

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Eroze zpracování půdy a její dopady na hospodaření
v podmínkách ČR**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Novák Ph.D.

Autor práce: Bc. Pavel Brož

PRAHA 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Pavel Brož

Zemědělská technika

Název práce

Eroze zpracováním půdy a její dopady na hospodaření v podmínkách ČR

Název anglicky

Tillage erosion and its impact on soil management in Czech Republic conditions

Cíle práce

Cílem práce bude vyhodnotit dopad eroze zpracováním půdy na půdní prostředí v podmínkách ČR z hlediska možnosti půdní degradace.

Metodika

Literární rešerše soudobých tuzemských i cizích pramenů s důrazem na problematiku posunu půdních částic vlivem půdního zpracování a jeho dopadu na půdní prostředí. Praktická část bude obsahovat výsledky z měření posunu půdních částic v rámci konkrétních variant zpracování půdy zejména na svažitých pozemcích. Data budou náležitě statisticky zhodnocena a okomentována.

Doporučený rozsah práce

55 stran

Klíčová slova

půda, zpracování půdy, degradace

Doporučené zdroje informací

Govers, G., Lobb, D.A., Quine, T.A. 1999. Tillage erosion and translocation: emergence of new paradigm in soil erosion research. *Soil & Tillage Research* 51, 167-174.

Hůla, J., Procházková, B. et al., 2008: Minimalizace zpracování půdy. Profi Press s.r.o., Praha, 248 p

iessen, K.H.D., Lobb, D.A., Mehuys, G.R., Rees, H.W. 2007. Tillage erosion within potato production in Atlantic Canada: II. Erosivity of primary and secondary tillage operations. *Soil & Tillage Research* 95, 320-331.

Li, S., Lobb, D.A., Lindstrom, M.J. 2007. Tillage translocation and tillage erosion in cereal-based production in Manitoba, Canada. *Soil & Tillage Research* 94, 164-182.

Morgan, R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation. Third Edition. Blackwell Publishing company, Malden, USA. p. 304.

Titli, E.A., 2002: Soil tillage in agroecosystems. CRC press, U.S.A., 367 p.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Petr Novák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 11. 2018

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma eroze zpracování půdy její dopady na hospodaření v podmínkách ČR 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. Beru na vědomí, 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. 2019

.....

Podpis autora

Poděkování

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

Eroze zpracováním půdy a její dopady na hospodaření v podmínkách ČR

Souhrn:

Většina výzkumu eroze v České republice je zaměřena především na erozi vodní a větrnou. Tato eroze patří k nejvíce diskutovaným faktorům půdní degradace. Eroze při zpracování půdy není tak zkoumaná jako výše zmíněná vodní eroze a přitom se podílí značným způsobem na degradaci půdy stejně jako eroze vodní či větrná.

Tato diplomová práce pojednává o posunu půdních částic během jejího zpracování. Zkoumá vliv eroze při daném způsobu zpracování půdy. Zpracování půdy je rozděleno na dvě části. První částí je primární zpracování, podmítka. Druhou částí je sekundární zpracování, tedy příprava půdy před setím.

Experimentální výsledky ukazují, že na posun půdních částic má značný vliv daný stroj, kterým byla agronomická operace provedena. Mezi jednotlivými stroji určenými ke zpracování půdy jsou velké rozdíly, především v konstrukci pracovních nástrojů. Pravděpodobně proto je významný rozdíl v naměřených hodnotách mezi jednotlivými stroji zejména z pohledu podélného přesunu.

Značný vliv na posun půdních částic má také sklon pozemku, který je obhospodařován. Správně zvoleným strojem na daném pozemku lze tedy značně ovlivnit posun půdních částic.

Klíčová slova: půda, přesun půdy, eroze půdy, zpracování půdy, kypřič, degradace.

Tillage erosion and its impact on soil management in Czech Republic conditions

Summary:

Most erosion research in the Czech Republic is focused primarily on water and wind erosion. This erosion is one of the most discussed factors of land degradation. Soil erosion is not as explored as the aforementioned erosions, but it also contributes significantly to soil degradation as well as water or wind erosion.

This diploma thesis deals with the transfer of soil particles during its tillage. It examines the effect of erosion in a given soil tillage methods. Soil tillage is divided into two parts. The first part is primary tillage with stubble disc tiller. The second part is secondary tillage- i.e. soil preparation of the soil before sowing.

The experimental results show that the transfer of soil particles is significantly influenced by the machine used to perform the agronomic operation. There are great differences between the individual tillage machines, especially in the design of work tools. Therefore, there is probably a significant difference in measured values between machines, especially from the perspective of longitudinal displacement.

The slope of the land that is being cultivated also has a significant impact on the shift of soil particles. Thus, the correct choice of machine on a given plot can significantly influence transfer of soil particles.

Key words: soil, soil translocation, soil erosion, soil tillage, tiller, degradation.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Zpracování půdy	3
2.1. Historie	3
2.2. Současnost zpracování půdy v České republice	4
2.2.1. Technologie s orbou	4
2.2.2. Technologie bez orby.....	6
2.2.3. Půdoochranné zpracování	7
2.2.4. Přímé setí	8
2.3. Trendy zpracování půdy.....	8
3. Eroze	10
3.1. Eroze v České republice	10
3.2. Druhy eroze.....	12
3.2.1. Vodní eroze	12
3.2.2. Určení ohroženosti pozemku vodní erozí v podmínkách České republiky	15
3.2.3. Opatření proti vodní erozi	16
3.2.4. Větrná eroze	17
3.2.5. Opatření proti větrné erozi.....	20
3.2.6. Sněhová eroze.....	21
4. Pohyb půdních částic při zpracování půdy	22
4.1. Posun půdních částic ze svahu dolů	22
4.2. Vertikální pohyb částic	23
4.3. Horizontální pohyb částic	24
4.4. Vliv rychlosti pohybu stroje na pohyb půdních částic	24
4.5. Vyhodnocení posuvu půdních částic	25
5. Cíl práce.....	27
5.1. Výchozí předpoklady	27
6. Metodika	28
6.1. Příprava měření.....	29
6.2. Stroje použité k měření	30
6.3. Metody použité při experimentu	31
7. Výsledky měření	33
8. Diskuze	46
9. Závěr	50
10. Seznam použité literatury.....	52

11.Seznam obrázků.....	58
12.Seznam tabulek.....	59
13.Seznam grafů	60

1. Úvod

Bez rostlin by na naší planetě Zemi nemohl existovat život tak, jak ho známe a jak ho žijeme. Téměř všechny ostatní organismy jsou svou výživou přímo i nepřímo závislé na rostlinách a rostliny na půdě, proto je pro nás půda nesmírně cenná.

Velká část rostlin se pěstuje, případně samovolně roste na půdách ve svých přirozených stanovištích, které zajišťují rostlinám vhodné podmínky a látky pro životní procesy. Především vodu a ostatní živiny. Znalost nejvýznamnějších vlastností půdy je pro pěstování rostlin nesmírně důležitá, a proto jejich ovlivnění je předpokladem úspěšného pěstování většiny plodin. Půdu značíme jako přírodní útvar, který vznikl a vyvíjí se z povrchových zvětralin zemské kůry a organismů. Působením podnebí a půdotvorných procesů má charakteristické rysy určitého stanoviště, jako například porostu, geologického substrátu, nadmořské výšky, polohy, povětrnostních a hydrologických podmínek a mnohdy i vlivu člověka.

Vznik a vývoj půdy je dlouhodobým procesem trvajícím staletí až tisíciletí. Půda tak patří k neobnovitelným zdrojům, případně obtížně obnovitelným, mající strategický význam pro současné i budoucí generace. S ohledem na zvětšující se počet obyvatel Země a úbytek využitelné půdy pro zemědělské účely jí připadá na jednoho obyvatele stále méně a méně.

Půda zajišťuje potravinovou bezpečnost i přirozené prostředí pro všechny živé organismy na Zemi. Z tohoto v podstatě existenčního hlediska vyplývá nutnost dobré péče o půdu a její ochranu. Nicméně nejedná se jen o omezení úbytku kvalitní půdy, nýbrž o udržování jejich dosavadních vlastností. Značný úbytek velmi kvalitních půd v posledních letech v ČR ve prospěch podnikatelských aktivit, zejména pro výstavbu skladů, supermarketů, parkovišť a silnic, není racionální a je neomluvitelný. Už v roce 1937 dokonce i Franklin Delano Roosevelt prohlásil: „Národ který ničí svoji půdu, tak ničí sám sebe.“

Ve Spojených státech to byl velký impuls pro vědecký výzkum. Ochrana půdy je zde zkoumána již už od 20. let minulého století a má zde tradici. Velkým průkopníkem v ochraně půdy se stal Hugh Hammond Bennett.

Mezi další základní rizika snížení kvality zemědělské půdy patří vodní a větrná eroze, úbytek organické hmoty v půdě, omezení biologické aktivity zhutnění půdy a eroze způsobená zpracováním půdy. Při degradaci zemědělské půdy velmi často dochází ke kombinaci výše zmíněných jevů. Rovněž lze nalézt příčinnou souvislost mezi těmito výše zmíněnými nežádoucími jevy. Půda znehodnocená jedním z těchto jevů, ztrácí odolnost vůči dalším rizikům. Při hospodaření na půdě jakýmkoliv systémem by mělo být v trvalém zájmu

uchování úrodnosti půdy a jejích ekologických funkcí. Vliv kvality půdy na zemědělskou produkci je nediskutovatelným faktem, který zásadně ovlivňuje možnost výživy lidstva. Půda je tak mimo vodu nejcennějším přírodním zdrojem na Zemi. Toto není vždy bohužel reflektováno nejen zemědělci, ale hlavně širší veřejností, kdy v poslední době vztah člověka k půdě je povážlivě narušen.

2. Zpracování půdy

2.1. Historie

Tak, jak se rozvíjelo zemědělství docházelo i k rozvíjení zpracování půdy, a to tisíce až desetitisíce let před naším letopočtem. První záznamy se objevují na území blízkého východu v oblasti zasahující severovýchodní Afriku, jihozápadní Asii a jihovýchodní Evropu, kterou tvoří dnešní státy: Bahrajn, Egypt, Irák, Irán, Jordánsko Saúdská Arábie a další. Při primárním zemědělství se půda nijak nezpracovávala. Využívalo se jen schopnosti obilovin vyklíčit při dotyku s půdou. K zapravení osiva do půdy bylo využíváno hospodářských zvířat. Tato zvířata v různých časových intervalech zašlapovala osivo do půdy.

Na počátku čtvrtého tisíciletí před Kristem se začali vyskytovat na tehdejších polích první rádla. Tato rádla měla za úkol nakypřit půdu před setím či sazením. Postupným vývojem docházelo k modernizaci a rádla se měnila na ruchadla. Po příchodu oceli byla tato dřevěná ruchadla osazována ocelovými prvky a spolu s nimi vznikali další drobné nástroje. Tento systém zpracování půdy pomocí rádel nebo motyk vydržel až do konce osmnáctého století.

Protože toto zpracování půdy nebylo zcela efektivní, došlo v letech 1824-1827 k vynalezení ruchadla bratřenci Veverkovými. To mělo za následek zvýšení produkce. (Hůla, Procházková 2008).

Dalším velkým mezníkem při zpracování půdy byl vývoj univerzálního tažného prostředku-traktoru. Traktor nahradil tažnou sílu koní a volů. Díky vyššímu výkonu traktoru oproti koním, dochází k doplnění vyššího počtu radlic u pluhu nebo větších záběrů strojů na zpracování půdy po orbě (smyky, brány, válce).

Posledním vývojem při zpracování půdy je rozvoj minimalizačních a půdoochranných technologií a to zejména vyžití navigačních prostředků. Tento trend je velice ekonomicky zajímavý.

2.2. Současnost zpracování půdy v České republice

V současnosti je půda zpracovávána na různou hloubku, intenzitu zpracování ale co je nejdůležitější i různým způsobem. Zpracování půdy je popisováno jako mechanický zásah, promíchání povrchu pozemku. To je provedeno za účelem vytvoření co nejvhodnějších podmínek pro růst a výživu rostlin (Or a Ghezzehei 2002).

Podle Hůly a Procházkové (2008) lze rozdělit zpracování půdy:

- technologie s orbou (konvenční zpracování),
- technologie bez orby (minimalizační),
- minimalizace s kypřením půdy do zvolené, zpravidla malé hloubky,
- půdoochranné zpracování,
- přímé setí.

2.2.1. Technologie s orbou

Technologii s orbou také označujeme jako konvenční zpracování půdy. Toto zpracování je založené na každoročním obracení ornice pomocí radličných pluhů (samozřejmě pokud se na pozemcích nevyskytuje víceletá plodina). Radličné pluhy jsou stroje používané k orbě. Orba je mechanické zpracování půdy, při kterém se odkrojí, převrátí a rozdrobí skýva ornice a zároveň se tím půda provzdušní. Půda se tedy pluhem drobí, mísí, kypří a obrací (Kumhála et al. 2007).

Půda zpracovaná pluhem, tedy rozdrobená, promísená, obracená a nakypřená, může být nadále opětovně utužená. Utužení se provádí pomocí pěchů připojených za pluh. Tyto pěchy mohou být buď pevně spojeny s rámem pluhu, nebo mohou být připojovány pomocí táhla a závěsného zařízení.

Orbu můžeme rozdělit podle hloubky:

- mělkou, do 180 mm,
- střední, 180 mm až 240 mm,
- hlubokou 240 mm až 300 mm a
- velmi hlubokou (někdy až do hloubky 500mm), (Kumhála et al. 2007).

Nevýhodou orby je, že utužuje půdu pod zoranou vrstvou, tím pádem zanikají povrchové kapilární póry, přibývá nerozložených rostlinných zbytků a vzrůstá utužení povrchové vrstvy půdy (Roth et al. 2003). Konvenčně zpracované půdy vlivem dlouhodobé kultivace mají tendenci zmenšovat objem pórů, naopak na bez orebně zpracovaných půdách se objem pórů s časem zvyšuje (Voorhees, Lindstrom 1984).

Konvenční zpracování půdy má však i mnohá úskalí.

Mezi něž patří:

- poškozování fyzikálních vlastností podorničí (utužování podorničí),
- vysoká energetická náročnost orby a s tím spjatá spotřeba paliva v nevhodných podmínkách při zpracování,
- riziko, že bude půda po orbě příliš pórovitá a málo odolná proti utlačení (nutnost ji utužit nebo nechat přirozeně ulehnout),
- vysoké riziko vodní nebo větrné eroze půdy po zaorání všech rostlinných zbytků.

I přes tato úskalí je orba nenahraditelná, například po okopaninách na urovnání povrchu, na zaorání stniště po pěstování kukuřice atd. (Páltik et al. 2003)

Orbu je možné s úspěchem kombinovat s drcením hroud (obr. 1). Díky pčechu dochází k intenzivnímu rozdrobení hroud a zpětnému utužení. Povrch půdy je okamžitě připraven pro další operace a je možné tím výrazně zkrátit technologickou přestávku pro přirozené sesednutí.



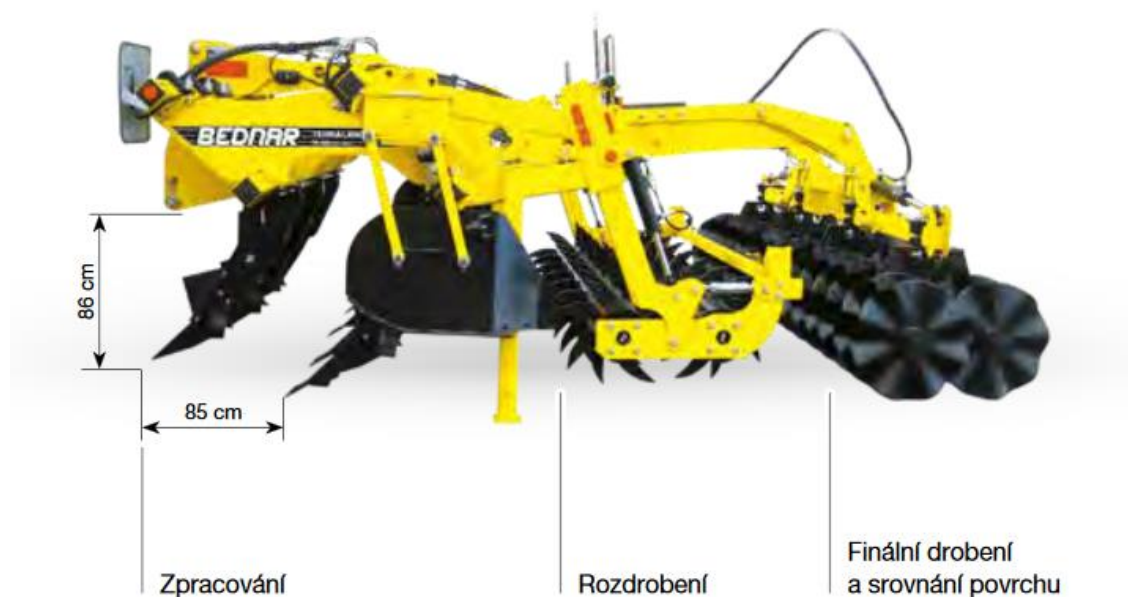
*Obrázek 1: Traktor Ford 8830 s pětiradličným pluhem a pčechem.
Zdroj: Brož (2018)*

2.2.2. Technologie bez orby

Volba způsobů zpracování půdy je ovlivňována nejen agronomickými podmínkami, ale i používáním různých pěstitelských systémů. Velký vliv má také ekonomická a dále pak kulturní bariéra v různých zemích. Minimalizační technologie zpracování půdy jsou v současné době považovány za významnou alternativu konvenčních technologií s orbou. (Hůla a Procházková, 2008).

K prvnímu významnému rozšíření minimalizačních technologií došlo na území dnešních Spojených států amerických a v jižní Evropě v 19. století. Největší rozmach byl zaznamenáván v 20. a 30. letech 20. století právě ve Spojených státech amerických, kde intenzivní zpracování půdy a větrná eroze měly za následek degradaci půdy. Maximalizace rozvoje minimalizačních technologií dále probíhala zejména díky příchodu glyfosátů. Glyfosát je širokospektrální herbicid a desikant plodin.

Největší rozvoj a rozšíření minimalizačních technologií v posledním období lze dát do souvislosti s vývojem a dostupností kvalitní techniky.



