

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra zemědělských strojů**



**Vliv opotřebení nástrojů pro zpracování půdy na posun  
půdních částic**

**Diplomová práce**

**Bc. František Horejš**

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. František Horejš

Zemědělská technika

Název práce

**Vliv opotřebení nástrojů pro zpracování půdy na posun půdních částic**

Název anglicky

**Influence of wear of tillage tools on soil particle displacement**

---

### Cíle práce

Cílem práce bude vyhodnotit účinek pracovních nástrojů pro zpracování půdy na posun půdních částic během zpracování. Bude hodnocen účinek ve vztahu k opotřebení nástroje.

### Metodika

Literární rešerže soudobé literatury na problematiku "tillage erosion". Vlastní práce bude spočívat v provedení polního experimentu s danou tematikou. Součástí práce bude i zpracování dat s provedenou statistickou analýzou dat. Práce je vhodné doplnit i diskuzí.

**Doporučený rozsah práce**

50 stran

**Klíčová slova**

eroze zpracování půdy, ostří, posun půdy

**Doporučené zdroje informací**

další podklady: odborné a vědecké databáze, firemní literatura

Heckrath, G., Djurhuus, J., Quine, T. A., Van Oost, K., Govers, G., & Zhang, Y. (2005). Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark. *Journal of environmental quality*, 34(1), 312-324.Li, S., Lobb, D. A., Lindstrom, M. J., & Farenhorst, A. (2007). Tillage and water erosion on different landscapes in the northern North American Great Plains evaluated using 137Cs technique and soil erosion models. *Catena*, 70(3), 493-505.Novák, P., & Hůla, J. (2017). The influence of sloping land on soil particle translocation during secondary tillage. *Agronomy Research*, 15(3), 799-805.Schumacher, T. E., Lindstrom, M. J., Schumacher, J. A., & Lemme, G. D. (1999). Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion. *Soil and Tillage Research*, 51(3-4), 331-339.Van Muysen, W., Govers, G., & Van Oost, K. (2002). Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil and tillage research*, 65(1), 77-93.**Předběžný termín obhajoby**

2022/2023 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Petr Novák, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 20. 2. 2023

**prof. Dr. Ing. František Kumhála**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2023

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 10. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci "**Vliv opotřebení nástrojů pro zpracování půdy na posun půdních částic**" vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, jímž byl doc. Ing. Petr Novák Ph.D. s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne:

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Petru Novákovi Ph.D. za odborné vedení, odborné rady a čas, který mi věnoval po dobu zpracování této diplomové práce.

## **Abstrakt**

Eroze zpracováním půdy je v současnosti stále málo prozkoumaným tématem v porovnání s vodní a větrnou erozí, přičemž její závažnost je s nimi srovnatelná. Obsahem této diplomové práce je posoudit vliv opotřebení pracovních nástrojů na radličkovém kypřiči vůči posunu půdních částic. Tento vliv je dále posuzován z hlediska směru zpracování půdy ve třech variantách: po svahu, proti svahu a po vrstevnici. Druhou částí je hodnocení vlivu konstrukce talířových kypřičů na posun půdních částic. Hodnocen je talířový kypřič s řadami pracovních nástrojů do tvaru X a talířový kypřič s rovnoběžnými řadami pracovních nástrojů. Oba tyto stroje jsou hodnoceny při práci ve třech různých úrovních svažitosti: 2°, 6°, 11°.

Klíčová slova: eroze, zpracování půdy, opotřebení pracovních nástrojů.

## **Abstract**

Tillage erosion is currently still an understudied topic compared to water and wind erosion, even though its severity is comparable to them. The scope of this thesis is to assess the effect of wear of working tools on a chisel cultivator, against soil particle displacement. This influence is further assessed in terms of the direction of soil tillage in three variants: downhill, uphill and contour. The second part assesses the influence of the design of the disc cultivators on the displacement of soil particles. A disc cultivator with X-shaped rows of working tools and a disc cultivator with parallel rows of working tools are evaluated. Both of these machines are evaluated when working at three different slope levels of 2°, 6°, 11°.

Key words: erosion, tillage, wear of working tools.

## Obsah

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Úvod .....  | 1  |
| 2     | Cíl práce.....  | 2  |
| 2.1   | Definované premisy .....                                | 2  |
| 3     | Zpracování půdy.....                                    | 3  |
| 3.1   | Význam operací při zpracování půdy .....                | 3  |
| 3.2   | Vlivy zpracování půdy .....                             | 4  |
| 3.3   | Technologie zpracování půdy .....                       | 7  |
| 3.3.1 | Konvenční zpracování půdy .....                         | 7  |
| 3.3.2 | Minimalizační zpracování půdy.....                      | 7  |
| 3.3.3 | Půdoochranné zpracování půdy .....                      | 8  |
| 3.4   | Trendy v technice pro zpracování půdy .....             | 9  |
| 4     | Konstrukce pracovních nástrojů pro zpracování půdy..... | 12 |
| 4.1   | Radličné orební těleso .....                            | 13 |
| 4.2   | Talířové pracovní nástroje.....                         | 14 |
| 4.3   | Radličkové pracovní nástroje .....                      | 14 |
| 4.4   | Opotřebením pracovních nástrojů .....                   | 16 |
| 4.4.1 | Druhy opotřebením .....                                 | 16 |
| 4.5   | Povrchové úpravy pracovních nástrojů.....               | 17 |
| 4.5.1 | Tryskání .....  | 18 |
| 4.5.2 | Kalením.....  | 18 |
| 4.5.3 | Tvrdopotahování.....                                    | 19 |
| 5     | Eroze.....  | 21 |
| 5.1   | Vodní eroze .....                                       | 21 |
| 5.2   | Větrná eroze .....                                      | 24 |
| 5.3   | Eroze zpracováním půdy.....                             | 25 |
| 5.3.1 | Metody měření eroze zpracováním půdy.....               | 27 |
| 6     | Metodika.....   | 28 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 6.1  | Metody experimentu .....                          | 29 |
| 7    | Výsledky měření.....                              | 32 |
| 7.1  | Měření vlivu konstrukce talířových kypřičů .....  | 32 |
| 7.2  | Měření vlivu opotřebení pracovních nástrojů ..... | 38 |
| 8    | Diskuse .....                                     | 43 |
| 9    | Závěr.....  | 46 |
| 10   | Zdroje .....                                      | 47 |
| 10.1 | Online zdroje .....                               | 53 |
| 11   | Seznam obrázků.....                               | 54 |
| 12   | Seznam tabulek.....                               | 55 |
| 13   | Seznam grafů .....                                | 56 |



# 1 Úvod

Půda je pro nás v současné době nenahraditelným a velice cenným zdrojem, bez kterého by život na zemi nemohl existovat tak, jak ho známe. Vznik a úspěch jednotlivých civilizací byl vždy spojen s vhodnými podmínkami pro zemědělství. Takovouto podmínkou je bezesporu i kvalitní zemědělská půda, která umožňuje produkci potravin pro současný svět. Ten však čelí složitému úkolu navyšovat produkci potravin vzhledem k narůstající lidské populaci a snižování rozlohy zemědělské půdy, které je dáno zastavováním či degradací půdy. Řešením tohoto úkolu je intenzifikace zemědělství, využívající v současné době velké množství moderních technologií, avšak ne vždy zcela úspěšně, jelikož velké množství hospodařících subjektů vidí půdu jako krátkodobý zdroj a přes vidinu vysokých výnosů a zisků se nezaobírají možností, že daná intenzifikace půdě škodí a může mít nenávratné důsledky na její úrodnost v budoucnosti. Přes používání velkého množství hnojiv, látek na ochranu rostlin, či zavlažování produkčních ploch, je stále hlavním průvodcem úspěchu kvalita zemědělské půdy. Ta je však zmíněnou intenzifikací stále více namáhána nedostatečným návratem organického materiálu, či přílišným zpracováváním půdy, které má za následek nevhodnou změnu její struktury a vyšší náchylnost k degradaci.

Degradace půdy je v současném světě velký problém, jelikož účinky nejsou často zřejmé, dokud její úroveň není často na hranici uskutečnitelné obnovy. Tento proces však trvá často desítky let a je potřeba nemalého úsilí s nejasným výsledkem. Nejkritičtějšími původci degradace půd jsou v současné době úbytek organického materiálu v půdě, omezení její biologické aktivity, zhutňování půdy, či různé druhy zrychlené eroze. Těmi nejvíce zkoumanými jsou eroze vodní a větrná, avšak eroze zpracováním půdy je stále do určité míry velkou neznámou, přestože její důsledky jsou srovnatelné, ba i horší než u zmíněných dvou druhů. Eroze je v současné době rizikem, se kterým se potýká v podstatě každé zemědělství na Zemi, proto je potřeba předcházet jejím důsledkům. Z tohoto hlediska je však neustále nutné zkoumat příčiny eroze a hledat nové souvislosti.

## **2 Cíl práce**

Cílem této práce je vyhodnotit účinek jednotlivých pracovních nástrojů na posun půdních částic.

### **2.1 Definované premisy**

1. Vliv opotřebení pracovních nástrojů na posun půdních částic. Předpokládá se, že s opotřebením bude docházet k většímu posunu půdních částic.
2. Vliv směru zpracování půdy na posun půdních částic. Předpokládá se, že největší posun půdních částic nastane při zpracování půdy směrem ze svahu.
3. Vliv konstrukce talířových kypřičů na posun půdních částic. Zde je předpoklad, že jeden z kypřičů dosáhne lepších výsledků v rámci posunu půdních částic.
4. Vliv svažitosti pozemku na posun půdních částic. Zde se předpokládá, že s narůstající svažitostí bude docházet k navýšení posunu půdních částic.

### **3 Zpracování půdy**

Snaha o zlepšení úrodnosti obhospodařované půdy doprovází člověka již od počátku zemědělství. Jednou z mnoha činností vedoucích k tomuto cíli je zpracování půdy. V minulosti byl tento úkon velice limitován svou náročností, která při využití pouze lidské, nebo zvířecí práce, nedovolovala zpracovávat velké plochy. Změnou tomu byla průmyslová revoluce, která stála za rozvojem technologií a strojů umožňujících efektivně nahradit lidskou práci (Hůla et al., 2008).

Zpracování půdy je definováno, jako mechanická manipulace s půdou k získání ideálního profilu a vlastností půdy pro rozvoj a růst pěstovaných plodin. Vzhledem k náročnosti způsobené velkými zpracovávanými plochami i možnou hloubkou zpracování (až do 90 cm), může být takovýto úkol při relativně krátkém časovém okně obtížný. Proto je historicky dána snaha o vývoj technologií a postupů, které by to umožňovaly s větší lehkostí a efektivitou (Stout et al., 1999).

#### **3.1 Význam operací při zpracování půdy**

Veškeré zpracování půdy je úzce spjata s různými pěstebními technologiemi. Tyto technologie však mohou mít rozdílné požadavky co se parametrů zpracované půdy týče. K docílení těchto parametrů je však nutné rozdílné zpracování v závislosti na půdních typech a vlastnostech, jako je například vlhkost. Ta je zcela zásadní u zpracování těžkých půd, kdy existuje jen úzké rozmezí vlhkosti, kdy je možné půdu kvalitně obdělávat. Na opačném konci spektra se pak nachází lehké písčité půdy, jejichž zpracování je relativně nenáročné, i vzhledem k vlhkosti. Problémem zde však je nebezpečí, kdy při přílišném a častém zpracování může dojít k nadměrnému provzdušnění půdy, jenž má za následek rychlejší mineralizační procesy a tím pádem vyšší úbytek organické hmoty v půdě, mající za následek i snížení úrodnosti půdy (Hůla et al., 1997).

Ve výsledku je tedy třeba se při rozhodování o správném výběru technologie na zpracování půdy řídit několika zásadami, které zmiňuje (Křen et al., 2015). Základní je respektování půdních a klimatických podmínek. Další je sledování předplodiny pěstované na pozemku a plodiny, která bude následovat v osevním postupu. V době, kdy je na zpracování půdy jen omezený časový rozsah, může být zcela zásadní časová náročnost dané technologie.

V posledních letech jsou stále více sledovány dopady jednotlivých technologií na půdu a organismy žijící v ní. Vzhledem k růstům nákladů v zemědělství v posledních letech začala být ekonomická stránka věci velice aktuální, proto je sledování nákladů na zpracování půdy také jedním z rozhodovacích faktorů.

Dalším faktorem ovlivňujícím zpracování půdy je i legislativa, zejména pak vyhláška č. 240/2021 Sb. (Vyhláška o ochraně zemědělské půdy před erozí), nebo standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy (DZES), vycházející z nařízení Evropského Parlamentu a Rady EU č. 1306/2013, ve kterých se věnují ochraně půdy zejména tři standardy: DZES 4 ohledně minimálního pokryvu půdy. DZES 5 určující minimální úroveň obhospodařované půdy odrážející specifické místní podmínky k omezování eroze, DZES 6 ohledně zachování úrovně organických složek půdy vhodnými postupy, včetně vypalování strnišť na orné půdě (eagri.cz a).

### **3.2 Vlivy zpracování půdy**

Celková problematika zpracování půdy je vcelku komplexní a souvislosti mezi jednotlivými vlivy jsou velice provázané. Základní požadavky na výslednou podobu zpracované půdy definoval (Srivastava et al., 1993):

- Vhodná struktura půdy pro klíčení a rozvoj pěstovaných plodin.
- Dobré infiltrační schopnosti půdy a s tím spojený nízký splav půdy i živin.
- Omezení plevelů, škůdců a chorob vyskytujících se na pozemku.
- Nezbytné zacházení s posklizňovými zbytky.
- Zpracování statkových hnojiv, minerálních hnojiv a půdních aditiv.
- Vyrovnání povrchu pozemku a jeho příprava na další agrotechnické operace.

#### **Vliv zpracování půdy na fyzikální vlastnosti půdy.**

Jednou z nejvíce ovlivněných vlastností je objemová hmotnost půdy, která pak přímo ovlivňuje velké množství dalších fyzikálních vlastností, zejména pak úzce koreluje s pórovitostí půdy, udávající objem a množství jednotlivých velikostních skupin porů majících dopad na vodní a vzdušný režim půdy. Všeobecně se ukazuje, že s nižší intenzitou zpracování půdy objemová hmotnost půdy roste a úměrně s tím klesá celková pórovitost.

V důsledku toho stoupá poměr kapilárních a nekapilárních pórů, díky čemuž dochází ke zvyšování vodního potenciálu půdy spojeného s vyšším obsahem vody. Podložením této premisy je pak nejvyšší zaznamenaný vodní potenciál při technologiích bez zpracování půdy v porovnání s ostatními technologiemi (Salem et al., 2015)

### **Vliv zpracování půdy na strukturní stav půdy.**

Ten je významným prvkem pro úrodnost. Intenzita zpracování půdy má vliv i na strukturní změny, přičemž snížení intenzity spolu s ponecháním většího množství posklizňových zbytků na povrchu zpravidla vede ke zlepšení půdní struktury. Tím je myšlena zejména vyšší četnost požadovaných strukturních agregátů a jejich stálosti. Vhodná struktura půdy z hlediska agregátů a jejich odolnosti vede k optimalizaci půdní pórovitosti, infiltraci vody a její dostupnosti pro pěstované plodiny. Pro vysokou stabilitu půdních agregátů je však důležitý dostatečný obsah půdní organické hmoty. Dalším podstatným parametrem je i jejich vlhkost, kdy jsou vlhké agregáty odolnější vůči povětrnostním vlivům oproti suchým agregátům. Obyčejně jsou půdy pravidelně zpracovávané některou z minimalizačních technologií stabilnější, co se půdních agregátů týče, oproti půdám zpracovávaným konvenčním způsobem (Křen et al., 2015).

### **Vliv zpracování půdy na infiltraci srážkové vody.**

V souvislosti s měnicími se fyzikálními vlastnostmi ovlivňujícími změny propustnosti vody a vzduchu, ale i vodivosti tepla. Dle (Salem et al., 2015) dosahují plochy s využitím technologií bez zpracování půdy nižší teploty než ty, kde ke zpracování dochází a zároveň prokazuje vliv těchto teplot na výnos. S příznivou infiltrací pak přímo souvisí i snížený povrchový odtok vody z pozemku a tím i riziko vodní eroze.

Při konvenčním zpracování půdy vzniká homogenní struktura s horizontální stavbou, oproti tomu při minimalizačních postupech vzniká vertikální struktura. Tyto struktury poté mají vliv na rychlost infiltrace a množství pohlcené vody, zejména pak množstvím vytvořených makropórů v horní vrstvě půdy. Největší množství těchto makropórů najdeme u půd zpracovávaných konvenčním zpracováním půdy (Lipiec et al., 2006). Velký vliv na odtok vody z povrchu má také množství ponechaných rostlinných zbytků na povrchu půdy.

