

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra rostlinné výroby**



**Vliv zhutnění půdy na produkční ukazatele cukrové řepy**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Mgr. František Balák**

**Vedoucí práce: Prof. Ing. Josef Pulkrábek, CSc.**

© 2016 ČZU v Praze

### **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv zhutnění půdy na produkční ukazatele cukrové řepy" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Sobotce dne 05. 04. 2016

.....

František Balák

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří mi s prací pomáhali. Hlavní dík patří vedoucímu mé práce, Josefu Pulkrábkovi. Za významnou pomoc se stylistickou úpravou práce bych chtěl poděkovat Lee Paličkové. Velký dík náleží všem pracovníkům univerzity, studentům i ostatním, kteří se zúčastnili odběru dat. Zvláštní poděkování náleží společnosti Agro Chomutice a.s., která s výzkumem spolupracovala. Především bych zde ale chtěl poděkovat mé rodině a blízkým za podporu během psaní práce i za podporu během celého studia.

## Souhrn

Metody podzimní přípravy k cukrovce se stále orientují především na klasické postupy, které se zakládají na orbě. V nedávné době se začaly prosazovat metody minimalizace i v porostech cukrovky, především kvůli svému protieroznímu účinku. Tato práce se zabývá otázkou, zda se minimalizační postupy dokáží tomu klasickému vyrovnat ve svém pozitivním efektu na úrodnost půd. K jejich porovnání byl měřen penetrační odpor půdy, který funguje jako ukazatel zhutnění půd, jež by měla kvalitně provedená podzimní příprava snižovat. Cílem této práce je stanovit zhutnění půdy zpracované hlubokou orbou nebo hlubokým kypřením na konkrétním honu s porostem cukrové řepy a vyhodnotit dopady půdního zhutnění na její produkci.

Výzkum probíhal v poloprovozních pokusech na polích v okolí Jičína v letech 2012 až 2015. Sledovanými polními parametry byly penetrační odpor půdy a půdní vlhkost. Sledované úseky porostu byly v době technologické zralosti ručně sklizeny a z odebraných bulev byl následně vyhodnocen jejich výnos, cukernatost a další jakostní ukazatele. Testovaná pole byla průměrně zhutněná, penetrační odpor do 40 cm se pohyboval mezi 3 až 4 MPa, podle kvality přípravy a termínu hodnocení. Orba i hluboké kypření dokázaly prokazatelně snižovat zhutnění půdy a tím značně přispívaly k dobrému založení porostu cukrové řepy. Parametry výnosu i jakosti byly velice dobré, výnos bulev dosahoval v průměru 95 t.ha<sup>-1</sup> a cukernatost 18,7 %. Výnos polarizačního cukru byl v průměru 17,8 t.ha<sup>-1</sup>.

Jak se z výzkumu ukázalo, podzimní příprava půdním kypřičem je v intenzitě kypření půdy srovnatelná s orbou a ve svém efektu na kvalitu porostu ji dokonce mírně převyšuje. Kvalitní podzimní příprava zlepšuje hodnoty všech výnosotvorných prvků i parametrů jakosti. Mezi základními výnosovými parametry obou variant podzimní přípravy nebyl pomocí testů nalezen statisticky významný rozdíl. Ve výnosu polarizačního cukru byl nalezen statisticky významný rozdíl 1,5 % ve prospěch hlubokého kypření půdy.

**Klíčová slova:** Zhutnění půdy, řepa cukrová, kypření půdy, penetrační odpor, výnos, cukernatost

## Summary

The methods of autumn tillage in sugar beet are still oriented mainly on classic cultivation, which is based on ploughing. Minimalization methods have recently appeared in sugar beet as well, mainly due to their anti-erosion effect. This thesis deals with question, whether is the minimalization tillage able to match classic cultivation in its positive effect on soil fertility. To compare the effect, penetration resistance has been measured, as it serves as an indicator of field compaction, which should be alleviated by autumn tillage. Aim of this thesis is to measure the effect of soil compaction on soil cultivated by ploughing or deep chiseling in a particular area of sugar beet and to assess the impact of soil compaction on its production.

Research has taken place in semi-practice experiments in fields in the vicinity of Jičín in years from 2012 to 2015. Measured field parameters were soil penetration resistance and soil wetness. Rated parts of vegetation have been manually harvested in technological maturity and from sampled tubers has been determined yield, sugar content and other quality parameters. Tested fields were medium compacted, penetration resistance to 40 cm was in average between 3 to 4 MPa, depending on tillage quality and on sampling date. Ploughing and deep chiseling managed to provably alleviate soil compaction and thus considerably helped to setup sugar beet vegetation well. Yield and quality parameters were very good, yield of tubers reached in average 95 t.ha<sup>-1</sup> and the sugar content 18,7 %. Yield of polarization sugar reached in average 17,8 t.ha<sup>-1</sup>.

As the research has shown, autumn tillage by deep chiseling is in its soil loosening effect comparable with ploughing and even exceeds it a little in its influence on vegetation quality. Good autumn tillage raises values of all yield factors and quality parameters. Between basic parameters of yields were found no statistically significant differences for the two autumn tillage methods. In the yield of polarization sugar per hectare was found a statistically significant difference of 1,5 % for the benefit of deep chiseling.

Keywords: Soil compaction, sugar beet, tillage, penetration resistance, yield, sugar content

# Obsah

1 Úvod do řešené problematiky .....	9
2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....	10
3 Přehled literatury .....	11
3.1 Růst a vývoj cukrové řepy.....	11
3.1.1 Fyziologická stavba cukrové řepy .....	11
3.1.2 Tvorba výnosu cukrové řepy .....	11
3.2 Používané způsoby podzimního a jarního zpracování půd .....	12
3.3 Zhutnění půdy .....	14
3.3.1 Zdroje zhutnění půdy .....	14
3.3.2 Projevy zhutnění půdy.....	17
3.3.3 Metody prevence a nápravy zhutnění půdy .....	20
3.4 Počasí a půdní vláha .....	22
3.4.1 Dostupnost vody .....	22
3.4.2 Vodní eroze .....	24
3.5 Půdní organická hmota, výživa rostlin a zhutnění půd.....	26
3.6 Vliv půdního zhutnění na růst cukrové řepy .....	26
4 Materiál a metody .....	28
4.1 Lokalita a použité přístroje .....	28
4.2 Metodika odběru vzorků .....	29
4.3 Metodika zpracování výsledků .....	30
5 Výsledky výzkumu .....	32
5. 1 Charakteristika dat .....	32
5. 2 Statistické vyhodnocení dat.....	37
5. 3 Výnosové a kvalitativní parametry porostu .....	37
5. 4 Vztah výnosových a jakostních parametrů k podzimní přípravě.....	40
6 Diskuse.....	42
7 Závěr .....	45
8 Literární zdroje .....	46
9 Přílohy.....	50

## Seznam obrázků

Obr. 3.1: Penetrační odpor půdy v závislosti na hloubce a intenzitě zpracování.

Obr. 3.2: Zóny napětí ve 2D prostoru pod projíždějícím kolem

Obr. 3.3: Vypočtený průběh napětí do hloubky při různých zatíženích povrchu půdy

Obr. 3.4a, b: Časový průběh deformace půdy během přejezdu kolového traktoru

Obr. 3.5: Vypočtené riziko zhutnění podorničí mechanizací

Obr. 3.6: Změna půdní propustnosti pro vzduch v závislosti na normálovém zatížení vzorku

Obr. 3.7: Efekt opakovaných přejezdů těžké techniky na tuhost půdy vyjádřený jarní penetrační křivkou, s různými druhy podzimní přípravy

Obr. 3.8: Propustnost půdy ( $k_s$ ) po působení různě velikého napětí na povrchu

Obr. 3.9: Zjednodušený náčrt hlavních druhů půdních pórů

Obr. 3.10: Modelová vodní eroze půdy v porostu cukrové řepy v průběhu roku

Obr. 4.1: Pokusné pole Dílce v roce 2015 před přípravou

Obr. 4.2: Pole zahrnutá do pokusu

Obr. 5.1: Krabicový diagram všech měření odporu půd u zkoumaných variant podzimní přípravy

Obr. 5.2: Průměrný penetrační odpor půdy během roku.

Obr. 5.3: Průměrná hodnota penetračního odporu od prvního měření (18.3.)

Obr. 5.4: Průměrné zhutnění půdy v průběhu roku podle varianty podzimního zpracování

Obr. 5.5: Průměrné difference derivace odporu

Obr. 5.6a, b: Průměrný penetrační odpor půdy

Obr. 5.7: Korelace výnosu bulv a zhutnění půdy v různých hloubkách

Obr. 5.8. Závislost průměrného zhutnění na průměrné vlhkosti profilu

Obr. 9.1: Ukázka kvality a hloubky orby.

Obr. 9.2: Ukázka kvality a hloubky hlubokého kypření.

Obr. 9.3: Ukázka kvality a hloubky mělkého kypření.

## Seznam tabulek

Tab. 4.1: Seznam používaných parametrů

Tab. 5.1: Výsledky znaménkového a Wilcoxova testu

Tab. 5.2: Vyhodnocení sledovaných parametrů porostu

Tab. 5.3: Výsledné rozdíly hodnot parametrů pro jednotlivé varianty podzimní přípravy

Tab. 9.1: Hodnoty korelací vybraných parametrů porostu a půdy

Tab. 9.2: Hodnoty testů na vybraných parametrech porostu



# 1 Úvod do řešené problematiky

Půda je jedním z faktorů, na kterém je zemědělství přímo závislé. A to nejen na rozloze půdy, na které lze hospodařit, ale také na její kvalitě. Rozlohu půdy může hospodář ovlivnit jen velmi složitě. Její kvalitu však ovlivnit lze, neboť ta se přímo odvíjí od postupů, které při pěstování polních plodin zvolí. Půdní úrodnost lze krátkodobě navýšit nakypřením a hnojením půdy. Ovšem dlouhodobá kvalita a úrodnost půd většinou klesá (Pokorný et al., 2016). Jen málo postupů, které mohou uškodit kvalitě půdy, lze za současných ekonomických a technologických možností vypustit nebo nahradit lepšími. Záleží proto na úrovni poznání, kterou budeme nejen o půdě mít, abychom mohli nalézt lepší, efektivnější postupy, které svoji aplikací v praxi umožní zachování současné kvality půd pro příští generace.

Zhutněním se rozumí pokles celkové porozity v daném objemu půdy a nárůst její specifické hmotnosti (Berisso et al., 2012). Zhutnění půd na polích, kde se pěstuje cukrová řepa, se dostává do popředí zájmu od doby, kdy klasické postupy zahrnující mnoho operací a ruční práci byly nahrazeny těžkou mechanizací kombinující několik operací a zrychlující pracovní proces. Samochodné kombinované sklizeče na řepu měly na počátku 90. let zatížení jedním kolem až 9 t při plném naložení (Arvidsson, 2001), což přivedlo pozornost vědců k tématu zhutnění půd. Ještě většího významu pak téma zhutnění půd nabývá v současnosti, kdy jsou běžně aplikované půdoochranné technologie testovány narůstající hmotností mechanizace.

Půda, která byla obdělávána, ale nebyla zasažena zhutněním, je homogenní s typicky drobtovitou strukturou s převažujícími agregáty okolo 1 – 30 mm (Semmel, 1993). Mezi nimi se běžně objevují póry o velikosti 20 mm i větší. Protože mechanické zhutňování je velmi složitý a dynamický proces (Arvidsson et al., 2001), dokáže tuto strukturu snadno přeměnit na jinou, která je méně vhodná k obdělávání, nepříznivá pro růst rostlin a ještě více zranitelná. Z hlediska půdního zhutnění lze rozdělit půdu na poli do dvou vrstev (Alakukku et al., 2003): 1) Ornici: Nachází se při povrchu a na různých polích se liší svou mocností. Přejezdy strojů je nejvíce zatěžována, ale také je obvykle pravidelně kypřena. 2) Podorničí: Hlubší vrstva půdy, která běžně kypřena není. Mechanický zásah je zde neekonomický a někdy dokonce kontraproduktivní. Hlubší vrstva bývá zasažena pouze při melioracích a pokládání drenáží. Těsně pod hloubkou zpracování mezi ornici a hlubší půdou se obvykle tvoří vrstva zhutněné půdy, kterou je vhodné občas narušovat hloubkovým kypřením, aby se nezhoršovaly půdně podmínky ornice. Právě cukrovka je jedna z plodin, která má vyšší tendenci zanechávat hlubší vrstvy ornice zhutněné. (Pulkrábek et al., 2015b).

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem této práce vyhodnotit vliv podzimní přípravy na zhutnění půdy v porostu cukrové řepy a posoudit dopady zhutnění půdy na produkci cukrové řepy. K hodnocení budou použita data z poloprovozních ploch, které byly zpracované hlubokou orbou, hlubokým kypřením a mělkým kypřením.

Základní vědecká hypotéza zní, že zpracování půdy svým působením snižuje zhutnění půdy a tím příznivě ovlivňuje výnos a kvalitu bulev cukrové řepy. Druhá hypotéza zní, že hluboké kypření půdy má srovnatelný vliv na snížení půdního zhutnění jako hluboká orba.

Metodika zpracování zahrnuje literární přehled odpovídající řešené problematice, analýzu vlivu orby a hlubokého kypření půdy na zhutnění půdy v porostu cukrové řepy a vyhodnocení zhutnění půdy v poloprovozním pokusu na poli s cukrovou řepou založeném v okolí Jičína.

## 3 Přehled literatury

### 3.1 Růst a vývoj cukrové řepy

#### 3.1.1 Fyziologická stavba cukrové řepy

Řepa cukrová (*Beta Vulgaris*) je dvouletá bylina z čeledi merlíkovité (*chenopodiaceae*), která se podle Nováka a Skalického (2012) dále dělí na skupiny kultivarů: *Cicla* (mangold), *Vulgaris* (červená řepa), *Rapacea* (krmná řepa) a *Altissima* (cukrovka), které se bude text dále věnovat. V rámci prvního roku tvoří řepa nejprve růžici dlouze řapíkatých, přízemních listů. Následně její kořen a báze lodyhy tloustnou činností následného kambialního pletiva a tím vytvoří bulvu. V druhém roce vyrůstá přibližně 1 m vysoká lodyha s květy v klubíčkách, obsahujících 2 – 6 jedinců, ze kterých vznikají semena (Novák a Skalický, 2012). Do této fáze se však technicky pěstovaná cukrovka zpravidla nedostává, protože je sklizena na podzim prvního roku.

