

Česká zemědělská univerzita v Praze



Technická fakulta

Porovnání metod měření tahové síly
traktoru při zpracování půdy

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Novák, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Milan Buřič

Praha 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Milan Buřič

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Porovnání metod měření tahové síly traktoru při zpracování půdy.

Název anglicky

Comparison of methods for measuring the tension force of the tractor during soil tillage.

Cíle práce

Cílem práce je porovnání dvojice metod měření tahové síly traktoru při operaci zpracování půdy.

Metodika

V první části práce budou popsány soudobé metody měření tahových sil u tažných prostředků s využitím poznatků tuzemské i zahraniční literatury. Praktická část bude vypočívat o skutečné komparaci dvou metod měření a jejich vzájemném srovnání. Data budou prezentována přehlednou grafickou formou a budou náležitě statisticky zhodnocena.

Doporučený rozsah práce

55 stran

Klíčová slova

zpracování půdy, tahový odpor, penetrometr, objemová hmotnost

Doporučené zdroje informací

ASAE, 2004. ASAE Standards Soil cone penetrometer. St. Joseph, Mich.: American Society of Agricultural Engineers ASAE, 49th Ed., ASAE S313.3.

Hall, E. & Raper, R. 2005. Development and concept evaluation of an on-the-go soil strength measurement system. American Society of Agricultural Engineers ASAE, 48 (2), 469-477.

Lammers, P., Sun, Y., & Ma, D. 2007. Using a combined sensor for mapping soil resistance force and soil water content. Landtechnik, 5, 330-331.

Novák, P., Chyba, J., Kumhála, F. & Procházka, P. 2014. The measurement of stubble cultivator draught force under different soil conditions. Agronomy Research, 12 (1), 135-142.

Topakci, M., Unal, I., Canakci, M., Celik, H. & Karayel, D. 2010. Design of a Horizontal Penetrometer for Measuring On-the-Go Soil Resistance. Sensors, 10, 9337-9348.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Petr Novák

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 3. 11. 2015

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2016

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Porovnání metod měření tahové síly traktoru při zpracování půdy vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze, dne 31. 3. 2016

.....

Bc. Milan Buřič

Poděkování

Ing. Petru Novákovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za odborné konzultace, věcné připomínky a pomoc při řešení a zpracování práce.

Ing. Milanu Buřičovi, za postřehy a poznatky z praxe.

Abstrakt: Teoretická část diplomové práce se zabývá vlastnostmi půdy, které mají vliv na zpracování půdy. V teoretické části je popsáno samotné zpracování půdy, výhody a nevýhody určitého způsobu zpracování, volba technologie pro efektivní zpracování půd a ekonomické aspekty zpracování. V této části je také obsažena pasáž popisující tahovou zkoušku traktoru a také důvody provádění tahové zkoušky v laboratorních a polních podmínkách. Praktická část diplomové práce je věnována porovnání dvou metod měření tahové síly traktoru při polních zkouškách. Zkouškám byl podroben pásový traktor John Deere 8320 RT a kolový traktor New Holland T7050. Cílem tahové zkoušky v terénu bylo určit, jaký odpor vyvine půda v určitých podmínkách a jakou tahovou sílu je potřeba vyvinout na jeden určitý pracovní úkon na daném pozemku. Tyto výsledky byly zpracovány a následně vyhodnoceny pomocí počítačové techniky. Celé měření proběhlo za podpory firmy BEDNAR FMT.

Klíčová slova: půda, půdní charakteristika, vlastnosti půdy, zpracování půdy, tahová síla, měření tahové síly.

Comparison of methods for measuring the tension force of the tractor during soil tillage.

Summary: The theoretical part of the diploma thesis deals with soil qualities which influence the soil processing. The soil processing itself is described in the theoretical part as well as advantages and disadvantages of the specific processing, a choice of technology for effective soil processing and economic aspects of the processing. In this part there is an extract describing a test of a tractor pulling and reasons for making the test of pulling in laboratory and field conditions. The practical part of the thesis deals compares two methods of a tractor pulling power during field tests. A belt tractor John Deere 8320 RT and a wheel tractor New Holland T7050 were tested. The target of a pulling test in terrain was to define which resistance makes a soil in specific conditions and which pulling power is needed for a certain working output on a given land. The results were processed and evaluated with computer technology. The whole measurement took place with support of a BEDNAR FMT company.

Key words: soil, soil characteristic, soil qualities, soil processing, pulling power, pulling power measurement.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Půda a charakteristika.....	3
2.1	Půdní charakteristika z pohledu zpracování půdy	3
2.1.1	Půdní typ	3
2.1.2	Půdní druhy.....	6
2.1.3	Struktura půdy	8
2.1.4	Pórovitost půdy	9
2.1.5	Objemová hmotnost půdy	9
2.1.6	Půdní zhutnění	10
3	Zpracování půdy	12
3.1	Historie a vývoj zpracování půdy.....	13
3.2	Způsoby zpracování půdy.....	15
3.2.1	Konvenční (tradiční) zpracování půdy	16
3.2.2	Minimalizační zpracování půdy	18
3.2.3	Půdoochranné zpracování půdy.....	20
3.2.4	Přímé setí (setí do nezpracované půdy).....	21
3.3	Volba technologie zpracování půdy	22
3.3.1	Zpracování zhutněných půd.....	23
3.3.2	Zpracování erozně ohrožených půd.....	23
3.4	Volba nářadí na zpracování půdy	23
3.5	Stroje na zpracování půdy	24
3.5.1	Pluhy radličné	25
3.5.2	Stroje s poháněnými rotačními pracovními nástroji.....	27
3.5.3	Stroje s nepoháněnými talířovými pracovními nástroji.....	28
3.5.4	Smyky	29
3.5.5	Brány.....	30

3.5.6	Kypřiče	32
3.5.7	Válce	32
3.5.8	Kombinace strojů	32
4	Metody měření tahové síly	34
4.1	Historie měření tahové síly	34
4.2	Postup měření tahové zkoušky	35
4.3	Tahová charakteristika	36
4.4	Druhy měření tahové zkoušky	36
4.5	Zjišťované veličiny při tahové zkoušce	37
5	Cíl práce	39
6	Metodika praktické části	40
6.1	Popis traktoru	45
6.1.1	Tahová účinnost	45
6.2	Zpracování získaných hodnot tahové zkoušky	47
6.2.1	Hlavní měření	47
6.2.2	Měření penetrometrického odporu	56
7	Ekonomické zhodnocení	62
7.1.1	Výpočet nákladů na provoz mobilní soustavy	62
7.1.2	Stanovení spotřeby paliva	66
8	Závěr	69
9	Seznam použité literatury	71
10	Seznam internetových odkazů	74
11	Seznam obrázků	75
12	Seznam tabulek	76
13	Seznam grafů	77

1 Úvod

Problémem této doby je postupný úbytek půdy pro pěstování potravinářských plodin. Podle mého názoru je toto téma velmi důležité a nemělo by se opomínat. Trend úbytku půdy je proces, který je ovlivňován mnoha faktory. Jedním z nich je neustále se rozvíjející a rostoucí populace obyvatelstva a s tím spojené jevy suburbanizace a desurbanizace. S tímto trendem je spojena i rostoucí infrastruktura, která přispívá ke ztrátám orné půdy.

Dalším významným faktorem je i rozvoj alternativních – ekologických zdrojů energie – bioplynových stanic, pro jejichž provoz je nutné vypěstovat velké množství specifických plodin. Dochází ke stále intenzivnějšímu využívání půdy pomocí nejrůznějších technik a technologií tak, aby bylo dosaženo maximálních výnosů (což ve většině případů není současně šetrné využívání půdy).

Je proto jistě na místě hledat takové prostředky, které budou efektivní, ale zároveň šetrné pro půdu a životní prostředí. Jedná se především o technologie zpracování půdy. Právě technologie zpracování půdy, zejména typ použité technologie zpracování, vede k efektivnímu hospodaření na orné půdě.

Výběr určitého druhu technologie zpracování je ovlivněn řadou faktorů, mezi které můžeme zařadit polohu obhospodařovaného stanoviště, klimatické podmínky v dané lokalitě, ekonomickou situaci podniku a techniku, kterou má daný podnik k dispozici.

Lze konstatovat, že k nejvíce využívané a preferované technice patří traktory. Na jejich výrobu jsou kladeny silné požadavky a současně i nemalé finanční prostředky. Neustále se rozvíjející trh se zemědělskou technikou stále inovuje a maximalizuje energetické možnosti využití traktoru (např. podvozek, motor, převodovka).

Pokud se zaměříme na zemědělský podnik, který na orné půdě hospodaří, tak nákup kypřiče je pro něj značnou investicí, proto by měl být jeho výběr předem pečlivě zvážen. Při tomto výběru je nutné individuálně zhodnotit několik aspektů (např. výkonnost stoje, posouzení uplatnění tahové síly, zhodnocení ekonomické náročnosti stroje).

Ve své práci jsem se v první kapitole zaměřil na půdu z pohledu její zpracovatelnosti. Zabýval jsem se zpracováním půdy, a to především dnešními metodami a technologiemi zpracování. Dále jsem se zabýval také tahovou silou traktoru. Nedílnou součástí mé diplomové práce je i výzkum, kterému je věnována samostatná kapitola. V tomto výzkumu jsem vyhodnocoval jednotlivá měření z polních zkoušek.

2 Půda a charakteristika

Půda je nejsvrchnější porézní vrstva pevné zemské kůry. Tvoří ji směs nepevných minerálních částic různých velikostí, živé i neživé organismy, vzduch a voda. Půda z pohledu zemědělství je zejména stanovištěm pěstovaných rostlin, slouží k výrobě potravin, krmiv pro hospodářská zvířata, ale i surovin pro využití mimo potravinářský průmysl. Při zpracování a hospodaření na půdě by se mělo dbát obzvláště na uchování úrodnosti půdy a na její ekologickou funkci. (Kumhála, 2007)

2.1 Půdní charakteristika z pohledu zpracování půdy

2.1.1 Půdní typ

Půdní typy dělíme podle zastoupení a uspořádání půdních horizontů, jejich posloupností a případě dalšími diagnostickými znaky. (Jandák et al., 2001)

Z níže uvedených půdních typů, které v ČR nalezneme, můžeme ihned některé z nich vyloučit z pohledu zpracovatelnosti. Tyto typy se nevyplatí zpracovávat z důvodu nízké výnosnosti, a proto jsou nejčastěji využívány jako pastviny. Mezi ně se řadí Gleje a podle podmínek i fluvizemě z důvodu vysoké hladiny podzemní vody. Dále pak Pseudogleje, které potřebují hlubší kypření a častým hnojením a vápněním, což je ekonomicky a časově velmi náročné. A v neposlední řadě podzoly, regozemě, rendziny, které jsou využívány pouze jako půdy lesní.

- **Kambizemě**

Kambizemě, dříve označovány jako hnědé půdy, se nacházejí v oblasti pahorkatin i hornatin. Jejich úrodnost se zpravidla snižuje s rostoucí nadmořskou výškou, ve svažitém terénu jsou ohroženy erozí. Tento půdní typ je nejrozšířenějším typem na území ČR a z důvodu značné zrnitosti je zapotřebí volit odpovídající způsob zpracování k daným podmínkám. (Hůla et al, 2008)

- **Hnědozemě**

Hnědozemě se nacházejí v nižším stupni pahorkatin v rovinatém až mírně zvlněném reliéfu. Hnědozemě podléhá illimerizaci, při které je svrchní část půdního profilu ochuzována o jílnaté částice, které jsou prosakovány vodou do hlubšího půdního horizontu. Hnědozemě patří mezi hodnotné zemědělsky obhospodařované půdy, které jsou méně náchylné k vysychání, a proto jsou využívány jako orné půdy. Nevýhodou je však jejich náchylnost ke zhutnění a potřeba vápenitého a organického hnojení. (Smolová, 2011)

- **Černozemě**

Černozemě se nacházejí v nížinách v sušších a teplejších oblastech do nadmořské výšky 300 m. Patří k nejúrodnějším půdám v ČR s vyšším procentuálním zastoupením humusu a jsou využívány jako půdy orné. Černozemě však pro svoji úrodnost potřebuje dostatek dešťových srážek. (Hůla et al, 2008)

- **Pseudogleje**

Tento typ půdy se nachází v rovinatých polohách reliéfu v oblastech pohybujících se v nadmořské výšce 400 až 800 m. Pseudogleje jsou považovány za půdy málo úrodné a vyžadují jak pravidelné vápnění a hnojení, tak i nezbytnou povrchovou i hloubkovou úpravu kypřením. (Hůla et al, 2008)

- **Fluvizemě**

Fluvizemě, dříve označovány jako půdy nivní, se nacházejí v nivách vodotečí. Vzhledem ke značné rozmanitosti jejich vlastností jsou mezi nimi i velké rozdíly v úrodnosti. Díky regulaci říčních toků vznikly příznivé podmínky pro využití těchto půd jako půd orných. Fluvizemě jsou dnes z části pokryty lesy nebo travnatými porosty. (Hůla et al, 2008)

- **Luvizemě**

Luvizemě vznikly v rovinatém nebo mírně zvlněném reliéfu v nadmořské výšce mezi 300 až 600 m. Jsou méně úrodné než hnědozemě a vyžadují základní nebo i hloubkové kypření podle míry zhutnění. (Hůla et al, 2008)

- **Rendziny**

Rendziny jsou typické lesní půdy. Tyto půdy jsou v zemědělství využívány pouze pro travní porosty nebo v ojedinělých případech pro vinice. (Hůla et al, 2008)

- **Gleje**

Gleje, nazývané též glejové půdy, se vyskytují především na velmi podmáčených místech s méně kolísající hladinou podzemní vody. Tento typ půdy slouží k zadržování vody v krajině. Díky trvale vysoké půdní vlhkosti jsou tyto půdy těžko přístupné pro zemědělskou mechanizaci, humus v glejových půdách je nízké kvality. Pro zemědělskou produkci nejsou vhodné. (Skládanka et al, 2009)

- **Černice**

Černice se nacházejí v Polabí a na jižní Moravě v sušších a teplejších oblastech do výšky 300 m. n. m, kde se vyvinuly pod původními porosty olšin a z vlhkých luk. Černice mají vyšší úrodnost než černoze a jsou využívány hlavně jako půdy orné. (Smolová, 2011)

- **Regozemě**

Regozemě se vyskytují v malých plochách po celém území ČR nejčastěji v erozních oblastech. Nejméně úrodné půdy z důvodu vysokého sklonu k erozím. Tyto půdy jsou půdy lesní. (Hůla et al, 2008)

- **Litozemě**

Litozemě nalezneme na plošinách hor. Tento typ je pro zemědělství nepoužitelný z důvodu přístupu zemědělské techniky a půdní nevyzrálosti. (Hůla et al, 2008)

- **Podzoly**

Podzoly se vytvářejí ze zvětralin ve vlhkém a chladném klimatu. Nalezneme je ve vyšších nadmořských výškách, kde roční úhrn srážek přesahuje 800 mm. Tento půdní typ vznikl hlavně pod jehličnatými, zejména smrkovými lesy. Podzolové půdy jsou půdy s velmi nízkou úrodností, proto se využívají jako horské louky a pastviny. (Smolová, 2011; Hůla et al, 2008)

2.1.2 Půdní druhy

Půdní druhy jsou definovány zrnitostním složením půdy, které ovlivňuje fyzikální a technologickou stránku půdy, především přilnavost, soudržnost a konzistenční vlastnosti půdy. Tyto vlastnosti pak působí na zpracovatelnost půdy, jejich únosnost, orební odpor a další parametry. Ideální druh půdy by měl mít přiměřené zastoupení všech zrnitostních frakcí, poměr jemných a hrubších částí by měl být v poměru 1:1 až 1:2. Tento poměr odpovídá středně těžkým, hlinitým půdám. Půdy s velkým obsahem písku (prachu) nebo jílu se označují jako půdy extrémní a působí značné problémy při zpracování a pěstování rostlin. (Hůla et al, 2008)

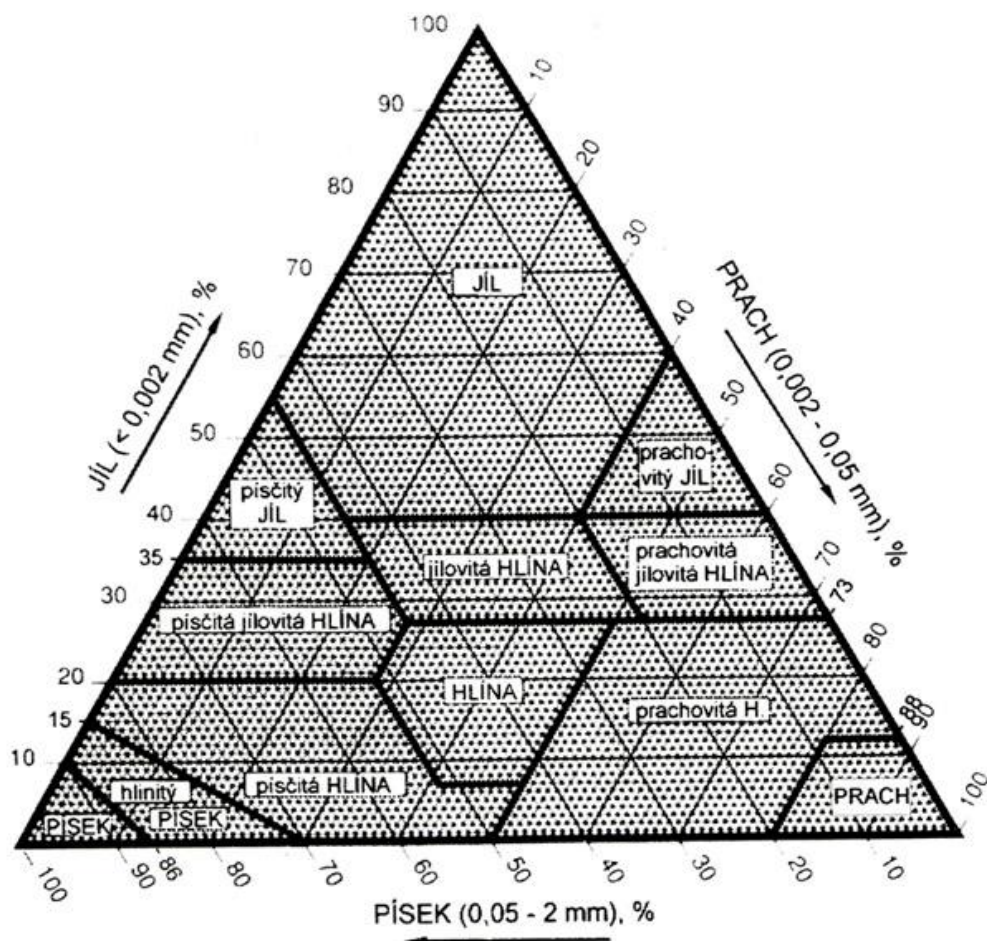
Dle velikosti půdních částic se půda dělí na velikostní kategorie (trojúhelníkový diagram zrnitostních tříd zobrazen na Obrázku 1). Podle procentuálního obsahu částic zastoupených v půdě dělíme půdy na osm základních druhů. (Hůla et al, 2008)

- **Písek** (0 až 10 % jílovitých částic) obsahuje poměrně vysoké procento hrubých písčitých zrn s malou soudržností a díky tomu se velmi snadno zpracovává.
- **Půda hlinitopísčitá** (10 až 20 % j. č.) obsahuje převážně hrubá písčitá zrna s velmi nízkým podílem prachových částic. Půda je sypká, dobře propustná, má malou soudržnost, snadno se zpracovává.
- **Půda písčitohlinitá** (20 až 30 % j. č.) obsahuje vyšší procento písčitých částic oproti nižšímu zastoupení jílu a prachu. Půda písčitohlinitá má vyšší propustnost pro vzduch i vodu, ale hrozí zde nebezpečí poškození vodní erozí. Tyto půdy jsou dobře zpracovatelné zemědělskou technikou.
- **Půda hlinitá** (30 až 45 % j. č.) obsahuje zanedbatelné množství písku a díky vysokému obsahu prachových částic nedochází k uléhavosti a vaznosti. Půda je dobře propustná pro vodu a díky tomu zajišťuje stav vlhkosti po dlouhou dobu.
- **Půda písčitojílнатá** (30 až 45 % j. č.) obsahuje jak velké procento jílnatých částic tak i částic písčitých, ale naopak nízké procento částic prachových což způsobuje horší technologické vlastnosti.
- **Půda jílovitohlinitá** (45 až 60% j. č.) je závislá na obsahu vody. Při vyšším obsahu se půda maže a naopak při obsahu nižším tvrdne. Jedná se

o půdu uléhavou, tuhou a dobře zpracovatelnou pouze při optimálním stupni vlhkosti.

- **Půda jílová** (60 až 75 % j. č.) je těžko zpracovatelná, těžko se kypří. Za vlhka se maže a za sucha vznikají těžko rozrušitelné hroudy. Díky vysoké kohezi půdních částic nepodléhá jílová půda tak snadno vodní erozi.
- **Jíl** (nad 75 % j. č.) se velmi těžko kypří. Jíl je půda, která je za vlhka velmi mazlavá a za sucha naopak velmi tvrdá a ve velkých plochách tvoří trhliny. Půda špatně propouští vodu i vzduch a je biologicky málo aktivní.

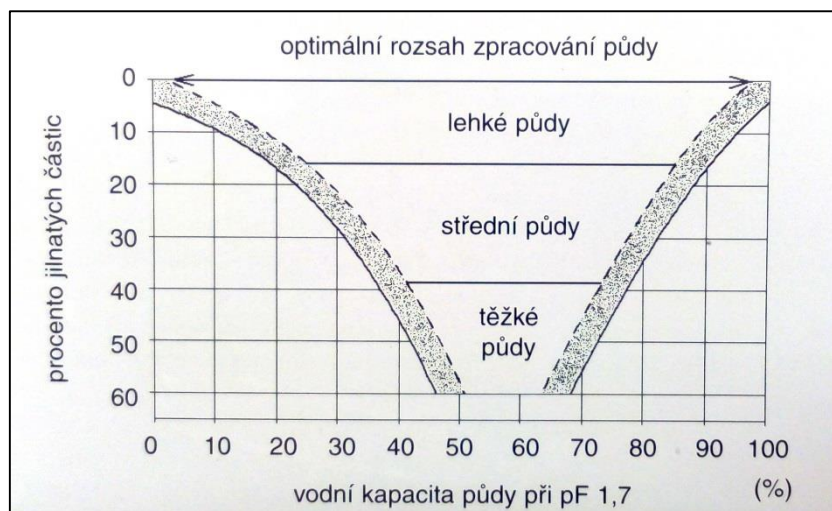
Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram zrnitostních tříd.



Zdroj: http://ucebnice.remediace.cz/images/priloha_02.jpg

Zpracovatelnost půdy závisí na obsahu jílnatých částic v půdě a na obsahu vody v půdě. Čím vyšší je obsah jílnatých částic, tím vyšší je závislost její zpracovatelnosti. Na Obrázku 2 je vidět optimální rozsah zpracování půdy v závislosti jílnatých částic na vodní kapacitě půdy. (Šabatka, 2014)

Obrázek 2: Zpracovatelnost půdy.