### **Vliv zpracování půdy na organickou hmotu v půdě.**

Tento vliv má velký význam z hlediska úrodnosti půdy a výživy pěstovaných plodin. V závislosti na intenzitě zpracování půdy je ovlivněna rychlost ukládání uhlíku ve formě humusu a jeho následné uvolňování do atmosféry v plynném skupenství ve formě oxidu uhličitého, kdy s narůstající intenzitou roste zmíněné uvolňování. Podobně je tomu i u dusíku v půdě. V souvislosti s vyšším obsahem vzduchu v půdě způsobeném vyšší intenzitou zpracování dochází k rychlejší mineralizaci půdní organické hmoty, následovanému uvolňování dusíku přeměněného na nitráty využitelného plodinami (Křen et al., 2015).

Živiny se však mohou k plodinám dostat i ve formě hnojiv, a to ve verzi minerálních či statkových. Zejména pro druhé jmenované je nepostradatelné jejich následné zapracování do půdy po aplikaci, zejména za použití orby. Avšak i zapracování minerálních hnojiv může mít za následek jejich vyšší využitelnost pro plodiny, eventuálně nižší smyv živin v případě jejich aplikace na povrch (Srivastava et al., 1993). Součástí organické hmoty v půdě jsou i rostlinné posklizňové zbytky, které jsou podstatné pro různé druhy zpracování půdy. Typicky jejich zaorání při konvenčním zpracování půdy. Naopak minimalizační technologie pracují s těmito zbytky na povrchu, popřípadě v nejsvrchnější vrstvě půdy (Křen et al., 2015).

### **Vliv zpracování půdy na biologické aspekty půdy.**

Mimo fyzikálních, chemických a strukturních vlastností půdy, ovlivňuje zpracování půdy i biologickou aktivitu, která v ní probíhá. Jedním z příkladů může být aktivita mikroorganismů, jejich změna je však relativně pozvolná a významné změny se mohou dostavit až po několika desetiletích.

Krátkodobější efekt však může mít na výskyt jiných živočichů. Příkladem může být výskyt různých druhů škůdců způsobujících v případě velkého rozšíření ztráty na výnosu. Jedním z nich může být hraboš obecný (*Microtus arvalis*), jehož výskyt je ovlivněn dle (Heroldová et al., 2018) způsobem zpracování půdy a v případě vyšší intenzity dochází k menšímu rozvoji populace na pozemku. Stejný efekt zpracování půdy však můžeme pozorovat u populací žížal, u kterých je ale tento proces vnímán negativně, jelikož jejich vliv na strukturu půdy, a i další vlastnosti kladně ovlivňující úrodnost, je prospěšný (Peigné et al., 2009). Důvodem redukce žížal není však jejich mechanická likvidace, ale ničení jejich prostředí spolu s přenosem rostlinných zbytků pod zem, kde mineralizují a užijí tak pouze omezenou populaci.

### **3.3 Technologie zpracování půdy**

#### **3.3.1 Konvenční zpracování půdy**

Nazývá se též tradiční, každoročně využívající orbu. Jde o zpracování půdy, kdy dochází k zapravení všech posklizňových, nebo jiných rostlinných zbytků do půdy po otočení vrchní vrstvy ornice. K tomuto se nejčastěji používá radličného pluhu, který při práci odřezává za pomoci orebních těles půdu, kterou dále otáčí, drobí ji a ukládá zpět na povrch pozemku. Takto zpracovaná půda je za vhodných podmínek nakypřená a rozdrobená. Tuto zpracovanou půdu je pak vhodné zpětně utužit další pracovní operací, nebo jako v případě podzimní orby nechat ji samovolně slehnout (Křen et al., 2015).

Orba se vyznačuje vysokou energetickou i časovou náročností a s tím spojenými vyššími náklady na provoz. Opakem pak tomu jsou snížené náklady na chemickou ochranu porostů, vzhledem k likvidaci značného množství plevelů. Podobně je tomu tak i s likvidací škůdců, jako jsou například různé druhy hlodavců, popřípadě slimáků (Hůla et al. 1997).

Mezi hlavní nevýhody této technologie se bezesporu řadí tvorba zhutněné podorniční vrstvy, která zabraňuje ideálnímu vsakování dešťové vody, ale i vztlínání spodní vody. Dalším negativem je pak snížení počtu prospěšných organismů žijících v půdě. Neméně podstatným problémem je i zhoršování určitých půdních vlastností, zejména pak pórovitosti půdy (Křen et al., 2015).

Orbu lze rozdělit v závislosti na hloubce zpracování:

- Mělká orba 0,15-0,18 m
- Střední orba 0,18-0,24 m
- Hluboká 0,24-0,3 m
- Velmi hluboká nad 0,3 m (Kumhála et al., 2007)

#### **3.3.2 Minimalizační zpracování půdy**

Na rozdíl od tradičního zpracování zde nedochází k otočení půdy a zapravení všech rostlinných zbytků. Určitá část z nich zůstává na povrchu. Jedná se o postup, kdy se půda prokypří a promíchá pomocí různých druhů kypřičů. Tato technologie se vyznačuje nižší energetickou náročností a tím i vyšší plošnou výkonností.

Typickým rysem je snaha o snižování počtu přejezdů po pozemku, z tohoto důvodu vyplývá úsilí o spojení více pracovních postupů dohromady. Benefity, které z toho plynou jsou pak menší časová náročnost, ale i nižší zhutnění půdy. Dalším nepopiratelným kladem této technologie je i ten ekonomický, kdy se tento postup zpravidla vyznačuje nižšími náklady na jednotku plochy (Hůla et al., 2008).

Očekávání od minimalizačních technologií jsou zlepšení půdního a životního prostředí, vedoucí ke změně strukturního stavu půdy, hospodaření s vodou, obsahu půdní organické hmoty a biologické činnosti, redukci zhutnění a eroze půdy, s níž souvisí omezení vyplavování živin. Rozsah těchto změn závisí na intenzitě a hloubce zpracování půdy, související i s množstvím ponechaných rostlinných zbytků na povrchu nebo nejsvrchnější vrstvě půdy. Neméně zásadními faktory jsou pak i doba, po kterou se daná technologie používá spolu s půdními a klimatickými podmínkami dané oblasti. (Křen et al., 2015).

### 3.3.3 Půdochranné zpracování půdy

Stejně jako minimalizační technologie i zde se používá kypřičů, avšak s tím rozdílem, že více než 30 % povrchu pozemku zůstává pokryto rostlinnými zbytky. Tyto technologie mají za úkol omezit erozi způsobenou dešťovými přívaly, či větrem. Nejvíce využívány jsou pak v oblastech ohrožených těmito problémy. Půdochranné zpracování půdy pak lze dle (Brady et al., 1999) dodatečně rozdělit.

- **Reduced-tillage** – Před setím se provedou jen nejnnutnější pracovní operace, jakožto regulace plevelů.
- **Strip-tillage** – Při této technologii dochází ke zpracování půdy pouze v úzkých pásech, do kterých je následně vysévána plodina. V minulosti se nejčastěji využíval u širokořádkových plodin, v současnosti však najdeme využití i u jiných plodin, jako je například řepka. Pro zpracování se používají speciálně konstruované kypřiče, často agregované i se secím strojem, případně aplikátorem hnojiv. Důvodem k tomu je to, že pokud by nedošlo k současnému provádění více operací, bylo by nutné využít některého z naváděcích systémů, aby byly dané úkony provedeny přesně ve zpracovaných pásech.



- **Ridge-tillage** – Využití zejména pro širokořádkové plodiny. Princip spočívá ve vytvoření hrůbků, na jejichž vrchol jsou plodiny vysety. Většina posklizňových zbytků je pak uložena v prostoru mezi těmito hrůbkami, tato plocha zastává až 70 % celkové plochy pozemku.
- **Mulch-tillage** – Dochází k celoplošnému zpracování půdy, ale pouze velmi mělce. Vznikne tak mulč posklizňových zbytků a půdy. Do výsledného mulče je posléze osivo zaseto. I přes tyto operace zůstává na povrchu 40-60 % posklizňových zbytků.
- **No-tillage** – Nedochozí k žádnému zpracování půdy. Po sklizni je plodina zasetá za pomoci speciálních secích strojů přímo do půdy pokryté posklizňovými zbytky předplodiny. (Hůla et al., 2008).

### 3.4 Trendy v technice pro zpracování půdy

Vzhledem k současnému rozvoji minimalizačních technologií a jejich pozvolným upřednostňováním na úkor konvenčního zpracování půdy, z důvodů ekonomických, agrotechnických, či legislativních, dochází k souběžnému vývoji strojů a techniky ulehčující jejich provedení.

Příkladem mohou být secí stroje, u kterých je nutné, vzhledem k významnějšímu množství rostlinných zbytků a většímu penetračnímu odporu, zajistit kvalitní uložení osiva. Toho je často dosahováno agregací secích strojů se stroji na zpracování půdy.



Obr. č. 1 Secí kombinace Lemken Solitair. Zdroj: <https://lemken.com/en-en/agricultural-machines/sowing/seed-drills>

Těmi mohou být poháněné pracovní nástroje, zejména pak vířivé kypřiče, nebo nepoháněné pracovní nástroje ve formě radliček, dlát či talířů viz obr.č.1. Výhodou těchto secích kombinací je i snížení počtu přejezdů, díky zmíněnému spojení pracovních operací. To však má za následek i vyšší energetickou náročnost a požadavky na tažný prostředek. Z hlediska plošné výkonnosti však dosahují tyto stroje lepších hodnot než u separátních operací. Tyto kombinace lze použít nejen u minimalizačních technologií, ale i konvenčního zpracování půdy a sít tak přímo po orbě do hrubé brázdy (Křen et al.,2015).

Jednou z minimalizačních technologií využívající unikátní techniku je pak technologie strip-tillage. Ta pro zpracování úzkých pásů půdy využívá speciálně vyvinutých kypřičů, sestavených z jednotlivých pracovních jednotek. Ty se pak skládají z jednotlivých komponent, kterými jsou:

- Prořezávací a podpěrný disk.
- Odstraňovač rostlinných zbytků.
- Kypřicí radlice.
- Vymezovací disky.
- Utužovací válec.

Dalším možným vybavením těchto strojů může být systém hnojení, ať už tekutými, či granulovanými hnojivy. V obou těchto případech je hnojivo dopravováno ze zásobníku do rozdělovače, následně za kypřicí radlici a zapravováno tak rovnou do půdy. Při následném setí je potřebné využít některého z navigačních systémů, aby bylo docíleno přesného setí do zpracovaných pásů.

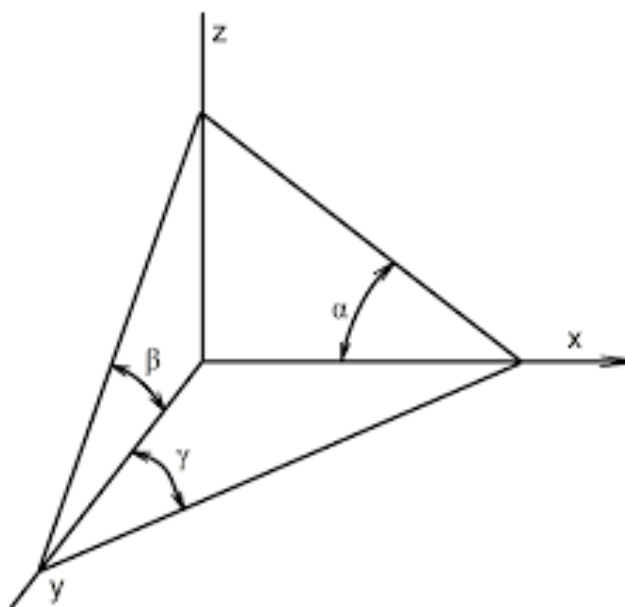
Navigační systémy GPS jsou však z hlediska inovací velice rozšířené, co se zpracování půdy týče omezují překrývání jednotlivých přejezdů a zvyšují tak plošnou výkonnost strojů. Větší dopad však mají na postupy využívané u precizního zemědělství. Za zmínku stojí například jejich využití při tvorbě výnosových map získaných při sklizni, či analogicky využití map pro diferenciované hnojení, popřípadě setí, vytvořené na základě výnosového potenciálu pozemku.

Další technologií, pro kterou je GPS nepostradatelné je technologie CTF (Controlled traffic farming), v češtině vyjádřeno jakožto systém kontrolovaných přejezdů. Podstatou této technologie je využívání stálých kolejí pro přejezd všech pracovních prostředků. Význam této technologie spočívá ve snížení zhutnění půdy (Kroulík et al., 2011). Pro využití této technologie je však nutné sjednocení rozchodů všech použitých strojů a také značná zodpovědnost obsluhy.

## 4 Konstrukce pracovních nástrojů pro zpracování půdy

Pracovní nástroje strojů pro zpracování půdy jsou navrhovány na základě požadavků na jejich funkci. Těmi mohou být obracení, kypření, drobení nebo podřezávání půdy. Pro jejich dosažení jsou navrhovány pracovní nástroje různých tvarů. Platí pro ně však základní pravidla, vycházející z principu třístranného klínu obr.č.2, který je určen třemi úhly zobrazenými ve třech navzájem kolmých rovinách. Pro tyto tři úhly platí, že:

1. Úhel  $\alpha$  je zobrazen v rovině svislé ve směru jízdy
2. Úhel  $\beta$  je zobrazen v rovině svislé kolmé na směr jízdy
3. Úhel  $\gamma$  je zobrazen v rovině vodorovné (Kumhála et al., 2007)



Obr. č. 2 Třístranný klín.

Při směru jízdy ve směru osy  $x$  platí, že úhel  $\alpha$  zdvihá půdu, úhel  $\gamma$  ji drobí a posouvá do strany a úhel  $\beta$  půdu otáčí.

Zdroj: <http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2019/09/szp-2019.pdf>

Pro zjednodušení funkce jednotlivých úhlů si je můžeme představit, jakožto jednoduché dvojstranné klíny. V takovém případě mají takovéto funkce. Úhel  $\alpha$  zdvihá půdu ve směru jízdy a spolu s úhlem  $\gamma$ , který navíc půdu posouvá do strany, má za následek drobní schopnosti pracovního nástroje. Úhel  $\beta$  má na rozdíl od dvou zbývajících funkcí otáčení materiálu.

## 4.1 Radličné orební těleso

Jedná se o základní pracovní nástroj radličného pluhu používaného při orbě. Skládá se ze čtyř základních částí, jimiž jsou čepel, odhrnovačka, plaz a slupice. Každá z těchto částí může mít rozdílnou konstrukci v závislosti na požadovaných vlastnostech. Čepel, jež odděluje ornici v horizontální rovině, se nachází na spodní straně orebního tělesa a je přišroubována k odhrnovačce. Jedná se o část nejvíce opotřebovávanou, z tohoto hlediska se prodlužuje její životnost kalením, či navařováním tvrdokovu na ostří čepele (Hrabě et al., 2015). Dále jsou využívány čepele s vyměnitelným dlátem, nahrazujícím nejopotřebovanější část čepele, využití tohoto druhu je vhodné do kamenitých a těžkých půd. Další součástí je odhrnovačka, tvořící největší díl orebního tělesa. Zvedá, otáčí a drobí zpracovávanou půdu. Podle (Kumhála et al., 2007) rozeznáváme několik základních druhů odhrnovaček, lišících se v rozdílné konstrukci úhlu  $\gamma$  a jeho změně v rozdílné výšce odhrnovačky  $\Delta\gamma$ .

- Válcová  $\gamma_0 = 45^\circ - 50^\circ$   $\Delta\gamma = 0^\circ$
- Kulturní  $\gamma_0 = 40^\circ - 45^\circ$   $\Delta\gamma = 5^\circ - 7^\circ$
- Pološroubová  $\gamma_0 = 35^\circ - 40^\circ$   $\Delta\gamma = 7^\circ - 15^\circ$
- Šroubová  $\gamma_0 = 30^\circ - 25^\circ$

Nejvyššími úhly  $\alpha$  a  $\gamma$  se vyznačuje válcový typ, to má za následek, že drobní vlastnosti jsou největší. Naopak má nižší schopnost obracení a zaklápění půdy. Na opačném konci spektra, během kterého se postupně mění úhel  $\gamma$ , se nachází šroubový typ odhrnovačky. Ta na rozdíl od typu válcového, má výraznější schopnost obracení půdy než jejího drobení. Třetí součástí orebního tělesa je plaz. Jedná se o součást ve tvaru desky, přišroubované ke slupici za přední částí čepele a je umístěna souběžně se směrem jízdy. Primárním úkolem plazu je, že se opírá o stěnu brázdy a zachycuje tak boční sílu vyvolanou působením obracené půdy. Poslední součástí je slupice, která slouží jakožto rám orebního tělesa, který drží ostatní součásti pohromadě a je připevněn k rámu pluhu.