Cukrovka je rostlinou dlouhého dne a její vegetační doba do technické zralosti je 180 – 200 dní (Bretschneider, 1969). Její setí probíhá na začátku jara, kdy teplota přesáhne 5 °C. Za dobu růstu potřebuje využít asi 1400 hodin slunečního svitu. Cukrovka dokáže ze semínka, které váží v průměru 0,0049 g vytvořit za dobu vegetace bulvu v technické zralosti o hmotnosti 500 – 800 g. Svoji biomasu tedy dokáže navýšit více než 200 000 krát (Kulovaná, 2001) a tím je mezi ostatními plodinami mírného pásma naprosto unikátní.

#### 3.1.2 Tvorba výnosu cukrové řepy

Podle Pulkrábka et al. (2007) je výnos cukru dán počtem bulev na hektar, jejich průměrnou hmotností, a cukernatostí. Limitující faktory kvality porostu jsou kvalita výsevu, mezerovitost či přehuštění porostu, délka vegetace a její intenzita, která je řízena výživou a klimatickými faktory. Současná osiva velice usnadňují zakládání porostu, takže je možné dosáhnout velmi vysoké kvality porostu. Klíčivost semen přesahuje 95 %, což zamezuje vzniku mezerovitého porostu. V ideálním stavu by měl porost cukrovky čítat přibližně 100 tisíc jedinců na hektar (Hřivna et al., 2014). Geneticky jsou semínka z 98 – 100 % jednoklíčková, čímž je výskyt zdvojených rostlin významně omezen (Pulkrábek et al., 2007). Obalení semen v přípravku, jež obsahuje mořidla a hnojiva, zajišťuje bezpečné vzcházení a správné vysévání díky jednotné velikosti osiva.

Výnos je dále možné navýšit dostatečným a vyváženým hnojením, kdy se můžeme za ideálních klimatických a půdních podmínek dostat až k výnosu přes 100 t.ha<sup>-1</sup> (Hřivna et al.,

2014), čímž lze teoreticky získat přes 16 t cukru z hektaru. Tím lze dosáhnout výnosů, které jsou podle Pulkrábka et al. (2015a) nezbytné pro konkurenceschopnou produkci cukru z cukrové řepy v podmínkách EU (13 t.ha<sup>-1</sup>). Takový výnos je běžně dosahován v podmínkách maloparcelkového pěstování, ale v praxi je obvykle redukován na 50 – 80 % (Hřivna et al., 2014). Hlavní vlivy na výnosové parametry má ročník, půdní poměry, agrotechnika (především prostřednictvím přípravy půdy), výživa, setí, ochrana porostu a kvalitně provedená sklizeň. Cukrová řepa podle Pulkrábka et al. (2015a) vyžaduje v ideálním případě půdy s objemovou hmotností v rozmezí 1,2 až 1,5 g.cm<sup>-3</sup>. Nejlepších výsledků dosahuje cukrovka na půdních typech hnědozem, černozem, ilimerizovaná půda / luvizem a fluvizem, z hlediska klimatických podmínek jsou pro pěstování optimální regiony T2 a T3 (Pulkrábek et al., 2015b).

### 3.2 Používané způsoby podzimního a jarního zpracování půd

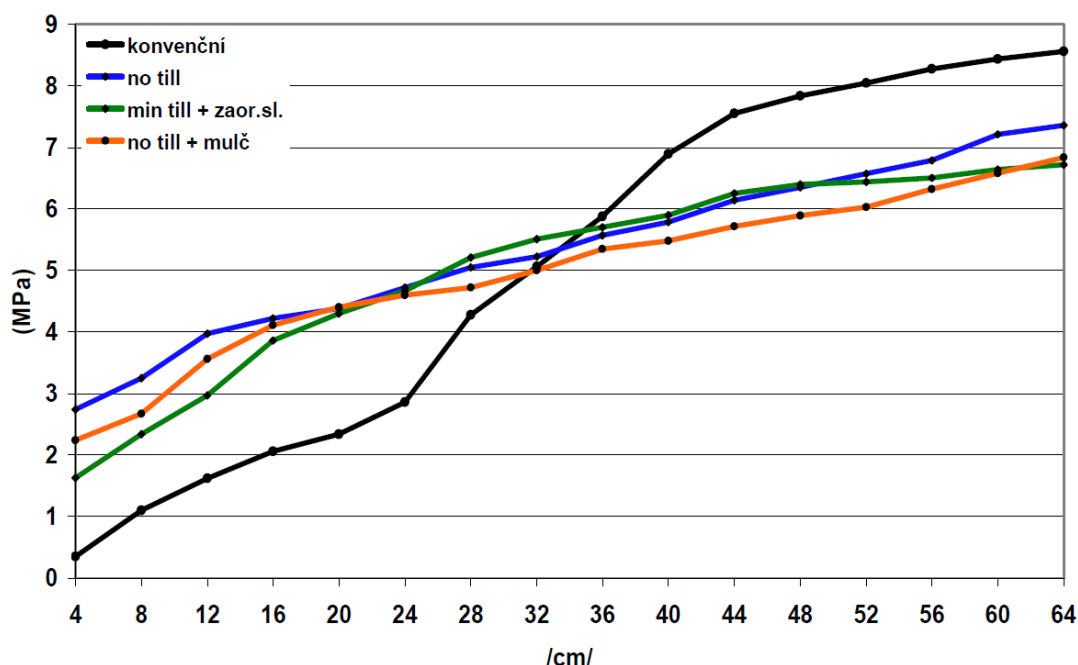
V současnosti je situace při přípravě polí velmi rozmanitá. Existují varianty vycházející z orebního i bezorebního systému s využitím minimalizačních technologií, včetně setí do mulče (Pulkrábek et al., 2007). Většina používaných metod je navzdory nárůstu využívání minimalizačních technologií v minulých letech stále založena na orbě (Hůla et al., 2008).

Podzimní zpracování půdy se provádí za účelem vytvoření takových půdních podmínek, které zaručí vysokou polní vzcháživost rostlin, optimální růst hlavního kořene a celé kořenové soustavy (Hůla et al., 2008). Primárním cílem podzimní přípravy je provzdušnit půdu, zlepšit biologické a chemické vlastnosti ornice a její fyzikální stav (Pulkrábek et al., 2007).

Klasické podzimní zpracování zahrnuje orbu v průběhu září až října, kdy jsou vhodné klimatické podmínky. V ideálním případě se s podzimní orbou zapravují organická a PK hnojiva (Pulkrábek et al., 2007). Hloubka orby může dosahovat až do hloubky 30 cm, běžně však 20 – 25 cm. Z minimalizačních technologií jsou využívány především postupy založené na mělkém a středně hlubokém kypření půdy radličkovým či talířovým kypřičem (Hůla et al., 2008). V současné době jsou technologie, které namísto orby využívají hluboké kypření, uplatňovány jako půdoochranné (Pulkrábek et al., 2015a). Tyto technologie mají za úkol vytvořit alternativu k doposud používaným způsobům přípravy, která bude poskytovat větší ochranu ornice proti vodní erozi. Systém navrhovaný Kinclm et al. (2015) vychází z komplexu vstupů, které zahrnují podzimní kypření do až 30 cm, jarní plečkování a dlátování spojené s aplikací hnojiv a případné setí do mulče z vymrzající meziplodiny. Dosavadní výsledky navrhovaného systému jsou z hlediska vodní eroze příznivé.

Protierozní postupy je možné doplnit či nahradit hlubším kypřením, které dokáže narušit zhutněné vrstvy v podorniči bez většího promíchání zeminy ve vertikálním směru (Pulkrábek et al., 2015a). Toho se docílí např. použitím klasických kypřičů do větší hloubky, třeba v několika operacích s postupným prohlubováním pracovní hloubky. Pro hluboké kypření je vhodnější použití speciálních dlátových kypřičů, které dokáží bez rizika poškození pracovních nástrojů pracovat v mnohem větší hloubce (obvykle 30 – 40 cm) a tím zajistit rozrušení celé zhutněné vrstvy v podorniči, což je podle Pulkrábka et al. (2015a) podmínkou dobrého výsledku. Nasazení hlubokého kypření odpovídá podmínkám standardu DZES 5 jako specifická půdoochranná technologie na mírně erozně ohrožených půdách (MEO).

Postup poněkud opačný představuje mělké kypření radličkovými či talířovými kypřiči na hloubku kolem 10 cm. Koch et al. (2008) tento postup při pěstování cukrové řepy však nedoporučují, protože v dostatečné míře nedokáže eliminovat nežádoucí zhutnění půdy, objemová hmotnost půdy zůstává vyšší, a proto vyústí ve ztráty na výnosu u vysoce výnosných odrůd (dnes prakticky všech). Přesto je tento postup podle Arvidssona et al. (2012) účinnější, než intenzivní zpracování s orbou a mnoha přejezdy traktoru ve stejné koleji. Při dostatečné úrovni minimalizace tedy může přicházet v úvahu i tento postup. Srovnání zhutnění půd při použití minimalizačních a klasických technologií přípravy uvádí Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Penetrační odpor půdy v závislosti na hloubce a intenzitě zpracování. (Javůrek a Vach, 2008)

*Ruzyně, podzim 2007 po ozimé pšenici.*

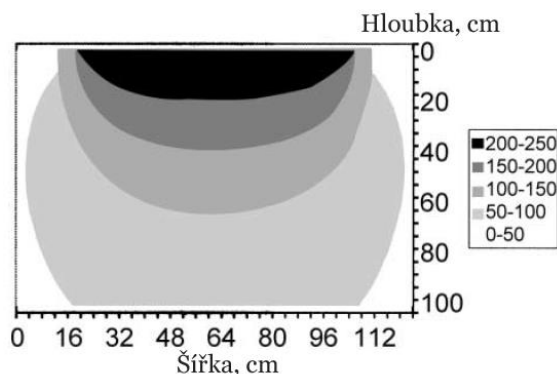
### 3.3 Zhutnění půdy

#### 3.3.1 Zdroje zhutnění půdy

Příčiny zhutňování půd nejsou jen umělé, ale i přirozené. Nevhodný režim obhospodařování vede ke zhutňování půd i bez přejezdů těžkých strojů. Veškeré příčiny zhutnění půd se dělí na biologické, chemické a fyzikální (Rybáček et al., 1985). K biologickým příčinám patří především nedostatečný přísun organických látek, jejich nízký obsah a rychlá mineralizace. Při nízkém obsahu půdního humusu se netvoří půdní agregáty zlepšující strukturu půdy. Bez nich se hroutí struktura půdy, čímž narůstá její objemová hmotnost. Chemické příčiny zhutnění půdy vznikají z vysokého obsahu jílových minerálů a vysokých dávek draselných a amonných hnojiv, které také poškozují půdní strukturu peptizací půdních koloidů.

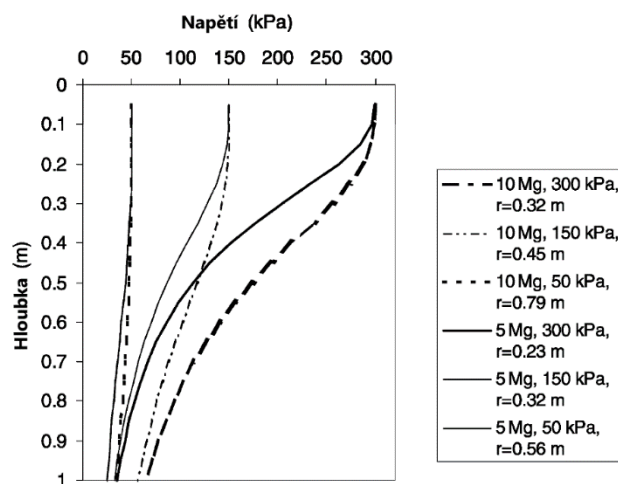
Mezi přírodní fyzikální jevy se podle Rybáčka et al. (1985) řadí ilimerizace, při které dochází k tvorbě tuhých iluviálních horizontů a dále oglejení, jež také vede ke vzniku málo propustných vrstev. Podobný efekt mohou na propustnost mít i přívalové srážky či nadměrná závlaha. Tuhost půdy narůstá také v průběhu roku, především z důvodu vypařování půdní vláhly ke konci jara a v létě. To může způsobit, že se penetrační odpor půdy v době tvorby 6. páru listů na zbytku pole blíží svou hodnotou odporu v kolejovém řádku (Pulkrábek et al., 2015a).

Umělé zhutňování půdy je mechanický jev, ke kterému dochází aplikací většího tlaku, než je únosnost zeminy. Ta je charakterizována Mohr-Coulombovou obálkou pevnosti, která je definovaná ve vztahu normálového a střížného napětí jako obálka série Mohrových kružnic (Richards, 1974). Dokud napětí nepřekročí tuto hranici, reaguje půda elasticky a tlaku odolá bez trvalé deformace (Horn et al., 1995). Po překročení této hranice přechází materiál do plastické deformace, která vyústí ve zhutnění půdy. Hranice deformace se však mění v závislosti na půdní textuře, struktuře a vodním potenciálu půdy. Koncentrace tlaku ubývá směrem do hloubky a šíří se částečně v horizontálním směru, jak ukazuje např. model Arivssona et al., (2001). Nejvíce bývá působícím tlakem zasažena svrchní vrstva půdy, hlubší vrstvy již s menší intenzitou (Obr. 3.2).