(Šimon, Lhotský et al, 1989)

2.1.3 Struktura půdy

Způsob, jakým je půda zpracována nebo hnojena významně ovlivňuje půdní strukturu. Půdní strukturou označujeme vlastnost charakterizující schopnost půdních částic spojovat se do větších strukturních celků označovaných agregáty. Podle velikosti je označujeme mikroagregáty (velikost menší než 0,25 mm) a makroagregáty o velikosti větší než 0,25 mm. Půdní struktura je přímo závislá na obsahu mikroagregátů v půdě. Mikroagregáty vznikají působením fyzikálních, chemických a biochemických vlivů. Důležitým prvkem při tvorbě mikroagregátů jsou organické látky. K významnému stmelení dochází při dehydrataci a kondenzaci huminových kyselin. Působení těchto látek (humusových látek) není trvalé a po čase tyto látky vyprchají. Z tohoto důvodu je zapotřebí zásobit půdu organickými látkami (hnojivy).

Makroagregáty jsou tvořeny slučováním mikroagregátů do větších celků nebo jejich růstem. Nejčastější příčinou vzniku jsou objemové změny půdy způsobené např. vysycháním, působením mrazu atd.

Dalším rozhodující vliv na strukturu půdy má vlhkost. Vlhkost nám do značné míry ovlivňuje zpracování půdy. Při zpracování nebo při přejezdech příliš vlhké půdy se poškozuje půdní struktura. Obdobně se poškozují půdní agregáty při kypření suchých půd např. po dlouhém suchém počasí je vidět mechanizace na polích v oblacích prachu a díky tomu při nízké vlhkosti dochází k deagregaci půdy. (Čermák 2012; Hůla et al, 2008)

2.1.4 Pórovitost půdy

Pórovitost půdy vyjadřuje prostoupení půdní hmoty sítí trhlin a dutin, které jsou podmíněny velikostí a utužením půdních částic. Půdní póry umožňují pronikání vody a vzduchu do půdy. Dále pak prorůstání kořenů rostlin, u kterých díky pórovitosti probíhají látkové přeměny a výměnné reakce mezi mikroorganismy a kořeny rostlin. Makropóry a kapilární póry v půdě rozhodují o vsakování a retenční kapacitě půdy (schopnosti zadržet vodu) a o schopnosti půdy zásobovat vodou porost v průběhu vegetace. Pórovitost se udává v procentech a optimální hodnota pohybuje se okolo 45 až 50 %. (Juráň, 2010; Pokorný et al, 2007; Hůla et al, 2008)

2.1.5 Objemová hmotnost půdy

Objemová hmotnost půdy indikuje kyprost nebo ulehlost půdy a složí k výpočtu pórovitosti. Objemová hmotnost půdy je značně závislá na půdním druhu. V Tabulce 1 jsou uvedeny limitní hodnoty fyzikálních vlastností zhutněných půd. Po překročení uvedených hodnot může dojít k negativnímu vlivu na rostliny. Objemová hmotnost se stanoví ze vzorků odebraných do Kopeckého fyzikálních válečků. Výsledky dokazují, že redukováno zpracování půdy zvyšuje objemovou hmotnost (především zakládání porostů do nezpracované půdy). Snížení objemové hmotnosti půdy lze dosáhnout zvyšováním obsahu organických látek v půdě. (Pokorný et al, 2007; Hůla et al, 2008)

Tabulka 1: Limitní hodnoty fyzikálních vlastností zhutnění půd. (Hůla et al, 2008, upraveno)

Parametr	Druh půdy					
	jíl	jílovito-hlinitá	hlinitá	písčito-hlinitá	hlinito-písčitá	písčitá
Panetrometrický odpor [MPa]	2,8 – 3,2	3,2 – 3,7	3,7 – 4,2	4,5 – 5,5	5,5	6,0
Při vlhkosti [%]	28 – 24	24 – 20	18 – 16	13 – 15	12	10
Objemová hmotnost red. [g.cm-3]	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost celková [%]	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

2.1.6 Půdní zhutnění

Pedokompakce (neboli zhutnění půdy) způsobuje na polích v ČR (ohroženo asi 45 % zemědělských půd) zhoršení produkční schopnosti a omezuje plné využití genetického potenciálu výkonných odrůd plodin. Zhutnění půdy je důsledkem nevhodné intenzifikace zemědělské výroby v několika předchozích letech včetně aplikace neúměrných dávek nebo nesprávných minerálních hnojiv. Dále pak nevhodné použití těžké mechanizace, především velké množství přejezdů po stanovišti, použití nepřiměřené hmotnosti zemědělské techniky. Další příčinou je nevhodné zpracování půdy a nedostačující organické hnojení. (Hůla et al, 2008; Wolkowski, 2008)

Utžení půdy může s sebou nést značné následky. Na značně utužené půdě klesá infiltrace, tj. schopnost půdy absorbovat dešťové srážky (Obrázek 3). V utužených půdách je méně vody, živin i vzduchu z důvodu sníženého objemu pórů v půdě. Nedostatek vzduchu v půdě způsobuje sníženou biologickou aktivitu a to ovlivňuje menší uvolňování živin pro rostliny. Utužená půda má vliv i na ekonomickou stránku z pohledu snížených výnosů a při obdělávání i zvýšené náklady na pohonné hmoty. (Bačák, 2011; Wolkowski, 2008; Dejong-Hughes et al, 2001)

Obrázek 3: Omezení vsakování vody do půdy.



Zdroj: <http://www.zea.cz/images/clanky/utuzeni-pudy-kapacita.jpg>

K omezení půdního utužení na stanovištích je namístě udělat následná opatření. Prvním a základním opatřením proti pedokompakci je dodržování osevních postupů a dostatečné hnojením organickými hnojivy. Předpokladem pro zvyšování obsahu humusu v půdě je tvoření tzv. podsevů, meziplodin a pícnin na orné půdě. Mělké obracení a hluboké kypření by mělo být cílem při zpracování půdy. Dále by půda měla být zpracovávána za vhodných vlhkostních podmínek. Dalším opatřením je snížení tlaku zemědělské techniky na horní vrstvu půdy pomocí dvojitého kol a flotačních pneumatik u těžkých traktorů, příp. pásových podvozků. Tlak vyvíjený na půdu by měl být co nejmenší a nejkratší. Snížení počtu přejezdů po stanovišti a používání kolejových řádků při pracovních operacích na pozemku má značný vliv na snížení utužení půdy. (Šrapatka, 2008; Dejong-Hughes et al, 2001)

3 Zpracování půdy

Zpracování půdy má nezanedbatelný význam pro další pěstební technologie polních plodin. Systém zpracování půdy a půdních porostů je agrotechnický zásah, který má za cíl ovlivnit (zvýšit) úroveň následné produkce plodiny, zlepšit půdní prostředí, snížit větrnou i vodní erozi a omezit mnoho dalších rizik, které zpracování půdy ovlivňuje. (Hůla, 2001)

Za cíle zpracování půdy můžeme považovat:

- nakypření půdy pomocí růstu a pronikání kořenů rostliny do hloubky půdního profilu,
- zlepšení pronikání kyslíku a dusíku do půdy,
- mineralizaci živin, potlačení choroboplodných zárodků,
- rychlost vsakování vody do půdy,
- zničení nebo omezení plevelů, chorob a škůdců,
- zapravení rostlinných zbytků a hnojiv.

Při zpracování půdy jsou rozhodující dva půdní aspekty. Jedním z nich je půdní vlhkost. Ta musí být taková, aby se při zpracování netvořily hroudy. To znamená, že půda nesmí být příliš vlhká a naopak ani příliš suchá. (Při zpracování půdy se musí půda drobit.) Správná vlhkost půdy závisí na obsahu jílovitých částic (Tabulka 2). (Rozsypal, 2011)

Tabulka 2: Stupeň pevnosti suché ornice v závislosti na půdním druhu. (Rozsypal, 2011, upraveno)

Typy půdy	lehké		střední		těžké	velmi těžké	
Půdní druh	písek	hlinito-písčítá	písčito-hlinitá	hlinitá	jilovito-hlinité	jílovité	jíl
Jílnaté částice [%]	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 45	45 – 60	60 – 75	nad 75
Pevnost ornice [kPa]	100		200		450	620	

Zpracování půdy z pohledu vlhkosti je dáno zkušeností zemědělce. Při vlhkosti, která je vhodná pro zpracování, se půda při stisknutí v prstech drobí. (Neslepuje se, ani nezůstává tvrdá hrouda.) Půda, která se při této zkoušce slepí, nebo jí nemůžeme zmáčknout, není hodná pro zpracování.

Druhým aspektem pro správně zpracovanou půdu je specifický tlak přenesený na půdu koly mechanizace. Je omezen na hodnotu $0,8 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ a osovým zatížením 4 tuny u jednoduché a 6 tun u zdvojené nápravy. Tlak kol na zeminu lze regulovat několika možnými způsoby:

- nepoužívat velmi těžkou tažnou mechanizaci (čím větší je tažná síla, tím větší je tlak na půdu),
- používat traktory s pohonem všech kol,
- všechno připojené nářadí by mělo mít stejnou stopu jako traktor,
- používat kola o větším průměru a šířce pneumatik,
- využívat regulaci huštění pneumatik,
- po založení porostu používat lehčí mechanizaci. (Rozsypal, 2011)

3.1 Historie a vývoj zpracování půdy

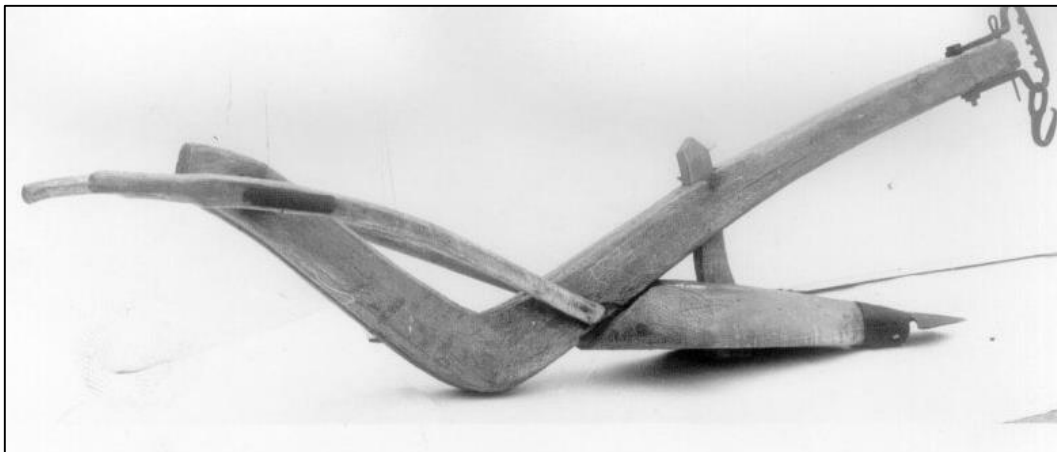
Vývoj zpracování půdy souvisí s vývojem zemědělství a celkově s rozvojem společnosti. Počátky zemědělství začínají už v 10. století před naším letopočtem, kdy se člověk začal živit nejenom sběrem ale i primitivním pěstováním obilí zejména pšenice jednozrnky (rozhazování semen a jejich následné zašlapování). (Hůla, 2008)

Na počátku 4. století před naším letopočtem vznikl tzv. náplavový systém především v úrodných nížinách v Mezopotámii. Zde se pěstovala nejenom pšenice ale i ječmen, luštěniny (čočka, hrách, bob) a len. Proto zdokonalení zemědělského systému bylo nutností. Půdu v náplavách tehdy rozrývali hlouběji dřevěným nářadím (motyky, rýče), následně rádlý s kamennými a později bronzovými hroty taženými zvířaty. (Mechanizace, 2013; Lewis, 2002)

Historickým centrem evropského zemědělství byl Balkánský poloostrov a Podunají, odkud se zemědělství rozšířilo na naše území. Rozvinulo se na úrodných sprašových půdách s příchodem zemědělců z oblasti Černého moře. Ke zpracování půdy se používala dřevěná rádla (ruchadla) okutá železy (znázorněno na Obrázku 4). Rádly rozrytá část půdy (skýva) byla rozkopána motykami a urovnána dřevěnými branami s železnými hřeby. Tento způsob obdělávání půdy se až na několik zdokonalení udržel v evropských zemích až do 18. století. Postupnou úpravou rádel se v Evropě (především

jižní) dospělo k jednoduchým pluhům, které půdu nejen rozrývaly, ale zčásti i otáčely. (Hůla et al, 2008)

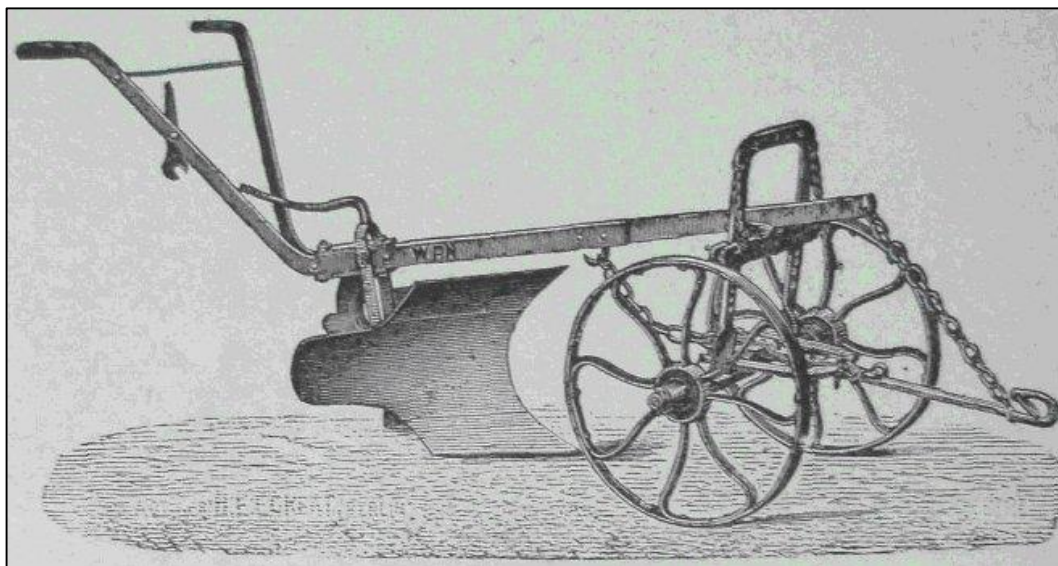
Obrázek 4: Dřevěné rádlo.



Zdroj: http://odkrywca.pl/forum_pics/picsforum23/radlo.jpg

V 18. až 19. století se nářadí na zpracování zemědělské půdy zaměřilo na zdokonalení funkce pluhů, především na obrácení skýv, na vývoj kultivátorů (kypřičů), podrýváků a bran. Cílem bylo zvýšení produkce a kvality úpravy půdy. Výsledkem byl vynález orebního tělesa (ruchadla, Obrázek 5) bratřenci Veverkovými. Ruchadlo mělo novou zesílenou slupici, upravenou délku plazu a na místo radlice s dřevěnou odhrnováčkou mělo kovovou desku v dolní části válcovitě vydutou. Díky postavení radlice šikmo ke směru jízdy umožnilo obrácení půdy jen na jednu stranu. Tato ruchadlová radlice se stala mezníkem ve vývoji pluhů nejen u nás ale i ve světě (Podle ní se vyráběla ruchadla v Německu, Polsku, ale i v USA.). (Hůla et al, 2008)

Obrázek 5: Ruchadlo bratranců Veverkových.



Zdroj: <https://itradenews.cz/upload/obrazky/legendy-ruchadlo.jpg>

Dvacáté století se stalo obdobím výrazné racionalizace ve zpracování půdy (spojování více nářadí za sebe či vedle sebe). Ve vyspělých částech Evropy je pro zemědělství realizován vývoj nářadí, strojů na zpracování půdy, ale i nové technologie zpracování půdy a orby. V první polovině dvacátého století převládá potažní obdělávání půdy (nářadí taženo koňským spřežením), ve druhé polovině jsou postupně zvířecí potahy nahrazeny traktory. Nárůst tažné síly traktorů vyústil ve vývoj a výrobu víceradličných orebních soustav a agregací různých strojů. Postupně vznikly kombinační soustavy na zpracování a přípravu půdy s minimálním počtem přejezdů. (Hůla et al, 2008)

3.2 Způsoby zpracování půdy

V dnešní době lze přijmout rozdělení způsobů zpracování půdy podle klasifikace Americké půdoznalecké společnosti (Soil Science Society of America) následovně (Váňová et al, 2012):

- konvenční (tradiční) zpracování půdy,
- minimalizační zpracování půdy,
- půdoochranné zpracování půdy,
- přímé setí (setí do nezpracované půdy).

3.2.1 Konvenční (tradiční) zpracování půdy

Konvenční zpracování půdy je založeno na používání klasického nářadí (dnes s moderními prvky), které pracují pasivně. Konvenční, neboli tradiční zpracování, systémy jsou založeny na orbě – obracení půdy. Plužní těleso nejenže půdu obrací, ale i kypří, mísí a drobí. (Škoda, 2005)

U konvenčních postupů zpracování půdy je využíváno časového odstavu mezi operacemi zpracování půdy (především operace základní a předset'ové) k potlačení plevelů a sléhávání půdy v časovém rozmezí mezi orbou a setím. Do konvenčního zpracování půdy se zahrnují postupy s oddělenými pracovními operacemi (podmítka, válení, smykování, vláčení, kypření, orba). Konvenční zpracování orbou je v podmínkách ČR dlouhodobě (každoročně) používaným a ověřeným technologickým postupem. Pro orbu je charakteristické zapravení posklizňových zbytků, předplodin a meziplodin do půdy. Orbou se zapravují do půdy i vzešlé plevele a pozůstatky semen obilnin. Dále se orba používá pro „zaorání“ statkových a průmyslových hnojiv do půdy. Následné rozrušování hrud po orbě při předset'ové přípravě půdy je velmi energeticky náročné. To je jedním z hlavních důvodů, proč se v dnešních technologických postupech rozšiřují postupy, které nahrazují orbu mělkým kypřením. (Hůla, Mayer, 1999).

Konvenční zpracování půdy nám přináší i značnou část nevýhod. Na kamenitých a štěrkovitých pozemcích se při orbě dostává do povrchových vrstev podstatná část kamenů. Především na půdách těžkých, kde kvůli orbě dochází k výskytu těžko zpracovatelných hrud a ke ztrátám půdní vláhy. K problémům s erozí dochází po orbě ve svažitých terénech. Nadměrné kypření a časté obracení půdních vrstev v ornici má nepříznivé dopady na rozvoj půdních mikroorganismů, populace dešť'ovek a dalších drobných živočichů. (Hůla et al, 2008)

Velký počet pracovních operací v konvenčním zpracování půdy přispívá k velké časové náročnosti. Po plodinách s delší vegetační dobou často nelze včas a kvalitně založit porosty následujících plodin, a pokud ano, tak jen na úkor nedodržení agrotechnických postupů a lhůt. (Hůla et al, 2008)

Podmítka

Optimální hospodaření s půdní vláhou, redukce zaplevelení půdy a omezení rostlinných chorob a škůdců, to všechno přináší podmítka. Z hlediska zdravotního stavu podmítka pomáhá aerobním mikroorganismům a zvyšuje antifytopatogenní potenciál půdy. Napomáhá k již zmíněnému zapravení statkových a průmyslových hnojiv a k úpravě povrchu půdy. (Javorek, 2008)

Podmítku můžeme klasifikovat jako podmítku mělkou s hloubkou do 80 mm, středně hlubokou v rozsahu 80 až 120 mm a podmítku hlubokou v rozmezí 120 až 150 mm. Další podstatnou roli hraje rychlost podmínky. Podmítka by měla být provedena do jednoho dne po sklizení pozemku. (Javorek, 2008)

Pro podmítku je důležité nářadí, které se k podmítání používá. Nářadí určené k podmítce je možné rozdělit na podmítače radličkové, diskové, kombinované a speciální. Na Obrázku 6 je zobrazen kombinovaný podmítací stroj. V dnešní době s neustále se zvyšující plošnou výkonností se dostaly do popředí podmítače diskové a radličkové. Diskové podmítače se hojně využívají kvůli své vysoké denní výkonnosti. Vysokou výkonnost lze dosáhnout i u radliček a to díky jejich konstrukcím rámu, při ní se dbá na snižování tahového odporu a průchodnost při výskytu většího množství posklizňových zbytků. Výhody i nevýhody obou typů se výrobci snaží využít kombinací sekcí složených z radliček a disků v jeden pracovní stroj. Výsledkem jsou vyšší pojezdové rychlosti a výkonnost práce.

Obrázek 6: Rychlá podmítka po sklizni (SwifterDisc XE 8000).



Zdroj: <http://www.bednar-machinery.com/upload/news/gallery/big/13956.jpg>

Radličkové podmiítače tvoří nosný rám, který je osazen závěsem a slupicemi pro montáž radliček. Konstrukce radliček je taková, aby docházelo k plošnému zpracování půdy, urovnání povrchu pozemku, promíchání a zapravení posklizňových zbytků. Radličky bývají často doplněny míchacími disky, které napomáhají zpracování půdy. Radličkové podmiítače dělíme na nesené, které jsou konstruovány s pracovním záběrem 2 až 6 m a podmiítače závěsné s pracovním záběrem 4 až 10 m. Závěsné nářadí se skládá z nosného rámu s pracovními orgány, předního a zadního nivelačního válce, kopírovacích kol a utužovacího válce. (Javorek, 2008)

Hojně rozšířené jsou již zmiňované diskové podmiítače a talířové brány. Diskové podmiítače jsou označovány jako individuálně uložené disky o průměru 450 až 500 mm, zatímco talířové brány jsou pracovní disky uložené na společné hřídeli o průměru 550 až 650 mm. Disky jsou konstruovány s hladkým nebo profilovaným obvodem podle toho, k čemu slouží. U neseného nářadí jsou disky uloženy individuálně a pracovní záběr tohoto nářadí se pohybuje okolo 2,5 až 4m šíře. Závěsné nářadí se pohybuje s pracovním záběrem 4,5 až 12,5 m. (Javorek, 2008)

V dnešní době můžeme vidět spíše nářadí kombinované tzv. kompakторы, které se uplatňují při mělkém zpracování půdy a zároveň plní úlohu přípravy předset'ového lůžka. V případě kompaktorů jde o dvě základní skupiny nářadí. V prvním případě se jedná o kombinaci disků a radliček, kde disky narušují povrch půdy a radličky následně urovnávají povrch. V případě druhém se využívá kombinace disků a kypřících slupic. Tato kombinace se používá na těžkých a značně utužených půdách. (Javorek, 2008)

3.2.2 *Minimalizační zpracování půdy*

Minimalizační zpracování je takové, kde půda není zpracována radličným pluhem. Zpracování se provádí kypřiči do střední hloubky, avšak zde není nutností, aby se ornice převracela. Při minimalizačních technologiích dochází ke kypření, drobení a mísení půdy s následným utužením. Příklad stroje na minimalizační způsob zpracování s následným setím a přihnojováním je vidět na Obrázku 7. (Zemánek, 2013)

Obrázek 7: Stroj na minimalizační zpracování půdy (OmegaOO Ferti).