## 4.2 Talířové pracovní nástroje

Jedná se o pracovní nástroje ve formě dutého kulového vrchlíku, který je definován poloměrem zakřivení a průměrem a tloušťkou materiálu, ze kterého je vyroben. Běžné rozměry pak jsou 410-1270 mm průměru a 4,5-9 mm tloušťky materiálu. Co se týče průměru zakřivení, setkáme se ve většině případů s 1,2 až 2,5násobkem průměru talíře. Všechny tyto vlastnosti se liší v závislosti na druhu použití (Stout et al., 1999).

Existuje několik druhů využití talířových pracovních nástrojů. Zejména pak jako součásti talířových pluhů, kypřičů či bran. Principem fungování je odkrajování půdy hranou talíře a její posun způsobený rotací talíře kolem jeho středu. Ta má za následek, že rozdílná obvodová rychlost vzhledem ke středu působí rozdílně na zpracovávanou půdu a tím jí promíchává. Úhly, které drží talíř vůči směru jízdy se liší v závislosti na druhu použití. U talířových pluhů, kde jsou využity nejširší typy talířů zastávající úhel  $\gamma$  42°- 45° a  $\beta$  15°- 25°. Co se týče kypřičů a bran, využívají talíře menších průměrů a úhel  $\gamma$  může být často měnitelný, v případě, že jsou talíře umístěny na společný bateriích, často postavených do tvaru X. Pro tento typ strojů však platí, že takto uložené talíře nemohou být nastaveny pod úhlem  $\beta$ . Rozdílem pak jsou stroje, kde jsou talíře umístěny jednotlivě, každý na své slupici. Takto upevněné talíře svírají úhel  $\beta$  15°- 25°. U talířových kypřičů a bran se můžeme často setkat s různým vykrajováním na hraně talíře, to má za následek lehčí vnikání pracovních nástrojů do půdy (Srivastava et al., 1993).

## 4.3 Radličkové pracovní nástroje

Stroje pracující s těmito druhy pracovních nástrojů najdeme při velké spoustě agrotechnických operací, od podmítky, přes kypření až po předset'ovou přípravu, často však najdou i jiné využití, jako je například plečkování. Parametry těchto pracovních nástrojů, jako je geometrie a rozměry vycházejí z požadavků na rozrušování půdní vrstvy, míchání půdy, hloubky zpracování nebo likvidaci rostlin (Spoon et al., 2006). Dle (Kumhála et al., 2007) je základní rozdělení těchto radličkových pracovních nástrojů následující:

- Dlátové.
- Oboustranné.
- Šípové.

Dlátové, či také jednostranné, jsou univerzální pracovní nástroje hojně využívané na různých typech kypřičů. Jednostranná parabolická konstrukce dovoluje větší variabilitu použití, co se do hloubky zpracování týče, avšak geometrie dláta je navržena na určitou hloubku a při její nedodržení dochází k nárůstu tahového odporu a nadměrné tvorbě hrud. V současné době je návrh takovéto geometrie složitým procesem, využívajícím metody matematického modelování či metody konečných prvků (Mouazen et al., 1999).

Využití dlátových radliček je v celém spektru hloubek, od mělkého kypření při přípravě předseťového lůžka, až po hluboké kypření. Řada slupic dovoluje přidat k dlátům i postranní křídélka, která umožňují použití podobné šípovým radličkám. Intenzita promíchání rostlinných zbytků se do velké míry odvíjí od šířky samotného dláta, kdy při využití úzkých dlát, půda dláto spíše obtéká. Rozdílem tomu jsou dláta širší, mající mnohem větší efekt míchání, kdy půda stoupá od špičky dláta po tělese slupice až na povrch. Nevýhodou pak může být větší ztráta půdní vlhkosti (Godwin et al., 2006).

Oboustranné radličky do jisté míry sdílejí s dlátovými určité vlastnosti, avšak jsou mnohem náchylnější na snížení kvality práce při nedodržení pracovní hloubky. Ta na rozdíl od dlátových radliček nedosahuje takových hloubek. Hlavní charakteristikou tohoto druhu pracovních nástrojů je, že v případě opotřebování jedné strany se radlička pouze otočí a je možné pokračovat v práci. Využití pak často najdeme nejen na různých typech kypřičů, ale i jako rozrušovače kolejí, například u secích strojů.

Šípové radličky, jak už samotný název napovídá, mají tvar šípů o šířce 20–30 cm, tvořený dvěma křídly definovanými úhlem rozevření  $\gamma$  ( $60^\circ$  -  $90^\circ$ ) a elevačním úhlem  $\alpha$ , který určuje zvedací efekt dané radličky. Dle tohoto úhlu se radličky dále dělí na:

- Plecí – vhodné pro meziřádkovou kultivaci a podřezávání plevelu, úhel  $\alpha$  je menší  $20^\circ$ .
- Univerzální – použitelné jak pro podřezávání plevelu, tak i pro kypření půdy, úhel  $\alpha$  je mezi  $20$ - $30^\circ$ .
- Kypřicí – mají převážně kypřicí efekt, úhel  $\alpha$  je větší než  $30^\circ$  (Kumhála et al., 2007).

## 4.4 Opotřebení pracovních nástrojů

V současné době dochází ke stále častějšímu zpracování půdy i v podmínkách, které k tomu nejsou ideální. To má za následek vyšší opotřebení pracovních nástrojů, zhoršení kvality práce a vyšší časovou náročnost. Vzhledem k často krátkým časovým oknům na agrotechnické operace může mít zpoždění způsobené výměnou či opravou opotřebovaných částí nemalé důsledky a nedodržení agronomických termínů. Z toho důvodu jsou potřebné nástroje odolnější vůči opotřebení, byť často kusově dražší, jsou schopné zpracovat násobně větší plochy před nutností jejich výměny. V současné době jsou však k výrobě většiny pracovních nástrojů využívány nízkolegované oceli s vysokým až středním obsahem uhlíku. Z těch se opotřebované části vyrábí tvářením za tepla, často následované kalením. Tyto výrobky mají širokou funkční strukturu, avšak v případě vystavení abrazivním podmínkám nebo půdě s vyšší kyselostí dochází k vyššímu opotřebení (Singh et al., 2020)

### 4.4.1 Druhy opotřebení

#### Abrazivní

Principem tohoto druhu opotřebení je posun dvou povrchů po sobě, přičemž tvrdší z materiálů vniká do druhého a jeho část odnáší s sebou pryč. V případě zpracování půdy jsou to půdní částice odnášející materiál, ze kterého jsou pracovní nástroje vyrobeny. Jedním z prvků ovlivňující míru abraze je drsnost povrchu pracovního nástroje, kdy jeho menší drsnost omezuje vzájemnou interakci a tím i abrazi. Dalším pak je rozdíl v tvrdosti materiálu pracovního nástroje a tvrdosti zpracovávaného materiálu, kdy při vyšším rozdílu tvrdosti dochází k nižšímu odírání. Tento druh opotřebení je u pracovních nástrojů značně rozšířený. Typickým znakem mohou být rýhy vzniklé v materiálu (YU et al., 1990).

#### Adhezivní

Jedná se o druh opotřebení, při kterém dochází ke smýkání jednoho materiálu o druhý, to má za následek porušení povrchových (adsorbčních, oxidových) vrstev obou materiálů. V případě, že povrchové vrstvy nejsou dostatečně rychle narušovány a stačí se obnovovat, zabraňují tak vzniku velkého počtu adhezních spojů, což má za následek, že nedochází k významnému přenosu materiálu. Takto opotřebované povrchy jsou často lesklé bez rýh a stop po odírání materiálu.



Pokud však dojde k většímu narušování povrchových vrstev a vzniku dostatečného množství adhezních spojů, dochází k velkému přenosu mezi materiály a vzniku volných otěrových částic majících za následek větší míru opotřebení. Na takových površích jsou pak okem viditelné rýhy a stopy po odtrhávání materiálu. Faktory ovlivňující velikost adhezního opotřebení jsou:

- Drsnost povrchu a hloubka vnikání jednotlivých těles.
- Velikost zatížení a rychlost vzájemného povrchu.
- Schopnost povrchů vzájemně vytvářet adhezivní spoje.
- Tvrdost materiálu (Aramide et al., 2021).

### **Korozivní**

Při tomto druhu opotřebení dochází ke změně chemické struktury v horní vrstvě materiálu. Nejznámějším druhem tohoto opotřebení je rezivění neboli oxidace. Odolností vůči ní se vyznačuje určitá část materiálů (ušlechtilé), které nepostihuje. Oproti tomu u jiných materiálů dochází k samovolnému pokryvu povrchu oxidy daného prvku, příkladem může být hliník nebo železo a železné materiály. U nich však může docházet i k náchylnosti na odlupování oxidační vrstvy materiálu a obnažení ještě nezoxidované vrstvy. To má za následek pokračování opotřebení a mnohem závažnější degradaci materiálu. Vzhledem k využití různých materiálů, ze kterých se pracovní nástroje pro zpracování půdy vyrábějí, má tento druh opotřebení přímou korelaci se strukturálními vlastnostmi těchto materiálů a s vlastnostmi půd. Tím zásadním pak může být kyselost půdy a vodních roztoků, které mohou mít za následek vznik katodických vlivů (Aramide et al., 2021).

## **4.5 Povrchové úpravy pracovních nástrojů**

Se záměrem prodloužení životnosti pracovních nástrojů probíhá neustále vývoj technologií zaručující v tomto směru pokrok. Jedním z faktorů, které povrchové úpravy řeší je povrchové tření mezi materiálem a zpracovávanou půdou, což má za následek snížení tahového odporu (Ahmed et al., 2016). Důraz se také klade na zvyšování tvrdosti materiálu, ať už celého pracovního nástroje, nebo pouze jeho části. Důvodem k tomu dle (Stabryla et al., 2007) je, že abraze tvoří většinu opotřebení pracovních nástrojů a zároveň je spojitost mezi tvrdostí materiálu a mírou jeho abraze.

Mechanické vlastnosti jakožto tvrdost, mez kluzu, modul pružnosti, nebo mikrostruktura jsou dány technikou výroby a dalšího zpracování a mají přímý vliv na abrazivní opotřebení (Chintha et al., 2019). Technologií sloužících ke zlepšení těchto vlastností existuje velké množství, v současné době však nejvíce používané a rozvíjené jsou dle (Aramide et al., 2021) následující.

#### 4.5.1 Tryskání

Definice této technologie se dá popsat jako mechanická modifikace povrchu, během které tryskací médium předem definovaného tvaru a vysoké tvrdosti, naráží na upravovaný povrch vysokou rychlostí, což má za následek zvýšení napětí v povrchové vrstvě a zvýšení pevnosti povrchu. Jedná se o povrchovou úpravu za studena, svým principem podobnou kování, či válcování za studena.

- **Projektilové tryskání** – Při této variantě dochází k úpravě povrchu materiálu za pomoci kuličkových projektilů. Dochází k plastickým deformacím mající za následek uvolnění tahového napětí v materiálu a ke zvýšení tlakového. To má za efekt zlepšení povrchové struktury, která je odolnější vůči šíření trhlin.
- **Laserové tryskání** – Během této varianty je materiál vystaven namáhání překračující mez kluzu na dobu v řádu mikrosekund. Toho je docíleno řízenými laserovými pulzy. Tuto technologii lze využít od povrchu materiálu až do hloubky několika milimetrů. Důsledky tohoto procesu vedou ke zvýšení povrchového napětí.

#### 4.5.2 Kalení

Pro většinu pracovních nástrojů je požadováno, aby materiál, ze kterého jsou vyrobeny, měl na povrchu vyšší tvrdost a byl odolnější vůči opotřebení. Naopak jádro pracovního nástroje by mělo být houževnatější a schopné odolávat rázovému zatížení. Procesy mající toto za cíl jsou nazývány kalením, principem těchto procesů je zvýšení tvrdosti povrchu změnou struktury materiálu za pomoci jeho zahřátí na požadovanou teplotu a následném razantním zchlazení, popřípadě doplněním materiálu o legující prvek.

Základními procesy pak jsou:

- **Cementování** – nasycování povrchu oceli uhlíkem a následná změna struktury oceli.
- **Nitridocementování** – stejný postup s cementováním a sycení dusíkem pomocí amoniaku.
- **Nitridování** – nasycování povrchu materiálu v amoniakálním nebo vodíkovoamoniakálním prostředí
- **Kyanidování** – proces, při kterém je nahřátý materiál vystaven kyanidu sodnému a po následném zchlazení vytvoří na povrchu slabou vrstvu tvrdší než v případě cementování. Zásadním problémem je toxicita kyanidu sodného.
- **Kalení laserem** – princip získání změny struktury materiálu je stejný jako u běžného kalení, avšak při tomto postupu dochází k razantnímu zahřátí materiálu laserem a není třeba materiál dále chladit, jelikož dodané teplo se uvolní do celé hmoty komponentu.

Tyto technologie jsou vhodné při použití proti korozi, adheznímu opotřebení a únavě materiálu. Odolnost vůči abrazi však není tak účinná, a jelikož pracovní nástroje pro zpracování půdy jsou z většiny degradovány právě tímto typem opotřebení, jsou v tomto směru využívány jiné technologie (Aramide et al., 2021).

#### 4.5.3 Tvrdepotahování

Povrchy, které přímo interagují se zpracovávanou půdou jsou ty, jež mají největší požadavky na odolnost vůči abrazi, jelikož jsou jí nejvíce namáhané. Vzhledem k tomu, že není možné abrazi zcela zamezit, existuje snaha udržet ji na únosné mezí. Tyto technologie zažívají velký rozmach a v současné době existuje velké množství materiálů k ní používaných. Ve většině případů se jedná o materiály využívající vlastnosti prvků jako jsou chrom, wolfram, bor, kobalt, nikl či křemík, ve formě karbidů (Aramide et al., 2021).

## **Kompozity**

Jde o kombinace dvou a více materiálů s odlišnými vlastnostmi, které jsou spojeny za účelem získání lepších vlastností než jednotlivé složky samostatně. Využívání těchto postupů je známo od pradávna a má široké využití napříč veškerými lidskými technologiemi, to však nikterak nezabraňuje jejich dalšímu vývoji (Aramide et al., 2021). Jejich používání u pracovních nástrojů na zpracování půdy je dnes už relativně rozšířené. K tomuto účelu se často používají slinuté karbidy, či kompozity tvořené aditivní technologií, u nichž byly zjištěny značné rozdíly v míře opotřebení (Kostencki et al., 2016).

## **Navarování**

Jedná se o technologii nanášení vrstvy materiálu na požadovanou součást. Ten může být ve formě prášku nebo drátu. Zdrojem tepla pro jeho roztavení pak může být plamen, elektrický oblouk, či laser. Navařování má širokou škálu využití, jako jsou například oprava poškozených dílů, výroba prototypů nebo nanášení kovových povlaků. To je pak využíváno pro nanášení abrazivně odolných materiálů na pracovní nástroje, kde dle (Hrabě et al., 2013) prokazuje benefity ve snížení opotřebení.

## 5 Eroze

Je název pro komplexní proces, při kterém působením vnějších činitelů dochází k narušování povrchu půdy, jejímu přenosu a usazování jakožto sedimentů na místě jiném. Nejrozšířenějšími erogenními činiteli jsou působení vody, větru, ledu a antropogenní činitelé. Erozi dále rozlišujeme na přirozenou (geologickou), která je v souladu s půdotvornými procesy a zrychlenou, která působí rychleji než půdotvorný proces. Ta je v současné době vnímána jakožto velký problém, jelikož svým působením působí značné problémy z hlediska degradace zemědělských a lesních pozemků. Svým působením na zemský povrch vytváří určité útvary a tím ho do jisté míry formují. Podle těchto útvarů se dá často určit míra a původ eroze, která je způsobila. (Janeček et al., 2002).

### 5.1 Vodní eroze

Principem vodní eroze je rozrušování povrchu země dešťovými kapkami a následným odtokem povrchové vody. Její intenzita je dána velikostí kinetické energie kapek a množstvím odtékající vody. V závislosti na této intenzitě se projevuje selektivní účinek eroze, kdy se jako první začínají uvolňovat a splavovat nejjemnější frakce půdy a s narůstající intenzitou jsou erodovány i hrubozrnnější částice. Dalšími faktory ovlivňujícími intenzitu vodní eroze jsou délka a svažitosť pozemku, vegetační pokryv, náchylnost půdy k erozi a množství společně s intenzitou deště. Finálním projevem může být smyv půdy až na její vrstvu skeletu (vrstva, která dále nepodléhá smyvu). Podle formy, jakou se eroze projevuje, ji dále dělíme na:

- **Plošnou** – eroze je rovnoměrná po celé ploše pozemku, popřípadě jeho svažité části.
- **Rýhovou** – vzniká soustředěním plošného odtoku a tím zvyšující intenzity smyvu materiálu, tvoří tak na povrchu erozní rýhy.
- **Výmolovou** – vyšší stupeň rýhové eroze.
- **Proudovou** – extrémní projev vodní eroze (Pavlů 2019).