Obr. 3.2: Zóny napětí ve 2D prostoru pod projíždějícím kolem (Upraveno podle Arvidssona et al., 2001)

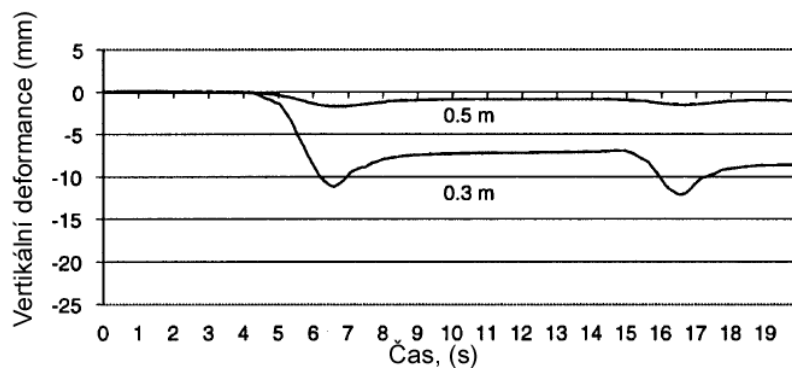
Přejezdy traktorů po seti způsobují zhutnění ornice při povrchu, jak průkazně dokázali např. Arvidsson et al. (2012). Tyto přejezdy však nemusí nutně škodit kvalitě půdy, protože mají při nízké četnosti a zatížení jen malý vliv na klíčení a růst rostlin. Koncentrace přejezdů narůstá na souvratích a v prostoru dočasných cest na poli (Javůrek a Vach, 2008). Penetrační odpor půd v takových místech narůstá o 60 – 90 % (Pulkrábek et al., 2015a). Celkově je u přejezdů těžké i lehčí mechanizace v průběhu roku vysoké riziko překročení nosné kapacity půd, především za vyšší vlhkosti půdy (Koch et al., 2008). Zvětšením kontaktní plochy se při stejném zatížení snižuje napětí na povrchu půdy, jak je patrné na Obr. 3.3



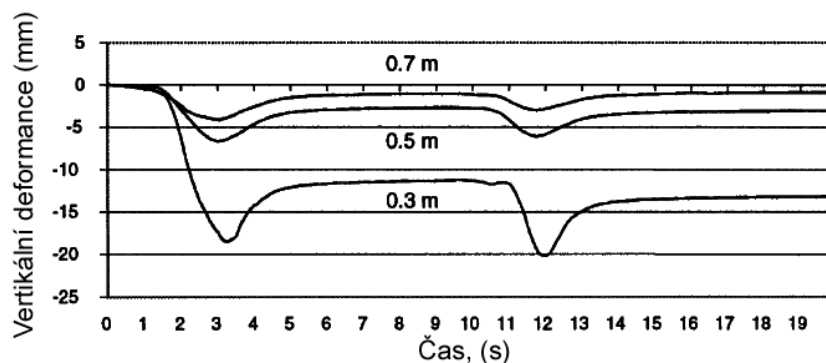
Obr. 3.3: Vypočtený průběh napětí do hloubky při různém zatížení povrchu půdy. Homogenní zatížení způsobuje kruhová deska o poloměru ( $r$ ). (Upraveno podle Alakukku et al., 2003)

Největší deformaci zpravidla způsobuje první přejezd mechanizace, další již deformují půdu méně (Horn et al., 1995), viz Obr. 3,4a, b. Nejvíce zhutněné polohy vznikající přejezdem kola se nachází v hloubce mezi 3 a 8 cm pod povrchem (Horn et al., 1995). Tato vrstva je běžně zbavena pórů větších než 20  $\mu\text{m}$ . Hlouběji již tyto i větší póry zčásti přetrvávají.

Podle Semmela (1993) jsou všechny zdroje zhutnění kumulativní, stav půdy tak je s každým přejezdem dále degradován. V klasické technologii je přitom v podmínkách ČR za celou sezónu zasaženo pojezdy strojů zhruba 86 % plochy polí (Kroulík et al., 2009). Zvýšený penetrační odpor zjistili v kolejích sklízeců cukrovky např. Pulkrábek et al. (2015a), a to přinejmenším o 20 % vyšší oproti stavu před sklizní. Např. Arvidsson (2001) prokázal, že několik přejezdů způsobí půdě mnohem závažnější poškození, než jeden přejezd. Zásadní vliv na přenos napětí do větších hloubek má půdní vlhkost, jak ukazují Obr. 3,4a, b. V méně vlhké půdě působí proti tlaku kol příhodněji postavené vodní menisky, které dodávají zemině dočasně vyšší pevnost (Richards, 1974). Jejich tvar je však častými přejezdy deformován do méně příhodného stavu. Bez působení menisků bude zemina odolávat napětí tak, že její voda přenesou pórovým tlakem a rozloží do větší hloubky a do okolí. To však pouze v případě, že nebude zemina rychle drénovaná a pokud nebude její struktura tekutá.



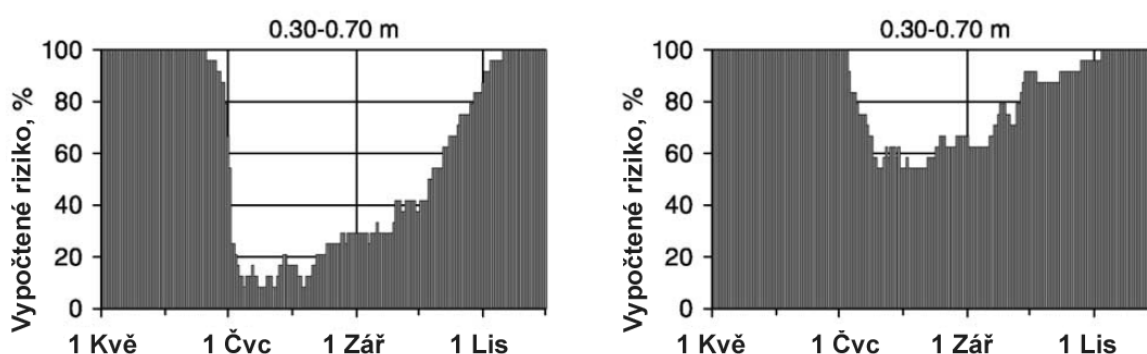
Obr. 3.4a: Časový průběh deformace půdy během přejezdu kolového traktoru za běžných podmínek. (Upraveno podle Arvidssona, 2001)



Obr. 3.4b: Časový průběh deformace půdy během přejezdu kolového traktoru za velmi vlhkých podmínek. (Upraveno podle Arvidssona, 2001)



Jeden z nejzávažnějších prohřešků vůči půdě je zásah v době vysoké půdní vlhkosti, kdy půda ztrácí stabilitu a i relativně lehká mechanizace zničí její strukturu a vytvoří hluboké koleje (Pulkrábek et al., 2015b). Tomu se většina zemědělců snaží vyhnout, protože jsou si vědomi následků, jaké to má na růst plodin v následujícím roce a na ztíženou práci na poli v příštích vstupech. Málokdo si však uvědomí, že zhutnění půd funguje pozitivní zpětnou vazbou, že poškozená struktura půdy se příště poškodí více a do větší hloubky. Další zásah, který způsobuje závažné zhutnění půd, je orba. Tyto dvě praktiky jsou podle Alakukku et al., (2003) nejvýznamnější zdroje zhutnění půd. Období, kdy je vysoké riziko nevhodného zásahu v důsledku přílišné půdní vlhkosti, přibližuje model na Obr. 3.5.



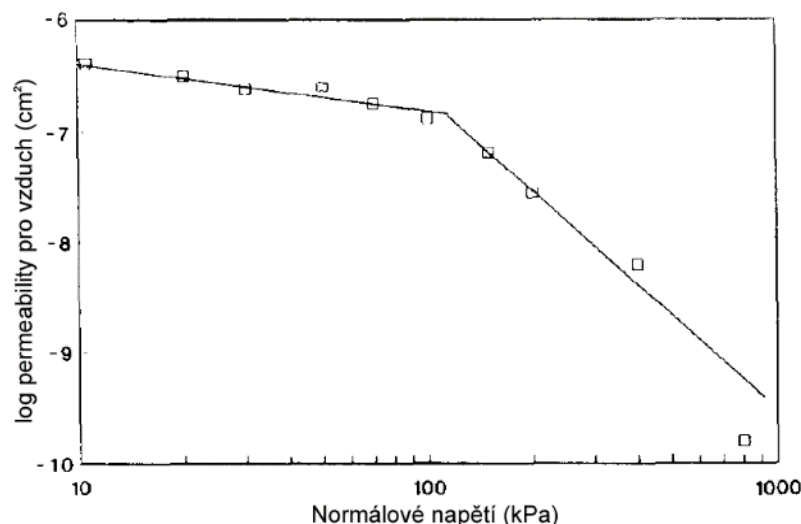
Obr. 3.5: Vypočtené riziko zhutnění podorničí mechanizací. (Upraveno podle Arvidssona et al., 2003)

Model vychází z průměrných srážkových hodnot pro švédské oblasti Kronoslätt (nalevo, sušší podmínky) a Elvierborg (napravo, vlhčí podmínky, více jílovitá půda). Přítlak 8 t na kolo působí s kontaktním tlakem 220 kPa.

I samotný proces kypření půdy tak může mít za následek zhutnění ve spodnějších vrstvách. Typický případ je zhutnění podorničí při orbě pluhem. Dvě kola traktorů jedou v brázdě vytvořené předchozím přejezdem přímo po vrstvě podorničí. Tím se vytváří tzv. „plužní pánev“ - zhutněná vrstva, která obvykle není dalším kypřením porušena (Yavuzcan et al., 2005). Podobně nepříznivý efekt budou mít i kypřiče, pokud budou použity v příliš vlhké půdě, protože dojde ke hnětení půdy namísto jejího kypření (Hůla et al., 2008).

### 3.3.2 Projevy zhutnění půdy

Působení sil přejíždějících strojů negativně působí na fyzikální vlastnosti půdy, jako je distribuce pórů různých velikostí a jejich vzájemné propojení. Následně prudce klesá propustnost půdy pro vzduch a vodu a zároveň narůstá objemová hmotnost zeminy (Horn et al., 1995). To má za následek snížení půdní kapacity pro pórovou vodu a vzduch, menší příznivost pro růst kořenů rostlin a mikrobiální život (Ball, 1986).



Obr. 3.6: Změna půdní propustnosti pro vzduch v závislosti na normálovém zatížení vzorku. (Upraveno podle Semmela, 1993).

*Překročení hranice pružnosti, které odpovídá prekompresnímu napětí, se projevuje poklesem propustnosti.*

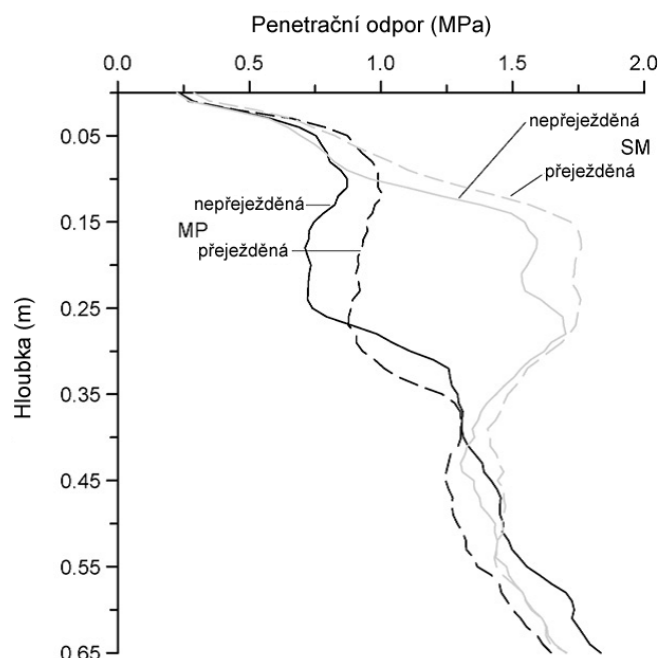
Dalším následkem zhutnění je nárůst tuhosti zeminy nebo naopak její hnětení, pokud je půda během přejezdu silně zamokřená (Horn et al., 1995). Ve zhutněné, málo propustné půdě vznikají prostory s anoxickým režimem, kde může docházet k nepříznivým chemickým procesům, např. k denitrifikaci (Berisso et al., 2012). Tím se půdní mikroorganismy se dostávají do velice nevhodných podmínek, ve kterých jen obtížně přežívají. Podle Horna (1985) dlouhodobé zhutňování půd mění její strukturu. Přírozená struktura půd je homogenní pórovitá, s poměrně pevnou stavbou. Hutněním získává půda vrstevnatou strukturu s tuhými polohami a s postupující degradací přechází v plátovou strukturu s velmi nevhodným režimem vody a vzduchu.

Vyšší zhutnění půdy se podle Javůrka a Vacha (2008) projevuje omezením biologické aktivity v půdě. Mezoedafon, který zastupují různí malí živočichové ze skupiny bezobratlých (členovci, chvostoskoci, dešťovky a další), je omezen v rozvoji, a proto nedokáže s dostatečnou intenzitou zlepšovat strukturu půdy. Chodbičky, které tyto živočichové vytváří, půdu provzdušňují. Tím zvyšují její pórovitost v oblasti středně velkých pórů, které mohou využívat kořeny rostlin. Mezoedafon také vylučuje organické látky, které pomáhají v tvorbě půdní struktury.

Provzdušnění půdy je dále provázáno s aktivitou mikroedafonu (bakterie, houby a další), z nějž je většina významných organismů aerobní. K životu vyžadují přísun

organických látek, dostatečné provzdušnění a vláhu v půdě. Bez aktivity mikroedafonu jsou omezeny důležité půdní procesy jako humifikace, oxidace amoniaku, železa, síry, manganu, využívání síranů, dusičnanů a dalších živin (Javůrek a Vach, 2008). Tím může docházet k omezené přístupnosti některých živin (zejména dusíku) rostlinám. Dále klesá kvalita humusu, půda se acidifikuje a snáze ji kontaminují agrochemikálie.

Koch et al. (2008) pozorovali, že pokud proti zhutňování půd způsobeném agrotechnikou není nasazeno kypření, dochází k degradaci stavu ornice při povrchu i při použití lehké mechanizace. Procesy obnovy struktury půd totiž nedokáží při běžných teplotách dost rychle působit proti negativním vlivům zatížení, způsobeném přejezdy techniky. Působení jediného přejezdu přibližuje Obr. 3.7. Malé zlepšení stavu půdy pak přinese u jílovitých zemin až promrznutí a roztátí půdy nebo bobtnání těžkých půd po navlhčení. Degradace struktury půdy po zhutnění se podle Horna et al. (1995) může projevit tvorbou plátovité až blokovité struktury, která je orientovaná horizontálně, čímž působí velký odpor vsakující vodě. Propojené póry ve vertikálním směru mají o několik řádů menší objem, než ty v horizontálním směru. To může mít za následek tvorbu povrchových jezírek, která mohou zničit veškerý porost, ztížit polní práce i oddálit sklizeň. Tyto struktury je možné rozvolnit orbou či kypřením, nicméně podle Semmela (1993) se pouze takovýmto zásahem nekvalitní půdní struktury nezbavíme.



