

Česká zemědělská univerzita v Praze



Katedra zemědělských strojů

Metody pro hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Autor práce: Pavel Hůla

Praha 2009

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze	Fakulta: technická
Katedra: zemědělských strojů	Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Pavel Hůla**

Studijní obor: Obchod a podnikání s technikou

Studijní zaměření:

Název práce: Metody pro hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy.

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Rozbor metod pro hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy

Osnova práce:

1. Úvod
2. Přehled technologií a strojů na zpracování půdy
3. Hlediska hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy
4. Metody hodnocení kvality práce strojů
5. Závěr

Metodika práce: Na základě studia dostupných pramenů literatury domácí i zahraniční a poznatků získaných studiem na ČZU provést rozbor jednotlivých metod pro hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy v konvenčních i půdoochranných technologiích.

Rozsah práce: 30 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hůla, J., 2000: Půdoochranné technologie zakládání porostů plodin. Praha, ÚZPI, 46 s.
 2. Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F., 1997: Zpracování půdy. Praha, Brázda, 140 s.
 3. Hůla, J., Mayer, V., 1999: Technologické systémy a stroje pro zpracování půdy. Praha, IVV MZe ČR, 34 s.
 4. Hůla, J., Procházková, B., et al., 2002: Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Praha, ÚZPI, 104 s.
 5. Köller, K., Linke, Ch., 2001: Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug (Wissenschaftliche Ergebnisse-praktische Erfahrungen). Frankfurt am Mein, DLG –Verl., 176 s.
 6. Neubauer, K., a kol., 1989: Stroje pro rostlinnou výrobu. Praha, SZN, 720 s.
- Odborné časopisy Farmář, Mechanizace zemědělství, Zemědělec, Agromagazín
www.agroweb.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 7.12.2007

Termín odevzdání bakalářské práce: 30.4.2009



Doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

vedoucí katedry



Prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 7.12.2007

Prohlášení:

Tímto prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Maška, Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, dne

.....
podpis

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Maškovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této práce.

Abstrakt: Cílem bakalářské práce je popis metod používaných k hodnocení kvality práce zemědělských strojů na zpracování půdy. Vzhledem k tomu, že těchto metod je velký počet, byly v této práci uvedeny ty nejdůležitější a nejpoužívanější. V práci jsem postupoval od popisu používaných technologií na zpracování půdy, který měl nastínit základní rysy práce s půdou, přes popis účelu a fungování strojů používaných pro toto zpracování. Tato část byla východiskem nutným pro pochopení významu a užití metod používaných pro hodnocení práce strojů. Následuje ústřední část práce, která se zabývá detailnějším popisem samotných metod. Dále je popsán postup při získávání hodnot u jednotlivých metod a formy výsledků, které je možné měřením získat. Kvalita práce strojů je nejen v současné době velmi sledovaná především z důvodu snahy o šetrnější zacházení s půdou.

Klíčová slova: zpracování půdy; kvalita práce strojů; intenzita zpracování půdy; metody hodnocení

Methods for working quality evaluation of machines for soil tillage

Summary: The aim of the bachelor thesis is the description of methods applied for an evaluation of the work quality of machines used for soil tillage. Regarding the large number of these methods this thesis is focused on the most important and the most used ones. In thesis, I proceeded from the description of technologies for soil tillage, which should outline the basic features work with the soil, through a description of the purpose and operation of machines used for soil tillage. This part of the thesis is a necessary source of information to understand the meaning and using of the methods for an evaluation of the agricultural machines work. The aim of the main part of the thesis is the detailed description of the chosen methods with the procedure of taking data and the forms of results by these types of measuring. The quality of the machines work is in a high interest in the current time due to the reasons of the effort to practise careful and effective soil management.

Keywords: soil tillage; machines work quality; intensity of soil tillage; methods of evaluation

Obsah

1. Úvod	1
2. Půdní vlastnosti	2
3. Přehled technologií a strojů na zpracování půdy	3
3. 1 Přehled technologií na zpracování půdy	3
3. 1. 1 Konvenční zpracování půdy (conventional tillage).....	3
3. 1. 2 Ochranné zpracování půdy (conservation tillage)	4
3. 2 Přehled strojů na zpracování půdy	5
3. 2. 1 Radličné pluhy	5
3. 2. 2 Stroje s talířovými pracovními nástroji	5
3. 2. 3 Smyky	6
3. 2. 4 Brány	6
3. 2. 5 Radličkové kypřiče	6
3. 2. 6 Stroje pro předset'ovou přípravu půdy s pasivními nástroji (kombinátoři)	6
3. 2. 7 Kypřiče pro hlubší kypření	7
3. 2. 8 Vířivé kypřiče	7
3. 2. 9 Rotační kypřiče s horizontální osou rotace.....	8
3. 2. 10 Kývavé brány.....	8
4. Hlediska hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy	8
5. Metody hodnocení kvality práce strojů	9
5. 1 Rýčová diagnóza	9
5. 2 Hodnocení hrudovitosti	9
5. 2. 1 Stanovení frakcí hrud na sítích	9
5. 2. 2 Mapa hrudovitosti.....	10
5. 3 Penetrometrie	10
5. 3. 1 Penetrometry.....	12
5. 4 Měření smykového napětí	15
5. 5 Měření hloubky orby	15
5. 6 Měření příčného profilu povrchu a dna půdy	16
5. 7 Měření drsnosti povrchu půdy	17
5. 7. 1 Měření drsnosti povrchu půdy profilografem.....	17
5. 7. 2 Hodnocení drsnosti povrchu půdy řetězovou metodou	18

5. 8 Ukazatele prostorového uspořádání půdní hmoty a momentální vlhkosti půdy...	19
5. 9 Analýza obrazu	21
5. 10 Elektrická vodivost půdy	24
5. 11 Měření infiltrace vody do půdy a povrchového odtoku vody.....	26
5. 11. 1 Posouzení infiltrace vody do půdy s využitím vody obarvené potravinářským barvivem	27
5. 11. 2 Měření rychlosti infiltrace vody do půdy dvouválcovým infiltrometrem	28
6. Diskuse k jednotlivým metodám	29
7. Závěr	30
8. Seznam použité literatury	31
9. Seznam obrázků.....	34

1. Úvod

Umění využití půdy a zemědělství bylo základním předpokladem k rozvoji lidské společnosti, které dokázalo zajistit ve větší míře základní obživu. Půda je jedním z bohatství společnosti, ale je také těžko obnovitelným zdrojem, který ke svému zachování vyžaduje péči. Proto je třeba věnovat zvýšenou pozornost způsobům, kterými je s ní zacházeno. V tomto ohledu hraje významnou roli úroveň kvality práce strojů. Tu je možné sledovat a hodnotit metodami, jejichž popis byl cílem mé bakalářské práce. Vzhledem k velké variabilitě metod jsou v práci uvedeny ty nejdůležitější a nejpoužívanější, s důrazem na zachycení spektra používaných metod.

Dále následuje výčet hledisek hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy, od kterých se odvíjejí jednotlivé metody pro hodnocení jejich kvality.

Vlastnímu popisu metod předchází přehled půdních vlastností a výčet technologií a strojů na zpracování půdy, které představují nutný úvod do problematiky.

Hlavní část mé bakalářské práce spočívá v již zmíněném popisu metod pro hodnocení kvality práce zemědělských strojů na zpracování půdy. Hlavní pozornost zaměřuji na popis metod, jejich účelu a způsobu využití, přístroje využívané při aplikaci dané metody a příklady výsledků měření.

2. Půdní vlastnosti

Vlastnosti půdy můžeme posuzovat z různých hledisek. Forma vyjádření vlastností je podmíněna použitou metodou a pomocným aparátem. Půdní vlastnosti můžeme hodnotit z několika pohledů – agronomického, pedologického i teramechanického (vliv vozidla na půdu) - Bajla (1998).

Půda má mnoho vlastností, ale pouze některé z nich mají význam při jejím zpracování. Mezi tyto vlastnosti patří především: štěrkovitost, struktura, abrazivní schopnost, vlhkost a pevnost půdy (Kumhála et al., 2007).

Zrnitostní rozbor půdy podává informaci o tuhé fázi, což jsou částičky různé velikosti, tvaru a složení. Na poměrném zastoupení různě velkých částiček závisí fyzikální vlastnosti půdy, např. struktura, obsah půdní vody nebo vzduchu (Dumbrovský, Kameníčková, 2007). Mezi částičkami půdy jsou póry různé velikosti. Základním určením charakteru půdy je udání jejího druhu, který je dán zrnitostní skladbou (ČSN 46 5302). Podle procentuálního zastoupení zrn menších než 0,01 mm se půdy dělí na:

- velmi těžké půdy
- těžké půdy
- středně těžké půdy
- lehké až velmi lehké půdy.

Dalším velmi důležitým faktorem je půdní vlhkost, která nejvíce ovlivňuje odpor půdy a kvalitu jejího zpracování. Pro kvalitní zpracování půdy je tedy znalost obsahu vody v půdě velmi důležitá.

Celková hloubka půdy je dána vývojem půdy na určitém stanovišti (Hůla et al., 1997). Hloubku ornice je možné ovlivnit zpracováním půdy.

Soudržnost půdy je schopnost půdních částic držet pohromadě. Rozdílnou soudržnost mají lehké a těžké půdy. Těžké půdy se vyznačují velkou soudržností hlavně v suchém stavu a při jejich zpracování dochází k tvorbě hrud. Lehké půdy mají soudržnost naopak malou, která se s rostoucí vlhkostí zvyšuje.

3. Přehled technologií a strojů na zpracování půdy

3. 1 Přehled technologií na zpracování půdy

Köller uvádí v knize *Soil Tillage in Agrosystems* v kapitole *Techniques of Soil Tillage* (Titi, 2003) přehled technologií zpracování půdy. Technologie je možné rozdělit následujícím způsobem.

3. 1. 1 Konvenční zpracování půdy (conventional tillage)

Jedná se o způsob zpracování půdy, po kterém zůstává méně než 15 % zpracované půdy pokryto rostlinnými zbytky. Dalším ukazatelem je hmotnost rostlinných zbytků: do $1,1 \text{ g.m}^{-2}$. Toto zpracování půdy je založeno na každoročním obracení půdy radličným pluhem nebo jiném intenzivním zpracování půdy. Pomocí této technologie se zapravují rostlinné zbytky, plevele a vzešlý výdrol do půdy. Orba také připraví podmínky pro bezproblémové setí a je tedy možné použít secí stroje s radličkovými botkami s tupým úhlem vnikání do půdy. Další výhodou této technologie spočívá v tom, že s obrácením půdy je potlačeno riziko následného šíření plevelů a výdrolu, které jsou tímto zásahem zničeny (Köller, 2003).

Pro použití konvenčních technologií jsou nutné dobré půdní podmínky. Za nepříznivých podmínek prováděná orba výrazně zvyšuje spotřebu paliva (motorové nafty), což se v konečném důsledku projeví především nárůstem nákladů. Takovéto problémy nastávají zvláště při zvýšené půdní vlhkosti, kdy je tato pracovní operace velmi těžko proveditelná. Za těchto podmínek se také neúměrně zhutňuje dno brázd, což přispívá ke vzniku zhutnělé vrstvy s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi půdy v podorničí (Hůla et al., 1997).