Projevem vodní eroze však může být i její podpovrchová varianta, při které dochází k proplavování nejjemnějších elementů skrz půdní agregáty do hlubších vrstev půdy. Extrémním projevem podpovrchové eroze je takzvaná tunelová eroze, při které jsou působením vody vymílány tunely nad nepropustným podložím, které se mohou následně propadat a tvořit erozní rýhy. Příčiny vodní eroze jsou kombinované faktory přírodního i lidského působení, které lze dle (Janeček et al., 2002) rozdělit na:

- Klimatické a hydrologické (zeměpisná poloha, intenzita srážek, teplota, ...).
- Morfologické (sklon území, délka a tvar pozemku, expozice).
- Geologické a půdní (půdní druh a typ, struktura půdy, vlhkost).
- Vegetační (hustota a délka trvání vegetačního pokryvu).
- Způsob využívání a obhospodařování půdy (poloha a tvar pozemků, střídání plodin, směr a technologie obdělávání).

Všechna tato hlediska by měla být zohledňována při rozhodování se o osevních postupech, způsobu zpracování půdy a dalších operacích, a to obzvláště na erozně ohrožených pozemcích. Dalším rozhodovacím faktorem může být ten časový, jelikož k 80 % erozně nebezpečných dešťů dochází v období od června do srpna. Česká republika se v rámci Evropské unie vyznačuje největšími půdními bloky, to je způsobeno intenzifikací zemědělství v minulosti. Velikost ploch však v tomto ohledu není jediným problémem. Během spojování pozemků došlo také k likvidaci krajinných prvků omezujících erozi (rozhrnutí mezí, polních cest, likvidace zeleně a zatravněných údolnic) (eagri.cz b).

Důsledků vodní eroze je celá řada, jedním z hlavních je ochuzení zemědělské půdy a tím snížení její úrodnosti. Tento proces má za následek změny vlastností půdy, jelikož zmenšuje obsah organické hmoty, ale i minerálních živin a odhaluje neúrodnou podorniční vrstvu. Dalším důsledkem pak je ovlivnění fyzikálních vlastností půdy, příkladem může být snížená schopnost vsakování vody, což má za následek vyšší smyv, ale i v případě vysoké vlhkosti omezení možnosti využití těžké mechanizace na pozemcích. Neméně důležitým problémem je pak smyv půdních částic, které mohou obsahovat vázané zbytky hnojiv, či rezidua přípravků na ochranu rostlin.

Tyto částice pak mohou způsobovat problémy, jakými jsou zakalování vodních toků, usazování, nebo změna přirozených podmínek pro vodní organismy. Přímý vliv však eroze může mít i na pěstované plodiny, které tak mohou být poškozeny, či zcela zničeny (Ciesiolka et al., 1998).

Pro předcházení důsledků eroze existuje značné množství opatření. Principy ochrany jsou dány zejména snížením účinků dopadajících kapek deště, zlepšení schopností půdy vsakovat vodu, omezení schopností vody unášet půdní částice, například zpomalením tekoucí vody, či jejím rozptýlením a zabránění tak soustředěnému odtoku povrchové vody. V extrémním případě je pak důležité odvést soustředěný odtok povrchové vody mimo území, kde může způsobit přímé finanční, nebo majetkové škody. Opatření pak lze rozdělit do tří kategorií:

### **Organizační**

- Vhodná velikost a tvar pozemků.
- Optimální umístění plodin, případně ochranné umístění.
- Pásové pěstování plodin.

### **Agrotechnická**

- Půdoochranné zpracování půdy.
- Setí/sázení po vrstevnici.
- Využití ochranné plodiny.
- Plečkování.
- Důlkování, hrázkování.
- Zatravnění údolnice.

### **Technická**

- Příkopy.
- Terasy.
- Ochranné nádrže.
- Protierozní meze.
- Polní cesty.
- Asanace erozních událostí (eagri.cz b).

Předpovídání eroze je v krátkodobém časovém horizontu velice obtížné, z hlediska dlouhodobého odhadu však existuje celá řada rovnic popisující jednotlivé faktory a jejich vliv na vodní erozi. Z tohoto hlediska je dnes stále nejpřesnější takzvaná univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemků, jejíž autorem je (Wischmeier et al., 1978). Tato rovnice je pak dána takto:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

G – Průměrná dlouhodobá ztráta půdy [ $t \cdot ha^{-1}$  za rok].

R – faktor erozní účinnosti deště.

K – faktor erodovatelnosti půdy.

L – faktor délky svahu.

S – faktor sklonu svahu.

C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu.

P – faktor účinnosti protierozních opatření.

## 5.2 Větrná eroze

Principem větrné eroze je transport částic půdního původu, ale i antropogenního (minerální hnojiva, osiva, posklizňové zbytky) působením mechanické síly větru a posléze jejich ukládání na jiném místě. Transport částic se může uskutečňovat ve dvou variantách. První je takzvaná saltace, při které dochází k přenosu půdních částic pouze po povrchu půdy, zejména pak valením, klouzáním, nebo malými skoky. Druhou variantou je prašný přenos, při kterém vítr unáší půdní částice, jež mohou být v závislosti na jejich velikosti transportovány na velké vzdálenosti (Chepil et al., 1963). Příčinami vzniku větrné eroze jsou především klimatické vlivy (rychlost, směr, četnost a vlhkost větru). Dále však půdní struktura, drsnost půdního profilu, či vlhkost půdy také ovlivňují intenzitu eroze. Větrná eroze má zásadní vlivy zejména v aridních oblastech, avšak i v našich podmínkách, a to na suchých místech nechráněných vegetačním pokryvem (Zobeck et al., 2011).

Postupy pro omezování větrné eroze jsou do jisté míry podobné, jako tomu je u eroze vodní (velikost pozemků, půdoochranné technologie, vhodný vegetační pokryv). Rozdílnými postupy pak jsou například větrolamy, ať už přírodní, či uměle vybudované, nebo umělé zavlažování půdy.



Agrotechnické opatření, mimo zmíněných půdoochranných technologií, může být vyšší používání statkových hnojiv a zvýšení obsahu jílových částic v půdě, jež má za následek zlepšení půdní struktury a menší riziko odnosu (eagri.cz c).

### **5.3 Eroze zpracováním půdy**

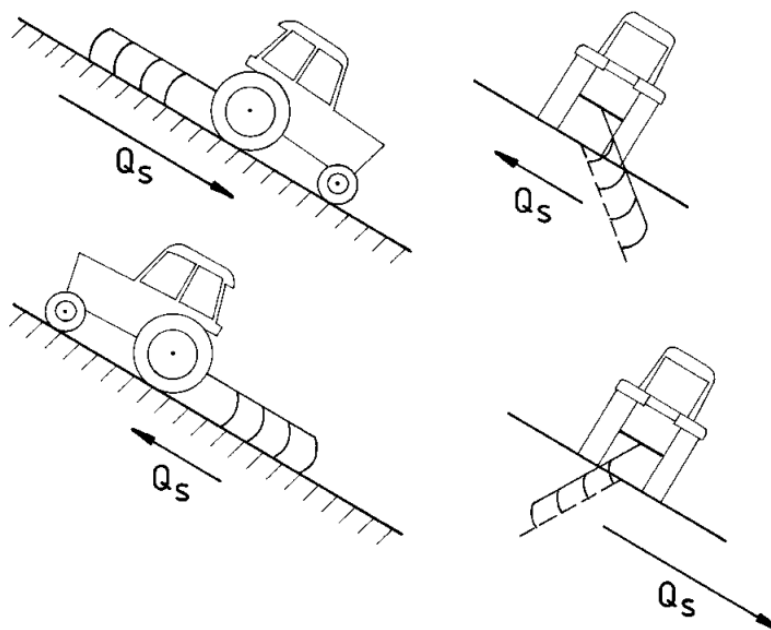
U tohoto druhu eroze dochází k pohybu půdních částic působením agrotechnických operací. Jako nejvíce ovlivňující se pak projevují operace při zpracování půdy. Ty působí erozi aktivně, kdy transportují částice jak v horizontálním, tak i vertikálním směru, přičemž jakožto erozi označujeme především transport v horizontálním směru, avšak na rozdíl od ostatních druhů eroze se tento druh omezuje vždy pouze na daný pozemek. Nebo pasivně, kdy svým působením mění atributy pozemku (strukturu půdy, vegetační pokryv, půdní vlhkost), které mají ve výsledku větší náchylnost vůči ostatním druhům eroze (Wang et al., 2016). Výzkum eroze zpracováním půdy byl v minulosti málo rozvinutý a nebyla mu přisuzována velká pozornost. Vliv tohoto druhu eroze na degradaci zemědělské půdy je však dle (Van Oost et al., 2006), v porovnání s vlivem vodní eroze ve většině případů shodný, ne-li vyšší.

Zpracování půdy je velice komplexní činnost, pokud bereme v potaz popis činností jednotlivých pracovních nástrojů a jejich vlivů na půdní částice. Pohyb půdních částic při zpracování půdy lze rozdělit do dvou variant, kterými jsou vertikální a horizontální posun, avšak nikdy není možné docílit pouze jednoho z nich, proto je pohyb půdních částic vždy jejich kombinací. K horizontálnímu posunu dochází převážně u činností majících za cíl promíchání půdy, její prokypření a provzdušnění. K těmto činnostem dochází zejména u předseťové přípravy. Vertikální posun půdních částic je přítomný u všech operací zpracování půdy. Předpokládá se však, že v průběhu roku se tento pohyb půdy vykompenzuje přirozenými, či umělými procesy, pokud k tomu však nedojde, vnímáme to jakožto původce eroze zpracováním půdy a je i nejvíce zkoumanou veličinou. Výjimkou, u které s touto kompenzací nepočítáme jsou pracovní nástroje, které vytvářejí takzvanou mrtvou brázdou, což jsou rýhy vzniklé posunem půdy pouze na jednu stranu, typické například pro radličné pluhy. Analogicky však mohou vzniknout i brázd, na kterých se materiál navrství a vzniknou hrůbky, u některých technologií se však s tímto počítá a hrůbky jsou úmyslně tvořeny a dále využívány (Lobb et al., 2008).

Parametrů ovlivňujících erozi zpracováním půdy je hned několik. První z nich je rychlost zpracování, kterou se zabýval (Van Muysen et al., 2000) a prokázal, že se zvyšující se rychlostí se zvyšuje i posun půdních částic. Ve stejné publikaci i analogicky potvrzuje, že posun půdních částic narůstá s hlubším zpracováním půdy. Z hlediska půdních vlastností se jeví jakožto podstatné, zdali je půda primárně zpracovávána, nebo zdali jde už o sekundární zpracování půdy, v tom případě jsou půdní částice unášeny více.

Zdaleka největší vliv na erozi zpracováním půdy má však reliéf, tvar pozemku a zejména směr jeho zpracovávání. Jelikož mnoho studií jako (Van Oost et al., 2000, Novák et al., 2017, Lindrstom et al., 1992) poukazují na určité zákonitosti, prokazující, že při zpracování půdy ve směru ze svahu dolů, jsou půdní částice posouvány dále (obr. č.3), než je tomu u zpracování půdy směrem do svahu. Podobný jev je však možné pozorovat i u zpracování půdy po vrstevnici, kdy vlivem působení tíhové síly jsou půdní částice unášeny dále po svahu.

Principem negativního působení eroze zpracováním půdy je transport půdních částic z konkávních částí pozemku a jejich ukládání na místech s konvexním profilem. V takových místech se dle (Papendick et al., 1977) může dlouhodobým působením tohoto druhu eroze vytvořit až několik metrů hluboká vrstva ornice, a naopak na konkávních částech může dojít k obnažení podorniční vrstvy.



Obr. č. 3 Vliv svažitosti a směru zpracování půdy na posun půdních částic.  
Zdroj: Van Oost et al., 2000

### 5.3.1 Metody měření eroze zpracováním půdy

Pro měření vlivu eroze zpracováním půdy se využívá několik druhů metod, ať už se jedná o metody zakládající se na nahrazení půdních částic z pomocí tzv. tracers, nebo přímé sledování topografických změn na pozemku, či metody sledující přímo pohyb půdy. Metody založené na nahrazení půdních částic využívají objekty s vlastnostmi podobnými jako půdní částice. Tyto objekty se pak dále rozdělují na micro-tracers (s rozměry do 2mm) a macro-tracers (s rozměry nad 2mm). Principem této metody je zapravení tracers do půdy na předem stanoveném místě a následné zpracování půdy spolu s nimi. To má za následek jejich posun a následným měřením zjistíme jeho parametry. Takto zpracované výsledky, přímo po zpracování půdy, mají výhodu v tom, že oddělíme vliv ostatních činitelů eroze. Můžeme však tuto metodu upravit a sledovat posun tracers po delší dobu a větší počet operací zpracování půdy (Fiener et al., 2018).

Dalšími metodami sledujícími erozi zpracováním půdy jsou tzv. in-situ metody, při kterých jde o sledování specifických materiálů v půdě. Příkladem tomu může být metoda  $^{137}\text{Cs}$ , při které je dle (Li et al., 2007 a) sledováno množství a rozmístění prvku cesia na pozemku a následné vyhodnocení, při kterém se předpokládá, že původně bylo cesium rovnoměrně rozmístěno po celé ploše pozemku. Původcem cesia pak je dle (Fiener et al., 2018) rozptýlení tohoto prvku po testování atomových bomb v padesátých a šedesátých letech dvacátého století. Analogickou metodou je využívání magneticky aktivních materiálů, které však musíme na pozemek uměle dodat a po požadované době a počtu působení erozních činitelů, sledujeme množství těchto částic na různých místech pozemku (Jordanova et al., 2011).

Principem topografických metod hodnocení eroze je sledování změn povrchu pozemku pomocí snímků či měření o vysokém rozlišení, ty jsou pak v závislosti na čase porovnávány. Pro získání těchto měření se používají přístroje na principu odrazu laserového paprsku, získaného ze stacionárního zdroje, či v současné době stále se rozvíjející využití dronů. Pro přesné zhodnocení je však důležité využívat pevný referenční bod, podle kterého sledujeme změny hodnoceného povrchu (Fiener et al., 2018).

## 6 Metodika

Měření probíhalo v oblasti Nesperské Lhoty u Vlašimi na pozemku obdělávaném společností Agro Nesperka s.r.o. Pozemek v katastrálním území Čelivo s katastrálním číslem 1005/1 (Obr.č.4) má rozlohu 4,77 ha, nachází se v průměrné nadmořské výšce 462 m nad mořem a jeho průměrná sklonitost je 7,85°.

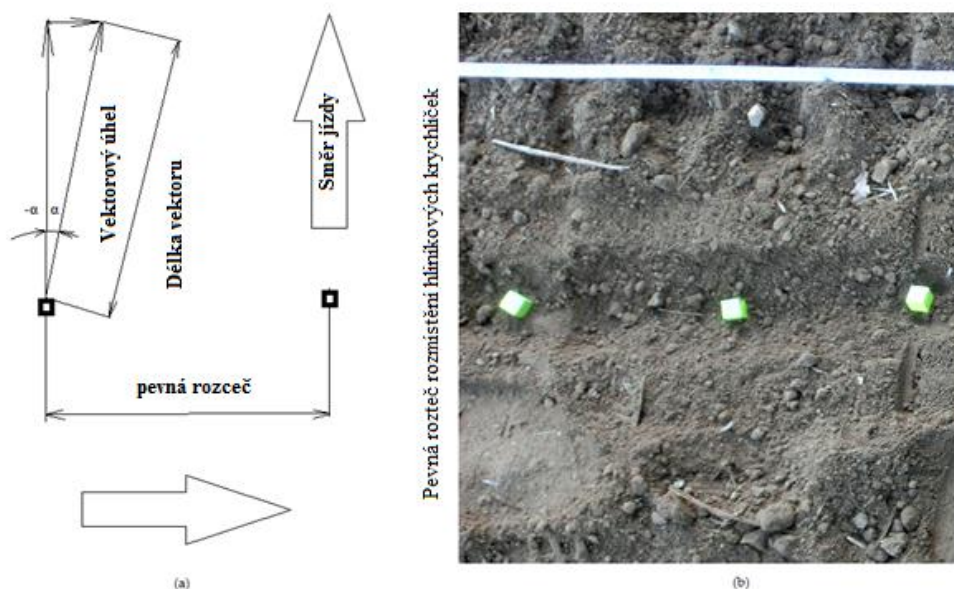
Na pozemku byla před pokusem pěstována ozimá pšenice, která byla sklizena a zbytky rostlin byly rozdrnceny a rozházeny po pozemku. Pro potřebu prvního experimentu byly na pozemku nalezeny oblasti s požadovanými sklony (2°, 6°, 11°), které byly označeny a připraveny na měření. Následně byla půda v určených oblastech zpracována danými typy strojů. V případě druhého experimentu pak byly připraveny tři oblasti měření tak, že dvě směřovaly směrem po spádnicí a jedna ve směru vrstevnice. V tomto směru pak byla danými stroji zpracována půda.