Obr. 3.7: Efekt opakovaných přejezdů těžké techniky na tuhost půdy vyjádřený jarní penetrační křivkou, s různými druhy podzimní přípravy. (Upraveno podle Koch et al., 2008)

*MP: orba na hloubku 30 cm, SM: mělké kypření radličkovým kypřičem na hloubku 10 cm.*

Zhutnění půd však není stejně závažné v průběhu celého roku. Z výzkumu Arvidssona (2001) vyplývá, že půda, na které bylo na podzim měřitelné zhutnění z minulých let, má na jaře podobný penetrační odpor jako půda nezasazená. Tento jev dle všech předpokladů zmírňuje dopady zhutnění půd při podzimní sklizni a umožňuje normální pěstování plodin.

Velký problém je pak podle Berissa et al. (2012) zhutnění podorničí. Zde již nemají velký vliv výše zmíněné přírodní meliorační mechanismy. Ty se vztahují především na vrstvu ornice. Vliv přejezdů na stav půdy je podle autorů prokazatelný až do hloubky 0,9 m a v prakticky nezměněné podobě přetrvává po celou dobu 14 - letého měření. Je proto pravděpodobné, že zhutněná vrstva přetrvává v podorničí desítky let i déle. Podle Arvidssona et al. (2001) dochází ke zhutňování podorničí při sklizni cukrovky i za normálních polních podmínek. Při sklizni cukrovky nebylo v nedávné historii podle Javůrka a Vacha (2008) příliš hleděno na půdoochranné technologie, jako jsou nízkotlaké pneumatiky či omezení vstupů strojů za nepříznivého stavu půdy. Lze tedy očekávat, že zhutnění půdy z minulých let přetrvávalo na většině polí až do současnosti.

### 3.3.3 Metody prevence a nápravy zhutnění půdy

K omezení negativního vlivu přejezdů těžké techniky na půdu byly vyvinuty nízkotlaké pneumatiky. Jejich používáním je zatížení na povrchu půdy lépe rozložené a tlak se tím snižuje. Tyto pneumatiky jsou již standardně montovány na všechny moderní sklízecí stroje a výkonnější traktory (Javůrek a Vach, 2008). Na zeminu hlouběji pod povrchem však takové pneumatiky působí obdobně jako ty klasické, protože v tomto případě je důležitější parametr zatížení nápravy, než samotný tlak pneumatiky (Landefeld a Brandhuber, 1999). Kromě těchto pneumatik existují i systémy úpravy nahuštění pneumatik, které mění tlak pneumatik podle povrchu, na kterém se právě pohybují. Na silnici je totiž potřeba jezdit po plně nahuštěných pneumatikách, zatímco na poli je jejich podhuštěním možné dosáhnout lepšího rozložení napětí a tím snížit tlak na půdu (Alakukku et al., 2003). Ke snížení tlaku lze také použít gumových nebo ocelových pásů, které oproti kolům mají několikanásobně větší kontaktní plochu.

Vliv libovolného zásahu na polní zhutnění se odvíjí především podle aktuální polní vlhkosti, protože s narůstající vlhkostí klesá půdní únosnost (Alakukku et al., 2003). Nejzávažnější dopady mají orba či sklizeň řepy vykonané při vysoké půdní vlhkosti. Pro tyto práce je dobré, aby se stav zeminy pohyboval nad mezí plasticity (Javůrek a Vach, 2008), kdy má půda v závislosti na půdním druhu vlhkost v rozmezí 5-30 %. Sklizeň řepy, která probíhá za vysoké půdní vlhkosti, bude mít závažnější vliv na hloubku zhutnění půd, než sklizeň

za sucha. Arvidsson et al. (2001) zjistili zhutnění po přejezdu sklízecího za sucha do 0,3 m, ovšem při vlhkosti na úrovni maximální půdní kapacity byla půda zasažena až do hloubky 0,7 m.

Půdní druh má na pevnost půdy poměrně malý vliv, jak prokázali Rücknagel et al. (2013). Vyšší obsah štěrku (alespoň 15 – 20 %) sice dává půdám vyšší odolnost vůči přejezdům těžkých strojů, ovšem na řepařských polích nebývá obsah štěrku zdaleka takto vysoký. U půd s vyšším obsahem jílových částic se může podle autorů projevit jak silné ztvrdnutí během suchého období v létě a na podzim, tak abnormální rozbřednutí za vyšší vlhkosti. Půdní typ v otázce zhutnění půd obvykle nehraje roli (Arvidsson et al., 2001)

K nakypření půdy se využívá široké spektrum nástrojů. Z těch klasických se jedná o pluh jednostranné či otočné, s různým tvarem radlic a provedením orebního tělesa (Pulkrábek et al., 2015b) a talířově a radličkové kypřiče, které se stále častěji využívají v bezorebních systémech. K urovnání pozemku se využívají těžké smyky, brány a v poslední době především nejrůzněji postavené kombinátory. K nakypření podorničí se využívají speciální hloubkové kypřiče. Jejich využití je však extrémně neekonomické (Javůrek a Vach, 2008), protože jejich používání vyžádá spotřebu nafty kolem 45 l.ha<sup>-1</sup>. Proto se v současnosti jejich využití omezuje na nejnútnější zásahy, obvykle na nejvíce poškozené části polí (Pulkrábek et al., 2015a).

Zásah zaměřený na nakypření a melioraci hlubších vrstev není aplikovatelný zcela jednoduše. I když jej současné metodiky a legislativa považují za vhodný nástroj k omezení zhutnění půd a vodní eroze (Pulkrábek et al., 2015b), jeho reálné dopady nemusí být podle Horna et al. (1995) ideální. Půda zůstává i po melioračním zásahu zhutněná v umělých agregátech, které budou po ulehnutí znovu vytvářet nevhodnou blokovitou strukturu. K jejich stabilizaci je zapotřebí dodat značné množství organické hmoty. Po mechanickém zásahu nakypřujícími podorničí je podle Javůrka a Vacha (2008) velmi vhodné následně použít tzv. regenerační plodiny, které vzniklé nakypření využijí a stabilizují. Mezi regenerační plodiny se řadí např. leguminózy a luskoviny, řepka, kukuřice a další hlouběji kořenící plodiny. Protože tyto doprovodné postupy nebývají uplatňovány, dochází při opětovném obdělávání půdy běžně k rekompakci. Jejím následkem pak dochází v období cca 3 – 5 let k ještě většímu zhutnění půdy, než bylo zaznamenáno před zásahem (Horn et al., 1995).

Ukazuje se, že orba ani kypření nedokáže vrátit půdě původní, kvalitní strukturu narušenou mnohačetnými přejezdy mechanizace (Koch et al., 2008). Například v Nizozemsku

jsou podle Hanse et al. (2011) postupy nejlepších farmářů svázané s technologiemi, které udržují půdu ve velmi dobrém stavu. Nejúspěšnější pěstitelé tam používají podhuštění pneumatik, méně pojezdů po poli a polních operací v porovnání s pěstiteli z ostatních zemí. Tím dosáhli toho, že půda je při o něco vyšší porozitě než u ostatních polí lépe propustná pro vodu a tak je možné na jaře zakládat porost dřívě. Podorničí těchto půd je výrazně méně zhutněné.

Jeden ze způsobů, jak se částečně vyhnout nutnosti pěstování v zhutněných půdách, je pěstování cukrovky v hrůbcích, jak navrhuje např. Krause et al. (2009). Autoři považují tuto metodu jako přínosnou nejen proto, že řepa roste v provzdušněné půdě hrůbku, ale také kvůli lepšímu prohřátí půdy, což může být v chladnějších regionech velmi přínosné pro počáteční růst řepy. Výnosy byly v případě pěstování cukrovky v hrůbcích vyšší o více než 8 % oproti klasickému pěstování. Pozitivní přínos hrůbkového pěstování potvrzují ve svém výzkumu také Gao et al. (2016). Půda tvořící hrůbek má podle jejich měření objemovou hmotnost  $1,2 - 1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ , což napomáhá růstu bulev.

K prevenci zhutnění byl také vyvinut systém CTF (controlled traffic farming), který pomocí GPS navigace soustřeďuje přejezdy všech strojů včetně polní mlátičky do pevně daných kolejí, takže většina plochy polí zůstává nezhutněná (Kovaříček et al., 2014). Při důsledném využívání této technologie je možné při 6 m záběru strojů omezit přeježděnou plochu na jednu třetinu výměry a při záběru strojů 8 m ji omezit na jednu čtvrtinu výměry. Uplatnění této technologie pro cukrovou řepu je však problematičtější, protože není kompatibilní s kombinovanými sklízecími cukrovky ani s orbou (Kovaříček et al., 2014).

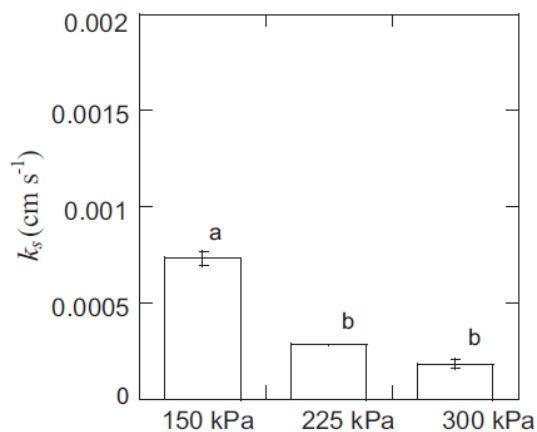
### 3.4 Počasí a půdní vláha

#### 3.4.1 Dostupnost vody

Podle Pulkrábka et al. (1999) je rozhodujícím faktorem pro úrodu cukrovky půdní vláha, kterou rostlina spotřebuje v průběhu roku evapotranspirací. Nároky cukrovky na dostupnost vody v průběhu roku narůstají, čímž obvykle dochází k deficitu vody v druhé polovině vegetačního období, a to především v aridnějších oblastech. Řepa potřebuje vyšší úhrny srážek především v období klíčení a vzcházení, ale také ke konci léta a na podzim, kdy narůstají bulvy (Demjanová et al., 2004).

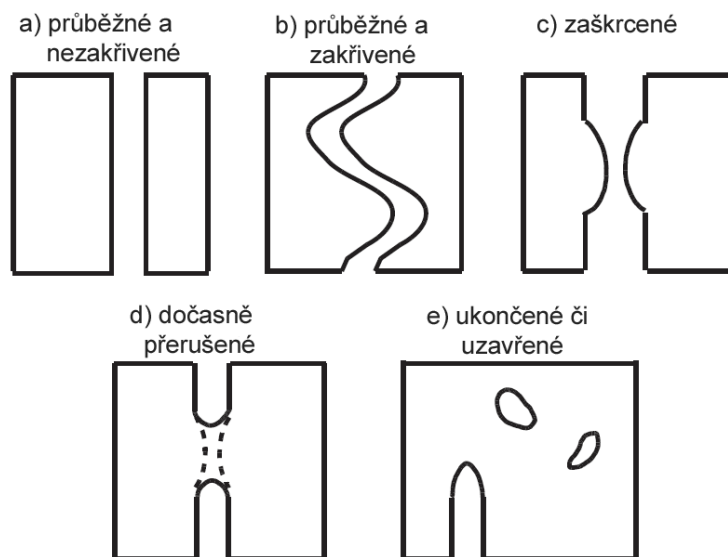
Podle Černého et al. (2008) jsou nejvyšší výnosy cukrovky dosahované při stavu, kdy jsou při vysoké úrovni růstu rostlin biologické procesy a klimatické faktory v rovnováze.

Takového stavu může být dosaženo, pokud přísun energie ze srážek převládá nad teplotami. Příznivé klimatické podmínky mají nejvýznamnější důsledky v říjnu, kdy rostlina vyžaduje mezi srážkami a teplotou největší rozdíly. Základem dostupnosti vody pro rostliny je dobrá půdní propustnost, které umožňuje infiltraci srážek do hlubších horizontů. Dále je potřeba zachovat retenční schopnost půdy, aby voda zůstávala dostupná i v měsících s malými úhrny srážek. Oba parametry je podle Pulkrábka et al. (2015a) možné navýšit prokypřením půdy podrýváním či dlátováním do hloubky 20 – 45 cm. Naopak v neprokypřené půdě bude v suchém období dříve nedostatek vláhy a vysoušením se bude půda dále zpevňovat i bez dalšího nárůstu objemové hmotnosti zhutněním (Gao et al., 2016). Tento jev způsobuje těsnou vazbu růstu řepy na průběh počasí, protože omezuje růst jejích kořenů a tím dále snižuje dostupnost vláhy. Snížení propustnosti přejezdy mechanizace demonstruje pokus Kuncora et al. (2014a), kteří na půdu aplikovali napětí 150, 225 a 300 kPa – obvyklé hodnoty přitlaku pneumatik (Obr. 3.8).



Obr. 3.8: Propustnost půdy ( $k_s$ ) po působení různě velikého napětí na povrchu (Kuncora et al., 2014a).

Etana et al. (2013) prokázali, že pole se zhutněnou vrstvou v podorničí poskytují infiltraci vody více cest, ty jsou však méně efektivní a půda tak má sklon k tvorbě několika preferenčních drah infiltrace, které jsou obvykle vedeny podél kořenů rostlin nebo v biogenních makropórech. Problém těchto rychlých cest infiltrace je podle Jarvise et al. (2007) v tom, že umožňují koloidní transport jinak nemobilních polutantů přímo do podzemní vody v podloží, prostřednictvím např. bahenních prasklin. Mezi nemobilní polutanty patří například fosfor nebo některé pesticidy. Z výzkumu Kuncora et al. (2014b) vyplývá, že se objem pórů po stlačení zeminy nejen zmenšuje, ale klesá i propojenost pórů a jejich celková kvalita, charakterizovaná tortuozitou kanálků, propojením pórů a otevřeností cest (viz Obr. 3.9). V důsledku klesá difuzivita a permeabilita půdy.