Obecně vzato hlubší kypření půdy (například orba) uvádí zpracovanou část ornice do nestabilního stavu, čímž zvyšuje riziko půdní eroze a také snižuje odolnost půdy vůči stlačování. Z těchto důvodů není vhodné využívat technologie s orbou na svažitéch pozemcích, kde je zvýšené riziko smyvu vrchní vrstvy půdy. Pokud se tomu nelze vyhnout, oráme alespoň ve směru vrstevnic, abychom důsledky eroze co nejvíce snížili. Vhodné je též klopení skýv “proti svahu“, kvůli snížení vodní eroze (Hůla et al., 2008).

3. 1. 2 Ochranné zpracování půdy (conservation tillage)

Do tohoto systému zpracování půdy je zařazováno několik způsobů zpracování půdy. Charakteristickým znakem je, že nejméně 30 % povrchu půdy zůstává po zasetí plodiny pokryto rostlinnými zbytky, což pozitivně ovlivňuje odolnost povrchu půdy vůči erozi. Dalším ukazatelem je hmotnost těchto rostlinných zbytků: nejméně 1,1 g.m⁻². Výhodami ochranného zpracování půdy jsou úspora času, motorové nafty a efektivní hospodaření s půdní vodou oproti zpracování půdy s orbou. Orba je v tomto případě nahrazena kypřením bez obracení zpracované vrstvy půdy. Rostlinné zbytky tedy zůstávají na povrchu půdy a v povrchové vrstvě. Do ochranného zpracování jsou zařazeny systémy bez zpracování půdy (no-tillage), zpracování půdy s vytvořením hrůbků (ridge-tillage), se setím do mulče (mulch-tillage) a ostatní, při kterých nejméně 30 % povrchu půdy zůstane pokryt rostlinnými zbytky (Köller, 2003).

3. 1. 2. 1 Systémy bez zpracování půdy (no-tillage)

No tillage, někdy také nazývané direkt-drilling (z anglické terminologie), je v podstatě setí do nezpracované půdy. Přímé setí je jednou z forem půdoochranných technologií. Při použití této technologie zůstává většina rostlinných zbytků na povrchu půdy, což se může pozitivně projevit na snížení stupně půdní eroze. Z ekonomického hlediska se jedná o velice výhodnou technologii, avšak na druhou stranu jsou kladeny vyšší nároky na secí stroje, které se zde používají, a na kvalifikované využívání pesticidů. Pokud je při setí povrch půdy pokryt větším množstvím rostlinných zbytků předplodiny nebo meziplodiny, jedná se o setí do mulče (mulch-tillage) - Hůla (2000).

Köller (2003) uvádí, že v roce 2000 byly systémy bez zpracování půdy nejrozšířenější v Americe a poukazuje i na rostoucí zájem o používání těchto technologií jinde ve světě.

3. 1. 2. 2 Zpracování půdy s vytvořením hrůbků (ridge-tillage)

Hrůbky, ve kterých jsou plodiny pěstovány, jsou vytvořeny během zpracování půdy nebo po sklizni. Jsou udržovány rok co rok na stejném místě (ASAE Standards, 1997). V poslední době je technologie zakládání kukuřice do hrůbků velmi aktuální i v podmínkách České republiky.

3. 1. 2. 3 Zpracování půdy v pásech (strip-tillage, zone-tillage)

Jedná se o systém, ve kterém se zpracovává 30 nebo méně procent povrchu půdy. Zpracovávají se pouze pruhy, do kterých se ukládá osivo. Mezi těmito pruhy nedochází k mechanickému zásahu do půdy (Hůla, 2000). Toto zpracování půdy je modifikací systémů bez zpracování půdy (Köller, 2003).

3. 1. 2. 4 Redukované zpracování půdy (reduced-tillage)

Jedná se o technologii, při které je 15-30 % povrchu půdy pokryto rostlinnými zbytky (Köller, 2003). Zpracování půdy je omezené na minimum, které je nutné pro založení porostu plodin (Hůla, 2000).

3. 2 Přehled strojů na zpracování půdy

Neubauer et al. (1989) uvádějí přehled strojů na zpracování půdy.

3. 2. 1 Radličné pluhy

Orba radličným pluhem je jednou z hlavních pracovních operací využívanou při konvenčním zpracování půdy. V našich podmínkách mají pluhy široké využití. Jejich úkolem je půdu obracet, kypřit, drobit i mísit, což je možné využít i při zapravování organických hnojiv. Orba umožňuje další přípravu půdy před setím nebo sázením. Pluhy lze rozdělit podle způsobu orby na záhonové a oboustranné, přičemž u záhonových pluhů mluvíme o orbě do skladu, nebo do rozoru (Neubauer et al., 1989).

3. 2. 2 Stroje s talířovými pracovními nástroji

Do této kategorie se řadí talířové pluhy, talířové kypřiče a talířové brány. Talířové pluhy nejsou ve střední Evropě, tedy ani u nás rozšířeny. Naopak je tomu u talířových kypřičů, tyto stroje nacházejí uplatnění především při podmítce a opakovaném mělkém kypření půdy. Při zpracování nemají za úkol půdu obrátit, ale pouze promísit rostlinné zbytky s povrchovou vrstvou půdy. Příčný profil dna zpracované půdy je hřebenitý, a proto je při opakovaném kypření vhodné změnit směr jízd šikmo k jízdám předchozím. Aby bylo

dosáženo optimální funkce talířového kypřiče, je nutná poměrně vysoká pracovní rychlost (až 14 km.h^{-1}), což také zajišťuje vysokou plošnou výkonnost (Hůla et al., 2008).

3. 2. 3 Smyky

Tyto stroje slouží k urovňání povrchu půdy a současně prokypří vrstvu půdy do hloubky 20 až 40 mm. Při této pracovní operaci se také rozdrobí hroudy a zničí naklíčený plevel nebo výdrol. Pracovní rychlost při smykování se pohybuje okolo 12 až 15 km.h^{-1} , což zajišťuje vysokou plošnou výkonnost soupravy. Celkový záběr smyků může dosahovat až 16 m (Kumhála et al., 2007).

3. 2. 4 Brány

Brány se používají převážně k povrchovému kypření ornice, rozdrobení hroud a půdního škrálopou a povrchovému urovňání povrchu ničení plevelu. Brány je možné rozdělit podle tvaru pracovního nástroje na hřbové, radličkové, síťové, luční, prutové, talířové a hvězdicové (Kumhála et al., 2007). Kývavé brány by v tomto rozdělení zaujímaly speciální pozici a proto jsou řazeny do strojů s poháněnými pracovními nástroji.

3. 2. 5 Radličkové kypřiče

Tyto stroje jsou využívány pro mělké kypření půdy, pro kypření s ponecháním veškerých rostlinných zbytků na povrchu, ale také pro zapravení rostlinného materiálu do půdy. Pracovními nástroji jsou radličky dlátovité nebo šípové. Jejich tvar určuje charakter práce stroje. Pro mělké kypření půdy se používají šípové podřezávací radličky, které umožňují rovnoměrné zpracování půdy právě při malé hloubce zpracování (60 až 80 mm) – Hůla et al. (2008).

3. 2. 6 Stroje pro předseťovou přípravu půdy s pasivními nástroji (kombinátory)

Kombinátory se používají k předseťové přípravě jak v konvenčních technologiích, tak v technologiích minimalizačních. Kombinátor má za úkol urovňat povrch, rozdrobit hroudy, prokypřit půdu a utužit seťové lůžko. Výhodou je vysoká plošná výkonnost kombinátorů

podmíněná pojezdovou rychlostí zpravidla nad 10 km.h⁻¹. Předseťová příprava půdy je zajištěna v jedné pracovní operaci, což se pozitivně projevuje nejen v úspoře času a spotřebě motorové nafty, ale také ve sníženém zhutnění půdy. Stroj se obvykle skládá ze smyku, drobicího válce, sekce s radličkami a utužovacího válce, ale mohou v něm být obsaženy i jiné pracovní nástroje (Hůla et al., 2008).

3. 2. 7 Kypřiče pro hlubší kypření

Dlátové kypřiče se používají pro středně hluboké a hluboké kypření. Jejich využití je zejména v minimalizačních technologiích, kde častěji dochází k tvorbě zhutnělé vrstvy půdy, kterou je třeba rozrušit. Jejich pracovní nástroje – dláta, jsou konstruovány tak, aby rozrušily zhutnělou vrstvu půdy v podorníci, ale zároveň minimálně narušily povrch půdy. Při hlubším kypření je velmi důležitá půdní vlhkost. Podmínkou úspěšného kypření je drobivá půda s nižší vlhkostí. Pokud vlhkost přesáhne mez plasticity, dochází při zásahu k plastickým deformacím půdy, což je naopak nežádoucí. Místo narušení zhutnělé vrstvy dochází k efektu zcela opačnému (Hůla et al., 2008).

Kombinované kypřiče se používají pro postupné kypření do narůstající hloubky v jedné pracovní operaci. Mohou se skládat ze sekcí talířů pro mělké zpracování půdy a sekcí dlát zasahujících do různých hloubek a tak postupně rozrušit zhutnělou vrstvu půdy (Hůla et al., 2008).

3. 2. 8 Vířivé kypřiče

Stroje se svislou osou rotace se používají pro předseťovou přípravu půdy. Vířivý kypřič a obecně stroje s poháněnými pracovními nástroji, mají velmi dobré drobicí a kypřicí účinky. Energie pro otáčení pracovních nástrojů není odvozena od tahové síly traktoru, ale je přenášena přes vývodový hřídel. Díky tomu nedochází k jinak častému prokluzu kol traktoru. Pro kvalitní práci stroje je nezbytné, aby frekvence otáčení nožů byla mnohonásobně vyšší, než pojezdová rychlost soupravy. Tak dojde k dostatečnému promísení a rozdrobení zeminy (Roh et al., 2004).

3. 2. 9 Rotační kypřiče s horizontální osou rotace

Tyto stroje, s vodorovnou osou rotace kolmou na směr jízdy, jsou obdobně jako vířivé kypřiče používány pro předset'ovou přípravu půdy. Také velmi dobře kypří a mísí půdu. Pracovními nástroji jsou zpravidla hřeby. Nože však mohou mít i tvar písmene L. Rotační kypřiče bývají většinou nesené na třibodovém závěsu traktoru, mohou být ale i návěsné (Roh et al., 2004).

3. 2. 10 Kývavé brány

Mají za úkol drcení hrud, rozrušování půdního škraloupu, urovnání povrchu oranice a její provzdušnění a prokypření. Pohyb nosníků s hřeby bran je opět zajišťován přes vývodový hřídel traktoru. Nosníky jsou ve dvou řadách za sebou a konají přímovratný pohyb tak, že se vzhledem k rámu stroje vyruší. Je možné je využít při zpracování půdy až do hloubky okolo 0,2 m (Neubauer et al., 1989).

