatření	20
2.3.2.2	Agrotechnická protierozní opatření	20
2.3.2.3	Technická protierozní opatření	22
2.3.3	Variety půdoochranného zpracování půdy ohrožené erozí.....	24
2.3.3.1	Systémy plošného zpracování půdy.....	24
2.3.3.2	Hrůbkové zpracování půdy	25
2.3.3.3	Pásové zpracování půdy.....	25
2.3.3.4	Setí do nezpracované půdy	26
2.3.4	Agrotech. protierozní opatření pro erozně náchylné rostliny	26
2.3.4.1	Kukuřice.....	27
2.3.4.2	Cukrová řepa a brambory	28
2.3.4.3	Obilniny	29
2.4	Zhutňování půdy přejezdy zemědělské techniky a způsobem zpracování půdy	30
2.4.1	Důsledky zhutňování půdy	31
2.4.2	Opatření vedoucí ke snížení zhutňování půdy	32
2.4.2.1	Agrobiologická opatření vedoucí ke snižování zhutnění půdy.....	33
2.5	Zatěžování půdy přejezdy pojezdovými ústrojími zemědělské mechanizace	33
2.5.1	Technické systémy pojezdových ústrojí zemědělských strojů	33
2.5.1.1	Pneumatiky	34
2.5.1.2	Pásový podvozek	34
2.5.1.3	Volba pneumatik nebo pásového podvozku pro sklízecí mlátičky.....	35
2.5.2	Navigační systémy v zemědělství.....	36
2.5.3	Řízená organizace přejezdů zemědělské techniky	37
2.5.3.1	Zavedení systému CTF v praxi.....	38
2.5.4	Precizní zemědělství	40

3	Metodika a popis stanovištních podmínek.....	41
3.1	Metodika pokusů u daných technologií zpracování půdy	41
3.2	Popis stanovištních podmínek	44
3.3	Popis jednotlivých bodů měření	45
4	Měření a hodnocení infiltrace vody do půdy	46
4.1	Příprava a získání fotografických dat z infiltrace vody půdy	46
4.2	Získání hodnot infiltrace vody do půdy z obrazové analýzy	47
4.3	Metodika hodnocení infiltrace vody do půdy	48
4.4	Výsledky z infiltrace vody do půdy	51
4.5	Závěr z infiltrace vody do půdy	53
5	Hodnocení polní nasycené hydraulické vodivosti	54
5.1	Metodika měření a dopočítání hodnot	54
5.2	Výsledky z hodnocení polní nasycené hydraulické vodivosti	54
5.3	Závěr z hodnocení polní nasycené hydraulické vodivosti	56
6	Hodnocení zhutnění půdy	57
6.1	Metodika měření penetračního odporu u jednotlivých měřících bodů	57
6.2	Výsledky z měření zhutnění půdy pomocí penetračního odporu	58
6.3	Závěr z měření zhutnění půdy pomocí penetračního odporu	59
7	Hodnocení objemové hmotnosti	60
7.1	Metodika měření objemové hmotnosti půdy u jednotlivých měřících bodů	60
7.2	Výsledky z měření objemové hmotnosti půdy	60
7.3	Závěr z měření objemové hmotnosti půdy	62
8	Závěr	63
	Seznam použitých literárních zdrojů	67
	Seznam použitých internetových zdrojů obrázků	68
	Seznam použitých obrázků	69
	Seznam použitých tabulek	70
	Seznam použitých grafů.....	71
	Seznam příloh	72
	Přílohy.....	73

1 ÚVOD

V současné době plní zemědělství tři základní úlohy - produkční, krajinnotvornou a sociální. Tím zajišťuje nejen výživu obyvatelstva a výrobu dalších nepotravinářských produktů, ale také tvorbu a udržení krajinného rázu a podporu pracovních příležitostí pro venkovské obyvatelstvo. Zemědělci dnes v České republice hospodaří na přibližně 4,26 milionech hektarů zemědělské půdy, což je téměř polovina celkové rozlohy státu (54 %).

Systemy zpracování půdy dle jejich praktického použití lze rozdělit na tradiční zpracování půdy orbou s dalšími následnými úkony nebo na v dnešní době se prosazující půdoochranné redukované zpracování. Principem tohoto zpracování se stává kypření půdního profilu s ekonomicky výhodnou agregací strojů. Technologie ochraňující půdu představují přínos pro životní prostředí ve srovnání s konvenčními technologiemi. Tyto technologie zpravidla umožňují zvýšení infiltrace vody do půdy, zadržení vody ve větších hloubkách, redukcii povrchového odtoku vody a snížení rizika eroze.

Jedním ze současně nejvýznamnějších faktorů v zemědělství vedoucích k degradaci půdy je eroze, při níž dochází k odnosu a úbytku půdy na poli. Eroze přispívá ke snížení produktivity půdy z hlediska jejího zemědělského využití nejen v České republice ale i celosvětově. Údaje z České republiky odhadují, že vodní erozí je ohroženo kolem poloviny rozlohy zemědělského půdního fondu. V nynější době dávají již někteří zemědělci přednost šetrnějším metodám zpracování půdy, bohužel většina stále setrvává u konvenčních postupů. Dalším značným problémem je nežádoucí zhutňování půdy v důsledku častých přejezdů těžké mechanizace po pozemku. Zhutnění půdy omezuje produkční a ekologické funkce v rostlinné výrobě, zhoršuje využití živin rostlinami a snižuje infiltrační vlastnosti půdy.

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem předkládané diplomové práce je vyhodnocení vlivu intenzity přejezdů pro vybranou technologii zpracování půdy na infiltrační schopnosti půdy.

Na úvod si je potřeba položit několik otázek. Jakým způsobem se budou dané varianty zpracování půdy mezi sebou lišit, které z nich přinesou předpokládaný výsledek a které nikoliv? Je lepší zpracovávat půdu orbou nebo zavedením systému řízené organizace jízdnic stop mechanizace jen s kypřením? Jaké účinky a efekt má počáteční hluboké kypření půdy na jednotlivé měřené veličiny, kterými jsou infiltrace vody do půdy, polní nasycená hydraulická vodivost, penetrační odpor a objemová hmotnost?

1.2 METODIKA PRÁCE

V rámci teorie bude charakterizována půda, vývoj jejího zpracování a současná situace v zemědělské praxi při zpracování půdy. Další část bude věnována infiltrační schopnosti půdy a její ovlivnění různými způsoby zpracování půdy. Následující část se bude zabývat erozí půdy. A to od vzniku eroze až po opatření k udržitelnému hospodaření z pohledu protierozní ochrany. Zhutňování půdy přejezdy zemědělské techniky a způsobem zpracování půdy bude

další významnou částí, kde budou popsány důsledky zhutňování půdy a opatření vedoucí ke snížení daného zhutnění. Poslední teoretická část se bude zabývat zatěžováním půdy přejezdy pojezdovými ústrojími zemědělské mechanizace, do kterých patří pneumatiky nebo pásové podvozky. Dále navigačními systémy a precizním zemědělstvím. Závěrečná teoretická část se bude zabývat metodou CTF, což je způsob zpracování pozemků s řízenou organizací přejezdů zemědělské techniky.

Praktická část se bude věnovat vlastnímu měření a vyhodnocování výsledků. V první části bude nejprve provedeno hodnocení a popis sledované lokality, na které byl založen pokusný pozemek. Další části se budou zabývat přípravou a metodikou měření, výsledky a jejich závěrečným zhodnocením. Nejprve se budou zabývat infiltrací vody do půdy a zpracováním dat pomocí analyzovaných snímků, dále hodnocením polní nasycené hydraulické vodivosti, zhutněním půdy pomocí měření penetračního odporu a na konec objemovou hmotností půdy.

V závěrečné části bude zhodnocen celkový přínos a poznatky z jednotlivých měření pro jednotlivé varianty různého zpracování půdy.

Diplomová práce bude vypracována za pomoci konfrontace s vedoucím diplomové práce, odborné literatury a internetových zdrojů. Seznam zdrojů bude uveden na konci diplomové práce včetně seznamu obrázků, tabulek, grafů a také příloh.

2 LITERÁRNÍ ROZBOR

2.1 PŮDA

Půda je neobnovitelným přírodním zdrojem a je charakteristickou složkou krajiny (Obr.1). Je to nejsvrchnější porézní vrstva pevné zemské kůry, která se skládá z anorganické a organické hmoty, vody, plynů a živých organismů. Mezi těmito složkami existují neustálé vztahy, které jsou ovlivňovány fyzikálními, chemickými a biologickými procesy. Díky těmto procesům tvoří půda složitý otevřený systém, ale svou schopností autoregulace vnitřních procesů i systém relativně samostatný. Je nutno komplexně ji chápat jako složku životního prostředí, tvořící spolu s atmosférou, hydrosférou a biocenózou funkční ekologický systém.

Činností člověka jsou ovlivňovány všechny tyto procesy, ať už záměrně, či nikoliv. Největší vliv na půdu a její oživení má zemědělská činnost. Pěstitelé se pomocí zemědělské činnosti snaží připravit pěstovaným plodinám vhodné podmínky pro jejich růst a vývoj, a to zpracováním půdy, založením porostu, výživou a ochranou rostlin.

Pojem zpracování půdy zahrnuje úkony a zásahy upravující ornici a část podorniční vrstvy do vhodného strukturního stavu aplikované do doby vcházení pěstovaných rostlin. Je to soubor zpracovatelských zásahů prováděných v časovém rozmezí od sklizně předcházející plodiny (předplodiny) do vzejití následující (následné) plodiny na pozemku.

Pro zemědělství je půda především stanovištěm pěstovaných rostlin, prostředkem k výrobě potravin rostlinného původu, krmiv pro hospodářská zvířata, ale i surovin pro nepotravinářské využití. Při hospodaření na půdě by mělo být trvale v popředí zájmu uchování úrodnosti půdy a jejích ekologických funkcí. [6, 7]

Obr. 1 Charakteristickou složkou krajiny je půda



Zdroj: [20, 21]

2.1.1 Vývoj systémů zpracování půdy

Dvacáté století je období výrazné racionalizace ve zpracování půdy. Převládají trendy zjednodušených technologických postupů s dobrými ekonomickými výsledky i s příznivějšími ekologickými dopady na zemědělskou krajinu.

Významným bodem v historii zpracování půdy na území České republiky bylo období po roce 1948, kdy nastává radikální změna v zemědělství a dochází k zestátnění velkých statků. V tomto období došlo ke sjednocování jednotlivých menších polí do velkoplošných celků. Toto spojení mělo svou pozitivní i negativní stránku. Pozitivem bylo zvýšení produktivity práce, mnohdy ale na úkor její kvality. Negativním jevem bylo snížení diverzity a stability zemědělské krajiny a mnohdy narušení jejího rázu. [6]

2.1.2 Současná situace v zemědělské praxi při zpracování půdy

Dnešní trendy ve zpracování půdy mají oproti období v letech 1955 až 1990 charakter šetrnějšího přístupu k půdě. V předchozích desetiletích byly záměry konstruktérů zemědělských strojů orientovány hlavně na výkonnost strojů a to bez ohledu na důsledky, které na půdě způsobí, tedy na destrukci a zhutnění půdy. Současné trendy vývoje strojů pro zpracování půdy sledují nejen jejich výkonnost, ale i dopady ekonomické a enviromentální. Z tohoto důvodu jsou v České republice využívány vhodné stroje nejen tuzemské výroby, ale také špičkové stroje zahraničních výrobců.

Krátkodobá stagnace v obnově strojů pro zpracování a kultivaci půdy po roce 1989 je pro prosperující zemědělské podniky postupně nahrazována větší nabídkou variabilních strojních soustav, například podle šířky záběru, hmotnosti, víceúčelovosti, vhodnosti pro rozdílné půdní druhy i nákladovosti. Současná úroveň používané zemědělské techniky i systémů ve zpracování půdy v České republice je téměř adekvátní systémům používaných v hospodářsky vyspělých zemích. [6]

2.1.3 Hospodářský význam zpracování půdy

Základní úkony zpracování půdy jsou podmítka, orba, předset'ová příprava půdy a kultivace půdy v porostech plodin (např. plečkování). Zpracování půdy je z agrotechnických opatření energeticky nejnáročnější. V současné době se všeobecně přehodnocují z důvodů ekonomických a ekologických způsoby hospodaření na půdě. Ve zpracování půdy se začíná nahrazovat tradiční zpracování orbou (Obr. 2) zjednodušenými (redukovanými) postupy s minimalizačními a půdoochrannými prvky (Obr. 3).

Systémy zpracování půdy podle jejich praktického použití lze v současné době rozdělit na tradiční s hlubokými zásahy do půdy (orba) s dalšími následnými úkony nebo zjednodušené (minimalizace) s mělkými zásahy do půdy s ekonomicky výhodnou agregací strojů. Všechny úkony ve zpracování půdy mají mechanický charakter, tzn. ovlivňují a pozměňují půdní prostředí.

Úkolem zpracování půdy je vytvořit pro pěstované rostliny v půdním prostředí optimální podmínky nebo se optimu co nejvíce přiblížit, a tím zlepšovat a udržovat produkční

schopnost půdy. Konečným cílem všech zpracovatelských zásahů do půdy je mechanické vytvoření drobtovité půdní struktury, což jsou agregáty o velikosti 2 až 10 mm, zejména u těžkých a středně těžkých půd a zlepšení struktury u lehčích půd. Dalším úkolem při zpracování půdy je také eliminovat různé negace, které se v rostlinné výrobě vyskytují, např. nežádoucí důsledky působení těžké mechanizace na půdu, vyšší koncentrace v pěstování některých druhů plodin, zaplevelenost pozemků. Kvalita zpracování půdy je ovlivňována především půdními charakteristikami (např. půdní typ, půdní druh, složení půdního skeletu), vlhkostí půdy v době zpracování, intenzitou ulehnutí nebo utlačení půdních částic, obsahem půdního humusu nebo organické hmoty na povrchu ornice (kvantita posklizňových zbytků), typem a účinností použitých mechanizačních prostředků.

Názory na způsoby obdělávání půdy a na intenzitu zpracovatelských zásahů se s vývojem zemědělství mění. Mění se také význam zpracování půdy v zemědělském produkčním procesu. Do určité míry je odrazem ekonomické a technické úrovně společnosti a také odpovědných pracovníků zemědělského provozu. Například v konvenčním způsobu hospodaření na půdě (systém s vysokou intenzitou chemizace ve výživě a ochraně rostlin apod.) se zpracování půdy podílelo 16 - 18 % na tvorbě výnosu plodin, pak v systému omezujícím aplikaci uvedených intenzifikačních faktorů má podíl zpracování půdy efekt 25 - 30 %. Lze tedy zdůraznit, že v současném integrovaném zemědělství je význam zpracovatelských a kultivačních zásahů na půdě vyšší. Mnohdy téměř protikladně působí vědecké názory o minimalizaci zásahů do půdy, tedy o zjednodušených technologiích a postupech ve zpracování půdy. Jejich význam vzrůstá pod vlivem omezení vstupů do produkčního procesu (ekonomický vliv) i vlivem protierozních aspektů (omezení smyvu a odnosu půdních částic z nakypřené ornice).

Volbu technologického postupu při zpracování půdy si musí určit pěstitel sám. Kritériem pro něj musí být dobré znalosti obdělávané půdy, geomorfologie terénu, požadavků rostlin, pro něž půdu připravuje, působení faktorů povětrnosti a účinnost sestavy zemědělských strojů, jimiž půdu zpracovává. Ať je půda zpracována jakýmkoliv způsobem, vždy musí být upravena do stavu strukturně vhodného pro růst pěstovaných plodin a zároveň musí chránit půdu před přívalovými dešti a erozí. [3, 5, 6]

Obr. 2 Zpracování půdy orbou



Zdroj: [22]

Obr. 3 Redukované zpracování půdy



Zdroj: [23]

2.1.4 Ekologický (enviromentální) význam zpracování půdy

Půda má mimo zemědělského využití, i řadu jiných funkcí, například udržování zásoby vody a její filtrace. Je součástí koloběhu látek (uhlík, dusík, fosfor, síra), zdrojem surovin, poskytuje životní prostor pro řadu organismů a rostlin. V neposlední řadě poskytuje funkci rekreační, estetickou (krajinářskou), archeologickou a další. Zásadní význam hraje ve stabilitě ekosystémů a ovlivňování bilancí látek a energií.

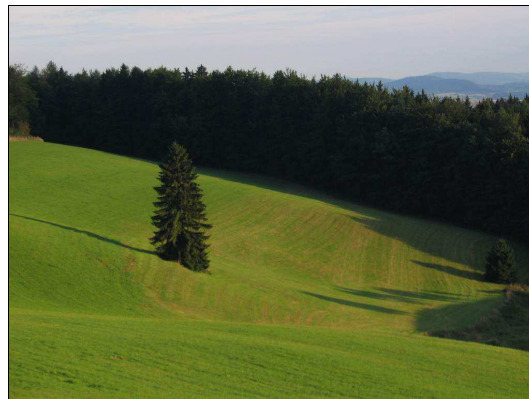
Půdní fond České republiky, na němž se realizuje zemědělský produkční proces, je tvořen půdami výrazně předchozími generacemi zkulturněnými. Z pedogenetického hlediska jsou v něm zastoupeny značným podílem 30,5 % půdy s nižší půdní úrodností. Jsou to tzv. deficitní půdy (především s extrémními vlhkostními poměry), přičemž je z nich 22,4 % půd s extrémní zrnitostí (extrémně těžké, písčité a kamenité). Extrémně lehké jsou písčité půdy s obsahem jílnatých částic pod 10 % a extrémně těžké jsou jíly s obsahem jílnatých částic nad 75 %. Pěstitelsky a zpracovatelsky nejvhodnější jsou středně těžké půdy s obsahem 25 - 55 % jílnatých částic.

Optimální rozpětí půdní vlhkosti, v němž se dá snadno a kvalitně půda zpracovávat, je vzhledem k zrnitosti u lehkých půd 20 - 85 % polní vodní kapacity. U středně těžkých půd 40 - 73 % a u těžkých půd 50 - 65 % polní vodní kapacity. Snadná zpracovatelnost je příznačná pro půdy písčité až hlinité. Zvyšující se obsah jílnatých částic zhoršuje zpracovatelnost půd. Středně těžké půdy jsou za příznivých vlhkostních podmínek bezproblémově zpracovatelné, těžké půdy pak obtížně až těžko zpracovatelné. Tyto půdy kladou velký odpor zemědělským strojům při jejich zpracování. Děje se tak převážně za sucha, tvoří se různě velké hroudy, což ztěžuje další zpracování půdy.

Aktuálním problémem především u těžkých půd, při častých přejezdech pozemků a zpracovávání vlhké půdy také u středně těžkých půd, je jejich zhutňování. Jeho vznik je důsledkem řady přirozených, ale také člověkem působených nepříznivých jevů. Proces zhutňování půd je jevem kumulativním, na nějž působí i nedostatky v agrotechnice, použité technice a výživě rostlin.

Svažitost pozemků je faktor výrazně působící na úroveň intenzity využívání půdy a také na možnosti hospodaření, tedy i na zpracování půdy. Na pozemcích se svažitostí do 3° nebývá výraznějšího omezení v intenzitě využívání půdy, pokud není nadměrně dlouhá délka svahu. Na svažitějších pozemcích je vhodné podle konkrétních podmínek provádět protierozní opatření, která jsou navrhována po analýze problému s využitím výpočtu dlouhodobé ztráty půdy erozí. V každém případě by se ve svažitém terénu neměly pěstovat širokořádkové plodiny, jako jsou kukuřice, brambory nebo řepa, případně tyto plodiny pěstovat s využitím technologií šetrnějších k půdě. Je vhodné také upřednostňovat používání hnojiv s vyšším obsahem organických látek. Na značně svažitých pozemcích nad 12° by měla být půda

Obr. 4 Svahy jsou vhodnější pro travní porosty



Zdroj: [24]

zpracovávána co nejméně, tyto polohy jsou vhodné zejména pro travní porosty (Obr. 4). Vliv na obdělávání půdy má i expozice pozemků. Zpravidla svahy jižně a jihozápadně orientované jsou záhřevnější a jarní a sklizňové práce na nich začínají nejdříve. Jsou zde zpravidla pozemky s nejmenším zhutněním půdy. Podobně je tomu i v pásmech hygienické ochrany, případně na pozemcích přiléhajících k pramenným lokalitám, na kterých je nutné ve zpracování volit technologie omezující erozi půdy (půdoochranné systémy).

Dobré hospodaření na půdě, tedy i její zpracování, působí v zemědělské krajině estetickým zklidňujícím dojmem. Půda na pozemcích neobdělávaných a ani jinak nekultivovaných neztrácí sice schopnost k produkci rostlinné biomasy, ale vznikají na ní určitá negativita. Půda se rychle zapleveluje jednoletými, ale především víceletými plevelnými společenstvy a působí depresivně svou relativní opuštěností. Plody a semena plevelů, šířící se pomocí zvířat nebo větrem, zaplevelují okolní obdělávané pozemky. Zmenšuje se plocha orné půdy rozrůstáním křovin a dřevin náletem z břehových porostů, remízků a lesů. V některých letech se z těchto lokalit šíří například drobní hlodavci, kteří poškozují porosty zemědělských plodin. Jejich výskyt značně narušuje zpracování půdy. [3, 5, 6]

2.2 INFILTRAČNÍ SCHOPNOSTI PŮDY

Voda se svými vlastnostmi je látkou, jež je pro existenci rostlin naprosto zásadní. Vodu je možné chápat jako médium, které hrálo významnou úlohu při vzniku života na Zemi. Všechny živé organismy zpravidla obsahují značný podíl vody ve svých tělech. Podobně je tomu i u rostlin, kde podíl vody v živých rostlinných pletivech činí 85 až 90 %, v případě semen 5 až 15 %. Voda je polárním rozpouštědlem s řadou unikátních chemických a fyzikálních vlastností a prostředím pro řadu klíčových biologických procesů v rostlinách.

Zpracování půdy představuje mechanický zásah do půdy za účelem vytvoření příznivých podmínek pro pěstované plodiny. V různé míře rozrušuje půdní agregáty, kompaktnost a mění velikost, distribuci i strukturu pórů. Půda se může po zpracování nacházet v nestabilním stavu, pórovitost se může měnit v čase s vysycháním a zvlhčováním půdy, vlivem biologické činnosti v půdě a působením přejezdů zemědělské techniky při zajišťování agrotechnických zásahů. Změny fyzikálních vlastností půdy v důsledku jejího zpracování vyvolávají změnu propustnosti pro vodu a vzduch a vodivosti pro teplo. Systém pórů v půdě představuje dva i více transportních stavů. Jedná se o póry, které vodu zadržují, a póry, které pohyb vody podporují. Z hlediska vody v půdě mají význam dva stavy půdní struktury. Homogenní vrstva s horizontální strukturou vzniklá při konvenčním zpracování půdy orbou a vertikální struktura vzniklá při redukovaném zpracování půdy, tj. při zpracování bez orby. Vertikální struktura je vytvářena působením žížal a trhlínami v půdě. Tyto stavy se přímo odrážejí v rychlosti infiltrace vody do půdy, ve vyplavování živin a v erozi půdy. Obdělávání půdy ovlivňuje biotické (živé organismy) a abiotické procesy formování půdní struktury (neživé složky, např. voda, vlhkost, teplo, světlo). Ovlivňuje přímo modifikací strukturních vlastností jako jsou půdní agregáty, trhlíny a propojenost, a nepřímo změnou podmínek pro abiotické a biotické procesy v půdě, jako například aeraci (provzdušnění půdy) nebo penetraci (pronikání vody do půdy).

Půdoochranné redukované zpracování půdy umožňuje zpravidla zvýšení infiltrace vody do půdy, zadržení vody ve větších hloubkách, redukcí povrchového odtoku vody a snížení rizika eroze. Konvenční technologie zpracování půdy má vliv na zadržení vody a redukcí malých odtoků například při bouřkách, pokud však není překročeno určité množství vody dopadající na povrch půdy za jednotku času v důsledku vytvoření homogenní zhutněné vrstvy půdy, která snižuje vsakování vody. Vyšší zastoupení makropórů u půdoochranného zpracování půdy mělo v řadě případů za následek prostup vody do hlubších vrstev, čímž se vsáknutá voda v období sucha stala pro kořeny rostlin nedostupnou, což mělo za následek snížení výnosu pěstovaných plodin. Tomuto jevu u půdoochranného zpracování půdy zabraňují rostlinné zbytky promíchané s povrchovou vrstvou půdy, čímž snižují prostup vody do hloubky.

Významným způsobem se v půdě uplatňují žížaly. Jedná se zejména o tvorbu mezopórů, kde se zadržuje infiltrovaná voda. Právě u průsaku vody a preference cest vody v půdě má naplňování těchto prostor významnou roli. Hydrodynamické funkce jsou ovlivněny způsobem zpracování půdy, kdy dochází k přerušování cest toku vody.

Klíčovým faktorem z hlediska infiltrace vody do půdy je půdní organická hmota, která má významnou funkci související s biologickou aktivitou půdy a také má vliv na tvorbu půdních agregátů a infiltraci vody do půdy. Půdní agregáty napomáhají při infiltraci vody do půdy, vytvářejí prostředí pro půdní organismy, zajišťují kořenům a půdním organismům přístup kyslíku a mají příznivý vliv na protierozní odolnost půdy. Chybějící pokryv rostlinných zbytků a vystavování půdy intenzivním deštům přispívá k nestabilitě půdních agregátů, tvorbě půdní krusty a snížení půdní kvality. Povrchová organická hmota je hlavní prostředek při ochraně půdy před erozí, ovlivňuje infiltraci a zadržuje živiny. Půdní organická hmota bývá výrazně rozvrstvená u dlouhodobě nezpracované půdy. U běžného zpracování půdy je její rozložení ve zpracovávané vrstvě poměrně rovnoměrné. Obsah půdního organického uhlíku byl u nezpracované půdy vyšší než u zpracované, především ve vrchní vrstvě ornice. Degradace půdy a nárůst půdní eroze je spatřován v úbytku půdního uhlíku a v převrstvování půdy při jejím zpracování.

Infiltrace vody do půdy může významně ovlivnit odolnost půdy vůči vodní erozi v zimním období. V situaci, kdy taje sníh nebo na zmrzlou půdu dopadá déšť, dochází v důsledku velmi omezené infiltrační schopnosti zmrzlé půdy zejména na dlouhých svazích k navýšení povrchového odtoku vody a ke smyvu zeminy. Povrch půdy v tomto období zpravidla pokrývá jen minimum rostlinných zbytků, ochranná funkce ozimých plodin je rovněž omezená. V tomto případě hraje významnou roli způsob zpracování půdy a opatření k omezení povrchového odtoku vody, zejména zvýšení drsnosti povrchu půdy například vytvořením hrůbků ve směru vrstevnic. [1, 3, 4, 6]

2.3 EROZE PŮDY

Eroze značí činnost vody, větru a ledu, která způsobuje rozrušování půdního povrchu a přemisťování uvolněné hmoty do jiných poloh, kde se ukládají ve formě nánosu. Vodní a větrná eroze u nás patří mezi nejškodlivější přírodní jevy.

S projevy eroze půdy na našem území se člověk setkával v průběhu dlouhé historie obdělávání pozemků. Někdy byly urychleny klimatickými či antropogenními vlivy. Také celosvětově se od dávné historie jedná o vážný problém, kdy v některých centrech civilizace docházelo k zanášení závlahových soustav či k degradaci půdy po odlesnění. Na jiných místech splaveniny přinášené řekami pomáhaly udržovat úrodnou půdu a zajišťovaly dostatečnou úrodu plodin. Známým příkladem je niva řeky Nil v Africe. Nebezpečí eroze si byli vědomi lidé již v dávné historii a v některých částech světa chránili půdu výstavbou teras.

Eroze půdy představuje jeden ze současně nejvýznamnějších faktorů vedoucích k degradaci půdy a zároveň přispívajících ke snížení produktivity půdy z hlediska jejího zemědělského využití jak celosvětově tak i v České republice (Obr. 5). Údaje z České republiky odhadují, že vodní erozí je ohroženo kolem poloviny rozlohy zemědělského půdního fondu. Efektivita výroby potravin, především při požadavku na vyšší výnosu a kvalitu produktu, je jednoznačně závislá na vlastnostech půdy, tedy na jejím produkčním potenciálu v daných klimatických podmínkách. Každoroční pokles výměry orné půdy, doprovázený procesy degradace půdy na zbývajících plochách, je zásadním problémem z hlediska budoucí produktivity a efektivity zemědělské výroby. Pokles výměry půdy vyvolává, za předpokladu konstantní či narůstající spotřeby zemědělských produktů pro potravinářské a technické využití, potřebu zvyšování produkce na jednotku plochy. Ta je ale následně limitována úrodností půdy.

Při odnosu 5 až 15 cm ornice erozí může výnos plodin poklesnout o 15 až 30 %, při úplném odstranění humusového horizontu může být toto snížení až o tři čtvrtiny. Důsledky se mohou zaznamenat i u vlastností půd. Z fyzikálních vlastností se mění struktura i textura, objemová hmotnost, pórovitost a infiltrační schopnosti. Z chemických vlastností se snižuje obsah organické hmoty a humusu, minerálních živin, ztrátou živin a obnažením podorničí se zvyšuje kyselost půdy. Značné množství erodovaných látek je odnášeno řekami ve formě splavenin. Celosvětově se transport splavenin nachází zhruba mezi 100 až 200 t/km². Tyto splaveniny zanášejí koryta řek a nádrží, obnažené živiny nasměrovávají eutrofizaci vod a v prostředí škodí i odnášené pesticidní látky.

K poškozování půdy vodní erozí dochází buď nedůsledným dodržováním návrhu úprav pozemků nebo nerespektováním terénu s méně výraznou členitostí. Tím se stává, že rozměry i tvary honů, skladba osevních postupů a s tím související agrotechnické úkony neodpovídají v plném rozsahu přírodním podmínkám. Mnohdy i navrhovaná protierozní opatření nejsou prováděna pečlivě nebo jsou dokonce podceňována. S tím souvisí nižší výrobnost půdy a neúměrné náklady na její trvalé zúrodnování.

Na situaci týkající se poškozování zemědělské půdy erozí reagují i nařízení spojená s dotační politikou. Platné standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC - Good Agricultural and Environmental Conditions) chrání půdu, vodu a biodiverzitu krajiny. Jejich plnění je povinné pro všechny zemědělce čerpající dotace. První dva standardy se týkají ochrany zemědělské půdy proti erozi a jsou v nich doporučeny i následující

půdoochranné technologie. Tedy bezorebné setí (technologie přímého setí do nezpracované půdy), setí do mulče, setí do mělké podmítky (za předpokladu dodržení stanovené pokrývnosti povrchu půdy rostlinnými zbytky), setí do ochranné vymrzající plodiny či hrázkování. [1, 5, 6, 12]

Obr. 4 Vodní eroze půdy s následným odnosem zeminy



Zdroj: [25, 26]

2.3.1 Vznik vodní eroze

Základem efektivy protierozních opatření v rámci agrotechnických postupů je dokonalá znalost vzniku, průběhu a důsledků erozních procesů na orné půdě. Primárně lze erozní procesy spojovat s vlivem srážek na povrch půdy. Při srážce dopadá část dešťových kapek skrze porost přímo na povrch půdy, část srážek se zachytí na povrchu asimilačního aparátu rostlin a odpaří se zpět do atmosféry (výpar) a část dopadá na půdu z povrchu listů (okap) nebo stéká po stonku (stok). Základem erozních procesů je kapková eroze vyvolaná přímým dopadem kapek deště nebo odkapávající vodou z rostlin. Kapky rozbíjejí navlhající půdní agregáty, jemné částice půdy vzniklé rozpadem půdní struktury se společně s bobtnáním půdních agregátů podílejí na omezení infiltrace. Zároveň jsou tyto částice uvolněny do vody nacházející se na povrchu půdy a mohou být vodou následně transportovány. Voda přítomná na povrchu se vsakuje nebo se začíná kumulovat v prohlubních na povrchu pozemku. Dopadali na půdu větší množství vody, než je schopna přijmout, začíná se voda hromadit na jejím povrchu a dochází k povrchovému odtoku. Povrchový odtok se následně mění na soustředný, jehož důsledkem je rýhová a výmolová eroze půdy (Obr. 6). [12]

Obr. 5 Rýhová a výmolová vodní eroze půdy



Zdroj: [27, 28]

2.3.2 Udržitelné hospodaření z pohledu protierozní ochrany

Vodní eroze je ovlivněna kombinovaným účinkem řady faktorů, ke kterým patří podmínky klimatické a hydrologické, morfologické, geologické a půdní, vegetační a způsob obhospodařování půdy. Hlavním faktorem ovlivňujícím vodní erozi je faktor erodovatelnosti půdy. Jedná se o vlastnost půdy ovlivňující infiltraci vody do půdy a odolnost půdních agregátů vůči účinku kapek a transportu povrchově odtékající vody. Dalšími faktory jsou délka svahu, sklon svahu, členitost území a ochranný vliv vegetace. Vegetační pokryv přímo ochraňuje před působením kapek a zpomaluje povrchový odtok, nepřímo pak působí na zlepšení půdních vlastností jako je pórovitost, propustnost a nižší zhutnění.

Základním principem protierozní ochrany je pěstování plodin s vysokým protierozním ochranným účinkem na sklonitých a erozí ohrožených pozemcích. Erozně ohrožená půda by neměla po delší dobu zůstat bez vegetačního pokryvu. Podle ochranného účinku plodin a jejich posklizňových zbytků řadíme plodiny vzhledem k náchylnosti k erozi. Nejmenší náchylnost k erozi mají jeteloviny a trávy, poté obilniny a olejninu a nejhůře jsou na tom širokořádkové plodiny jako je kukuřice, brambory a řepa.

Pro snížení rizika působení eroze je třeba provádět protierozní ochranu půdy. Protierozní ochrana je soubor opatření k zeslabení nebo zamezení účinku eroze na půdu, půdní vláhu a povrchovou vodu a pěstované plodiny. Využívá se především v zemědělství, současně však chrání před erozními účinky vodní zdroje, intravilány, komunikace a další stavby, dále pásma hygienické ochrany vodních zdrojů, chráněné přírodní útvary a další. Protierozní účinek se mění vlivem erodovatelnosti půdy. V erodovatelnosti půdy nastávají sezónní změny, které se projevují změnou půdní struktury, stability agregátů a propustnosti půdy. Erodovatelnost půdy závisí na řadě půdních vlastností fyzikálního, chemického a mineralogického charakteru, které se dají poměrně snadno změřit. Rozhodující je stupeň stability půdních agregátů pod vlivem energie dopadajících dešťových kapek. K porušení agregátů dešťovými kapkami dojde tehdy, když je překonána vnitřní síla odporu agregátů.

Mezi protierozní opatření na zemědělských půdách patří organizační, agrotechnická a technická opatření. Do organizačních opatření patří delimitace kultur (prostorová a funkční optimalizace pozemku sloužící k pěstování jednotlivých kultur) (Obr. 7), osevni postup, dělení pozemků do pásů, tvar a velikost pozemku. Mezi agrotechnická opatření se řadí pásové zatravnění, pásové střídání plodin (Obr. 8), redukované zpracování půdy, setí do mulče vymrzajících meziplodin nebo posklizňových zbytků za účelem eliminace kapkové eroze a odnosu půdy při odtoku vody a minimalizace porušení homogenity půdního profilu z hlediska kontinuálního pohybu vody v půdě. Technickým opatřením je vytváření mikroreliefu umožňujícího kumulaci vody na pozemku a zamezujícího vzniku povrchového odtoku. Patří sem terénní urovnávky, terasy, kanály, průlehy a protierozní nádrže. [1, 6, 12]

Obr. 6 Vytyčení kultur v krajině omezující erozi půdy

Zdroj: [6]

Obr. 7 Pásové střídání plodin

Zdroj: [6]

2.3.2.1 Organizační protierozní opatření

V první řadě je důležité optimální plánování zemědělství v krajiněm prostoru s prostorovou a funkční optimalizací pozemků jednotlivých kultur jako je orná půda, louky a pastviny, zahrady a zalesněné pozemky. Dále ochranným zatravněním a zalesněním, optimálním rozmístováním plodin a protierozními osevními postupy, pásovým střídáním plodin a realizací pozemkových úprav.

Zemědělec může omezovat erozi na svých pozemcích zejména zlepšením půdní struktury dostatečným zásobováním půdy organickou hmotou, dostatečnou výživou půdních organismů organickým materiálem (hnůj, sláma, zelené hnojení), čímž se podpoří tvorba humusu a stabilizuje se půdní struktura.

Osevní postup by měl u svahů s větším sklonem obsahovat co nejmenší podíl okopanin a širokořádkových plodin. Kde je to možné, zařadíme meziplodiny. Vhodné jsou podsevy, zejména v řádkových plodinách. Z hlediska erozního nebezpečí složitých území bychom se měli soustředit na návrh protierozního osevního postupu. Příkladem může být následující osevní postup: jetelotráva po dobu dvou let, ozimá řepka, ozimá obilovina, jarní obilovina s podsevem. [6]

2.3.2.2 Agrotechnická protierozní opatření

Jedním z nejdůležitějších agrotechnických protierozních opatření je zpracování půdy, aby co nejméně docházelo k porušování její drobtovité struktury, aby bylo podporováno vsakování vody do půdy, a tím se snižoval povrchový odtok a jeho smývací účinek. Způsob zpracování ovlivňuje podstatně propustnost půdy pro vodu. Infiltrace půdy je přímo úměrná stabilitě půdní struktury, velikosti objemu a struktuře pórů. Dlouhodobé bezorebné nebo naopak konvenční zpracování půdy může změnit objem pórů, stabilitu agregátů a obsah organické hmoty, a tím změnit celou půdní strukturu. Spolu s tím se mohou měnit půdní vlastnosti ovlivňující infiltrační schopnost půdy a pohyb půdní vody.

Zpracování půdy se vyznačuje hlavně půdoochranným obděláváním půdy, což je redukce intenzity běžného základního zpracování půdy a počtu mechanických opatření a ponechání zbytků rostlin na povrchu půdy, které zajistí její pokrytí v termínu výsevu hlavní plodiny minimálně ve výši 30 %. Toto množství rostlinných zbytků má od sklizně předchozí plodiny do výsevu následné plodiny přispět především k eliminaci vodní eroze půdy.

Způsob vytvoření posklizňových zbytků na povrchu půdy je závislý na technologii zpracování půdy a na předplodině. Při využití orby nelze zajistit pokryv půdy rostlinnými zbytky jinak než s využitím meziplodin, obdobně je tomu i u plodin, které zanechávají malé množství posklizňových zbytků, nebo zbytky snadno biologicky degradovatelné. Využití slámy obilnin jako mulče v kombinaci s technologiemi zpracování půdy bez jejího obracení představuje všeobecně nejjednodušší a nejlevnější způsob pokrytí půdy rostlinnými zbytky. Ale ani zde nemusí být podmínka dosažení požadované pokrývnosti půdy vždy splněna. Pokrývnost půdy slámou a posklizňovými zbytky je závislá na množství slámy. Především u ječmene musíme počítat s menší produkcí slámy. V těchto případech je možné využít kombinaci ponechání slámy na pozemku a provedení výsevu meziplodiny při zpracování pozemku nebo po zpracování. Významnou roli hraje rovněž princip práce kypřičů ve vztahu k typu pracovních nástrojů, hloubka zpracování půdy a míra mísení půdy daným nástrojem.

Minimalizační technologie, což je sloučení několika pracovních operací do jedné, vede k podpoře mineralizace organické hmoty, biologické aktivitě půdy, udržení humusu v půdě. To vše vede k dobré struktuře půdy, která zmírňuje erozi půdy.

Dále se využívá výsev ochranné podplodiny v pásech při pěstování erozně problémových rostlin, jako je například kukuřice. Možné je i využití výsevu obilných pásů (ozimý ječmen) ve směru vrstevnic širokých 1 až 2 m vysetých bezprostředně po zasetí plodiny, vzdálenost jednotlivých pruhů se řídí náchylností pozemku k erozi.

Další možností je přímé setí hlavní plodiny do mulče nevymrzající meziplodiny jako je například žito svatojánské, lesknice kanárská nebo sléz krmný, která byla před jarním setím zdesikovaná (Obr. 9). A nebo setí vymrzajících meziplodin setých po sklizni hlavní plodiny, například svazenka vratičolistá nebo hořčice bílá. Velmi přínosnou vymrzající meziplodinou je svazenka vratičolistá (Obr. 10), která se při mrazech pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ rozpadne celá i s kořeny. Díky jejím silným kořenům, po kterých v půdě zůstanou otvory, tato rostlina velmi příznivě působí na vsakování velkého množství vody. Vhodnost využití meziplodin jako půdoochranného systému se osvědčila pro svůj ochranný efekt pokrytí půdy listovou plochou a během zimy vymrzlými rostlinnými zbytky. Dále dodávkou snadno rozložitelné organické hmoty do půdy, ať už kořenovými zbytky, či nadzemními částmi rostlin, která stimuluje biologické pochody v půdě. Významně se tak ovlivňuje vodní režim půdy znamenající velký přínos z hlediska protierozní ochrany. [1, 6, 13]

Obr. 8 Výsev kukuřice do nevymrzající meziplodiny plodiny žito setého



Zdroj: [29]

Obr. 9 Vymrzající meziplodina svazenka vratičolistá



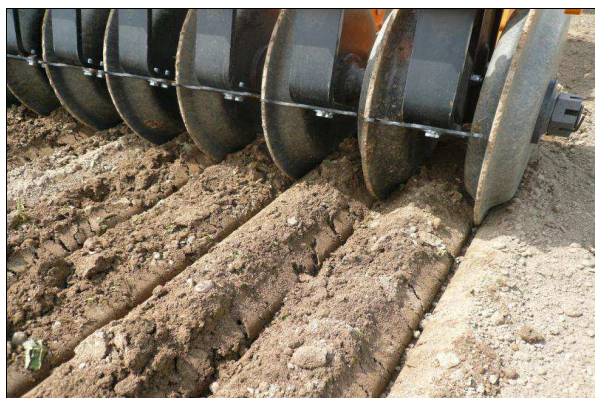
Zdroj: [30]

2.3.2.3 Technická protierozní opatření

Do technických protierozních opatření, která mají za úkol vytvořit podmínky pro akumulaci vody na povrchu pozemku bez rizika plošného odtoku, můžeme zařadit brázdování, jamkování, hrázkování, podrývání a ochranné obdělávání půdy. Zde se jedná o záchytnou kapacitu povrchu půdy pro srážkovou vodu danou reliéfem pozemku.