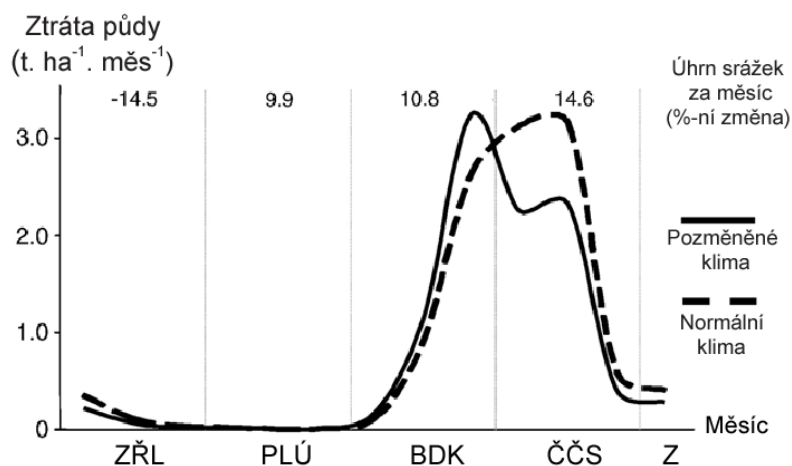
Obr. 3.9: Zjednodušený náčrt hlavních druhů půdních pórů (Upraveno podle Kuncoro et al., 2014b).

Mírné zhuštění půdy může být podle Hartmanna et al. (2012) v určitých podmínkách výhodné, protože půdní vláhla může být za určitých podmínek lépe přístupná. Vzniká však riziko vysychání půdy, což je v posledních letech závažný problém. Vodní režim se stává více nevyrovnaný s intenzivními srážkami a delšími obdobími sucha. Problém nastává podle Bengougha (1997) ve chvíli, kdy si řepa nadměrným získáváním vody z nižších vrstev vysuší v těchto vrstvách půdu, čímž dojde ke zhoršení podmínek pro další nárůst bulev. Tato negativní zpětná vazba se logicky projevuje především v suchých obdobích roku.

### 3.4.2 Vodní eroze

Jedním z největších nebezpečí pro půdu při pěstování širokořádkových plodin, mezi které se řadí i cukrovka, je vodní eroze. Riziku vodní eroze je podle Kincla et al. (2015) půda vystavena především v raném stádiu vývoje řepy, od vzcházení do plného zapojení porostu přibližně v polovině června. Do té doby porost neposkytuje půdě ochranu před dopadajícími kapkami vody. Toto tvrzení potvrzují i Sholz et al., 2008 (viz Obr. 3.10). Erodivaná půda se může ukládat na úpatí svahu jako málo úrodná koluvisol, znečistit a zanést vodní toky a v extrémních případech způsobit škody na komunikacích, budovách či sousedních pozemcích (Horn et al., 1995). Dále při vodní erozi polí vzniká nebezpečí kontaminace podzemních vod prostřednictvím preferenčního, bodového zasakování srážek (Berisso et al., 2012).





Obr. 3.10: Modelová vodní eroze půdy v porostu cukrové řepy během roku (Upraveno podle Scholze et al., 2008)

Kontroly Podmíněnosti (MZe, 2015) nařizují zemědělcům v boji s vodní erozí pozemků využívání půdoochranných technologií, které se dělí na obecné a specifické. Obecné zahrnují: bezorebné setí (technologie přímého setí do nezpracované půdy), setí do mulče, setí do mělké podmítky s ponecháním části rostlinných zbytků na povrchu půdy a setí do ochranné plodiny (např. do vymrzající meziplodiny – svazanka vratičolistá, hořčice bílá). Poslední postup doporučují např. Kincl et al. (2015). K tomuto účelu je nutné využít přesný secí stroj s kotoučovými botkami. Bohužel se tato technologie nedočkala významnějšího používání, patrně z důvodu náročnosti na používanou mechanizaci.

Pokud nejsou využívány obecné půdoochranné technologie, je podle Kontroly Podmíněnosti (MZe, 2015) nutné aplikovat speciální půdoochranné postupy, které pro pěstování cukrovky představují: přerušovací pásy, zasakovací pásy, osetí souvratí, setí po vrstevnici, odkameňování, podrývání, důlkování a hrázkování. Vypsání postupy je nutné použít na plochách mírně ohrožených erozí (MEO). Na plochách středně ohrožených erozí (SEO) není pěstování cukrovky povoleno.

Předepsané postupy se tedy zaměřují na dva hlavní faktory eroze: 1) Přerušení mechanického působení kapek vody dopadajících na povrch polí. Proti němu působí pokrytí půdy mulčem, meziplodinou a podobně. 2) Přerušení drah odtoku, které je podle Kontroly Podmíněnosti (MZe, 2015) nutné vyhledat v LPIS a na daných dílech půdních bloků protnout porostem, který snižuje riziko eroze. Z postupů, které výrazně zlepšují zasakování půdy a zároveň působí proti zhutnění půd, může být použito podrývání a hrázkování.

### 3.5 Půdní organická hmota, výživa rostlin a zhutnění půd

Jeden z nejdůležitějších prvků nejen půdní úrodnosti je půdní organická hmota, respektive kvalita humusových látek (Arvidsson, 1998). Organická hmota snižuje objemovou hmotnost půdy a svými příznivými účinky zvyšuje stabilitu pórů a provzdušnění půdy i při hrozícím zhutnění půdy. Půdní vlastnosti jsou v současnosti dle Pulkrábka et al. (2015a) silně ovlivněny poklesem dodávek organické hmoty. Celková kvalita dodávek organických hnojiv klesá, protože dříve běžný chlévský hnůj je k dostání jen v omezeném množství a stále častěji je nahrazován méně kvalitními produkty, jako jsou digestát a fugát. Kromě toho došlo k poklesu vápnění polí. Podle Pokorného et al. (2016) je zhoršená kvalita humusových látek zjištělná v ornici na 63 % měřených polí a v podornici na 37 % polí. Bohužel organická hmota nemá podle Kuncora (2014) velký vliv na zachování propustnosti půd po stlačení. Propustnost je totiž dle autorů dána především objemem makropórů, které jsou stlačením redukovány na minimum.

Kvalita humusu je podle Pokorného et al. (2016) definovatelná poměrem hlavních humusotvorných látek (vysokomolekulární huminové kyseliny a nízkomolekulární fulvokyseliny). U polí, na kterých fulvokyseliny převažují, lze usuzovat, že humifikace neprobíhá správně. Poměr kyselin v půdě by měl správně být vyrovnaný. Nepoměr bývá způsoben přebytkem dusíku v půdě, její kyselostí či špatnými fyzikálními vlastnostmi půdy. Zhoršený poměr C/N, který se pojí s přebytkem dusíku z minerálních hnojiv a s omezením aktivity živých organismů, zjistili autoři dokonce v 89 % odběrů z ornice.

### 3.6 Vliv půdního zhutnění na růst cukrové řepy

Zhutnění půd má význam jak na samotný růst rostlin, tak na kvalitu založení porostu (Arvidsson et al., 2012). Podle Yavuzcana et al. (2005) ovlivňuje zhutnění půd produkci rostlin tím, že mění některé důležité půdní parametry: objemovou hmotnost, tuhost půd, velikost půdních agregátů a propojenost pórů. Tyto změny následně působí na vodní infiltraci a drenáž, dostupnost vody, provzdušnění půdy, růst kořenů či příjem živin, což přímo ovlivňuje růst rostlin. Koch et al. (2008) zaznamenali významný pokles výnosu cukrové řepy u porostů na pokusné variantě s několika přejezdy zemědělské techniky, které zhutnily půdu. Bengough (1997) pomocí modelu prokázal, že mechanický odpor půdy nepřímým způsobem redukuje růst řepy omezením rozvoje kořenů a to omezením jejich přístupu k vodě a k živinám. Rychlost prodlužování kořenů rostlin s nárůstem penetračního odporu lineárně klesá.

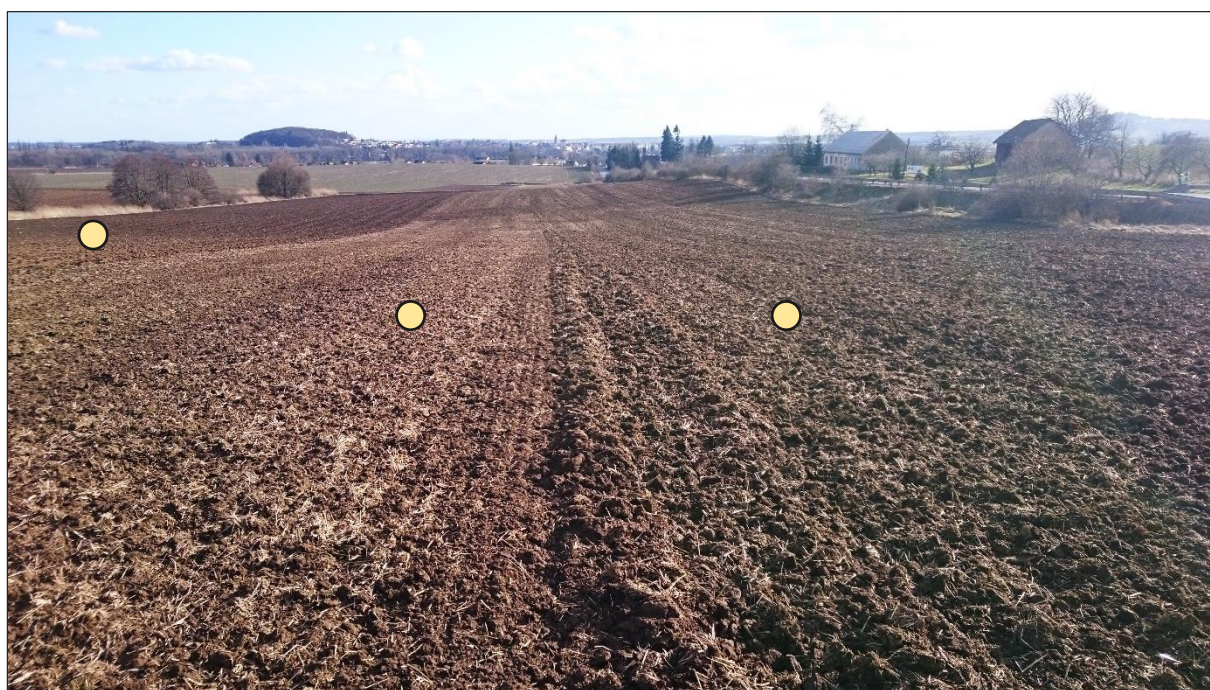
Největší ztráty na výnosu utrpěly při velmi zhutněné variantě pokusu Arvidssona a Håkanssona (2014) bob, hrách, brambory a cukrovka. Menší efekt byl zaznamenán u ječmene, pšenice a žita. Obecně považují autoři dvouděložné rostliny za více citlivé na zhutnění půd, než rostliny jednoděložné. Co se týče cukrovky, trpí nejčastěji na zhutněnou vrstvu v podorničí, kterou její křovitý kořen nedokáže proniknout a její bulva se deformuje do kulovitého tvaru s větším významem bočních kořenů, což se někdy označuje jako „mrcasatění“ (Javůrek a Vach, 2008). V takovém případě dochází ke ztrátám na výnosu bulv v rozsahu 20 – 30 % a ke snížení cukernatosti v průměru o 15 %. K tomu však obvykle dochází pouze na nejhůře zasažených místech, jako jsou souvratě či dočasné polní cesty. V běžných podmínkách je dopad běžného zhutnění na růst cukrovky poměrně malý. Arvidsson et al. (2012) dokonce považují cukrovku za rostlinu poměrně necitlivou k běžnému zhutnění způsobeném přejezdy strojů. Co se týče vlastního růstu a výnosu, nebyla cukrovka prokazatelně omezena třemi přejezdy traktoru.

Málokterá plodina vyžaduje podle Arvidssona a Håkanssona (2014) příliš kypré, nezhutněné půdy. Většina běžných plodin jako pšenice, ječmen nebo cukrovka vykazují nejvyšší výnosy v mírně zhutněných, ulehých půdách. Každá plodina má své nároky na stav zhutnění půdy, a pokud není v optimálním rozmezí pro jednotlivé rostliny, pak negativně ovlivňuje jejich výnos. Proto autoři doporučují použití půdních pečů či válců před nebo po setí, a to především u obilnin, kde mírné zhutnění půdy prokazatelně zvýšilo výnos. Použití válců zlepšuje propojení kapilárních kanálků a tím i dostupnost vody potřebné ke klíčení semene, čímž se průkazně zvyšuje výnos cukrové řepy (Arvidsson et al., 2012).

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Lokalita a použité přístroje

Výzkum probíhal v poloprovozních pokusech na polích v okolí Jičína v letech 2012 až 2015. Sledovanými polními parametry byly penetrační odpor půdy, půdní vlhkost a dále pak v souběžném pokusu erozivita půdy. Sledované úseky porostu byly v době technologické zralosti ručně sklizeny a z odebraných bulev byl následně vyhodnocen jejich výnos, cukernatost a další jakostní ukazatele. Kvalitativní ukazatele byly stanoveny v laboratoři f. Syngenta (cukernatost, obsah sodíku, draslíku a  $\alpha$ -aminodusíku). K měření půdního odporu byl používán ruční půdní penetrometr s digitálním ukazatelem, který je majetkem České zemědělské univerzity v Praze.



Obr. 4.1: Pokusné pole Dílce v roce 2015 před přípravou. Foto: František Balák

*Nalevo: Orba; Uprostřed: Mělké kypření; Napravo: hluboké kypření. Foceno 3. 3. 2015*

Ze zřejmých důvodů probíhal pokus každý rok na jiném poli (viz Obr. 4.2). Aby byly zachovány stejné podmínky pro měření, byly vybrány díly půdního bloku (DPB) s podobnými půdními vlastnostmi v přibližně stejné nadmořské výšce (kolem 310 m. n. m.). Všechna pole jsou obhospodařovaná stejným podnikem (Agro Chomutice a.s.), a jsou od sebe vzdálená jen několik km. V letech 2012 a 2015 pokus probíhal na DPB 1002/15 u obce Dílce, v roce 2013 na DPB 4001/1 u obce Ohaveč a v roce 2014 na (DPB) 3004/1 u obce Holín. Na všech těchto

polích je převažujícím půdním typem hnědozem až kambizem, obvykle více či méně oglejená. Průměrná sklonitost polí je 3,3 až 3,9° s převládající jižní expozicí, nicméně místy jsou pole úplně rovinná (LPIS, 2016). DPB 4001/1 a 3004/1 jsou klasifikovány jako mírně erozně ohrožené, zatímco DPB 1002/15 mezi erozně ohrožené nepatří.