Zdroj: <http://www.strompraha.cz/assets/gallery/211/2.jpg>

Ve třicátých letech minulého století jako první začaly využívat minimalizačních technologií zpracování půdy Spojené státy americké. Následně v šedesátých letech dochází k postupnému přechodu k minimalizační technologii po celém světě. Dnes jsou minimalizační technologie v ČR používány na více než 40 % orné půdy. Zejména při setí obilnin, kukuřice, ozimé řepky, máku a dalších. (Procházková et al, 2011)

Mezi hlavní důvody rozvoje minimalizačních technologií se řadí důvody ekologické, ekonomické a technické. K ekologickým důvodům patří příznivý vliv na strukturní stav půdy, nižší ztráty půdní vody při nižší intenzitě zpracování, omezení vodní a větrné eroze, lepší stav půdní organické hmoty a minimalizace počtu přejezdů na daném pozemku. K důvodům ekonomickým patří především úspora práce a energie. To přináší úsporu ve snížení počtu zaměstnanců v podniku, snížení investic a u řady případů i dosažení vyšší produkce. Nová technická a konstrukční řešení strojů a nářadí umožňují nárůst výkonu a vyšší spolehlivost a trvanlivost pracovních částí strojů. (Procházková et al, 2011)

Minimalizační technologie přinášejí kromě kladných výhod i značná rizika. Do nevýhod patří okyselování půdy v povrchové vrstvě, vyšší koncentrace solí z minerálních hnojiv, pomalejší uvolňování živin, zvýšená toxikace uvolňování fyto-toxických látek z posklizňových zbytků, rozšíření vytrvalých plevelů, vyšší výskyt hrabošů a další nevýhody, které by se při minimalizační technologii neměly opomenout. Dále

je tato technologie zcela nevhodná k redukci hloubky a intenzity zpracování na zamokřených a nadměrně utužených půdách. (Procházková et al, 2011)

V České republice jsou nejvýhodnější podmínky pro uplatnění minimalizačních technologií na středně těžkých půdách s vyšší přirozenou úrodností v sušších a teplejších oblastech. Zpracování půdy minimalizačními technologiemi se rozšiřuje i do vyšších oblastí, kde nalezneme horší půdní i klimatické podmínky. V těchto podmínkách jde zemědělcům zejména o snižování nákladů a o omezení eroze na svažitých pozemcích. (Procházková et al, 2011)

3.2.3 *Půdoochranné zpracování půdy*

Principem půdoochranného zpracování půdy je ponechání zbytků rostlin předplodiny nebo meziplodiny na povrchu pozemku jako mulč. Mulč z rostlinných zbytků se rozkládá na rozhraní půdy a atmosféry. Díky tomu ovlivňuje ochranu půdy, půdního prostředí a výnosy plodin. Při zanechání rostlinných zbytků na povrchu půdy předcházíme půdní erozi. Eroze je snižuje tím víc, čím větší je pokrytí půdy mulčem. Při celkovém pokrytí půdy rostlinnými zbytky je eroze půdy téměř eliminována. (Procházková et al, 2011; Hůla et al, 2008)

Další pozitivní vliv má půdoochranné zpracování půdy na uchování vody v půdě. Zvyšuje retenční a akumulaci schopnosti půdy, infiltraci vody a zmenšuje odtok vody z povrchu půdy, redukuje ztráty vody evapotranspirací (celkový výpar na daném území). Výsledkem tohoto zpracování je vyšší obsah vody v půdě a lepší vláhové zabezpečení pro pěstované plodiny. (Procházková et al, 2011; Hůla et al, 2008)

Mulč, který se vyskytuje na povrchu pozemku, ochraňuje povrch proti slunečnímu záření a díky tomu vyrovnává kolísání půdní teploty. Tato ochrana může vést ke zmírnění teploty půdy v horkých podmínkách a naopak v chladnějších podmínkách zpomalovat rychlé ochlazení půdy. Mulčovací materiál také zvyšuje biologickou aktivitu na vrchní vrstvě půdy. Tato aktivní činnost přispívá ke zlepšení fyzikální a chemických vlastností půdy. (Procházková et al, 2011; Hůla et al, 2008)

Vliv půdoochranného zpracování půdy na výnosy plodin závisí především na vlastnostech pěstované plodiny. Vliv mulče může vést ke zvýšení výnosů v suchých podmínkách, kdy uchovává půdní vlhkost. Tento vliv však může být škodlivý v místech

s vydanými dešťovými srážkami, nízkou teplotou a se slabou drenážní schopností půdy. Proto méně příznivý vliv mulče na vlhkostní poměry půdy je ve srážkově normálních letech. Naopak mulč je užitečný v letech suchých, kdy má příznivý vliv na redukci rizik produktivity a stability. (Procházková et al, 2011; Hůla et al, 2008)

Větší množství posklizňových zbytků plodin na povrchu půdy může s sebou nést i značné nevýhody. Mohou vznikat problémy se založením a zajištěním vhodných podmínek pro růst a vývoj dalších plodin na pozemku. Vyšší koncentrace může být překážkou pro zajištění dostatečné hloubky a rovnoměrnosti uložení semen rostlin do půdy. Další nevýhodou je projevení inhibičních vlivů posklizňových zbytků (především slámy obilnin) na klíčení a vzcházení následné plodiny. Zbytky rostlin snižují kontakt semene následné plodiny s půdou a tím zamezují přístup k vodě z půdního prostředí k semeni. Dále vznikající fytotoxické látky při mikrobiálním rozkladu mohou inhibičně působit na klíčení a na vzcházení rostlin. (Procházková et al, 2011; Hůla et al, 2008)

Mulčování nabízí velký ekonomický a ekologický potenciál, přesto půdoochranné zpracování půdy není vhodné využívat ve všech oblastech za veškerých podmínek. Tyto technologie zpracování jsou nejvíce vhodné do sušších a teplejších podmínek, což jsou nejčastěji tropické a subtropické oblasti, kde převažují příznivé vlivy na půdní prostředí i výnosy pěstovaných rostlin. Tyto technologie lze použít i v oblastech mírného pásu, ale již v menším rozsahu. V mírném pásu je zapotřebí zabezpečit lepší vláhové podmínky pro tuto technologii zpracování, ale i přesto je zde lepší využít technologie minimalizační. (Procházková et al, 2011; Hůla et al, 2008)

3.2.4 *Přímé setí (setí do nezpracované půdy)*

Technologie přímého setí je zjednodušenou variantou zpracování půdy. Semena plodin jsou vysévána pomocí speciálních secích strojů do nezpracované půdy. Stroje pro přímý výsev mají specifickou konstrukci secích orgánů, aby osivo bylo správně umístěno a zapraveno do půdy. (Kolínský, 1994)

Setí do nezpracované půdy přináší řadu výhod i nevýhod. Mezi výhody se řadí omezení vodní i větrné eroze, zlepšení strukturního a vlhkostního stavu půdy, zlepšení stavu půdní organické hmoty, snížení vyplavování živin a především úspora energie a pracovních nákladů. Naopak za nevýhody je považována příliš vysoká koncentrace

solí z průmyslových hnojiv a zbytků pesticidů v povrchové vrstvě půdy. Dále dochází k okyselování půdy, snížení biologické činnosti, které vede k pomalejšímu uvolňování živin. Zásadní nevýhodou je také rozšiřování vytrvalých plevelů a zvýšený výskyt hra-bošů, drátovců a slimáků. (Kostelanský, 2004)

Technologie přímého setí do nezpracované půdy se využívá při setí meziplodin nebo zakládání porostů obilnin. V ČR však tato technologie není příliš častá. Díky technologii přímého setí mohou zemědělské podniky uspořit značné finanční náklady zejména na pohonné hmoty, pracovní sílu a na náklady spojené s nákupem nových dílů pracovních strojů. Přímé setí se doporučuje pro sušší a teplejší oblasti s roční úhrnem srážek maximálně do 600 mm a průměrnou roční teplotou vzduchu nad 8 °C.

V poslední době se tato technologie zpracování půdy začíná využívat jednak v kukuřičné a řepařské výrobní oblasti, ale i v méně příznivých podmínkách bramborářských výrobní oblasti. (Hůla et al, 1999)

3.3 Volba technologie zpracování půdy

V dnešním pojetí zemědělství je preferováno pravidlo obracet půdu co nejméně. Do jaké hloubky by měla být půda obrácena, závisí na hloubce setí či sázení, potřebu zapravení posklizňových zbytků a hnojiv, zaklopení plevelů a dalšího. U zrnin se používá mělké zpracování půdy, naopak u plodin s větší hloubkou prokypření (okopaniny, zelenina) je vhodné použít kypřiče, které zpracovávají půdu po vrstvách v jedné operaci. Základním požadavkem na zpracování půdy je, aby půda byla dostatečně účinně prokypřena na požadovanou hloubku a zároveň nebyla vynášena ze spodních vrstev na povrch, z toho vyplývá, že vhodné je využít minimalizačních či půdoochranných technologií. Proto jsou využívány kypřiče nejrůznějších konstrukcí, rotační pluhy, vibrační nářadí a jejich různé kombinace s dalším nářadím a secími stroji a stoje pro přímé setí do nezpracovaných půd. Při volbě mezi orbou a minimalizační či půdoochrannou technologií rozhodují konkrétní podmínky daného pozemku, tak aby bylo dosaženo optimálního poměru mezi ekonomickými výhodami a kvalitou zpracování půdy. (Rozsypal, 2011)

3.3.1 *Zpracování zhutněných půd*

Jedním z důsledků zhutnění půdy je hromadění srážkové vody na povrchu půdy. Příčinou je snížení propustnosti půdního profilu v důsledku vytvoření zhutnělé vrstvy v půdním profilu (nejčastěji v podbrázdí v hloubce okolo 0,3 až 0,4 m). Závažnost zhutnění se ověří tzv. rýčovou analýzou (tj. vyrytím bloku půdy v přirozeném uložení a vizuálním posouzením). Pokud se nachází v půdním profilu zhutnělá vrstva, je nutné tuto vrstvu mechanicky narušit. K tomu se využívají různé typy podrýváků. Nejvhodnější doba zpracování této zhutnělé půdy je po žních v době, kdy je půda dostatečně proschlá. Pouze samotné mechanické rozrušení půdy dlouhodobě nestačí a je třeba ho podpořit a stabilizovat tzv. biologickou meliorací (tj. pěstováním hluboko-kořenících rostlin). Dále je vhodné spojit zásah s vápněním nebo s organickým hnojením. (Rozsypal, 2011)

3.3.2 *Zpracování erozně ohrožených půd*

Při zpracování erozně ohrožených půd mají přednost půdoochranné technologie, kdy se půda kypří, ale neobrací. Díky tomu značná část posklizňových zbytků zůstává na povrchu jako mulč. V případě pozdě setých jařin (kukuřice, sója, slunečnice apod.) je možné využít technologie setí do mulče z vymrzajících meziplodin (svazenka).

Při zpracování půdy klasickou technologií se zpracovává půda orbou po vrstevnicích s obracením skývy proti svahu. Toto zpracování má účinek proti vodní erozi do intenzity srážek 20 mm/hod. Orbu však není možné dodržet ideálně po vrstevnici a při intenzivních srážkách dochází k protržení brázd v nejnižším místě a následné rýhové erozi. K účinnému omezení eroze v těchto případech je nutné udělat systémová opatření (tj. změny v osevním postupu, výběru a střídání plodin, technologii zpracování půdy, vytvoření zasakovacích pásů TTP, setí do pásů a další). (Rozsypal, 2011)

3.4 **Volba nářadí na zpracování půdy**

V dnešním zemědělství se vyskytuje velké množství různého nářadí na zpracování půdy, avšak žádné nářadí nespĺňuje veškeré požadavky pro ideální účinek na půdu (Tabulka 3). Nejčastěji používaným nářadím je stále i přes některé nevýhody pluh. Na pozemcích, kde rostou vytrvalé plevely, nemá alternativu. Rovněž při výskytu škůdců vázaných na půdu jako například bejlmorka, drátovci a další je vhodná orba pluhem.

Naopak na pozemcích, kde se vytrvalé plevely vyskytují jen ojediněle, lze použít minimalizační a půdoochranné technologie zpracování půdy, zejména setí do nezpracované půdy při zakládání meziplodin do strnišť. Půdoochranné technologie je vhodné využívat v sušších podmínkách naopak orba ve vlhčích. (Rozsypal, 2011)

Tabulka 3: Účinek nářadí na půdu. (Rozsypal, 2011, upraveno)

Nářadí	Kypření drobením	Hloubka	Mísení	Obracení	Hutnění	Rovnění povrchu	Hubení plevelů	
							Semenné	Vytrvalé
Pluh	-	---	-	---		-	---	---
Těžký kypřič	-	-	-	-		-	-	-
Kultivátor	-	-	-	-		-	-	-
Hřebové brány	-	-	-			-	-	-
Vibrační brány	-	-	-	-		-	-	-
Rotační brány	---	-	-		-	-	--	
Kývavé brány	---	-	-			-	---	-
Frézy	---	-	---			-	---	-
Vály					-	-		
Kompaktor					---	-		
Smyk						---	-	
Plečky	-		-				---	-

--- dobrý, -- střední, - nízký účinek

3.5 Stroje na zpracování půdy

Do skupiny strojů na zpracování půdy řadíme stroje pro plošné zpracování, jejichž pracovní nástroj zasahuje celou nebo podstatnou část orničního profilu a stroje pro meziřádkovou kultivaci během vegetace porostu. Stroje na zpracování půdy se dále dělí do tří základních skupin:

- stroje pro základní zpracování půdy,
- stroje pro zpracování půdy před setím a sázením,
- stroje pro meziřádkovou kultivaci.

Z pohledu používané technologie zpracování půdy se rozdělují na:

- pluh,
- smyky,
- brány,
- kypřiče,
- válce.

V půdoochráných technologiích se nepoužívají pluh. Pluh jsou v tomto případě nahrazeny především kypřiči a to zejména radličkovými a talířovými. (Kumhála, 2007)

3.5.1 *Pluh radličné*

Radličné pluh se využívají zejména k orbě. Orba je definována jako mechanické zpracování půdy, při kterém se ornice odkrojí, převrátí a rozdrobí. Orbu dělíme na mělkou, střední, hlubokou a velmi hlubokou. Při mělké orbě je těleso zahloubeno do hloubky 18 cm. Střední hloubka se označuje mezi 18 až 24 cm, hluboká orba se pohybuje mezi 24 až 30 cm. Velmi hluboká orba je jak časově tak ekonomicky velmi náročná a v našich podmínkách se téměř nevyskytuje. Pro mělkou orbu se často využívají speciální podmítací pluh s malými orebními tělesy.

Pracovní nástroje pluhu jsou orební těleso, předradlička, krojidlo a podrývák. Podle počtu orebních těles jsou pluh jedno radličné, dvou a víceradličné. Dále pluh dělíme na záhonové, které mají současně v záběru všechna orební tělesa a pluh oboustranné, které mají v záběru pouze jednu polovinu orebních těles. (Kumhála, 2007)

Orební těleso se skládá z čepele, odhrnovačky, plazy, slupice, a vzpěry. Čepel odřezává skývu v horizontální rovině, je přidělána k odhrnovačce a po otupení se mění. Čepel je rozdělena na ostří a dláto. Odhrnovačka skývu zvedá, dále drobí a obrací. Odhrnovačky mají různé tvary a provedení (válcové, kulturní, pološroubové, šroubové, šroubové pro rychloorbu) podle způsobu a druhu zpracovávaných půd. Plaz, neboli plazová deska, je tvořen deskou, která je orientovaná po směru jízdy. Deska se při orbě opírá o stěnu brázdy a zachybuje tak boční sílu, která je vyvolána překlápěním skývy do vedlejší brázdy. Slupice tvoří držák a spojuje orební těleso s rámem pluhu. Jednotlivé

části orebního tělesa bývají tvořeny několika díly, tak aby při jejich opotřebení nebylo nutno měnit celou část. (Kumhála, 2007)

Krojidlo má za úkol odkrojit skývy ornice od boku záhonu. Předradlička slouží k odkrojení skývy a tuto skývu ukládá na dno vedlejší brázdy. Předradlička je k rámu připojena tak, aby bylo možné její nastavení a měla by být umístěna cca 20 až 30 cm před orebním tělesem. (Kumhála, 2007)

Podrývák slouží k rozrušení, nakypření a provzdušnění podbrázdí. Bývá tvořen jednostrannou nebo šípovou radlicí, která je umístěna za orebním tělesem. (Kumhála, 2007)

Orební odpor

Síla F , která je potřebná k tažení pluhu, je tak velká, jaký je orební odpor. Orební odpor se skládá ze tří částí (Rucins et al, 2007):

$$F = R_1 + R_2 + R_3 \text{ [N]}$$

Odpor R_1 je udáváný jako odpor pluhu vlečného ve vyorané brázdě. V potaz se musejí brát přídatné svíslé a boční síly, a proto se volí poměrně velký součinitel tření než je jeho skutečná hodnota:

$$R_1 = f * G \text{ [N]}$$

- f ... součinitel tření zhruba 0,4
- G ... tíha pluhu [N]

Odpor R_2 je vyvolaný odřezáváním a deformací skývy. Odpor R_2 se vypočte:

$$R_2 = k * a * b * n \text{ [N]}$$

- k ... měrný orební odpor (2 až 15) [N.cm⁻²]
- a ... hloubka orby [cm]
- b ... záběr jednoho orebního tělesa [cm]
- n ... počet orebních těles

Odpor R_3 je odpor potřebný pro překlápění skývy stranou. Tento odpor se vypočítá ze vztahu pro impuls a hybnost:

$$F_3 * t = m * v_1$$

- $F_3 = m * v_1$... pro čas $t = 1$ s
- $m = \rho * a * b * n * v * t$... kde ρ je objemová hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] a v je pojezdová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Jelikož rychlost pohybu skývy v_1 je značně odlišná než pojezdová rychlost, je zapotřebí zaměnit rychlost $v_1 = \varepsilon_1 * v$. Dále můžeme určit součinitel $\varepsilon = \varepsilon_1 * \rho$ (3 až 10 $\text{kN} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$), který je závislý na tvaru odhrnovačky, objemové hmotnosti půdy a pojezdové rychlosti. Výsledný odpor R_3 se stanoví:

$$R_3 = F_3 = \varepsilon * a * b * n * v^2 \text{ [N]}$$

Malá pojezdová rychlost (do 5 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) sníží odpor R_3 asi na 4 až 5 % celkového orebního odporu. Největší složka celkového orebního odporu zastává odpor R_2 , který dosahuje přibližně 80 % z celku.

Celkový odpor radličného pluhu získáme vztahem (Kumhála, 2007):

$$F = f * G + k * a * b * n + \varepsilon * a * b * n * v^2 \text{ [N]}$$

3.5.2 Stroje s poháněnými rotačními pracovními nástroji

Stroje s poháněnými rotačními nástroji se využívají pro kypření, meziřádkovou kultivaci a orbu. Tyto nástroje mají osu otáčení vodorovnou nebo kolmou na směr jízdy, vodorovnou ve směru jízdy nebo svislou. U těchto strojů je důležitý poměr (λ) obvodové rychlosti rotoru v_0 k rychlosti pojezdové v_p , který musí být větší než 1, protože dráha břítu nože musí tvořit cykloidu. Základní parametry strojů s rotačními poháněnými pracovními nástroji jsou uvedeny v tabulce 4. (Kumhála, 2007)

Tabulka 4: Základní parametry strojů s rotačními poháněnými pracovními nástroji. (Kumhála, 2007, upraveno)

Druh Stroje	Obvodová rychlost v_0 [m.s-1]	Pojezdová rychlost v_p [m.s-1]	Průměr frézy D [m]	Počet nožů v rovině kolmé na hřídel	Hloubka a [m]	Způsob práce
Rotační pluh	1,5 – 3	1 – 3	0,7 – 1	3 – 5	do 0,35	Obracení skývy orba
Rotavátor	3 – 6	2 – 4	0,5 – 0,7	4 – 6	do 0,20	Odříznutí skývy a její rozrušení dalšími noži a úderem o kryt
Rotační plečka	6 – 10	4 – 6	0,4 – 0,6	4 – 6	do 0,6	Kypření a ničení plevele

Pro stroje s poháněnými pracovními nástroji je charakteristické, že při zpracování půdy nezapravují posklizňové zbytky do půdy, ale v různé míře je promíchávají s vrchní vrstvou ornice. Část rostlinných zbytků však zůstane na povrchu. Využití kypřičů s příčným hřebovým rotorem k podmítce se v ČR příliš nepoužívá. Nepoužívají se, protože kypřiče mají nízkou plošnou výkonnost, vysoké opotřebení hřebů a jsou energeticky velmi náročné. Výhodné je spojení secího stroje s kypřičem s příčným hřebovým rotorem. Soupravy jsou však značně energeticky náročné. (Mašek, 2016)

3.5.3 Stroje s nepoháněnými talířovými pracovními nástroji

Talířové pracovní nástroje se od sebe rozlišují průměrem talířů a uspořádáním talířů vzhledem k rámu stroje. Díky uspořádání se dělí na pluchy, podmítače a talířové brány. Pluchy mají talíře uloženy ve vlastním ložisku, protože jsou odkloněny od svislé roviny rámu o 5 až 30°. Talířové podmítače mají uspořádané talíře na jedné společné hřídeli a talíře odklápějí skývu na jednu stranu. Talířové brány mají uspořádané talíře ve skupinkách na společných hřídelích. U těchto typů však dochází k odklápění skývy na obě strany.

Talíř pracovního stroje je po obvodě zakalen a nabroušen. Pohyb talíře je po směru jízdy. Talíř při práci prokluzuje a to znamená, že se otáčí pomaleji, než je jeho ujetá dráha. Mezi talířem a skývou vzniká tření, které napomáhá k obracení skývy.

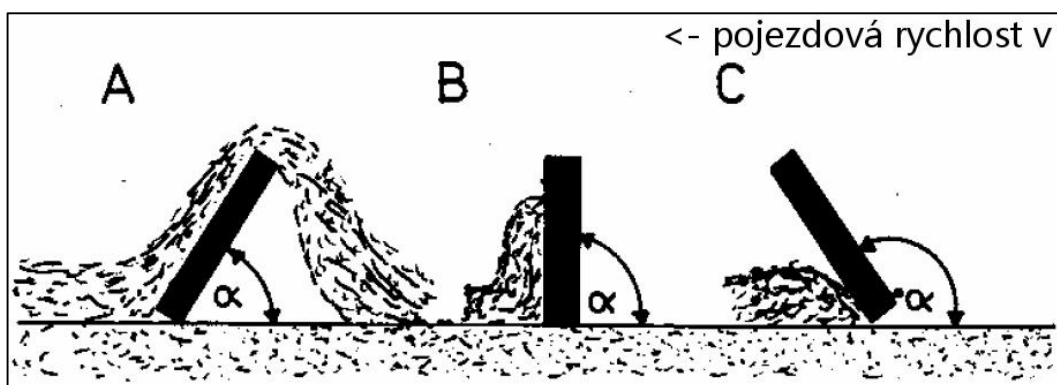
Talířové podmítače a talířové brány jsou v dnešní době velice rozšířené, z důvodu jejich vysoké plošné výkonnosti a využití v systému úsporného zpracování půdy. Talířové pluhy se využívají spíše v lesním hospodářství, kde slouží pro kultivaci mýtin. (Kumhála, 2007)

3.5.4 Smyky

Smyky se používají pro srovnání povrchu. Smyky však současně i půdu kypří, ale to pouze do hloubky 2 až 4 cm. Při smykování se dále drobí hroudy hlíny a ničí se plevel, který je ve stádiu klíčení. Díky urovňání povrchu se snižuje vypařování vody z povrchu půdy.