4. Hlediska hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy

Při hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy se zohledňují zejména tyto ukazatele:

hrudovitost zpracované vrstvy půdy

penetrační odpor půdy

hloubka zpracování půdy

příčný profil povrchu půdy před zpracováním a po zpracování (drsnost povrchu půdy), příčný profil dna zpracované vrstvy půdy

základní fyzikální vlastnosti půdy před zpracováním a po jejím zpracování

pokryvnost povrchu půdy rostlinnými zbytky, jejich hmotnost

elektrická vodivost půdy

propustnost půdy pro vodu

povrchový odtok vody při simulovaných srážkách

5. Metody hodnocení kvality práce strojů

Tyto metody mají za úkol zhodnotit kvalitu práce zemědělských strojů na zpracování půdy, jejich působení na půdu, jakou kvalitu zpracování poskytují a určit s tím související vhodnost využití těchto strojů v technologiích zpracování půdy.

5. 1 Rýčová diagnóza

Jedná se o velice jednoduchou a rychlou metodu sloužící ke sledování struktury půdy. Slouží k subjektivnímu hodnocení stavu struktury půdy, utužení, vlhkosti, barvy, pachu, rozvoje kořenového systému, uložení a zapravení posklizňových zbytků a intenzity činnosti půdních živočichů. Rýčem v celku odebraný kvádr může být takto zkoumán. Abychom mohli posoudit momentální zpracovatelnost půdy, pustíme vzorek cca z 1 metru na tvrdou podložku. Při vhodné vlhkosti pro zpracování se půda snadno drobí na hrudky různých velikostí (Hůla et al., 2008).

Tuto metodu je velmi vhodné použít například před hloubkovým kypřením půdy dlátovým kypřičem. Je nezbytné, aby před touto operací měla půda vyhovující vlastnosti, tj. aby se odebraný vzorek rozpadal (drolil) na co nejmenší části. Pokud by tomu tak nebylo a vzorek by byl po vyjmutí příliš vlhký, mohlo by dojít k efektu zcela opačnému. Nedošlo by tak ke kypření půdy, ale k jejímu nežádoucímu zhutnění (Hůla et al., 1997).

5. 2 Hodnocení hrudovitosti

5. 2. 1 Stanovení frakcí hrud na sítích

Tato jednoduchá metoda slouží k posouzení intenzity drobení zeminy při zpracování půdy. Odebraná zemina se postupně prosévá sítí s různou velikostí ok, tím se zjistí velikost a počet hrud. Pro tyto účely se používá zpravidla sada sít se čtvercovými otvory o velikosti 100×100 mm, 50×50 mm, 30×30 mm a 10×10 mm. Při prosévání nesmí docházet k rozpadu hrud, což by zkreslovalo výsledky měření. Proto se zemina prosévá opatrně. Frakce hrud na jednotlivých sítích se zváží a dále se vyjádří procentuální podíl zachycených hrud na příslušných sítích ku celkové hmotnosti zeminy, která byla při měření odebrána (Dumbrovský, Kameníčková, 2007).

5. 2. 2 Mapa hrudovitosti

Kroulík (2008) uvádí v knize Minimalizace zpracování půdy (Hůla, Procházková et al. 2008) mapu hrudovitosti pozemku po předset'ové přípravě půdy. Je na ni patrná heterogenita zrnitostního složení půdy, z které vyplývá nestejná zpracovatelnost půdy, tedy potřeba opakování některých pracovních operací na určitých částech pozemku. Dále uvádí, že při použití minimalizačních technologií se nerovnoměrnosti neprojevují zdaleka tak výrazně, jako u konvenčních technologií. Při použití minimalizačních technologií totiž nedochází v takové míře k tvorbě velkých hrud.

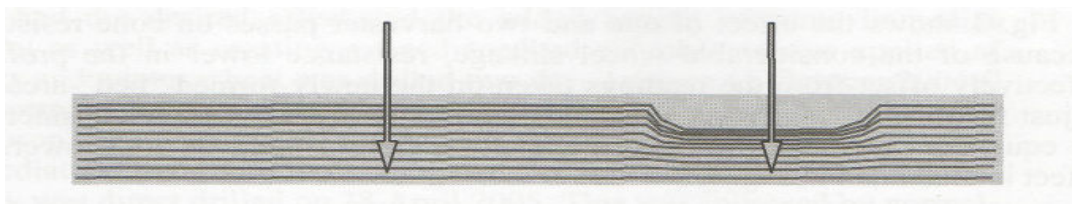
5. 3 Penetrometrie

Penetrační metody patří mezi široce používané empirické metody. Penetrační odpor, jinak také nazývaný "index odporu kužele" je empirickou mírou půdní pevnosti (Bajla, 1998). Složitě vazby mezi penetračním odporem a dalšími fyzikálně-mechanickými vlastnostmi půdy svádějí k nesprávnému vyhodnocení výsledků. Na penetrační odpor má vliv mnoho faktorů, které je potřeba uvažovat. Jsou jimi vlhkost, hustota půdy, pórovitost půdy, pevnost půdy, průměr základny kužele, vrcholový úhel a povrchová drsnost kužele penetrometru (Bajla, 1998).

Penetrometrie je velmi často používaná nepřímá metoda, pro svou jednoduchost a přitom poměrně velkou spolehlivost. Její pomocí zkoumáme mechanické vlastnosti půdy. Je založena na průchodnosti půdy, neboli penetračním odporu (Bajla, 1998).

Může být vhodnou diagnostickou metodou pro zjišťování zhutnělých vrstev půdního profilu. Lze zjistit hloubku a míru zhutnění v půdě a následně provést příslušná opatření, vedoucí k jejímu odstranění (Hůla et al., 1997). Zpravidla se na zkoumaném pozemku vyskytují místa s rozdílnou mírou zhutnění, na která je třeba se zaměřit. Hodnoty naměřené pomocí penetrometru nám tak mohou posloužit k efektivnímu využití strojů právě v místech se zhutnělou půdou. Například celoplošné kypření pozemku dlátovým kypřičem by bylo zbytečně nákladné.

Obr. 1 Penetrometrický odpor v kolejových stopách v porovnání s odporem na ploše beze stop (Chamen, 2006)



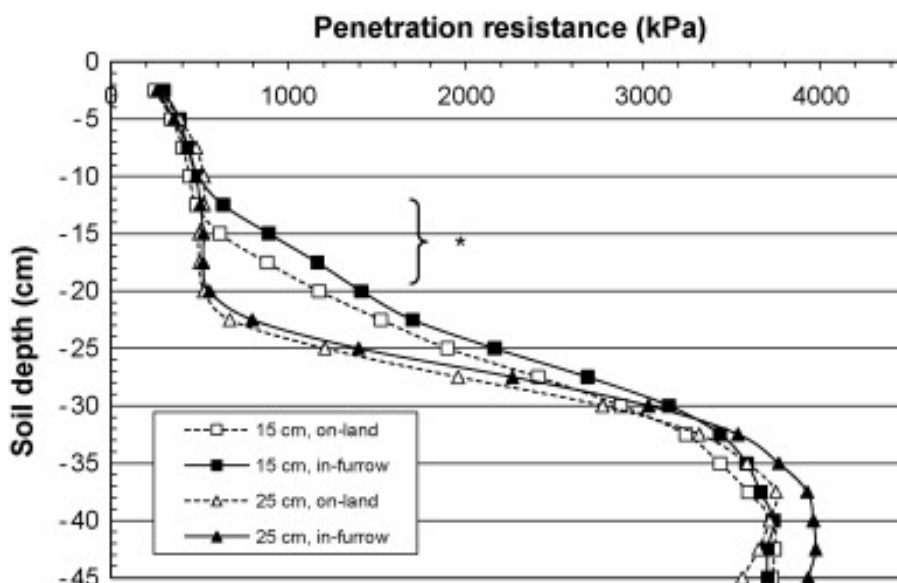
Princip metody: do zkoumané zeminy je ve vertikální rovině k povrchu půdy vtlačováno těleso tvaru kužele definovaného vrcholového úhlu a průměru základny. Podle schopnosti kužele procházet zeminou zjišťujeme její penetrační odpor.

Výhodou penetrometru je relativně jednoduché získání dostatečného počtu hodnot. Proto se uskutečňuje velký počet měření, aby se zvýšila spolehlivost měření. Metoda penetrometrie je rychlá, její vypovídací hodnota však je snížena závislostí penetrometrického odporu půdy na momentální vlhkosti půdy. Usuzovat na stupeň zhutnění půdy na základě výsledků měření penetrometrického odporu půdy je možné pouze při rovnoměrné vlhkosti půdy v měřeném půdním profilu. Tato situace nastává většinou pouze na jaře, v březnu či dubnu (Hůla et al., 1997).

Příklad využití metody penetrometrie při hodnocení vlivu přejezdů na půdu je v grafu na obr. 2 (Bakken et al., 2006). Chamen (2006) poukazuje na problémy využívání této metody při měření na nerovném povrchu půdy (obr. 1). Při nerovném povrchu půdy je třeba při měření penetrometrem dbát na určení výchozí úrovně povrchu půdy.

Bakken et al. (2006) uvádějí výsledky měření penetrometrem po zpracování půdy radličným pluhem do hloubky 0,15 a 0,25 m (obr. 2). Z grafu je patrné, že po orbě, při které jel traktor v brázdě (in-furrow) je penetrační odpor podorniční vrstvy půdy znatelně vyšší, než při orbě, kdy se traktor pohyboval mimo brázdou (on land). V prvním případě dochází ke zhutnění podorniční vrstvy intenzivněji, což se nežádoucím způsobem projeví na fyzikálních vlastnostech půdy.

Obr. 2 Penetrační odpor půdy naměřen po orbě do hloubek 0,15 a 0,25 m mimo brázdu (on land) a v brázdě (in-furrow) (Bakken et al., 2006)



5. 3. 1 Penetrometry

Pro sledování mechanických vlastností půdy je možné využít mnoho více či méně exaktních metod. Hledání jednoduchých a rychlých metod, které by s dostatečnou přesností zhodnotily okamžitý stav půdy, vedlo k rozvoji penetrometrie a tudíž i přístrojů na měření penetračního odporu půdy – penetrometrů. Od počátku byl problém se záznamem měřených hodnot, proto se přístroje a záznam hodnot měnily a zdokonalovaly. Také tvary a velikosti těles, které byly vtlačovány do půdy, byly zpočátku různé. Poznatky v tomto odvětví vedly postupem času k jednoznačnému upřednostnění kuželového tvaru vtlačovaného tělesa (Bajla, 1998).

Postupem času se tato praktická metoda rozšiřovala a s ní narůstal i počet použitých penetrometrů. S tímto rozvojem však také narůstal počet interpretací naměřených hodnot. Nebylo možné sjednotit a porovnat výsledky měření, což vyvolalo nutnost zavedení normy (Bajla, 1998).

5. 3. 1. 1 Mechanické penetrometry

Jak už z názvu vyplývá, jedná se o skupinu penetrometrů, u kterých je ke zjišťování odporu půdy použito mechanického odporu části přístroje. Jako deformační člen měření je zpravidla použita vinutá pružina.