Obr. č. 4 Experimentální pozemek společnosti Agro Nesperka  
Zdroj: <https://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>

## 6.1 Metody experimentu

Pro zjišťování posunu půdních částic byla využita modifikace metody měření za pomoci tracers. Těmi byly pro tento experiment hliníkové krychličky o délce hrany 16 mm, jedná se tedy o takzvané makro-tracers. Důvodem pro výběr hliníku jako materiálu bylo to, že jeho hustota je obdobná s minerálními částicemi v půdě a přiblíží se tak jejich chování co nejvíce. Pro jedno měření bylo využito čtyřicet krychliček, kdy byly umístěny do dvou vrstev po dvaceti, přičemž byly umístěny kolmo na směr zpracování půdy v pravidelných rozstupech po deseti centimetrech. Jejich původní poloha pro následné zjišťování jejich posunu v obou osách je tedy přesně známa. První vrstva tracers, očíslovaných od jedné do dvaceti a nabarvených na reflexivní žlutou barvu, byla umístěna do hloubky pěti centimetrů pod povrchem půdy a následně zasypána. Druhá vrstva očíslovaných tracers, ponechaných v původní hliníkové stříbrné barvě, byla umístěna tak, že horní hrana krychle byla zároveň s povrchem půdy viz. Obr. č. 5b



Obr. č. 5 a – Diagram vektorového úhlu, b – umístění značkovačů v půdě.  
Zdroj: Novák et al. 2018

Následnou fází experimentu bylo zpracování půdy společně s tracers, při kterém došlo k jejich posunu společně s půdními částicemi. Poté byla určena poloha jednotlivých tracers, kdy první došlo k zaznamenání příčné a podélné polohy těch ležících viditelně na povrchu.

Pro zjišťování polohy krychliček nacházejících se pod povrchem bylo využito detektoru kovů M6 od firmy Whites Devices, přičemž se za pomoci tohoto detektoru zjistila přibližná poloha hledaného tělesa. Dále však pro upřesnění polohy bylo nutné opatrné ruční odstranění půdy, aby nedošlo k dalšímu posunu krychličky, a až posléze byly zaznamenány hodnoty posuvu. Po zjištění a zaznamenání hodnot byl stanoven takzvaný vektorový úhel, který udává, jakým směrem a jakou vzdáleností byl daný tracer posunut, jak je tomu na Obr. č. 5a.

První měření se uskutečnilo ve třech variantách, pro každý testovaný stroj (talířový kypřič s X charakteristikou talířů a talířový kypřič s rovnoběžným umístěním talířů), přičemž varianty se lišily na velikosti sklonu pozemku. Úrovně svažitosti byly měřeny pomocí digitálního sklonoměru od firmy BMI Germany a jejich hodnoty byly 2°, 6° a 11°. Druhé měření probíhalo také ve třech variantách pro radličkový kypřič s novými pracovními nástroji a pro radličkový kypřič s opotřeбенými pracovními nástroji, přičemž v tomto experimentu byla půda zpracována ve směru po vrstevnici, po spádnici a proti ní. Při tomto měření byla však využita pouze jedna sada tracerů.

Pro oba experimenty byl využit jakožto tažný prostředek traktor Zetor Forterra 130 HSX 16V o výkonu 93,2 kW. Agregovanými stroji pro první experiment byly dva typy talířových kypřičů. Prvním byl talířový kypřič Akpil o záběru 3 m, který využívá dvě řady talířů o průměru 500 mm uspořádaných do tvaru X, přičemž první řada talířů má vykrajovaný okraj a druhá řada využívá talířů hladkých. Druhý talířový kypřič od firmy AGRO-MASZ rovněž o záběru 3 m, který využívá dvou řad talířů vzájemně rovnoběžných ozubených talířů o průměru 460 mm. Tento kypřič měl navíc utužovací trubkový válec. Zpracování půdy při použití obou kypřičů bylo provedeno do hloubky 8 cm, při rychlosti 9 km/h. Pro druhý experiment byl použit radličkový kypřič Kromexim s pracovní šířkou 3 m. Tento stroj je tvořen dohromady sedmi slupicemi umístěnými ve dvou řadách, po kterých následují urovnávací talíře a trubkový válec. Na slupicích byly použity oboustranné radličky společně s přídatnými šípovými křídélky. Půda byla v tomto případě zpracována do hloubky 15 cm při rychlosti 9 km/h.

Fyzikální vlastnosti půdy byly zjištěny za pomoci Kopeckého válečků, které byly odebrány v průběhu měření, a poté vyhodnoceny v laboratořích technické fakulty ČZU dle metodiky (Zoubková 2014). Principem tohoto měření je odběr neporušených půdních vzorků.

V tomto případě byly odebrány válečky o objemu 100 cm<sup>3</sup>, při odběru se tak plynule a svisle vtlačuje ocelový váleček o tomto objemu do půdy do takové míry, že půda převyšuje horní hranu válečku o 0,5-1 cm.

Po vyjmutí takového válečku je přebytečná půda odříznuta, v případě odpadnutí části zeminy zasahující do objemu válečku je třeba měření opakovat. Poslední operací je zavíčkování válečků a jejich uložení do transportního kufříku. Každý váleček je očíslován a je u něj zaznamenána hloubka odběru. Takto odebrané vzorky pak zpracováváme v laboratorních podmínkách dle dané metodiky a vlastností, které je potřeba zjistit. Z tohoto typu vzorků pak můžeme zjistit tyto vlastnosti:

- Půdní vlhkost (momentální, třicetiminutová).
- Nasákavost.
- Vodní kapacita (maximální, retenční).
- Množství sušiny.
- Objemová hmotnost.
- Pórovitost (celková, kapilární, nekapilární).
- Vzdušná kapacita (maximální, retenční).

Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v Tabulce 1.

*Tabulka 1 Výsledné hodnoty získané z měření Kopeckého válečků*

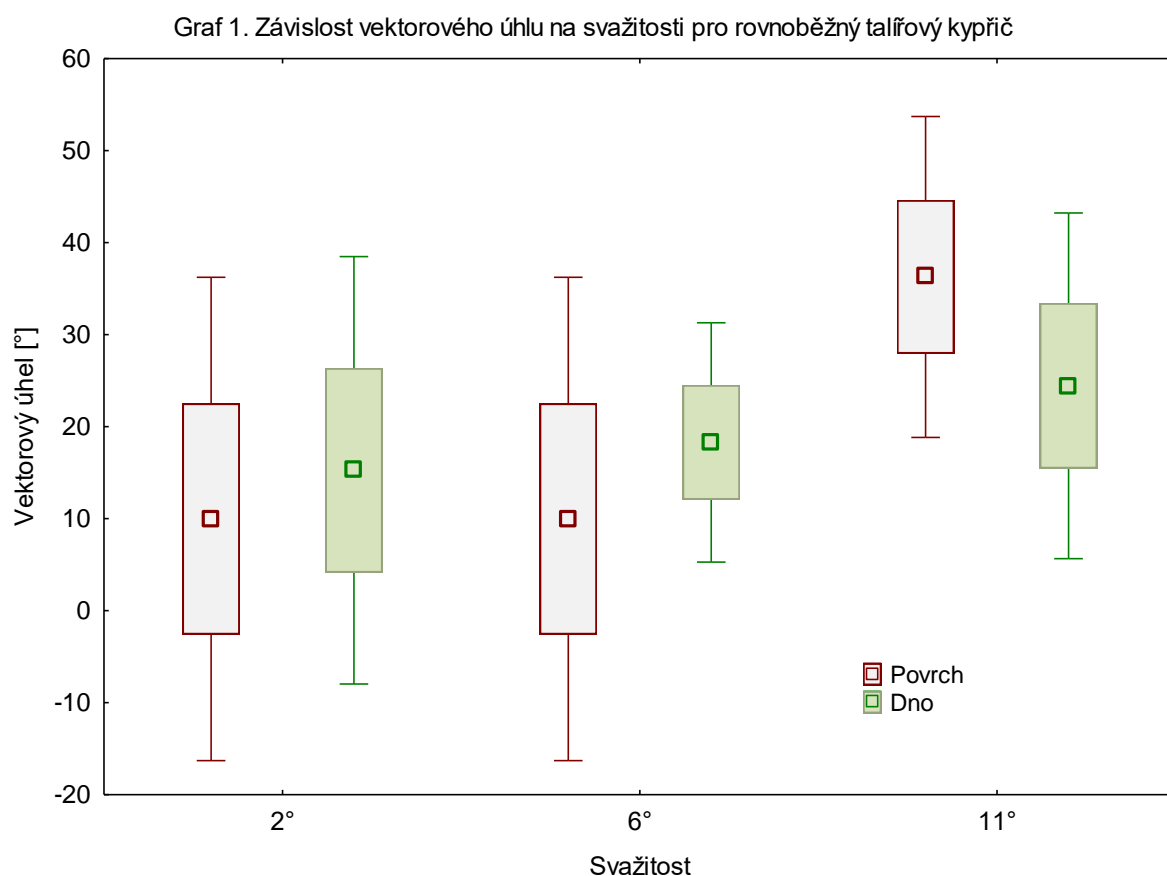
|                     | <b>Vzorek s přirozenou vlhkostí</b> | <b>Momentální vlhkost</b> | <b>Sušina</b> | <b>Objemová hmotnost</b> | <b>Pórovitost celková</b> |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Číslo vzorku</b> | g                                   | % obj.                    | g             | g·cm <sup>-3</sup>       | % obj.                    |
| <b>23</b>           | 282,40                              | 21,24                     | 131,17        | 1,31                     | 50,50                     |
| <b>3</b>            | 315,27                              | 23,83                     | 152,85        | 1,53                     | 42,32                     |
| <b>15</b>           | 293,01                              | 19,50                     | 144,27        | 1,44                     | 45,56                     |
| <b>12</b>           | 277,23                              | 19,62                     | 127,10        | 1,27                     | 52,04                     |
| <b>17</b>           | 298,58                              | 19,08                     | 144,53        | 1,45                     | 45,46                     |
| <b>5</b>            | 313,65                              | 21,60                     | 153,36        | 1,53                     | 42,13                     |
| <b>Průměr</b>       | <b>296,69</b>                       | <b>20,81</b>              | <b>142,21</b> | <b>1,42</b>              | <b>46,33</b>              |

## 7 Výsledky měření

Naměřená data byla zpracována a vyhodnocena z hlediska posunu půdních částic v podélném a příčném směru kolmém ke zpracování půdy a velikosti vektorového úhlu. Vektor pak určuje velikost a směr (úhel vyneseny od směru zpracování půdy a původní polohy traceru), kterým byl daný tracer posunut.

### 7.1 Měření vlivu konstrukce talířových kypřičů

V tomto experimentu byla zjišťována závislost půdního posunu na úhlu svažitosti pro dvě různé konstrukce talířových kypřičů, konkrétně pak kypřič s rovnoběžnou konstrukcí řad talířů a kypřič s konstrukcí řad talířů do X. V grafu 1. a v grafu 2. jsou zobrazeny výsledky pro první typ kypřiče. V grafu 3. a grafu 4. jsou pak zobrazeny výsledky pro druhý typ kypřiče. Pro každý z grafů je pak zpracován Tukeyův HSD test pro zjištění statisticky významného rozdílu.





Z grafu č.1 je zřejmé, že s rostoucí svažitostí dochází k výraznější změně vektorového úhlu, který dosahuje nejvyšších hodnot u svažitosti 11°. To platí jak pro měření vektorového úhlu značkovačů na povrchu, tak i těch umístěných pod ním. Průměrné hodnoty úhlu jsou pro povrch stejné při svažitosti 2° a 6°, konkrétně pak 9,97°. Pro svažitost 11° dosáhla hodnota úhlu nejvyššího průměru, a to 36,28°. Hodnoty úhlů měřených pro tracery umístěné pod povrchem jsou pak 15,26° pro svažitost 2°, 18,29° pro svažitost 6° a 24,4° při svažitosti pozemku 11°.

Tabulka 2 Tukeyův HSD test pro povrchové tracery

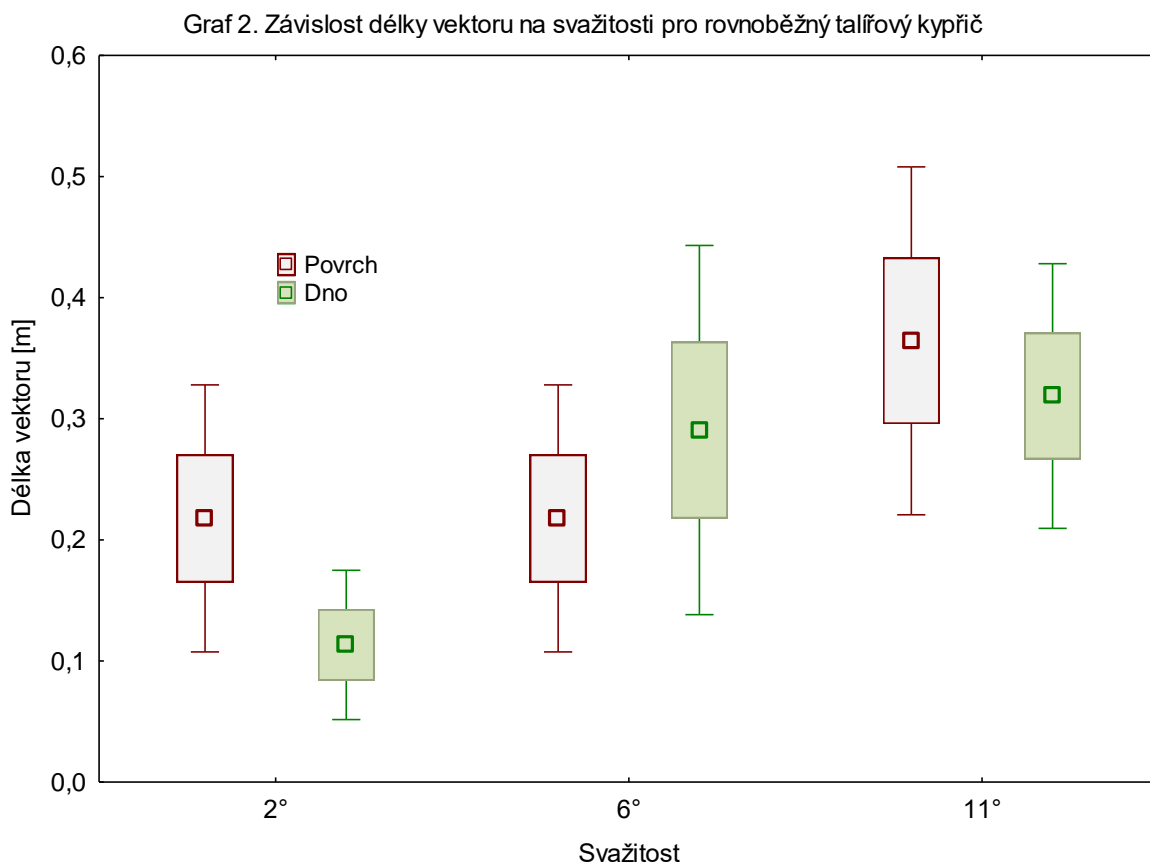
| Tukeyův HSD test; proměnná Povrch [°]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = 2562,7, SV = 57,000 |           |                      |      |
|--|-----------|----------------------|------|
| Č. buňky   | Svažitost | Povrch [°]<br>Průměr | 1    |
| 2  | 6°        | 9,97141              | **** |
| 1  | 2°        | 9,97141              | **** |
| 3  | 11°       | 36,27758             | **** |

Z Tukeyova testu vyplývá, že mezi naměřenými hodnotami povrchových tracerů neexistuje významný statistický rozdíl.

Tabulka 3 Tukeyův HSD test pro podpovrchové tracery

| Tukeyův HSD test; proměnná Dno [°]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = 1615,2, SV = 57,000 |           |                   |      |
|---|-----------|-------------------|------|
| Č. buňky  | Svažitost | Dno [°]<br>Průměr | 1    |
| 1   | 2°        | 15,25501          | **** |
| 2   | 6°        | 18,29316          | **** |
| 3   | 11°       | 24,44407          | **** |

Z Tukeyova testu naměřených hodnot podpovrchových tracerů vyplývá, že mezi nimi neexistuje významný statistický rozdíl.