Obrázek 2: Terraland, Dlátový pluh
Zdroj: www.bednar-machinery.com

Podle Sommera a Zacha (1990), je konzervační ochranné zpracování půdy založeno na dvou základních myšlenkách:

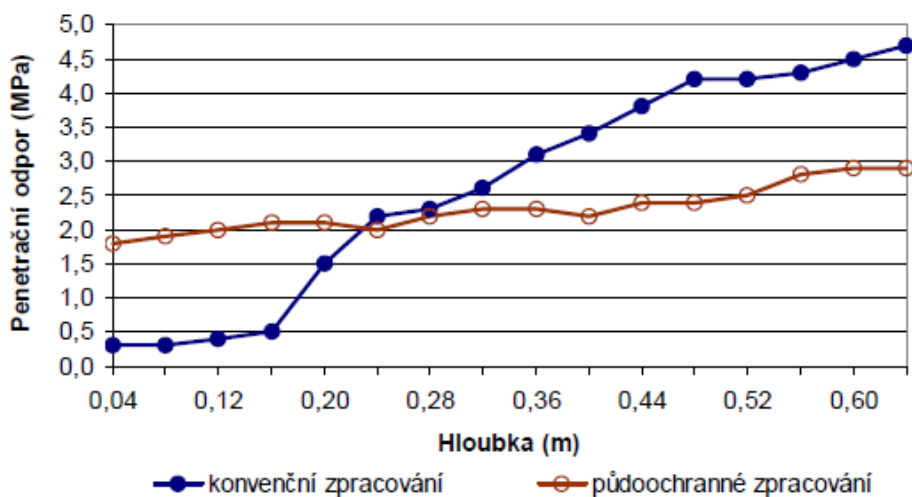
- V první řadě jde o snižování intenzity konvenčního zpracování půdy a snížení počtu zpracování půdy.
- Druhou myšlenkou je fakt, že posklizňové zbytky a biomasa z meziplodin se ponechají na povrchu nebo v malé hloubce pod povrchem půdy.

2.2.3. Půdoochranné zpracování

Ochranné technologie zpracování by měly zajistit pokrytí povrchu půdy alespoň z 30 % rostlinnými zbytky po zpracování. To má dva základní důvody:

- již zmíněné redukování obracení půdy a prodloužení klidu půdy. Cílem je dosažení stabilnější struktury půdy než při konvenčním zpracování půdy,
- ponecháním rostlinných zbytků předplodin a meziplodin na povrchu pozemku nebo blízko pod povrchem docílíme vyšší odolnosti proti erozi, menších ztrát vlhkosti půdy a menšího vyplavování živin a to hlavně dusíku (Páltik et al., 2003; Skalický, 2004).

Nevýhodou může být vyšší zhutnění půdy ve vrchních vrstvách.



Obrázek 3: Penetrační odpor půdy (Praha-Ruzyně) 9let od založení pokusu.

Zdroj: Hůla (2010)

Z grafu je patrné vyšší zhutnění půdy u půdoochranné technologie zhruba do 0,25 m, avšak ve srovnání s konvenční technologií je další nárůst hodnot směrem do hloubky velmi malý (Hůla 2010).

Technologie bez orby jsou dlouhodobě v největší míře využívány v USA. Půdoochranné zpracování půdy zde bývá dále děleno na několik způsobů. Brady a Weil (1999) rozdělili půdoochranné technologie na pět základních typů:

- Ridge-till (zpracování půdy s vytvořením hrůbků) - Tato technologie byla vytvořena především pro široko řádkové plodiny. Vytvořením hrůbku o výšce cca 100-150 mm a uložením posklizňových zbytků mezi hrůbky dochází v ideálních podmínkách až k 70 % zakrytí povrchu půdy. Vytvořené hrůbky mohou zůstat na pozemku i několik sezon. Nebo jiným případem jsou každoročně obnovovány (Šimon et al., 1999).
- Strip-till (zpracování půdy v pásech) - Je označení pro technologii, u které se půda zpracovává v úzkých pruzích, do nichž je uloženo osivo, případně i hnojivo. Mezi těmito pruhy zůstává půda nezpracována.
- Mulch till – Je technologie, při níž po zpracování půdy zůstane nejméně 30 % rostlinných zbytků na nebo blízko povrchu půdy, použitím radličkových, talířových a dlátových nástrojů pro zpracování půdy, ochrana proti plevelům je prováděna pomocí herbicidů a kultivací.
- Reduced-till – Jiný systém zpracování půdy a setí, který zanechá nejméně 30 % pokrývnost rostlinných zbytků na povrchu půdy. Minimální zpracování půdy, které je nutno provést k založení porostu plodin a regulaci zaplevelení.
- No-till (direct-drilling, zero-tillage,)

2.2.4. Přímé setí

No-till (direct-drilling, zero-tillage,):

Technologie přímého setí spočívá v setí do nezpracované půdy. Půda není po sklizni nijak mechanicky zpracována, proto pro tuto technologii jsou potřeba speciální secí stroje. Po setí je povrch rozrušen, a to maximálně z 25 % a povrch půdy je pokryt z 80-90 % rostlinnými zbytky. Proto je tato technologie výhodná pro použití na svažitých i jiných pozemcích náchylných k erozi (Mašek et al., 2015).

2.3. Trendy zpracování půdy

Prvním milníkem, v následujících letech bude větší, významnější rozšíření satelitních navigací, díky kterým bude zemědělství ještě přesnější. Se zvyšující se hmotností traktorů a neustálému pojiždění těchto těžkých strojů po pozemcích dochází k zhutňování půdy, toto

nežádoucí utužení můžeme částečně zmírnit využitím CTF-technologie. Tato technologie je ale spjata s využíváním právě navigací. Dále se budou více rozvíjet technologie tvorby sklizňových map (známé jako výnosové mapy), jež mají za úkol monitoring údajů o sklizené plodině. Zároveň můžeme s využitím GPS dostat přesná data o výnosu určité plodiny na dané části pozemku. Z výsledků výnosových map lze poté přizpůsobit technologii setí, a především technologii hnojení (zejména variabilitu dávkování). Tam, kde bude pozemek nebo jeho část zmapován výnosovou mapou, jako méně výnosový, může secí stroj automaticky přidávat na výsevku větší množství osiva (horší podmínky vzcházení). Velikost tohoto přidaného množství bude závislá nejen na předchozích datech, ale i na tom, jak je část pozemku připravená před setím (zejména jaké jsou například velikosti hrud na povrchu pozemku). Tyto informace budeme zjišťovat například umístěním soustavy čidel na secím stroji.

Druhým milníkem bude větší rozšíření technologie, která omezuje ztráty půdy v závislosti na erozi a to, jak erozi vodní, tak erozi větrné. Právě tyto technologie také umožňují více zadržet vodu v půdě. Jak došlo k rozšíření managementu posklizňových zbytků, tak dojde k vytvoření a rozšíření managementu vody v půdě. V budoucnu je možné, že na pozemcích s kulturními plodinami bude muset být voda přivedena uměle, jako je tomu doposud v oblasti pěstování zeleniny (rozšíření závlahové technologie i mimo zelinářské oblasti).

Třetím milníkem bude rozšíření automatických robotů k operacím na pozemcích. Tito roboti budou sledovat kondici pěstovaných rostlin, budou zajišťovat jak výživu, tak i ochranu rostlin. Nebude potřeba plošná aplikace herbicidů, fungicidů či pesticidů. Roboti budou naprogramováni tak, aby byli schopni kulturní rostliny rozpoznat od plevelů a plevele zahubit. Buď mechanicky, například okopáváním, nebo chemicky použitím herbicidů.

Čtvrtým milníkem bude výrazné omezení glyfosátu v zemědělství. Již od ledna roku 2019 je zakázané používat glyfosáty před sklizní tzv. desikace (E-agri, 2019). Což znamená použití herbicidu před sklizní např. řepky, které výrazně urychluje a usnadňuje samotnou sklizeň a zároveň zmenšuje náklady na následné dosoušení.

3. Eroze

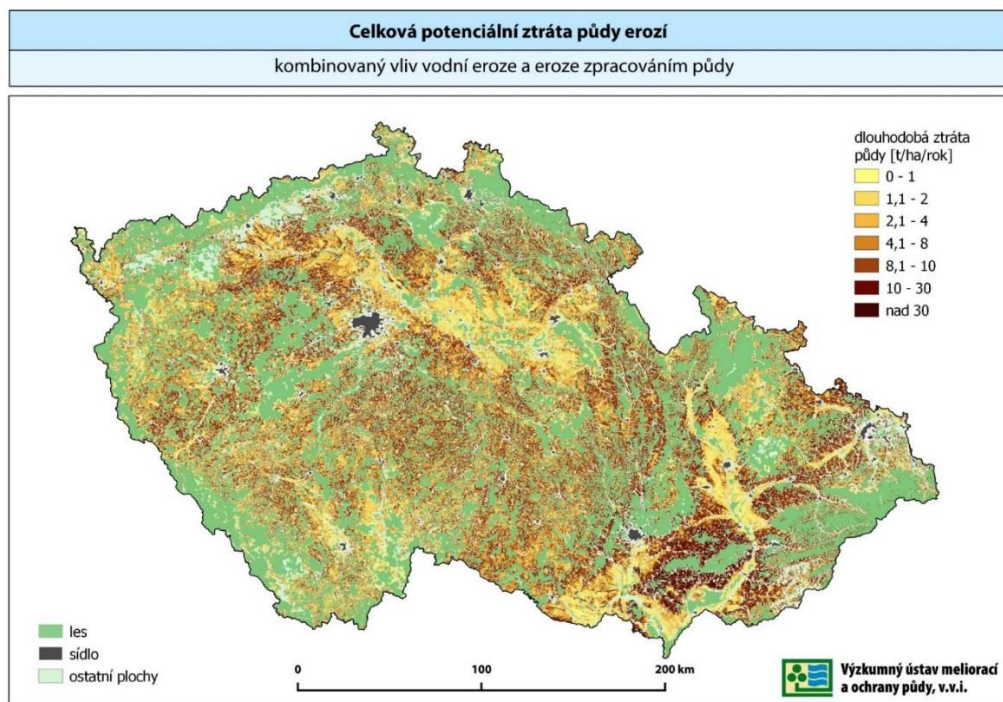
Eroze je přírodní proces, přirozený, při kterém působením vody, větru, ledu, případně jiných činitelů dochází k rozrušování povrchu půdy a jejich následnému usazování. Je to reliéfový proces, starší než pohoří tvořená sedimentárními horninami (Podrázská et al., 2007).

Erozi tedy můžeme definovat jako kompendium přirozených procesů, které mají za důsledek narušování půdy, transport a následné ukládání sedimentů v podobě pevných částic. Tyto procesy jsou z velké části urychlené nepatřičnými zásahy ze strany člověka (Sklenička et al., 2006).

Bennet (1939) rozlišuje erozi normální (přirozenou) a zrychlenou. Působením erozních činitelů se zemský povrch snižuje – degraduje. Eroze ochuzuje půdu o nejurodnější část – ornici, snižuje obsah živin a humusu, zvyšuje šterkovitost, působí kvalitativní ztráty na osivu a sadbě. Sedimenty znečišťují vodní zdroje, snižují průtočnost, poškozují majetek a zdraví obyvatel (Podhrázská et al., 2007).

3.1. Eroze v České republice

Podmínky ČR jsou charakterizovány vysokou průměrnou svažitostí pozemků. Janeček et al. (2002) publikuje, že až polovina půdy v ČR je ohrožena erozí. Navíc je ČR charakterizována vysokou mírou zornění a největší průměrnou velikostí pozemků (způsobeno zejména kolektivizací v 50. letech 20. století.) v celé EU. Kromě vodní a větrné eroze půdy dochází v podmínkách střední Evropy k poškozování kvality a úrodnosti půdy působením strojů a pracovních operací při zpracování půdy.



Obrázek: 4 Vliv vodní eroze a eroze zpracováním půdy.

Zdroj: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Na převážné ploše erozí ohrožených půd není prováděna systematická ochrana, která by omezovala ztráty půdy na stanovené přípustné hodnoty, tím méně na úroveň, která by bránila dalšímu snižování mocnosti půdního profilu a ovlivňování kvality vod v důsledku pokračujícího procesu eroze. V období transformace zemědělských družstev a privatizace zemědělství po roce 1989 se očekávaly změny v přístupu k využití a ochraně zemědělské půdy, trend k šetrnějšímu hospodaření a utváření menších výrobních a územních celků. Privatizace zemědělské výroby však očekávané zmenšení velikosti pozemků a tím zvýšení diverzity ploch polních plodin nepřinesla. Hlavní možnosti ochrany půdy před erozí spočívají v realizaci pozemkových úprav, zejména pak komplexních pozemkových úprav. Pozemkové úpravy, respektující vlastnické, ekologické, hospodářské, vodohospodářské, dopravní a další poměry, jsou základními opatřeními, při nichž lze nejlépe uplatňovat zásady protierozní ochrany. Nedílnou součástí protierozní ochrany je aktivní spolupráce zemědělců hospodařících na erozí ohrožených pozemcích při respektování a uplatňování zásad správného hospodaření a při vhodné volbě pěstovaných plodin, včetně ochoty v nezbytné míře přijímat návrhy komplexních protierozních opatření organizačního, agrotechnického a technického charakteru (Janeček et al., 2007).

Další dílčí možností ochrany zemědělské půdy před erozí je greening. Jde doslova o ozelenění v zemědělství. Za základními pravidly greeningu je snaha motivovat zemědělce pomocí dotací k lepšímu a ekologičtějšímu hospodaření v rámci ochrany životního prostředí. Na území České republiky byly stanoveny environmentálně cenné plochy, na nichž je znemožněna změna trvalých travních porostů na jakoukoliv jinou kulturu (www.szif.cz/cs/greening).

3.2. Druhy eroze

Podle erozních činitelů můžeme erozi rozdělit na erozi vodní (akvatickou), erozi větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou, gravitační, biologickou nebo antropogenní (Kubátová, 2001).

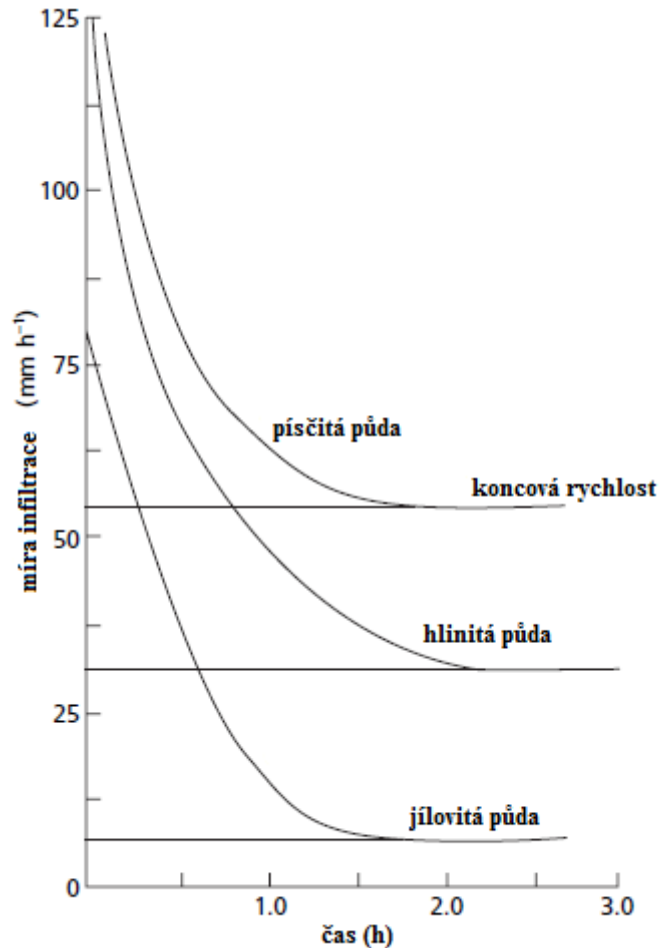
3.2.1. Vodní eroze

Vodní eroze je vyvolávána destrukční činností dešťových kapek, povrchového odtoku a následným přemísťováním uvolněných půdních částic povrchovým odtokem. Intenzita vodní eroze je dána charakterem srážek, půdními poměry, morfologií území (sklonem, délkou a tvarem svahů), vegetačními poměry a způsobem využití pozemků, včetně používaných agrotechnologií. Uvolňování a transport půdních částic může být vyvolán i odtokem z tajícího sněhu nebo ledu. (Janeček et al. 2007).

Erozivní účinek dešťových srážek je dán jejich kvalitativními charakteristikami. Tyto charakteristiky jsou především intenzita a kinetická energie, (velký vliv má vzájemná kombinace). Vodní eroze je tedy funkcí erozivity deště. Ta je dána rozrušovací silou kapek. Nejdůležitější faktory, působící na rozrušovací sílu, jsou velikost kapek a jejich tvar, úhel dopadu, povrchové napětí, doba trvání a opakování deště a jeho intenzita (Torri et al., 1987).

Procesy vodní eroze jsou úzce spjaty s cestami, kterými voda proniká přes vegetační kryt těsně před tím, než dopadne na povrch. Během prudkých srážek, část vody spadá přímo na zemi, a to buď proto, že neexistuje žádná vegetace, nebo proto, že prochází mezery, mezi rostlinami. Tato složka srážek je známá jako přímý průsak. Část deště je zachycena rostlinou (listy), odkud se buď vrací do atmosféry odpařováním, nebo najde cestu k zemi odkapáváním z listů. To nazýváme odvodněním listů. Účinky přímého průhybu a odvodnění listů produkuje tzv. „erosion rainsplash“. Déšť, který se dostane na zem, může být uložen v malých prohlubních nebo dutinách na povrchu, nebo může proniknout do půdy, což přispívá k zvyšování vlhkosti půdy. Když půda není schopna přijmout více vody, přebytek spadlé

vody je nucen k odtoku po povrchu, což vede k erozi (Morgan 2005). Důležitá je tedy schopnost půdy infiltrovat vodu (Obr. 5).



Obrázek: 5 Typické míry infiltrace pro různé půdy (Withers & Vipond 1974).

Upravil: Brož (2019).

Z grafu jasně vyplývá, že písčité půdy mají schopnost infiltrovat vodu větší než hlinité půdy. Hlinité půdy mají schopnost infiltrovat vodu větší než půdy jílovité.

Podle Hortona (1945), jestliže intenzita srážek je nižší než infiltrační kapacita půdy, nedochází k povrchovému odtoku a rychlost infiltrace se rovná intenzitě dešťové srážky. Pokud intenzita dešťové srážky překračuje infiltrační kapacitu půdy, rychlost infiltrace se rovná infiltrační kapacitě a nadměrný déšť vytváří povrchový odtok.

Jako mechanismus pro generování odtoku však toto srovnání intenzity dešťových srážek a kapacity infiltrace ne vždy souhlasí.

Podle Morgana et al. (1986) ze studie v Bedfordshire z Anglie víme, že na písčité půdě je měřená infiltrační kapacita větší než $400 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ a intenzita srážek zřídka přesahuje $40 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Takže by teoreticky neměl vznikat žádný povrchový odtok, zatím co ve skutečnosti je průměrný roční odtok přibližně 55 mm při ročním průměru srážek 550 mm .

Důvodem odtoku je, že tyto půdy jsou náchylné k vývoji povrchovou krustu.