Cílem brázdování je zastavit odtok pomocí vrstevnicových brázd, které slouží k zasakování vody (Obr. 11). Zastavení a vsakování vody mají zabránit i sítě jamek vytvořené jamkovačem (Obr. 12). Podobný princip jako u brázdování má i hrázkování, nevytváří se však brázda, ale půda se nahrnuje do podoby nízkých hrázek. Podrývání doplňuje tato opatření a má za cíl přímé zvýšení vsakovací schopnosti. [6, 12]

Obr. 10 Příklad válce DD od výrobce SIMBA Great Plains tvořící manšestrový profil, který minimalizuje vodní erozi a zabraňuje vytvoření škraloupu na pozemku



Zdroj: [31]

Obr. 11 Příklad válce Aqueel 2 od výrobce SIMBA Great Plains, který zanechává na povrchu profil s důlky miskovitěho tvaru a minimalizuje tím účinky vodní eroze a zajišťuje lepší vsakování vody



Zdroj: [32]

Obdělávání orné půdy po vrstevnici pomocí vrstevnicové orby je výhodné na mírných svazích, kde povrchový odtok nepřesáhne objemovou kapacitu brázd. Vzniku soustředěného odtoku je možné předcházet tím, že orba důsledně sleduje vrstevnice a brázdy jsou v jejich směru. Dalším uplatnitelným opatřením je vrstevnicové setí (Obr. 13), které na rozdíl od vrstevnicové orby nezpůsobuje výmolvou erozi a rostliny poté zpomalují odtok. Nezpůsobují jeho soustředění z důvodu, že nepředstavují souvislou překážku.

Křovinaté pásy, protierozní pásy a rozdělení půdních bloků jsou vzhledem ke zkrácení délky svahu, k níž při nich dochází, velmi dobrá opatření ke snížení odnosu půdy vodou (Obr.14). Rozdělení pozemku a návrh opatření (průlehy, meze) by měly být navrženy odbornou organizací až po detailním rozboru konkrétní situace. [6, 12]

Obr. 12 Vrstevnicové setí se střídáním plodin

Zdroj: [33]

Obr. 13 Rozdělení pozemku mezemi

Zdroj: [34]

Základním kritériem pro volbu dané technologie zpracování půdy však není pouhá snaha o maximální eliminaci erozních procesů, ale dokonalá analýza všech pozitivních a negativních důsledků daného systému. Zvolená technologie musí být vhodná pro dané půdně klimatické podmínky, zejména z hlediska teplotních a vláhových podmínek stanoviště. Musí respektovat strukturu plodin v podniku z hlediska interakcí mezi předplodinou a následnou plodinou ve vztahu k výživnému a fytosanitárnímu stavu půdy. Zejména u podniků standardně využívajících orební zpracování půdy, které uplatňují půdoochrannou technologii jen na erozně ohrožených blocích nebo jejich částech, by daná technologie měla být postavená na využití stávajícího strojového vybavení. V neposlední míře je se změnou technologie spojena snaha optimalizovat i vstupy do výroby ve vztahu k ekonomice, a to i při možném poklesu výnosu.

Výsledky výzkumu v oblasti vlivu různé hloubky a intenzity zpracování půdy na růst a vývoj plodin a na jejich výnos postupně ukázaly, že pro obilniny i pro některé další plodiny není nutné každoroční hlubší zpracování půdy s orbou. Bylo prokázáno, že pro jednotlivé plodiny existuje určité rozmezí optimálních fyzikálních vlastností půdy, s nárůstem nežádoucího zhutnění se výnos snižuje, na druhé straně dochází k negativnímu vlivu na výnos plodin i při nadměrném nakypření půdy. Na výsledky výzkumu vlivu stavu půdního prostředí na pěstované rostliny postupně reagoval výzkum a vývoj v oblasti zemědělské techniky. Byly ověřeny funkční principy strojů, které mohou splnit požadavky na regulaci hloubky a intenzity zpracování půdy a na kvalitní ukládání osiva do půdy při ztížených podmínkách typických pro minimalizační technologie. Právě vývoj secích strojů pro setí do minimálně zpracované a nezpracované půdy podmiňoval použitelnost netradičních postupů zpracování půdy a zakládání porostů plodin. V současnosti je k dispozici poměrně velký výběr strojů na zpracování půdy použitelných v minimalizačních a půdoochranných technologiích v odlišných půdních podmínkách a při různých nárocích na hloubku a intenzitu kypření půdy a na nakládání s rostlinnými zbytky. Rovněž sortiment secích strojů s různými principy ukládání osiva do půdy umožňuje výběr secích strojů pro tyto technologie s ohledem na půdní podmínky a varianty technologií.

Vzhledem k vysokému zastoupení obilnin v osevních postupech v podmínkách České republiky je dynamika nárůstu uplatnění minimalizačních technologií vysoká. Příznivým jevem je rozšiřování technologie pěstování kukuřice bez orby, která může mít půdoochranný charakter, využívají-li se vhodně meziplodiny. Vývoj v oblasti secích strojů pro setí kukuřice a

slunečnice do mulče z vymrzajících meziplodin přispívá k uplatnění postupů omezujících negativní účinky vodní eroze půdy při pěstování kukuřice.

Na půdách zamokřených, studených, chudých na živiny s nízkým pH, kde není možno použít minimalizační nebo půdoochranné technologie se bude nadále využívat konvenční metody obdělávání půdy, aby se zamezilo rizikosti a případným ekonomickým ztrátám. S orbou je nutno počítat rovněž při zapravování většího množství organické hmoty (chlévkový hnůj, zelené hnojení) do půdy. Hlubší orbou jsou rovněž vynášeny do vrchních vrstev ornice a do kořenové zóny proplavené živiny, např. fosfor, draslík či vápník. [1, 13]

2.3.3 Varianty půdoochranného zpracování půdy ohrožené erozí

2.3.3.1 Systémy plošného zpracování půdy

Do této kategorie jednoznačně spadá redukované zpracování celého povrchu pozemku bez obracení půdy. Jedná se o standardní systémy využívající rozdílné způsoby kypření půdy bez jejího obracení s rozdílnou mírou intenzity mísení půdy a hloubkou zpracování. Zásadní využití zde mají diskové (Obr. 15), radličkové a dlátové kypřiče (Obr. 16). U systémů velmi mělkého zpracování půdy se následně jedná o prutové kypřiče, nebo rozdílné typy kypřících válců. Využitelné jsou rovněž kypřiče určené pro hlubší kypření půdy s minimální funkcí kypření povrchu pozemku. Mulč je zde vytvořen většinou slámou a posklizňovými zbytky předplodiny, případně je při zpracování půdy nebo po něm proveden výsev meziplodiny. Zároveň sem lze zahrnout orební systémy zpracování půdy s výsevem vymrzajících či nevymrzajících meziplodin, používané např. u cukrovky a kukuřice.

Využití mulče meziplodin na oraných pozemcích je spojeno s pomalejším ohřevem půdy a vysycháním horní vrstvy půdy ve srovnání s konvenční technologií, které může vést k opoždění termínu výsevu. Z hlediska požadavků na secí stroje je nutné počítat s vybavením výsevných sekcí odstraňovači posklizňových zbytků. Technologie plošného zpracování půdy mají v současné době nejširší uplatnění a jsou vhodné do většiny půdně klimatických podmínek v rámci České republiky, včetně systémů hospodaření v oblastech s nedostatkem srážek. [13]

Obr. 14 Diskový podmítač



Zdroj: [35]

Obr. 15 Dlátový kypřič



Zdroj: [36]

2.3.3.2 Hrůbkové zpracování půdy

Hrůbkové technologie představují rozdílné systémy z hlediska intenzity zpracování půdy a pokryvu rostlinnými zbytky. Základem je tvorba hrůbků vejčitého tvaru s posklizňovými zbytky, které se nacházejí na stěnách hrůbků a mezi hrůbky, nebo mírně nahrůbkované půdy se zaměřením na ovlivnění vodního a vzdušného režimu v orničním, případně podorničním profilu. Standardní technologie hrůbkového pěstování širokořádkových plodin vychází z vytvoření vejčitého hrůbku o výšce v rozmezí 80 až 130 mm. Rostlinné zbytky omezují erozi půdy do výsevu plodiny. Pokryv rostlinných zbytků se pohybuje v rozmezí 30 až 50 %. Odstranění rostlinných zbytků z vrcholu hrůbku a jeho plochý vrchol přispívají k podpoře vsakování vody do půdy. Navýšené hrůbky mají přispět na jaře k rychlejšímu ohřevu půdy. Intenzita ohřevu však závisí na množství rostlinných zbytků, které snižují evaporaci (vypařování vody) a zvyšují reflexi záření. V těchto systémech se počítá i s víceletou přítomností hrůbků na pozemku.

Druhým způsobem zpracování půdy přiřaditelným k hrůbkové technologii pěstování širokořádkových plodin je tvorba mírně navršených hrůbků při hlubším kypření půdy za účelem dobrého ohřevu půdy a vysychání půdy v jarním období. V důsledku hlubšího kypření půdy je však pokryvnost půdy rostlinnými zbytky nižší. [13]

2.3.3.3 Pásové zpracování půdy

Jedná se o zpracování půdy v pruzích ve směru řádků vysévané plodiny, jehož plošný podíl nepřesáhne více než jednu čtvrtinu povrchu pozemku. Technologie je v současné době využitelná pro většinu širokořádkových plodin, zejména pro kukuřici a slunečnici. Ověřovány jsou podobné systémy pro obilniny a řepku, tedy pásový způsob zpracování půdy a setí do nezpracované půdy. V důsledku ponechání rostlinných zbytků v meziřádcích a nezpracování půdy je zajištěna protierozní ochrana půdy a zároveň dochází k lepšímu zásobení rostlin vodou během vegetace, zejména v oblastech s nedostatkem srážek. Nakypření půdy vede ke zlepšení půdních podmínek pro vývoj rostlin v řádcích, vyšší teplota a kvalitněji připravené seťové lůžko. Podzimní aplikace hnojiv do řádku plodiny a jarní aplikace hnojiv při výsevu zvyšují efektivitu jejich využití a snižují jejich spotřebu na jednotku plochy. V rámci technologie lze rozlišit dva základní systémy lišící se šířkou nakypřeného pásu a hloubkou zpracování půdy. Jednak se jedná o tvorbu pásu bez reziduí rostlin o šířce ± 15 cm s hloubkou zpracování půdy mezi 10 až 20 cm se současným uložením hnojiva. Případně pásů širokých ± 20 cm, hloubka zpracování půdy se však pohybuje v rozmezí 2,5 až 5 cm a pro zpracování půdy se využívá například rýhovaných kotoučů.

Pásové zpracování půdy lze provést buď na podzim nebo na jaře. O jeho termínu rozhodují především půdní podmínky. Tvorba řádků na podzim umožňuje rychlejší ohřev půdy ve zpracovaných pásích půdy na jaře a brzké oschnutí půdy umožní vytvoření dobrého seťového lože při časných výsevech. Jarní termín zpracování může zpozdit termín výsevu a je spojen s tvorbou vlhčího, chladnějšího a hrudovitějšího seťového lože. Jarní zpracování však může být výhodné na lehčích půdách.

Určitou variantou je frézové zpracování půdy v pásích, které se opět využívá při výsevu širokořádkových plodin. Pomocí půdních fréz umístěných před výsevními sekcemi zde

dochází k mělčímu zpracování půdy při výsevu plodiny, mnohdy v kombinaci s aplikací neselektivního herbicidu. Toto zpracování lze dobře využít na pozemcích, kde se ještě v termínu výsevu nachází například porosty nevymrzajících meziplodin. [13]

2.3.3.4 Setí do nezpracované půdy

Základem setí do nezpracované půdy je eliminace porušení prostorového uspořádání půdy a minimalizace narušení povrchu pozemku s pokryvem rostlinných zbytků při výsevu (Obr. 17). Ve vztahu k vysévané plodině (šířka řádků) a typu secí botky dochází přibližně k 10 % narušení povrchu půdy. Jedná se o dlouhodobě diskutované a české odborné veřejnosti dobře známé technologie, vhodné jak pro plodiny vysévané do úzkých řádků, tak pro širokořádkové plodiny. Využitelnost systémů je jednoznačně závislá na půdně klimatických podmínkách. Z hledisek podmínek České republiky se spíše jedná o nižší polohy s menším množstvím srážek a vyšší průměrnou teplotou vzduchu. Tuto technologii lze spíše považovat za vhodnou do extenzivních systémů pěstování plodin, vycházejících z potřeby rychlého a levného osetí velké výměry půdy při nižším výnosu plodiny. V rámci evropského zemědělství však nelze, za současných podmínek kladených na produktivitu systémů, počítat s jeho širším uplatněním v praxi. [13]

Obr. 16 Přímé setí do nezpracované půdy



Zdroj: [37]

2.3.4 Agrotechnické opatření pro erozně náchylné rostliny

U agrotechnických protierozních opatření je účelné volit pěstitelské technologie, které zkracují období, kdy je půda bez vegetačního pokryvu. Důležité je také využívání rostlinných zbytků předplodin a meziplodin ke snížení povrchového odtoku vody. Rizikem při využívání půdoochranných technologií na principu ponechání rostlinných zbytků je fakt, že mohou být přenašečem chorob.

V technologiích ochranného zpracování půdy není používán radličný pluh, ornice tedy není při zpracování obrácena. Šetrného kypření, které přispívá k vytvoření a udržení stabilní struktury půdy, je dosahováno zejména pasivními kypřicími nástroji, v případné kombinaci se secím strojem. Doporučenou zemědělskou technikou s pasivními kypřicími nástroji vyhovující tomuto standardu jsou radličkové kypřiče, například se šípovými odřezávacími radličkami, dlátové kypřiče, prutové kypřiče, kombinované kypřiče pouze s pasivním pracovním ústrojím a talířové kypřiče za předpokladu omezeného zapravování rostlinných zbytků do půdy. [6]

2.3.4.1 Kukuřice

Podmínky zemědělské výroby v České republice jsou charakterizovány vyšším zastoupením půd na svažitých pozemcích. Více než 53 % výměry půd v České republice je na pozemcích s průměrnou svažitostí větší než tři stupně. Svažitost pozemků v kombinaci s lehkou půdou a rozšiřujícím se pěstováním ploch kukuřice, jako typické širokořádkové plodiny, z důvodu výstavby bioplynových stanic představuje zvýšené riziko vzniku vodní eroze.

Pěstování kukuřice je z hlediska vodní eroze jednou z nejrizikovějších činností zemědělské výroby. Vodní eroze při pěstování kukuřice může způsobit trvalé a nevratné škody na zemědělské půdě. Riziko spojené s erozními událostmi sice není možné eliminovat, lze jej však vhodnými agrotechnickými opatřeními významně snížit. Agrotechnickými protierozními opatřeními rozumíme zejména uplatňování půdoochranných technologií zpracování půdy. [9, 15]

2.3.4.1.1 Technologie zakládání porostu kukuřice na siláž do mulče z vymrzající meziplodiny po obilnině

Tato technologie je založena na náhradě orby podmínkou, po které je proveden výsev meziplodiny. Před setím meziplodiny může být provedeno kypření pro zpracování ztuhlého profilu. Kypření lze provést dlátovými kypřiči. Protierozní účinek lze zvýšit využitím podrcené slámy obilnin jako ochranného mulče. Na jaře se provede likvidace plevelů a následné setí kukuřice se provádí přesnými secími stroji určenými pro setí do mulče (Obr. 18). Spolu se setím je vhodné aplikovat hnojiva, pokud to secí stroj umožňuje.

Obr. 17 Kukuřice vysetá do mulče



Zdroj: [1]

U varianty s využitím meziplodiny na zelené hnojení je kukuřice zařazena po časně sklizené plodině, je vhodné dlouhé meziorostní období využít pro pěstování meziplodiny na zelené hnojení, například vikev s ovsem. Biomasa se na podzim rozdrť mulčovačem na vhodnější větší části, tak aby bylo využito protierozního účinku mulče. Rozdrčená biomasa se talířovým podmítačem částečně zapraví do půdy. Pro zachování protierozní funkce je nutné zanechat větší část biomasy na povrchu. Na jaře se provede v konvenčních systémech aplikace neselektivního herbicidu nebo kypření. Pak následuje setí přesným secím strojem spolu s aplikací minerálních hnojiv, pokud to secí stroj umožňuje. [6]

2.3.4.1.2 Setí ochranné podplodiny v pásech a v meziřadí kukuřice

Tato technologie je založena na principu výsevu plodiny do meziřadí hlavní plodiny (Obr. 19). Provádí se výsev ozimého ječmene do každého druhého meziřadí kukuřice. Výsev ječmene se provádí současně se setím kukuřice po vrstevnicích, přičemž je k tomu potřeba speciální secí stroj. Ozimý ječmen je zvolen z důvodu, že při setí na jaře nevymetá a tím nekonkuruje kukuřici.

Další variantou je výsev ozimé obilniny na jaře do pásů s odstupem 20 až 40 metrů ve směru vrstevnic. Následně je zaseta kukuřice. V místech, kde je kukuřice seta do pásů obilniny, je vhodné zvolit vyšší výsevek. [6]

Obr. 18 Podsev jetele plazivého a jílku mnohokvětého v porostu kukuřice



Zdroj: [12, 13]

2.3.4.2 Cukrová řepa a brambory

2.3.4.2.1 Technologie zakládání porostu cukrové řepy do mulče z vymrzající meziploidy

Cukrovku není vhodné pěstovat na pozemcích ohrožených erozí. V případě, že je nutné zařadit pěstování cukrovky na tyto pozemky, je vhodné provést její výsev do mulče z vymrzající meziploidy. V této technologii se provádí aplikace fosforu a draselných hnojiv před setím meziploidy současně s předset'ovou přípravou. Vhodné je vysetí meziploidy svazenky vratičolisté nebo hořčice bílé do konce srpna, tak aby vytvořila dostatek nadzemní hmoty, která potlačuje plevel a váže do své biomasy živiny, čímž omezuje jejich vyplavování. Na jaře se provede setí spolu s aplikací dusíkatých hnojiv. [6]

2.3.4.2.2 Technologie sázení brambor s využitím mulče

Technologie je založena na principu vytvoření hrůbků na podzim a osetí meziploidy. Stejně jako u cukrovky platí, že by se brambory neměly pěstovat na svažitéch pozemcích. Po sklizni předchozí hlavní plodiny se na strniště aplikují fosfor a draselná hnojiva spolu s organickým hnojem a zapraví se hlubokou podmínkou. Poté následuje hrůbkování s vysetím meziploidy, např. hořčice. Na jaře se provede likvidace plevelů a sázení brambor do hrůbků s rostlinnými zbytky na povrchu. Podmínkou pro tento postup je upravený sazeč brambor se speciálním kotoučovým krojidlem pro každý hrůbek.

Další možností je využití hrázkování. Příprava půdy a setí brambor se provedou klasickým postupem a po výsadbě se udělá speciálním strojem hrázkování. To spočívá ve vytvoření hrázek v meziřadí s pravidelným rozstupem. Hrázky v meziřadí zabraňují odtoku vody. [6]

2.3.4.3 Obilniny

2.3.4.3.1 Technologie zakládání porostů obilnin po kukuřici a okopaninách

Po sklizni okopanin je půda v erozně ohroženém stavu, proto je nutné provést rychle výsevek, například ozimé pšenice. Zařazuje-li se po sklizni cukrovky jarní ječmen, je vhodné využít minimální zpracování půdy, aby nebyl porušen protierozní účinek rozdrčeného chrástu na povrchu půdy. [6]

2.3.4.3.2 Technologie setí ozimé obilniny po obil. nebo řepce s využitím mělké podmínky

V podmínkách vyššího ohrožení půdy erozí lze používat technologii mělkého zpracování půdy. V této technologii dochází k mělkému prokypření povrchové vrstvy kypřičem, který je vybaven radličkami s potlačeným mísícím efektem půdy a rostlinných zbytků. Kypření se provádí co nejdříve po sklizni, tak aby byly vytvořeny podmínky pro časné vzejití výdrolu a plevelů. Před setím ozimé obilniny je vhodné jej zopakovat. Setí se provádí secím strojem umožňujícím setí do částečně zpracované půdy. [6]

2.3.4.3.3 Technologie setí jarního ječmene po obilnině nebo řepce bez orby s využitím strniskové meziplodiny

Pro zkrácení meziporostního období, kdy je půda bez vegetačního pokryvu, lze využít protierozního účinku meziplodiny. Meziplodinu lze pěstovat v takovém případě, kdy je mezi sklizní hlavní plodiny a setím následné hlavní plodiny dostatečné časové období pro její růst a vývoj. Setí meziplodiny je vhodné provést do mělce podmítnutého strniště. Lze použít podmítací stroj doplněný o jednoduchý secí stroj, kdy je setí provedeno současně při podmítce. Jako strnisková meziplodina se používá hořčice bílá nebo svazanka vratičolistá.

Strnisková meziplodina chrání půdu před erozí narušováním půdní struktury podzimními dešti a současně ve své biomase akumuluje živiny. Pro setí ječmene jarního je nutné použít secí stroj umožňující setí do mulče. Setí lze doplnit o aplikaci minerálních hnojiv. [6]

2.4 ZHUTŇOVÁNÍ PŮDY PŘEJEZDY ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY A ZPŮSOBEM ZPRACOVÁNÍ PŮDY

V české terminologii bychom měli odlišovat termín „zhutňování půdy“ ve smyslu nežádoucího jevu od „utužování půdy“, což je cílený agrotechnický zásah prováděný válením.

Zvyšování produktivity práce a snižování nákladů na pracovní operace v zemědělství umožňují zvyšující se výkony motorů traktorů, samojízdných strojů a zvyšující se nosnost dopravních prostředků. Na druhé straně se u těchto strojů zvyšuje hmotnost, zvyšuje se zatížení na nápravy a tím se zvyšuje riziko nežádoucího zhutnění půdy. Uvádí se, že průměrná hmotnost a výkon zemědělských strojů se oproti dřívější době zvýšil trojnásobně a maximální zatížení pneumatik narostlo až šestkrát (Obr. 20). Na zhutňování půd se také významně podílí doprava po poli, dále nedokonalé zpracování půd nevhodnými stroji, stejná hloubka orby, vstupy mechanizačních prostředků na pole při vysoké vlhkosti.

Je obecně známo, že vlhká a případně nakypřená půda je k nežádoucímu zhutnění náchylná mnohem více než půda v sušším nakypřeném stavu. Řada operací, zejména příprava půdy, setí, přihnojování a ochrana v jarním období nebo sklizeň některých plodin, spadá do období, kdy je zranitelnost půdy vyšší. Rovněž na zavlažovaných plochách a intenzivních provozech je riziko nežádoucího zhutnění velmi vysoké. Na souvratích je potom četnost přejezdů a zejména opakování přejezdů ještě významnější. Zhutnění je jedním z hlavních problémů moderního zemědělství a dnes představuje celosvětový problém.

Zhutněním dochází k poškozování půdní struktury, k růstu objemové hmotnosti půdy a tím k poklesu její pórovitosti. Zemědělská technika ovlivňuje zhutnění půdy zejména působením podvozků na půdu prostřednictvím pneumatiky nebo pásu. Odvalující se pneumatika způsobuje deformaci plastického podloží. Z hlediska intenzity zhutnění je rozhodující kontaktní tlak pneumatiky na půdu, který je dán napětím mezi půdou a pneumatikou, které působí kolmo na povrch půdy v ploše otisku. Se vzrůstajícím tlakem huštění u stejně zatížené pneumatiky roste i tlak na půdu. Při zvětšené vlhkosti půdy se zatížení přenáší až do podloží, kde způsobuje trvalé deformace. Také dochází k prokluzu kol, které způsobují smykové namáhání půdy.

Použití moderních pneumatik a možnosti proměnlivého huštění je jednou z technických řešení snižování zhutnění půdy. Další cestou je uplatnění moderních pěstebních technologií, které ovlivňují strukturu půd danou stupněm zpracování a počtem pojezdů po půdě. [2, 5, 11, 15]

Obr. 19 Současné moderní výkonné traktory pro těžké polní práce



Zdroj: [38, 39]

2.4.1 Důsledky zhutňování půdy

Zhutňování půdy má za následek zvýšení objemové hmotnosti půdy, snížení pórovitosti (především nižší objem nekapilárních pórů) a při vyšším stupni působí destrukci půdních agregátů. To vede ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností půdy, např. k omezené propustnosti půdy pro vodu, způsobuje změny v obsahu vody v rámci půdního horizontu a ovlivňuje její pohyb v půdě. Současně ovlivňuje relace mezi obsahem vzduchu (deficit kyslíku v kořenovém prostoru) a teplotou půdy. Zhutnění se dále projevuje zvýšením redukované objemové hmotnosti, zvýšením penetračního odporu půdy a omezením rychlosti růstu kořenů rostlin, jejich prodlužování a prorůstání do spodních vrstev půdy. Zhutnění půdy způsobené přejezdy těžkou mechanizací, které se odráží ve výnosech plodin, je možné pozorovat i po více let. Zhutnění podorničí způsobené nadměrným zatěžováním je často nevratné, případně velmi obtížně napravitelné.

Uvádí se, že až 30 % výkonu motoru traktoru je absorbováno do půdy ve formě jejího zhutnění, což navyšuje potřebu tahové síly o čtvrtinu. Oddělení jízdních stop od plochy bez jejich působení na půdu by představovalo účinný prostředek ke snížení energetické náročnosti zpracování půdy. Uvádí se, že nárůst energetické náročnosti zpracování půdy v důsledku předchozích přejezdů činí 25 až 40 %. Polovina výkonu motoru traktoru se tak může zmařit při kypření stop mechanizačních prostředků. Jinak řečeno, polovina výkonu motoru se podílí na degradaci půdy.

Při vyšším zhutnění půdy se omezuje zejména půdní mezoedafon, tvořený dešťovkami a členovci, kteří jsou spolutvůrci drobtovité struktury půdy. Ti vytvářejí chodbičky, vylučují stabilizující látky pro tvorbu půdních drobtů. Tím zvyšují pórovitost a propustnost půdy pro vodu a vzduch. Mikroedafon, tvořený zástupci jednobuněčných organismů, především bakterií a prvoků, patří převážně mezi aerobní organismy. Jejich rozvoj je podmíněn nejen dostatečnou zásobou organických látek v půdě, ale i dobrou provzdušeností a vlhkostí. Půdní mikroedafon se podílí na důležitých procesech přeměn organických i minerálních látek, tj. humifikace, oxidace amoniaku, ale i železa, síry, manganu, rozkladu síranů, dusičnanů. Ve zhutnělých neprovzdušených půdách je aktivita mikroedafonu značně omezena a důsledkem je klesající kvalita půdního humusu, okyselování půdního prostředí a jeho kontaminace agrochemikáliemi. Biologicky činná půda je podmínkou intenzivního a vyváženého příjmu živin a jejich vysoké mobilizace rostlinami. Je zjištěno, že při nadměrném zhutnění půdy tj. při hodnotách objemové hmotnosti nad $1,6 \text{ g/cm}^3$ u středně těžkých půd se značně snižuje efektivnost hnojení, přičemž se zejména projevuje nedostatek dusíku.

Nadměrné lokální rozdíly ve zpracovatelnosti půdy na jednom pozemku v důsledku zhutnění mají za následek zhoršení kvality zpracování půdy, nedodržování agrotechnických lhůt a požadavků na uložení osiva do půdy při setí i zhoršení podmínek pro tvorbu vyrovnaných porostů plodin. Mezi negativními důsledky patří snížení výnosu plodin, zvýšení nákladů na následné zpracování půdy popřípadě nesprávné operace i další nepříznivé důsledky, zejména zhoršená propustnost půdy pro vodu, zvýšené riziko vodní eroze půdy na svažitých pozemcích. [2, 5, 15, 16]

2.4.2 Opatření vedoucí ke snížení zhutňování půdy

Zhutnění půdy je vždy nutno posuzovat z několika úhlů. Kromě penetračního odporu a objemové hmotnosti je nutno sledovat obsah vody a to vše konfrontovat s výnosy plodiny. Také organická hmota u těchto variant působí pozitivně na půdní vlhkost a na zhutnění. Jako určité vodítko k posouzení zhutnění půdy mohou sloužit i praktická pozorování, např. louže nevsakující se vody na pozemcích po deštích, na jaře pomalé lokální osychání půdy, mělké zakořeňování plodin, např. tvorba celerovitých bulev cukrovky, zvýšená energetická náročnost (větší odpor) při obdělávání půd. V současnosti jsou stále častěji používány systémy zpracování půdy, které jsou technologicky a ekonomicky méně náročné. Je nutné zvolit takové zpracování půdy, vytvářející vhodné podmínky pro založení porostu, pro optimální růst a pro dosažení kvalitního výnosu.

Minimalizační a zejména půdoochranné technologie zpracování půdy jsou jedním z možných přínosů k omezení nežádoucího zhutňování půdy. Při správném využívání těchto technologií lze očekávat větší únosnost půdy při přejezdech mechanizačních prostředků po pozemcích, což spolu s dalšími opatřeními může přispět k ochraně půdní struktury. Vychází se přitom ze skutečnosti, že intenzivně nakypřená půda do větší hloubky, zejména orbou s překlápěním skýv (Obr. 21), je velmi náchylná k opětovnému zhutnění při přejezdění strojů. Cílem by mělo být dosažení stabilní a odolné strukturní stavby ornice a podorničí, což souvisí s péčí o půdní prostředí v půdoochranných systémech.

Další možností, jak omezit nežádoucí zhutňování půd, které je s přejezdy spojováno, je soustředění přejezdů po půdě do trvalých kolejových stop, nebo-li CTF (Controlled Traffic Farming). Do nich by mělo být soustředěno maximum přejezdů, přičemž by měla být produkční plocha ušetřena stlačováním pojezdovými ústrojími.

Na druhou stranu je jisté, že se zavedením soustředěných jízd dojde k navýšení počtu opakovaných přejezdů. Avšak takto vzniklé permanentní stopy mají přínos v tom, že zajistí vhodné podmínky pro vstup na pole, zlepší sjízdnost po pozemku a je dosahováno nižších hodnot valivého odporu kol a také umožňují dřívější vstup na pozemky. S rozvojem možností zaměřování polohy v systému GPS (Global Positioning System) je reálné navigovat strojní soupravy při jízdách po pozemcích s dostatečnou přesností. Farmáři, kteří uplatňují stálé kolejové stopy, uvádějí snížení potřeby tahové síly a lepší sjízdnost kolejových řádků a často potvrzují úsporu času a materiálových vstupů o deset až dvacet procent.

Kromě příznivého vlivu soustředěných přejezdů do trvalých stop na výnos plodin je spatřován přínos řízených přejezdů i v oblasti vodního režimu půd. Bylo zjištěno, že odtok vody z pozemků, kde byl uplatněn systém stálých kolejových stop, byl o 36 % nižší než na pozemcích se standardními přejezdy. Důležitá je orientace kolejových stop na svažitých pozemcích. [1, 2, 15]

Obr. 20 Orba pluhem



Zdroj: [40]

2.4.2.1 Agrobiologická opatření vedoucí ke snižování zhutnění půdy

Za vhodná agrobiologická opatření v soustavě hospodaření na půdě, která vedou k prevenci a ke snižování zhutnění půdy se považuje dostatečné hnojení půdy kvalitními organickými hnojivy, vápnění půdy a udržování optimální hodnoty pH půdy, omezené používání fyziologicky kyselých minerálních hnojiv a hnojiv s obsahem jednomocných kationtů. Dále také využívání plodin, které působí kořenovým systémem na tvorbu drobtovité struktury půdy a přispívají k omezování zhutnění půdy.

V soustavě hospodaření na půdě stále sehrává mimořádnou úlohu struktura plodin. Platí zde základní vztahy mezi zastoupením jednotlivých druhů plodin, jejich střídáním v osevních postupech, úrodností, zpracováním půdy a produkčními faktory, především hnojením. Pěstované plodiny zaujímají z hlediska zhutnění půd dvojí postavení. Z jedné strany samy rostliny působí nejen množstvím biomasy kořenového systému, ale i nepřímo produkcí nadzemní biomasy, různým způsobem příznivě na stav půdy, zejména na fyzikální a biologické vlastnosti. [1, 16]

2.5 ZATĚŽOVÁNÍ PŮDY PŘEJEZDY POJEZDOVÝMI ÚSTROJÍMI ZEMĚDĚLSKÉ MECHANIZACE

2.5.1 Technické systémy pojezdových ústrojí zemědělských strojů

Pohyb traktorů a ostatních zemědělských strojů je uskutečňován přenosem točivého momentu spalovacího motoru na pojezdové ústrojí, které musí být pro splnění podmínky pohybu ve stálém kontaktu s podložkou (Obr. 22). Každý pohyb traktoru vyvolává v půdě napětí způsobující negativní změny především pórovitosti a měrné hmotnosti půdy, které se projeví změnami vodního režimu. Ke zhutnění půdy dochází tehdy, jestliže zatížení přenášené podvozkem traktoru nebo stroje překračuje okamžitou únosnost půdy. Čím má půda menší únosnost, tím více se kolo zabořuje. Zatěžující plocha se zatlačí do půdy tak hluboko, dokud se nevyrovná nosná schopnost půdy s vnějším zatížením.

Zejména traktory a sklizňová technika zažívá během posledních deseti let nebývalý nárůst výkonnosti. S tímto trendem logicky souvisí nárůst vlastní a celkové hmotnosti strojů. Na druhou stranu rostou požadavky na techniku z pohledu měrného tlaku na půdu, nízkého valivého odporu a co nejvýhodnějšího rozložení celkové hmotnosti na jednotlivé nápravy, respektive konstrukční podvozkové skupiny.

Kromě výše uvedených požadavků, které souvisí s pohybem traktorů a samojízdných strojů a souprav na zemědělských plochách, jsou kladeny vysoké požadavky také na přepravu po pozemních komunikacích. Je to zejména s ohledem na celkovou přepravní šířku strojů na straně jedné a na nepoškozování asfaltových, betonových či jiných druhů zpevněných povrchů na straně druhé.

Technických možností, kterými lze snižovat negativní zhutňování půdy a uvedené požadavky, je několik. První možností je snížení tlaku vzduchu v pneumatice. Dalšími možnostmi jsou snížení zatížení přenášené kolem, dvoumontáž obou náprav, používání flotačních pneumatik, zvětšení šířky a vnějšího průměru pneumatik nebo použití pásového podvozku s pásy vyrobenými z pevné technické dostatečně vyztužené pryže. [8, 14]

Obr. 21 Technické systémy pojezdových ústrojí traktorů

Zdroj: [41, 42, 43, 44]

2.5.1.1 Pneumatiky

Pneumatika tvoří spojovací článek mezi podložkou a traktorem (Obr. 23). Přenáší hmotnost traktoru a připojeného nářadí, hnací a brzdící momenty a boční síly na podložku. Současně je důležitým členem v pružící soustavě, kdy velkou měrou přispívá ke komfortní jízdě. Proto musí být pneumatice věnována velká pozornost, neboť sebelepší konstrukce traktoru může mnoho ztratit například na tahových vlastnostech díky nevhodné volbě pneumatik.

Použití moderních pneumatik a možnosti proměnlivého huštění je jednou z technických řešení snižování ztuhnutí půdy. [8]

2.5.1.2 Pásový podvozek

Velká hmotnost traktorů, neustálé zvyšování výkonů motorů a malá průchodnost terénem byl hlavní důvod pro vytvoření pásového podvozku (Obr. 24), který má větší styčnou plochu pásů a menší kontaktní tlak na podložku než pneumatiky. Tak se stal pásový podvozek jedním z řešení, jak účinněji přenést výkon motoru na podložku a současně snížit negativní účinky vyšší hmotnosti na půdu. Současně se splnil požadavek transportní šířky do 3 m, což s kolovým podvozkem, případně dvojmontáží nebylo možné.

Konstrukce podvozku dnešních pásových traktorů je řešena jako rámová (dělený rám) nebo polorámová s mohutnou skříní převodovky a zadního mostu. V současné době se používá dvou koncepcí pásového podvozku se dvěma (Obr. 25) nebo čtyřmi pásovými jednotkami (Obr. 26). Tomu je také přizpůsobeno uspořádání převodových ústrojí a řízení traktoru. Točivý moment motoru je přiveden přes převodovku a rozvodovku na zadní most a odtud na dvě pásové jednotky. V případě čtyř pásových jednotek se točivý moment z převodovky rovnoměrně rozděluje na obě hnací nápravy a rozvodovkou, diferenciálem a koncovými převody. Pásová jednotka přenáší hnací sílu motoru na podložku. [8]

Obr. 22 Velkoobjemové pneumatiky

Zdroj: [45]

Obr. 23 Pásový podvozek

Zdroj: [46]

Obr. 24 Traktor s dvěma pásovými jednotkami

Zdroj: [47]

Obr. 25 Traktor se čtyřmi pásovými jednotkami

Zdroj: [48]

2.5.1.3 Volba pneumatik nebo pásového podvozku pro sklízecí mlátičky

Trendy v konstrukci sklízecích mlátiček v posledních deseti letech charakterizují růst pracovních záběrů obilných žacích váľů a kukuřičných adaptérů všech konstrukcí. Ty tam jsou doby, kdy byl v případě mlátičky považován pracovní záběr okolo šesti metrů pomalu za strop a kapacita zásobníku zrna činila 5 000 až 6 000 litrů, tzn. 4 000 až 4 800 kg pšenice. V současnosti představují běžný pracovní záběr žací váľy o šířce okolo 7,5 metrů, výkonnější modely se dnes standardně dodávají se záběrem okolo 9 metrů. Řada výrobců nabízí žací váľy i o záběru 10 až 12 metrů, přičemž se tyto záběry začínají prosazovat také v podmínkách českého zemědělství. S růstem pracovních záběrů souvisí rovněž růst objemu zásobníku zrna. Nejvýkonnější modely dnes nabízí standardní objem 10 500 až 12 500 litrů, což představuje 8 400 až 10 000 kg zrna. Různé nástavce mohou zvětšit objem například až na 14 000 litrů a více, tedy na 11 200 kg pšenice. Vezmeme-li v úvahu hmotnost adaptéru o záběru 9 metrů, která činí podle konstrukce v základním provedení 2 000 až 3 000 kg, a připočteme dalších 8 500 až 10 000 kg v násypce a samotnou hmotnost sklízecí mlátičky, která může dosáhnout až 18 000 kg, je na první pohled zřejmé, že zatížení přední nápravy sklízecí mlátičky je značné. Stejný vývoj se dá zaznamenat i v oblasti řádkových adaptérů pro sklizeň zrnové kukuřice, kdy se běžně setkáváme s modely pro sklizeň 6 až 8 řádků. Nejvýkonnější mlátičky pracují s adaptéry pro sklizeň 12 řádků a existují varianty i pro více řádků. Proto se v souvislosti s kukuřičnými adaptéry používají komponenty vyrobené z odolného plastu snižující celkovou hmotnost.

Z výše uvedených údajů je patrné, že volba vhodného obutí a typu podvozku hraje obrovskou roli, a to i s ohledem na práci za ztížených podmínek, kdy je nutné mít dostatečnou trakci. Kola přední nápravy se u nejvýkonnějších modelů mlátiček dodávají s pneumatikami o šířce 650 až 700 mm, setkáváme se však se šířkou pneumatik na úrovni 800 až 900 mm, některé typy obutí nabízejí šířku přesahující 1 000 mm (Obr. 27). Nesmí zapomenout ani na obutí zadní nápravy. U výše zmíněné kategorie mlátiček se používají pneumatiky široké 500 až 700 mm.

Vzhledem na dostatečnou trakci a nízký měrný tlak na půdu, a to i při zachování legislativou pro provoz na pozemních komunikacích daných rozměrů, se u sklízecích mlátiček v posledních letech začínají stále častěji objevovat podvozky s pryžovými pásy. V naprosté většině případů je sekcemi pásových podvozků s pásy o šířce 650 až 750 mm nahrazena přední

náprava, používají se i pásy do šířky 900 mm. Zadní říditelná náprava si zachovává klasickou koncepci (Obr. 27). [14]

Obr. 26 Kolový nebo pásový typ podvozku na přední hnané nápravě sklízecí mlátičky



Zdroj: [49, 50]

2.5.2 Navigační systémy v zemědělství

Dnes se již v mnoha zemědělských podnicích v České republice denně přesvědčují, že využití GPS systémů (Global Positioning System) od manuálních navigací až po autopiloty přináší významné úspory do ekonomiky rostlinné výroby. To je však teprve začátek. Využití GPS systémů skrývá nevídané možnosti v řízení celé rostlinné výroby.

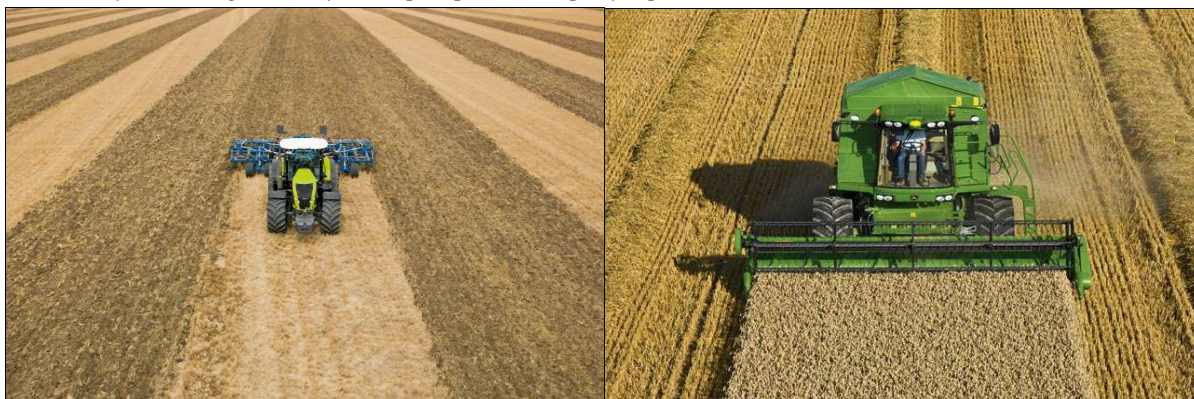
Využití přesných autopilotů je jednoznačně opatřením snižujícím náklady a zvyšujícím výkonnost zemědělské techniky. Zároveň umožňuje plánování a zpřesnění pojezdů, což přináší úspory pohonných hmot, omezení zbytečně aplikovaných přípravků a hnojiv a i snížení ztuhnutí půdy méně častými přejezdy. Dalším přínosem je také snížení únavy řidiče, kdy navigační systém zmenšuje úsilí potřebné k udržení správné trasy stroje.