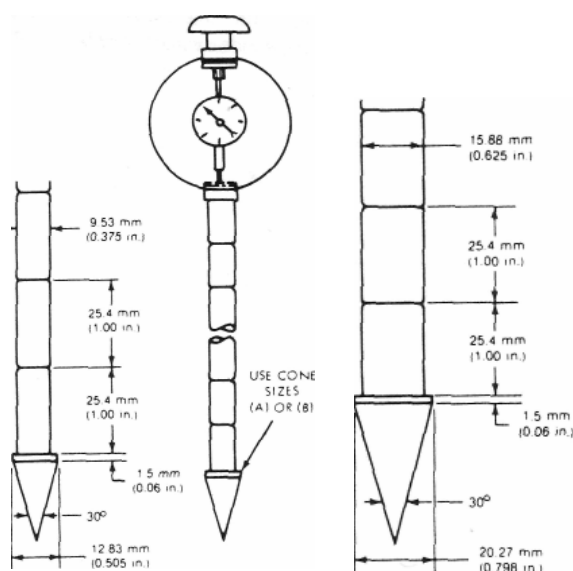
5. 3. 1. 1. 1 Gabriildesův a Alexiadisův penetrometr

Jedním z nejjednodušších typů je penetrometr navržený Gabriildesem a Alexiadisem (1973). Tento přístroj má vyměnitelné koncovky o délce 0,2 m a průřezu 100 mm². Rozdíl mezi koncovkami je v jejich provedení a použití. Jehlanová koncovka je určena pro měření v těžkých půdách, zatímco koncovka s tupým hrotem je určena pro lehké půdy. Hodnota měřeného odporu se odčítá na jednoduché stupnici. (Bajla, 1998)

5. 3. 1. 1. 2 Penetrometr podle ASAE S313.2

Mezi nejjednodušší penetrometry dále patří například penetrometr WES. Vznikl v USA a byl použit jako základ pro první normu penetrometru (obr. 3).

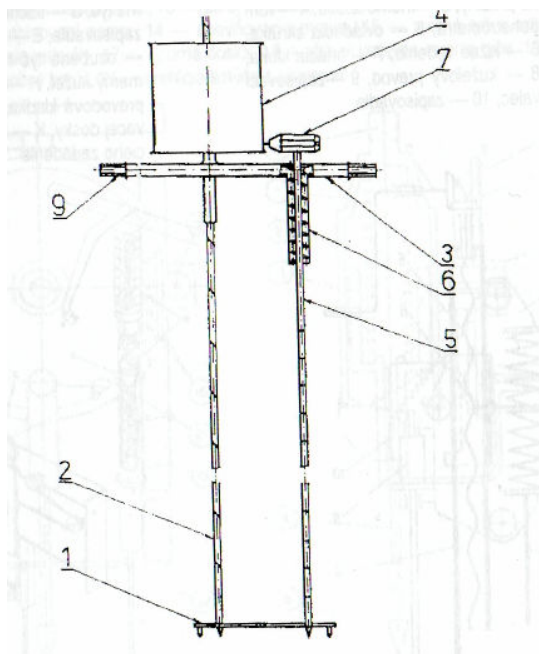
Obr. 3 Penetrometr podle ASAE Standards (ASAE S313.2)



Podobně jako u předchozího typu je možné použít 2 vyměnitelné koncovky, obě mají tvar kužele. Pro měření do 2,1 MPa se používá kužel průměru 20,27 mm. Pro měření do 5,3

MPa se používá kužel průměru 12,83 mm. Úhel vrcholu kužele je v obou případech 30°. Pro co nejpřesnější měření je nutné plynulé zatlačení kužele (ASAE Standards, 1997).

Obr. 4 Gätkeho penetrometr (Bajla, 1998) **5. 3. 1. 1. 3 Gätkeho penetrometr**



Byl jedním z prvních tzv. registračních penetrometrů. Má důmyslnou konstrukci, naměřené hodnoty jsou zaznamenávány přímo na válec s papírem (obr. 4). Základem jsou 2 tyče, jedna penetrační, druhá hnací se šroubovým průřezem. Otočná hnací tyč, na které je umístěn válec s papírem, je zatlačována zároveň s tyčí penetrační, na které je zapisovadlo. Při měření se vůči sobě tyče vzájemně pohybují, což je zaznamenáváno na papír jako výsledek měření (Bajla, 1998). Vrcholový úhel kužele je 30°, plocha základny kužele je 100 mm².

1 – opěrná deska, 2 – hnací tyč se šroubovým průřezem, 3 – příčný držák, 4 – otočný válec, 5 – penetrační tyč, 6 – siloměrná pružina, 7 – držák zapisovadla, 9 – rukojeť

5. 3. 1. 1. 4 Hendrickův penetrometr

Tento záznamový penetrometr, obdobně jako penetrometr Gätkeho, umožňuje záznam naměřených hodnot na papír, ovšem odlišným způsobem. Papír je upevněn na posuvné desce. Vrcholový úhel kužele je 30°, průměr základny kužele je 12,8 mm, délka měrné tyče je 0,356 m a měřicí rozsah má tento penetrometr do 4,2 MPa (Bajla, 1998).

5. 3. 1. 1. 5 Howsonův penetrometr

Vrcholový úhel kužele je 30°, průměr základny kužele je 20, 27 mm a maximální hloubka měření je 0,28 m. Opět se jedná o penetrometr, který zaznamenává naměřené hodnoty přímo na papír. Ten je v tomto případě umístěn na otočném kotouči. Penetrometr se skládá mimo jiné z „měrné“ tyče, která pomocí převodu otáčí kotoučem. Penetrační tyč, na které je zapisovalo, se při měření pohybuje vůči kotouči, a tím vzniká výsledná křivka. Tento

penetrometr byl využit pro měření penetračního odporu při pěstování cukrové třtiny v Guayaně (Bajla, 1998).

5. 3. 1. 1. 6 Penetrometr VÚZT Praha-Řepy

Zde byl v roce 1982 navrhnout penetrometr obdobné konstrukce jako Howsonův, avšak již se speciální korekční stupnicí, která upravuje zkreslené hodnoty zaznamenané pomocí otočného kotouče (Bajla, 1998).

5. 4 Měření smykového napětí

Ke zjištění smykového napětí půdy se používá vrtulková zkouška (Šimek et al., 1976). Její použití je nejvhodnější na měkkých jílovitých půdách a jemných píscích. Håkansson (2005) popisuje přístroj, který se k těmto účelům používá. Je jím Shear vane tester. Hlavními částmi přístroje jsou torsní hlava, nastavné tyče, tyč s vrtulkou a odstavníky. Při měření se do vrtu vsune soutyčí s vrtulkou na konci. Ta se zarazí do zkoumané zeminy a je s ní otáčeno. V okamžiku, kdy vrtulka usmykne zeminu se na číselníku mikrometrických hodiněk, umístěných na torsní hlavě, odečte nejvyšší hodnota výchylky.

5. 5 Měření hloubky orby

Součástí hodnocení kvality orby je zjištění skutečné hloubky orby. Předpokladem je správné seřízení pluhu tak, aby všechna plužní tělesa byla ve stejné hloubce a pracovní záběr prvního tělesa se nelišil od pracovního záběru ostatních těles. K měření je možné využít stěnu poslední brázdy, která zůstává po projetí soupravy s pluhem odkrytá. Měří se výškový rozdíl povrchu půdy před zpracováním a dna brázdy brázdoměrem. Místo brázdoměru lze využít i improvizované pomůcky: rovné latě a pravítka se stupnicí (Procházka et al., 1986).

Více složité je měření hloubky zpracování půdy kypřiči, kdy po projetí soupravy s kypřičem není odkryta část dna zpracované vrstvy půdy, jako je tomu při orbě radličným pluhem. Výsledkem práce většiny kypřičů je hřebenité dno zpracované vrstvy půdy. Pro takovéto měření je vhodné využít profilograf, náročné však je zachycení výchozího stavu povrchu půdy před zpracováním a dna zpracované vrstvy půdy. Obnažení dna pro možnost použití profilografu je velmi pracné (Mayer et al., 2004).

5. 6 Měření příčného profilu povrchu a dna půdy

Šindelář et al. (2007) hodnotí kvalitu práce dlátového kypříče CASE Ecolo-Tiger 530 B. Tento kypříč má několik sekcí, sloužících pro postupné zpracování půdy. Kvalita práce kypříče byla hodnocena při třech různých nastavených hloubkách zpracování půdy: 150, 200 a 250 mm. U všech tří variant bylo hodnoceno zastoupení rostlinných zbytků na povrchu půdy a ve zpracované vrstvě, příčný profil povrchu půdy a dna zpracované vrstvy půdy. Dále skutečná hloubka zpracování vzhledem k nastavené hloubce, drsnost povrchu půdy a spotřeba paliva.

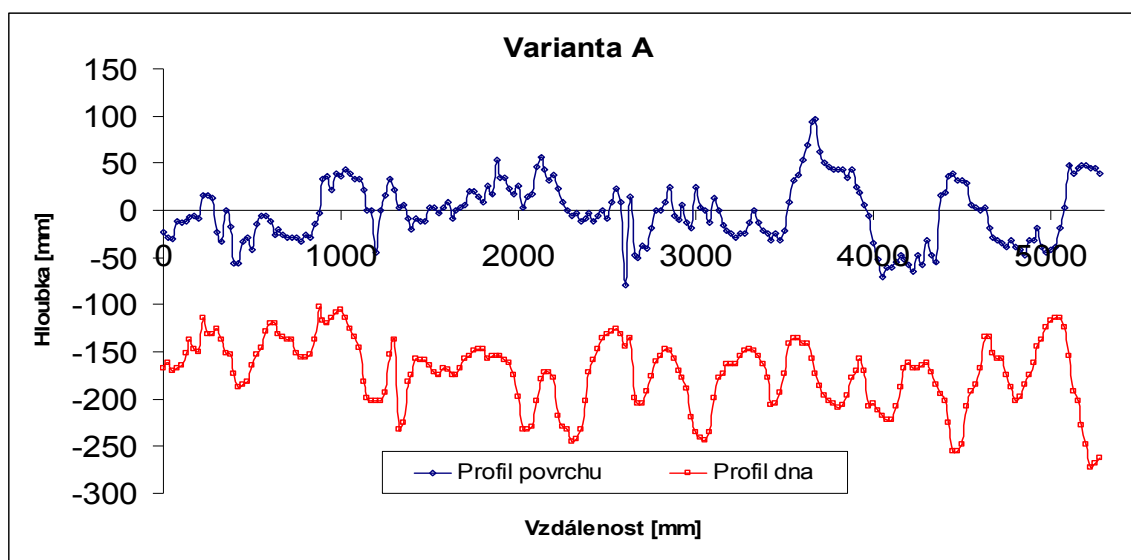
Pro hodnocení vlivu strojů na zpracování půdy na půdu lze využít profilograf. Mechanickým nebo laserovým profilografem (obr. 5) lze zaznamenat profil povrchu půdy před jejím zpracováním a po zpracování. Profilograf je dále využíván k posouzení dna zpracované vrstvy půdy. V tomto případě je nutné ručně, pracovním způsobem obnažit dno zpracované vrstvy půdy v pruhu kolmém na směr jízdy soupravy na zpracování půdy. Profilografem se potom zaznamená příčný profil dna zpracované vrstvy půdy (Mayer et al., 2004).

Obr. 5 Záznam příčného profilu povrchu půdy laserovým profilografem (Mayer et al., 2004)



Pro toto měření byl použit laserový profilograf o délce 2 m s 200 snímacími body. Výška laserového čidla je digitálně zaznamenávána do paměti přístroje, což umožní následné grafické i matematické vyhodnocení zkoumaného povrchu. Povrch byl měřen před a po zpracování půdy, dno po odkrytí zpracované vrstvy půdy. Na obrázku 6 je znázorněn výsledek při nastavené hloubce kypříče na 250 mm. Po vyhodnocení výsledků při nastavené hloubce kypření 250 mm bylo zjištěno, že průměrná hloubka skutečného prokypření je 172 mm.