Z grafu 2. je zřejmé, že délka vektoru narůstá v závislosti na svažitosti pozemku. Podobně jako u grafu 1. jsou hodnoty povrchových tracerů pro svažitost 2° a 6° shodné s průměrnou délkou 0,22 m. Zbývající délka vektoru pro povrchové hodnoty je nejvyšší v rámci tohoto grafu a dosahuje průměrné hodnoty 0,36 m. Nejnižší průměrné hodnoty v rámci tohoto grafu dosáhla průměrná délka posuvu podpovrchových tracerů při svažitosti 2°, konkrétně pak hodnoty 0,11 m. Vyšších průměrných hodnot pak dosahovala měření podpovrchových tracerů při svažitosti 6°, o hodnotě 0,29 m, a při svažitosti 11°, kdy hodnota dosáhla 0,32 m.

Tabulka 4 Tukeyův HSD test pro povrchové tracery

| Tukeyův HSD test; proměnná Povrch [m]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PC = ,06838, SV = 57,000 |           |                      |      |
|--|-----------|----------------------|------|
| Č. buňky   | Svažitost | Povrch [m]<br>Průměr | 1    |
| 2  | 6°        | 0,217703             | **** |
| 1  | 2°        | 0,217703             | **** |
| 3  | 11°       | 0,364427             | **** |

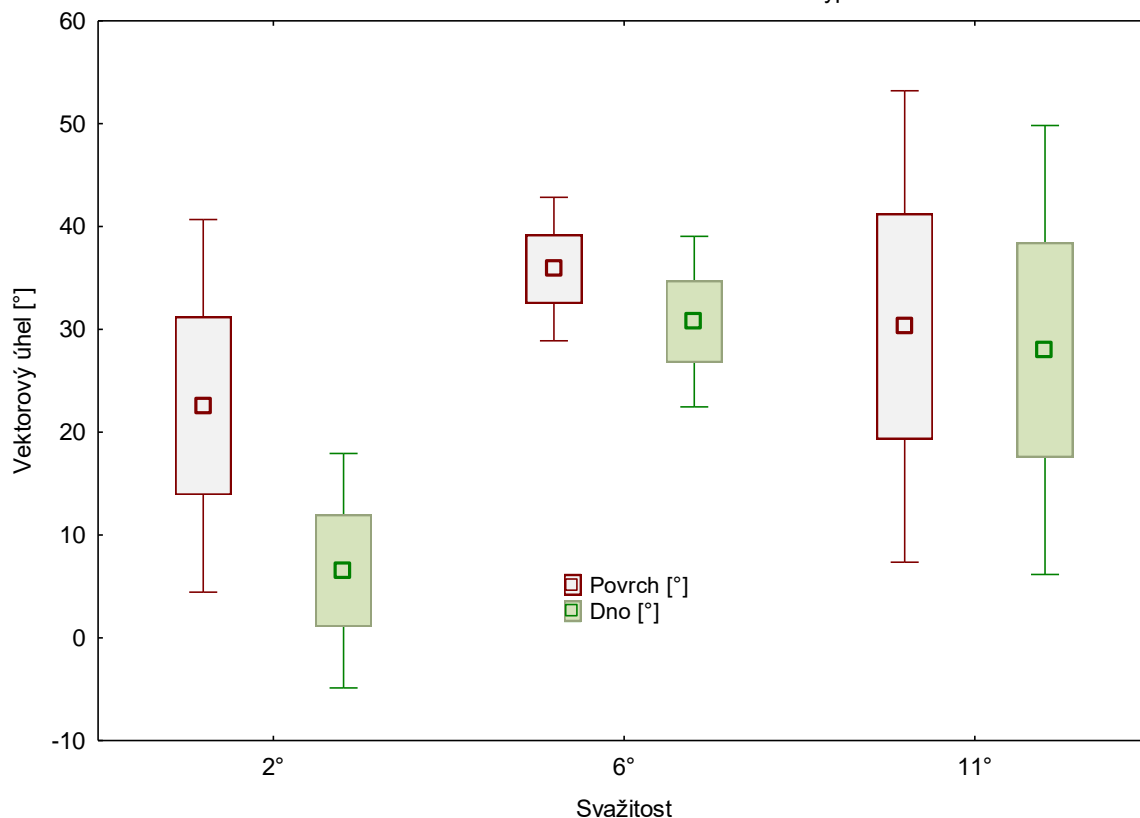
Z Tukeyova testu vyplývá, že mezi naměřenými hodnotami neexistuje významný statistický rozdíl.

Tabulka 5 Tukeyův HSD test pro podpovrchové tracery

| Tukeyův HSD test; proměnná Dno [m]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = ,05930, SV = 57,000 |           |                   |      |      |
|---|-----------|-------------------|------|------|
| Č. buňky  | Svažitost | Dno [m]<br>Průměr | 1    | 2    |
| 1   | 2°        | 0,113282          | **** |      |
| 2   | 6°        | 0,290667          | **** | **** |
| 3   | 11°       | 0,318809          |      | **** |

Z Tukeyova testu naměřených hodnot vyplývá, že existuje významný statistický rozdíl u hodnot pro svažitost 2° a 11°. Pro hodnoty svažitosti 6° neexistuje významný statistický rozdíl vůči ostatním hodnotám.

Graf 3. Závislost vektorového úhlu na svažitosti u talířového kypříče tvaru X



Dle grafu 3. je zřejmé, že nejvyšších průměrných hodnot vektorového úhlu dosáhla obě měření při svažitosti 6° (Povrch 35,86° a Dno 30,75°), avšak pokud zohledníme rozptyl, dosáhneme vyšších hodnot naměřených u svažitosti 11°. Nejnižší průměrné hodnoty pak nalezneme u podpovrchových tracerů při svažitosti 2°, kdy hodnota dosahuje 6,52°. Vyšší je pak hodnota povrchových tracerů při svažitosti 2°, která dosahuje 22,56°. Dle těchto hodnot nelze přesně predikovat trend, který by ovlivňoval závislost vektorového úhlu na svažitosti, nebo není známa mechanika, která by jej vysvětlovala.

Tabulka 6 Tukeyův HSD test pro povrchové tracery

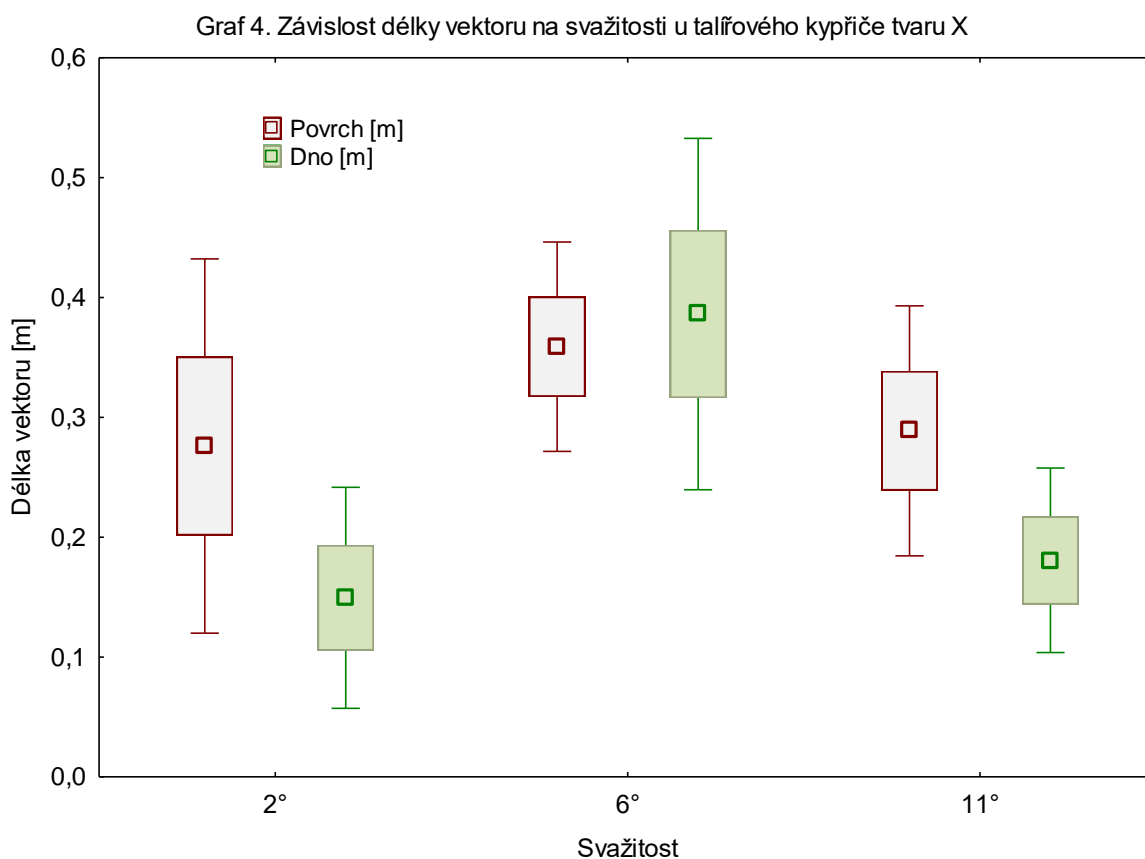
| Tukeyův HSD test, proměnná Povrch [°]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = 1373,2, SV = 57,000 |           |                      |      |
|--|-----------|----------------------|------|
| Č. buňky   | Svažitost | Povrch [°]<br>Průměr | 1    |
| 1  | 2°        | 22,55821             | **** |
| 3  | 11°       | 30,28330             | **** |
| 2  | 6°        | 35,86111             | **** |

Z Tukeyova testu je zřejmé, že neexistuje významný statistický rozdíl mezi naměřenými hodnotami.

Tabulka 7 Tukeyův HSD test pro podpovrchové tracery

| Tukeyův HSD test, proměnná Dno [°]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = 1027,4, SV = 57,000 |           |                   |      |
|---|-----------|-------------------|------|
| Č. buňky  | Svažitost | Dno [°]<br>Průměr | 1    |
| 1   | 2°        | 6,52458           | **** |
| 3   | 11°       | 27,99234          | **** |
| 2   | 6°        | 30,75077          | **** |

Z Tukeyova testu naměřených hodnot vyplývá, že mezi jednotlivými variantami neexistuje statisticky významný rozdíl.



Z grafu 4. je zjevné, že nejvyšších hodnot délky vektoru dosahují měření při svažitosti 6°, konkrétně pak průměrná hodnota tracerů umístěných pod povrchem, u nichž byla průměrná hodnota rovna 0,39 m a u tracerů umístěných na povrchu 0,36 m. Zbývající měření u povrchové varianty jsou si co do hlediska průměrných hodnot velice podobné, konkrétně pak 0,28 m u svažitosti 2° a 0,29 m u svažitosti 11°. Obdobným, ale ne tak úzkým rozdílem jsou podobné výsledky měření u podpovrchové varianty, kdy u svažitosti 2° byly průměrné výsledky 0,15 m a u svažitosti 11° pak 0,18 m.

Tabulka 8 Tukeyův HSD test pro povrchové varianty

| Tukeyův HSD test, proměnná Povrch [m]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PC = ,06526, SV = 57,000 |           |                      |      |
|--|-----------|----------------------|------|
| Č. buňky   | Svažitost | Povrch [m]<br>Průměr | 1    |
| 1  | 2°        | 0,276075             | **** |
| 3  | 11°       | 0,288751             | **** |
| 2  | 6°        | 0,358938             | **** |

Z Tukeyova testu naměřených hodnot je zjevné, že neexistuje významná statistická odchylka, mezi jednotlivými měřeními.

Tabulka 9 Tukeyův HSD test pro podpovrchové varianty

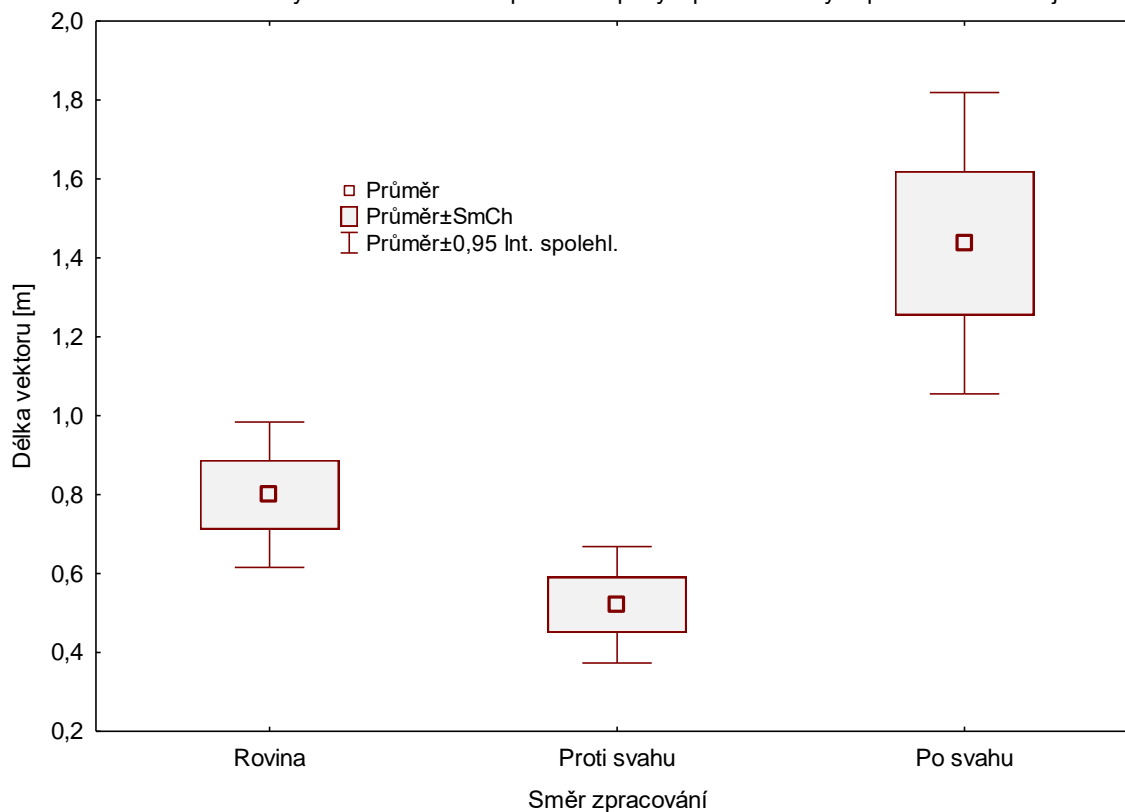
| Tukeyův HSD test; proměnná Dno [m]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = ,05464, SV = 57,000 |           |                   |      |      |
|---|-----------|-------------------|------|------|
| Č. buňky  | Svažitost | Dno [m]<br>Průměr | 1    | 2    |
| 1   | 2°        | 0,149407          | **** |      |
| 3   | 11°       | 0,180675          | **** |      |
| 2   | 6°        | 0,386202          |      | **** |

Z Tukeyova testu je zřejmé, že existuje významný statistický rozdíl mezi variantou se svažitostí 6° a zbývajícími dvěma variantami pro 2° a 11°.