Krusty lze rozlišit na dva druhy:

- když se kůra vytváří in situ na povrchu, jedná se o strukturální kůru,
- pokud vzniká z ukládání jemných částic půdy v kalužích, tvoří se depoziční kůra. (Boiffin, 1985).

Jak vyplývá ze studií o hlinitých půdách na severovýchodě Francie, krusta může snížit infiltrační kapacitu od 45-60 % do asi $6 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, v případě strukturální kůry a $1 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ v případě depoziční kůry (Boiffin & Monnier 1985, Martin et al., 1997). Infiltrace z 50 % na 100 % může dojít v jediné bouři (Torri et al. 1999).

Poesen (1984) kladl důraz na důležitost tvorby krusty a její těsnosti a dále zjistil, že míra infiltrace byla vyšší na strmých svazích, kde vyšší rychlost eroze zabraňuje tvorbě těsné krusty. Přítomnost kamení nebo skalních úlomků na povrchu půdy také ovlivňuje infiltraci, ale poměrně složitým způsobem. Obecně můžeme říct, že úlomky chrání půdu před fyzickým ničením a tvorbou kůry, takže míra infiltrace je vyšší než srovnatelná půda bez kamenů. Nicméně na půdách, které trpí snadným vznikem krusty, může vysoký procentní poměr kamenů způsobit ještě horší situaci (Poesen a-Sanchez, 1992).

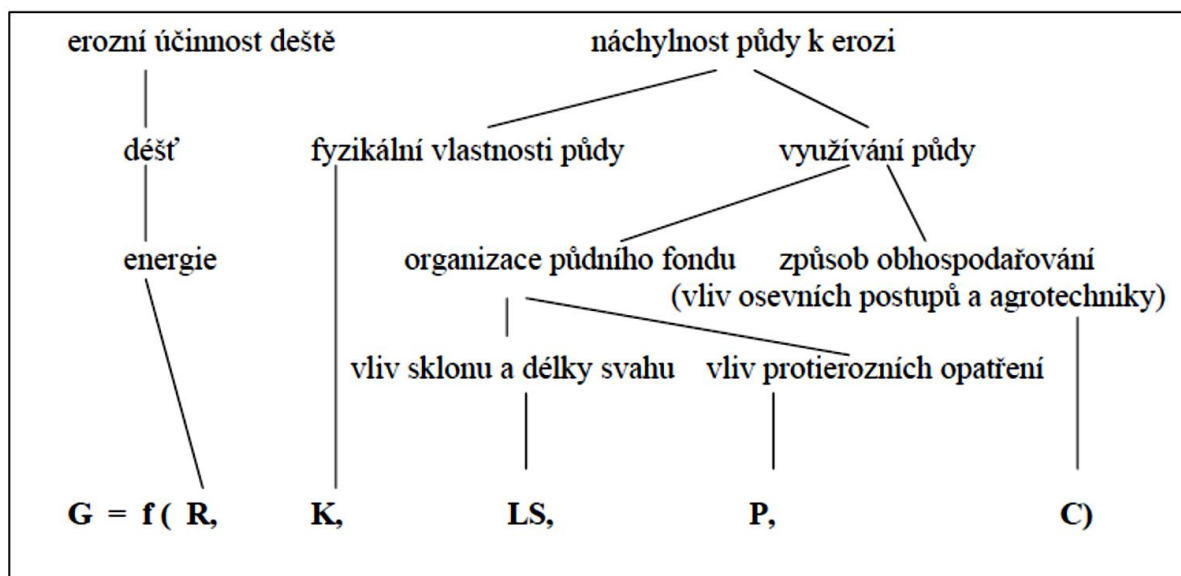
Tvorba povrchových kůr vzniká ucpáním vzduchových pórů v půdě. Toto ucpání je zapříčiněno prudkým dopadem dešťových kapiček. Účinek dešťových kapiček na částice půdy je snadno určen velikostí hybnosti jedné kapky, která padá na šikmou plochu. Dešťová kapka s určitou kinetickou energií způsobí po dopadu oddělení malých částeczek půdy, které zakryjí a ucpou povrchové póry v půdě a vytvoří kluzkou povrchovou vrstvičku. Dešťová voda potom stéká spolu s malými částeczkami půdy až k místu, kde se jejich rychlost vlivem sklonu pozemku zmenší a dochází k usazování částic půdy (Derpsch, et al., 1991).

Složení krusty podle Tacketta a Pearsona (1965):

Krusta se skládá ze dvou částí, a to vrchní části, tzv. povrchové kůry o tloušťce $0,1 \text{ mm}$ s dobře orientovanými jílovými částicemi. Pod tím je vrstva tloušťky $1-3 \text{ mm}$, kde jsou větší prostory pórů vyplněny jemnějším promytým materiálem.

3.2.2. Určení ohroženosti pozemku vodní erozí v podmínkách České republiky

V podmínkách ČR se pro určení intenzity eroze doporučuje a je nejčastěji používána parametrická rovnice tzv. "**Univerzální rovnice**" podle Wischmeiera a Smithe (1978), pomocí níž lze určit dlouhodobě průměrné roční ztráty půdy z jednotky plochy. Jedná se o empirický model, u něhož přesnost výsledků závisí na přesnosti vstupních údajů. Uvedenou rovnici lze ilustrovat pomocí blokového schématu Hudsona in Holý (1978):



Rovnice má tvar:

$$G = R . K . L . S . C . P$$

kde :

- **G** - průměrná dlouhodobá ztráta půdy t.ha⁻¹ za rok
- **R** - faktor erozní účinnosti deště
- **K** - faktor erodovatelnosti půdy
- **L** - faktor délky svahu
- **S** - faktor sklonu svahu
- **C** - faktor ochranného vlivu vegetace
- **P** - faktor účinnosti protierozních opatření

Jednotlivé parametry této rovnice byly určeny na základě dlouhodobého výzkumu eroze. Uvedenou rovnicí lze zjistit dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy. Nelze ji použít pro období kratší, tím méně pro výpočet ztráty půdy z jednotlivých dešťových srážek (Kubátová, 2001).

3.2.3. Opatření proti vodní erozi

Zemědělskou půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí vhodnými protierozními opatřeními. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků a nádrží, intravilánů měst a obcí atd.) při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti zemědělské výroby (Janeček, 2007).

Podle Janečka (2007) zásady ochrany proti vodní vycházející ze znalostí příčin vzniku erozních jevů a zákonitostí jejich rozvoje a vyústíjí v obecné protierozní zásady:

- včasný termín výsevu plodin,
- výsev víceletých pícnin do krycí plodiny,
- posun podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů, tzn. na září,
- zařazování bezorebně setých meziplodin,
- rozmístění plodin podle ohroženosti pozemku.

Protierozní rozmístování plodin

Hlavní skupiny plodin lze rozdělit do těchto kategorií:

- plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetace - trvalé travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny
- plodiny s dobrou protierozní ochranou půdy po větší část vegetačního období - obilniny, meziplodiny, luskoviny
- plodiny s nedostatečnou protierozní ochranou půdy po převážnou část vegetačního období - kukuřice, slunečnice, brambory, cukrovka, (Podhrázská 2009).

Agrotechnická opatření

Způsob obdělávání zemědělské půdy, je podmíněn speciálními nebo vhodně upravenými mechanizačními prostředky. V prvé řadě by mělo jít o směr orby, přípravy před setím, setí a o všechny ostatní kultivační i sklizňové operace. Pokud to sklon, tvar a systém mechanizačních prostředků prováděných na pozemku dovolí, měla by být uplatněna zásada provádění agrotechnických operací ve směru vrstevnic, nejvýše s malým odklonem od tohoto

směru. Hlavní zásadou je tedy minimalizování období, kdy je půda bez vegetačního krytu. V protierozních opatřeních se velmi účinně uplatňují podsevy nebo meziplodiny, které se vysévají po sklizni hlavní plodiny, zejména při provádění podmítky. K tomu se hodí např. hořčice, svazenka apod., jejichž porosty přes zimu vymrznou. Další variantou je použití ozimého ječmene s žitem, nebo ječmene s jíllem mnohokvětým. Tyto porosty je nutno před výsevem hlavní plodiny na jaře umrtvit herbicidy pokud možno bez dalších reziduálních účinků (Podrázská et al., 2009).

Tyto technologie jsou finančně přijatelné pro zemědělce, dostatečně účinné a působí na snížení erozních procesů zlepšováním půdních vlastností a působí již v horních částech povodí, zpravidla na svazích, které jsou velmi sklonité. To je rozdílné od technických protierozních opatření, která jsou vysoce finančně nákladná a napravují hlavně problémy s erozí vzniklé v horních částech povodí a zpravidla chrání cenné části území (Hůla et al., 2010).

Technická opatření

Při řešení protierozní ochrany v určitém povodí nejsou samostatně použita agrotechnická a organizační opatření schopna ve většině případů podstatně omezit povrchový odtok. Proto je nezbytné rozdělit svažité a plošně rozsáhlé pozemky.

Pokud nelze dosáhnout dostatečné protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, je nutné použít technická protierozní opatření, jako jsou terénní urovnávky, vrstevnicové meze, terasy, příkopy, zatravněné údolnice, ochranné hrázky a protierozní nádrže. Tato opatření jsou navrhována zejména v rámci pozemkových úprav, či při využití evropských dotací. Vytváří základní kostru protierozní ochrany v území. Po realizaci těchto opatření a zajištění následné péče a údržby existuje jistota trvalé účinnosti na rozdíl od předcházejících organizačních a agrotechnických opatření. Technická protierozní opatření omezují a zpomalují povrchový odtok, rozdělují příliš dlouhé a svažité pozemky, zachycují smytou zeminu, chrání města, obce a například i komunikace před škodami způsobené povrchovým odtokem a naplavenou zeminou. Ze všech protierozních opatření jsou finančně nejnáročnější. Kromě protierozního efektu mají také značný ekologický přínos (Nerušil, et al. 2015).

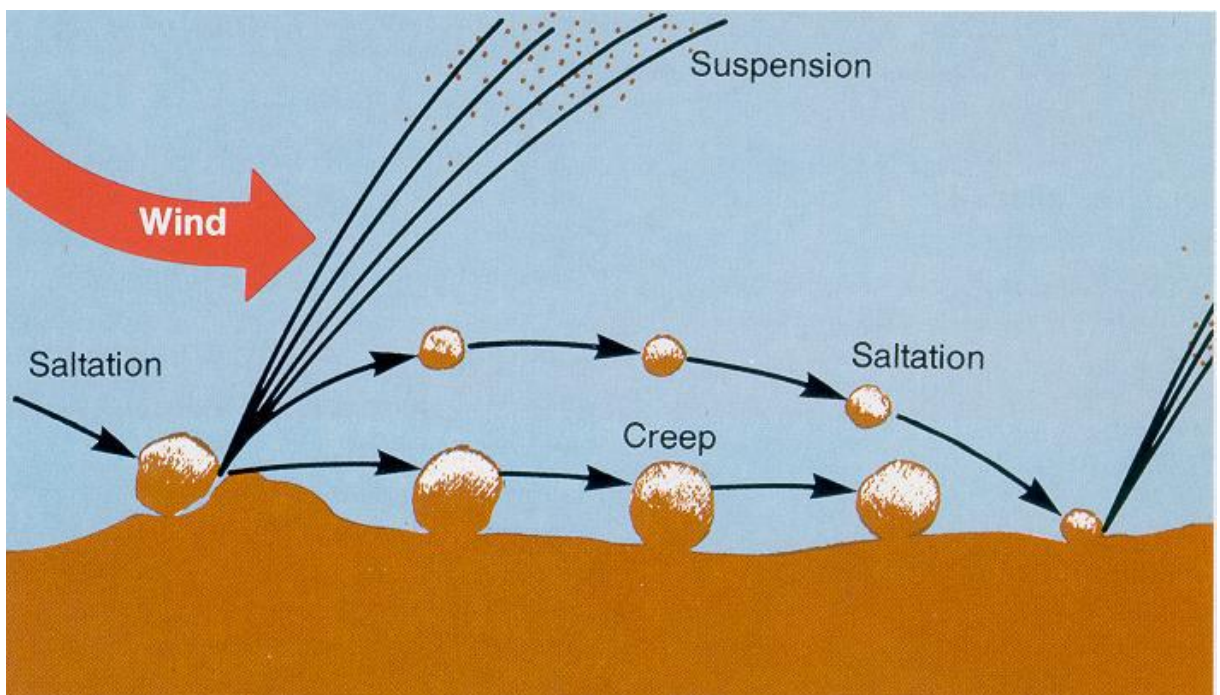
3.2.4. Větrná eroze

Větrná eroze je přírodní jev, při kterém je zkoumána energie větru. Vítr působí na půdní povrch svou mechanickou silou, rozrušuje půdu a uvolňuje půdní částice. Částice jsou

tedy uvedeny do pohybu a mohou být přeneseny na různou vzdálenost. Po snížení rychlosti větru dochází k ukládání těchto částic. K pohybu půdních částic stačí někdy i malé rychlosti, ale nejsilnější erozní účinky nastávají při silných výsušných a dlouhotrvajících větrech na holých plochách (Janeček, et al., 2008).

Podle Vrány, et al. (1998) se deflace rozdělují:

- Pohyb ve formě suspenze, kdy jsou nejmenší částice jsou zvedány větrem a přenášeny v mracích.
- Pohyb skokem neboli saltace, je to hlavní druh pohybu při větrné erozi. Tímto způsobem je přemístěno až 80% celkové zeminy.
- Pohyb sunutím po povrchu, neboli creep, je pohyb větších a těžších částic



Obrázek: 6 Transport půdních částic

Zdroj: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/eroze%2010_vetrna_vyber.pdf

Podle Janečka et al. (2008) se faktory ovlivňující větrnou erozi rozdělují na:

- *Klimatické faktory*, jež v sobě zahrnují intenzitu, směr, četnost větrů a vlhkost území. S tím úzce souvisí vztah, který je vyjádřený pomocí erozně-klimatického indexu C.

$$C = \frac{v^3}{W^2}$$

Kde:

v – rychlost větru

W – efektivní vlhkost území

- *Půdní faktory* (struktura půdy, drsnost půdního povrchu, vlhkost půdy)
K větrné erozi dochází nejčastěji na půdě bez vegetace, při nízkém obsahu jílnatých částic a při nízké vlhkosti půdy.

Pro teoretické posouzení deflace (odnášení uvolněných částic a jejich přemístování (pohyb), se uvádí empirická rovnice, určující pohyb částic o průměru od 0,1 do 0,5 mm:

$$v = \sqrt{g * (\beta + \alpha * d)}$$

- d – průměr částic (m)
- v – rychlost větru při zemi ($m * s^{-1}$)
- g – zrychlení zemské tíže ($9,81 m * s^{-1}$)
- α a β – součinitelé stanovené experimentálně $\alpha = 14$ a $\beta = 0,008$.

Z rovnice vyplývá, že čím je větší průměr půdních částic, tím je potřebná větší rychlost větru při zemi, aby nastal odnos (Janeček, et al., 2008).

Dále platí, že čím větší je obsah jílnatých částic v půdě, tím je vyšší odolnost těchto půd vůči větrné erozi. Tyto částice se shlukují do agregátů, a tím pak více odolávají větru. Nejvíce ohroženy jsou půdy lehké (písčité a hlinitopísčité) (Janeček, et al., 2008).

Pro komplexní posouzení podstatných vlivů na proces větrné eroze byla Woodruffem a Siddowayem (1956) sestavena rovnice k výpočtu intezity větrné eroze:

$$E = I * K * C * F(L) * F(V)$$

- E - Potenciální ztráta půdy větrnou erozí ($t * ha^{-1} * rok^{-1}$)
- I – Faktor erodility půdy, vyjadřuje ztrátu půdy v $t * ha^{-1}$ z rovného, vegetací nepokrytého pozemku.

- **K** – Faktor drsnosti půdního povrchu.
- **C** – Klimatický faktor
- **L** – Faktor délky pozemku
- **V** – Faktor vegetačního krytu půdy

3.2.5. Opatření proti větrné erozi

Organizační opatření

Základem organizačních opatření je uspořádání pozemků, výběr kultur podle náchylnosti právě k větrné erozi.

Nejúčinnější opatření proti větrné erozi je pěstování trvalých porostů. Například trvalý travní porost chrání půdu před erozí a udržuje půdní vlhkost. Významně zvyšují ochranu půdy před erozí i ozimé obiloviny a dále jsou také vhodné ozimé meziplodiny, zvláště pak pokud jsou spjaty s přímým výsevem následné plodiny do strniště.

Pásové střídání plodin patří také k základním způsobům ochrany před větrnou erozí. V oblastech, kde je intenzita větrné eroze příliš vysoká se pásy orné půdy střídají s pásy trvalých travních porostů. V méně ohrožených oblastech je možné střídat plodiny odolnější vůči větru s méně odolnými. Obvykle se navrhují pásy široké od 40 m do 200 m (Janeček, et al., 2008).

Agrotechnická opatření

Do této skupiny řadíme především ochranné obdělávání, které zvyšuje nedostatečnou půdoochrannou funkci pěstovaných plodin a dále úpravu struktury půdy a zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd. Agrotechnická opatření jsou časově i finančně náročná vzhledem k použití speciálních strojů, aplikaci herbicidů, nákladů na osivo i výsev meziplodin.

Protierozní odolnost půdy je nutno zvyšovat udržováním trvalého strukturního stavu s dostatečnou vlhkostí závlahou, hnojením, zejména pomocí organických hnojiv.

Při zpracování půd ohrožených větrnou erozí by měly být používány takové stroje, které vytvářejí hroudy a půdu nerozprašují. Na nestrukturních písčitých půdách je možné zvýšit odolnost proti větrné erozi použitím strukturovaných látek. Tyto látky vytvářejí na povrchu půdy druhotné agregáty. K tomuto účelu je možné použít například sypkých jílovitých nebo hlinitých zemin, rybníčního bahna, cukrovarnických kalů, kompostu s větším obsahem jílnatých částic nebo rašeliny a bentonitu (Janeček, et al., 2008).

Technická (biotechnická) opatření

Snížení rychlosti větru a jeho škodlivého účinku lze dosáhnout i tím, že se proti větru staví umělé nebo přirozené překážky. Jako umělé zábrany se používají přenosné ploty. Vzhledem k malé výšce je však jejich účinnost malá. Umělé překážky se umísťují zpravidla tam, kde je třeba dočasně chránit citlivé plodiny (především zeleninu) (Janeček, et al., 2008).

Přirozené překážky, nazývané také jako větrolamy, lze rozdělit do tří základních typů na:

- proudové
Složené z jedné nebo dvou řad stromů, bez keřového patra
- neprodouvané
Složené z více řad stromů i keřového patra
- poloprodové
Složené z jedné až dvou řad stromů a keřového patra (Janeček, et al., 2008).