Jako pracovní nástroj smyky se využívají desky, trámy, atd. Tyto nástroje jsou dnes vyráběné z oceli. Dále práci smyky ovlivňuje především tvar pracovní hrany. Ozužená hrana lépe půdu kypří, naproti tomu hrana rovná lépe pozemek uhlazuje. Deska smyky je nastavitelná ve třech polohách, které jsou zobrazeny na Obrázku 8. Při poloze A, kdy je elevační úhel α ostrý, dochází k seřezávání svrchní částí půdy a půda je nadzvedávána. Díky tomu za deskou smyky zůstává nakypřená půda. Při poloze B, elevačním úhlu 90° , dochází k hrnutí půdy, stlačení půdy, drcení hruda a tím je dosaženo srovnání povrchu pole. Smykování tímto způsobem je potlačeno kypření vrchní vrstvy půdy. Při poloze C, elevačním úhlu $\alpha > 90^\circ$, se povrch pole stlačuje a uhlazuje.

Obrázek 8: Seřízení desky smyky (polohy A, B C).

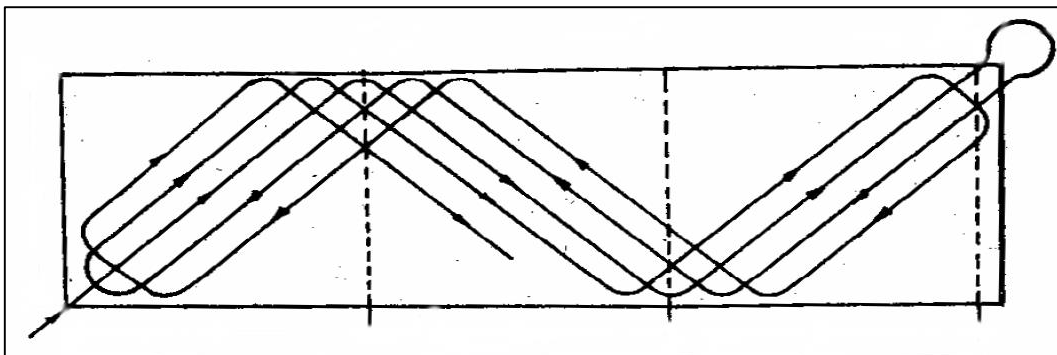


(Kumhála, 2007, úprava vlastní)

Procesem smykování by mělo dojít k zahrnutí děr či rozhrnutí nahromaděné hlíny. Kvalita zpracování však velice závisí na vlhkosti půdy. Při velké vlhkosti vznikají hladké lesklé plochy, naopak při nízké vlhkosti zůstávají hroudy na povrchu a povrch je

tak neurovnaný. Smykování by mělo být pod určitým úhlem ke směru brázdy tzv. na koso. Pracovní rychlost při smykování by měla dosahovat přibližně 12 až 15 km.h⁻¹. Na Obrázku 9 je znázorněn směr jízdy, jak by mělo smykování na pozemku probíhat.

Obrázek 9: Pohyb traktoru při smykování.



(Kumhála, 2007, úprava vlastní)

3.5.5 Brány

Brány jsou skupinou nářadí a strojů, jejichž úkolem je povrchové zpracování půdy (kypření). Používají se pro rovnání povrchu pozemku, drcení hrud, ničení plevelů, vytahování kořenů plevelu, zavlačování osiv a průmyslových hnojiv a úprava povrchu luk a pastvin (rozrývání mechu, rozhrnování krtin, zavlačování travního semene).

Brány se dělí podle spojení pracovního nástroje s rámem a podle druhu pohybu pracovního nástroje:

- brány s pevnými (nepohyblivými) pracovními nástroji (hřeby, radličky, pruty),
- brány s pohyblivými pracovními nástroji nepoháněnými (talíře, hvězdičky),
- brány s pohyblivými pracovními nástroji poháněnými (hřeby, nože).

Brány dále dělíme podle tvaru pracovního nástroje. Brány hřebové s tuhým rámem se skládají dílců, které jsou připojeny k rámu pomocí řetízků. Rám je připojen přímo k traktoru. Bránové dílce jsou ve tvaru podélného písmene S a v jejich průřezích jsou přišroubované hřeby. Brány musí být dostatečně těžké, aby ornice mezi hřeby byla rovnoměrně prokypřená. Podle hmotnosti, která připadá na jeden hřeb, se brány rozdělují na lehké, střední a těžké.

Dalším druhem bran jsou brány radličkové. Radličkové brány jsou odlišné od bran hřbových pouze radličkou místo hřebů. Tento typ bran je vhodný pro zředování porostu.

Brány síťové jsou složeny z dílů, které jsou spojeny kloubově. Každý díl je složen ze třech až čtyřech hřebů naostřených na obou koncích. Hřeby jsou také na obou koncích jinak dlouhé pro volbu kultivace. Tyto brány slouží ke kypření (kultivaci) hrůbků, brambor.

Luční brány jsou konstruovány tak, že mají místo hřebů nože pro přeřezávání zachycených rostlin. Mají také spojeny díly kloubově se třemi až čtyřmi noži. Luční brány slouží k rozhrnutí krtin a rozdrobení či rozhrnutí kousků hnoje.

Brány prutové se dnes používají spíše v kombinaci s dalším strojem. Nejčastěji jsou součástí secích strojů.

Brány hvězdicové jsou zkonstruovány podobně jako brány talířové. Baterie hvězdic jsou uloženy na hřídeli ve dvou nebo více řadách. Brány s hvězdicemi dobře drtí hroudy. Nevýhodou hvězdic je, že se špatně zahlubují. Při vnikání do země hvězdicce půdu utužují a při výstupu jí kypří, ale mezi hvězdicemi zůstává půda nezpracovaná. Proto jsou disky hvězdic umístěny šikmo ke směru jízdy. Hvězdicové brány pracují stejně jako brány talířové, ale dokážou lépe drtit hroudy hlíny.

Kývavé brány jdou zkonstruovány tak, že mají nosníky s hřeby umístěny ve dvou řadách za sebou. Přední řada hřebů mívá větší frekvenci a menší amplitudu pohybu a druhá řada je konstruována naopak. Frekvence se pohybuje okolo 3 až 10 s⁻¹ a amplituda 10 až 50 cm. Hřeby opisují dráhu sinusoidy, která má tvar podle frekvence, amplitudy a pojezdové rychlosti. Kývavé brány půdu kypří, urovnávají a pracují do hloubky až 20 cm.

Při práci s branami se jezdí člunkovým způsobem podél delší strany pozemku nebo šikmo na vytvořené brázdy. Šikmé jízdy jsou prováděny stejným způsobem jako při smykování. Tyto šikmé jízdy jsou výhodné při vláčení před setím pro rozeznání vyrytých rýh od secího stroje.

3.5.6 Kypřiče

Kypřiče se využívají k plošné kultivaci pro předseťovou přípravu. Pracovním nástrojem kypřičů jsou radličky rovnoměrně umístěné na rámu. Radličky jsou připevněné k rámu pomocí slupic. Podle konstrukce můžeme slupice dělit na slupice tuhé, polotuhé, pružné. Kypřiče půdu kypří, provzdušňují a mísí. Dále se používají pro zapravení hnojiv do půdy, pro vytažení povrchových plevelů (pýru). Zpracování půdy probíhá do hloubky až 20 cm a ve vinicích nebo chmelnicích až do 1 m.

Radličky kypřičů mohou být dlátové, oboustranné a šípové. Dlátové kypřiče se vyrábějí v celku se slupicí a používají se pro předseťovou kultivaci a kultivaci meziřádkovou. Oboustranné radličky se připojují na pružnou slupici a používají se pro vytahování drobného kořenového plevelu. Šípové radličky mají dvě křídla rozevřená do šířky přibližně 20 až 30 cm. Díky šípovitému tvaru a úhlu rozevření se radličky používají k meziřádkové kultivaci, kypření a k hloubkovému kypření.

3.5.7 Válce

Válce slouží především k utužení nakypřeného povrchu půdy. Používají se při přípravě předseťového lůžka, pro válení podmínky, po orbě a na jaře při válení luk. Válce obnovují kapilaritu vody a zabraňují vzlínivosti, drobí hroudy a urovnávají pole. Válcování probíhá člunkovým nebo záhonovým způsobem. Válce však nejčastěji bývají součástí kombinovaných strojů.

Válce dělíme na:

- hladké, které slouží k utužení půdy,
- prutové, které drtí hroudy, utužují půdu a zároveň kypří povrch půdy,
- kombinované (Cambridgské), utužují půdu a intenzivně ničí hroudy,
- kotoučové, které se používají pro utužení půdy při setí,
- speciální jsou označovány jako luční vály, půdní pěchy.

3.5.8 Kombinace strojů

Kombinované stroje vznikají připojením více druhů jednotlivých strojů za sebe nebo vedle sebe. Kombinovaný stroj tak vzniká spojením jednotlivých strojů na společ-

ný rám. Pracovní nástroje kombinovaných strojů půdu kypří a následně urovnávají pozemek.

Příklady kombinací na společném rámu.:

- Prvním příkladem je připojení pěstovacího válce k pluhu. Místo pěstovacího válce je možné využít Crosskilského válce nebo hvězdicových bran.
- Dalším příkladem je kombinace kypřičů (např. kypřiče rotační) s válci (nejčastěji prutové). Kombinace je jednoduchá a lehká, díky tomu lze tuto soupravu zapřáhnout i za méně výkonné traktory.
- Nejčastějším příkladem kombinace strojů je stroj pro přípravu půdy, který zároveň vysévá.
 - Souprava obsahuje rotační kypřič, rovníč lištu, secí mechanismus (secí stroj) a ozubený válec, který půdu urovná.
 - Souprava s pevnými plochými šípovitými radlicemi, rotační kypřič, secí stroj a ozubený válec.
 - Souprava, která obsahuje kypřič s pevnými nástroji, dále rotační kypřič, který odhazuje části na rovníč desku (nejčastěji smyk), ozubený válec a poslední secí stroj.
- Další kombinace můžou obsahovat smyky a hřebové brány, kypřiče s pevnými radlicemi a talířové (nebo hvězdicové) brány.

4 Metody měření tahové síly

Traktor je prostředek, který je určen k tahové práci, a proto jsou pro něho důležité tahové vlastnosti. Ucelený přehled o tahových vlastnostech udává tahová charakteristika. Tahové vlastnosti traktoru musí být posuzovány komplexně, nevystačí pouze tahová síla, výkon, spotřeba a podobně. Pro objektivní posouzení je zapotřebí znát vzájemné vztahy těchto činitelů v celém rozsahu. Grafické vyjádření průběhu tahového výkonu, prokluzu, měrné spotřeby paliva a dalších parametrů, které se vztahují k tahové síle, se nazývá tahová charakteristika. (Bauer, 2013)

4.1 Historie měření tahové síly

Paul (1992) prováděl první pokusy stanovení tahové síly traktoru na zkušebním pozemku zemědělského výzkumného institutu v Braunschweigu. Datová měřicí jednotka zaznamenávala signál z tenzometrického kolíku traktoru a rychlost byla měřena radarem. Dále Paul (1992) zaznamenával také prokluz kol. Naměřené výsledné hodnoty byly v souladu se závislostí tahové síly na různých typech půd v pokusném pozemku. Na základě naměřených výsledků, Paul (1992) v závěru řekl, že vlhkost půdy do značné míry ovlivňuje prokluzování kol traktoru.

Pánové Van Bergeijk & Goense (1996) umístili senzory na upravený radličný pluh, na kterém seřídili pracovní šířku a hloubku. Síla působící na pluh ponořený do zeminy byla měřena tenzometrickými čepy, které byly připevněny na spodním táhle tříbodového závěsu a měřícím rámečku, který byl umístěn mezi traktor a radličný pluh. Pozice byla zaznamenávána pomocí přijímačem GPS. Tažná síla při orbě se pohybovala mezi 30 až 50 kN na m². Opakovaným měřením na témže pozemku určili vliv obsahu jílu v půdě na tažnou sílu. Po dvou letech pokusy ukázaly vysokou závislost tažné síly na obsahu jílu v půdě.

Kheiralla et al. (2004) pro pokusy používali tři osmiúhelníkové kroužkové převodníky umístěné na tříbodovém závěsu. Experiment byl proveden na písčité, jílovité, a hlinité půdě, kde byly použity následující zařízení: radličný pluh, diskový pluh, diskové brány a rotační kultivátor. Tento podobný experiment byl proveden i podle Chen et al. (2013). Experimenty byly provedeny při pracovní rychlosti 3,19 km.h⁻¹ na různých

typech půd. Naměřené hodnoty ukázaly, že nejmenší tahová síla byla naměřena na půdě s hrubým pískem (0,292 kN). Následné porovnání půdou hlinito-písčitou (0,430 kN) a nejvyšší hodnoty byly naměřeny v půdách písčitohlinitých (0,585 kN).

Současné znalosti o tahové síle by mohly být užitečným nástrojem v mnoha směrech. Výsledky lze použít v běžné praxi pro porovnání energetické náročnosti technologií obdělávání půdy, pro ověření technických změn a optimalizaci pracovních nástrojů a ověření agronomických opatření. (Kroulík, 2013)

4.2 Postup měření tahové zkoušky

Zkoušky tahových vlastností probíhají dle metodiky OECDCode 1 a 2. Postup tahových zkoušek určují také normy ČSN ISO 789-9 a ČSN30 0415. Zkušební dráhy pro tahové zkoušky kolových (či pásových) traktorů jsou na betonových drahách nebo drahách s živičným povrchem, na strništi po sklizních nebo na půdě, která je připravena k setí. Pohybující se traktor je zatěžován vozidlem (zařízením), které umožňuje nastavení požadované zátěže a síly působící na traktor, která je udržena po celou dobu měření. Měřicí vůz nese snímače a měřicí přístroje, kterými jsou zjišťovány potřebné údaje pro sestavení tahové charakteristiky. Jako brzdící vozidlo při polních zkouškách je používán jiný traktor nejčastěji s nářadím nebo přímo náradí. (Bauer, 2006)

Tahové zkoušky se provádějí při ustálené činnosti motoru. Na výsledek zkoušky má vliv celá řada aspektů. Například jaký je stav zkušebního povrchu, povětrnostní podmínky, stav pneumatik (pásů) a mnoho dalšího. Z toho důvodu se začalo rozvíjet měření v laboratorních podmínkách. A to laboratorní měření výkonu na nápravě traktoru nebo na válcových dynamometrech (dle ČSN ISO 789-7). Tahové vlastnosti jsou zjišťovány při ustálených režimech práce. Měření a následné zpracování naměřených výsledků se provádí především pomocí počítačové techniky. (Bauer, 2013)

Droll (1999) ve svých výpočtech tahové síly odhalil, kde se stávají nejčastější chyby při měření. Jsou to například: půdní drsnost, traktor, měřicí nástroj, rychlostní rozdíly, půdní vlhkost, variabilita pozemku.

4.3 Tahová charakteristika

Tahová charakteristika ukazuje průběh tahového výkonu, prokluzu kol a měrné tahové spotřeby v závislosti na tahové síle. Při měření tahové charakteristiky se získávají hodnoty měřením při zařazení několika převodových stupňů za dodržení určitých (stejných) podmínek.

Křivkou tahových výkonů je potenciální tahový výkon P_p , který je maximálně možným tahovým výkonem, který může traktor vyvinout na každou tahovou sílu při daných podmínkách práce.

Využití tohoto výkonu je dáno typem převodovky. Traktor se stupňovitou převodovkou nevyužívá potenciální tahový výkon v plné míře. U převodovky s konečným počtem převodových stupňů zase dochází ke ztrátám. Naopak u převodovky s plynulou změnou převodových stupňů se tahový výkon pohybuje po křivce potenciálního výkonu a tak traktor může pracovat s největší tahovou účinností. (Rašovská, 2014)

4.4 Druhy měření tahové zkoušky

K získání hodnot z měření tahových zkoušek se volí různé druhy přístrojů a způsoby samotného měření. Způsoby měření můžeme rozdělit na standardní měření a měření tahové zkoušky urychlené. Dále se ještě využívá tzv. výpočtové metody. Standardní měření probíhá v přesných postupech dle metodiky a jednotlivé hodnoty se určují postupně. Urychlená zkouška byla vyvinuta na České zemědělské univerzitě v Praze a zatěžování a zjišťování hodnot bylo prováděno plynule během jedné určité jízdy energetického prostředku (nejčastěji traktoru). Výpočtová metoda zjišťuje všechny parametry na základě jednoho základního měření a zbylé parametry se dopočítají pomocí vzorců. Tato metoda je v praxi užívaná jen zřídka.

Standardní tahovou zkoušku lze provádět na zkušební betonové podložce, ale v rámci přiblížení se určitým podmínka se provádí na poli, kde traktor vykonává požadovaný druh práce. Během zkoušky se měří tahová síla, prokluz, spotřeba paliva a střední hodnota rychlosti. Tento typ standardní zkoušky je jak časově, tak i prostorově náročný, a proto byla na České zemědělské univerzitě v Praze navržena urychlená taho-

vá zkouška, které ušetří zhruba polovinu času a zabere méně prostoru. Urychlené tahové zkoušky se dělí do kategorií:

- Urychlená tahová zkouška 1 – tento typ zkoušky probíhá tak, že traktor je postupně zatěžován od nejnižší zátěže po zátěž největší do doby, kdy hodnota zátěže způsobí 100% prokluz kol.
- Urychlená tahová zkouška 2 – tento typ zkoušky probíhá obdobně jako typ první s tím rozdílem, že zátěž se přidává v určitých intervalech a při každém přidání zátěže se vždy na krátkou dobu ustálí. Druhá metoda má výhodu oproti první, že není potřeba korekcí setrvačnosti traktoru.

Dynamickým způsobem měření lze získat okamžité parametry otáčkové charakteristiky motoru a díky tomu výpočtovou metodu zpřesnit. Dále by tato metoda mohla sloužit k modelování průjezdu traktoru různě zvolenou dráhou. Bylo by možné namodelovat zemědělský pozemek a způsoby použitého zatížení pro dosažení odhadu spotřeby paliva a vyprodukovaných emisí. (Pexa, 2005)

4.5 Zjišťované veličiny při tahové zkoušce

Během měřeného úseku je s určitou vzorkovací frekvencí měřena velikost tahové síly. Pro vyhodnocení zkoušky se tyto hodnoty průměrují podle vztahu (Rašovská, 2014):

$$F_t = \frac{\int_0^{s_0} F_{t0} ds}{s_0} \quad [\text{kN}]$$

- F_{t0} ... okamžitá tahová síla [kN]
- s_0 ... ujetá dráha za dobu zkoušky [m]

Průměrná pojezdová rychlost v_p se stanoví z dráhy ujeté traktorem za dobu zkoušky a času potřebného pro projetí měřeným úsekem:

$$v_p = \frac{s_0}{t} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$$

- t ... čas potřebný na průjezd měřeným úsekem [s]

Velikost tahového výkonu se vypočítá z tahové síly a pojezdové rychlosti:

$$P_t = F_t * v_p \text{ [kW]}$$

Při tahových zkouškách sledujeme i další veličiny a to zejména hodinovou spotřebu paliva:

$$M_{pht} = \frac{V_p * \rho_p}{t} * 3,6 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

- ρ_p ... hustota paliva [kg.l⁻¹]
- V_p ... spotřebovaný objem paliva na měřeném úseku [ml]

Další parametr, který může být sledován, je prokluz. Prokluz se vypočte z pojezdové rychlosti v_p a rychlosti teoretické. Pojezdová rychlost se často získává přes GPS snímač a rychlost teoretická se získává z počtu otáček hnacích kol. Prokluz se získá ze vztahu:

$$\delta = 1 - \frac{v_p}{v_{teor}} \text{ [-]}$$

Další veličina, která lze získat, je tahová účinnost vyjadřující kvalitu přenosu výkonu motoru na podložku a získává se ze vztahu:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{emax}} * 100 \text{ [%]}$$

- P_{emax} ... maximální efektivní výkon motoru [kW]

Otáčkovou charakteristiku motoru není lehké stanovit. Prováděné změny aktuální otáčkové charakteristiky mohou velmi snadno způsobit značné ekonomické a ekologické ztráty. (Pexa, 2005)

Traktor se během jízdy a práce pohybuje po různých druzích povrchů. Každý druh povrchu ovlivňuje tahovou sílu jinak. Nejenom tahovou sílu, ale ovlivňuje i tahový výkon, prokluz a valivý odpor. (Rašovská, 2014)

5 Cíl práce

Cílem diplomové práce je zpracování a analýza naměřených dat tahové síly traktoru. Zkoušce podléhala měření dvou metod tahové síly traktoru při operaci zpracování půdy při polních podmínkách.

6 Metodika praktické části

Měření se uskutečnilo 30. října 2014 na pozemku agropodniku Zemědělská Společnost Sloveč, a.s. u Městce Králové v okrese Nymburk, ve středních Čechách. Na zkušebním pozemku se vyskytovala hlinitá půda. Z důvodu podzimního počasí byla půda na pozemku dosti vlhká, místy i podmáčená. Tahové měření se provádělo po sklizni řepy a před následným kypřením půdy taženým kypřičem Exaktgrubber-Vario. Na pozemku se vyskytovalo značné množství posklizňových zbytků řepy, které lze vidět na Obrázku 10.

Obrázek 10: Posklizňové zbytky na pozemku.



(foto a úprava vlastní)

Měření tahové zkoušky probíhalo na předem vybraném, nepodmáčeném a rovinném terénu. Zaměřený a následně vytyčený prostor pro zkoušku tvořil cca 100x50 m, kde se vyskytovala jak neudusaná půda, tak i kolejové řádky. Toto území bylo předem přezkoumáno sondou s Kopeckého válečkem, kterým byl odebrán půdní vzorek pro určení pórovitosti půdy, vlhkosti a objemová hmotnost půdy. Dále v místech odběru byl použit ruční penetrometr pro určení odporu půdy. Průběh měření před zahájením samotné tahové zkoušky je zobrazen na Obrázku 11.

Obrázek 11: Zjišťování vlastnosti půdy před měřením tahové zkoušky.



(foto a úprava vlastní)

Před samotným měřením bylo vytyčeno šest drah pro přesnější průjezd vyměřeného a předem zkoumaného území. Každá vytyčená dráha byla dlouhá přibližně 100 m.

K měření tahové síly byly použity dva typy měřicích přístrojů vyvinuté ve spolupráci ČZU s firmou BEDNAR FMT. První obsahoval tenzometrický siloměr S-38s, který dokáže měřit až do síly 200 kN, umístěný v ocelové kleci na tažné tyči tak, aby měřená síla byla měřena pouze v tahu nebo stlačení. Kdyby na siloměr působila síla, vyvolávající ohybové zatížení mohlo by dojít k trvalé deformaci a zničení siloměru. Druhý siloměr byl osazen ve speciálním rámu pro připojení taženého nářadí. Siloměry jsou zobrazeny na Obrázku 12.