Pěstování probíhalo v podmínkách agrotechniky na vysoké úrovni s mnoha vstupy během roku. Jedním z použitých postupů, na který se orientoval dílčí pokus, bylo plečkování a dlátování v různém stádiu porostu, spojené se zapravením tekutého hnojiva. K tomuto účelu byl vyvinut prototyp kypřiče, který tyto operace vykonával (Pulkrábek, 2013). První termín meziřádkového kypření byl ve fázi BBCH 14 – 18, druhé kypření formou dlátování představovalo poslední vstup před zapojením porostu.



Obr. 4.2: Pole zahrnutá do pokusu. (LPIS, 2016).

*Nalevo: Ohaveč, Uprostřed: Holín; Napravo: Dílce.*

## 4.2 Metodika odběru vzorků

Pro zpracování vlastního pokusu byly vybrány tři metody podzimní přípravy: orba do 25 cm, kypření do stejné hloubky a mělké kypření do 7 - 10 cm, které hospodařící podnik aplikoval na několikahektarových úsecích stejného pole (viz Obr. 4.1).

Měření půdního odporu v terénu probíhalo pomocí ručního zatlačování penetrometru. Místo měření bylo po konzultaci se školitelem vybráno tak, aby bylo reprezentativní pro širší

okolí a do měření nebyla zahrnuta specifická místa, jako jsou např. kolejové řádky. Měření prováděli dva lidé, přičemž jeden člověk plynule zatlačoval penetrometr do ornice a jeho asistent zapisoval okamžité výsledné hodnoty půdního odporu v předem daných hloubkových hladinách.

K jednomu měření byl použit průměr z 10 – 15 vpichů. Hloubka vpichů však nebyla vždy stejná, neboť v některých případech nebylo možné v důsledku příliš vysokého odporu v měření pokračovat. V takových případech byly nezjištěné hodnoty nahrazeny hodnotou 6 MPa, což je hodnota, které lze na ručním penetrometru ještě dosáhnout. Sporadicky byly naměřeny i vyšší hodnoty (až 8 MPa), které byly do výpočtů také zahrnuty.

Penetrační odpor půdy byl hodnocen 3 – 6 krát za sezónu. K prvnímu měření docházelo brzy po výsevu, druhé měření následovalo v období 6 – 12 pravých listů řepy, další měření už probíhala podle možností. Letní měření nebyla častá, protože jejich vypovídací hodnota byla malá z důvodu příliš vysokého penetračního odporu půdy. Mnoho vpichů nedosáhlo do hloubky 40 cm, kde byl vyšší penetrační odpor a výsledná měření jsou v důsledku toho podhodnocená, především v letních termínech.

### 4.3 Metodika zpracování výsledků

Získaná data jsem z terénních tabulek přepsal do programu MS Excel, kde jsem je upravil do příhodného tvaru a zpracoval. Náročnější statistické testy jsem prováděl v programu Past3. Protože jsou dále zpracována data, která mají vlastně 4 atributy (datum, penetrační odpor půdy, hloubka měření, varianta podzimní přípravy) a pro každou kombinaci se počítají vlastní výpočty, uvádím v Tab. 4.1 hlavní používané parametry.

Tab. 4.1: Seznam používaných parametrů

symbol	charakteristika	jednotka
$\bar{x}$	průměrná hodnota měření v dané hloubce	MPa
$\bar{X}$	průměrná hodnota sady měření v dané hloubce	MPa
$\mu$	průměrná hodnota sady všech tří druhů přípravy v dané hloubce	MPa
p	přímka přibližující průměrné měření	
k	směrnice přímky p	
$r_x$	relativní hodnota derivace oproti průměru	-
$d_x$	Derivace sady v hloubce x	-

Základní jednotkou pro výpočty je průměrná hodnota vypočtená z 10 - 15 vpichů v dané hloubce (např.  $\bar{x}_4$ ,  $\bar{x}_8$ ,  $\bar{x}_{16}$  atd.). Hodnoty následují v sériích 10 čísel, podle hloubky, kde byly naměřeny. Z těchto hodnot jsem dále počítal průměry pro jednotlivé druhy přípravy ze všech měření a danou hloubku (např.  $\bar{X}_4$ ). Většina výpočtů se zabývá způsoby přípravy (orba, hluboké kypření a mělké kypření čili úhor) samostatně, jiné počítají s průměrnou hodnotou metod ( $\mu$ ). Série hodnot  $\mu$  reprezentuje průměrný průběh všech měření. Tato křivka se blíží přímce a lze aproximovat přímkou ( $p$ ) procházející bodem nula, u které známe směrnici ( $k$ ). Tato přímka je využita v dalších výpočtech.

Pokud budeme počítat s ( $\bar{X}$ ), dostaneme tři série podle způsobu přípravy, které reprezentují průměrný průběh jejich měření. Tyto tři série jsem numericky derivoval pomocí

rovnice:

$$d_x = \frac{1}{12 \cdot h} * ((\bar{x}_{-2h}) - (8 * \bar{x}_{-h}) + (8 * \bar{x}_{+h}) - (\bar{x}_{+2h}))$$

kde  $d_x$  je hodnota derivace v dané hloubce a  $h$  je krok měření (zde 4). Tento vzorec je použitelný pro hloubky v intervalu (8;32), ovšem v okrajových bodech je nutné dosadit nulu za  $\bar{x}_{-2h}$  v hloubce 8 cm a šestku za  $\bar{x}_{+2h}$  v hloubce 32. Touto derivací získáme tři série  $d_x$  po osmi hodnotách. Tyto hodnoty jsem následně normoval pomocí směrnice přímky ( $p$ ) a tím jsem je získal ve zjednodušeném tvaru blízko osy  $x$  pomocí vzorce:

$$r_x = d_x - p$$

kde  $r_x$  je rozdílná hodnota derivace oproti průměru.

Statistické zpracování výsledků zahrnuje výpočet Pearsonova korelačního koeficientu, Párový dvouvýběrový t-test, párový dvouvýběrový Wilcoxonův test a jednoduchý znaménkový test.

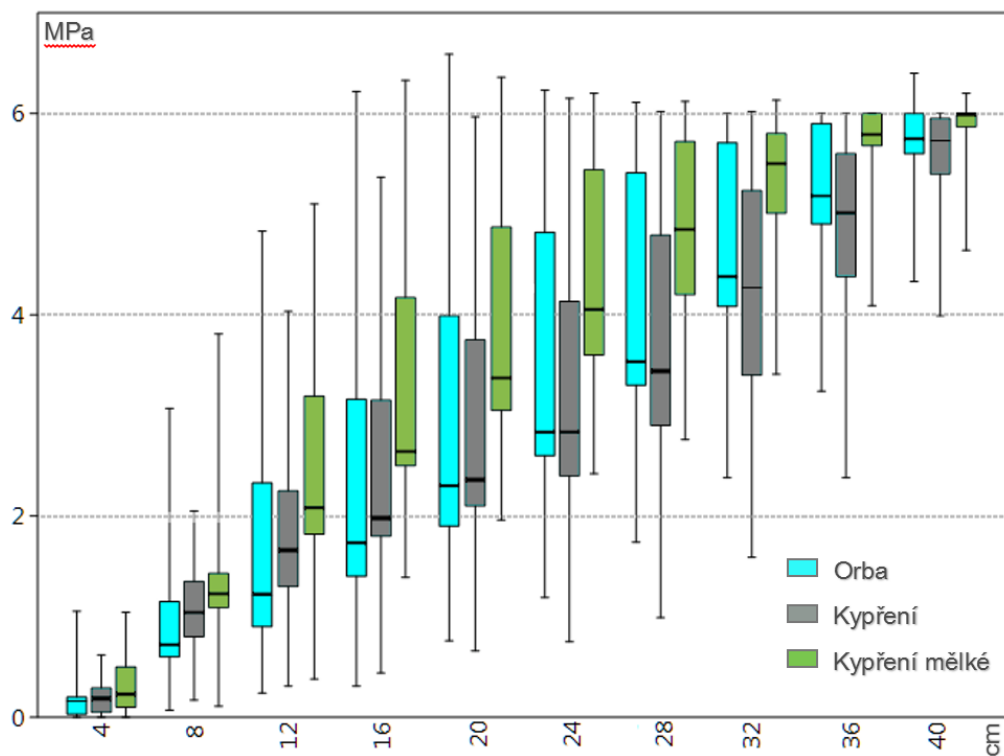
## 5 Výsledky výzkumu

### 5. 1 Charakteristika dat

Již z obecného pohledu na získaná data o zhutnění půdy lze mnohé vyčíst. Průměrný penetrační odpor směrem do hloubky narůstá plynule (přibližně přímka p) rychlostí přibližně  $0,15 \text{ MPa}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Nicméně pokud uvážíme data získaná pro jednotlivé způsoby podzimní přípravy samostatně, nelze je snadno proložit přímkou. Protože jsou do vyhodnocení zahrnuty hodnoty z různých období roku, a měření tedy probíhala za rozdílných klimatických podmínek, mají data vynesena v grafu 5.1 v jednotlivých hloubkách velkou variabilitu. Hodnoty z časného jara, kdy je půda ještě měkká po zimě, se nachází ve spodní části diagramu. Letní a podzimní měření naopak tvoří jeho horní část. Tyto extrémní hodnoty znázorňují především první a čtvrtý kvartil dat v grafu.

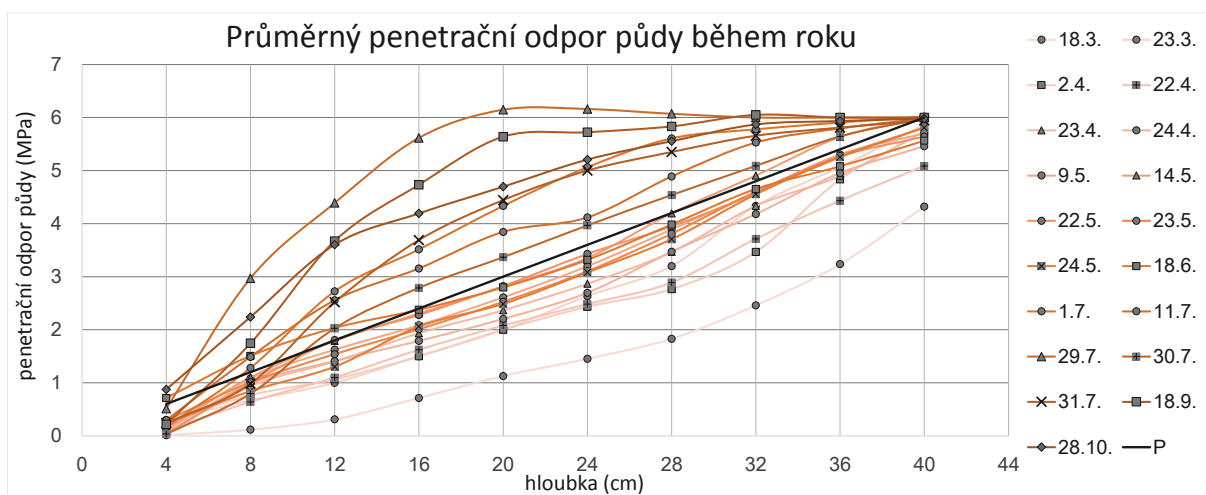
Varianta orby vytváří velice kyprou půdu při povrchu, kde má nejnižší hodnoty mediánu ze všech variant, ale kolem hloubky 24 cm ztrácí prvenství a dále už vykazuje převážně vyšší hodnoty odporu než hluboké kypření. Hodnoty odporu půdy naměřené ve variantě hlubokého kypření dosahují téměř totožné úrovně jako měření u varianty orba, pouze v malých hloubkách orbu nevýrazně převyšuje. Hodnoty naměřené pro hluboké kypření mají menší rozptyl, než tomu je u ostatních variant. Varianta mělkého kypření je oproti ostatním ve všech hloubkách více zhutněná. Přibližně do hloubky 8 cm se naměřenými hodnotami ještě blíží ostatním variantám, ale počínaje hloubkou 12 cm, kde k nakypření již nedocházelo, nabývá znatelně vyšších hodnot odporu. Od hloubky cca 20 cm se začínají projevovat nedostatky zvolené metodiky, tedy omezení naměřených hodnot na 6 – 8 MPa. Z grafů na Obr. 5.1 a 5.2 je evidentní, že ve větších hloubkách mají všechny varianty předpoklad k ještě vyšším hodnotám penetračního odporu, podle Obr. 3.1 by to mohlo být přibližně 7 – 9 MPa.





Obr. 5.1: Krabicový diagram všech měření odporu půdy u zkoumaných variant podzimní přípravy.

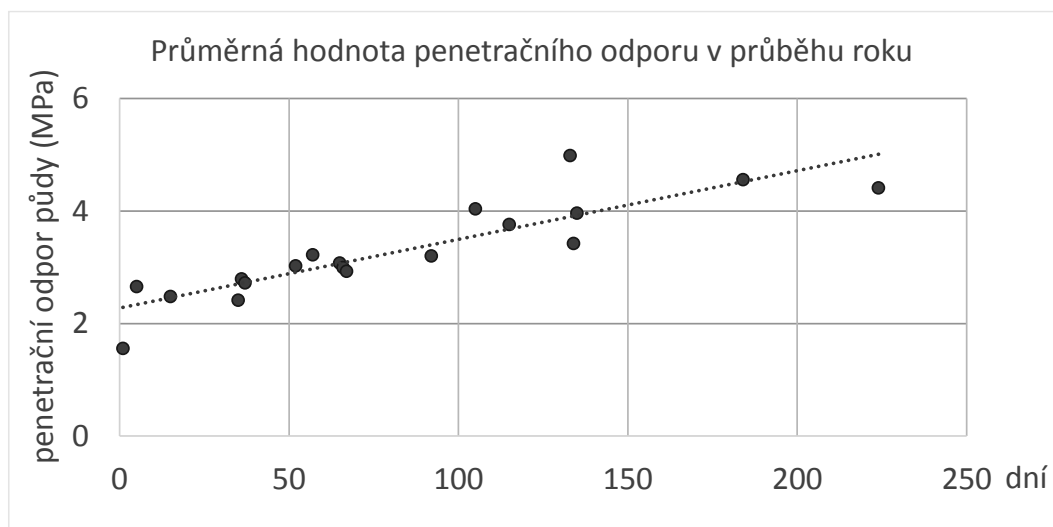
Podíváme-li se detailněji na průběh penetračního odporu půdy v průběhu roku, zjistíme, že s časem převážně narůstá. Maximálních hodnot dosahuje v období vrcholícího léta a až příchodem podzimu pomalu klesá. Zde se nepochybně projevuje závislost tuhosti půdy na její vlhkosti, která je v létě snižena. Z tohoto důvodu nebyla v tomto období provedena mnohá měření. V grafu na obrázku 5.2 je patrná největší koncentrace hodnot poblíž přímky p.