3.2.6. Sněhová eroze

Tato eroze není v podmínkách České republiky tolik rozšířená jako vodní eroze a větrná eroze. Sněhová eroze se značně liší od eroze dešťové tím, že kinetická energie, kterou působí sněhové srážky při dopadu na povrch půdy, je zcela zanedbatelná a veškerá energie pochází pouze z odtékající vody. Erozní působení vody z tajícího sněhu je o to intenzivnější, protože v krátkém čase může dojít k rychlému odtoku velkého množství vody se značnou potenciální transportní kapacitou.

Během tání může voda zaplnit póry v ještě promrzlém profilu a tím, že zmrzne zabraňuje infiltraci. Odtok je tedy mnohem větší a proto má voda velkou transportní kapacitu (Janeček, et al., 2008).

4. Pohyb půdních částic při zpracování půdy

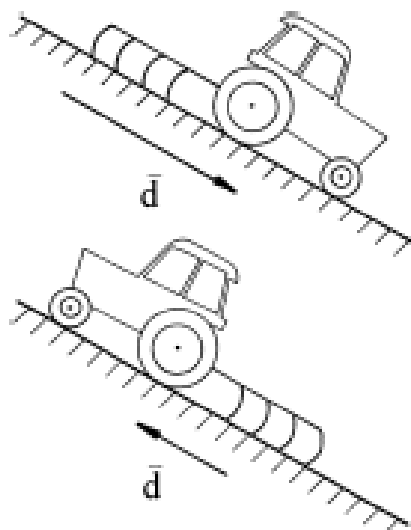
Eroze zpracování půdy a související studium přemístování půdních částic pracovními operacemi při zpracování půdy je poměrně novou oblastí výzkumu eroze půdy. Převážná většina vědeckých studií byla zaměřena na kvantifikaci ztráty půdy způsobenou právě vodní a větrnou erozí, avšak nejvýznamnějším degradačním činitelem působícím na ornou půdu v morfoloicky členitém prostředí je podle Van Muysena et al. (2002) eroze způsobena zpracováním půdy (posun půdních částí po svahu dolů při běžné kultivaci půdy). Například bylo zjištěno, že eroze zpracováním půdy se podílí sedmdesáti procenty na celkové ztrátě půdy na vrchní části svažitéch pozemků v podmínkách lokality Ontario, Kanada. Eroze způsobena zpracováním půdy se projevuje převážně v kopcovitém, morfoloicky rozmanitém terénu se strmými svahy. V tomto případě jsou pak nejvíce ohroženy konvexní části svahu (Papiernik et al., 2005). Blanco a Lal (2008) uvádějí, že se eroze způsobena zpracováním půdy nejvíce projevuje na vrcholcích kopců a na ramenech a hranách svahů.

4.1. Posun půdních částic ze svahu dolů

Znakem této eroze je posun půdních částic ze svahu dolů. Blanco a Lal (2008) uvádějí ztrátu půdy v rozmezí $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ až $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok v důsledku degradace zpracováním půdy. Tento údaj platí především pro podmínky západní Evropy.

Eroze zpracováním půdy se velmi liší od eroze vodní, a to především průběhem a důsledky. Pro vodní erozi je charakteristický smyv zeminy na svahu ve směru spádnice. Pro erozi zpracování půdních částic je charakteristické především každoroční obdělávání svažitéch pozemků. Tím pádem dochází ke zmenšování hloubky ornice v horní části svahů a zejména na vrcholcích terénních vyvýšenin (Blanco a Lal, 2008; Papiernik et al. 2005). V konkávních polohách na svazích dochází k ukládání přemístěné zeminy. Podle Lobba et al. (1995) je v horní části svažitéch pozemků až sedmdesáti procentní ztráta orné půdy.

Li et al (2007) považují svažitost pozemku za hlavní parametr ovlivnění eroze v důsledku zpracování půdy u všech použitých technologií zpracování. Velmi důležité je, že pohyb proti svahu nemůže být chápán jako nápravné opatření. (Novák et al., 2016). Pohyb částic při zpracování proti svahu není nikdy tak velký jako pohyb částic při zpracování po svahu. Před tímto rizikem varuje i Dercon et al (2006). Ve své studii dále prokazuje i negativní účinek eroze zpracování na kvalitativní parametry v podmínkách lehkých kambizemí.



Obrázek 7: Schématické znázornění pohybu půdy během zpracování

Zdroj: Govers et al. (1999)

4.2. Vertikální pohyb částic

Pohyb částic je ovlivněn konstrukčním řešením pracovních nástrojů na zpracování půdy a podmínkami uplatnění strojů, protože mezi jednotlivými typy strojů a technologiemi na zpracování půdy jsou velké rozdíly. Velké rozdíly jsou i v hodnotách pohybu půdních částic. Například radličné pluhové obrábění, tak, že půda, která byla na povrchu, je zapravena do spodní vrstvy zpracovávané hloubky. Vertikální zpracování půdy je tedy větší než například u přímého setí. U přímého setí, jak je už v této práci uvedeno je půda narušována minimálně. Proto je vertikální pohyb půdy nízký.

Vezmeme-li v úvahu ukazatel vertikálního pohybu půdy rozmístění posklizňových zbytků, můžeme použít měření dle Kovaříčka et al. (2010). Toto měření potvrzuje nejvyšší podíl posklizňových zbytků u dna brázdy a jeho snižování k povrchu v případě orby. Při použití kypřiče s šípovými radličkami zůstává většina posklizňových zbytků na povrchu půdy.

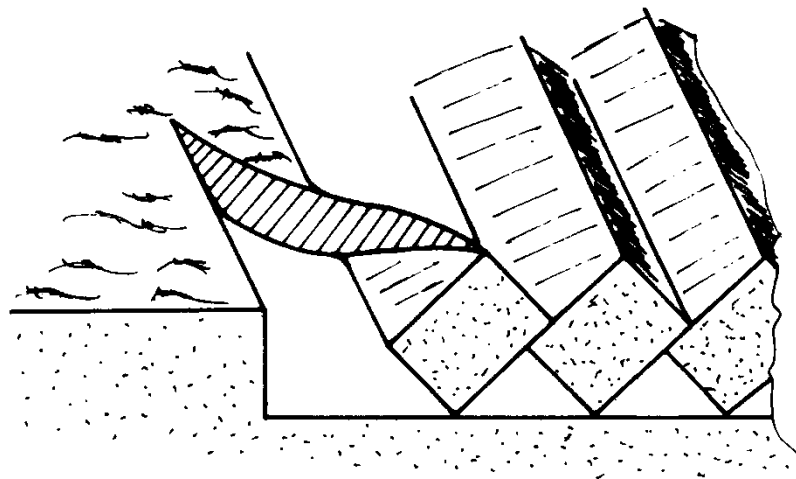
U dlátového kypřiče se většina posklizňových zbytků nalézá v mělké a střední hloubce. Do spodní třetiny hloubky zpracování se posklizňové zbytky nedostávají. Talířový kypřič zanechává nižší množství posklizňových zbytků na povrchu a většina je ve střední hloubce.

4.3. Horizontální pohyb částic

Horizontální pohyb můžeme hodnotit ve dvou směrech, a to ve směru jízdy při zpracování a ve směru kolmém. Radličný pluh nejvíce posouvá půdu v kolmém směru. Skýva je posunuta o pracovní šířku radlice (Van Muysen a kol., 2002). U ostatních typů strojů může k výraznějšímu posuvu kolmo na směr jízdy docházet pouze u jízdy na svahu ve směru vrstevnice (Barneveld et al., 2009).

Posuv půdy kolmo na směr jízdy je pozorován u talířového kypřiče. Posun sice není tak značný jako v případě pluhu, ale vyduté talíře půdu posunují. Zejména u talířových podmítačů ve tvaru X vzniká uprostřed sekcí takzvaný shoz.

Půda zpracovávaná radličnými kypřiči se nepohybuje v celém profilu stejně. Částice na povrchu se pohybují na velké vzdálenosti, protože jejich pohyb není omezován žádnými částicemi nad nimi. Naopak částice ve velké hloubce se i vlivem tlaku, kterým na ně působí vlastní hmotností půdy, pohybují pouze na malé vzdálenosti (Van Muysen et al., 2000).



Obrázek 8: Posun půdních částic při orbě

Zdroj: Kumhála et al. (2007)

4.4. Vliv rychlosti pohybu stroje na pohyb půdních částic

Van Muysen et al. (2002) a da Silva et al. (2004) považují provozní rychlost a pracovní hloubku během půdního obdělávání za hlavní faktory, které se podílejí na translokaci půdních částic. Při měření vlivu pracovní rychlosti a pracovní hloubky na posun půdních částic došel Van Muysen et al. (2000) k závěru, že posuv se s rostoucí rychlostí zvyšuje a je tomu tak i v případě vyšších pracovních hloubek. Toto tvrzení platí zejména u radličkových kypřičů.

Nicméně i u radličného pluhu Van Muysen et al. (2002) došel ke stejnému závěru, kdy se posuv půdních částic zvětšoval jak při proti svahu, po svahu tak i po vrstevnici. S rostoucí pracovní hloubkou i pracovní rychlostí, nicméně u pracovní rychlosti nebyl tento efekt tak veliký.

Jiného výsledku dosáhl výzkum Hůly a Nováka (2017). Kdy při rychlejší pracovní jízdě, cca $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ přenášel vířivý kypřič větší množství částic na delší vzdálenost. Při nízkých podélných vzdálenostech (0-0,6 m) neexistují velké rozdíly v množství pohybujících se částic. Překvapivě je nejmenší počet přenesených částic ve střední vzdálenosti 0,6-0,9 m pro střední pracovní rychlost. Například při rychlosti $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ byla nejvíce vzdálená částice 8,1 m od původního místa. Při rychlosti $9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ byla nejvíce vzdálená částka 5,9 m a při rychlosti $4,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ byla 5,1 m. Tento trend není potvrzen v jiných typech zpracování. Ve všech ostatních typech zpracování půdy je trend jasný. Při nejnižší pracovní rychlosti stroje se dopravuje nejmenší počet částic. Výsledky měření tedy zřetelně ukazují, že velikost pracovní rychlosti má vliv na přenos částic. To je pravděpodobně způsobeno přenosem celé povrchové vrstvy půdy během jejího zpracování vířivým kypřičem. Tento jev nepochybně ovlivňuje množství organické hmoty v podpovrchové i povrchové vrstvě půdy. Organická hmota způsobuje, že se větší množství částic odkloní od původního místa. Proto tedy přenos bude nepříznivě ovlivněn sklonem pozemku (Novák a Hůla, 2017).

Výsledky odhalují potřebu změny směru pohybu během sekundární přípravy půdy. Takové opatření bude jistě znamenat zvýšení nákladů na zpracování půdy u svažitých pozemků, potenciální snížení produktivity práce a zvýšení nákladů na zpracování půdy. Vyšší náklady by měly být kompenzovány snížením degradace půdy a nárůstem výnosů a kvality rostlinné produkce. Kvalita půdy je ovšem zásadní pro udržitelné hospodaření s půdou (Hůla a Novák 2018).

4.5. Vyhodnocení posuvu půdních částic

K vyhodnocování posuvu půdních částic mohou být použity dvě metody. Podle Quinea et al. (1999) byla uvedena první metoda.

- metoda č. 1

Též nazývána jako distribuční funkce. Jejím výsledkem je průměrná vzdálenost posunutí λ . Získává se odečtením průměrné polohy značkovacích tělísek před zpracováním od průměrné polohy tělísek po zpracování.

Podobným způsobem lze vypočítat směrodatnou odchylku φ , odmocněním rozdílu rozptylů před a po zpracování půdy.

Druhá metoda byla uvedena Lobbem et al. (1995):

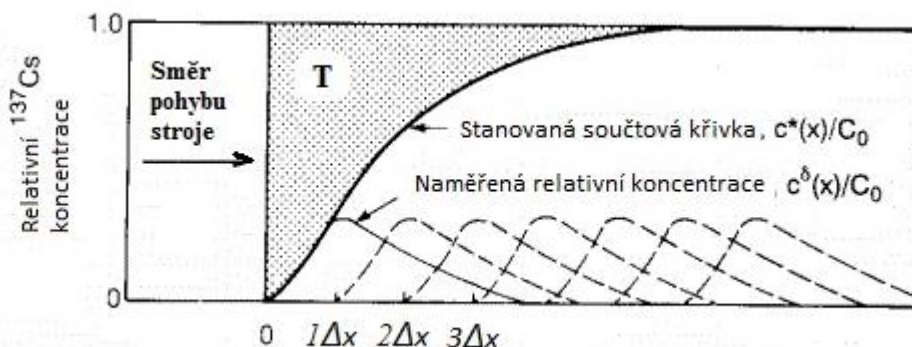
- metoda č. 2

Též nazývána součtovou křivkou. Je vidět na obrázku 9. Graf vyjadřuje na ose x vzdálenost a na ose y relativní koncentraci cesia. Naměřené křivky relativní distribuční funkce jsou vždy posunuty o šířku žlábků Δx , čímž vytvoříme následující hypotetické distribuční funkce. Koncentrace částic v jednotlivých vzdálenostech se poté sečtou, a tím vznikne součtová křivka. Jak je z grafu patrné takto křivka nabývá hodnoty od 0 do 1. Vytečkovaná plocha nad křivkou, jež je označena T, vyjadřuje relativní množství transportované půdy.

Lobb et al. (2001) uvádí, že střední hodnota transportu T_p směru pohybu stroje se vypočítá integrací z plochy nad křivkou:

$$T_p = \int_0^{\infty} (1 - C_s) dx - \int_{-\infty}^0 (c_s) dx$$

C_s vyjadřuje hodnotu křivky v bodě x a druhý integrál bere v potaz posun půdních částic proti směru jízdy například na svahu. Variabilitu posunu značkovacích tělísek lze hodnotit třemi způsoby. Dvěma různými postupy lze vypočítat směrodatnou odchylku nebo lze vypočítat percentily λ_{50} , λ_{75} , λ_{90} a λ_{95} , které dobře popisují tvar křivky. Součtová hodnota křivky na konci osciluje kolem jedničky, proto lze ze vzniklé plochy mezi oběma křivkami vypočítat experimentální chybu měření. Získá se integrací křivky o šířce drážky na jejím konci za vzdáleností vzorkování. Relativní směrodatná odchylka se získá vydělením střední hodnoty posuvu, relativní experimentální chyba se získá vydělením součtem střední hodnoty posuvu a délky drážky. Podobný postup lze také použít při použití značkovacích tělísek.



Obrázek 9: Teoretická součtová křivka

Zdroj: Lobb et al. (1995)

5. Cíl práce

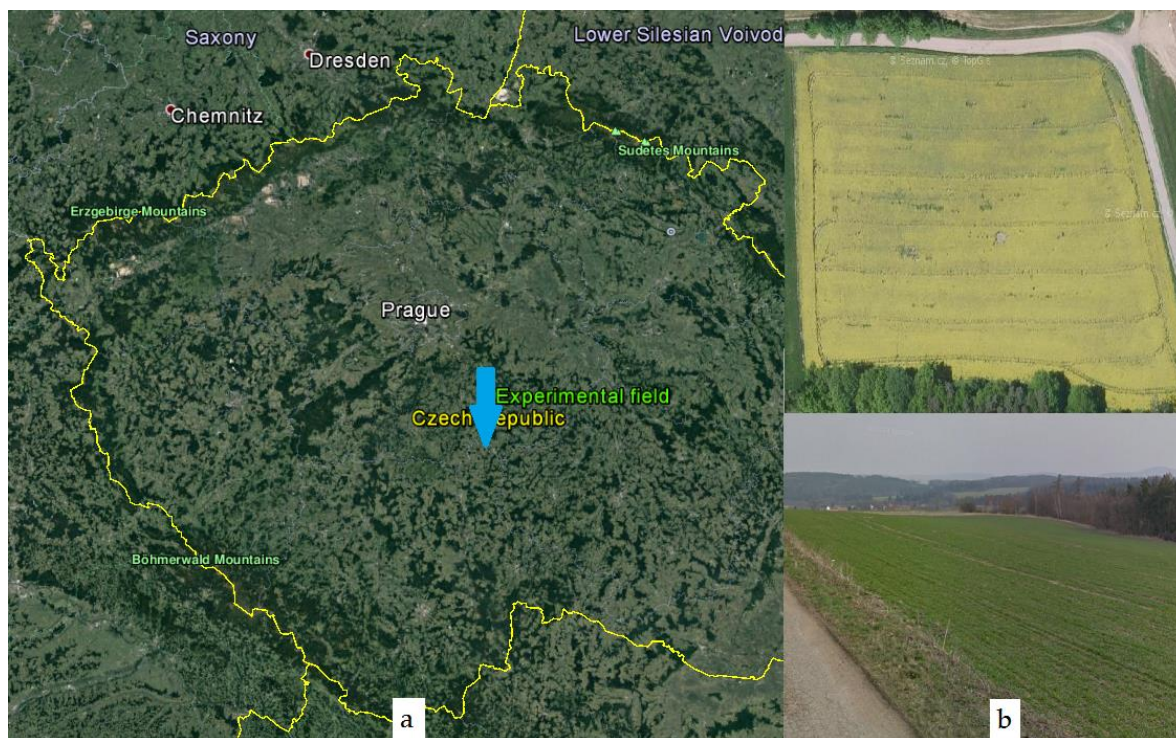
Cílem této diplomové práce je vyhodnotit přemístění půdních částic při primárním a sekundárním zpracování půdy pomocí kypřičů půdy. Prvním použitým kypřičem půdy byl talířový podmítač. Druhým kypřičem byl kombinovaný kypřič.

5.1. Výchozí předpoklady

Předpokladem je rozdílný účinek strojů pro primární a sekundární zpracování půdy na posun částic v podélném i příčném směru. Dalším předpokladem je vliv velikosti svahu na příčný přesun částic pro obě hodnocené technologie.

6. Metodika

Měření se konalo v lokalitě Nesperská Lhota u Vlašimi (GPS 49,690435 N“; 14,815578 E“) na pozemku s písčitohlinitou kambizemí, částice < 0.01 mm: 29 % hmotnosti. Sklonitost pozemku: 4.2°, a nadmořská výška 420 metrů nad mořem.



Obrázek 10. Lokalita pokusu a foto pozemku
Zdroj: Novák, Hůla (2018)

Pro zjištění fyzikálních vlastností půdy byly odebrány Kopeckého válečky, podle Vally et al. (2002) byla určena objemová vlhkost půdy v hloubce zpracování (12.2 %). Vzorčky půdy byly odebrány před začátkem měření i po měření. Válečky byly vyhodnoceny v laboratořích České zemědělské university v Praze.