Obrázek 12: Zařízení pro měření tahové síly.



(foto a úprava vlastní)

Penetrometry jsou měřicí přístroje pro měření odporu půdy. Vertikální penetrometry se používají pro zachycení utužování hloubky profilu a horizontální penetrometry zaznamenávají oblast zhutnělé půdy. Když jsou odpory půdy měřeny jako síla, jsou zakreslovány podle zhutňování, musí se brát v potaz obsah půdní vody v půdě. (Lammers, 2007)

Zařízení k měření tahové síly obsahuje ještě horizontální penetrometr, který je znázorněn na Obrázku 13. Tento penetrometr byl zkonstruován na České zemědělské univerzitě v Praze. Penetrometr používá kuželový hrot 30° a plochu 100 mm^2 . Podle zjištěného penetračního odporu dále určujeme odpor půdy proti vnikání pracovního nástroje. Díky tomuto penetrometru lze určit i další vlastnosti půdy. Například stupeň obtížnosti kypření nebo pevnost půdních makroagregátů. Tyto aspekty však v této diplomové práci stanoveny pro daný pozemek nebudou.

Data ze snímačů zatížení byla průběžně přenášena do vyhodnocovací jednotky a dále do počítače, který byl umístěn u obsluhy v kabině traktoru.

Obrázek 13: Penetrometr.



(foto a úprava vlastní)

Měření tahové síly bylo prováděno dvěma metodami. Při první metodě měření tahové síly byla sestavena souprava ze dvojice traktorů z agropodniku ve Slovči s kvalifikovanými řidiči, propojena měřicími přístroji. Soupravu tvořil kolový traktor New Holland T7050 s taženým kypřičem Exaktgrubber-Vario Köckerling 480

s pracovním záběrem 4,8 m s 37 radličkami a tažený pásový traktor John Deere 8320 RT (Obrázek 14). Druhý traktor při měření neměl zařazený převodový stupeň a měl odbrzděná kola. Sloužil pouze ke spouštění a zvedání kypřiče a tažným zdrojem byl první pásový traktor John Deere. Hodnoty tahové síly byly v tomto případě snímány z obou měřících zařízení.

Měření takto zapojené soupravy probíhalo po tři průjezdy.

Obrázek 14: Tahová souprava s měřícím zařízením.



(foto a úprava vlastní)

Při druhé metodě měření se následně měřící zařízení přepojilo mezi pásový traktor John Deere a tažený kypřič, připojení je znázorněno na Obrázku 15. Takto zapojené pracovní zařízení bylo opět podrobena měření ve třech průjezdech vytyčeného území. Získané hodnoty byly opět přenášeny a zpracovány počítačem umístěným v kabině traktoru.

Obrázek 15: Měřící zařízení připojeno přímo ke kypřiči.



(foto a úprava vlastní)

Před zahájením měření bylo provedeno několik měření „na sucho.“ To znamená, že měření proběhlo bez zahloubení stroje a odzkoušení funkčnosti měřicího přístroje. Toto měření se provádí pro určení valivého odporu traktoru s kypřičem. Při všech průjezdech byl kypřič nastaven a zahlouben na hloubku zpracování 15 cm, pracovní rychlost byla udržována na 6 km.h-1. Přesná aktuální rychlost byla převzata z GPS zařízení.

Po skončení zkoušky tahového měření byl na zpracované části jednoho z přejezdů odkryt svrchní profil zpracované půdy pro určení kvalitativních parametrů zpracování půdy daným kypřičem. Bylo provedeno měření hloubky, do které se pracovní nástroj při zpracování půdy dostal. Kvalita zpracovaného profilu a hloubka zpracování je vyobrazena na Obrázku 16. Dále se provedlo vizuální hodnocení kvality zpracování a byly navrženy možné příčiny k dalšímu vyhodnocení.

Obrázek 16: Kvalita zpracování půdy kypřičem.



(foto a úprava vlastní)

Pro tuto diplomovou práci byla zpracována data z prvních třech průjezdů soupravy (dvou traktorů a kypřiče) pro porovnání výsledků ze dvou tenzometrických zařízení umístěných „do série“, s cílem určit, zda obě měřící zařízení poskytují srovnatelné výsledky.

Po získání dat z prvních tří měření, byla data zpracována pomocí počítačových programů Excel a Statistica 12. Data byla setříděna a upravena. Na základě setříděných dat byly vyhotoveny grafy.

Ekonomické zhodnocení bylo zpracováno na základě získaných poznatků z předmětu Využití mobilních strojů, ze kterého byly použity vzorce pro fixní a variabilní náklady na soupravu.

6.1 Popis traktoru

- John Deere 8320 RT (Obrázek 17)
- Jmenovitý výkon (97/68 EC) s IPM [kW/hp]: 261/347
- Hmotnost: 15,65 t
- Průměr pásu: 25"
- Obsah motoru: 9 l
- Maximální zdvihací síla: 124,54kN (12700 kg)
- Kapacita palivové nádrže: 758 l
- Šířka x výška x délka: 2,67m x 3,32m x 5,89m

Obrázek 17: JD 8320 RT.



Zdroj: <http://www.argentoandsons.com/pages/PublicMedia/GlobalMedia/508393>

6.1.1 Tahová účinnost

V tabulce 5 je vypočítaná účinnost tahové síly traktoru JD 8320 RT. Pro vyšší pracovní rychlosti ($10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) je tahová síla je na spodní hranici. Ve svažitém terénu nebo při zpracování těžkých půd by mělo dojít k výměně traktoru za výkonnější. Kdyby došlo ke snížení pracovní rychlosti, byla by ovlivněna i kvalita práce s kypřičem. Při přetížení tažného prostředku nese riziko zvýšení spotřeby paliva, což má za následek

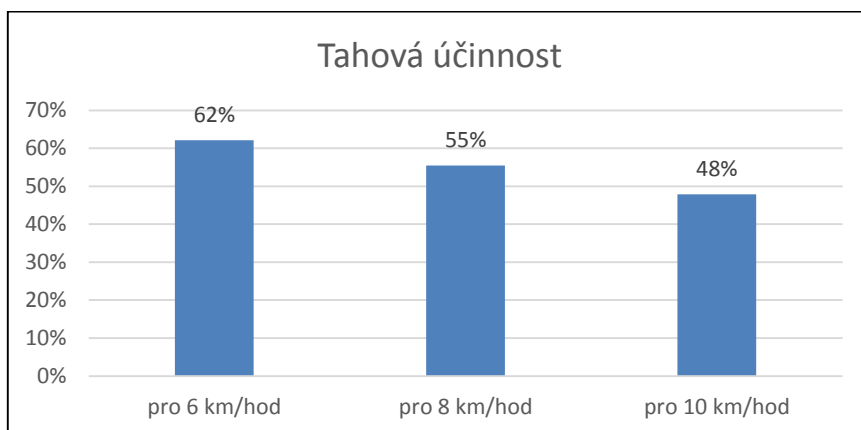
vyšší ekonomické náklady. Pro výpočty byla použita literatura ze studijního předmětu Využití mobilních strojů.

Hodnoty John Deere 8320 RT jsou: jmenovitý výkon $P_e = 261\,000\text{ W}$ (170 kW), hmotnost traktoru $m = 15\,650\text{ kg}$, mechanická účinnost převodového ústrojí $\eta = 0,87$.

Tabulka 5: Výpočet jednotlivých parametrů tahové účinnosti.

Podmínky	Jednotky	ulehlá ornice6	ulehlá ornice8	ulehlá ornice10
Prokluz δ	[%]	11	11,5	12
Valení ρ_v		0,12	0,13	0,14
Pracovní rychlost v_p	[m/s]	1,68	2,22	2,79
	[km/hod]	6	8	10
Výpočty		pro 6 km/hod	pro 8 km/hod	pro 10 km/hod
Zrátový výkon P_m	[W]	33930	33930	33930
$P_m = P_e * (1 - \eta)$				
Výkon mot. spot. prokluzem hnacích kol P_δ	[W]	24977,7	26113,05	27248,4
$P_\delta = P_e * \eta * \delta / 100$				
Ztrátový výkon val. odporem P_v	[W]	30932	44281	59931
$P_v = \rho_v * m * g * \cos \alpha * v_p$				
Výkon mot. spot. na překonání stoupání P_s	[W]	9001	11895	14949
$P_s = m * g * \sin \alpha * v_p$				
Tahový výkon P_t	[W]	162159	144781	124942
$P_t = P_e - P_m - P_\delta - P_v - P_s$				
Tahová účinnost η_t	[%]	62%	55%	48%
$\eta_t = P_t / P_e * 100$				
Tahová síla F_t	[N]	96523	65217	44782
$F_t = P_t / v_p$				

Graf 1: Tahová účinnost.



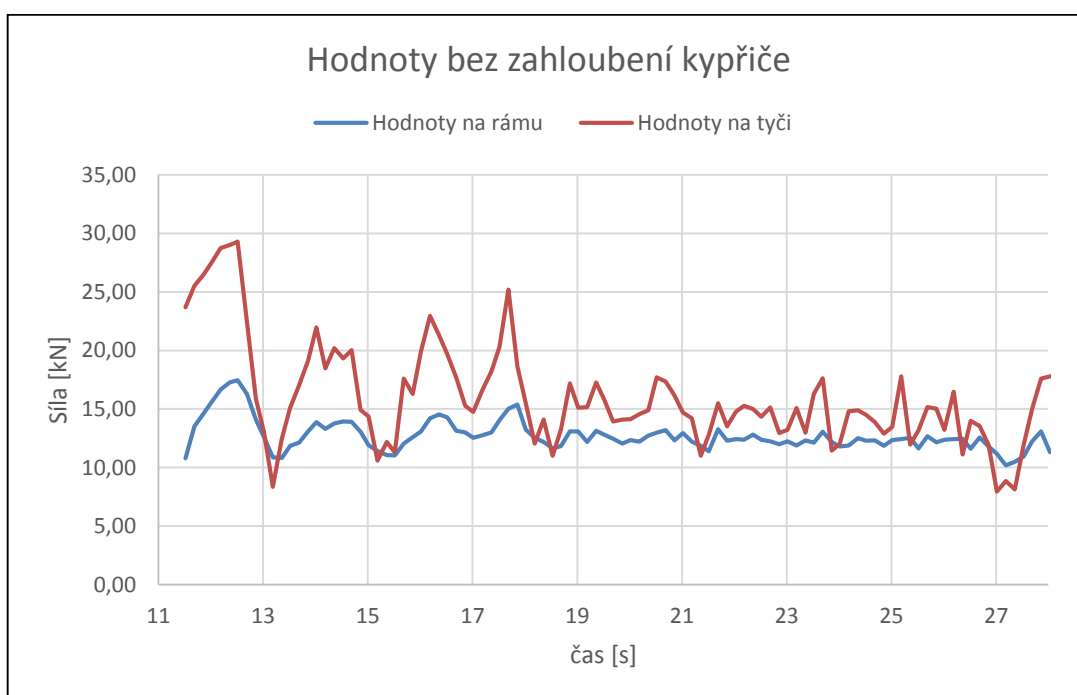
6.2 Zpracování získaných hodnot tahové zkoušky

6.2.1 Hlavní měření

Na Grafu 2 je znázorněna změřená tahová síla traktoru v zapojení do soupravy na rámu a na tyči před zahloubením kypřiče k získání hodnot tzv. měření na prázdko k zjištění valivého odporu (tahové síly) traktoru. Toto měření bylo provedeno vedle vytyčené části pozemku pro samotnou zkoušku. Na tomto základě byla stanovena průměrná hodnota tahové síly na rámu, která činila 13,90 kN a hodnota na tyči, která byla 15,13 kN. Tyto hodnoty se od sebe značně liší, ale průměrná chyba z rozsahu tenzometru nepřesáhla 1 %, tedy můžeme říci, že hodnoty jsou v toleranci.

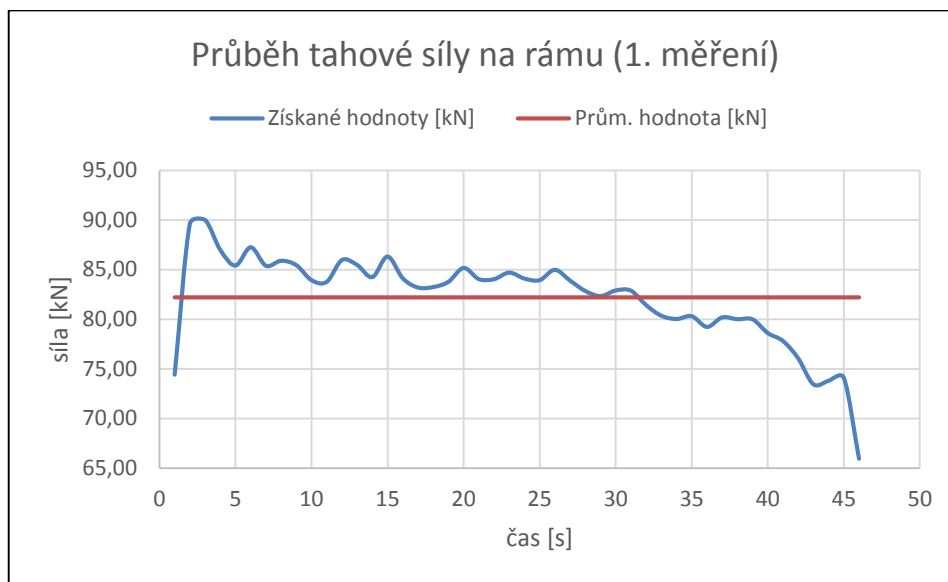
Ke stanovení skutečné tahové síly se zahloubeným kypřičem je potřeba tyto hodnoty od naměřených výsledků odečíst.

Graf 2: Naměřené hodnoty bez zahloubení kypřiče.



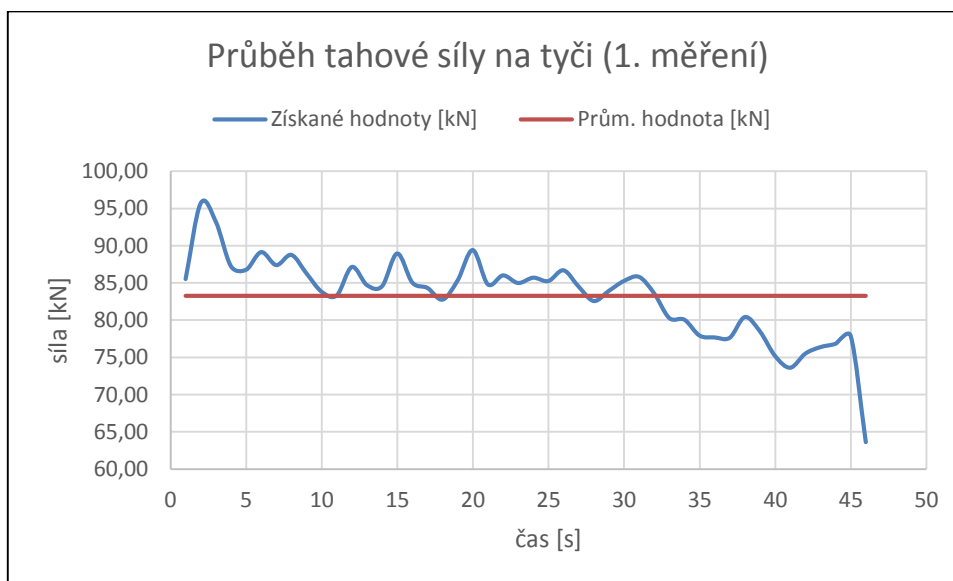
Graf 3 zobrazuje průběh naměřených hodnotu tenzometrem na rámu při prvním průjezdu vytyčeným územím. Měření bylo provedeno se zahloubeným nářadím a s průměrnou pojezdovou rychlostí soupravy 6,24 km.hod⁻¹. Průměrná hodnota síly je 82,20 kN. Směrodatná odchylka na rámu je 4,55.

Graf 3: Průběh tahové síly na rámu v 1. průjezdu.



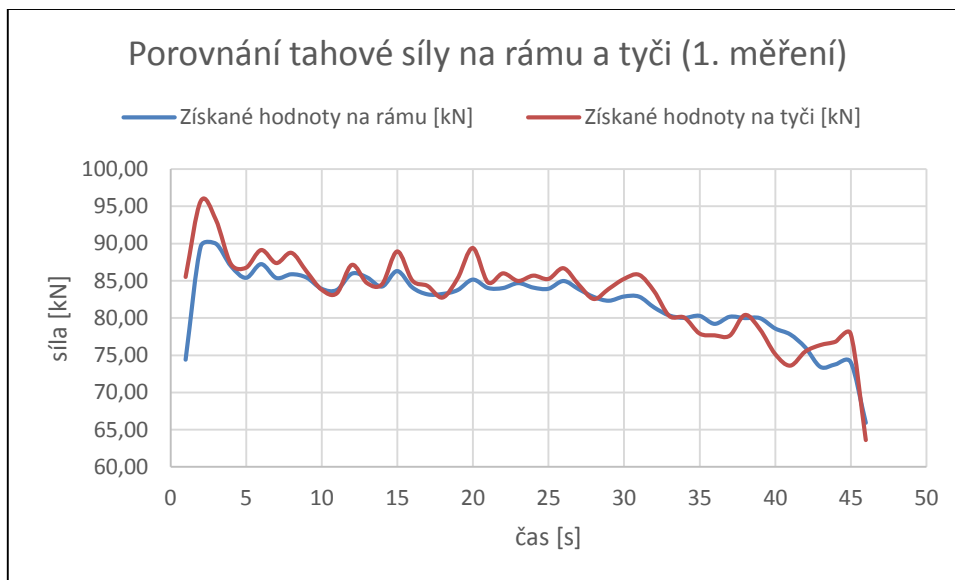
Na Grafu 4 je zobrazen průběh naměřených hodnot tenzometrem umístěného v tyči. Měření probíhalo současně s měřením na tyči, tedy se zahloubeným nářadím a s průměrnou pojezdovou rychlostí soupravy 6,24 km.hod⁻¹. Naměřená průměrná hodnota síly činí 83,26 kN. Směrodatná odchylka na tyči 4,45.

Graf 4: Průběh tahové síly na tyči v 1. průjezdu.



Graf 5 nám znázorňuje porovnání dvou předešlých tahových sil při prvním měřeném průjezdu vytyčeného pozemku při průměrné pojzdové rychlosti soupravy $6,24 \text{ km.hod}^{-1}$.

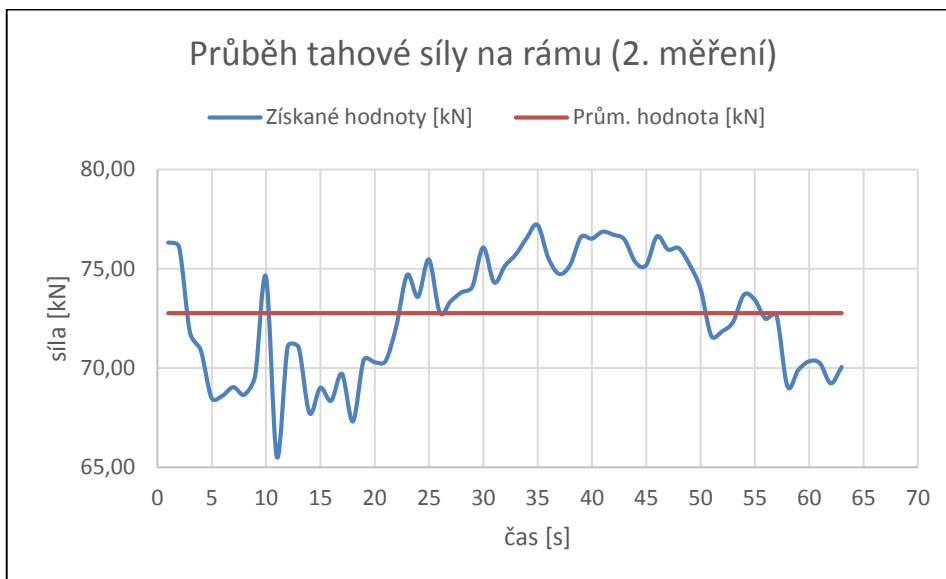
Graf 5: Porovnání sil naměřených v 1. průjezdu.



Chyba, neboli odchýlení se hodnot od sebe, je v jednotlivých sekvencích měření v toleranci. Průměrná hodnota chyby činí 0,5 %.

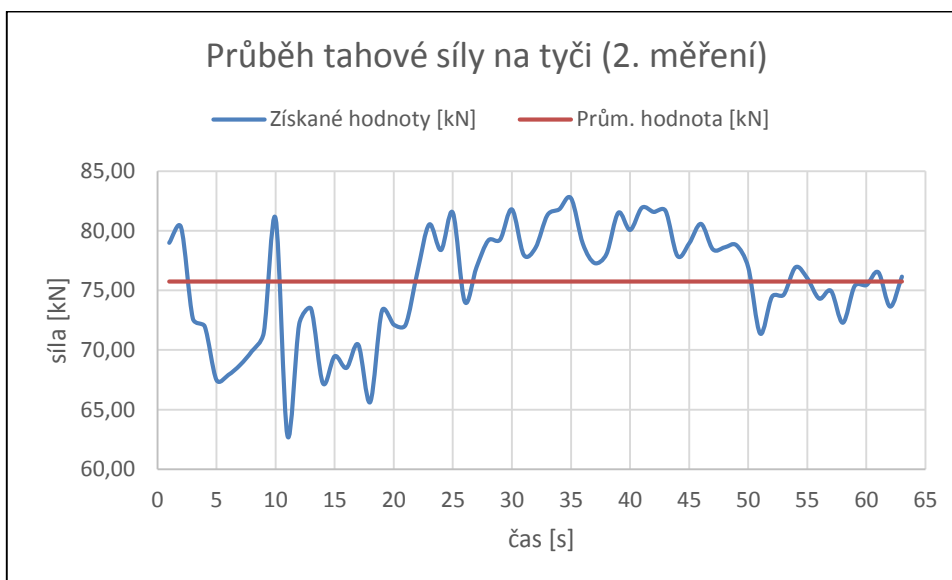
Graf 6 obsahuje průběh hodnot tenzometru na rámu při druhém průjezdu. Měření bylo provedeno se zahloubeným nářadím a s průměrnou pojzdovou rychlostí soupravy $4,62 \text{ km.hod}^{-1}$. Měření probíhalo podstatně delší čas z důvodu problémů mezi 5. až 30. sekundou. Proto je průměrná hodnota rychlosti nižší. Souprava se v tomto úseku pohybovala pouze okolo $2,00 \text{ km.hod}^{-1}$. Průměrná hodnota síly na rámu je 72,76 kN. Hodnota naměřené tahové síly se oproti měření v prvním úseku značně snížila. Směrodatná odchylka na rámu je 2,99.

Graf 6: Průběh tahové síly na rámu ve 2. průjezdu.