Autopiloti jsou nejvyšší možností využití GPS navigačního systému. Jejich systém je plně zabudován v hydraulice řízení traktoru nebo samojízdného stroje, což umožňuje okamžitou reakci podvozku na pokyny navigačního systému a tedy i například zvládnutí jízd po křivkách. Není tedy například nutné provádět setí jen rovně. Systém autopilota, na rozdíl od nižších forem řízení, obsahuje i kontrolní mechanismy. Jako jsou čidla natočení kol, korekce náklonu stroje na svazích, což může způsobit odchylky od dráhy pojezdu. Dále je možnost umístění druhého autopilota přímo s anténou na tažený stroj, aby za pomoci hydraulicky ovládaných disků koordinoval jízdu soupravy při skluzu přípojného stroje na svazích. Tyto systémy dnes u nás využívají například bramboráři pro sázení sazeči o širokém záběru. Využití autopilotů je možné při všech polních pracích, ovšem jejich význam je hlavně u prvopočátku sezóny, tedy setí a sázení. Téměř absolutně přesné založení porostu a vytvoření kolejových řádků bez překryvů, které se jinak postupně ke kraji pozemku načítají, znamená úspory nejen při setí samotném, ale i při následných kultivačních pojezdech dalších strojů v přesných kolejových řádcích. Setí je základ, ale lze například vytvořit řádky senáže pomocí autopilota, které pak sbírá řezačka opět řízená autopilotem. Řidič se tak nemusí věnovat řízení, ale koordinovat pojezd řezačky a odvozního prostředku, kde pak nedochází ke ztrátám hmoty a zvyšuje se výkonnost linky.

Navigační systémy lze využít při setí a sázení, přípravě půdy a orbě, plečkování, chemické ochraně rostlin včetně automatického ovládní sekcí, které u nás zaznamenalo velký úspěch, hnojení včetně přesného do řádků, ale i při sklizni, kdy docílíte maximálního využití záběru (Obr. 28). Bez podpory navigačního systému se neobejde ani systém stálých kolejových řádků nebo účinné protierozní opatření v podobě obhospodařování půdy po vrstevnicích, pásového střídání plodin nebo setí do hrůbků. To vše jsou činnosti, kde můžete využít GPS navádění včetně autopilotů s přesností RTK (Real Time Kinematic), u které se díky korekčnímu signálu dosahuje přesnosti $\pm 2,5$ cm.

V základu se dají autopiloti využít pro zakládání porostů, přípravy půdy, kultivaci, sklizňové práce apod. Již to je obrovský příspěvek k ekonomice podniku a dá se zaznamenat velmi slušná návratnost. Nicméně pokud je ve stroji GPS řízení, modem a ještě třeba výnosový počítač, naskýtá se mnoho dalších možností celkově už zabírajících komplexní řízení rostlinné výroby, nebo-li precizní zemědělství. [1, 2]

Obr. 27 Využití navigačního systému při zpracování půdy a při sklizni sklízecí mlátičkou



Zdroj: [51, 52]

2.5.3 Řízená organizace přejezdů zemědělské techniky

V současnosti nabývá na významu možnost soustředit nutné přejezdy zemědělské techniky po pozemcích do vymezených stále stejných kolejových stop s cílem uchovat převažující část produkční plochy pozemků bez negativního vlivu působení pojezdových ústrojí. Tento systém řízeného pohybu strojů po pozemcích se nazývá CTF (Controlled Traffic Farming) a je v současnosti považován za perspektivní i díky tomu, že jsou k dispozici satelitní navigační systémy, které zejména při použití referenční stanice umožňují dosahovat potřebné přesnosti pro zajišťování všech pracovních operací. Kromě technologie zpracování půdy orbou, kde systém stálých kolejových stop nelze použít.

Lze tak dosáhnout úspor pohonných hmot, úspor při organizaci práce, snížení opotřebení součástí vlivem efektivnějšího využívání strojů, ale také snížení psychické zátěže řidičů zemědělských strojů. Kromě nesporných ekonomických výhod je zde také vidět evidentní příspěvek k ochraně půdy, neboť se zhutňují stále stejné koleje a ostatní plocha zůstává nestlačená. Důsledkem je pak výrazné zlepšení půdní struktury, zvýšení úrodnosti a vododržnosti půdy.

Bylo zjištěno, že v rámci orebné technologie byla celkově přejetá plocha okolo 95,3 procent. Dále bylo 145,6 procent už jednou přejeté plochy přejeté minimálně dvakrát. Při

uplatnění minimalizační technologie bylo přejeté zhruba 72,8 % plochy pozemku. Opakované přejezdy se rovnaly 44,8 procent. Pro přímé setí se rovnala hodnota přejeté plochy 55,7 %. Opakovaně bylo přejeté 18,4 %. Četnost přejezdů klesá s uplatněnou technologií zpracování půdy. I tak zůstávají v omezování zatížení půdy pojezdovými ústrojími značné rezervy.

S přechodem na systém stálých kolejových řádků došlo ke snížení plochy, která byla vystavena účinku pojezdových ústrojí mechanizace na 37,6 procent při pracovním záběru 4 metry a 31,3 procent při záběru 8 metrů. I když pojezdová ústrojí traktorů a sklízecí mlátičky nejsou konstruovaná s ohledem na využití v systému CTF, větší rozchod kol sklízecích mlátiček než rozchod kol traktorů, i tak bylo dosaženo relativně příznivé situace. S použitím modulu pracovního záběru strojů například 9 m, by bylo reálné snížit plochu kolejových stop na 20 až 25 % plochy pozemku. To představuje významné snížení poježděné plochy pozemku oproti konvenčnímu způsobu jízd po pozemcích.

Uplatnění systému trvalých jízdnicích stop v praxi je však dosud spojeno s řadou problémů. Vyhovujícím způsobem je vyřešeno přímé navádění strojů do paralelních jízd. Díky korekcím využívaným právě ze sítí referenčních stanic s korečním signálem RTK je možné vést pracovní soupravy v řádcích s přesností $\pm 2,5$ cm. Důležité a technicky náročné je sladění rozchodu náprav a pracovních záběrů strojů, což je nákladné, ne však neuskutečnitelné. Rozchod kol by měl být přizpůsoben strojům pro sklizeň. Traktory používané v systému trvalých jízdnicích stop jsou vybaveny speciálními nastavci na obou nápravách, aby se docílilo požadovaného rozchodu kol, který odpovídá rozchodu kol samojízdnicích sklízeců. Technické řešení stejného rozchodu pneumatik nebo pásů by mohlo představovat hlavní překážku. Na druhou stranu je možné uplatňovat uvedený systém s kombinací rozdílného rozchodu kol, ve kterém především sklízecí představují jedinou výjimku v porovnání s traktory a ostatními stroji. [1, 2, 10, 11]

2.5.3.1 Zavedení systému CTF v praxi

Přechod do systému CTF z konvenčního systému zpracování půdy vyžaduje o práci více přemýšlet a dodržovat kázeň. Farmář musí přestat o poli přemýšlet jako o volné ploše vhodné k přejezdům křížem krážem, když je spěch, půda se musí stát „posvátnou“ a musí o ní být pečováno s největší možnou péčí. Často vzniká dojem, že začít používat CTF systém je nákladné, ale realita přináší úsporu času, energie, práce, pohonných hmot a investic do strojů. Více myslet a lépe plánovat, znamená snížit náklady.

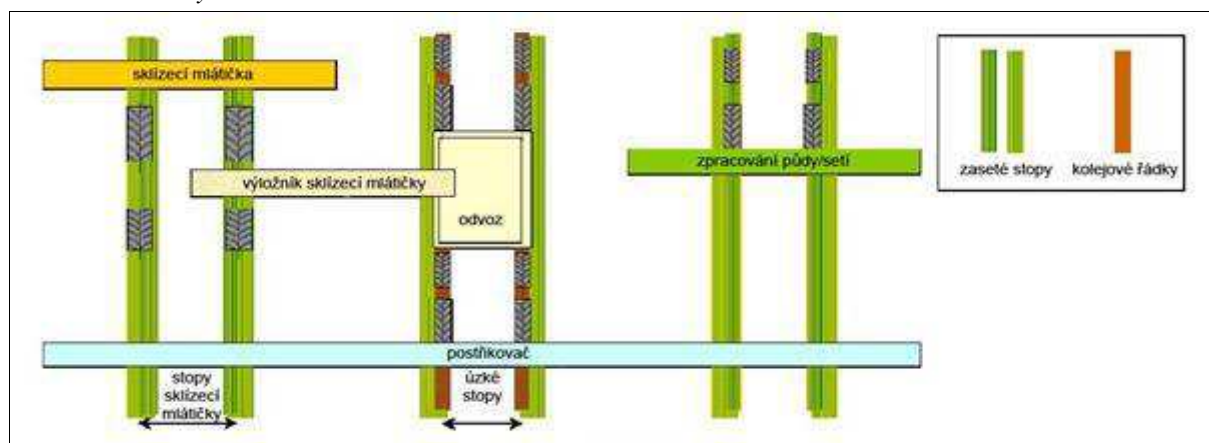
Prvním krokem přechodu na CTF je inventarizace stávajících strojů, tzn. co máme, jak se tyto stroje osvědčí a kolik jich bude potřeba v budoucnosti, kdy bude půda potřebovat jen minimální kultivaci. Většina systémů CTF je vytvořena pro standardní šířku stop, z nichž dva jsou zobrazeny na obrázku 29 a 30. Na prvním obrázku je zobrazen systém OutTrac, při kterém jsou stopy sklízecí mlátičky na vnější straně společných úzkých stálých stop pro ostatní stroje, pracovní šířka strojů a nářadí je stejná. Na druhém obrázku je systém AdTrac, který pracuje se dvěma šířkami kolejí a společnou šířkou nářadí. To je používáno, jestliže není možné překrytí stop jako u systému OutTrac.

Protože stroje nejsou doposud konstruovány zcela v souladu se systémem CTF, existuje řada omezení. Hlavně nestejný rozchod kol na nápravách traktorů a sklízecích mlátiček a různá šířka pneumatik, kdy sklízecí mlátička má větší rozchod kol a širší pneumatiky. Jinou cestou

ke snížení plochy přejezdů je výběr užších pneumatik, ale s větším průměrem, provozní zatížení unesou.

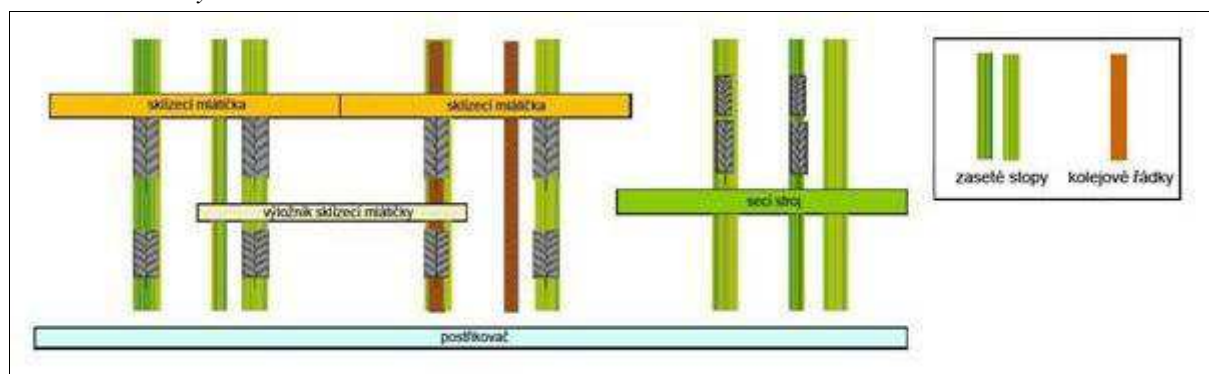
Dalším krokem v systému CTF je problém jak udržet stroje při práci na poli v tom samém místě přejezdu rok co rok. Přesto, že i ti nejpečlivější farmáři toho mohou dosáhnout pomocí fyzických znaků (strom, sloup či jiná značka na poli), realitou je satelitní navigační systém, který dosahuje vysoké přesnosti s minimálním úsilím řidiče. Ti nejpreciznější farmáři již tuto technologii využívají k minimalizaci překrývání záběrů, ale CTF potřebuje něco více. Zásadní je, že kolejové řádky zůstávají na stejném místě rok co rok a jen systém CTF s korekčním signálem RTK (Real Time Kinematic) je schopen zajistit danou polohu kolejových řádků s přesností $\pm 2,5$ cm každý rok. Stále přibývají možnosti jak šířit korekční signál RTK, buď lze použít vlastní RTK stanici, sdílet této stanice se svými kolegy v rámci jedné lokality, využívat síť mobilních operátorů nebo internet pomocí WiFi technologií. Všechny jmenované systémy mají svá pro a proti, ale přinášené technologie mají za úkol zlepšit a dodat více univerzálnosti a rozšířenosti pro každodenní použití a samozřejmě snižovat náklady. [1]

Obr. 28 CTF se systémem OutTrac



Zdroj: [2]

Obr. 29 CTF se systémem AdTrac



Zdroj: [2]

2.5.4 Precizní zemědělství

V posledních letech se v rostlinné výrobě začíná prosazovat trend hospodaření označovaný jako precizní zemědělství. Jestliže standardní zemědělství považuje pole za homogenní prostředí, tak precizní zemědělství vychází z toho, že různé části jednoho pole mohou být rozdílné a tomu je třeba přizpůsobit i jejich obdělávání. Existuje několik definic precizního zemědělství, někdy také označované jako lokálně cílené hospodaření, ovšem z technického hlediska lze říci, že se jedná o aplikaci moderních informačních technologií v zemědělské rostlinné výrobě.

Podstatou precizního zemědělství je metoda pěstování plodin, při které je místo na pozemku obděláváno s rozdílnou hladinou vstupů závisících na výnosovém potenciálu plodiny na daném místě pozemku a na základě znalostí variability daného pole. Výhodami precizního zemědělství jsou především snížené náklady na produkci a nižší riziko znečištění životního prostředí větší aplikací chemických látek. Variabilita v rámci jednoho pozemku se objevuje jako přirozený výsledek například rozdílů v půdní struktuře, hnojení, topografii a možném zastínění. Rozdíly v půdní struktuře rovněž způsobují variabilitu a mají vliv na dostupnost hnojiv.

Důležitou předzvěstí variability pozemků jsou rozdíly v půdní struktuře způsobené zhutněním půdy. Zhutnění půdy koly zemědělských strojů má širokou škálu negativních dopadů, jako jsou snížení výnosů, velké energetické nároky, špatná příprava seťového lože, snížení infiltrace vody do půdy, nekvalitní odvodnění a ztráta půdní fauny. Protože k zhutnění dochází většinou náhodně, způsobuje velké rozdíly ve struktuře půdy a tedy zvyšuje variabilitu pozemku. Řízený pohyb strojů řeší tento problém omezováním zhutněné plochy pozemku na co nejmenší hodnotu, která je daná plochou vytvořených permanentních jízdních pruhů. To vytváří na pozemku přejížděné a nepřejížděné zóny, ve kterých je půdní variabilita daná více přirozenými vlastnostmi půdy než uměle nechtěně vytvořenými nadměrnými přejezdy.

Pro účely precizního zemědělství jsou například využívány výnosové mapy vytvářené dnešními moderními sklízecími mlátičky, které jsou vybavené navigačními systémy a měřením výnosu sklizené plodiny během sklizně. Spojením těchto dvou informací a jejich grafickým znázorněním se dá vytvořit výnosová mapa daného pozemku. Což je jeden z výstupů precizního zemědělství, který se dá následně například využít při variabilním hnojení pozemku s rozmetadlem, které dokáže variabilně dávkovat hnojivo. [2, 7]

3 METODIKA A POPIS STANOVIŠTNÍCH PODMÍNEK

3.1 METODIKA POKUSŮ U DANÝCH TECHNOLOGIÍ ZPRACOVÁNÍ PŮDY

Pokusy určené ke sledování infiltračních vlastností půdy byly založeny v roce 2009 po sklizni řepky ozimé, pokračovaly v roce 2010 s pšenicí ozimou a byly ukončeny na podzim roku 2011 po sklizni ječmene jarního. Celková výměra pokusného pozemku činila 6,7 ha a byl rozdělen podle uplatňované technologie zpracování půdy na jednotlivé části (Obr. 31).

Infiltrační vlastnosti půdy byly porovnávány u čtyř technologií zpracování půdy. První hlavní variantou zpracování půdy byla orba radličným pluhem. U této technologie činila celková plocha pozemku přejetá technikou alespoň jednou za sezónu téměř 70 %.

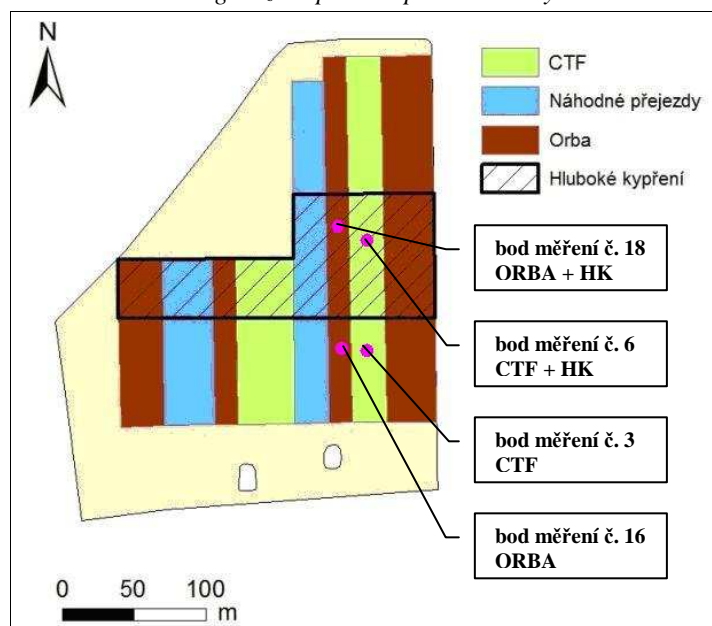
Druhou hlavní technologií zpracování půdy byl systém CTF (Controlled Traffic Farming). U této metody nebyla půda zpracovávána orbou, ale pouze kypřením dlátovými kypřiči s tím, že pohyb strojů po pozemku byl řízen a organizován do stálých kolejových stop. Pracovní záběr strojů byl zvolen v modulu čtyř metrů nebo jeho násobků (Obr. 32). U tohoto systému činila celková plocha přejetá pneumatikami zemědělské techniky okolo 37 %. Pro navigaci traktorů a sklízecí mlátičky do jednotných kolejových stop byla použita navigace značky Trimble s korekcí signálu RTK s přesností $\pm 2,5$ cm (Obr. 33).

Třetí variantou, u které byla porovnávána infiltrace vody do půdy, byla orba s počátečním hlubokým kypřením.

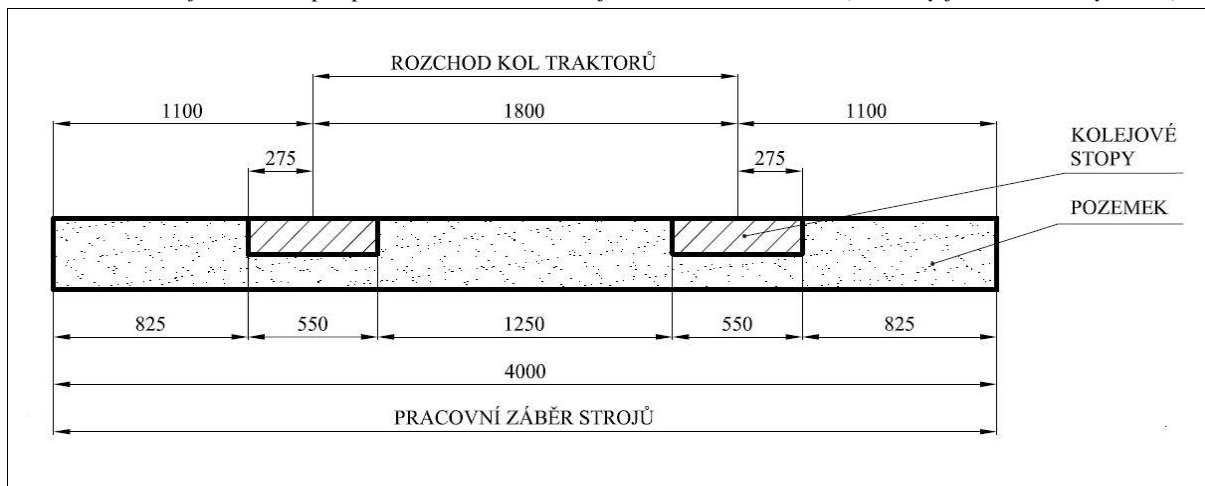
Poslední technologií byla metoda CTF s počátečním hlubokým kypřením. Hluboké kypření bylo provedeno na části pokusného pozemku před založením samotných pozemků hlubokým kypříčem Techmagri (Obr. 34).

Přehled jednotlivých pracovních operací a použitých zemědělských strojů během sezóny v prvním a druhém roce jsou vypsány v Tab. 1. [2]

Obr. 30 Schéma organizace polního pokusu s body měření



Zdroj: autor

Obr. 31 Schéma jízdních stop a pracovních záběrů strojů v modulu 4 000 mm (rozměry jsou zobrazeny v mm)

Zdroj: autor















Obr. 32 Navigace Trimble EZ Guide 500 s asistovaným řízením EZ Steer

Zdroj: [53]

Obr. 33 Hlubkový kypřič Techmagri

Zdroj: [54]

Tab. 1 Soupis všech vstupů traktorů s půdozpracujícími stroji a sklízecích mlátiček na pokusný pozemek

1. ROK			2. ROK		
kypření do hloubky 0,15 m	traktor Fendt 824 Vario		kypření do hloubky 0,15 m	traktor John Deere 8100	
	radličkový kypřič Farnet Duolent - pracovní záběr 4 m			radličkový kypřič Farnet Duolent - pracovní záběr 4 m	
předse- ťová příprava a setí	traktor John Deere 8100		orba do hloubky 25 cm	traktor John Deere 8100	
	kombinace vířivého kypřiče a secího stroje Kverneland Accord Pneumatic DA-C - pracovní záběr 4 m			pluh Kverneland PV 100 - 8 radlic (pracovní záběr 2,8 - 4 m)	
sklizeň	sklízecí mlátička Sampo - pracovní záběr 4 m		kypření do hloubky 0,10 m	traktor John Deere 8100	
				předseťový kombinátor Farnet Kompaktomat K800 - pracovní záběr 8 m	
			předse- ťová příprava a setí	traktor John Deere 8100	
				kombinace vířivého kypřiče a secího stroje Kverneland Accord Pneumatic DA-C - pracovní záběr 4 m	
sklizeň	sklízecí mlátička John Deere				

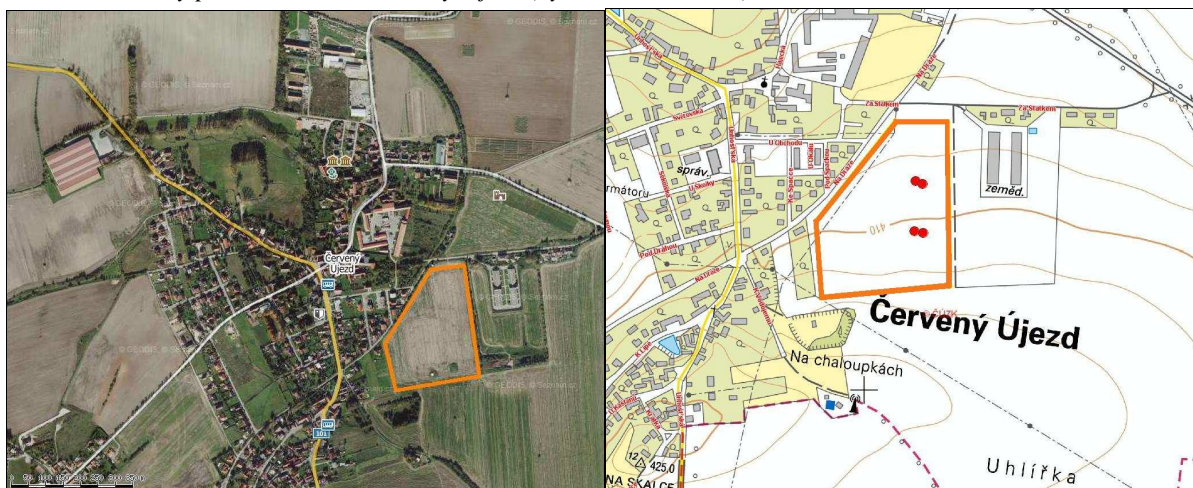
Zdroj tab.: autor

Zdroj obr.: [55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62]

3.2 POPIS STANOVIŠTNÍCH PODMÍNEK

Pokusný pozemek, kde se měřila rozdílná intenzita zatěžování půdy pojezdovými ústrojími zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy, byl založen v lokalitě obce Červený Újezd (Obr. 35). Obec Červený Újezd se nachází v okrese Praha - západ ve Středočeském kraji ve vzdálenosti 10 km od okraje Prahy. Oblast spadá do klimatické oblasti mírně teplé, mírně suché a převážně s mírnou zimou. Na pozemku je cenný genetický půdní typ hnědozem modální. Základní charakteristika pozemku je uvedena v Tab.2.

Obr. 34 Pokusný pozemek v obci Červený Újezd (vyznačen oranžově)



Zdroj: [63]

Tab. 2 Základní charakteristika pozemku a půdního profilu

půdní typ	hnědozem modální	
druh půdy	jílovitohlinitý	
GPS souřadnice pozemku	severní šířka	50°04'08.6'' N
	východní délka	14°10'11.3'' E
nadmořská výška	410 m	
zastoupení částic v půdě	jíl	46,30 %
	prach	41,10 %
	jemný písek	7,90 %
	písek	4,40 %

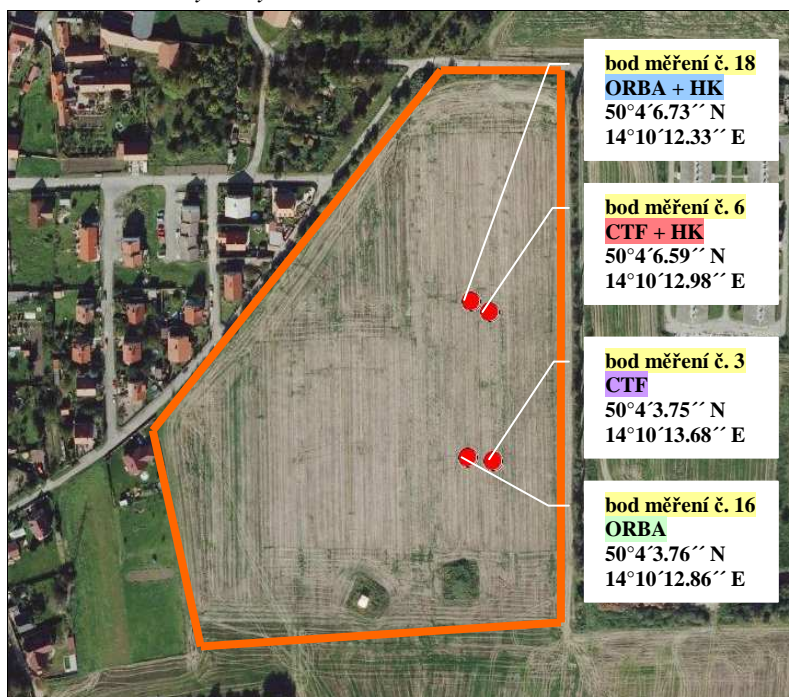
Zdroj: autor

3.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH BODŮ MĚŘENÍ

Z celkových 24 bodů byly pro hodnocení infiltrační schopnosti půdy v závislosti na technologii zpracování půdy vybrány 4 měřicí body. Polohu vybraných měřicích bodů i s GPS souřadnicemi znázorňuje Obr. 36.

Prvním bodem, u kterého se začalo měřit, byl bod č. 18 u něhož byla uplatňována orba a počáteční hluboké kypření před založením pokusů. Druhým stanovištěm byl bod č. 6, který se nacházel na místě pozemku, kde byla uplatňována metoda CTF a počáteční hluboké kypření půdy. Třetím měřicím místem byl bod č. 3, kde se také uplatňovala organizace řízených stop CTF, ale pozemek nebyl před začátkem pokusů prokypřen do hloubky. Posledním měřeným bodem byl bod č. 16, který se nacházel v místě kde se půda zpracovávala orbou. Dalšími operacemi u každého systému zpracování byly předset'ová příprava, setí, sklizeň sklízecí mlátičkou a po sklizni následovala podmítka. Měření se u každého měřicího bodu uskutečnilo dvakrát a to mimo stopu kolejí a ve stopě kolejí, ve kterých přejížděla daná zemědělská technika.

Obr. 35 Poloha vybraných měřicích bodů



Zdroj: [63]

4 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ INFILTRACE VODY DO PŮDY

4.1 PŘÍPRAVA A ZÍSKÁNÍ FOTOGRAFICKÝCH DAT Z INFILTRACE VODY PŮDY

Příprava pro získání hodnot z infiltrace vody do půdy proběhla na pokusném pozemku v Červeném Újezdu dne 28.11.2011. K určení množství vody a k vizualizaci pohybu vody v půdě byla použita metoda infiltrace modře obarvené vody a následná obrazová analýza. Tato metoda přináší přehled o distribuci a o podobě makropórů, dále zobrazuje cestu vody v půdě a horizont zadržetí vody při různém způsobu zpracování půdy. Na povrch půdy byl pro jednotlivé měřicí body, pro každý s variantou mimo stopu traktorů a ve stopě, aplikován 0,3 % roztok potravinářského barviva modré barvy s vodou v množství 10 litrů na plochu 0,24 m², která byla ohrazena plechovým rámem (Obr. 37). Doba vsakování byla 24 hodin. Druhý den 29.11.2011 byly u všech čtyř bodů se dvěma variantami vykopány jámy o rozměrech 70 cm široké, 100 cm dlouhé a 50 cm hluboké, celkem tedy osm jam (Obr. 37). Poté byly u každé varianty v oblasti vsáknuté obarvené vody odkryto pět profilů v tloušťce přibližně po 8 cm. Každý odebraný profil se upravil, přiložil se k němu rámeček a jeho dané číslo a vyfotil se digitálním fotoaparátem (Obr. 38).

Obr. 36 Vsáknutý 0,3 % roztok modrého barviva s vodou v měřicím bodu a vykopané jámy



Zdroj: autor

Obr. 37 Úprava a focení odkrytého profilu



Zdroj: autor

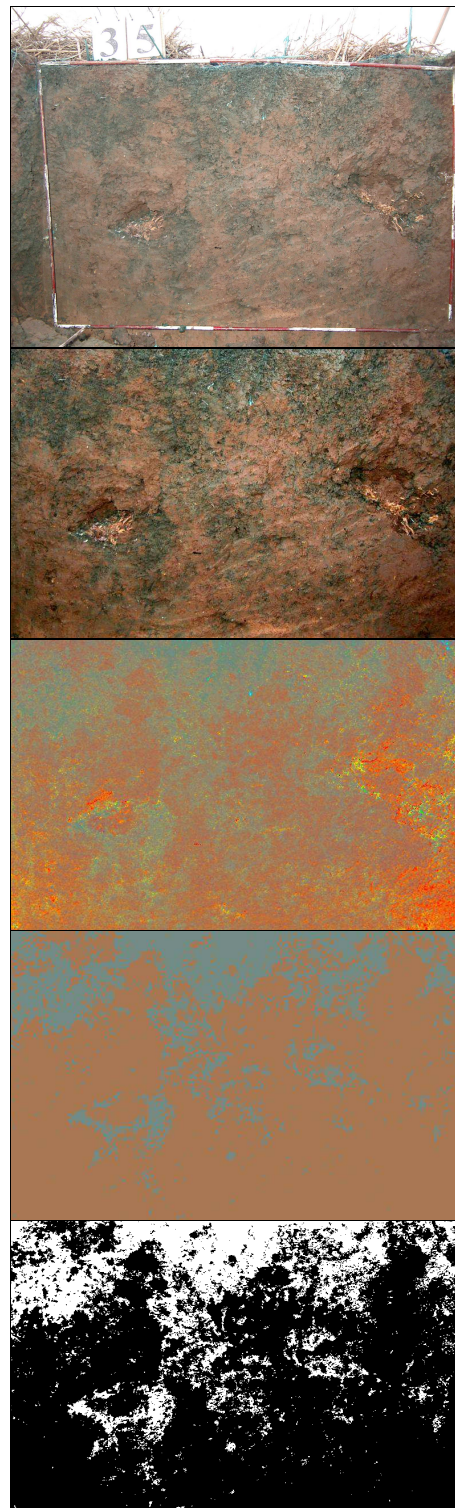
4.2 ZÍSKÁNÍ HODNOT INFILTRACE VODY DO PŮDY Z OBRAZOVÉ ANALÝZY

Získané a očíslované fotografie z odkrytých půdních profilů jednotlivých bodů měření, které se lišily systémem a způsobem zpracování půdy, jsou uvedeny v Tab. 3. Přenesené fotografie z digitálního fotoaparátu do počítače se nejprve upravily v programu Photo Studio 5, kde byly fotografie oříznuté na velikost rámečku 60 x 40 cm. Byl přidán kontrast, ubrán jas, zmenšeny na velikost 800 x 512 pixelů a uloženy z formátu JPEG do BMP s 24 bity.

Následně byl spuštěn program BMPTOOL v režimu 256 barev. Fotografie byly v programu otevřeny přes toto menu → File → Open → BMP-True Color. Po otevření byla spuštěna funkce → Calculate → Special → Equal → HLS → Lightness a nastaveny hodnoty IN = 0 a OUT = 127. Tím se fotografie převedla do jiného zobrazení barev. Dále byla spuštěna funkce Calculate → Special → Color Detection → Digital a tím se zobrazila tabulka. V tabulce byla nastavena pro POINT 1 hnědá barva, která se označila na fotce. To samé i pro POINT 2, kde se označila modrá barva. Poté byly v tabulce nastaveny pro jednotlivé barvy R, G, B a LEVEL hodnoty tak, aby upravený obrázek co nejvíce připomínal skutečnou vyfocenou fotografii. Hodnota DISTANCE byla nastavena na hodnotu 512. Po nastavení program dopočítal zastoupení modré a hnědé barvy v jednotlivých řádcích a sloupcích fotografie a uložil to v textovém souboru. Během ukládání byl nastaven počet pixelů horizontálně a vertikálně na 16. Postupné zpracovávání fotografie je zobrazeno na ukázce v Obr. 39.

Nakonec byl spuštěn program BLUEPIX vytvořený v programu Microsoft Excel, ve kterém byla nastavena v buňce E7 cesta ke složce, ve které byly uloženy textové soubory jednotlivých fotografií. Do prvního sloupce byly také zapsány názvy daných textových souborů. Po zmáčknutí tlačítka s modrým nápisem Anzahl Felder bestimmen byly dopočteny hodnoty, které byly zadány do sloupce s označením Spalten a Zeilen. Po dalším zmáčknutí na tlačítko s červeným nápisem Felder zusammenfassen byly dopočteny hodnoty se

Obr. 38 Postupné zpracování fotografie



Zdroj: autor

zastoupením modré a hnědé barvy v jednotlivých řádcích fotografie po pěti centimetrech. Nakonec byly hodnoty přeneseny do nového souboru programu Microsoft Excel, kde byly tyto hodnoty vyjádřeny v procentech.

Tab. 3 Jednotlivé body měření s očíslovanými fotografiemi

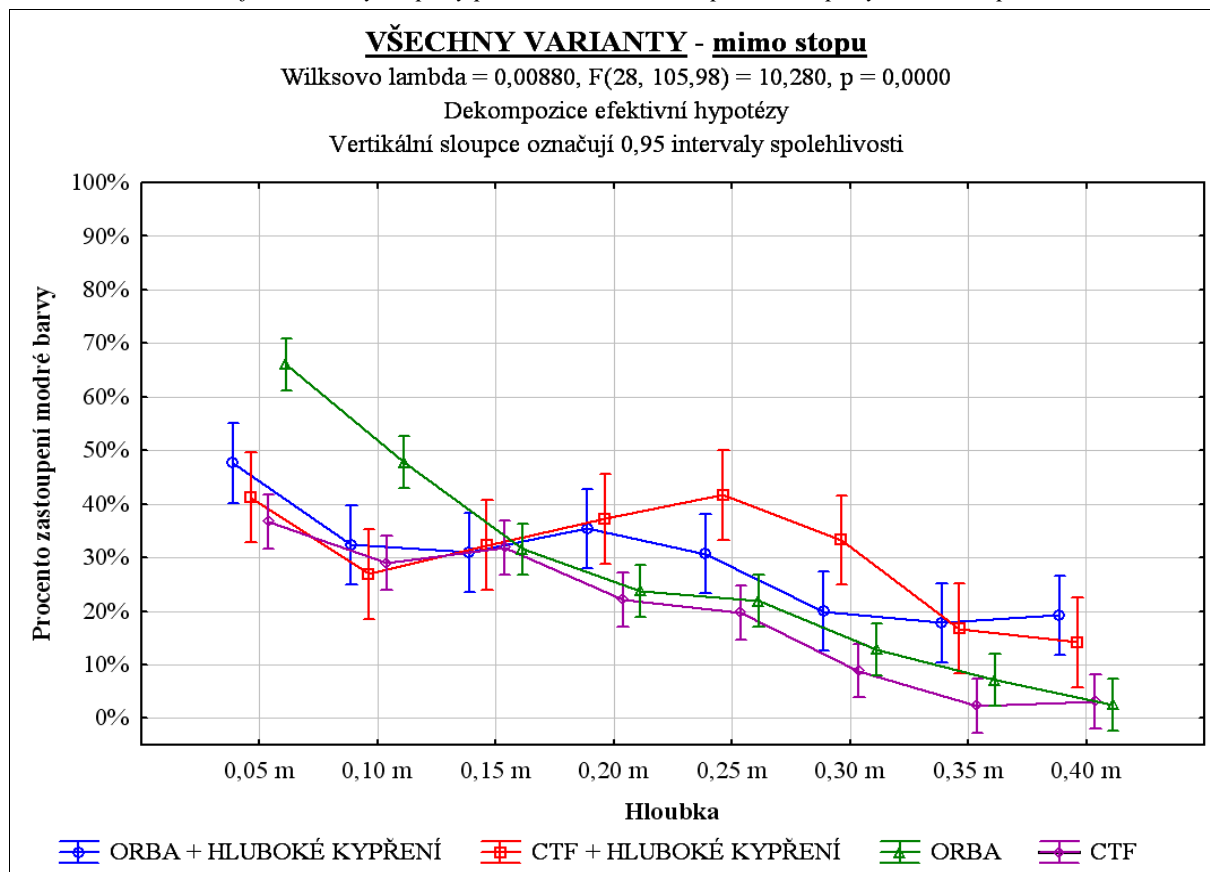
bod měření č. 18	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ	
	mimo stopu	ve stopě
čísla fotografií:	1, 2, 3, 4, 5	6, 7, 8, 9, 10
bod měření č. 6	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ	
	mimo stopu	ve stopě
čísla fotografií:	11, 12, 13, 14, 15	16, 17, 18, 19, 20
bod měření č. 3	CTF	
	mimo stopu	ve stopě
čísla fotografií:	21, 22, 23, 24, 25	26, 27, 28, 29, 30
bod měření č.16	ORBA	
	mimo stopu	ve stopě
čísla fotografií:	31, 32, 33, 34, 35	36, 37, 38, 39, 40

Zdroj: autor

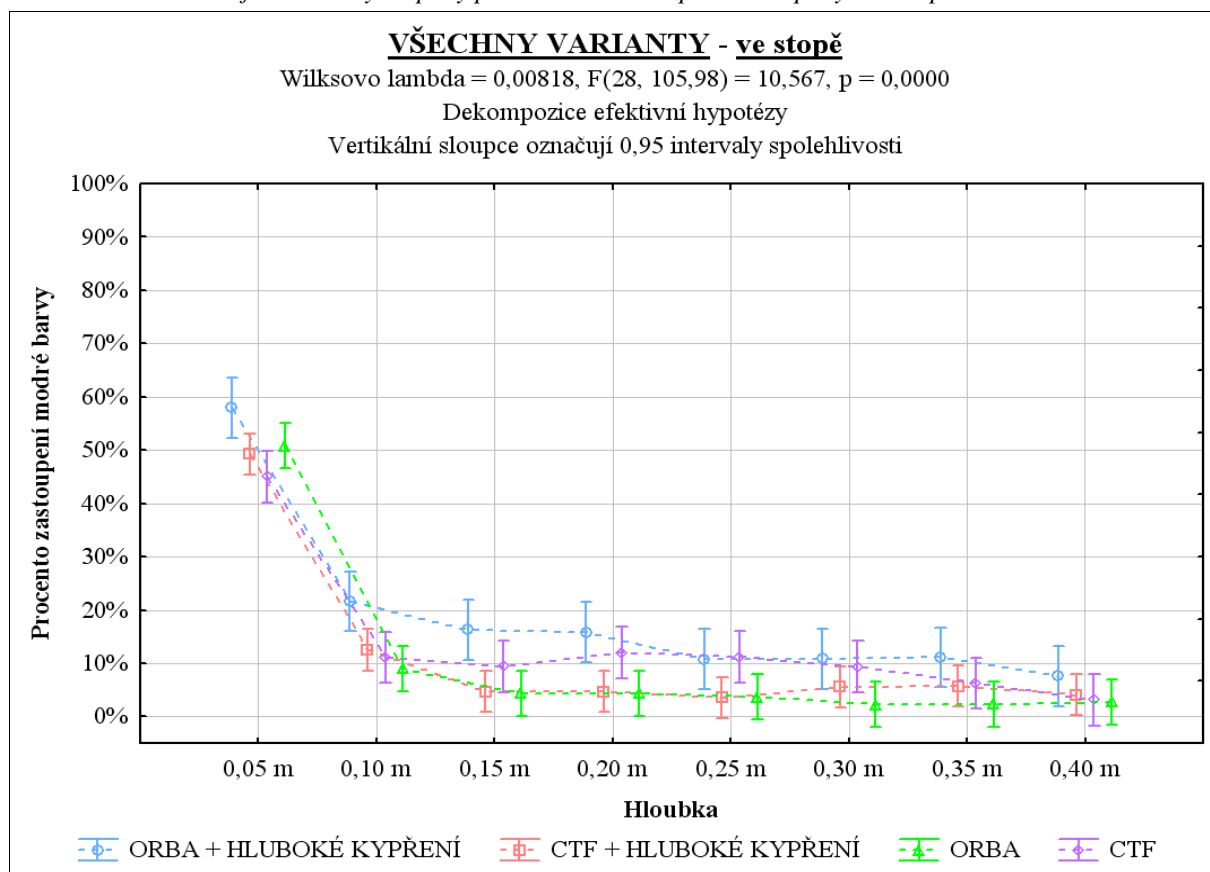
4.3 METODIKA HODNOCENÍ INFILTRACE VODY DO PŮDY

Naměřené hodnoty procentního zastoupení obarvené modré vody vsáknuté do půdy u jednotlivých systémů zpracování jsou uvedeny v Tab. 4 (Příloha 1.2). Následně byla všechna data zpracována graficky a statisticky pomocí programů Microsoft Excel a Statistica. V těchto dvou programech byly vytvořeny grafy pro jednotlivé varianty zpracování půdy a také grafy porovnávající metody zpracování půdy mezi sebou. Všechny grafy jsou uvedeny v Příloze 1.3. Například Grafy 13 a 14 znázorňují porovnání procentního zastoupení vsáknuté vody do půdy pro všechny varianty zpracování půdy mimo stopu a ve stopě. Dále bylo provedeno vyhodnocování analýz rozptylu zastoupení modré obarvené vody vsáknuté do půdy u daných metod zpracování půdy (Příloha 1.4). Důležitým předpokladem analýz rozptylu je homogenita rozptylů pro všechny varianty faktoru, tedy varianty hloubky. Z tohoto důvodu byly testy homogenity rozptylu taky provedeny a jejich výsledky jsou uvedeny v Tab. 13 (Příloha 1.5).