Obr. 6 Výsledek měření příčného profilu povrchu a dna půdy pomocí dlátového kypřiče CASE Ecolo-Tiger 530 B při nastavené hloubce kypření 250 mm. (Šindelář et al., 2007)



V případě hodnocení hloubky dna zpracované vrstvy půdy je důležité, aby byly použity průměrné hodnoty tohoto zpracování. Pokud by tomu tak nebylo, mohlo by dojít ke zkreslení výsledků při výpočtu energetické náročnosti zpracování půdy.

Záznam povrchu půdy profilografem je využitelný pro posouzení drsnosti povrchu půdy. Drsnost povrchu půdy má význam pro protierozní odolnost půdy. Záměrné nerovnosti povrchu půdy ve směru blízkém vrstevnicím mohou na svažitých pozemcích přispět k omezení vodní eroze půdy (Hůla et al., 2008).

5. 7 Měření drsnosti povrchu půdy

5. 7. 1 Měření drsnosti povrchu půdy profilografem

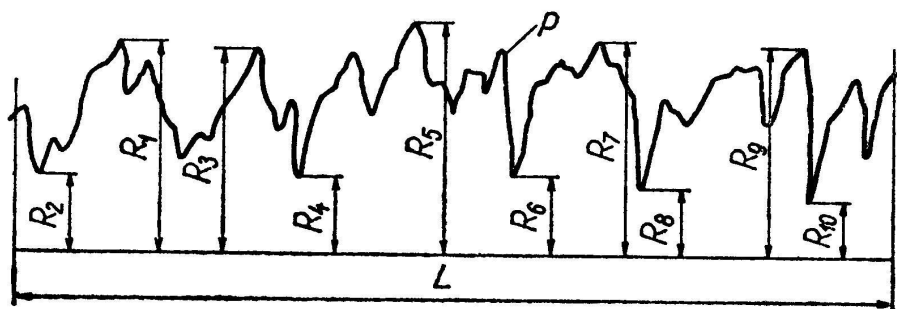
Drsnost povrchu půdy při měření profilografem lze vyjádřit jako aritmetický průměr vzdálenosti R_{zg} mezi 5 nejvyššími vrcholy a 5 největšími prohlubněmi nerovností na profilu povrchu půdy v délce 1 m (Šindelář et al., 2007). Postup určení je znázorněn na obr. 7.:

drsnost povrchu půdy

$$R_{zg} = \frac{(R_1 + R_3 + \dots + R_9) - (R_2 + R_4 + \dots + R_{10})}{5} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

- kde: p - profil povrchu půdy (-)
 L - měřený úsek povrchu půdy o délce 1 m (m)
 R_{zmax} - drsnost povrchu půdy (mm)
 R_1, R_3, R_5, R_7, R_9 - vzdálenost 5 nejvyšších vrcholů v délce profilu půdy (mm)
 $R_2, R_4, R_6, R_8, R_{10}$ - vzdálenost 5 největších prohlubní v délce profilu půdy (mm)

Obr. 7 Schéma grafického postupu určení drsnosti povrchu půdy (Šindelář et al., 2007)



5. 7. 2 Hodnocení drsnosti povrchu půdy řetězovou metodou

Metoda spočívá v položení známé délky válečkového řetězu na povrch půdy. Kopírováním nerovností povrchu půdy se délka řetězu od počátku do konce zmenší. Ze zkrácené délky se určí koeficient zkrácení řetězu T (Šindelář et al., 2007).

koeficient zkrácení

$$T = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (-) \quad (2)$$

- kde: L - skutečná délka řetězu (mm)
 L_0 - zkrácená délka řetězu (mm)

drsnost povrchu půdy

$$R = 10 \cdot (-29,37 \cdot T^2 + 37,59 \cdot T + 0,75) \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

- kde: T - koeficient zkrácení

5. 8 Ukazatele prostorového uspořádání půdní hmoty a momentální vlhkosti půdy

Pro posouzení stupně nakypření nebo utužení půdy stroji na zpracování půdy při zajišťování pracovních operací je možné využít ukazatele základních fyzikálních vlastností půdy. Vyjadřuje se jimi prostorové uspořádání půdní hmoty. Pro laboratorní rozbory jsou pro tento účel odebírány tzv. neporušené půdní vzorky do Kopeckého fyzikálních válečků o objemu 100 cm^3 . Standardním postupem lze zjistit tyto ukazatele (Valla et al., 2000):

objemová hmotnost

$$\rho_d = \frac{G_H}{V_s} \quad (\text{g.cm}^{-3}) \quad (4)$$

kde: G_H - čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105° C (g)

V_s - objem válečku (cm^3)

měrná hmotnost ρ_z

(hmotnost objemové jednotky pevné složky půdy bez pórů) se stanovuje s využitím toho, že objem vzorku zeminy se zjistí pomocí pyknometru. Dále se vychází z toho, že objemová hmotnost vody je 1 g.cm^{-3}

pórovitost celková

$$P = \frac{(\rho_z - \rho_d).100}{\rho_z} \quad (\% \text{ obj.}) \quad (5)$$

kde: ρ_z - měrná hmotnost zeminy bez pórů (g.cm^{-3})

maximální kapilární vodní kapacita

$$\theta_{MKVK} = \frac{(G_D - G_F).100}{V_s} \quad (\% \text{ obj.}) \quad (6)$$

kde: G_D - hmotnost vzorku zeminy po kapilárním nasycení a 2 hodinách odsávání (g)

G_F - hmotnost vzorku po vysušení při 105° C (g)

minimální vzdušná kapacita

$$\theta_{MVK} = P - \theta_{MKVK} \quad (\% \text{ obj.}) \quad (7)$$

Momentální vlhkost půdy lze stanovit gravimetrickou metodou po odběru vzorků zeminy do vysoušeček:

$$W_h = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (\% \text{ hm.}) \quad (8)$$

kde: m_v - čistá hmotnost vlhkého vzorku (g)
 m_s - čistá hmotnost vzorku vysušeného při 105° C (g)

vlhkost v procentech objemu

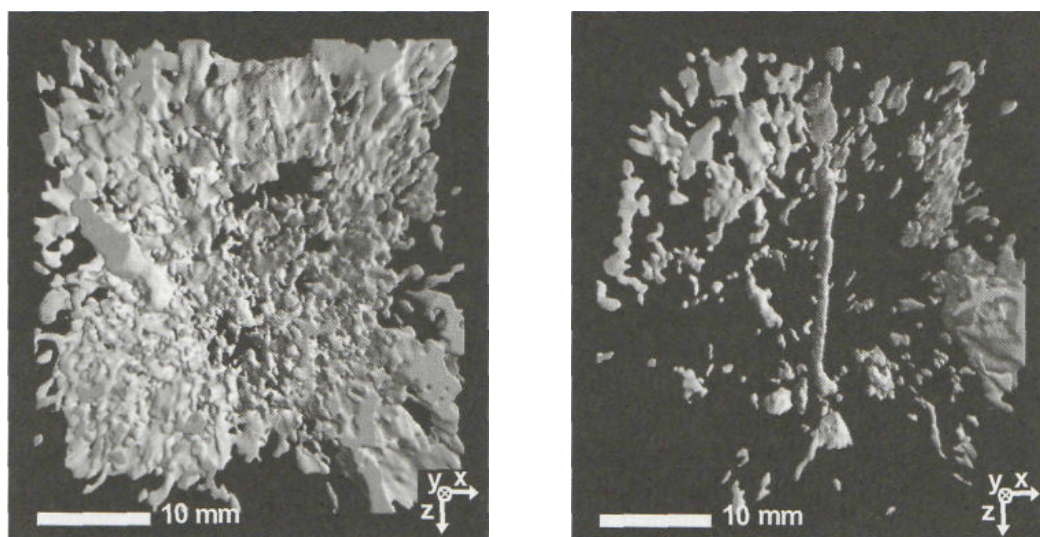
Procenta hmotnostní na objemová lze přepočíst pomocí objemové hmotnosti:

$$\theta = W_h \cdot \rho_d \quad (\% \text{ obj.}) \quad (9)$$

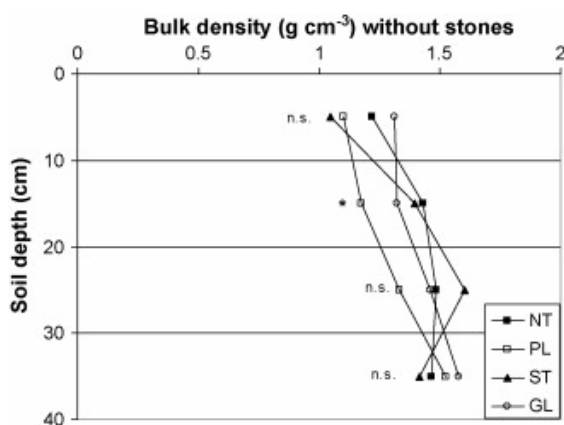
kde: W_h - vlhkost v procentech hmotnostních (% hm.)
 ρ_d - objemová hmotnost ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

V pedologii se používá více metod k charakteristice vlastností půdy, které se však nevyužívají k přímému hodnocení účinku strojů na půdu. Příkladem je 3D tomografie, která se používá ke znázornění makropórů v půdě. Na obr. 8 jsou patrné makropóry u dvou vzorků půdy z orniční vrstvy s odlišným stupněm zhutnění půdy (Schäffer et al., 2006).

Obr. 8 Užití 3D tomografie ke znázornění makropórů v půdě. Vlevo: ornice bez přejezdů, vpravo: ornice po opakovaných přejezdech kol sklízecí mlátičky (Schäffer et al., 2006)



Hermle et al. (2008) uvádějí naměřené hodnoty objemové hmotnosti půdních frakcí při různých způsobech jejího zpracování (obr. 9).



Obr. 9 Objemová hmotnost půdních frakcí při různých způsobech jejího zpracování. NT – systém bez zpracování půdy, PL – orba radličným pluhem, ST – minimalizační technologie zpracování půdy, GL – pastviny (Hermle et al., 2008)

Póry, nacházející se v půdě, jsou zodpovědné za většinu přenosu vody a plynů. Proto zhutňování velmi negativně ovlivňuje půdní vodivost, infiltraci a půdní provzdušnění. (Håkansson, 2005).

5. 9 Analýza obrazu

Pokryvnost povrchu půdy rostlinnou biomasou před a po pracovních operacích zpracování půdy je jedním z ukazatelů vhodnosti strojů pro technologie zpracování půdy. Například, je-li nejméně 30% povrchu půdy po zasetí plodiny pokryto rostlinnými zbytky předplodiny nebo meziplodiny, může mít toto zpracování půdy charakter půdoochranné technologie.

K vyhodnocení pokryvnosti povrchu půdy rostlinnými zbytky je využívána metoda analýzy obrazu (image analyse) fotografických snímků povrchu půdy. Při počítačovém zpracování je barevný obraz pomocí funkcí počítačového programu transformován na obraz černobílý, v němž bílá barva označuje rostlinné zbytky a černá barva představuje povrch půdy. S pomocí další funkce je vyjádřeno zastoupení bílých a černých bodů v obrazu a následně je určeno jejich procentické zastoupení. Tímto způsobem lze vyjádřit pokryvnost povrchu půdy rostlinnými zbytky (Šindelář et al., 2007).