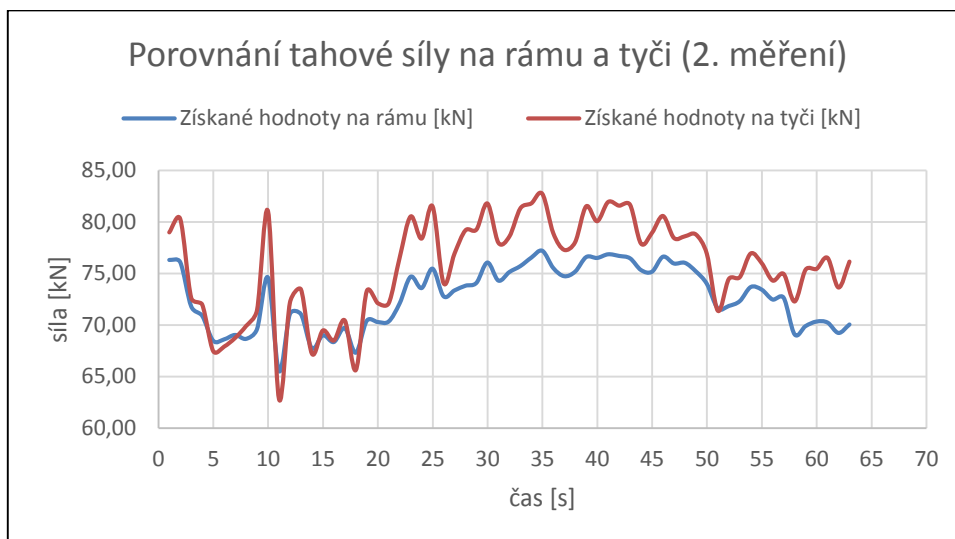
Graf 7 ukazuje průběh naměřených hodnot tenzometrem umístěného v tyči měřícího zařízení. Měření probíhalo opět současně s měřením na rámu. Naměřená průměrná hodnota síly na tyči je 75,74 kN. Hodnota síly vůči prvnímu měření se značně nížila i v případě měření na tyči. Směrodatná odchylka na tyči 4,67.

Graf 7: Průběh tahové síly na tyči ve 2. průjezdu.



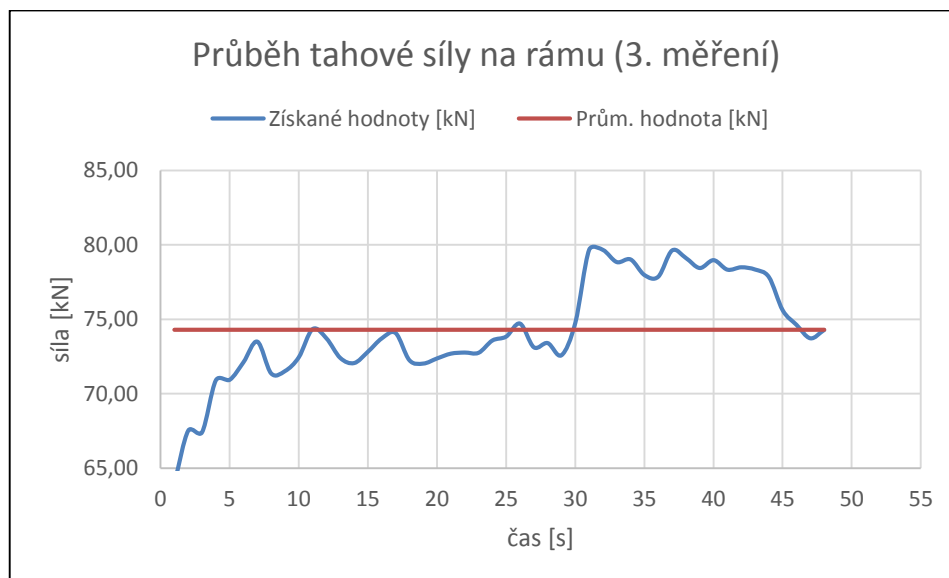
Graf 8 znázorňuje porovnání síly na Grafu 6 a na Grafu 7. Je viditelné, že síly naměřené na rámu a na tyči se až tak neliší. Chyba, neboli odchýlení se hodnot od sebe, je v jednotlivých sekvencích měření v toleranci. Průměrná hodnota chyby činí 1,49 %. Oproti prvnímú měření se však chyba značně zvýšila.

Graf 8: Porovnání dvou sil ve 2. průjezdu.



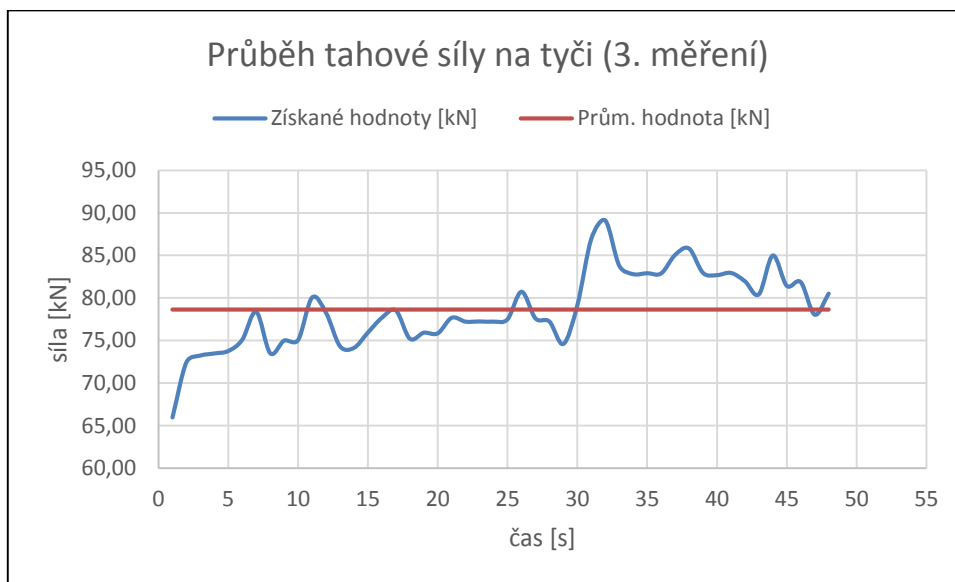
Graf 9 obsahuje průběh hodnot naměřených na rámu při třetím průjezdu. Měření probíhalo obdobně jako v prvním a druhém průjezdu s průměrnou pojezdovou rychlostí soupravy 5,89 km.hod⁻¹. Průměrná hodnota síly je 74,30 kN. Ve třetím průjezdu je síla téměř totožná se silou v druhém průjezdu jak na rámu, tak na tyči. Směrodatná odchylka na rámu je 3,44.

Graf 9: Průběh tahové síly na rámu ve 3. průjezdu.



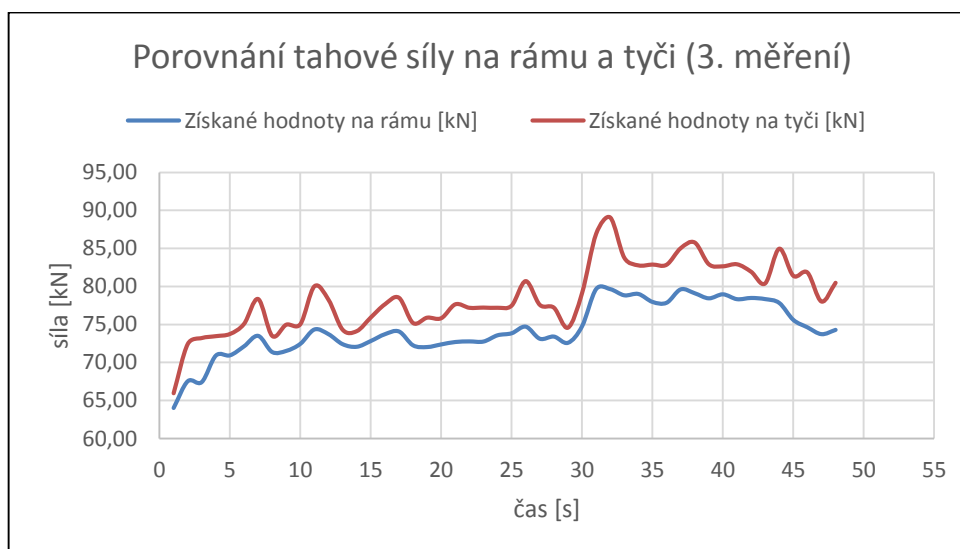
Na Grafu 10 je zobrazen průběh naměřených hodnot ve třetím průjezdu na tyči měřicího zařízení. Měření probíhalo opět současně s měřením na rámu. To znamená, že pojezdová rychlost soupravy je stejná. Naměřená průměrná hodnota síly je 78,64 kN. Směrodatná odchylka na tyči 4,41.

Graf 10: Průběh tahové síly na tyči ve 3. průjezdu.



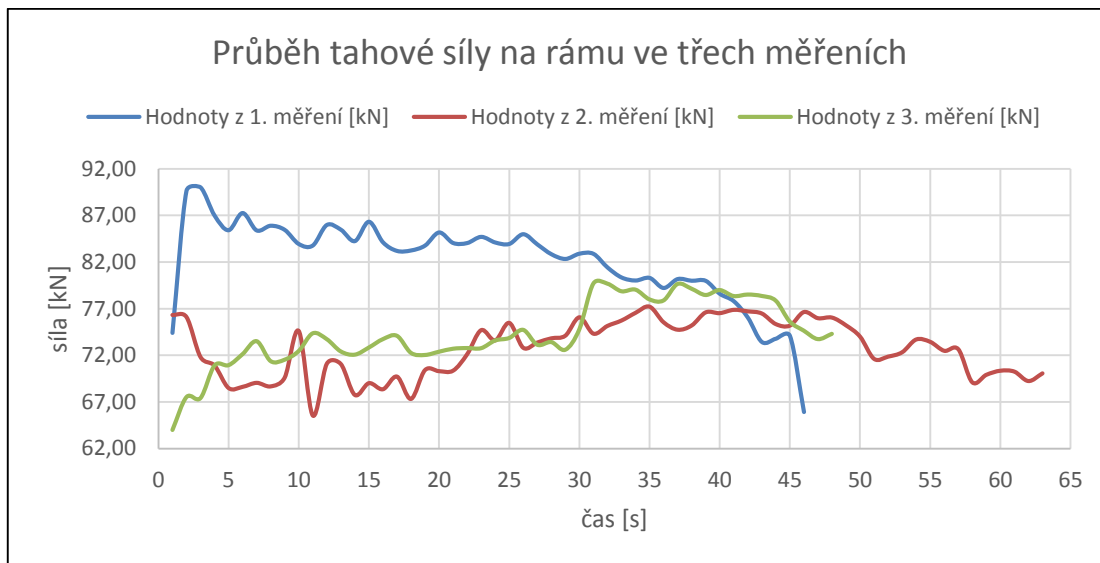
Graf 11 porovnává síly naměřené ve třetím průjezdu (Graf 9 a Graf 10). Naměřené síly jsou téměř totožné a podle grafu mají téměř stejný průběh. Chyba, neboli odchýlení se hodnot od sebe, se v jednotlivých sekvencích měření oproti předchozím značně odchyluje. Průměrná hodnota chyby činí 2,17 %. Oproti prvnímu a druhému měření se dá považovat toto měření za značně rozdílné.

Graf 11: Porovnání sil ve třetím průjezdu.

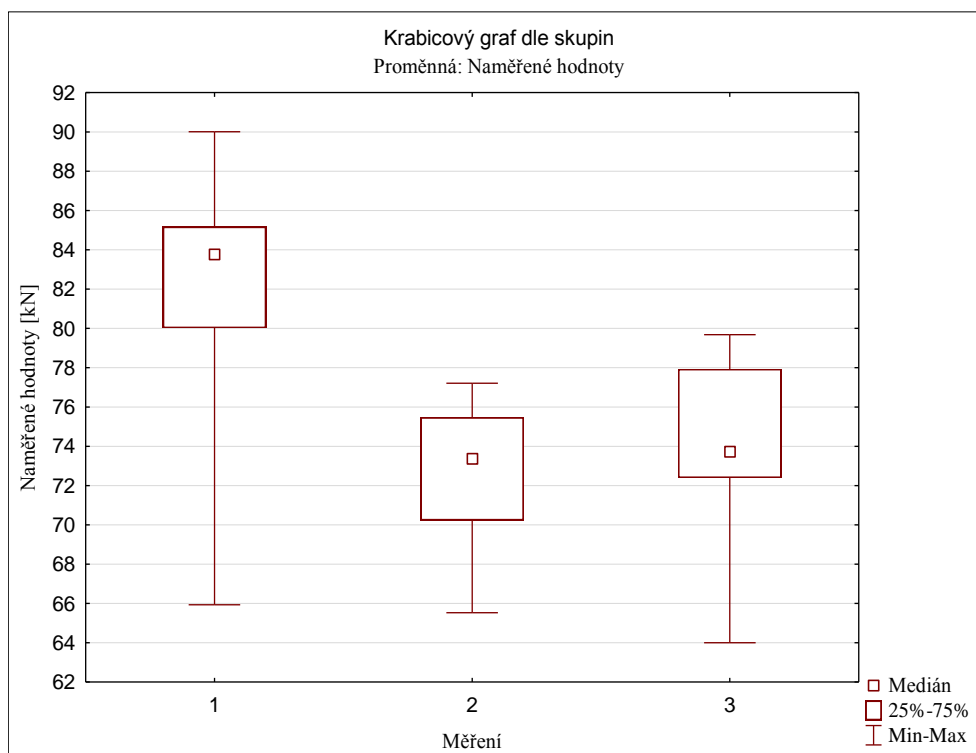


Graf 12 a 13 znázorňuje porovnání hodnot tahové síly z měření na rámu měřícího zařízení ve třech průjezdech. V prvním měření je vidět, že půda měla větší odpor a bylo zde zapotřebí větší tahové síly. V druhém měření je viditelné měření po delší časový interval. To způsobilo snížení rychlosti z počátku měření v daném úseku. I přes tuto nepřesnost můžeme říci, že naměřené hodnoty jsou srovnatelné s hodnotami ve třetím průjezdu.

Graf 12: Porovnání měření na rámu ve třech průjezdech.

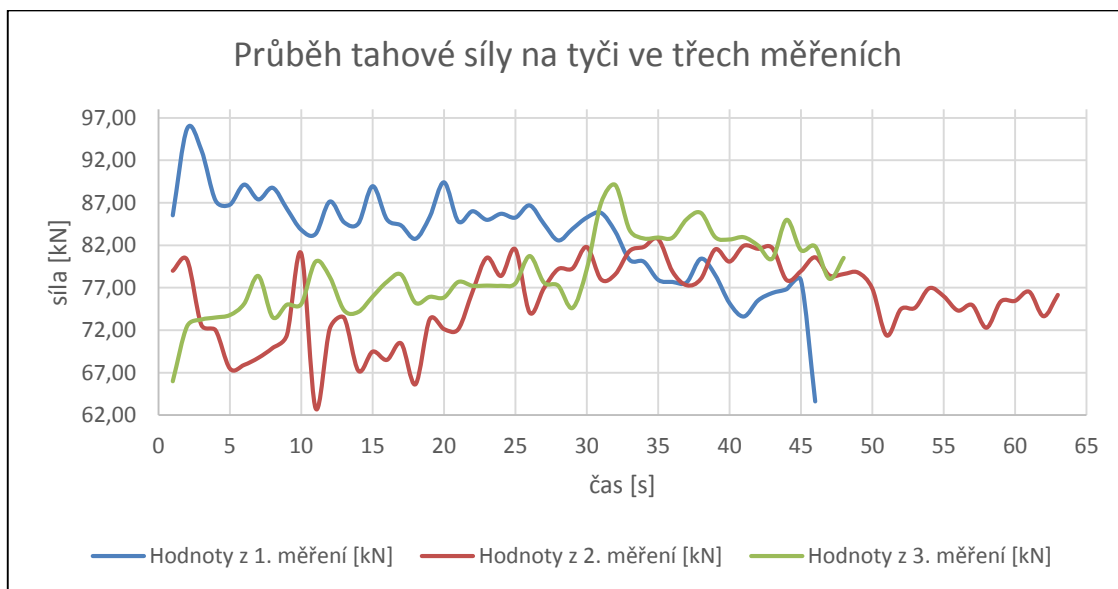


Graf 13: Porovnání měření na rámu ve třech průjezdech pomocí krabicového grafu.

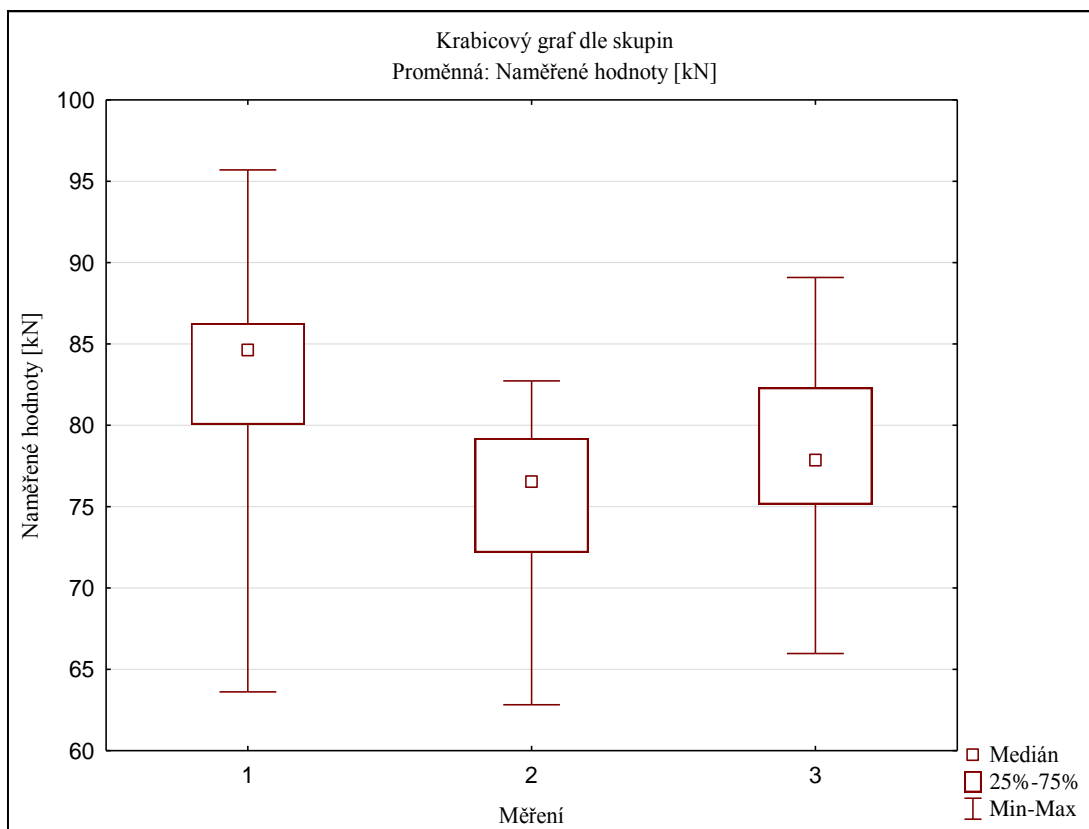


V Grafu 14 a 15 jsou znázorněny hodnoty z tenzometru umístěného v tyči ze tří průřezů. Z grafu je zřejmé, že porovnané hodnoty na tyči jsou si více podobné, než hodnoty, které byly zachycené v Grafu 12. Přesto je opět viditelný rozdíl v měření v prvním průřezu.

Graf 14: Porovnání měření na tyči ve třech průřezech.



Graf 15: Porovnání měření na tyči ve třech průřezech pomocí krabicového grafu.



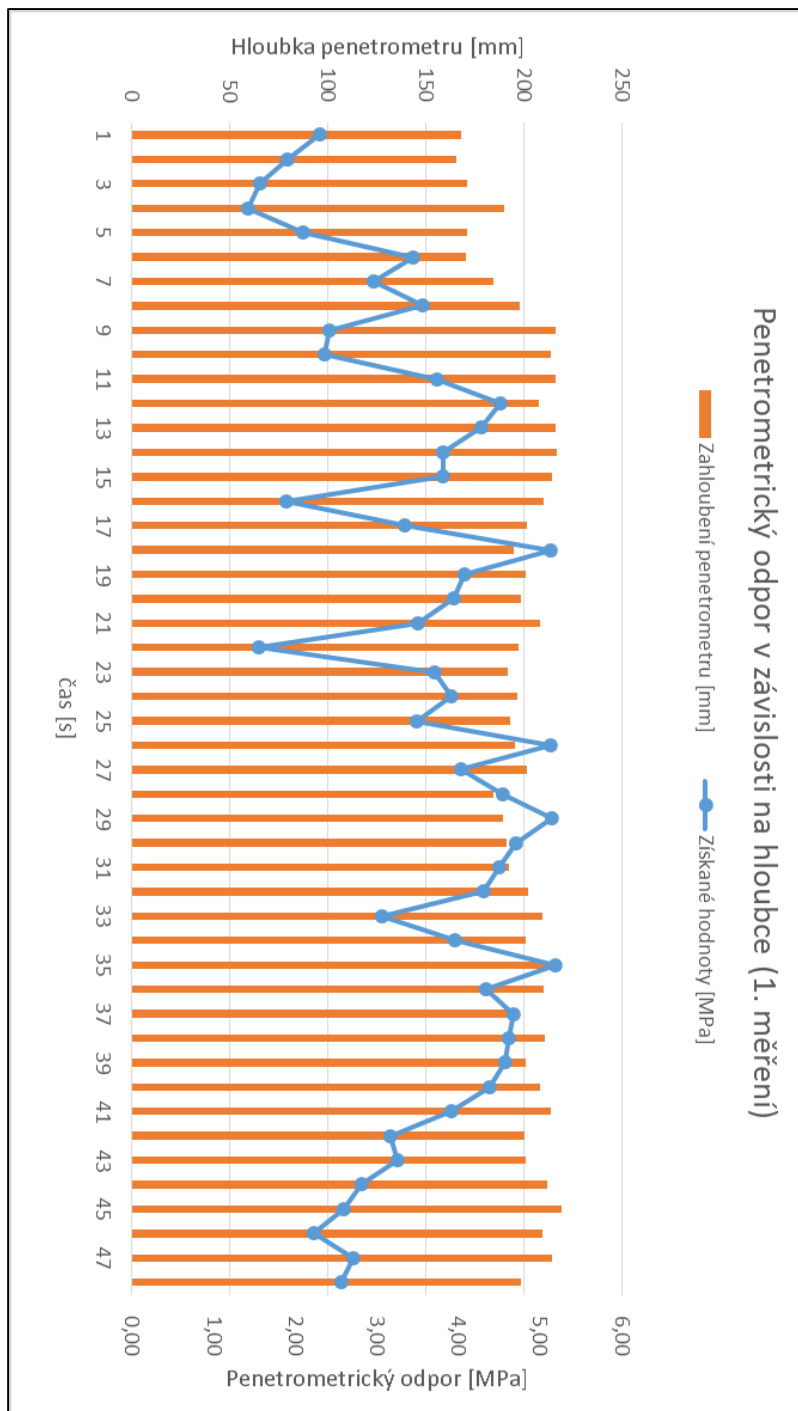
Z těchto čtyřech grafů (12, 13, 14 a 15) lze vyvodit, že v prvním průjezdu na vytyčeném prostoru bylo větší utužení půdy a byla zapotřebí větší tahová síla. To mohlo způsobit několik příčin. Hlavní příčinou je, že v prvním průjezdu se vyskytovaly koleťové řádky a půda tak byla více utužena. Další příčinou by mohla být větší vlhkost půdy v daném místě, kdy půda měla větší odpor, tudíž je zapotřebí větší tahové síly. Poslední možností je větší zahloubení kypřiče než v předchozích dvou měření. Značný vliv na tahovou sílu může mít vliv typ a tvar radliček. To se bohužel v těchto měřeních nedá prokázat.