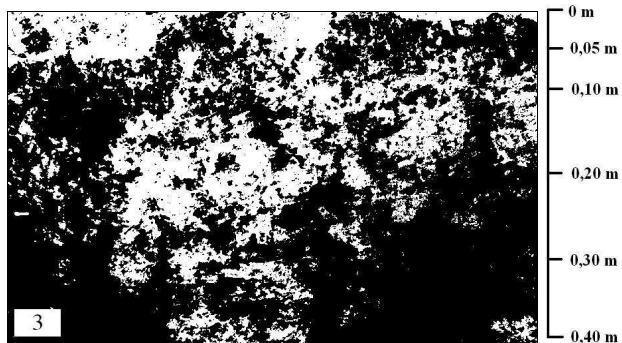
Obrázky 40 až 47 znázorňují infiltraci vody do půdy u daných technologií zpracování půdy. Bílá barva představuje vsakující se obarvenou modrou vodu a černá značí půdu. Všechny ostatní analyzované snímky jsou zobrazeny v černobílé barvě v Příloze 1.1.

Graf 13 Porovnání infiltrace vody do půdy při všech variantách zpracování půdy - mimo stopu

Zdroj: autor

Graf 14 Porovnání infiltrace vody do půdy při všech variant zpracování půdy - ve stopě

Zdroj: autor

Obr. 39 Orba + hluboké kypření - mimo stopu

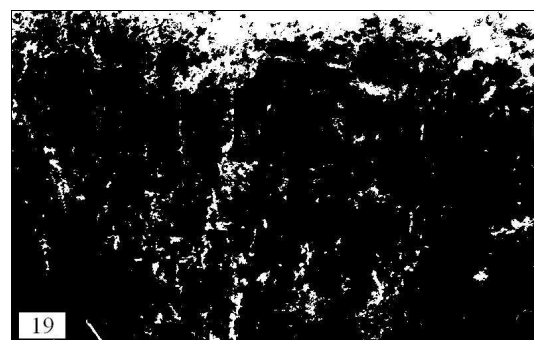
Zdroj: autor

Obr. 40 Orba + hluboké kypření - ve stopě

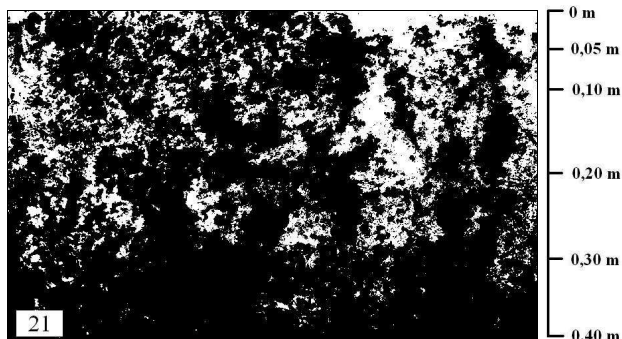
Zdroj: autor

Obr. 41 CTF + hluboké kypření - mimo stopu

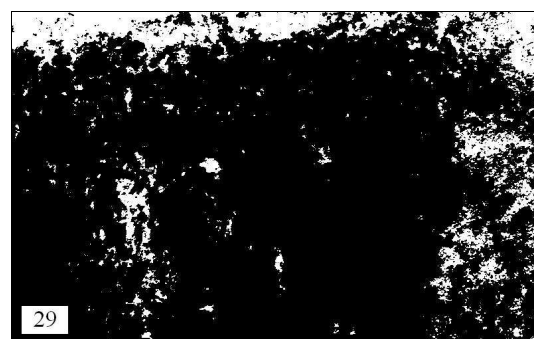
Zdroj: autor

Obr. 42 CTF + hluboké kypření - ve stopě

Zdroj: autor

Obr. 43 CTF - mimo stopu

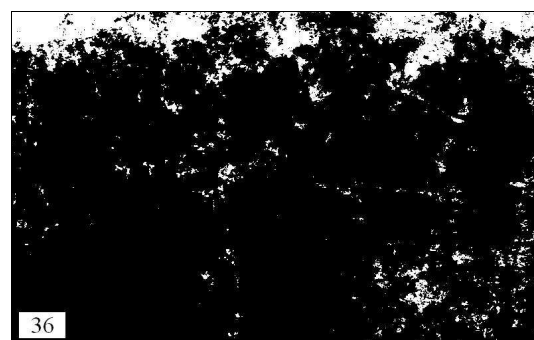
Zdroj: autor

Obr. 44 CTF - ve stopě

Zdroj: autor

Obr. 45 Orba - mimo stopu

Zdroj: autor

Obr. 46 Orba - ve stopě

Zdroj: autor

4.4 VÝSLEDKY Z INFILTRACE VODY DO PŮDY

Z analyzovaných snímků a vytvořených grafů pro všechny čtyři metody zpracování půdy je patrný rozdílný průběh vsakování a množství vsáknuté vody v jednotlivých hloubkách. Snímky také ukázaly, že voda nepostupovala rovnoměrně ve směru působení gravitace, ale uplatňovaly se přednostní cesty odtoku.

U orby + hluboké kypření mimo stopu činilo množství vsáknuté vody v povrchové vrstvě do 0,05 m přibližně 47 %. Ovšem v hloubce od 0,10 do 0,25 m se množství vsáknuté vody ustálilo na hodnotě 31 až 35 %. S hloubkou množství vsáknuté vody neklesalo, ale zůstávalo na přibližně stejné hodnotě. To bylo způsobené hlubokým kypřením na začátku pokusů, které vedlo k rovnoměrnějšímu vsáknutí vody v celé hloubce zpracovávaného půdního profilu. Od hloubky 0,25 m množství vsáknuté vody začalo klesat.

U CTF + hluboké kypření mimo stopu bylo v povrchové vrstvě do hloubky 0,05 m zastoupení vsáknuté vody 41 %. Poté v hloubce 0,10 m došlo ke snížení hodnoty na 27 %. A od této hloubky došlo k nárůstu zastoupení vsáknuté vody do hloubky 0,25 m na hodnotu přibližně 42 %. Od hloubky 0,25 m množství vsáknuté vody začalo klesat jako u předchozí varianty.

Největší zastoupení vsáknuté obarvené vody ve vrchní vrstvě do hloubky 0,05 m bylo shledáno u orby mimo stopu a hodnota činila 66 %. Množství vsáknuté vody postupně klesalo až do hloubky 0,25 m na hodnotu přibližně 22 %. Po dosažení větších hloubek, než je hloubka orby 0,25 m, už množství vsáknuté vody výrazně kleslo. Což je pro orbu typické, protože dochází jenom k nasycení oraného půdního profilu v důsledku vytvoření zhutnělé nepropustné vrstvy.

U varianty CTF mimo stopu oproti orbě bylo nasycení vodou v povrchové vrstvě do 0,05 m o třicet procent menší. Hodnoty nasycení půdy vodou v hloubce od 0,05 do 0,15 m se pohybovaly přibližně na stejné úrovni v rozmezí od 36 do 32 %. Poté od hloubky 0,15 do 0,25 m nasycení vodou klesalo a dosáhlo 20 % v hloubce 0,25 m. V hloubkách pod 0,25 m vykazoval zpracování půdy dlátovým kypřičem stejný výsledek jako pluh, kdy nastal velký pokles infiltrace vody do půdy v důsledku zhutnělé vrstvy.

U měření ve stopách se jednotlivé varianty zpracování půdy mezi sebou výrazně neodlišovaly. U všech bylo veliké povrchové nasycení vodou do hloubky 0,05 m s hodnotami okolo 50 %. Avšak od hloubky 0,10 m nastal pokles zastoupení vsáknuté vody do půdního profilu, kdy se hodnoty pohybovaly kolem 10 % a z větší hloubkou klesaly až ke třem procentům. Lepší výsledky ve stopě vykazovala technologie orby + hluboké kypření. Z měření ve stopě jasně vyplývá, že dochází ke zhutňování půdy pod koly traktorů a sklízecích mlátiček v důsledku jejich velké hmotnosti.

Dále byly provedeny testy analýzy rozptylu procentního zastoupení modré obarvené vody vsáknuté do půdy pro všechny varianty zpracování půdy měřené mimo stopu a ve stopě, po kterých jezdila mechanizace. Jednotlivé testy jsou uvedeny v Příloze 1.4. Například test analýzy rozptylu pro orbu + hluboké kypření - mimo stopu zobrazen v Tab. 5 vyjadřuje, které hloubky se mezi sebou statisticky významně neliší a které se liší v závislosti na hodnotě procentního zastoupení vsáknuté obarvené vody v daných hloubkách. U jednotlivých hloubek, u kterých jsou „hvězdičky“ pod sebou, se dané hloubky mezi sebou statisticky významně neliší.

Tab. 5 Test analýzy rozptylu pro orbu + hlub. kypř. - mimo stopu

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - orba + hluboké kypření - mimo stopu					
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000					
Chyba: meziskup. PČ = 0,00662, sv = 32,000					
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu					
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3
		průměr			
7	0,35 m	0,17798	****		
8	0,40 m	0,19218	****	****	
6	0,30 m	0,19974	****	****	
5	0,25 m	0,30702	****	****	
3	0,15 m	0,30976	****	****	****
2	0,10 m	0,32386	****	****	****
4	0,20 m	0,3544		****	****
1	0,05 m	0,47622			****

Zdroj: autor

Důležitým předpokladem testů analýz rozptylů je homogenita rozptylů pro všechny varianty faktoru, tedy hloubky. Testy homogenity rozptylu byly provedeny pro všechny metody zpracování půdy a jejich výsledky jsou uvedeny v Tab. 13.

Protože byla u variant orba + hluboké kypření - mimo stopu, orbu + hluboké kypření - ve stopě, CTF + hluboké kypření - mimo stopu, orba - mimo stopu a CTF - ve stopě vypočtená hladina významnosti p vyšší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o homogenitě rozptylů, rozptyly tedy můžeme považovat za neprůkazně rozdílné, tj. homogenní. Výsledky analýz rozptylů u těchto variant nejsou zatíženy chybou, která by byla způsobena nehomogenitou rozptylů.

U variant CTF + hluboké kypření - ve stopě, orba - ve stopě a CTF - mimo stopu byla vypočtená hladina významnosti p menší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, můžeme zamítnout nulovou hypotézu o homogenitě rozptylů, rozptyly tedy považujeme za průkazně rozdílné, tj. nehomogenní. Výsledky analýz rozptylů u těchto variant jsou zatíženy chybou, která byla způsobena nehomogenitou rozptylů.

Tab. 13 Test homogenity rozptylů procentního zastoupení vsáknuté vody pro všechny varianty zpracování půdy

Testy homogenity rozptylu					
Efekt: Hloubka					
	Hartleyů F-max	Cochranů C	Bartlett Chí-kv.	ův SV	P
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	11,88673	0,305693	7,19790	7	0,408569
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	11,66597	0,268695	9,03781	7	0,249953
CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	13,72119	0,290736	9,49424	7	0,219091
CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	55,24741	0,656817	30,24219	7	0,000086
ORBA - mimo stopu	26,0191	0,309396	11,82584	7	0,106434
ORBA - ve stopě	125,3868	0,817552	37,54429	7	0,000004
CTF - mimo stopu	475,3969	0,443166	26,45638	7	0,000417
CTF - ve stopě	35,7282	0,348953	11,97493	7	0,101386

Zdroj: autor

4.5 ZÁVĚR Z INFILTRACE VODY DO PŮDY

Tato metoda obrazové analýzy infiltrace obarvené modré vody do půdy umožnila změřit zastoupení obarvené vody vsáknuté do půdního profilu v různých hloubkách a pro dané čtyři technologie zpracování půdy. Dále také ukazuje cestu vody v půdě, rozdíly v rozložení pórů a horizont zadržení vody při daných způsobech zpracování.

Měření infiltrace rovněž ukázalo, že zpracování půdy metodou orba + hluboké kypření a CTF + hluboké kypření mělo za následek rovnoměrnější vsáknutí vody o přibližně stejné velikosti zastoupení obarvené vody v jednotlivých hloubkách zpracovávaného půdního profilu pracovními stroji. Dalším pozitivem hlubokého kypření, které bylo provedeno před začátkem pokusů, bylo odstranění zhutnělé půdní bariéry, která vzniká při práci pluhů a dlátových kypřičů. Díky tomu mohla voda vsakovat i do větších hloubek. Na druhou stranu však vyvstává obava, aby upřednostňování odtoku velkými póry nezpůsobovalo transport nitrátů a reziduí pesticidů do podzemní vody.

U orby bylo patrné nasycení především oraného profilu do hloubky 0,25 m. Z obrázku byl také zřetelně vidět přechod mezi vrstvou oranou a neoranou. Tato vrstva představovala bariéru, která omezovala vsakování vody do podorničí. I přes vyšší infiltrační kapacitu orané vrstvy došlo po určité době k nasycení této vrstvy a zpomalení infiltrace, což je pro orbu typické. Poté již začíná docházet k povrchovému odtoku vody z půdy, který vede ke vzniku možného rizika vodní eroze a splavování zeminy.

U systému CTF bylo nasycení vodou ve zpracovávaném profilu půdy menší než u orby, po dosažení hloubky 0,25 m vykazala tato metoda stejné výsledky jako orba. Kvůli zhutnělé vrstvě došlo k výraznému poklesu infiltrace vody do větších hloubek.

Z měření ve stopách zřetelně vyplynulo, že dochází ke zhutňování půdy pod koly traktorů a sklízecích mlátiček v důsledku jejich velké hmotnosti a častých přejezdů po pozemku. Takže soustředování přejezdů všech zemědělských strojů po poli do stanovených jízdnic přináší svá pozitiva.

Využívání hlubšího kypření jednou za několik let přináší také svá pozitiva, jak ve zvýšení hodnot infiltrace vody v důsledku zlepšení vertikální struktury půdního profilu a narušení zhutnělé přechodové vrstvy, ale také z hlediska pohybu vody do spodních vrstev půdy a následného vzlínání půdní vody k povrchu. To vše je základem efektivního hospodaření s vodou na pozemku.

5 HODNOCENÍ POLNÍ NASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI

5.1 METODIKA MĚŘENÍ A DOPOČÍTÁNÍ HODNOT

Pro vybrané měřicí body daných systémů zpracování půdy a variant mimo stopu a ve stopě byla změřena a dopočítána polní nasycená hydraulická vodivost K_{fs} s využitím infiltrační metody. Tato metoda spočívala v aplikaci malého konstantního objemu vody V pro každé měření, v našem případě 0,5 l, na povrch půdy uvnitř kruhového infiltrometru. Byl použit infiltrometr o průměru 0,15 m a výšce 0,15 m a byl částečně vtlačen do půdy sledované plochy. Následně byl změřen čas t_a od počátku aplikace vody až po zasáknutí celého objemu vody. Následně byla nasycená hydraulická vodivost dopočítána na základě vzorce:

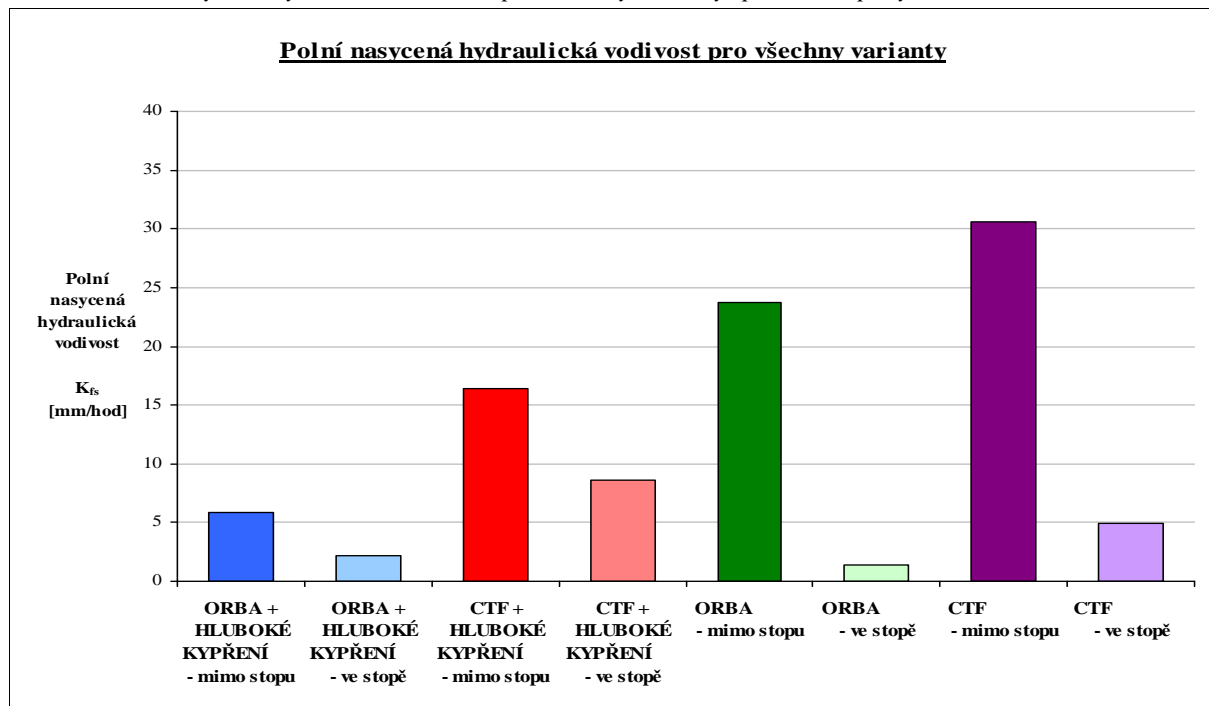
$$K_{fs} = \frac{\Delta\theta}{(1-\Delta\theta) \cdot t_a} \cdot \left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + \frac{1}{\alpha^*}}{(1-\Delta\theta)} \cdot \ln \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta) \cdot D}{\Delta\theta \cdot \left(D + \frac{1}{\alpha^*} \right)} \right) \right]$$

Kde $\Delta\theta$ je rozdíl mezi polní nasycenou vlhkostí a počáteční vlhkostí půdy. Hodnota D značí výšku vody ve válci na počátku měření a její vzorec je $D = V / A$. Kde V je konstantní objem aplikované vody a A značí plochu kruhového infiltrometru. Koeficient α^* je poměr nasycené hydraulické vodivosti K_{fs} k potenciálu nasyceného toku. Na základě literárních pramenů a na základě druhu půdy byl koeficient α^* zvolen 12 m^{-1} . Z hodnocení naměřených a dopočítaných výsledků byly vyloučeny extrémní hodnoty. [17, 18, 19]

5.2 VÝSLEDKY Z HODNOCENÍ POLNÍ NASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI

Zdrojová data Grafu 19 se nachází v Tab. 14 (Příloha 2.1). Z grafu je patrné, že nejnižší polní nasycené hydraulické vodivosti při měření mimo stopy bylo dosaženo u varianty orby + hluboké kypření s hodnotou 5,8 mm/hod. U varianty CTF + hluboké kypření byla hodnota $K_{fs} = 16,4$ mm/hod. U zpracování orbou dosáhla polní nasycená hydraulická vodivost 23,7 mm/hod. Nejvyšší hodnoty polní nasycené hydraulické vodivosti bylo dosaženo u varianty zpracování půdy metodou CTF, kdy hodnota činila 30,6 mm/hod.

Při měření ve stopách byla nejmenší hodnota naměřena u orby 1,3 mm/hod a nejvyšší u CTF + hluboké kypření a to 8,6 mm/hod. U zpracování orbou + hluboké kypření byla hodnota hydraulické vodivosti ve stopě 2,2 mm/hod a u metody CTF 4,9 mm/hod.

Graf 19 Polní nasycená hydraulická vodivost pro všechny varianty zpracování půdy

Zdroj: autor

Také bylo provedeno vyhodnocení analýzy rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti pro jednotlivé varianty zpracování půdy měřené mimo stopu a ve stopě, ve které jezdily zemědělské stroje. Toto vyhodnocení je zobrazeno v Tab. 15 a vyobrazené „hvězdičky“ nacházející se pod sebou znázorňují, které varianty zpracování půdy se mezi sebou statisticky významně neliší v závislosti na polní nasycené hydraulické vodivosti.

Tab. 15 Test analýzy rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti

Tukeyův HSD test; proměnná K _{fs}						
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000						
Chyba: meziskup. PČ = 68,676, sv = 79,000						
Polní nasycená hydraulická vodivost						
Číslo buňky	Varianta zpracování půdy	K _{fs}	1	2	3	4
		průměr				
6	ORBA - ve stopě	1,33473	****			
2	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	2,19764	****			
8	CTF - ve stopě	4,88656	****	****		
1	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	5,79875	****	****		
4	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	8,58133	****	****		
3	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	16,37424		****	****	
5	ORBA - mimo stopu	23,69355			****	****
7	CTF - mimo stopu	30,60039				****

Zdroj: autor

Důležitým předpokladem testu analýzy rozptylu je test homogenity rozptylů pro všechny varianty faktoru, tedy varianty zpracování půdy. Tudíž byl test homogenity rozptylu také proveden a výsledky jsou uvedeny v Tab. 16. Protože vypočtená hladina významnosti $p = 0,00$ je menší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, můžeme zamítnout nulovou hypotézu o homogenitě rozptylů, rozptyly tedy považujeme za průkazně rozdílné, tj. nehomogenní. Výsledek analýzy rozptylu je tedy zatížen chybou, která byla způsobená nehomogenitou rozptylů.

Tab. 16 Test homogenity rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti

Test homogenity rozptylu					
Efekt: Varianta zpracování půdy					
	Hartleyů F-max	Cochranů C	Bartlett Chí-kv.	úv SV	p
K _{fs} - nasycená hydraulická vodivost	116,31760	0,523878	99,27026	7	0,00

Zdroj: autor

5.3 ZÁVĚR Z HODNOCENÍ POLNÍ NASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI

Z výsledků vyplývá, že polní nasycená hydraulická vodivost byla u všech variant zpracování půdy ve stopách nižší než mimo stopy. To bylo způsobené přejezdy kol mechanizace ve stopách, kde dochází důsledkem velké hmotnosti strojů ke zhutnění půdy. Lépe na tom byly varianty, které využívaly metodu CTF. Hůře na tom byly technologie s orbou, u kterých došlo ještě k silnějšímu zhutnění půdy ve stopách.

Dále z výsledků vyplývá, že varianty orba + hluboké kypření a CTF + hluboké kypření mimo stopy měly menší průměrné hodnoty polní nasycené hydraulické vodivosti než varianty orba a CTF mimo stopy. Což je překvapivé zjištění, protože se předpokládalo, že díky počátečnímu hlubšímu kypření půdy bude infiltrační rychlost vody do půdy u těchto dvou variant vyšší než u orby a CTF bez použití hlubšího kypření. Měření a výsledky tedy ukázaly, že počáteční hlubší kypření, které bylo provedeno na části pozemku, v porovnání s variantami bez hlubšího kypření, nepřineslo očekávané a předpokládané zvýšení rychlosti infiltrace vody. Dále se zjistilo, že se rychlost infiltrace vody do půdy po přejezdech zemědělskou technikou snížila u všech případů zpracování půdy.

Avšak počáteční hloubkové kypření přineslo nápravu v tom, že se rozrušila nežádoucí zhutnělá bariéra mezi zpracovávanou a nezpracovávanou vrstvou půdního profilu, což bylo vidět u obrazové analýzy infiltrace vody do půdy. Tato bariéra vzniká při orbě, ale také i při technologiích založených jenom na kypření dlátovými kypřiči, omezovala vsakování vody do podorničí. Proto docházelo jak u orby bez hlubokého kypření, tak i u metody CTF bez hlubokého kypření k rychlému nasycení půdního profilu vodou a do větších hloubek už voda neprošla. To může vést k následnému povrchovému odtoku a vzniku vodní eroze.

Hloubkové kypření je energeticky velmi náročná operace a ve výsledku vliv hloubkového kypření na rychlost infiltrace vody do půdy nebyl rozhodující. Ovšem vliv hlubšího kypření byl rozhodující v narušení zhutnělé bariéry, která vzniká při opakovaném zpracování půdy do stejné hloubky. Proto je vhodné jednou za několik let u jakéhokoliv systému zpracování provést hlubší kypření.

Z výsledků taky dále vyplynulo, že se mezi sebou liší varianty, u kterých byla použita orba a nebo systém CTF. U variant s orbou byly hodnoty polní nasycené hydraulické vodivosti nižší než u technologií s využitím metody CTF. To bylo způsobené orbou, u které dochází k poškozování půdní struktury, tudíž metoda CTF byla v důsledku polní nasycené hydraulické vodivosti pro zpracování půdy lepší než orba. U metody CTF také hraje roli vyšší přítomnost rostlinných zbytků, protože u toho systému dochází pouze ke kypření a ne k obracení půdního profilu jako u orby.

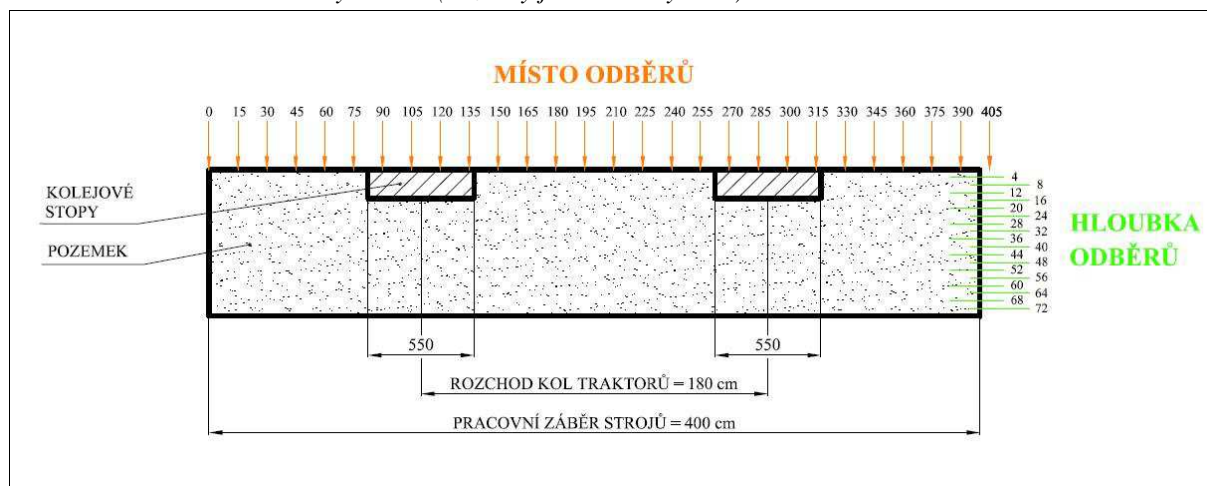
6 HODNOCENÍ ZHUTNĚNÍ PŮDY

6.1 METODIKA MĚŘENÍ PENETRAČNÍHO ODPORU U JEDNOTLIVÝCH MĚŘÍCÍCH BODŮ

Měření penetračního odporu proběhlo 28.4.2011 a 9.5.2011 na pokusném pozemku v Červeném Újezdu ve dvou opakováních pro všechny čtyři způsoby zpracování půdy. Penetrační odpor je jedním z fyzikálních parametrů půdy a vyjadřuje velikost zhutnění půdy v určitých hloubkách půdního profilu. Je definován jako odpor půdy proti vnikání kovového kužele o definovaných rozměrech rovnoměrným pohybem do půdy. Tento odpor je definován jako síla působící na plochu 1 m^2 a základní jednotkou je Pa (N.m^{-2}), v praxi je většinou vyjadřován v MPa.

Měření bylo prováděno ručním penetremetrem s kuželem o ploše podstavy 1 cm^2 s vrcholovým úhlem 30° . U každé varianty zpracování půdy se měřilo dvakrát napříč celým záběrem stroje. Každé změřené místo penetremetrem je přesně adresováno hloubkou a místem odběru a je schématicky zobrazené na Obr. 48. Hloubka se měřila po 4 cm až do hloubky 72 cm, tedy u těch míst, kde to tak hluboko šlo. Místa odběrů byla rozdělena po 15 cm v celé délce pracovního záběru strojů, který činil 400 cm. Počátkem byla nula a pokračovalo se až k dosažení hodnoty 405 cm, protože se hodnota 400 cm nelze dělit 15 cm bez zbytku. Rozchod kol traktorů činil 180 cm a šířka pneumatik traktorů byla 55 cm.

Obr. 47 Schéma míst a hloubky odběrů (rozměry jsou uvedeny v cm)



Zdroj: autor

6.2 VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ ZHUTNĚNÍ PŮDY POMOCÍ PENETRAČNÍHO ODPORU

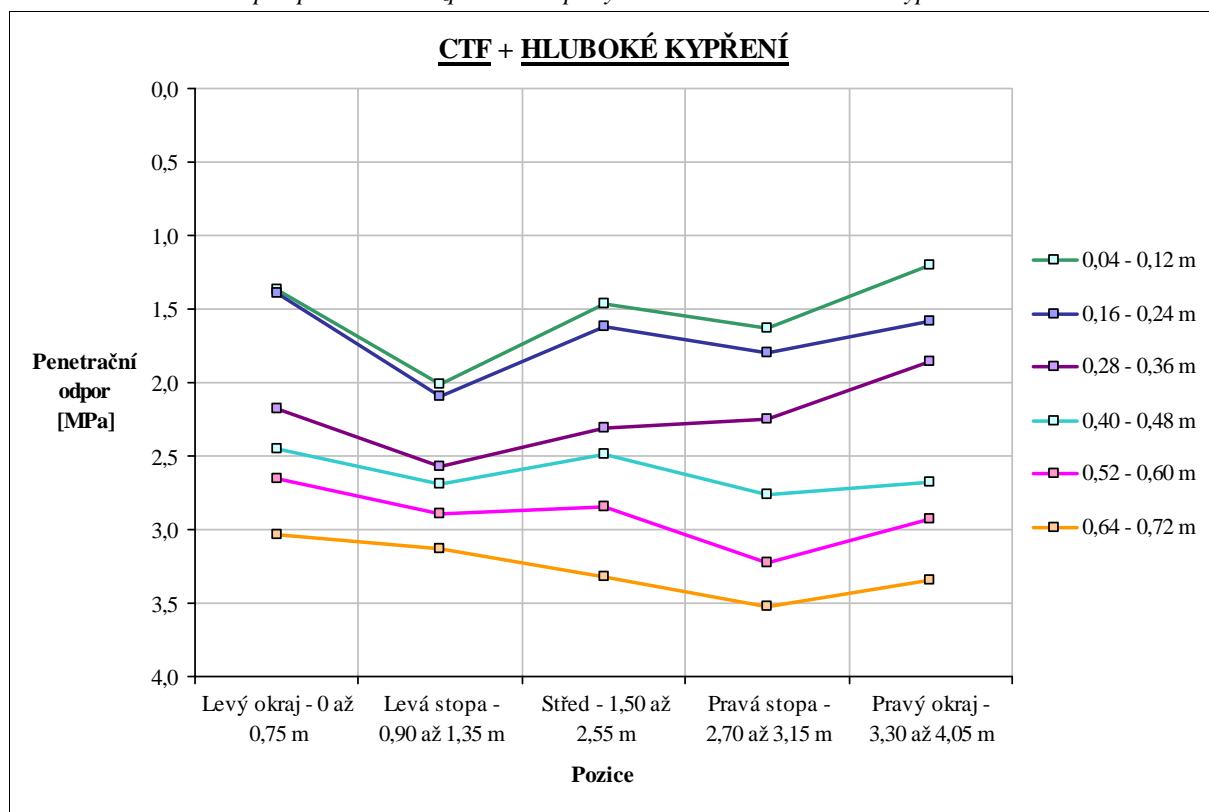
Naměřené hodnoty penetračního odporu pro jednotlivé varianty zpracování půdy jsou uvedeny v Tab. 17, 18, 19 a 20 (Příloha 3.1). Z naměřených hodnot byly pro každou metodu zpracování půdy vytvořeny dva druhy grafů.

V Grafech 20, 21, 22 a 23, které se nachází v Příloze 3.2, jsou zobrazeny průběhy naměřených hodnot penetračních odporů v daných hloubkách. Z grafů je jasně vidět, že s rostoucí hloubkou penetrační odpor klesal u všech variant. V každém grafu je zobrazen průběh penetračního odporu v dané pozici rozděleného profilu napříč pracovním záběrem stroje. Nejdřív je levá část záběru v rozmezí 0 až 0,75 m, druhou částí je stopa levého kola v rozmezí 0,90 až 1,35 m, třetí část tvoří prostředek v mezích 1,50 až 2,55 m, následuje pravé kolo 2,70 až 3,15 m a na konec je pravá část v rozmezí 3,30 až 4,05 m.

Ve vytvořených Grafech 24, 25, 26 a 27, které jsou uvedeny v Příloze 3.2, lze dobře vidět jak se penetrační odpor lišil v jednotlivých hloubkách, v daných rozdělených pozicích a u daných technologií zpracování půdy.

Například z Grafu 25 lze vyčíst, že varianta zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření měla ve vrchní vrstvě 0 až 0,12 m penetrační odpor na levém okraji 1,36 MPa a na pravém okraji 1,21 MPa. V kolejích dosáhla průměrných hodnot podle levou stopu 2,01 MPa a pod pravou stopou 1,63 MPa. A ve středu mezi stopami průměrné hodnoty 1,46 MPa. Ve větších hloubkách se penetrační odpor zvětšoval. V hloubce 0,52 až 0,60 m byly naměřeny průměrné hodnoty v levém okraji 2,65 MPa, v levé stopě 2,90 MPa, ve středu 2,84 MPa, v pravé stopě 3,23 MPa a v pravém okraji 2,93 MPa.

Graf 25 Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření



Zdroj: autor

6.3 ZÁVĚR Z MĚŘENÍ ZHUTNĚNÍ PŮDY POMOCÍ PENETRAČNÍHO ODPORU

Z grafů a naměřených dat vyplývá, že u každé varianty zpracování půdy měly přejezdy těžké zemědělské techniky veliký vliv na zvýšení penetračního odporu v půdě ve vzniklých stopách, kde dochází ke zhutnění půdy.

Z výsledků u varianty orby + hluboké kypření je vidět, že penetrační odpor byl ve vrchní vrstvě 0,04 až 0,12 m vyšší a pak došlo k jeho snížení do hloubky 0,24 m. Pak už se odpor do větší hloubek zvyšoval. Z Grafu 24 (Příloha 3.2) je také vidět, že odpor v kolejích byl vyšší než na okrajích ve všech měřených hloubkách.

U varianty CTF + hluboké kypření byl ve vrchní vrstvě 0,04 až 0,12 m penetrační odpor ve stopách větší než v krajích o 0,2 až 0,5 MPa. Tento rozdíl se postupně s hloubkou snižoval.

Z Grafu 25 (Příloha 3.2) vytvořeného pro variantu s orbou je jednoznačně vidět, že ve zpracovávaném profilu orbou došlo k výraznému zvýšení penetračního odporu ve stopách než na okrajích. A to až v některých místech o 1 MPa. To byl nejhorší výsledek ze všech čtyř daných měření. Penetrační odpor se dále s hloubkou postupně ve stopách a v okrajích vyrovnával, ale i tak šlo ve větších hloubkách stále rozeznat vliv přejezdů.

Nejlepší metodou s nižšími hodnotami penetračního odporu, jak v povrchové vrstvě 0,04 až 0,12 m, tak i v hlubších vrstvách, se stala metoda CTF. U této metody byl i menší rozdíl odporu v jednotlivých hloubkách mezi stopami a okrajovými pozicemi.

Hlubší kypření provedené před zahájením pokusů se projevilo pozitivně především u orby, kdy se výrazně snížil penetrační odpor ve zpracovávaném profilu v kolejových stopách vytvořených přejezdy mechanizace. Ale ve větší hloubce byl opět naměřený odpor ve stopách vyšší. A to jak u orby tak i u metody CTF. Pozitivní vliv mělo hlubší kypření, jak u orby tak i u CTF v nepřeježděných plochách, kde se penetrační odpor snížil.

7 HODNOCENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

7.1 METODIKA MĚŘENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI PŮDY U JEDNOTLIVÝCH MĚŘÍCÍCH BODŮ

Během začátku polního pokusu založeného kvůli hodnocení vlivu zátěže pojezdovými ústrojími zemědělských strojů na infiltrační vlastnosti půdy byl proveden odběr vzorků půdy pomocí válečků. Z odebraných vzorků pak byly zjištěny různé fyzikální vlastnosti dané půdy, mezi které patří i objemová hmotnost, která se také použila při hodnocení vlivu různých technologií zpracování půdy zemědělskými stroji.

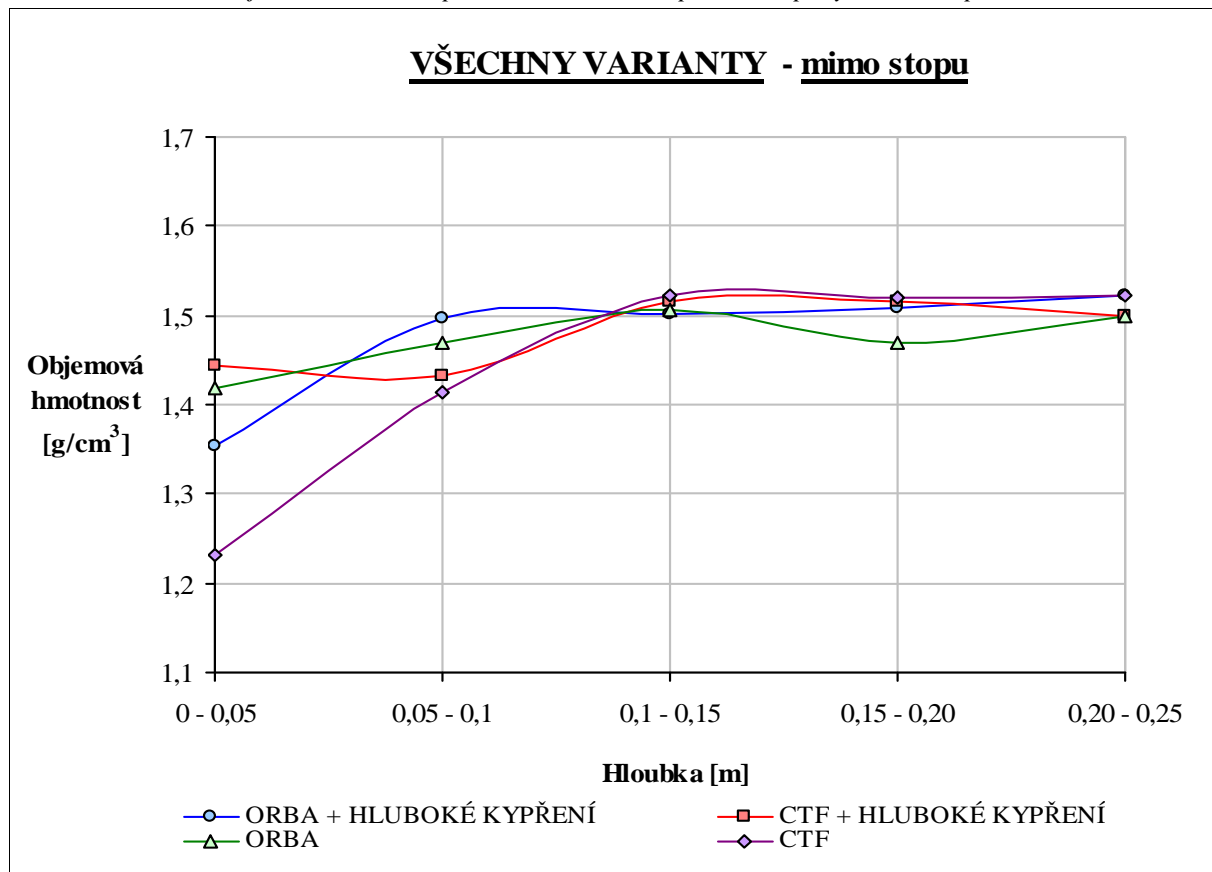
Odběr válečků byl limitován velkým počtem válečků a poměrně velkou časovou náročností. Z tohoto důvodu nebylo možné v daném počtu odběrů postihnout všechny měřící body. Ze zvolených měřících bodů byl odběr proveden jen u zadaného měřícího bodu č. 6 - CTF + hluboké kypření. Proto byly zvoleny pro vyhodnocení objemové hmotnosti půdy u dalších variant zpracování půdy jiné nezadané měřící body, ale se stejnou technologií zpracování půdy. Odběry vzorků byly u každého zvoleného měřícího bodu provedeny ve dvou opakováních v hloubce od 0 do 0,25 m s krokem po 0,05 m.