Objemová hmotnosti a pórovitosti jsou zaznamenány v Tabulkách 1,2 a 3. Před primárním zpracováním půdy je patrný vliv přirozeného sesedání půdy po celou sezonu. Hodnoty pórovitosti mírně klesají, ale není patrná žádná hladina výrazně ztuhlé půdy v uvedeném hloubkovém rozsahu. Hodnoty základních fyzikálních vlastností představují typické hodnoty pro dané půdní podmínky. Není patrné žádné zásadní pochybení v agrotechnice půdy vedoucí k prudkému lokálnímu zhoršení fyzikálních vlastností půdy v této lokalitě. Z dat před a po sekundárním zpracování půdy je patrný silný kypřicí účinek kombinátoru, kdy došlo k výraznému poklesu objemové hmotnosti redukované a zároveň

došlo k výraznému nárůstu pórovitosti. Ačkoliv je stroj vybaven dvojicí zadních válců za radličkami (prutový a crosskillský), jejich utužovací efekt zdaleka nedosáhl účinku, aby došlo k redukci nakypření. V půdě je po kypření patrný nárůst zejména makropórů. Půda je samozřejmě v tomto stavu nestabilní a poměrně rychle dojde k jejímu přirozenému sesedání.

Tabulka 1. Objemová hmotnost a pórovitost před primárním zpracováním pozemku

Hloubka (m)	Obj. hm. redukováná (g.cm ⁻³)	Pórovitost (%)
0.05-0.10	1.58	37.2
0.10-0.15	1.60	35.4
0.15-0.20	1.59	34.5

Tabulka 2. Objemová hmotnost a pórovitost před sekundárním zpracováním pozemku

Hloubka (m)	Obj. hm. redukováná (g.cm ⁻³)	Pórovitost (%)
0.05-0.10	1.49	43.8
0.10-0.15	1.52	43.3
0.15-0.20	1.51	43.2

Tabulka 3. Objemová hmotnost a pórovitost po sekundárním zpracování pozemku

Hloubka (m)	Obj. hm. redukováná (g.cm ⁻³)	Pórovitost (%)
0.05-0.10	1.37	50.2
0.10-0.15	1.39	48.2
0.15-0.20	1.39	47.2

6.1. Příprava měření

Před začátkem polního pokusu byl pozemek sklizen. Po sklizni ozimé pšenice s průměrným výnosem 5,5 t/ha byla rozdrčena sláma. Po té došlo k vybrání a označení tří oblastí měření. První oblast měření byla na relativní rovině. Sklon roviny činil 2°. Druhá oblast byla vybrána na větším sklonu Tedy se sklonem 6°. Třetí oblast měla skol pozemku největší, tedy 11°. Následně došlo k měření posunu půdních částic při primárním zpracování. Po naměření dat byl celý pozemek podmítnut. Podmítka byla provedena do hloubky 0,1 m. Na začátku září byl pozemek z orán. Na orbu byl použit pluh Ross. Hloubka orby činila 0,22 m. Hned po orbě byl pozemek urovnán a to pomocí smyku a bran. V tomto stadiu byl pozemek ponechán až do konce září. Probíhalo tedy přirozené sesedání půdy.

Dále došlo znovu k označení všech tří oblastí měření. Opět byla vybrána oblast na relativní rovině se sklonem 2°.

Druhá oblast byla znovu vybrána se sklonem 6°, a třetí oblast se sklonem 11°. Sklon svahu byl měřen pomocí digitálního sklonoměru (BMI, Germany). Po vyznačení oblastí byl proveden pokus. Došlo tedy znovu k měření posunu půdních částic, ovšem při sekundárním zpracování.

6.2. Stroje použité k měření

Pro primární zpracování půdy byl použit talířový kypřič Akpil o záběru 3 m. Stroj je vybaven dvěma řadami talířů, první řada používá ozubené talíře, druhá řada používá hladké talíře. Velikost umístěných talířů je 500 mm, tedy standardní velikost. Uspořádání pracovních nástrojů je konvenční do tvaru X. Úhel, pod kterým jsou natočeny hřídele nesoucí talíře podmítače, činí 20°. Pro účely měření nebyl stroj opatřen zadním trubkovým válcem. Talířový podmítač byl připojen za traktor Zetor 130 HSX 16V. Výkon traktoru je 93,2 kW. Tento výkon je naddimenzovaný, ale na prováděný pokus měření to nemá vliv.

Pro sekundární zpracování půdy byl použit kombinovaný kypřič Saturn. Kypřič se využívá ke zpracování půdy před setím a vytvořením setového lůžka. Stroj používaný při měření byl návěsný a měl pracovní záběr 6 metrů. Ty jsou rozděleny do 4 sekcí, tudíž jednotlivé sekce mají pracovní záběr 1,5 metrů. Kypřič urovnává, kypří, drobí a zpětně utužuje půdu. Přední válce mají za úkol vyrovnávat pracovní sekci a rovnat povrch půdy. Následné smykové lišty rovnají povrch a podle velikosti mezery mezi lištou a předními válci určují množství zeminy, zejména hrud, které jsou zpětně přehozeny před první válec. Následuje sekce kypření. Kypření je prováděno pomocí šípových radliček rozprostřených ve dvou řadách. Tyto radličky odřezávají skývu v celém profilu. Záběr jednotlivých radliček je 250 mm. Po části kypření je vyskytují velice podobné míchací válce jako v přední části. Za válci se opět nachází smyková lišta. Nastavení smykové lišty je shodné jako v první části kypřiče, a shodně dochází k míchání a rozdrobování hrud. Kypřič je zakončen válci pěchovací částí. Utužení půdy je prováděno pomocí válců typu crosskill. Všechny části stroje je možné na souvrati zvednout pomocí hydraulického válce.

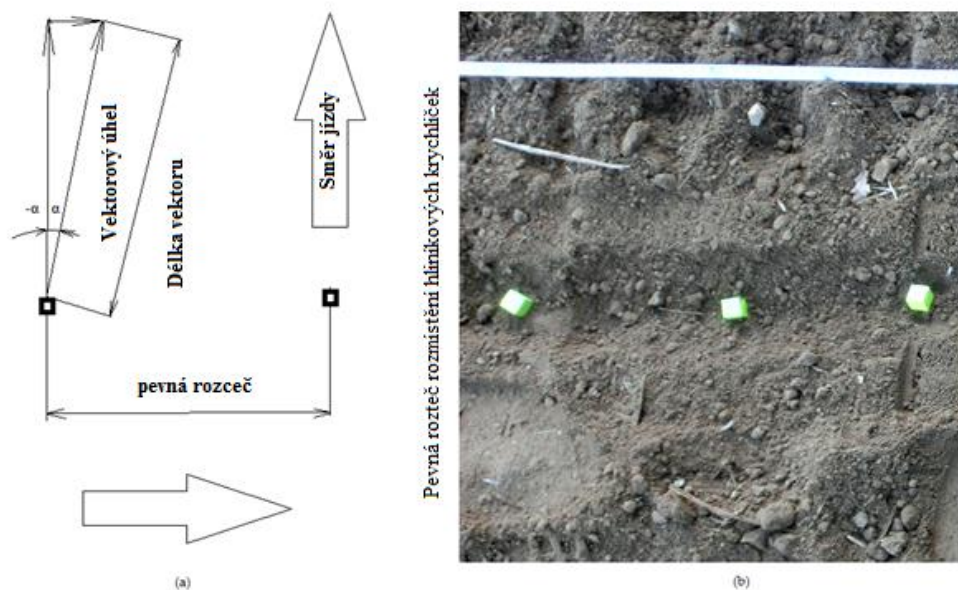
Kypřič Saturn byl připojen opět za traktor Zetor 130 HSX 16V. Výkon traktoru je mírně poddimenzovaný což snižuje možnost volby pracovní rychlosti. Pracovní rychlost stroje v obou případech měření byla 9 km/h. Hloubka primárního zpracování pomocí talířového podmítače byla 0,1 m. Hloubka sekundárního zpracování půdy

pomocí kombinovaného kypřiče by 0,06 m. Seřízení stroje bylo v souladu s agrotechnickými požadavky na příslušné pracovní operace.

6.3. Metody použité při experimentu

Při posuzování posunu půdních částic bylo použito „tracer“ metody (Govers et al., 1999; Zhang et al., 2009). Základ těchto metod spočívá v umístění stopovačů do půdy a poznamenání jejich výchozí polohy (v tomto případě ve dvou osách). Po umístění a zaznamenání stopovačů dochází ke zpracování půdy pomocí daného stroje a opětovně se detekuje poloha stopovačů. Dochází tedy k vyhodnocení posunu půdních částic. Jednotlivé stopovače, které se používají k měření posunu půdních částic uvádí například Logsdon (2013).

Při pokusu byla použita metoda očíslovaných hliníkových krychliček. Hliníkové krychličky jsou očíslována od 1 do 20. Délka hrany krychličky je 16 mm. Možnost použití pro identifikaci ocelové šestihranné matice o tloušťce 8 mm a o průměru 20 mm byla zavrhnuta, protože hustota hliníku je podobná hustotě minerálních částic v půdě, jak uvádí Van Muysen et al. (2002). Nejprve jsou hliníkové krychličky uloženy do rýhy v půdě, tato rýha je kolmá na směr následujícího pohybu stroje. Krychličky jsou rozmístěny v pevné rozteči.



Obrázek 11: Rozmístění tracery před zpracováním

Zdroj: úprava Brož (2019)

Stopovače při primárním zpracování byly rozmístěny ve dvou vrstvách. Krychličky označené žlutou barvou byly umístěny do spodní části vybrané rýhy (byly očíslovány od 1 do 20 a v tomto pořadí byly umístěny do rýhy hluboké 0,08 m). Po umístění žlutých krychliček byla drážka zasypaná půdou. Na povrchu byla umístěná druhá série 20 tracers označených stříbrnou barvou. Po přejetí talířovým podmítačem byla hodnocena jejich poloha v rámci pravoúhlé sítě. Tento pokus byl proveden na třech úrovních svažitosti pozemku a to na 2°, 6°, 11°. Sklon svahu byl měřen s využitím digitálního sklonoměru (BMI, Germany).

Počáteční stav tvořila řada značkovačů kolmo na směr pohybu soupravy ve dvou hloubkách pro každou variantu příčného náklonu.

Poté došlo k přejezdu stroje přes všechny 3 varianty. Poloha jednotlivých tracers byla určována detektorem kovů M6 (Whites Devices). Po nalezení každé tracers byl změřen její podélný i příčný posun v pravoúhlé soustavě. Posun byl individuálně přiřazen každému tělísku z obou sérií. Toto bylo možné díky očíslování všech krychliček.

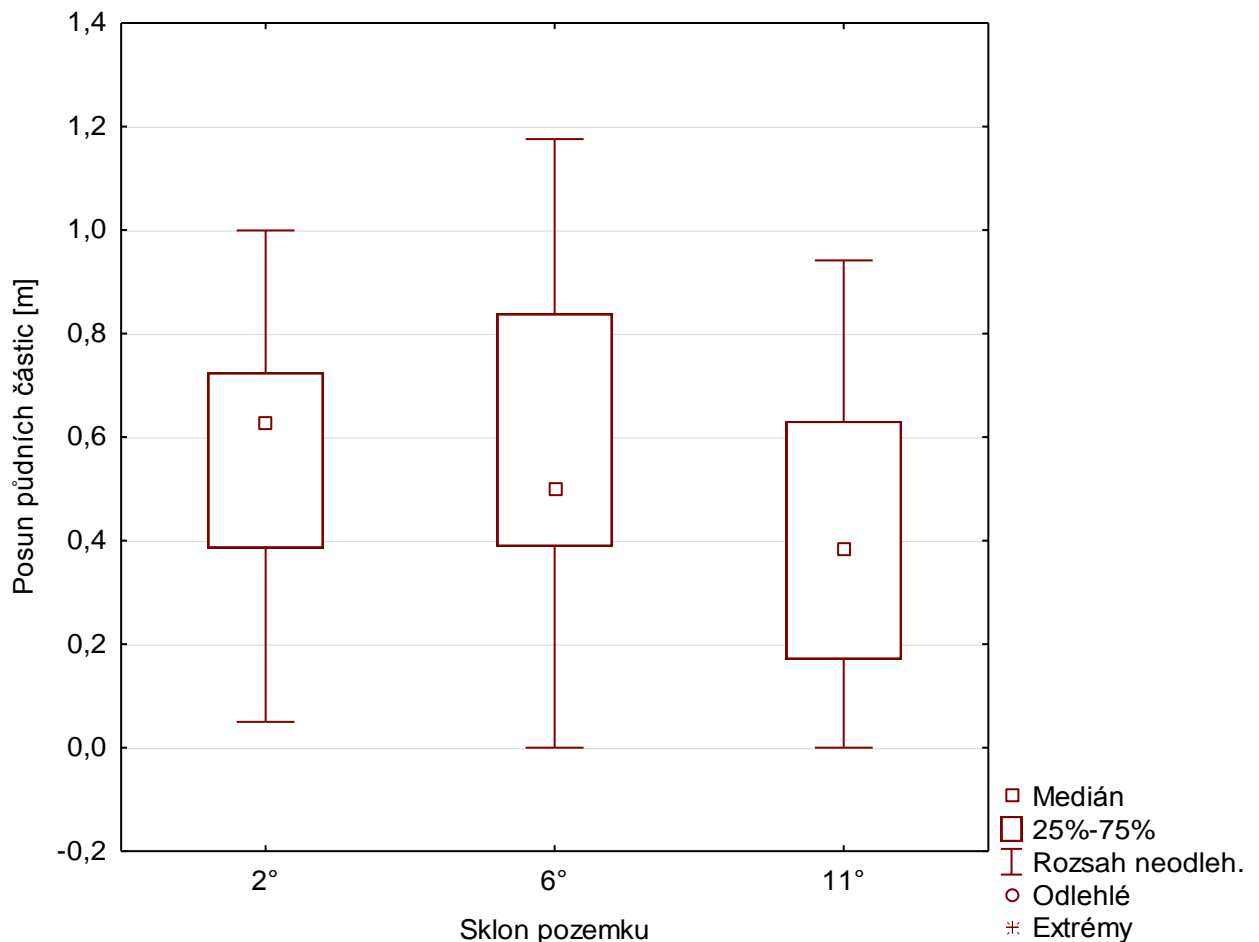
Stejně měření bylo provedeno při sekundárním zpracování půdy. Jediný rozdíl byl v použití stroji pro zpracování. K sekundárním zpracování byl využit kypřič Saturn.

7. Výsledky měření

Data byla hodnocena z pohledu délky posunu částic a velikosti vektorového úhlu. Po přejezdu byl zjištěn vliv příčného svahu na směrový vektor posunu částic. Délka směrového vektoru představuje délku přesunutí jednotlivých tracers od původního místa. Vektorový úhel pak představuje úhel, který vyjadřuje odlišnost od směru pojezdu stroje.

Výsledky posunu půdních částic po jednom přejezdu při primárním zpracování jsou uvedeny v Grafu 1 a 2. Výsledky pro sekundární zpracování jsou uvedeny v Grafu 3 a 4. Výsledky velikost vektorového úhlu pro primární zpracování jsou uvedeny v Grafech 5 a 6. Výsledky velikost vektorového úhlu pro sekundární zpracování jsou uvedeny v Grafech 7 a 8. Nejprve byly porovnány data souborů tracers umístěné pod povrchem půdy až poté data tracers umístěné na povrchu. Pro zjištění statisticky významného rozdílu byl proveden Tukeyův HSD test.

Graf 1. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.



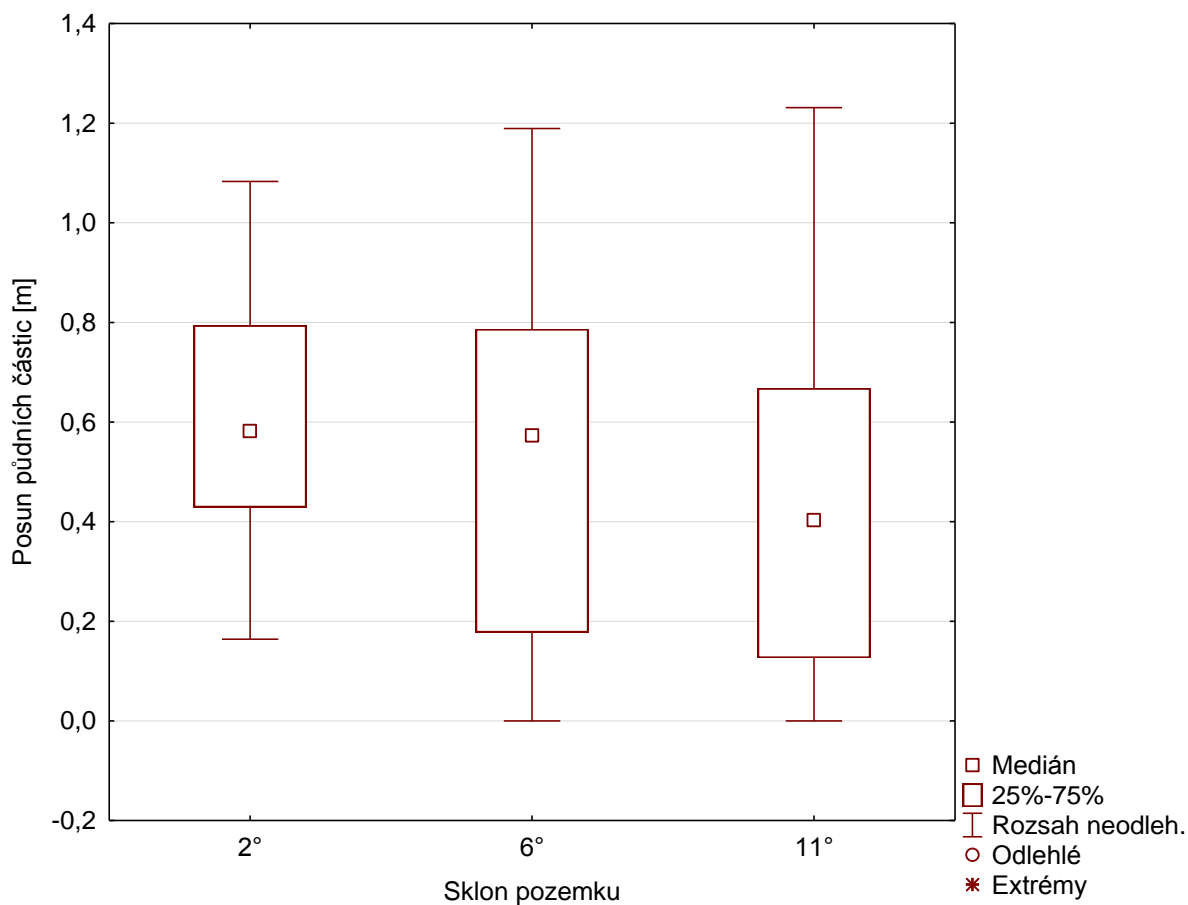
Z Grafu číslo 1 jasně vyplývá, že přesun částic pro jednotlivé svahové úseky je rozdílný. K největšímu přesunu částic došlo na pozemku se sklonem 6°, kde byl také zaznamenán nejvyšší rozsah hodnot. Průměrný posun částic na svahu se sklonem 6° činil 0,57 m. Poměrně velké posuny půdních částic byly zaznamenány i u ostatních měření. Na svahu se sklonem 2° by zaznamenán průměrný posun půdních částic 0,55 m. Rozsah hodnot byl ale podobný jako na svahu se sklonem 11°. Průměrný posun činil 0,41 m. K nejdelšímu přesunu částice došlo na pozemku se sklonem 6° a hodnota přesunu činila 1,18 m.