Prokázalo se, že pracovní rychlost nemá vliv na tahovou sílu. To tvrdí i Novák (2014), který říká, že na tahovou sílu má vliv především typ půdy nikoli však pracovní rychlost daného kypřiče. Což se nám potvrdilo i v našem případě.

6.2.2 Měření penetrometrického odporu

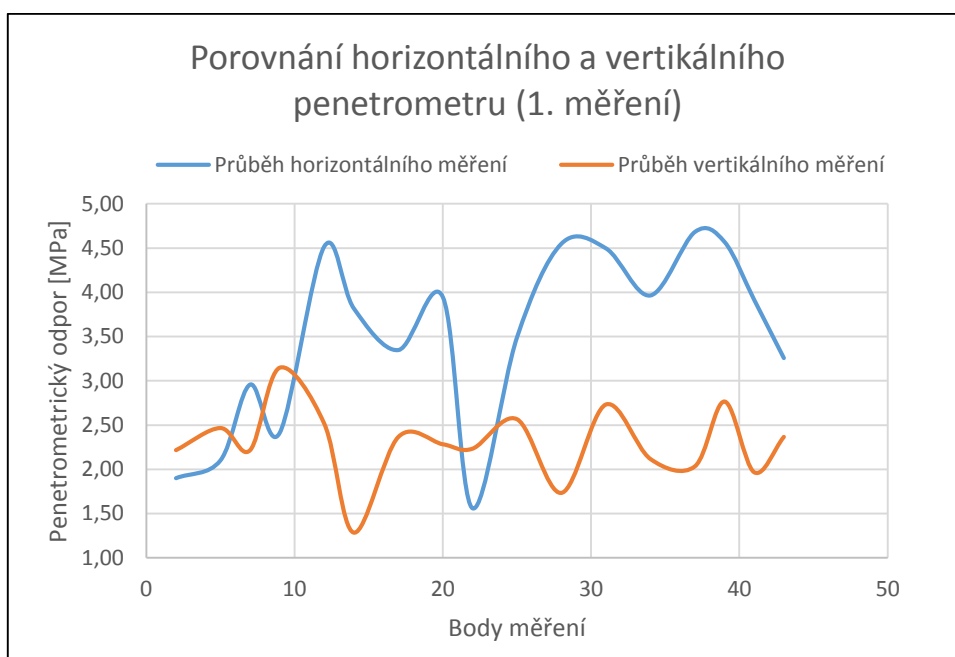
K hlavnímu měření je třeba zhodnotit i měření penetrometrického odporu půdy. Penetrometrický odpor je závislý na hloubce, ve které je měřen. V Grafu 16 je znázorněna hloubka a velikost naměřeného odporu v prvním měřeném průřezu. Průměrná hloubka byla 200 mm a průměrný penetrometrický odpor 3,53 MPa.

Graf 16: Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce v 1. průřezu.



Na Grafu 17 je znázorněno porovnání hodnot získaných z horizontální penetrometru umístěného na měřícím rámu a vertikálního penetrometru. Měření vertikálním penetremetrem probíhalo před samotným měřením. Data z vertikálního penetrometru byla seříděna podle polohy místa odběru a srovnatelné hloubky a sjednocena s daty získanými z měření horizontálního měření.

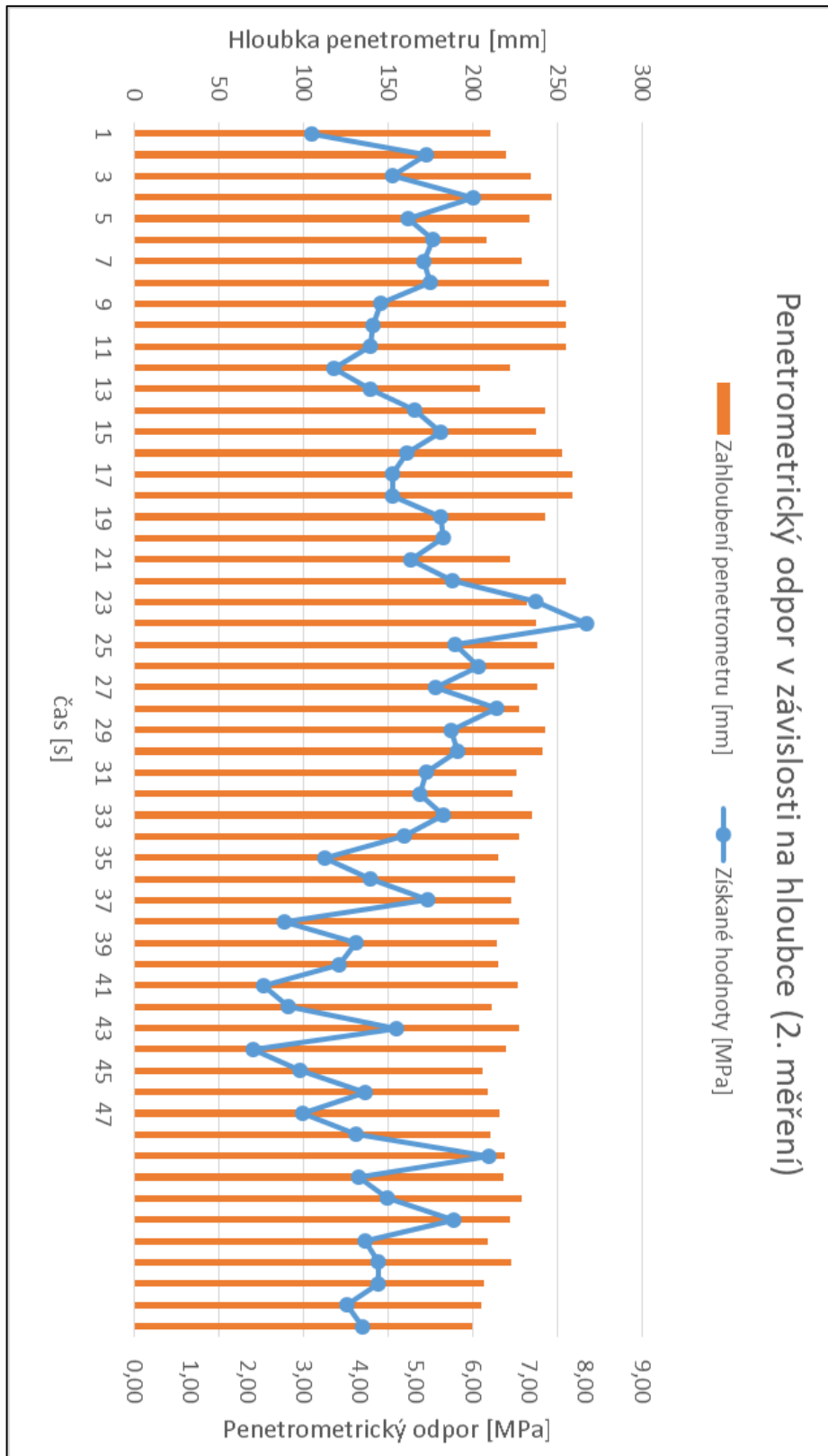
Graf 17: Porovnání penetrometrického odporu v 1. průjezdu.



Z grafu 17 lze vyčíst, že naměřený penetrometrický odpor z horizontálního měření je větší než hodnoty z penetrometru vertikálního.

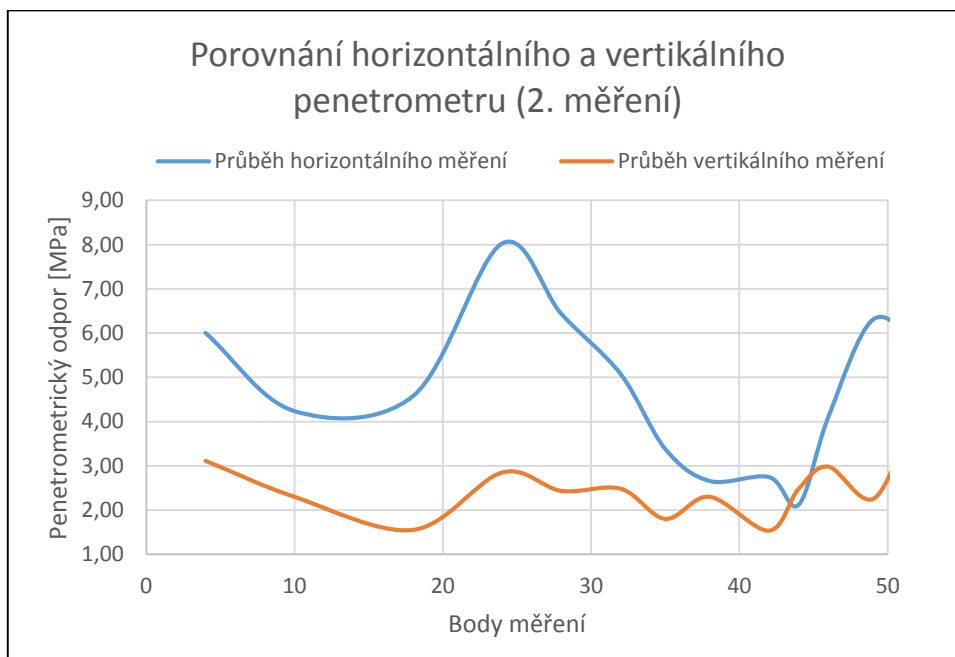
V Grafu 18 je znázorněna hloubka a velikost naměřeného odporu ve druhém měřeném průjezdu. Průměrná hloubka byla 228 mm a průměrný penetrometrický odpor 4,67 MPa. Porovnáním s prvním průjezdem se nám zvýšila hloubka a zvýšil se i penetrometrický odpor. Tímto porovnáním můžeme říci, že s hloubkou se penetrační odpor zvyšuje.

Graf 18: Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce ve 2. průjezdu.



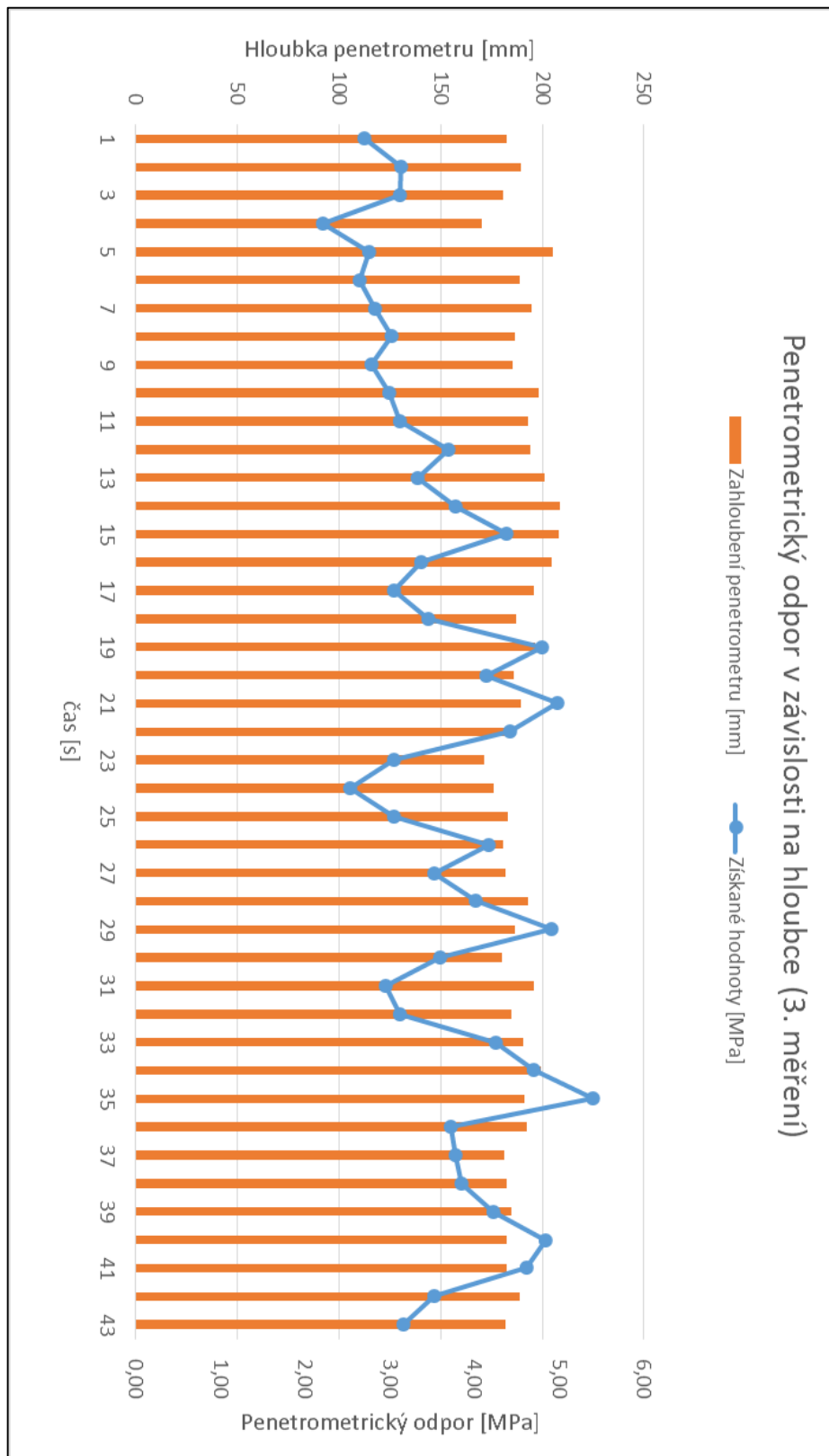
Na Grafu 19 je znázorněno porovnání hodnot získaných z horizontálního penetrometru umístěného na měřicím rámu a vertikálního penetrometru. Z tohoto grafu (i z Grafu 17) je patrné, že hodnoty naměřené na horizontálním penetrometru jsou větší než hodnoty naměřené na penetrometru vertikálním.

Graf 19: Porovnání penetrometrického odporu ve 2. průjezdu.



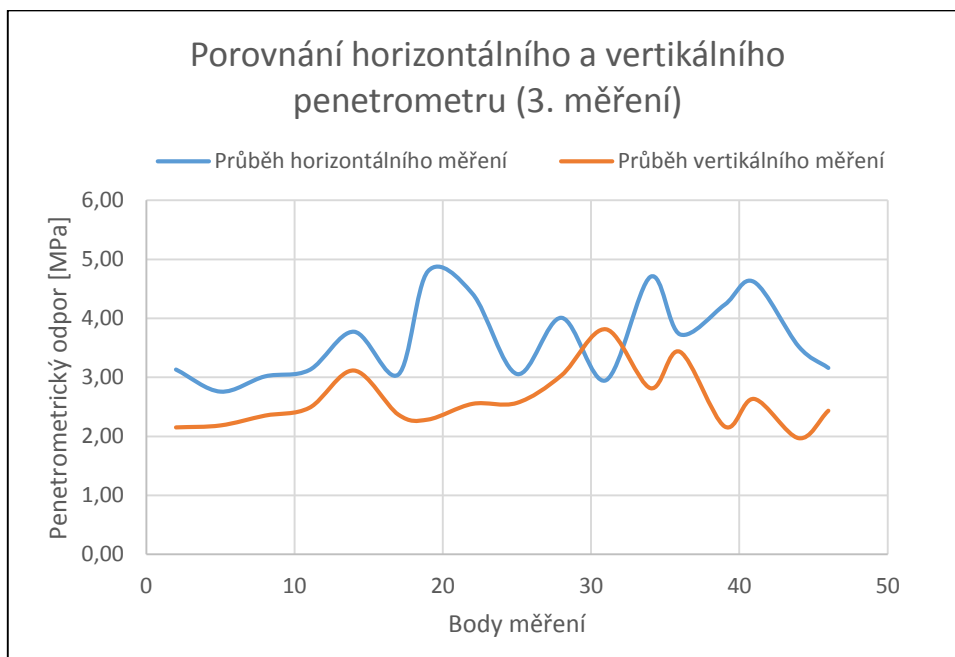
V Grafu 20 je znázorněna hloubka a velikost naměřeného odporu ve třetím měřeném průjezdu. Průměrná hloubka byla 182 mm a průměrný penetrometrický odpor 3,62 MPa. Porovnání tohoto grafu s grafem v prvním průjezdu můžeme říci, že penetrační odpor byl zhruba stejný.

Graf 20: Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce ve 3. průřezu.



Na Grafu 21 je znázorněno porovnání hodnot získaných z horizontální penetrometru umístěného na měřícím rámu a vertikálního penetrometru. Hodnoty v grafu si jsou více podobné než v grafech předchozích průjezdů. Ale i tady je viditelné, že hodnoty získané z horizontálního penetrometru jsou vyšší.

Graf 21: Porovnání penetrometrického odporu ve 3. průjezdu.



Horizontální penetrační odpor se na vyznačeném pozemku pohybuje od 3 do 4 MPa v přibližné hloubce penetrometru 20 cm. Bohužel v měření se nepodařilo uskutečnit srovnání s méně vlhkou půdou, a tak nemůžeme z těchto grafů přesně určit, zda je penetrační odpor ovlivněn především vlhkostí půdy. Avšak můžeme říci, že s přibývajícím hloubkou roste penetrační odpor. Dále že horizontální způsob měření dosahuje vyšších hodnot odporu než měření vertikální, což rozhoduje při druhu zpracování půdy. Dále můžeme říci, že rychlost nemá žádný vliv

Zvyšující se penetrační odpor s hloubkou tvrdí rovněž Kroulík (2013), který také uvádí že penetrometrický odpor roste s hloubkou. Dále Schulze Lammers (2007) tvrdí, že se zvyšující se vlhkostí půdy se zmenšuje půdní odpor. To může znamenat, že se nemusí dosahovat takových tahových sil při hodně vlhkých půdách, ale je zde hrozba vysokého prokluz kol traktoru a možnost úplného zahrabání traktoru. Proto se za takových podmínek půda nezpracovává.

7 Ekonomické zhodnocení

Součástí ekonomického hodnocení je analýza nákladů soupravy traktoru s kypřičem. Cílem ekonomického zhodnocení je stanovit přímé fixní, variabilní a celkové jednotkové náklady na provoz soupravy. Následně pak celkové náklady porovnat s cenou služeb prací a podle toho pak doporučit provoz soupravy. Dále pak náklady služeb na určitý druh zpracování půdy v zemědělského podniku na 1 ha obdělávané půdy.

7.1.1 Výpočet nákladů na provoz mobilní soustavy

V Tabulce 6 jsou uvedeny podklady pro výpočet fixních a variabilních nákladů pro traktor John Deere 8320 RT. Předpokládané využití daného traktoru je 1900 hodin za rok. S případným snížením roční výkonnosti značně přebývají náklady na traktor a je namístě zvažovat, zda nevyužít raději poskytovaných služeb než vlastnit traktor.

Tabulka 6: Podkladové hodnoty traktoru JD 8320 RT.

Traktor JD 8320 RT:	
Jmenovitý výkon	$P_o = 261\ 000\ W$
Pořizovací cena	$C_p = 3\ 500\ 000\ Kč$
Roční úroková míra	$ú = 5\ \%$
Roční výkonnost	$W_r = 1\ 900\ \text{hod.rok}^{-1}$
Doba používání	$T = 5\ \text{let}$
Zbytková cena	$C_{zb} = 1\ 225\ 000\ Kč\ (35\ \% \text{ z } C_p)$
Zákonné pojištění	$p_z = 1\ 344\ Kč.\text{rok}^{-1}$
Sazba dobrovolného pojištění	$S_{dpo} = 1\ \%$
Sazba na garážování	$rN_{m2} = 200\ Kč.\text{rok}^{-1}$
Délka traktoru	$D = 6\ m$
Šířka traktoru	$S = 3\ m$
Koeficient oprav	$k_o = 1$
Cena nafty	$c_p = 25\ Kč.l^{-1}$
Součinitel nákladů na maziva	$\varphi = 1$
Hodinová mzda	$f = 110\ Kč.\text{hod}^{-1}$
Hodinová výkonnost	$W_h = 1$

Tabulka 7 obsahuje poklady pro výpočet fixních a variabilních nákladů pro kypřič Köckerling Vario 480 s pracovním záběrem 4,8 m. Roční využití stroje je předpokládáno na 1000 hektarů ročně.

Tabulka 7: Podkladové hodnoty kypřiče Köckerling Vario 480.

Köckerling Vario 480:	
Pořizovací cena	$C'_p = 450\,000,0$ Kč (použité)
Roční úroková míra	$ú' = 5,0$ %
Pracovní záběr	$B_p = 4,8$ m
Pracovní rychlost	$v_p = 6,0$ km.hod ⁻¹
Součinitele využití času celkového nasazení	$\tau = 0,73$
Roční výkonnost	$W'_r = 1\,000,0$ ha.rok ⁻¹
Doba používání	$T' = 10,0$ let
Zbytková cena	$C'_{zb} = 135\,000,0$ Kč (30% z C'_p)
Sazba dobrovolného pojištění	$s'_{dpo} = 1,0$ %
Sazba za garážování	$rN'_{m2} = 100,0$ Kč.rok ⁻¹
Délka kypřiče	$D' = 9,0$ m
Šířka kypřiče	$S' = 4,8$ m
Koeficient oprav	$k'_o = 0,9$
Zákonné pojištění	$p'_z = 0,0$ Kč.rok ⁻¹

V Tabulce 8 jsou vypočteny roční fixní náklady pro traktor a pro kypřič. Náklady jsou určeny z nákladů na amortizaci, na úročení, na uskladnění a na pojištění. Roční fixní náklady pro traktor jsou 566 401 Kč a pro kypřič 53 050 Kč.

Tabulka 8: Výpočty ročních fixních nákladů.

Roční fixní náklady - traktor		
$rN_f = rN_a + rN'_u + rN_s + rN_{po} =$		566 401 Kč.rok ⁻¹
Náklady na amortizaci:	$rN_a = (C_p - C_{zb}) / T =$	455 000 Kč.rok ⁻¹
Náklady na úročení:	$rN'_u = (C'_p * \acute{u}') / (100 * 2) =$	87 500 Kč.rok ⁻¹
Náklady na uskladnění:	$rN_s = (D + 1) * (S + 1) * rN_{m2} =$	5 057 Kč.rok ⁻¹
Náklady na pojištění:	$rN_{po} = p_z + (s_{dpo} * C_p) / 100 =$	18 844 Kč.rok ⁻¹
Roční fixní náklady - kypřič		
$rN'_f = rN'_a + rN'_u + rN'_s + rN'_{po} =$		53 050 Kč.rok ⁻¹
Náklady na amortizaci:	$rN'_a = (C'_p - C'_{zb}) / T' =$	31 500 Kč.rok ⁻¹
Náklady na úročení:	$rN'_u = (C'_p * \acute{u}') / (100 * 2) =$	11 250 Kč.rok ⁻¹
Náklady na uskladnění:	$rN'_s = (D' + 1) * (S' + 1) * rN'_{m2} =$	5 800 Kč.rok ⁻¹
Náklady na pojištění:	$rN'_{po} = p'_z + (s'_{dpo} * C'_p) / 100 =$	4 500 Kč.rok ⁻¹

V Tabulce 9 jsou poděleny roční náklady roční (rN_f) výkonností (W_r) pro zjištění jednotkových fixních nákladů.