7.2 VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI PŮDY

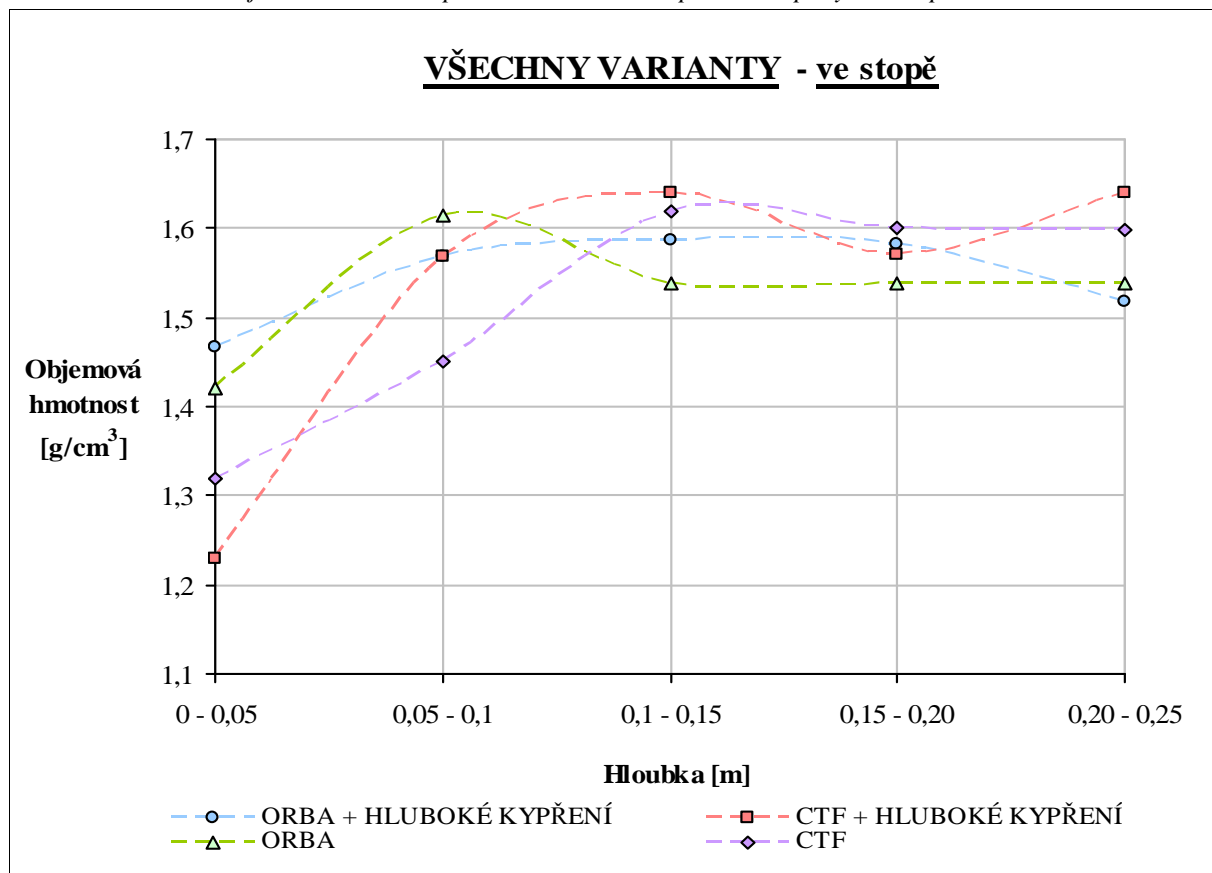
Naměřené hodnoty objemové hmotnosti půdy jsou v Tab. 21 (Příloha 4.1). Hodnoty byly graficky zpracovány pro jednotlivé technologie zpracování půdy a jsou zobrazeny Grafech 28, 29, 30 a 31 (Příloha 4.2).

V Grafu 32 jsou zobrazeny všechny varianty zpracování půdy měřené mimo stopy a vyplývá z něj pro všechny varianty, že se s hloubkou objemová hmotnost půdy zvyšovala. Nejmenší objemovou hmotnost $1,23 \text{ g/cm}^3$ v povrchové vrstvě o hloubce 0 až 0,05 m měla varianta CTF. Objemová hmotnost se následně do hloubky 0,15 m zvyšovala na hodnotu $1,52 \text{ g/cm}^3$. Dále se už do hloubky 0,25 m hodnota nezvyšovala. Pak následovala orba + hluboké kypření s hodnotou $1,35 \text{ g/cm}^3$ v hloubce 0,05 m. V hloubce od 0,05 do 0,25 m již zůstala hodnota objemové hmotnosti na hodnotě kolem $1,50 \text{ g/cm}^3$. Orba se v hloubce 0,05 m dostala na hodnotu $1,42 \text{ g/cm}^3$ a do hloubky 0,15 m se zvyšovala na hodnotu $1,51 \text{ g/cm}^3$, dále si již do hloubky 0,25 m držela stejnou hodnotu. Největší objemová hmotnost v hloubce do 0,05 m byla změřena u varianty zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření a to $1,44 \text{ g/cm}^3$. Do hloubky 0,15 m se objemová hmotnost zvyšovala na hodnotu $1,52 \text{ g/cm}^3$. Dále už si tato varianta držela stejnou hodnotu stejně jako ostatní varianty.

V Grafu 33 jsou zobrazeny průběhy hodnot objemové hmotnosti pro všechny varianty zpracování půdy, které byly naměřeny v kolejových stopách. Nejnižší objemová hmotnost půdy v povrchové vrstvě 0 až 0,05 m byla u CTF + hluboké kypření a to $1,23 \text{ g/cm}^3$. Následovala varianta s CTF s hodnotou $1,32 \text{ g/cm}^3$ a poté orba s $1,42 \text{ g/cm}^3$. Nejvyšší hodnota $1,47 \text{ g/cm}^3$ byla naměřena u orby + hluboké kypření. V dalších hloubkách jsou hodnoty objemové hmotnosti u jednotlivých variant zpracování půdy přibližně o 0,1 až $0,12 \text{ g/cm}^3$ vyšší než u měření mimo kolejové stopy.

Graf 32 Porovnání objemové hmotnosti při všech variantách zpracování půdy - mimo stopu

Zdroj: autor

Graf 33 Porovnání objemové hmotnosti při všech variantách zpracování půdy - ve stopě

Zdroj: autor

7.3 ZÁVĚR Z MĚŘENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI PŮDY

Z uvedených výsledků a grafů vyplývá, že čím větší byla objemová hmotnost půdy, tím byla půda více zhutněná, tudíž byly hodnoty v kolejových stopách vyšší než mimo stopy.

Z grafu je taky patrné, že nejnižší objemové hmotnosti bylo u všech variant zpracování půdy dosaženo v povrchové vrstvě do hloubky 0,05 m. Do hloubky 0,15 m se objemová hmotnost zvyšovala a v rozmezí hloubek 0,15 až 0,25 m došlo k jejímu ustálení.

Nejlepší metodou zpracování půdy z hlediska objemové hmotnosti se stala varianta CTF a následovala ji varianta CTF + hluboké kypření. Obě tyto varianty měly ve vrchní vrstvě půdy do hloubky 0,10 m menší objemovou hmotnost než orba a orba + hluboké kypření. I při měření ve stopách prokázaly tyto dvě technologie zpracování půdy ve vrchní vrstvě do 0,10 m nižší objemovou hmotnost než obě varianty s orbou. U těchto dvou zpracování půdního profilu metodou CTF dochází jenom ke kypření, kdy se půda intenzivně míchá. Nedochozí k obracení půdy jako je tomu u orby.

Objemová hmotnost vlastně vyjadřuje, jak je daná půda zhutněná. Tím je ovlivněna řada půdních vlastností. Například obsah vzduchu v půdě, velikost a struktura pórů v půdě, pohyb vody v půdě, množství vody, které je půda schopna vsáknout a rychlost vsakování. Objemová hmotnost půdy je základním fyzikálním znakem stavu půdy.

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv intenzity přejezdů pro vybranou technologii zpracování půdy na infiltrační schopnost půd, což je jedním z klíčových faktorů při ochraně půdy před nežádoucími účinky vodní eroze.

Tato diplomová práce pojednává o čtyřech technologiích zpracování půdy, pro které byla získána data na pokusném pozemku v Červeném Újezdu. Prvním hlavním zpracováním půdy byla orba radličným pluhem. Druhou hlavní variantou zpracování půdy byla metoda CTF, u které se uplatňoval systém řízené organizace přejezdů mechanizace po pozemku se zvoleným modulem pracovního záběru strojů čtyř metrů nebo jeho násobků. Základním zpracováním půdy u metody CTF bylo kypření dlátovým kypřičem. Třetí technologií zpracování půdy byla orba + hluboké kypření. Poslední čtvrtou variantou zpracování půdy byla metoda CTF + hluboké kypření. U obou posledních metod bylo před založením pokusného pozemku provedeno hluboké kypření.

Diplomová práce ve své první kapitole teoretické části tvoří ucelený pohled na půdu nejen jako na charakteristický prvek v krajině, ale také jako na hlavní zdroj potřebný k výrobě potravin. Teoretická část dále popisuje jednotlivé vývojové fáze zpracování půdy až do současné situace. V další teoretické kapitole je popsána infiltrační schopnost půdy. Dále je popsán vznik eroze a také opatření, která zabraňují erozi a vedou tak k udržitelnému hospodaření. Dalším popsaným problémem je zhutňování půdy přejezdy zemědělské techniky a opatření vedoucí ke snížení daného zhutnění. V poslední kapitole teorie je řešeno pojezdové ústrojí mechanizace, jež prostřednictvím pneumatik nebo pásových jednotek zatěžuje půdu přejezdy. Zbývající součástí této kapitoly jsou také navigační systémy, které zaznamenávají v současné době rozmach v jejich používání, technologie precizního zemědělství a systém řízené organizace přejezdů zemědělské techniky CTF.

Praktická část práce je věnována vlastnímu měření a vyhodnocování výsledků. První kapitola praktické části je věnována metodice a popisu stanovištních podmínek sledované lokality, na které byl založen pokusný pozemek. V dalších částech je nejen popsána příprava a metodika měření, ale jsou také vyhodnoceny výsledky a následně vyjádřena závěrečná zhodnocení. Nejprve byla zpracována infiltrace vody do půdy pomocí obrazové analýzy získaných snímků z daného měření. Poté byla zhodnocena polní nasycená hydraulická vodivost, zhutnění půdy díky změřenému penetračnímu odporu a na závěr objemová hmotnost půdy.

Při měření infiltrace obarvené vody do půdy pomocí obrazové analýzy u jednotlivých variant zpracování půdy byly zjištěny určité přínosy daných technologií zpracování na infiltrační schopnosti půdy. Při zpracování půdy orbou + hluboké kypření a metodou CTF + hluboké kypření bylo zjištěno, že tyto dvě zpracování s hlubokým kypřením před začátkem pokusů mají pozitivní vliv na rovnoměrnější vsakování většího objemu vody do celého zpracovávaného profilu. Hlubokým kypřením se naruší zhutnělá půdní bariéra, čímž se přispívá k vsakování vody do hlubších vrstev půdy. Tento zhutnělý přechod můžeme pozorovat nejen u orby, ale také při technologiích zpracování půdy založených jenom na kypření. U základního zpracování půdy orbou došlo především k nasycení oraného profilu do

hloubky 0,25 metrů, což je pro orbu typické. Poté voda narazila na zhutnělou vrstvu, která bránila průsaku vody do větších hloubek. Tato bariéra je tvořena pracovním orgánem pluhu a každoročním oráním do stejné hloubky. Výsledky infiltrace obarvené vody v případě základního zpracování půdy kypřením v systému CTF vykázaly nasycení profilu vodou v hloubce zpracování jako u orby, i když o trochu méně. Následně byl také zaznamenán významný pokles vsáknuté vody pod hloubkou zpracování. Ke zhutňování půdy dochází i pod pracovními nástroji kypřiče podobně jako u orby.

Z měření polní nasycené hydraulické vodivosti lze dojít k závěru, že varianty orba + hluboké kypření a CTF + hluboké kypření mimo stopy měly menší průměrné hodnoty polní nasycené hydraulické vodivosti než varianty orba a CTF mimo stopy. Což je překvapivé zjištění, protože se předpokládalo, že díky počátečnímu hlubšímu kypření půdy bude infiltrační rychlost vody u těchto dvou variant vyšší než u orby a CTF. Měření a výsledky však ukázaly, že počáteční hluboké kypření, které bylo provedeno na části pozemku před založením pokusů, nepřineslo očekávané a předpokládané zvýšení rychlosti infiltrace vody. Ani výsledky z měření penetračního odporu neukázaly, čím by to mohlo být způsobeno. Jedním z možných důvodů může být variabilita stanoviště. Občas se stává, že něco nevyjde podle našich představ a to platí zejména v zemědělství. Protože půdní prostředí je velmi složitý systém, který nelze jednoduše vysvětlit, proto je dobré dělat více pokusů a navzájem je porovnávat. Hlubkové kypření je energeticky velmi náročná operace a ve výsledku vliv hlubkového kypření na rychlost infiltrace vody do půdy nebyl prokázán. Ovšem vliv hlubšího kypření byl rozhodující v narušení zhutnělé bariéry, která vzniká při opakovaném zpracování půdy do stejné hloubky, což bylo vidět u obrazové analýzy. Proto je vhodné jednou za několik let u každého systému zpracování půdy provést hluboké kypření. Z výsledků je také vidět, že se liší varianty s použitím orby a nebo metody CTF. U variant s orbou jsou hodnoty polní nasycené hydraulické vodivosti nižší než u CTF. To je způsobené orbou, u které může docházet k poškozování půdní struktury. Dá se říci, že zpracování půdy metodou CTF je v důsledku polní nasycené hydraulické vodivosti lepší než orba. U metody CTF také hraje svou roli vyšší přítomnost rostlinných zbytků, protože u toho systému dochází pouze ke kypření a ne k obracení půdního profilu jako u orby.

Z grafů a naměřených dat vyplývá, že u každé varianty zpracování půdy měly přejezdy těžké zemědělské techniky významný vliv na zvýšení penetračního odporu v půdě ve vzniklých stopách, kde dochází ke zhutnění půdy. Z výsledků u varianty zpracování půdy orbou + hluboké kypření vyplývá, že penetrační odpor byl ve vrchní vrstvě 0,04 až 0,12 m vyšší a pak došlo k jeho snížení do hloubky 0,24 m. Pak už se odpor do větší hloubek zvyšoval. Dále byl naměřený odpor v kolejích vyšší než na okrajích ve všech měřených hloubkách. U varianty CTF + hluboké kypření byl ve vrchní vrstvě 0,04 až 0,12 m penetrační odpor ve stopách větší než v krajích o 0,2 až 0,5 MPa. Tento rozdíl se postupně s hloubkou snižoval. K největšímu nárůstu penetračního odporu ve zpracovávaném půdním profilu ve stopách oproti krajním pozicím došlo u varianty s orbou. A to až v některých místech o 1 MPa. To byl nejhorší výsledek ze všech čtyř daných měření. Penetrační odpor se dále s hloubkou postupně ve stopách a v okrajích vyrovnával, ale i tak šlo ve větších hloubkách stále rozeznat vliv přejezdů. Nejlepší metodou s nižšími hodnotami penetračního odporu, jak v povrchové vrstvě 0,04 až 0,12 m, tak i v hlubších vrstvách, se stala metoda CTF. U této

metody byl i menší rozdíl odporu v jednotlivých hloubkách mezi stopami a okrajovými pozicemi. Hlubší kypření provedené před zahájením pokusů se projevilo pozitivně především u orby, kdy se výrazně snížil penetrační odpor ve zpracovávaném profilu v kolejových stopách vytvořených přejezdy mechanizace. Ve větší hloubce byl ale naměřený odpor ve stopách vyšší, nejen u orby ale i u metody CTF. Pozitivní vliv mělo hlubší kypření, jak u orby tak i u CTF, v nepřejížděných plochách, kde se penetrační odpor snížil.

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti byly v kolejových stopách vyšší než mimo stopy, což bylo dané zhutněním půdy ve stopách, ve kterých přejížděly zemědělské stroje. Z výsledků objemové hmotnosti dále vyplývá, že nejlepší metodou zpracování půdy byla varianta CTF a pak následovala technologie CTF + hluboké kypření. Obě tyto varianty měly ve vrchní vrstvě půdy do hloubky 0,10 m nižší objemovou hmotnost než orba a orba + hluboké kypření. I při měření ve stopách prokázaly tyto dvě technologie zpracování půdy založené na metodě CTF ve vrchní vrstvě do 0,10 m nižší objemovou hmotnost než obě varianty s orbou. U těchto dvou zpracování půdního profilu metodou CTF dochází jen ke kypření, kdy se půda intenzivně míchá a rostlinné zbytky jsou rovnoměrně rozmístěny v celém půdním profilu. Ty mají poté vliv na nižší objemovou hmotnost půdy. Kdežto u orby dochází k obracení celého půdního profilu, čímž se rostlinné zbytky dostanou na dno brázdy. Půda je tak náchylnější ke snadnějšímu zhutnění. Také se prokázalo, že hluboké kypření nemělo výraznější vliv na nižší objemovou hmotnost půdy. Větší vliv měl na objemovou hmotnost půdy daný systém zpracování, kdy na tom byla lépe metoda CTF než orba. Objemová hmotnost vlastně vyjadřuje jak je daná půda zhutněná. Tím je ovlivněna řada půdních vlastností. Například obsah vzduchu v půdě, velikost a struktura pórů v půdě, pohyb vody v půdě, množství vody, které je půda schopna vsáknout a rychlost vsakování. Objemová hmotnost půdy je základním fyzikálním znakem stavu půdy.

U všech měřených veličin a variant zpracování půdy měřených ve stopách, ve kterých jezdily zemědělské stroje, měly vždy kolejové stopy negativní vliv na měřenou veličinu. U infiltrace byla v místě kolejí výrazně snižena nasákovost půdy vodou. Stejně tak u polní nasycené hydraulické vodivosti, kde bylo zjištěno oproti měřením mimo stopy, mnohonásobné snížení rychlosti infiltrace vody do půdy. Také u penetračního odporu byly naměřeny větší odpory ve stopách v důsledku zhutnění půdy přejezdy pojezdovými ústrojími traktorů a sklízecích mlátiček. To samé platí i u objemové hmotnosti, která byla ve stopách vyšší kvůli zhutnění. Z toho vyplývá, že by se množství poježděné plochy pozemku mělo co nejvíce snižovat. K tomu je vhodná právě metoda organizace řízených přejezdů po pozemku CTF s největším možným pracovním modulem pro dané podmínky.

Ze všech měření vyplývá, že konvenční technologie zpracování půdy orbou má vliv na zadržení vody a redukci malých odtoků například při bouřkách, ale při větších množstvích spadnutých srážek může dojít k rychlému nasycení oraného profilu a povrchovému odtoku vody. Na druhou stranu půdoochranná redukovaná technologie zpracování půdy spolu s organizací řízených přejezdů CTF šetří půdní strukturu a zlepšuje celkově fyzikální stav půdy. Řízené přejezdy snižují zhutnění půdy na celé ploše pozemku nahodilými přejezdy mechanizace. Zhutnění vlivem pojezdového ústrojí zemědělských strojů je soustředěné jen do vyhrazených kolejových stop.

Doporučoval bych využívání hlubšího kypření jednou za několik let. Pozitivem je jednak zvýšení hodnot infiltrace vody v důsledku zlepšení vertikální struktury půdního profilu a narušení ztuhlé přechodové vrstvy, ale také z hlediska pohybu vody do spodních vrstev půdy a následného vzlínání půdní vody k povrchu. To vše je základem efektivního hospodaření s vodou na pozemku.

Struktura a stav půdního profilu z hlediska pohybu srážkové vody do spodních vrstev půdy a vzlínání půdní vody k povrchu půdy je základem efektivního hospodaření s vodou na pozemku. Dobrá infiltrační schopnost půdy zamezuje kumulaci vody na jejím povrchu a tím i vznik povrchového odtoku. Významný je také problém odtoku vody a eroze v období, kdy na zmrzlý povrch dopadá déšť nebo tající sníh. I když je infiltrační schopnost půdy větší než intenzita srážek, během zimy se tvoří vrstva, která brání infiltraci vody a dochází k významnému navýšení odtoku vody a vzniku eroze půdy. V tomto případě hraje významnou roli rovněž způsob zpracování půdy především půdoochrannými technologiemi, které zanechávají na půdě biomasu z vymrzajících či nevymrzajících meziplodin.

Závěrem diplomové práce bych dodal, že je důležité dostat do podvědomí všech zemědělců, že nadměrné ztuhnutí půdy a tím spojené erozní problémy vznikají v důsledku jejího nevhodného a nezodpovědného obdělávání. To maří jejich úsilí o co nejlepší rostlinnou produkci. Nesmíme zapomínat na to, že půda představuje pro zemědělce základní výrobní prostředek, bez něhož nelze zemědělství provozovat. Proto musí být omezování eroze proces, který je řešen komplexně. Počínaje prostorovým uspořádáním půdních bloků a jejich parametry až po samotné agrotechnické postupy, které budou na daném bloku uplatňovány. Právě agrotechnické postupy jsou základním opatřením pro eliminaci eroze samotnými zemědělci.

SEZNAM POUŽITÝCH LITERÁRNÍCH ZDROJŮ

1. HŮLA, Josef. PROCHÁZKOVÁ, Blanka a kol. *Minimalizace zpracování půdy*. 1.vydání. Praha: Profi Press, s. r. o., 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.
2. Kolektiv autorů. *Sborník z konference: GPS autopiloty v zemědělství*. 1.vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, technická fakulta, katedra zemědělských strojů, 2009. 50 s. ISBN 978-80-213-1993-3.
3. MORGAN, Royston Philips Charles. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing, 2005. 304 s. ISBN 1-4051-1781-8.
4. EL TITI, Adel. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC the U.S.A., 2003. 367 s. I SBN 0-8493-1228-0.
5. HÄKANSSON, Inge. *Machinery-Induced Compaction of Arable Soils: Incidence-Consequences-Counter-Measures*. Uppsala: SLU Service/Repro, 2005. 156 s. ISSN 0348-0976.
6. ŠARAPATKA, Bořivoj a kol. *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Olomouc: Bioinstitut, o. p. s., 2010. 440 s. ISBN 978-80-87371-10-7.
7. KUMHÁLA, František. HEŘMÁNEK, Petr. MAŠEK, Jiří. KVÍZ, Zdeněk. HONZÍK, Ivo. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 438 s. ISBN 978-80-213-1701-7.
8. BAUER, František. SEDLÁK, Pavel. ŠMERDA, Tomáš. *Traktory*. 1. vydání. Praha: Profi Press, s. r. o., 2006. 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
9. NOVÁK, Petr. HŮLA, Josef. KOVAŘÍČEK, Pavel. VLÁŠKOVÁ, Marcela. *Protierozní odolnost půdy při pěstování kukuřice*. *Mechanizace zemědělství 2/2011* - str. 24-27. Praha: Profi Press, s. r. o., 2011. 80 s. ISSN 0373-6776.
10. MAŠEK, Jiří. KROULÍK, Milan. KVÍZ, Zdeněk. PRONITSYN, Denis. *Navigační systémy snižují zátěž obsluhy*. *Mechanizace zemědělství 5/2011* - str. 41-44. Praha: Profi Press, s. r. o., 2011. 72 s. ISSN 0373-6776.
11. GUTU, Dumitru. HŮLA, Josef. KOVAŘÍČEK, Pavel. KUMHÁLA, František. VLÁŠKOVÁ, Marcela. *Výzkum technologie řízených přejezdů po pozemcích*. *Mechanizace zemědělství 8/2011* - str. 46-50. Praha: Profi Press, s. r. o., 2011. 92 s. ISSN 0373-6776.
12. BRANT, Václav. KROULÍK, Milan. PIVEC, Jan. ZÁBRANSKÝ, Petr. *Eliminace vodní eroze - obecné principy*. *Farmář 12/2011* - str. 21-23. Praha: Profi Press, s. r. o., 2011. 72 s. ISSN 1210-9789.
13. BRANT, Václav. KROULÍK, Milan. PIVEC, Jan. *Eliminace vodní eroze - půdoochranné technologie*. *Farmář 1/2012* - str. 24-26. Praha: Profi Press, s. r. o., 2012. 76 s. ISSN 1210-9789.
14. JAVOREK, Filip. *Zásady volby pneumatik pro sklizňové stroje*. *Farmář 3/2012* - str. 48-51. Praha: Profi Press, s. r. o., 2012. 80 s. ISSN 1210-9789.
15. Kolektiv autorů. *Sborník z konference: Současné trendy ve vývoji a konstrukci zemědělských strojů a zařízení a strojů používaných v příbuzných odvětvích*. *Mechanizace zemědělství - zvláštní vydání*. Praha: Profi Press, s. r. o., 2011. 290 s. ISSN 0373-6776.
16. JAVŮREK, Miloslav. VACH, Milan. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., 2008. 26 s. ISBN 978-80-87011-57-7.
17. BAGARELLO, V. ELRICK, D.E. IOVINO, M. SGROI, A. *A laboratory analysis of falling head infiltration procedures for estimating the hydraulic conductivity of soils*. *Geoderma*, 2006. ISSN 0016-7061.
18. BAGARELLO, V. IOVONO, M. ELRICK, D.E. *A simplified-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity*. *Soil Science Society of America Journal*, 2004. ISSN 0361-5995.
19. ELRICH, D.E. REYNOLDS, W.D. *Methods for analyzing konstant-head well permeameter data*. *Soil Science Society of America Journal*, 1992.

SEZNAM POUŽITÝCH INTERNETOVÝCH ZDROJŮ OBRÁZKŮ

20. http://www.ekozahrady.com/puda_pod_traktorem.jpg
21. http://1.bp.blogspot.com/_D0794TaE7F0/S-edLbjaMcI/AAAAAAAAAFHU/cYPb708z-M8/s1600/RakPole2.jpg
22. http://www.claas.de/cc/servlet/contentblob/cl-pw/zzzz-Celum-DLC/pool/144225_4,bpSite=43108,property=data.jpg;jsessionid=D80FD534B10AC1A1292610A440EC9CD2
23. <http://www.eagrotec.cz/t8-tier-4a>
24. http://www.dolni-hermanice.cz/obrazky/VYPRACHTICE_HALDA.JPG
25. http://www.ekozahrady.com/eroze_vodni.jpg
26. http://biom.cz/upload/9dde8a86bc39c815ad93f4e52cbe3ebf/petrikova_1.jpg
27. http://ekolist.cz/fotobanka/albums/userpics/10007/eroze_u_prerova_nad_labem.jpg
28. <http://aktualne.centrum.cz/domaci/fotogalerie/2009/07/30/z-poli-mizi-puda-eroze-ohrozuje-polovinu-ceskych-lfoto/262087/>
29. <http://www.zea.cz/images/clanky/zdesinfikovany-mulc-sklizen.jpg>
30. http://www.garten.cz/images_data/5692-phacelia-tanacetifolia-svazenka.jpg
31. <http://www.agrics.cz/obrazky/p1020171-2890bb.jpg>
32. <http://www.agrics.cz/obrazky/p4280459-8e68dd.jpg>
33. <http://www.corbisimages.com/images/Corbis-CB052835.jpg?size=67&uid=9a999709-e57f-4146-a110-b8f4cfb48bd5>
34. <http://www.asz.cz/galerie/obrazky/image.php?img=32640&x=800&y=532>
35. <http://www.farmet.cz/zemedelske-stroje/gfx/big/diskove-podmitace-diskomat-02.jpg>
36. <http://www.stromexport.com/zpracovani-pudy/dlatovy-kypric/ecoland-eo.html#>
37. <http://www.agromachinery.cz/domain/agromachinery-s0/files/texty/amazone-cayena.jpg>
38. http://files.slezskastrojni.cz/200000201-2f653305f4/XERION_5000_4500_1.jpg
39. <http://www.agrics.cz/obrazky/2-model-case-ih-magnum-340-s-maximalnim-vykonem-389-koni-d01f3f.jpg>
40. http://www.kvernelandgroup.cz/userdata/pictures/kverneland/priprava-pudy/pluhy/Kv_28_t%C4%9Bleso.jpg
41. <http://www.eagrotec.cz/t9-tier-4a>
42. <http://www.agrall.cz/gal/1273758201.JPG>
43. <http://www.navosfarmtechnic.cz/pict/case/traktory-case/case-ih-magnum-280-on-tracks--225.jpg>
44. http://www.deere.com/common/media/images/product/tractors/four_wheel_drive_tractors/9r_9rt_series/9560rt/r4d022363_9560RT_642x462.jpg
45. http://beta.cgs.cz/epsilon.nen.cz/design/produkty/09-agro/svt_cho-800-70_r32.jpg
46. http://www.arbo-kt.cz/images_novinky/1327346035.jpg
47. <http://www.p-z.cz/blob.php?idImage=30946&dbPrefixTable=katalog>
48. <http://www.agrics.cz/obrazky/1pasovy-tahac-traktor-case-ih-quadtrac-600-b6c3bc.jpg>
49. <http://www.agrall.cz/produkt/37/lexion-670-620#>
50. <http://www.agrall.cz/upload/1282044051.jpg>
51. http://www.claas.de/cc/servlet/image/w/h120/cl-pw/zzzz-Celum-DLC/pool/144275_4.jpg;jsessionid=5837E575DE6287410A3E03E902DC9BF4
52. http://johndeeredistributor.cz/var/plain_site/storage/images/media/product-images-teamsite-common-folder/media/images/product/equipment/agricultural_management_solutions/guidance_systems/autotracer_universal_200/r2/hero/01_ams_autotraceruniversal_02_09_1_542155_n_642x462_png/27022-2-eng-GB/01_ams_autotraceruniversal_02_09_1_542155_N_642x462_png.png
53. http://www.agrics.cz/soubory/case_ih_pronavigace_www-dd9f3c.pdf
54. <http://www.techmagri-uk.co.uk/universal.htm#>
55. <http://www.karlow-karlshof.eu/images/traktory/fendt-800-vario/galerie/foto5.jpg>
56. <http://www.farmet.cz/zemedelske-stroje/gfx/big/duolent-05.jpg>
57. <http://www.farmweb.cz/galerie/35/1229/14302.jpg>
58. <http://www.kvernelandgroup.cz/userdata/files/kverneland/priprava-pudy/accord-pneumaticke-seci-stroje-A4nahled.pdf>
59. <http://www.farmweb.cz/galerie/2091/18366/201324.jpg>
60. <http://www.farmweb.cz/galerie/2065/11631/123982.jpg>
61. <http://www.agleader.com/wp-content/uploads/Sampo-Rosenlew-2065.jpg>
62. <http://www.farmweb.cz/galerie/290/1056/12629.jpg>
63. <http://www.mapy.cz/#x=14.170485&y=50.070133&z=13&l=15>

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1	Charakteristickou složkou krajiny je půda	11
Obr. 2	Zpracování půdy orbou.....	13
Obr. 3	Redukované zpracování půdy	13
Obr. 4	Svahy jsou vhodnější pro travní porosty.....	14
Obr. 5	Vodní eroze půdy s následným odnosem zeminy.....	18
Obr. 6	Rýhová a výmolová vodní eroze půdy.....	18
Obr. 7	Vytyčení kultur v krajině omezující erozi půdy	20
Obr. 8	Pásové střídání plodin	20
Obr. 9	Výsev kukuřice do nevymrzající meziplodiny	21
Obr. 10	Vymrzající meziplodina svazka vratičolistá	21
Obr. 11	Příklad válce DD od výrobce SIMBA	22
Obr. 12	Příklad válce Aqueel 2 od výrobce SIMBA.....	22
Obr. 13	Vrstevnicové seti se střídáním plodin	23
Obr. 14	Rozdělení pozemku mezemi.....	23
Obr. 15	Diskový podmítač	24
Obr. 16	Dlátový kypřič.....	24
Obr. 17	Přímé seti do nezpracované půdy	26
Obr. 18	Kukuřice vysetá do mulče	27
Obr. 19	Podsev jílku mnohokvětého a jetele plazivého v porostu kukuřice	28
Obr. 20	Současné moderní výkonné traktory pro těžké polní práce	30
Obr. 21	Orba pluhem.....	32
Obr. 22	Technické systémy pojezdových ústrojí traktorů.....	34
Obr. 23	Velkoobjemové pneumatiky.....	34
Obr. 24	Pásový podvozek.....	34
Obr. 25	Traktor s dvěma pásovými jednotkami	35
Obr. 26	Traktor se čtyřmi pásovými jednotkami.....	35
Obr. 27	Kolový nebo pásový typ podvozku na přední hnané nápravě sklízecí mlátičky	36
Obr. 28	Využití navigačních systému při zpracování půdy a při sklizni sklízecí mlátičkou	37
Obr. 29	CTF se systémem OutTrac.....	39
Obr. 30	CTF se systémem AdTrac	39
Obr. 31	Schéma organizace polního pokusu s body měření	41
Obr. 32	Schéma jízdních stop a pracovních záběrů strojů v modulu 4 000 mm	42
Obr. 33	Navigace Trimble EZ Guide 500 s asistovaným řízením EZ Steer	42
Obr. 34	Hlubkový kypřič Techmagri.....	42
Obr. 35	Pokusný pozemek v obci Červený Újezd	44
Obr. 36	Poloha vybraných měřících bodů	45
Obr. 37	Vsáknutý 0,3 % roztok modrého barviva s vodou v měřícím bodu a vykopané jámy	46
Obr. 38	Úprava a focení odkrytého profilu.....	46
Obr. 39	Postupné zpracování fotografie	47
Obr. 40	Orba + hluboké kypření - mimo stopu.....	50
Obr. 41	Orba + hluboké kypření - ve stopě.....	50
Obr. 42	CTF + hluboké kypření - mimo stopu.....	50
Obr. 43	CTF + hluboké kypření - ve stopě	50
Obr. 44	CTF - mimo stopu.....	50
Obr. 45	CTF - ve stopě.....	50
Obr. 46	Orba - mimo stopu	50
Obr. 47	Orba - ve stopě	50
Obr. 48	Schéma míst a hloubky odběrů	57

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1	<i>Soupis všech vstupů traktorů s půdozpracujícími stroji a sklízecích mlátiček na pokusný pozemek</i>	43
Tab. 2	<i>Základní charakteristika pozemku a půdního profilu</i>	44
Tab. 3	<i>Jednotlivé body měření s očíslovanými fotografiemi</i>	48
Tab. 4	<i>Procentní zastoupení obarvené vody u analyzovaných snímků pro dané varianty zpracování půdy</i>	77
Tab. 5	<i>Test analýzy rozptylu pro orbu + hlub. kypř. - mimo stopu</i>	84
Tab. 6	<i>Test analýzy rozptylu pro orbu + hlub. kypř. - ve stopě</i>	84
Tab. 7	<i>Test analýzy rozptylu pro CTF + hlub. kypř. - mimo stopu</i>	84
Tab. 8	<i>Test analýzy rozptylu pro CTF + hlub. kypř. - ve stopě</i>	85
Tab. 9	<i>Test analýzy rozptylu pro orbu - mimo stopu</i>	85
Tab. 10	<i>Test analýzy rozptylu pro orbu - ve stopě</i>	85
Tab. 11	<i>Test analýzy rozptylu pro CTF - mimo stopu</i>	86
Tab. 12	<i>Test analýzy rozptylu pro CTF - ve stopě</i>	86
Tab. 13	<i>Test homogenity rozptylů procent. zastoupení vsáknuté vody pro všechny var. zpracování půdy</i>	86
Tab. 14	<i>Polní nasycená hydraulická vodivost pro jednotlivé varianty zpracování půdy</i>	87
Tab. 15	<i>Test analýzy rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti</i>	88
Tab. 16	<i>Test homogenity rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti</i>	88
Tab. 17	<i>Penetrační odpor naměřený u varianty zpracování půdy orbou + hluboké kypření</i>	89
Tab. 18	<i>Penetrační odpor naměřený u varianty zpracování půdy CTF + hluboké kypření</i>	90
Tab. 19	<i>Penetrační odpor naměřený u varianty zpracování půdy orbou</i>	91
Tab. 20	<i>Penetrační odpor naměřený u varianty zpracování půdy CTF</i>	92
Tab. 21	<i>Objemová hmotnost pro jednotlivé metody zpracování půdy</i>	97

SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 1	<i>Orba + hlub. kypř. - mimo stopu</i>	78
Graf 2	<i>Orba + hlub. kypř. - ve stopě</i>	78
Graf 3	<i>CTF + hlub. kypř. - mimo stopu</i>	78
Graf 4	<i>CTF + hlub. kypř. - ve stopě</i>	78
Graf 5	<i>CTF - mimo stopu</i>	78
Graf 6	<i>Orba - ve stopě</i>	78
Graf 7	<i>Orba - mimo stopu</i>	78
Graf 8	<i>Orba - ve stopě</i>	78
Graf 9	<i>Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy orbou + hluboké kypření - průměr</i>	79
Graf 10	<i>Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření - průměr</i>	79
Graf 11	<i>Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy metodou CTF - průměr</i>	80
Graf 12	<i>Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy orbou - průměr</i>	80
Graf 13	<i>Porovnání infiltrace vody do půdy při všech variantách zpracování půdy - mimo stopu</i>	81
Graf 14	<i>Porovnání infiltrace vody do půdy při všech variant zpracování půdy - ve stopě</i>	81
Graf 15	<i>Por. infiltrace vody do půdy při zpracov. půdy orbou + hlub. kyp. nebo metodou CTF + hlub. kyp.</i>	82
Graf 16	<i>Porovnání infiltrace vody do půdy při variantách zpracování půdy orbou nebo metodou CTF</i>	82
Graf 17	<i>Por. infiltrace vody do půdy při variantách zpracování půdy orbou + hluboké kypření nebo orbou</i>	83
Graf 18	<i>Por. infiltrace vody do půdy při zpracování půdy metodou CTF + hlub. kyp. nebo metodou CTF</i>	83
Graf 19	<i>Polní nasycená hydraulická vodivost pro všechny varianty zpracování půdy</i>	88
Graf 20	<i>Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy orbou + hluboké kypření</i>	93
Graf 21	<i>Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy CTF + hluboké kypření</i>	93
Graf 22	<i>Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy orbou</i>	94
Graf 23	<i>Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy metodou CTF</i>	94
Graf 24	<i>Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy orbou + hluboké kypření</i>	95
Graf 25	<i>Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření</i>	95
Graf 26	<i>Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy orbou</i>	96
Graf 27	<i>Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy metodou CTF</i>	96
Graf 28	<i>Objemová hmotnost při zpracování půdy orbou + hluboké kypření</i>	98
Graf 29	<i>Objemová hmotnost při zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření</i>	98
Graf 30	<i>Objemová hmotnost při zpracování půdy orbou</i>	99
Graf 31	<i>Objemová hmotnost při zpracování půdy metodou CTF</i>	99
Graf 32	<i>Porovnání objemové hmotnosti při všech variantách zpracování půdy - mimo stopu</i>	100
Graf 33	<i>Porovnání objemové hmotnosti při všech variantách zpracování půdy - ve stopě</i>	100