## 7.2 Měření vlivu opotřebení pracovních nástrojů

V tomto experimentu byla zjišťována závislost půdního posunu na směru zpracování půdy pro dvě varianty pracovních nástrojů, konkrétně nové a opotřebované pracovní nástroje. V grafu 5. a v grafu 6. jsou zobrazeny výsledky pro nové pracovní nástroje. V grafu 7. a grafu 8. jsou pak zobrazeny výsledky pro opotřebované pracovní nástroje. Pro každý z grafů je pak zpracován Tukeyův HSD test pro zjištění statisticky významného rozdílu

Graf 5. Závislost délky vektoru na směru zpracování půdy s použitím nových pracovních nástrojů

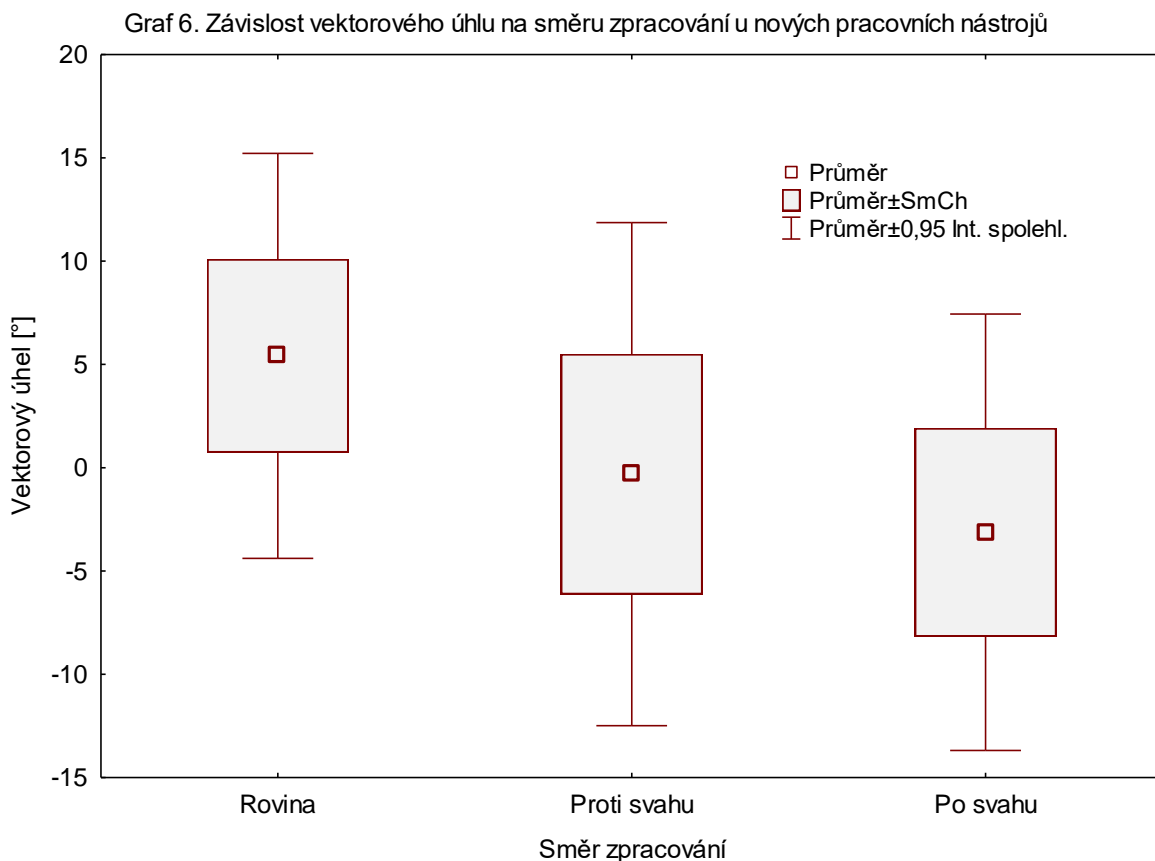


Dle grafu 5. dochází k největší průměrné délce vektoru při zpracování půdy směrem po svahu, konkrétně pak 1,44 m. Oproti tomu délka vektorů není tak výrazná u zbývajících dvou směrů zpracování půdy. Při zpracování směrem po vrstevnici je průměrná hodnota délky vektoru 0,80 m a při zpracování směrem proti svahu je pak tato hodnota 0,52 m.

Tabulka 10 Tukeyův HSD test pro délku vektoru u nových pracovních nástrojů.

| Tukeyův HSD test; proměnná Délka vektoru [m]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PC = ,30867, SV = 57,000 |                 |                             |      |      |
|---|-----------------|-----------------------------|------|------|
| Č. buňky  | Směr zpracování | Délka vektoru [m]<br>Průměr | 1    | 2    |
| 2   | Proti svahu     | 0,520758                    | **** |      |
| 1   | Rovina          | 0,799868                    | **** |      |
| 3   | Po svahu        | 1,437072                    |      | **** |

Z Tukeyova testu vyplývá, že mezi jednotlivými variantami existuje významný statistický rozdíl, konkrétně mezi variantou zpracování ze svahu a zbývajících dvěma.



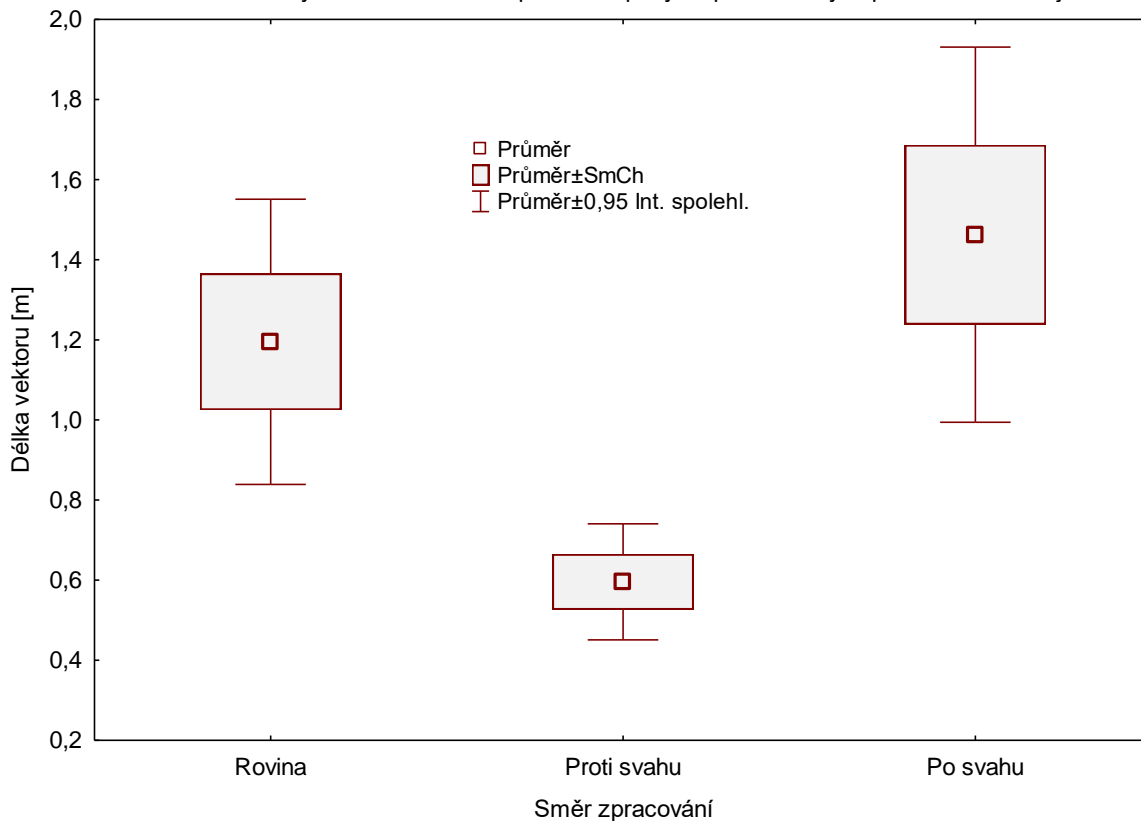
Dle grafu 6. nebyl výrazný rozdíl ve vektorovém úhlu pro všechny varianty zpracování. Nejvyšší hodnoty úhlu však dosáhla varianta, při které se půda zpracovávala ve směru vrstevnice, a to průměrné hodnoty 5,41°. Varianta při zpracování půdy proti svahu dosáhla průměrné hodnoty -0,31° a varianta po svahu průměrné hodnoty -3,13°.

Tabulka 11 Tukeyův HSD test pro vektorový úhel u nových pracovních nástrojů

| Tukeyův HSD test; proměnná Vektorový úhel [°]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = 541,61, SV = 57,000 |                 |                              |      |
|--|-----------------|------------------------------|------|
| Č. buňky   | Směr zpracování | Vektorový úhel [°]<br>Průměr | 1    |
| 3  | Po svahu        | -3,12557                     | **** |
| 2  | Proti svahu     | -0,31041                     | **** |
| 1  | Rovina          | 5,41311                      | **** |

Z Tukeyova testu vyplývá, že mezi naměřenými hodnotami neexistuje významný statistický rozdíl.

Graf 7. Závislost délky vektoru na směru zpracování půdy u opotřebovaných pracovních nástrojů





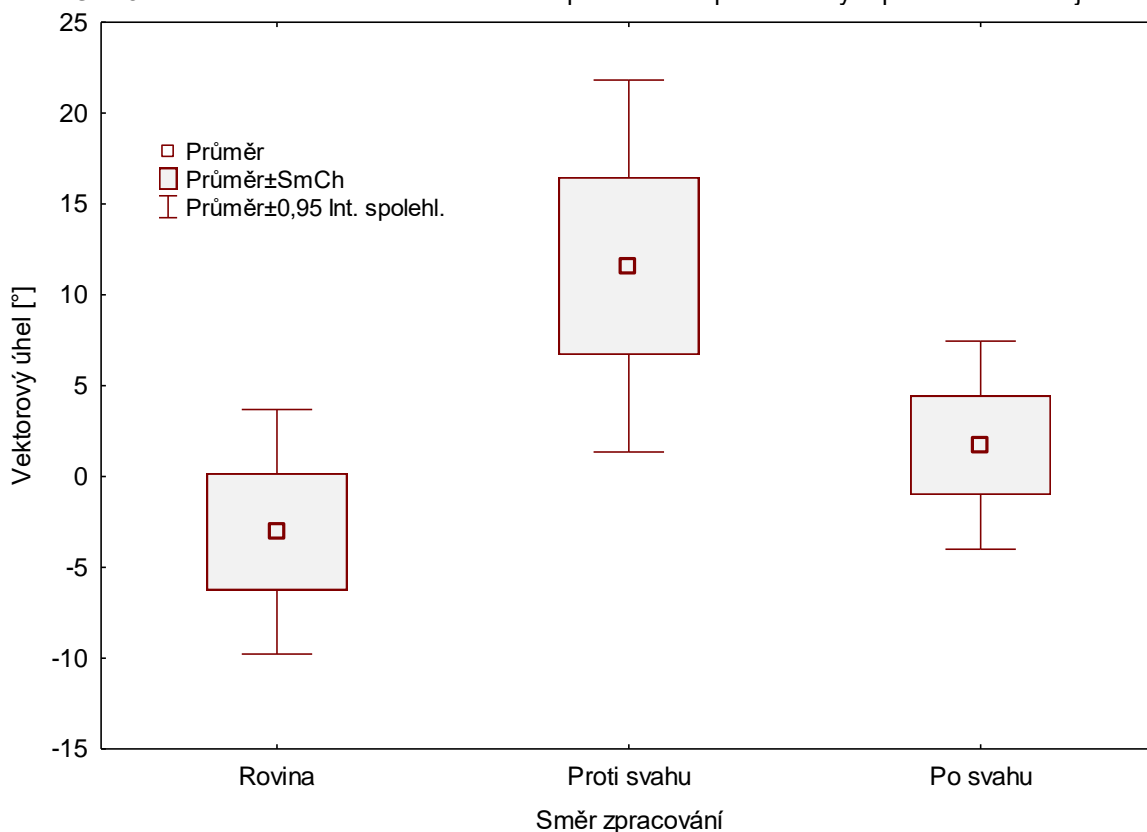
Dle grafu 7. došlo k nejmenšímu posunu půdy v rámci zpracování půdy ve směru proti svahu, průměrná hodnota této varianty dosáhla 0,60 m. Při zpracování půdy ve směru vrstevnice pak průměrná hodnota tvořila 1,20 m. Nejvyšší průměrné hodnoty pak dosáhla varianta při zpracování půdy po svahu dolů, konkrétně pak 1,46 m.

Tabulka 12 Tukeyův test pro délku vektoru opotřebovaných pracovních nástrojů

| Tukeyův HSD test; proměnná Délka vektoru [m]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PČ = ,55894, SV = 57,000 |                 |                             |      |      |
|---|-----------------|-----------------------------|------|------|
| Č. buňky  | Směr zpracování | Délka vektoru [m]<br>Průměr | 1    | 2    |
| 2   | Proti svahu     | 0,595677                    |      | **** |
| 1   | Rovina          | 1,195118                    | **** |      |
| 3   | Po svahu        | 1,462675                    | **** |      |

Z Tukeyova testu je zřejmé, že existuje významná statistická odchylka varianty při zpracování půdy proti svahu a zbývajících dvou variant.

Graf 8. Závislost vektorového úhlu na směru zpracování u opotřebovaných pracovních nástrojů



Dle grafu 8. dosahuje nejvyšších průměrných hodnot vektorového úhlu varianta při zpracování půdy ve směru proti svahu (11,58°). Zbývající dvě varianty nedosahují tak výrazných hodnot. Při variantě zpracování půdy směrem po svahu, dosahuje průměrná hodnota vektorového úhlu 1,72° a při variantě zpracování půdy ve směru vrstevnice dosahuje průměrná hodnota 3,04°.

Tabulka 13 Tukeyův test pro vektorový úhel opotřebovaných pracovních nástrojů

| Tukeyův HSD test; proměnná Vektorový úhel [°]<br>Homogenní skupiny, alfa = ,05000<br>Chyba: meziskup. PC = 278,34, SV = 57,000 |                 |                              |      |      |
|--|-----------------|------------------------------|------|------|
| Č. buňky   | Směr zpracování | Vektorový úhel [°]<br>Průměr | 1    | 2    |
| 1  | Rovina          | -3,04319                     | **** |      |
| 3  | Po svahu        | 1,72315                      | **** | **** |
| 2  | Proti svahu     | 11,58217                     |      | **** |

Z Tukeyova testu je zřejmé, že existuje statisticky významná odchylka mezi naměřenými hodnotami varianty při zpracování půdy po rovině a proti svahu.

## 8 Diskuze

Eroze zpracováním půdy je na rozdíl od ostatních druhů eroze přes své zjevné působení stále nepříliš zkoumaným typem degradace zemědělských pozemků. V případě výzkumů byly zkoumány spíše vlivy jednotlivých technologií na posun půdních částic, avšak zkoumání vlivu jednotlivých konstrukcí strojů provádějící tyto úkony nikoliv. Interpretace výsledků v rámci této diplomové práce však o vlivech konstrukce talířových kypřičů při různých stupních svažitosti, respektive vlivu opotřebení radliček na posun půdních částic v různých směrech zpracování půdy, vypovídá následující.

Při porovnání velikosti vektorových úhlů naměřených v rámci hodnocení vlivu konstrukce talířových kypřičů je zřejmé, že při použití kypřiče s konstrukcí řad talířů do tvaru X, bylo dosaženo vyšších průměrných hodnot (pro 4 ze 6 měření), než tomu bylo u kypřiče s rovnoběžnými řadami talířů, který však dosáhl absolutně nejvyšší průměrné hodnoty  $36,28^\circ$  v povrchové vrstvě při svažitosti  $11^\circ$ . Navzdory této hodnotě je fenomén nejvíce zřetelný při porovnání průměrných hodnot v povrchové vrstvě. Vliv konstrukce na průměrnou délku vektorů, však není tak jednoznačný, jelikož při porovnání délky průměrně dosahuje větších hodnot v povrchové vrstvě konstrukce s řadami talířů do X. Rozdílem vůči tomu však jsou průměrné hodnoty délky vektoru naměřené v podpovrchové vrstvě, kdy vyšších hodnot dosahuje konstrukce s rovnoběžnými řadami talířů. Vliv svažitosti na měřené veličiny je u talířového kypřiče s rovnoběžnými řadami talířů shodný s premisou, že se vzrůstající svažitostí narůstají i hodnoty měřených veličin. Rozdílem k tomuto jsou však hodnoty naměřené po použití talířového kypřiče s konstrukcí řad talířů do X, kdy nejvyšších průměrných hodnot dosahovala varianta se svažitostí  $6^\circ$ . Důvod k této anomálii však není známý a její mechanika není vysvětlena.

Druhý zkoumaný parametr, jímž je vliv opotřebení pracovních nástrojů na posun půdních částic při různých směrech zpracování, vypovídá o měřených veličinách následovně. Délka vektoru je ve všech variantách větší při zpracování půdy opotřebovanými pracovními nástroji. Důvodem k tomu může být změna geometrie radličky oproti nové radličce. Nejvyšší průměrná hodnota byla v obou případech naměřena při zpracování půdy směrem po svahu, pro nové radličky tomu bylo 1,44 m a pro radličky opotřebované 1,46 m. Nižších délek pak bylo dosaženo u zpracování půdy po rovině a nejnižších průměrných délek pak při zpracování půdy směrem proti svahu.

Velikost vektorového úhlu dosahuje největších průměrných hodnot u použití opotřebovaných pracovních nástrojů při zpracování proti svahu, konkrétně pak hodnoty  $11,58^\circ$ . Oproti tomu při použití nových pracovních nástrojů, při stejném směru zpracování, bylo dosaženo průměrné hodnoty  $-0,31^\circ$ . Nové pracovní nástroje dosáhly nejvyšší průměrné hodnoty vektorového úhlu při směru zpracování po rovině a to hodnoty  $5,41^\circ$ .