Tabulka 9: Jednotkové fixní náklady.

Jednotkové fixní náklady - traktor	
$jN_f = rN_f / W_r =$	298 Kč.hod ⁻¹
Jednotkové fixní náklady - kypřič	
$jN'_f = rN'_f / W'_r =$	53 Kč.ha ⁻¹

V Tabulce 10 jsou již přepočítány variabilní náklady na jednotku času (hodiny). Jednotkové variabilní náklady se skládají z nákladů na opravy a údržbu, na pohonné hmoty a maziva, na mzdu a na základní a pomocný materiál. Základní a pomocný materiál není součástí ceny mechanizovaných služeb. Dále se pro kypřič nezapočítávají náklady na pohonné hmoty a maziva a mzda obsluhy. Variabilní náklady pro traktor jsou 1 655 korun za hodinu a pro kypřič 41 korun na hektar.

Tabulka 10: jednotkové variabilní náklady.

Jednotkové variabilní náklady - traktor		
$jN_v = jN_o + jN_{ph} + jM + jZ_m + jP_{m=}$		1 655 Kč.hod ⁻¹
Náklady na opravy a údržbu:	$jN_o = (C_p * k_o) / (T * W_r) =$	184 Kč.hod ⁻¹
Náklady na pohonné hmoty a maziva*:	$jN_{ph} = Q * c_p * \varphi =$	1 323 Kč.hod ⁻¹
Náklady na mzdu obsluhy:	$jM = (f * (1 + 0,35)) / W_h =$	149 Kč.hod ⁻¹
Náklady na základní materiál**:	-	0 Kč.hod ⁻¹
Náklady na pomocný materiál**:	-	0 Kč.hod ⁻¹
Jednotkové variabilní náklady - kypřič		
$jN'_v = jN'_o + jN'_{ph} + jM' + jZ'_m + jP'_{m=}$		41 Kč.ha ⁻¹
Náklady na opravy a údržbu:	$jN'_o = (C'_p * k'_o) / (T' * W'_r) =$	41 Kč.ha ⁻¹
Náklady na pohonné hmoty a maziva:	nepočítá se	0 Kč.ha ⁻¹
Náklady na mzdu obsluhy:	nepočítá se	0 Kč.ha ⁻¹
Náklady na základní materiál**:	-	0 Kč.ha ⁻¹
Náklady na pomocný materiál**:	-	0 Kč.ha ⁻¹
* $Q = P_e * 10^{-3} * m_g * z / \rho = 46 \text{ l.hod}^{-1}$		
** (nejsou součástí ceny mechanizovaných služeb)		

Náklady na pohonné hmoty a maziva jsou počítány pouze pro traktor. Pro tyto náklady je zapotřebí zjistit hodinovou spotřebu paliva Q. Hodinovou spotřebu Q je možné vypočítat ze vzorce s průměrnou roční hodnotou pro 50% zatížení vznětového motoru nebo ze vzorec s použitím měrné spotřeby paliva m_g , zatížením motoru z a hustotou paliva ρ jako je počítáno v předešlé tabulce.

V Tabulce 11 jsou sečteny fixní a variabilní náklady. Z důvodu rozdílných měrných jednotek (tj. hodiny a hektary), je potřeba převést měrnou jednotku jednotkových nákladů traktoru za pomoci hodinové výkonnosti orební soupravy v čase nasazení W_{hs} z hodin na hektary.

Tabulka 11: Jednotkové přímé náklady.

Jednotkové přímé náklady - traktor	
$jN_c = jN_f + jN_v =$	1 953 Kč.hod ⁻¹
Jednotkové přímé náklady - kypřič	
$jN'_c = jN'_f + jN'_v =$	94 Kč.ha ⁻¹

Po převedení hodin na hektary se vypočítají přímé jednotkové náklady (Tabulka 12) na orební soustavu 1 023 Kč na hektar. Cena mechanizovaných služeb se pohybuje okolo částky 1 200 Kč.ha⁻¹. Z vypočítaných nákladů na traktor a kypřič je možné doporučit provozování orební soupravy z důvodu nepřesáhnutí nákladů na cenu poskytovaných služeb.

Tabulka 12: Jednotkové přímé náklady na orební soustavu.

Jednotkové přímé náklady orební soustavy	
$jN_{cs} = (jN_c / W_{hs}) + jN'_c =$	1 023 Kč.ha ⁻¹
Hodinová výkonnost orební soupravy:	$W_{hs} = 0,1 * v_p * B_p * \tau =$ 2,102 ha.hod ⁻¹

Vypočítané náklady mohou být proměnlivé. Náklady závisí na mnoha faktorech. Zejména na typu půdy, na procentu stoupání svahu pozemku, na výkonnosti traktoru a další. Do nákladů se může promítnout i aktuální finanční situace státu, kdy dojde ke zvýšení či snížení mzdy obsluhy traktoru.

7.1.2 Stanovení spotřeby paliva

Průměrná rychlost, při kterých se měření provádělo, činila 6 km.hod⁻¹. Co do výpočtu je 1,667 m.s⁻¹. Hloubka zpracování půdy byla 15 centimetrů. Orební odpor při měření bez spuštěného kypřiče činil na rámu 13,90 kN a na tyči 15,13 kN. S kypřičem spuštěným jsou hodnoty zprůměrovány pro všechny tři měření. Hodnota na rámu v průměru činila 76,42 kN a hodnota na tyči 79,21kN. Pro dílčí výpočty jsou sečteny a zprůměrovány hodnoty na tyči i na rámu pro určení spotřeby paliva.

Z předchozích hodnot lze spočítat tahový výkon P_{t1} a P_{t2} dle vzorců:

$$P_{t1} = R_1 \cdot v = 14515 \cdot 1,667 = 24196,5 \text{ [W]}$$

$$P_{t2} = R_2 \cdot v = 77815 \cdot 1,667 = 129717,6 \text{ [W]}$$

- P_{t1} ... Tahový výkon bez zatížení [W]
- P_{t2} ... Tahový výkon se zatížením [W]
- R_1 ... Orební odpor bez zatížení [N]
- R_2 ... Orební odpor se zatížením [N]
- v ... rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

K nízkým účinnostem při přenosu výkonu od motoru na tažné zařízení (η_t za středních podmínek cca. 50 %) je třeba vzít v potaz potřebný výkon motoru (respektive úbytek jeho potřeby). Pro výpočet sníženého potřebného výkonu zvolíme následující vzorce:

$$P_{e1} = \frac{P_{t1}}{\eta_t} = \frac{24196,5}{0,50} = 48393 \text{ [W]}$$

$$P_{e2} = \frac{P_{t2}}{\eta_t} = \frac{129717,6}{0,50} = 259435,2 \text{ [W]}$$

- P_{t1} ... Tahový výkon bez zatížení [W]
- P_{t2} ... Tahový výkon se zatížením [W]
- η_t ... tahová účinnost

Dalším krokem je vypočítání průměrné spotřeby za hodinu. Pro této výpočet je potřeba převést jednotky efektivního výkonu z W na kW. Tento výpočet je proveden pomocí vzorce:

$$Q_1 = \frac{P_{e1} \cdot m_g}{\rho} = \frac{48,393 \cdot 240}{830} = 14 \text{ [l.hod}^{-1}\text{]}$$

$$Q_2 = \frac{P_{e2} \cdot m_g}{\rho} = \frac{259,4352 \cdot 240}{830} = 75 \text{ [l.hod}^{-1}\text{]}$$

- P_{e1} ... snížení potřebného výkonu motoru bez zatížení [W]
- P_{e2} ... snížení potřebného výkonu motoru se zatížením [W]
- m_g ... měrná spotřeba paliva [$\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{hod}^{-1}$]

- ρ ... hustota paliva [g.l⁻¹]

Abychom mohli zjistit úbytek paliva, je zapotřebí zjistit, kolik hektarů s danou soupravou zpracujeme za jednotku času pomocí hodinové výkonnosti orební soupravy v čase nasazení W_{hs} . To zjistíme pomocí vzorce:

$$W_{hs} = 0,1 \cdot v_p \cdot B_p \cdot \tau = 0,1 \cdot 6 \cdot 4,8 \cdot 0,73 = 2,1 \text{ [ha.hod}^{-1}\text{]}$$

- v_p ... Pojezdová rychlost [km.hod⁻¹]
- B_p ... Záběr pracovního nářadí [m]
- τ ... Součinitel využití času celkového nasazení orební soupravy

Pokud víme, jaká je hodinová litrová spotřeba dané soupravy a současně jaká je hodinová výkonnost, tak můžeme spočítat spotřebu paliva na jeden hektar. Spotřebu na jeden hektar spočítáme pomocí vzorců:

$$Q_{h1} = \frac{Q_1}{W_{hs}} = \frac{14}{2,1} = 6,7 \text{ [l.ha}^{-1}\text{]}$$

$$Q_{h2} = \frac{Q_2}{W_{hs}} = \frac{75}{2,1} = 37,71 \text{ [l.ha}^{-1}\text{]}$$

- Q_1 ... Úbytku průměrné spotřeby bez zatížení [l.hod⁻¹]
- Q_2 ... Úbytku průměrné spotřeby se zatížením [l.hod⁻¹]
- W_{hs} ... Hodinová výkonnost dané soupravy [ha.hod⁻¹]

Spotřeba nafty stoupla při zatížení z hodnoty 6,7 l.ha⁻¹ na hodnotu 37,71 l.ha⁻¹. Tím můžeme říci, že orební odpor má značný podíl na spotřebě. Dá se předpokládat, že značný podíl má zahloubení a tvar radliček.

8 Závěr

V zemědělství je důležité znát pozemky, které obděláváme a využít na nich takové technologie, které jsou pro dané půdní a klimatické podmínky nejvíce vhodné. V dnešní době stále stoupají ekonomické nároky na zemědělské podniky bez rozdílu velikosti, a to jak na zemědělskou mechanizaci, tak i na prostředky s tím spojené. Stále více se začínají rozvíjet minimalizační technologie zpracování půdy. Agrotechnické lhůty se zkracují a je zapotřebí využití právě těchto technologií. Z hlediska úspor času a financí tyto technologie předčí konvenční zpracování půdy.

Vyvstává ovšem otázka, zda toto zpracování přináší uspokojení jak pro zemědělce, nebo i pro půdu a rostliny? Každý, kdo tyto technologie využívá, preferuje především úsporu nákladů. Ale je třeba si uvědomit, že tyto technologie nelze použít všude. V prostředí Vysočiny se s minimalizační technologií setkáme jen zřídka, protože by zde neměla žádné příznivé uplatnění pro pěstované plodiny, jako je tomu např. v polabské nížině.

Cílem této práce však není hodnocení zpracování půdy, ale zkoumání dvou metod měření tahové síly při zpracování půdy. Pokusná tahová zkouška byla provedena za pomoci traktoru John Deere 8320 RT, který nesl rám s měřícím tenzometrem. K rámu byla připojena tyč, s dalším tenzometrem, která táhla druhý traktor New Holland T7050. Za druhým traktorem byl zapřažen kypřič Exaktgrubber-Vario Köckerling 480 s pracovním záběrem 4,8 m. Měření probíhalo při rychlosti přibližně 6 kilometrů za hodinu ve třech průjezdech vytyčeného pozemku 100 x 50 m. Ze získaných výsledků z obou tenzometrů se porovnali a vyhodnotily tyto dvě metody měření.

Tahová síla se v polních podmínkách zkoumá z několika důvodů. Jedním z nich je charakterizace zatíženého traktoru, kdy se zjišťuje, zda garantovaný výkon a jeho tahové schopnosti odpovídají a zvládnou i podmínky jiné než ve zkušebnách. Tahová síla nám dále napomáhá určit, zda traktor, za kterým je kypřič zapřažen, není vystaven větší tahové síle a naopak. Vystavení vyšší tahové síle může mít za následek značné zvýšení spotřeby nafty a opotřebení traktoru. V opačném případě pak nevyužití potenciální tahové síly traktoru a plošné ztráty.

Mimo jiné má naměřená tahová síla značný vliv na vývoj a konstrukci strojů. Naměřené údaje jsou podkladem pro teoretické výpočty, tedy zda zkonstruované stroje při určité hloubce a pojezdové rychlosti vydrží takový odpor půdy a zda budou pracovat, tak jak mají. Proto je při výběru kypřiče velmi důležité provést zkoušku kypřiče v prostředí a podmínkách, kterým bude v podniku vystaven.

9 Seznam použité literatury

BAČÁK, J. Problematika utužení a zhutnění půd technikou v rostlinné výrobě. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Červinka, CSc.

BAUER, F. Traktory a jejich využití. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013, 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6.

BAUER, F., SEDLÁK, P., ŠMERDA, T. Traktory. 1. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-86726-15-0.

BOŘIVOJ, Š. Fyzikální degradace půdy a způsoby ochrany 2. Zpravodaj: Ekozemědělci přírodě. Olomouc, 2008, 2008(12): 1.

ČERMÁK, P. Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. Brno, 2012. Bachelářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

DROLL, P. 1999. Erstellung von geokodierten Karten mit Bodenkennwerten. Msc, thesis (Diplomarbeit Hohenheim), unpublished (unveröffentlicht), (in German).

HŮLA, J., MAYER, V. Technologické systémy a stroje pro zpracování půdy. Institut výchova a vzdělávání Ministerstva zemědělství v Praze. 1999.

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. Minimalizace zpracování půdy. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2008, 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.

JANDÁK, J., PRAX, A., POKORNÝ, E. Půdoznalství. Brno, MZLU v Brně. 2001. 142s.

KOLÍNSKÝ, J. Technologie setí při ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy. Mechanizace zemědělství – speciál. Č. 1. s. 2-10.

KOSTELANSKÝ, F. 2004: Obecná produkce rostlinná. Vyd. 2. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 212 s. ISBN 80-7157-765-0.

KROULÍK, M. 2013. Technique in precision agriculture technology. Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the associate professor. Czech University of Life Sciences Prague. (in Czech).

KUMHÁLA, F., a kol., Zpracování půdy. In Zemědělská technika – stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007.

KUMHÁLA, F. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita. 2007. 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7.

LAMMERS, P., SUN, Y., MA, D. 2007. Using a combined sensor for mapping soil resistance force and soil water content. Landtechnik, 5, 330-331.

NOVÁK, P., CHYBA, J., KUMHÁLA, F., PROCHÁZKA, P. 2014. The measurement of stubble cultivator draught force under different soil conditions. Agronomy Research, 12 (1), 135-142.

PAUL, W. 1992. Zugkraftmessungen zur Teilschlagkartierung. Landtechnik, 47, 490–491.

POKORNÝ, E., ŠARAPATKA, B., HEJÁTKOVÁ, K. Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka. Vyd. 1. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura. 2007. 27 s. ISBN 978-80-903548-5-2.

RAŠOVSKÁ, H. Vliv podvozku na energetické a výkonnostní parametry traktorů. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce prof. Ing. František Bauer, CSc.

ROZSYPAL, R. Zpracování půdy. Epos: Metodické listy č. 2. 2011, 4.

RUCINS, A., VILDE, A., NOWAK, J. 2007. Impact of the share inclination angle on the ploughing resistance. 7, 199–209.

ŠABATKA, J. Zpracování půdy pro mák. 2014. 33. Labris, s.r.o.

ŠIMON, J., LHOTSKÝ, J. a kol. Zpracování a zúrodnování půd. Praha. SZN. 1989. 317s.

ŠKODA, V. Současné a nové trendy ve zpracování půdy. Katedra obecné produkce rostlinné a agrometeorologie: ČZU v Praze. 2005.

VAN BERGEIJK, J., GOENSE, D. 2001. Soil Tillage Restiance as a Tool to Map Soil Type Differences. Journal of Agricultural Engineering Research 79(4), 371–387.

VÁŇOVÁ, M., MATUŠINSKÝ, P., JAVŮREK, M., VACH, M., 2/2012: Vliv způsobu zpracování půdy na výskyt vybraných chorob obilnin. Obilnářské listy, 20. ročník, 40 – 45 s. ISSN 1212-138X.

ZEMÁNEK, V. Technologie zpracování půdy a jejich vliv na zaplevelení obilnin. Brno. 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Winkler, Ph.D.

WOLKOWSKI, R., LOWERY, B. Soil compaction: Causes, concerns, and cures. University of Wisconsin, 2008, 2008(05), 8.

10 Seznam internetových odkazů

J. DEJONG-HUGHES, J., MONCRIEF, J. F., VOORHEES, W. B., SWAN, J. B. Soil compaction: causes, effects and control. In: University of Minnesota EXTENSION [online]. University of Minnesota, 2001 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/tillage/soil-compaction>.

HŮLA, J. Zpracování půdy [online]. 2001 [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/zpracovani-pudy/>.

JAVOREK, F. Podmítka základem zpracování půdy. Zemědělec [online]. 2008 [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/podmitka-zakladem-zpracovani-pudy/>.

JURÁŇ, C. PEDOLOGIE: Fyzikální vlastnosti půd [online]. 2010. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://www.projekt-eu.unas.cz/moduly/nlp/32_hmotnost_pudy_struktura_konzistence_a_porovitost.pdf.

LEWIS, R. History of Agriculture. [online]. 2002. [cit. 2015-11-25]. Encyclopedia.com. Dostupné z: http://www.encyclopedia.com/topic/History_of_Agriculture.aspx.

MAŠEK, J. Technologie zpracování půdy. In: AGROjournal [online]. 2016 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.agrojournal.cz/clanky/technologie-zpracovani-pudy-134>

Mechanizace zpracování půdy [online]. JČU, 2013 [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2013/11/zpracovani_pudy.pdf.

PEXA, M. Možnosti uplatnění dynamických měření při diagnostice motorových vozidel [online] 2005 [cit. 2016-02-10]. Dizertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze Technická fakulta Katedra jakosti a spolehlivosti strojů. Dostupné z: <http://tf.czu.cz/~PEXA/Publikace/Autoreferat>.

PROCHÁZKOVÁ, B. SMUTNÝ, V. LUKAS, V. WINKLER, J. DRYŠLOVÁ, T. Zpracování půdy zakládání porostů [online]. Brno. 2011 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: http://www.zeraagency.eu/dokumenty/007008003/prochazkova_blanak_zpracovani_pudy.pdf.

SKLÁDANKA, J. VYSKOČIL, I. VEČEREK, M. Ekologické faktory lučních stanovišť: Půdní luční typy. Travinné ekosystémy: Multimediální učební text [online]. 2009 [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/trek/index.php?N=4&I=3.

SMOLOVÁ, I. Půdní poměry ČR [online]. 2011 [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCR1/Pudni%20pomery%20text.pdf>.

11 Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram zrnitostních tříd.</i>	7
<i>Obrázek 2: Zpracovatelnost půdy.</i>	8
<i>Obrázek 3: Omezení vsakování vody do půdy.</i>	11
<i>Obrázek 4: Dřevěné rádlo.</i>	14
<i>Obrázek 5: Ruchadlo bratranců Veverkových.</i>	15
<i>Obrázek 6: Rychlá podmítka po sklizni (SwifterDisc XE 8000).</i>	17
<i>Obrázek 7: Stroj na minimalizační zpracování půdy (OmegaOO Ferti).</i>	19
<i>Obrázek 8: Seřízení desky smyku (polohy A, B C).</i>	29
<i>Obrázek 9: Pohyb traktoru při smykování.</i>	30
<i>Obrázek 10: Posklizňové zbytky na pozemku.</i>	40
<i>Obrázek 11: Zjišťování vlastnosti půdy před měřením tahové zkoušky.</i>	41
<i>Obrázek 12: Zařízení pro měření tahové síly.</i>	42
<i>Obrázek 13: Penetrometr.</i>	42
<i>Obrázek 14: Tahová souprava s měřícím zařízením.</i>	43
<i>Obrázek 15: Měřící zařízení připojeno přímo ke kypřiči.</i>	43
<i>Obrázek 16: Kvalita zpracování půdy kypřičem.</i>	44
<i>Obrázek 17: JD 8320 RT.</i>	45

12 Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Limitní hodnoty fyzikálních vlastností zhutnění půd. (Hůla et al, 2008, upraveno)</i>	10
<i>Tabulka 2: Stupeň pevnosti suché ornice v závislosti na půdním druhu. (Rozsypal, 2011, upraveno)</i>	12
<i>Tabulka 3: Účinek nářadí na půdu. (Rozsypal, 2011, upraveno)</i>	24
<i>Tabulka 4: Základní parametry strojů s rotačními poháněnými pracovními nástroji. (Kumhála, 2007, upraveno)</i>	28
<i>Tabulka 5: Výpočet jednotlivých parametrů tahové účinnosti.....</i>	46
<i>Tabulka 6: Podkladové hodnoty traktoru JD 8320 RT.</i>	62
<i>Tabulka 7: Podkladové hodnoty kypřiče Köckerling Vario 480.</i>	63
<i>Tabulka 8: Výpočty ročních fixních nákladů.</i>	64
<i>Tabulka 9: Jednotkové fixní náklady.</i>	64
<i>Tabulka 10: jednotkové variabilní náklady.</i>	65
<i>Tabulka 11: Jednotkové přímé náklady.</i>	66
<i>Tabulka 12: Jednotkové přímé náklady na orební soustavu.</i>	66

13 Seznam grafů

<i>Graf 1: Tahová účinnost.</i>	46
<i>Graf 2: Naměřené hodnoty bez zahloubení kypřiče.</i>	47
<i>Graf 3: Průběh tahové síly na rámu v 1. průjezdu.</i>	48
<i>Graf 4: Průběh tahové síly na tyči v 1. průjezdu.</i>	48
<i>Graf 5: Porovnání sil naměřených v 1. průjezdu.</i>	49
<i>Graf 6: Průběh tahové síly na rámu ve 2. průjezdu.</i>	50
<i>Graf 7: Průběh tahové síly na tyči ve 2. průjezdu.</i>	50
<i>Graf 8: Porovnání dvou sil ve 2. průjezdu.</i>	51
<i>Graf 9: Průběh tahové síly na rámu ve 3. průjezdu.</i>	51
<i>Graf 10: Průběh tahové síly na tyči ve 3. průjezdu.</i>	52
<i>Graf 11: Porovnání sil ve třetím průjezdu.</i>	52
<i>Graf 12: Porovnání měření na rámu ve třech průjezdech.</i>	53
<i>Graf 13: Porovnání měření na rámu ve třech průjezdech pomocí krabicového grafu.</i>	53
<i>Graf 14: Porovnání měření na tyči ve třech průjezdech.</i>	54
<i>Graf 15: Porovnání měření na tyči ve třech průjezdech pomocí krabicového grafu.</i>	54
<i>Graf 16: Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce v 1. průjezdu.</i>	56
<i>Graf 17: Porovnání penetrometrického odporu v 1. průjezdu.</i>	57
<i>Graf 18: Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce ve 2. průjezdu.</i>	58
<i>Graf 19: Porovnání penetrometrického odporu ve 2. průjezdu.</i>	59
<i>Graf 20: Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce ve 3. průjezdu.</i>	60
<i>Graf 21: Porovnání penetrometrického odporu ve 3. průjezdu.</i>	61