SEZNAM PŘÍLOH

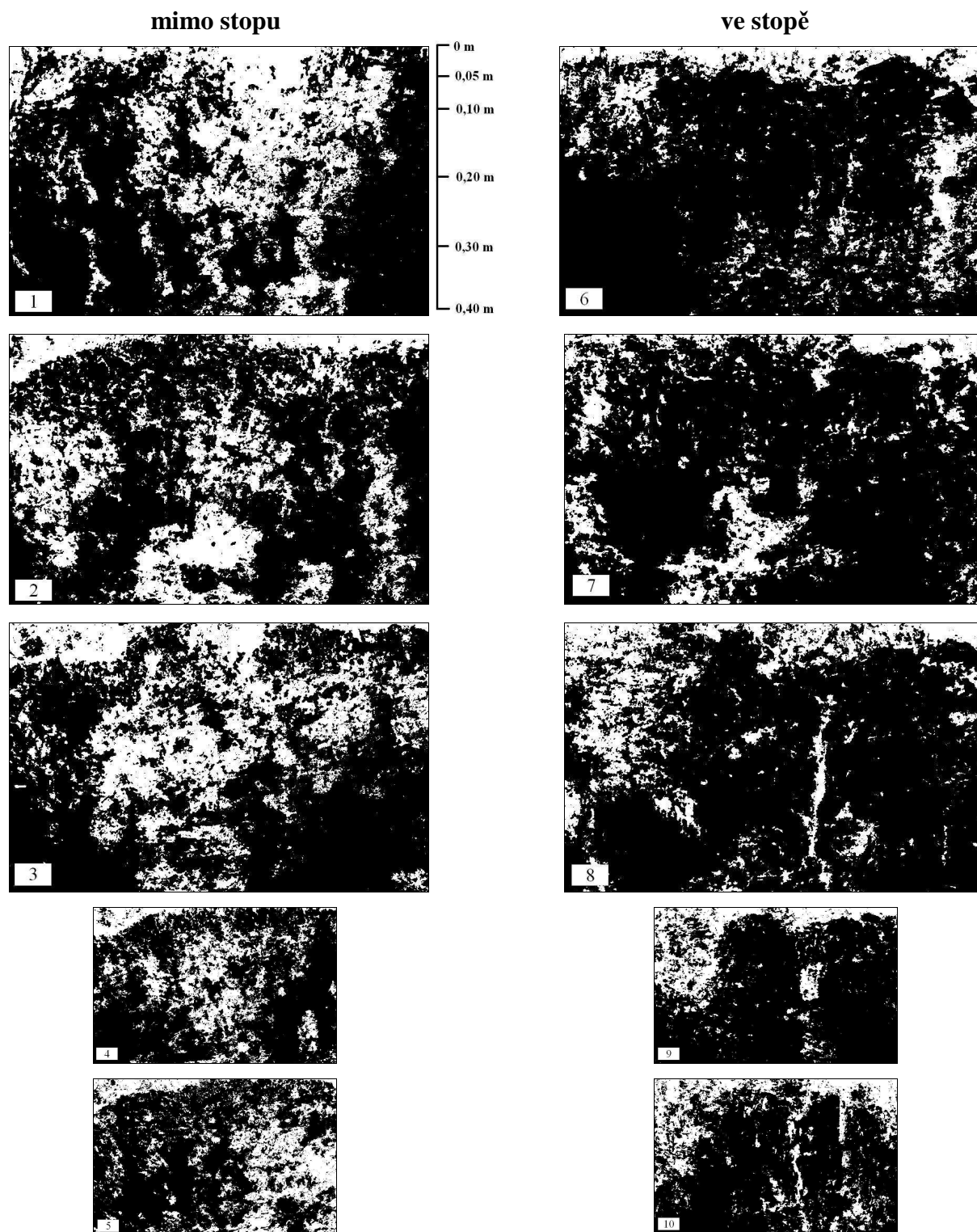
Příloha 1	Měření a hodnoc. infiltrace vody do půdy.....	73
Příloha 1.1	Upravené černobílé snímky infiltrace vody do půdy.....	73
Příloha 1.2	Tabulka proc. zastoup. modré obarvené vody u analyzov. snímků pro dané zprac. půdy.....	77
Příloha 1.3	Grafy infiltrace vody do půdy pro dané zpracování půdy	78
Příloha 1.4	Tabulky analýz rozptylů proc. zastoup. obarv. vody vsáknuté do půdy pro dané zpr. půdy	84
Příloha 1.5	Tabulka testu homog. rozpt. procen. zast. obarv. vody vsáknuté do půdy pro dané zpr. půdy ...	86
Příloha 2	Hodnocení polní nasyc. hydr. vodivosti	87
Příloha 2.1	Tabulka polní nasycené hydraulické vodivosti pro dané varianty zpracování půdy	87
Příloha 2.2	Graf polní nasycené hydraulické vodivosti pro dané varianty zpracování půdy	88
Příloha 2.3	Tabulka analýzy rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti pro dané var. zprac. půdy.....	88
Příloha 2.4	Tabulka testu homogenity rozptylů polní nasycené hydraulické vodivosti.....	88
Příloha 3	Hodnocení zhutnění půdy.....	89
Příloha 3.1	Tabulky penetračních odporů naměřených u daných variant zpracování půdy.....	89
Příloha 3.2	Grafy penetračních odporů naměřených u daných variant zpracování půdy.....	93
Příloha 4	Hodnocení objemové hmotnosti	97
Příloha 4.1	Tabulka objemových hmotností pro dané varianty zpracování půdy	97
Příloha 4.2	Grafy objemových hmotností u daných varianty zpracování půdy	98

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 1 MĚŘENÍ A HODNOC. INFILTRACE VODY DO PŮDY

Příloha 1.1 Upravené černobílé snímky infiltrace vody do půdy

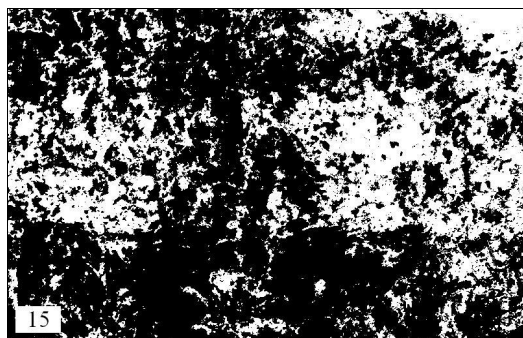
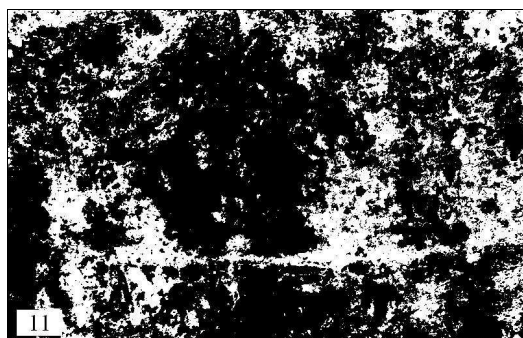
Měřicí bod č. 18 - ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ



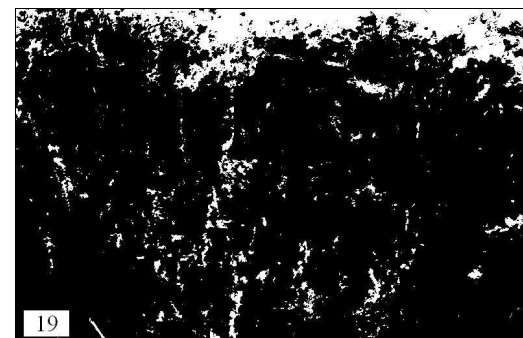
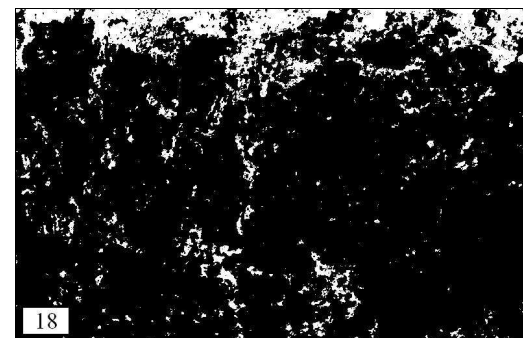
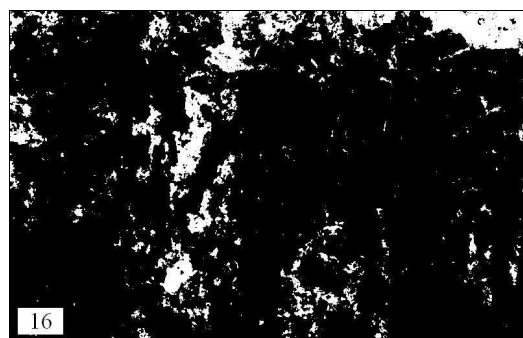
Zdroj: autor

Měřicí bod č. 6 - CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ

mimo stopu



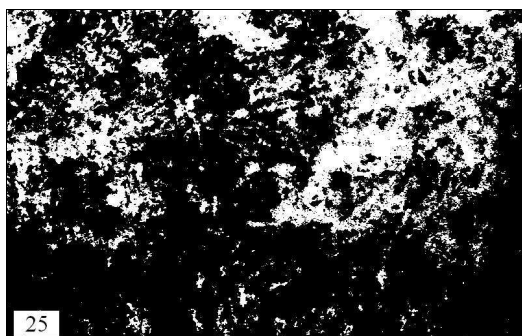
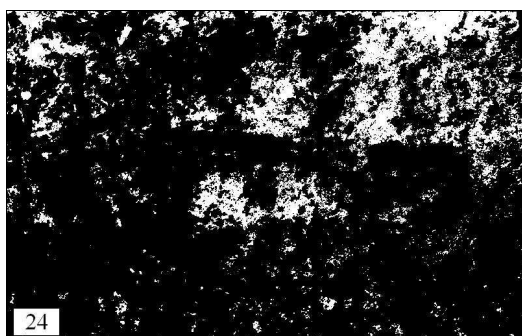
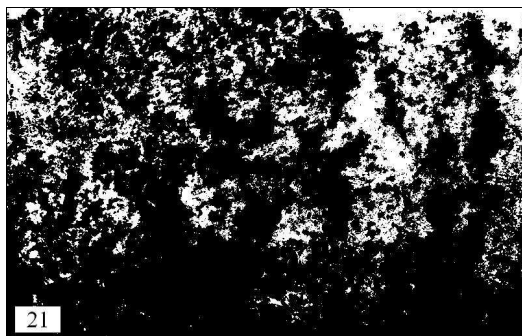
ve stopě



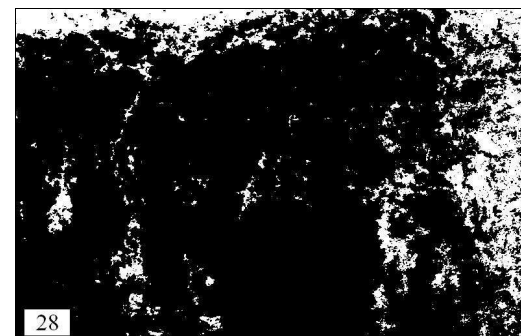
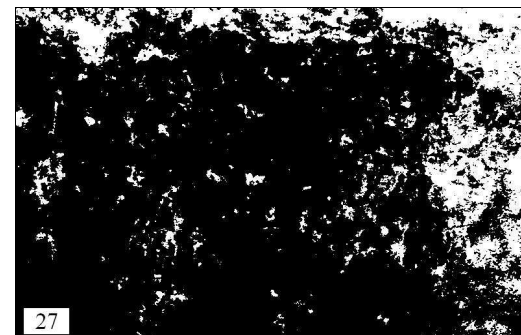
0 m
0,05 m
0,10 m
0,20 m
0,30 m
0,40 m

Měřicí bod č. 3 - CTF

mimo stopu



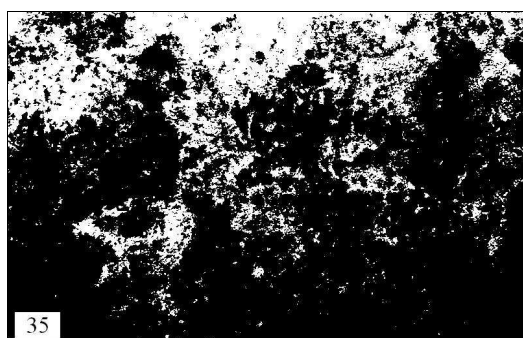
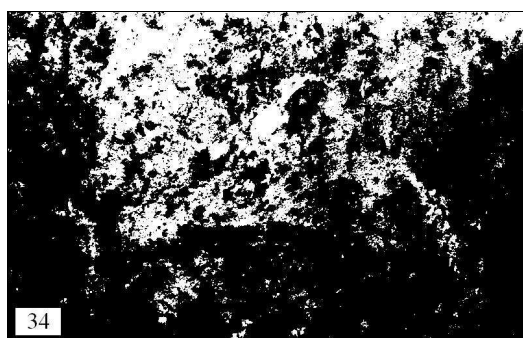
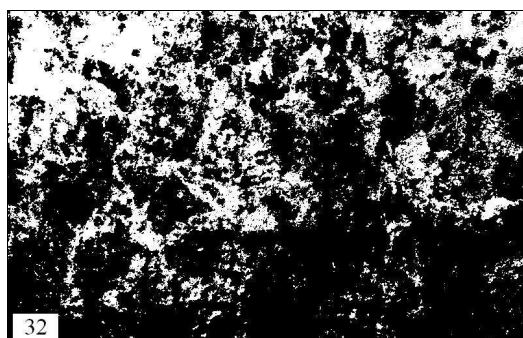
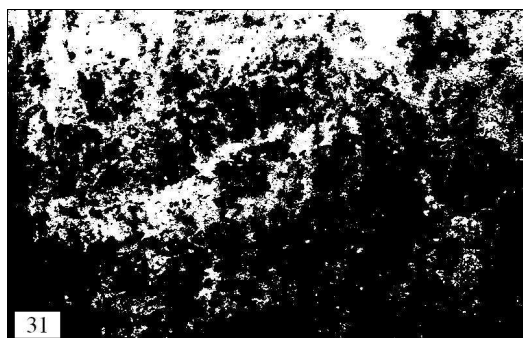
ve stopě



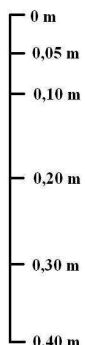
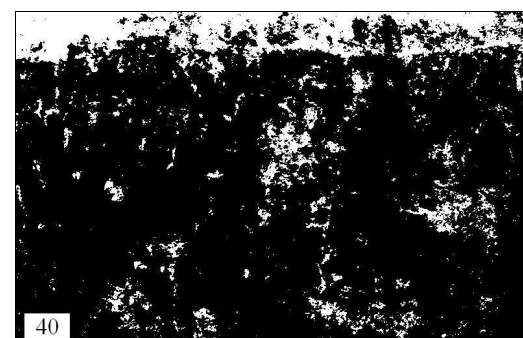
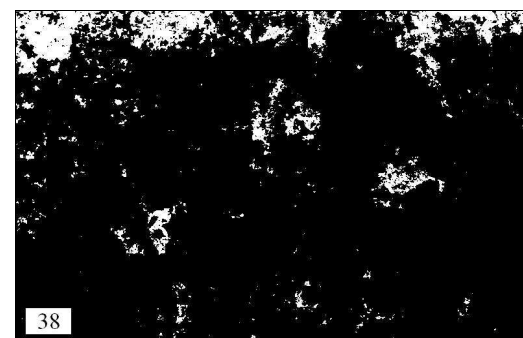
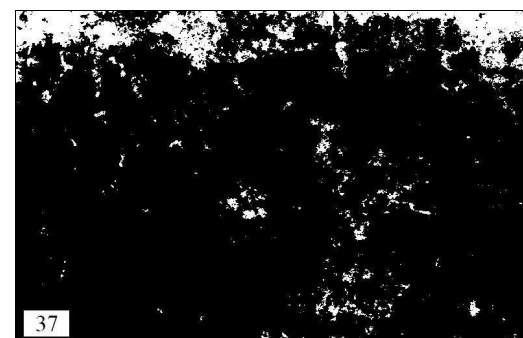
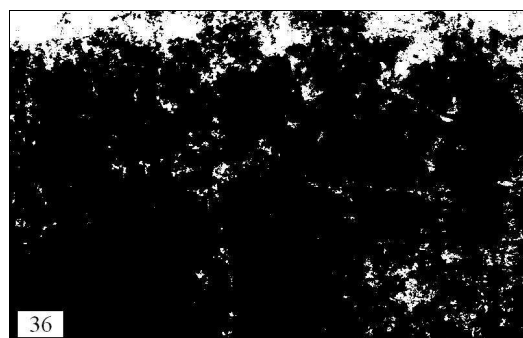
0 m
0,05 m
0,10 m
0,20 m
0,30 m
0,40 m

Měřicí bod č. 16 - ORBA

mimo stopu



ve stopě



Příloha 1.2 Tabulka procentního zastoup. modré obarvené vody u analyzovaných snímků pro dané zpracování půdy

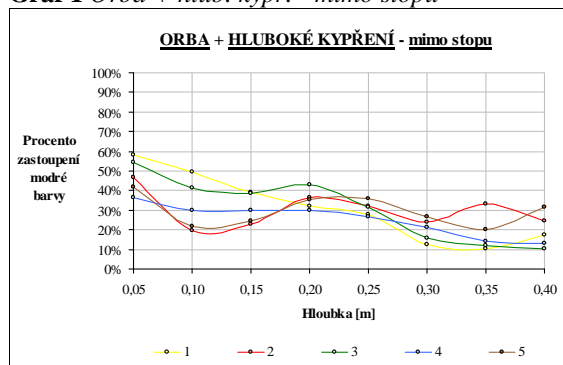
Tab. 4 Procentní zastoupení obarvené vody u analyzovaných snímků pro dané varianty zpracování půdy

Měřicí bod č. 18		ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu						Měřicí bod č. 18	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě						
		Číslo snímku					průměr		Číslo snímku					průměr	
		1	2	3	4	5			6	7	8	9	10		
		Procento zastoupení modré obarvené vody [%]								Procento zastoupení modré obarvené vody [%]					
Hloubka [m]	0,05	57,99	46,83	54,58	36,61	42,10	47,62	Hloubka [m]	0,05	60,75	43,37	55,62	63,54	66,48	57,95
	0,10	49,47	19,61	41,04	30,00	21,81	32,39		0,10	16,45	12,98	24,03	19,91	34,80	21,63
	0,15	39,10	22,66	38,65	29,81	24,66	30,98		0,15	12,31	11,59	15,24	18,82	23,58	16,31
	0,20	32,32	36,66	42,79	30,15	35,28	35,44		0,20	12,35	6,17	18,54	26,22	15,85	15,83
	0,25	27,69	31,96	31,65	26,49	35,72	30,70		0,25	7,51	10,04	9,64	14,48	12,21	10,77
	0,30	12,51	23,94	15,53	21,10	26,79	19,97		0,30	11,92	15,07	11,38	5,53	10,42	10,87
	0,35	10,08	33,02	11,71	14,10	20,08	17,80		0,35	12,13	19,39	8,04	2,47	13,49	11,10
	0,40	17,17	24,25	10,43	12,91	31,33	19,22		0,40	5,69	12,65	7,42	2,58	9,82	7,63
Měřicí bod č. 6		CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu						Měřicí bod č. 6	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě						
		Číslo snímku					průměr		Číslo snímku					průměr	
		11	12	13	14	15			16	17	18	19	20		
		Procento zastoupení modré obarvené vody [%]								Procento zastoupení modré obarvené vody [%]					
Hloubka [m]	0,05	42,74	36,29	39,53	46,48	41,11	41,23	Hloubka [m]	0,05	32,74	52,84	48,90	55,65	56,21	49,27
	0,10	17,72	29,48	27,26	36,19	24,13	26,96		0,10	5,75	19,22	13,40	15,21	9,02	12,52
	0,15	17,50	26,26	29,51	40,02	48,09	32,27		0,15	9,01	3,76	5,03	2,34	3,23	4,67
	0,20	21,23	31,88	44,04	37,99	50,88	37,21		0,20	7,87	2,35	4,83	3,09	5,10	4,65
	0,25	32,33	40,64	45,88	38,77	50,83	41,69		0,25	4,20	2,53	2,05	3,66	5,30	3,55
	0,30	40,03	54,54	20,48	23,82	27,51	33,28		0,30	5,49	4,79	4,07	4,69	8,72	5,55
	0,35	29,02	20,87	10,50	7,32	15,95	16,73		0,35	8,18	6,18	4,79	5,01	4,27	5,69
	0,40	20,58	16,08	10,49	8,91	14,72	14,16		0,40	4,02	6,44	4,08	3,29	2,33	4,03
Měřicí bod č. 3		CTF - mimo stopu						Měřicí bod č. 3	CTF - ve stopě						
		Číslo snímku					průměr		Číslo snímku					průměr	
		21	22	23	24	25			26	27	28	29	30		
		Procento zastoupení modré obarvené vody [%]								Procento zastoupení modré obarvené vody [%]					
Hloubka [m]	0,05	39,04	28,20	42,71	33,25	40,53	36,75	Hloubka [m]	0,05	42,39	49,16	44,74	56,59	32,47	45,07
	0,10	29,39	32,41	24,36	21,44	37,34	28,99		0,10	12,48	16,80	9,71	8,44	8,19	11,12
	0,15	34,97	35,97	24,60	28,21	35,63	31,88		0,15	16,75	10,74	10,04	3,66	6,05	9,45
	0,20	24,95	24,96	16,79	8,24	35,97	22,18		0,20	17,83	16,92	11,85	8,89	4,14	11,93
	0,25	19,62	19,23	20,13	15,06	24,55	19,72		0,25	8,73	18,45	17,93	7,49	3,08	11,13
	0,30	15,41	7,21	9,90	3,59	8,22	8,86		0,30	11,17	13,64	11,16	8,38	2,29	9,33
	0,35	2,91	1,85	2,54	1,79	2,40	2,30		0,35	8,41	6,46	9,19	6,08	1,24	6,28
	0,40	0,97	2,66	5,41	2,95	3,73	3,14		0,40	4,60	3,19	4,24	2,90	0,81	3,15
Měřicí bod č. 16		ORBA - mimo stopu						Měřicí bod č. 16	ORBA - ve stopě						
		Číslo snímku					průměr		Číslo snímku					průměr	
		31	32	33	34	35			36	37	38	39	40		
		Procento zastoupení modré obarvené vody [%]								Procento zastoupení modré obarvené vody [%]					
Hloubka [m]	0,05	71,79	57,48	74,56	62,17	64,46	66,09	Hloubka [m]	0,05	55,99	45,63	38,70	44,62	69,03	50,79
	0,10	46,23	49,66	51,22	41,81	50,03	47,79		0,10	11,37	8,96	5,60	7,85	11,22	9,00
	0,15	26,09	33,82	37,99	34,55	25,25	31,54		0,15	2,69	1,15	4,99	6,24	6,50	4,31
	0,20	16,30	30,59	30,30	28,64	13,25	23,82		0,20	2,32	1,54	2,82	7,46	7,44	4,32
	0,25	21,85	25,59	27,01	22,62	12,26	21,87		0,25	1,60	2,81	3,57	2,84	7,32	3,63
	0,30	11,85	14,24	16,39	10,10	11,93	12,90		0,30	1,78	0,70	2,29	3,18	3,28	2,24
	0,35	4,84	10,57	12,90	4,38	2,91	7,12		0,35	3,85	1,25	0,68	2,19	3,74	2,34
	0,40	2,16	2,93	5,19	1,93	0,79	2,60		0,40	1,89	2,40	1,46	1,54	6,35	2,73

Zdroj: autor

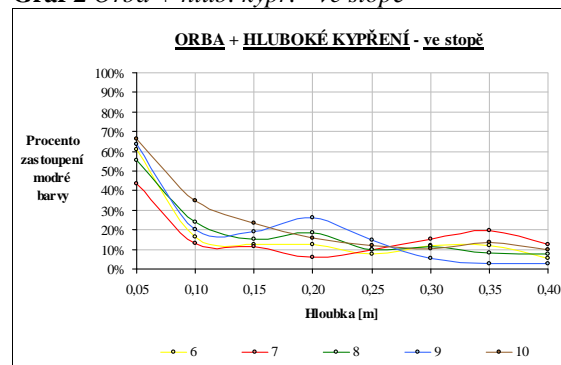
Příloha 1.3 Grafy infiltrace vody do půdy pro dané varianty zpracování půdy

Graf 1 Orba + hlub. kypř. - mimo stopu



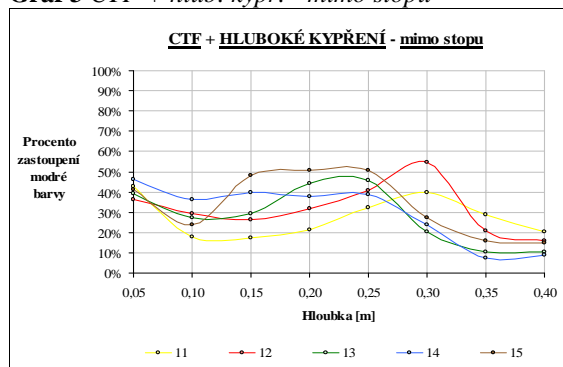
Zdroj: autor

Graf 2 Orba + hlub. kypř. - ve stopě



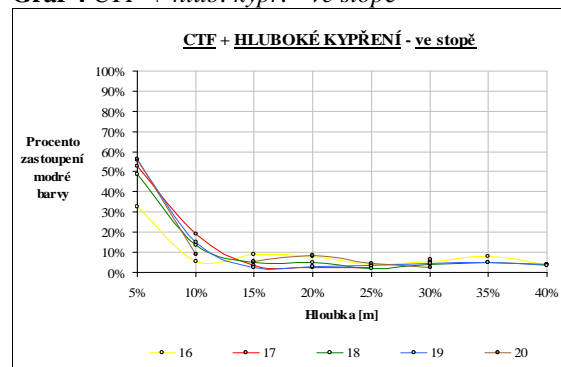
Zdroj: autor

Graf 3 CTF + hlub. kypř. - mimo stopu



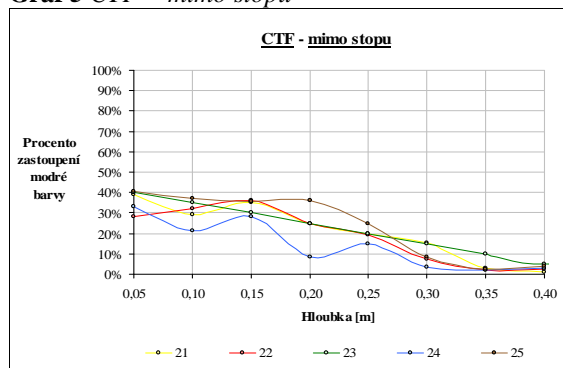
Zdroj: autor

Graf 4 CTF + hlub. kypř. - ve stopě



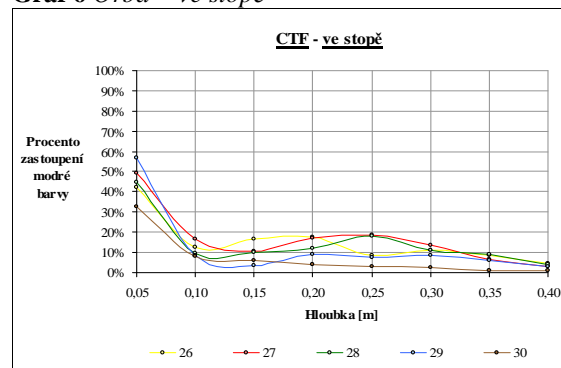
Zdroj: autor

Graf 5 CTF - mimo stopu



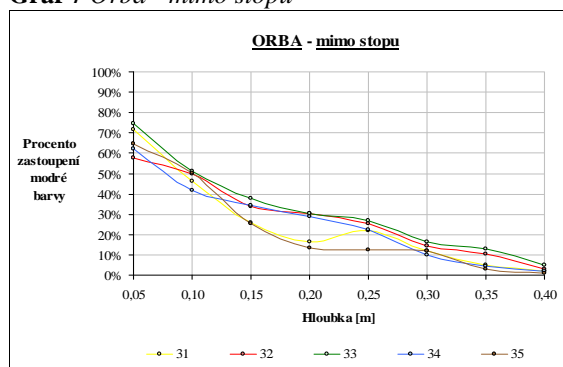
Zdroj: autor

Graf 6 Orba - ve stopě



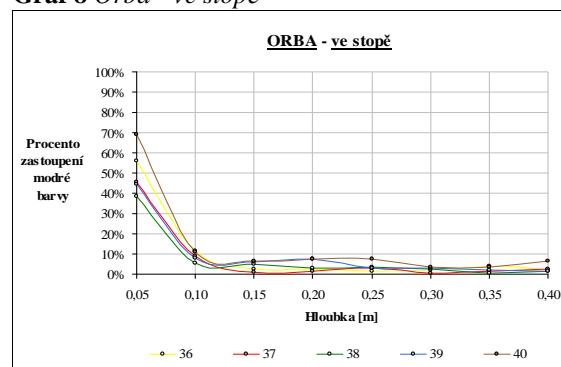
Zdroj: autor

Graf 7 Orba - mimo stopu

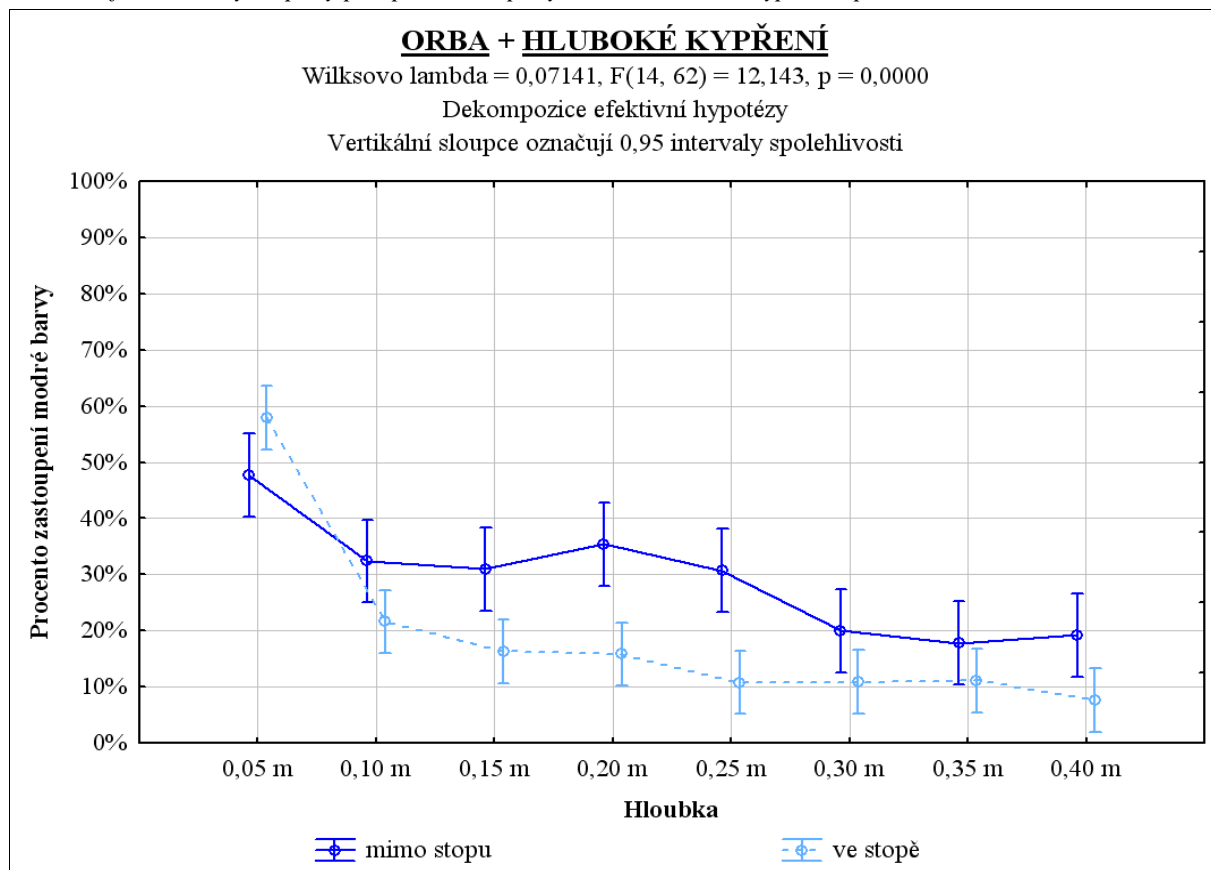


Zdroj: autor

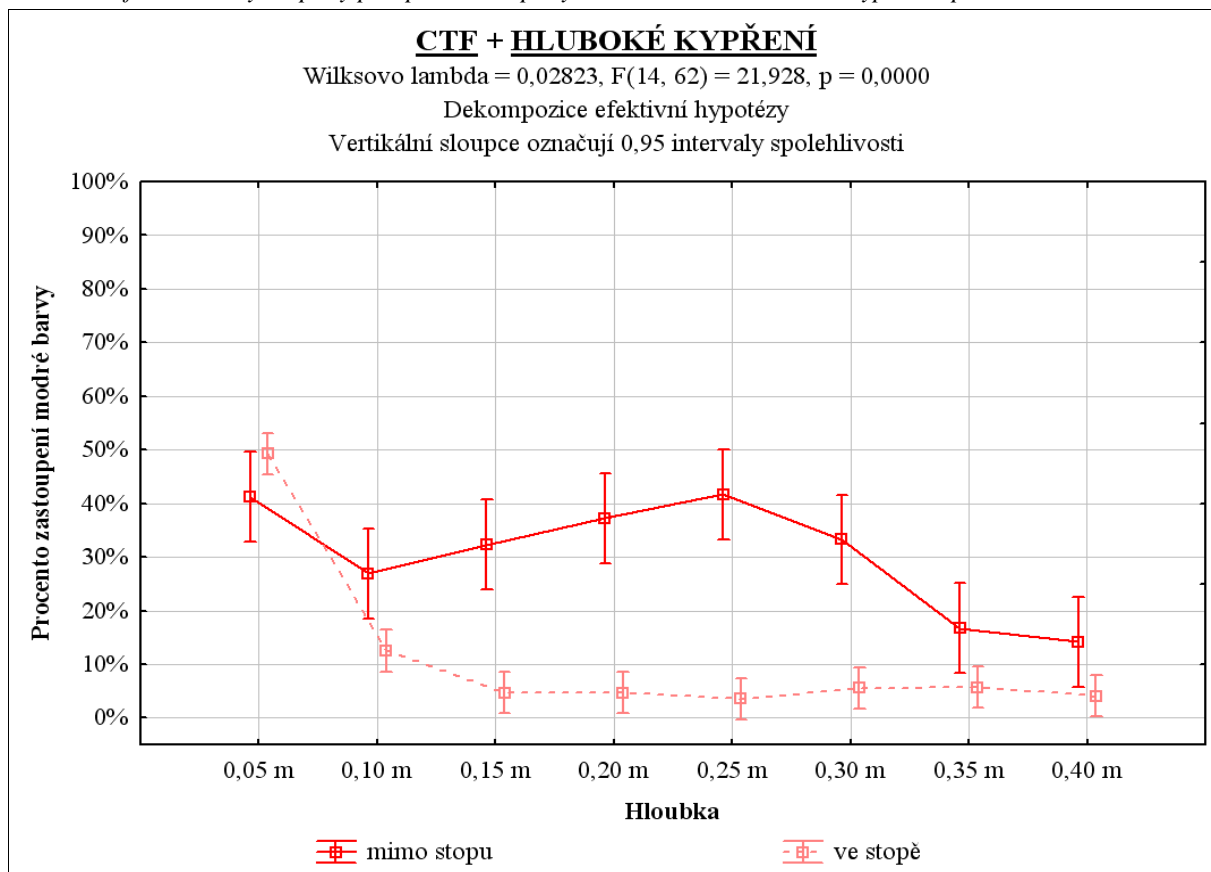
Graf 8 Orba - ve stopě



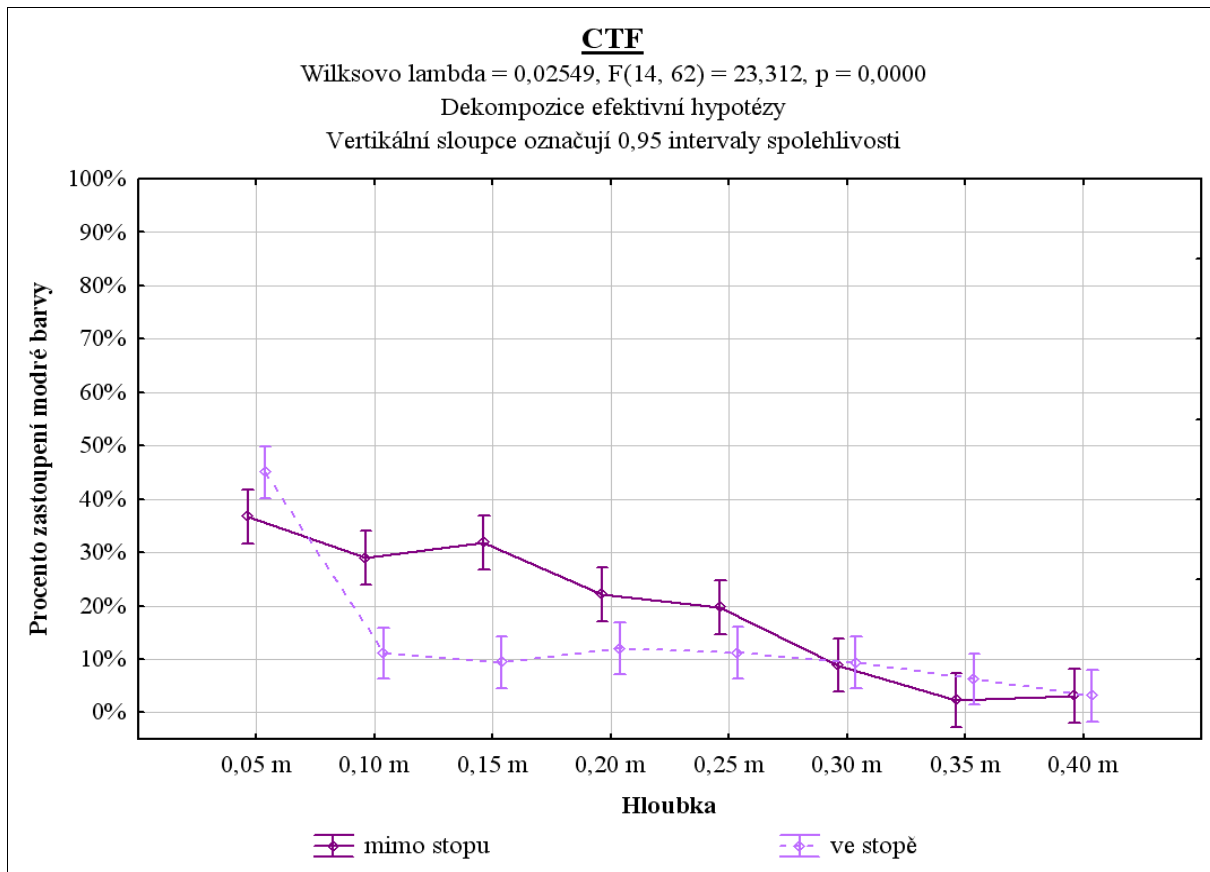
Zdroj: autor

Graf 9 Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy orbou + hluboké kypření - průměr

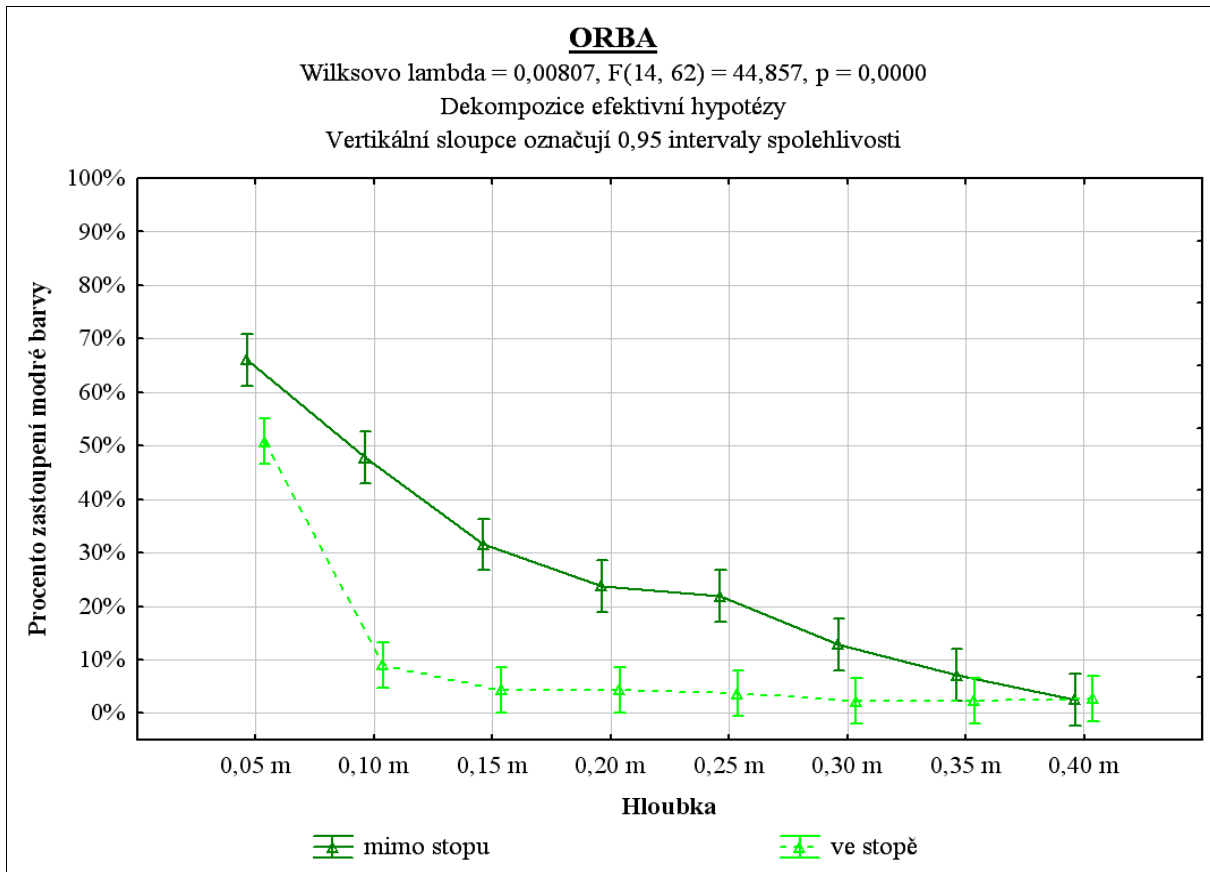
Zdroj: autor

Graf 10 Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření - průměr

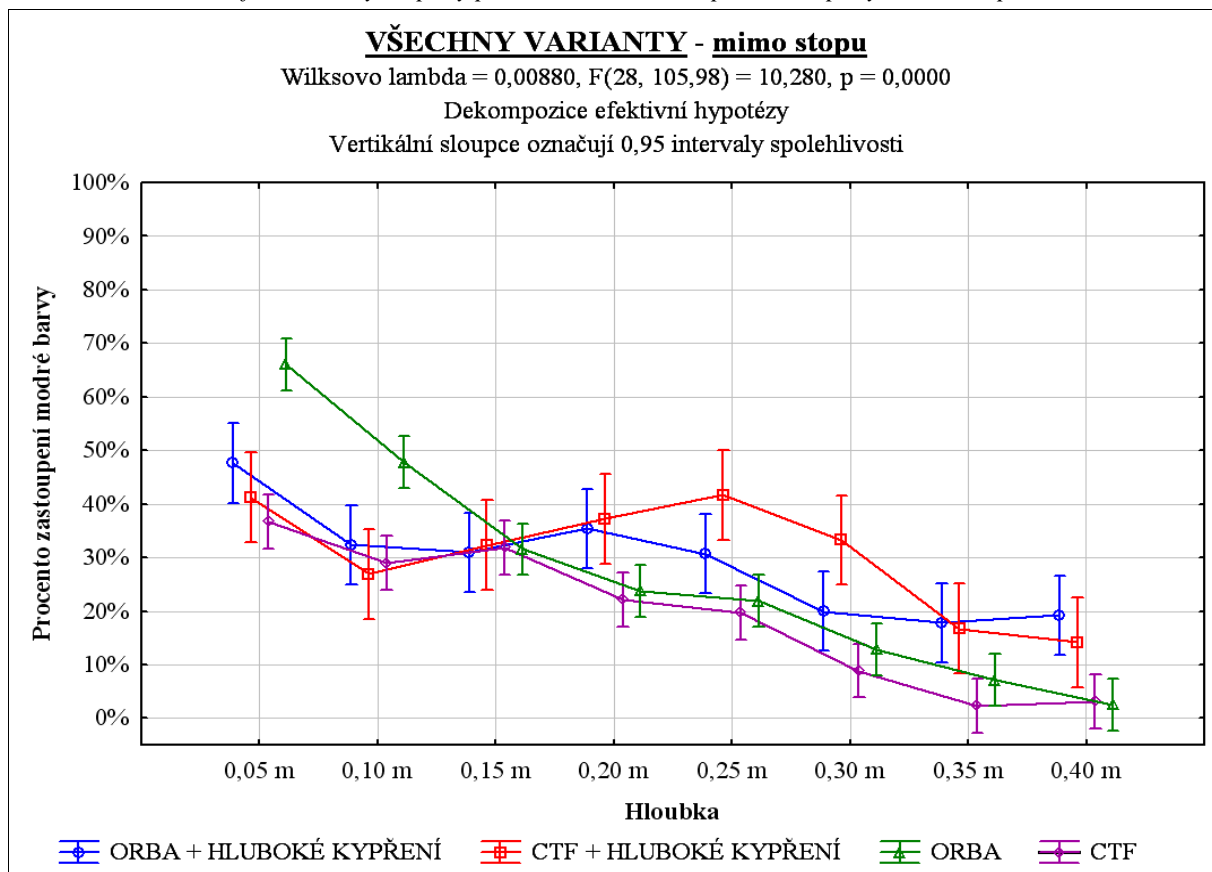
Zdroj: autor

Graf 11 Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy metodou CTF - průměr