Měření týkající se talířových kypřičů se do velké míry shodují s výsledky (Tiessen et al., 2007), potvrzujícími vlivy konstrukcí kypřičů na posun půdních částic, které byly dosaženy ve studii týkající se hodnocení primárního a sekundárního zpracování půdy používaného při produkci brambor v podmínkách Kanady. Určité rozdíly pak mohou být nalezeny při porovnání s prací (Van Muysen et al., 2006), ve které tvrdí, že posun půdních částic po zpracování půdy talířovými pracovními nástroji dosahuje hodnot v rozmezí 0-0,9 m, avšak nejvzdálenější částice mohou být nalezeny až ve vzdálenosti 10 m. Horní hranice daného intervalu nebylo dosaženo, jelikož maximální hodnota v tomto případě dosahovala 0,6 m. Nepotvrdilo se ani nalezení částic ve vzdálenosti blízké se 10 m. Takovéto odchylky však mohou být dány ulpěním částice na stroji, ať už z důvodu nalepení na pracovní nástroj, či zachycení společně s organickou hmotou. Takovéto vysvětlení se však je do jisté míry nepravděpodobné, jelikož talířové pracovní nástroje jsou charakterizovány značnou průchodností materiálu.

Další měření zjišťující posun půdních částic za pomoci radličkového kypřiče se do velké míry shoduje s prací (Logsdon 2013), který určil posun půdních částic tohoto typu stroje na interval od 2 do 3 m. V případě této práce došlo k posunu půdních částic na vzdálenost maximálně 2 m. Významným faktorem z hlediska erodovatelnosti půdy vyčleněným (Li et al., 2002 b), je varování před opakovanými přejezdy, zpravidla při druhotném zpracování půdy, a to kvůli narušení půdních agregátů mající za následek vyšší náchylnost vůči všem druhům eroze. Dalším rizikem je opakující se zpracování půdy v jednom směru, jelikož dochází k posunu půdních částic ve stále stejném směru.

Vliv svažitosti na posun půdních částic hodnotil ve své práci také (Van Muysen et al., 2002), který v souladu s touto prací potvrzuje. (Li et al., 2002 b) dokonce ve své studii tvrdí, že svažitost je hlavní parametr ovlivňující erozi půdy zpracováním půdy a je prokazatelný u všech druhů zpracování. Zároveň však tvrdí, že zpracování půdy proti svahu nemůže být vnímáno jakožto nápravné opatření vůči jinému zpracování směrem po svahu.

Toto tvrzení se shoduje i s daty získanými v této práci, jelikož vzdálenost posunu částic při zpracování půdy směrem po svahu je několikanásobná vůči vzdálenosti posunu při zpracování proti svahu. Jakožto významné riziko posunu půdy ze svahu vidí i (Dercon et al., 2006), kteří se ve své studii zabývají problematikou týkající se negativního dopadu eroze zpracováním půdy vůči degradaci kvalitativních parametrů na pozemcích Andského regionu v Ekvádoru s lehkými kambizemi, podobnými těm na měřeném pozemku v této práci.

Výsledky jednotlivých prací a výzkumů se mohou do jisté míry lišit v závislosti na použité metodě měření a využití různých druhů tracerů, zejména jejich velikosti a materiálu, ze kterého jsou tvořeny. Podobné tvrzení bylo vyřčeno v práci (MacLeod et al., 2000). Opačné tvrzení, tedy že materiál ani velikost tracerů nemá významný vliv na výsledky měření, ale byly vyjádřeny v práci (Rahman et al., 2002). V případě této práce byly využity hliníkové tracery ve tvaru krychliček, jelikož hliník je svou hustotou nejbliže minerálním částicím v půdě. Stejný materiál použili ve své práci i (Van Muysen et al., 2006).

## 9 Závěr

Přestože eroze zpracováním půdy nebyla dlouhá léta brána jako relevantní činitel degradace půd, dochází v posledních letech k jejímu konkrétnějšímu výzkumu. To má za následek vyšší porozumění jednotlivým působitelům tohoto druhu eroze, ale i jeho provázání s vodní a větrnou erozí. Díky těmto výzkumům můžeme také upravovat jednotlivé agrotechnické postupy, aby byly stále v souladu s jednotlivými potřebami pěstovaných rostlin, ale i splňovaly podmínky pro eliminaci, či alespoň minimalizaci vlivů eroze.

V rámci této diplomové práce bylo docíleno několika konkrétních poznatků, z velké míry potvrzující premisy definované v cílech práce. První potvrzenou premisou je vliv opotřebení pracovních nástrojů na posun půdních částic, kde bylo prokázáno, že opotřebované pracovní nástroje posouvají půdní částice na větší vzdálenosti, vzhledem ke změně jejich geometrie danou vlivem opotřebení. Druhou potvrzenou premisou je vliv směru zpracování půdy na posun půdních částic, kdy k největšímu posunu dochází při zpracování půdy směrem ze svahu a vzhledem k velikosti tohoto posunu je vnímán jako jeden z hlavních činitelů eroze zpracováním půdy. Třetí potvrzenou premisou je vliv konstrukce talířových kypřičů na posun půdních částic, kdy jednotlivé konstrukce vůči sobě vykazovaly určité rozdíly při posunu půdních částic, avšak nelze přímo definovat, který z těchto druhů kypřičů je výhodnější z protierozního hlediska. Čtvrtá premisa, týkající se vlivu svažitosti na posun půdních částic, je prokázána pouze částečně, jelikož při použití talířového kypřiče s rovnoběžnými řadami talířů byla zřejmá závislost velikosti posunu půdních částic na velikosti svažitosti. Oproti tomu však při měření vlivu svažitosti za použití kypřiče s řadami talířů do X, došlo k nepředpokládané anomálii, kdy nejvyšších hodnot posunu půdy bylo dosaženo při svažitosti pozemku 6° oproti svažitosti při 11°. Zde však není znám původce této anomálie.

Eroze zpracováním půdy je v České republice po dlouhé době vnímána jako významné riziko pro zemědělství, o čemž hovoří i zavedení ochranných pravidel DZES. To může být vnímáno do velké míry jako úspěch a forma ochrany tak cenné zemědělské půdy, avšak i při užívání těchto pravidel není možné se vyhnout všem druhům ničivých erozních událostí. Pro ochranu půdy v celkovém hledisku je důležitá znalost pozemků, fungování procesů a činností ovlivňujících půdu. Hlavním způsobem ochrany je lidský přístup, mít i přes vidinu vysokých výnosů sounáležitost s půdou a vůli ji chránit.

## 10 Zdroje

AHMED, F., et al. Effect of new hard facing materials of tillage tools on draft and roughness. *AEJ-Alexandria Engineering Journal*, 2016, 61.3: 243-251.

ARAMIDE, Basiru, et al. Improving the durability of tillage tools through surface modification—a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2021, 116.1-2: 83-98.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R.; WEIL, Ray R. *The nature and properties of soils*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.

CIESIOLKA, C. A. A., et al. The measurement of soil erosion. *Soil erosion at multiple scales: principles and methods for assessing causes and impacts.*, 1998, 287-301.

DERCON, Gerd, et al. Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador. *Soil and Tillage Research*, 2006, 86.1: 15-26.

FIENER, Peter, et al. Uncertainties in assessing tillage erosion—how appropriate are our measuring techniques?. *Geomorphology*, 2018, 304: 214-225.

GODWIN, R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*, 2007, 97.2: 331-340.

HEROLDOVÁ, Marta, et al. Influence of no-tillage versus tillage system on common vole (*Microtus arvalis*) population density. *Pest management science*, 2018, 74.6: 1346-1350.

HRABĚ, P.; MÜLLER, M. Research of overlays influence on ploughshare lifetime. *Research in Agricultural Engineering*, 2013, 59.4: 147-152.

HRABĚ, P.; MÜLLER, M.; HADAČ, V. Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. *Research in Agricultural Engineering*, 2015, 61.2: 72-79.

HŮLA, Josef; ABRHAM, Zdeněk; BAUER, František. *Zpracování půdy*. Brázda, 1997.

HŮLA, Josef; PROCHÁZKOVÁ, Blanka. *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press, 2008.

CHEPIL, W. S.; WOODRUFF, N. P. The physics of wind erosion and its control. *Advances in agronomy*, 1963, 15: 211-302.

CHINTHA, A. R. Metallurgical aspects of steels designed to resist abrasion, and impact-abrasion wear. *Materials Science and Technology*, 2019, 35.10: 1133-1148.

JANEČEK, Miloslav, et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vyd. Praha: ISV, 2002. 201 s. ISBN 85866-85-8, 2002.

JORDANOVA, Diana, et al. Soil tillage erosion estimated by using magnetism of soils—a case study from Bulgaria. *Environmental monitoring and assessment*, 2011, 183: 381-394.

KOSTENCKI, Piotr; STAWICKI, Tomasz; BIAŁOBRZESKA, Beata. Durability and wear geometry of subsoiler shanks provided with sintered carbide plates. *Tribology International*, 2016, 104: 19-35.

KOVAŘÍČEK, Pavel, Josef HŮLA, Michal NÝČ, et al. *Užití kypřičů v technologiích zpracování půdy bez orby: metodická příručka*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2017.

KROULÍK, M., et al. Procedures of soil farming allowing reduction of compaction. *Precision agriculture*, 2011, 12: 317-333.



KŘEN, Jan; NEUDERT, CSc Ing Lubomír. OBECNÁ PRODUKCE ROSTLINNÁ–  
2. ČÁST. 2015.

KUMHÁLA, František. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou  
výrobu. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007, 426 s.

LI, Sheng, et al. Tillage and water erosion on different landscapes in the northern  
North American Great Plains evaluated using <sup>137</sup>Cs technique and soil erosion  
models. *Catena*, 2007, 70.3: 493-505. (a)

LI, Sheng; LOBB, David A.; LINDSTROM, Michael J. Tillage translocation and  
tillage erosion in cereal-based production in Manitoba, Canada. *Soil and Tillage  
Research*, 2007, 94.1: 164-182. (b)

LINDSTROM, Michael J.; NELSON, W. W.; SCHUMACHER, T. E. Quantifying  
tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil and Tillage Research*, 1992,  
24.3: 243-255.

LIPIEC, J., et al. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage  
methods. *Soil and Tillage research*, 2006, 89.2: 210-220.

LOBB, D. A. Soil movement by tillage and other agricultural activities. 2008.

LOGSDON, S. D. Depth dependence of chisel plow tillage erosion. *Soil and Tillage  
Research*, 2013, 128: 119-124.

MACLEOD, C. J.; LOBB, D. A.; CHEN, Y. The relationships between tillage  
translocation, tillage depth and draught for sweeps. In: *Proceedings of the 43rd  
Annual Manitoba Soil Science Society Meeting. MSSS, Winnipeg, Manitoba. 2000.*  
p. 195-199.

MOUAZEN, Abdul Mounem; NEMENYI, Miklos. Tillage tool design by the finite element method: Part 1. Finite element modelling of soil plastic behaviour. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, 72.1: 37-51.

NOVÁK, P., et al. The influence of sloping land on soil particle translocation during secondary tillage. *Agronomy Research*, 2017, 15.3: 799-805.

PAPENDICK, R. I.; MILLER, D. E. Conservation tillage in the Pacific Northwest [United States]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1977.

PAVLŮ, Lenka. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Česká zemědělská univerzita, 2019.

PEIGNÉ, Joséphine, et al. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104.2: 207-214.

RAHMAN, S.; LOBB, D. A.; CHEN, Y. 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*. 2002.

SALEM, Haytham M., et al. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geoderma*, 2015, 237: 60-70.

SINGH, Jagseer; CHATHA, Sukhpal Singh; SIDHU, Buta Singh. Abrasive wear behavior of newly developed weld overlaid tillage tools in laboratory and in actual field conditions. *Journal of Manufacturing Processes*, 2020, 55: 143-152.

SPOOR, G. Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. *Soil Use and Management*, 2006, 22.2: 113-122.

SRIVASTAVA, Ajit K., et al. *Engineering principles of agricultural machines*. Saint Joseph: American society of agricultural engineers, 1993.

STABRYŁA, Jan. Research on the degradation process of agricultural tools in soil. *Problemy Eksploatacji*, 2007, 4: 223-232.

STOUT, Bill A., et al. *CIGR handbook of agricultural engineering. Vol. III. ASAE, St. Joseph, USA*, 1999.

TIESSEN, K. H. D., et al. Tillage erosion within potato production in Atlantic Canada: II: Erosivity of primary and secondary tillage operations. *Soil and Tillage Research*, 2007, 95.1-2: 320-331.

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

VAN MUYSEN, W.; GOVERS, Gerard. Soil displacement and tillage erosion during secondary tillage operations: the case of rotary harrow and seeding equipment. *Soil and tillage research*, 2002, 65.2: 185-191.

VAN MUYSEN, W.; VAN OOST, Kristof; GOVERS, Gerard. Soil translocation resulting from multiple passes of tillage under normal field operating conditions. *Soil and Tillage Research*, 2006, 87.2: 218-230.

VAN MUYSEN, Wouter, et al. The effect of tillage depth, tillage speed, and soil condition on chisel tillage erosivity. *Journal of Soil and Water conservation*, 2000, 55.3: 355-364.

VAN OOST, Kristof, et al. Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality. *Progress in Physical Geography*, 2006, 30.4: 443-466.

VAN OOST, Kristof; GOVERS, Gerard; DESMET, Phillipe. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape ecology*, 2000, 15: 577-589.

Vyhláška č. 240/2021 Sb. Vyhláška o ochraně zemědělské půdy před erozí. In: Sbíрка zákonů 17.6.2021

WANG, Y., et al. Impact of tillage erosion on water erosion in a hilly landscape. *Science of the Total Environment*, 2016, 551: 522-532.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight David. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

YU, H.-J.; BHOLE, S. D. Development of a prototype abrasive wear tester for tillage tool materials. *Tribology International*, 1990, 23.5: 309-316.

ZOBECK, Ted M.; VAN PELT, R. Scott. Wind erosion. *Soil management: Building a stable base for agriculture*, 2011, 209-227.

ZOUBKOVÁ, Lenka. *Návody k laboratorním cvičením z pedologie*. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2014.

## 10.1 Online zdroje

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. Protierozní opatření, In: eagri.cz a [online] 2023 [cit.15.2.2023] Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-pudy/eroze-pudy/protierozni-opatreni/>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. Vodní eroze půdy, In: eagri.cz b [online] 2023 [cit.26.2.2023] Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. Větrná eroze půdy, In: eagri.cz c [online] 2023 [cit.26.2.2023] Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vetrna-eroze-pudy/>

## 11 Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. č. 1 Secí kombinace Lemken Solitair. ....                                  | 9  |
| Obr. č. 2 Třístranný klín.....  | 12 |
| Obr. č. 3 Vliv svažitosti a směru zpracování půdy na posun půdních částic. .... | 26 |
| Obr. č. 4 Experimentální pozemek společnosti Agro Nesperka .....                | 28 |
| Obr. č. 5 a – Diagram vektorového úhlu, b – umístění značkovačů v půdě. ....    | 29 |

## 12 Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1 Výsledné hodnoty získané z měření Kopeckého válečků.....              | 31 |
| Tabulka 2 Tukeyův HSD test pro povrchové tracery .....                          | 33 |
| Tabulka 3 Tukeyův HSD test pro podpovrchové tracery .....                       | 33 |
| Tabulka 4 Tukeyův HSD test pro povrchové tracery .....                          | 34 |
| Tabulka 5 Tukeyův HSD test pro podpovrchové tracery .....                       | 35 |
| Tabulka 6 Tukeyův HSD test pro povrchové tracery .....                          | 36 |
| Tabulka 7 Tukeyův HSD test pro podpovrchové tracery .....                       | 36 |
| Tabulka 8 Tukeyův HSD test pro povrchové varianty .....                         | 37 |
| Tabulka 9 Tukeyův HSD test pro podpovrchové varianty .....                      | 38 |
| Tabulka 10 Tukeyův HSD test pro délku vektoru u nových pracovních nástrojů...39 |    |
| Tabulka 11 Tukeyův HSD test pro vektorový úhel u nových pracovních nástrojů.40  |    |
| Tabulka 12 Tukeyův test pro délku vektoru opotřebovaných pracovních nástrojů.41 |    |
| Tabulka 13 Tukeyův test pro vektorový úhel opotřebovaných pracovních nástrojů42 |    |

## 13 Seznam grafů

|   |    |
|---|----|
| Graf 1. Závislost vektorového úhlu na svažitosti pro rovnoběžný talířový kypřič...                    | 32 |
| Graf 2. Závislost délky vektoru na svažitosti pro rovnoběžný talířový kypřič.....                     | 34 |
| Graf 3. Závislost vektorového úhlu na svažitosti talířového kypřiče tvaru X.....                      | 35 |
| Graf 4. Závislost délky vektoru na svažitosti u talířového kypřiče tvaru X.....                       | 37 |
| Graf 5. Závislost délky vektoru na směru zpracování půdy s použitím nových pracovních nástrojů.....   | 38 |
| Graf 6. Závislost vektorového úhlu na směru zpracování půdy u nových pracovních nástrojů.....         | 39 |
| Graf 7. Závislost délky vektoru na směru zpracování půdy u opotřebovaných pracovních nástrojů .....   | 40 |
| Graf 8. Závislost vektorového úhlu na směru zpracování půdy u opotřebovaných pracovních nástrojů..... | 41 |