Hůla et al. (2006) ve Zprávě o činnosti VÚZT uvádějí následující informaci: V roce 2005 byla hodnocena kvalita práce kombinovaného kypřiče HORSCH Tiger 4AS při zpracování půdy po sklizni pšenice ozimé. Nastavená hloubka kypření byla 0,24 m. Sláma byla po sklizni podrcena a rozmetána na povrch půdy. Hodnoty uvedené v tabulce 1 znázorňují hmotnost posklizňových zbytků na povrchu půdy po sklizni pšenice ozimé před a po zpracování půdy kombinovaným kypřičem. Tabulka také poskytuje informace o pokryvnosti povrchu půdy posklizňovými zbytky před a po provedení kypření. Stupeň zapravení posklizňových zbytků byl hodnocen při různé pracovní rychlosti: od 5,8 do 8,0 km.h⁻¹. Z tabulky je patrné, že změna pracovní rychlosti významně neovlivnila stupeň zapravení rostlinných zbytků. Důležitým údajem je také stupeň zapravení posklizňové biomasy, který je poměrně vysoký.

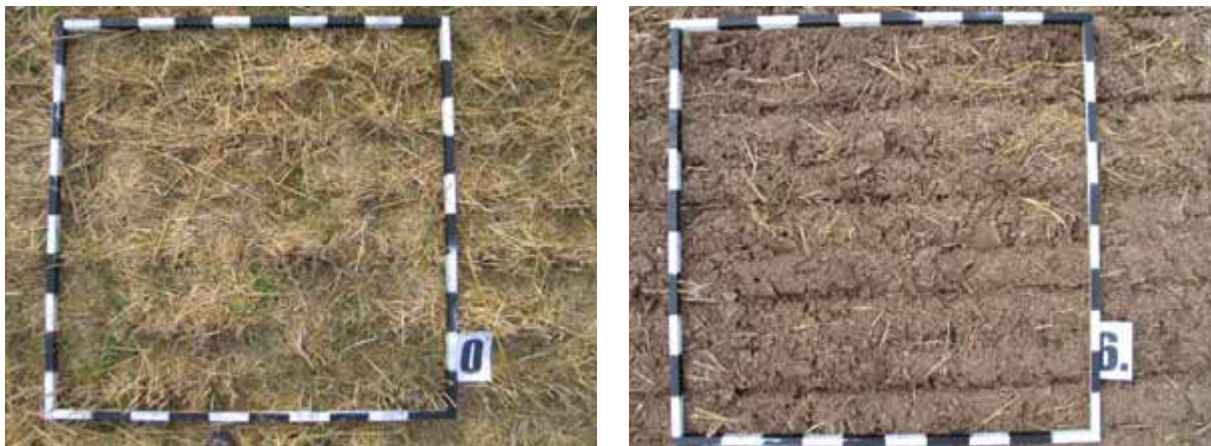
Tab. 1 Hmotnost posklizňových zbytků pšenice na povrchu půdy a pokryvnost povrchu půdy před kypřením a po kypření (Hůla et al., 2006)

Ukazatel	Stav před kypřením	Pracovní rychlost kypřiče [km.h ⁻¹]			
		5,8	6,5	7,4	8,0
Hmotnost [g.m ²]	601	77	63	54	75
Pokryvnost [%]	97,0	6,6	5,5	7,3	7,8

Byla provedena analýza obrazu před a po kypření. Obrázek 10 vlevo znázorňuje povrch půdy po sklizni pšenice ozimé. Je patrné, že rostlinné zbytky pšenice jsou pravidelně rozmístěny po povrchu půdy. Obrázek vpravo je situace po kypření kypřičem Tiger 4AS s článkovým pčhem. Stupeň zapravení rostlinných zbytků do půdy je vysoký (Hůla et al., 2006).

Na obrázku 11 vlevo je zachycen stav povrchu půdy po kypření s připojeným článkovým pčhem. Obrázek vpravo znázorňuje výsledek převedení barevného obrazu na 2 barvy. Bílá barva znázorňuje rostlinné zbytky, barva černá povrch půdy. Pokryvnost povrchu půdy je vyjádřena procentickým zastoupením bílé barvy v ploše obrázku.

Obr. 10 Povrch půdy po sklizni ozimé pšenice (1) a po kypření kypřičem Tiger 4AS s článkovým pěchem (2) (Hůla et al., 2006)



Obr. 11 Použití metody analýzy obrazu: povrch půdy po zpracování kypřičem Tiger 4AS při nastavené pracovní hloubce 0, 24 m a pracovní rychlosti 6,5 km.h⁻¹ (Hůla et al., 2006)



Kromě pokryvnosti povrchu půdy rostlinnou biomasou se zjišťuje hmotnost rostlinné biomasy na povrchu půdy. To je spojeno s větší pracností – ruční pečlivé vysbírání, případně odstříhání všech nadzemních částí rostlin, jejich vysušení v laboratoři a zvážení. Tento odběr nadzemní rostlinné biomasy se uskutečňuje ve více opakováních zpravidla z plochy 1 m² (Šindelář et al., 2007).

Pokud bychom prováděli analýzu obrazu po rozdílných způsobech zpracování půdy, např. po konvenčním (s orbou) a minimalizačním (bez orby) zpracování půdy, výsledky by byly naprosto odlišné. Procento zastoupení posklizňových zbytků na povrchu půdy u orebné

technologie je prakticky nulové na rozdíl od technologií bezorebných, kde množství posklizňových zbytků po zpracování půdy závisí na použitých strojích pro zpracování půdy. Například talířové kypřiče zaklápějí do půdy posklizňové zbytky ve větší míře než radličkové kypřiče vybavené šípovitými podřezávacími radličkami (Hůla et al., 2008).

Zapravení posklizňových zbytků nebo biomasy meziplodiny orbou je tedy téměř 100 %. Z toho plyne, že po orbě se neuplatní ochranná funkce mulče. S tím souvisí menší protierozní odolnost půdy obhospodařované technologiemi s orbou v porovnání s půdou, kde se využívají půdoochranné technologie, jejichž charakteristickým rysem je využívání odumřelé rostlinné biomasy na povrchu půdy k ochraně půdy před vodní, případně větrnou erozí.

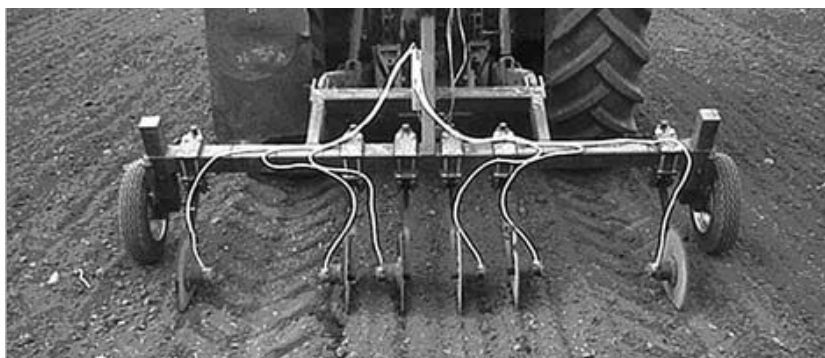
5. 10 Elektrická vodivost půdy

Elektrická vodivost je schopnost určitého materiálu (v tomto případě půdy) vést elektrický proud. Schopnost vést elektrický proud je u různých půd rozdílná. Vodivost závisí na struktuře půdních částic, na jejich velikosti, dále na obsahu organické hmoty v půdě, zasolenosti půdy, její vlhkosti a mnoha jiných faktorech (Šařec et al., 2001).

Pro měření elektrické vodivosti půdy se používají nejčastěji dvě metody. Jsou jimi metoda bezkontaktní, která je založena na elektromagnetické indukci a kontaktní metoda (obr. 12), při které je nejčastěji využíváno kontaktních talířových senzorů. U obou metod se používá stejnosměrný nebo střídavý proud o nízké frekvenci. Velkým přínosem pro použití této metody je možnost využívání GPS signálu, díky němuž je možné zpracování naměřených údajů do map. Ty poskytují velmi dobrý přehled o naměřených hodnotách (Šařec et al., 2001).

U bezkontaktní metody nedochází ke styku senzorů s půdou. Přístroje pro měření elektrické vodivosti půdy bezkontaktní metodou se skládají z dvou hlavních částí. Jsou jimi vysílací jednotka, která vytváří indukční elektromagnetické pole a přenáší jej do půdy, a přijímací jednotka, která zpracovává odezvu elektromagnetického signálu (Šařec et al., 2001).

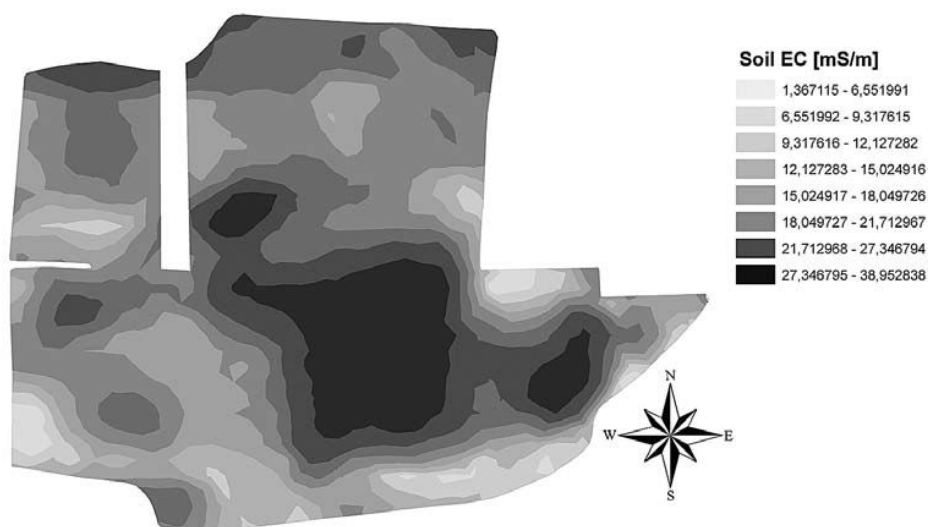
Obr. 12 Zařízení se šesti kontaktními talířovými senzory měřící elektrickou vodivost půdy (Mimra et al., 2008)



Kontaktní metoda je založena na přímém kontaktu s půdou. Je možné použít přenosné měřicí zařízení nebo zařízení připojené na tříbodovém závěsu traktoru (obr. 12). Elektrický proud je přiváděn přes střední elektrody do země a na vnitřním a vnějším páru je měřen úbytek napětí. Odpor, který půda klade lze vypočítat ze změřeného úbytku napětí mezi elektrodami a ze známé velikosti proudu. Vodivost, udávaná v $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ (milisemens na metr) je převrácenou hodnotou odporu půdy (Šařec et al., 2001).

Šařec et al. (2001) při mapování elektrické vodivosti prováděli měření pomocí přenosného kontaktního senzoru pro měření elektrické vodivosti půdy. Zkoumaný pozemek byl oset ozimou pšenicí. Elektrická vodivost byla měřena na 79 místech pozemku a výsledky měření byly zaneseny do mapy.