Obr. 5.2: Průměrný penetrační odpor půdy během roku.

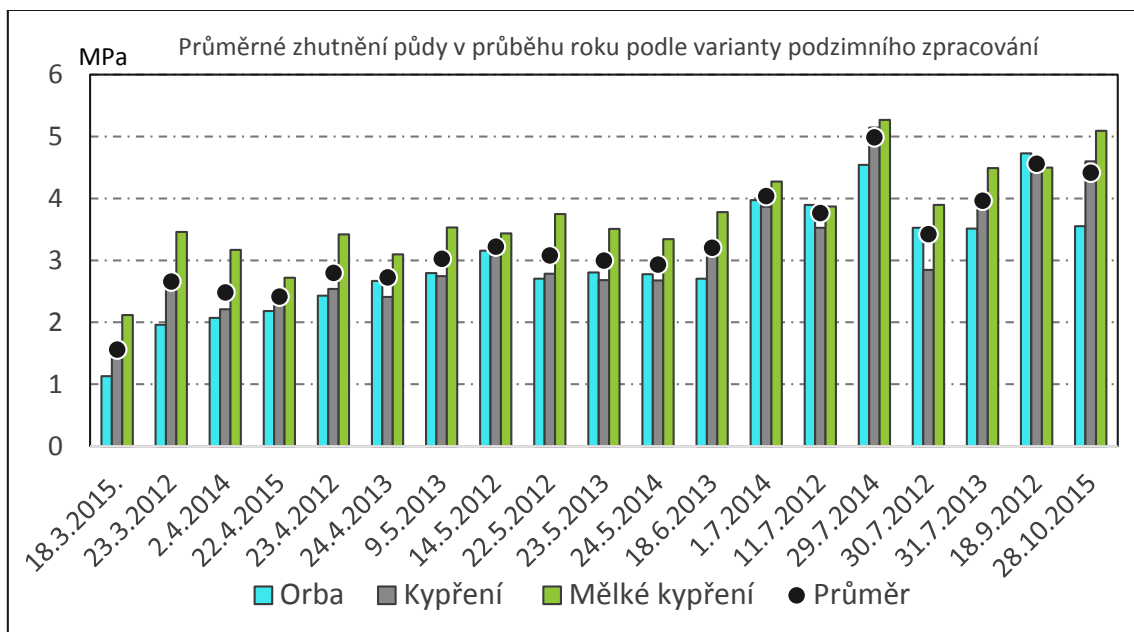
*Tmavší barva reprezentuje pozdější datum. Hodnoty pochází z let 2012 - 2015.*

Detailnější pohled na podmínky v průběhu roku poskytuje graf v Obr. 5.3. Zde jsou vyneseny hodnoty (M) na časové ose v závislosti na počtu dní, které uběhly od 1. měření. Hodnoty jsou znázorněny bez ohledu na to, v jakém roce byly naměřeny. I když jsou teplotní a srážkové podmínky v každém roce značně odlišné, na penetrační odpor půd nemají tyto variace velký vliv, takže bylo možné data pro různé roky zobrazit v jednom grafu. V grafu je patrný trend pomalého nárůstu penetračního odporu půdy v čase, a to přibližně o 1,2 MPa za 100 dní. Druhým zaznamenaným trendem pak je větší rozptyl naměřených hodnot v druhé polovině sledovaného intervalu, kde mají hodnoty penetračního odporu větší závislost na nedávných srážkách.



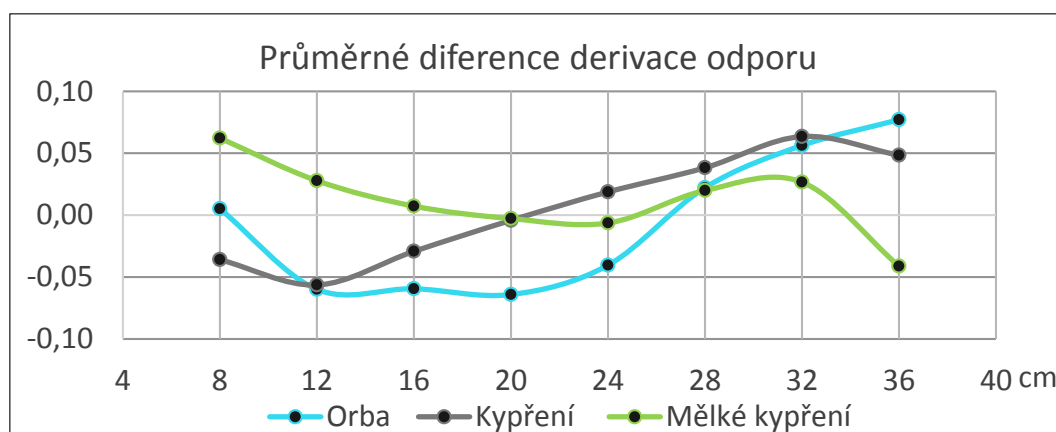
Obr. 5.3: Průměrná hodnota penetračního odporu od prvního měření (18.3.)

Dále by bylo dobré se detailněji podívat na to, jak reagují jednotlivé varianty na nárůst penetračního odporu půdy v důsledku klimatických podmínek v průběhu roku. Z Obr. 5.4 je zřejmé, že zhruba do 1. 7. se všechny varianty chovají velmi podobně, s průměrnou hodnotou penetračního odporu kolem 3 MPa. V následných datech tuto hodnotu občas výrazným způsobem překonávají a dostávají se tak do oblastí s malou spolehlivostí měření ručním penetrometrem.



Obr. 5.4: Průměrné zhutnění půdy v průběhu roku podle varianty podzimního zpracování

Podívejme se teď ve větším detailu na to, jak narůstají hodnoty penetračního odporu směrem do hloubky. Na začátku bylo uvedeno, že nabývá přibližně podle přímky  $p$ , rychlostí  $0,15 \text{ MPa} / \text{cm}$ . To však přestává platit, pokud nebereme v úvahu průměr všech měření ( $\mu$ ), ale obdobný průměr pro jednotlivé varianty přípravy. Derivace jednotlivých křivek pak ukazuje, o jakou hodnotu nabývá penetrační odpor rychleji či pomaleji oproti přímce  $p$ , která v grafu 5.5 leží na hodnotě  $0,00$ . K výpočtu byla použita data z intervalu 18. 3. až 18. 6., protože těchto 11 sad (63 % dat) si je hodnotami velice blízkých (viz Obr. 5.4) a nejlépe vystihuje půdní podmínky v době, která je pro růst cukrovky nejdůležitější.

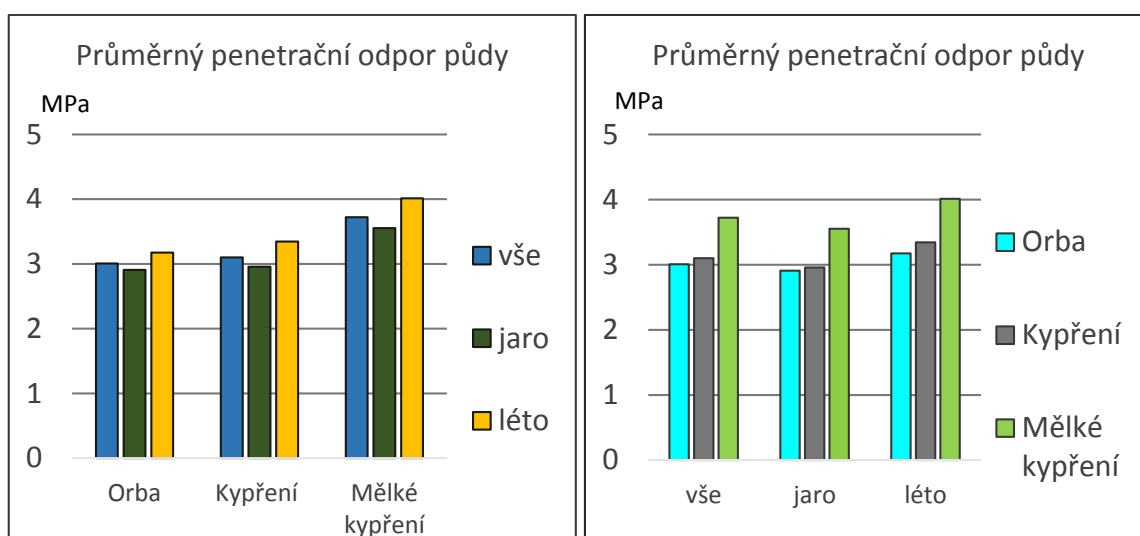


Obr. 5.5: Průměrné diference derivace odporu

Podle Obr. 5.5 se derivace výrazně neodchylují od hodnoty  $0,00$ , ale v některých hloubkách se od ní přesto vzdalují. V místech poklesu křivky do záporných hodnot penetrometr

pronikal z více zhutněných míst do méně zhutněných a při vzestupu křivky je tomu naopak. Příмка p totiž vychází z předpokladu rovnoměrného nárůstu zhutnění směrem do hloubky. Orba leží v 8 cm hloubce na průměrné hodnotě, ale dále její nárůst zpomalí a až do hloubky 24 cm narůstá odpor pomaleji, zhruba rychlostí 0,1 MPa / cm. Od hloubky 24 cm, kam již plužní těleso nedosahuje, narůstá zhutnění půdy na úroveň ostatních variant. Penetrační odpor varianty hlubokého kypření narůstá v prvních centimetrech pomaleji oproti průměru, podobně jako orba. V dalších centimetrech odpor narůstá o něco rychleji, až se na hloubce 32 cm dostává do fáze, kdy začne nárůst odporu zpomalovat oproti průměru. To značí, že místa mezi 20 a 30 cm jsou v případě hlubokého kypření nadprůměrně zhutněná. V případě mělkého kypření dochází blízko při povrchu k rychlému nárůstu penetračního odporu. Dále již pokračuje křivka rychlostí na úrovni průměrného nárůstu, kde zůstává až do hloubky kolem 30 cm. Protože se jedná o derivaci, ne o samotné hodnoty, znamená to, že rychlý nárůst odporu, který byl na začátku, není nikde výrazně snížen. Půda připravená mělkým kypřením je tak v téměř celém profilu nadprůměrně zhutněná. Ostatní dvě varianty jsou v prvních centimetrech zhutněné lehce podprůměrně, čili půda je při povrchu relativně kyprá.

Grafy na Obr. 5.6a, b ukazují průměrný penetrační odpor půdy u jednotlivých variant podzimní přípravy (průměr ze všech příslušných  $\bar{X}$ ). Vyobrazené hodnoty lze také číst jako průměrné zhutnění půd. Vyobrazené tři průměry u každé varianty byly počítány pro tři časové intervaly: všechna data; data do 30. 6. (jaro); data od 1. 7. (léto). Grafy ukazují, že varianta mělkého kypření má vyšší hodnoty penetračního odporu oproti hlubokému kypření a orbě, které jsou prakticky vyrovnané. Hloubka kypření je tedy důležitější parametr než zvolená metoda.



Obr. 5.6a, b: Průměrný penetrační odpor půdy

## 5. 2 Statistické vyhodnocení dat

Vraťme se ještě k poslednímu prezentovanému grafu na Obr. 5.6. K vyhodnocení hypotézy, že orba a hluboké kypření od sebe nejsou zásadně odlišné, lze na průměry zhutnění z jednotlivých měření ( $\bar{X}$ ) využít párový dvouvýběrový test, jako je např. t-test, znaménkový test a Wilcoxonův test. Dvouvýběrový t-test však pro tato data není vhodný, protože data získaná z měření nemusí splňovat předpoklad normálního rozdělení, což je pro použití t-testu nezbytné. Výsledky ostatních testů jsou zobrazeny níže v Tab. 5.1. Výsledky Wilcoxonova testu ukazují, že orba a hluboké kypření jsou svými mediány výrazně odlišné od mělkého kypření (kritická hodnota  $W$  je 32 pro 95% spolehlivost stejných mediánů). Výsledky statistického zpracování dále naznačují, že existuje rozdíl mediánů orby a hlubokého kypření, ovšem výsledek není kvůli vysoké  $p$ -hodnotě statisticky průkazný. Znaménkový test ukazuje poměr 12 z 19 (63 %) menších hodnot průměrného zhutnění ve prospěch orby. K definitivnímu určení rozdílnosti orby a hlubokého kypření jsem rozšířil počet prvků nahrazením 19 párů ( $\bar{X}$ ) 209 páry ( $\bar{x}$ ). V takto rozsáhlém souboru dat z Wilcoxonova testu zjistíme, že na hladině spolehlivosti 99,9 % nejsou jejich mediány stejné (kritická hodnota  $W$  je 7619) a že orba má o něco menší hodnoty zhutnění, než kypření. Znaménkový test ukazuje poměr 111 z 209 (53 %) menších hodnot průměrného zhutnění ve prospěch orby. Tento dílčí výsledek je však zapotřebí brát v provozních podmínkách s rezervou.

Tab. 5.1: Výsledky znaménkového a Wilcoxonova testu.