Tabulka 4: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,08401, sv = 57,000		
Sklon	Posun částic [m] Průměr	1
11°	0,410672	****
2°	0,554266	****
6°	0,579576	****

Z Tukeyova testu je patrné, že mezi naměřenými hodnotami není významný statistický rozdíl. Pro hodnoty byl zjištěn poměrně velký rozptyl, což je důsledek rozdílů pod hranicí statistické významnosti.

Graf 2. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.



Z Grafu číslo 2 vyplývá, že k největšímu přesunu půdních částic došlo na části pozemku se sklonem 11°. Hodnoty byly naměřeny ve stejných podmínkách jako hodnoty v grafu číslo 1. Tedy při stejném přejezdu stroje. Na pozemku se sklonem 2° byl průměrný posun částic 0,61 m. Tento průměrný posun byl největší naměřený při primárním zpracování. Na pozemku se sklonem 6° byl průměrný posun 0,52 m a nejmenší průměrný posunu byl na pozemku se sklonem 11° a to tedy 0,46 m. Na tomto pozemku byl také zaznamenán největší rozsah naměřených hodnot, rovněž zde byla také naměřena největší hodnota přesunu traceru a to 1,23 m.

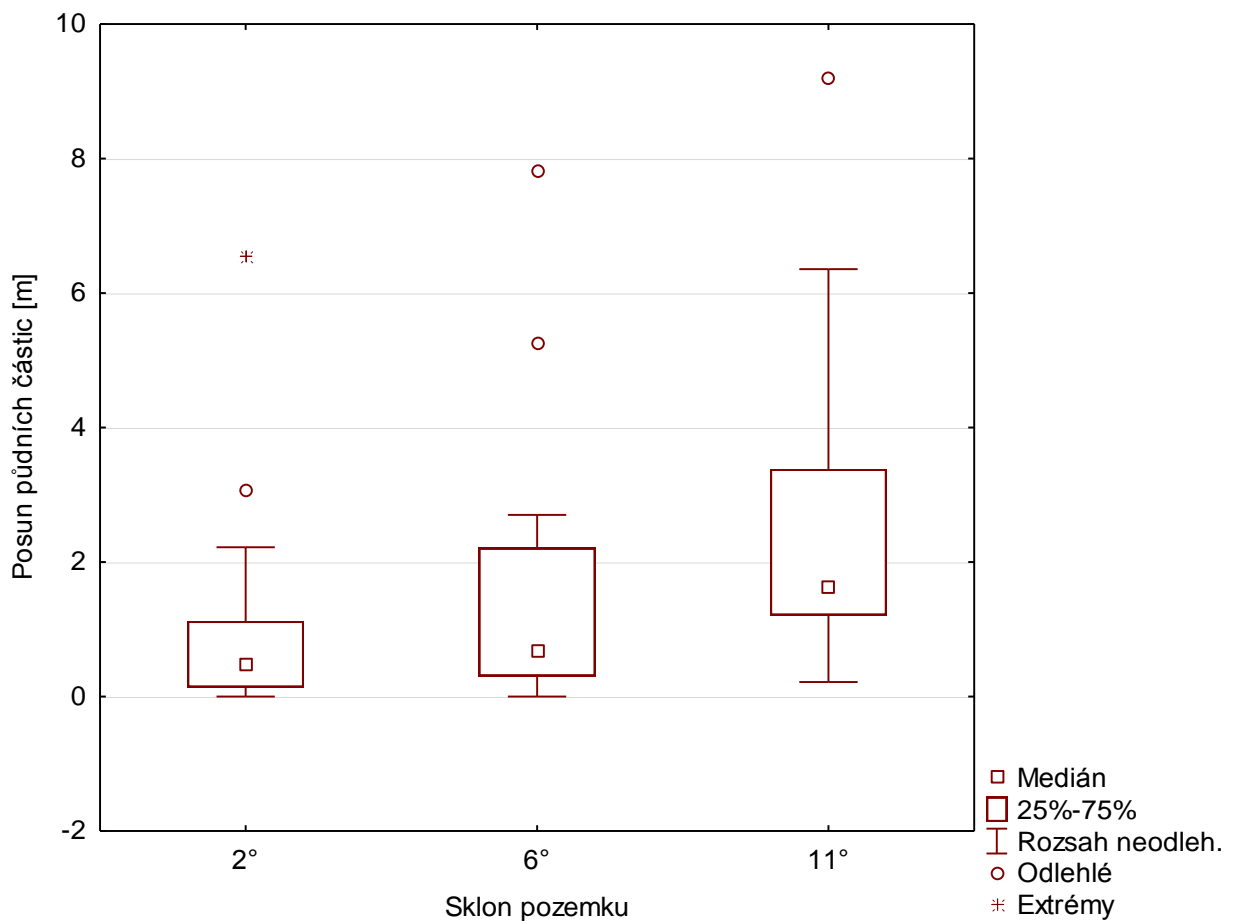
Vliv svahu na průměrnou délku posunu půdní částice při primárním zpracování není jednoznačný i když celkový naměřený průměrný posun částic činil 0,52 m.

Tabulka 5: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,12109, sv = 57,000		
Skoln	Posun částic [m] Průměr	1
11°	0,464689	****
6°	0,521818	****
2°	0,610353	****

Z Tukeyova testu je patrné, že mezi naměřenými hodnotami není významný statistický rozdíl.

Graf 3. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.



Z grafu číslo 3 vyplývá že, k největšímu přesunu částic došlo na pozemku se sklonem 11°, kde byl zároveň zaznamenán nejvyšší rozsah hodnot. Z grafu je také viditelná závislost posunu částic na velikosti sklonu pozemku. Na pozemku se sklonem 2° byl posun částic nejmenší, na pozemku se sklonem 6° byl posun částic větší a jak už bylo zmíněno na

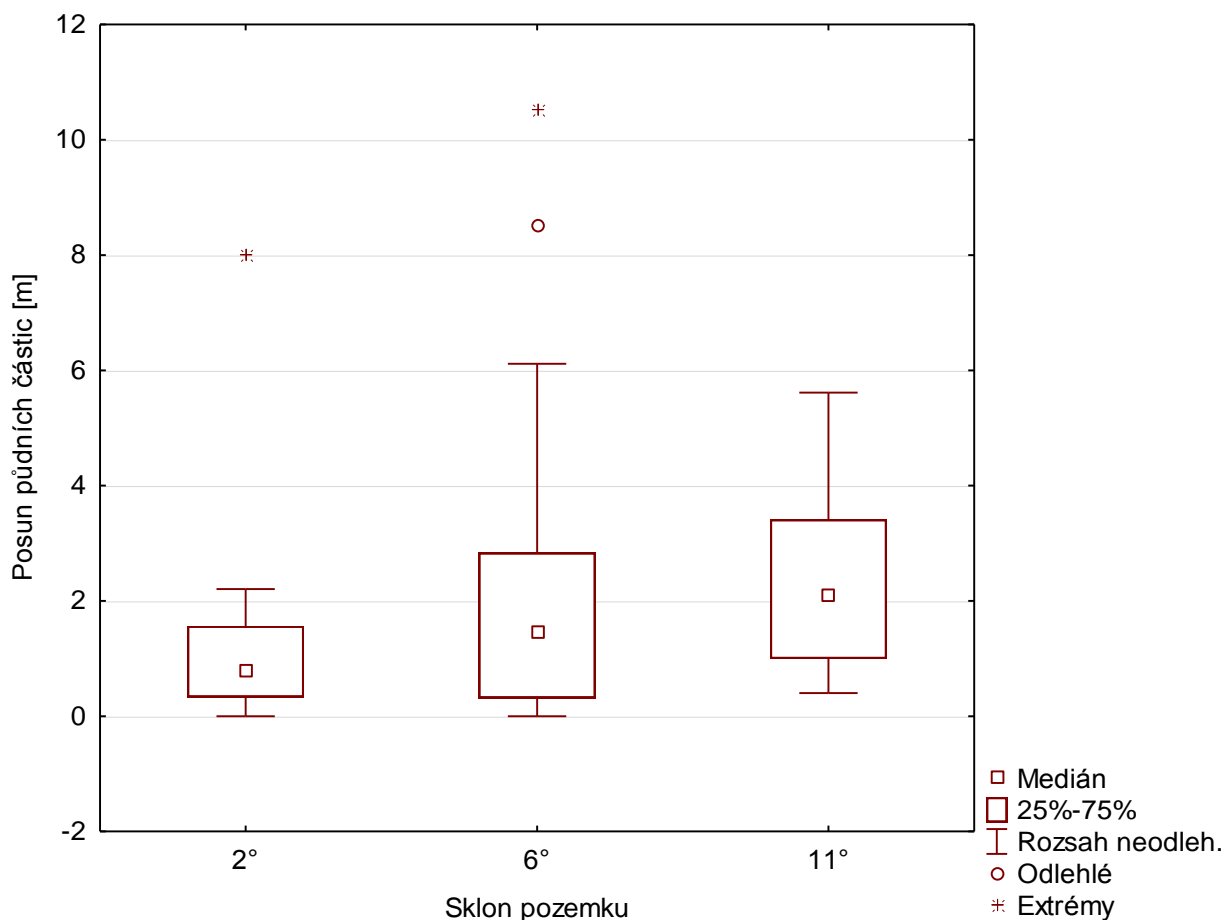
pozemku se sklonem 11° byl posun největší. Při porovnání grafu 3 s grafem 1 je vidět také velký rozdíl naměřených hodnot. Při primárním zpracování půdy byly naměřené hodnoty posunu v rozmezí od 0 do 1,18 m. Při sekundárním zpracování půdy byly naměřené hodnoty vyšší. A to až do 9,20 m. Tento největší posun byl naměřen na pozemku se sklonem 11°. Na tomto pozemku byl také naměřen největší průměr posunu částic a to 2,66 m. Na pozemku se sklonem 6° byl naměřen průměr posunu 1,54 m a na pozemku se sklonem 2° byl naměřen posun 1,04 m.

Tabulka 6: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = 3,8360, sv = 57,000			
Sklon	Posun částic [m] Průměr	1	2
2°	1,037071	****	
6°	1,535786	****	****
11°	2,660799		****

Z Tukeyova testu je patrné, že statisticky významný rozdíl lze najít mezi variantou 2° a 6°. To je poměrně překvapivé vzhledem k vysokému rozptylu hodnot měření.

Graf 4. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.



Z Grafu číslo 4 vyplývá, že k největšímu posunu půdních částic došlo na pozemku se sklonem 6°, kde byl také zaznamenán nejvyšší rozsah hodnot. Z grafu je také viditelná závislost posunu částic na velikosti sklonu pozemku jako u grafu 3. Tato podobnost je ovlivněná hodnotami, které byly naměřeny ve stejných podmínkách jako hodnoty v grafu číslo 3. Tedy při stejném přejezdu stroje. Avšak k největšímu posunu došlo na pozemku se sklonem 6°. Délka posunu činila 10,52 m. Tato délka největší naměřenou délkou posunu částice při tomto měření.

Na tomto pozemku byl také naměřen největší průměr posunu částic a to 2,36 m. Na pozemku se sklonem 11° byl průměrný přesun částic 2,31 m a nejmenší průměrný posunu byl na pozemku se sklonem 2° a to tedy 1,23 m.

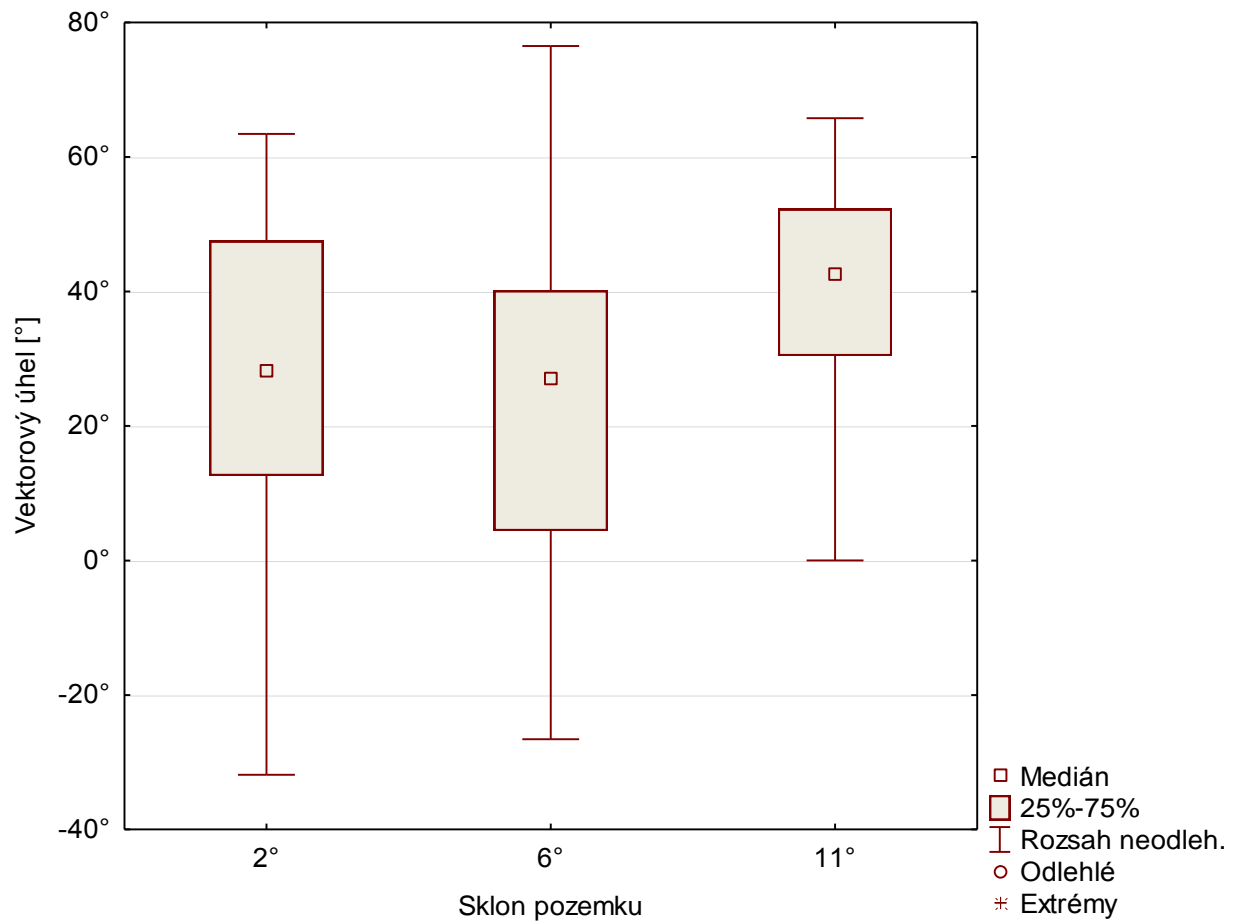
Tabulka 7: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = 4,7142, sv = 57,000		
Sklon	posun částic [m] Průměr	1
2°	1,232907	****
11°	2,316565	****
6°	2,367988	****

Z Tukeyova testu je patrné, že mezi naměřenými hodnotami není významný statistický rozdíl.

Velký rozdíl posunu půdních částic mezi primárním a sekundárním zpracováním je způsoben typem stroje. Při použití talířového podmičáče došlo k průměrnému posunu půdních částic o 0,52 m. Při použití kombinovaného kombinovaného kypřiče byl průměrný posun částic 1,92 m. Tento téměř čtyřnásobně větší posun u sekundárního zpracování je pravděpodobně způsoben uspořádáním pracovních nástrojů kypřiče. Vezmeme-li v úvahu kombinaci drobících válců se smyky umístěnými za těmito válci, dochází tedy k velkému hnutí a míchání zeminy v povrchové vrstvě ornice. Byl pozorován i vliv svahu na průměrnou délku vektoru. Ten však není jednoznačný ve smyslu statistické významnosti.

Graf 5. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.



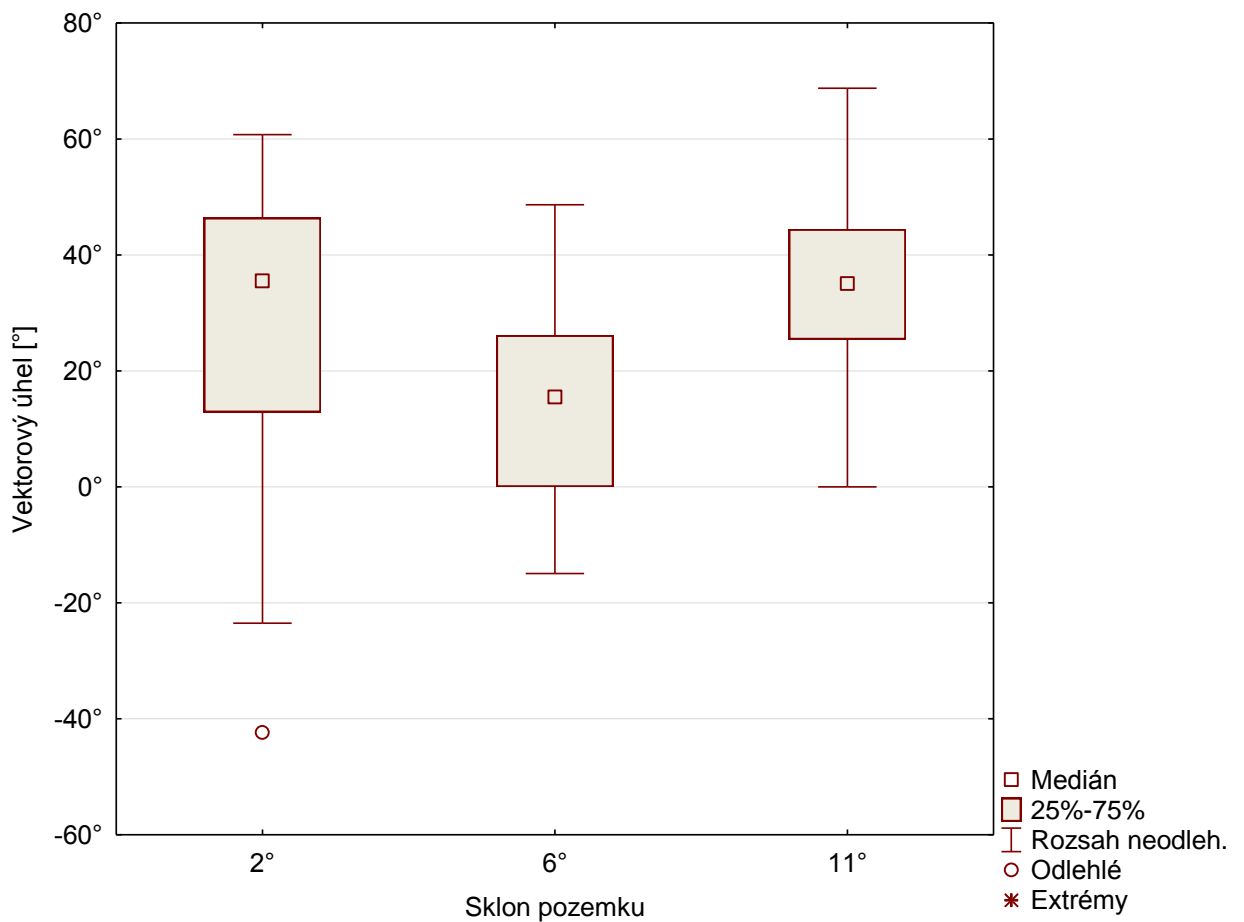
Vektorový úhel zde vyjadřuje odlišnost od směru pojezdu stroje. Kladná hodnota tohoto úhlu znamená posun ve směru spádnice (kolmo na směr pohybu soupravy), záporná vyjadřuje posun proti směru spádnice. Z Grafu 5 vyplývá, že největší kladná hodnota vektorového úhlu je 76,5°. Tato hodnota byla naměřena na pozemku se sklonem 6°. Největší záporná hodnota -31,86° byla naměřena na pozemku se sklonem 2°. Největší průměrný vektorový úhel byl naměřen na pozemku se sklonem 11°. Velikost tohoto vektorového úhlu tedy činila 38,19°. Průměrná hodnota vektorového úhlu na pozemku se sklonem 2° byla 27,38°. Nejmenší průměr vektorového úhlu byl naměřen na pozemku se sklonem 6°, velikost tohoto byla 23,09°.