Obr. 13 Mapa elektrické vodivosti (Mimra et al., 2008)



Mimra et al. (2008) uvádějí mapu elektrické vodivosti půdy (obr. 13). Výsledky byly získány pomocí zařízení připojeného na tříbodovém závěsu traktoru. Toto zařízení má šest kontaktních talířových senzorů rozmístěných na rámu zařízení (obr. 12).

5. 11 Měření infiltrace vody do půdy a povrchového odtoku vody

Rychlost, kterou voda vsakuje do půdy, je v terénu měřena z výtopy povrchu nebo z deště, který je buď přírodní, nebo simulovaný (dešťovým simulátorem). Tato rychlost je nazývána infiltrační schopností, infiltrační kapacitou nebo infiltrabilitou. Je charakteristikou půdního profilu za určitých specifických podmínek a určuje se z ní hydraulická vodivost půdního prostředí (Valla et al., 2000).

Zpracování půdy představuje mechanické zásahy do půdy, jejichž účelem je především vytvoření příznivých podmínek pro růst a vývoj pěstovaných rostlin. Přímým důsledkem zásahů do půdy při jejím zpracování jsou změny velikosti, distribuce a struktury pórů v půdě, což ovlivňuje vodní režim v půdě a pohyb vzduchu (Köller, 2003). Nadměrnou intenzitou zpracování půdy může docházet k narušování struktury půdy. Půda může být po zpracování v nestabilní formě.

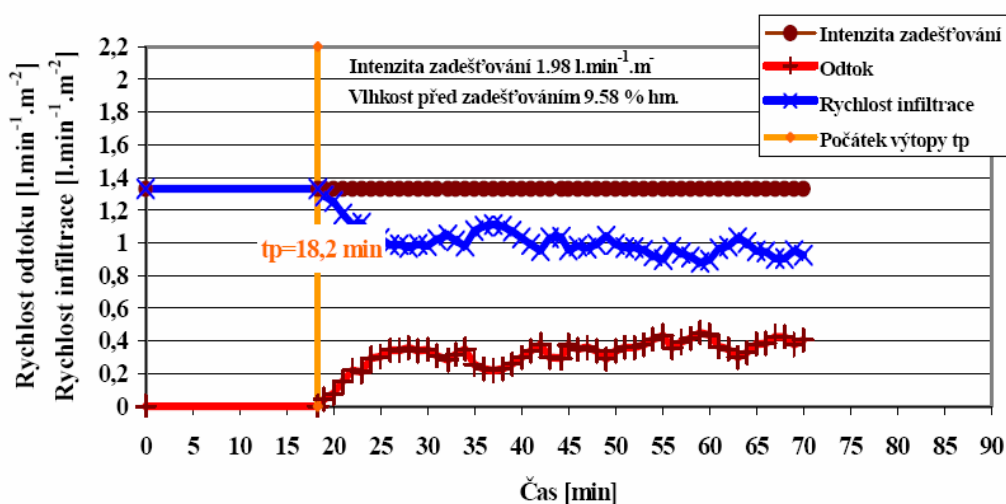
Postupy zpracování půdy ovlivňují odolnost půdy vůči vodní i větrné erozi. Vodní erozí je v České republice potenciálně ohrožena více než polovina výměry orné půdy, erozí větrnou téměř 10 % orné půdy (Janeček et al., 2002).

Koloběh srážkové vody zadržené v půdním profilu je ve srovnání s povrchovým odtokem velmi pomalý. Hydraulickou vodivost půdního prostředí lze určit z rychlosti infiltrace. Při vysoké infiltraci vody do půdy dochází ke zpomalení oběhu vody, což je příznivý jev. Naopak urychlení hydrologického cyklu při malé infiltraci je nežádoucí (Kutílek, 1978).

Kovaříček et al. (2006) dále uvádějí použitý materiál a metody. Pro měření infiltrace byl v tomto případě použit simulátor deště s měřicí plochou 0,5 m². Simulátor je vybaven tryskou s kuželovým rozptylem. Při měření byla tryska umístěna ve výšce 1 m nad středem měřené plochy. Dalšími částmi simulátoru jsou jednak sběrač, který slouží k odvádění vody do odměrného válce, dále odměrná nádoba, do níž je odváděna voda z povrchového odtoku. Objem vody byl v odměrné nádobě pravidelně zaznamenáván. Simulátor se umísťuje na

povrch s mírnou svažností (2° až 7°). Tlak proudění vody tryskou byl pomocí regulačního ventilu udržován na konstantní hodnotě. Jako kontrolní prvek intenzity zadešťování posloužily dešťometry, umístěné vedle měřené plochy. Intenzita zde byla shodná s intenzitou na měřené ploše. Výsledkem měření je graf, znázorňující rychlosti infiltrace a povrchového odtoku vody (obr. 14).

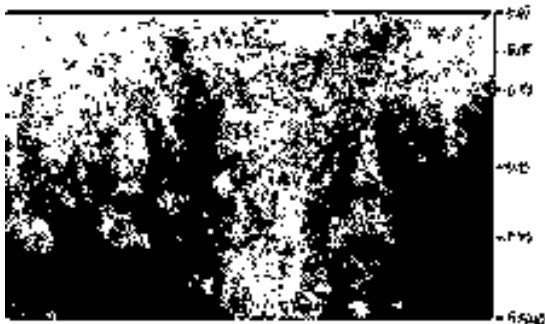
Obr. 14 Příklad znázornění rychlosti infiltrace a povrchového odtoku vody simulované dešťové srážky (Kovaříček et al., 2006)



5. 11. 1 Posouzení infiltrace vody do půdy s využitím vody obarvené potravinářským barvivem

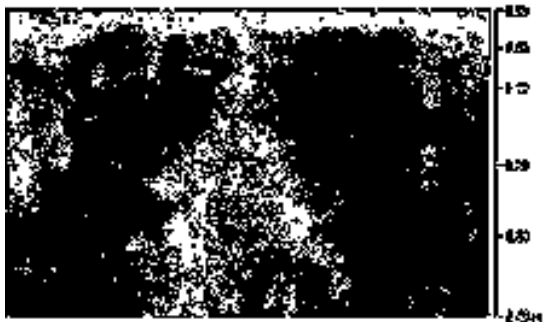
K posouzení pohybu vody v půdě se používá metoda infiltrace vody obarvené potravinářským barvivem a následná analýza fotografických snímků vertikální stěny půdní sondy (Kroulík et al., 2007). Na povrch půdy je aplikován 0,3% vodní roztok potravinářského barviva E330 brilantní modř, v množství $40 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$. Doba vsakování je 24 hodin. Po 24 hodinách po aplikaci jsou ručně odkrývány části půdního profilu (600 mm široké, 400 mm hluboké), které se po očištění stěny sondy vyfotografují (obr. 15). Digitální fotografický obraz je zpracován programem BMPtool, kdy se snímek převede do dvou barev a analyzovaný snímek se uloží v podobě tabulky, kdy je pro jednotlivé vrstvy například po 50 mm uvedeno zastoupení modré bary v procentech. Metodu vyhodnocení popsali ve své práci Anken et al. (2004). Tato metoda umožňuje posoudit, jak se například projeví hlubší prokypření půdy dlátovým kypřičem z hlediska průniku srážkové vody do půdy.

(a)

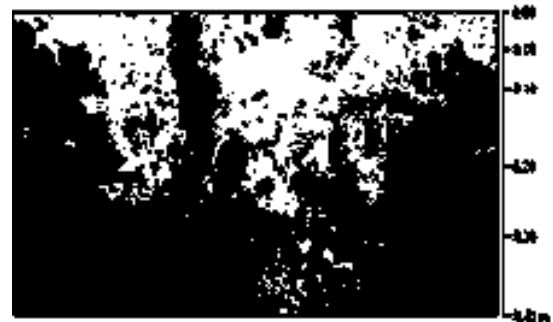


Obr. 15 Znáznornění infiltrace vody do půdy. Bílá barva znázorňuje oblast, na které došlo k infiltraci, černá barva znázorňuje půdu. (a) no-tillage, (b) shallow-tillage, (c) ploughing (Kroulík et al., 2007)

(b)



(c)



5. 11. 2 Měření rychlosti infiltrace vody do půdy dvouválcovým infiltrometrem

Dvouválcový infiltrometr Eijkelkamp je určen pro měření rychlosti infiltrace vody do půdy. Při použití této metody se zjišťuje objem vody, který pronikne do půdy za jednotku času. Při měření podle úpravy na obr. 16 je hladina vody ve vnitřním válci snímána ultrazvukovým snímačem, pokles hladiny je zaznamenáván ve zvoleném časovém intervalu (Kroulík et al., 2007). Voda ve vnějším válci zajišťuje odpovídající podmínky pro infiltraci vody do půdy ve vnitřním válci.

Při měření infiltrace jsou v blízkosti umístění infiltrometru odebrány neporušené vzorky půdy do kalibrovaných válečků, aby byly stanoveny základní fyzikální vlastnosti půdy v době měření infiltrace.

Šindelář et al (2008) uvádějí měření infiltrace vody do půdy kruhovým infiltrometrem u tří variant zpracování půdy na pozemku ve Višňové. Jedná se o zpracování půdy orbou – konvenční zpracování založené na každoroční orbě do hloubky 300 mm. Dále minimalizační technologií – minimální zpracování půdy do hloubky 120 mm a přímým setím – bez zpracování (přímé setí do rostlinných zbytků předplodiny).

V případě, kdy byl využit k měření kruhový infiltrometr Mini Disk na pozemku ve Višňové (2008) bylo zjištěno, že největší hydraulická vodivost půdy je u varianty s orbou. U varianty s minimálním zpracováním půdy byla méně než poloviční a při přímém setí dokonce čtrnáctkrát nižší, než u varianty s orbou.

Obr. 16 Dvouválcový infiltrometr Eijkelkamp s ultrazvukovým snímačem hladiny vody (Kroulík et al., 2007)



Håkansson (2005) uvádí výsledky měření infiltrace vody do půdy na poli s těžkou jílovitou půdou. Všechny operace byly vykonávány s použitím traktoru s jednoduchými nápravami, s použitím traktoru se zdvojenou zadní nápravou a také pomocí lanového navijáku. V posledním případě byl podstatný rozdíl míry infiltrace vůči prvním dvěma případům. Tažná síla traktoru zde byla nahrazena navijákem, stojícím mimo zkoumaný pozemek, čímž se dosáhlo minimálního zhutnění půdní struktury.