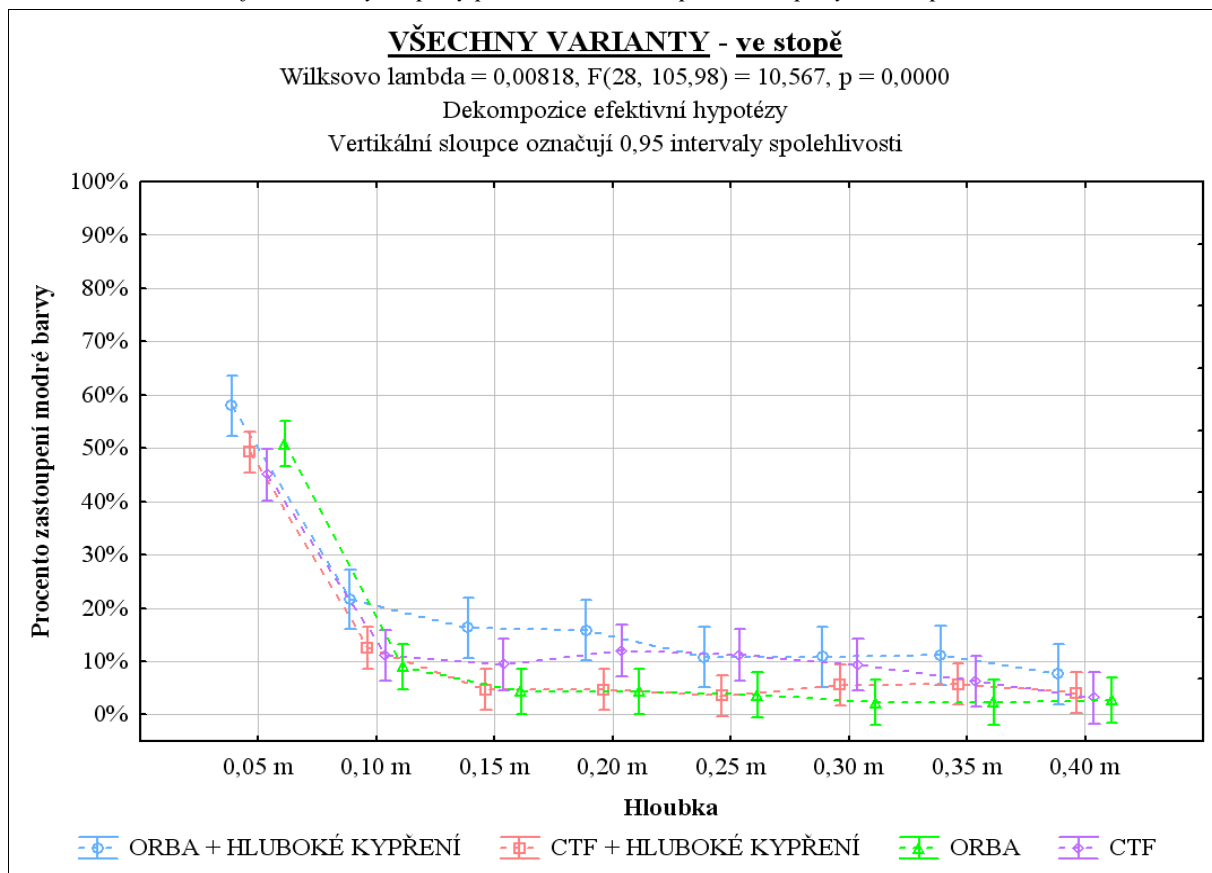
Zdroj: autor

Graf 12 Infiltrace vody do půdy při zpracování půdy orbou - průměr

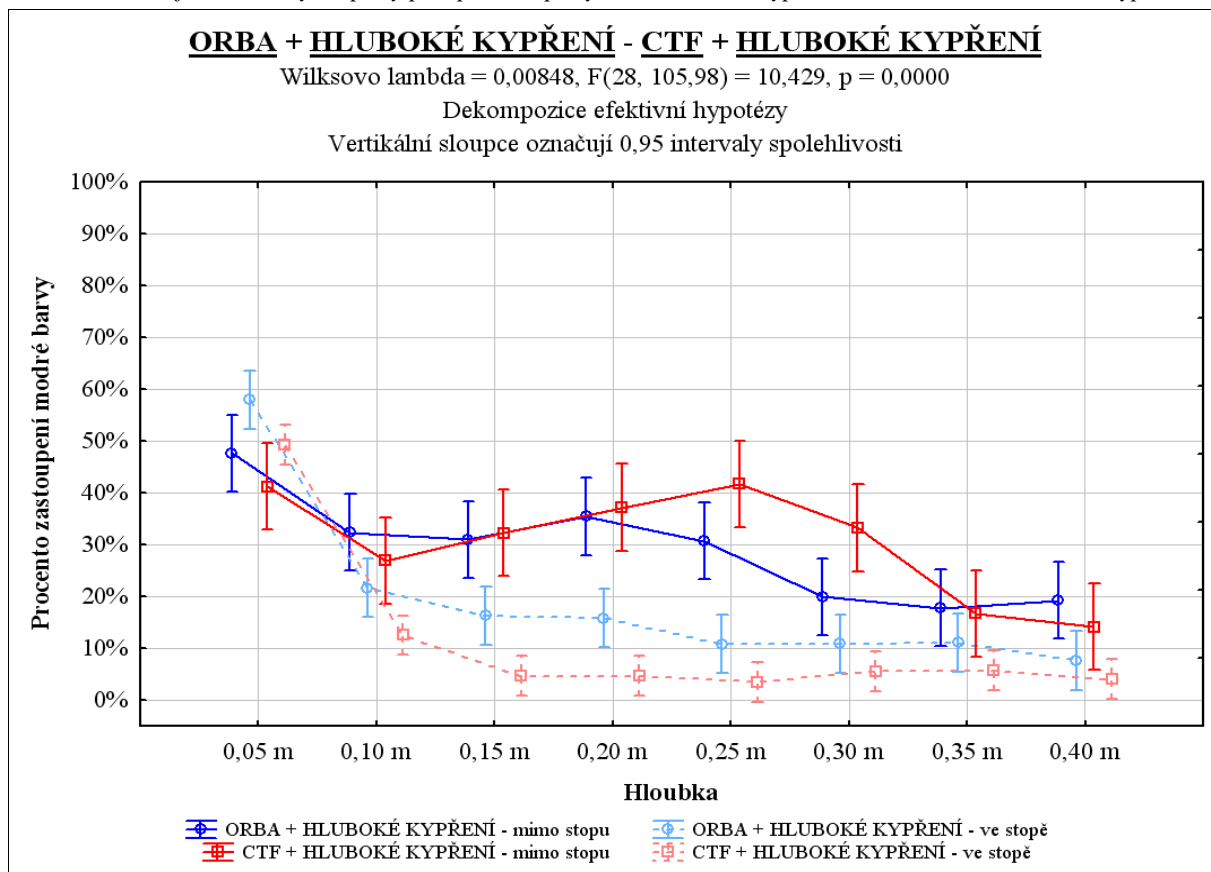
Zdroj: autor

Graf 13 Porovnání infiltrace vody do půdy při všech variantách zpracování půdy - mimo stopu

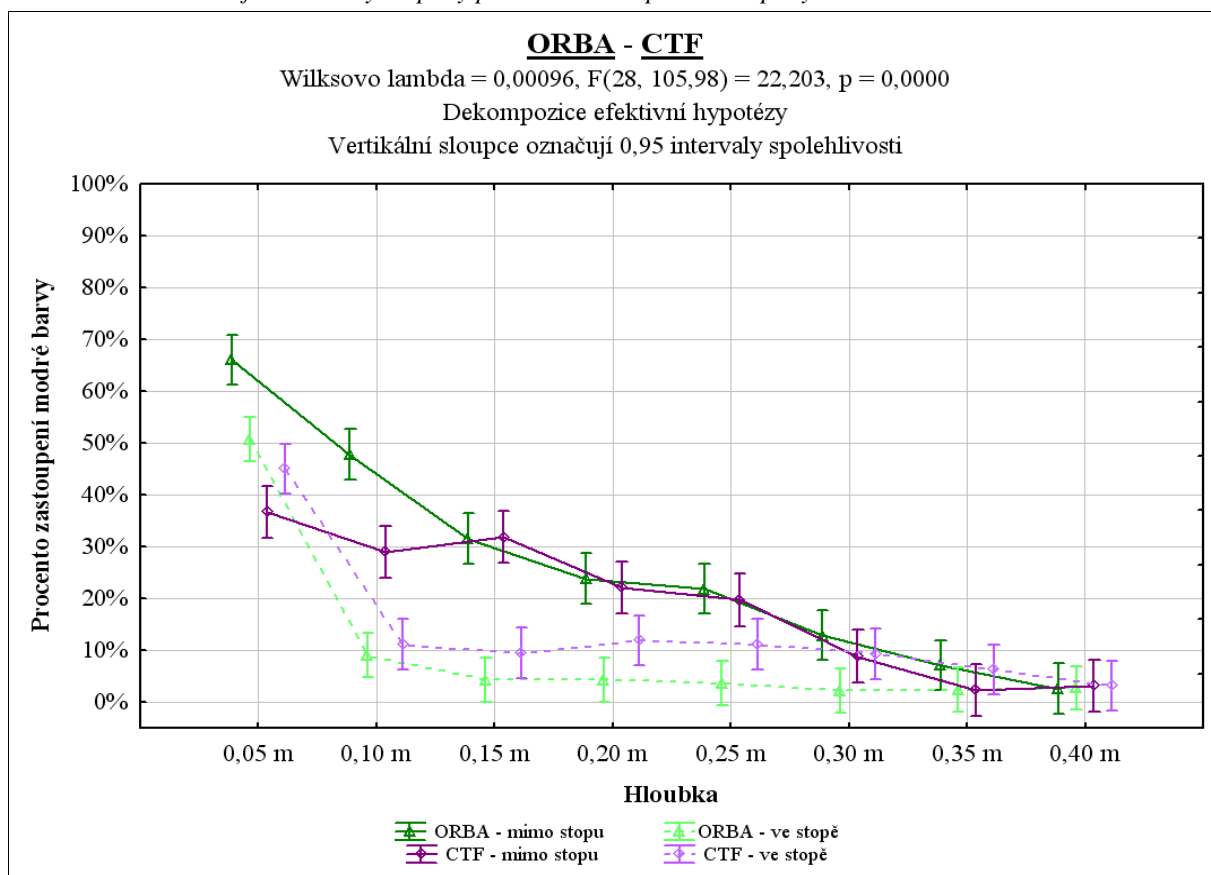
Zdroj: autor

Graf 14 Porovnání infiltrace vody do půdy při všech variant zpracování půdy - ve stopě

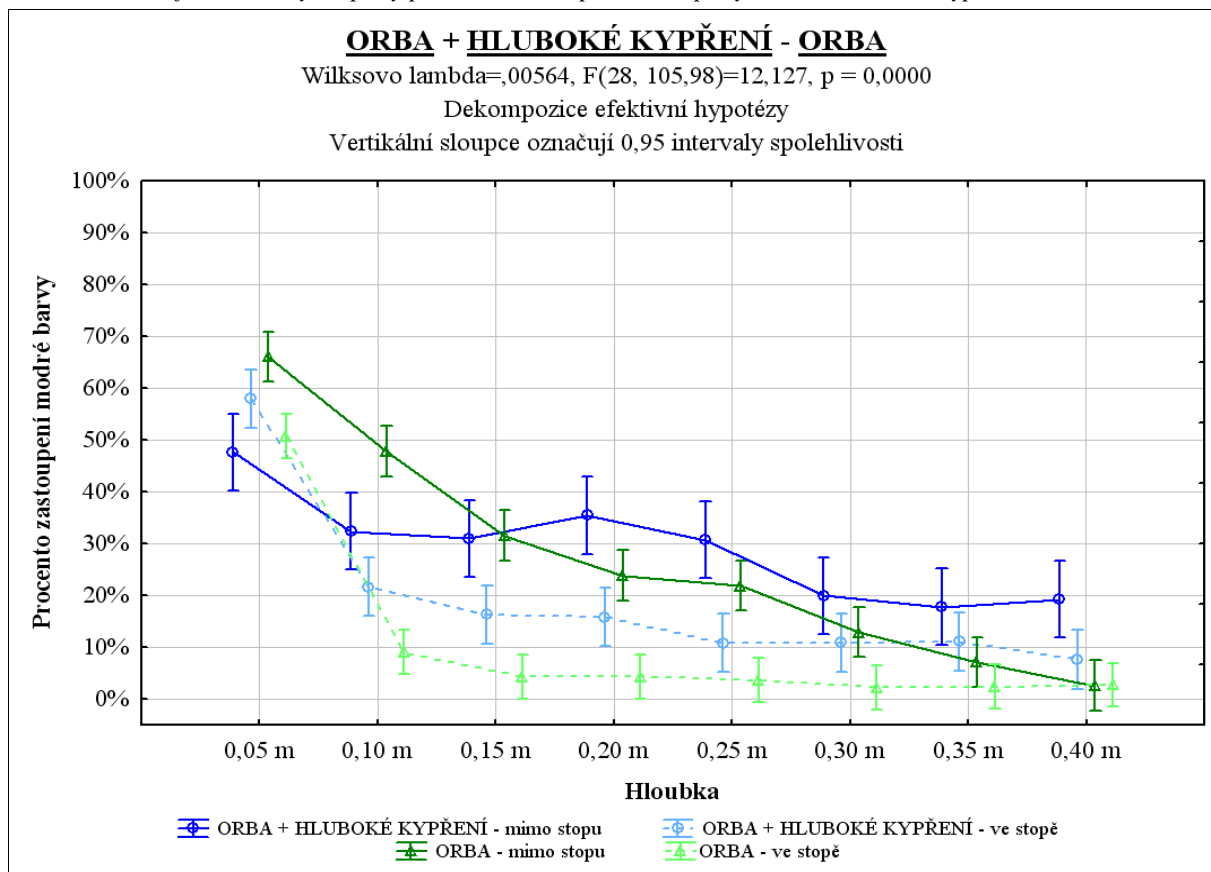
Zdroj: autor

Graf 15 Por. infiltrace vody do půdy při zpracov. půdy orbou + hlub. kyp. nebo metodou CTF + hlub. kyp.

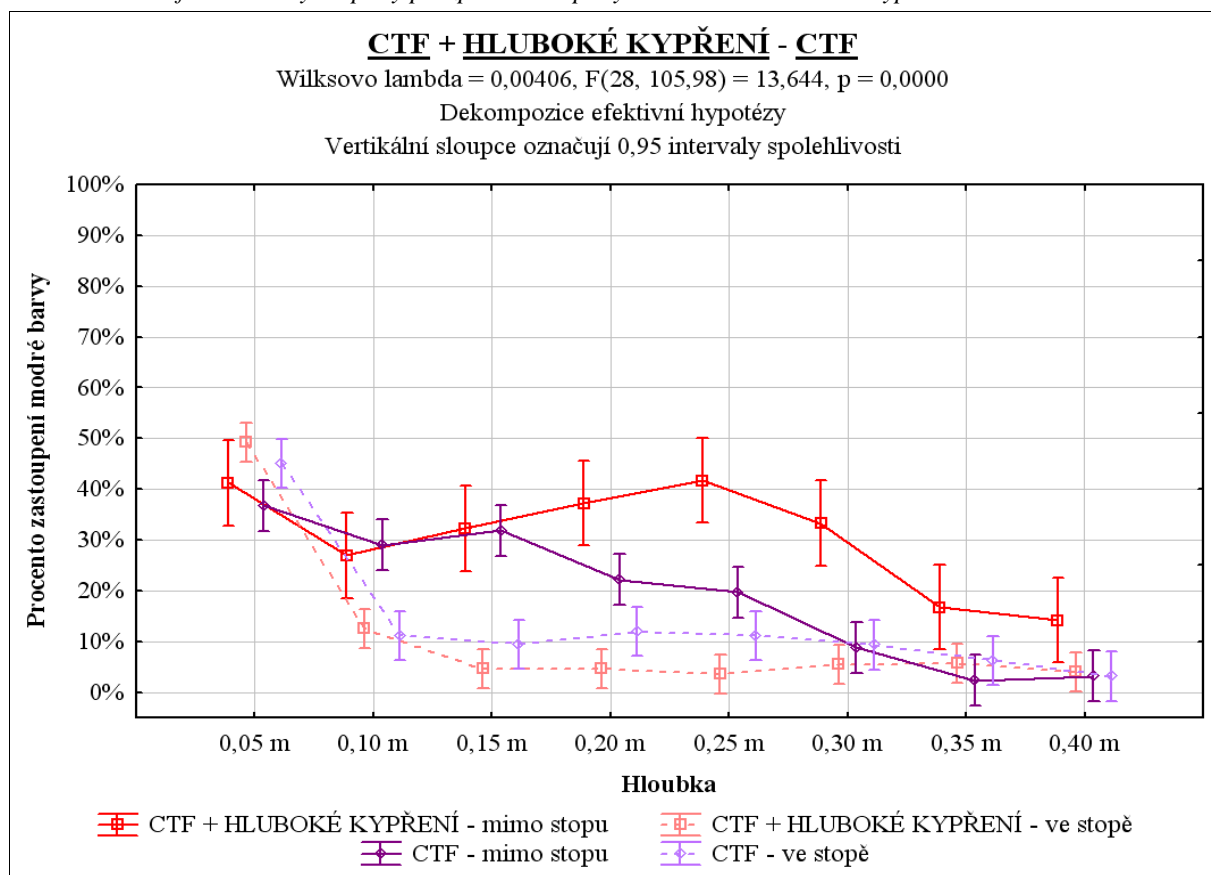
Zdroj: autor

Graf 16 Porovnání infiltrace vody do půdy při variantách zpracování půdy orbou nebo metodou CTF

Zdroj: autor

Graf 17 Por. infiltrace vody do půdy při variantách zpracování půdy orbou + hluboké kypření nebo orbou

Zdroj: autor

Graf 18 Por. infiltrace vody do půdy při zpracování půdy metodou CTF + hlub. kyp. nebo metodou CTF

Zdroj: autor

Příloha 1.4 Tabulky analýz rozptylů procen. zastoupení obarvené vody vsáknuté do půdy pro dané zpracování půdy

Tab. 5 Test analýzy rozptylu pro orbu + hlub. kypř. - mimo stopu

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - orba + hluboké kypření - mimo stopu Homogenní skupiny, alfa = 0,05000 Chyba: meziskup. PČ = 0,00662, sv = 32,000					
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu					
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3
		průměr			
7	0,35 m	0,17798	****		
8	0,40 m	0,19218	****	****	
6	0,30 m	0,19974	****	****	
5	0,25 m	0,30702	****	****	
3	0,15 m	0,30976	****	****	****
2	0,10 m	0,32386	****	****	****
4	0,20 m	0,35440		****	****
1	0,05 m	0,47622			****

Zdroj: autor

Tab. 6 Test analýzy rozptylu pro orbu + hlub. kypř. - ve stopě

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - orba + hluboké kypření - ve stopě Homogenní skupiny, alfa = 0,05000 Chyba: meziskup. PČ = 0,00384, sv = 32,000					
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě					
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3
		průměr			
8	0,40 m	0,07632	****		
5	0,25 m	0,10776	****	****	
6	0,30 m	0,10864	****	****	
7	0,35 m	0,11104	****	****	
4	0,20 m	0,15826	****	****	
3	0,15 m	0,16308	****	****	
2	0,10 m	0,21634		****	
1	0,05 m	0,57952			****

Zdroj: autor

Tab. 7 Test analýzy rozptylu pro CTF + hlub. kypř. - mimo stopu

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - ctf + hluboké kypření - mimo stopu Homogenní skupiny, alfa = 0,05000 Chyba: meziskup. PČ = 0,00843, sv = 32,000					
CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu					
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3
		průměr			
8	0,40 m	0,14156		****	
7	0,35 m	0,16732		****	****
2	0,10 m	0,26956	****	****	****
3	0,15 m	0,32276	****	****	****
6	0,30 m	0,33276	****		****
4	0,20 m	0,37204	****		
1	0,05 m	0,41230	****		
5	0,25 m	0,41690	****		

Zdroj: autor

Tab. 8 Test analýzy rozptylu pro CTF + hlub. kypř. - ve stopě

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - ctf + hluboké kypření - ve stopě					
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000					
Chyba: meziskup. PČ = 0,00178, sv = 32,000					
CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě					
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3
		průměr			
5	0,25 m	0,03548	****		
8	0,40 m	0,04032	****	****	
4	0,20 m	0,04648	****	****	
3	0,15 m	0,04674	****	****	
6	0,30 m	0,05552	****	****	
7	0,35 m	0,05686	****	****	
2	0,10 m	0,12520		****	
1	0,05 m	0,49268		****	****

Zdroj: autor

Tab. 9 Test analýzy rozptylu pro orbu - mimo stopu

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - orba - mimo stopu							
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000							
Chyba: meziskup. PČ = 0,00282, sv = 32,000							
ORBA - mimo stopu							
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3	4	5
		průměr					
8	0,40 m	0,02600	****				
7	0,35 m	0,07120	****				
6	0,30 m	0,12902	****		****		
5	0,25 m	0,21866		****	****		
4	0,20 m	0,23816		****			
3	0,15 m	0,31540		****			
2	0,10 m	0,47790				****	
1	0,05 m	0,66092					****

Zdroj: autor

Tab. 10 Test analýzy rozptylu pro orbu - ve stopě

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - orba - ve stopě				
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 0,00218, sv = 32,000				
ORBA - ve stopě				
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2
		průměr		
6	0,30 m	0,02246	****	
7	0,35 m	0,02342	****	
8	0,40 m	0,02728	****	
5	0,25 m	0,03628	****	
3	0,15 m	0,04314	****	
4	0,20 m	0,04316	****	
2	0,10 m	0,09000	****	
1	0,05 m	0,50794		****

Zdroj: autor

Tab. 11 Test analýzy rozptylu pro CTF - mimo stopu

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - ctf - mimo stopu							
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000							
Chyba: meziskup. PČ = 0,00302, sv = 32,000							
CTF - mimo stopu							
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2	3	4	5
		průměr					
7	0,35 m	0,02298	****				
8	0,40 m	0,03144	****				
6	0,30 m	0,08866	****				****
5	0,25 m	0,19718		****			****
4	0,20 m	0,22182		****	****		
2	0,10 m	0,28988		****	****	****	
3	0,15 m	0,31876			****	****	
1	0,05 m	0,36746				****	

Zdroj: autor

Tab. 12 Test analýzy rozptylu pro CTF - ve stopě

Tukeyův HSD test; proměnná Procento zastoupení modré barvy - ctf - ve stopě				
Homogenní skupiny, alfa = 0,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 0,00283, sv = 32,000				
CTF - ve stopě				
Číslo buňky	Hloubka	Procento zastoupení modré barvy	1	2
		průměr		
8	0,40 m	0,03148	****	
7	0,35 m	0,06276	****	
6	0,30 m	0,09328	****	
3	0,15 m	0,09448	****	
2	0,10 m	0,11124	****	
5	0,25 m	0,11136	****	
4	0,20 m	0,11926	****	
1	0,05 m	0,45070		****

Zdroj: autor

Příloha 1.5 Tabulka testu homogenity rozptylu procen. zastoup. obarvené vody vsáknuté do půdy pro dané zpr. půdy

Tab. 13 Test homogenity rozptylů procent. zastoupení vsáknuté vody pro všechny var. zpracování půdy

Testy homogenity rozptylu					
Efekt: Hloubka					
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	úv SV	P
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	11,88673	0,305693	7,19790	7	0,408569
ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	11,66597	0,268695	9,03781	7	0,249953
CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	13,72119	0,290736	9,49424	7	0,219091
CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	55,24741	0,656817	30,24219	7	0,000086
ORBA - mimo stopu	26,0191	0,309396	11,82584	7	0,106434
ORBA - ve stopě	125,3868	0,817552	37,54429	7	0,000004
CTF - mimo stopu	475,3969	0,443166	26,45638	7	0,000417
CTF - ve stopě	35,7282	0,348953	11,97493	7	0,101386

Zdroj: autor

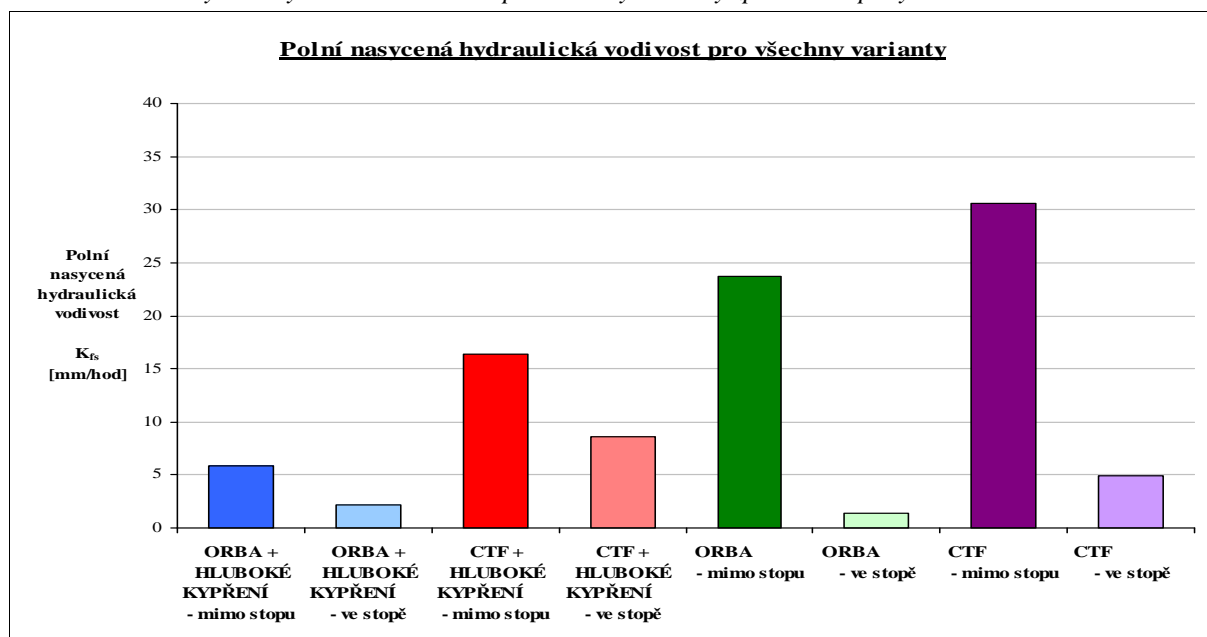
PŘÍLOHA 2 HODNOCENÍ POLNÍ NASYC. HYDR. VODIVOSTI**Příloha 2.1 Tabulka polní nasycené hydraulické vodivosti
pro dané varianty zpracování půdy****Tab. 14** Polní nasycená hydraulická vodivost pro jednotlivé varianty zpracování půdy

	Varianta zpracování půdy - mimo stopu a ve stopě							
	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	ORBA - mimo stopu	ORBA - ve stopě	CTF - mimo stopu	CTF - ve stopě
Polní nasycená hydraulická vodivost K_s [mm/hod]	3,82755	2,33587	16,27121	3,29016	40,75840	0,56160	15,19393	7,73202
	1,58041	4,11721	12,45121	9,88125	16,63025	0,74852	28,64075	5,92563
	1,52045	4,31923	12,12833	13,48618	13,35515	0,27206	17,91353	7,30733
	0,39037	2,18319	13,58324	11,34076	16,10718	0,17305	41,41637	5,97484
	1,87207	6,36220	20,24168	8,32845	39,86372	1,84404	14,68764	5,71117
	2,99500	2,55634	26,10316	6,71127	12,64972	0,60836	18,10409	1,85239
	1,65241	1,04414	13,84086	11,14252	18,93856	0,52379	21,59822	6,90389
	8,85514	0,55145	-	4,47001	31,24544	0,34756	34,11421	3,12544
	1,50751	1,30208	-	-	-	0,28001	43,85336	2,09741
	23,23935	0,86708	-	-	-	2,62702	31,68954	2,23545
	3,16048	0,83433	-	-	-	6,34219	25,49308	-
	27,19699	0,99327	-	-	-	1,68853	74,49995	-
	1,42768	2,36057	-	-	-	-	-	-
	1,95702	1,17148	-	-	-	-	-	-
	-	1,73115	-	-	-	-	-	-
	-	2,43259	-	-	-	-	-	-
	průměr							
	5,79875	2,19764	16,37424	8,58133	23,69355	1,33473	30,60039	4,88656

Zdroj: autor

Příloha 2.2 Graf polní nasycené hydraulické vodivosti pro dané varianty zpracování půdy

Graf 19 Polní nasycená hydraulická vodivost pro všechny varianty zpracování půdy



Zdroj: autor

Příloha 2.3 Tabulka analýzy rozptylů polní nasycené hydraulické vodivosti pro dané varianty zpracování půdy

Tab. 15 Test analýzy rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti

Tukeyův HSD test; proměnná K_{fs} Homogenní skupiny, alfa = 0,05000 Chyba: meziskup. PČ = 68,676, sv = 79,000						
Nasycená hydraulická vodivost						
Číslo buňky	Varianta zpracování půdy	K_{fs} průměr	1	2	3	4
6	ORBA - ve stopě	1,33473	****			
2	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	2,19764	****			
8	CTF - ve stopě	4,88656	****	****		
1	ORBA + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	5,79875	****	****		
4	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - ve stopě	8,58133	****	****		
3	CTF + HLUBOKÉ KYPŘENÍ - mimo stopu	16,37424		****	****	
5	ORBA - mimo stopu	23,69355			****	****
7	CTF - mimo stopu	30,60039				****

Zdroj: autor

Příloha 2.4 Tabulka testu homogenity rozptylů polní nasycené hydraulické vodivosti

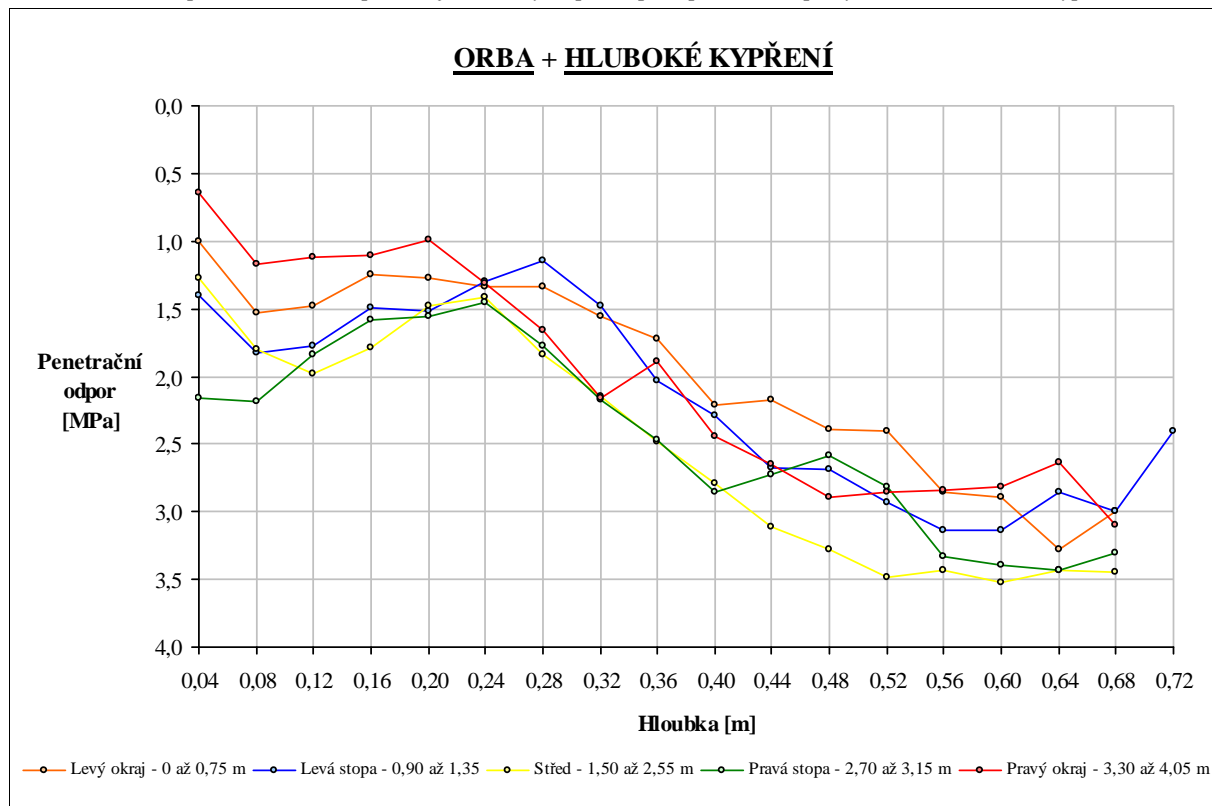
Tab. 16 Test homogenity rozptylu polní nasycené hydraulické vodivosti

Test homogenity rozptylu					
Efekt: Varianta zpracování půdy					
	Hartleyův F-max	Cochranův C	Bartlettův Chí-kv.	úv SV	p
K_{fs} - nasycená hydraulická vodivost	116,31760	0,523878	99,27026	7	0,00

Zdroj: autor

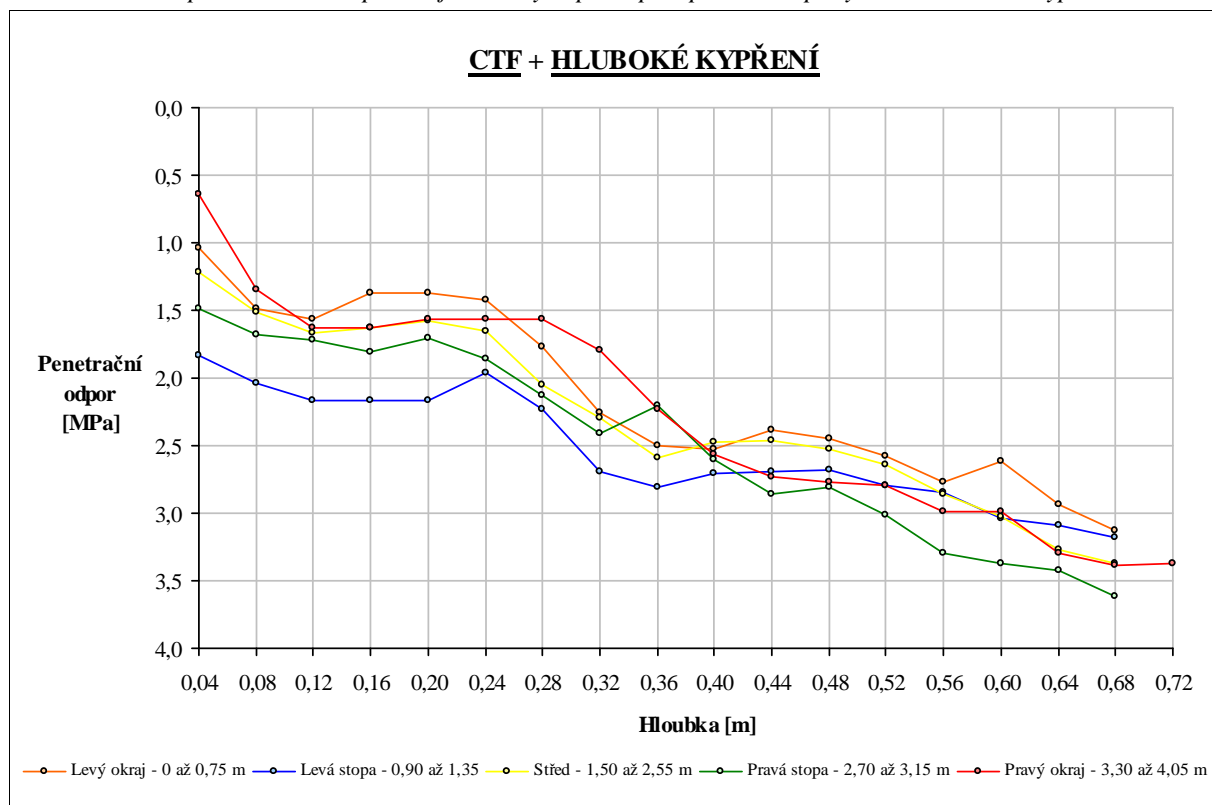
Příloha 3.2 Grafy penetračních odporů naměřených u daných variant zpracování půdy

Graf 20 Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy orbou + hluboké kypření

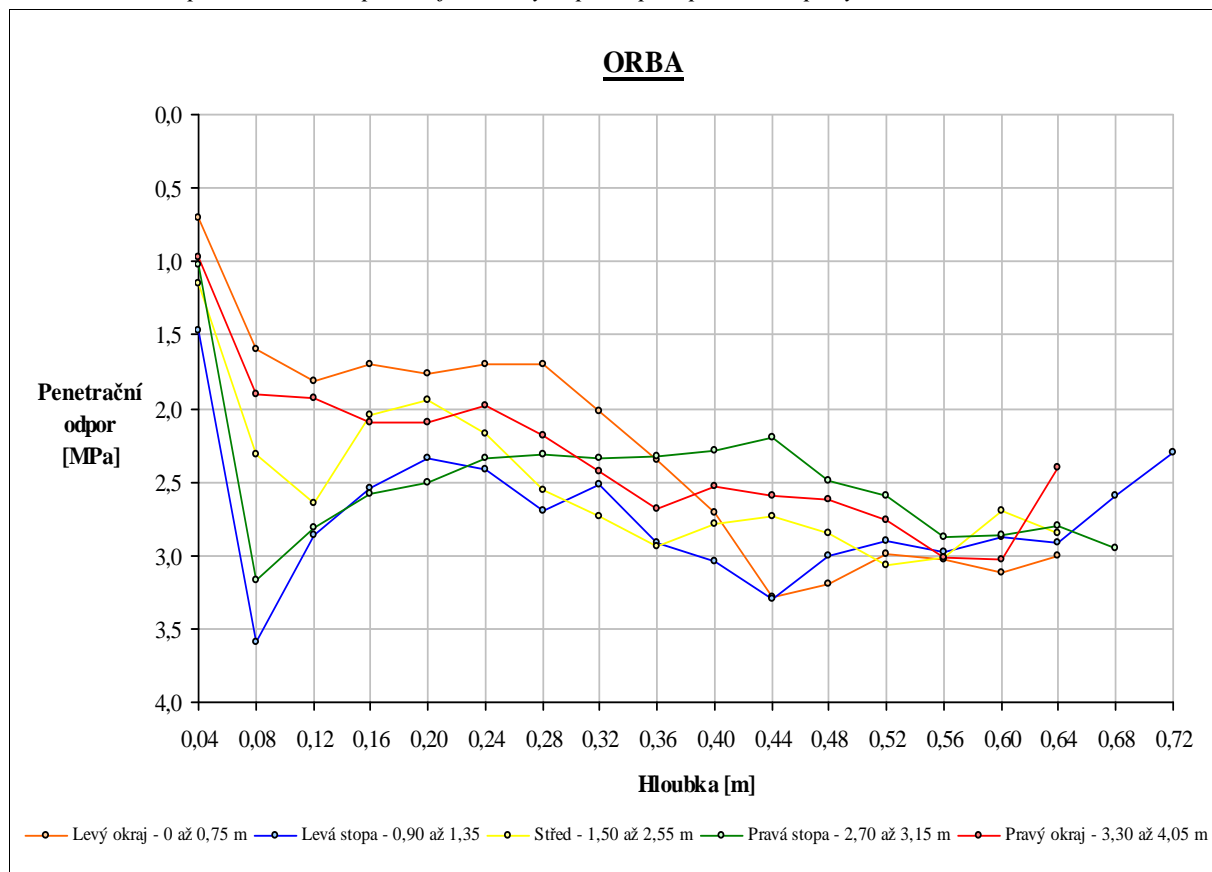


Zdroj: autor

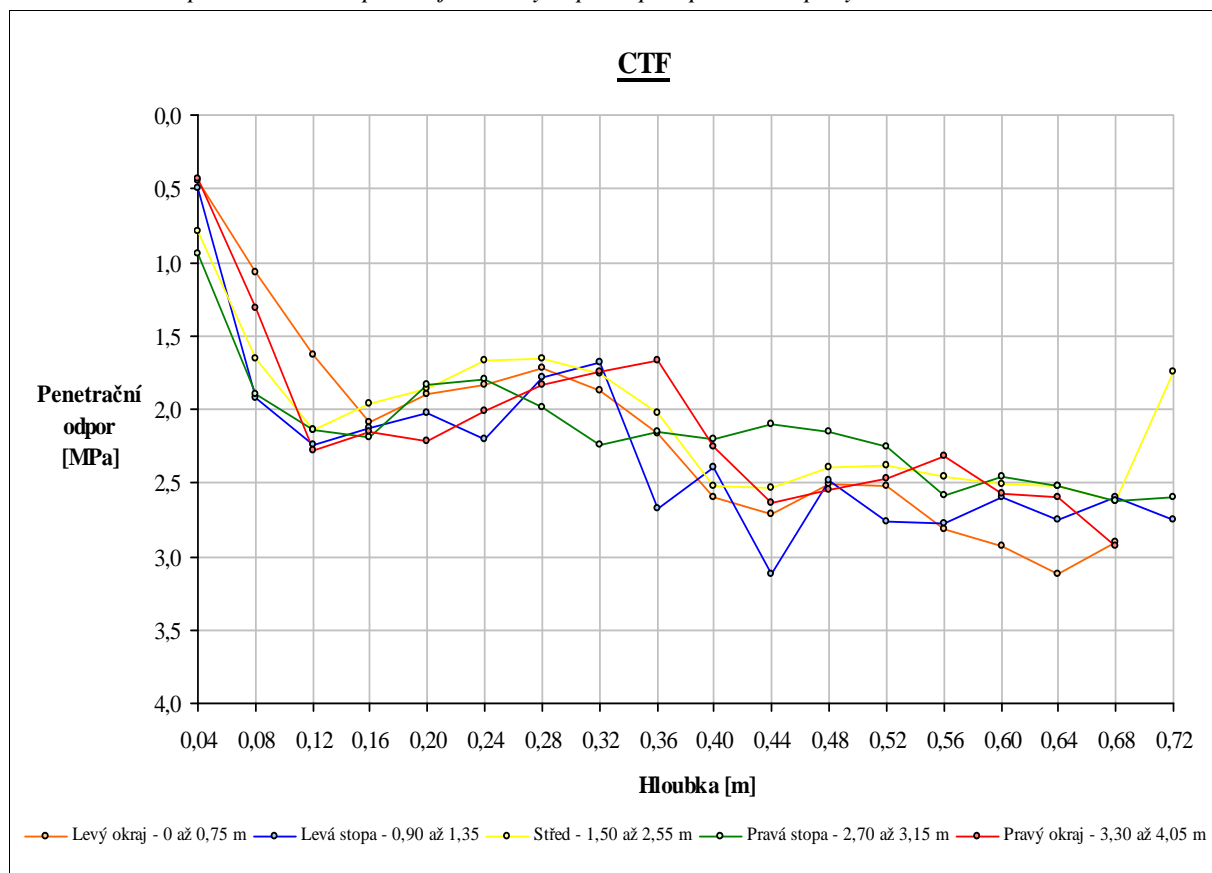
Graf 21 Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy CTF + hluboké kypření