Tabulka 8: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = 548,70, sv = 57,000		
sklon	Vektorový úhel [°] Průměr	1
6°	23,09703	****
2°	27,38551	****
11°	38,19941	****

Z Tukeyovy analýzy je patrné, že mezi naměřenými hodnotami není významný statistický rozdíl.

Graf 6. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.



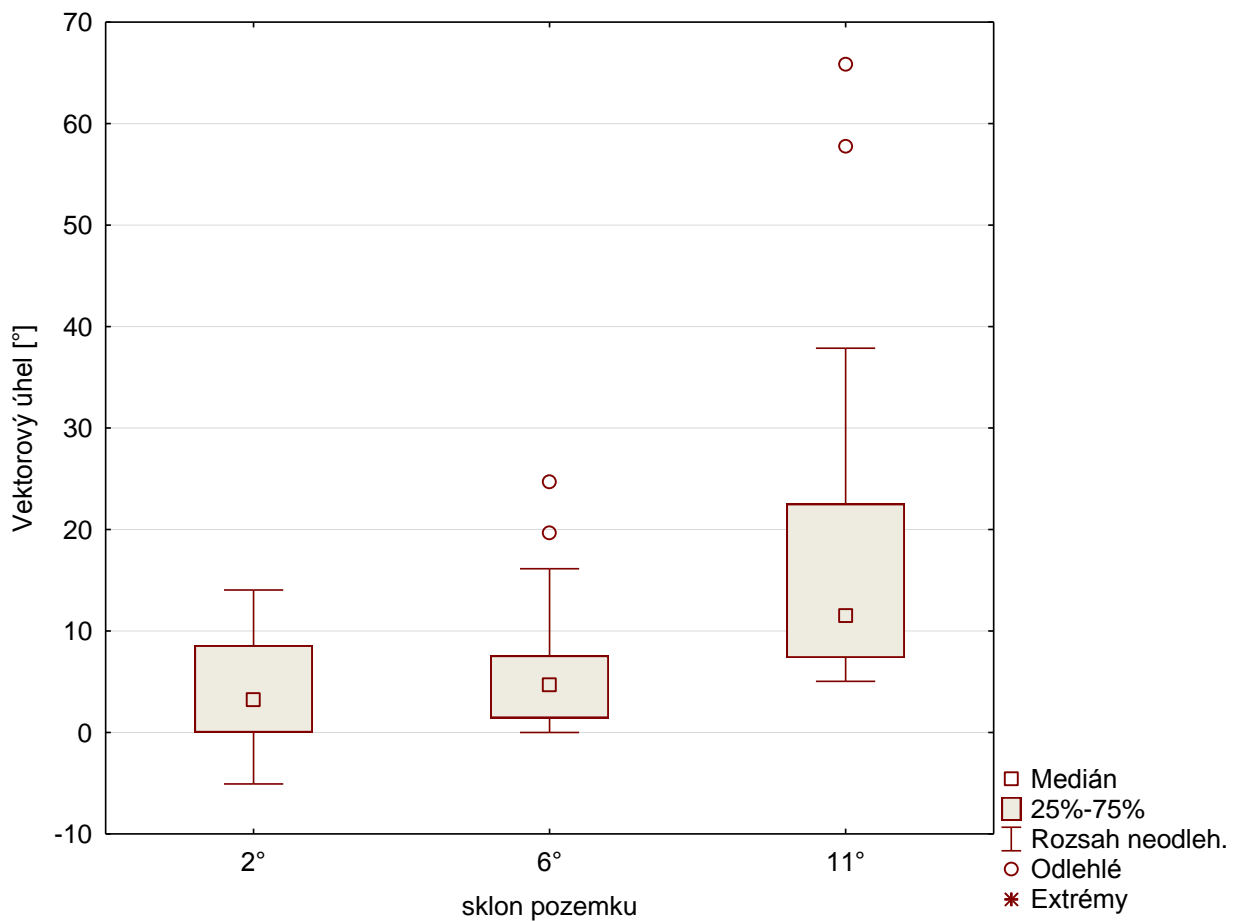
Z Grafu 6 vyplývá, že největší kladná hodnota vektorového úhlu je $68,74^\circ$. Tato hodnota byla naměřena na pozemku se sklonem 11° . Největší záporná hodnota $-42,38^\circ$ byla naměřena na pozemku se sklonem 2° . Největší průměrný vektorový úhel byl naměřen na pozemku se sklonem 11° . Velikost tohoto vektorového úhlu tedy činila $35,06^\circ$. Průměrná hodnota vektorového úhlu na pozemku se sklonem 2° byla $26,86^\circ$. Nejmenší průměr vektorového úhlu byl naměřen na pozemku se sklonem 6° , velikost tohoto byla $13,83^\circ$.

Tabulka 9: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = 446,91, sv = 57,000			
Sklon	Vektorový úhel [°] Průměr	1	2
6°	13,82855	****	
2°	26,86261	****	****
11°	35,06654		****

Z Tukeyova testu je patrné, že statisticky významný rozdíl můžeme najít mezi variantou 11° a 6° .

Graf 7. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.



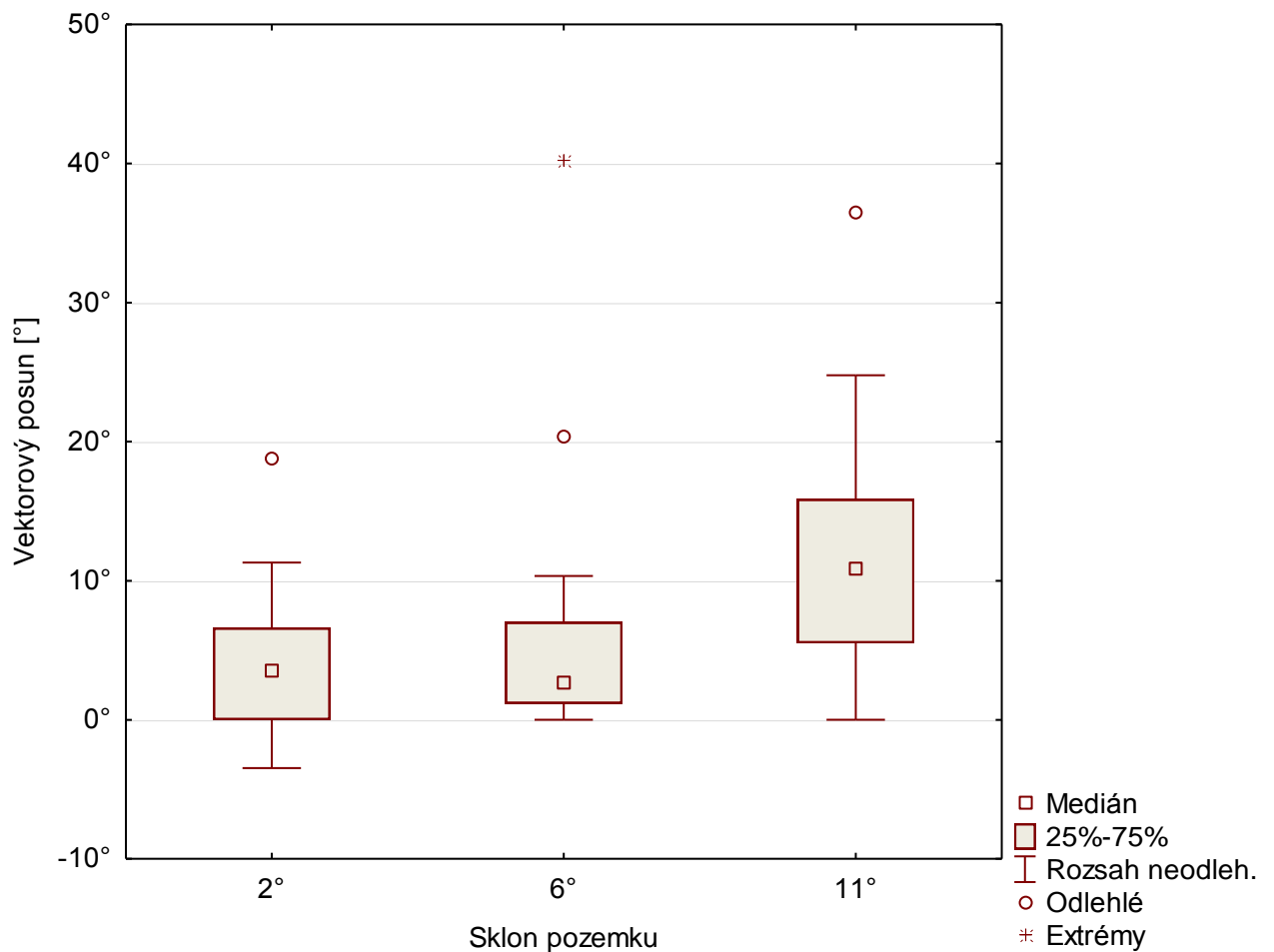
Z Grafu 7 vyplívá, že největší kladná hodnota vektorového úhlu při sekundárním zpracování je $65,85^\circ$. Tato hodnota byla naměřena na pozemku se sklonem 11° . Největší záporná hodnota $-5,08^\circ$ byla naměřena na pozemku se sklonem 2° . Největší průměrný vektorový úhel byl naměřen na pozemku se sklonem 11° . Průměrná velikost tohoto vektorového úhlu tedy činila $18,34^\circ$. Průměrná hodnota vektorového úhlu na pozemku se sklonem 6° byla $6,25^\circ$. Nejmenší průměr vektorového úhlu byl naměřen na pozemku se sklonem 2° , velikost tohoto byla $4,14^\circ$.

Tabulka 10: Tukeyův test

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = 120,84, sv = 57,000			
Sklon	Vektorový úhel [°] Průměr	1	2
2°	4,13969	****	
6°	6,24538	****	
11°	18,34485		****

Z Tukeyova testu je patrné, že statisticky významný rozdíl můžeme najít mezi variantou 6° a 11°.

Graf 8. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.



Z Grafu 8 vyplývá, že největší kladná hodnota vektorového úhlu je $40,24^\circ$. Tato hodnota byla naměřena na pozemku se sklonem 6° . Největší záporná hodnota $-3,47^\circ$ byla naměřena na pozemku se sklonem 2° . Největší průměrný vektorový úhel byl naměřen na pozemku se sklonem 11° . Průměrná velikost tohoto vektorového úhlu tedy činila $12,11^\circ$. Průměrná hodnota vektorového úhlu na pozemku se sklonem 6° byla $5,92^\circ$. Nejmenší průměr vektorového úhlu byl naměřen na pozemku se sklonem 2° , velikost tohoto byla $3,89^\circ$.

Tabulka 11: Tukeyův test

Tukeyův HSD test			
Homogenní skupiny, alfa = ,05000			
Chyba: meziskup. PČ = 64,524, sv = 57,000			
Sklon	Vektorový úhel [°] Průměr	1	2
2°	3,88519	****	
6°	5,91978	****	
11°	12,10561		****

Z Tukeyova testu je patrné, že statisticky významný rozdíl můžeme najít mezi variantou $2^\circ, 6^\circ$ a 11° .

8. Diskuze

Eroze zpracováním půdy je poměrně nové téma, kterému je věnováno jen málo studií. Při primárním a při sekundárním zpracování půdy se uvádí do pohybu velké množství zeminy. Většina provedených studií je pak věnována podélnému účinku pracovních nástrojů při zpracování půdy. Jak uvádí Van Muysen et al. (2002), průměrný pohyb půdních částic způsobených nástroji na zpracování půdy se vyskytuje v intervalu od 0 do 0,9 m. Autoři ve své studii hodnotili dopad nástrojů pro primární zpracování půdy. Naměřené hodnoty v rámci této práce potvrzují podélný účinek talířového kypřiče v podobném rozsahu. Potvrdily se výsledky zkoumání Tiessena et al. (2007) o výrazných rozdílech posunu půdních částic při zpracování půdy stroji s různou konstrukcí pracovních nástrojů. Ti ve své studii hodnotili primární a sekundární zpracování půdy použité při pěstování brambor v lokalitě Ontario. Z tohoto důvodu tyto stroje a pracovní operace působí potenciálně erozivně. Výsledky získané během měření jsou shodné i se závěry Li et al. (2007) o rozhodujícím vlivu typu pracovních nástrojů působících na půdu, jejich geometrii i seřízení strojů. V jejich studii je hlavní důraz kladen na důležitost pracovní rychlosti a hloubky zpracování půdy i počet kypření půdy. Návrhem řešení je optimalizace počtu zpracování půdy a volbu vhodných strojů. V tomto případě pro produkci obilnin v oblasti Manitoba, Kanada. Van Muysen et al. (2006) sice uvádí, že průměrný pohyb půdních částic způsobených nástroji na zpracování půdy (talíři) byl v rozmezí 0 až 0,9 m, ale výjimečně byly částice nalezené i ve vzdálenosti větší než 10 m. Toto bylo potvrzeno jen částečně. Talířový kypřič nepřenese žádnou z částic do takto velké vzdálenosti. Přenos do takto velké vzdálenosti by mohl být způsoben ulpění částic spolu s organickou hmotou mezi jednotlivými talíři. To však nelze považovat za pravidelně se opakující děj. Částečné ucpávání talířových kypřičů není úplně běžné. Talířové kypřiče se totiž vyznačují vysokou průchodností.

Při měření posunu půdních částic je nezbytné, aby byl talířový kypřič dostatečně zahlouben na pracovní hloubku a mohlo tak dojít k vyrovnanému posunu tracers z hlediska vrstev půdy. Částice, které byly umístěny ve spodní části rýhy, měly průměrnou délku posunu 0,41 m. Tato vzdálenost posunu je menší než u tracers, které byly umístěny na povrchu. Hodnota v tomto případě činila průměrně 0,52 m. Tento rozdíl může být ovlivněn míchacím efektem talířů. Blanco & Lal (2007) ve své studii zdůrazňují management rostlinných zbytků a co nejrovnoměrnější rozmístění. Je tedy jasné, že proces přesunu půdních částic není ovlivněn pouze technologií provedeního zpracování půdy, ale je ovlivněn i kvalitou předcházejících prací (například sklizně). Dodržování technologické kázně u všech operací je

tak nezbytnou podmínkou pro snížení rizika většího poškozování půdy, ale to platí pro každý erozní proces. Jak upozorovali Hůla a Novák (2017), velký negativní vliv na posun půdních částic má především vliv svahu pozemku. Tento vliv však není jednoznačný. Protože průměrně nejdelší hodnoty byly naměřeny při primárním zpracování půdy jak na svazích se sklonem 6° tak i se sklonem 2° . Hodnoty, které Hůla a Novák naměřili, byly od 0,33 do 0,67 m. Novák a Hůla dále uvádí, že talíř kypřiče posouvá částice jen do krátké vzdálenosti. Mechanismus přesunu je závislý na geometrii talíře, tedy na tom jak jsou talíře natočeny a pod jakým úhlem vnikají do půdy.

Při měření sekundárního posunu půdních částic je rovněž důležité, aby bylo nastaveno správné zahloubení kombinátoru (myšleno radličkové sekce), tak i nastavení válců. Toto nastavení spočívá zejména ve velikosti mezery mezi drobicími válci a smyky umístěnými za těmito válci. Čím menší je mezera, tím intenzivnější je míchání hrud a jejich posun.

Data naměřená a zjištěná z tracers, které byly umístěny ve spodní části, ukázala průměrnou délku posunu 1,74 m. Tento posun byl menší než u dat naměřených na povrchu 1,97 m. Opět se pravděpodobně jedná o ovlivnění hmotností půdních částic, které leží na částicích ve větší hloubce. Jak uvádí Novák a Hůla (2018) tak průměrný posun částic při sekundárním zpracování se pohybuje 1,59 m. Novák a Hůla také zaznamenávají značný vliv svahů na průměrnou délku posunu půdních částic. Toto vysvětlují vlivem svahu na jednotlivé sekce kombinátoru. Vliv spočívá v mírně větším zahloubením pracovních orgánů a to zejména radliček. To vede k unášení větší vrstvy půdy a narůstá posun. Novák a Hůla uvádějí průměrný posun částic 1,03 m na svahu se sklonem 2° . Na svahu se sklonem 6° uvádí posun 1,53 m a svahu se sklonem 11° byl zaznamenán posun 2,22 m. S hodnotami v této studii se shodují i hodnoty naměřené v této diplomové práci. Na svahu se sklonem 2° byl zaznamenán průměrný posun částic 1,13 m na svahu se sklonem 6° byl průměrný posun 1,95 m a na svahu se sklonem 11° byl posun 2,48 m. Logsdon (2013) ve své práci uvádí, že posun při sekundárním zpracování půdy se pohyboval od 1,5 m až do 3 m. Quine et al. (1999) uvádí ve své práci maximální půdní posun 0,81 m. Ovšem k posunu byl použitý stroj, který byl vybaven pouze s radličkami bez použití míchacích válců se smyky. To potvrzuje skutečnost, že při použití kypřičů bez smykových lišt bude posun půdních částic menší. Jak uvádí Tiessen et al (2007) při měření různých strojů jak talířového podmičáče, tak radličkového kypřiče byl průměrný posun od 2 do 4,9 m. To se shoduje s hodnotami naměřenými pro kombinátor, ale neshoduje se to s hodnotami naměřenými pro talířový podmičáč.