6. Diskuse k jednotlivým metodám

Pro hodnocení kvality práce zemědělských strojů je možné použít více metod, důležité je vždy vědět, jakou metodu bude nejvhodnější použít pro získání požadovaných informací. Nejen v této oblasti platí, že pro nejvýstižnější posouzení stavu zpracování půdy je vhodná kombinace jednotlivých metod, k tomu, abychom mohli získat komplexní pohled na tuto problematiku. Metody pro hodnocení jsou velmi rozmanité, liší se nejen vhodností použití, ale i složitostí měření. Některými metodami lze získat hodnoty poměrně rychle, příkladem je penetrometrie, u které ovšem velmi záleží na rozložení půdní vlhkosti, která významně ovlivňuje naměřené hodnoty. Mezi velmi pracné a složité metody by se dalo zařadit například

měření příčného profilu dna půdy, kdy je nezbytné opatrně odkrýt zpracovanou vrstvu a až následně uskutečnit samotné měření. Jinou složitou metodou, ovšem s vysokou vypovídající hodnotou, je rozbor neporušených půdních vzorků po odběru do Kopeckého válečku.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce byl rozbor metod pro hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy. Vzhledem k tomu, že těchto metod je velký počet, byly v této práci uvedeny ty nejdůležitější a nejpoužívanější. Dále jsem se snažil popsat, jak se při získávání hodnot u jednotlivých metod postupuje a také jaké formy výsledků je možné měřením získat.

Kvalita práce strojů je nejen v současné době velmi sledovaná, a to z důvodu snahy o šetrnější zacházení s půdním fondem. Šetrné hospodaření na půdě se z dlouhodobého hlediska jeví jako velmi potřebné. Důvodem je uchování nejen produkčních, ale i mimoprodukčních funkcí půdy. Metody hodnocení kvality práce strojů na zpracování půdy mohou přispět k volbě vhodných technologií zpracování půdy a jejich zajištění technikou. Cílem by měla být intenzita a hloubka zpracování půdy, přiměřená půdněekologickým podmínkám příslušných stanovišť.

Metody pro hodnocení kvality práce je možné rozdělit na přímé a nepřímé, tedy na metody, jejichž použitím lze určit vlastnosti půdy velmi přesně, a na metody, při jejichž použití je třeba uvažovat mnoho jiných faktorů, které ovlivňují výsledky měření.

8. Seznam použité literatury

- Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J., Perhacova, K. Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil & Tillage Research*, 2004, vol. 78, no. 2, s. 171-183.
- ASAE S313.2 *Soil Cone Penetrometer*. ASAE Standards 1997.
- Bajla, J. *Penetrometrické merania pôdnych vlastností*. 1. vydání. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 1998. 112 s. ISBN 80-7137-543-8. s. 7-18.
- Bakken, A. K., Brandsæter, L. O., Eltun, R., Hansen, S., Mangerud, K., Pommeresche, R., Riley, H. Effect of tractor weight, depth of ploughing and wheel placement during ploughing in an organic cereal rotation on contrasting soils. *Soil & Tillage Research*, 2006, vol. 103, no. 2, s. 433-441.
- ČSN 46 5302 *Značení charakteru půd zpracovaných mechanizačními prostředky*. Praha: ÚNM, 1981. 20 s.
- Dumbrovský, M., Kameníčková, I. *Návrh podpory vhodných zemědělských technologií a stanovení identifikátorů pro posouzení ekologických a retenčních funkcí půd a krajiny* [online]. Vystaveno 30. 1. 2008 [cit. 2009-1-15]. Dostupné z: <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/13421.aspx>
- Håkansson, I. *Compaction of Arable Soils*. 1 vydání. Uppsala: Swedish University of Agricultural Science, 2005. 154 s. ISSN 0348-0976.
- Hermle, S., Anken, T., Leifeld, J., Weisskopf, P. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperature conditions. *Soil & Tillage Research*, 2008, vol. 98, no. 1, s. 94-105.
- Hůla, J. *Půdochranné technologie zakládání porostů plodin*. 1. vydání. Praha: ÚZPI, 2000. 46 s. ISBN 80-7271-060-5.
- Hůla, J., Procházková, B. et al. *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.
- Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F. *Zpracování půdy*. 1. vydání. Praha: Brázda, 1997. 144 s. ISBN 80-209-0265-1. s. 5-58.

- Hůla, J., Kovaříček, P., Mayer, V., Šindelář, R., Vlášková, M. Dlouhodobě udržitelné způsoby hospodaření. In: *Zpráva o činnosti 2005*. Praha: VÚZT, 2006. s. 17-21.
- Chamen, W. C. T. Controlled Traffic Farming on a Field Scale in the UK. In: *Soil Management for Sustainability*. Horn, R., Fleige, H., Peth, S., Peng, X. Reiskirchen: Catena verlag GMBH, 2006. s. 251-260.
- Janeček, M. et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vydání. Praha: ISV, 2002. 200 s. ISBN 80-85866-86-2.
- Köller, K. Techniques of Soil Tillage. In: *Soil Tillage in Agroecosystems*. Titi, A. E. Boca Raton: CRC Press, 2003. s. 2-6.
- Kovaříček, P., Šindelář, R., Kroulík, M., Hůla, J., Vlášková, M. Metoda měření infiltrace do půdy zadešřovacím zařízením. In: *Zpráva o činnosti 2006*. Praha: VÚZT, 2007. s. 39-43.
- Kroulík, M., Hůla, J., Šindelář, R., Illek, F. Water infiltration into Soil Related to the Soil Tillage Intensity. *Soil & Water Research*, 2007, vol. 2, no. 1, s. 15-24.
- Kumhála, F., Heřmánek, P., Mašek, J., Kvíz, Z., Honzík, I. *Zemědělská technika, stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. 1. vydání. Praha: ČZU, 2007. 438 s. ISBN 978-80-213-1701-7. s. 69-120.
- Kutílek, M., *Vodohospodářská pedologie*. 2. vydání. Praha: SNTL-ALFA, 1978. 295 s.
- Mayer, V., Hůla, J., Kovaříček, P., Vlášková, M. *Zařízení pro měření stavu povrchu půdy a porostu na půdách* [online]. Vystaveno 4. 9. 2004 [cit. 2009-2-12]. Dostupné z: <http://212.71.135.254/vuzt/vyzkum/2004/mayer1.htm>
- Mimra, M., Kroulík, M., Altmann, V., Kavka, M., Prošek, V. The analysis of the relationship between the electrical conductivity values and the valued soil-ecological units values. *Research in Agricultural Engineering*, 2008, vol. 54, no. 3, s. 130-135.
- Neubauer, K., Friedman, M., Jech, J., Páltik, J., Ptáček, F. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. 2. vydání. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1989. 616 s. ISBN 80-209-0029-2. s. 7-9, 56-61.
- Procházka, B., Konupčík, J., Turček, J., Velda, K. *Mechanizácia rastlinnej výroby*. 1. vydání. Bratislava: Príroda, 1986. 520 s.
- Roh, J., Kumhála, F., Heřmánek, P. *Stroje používané v rostlinné výrobě*. 2. vydání. Praha: ČZU, 2004. 270 s. ISBN 80-213-0614-9. s. 53-70.

- Schäffer, B., Stauber, M., Müller, R., Schulin, R. Compaction-Induced Changes in Macro-Pore Structure of Restored Soil. In: *Soil Management for Sustainability*. Horn, R., Fleige, H., Peth, S., Peng, X. Reiskirchen: Catena verlag GMBH, 2006. s. 31-37.
- Šařec, O., Šařec, P., Prošek, V. Measuring of soil electrical conductivity for mapping of spacial variability of soil properties within a field. *Research in Agricultural Engineering*, 2002, vol. 48, no. 4, s. 131-136.
- Šařec, P., Šařec, O., Prošek, V. *Precizní zemědělství – mapování elektrické vodivosti půdy* [online]. Vystaveno 23. 2. 2004 [cit. 2009-2-5]. Dostupné z: http://74.125.77.132/search?q=cache:ew_R95V3oUEJ:www.ewa.cz/pages1/1083.doc+Precizn%C3%AD+zem%C4%9Bd%C4%9Blstv%C3%AD+%E2%80%93+mapov%C3%A1n%C3%AD+elektrick%C3%A9+vodivosti+p%C5%AFdy&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- Šimek, J., Vaníček, I. *Mechanika zemin I*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1976. 98 s.
- Šindelář, J., Hůla, J., Kovaříček, P., Kroulík, M., Procházka, P. Assessment of work quality and energy input of combined chisel tiller. In: *3rd International Conference TAE*. Praha: ČZU, 2007. s. 432-436.
- Šindelář, R., Kovaříček, P., Procházka, P., Hůla, J., Matouš, J. Hodnocení kvality práce kypřiče při půdoochranném zpracování půdy. In: *Technika v zemědělství a potravinářství ve třetím tisíciletí*. Brno: MZLU v Brně, 2007. s. 375-378.
- Šindelář, J., Kovaříček, P., Vlášková, M., Hůla, J., Kroulík, M. Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru Mini Disk. *Agritech science*, 2008, vol. 2008, no. 3, s. 1-5.
- Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek, O. *Pedologické praktikum*, 1. vydání. Praha: ČZU, 2000. 150 s. ISBN 80-213-0914-8. s. 13-45.

9. Seznam obrázků

- Obr. 1: Penetrometrický odpor v kolejových stopách v porovnání s odporem na ploše beze stop (Chamen, 2006)
- Obr. 2: Penetrační odpor půdy naměřen po orbě do hloubek 0,15 a 0,25 m mimo brázdu (on land) a v brázdě (in-furrow) (Bakken et al., 2006)
- Obr. 3: Penetrometr podle ASAE Standards (ASAE S313.2)
- Obr. 4: Gätkeho penetrometr (Bajla, 1998)
- Obr. 5: Záznam příčného profilu povrchu půdy laserovým profilografem (Mayer et al., 2004)
- Obr. 6: Výsledek měření příčného profilu povrchu a dna půdy pomocí dlátového kypřiče CASE Ecolo-Tiger 530 B při nastavené hloubce kypření 250 mm. (Šindelář et al., 2007)
- Obr. 7: Schéma grafického postupu určení drsnosti povrchu půdy (Šindelář et al., 2007)
- Obr. 8: Užití 3D tomografie ke znázornění makropórů v půdě. Vlevo: ornice bez přejezdů, vpravo: ornice po opakovaných přejezdech kol sklízecí mlátičky (Schäffer et al., 2006)
- Obr. 9: Objemová hmotnost půdních frakcí při různých způsobech jejího zpracování. NT – systém bez zpracování půdy, PL – orba radličným pluhem, ST – minimalizační technologie zpracování půdy, GL – pastviny (Hermle et al., 2008)
- Obr. 10: Povrch půdy po sklizni ozimé pšenice (1) a po kypření kypřičem Tiger 4AS s článkovým pčhem (2) (Hůla et al., 2006)
- Obr. 11: Použití metody analýzy obrazu: povrch půdy po zpracování kypřičem Tiger 4AS při nastavené pracovní hloubce 0,24 m a pracovní rychlosti 6,5 km.h⁻¹ (Hůla et al., 2006)
- Obr. 12: Zařízení se šesti kontaktními talířovými senzory měřící elektrickou vodivost půdy (Mimra et al., 2008)
- Obr. 13: Mapa elektrické vodivosti (Mimra et al., 2008)

- Obr. 14: Příklad znázornění rychlosti infiltrace a povrchového odtoku vody simulované dešťové srážky (Kovaříček et al., 2006)
- Obr. 15: Znázornění infiltrace vody do půdy. Bílá barva znázorňuje oblast, na které došlo k infiltraci, černá barva znázorňuje půdu. (a) no-tillage, (b) shallow-tillage, (c) ploughing (Kroulík et al., 2007)
- Obr. 16: Dvouválcový infiltrometr Eijkelkamp s ultrazvukovým snímačem hladiny vody (Kroulík et al., 2007)