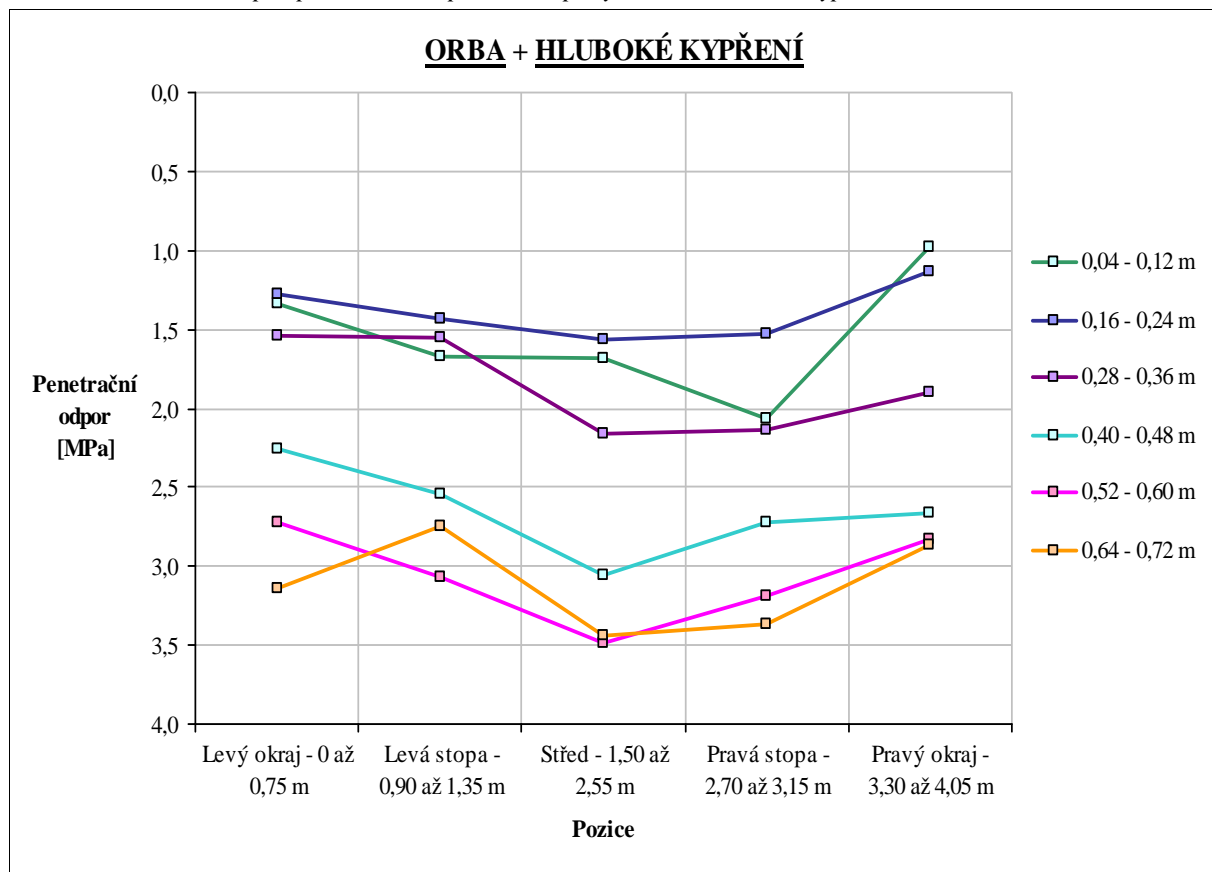
Zdroj: autor

Graf 22 Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy orbou

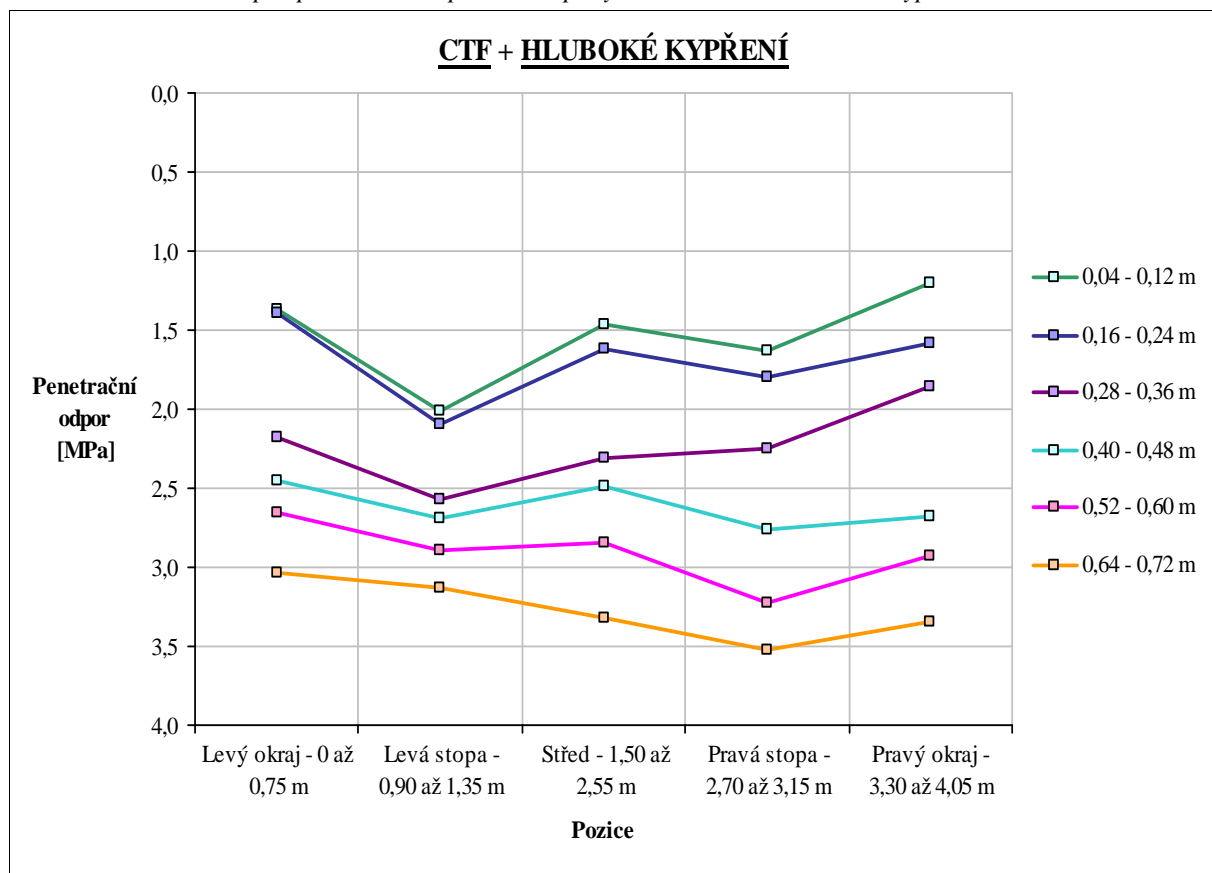
Zdroj: autor

Graf 23 Průběh penetračního odporu u jednotlivých pozic po zpracování půdy metodou CTF

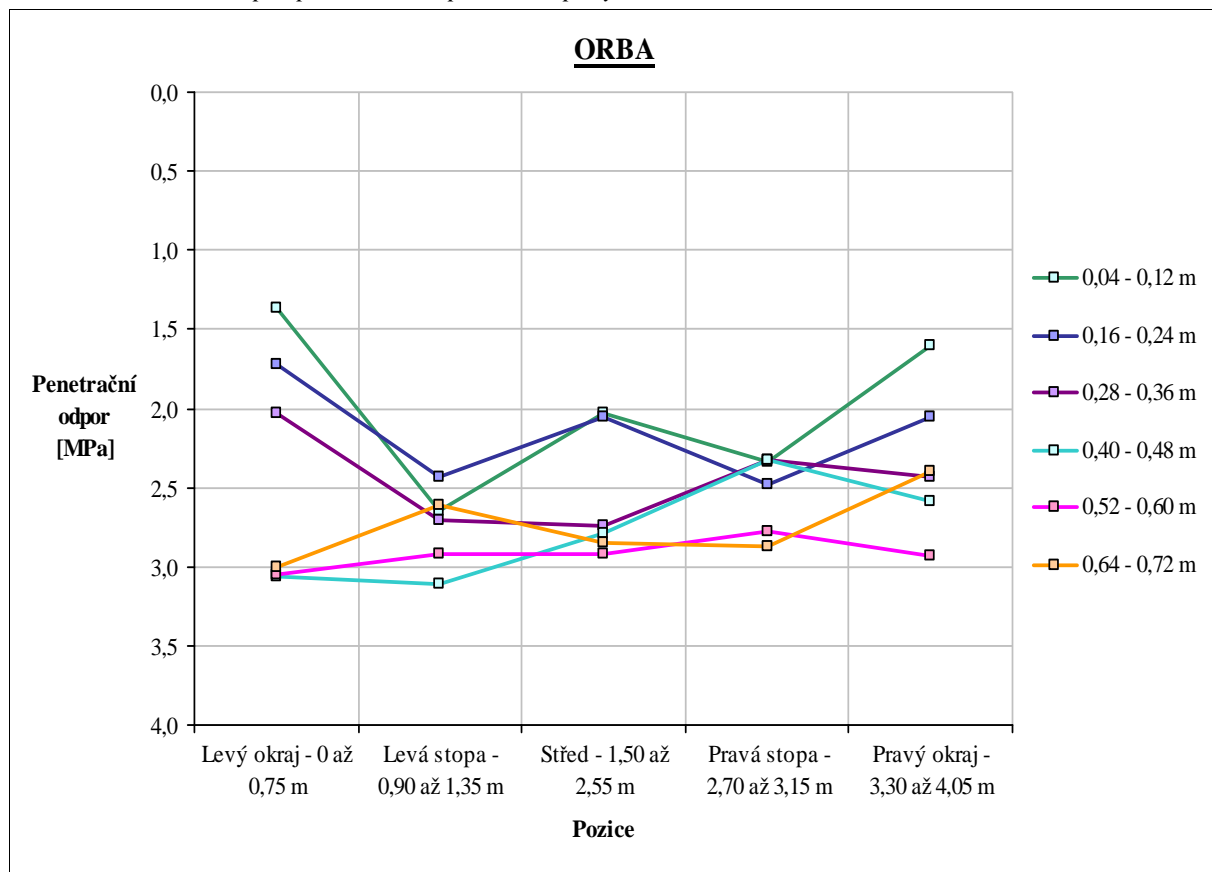
Zdroj: autor

Graf 24 Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy orbou + hluboké kypření

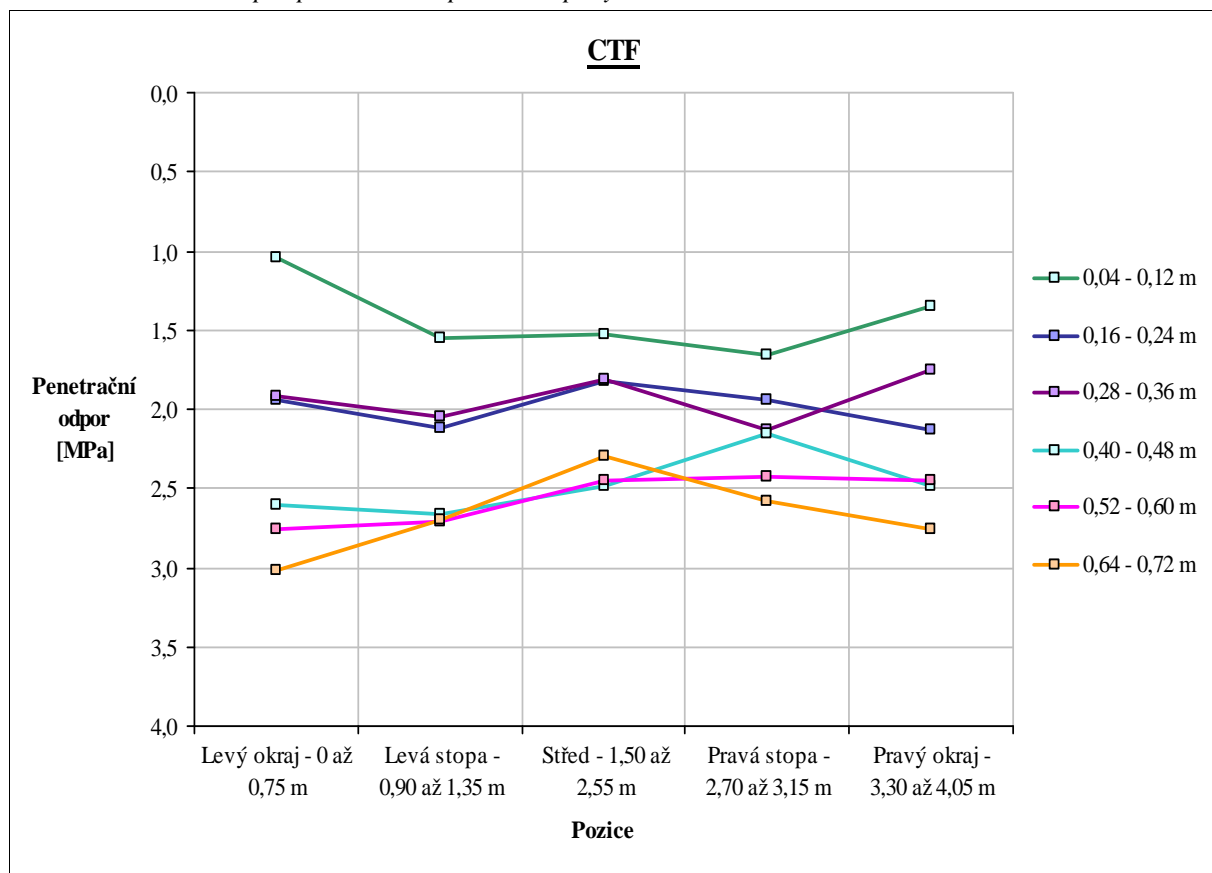
Zdroj: autor

Graf 25 Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření

Zdroj: autor

Graf 26 Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy orbou

Zdroj: autor

Graf 27 Penetrační odpor pro variantu zpracování půdy metodou CTF

Zdroj: autor

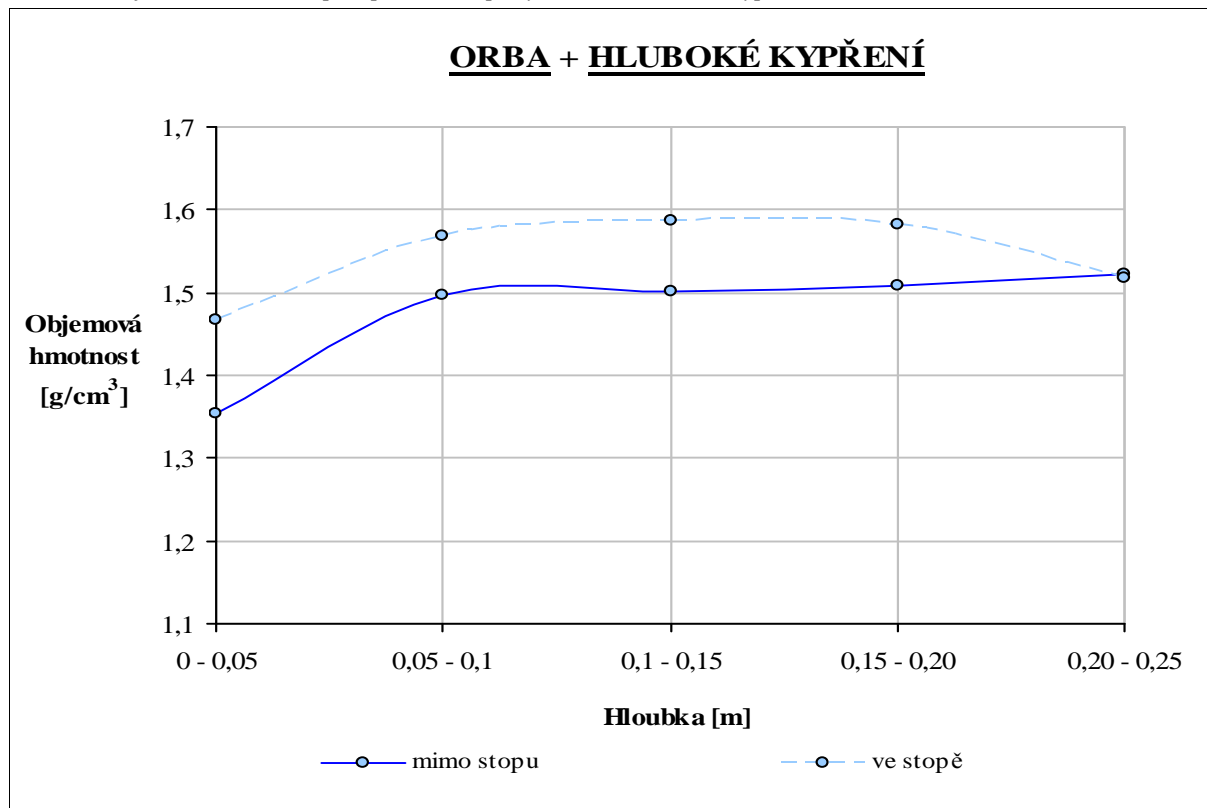
PŘÍLOHA 4 HODNOCENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI**Příloha 4.1 Tabulka objemových hmotností pro dané varianty
zpracování půdy****Tab. 21** Objemová hmotnost pro jednotlivé metody zpracování půdy

Technologie zpracování	Měřicí bod	Hloubka měření	Varinata polohy	Číslo válečku		Objemová hmotnost [g/cm ³]		Objemová hmotnost [g/cm ³]
				Opakování A	Opakování B	Opakování A	Opakování B	průměr
ORBA + HK	20	0 - 0,05	mimo stopu	21	23	1,34	1,37	1,35
ORBA + HK	20	0,05 - 0,10	mimo stopu	22	7	1,53	1,46	1,50
ORBA + HK	20	0,10 - 0,15	mimo stopu	125	6	1,50	1,50	1,50
ORBA + HK	20	0,15 - 0,20	mimo stopu	97	68	1,45	1,57	1,51
ORBA + HK	20	0,20 - 0,25	mimo stopu	96	1	1,57	1,47	1,52
ORBA + HK	20	0 - 0,05	ve stopě	98	61	1,43	1,50	1,47
ORBA + HK	20	0,05 - 0,10	ve stopě	53	11	1,63	1,51	1,57
ORBA + HK	20	0,10 - 0,15	ve stopě	76	39	1,64	1,54	1,59
ORBA + HK	20	0,15 - 0,20	ve stopě	82	48	1,61	1,56	1,58
ORBA + HK	20	0,20 - 0,25	ve stopě	47	101	1,61	1,43	1,52
CTF + HK	6	0 - 0,05	mimo stopu	63	127	1,43	1,46	1,44
CTF + HK	6	0,05 - 0,10	mimo stopu	38	65	1,46	1,41	1,43
CTF + HK	6	0,10 - 0,15	mimo stopu	5	90	1,59	1,44	1,52
CTF + HK	6	0,15 - 0,20	mimo stopu	112	12	1,56	1,46	1,51
CTF + HK	6	0,20 - 0,25	mimo stopu	71	119	1,54	1,46	1,50
CTF + HK	6	0 - 0,05	ve stopě	118	79	1,21	1,25	1,23
CTF + HK	6	0,05 - 0,10	ve stopě	24	95	1,56	1,58	1,57
CTF + HK	6	0,10 - 0,15	ve stopě	117	16	1,64	1,65	1,64
CTF + HK	6	0,15 - 0,20	ve stopě	60	27	1,58	1,56	1,57
CTF + HK	6	0,20 - 0,25	ve stopě	124	31	1,64	1,64	1,64
ORBA	23	0 - 0,05	mimo stopu	114	78	1,51	1,32	1,42
ORBA	23	0,05 - 0,10	mimo stopu	54	121	1,49	1,45	1,47
ORBA	23	0,10 - 0,15	mimo stopu	80	87	1,56	1,45	1,51
ORBA	23	0,15 - 0,20	mimo stopu	75	55	1,49	1,45	1,47
ORBA	23	0,20 - 0,25	mimo stopu	37	46	1,54	1,46	1,50
ORBA	23	0 - 0,05	ve stopě	33	49	1,42	1,42	1,42
ORBA	23	0,05 - 0,10	ve stopě	70	56	1,62	1,61	1,61
ORBA	23	0,10 - 0,15	ve stopě	111	57	1,51	1,57	1,54
ORBA	23	0,15 - 0,20	ve stopě	73	104	1,48	1,60	1,54
ORBA	23	0,20 - 0,25	ve stopě	129	81	1,50	1,58	1,54
CTF	2	0 - 0,05	mimo stopu	17	20	1,42	1,05	1,23
CTF	2	0,05 - 0,10	mimo stopu	30	58	1,48	1,34	1,41
CTF	2	0,10 - 0,15	mimo stopu	10	92	1,47	1,57	1,52
CTF	2	0,15 - 0,20	mimo stopu	85	93	1,49	1,55	1,52
CTF	2	0,20 - 0,25	mimo stopu	74	14	1,51	1,53	1,52
CTF	2	0 - 0,05	ve stopě	94	18	1,19	1,45	1,32
CTF	2	0,05 - 0,10	ve stopě	2	8	1,41	1,49	1,45
CTF	2	0,10 - 0,15	ve stopě	4	15	1,61	1,63	1,62
CTF	2	0,15 - 0,20	ve stopě	28	110	1,57	1,63	1,60
CTF	2	0,20 - 0,25	ve stopě	3	64	1,61	1,59	1,60

Zdroj: autor

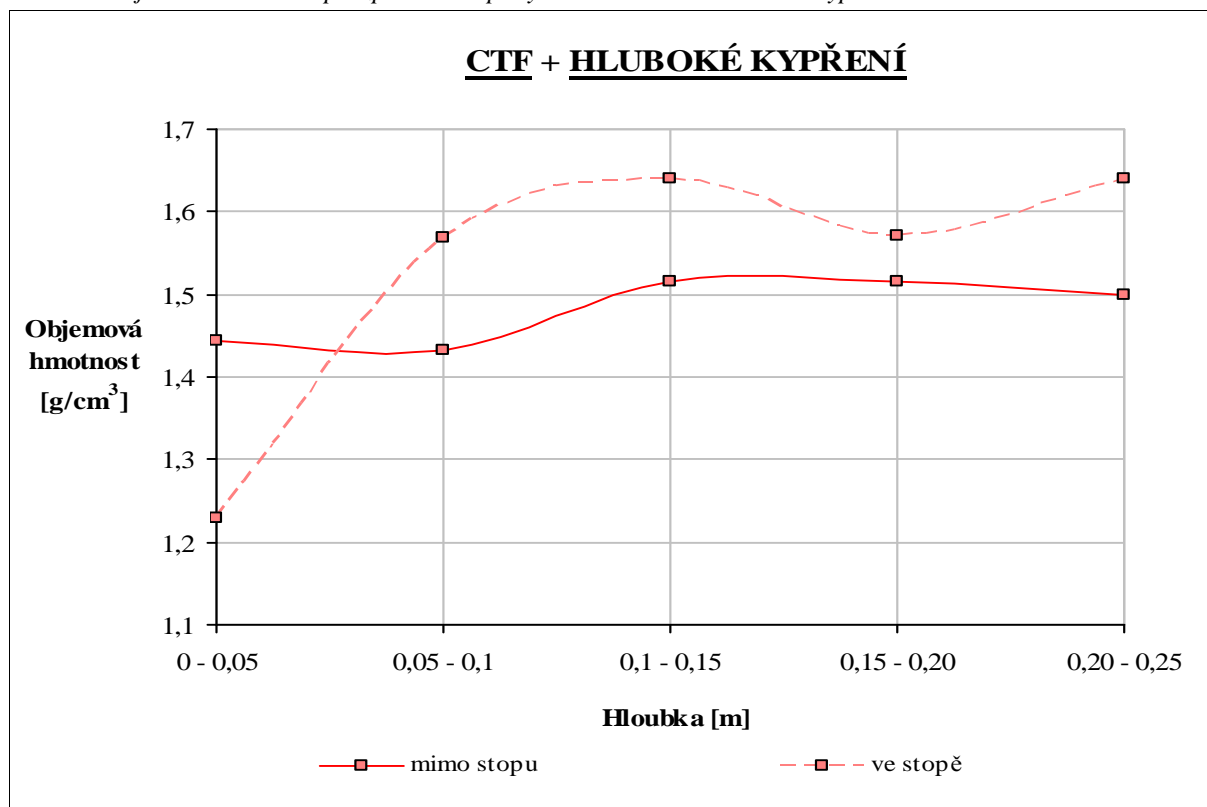
Příloha 4.2 Grafy objemových hmotností u daných variant zpracování půdy

Graf 28 Objemová hmotnost při zpracování půdy orbou + hluboké kypření

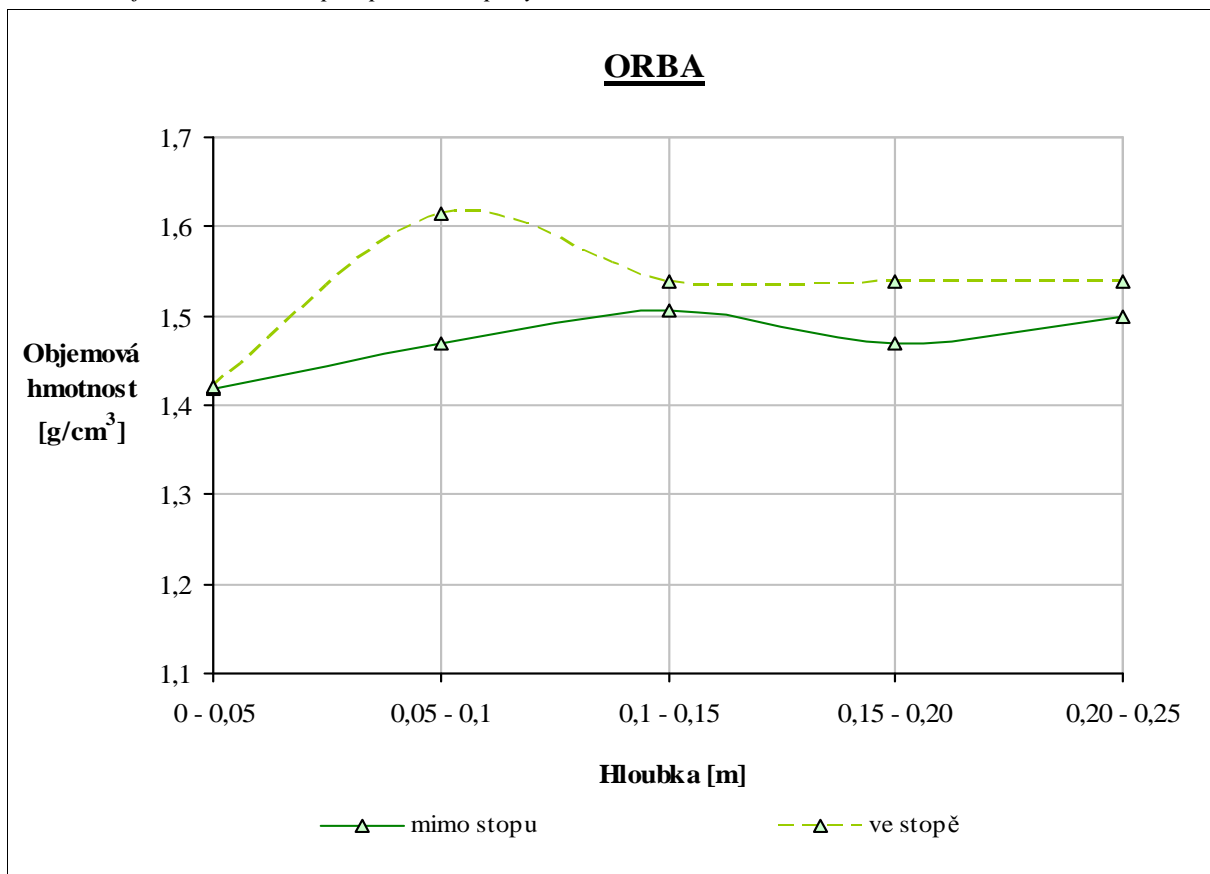


Zdroj: autor

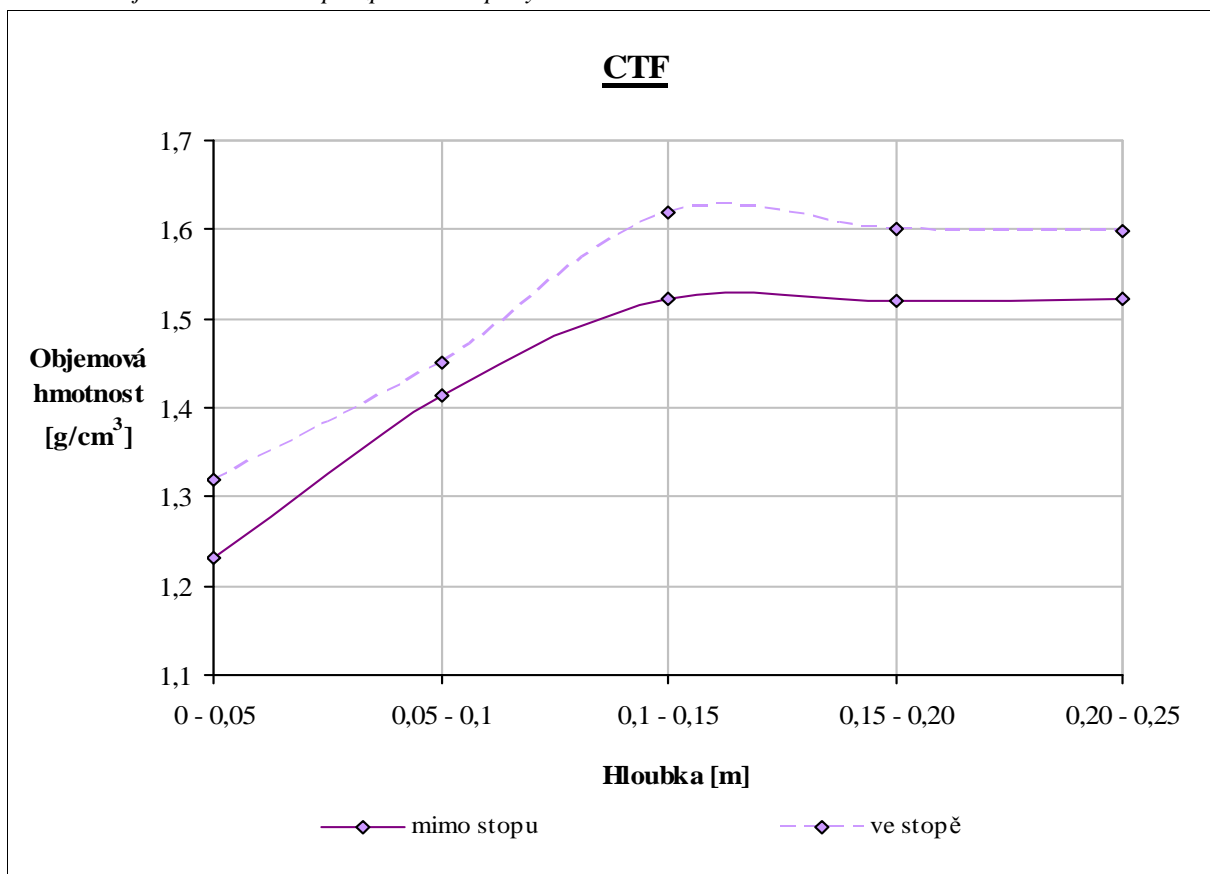
Graf 29 Objemová hmotnost při zpracování půdy metodou CTF + hluboké kypření



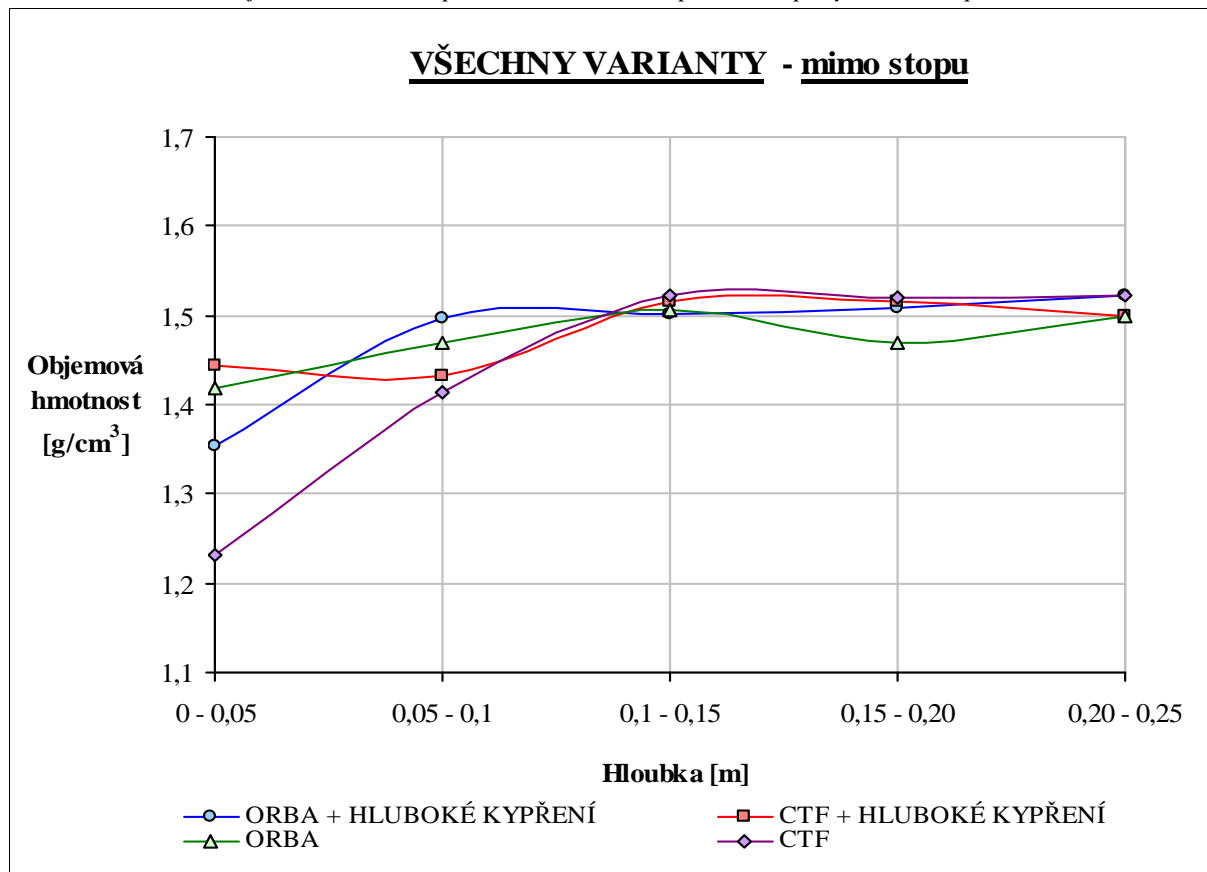
Zdroj: autor

Graf 30 Objemová hmotnost při zpracování půdy orbou

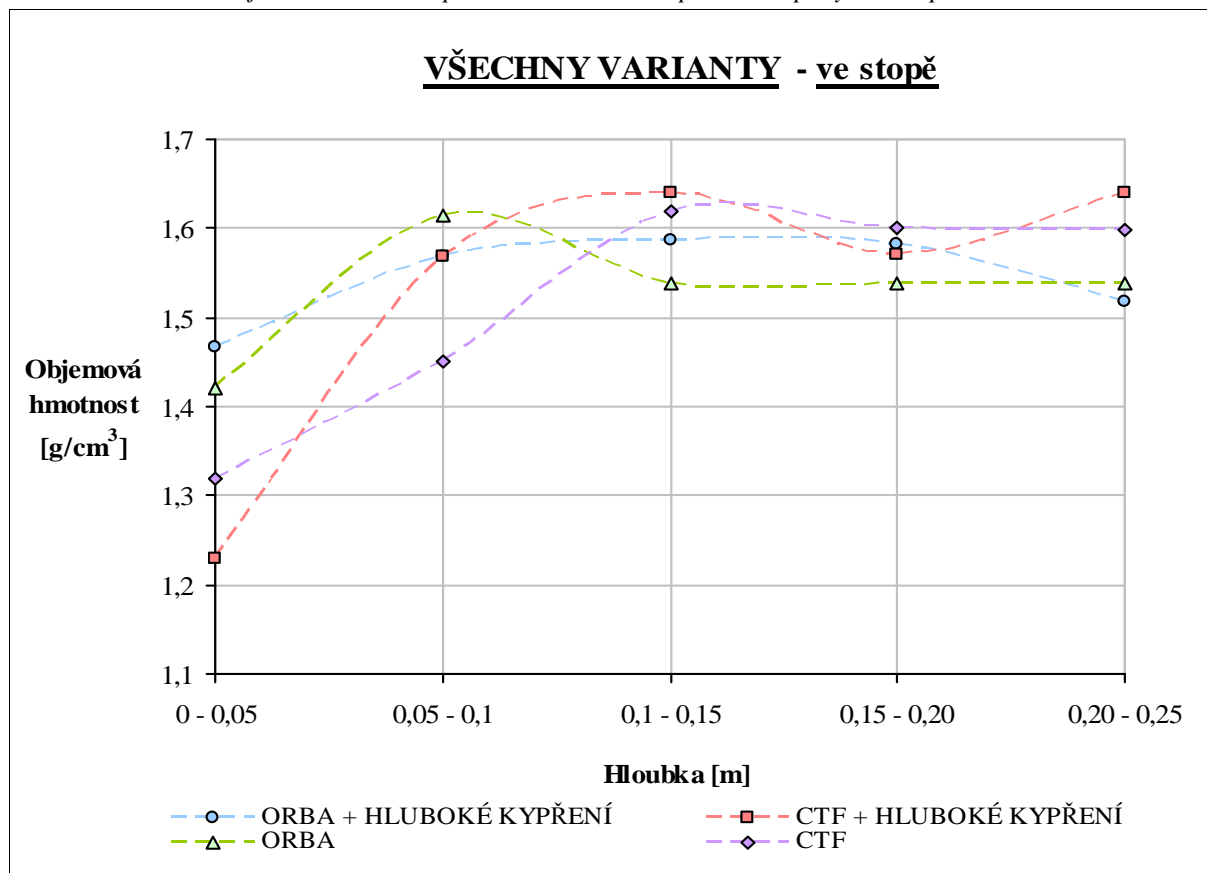
Zdroj: autor

Graf 31 Objemová hmotnost při zpracování půdy metodou CTF

Zdroj: autor

Graf 32 Porovnání objemové hmotnosti při všech variantách zpracování půdy - mimo stopu

Zdroj: autor

Graf 33 Porovnání objemové hmotnosti při všech variantách zpracování půdy - ve stopě

Zdroj: autor