Posledním zkoumaným faktorem v této práci bylo hodnocení příčného přesunu částic z hlediska vlivu bočního svahu při pohybu stroje ve směru vrstevnic. U vektorového úhlu byl zaznamenán negativní vliv příčné svažitosti pozemku na směrový úhel. V případě primárního zpracování není jednoznačné, že se úhel zvětšoval se zvětšujícím se sklonem pozemku. Je zajímavé, že u svahu 2° a 6° byl zaznamenán i opačný pohyb tracers proti příčnému svahu. Celkem se jednalo o 9 případů z 60 měřených. Posun částic je způsoben stykem jednotlivých tracers s talíři. Úhel, který svírá hřídel nesoucí talíře s rámem činní 20° . Proto může dojít k posunu částic i proti svahu pozemku. Průměrná velikost vektorového úhlu na svahu s 2° sklonem byla 27° s 6° sklonem byla pouze $19,5^\circ$ a se sklonem svahu 11° byla $37,6^\circ$.

V případě sekundárního zpracování pozemku a měření úhlu u kypřiče byly výsledky jednoznačné. V případě souborů tracers se úhel zvětšoval spolu s rostoucím příčným svahem. Průměrná velikost vektorového úhlu na svahu s 2° sklonem byla 4° s 6° sklonem byla 6° a se sklonem svahu 11° byla $15,2^\circ$.

Ovšem i při použití kypřiče došlo k posunu tracers proti příčnému svahu. Jednalo se pouze o 5 případů z 60 měřených. A velikost úhlu proti svahu byla maximálně 5° , oproti maximálnímu úhlu 42° u talířového podmiatače. To je způsobeno stykem jednotlivých tracers s radličkami umístěnými ve střední části kombinátoru. U větších sklonů (6° a 11°) nebyl tento jev zaznamenán ani jednou. Každá radlička z poslední řady může jednotlivé tracers posunout oběma směry a to se stejnou pravděpodobností.

Více autorů se zabývalo podélnou translokací částic během zpracování půdy, jak bylo uvedeno výše. Podélná translokace částic je samozřejmě vždy významnější. Studie o erozi zpracováním půdy byly dosud věnovány pouze podélným účinkům jednotlivých strojů nebo jejich kombinací. Doporučujícím opatřením je tedy pohyb strojů směrem po vrstevnici pro omezení vlivu eroze zpracováním půdy.

Tento doporučený postup však nezahrnuje příčnou translokaci částic. Příčný posun, zvláště na svazích, byl studován velmi málo. Tento jev se však vyskytuje se během zpracování půdy vyskytuje velmi často a měl by být dále zkoumán. Samozřejmě, existenci příčného posunu dokázalo mnoho autorů. (Heckrath et al. 2006; Tiessen et al. 2007; Vieira et al. 2011). Ovšem přímý vliv bočního sklonu dosud nebyl kvantifikován. V rámci této práce jsou uvedeny výsledky hodnocení směru přesunutých částic z hlediska příčného vychýlení vůči směru pojezdu stroje. Tento pohled nebyl dosud zkoumán a je třeba jej dále rozvíjet.

Výsledky měření mohou být ovlivněny vlastnostmi použitých značkovačů. V tomto případě byly použity hliníkové kostky. Stejný materiál značkovacích látek byl použit Van Muysenem et al. (2006). Hustota hliníku je větší než hustota půdy, ale rozdíl není příliš velký.

Někteří autoři také používají ocelové matice (Poesen et al. 1997). Rozdíl v hustotě je v tomto případě mnohem větší. Rahman et al. (2002) nezjistili žádné významné rozdíly v důsledku velikosti nebo hustoty indikátoru. Výsledek této studie je docela překvapivý. Jiní autoři připouštějí možné rozdíly ve velikosti a materiálu stopovacích látek (MacLeod et al. 2000). Použití vlivu stopovacích látek na směr přenosu částic během zpracování půdy bude třeba dále zkoumat.

9. Závěr

Většina výzkumu eroze v České republice (toto platí do jisté míry i celosvětově) je zaměřena především na erozi vodní popř. větrnou. Výzkum a dopady vodní eroze je dlouhodobě diskutovanou problematikou, která rozsahem diskuze zasahuje i mimo expertní oblast. Naproti tomu eroze zpracováním půdy je poměrně novou oblastí výzkumu. Jeho počátky sahají na začátek devadesátých let minulého století. Rovněž toto téma není nijak reflektováno odbornou veřejností ani na rozdíl od vodní eroze legislativním dopadem. Toto je třeba v dohledné době změnit, neboť některé výzkumy ukazují na srovnatelný dopad eroze zpracováním půdy vzhledem k erozi vodní. Je však třeba uznat fakt, že tyto závěry byly vyvozeny z poměrně malého počtu studií a je třeba dále pracovat na jejich zobecnění.

V rámci této práce byl hodnocen dopad dvojice technologií primárního a sekundárního zpracování půdy na podélný a příčný transportní účinek pracovních nástrojů kypřičů. V rámci provedeného výzkumu byla zjištěna vysoká variabilita hodnot, ovšem předpokládaný trend byl potvrzen. Byla zjištěna přímá souvislost mezi posunem částic bočním směrem ze svahu při pohybu stroje po vrstevnici. Transportní účinek byl výrazně ovlivněn hodnotou bočního náklonu stroje. V rámci této práce byly hodnoceny hodnoty svahu od velmi nízkých hodnot (2°) až k maximálním hodnotám pro bezpečný provoz strojů (11°). Díky hodnocení přesunu metodou hliníkových krychliček umístěných do dvou hloubek lze vyloučit i vliv kinetické energie nástrojů na částice na povrchu půdy, kdy dochází k jejich výraznému odhození po střetu s pracovním nástrojem. Mezi oběma soubory dat nebyly zjištěny významné rozdíly.

Provedená měření jednoznačně ukázala na vliv pracovních nástrojů pro jednotlivé operace. Talířový kypřič vykazuje poměrně vysokou obvodovou rychlost nástrojů, které tak působí značnými dynamickými silami na půdní částice. Tato rychlost je nejvyšší na obvodě talíře, který se pohybuje v hloubce zpracování půdy. I přes to výsledky neukazují jasné a statisticky významné rozdíly v jednotlivých případech. Při měření kombinátoru pro sekundární zpracování půdy byly zaznamenány rovněž poměrně malé rozdíly. Přesto trend těchto měření je jasně viditelný a ukazuje na dosud nepozorovaný jev sesouvání půdních částic ze svahu i při konturovém pohybu strojů. Studium jevů příčného přesunu je teprve na začátku. Je třeba dále zkoumat účinek dalších strojů a technologií zpracování půdy. Je vidět, že i doporučené konturové obhospodařování svahů může mít dopad na posun částic ve směru ze svahu dolů, což nebylo dosud nikterak reflektováno. Příčný přesun a jeho účinek bude vždy samozřejmě menší než posun podélný, tj. ve směru zpracování půdy. Velice tedy

záleží na volbě nářadí, které bude pro danou operaci použito a směru přejezdu s daným strojem po pozemku.

Při volbě stroje a technologie musí být zohledněn vliv erozních činitelů na půdu. Všechny funkce půdy, produkční i environmentální, jsou v úzkých vzájemných vztazích a vazbách a jsou navzájem zranitelné při různých formách degradace půdy. Půda je ovšem velice cenná a její ztráta její funkce je často velice těžce nahraditelná až nenahraditelná. Při hospodaření na půdě a při všech způsobech využívání půdy je třeba najít vhodný kompromis a předat půdy následným generacím ještě v lepším stavu než jsme půdu přebírali my.

10. Seznam použité literatury

Barneveld, R. J., Bruggeman, A., Sterk, G., & Turkelboom, F. (2009). Comparison of two methods for quantification of tillage erosion rates in olive orchards of north-west Syria. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 105-112.

Blanco, H., & Lal, R. (2008). *Principles of soil conservation and management* (Vol. 167169). New York: Springer.

Brady N.C., Weil R.R. (1999): *The nature and properties of soils*. 12th ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.

Brant V., Nýč M., Kroulík M., Záborský P., Škeříková M., (2017): *Technologické postupy optimalizace tvorby seťového lože s využitím systémů zonálního hnojení*, ČZU, ISBN 978-80-87111-67-3.

Dufková J., Toman F., Šťastná M.,(2005): Comparison of methods for determination of soil erodibility faktor K. *Acta univ. Agric et silvic Mendel. Brun*, 2005, LIII, No 5, pp. 197-206

Govers G.; Vandaele K.; Desmet, P.; Poesen, J.; Bunte, K. (1994): The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*, 469–478.

Govers, G.; Lobb, D.A.; Quine, T.A.(1999): Tillage erosion and translocation: emergence of new paradigm in soil erosion research. *Soil and Tillage Research* , 167–174.

Heckrath G., Halekoh U., Djurhuus J., Govers G.,(2006): The effect of tillage direction on soil redistribution by mouldboard ploughing on complex slopes. *Soil & Tillage Research* 88 (2006) 225–241.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370

Hůla, J., Janeček, M., Kovářiček, P., & Bohuslávek, J. (2003). Agrotechnická protierozní opatření. VÚMOP, Praha.

Hůla, J., Kovaríček, P., & Kroulík, M. (2010). Water infiltration into the soil and surface water run-off in wide-row crops. *Listy Cukrovarnické a Reparské*, 126(1), 22.

Hůla, J., Novák, P. (2016): Evaluation of soil tillage technologies in terms of soil particles transfer. In: *Engineering for Rural Development*, Jelgava, 25.-27.05.2016: 812-816.

Hůla, J., Novák, P. (2016). Translocation of soil particles during primary soil tillage. *Agronomy Research*, 14(2), 2016: 392-399.

Hůla, J., Novák, P., Kumhálová, J. (2017). Impact of secondary soil tillage technology on soil particles displacement on sloping fields in central Bohemia region. In: *Engineering for Rural Development*, Jelgava 24.-26-05-2017, 2017: 767-771.

Hůla, J., & Procházková, B. (2008). *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press.

Janeček M. et al. (2008). *Základy erodologie*, ČZU, ISBN 978-80-213-1842-7.

Janeček, M. (2007). *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 76 s..

Kumhála, F. (2007). *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Česká zemědělská univerzita.

Li, S.; Lobb, D.A.; Lindstrom, M.J.(2007): Tillage translocation and tillage erosion in cereal-based production in Manitoba, Canada. *Soil and Tillage Research* ,164–182.

Li, S.; Lobb, D.A.; Lindstrom, M.J.; Papiernik, S.K.; Farenhorst, A. Modeling(2008): tillage - induced redistribution of soil mass and its constituents within different landscapes. *Soil Science Society of America Journal* 2008, 1,167-179.

Lindstrom, M.J.; Nelson, W.W.; Schumacher, T.E.(1992): Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil and Tillage Research* 1992, 243–255.

Logston S.D. (2013): Depth dependence of chisel plow tillage erosion. *Soil & Tillage Research* 128,2013, 119–124.

Mašek J., Chyba J., Kumhálová J., Novák P., Jasinskas A. (2016): Effect of soil tillage technologies on soil properties in long term evaluation. 6th International conference on trends in agricultural engineering 7-9 september 2016, Prague, Czech republic.

Montgomery J.A., McCool D.K., Busacca A.J., Frazier B.E., (1999): Quantifying tillage translocation and deposition rates due to moldboard plowing in the Palouse region of the Pacific Northwest, USA. *Soil & Tillage Research* 51 (1999) 175±187.

Morgan R.P.C., (2005): Soil erosion and conservation, National Soil Resources Institute, Cranfield University.

Nerušil, P., Menšík, L., Kincl, D., Srbek, J., Herout, M., Jurka, M., Šedek, A., Kobzová, D. & Procházková, E. 2016. Pěstování kukuřice seté s využitím technologie pásového zpracování travních porostů na erozně ohrožených pozemcích, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Novák P. (2016) Přemístování půdních částic při primárním zpracování půdy, *Mechanizace zemědělství* 66 (8), 92-94.

Novák, P., & Hůla, J. (2017). The influence of sloping land on soil particle translocation during secondary tillage. *Agronomy Research*, 15(3), 799-805..

Novák, P., Hůla, J., Kumhálová, J. (2016). Translocation of soil particles at different speed of tillers. In: 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, 7 - 9 September 2016, Prague, 2016: 433-437.

Or, D., & Ghezzehei, T. A. (2002). Modeling post-tillage soil structural dynamics: a review. *Soil and Tillage Research*, 64(1-2), 41-59.

Omezení desikace, dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2018_ministerstvo-zemedelstvi-vyrazne-omezi.html

Páltik, J., Findura, P., & Polc, M. (2003). Stroje pre rastlinnú výrobu: obrábanie pôdy, sejba. Slovenská poľnohospodárska univerzita.

Papiernik S.K., Schumacher T.E., Lobb D.A., Lindstrom M.J., Lieser M.L., Eynard A., Schumacher J.A.,(2009): Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform, *Soil & Tillage Research* 102, 67–77.

Poesen, J. (1984). The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band*, 49, 117-131.

Podhrázká J. (2009). Zásady návrhu protierozních opatření. Protierozní ochranná opatření v zemědělské krajině: studijní materiály k akci [online]. Místní akční skupina Moravský kras.

Quine, T. A., Govers, G., Poesen, J., Walling, D., van Wesemael, B., & Martinez-Fernandez, J. (1999). Fine-earth translocation by tillage in stony soils in the Guadalentin, south-east Spain: an investigation using caesium-134. *Soil and Tillage research*, 51(3-4), 279-301.

Rahman, S., Lobb, D. A., & Chen, Y. (2002, January). Size and density of pointtracers for use in soil translocation studies. In *Proceeding of the 45th Annual Meeting, Manitoba Soil Science Society, Winnipeg, Canada, January*.

Roh J., Heřmánek P.,Kumhála F.,(2003): Stroje používané v rostlinné výrobě. Druhé vydání, Česká zemědělská univerzita v Praze.

Sklenicka, Petr. "Applying evaluation criteria for the land consolidation effect to three contrasting study areas in the Czech Republic." *Land Use Policy* 23.4 (2006): 502-510.

Sklenicka, P., Molnarova, K. J., Salek, M., Simova, P., Vlasak, J., Sekac, P., & Janovska, V. (2015). Owner or tenant: Who adopts better soil conservation practices?. *Land use policy*, 47, 253-261.

Sommer, C., Zach, M., Noatsch, F., & Bosse, O. (1990). Langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit durch konservierende/schonende Bodenbearbeitung-Konzept. *agrartechnik*, 40(7).

Tiessen, K. H. D., Lobb, D. A., Mehuys, G. R., Rees, H. W. (2007). Tillage erosion within potato production in Atlantic Canada: II. Erosivity of primary and secondary tillage operations. *Soil & Tillage Research*, 95,2007, form 19 January 2007; accepted 6 February 2007:320-331.

Torri, D., Sfalanga, M., & Del Sette, M. (1987). Splash detachment: runoff depth and soil cohesion. *Catena*, 14(1-3), 149-155.

Van Muysen, W., Govers, G., Bergkamp, G., Roxo, M., & Poesen, J. (1999). Measurement and modelling of the effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage. *Soil and Tillage Research*, 51(3-4), 303-316.

Van Muysen, W., Van Oost, K., & Govers, G. (2006). Soil translocation resulting from multiple passes of tillage under normal field operating conditions. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 218-230.

Van Muysen, W., & Govers, G. (2002). Soil displacement and tillage erosion during secondary tillage operations: the case of rotary harrow and seeding equipment. *Soil and tillage research*, 65(2), 185-191.

Voorhees, W. B., & Lindstrom, M. J. (1984). Long-Term Effects of Tillage Method on Soil Tilth Independent of Wheel Traffic Compaction 1. *Soil Science Society of America Journal*, 48(1), 152-156.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*.

Withers, B., & Vipond, S. (1974). Irrigation: design and practice. BT Batsford Ltd..

Vrána, K. 1998. Krajinné inženýrství. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, Řada C -
Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika, TK 13. ISBN 80-902460-4-4.

11. Seznam obrázků

Obrázek 1: Traktor Ford 8830 s pětiradličním pluhem a pčhem (<i>Brož 2018</i>)	5
Obrázek 2: Terralend, Dlatový pluh (www.bednar-machinery.com)	6
Obrázek 3: Penetrační odpor půdy (Praha-Ruzyně) 9 let od založení pokusu (<i>Hůla 2010</i>)	7
Obrázek 4: Vliv vodní eroze a eroze zpracování půdy (<i>Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.</i>)	11
Obrázek 5: Typické míry infiltrace pro různé půdy (Withers & Vipond 1974)	13
Obrázek 6: Transport půdních částic (http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/eroze%2010_vetrna_vyber.pdf)	18
Obrázek 7: Schématické znázornění pohybu půdy během zpracování (Tillage erosion and translocation: emergence of a new paradigm in soil erosion research)	23
Obrázek 8: Posun půdních částic při orbě (<i>Kumhála et al. 2007</i>)	24
Obrázek 9: Teoretická součtová křivka (<i>Lobb et al. 1995</i>)	26
Obrázek 10: Lokalita pokusu a foto pozemku (<i>Novák, Hůla 2018</i>)	28
Obrázek 11: Rozmístění tracery před zpracování (<i>Brož 2019</i>)	31

12. Seznam tabulek

Tabulka 1: Objemová hmotnost a pórovitost před primárním zpracováním pozemku	29
Tabulka 2: Objemová hmotnost a pórovitost před sekundárním zpracováním pozemku	29
Tabulka 3: Objemová hmotnost a pórovitost po sekundárním zpracování pozemku	29
Tabulka 4: Tukeyův test	34
Tabulka 5: Tukeyův test	36
Tabulka 6: Tukeyův test	37
Tabulka 7: Tukeyův test	39
Tabulka 8: Tukeyův test	41
Tabulka 9: Tukeyův test	42
Tabulka 10: Tukeyův test	44
Tabulka 11: Tukeyův test	45

13. Seznam grafů

Graf 1. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.	33
Graf 2. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.	35
Graf 3. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.	36
Graf 4. Délka vektoru posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.	38
Graf 5. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.	40
Graf 6. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při primárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.	41
Graf 7. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny ve spodní části rýhy.	43
Graf 8. Vektorový úhel posunu hliníkových kostiček při sekundárním zpracování půdy, které byly umístěny na povrchu.	44