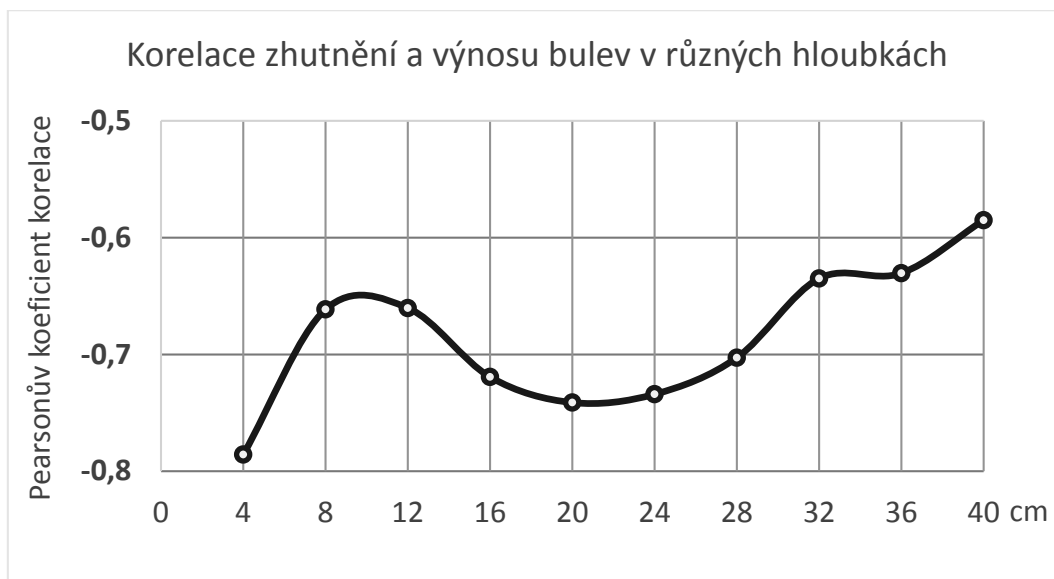
*zn = hodnota znaménkového testu; W = hodnota Wilcoxonova testu; p = p-hodnota příslušného testu.*

kombinace průměrů (N = 19)	zn	p	W	p
orba / mělké kypření	14	0,1636	152	<b>0,0208</b>
orba / hluboké kypření	12	0,2592	101	0,8279
hluboké kypření / mělké kypření	18	0,0001	183	<b>0,0001</b>
orba / hluboké kypření (N = 209)	111	0,1187	11665	<b>0,0351</b>

## 5. 3 Výnosové a kvalitativní parametry porostu

Výnosové parametry porostu cukrové řepy v dané lokalitě získané za čtyři roky pozorování dávají poměrně dobrý přehled o tom, zda existuje nějaká závislost mezi zhutněním půdy a výnosem cukrovky. Již z dílčích výsledků každé jednotlivé sezóny v průběhu pokusu se zdá být pravděpodobné, že zhutnění půdy má negativní vliv na výnos bulev. Korelace hodnot z celého pokusu to potvrzuje pro zhutnění půdy v jarních měsících (korelační koef. - 0,74). V letních měsících již není tato korelace průkazná (korelační koef. - 0,30). Jak je vidět

na Obr. 5.7, největší význam (korelační koef. - 0,79) má zhutnění v jarních měsících při povrchu půdy. V hloubkách 8 a 12 cm velikost záporné korelace mírně narůstá (čili ztrácí na významu a závislost dvou proměnných není tak těsná), ale následně narůstá a kolem hloubky 20 cm je záporná korelace znovu nejvyšší (korelační koef. - 0,74). Směrem do hloubky pak korelace znovu mírně ztrácí svůj těsný vztah. Všechny zobrazené hodnoty jsou statisticky průkazné (viz Tab. 9.1). K výpočtu byly použity průměry jarních penetračních odporů (tedy průměry z 2 – 4  $\bar{x}$  v daném roce, v závislosti na počtu měření).



Obr. 5.7: Korelace výnosu bulv a zhutnění půdy v různých hloubkách

U dalších parametrů je korelace již málokdy průkazná. Samozřejmě pokud neuvažujeme vztah dvou parametrů, které jsou na sobě přímo závislé (např. výnos bulv a výnos cukru). Zajímavým dílčím výsledkem je slabá korelace zhutnění prvních 4 cm půdy a počtu bulv na hektar (korelační koef. - 0,54), respektive cukernatosti (korelační koef. - 0,52). Ty se však již pohybují na hranici průkaznosti a mohou být ovlivněny extrémními body. Jasně průkazná je očekávatelná záporná korelace obsahu draslíku v bulvách a výnos chrástu (korelační koef. - 0,77). Průkazná je také záporná korelace zhutnění půdy a obsahu  $\alpha$ -aminodusíku, která je směrem do větších hloubek těsnější (korelační koef. až - 0,81). Významná korelace cukernatosti a počtu bulv (korelační koef. 0,71) může být způsobená obecně kladnou reakcí cukrovky na dobré růstové podmínky v ročníku.

Zajímavé jsou však i některé výsledky, které výraznou korelaci nevykazují a nejsou proto statisticky příliš významné. Například slabá korelace (korelační koef. 0,43) výnosu bulv a výnosu chrástu značí, že rostlina neupřednostňuje při různých podmínkách tvorbu jednoho

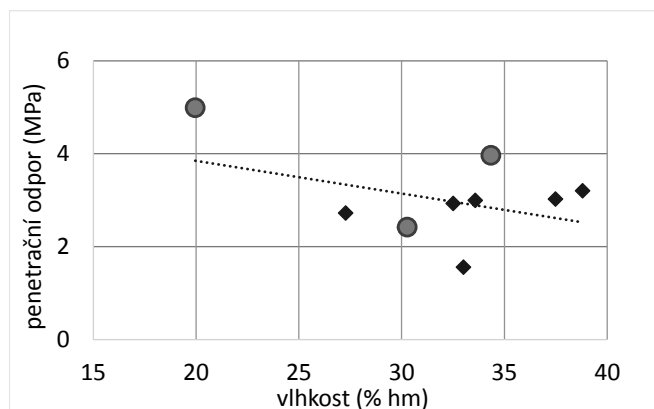
na úkor druhého. Podobně je tomu i v případě korelace cukernatosti a výnosu bulev (korelační koef. 0,47). Obecný předpoklad, že vysoký výnos bulev nutně snižuje jejich cukernatost, je tím neprůkazně vyvrácen. Co se týče počtu bulev (tzn. rostlin), koreluje o něco lépe s výnosem bulev (korelační koef. 0,51) než chrástu (korelační koef. 0,15). To ukazuje na dobrou kompenzační schopnost rostlin, především co se týče chrástu. Všechny měřené parametry jsou uvedeny níže v Tab. 5.2, zjištěné korelace jsou uvedeny v Tab. 9.1 v příloze.

Tab. 5.2: Vyhodnocení sledovaných parametrů porostu

M. K. = mělké kypření; H. K. = hluboké kypření

Varianta	výnos						obsah melasotvorných látek			teor. výtěžnost	výnos b. c.
	bulev	chrástu	počet bulev	výnos polar. Cukru	cukernatost	Výnos bulev při 16% cukernatosti	K	Na	α - N		
	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	tis.ks.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	%	t.ha <sup>-1</sup>	mmol / 100g	mmol / 100g	mmol / 100g		
<b>2012</b>											
M. K.	96,3	46,5	122,5	19,7	19,0	123,6	3,18	0,24	0,85	18,1	17,5
Orba	100,7	51,0	124,4	19,7	19,9	128,4	3,10	0,27	0,81	18,2	18,3
H. K.	99,8	52,0	125,1	19,9	19,9	130,1	2,97	0,22	0,76	18,5	18,4
<b>2013</b>											
M. K.	77,0	24,3	118,5	14,3	18,6	92,5	5,71	0,35	0,71	16,2	12,5
Orba	95,8	47,1	117,5	17,0	17,8	109,8	5,20	1,09	1,38	15,2	14,6
H. K.	87,2	36,5	119,6	16,5	18,9	106,3	5,15	0,34	0,79	16,7	14,5
<b>2014</b>											
M. K.	68,2	39,5	54,9	11,9	17,4	75,4	4,31	0,31	1,27	15,4	10,5
Orba	94,5	51,2	105,7	18,0	19,0	116,0	3,99	0,17	0,88	17,2	16,3
H. K.	102,1	54,6	105,7	18,8	18,4	120,3	3,28	0,16	1,21	16,8	17,1
<b>2015</b>											
M. K.	97,4	37,9	104,5	18,0	18,5	115,7	4,16	0,46	1,85	16,5	16,0
Orba	106,3	37,1	106,0	19,9	18,7	128,1	4,27	0,51	1,73	16,6	17,7
H. K.	109,7	37,8	105,5	20,5	18,7	131,7	4,24	0,52	1,76	16,6	18,2
<b>Průměr</b>	94,6	43,0	109,2	17,8	18,7	114,8	4,13	0,39	1,17	16,8	16,0

Půdní vlhkost se neukázala jako vhodný zdroj dat, se kterými lze věcně porovnávat hodnoty zhutnění půdy nebo kvalitativní parametry porostu. Například její vztah k půdnímu zhutnění je velice malý (korelační koef. - 0,41), a tím pádem neprůkazný. To však platí pro data odebíraná převážně na jaře, kdy ještě nemusí být půda vyzrálá. Body na Obr. 5.8, které byly získány v létě, naznačují svojí odlehlostí od shluku ostatních dat větší význam této závislosti na delším časovém úseku.



Obr. 5.8. Závislost průměrného ztuhnutí na průměrné vlhkosti profilu.

Čtverce: jarní data; Kruhy: letní data

## 5. 4 Vztah výnosových a jakostních parametrů k podzimní přípravě

Nejzajímavější část vyhodnocení je testování vlivu jednotlivých druhů podzimní přípravy a jejich efektu na parametry porostu v následujícím roce (viz Tab. 5.3). K tomuto účelu byl použit test shody průměrů (resp. mediánů) za sledované období 4 let. Protože pro tato data lze očekávat normální rozdělení, je možné použít párový t-test. Naopak Wilcoxonův test nelze pro tak malý soubor dat použít. Všechny výsledky testů, včetně těch výsledků, u kterých nebyly výsledky testů statisticky průkazné, jsou uvedeny v Tab. 9.2 v příloze.

Tab. 5.3: Výsledné rozdíly hodnot parametrů pro jednotlivé varianty podzimní přípravy

Průměr byl počítán z příslušných hodnot všech variant přípravy za 4 roky. m. k. = mělké kypření; h. k. = hluboké kypření. Výsledky jsou statisticky průkazné na hladině spolehlivosti: 95 % = bílé buňky; 90 % = světle šedé buňky; nižší (nepřukazné) = tmavě šedé buňky.

Parametr	jednotka	Celkový průměr	rozdíl mezi průměry variant podzimní přípravy			rozdíl v % celkového průměru		
			orba / m. k.	h. k. / m. k.	orba / h. k.	orba / m. k.	h. k. / m. k.	orba / h. k.
výnos bulev	t.ha <sup>-1</sup>	94,6	14,6	15,0	-0,4	15,4	15,8	-0,4
výnos chrástu	t.ha <sup>-1</sup>	43,0	9,5	8,2	1,3	22,2	19,1	3,1
počet bulev	tis.ks.ha <sup>-1</sup>	109,2	13,3	13,9	-0,6	12,2	12,7	-0,5
cukernatost	%	18,7	0,5	0,6	-0,1	2,5	0,6	-0,6
výnos p. c.	t.ha <sup>-1</sup>	17,8	2,7	2,9	-0,3	15,0	16,5	-1,5
obsah K	mmol.100g <sup>-1</sup>	4,13	-0,20	-0,43	0,23	-4,8	-10,4	5,6
obsah Na	mmol.100g <sup>-1</sup>	0,39	0,17	-0,03	0,20	44,0	-8,0	52,0
obsah α-N	mmol.100g <sup>-1</sup>	1,17	0,03	-0,04	0,07	2,6	3,4	6,0



Pozitivní vliv podzimní přípravy na intenzitu produkce je průkazný ve srovnání orby a hlubokého kypření vůči mělkému kypření ve všech parametrech zobrazených v Tab. 5.3. Výnos bulev, cukernatost i počet bulev na hektaru v porostech cukrovky připravených orbou i hlubokým kypřením značně narůstaly. Při porovnání obou variant vzájemně se však ani v jednom případě nejedná o statisticky významné zjištění.

Výnos polarizačního cukru z hektaru je kombinací výnosotvorných prvků a v důsledku toho je ze stanovených parametrů nejvýznamnější. Kromě značného nárůstu výnosu cukru u obou metod podzimní přípravy je zde možné nalézt i statisticky průkazný rozdíl mezi orbou a hlubokým kypřením (1,5 %) ve prospěch kypření.

Z obsahu melasotvorných látek byl nalezen statisticky dobře průkazný vztah k variantě podzimní přípravy pouze v případě obsahu draslíku. Podle výsledků tohoto testu dochází u obou variant podzimní přípravy ke snížení jeho obsahu, což je dobré z hlediska jakosti. Rozdíl mezi orbou a hlubokým kypřením je 5,6 % ve prospěch hlubokého kypření (které má hodnoty nižší).

Opačně než pro obsah draslíku vychází testy v případě sodíku, ačkoli pouze na hladině statistické významnosti 90 %. Jeho obsah se zvýšil v případě orby o 44 % z průměru a v případě hlubokého kypření se snížil o 8 %. Rozdíl mezi orbou a hlubokým kypřením je v průměru 0,20 mmol.100g<sup>-1</sup> ve prospěch kypření (které má hodnoty nižší). Neobvykle vysoký rozdíl však způsobuje jediná hodnota z roku 2013, kdy byl porost poškozen vodní erozí (Pulkrábek, 2013), což ubírá na vypovídací hodnotě výsledku. Podobně jako obsah sodíku dopadly i výsledky obsahu  $\alpha$ -aminodusíku, ovšem většinou nejsou statisticky průkazné.

## 6 Diskuse

Závěry většiny autorů, jenž se zabývali technogenním zhutněním půdy (např. Alakukku et al., 2003; Arvidsson et al., 2003; Yavuzcan et al., 2005) poukazují na to, že by bylo vhodné soustředit co nejvíce vstupů do období pozdního jara až raného podzimu, kdy je půda díky nízké vlhkosti pevná a únosná. Takové závěry jsou však velice nepraktické a v praxi jen obtížně aplikovatelné. Většinu operací při pěstování cukrové řepy (i dalších okopanin) je zapotřebí provádět mimo toto období. Když Arvidsson et al. (2003) tvrdí, že k zamezení zhutnění půd je nejlepší vyorávat cukrovku co nejdříve na podzim, přímo tím oponují současnému trendu prodlužování kampaně do zimních měsíců. Časné termíny sklizně jsou mezi farmáři neoblíbené, protože tím přichází o značnou část výnosu a cukernatosti bulev. Zatímco autoři zkoumající zhutnění půd doporučují snížení tlaku kol na půdu (např. Berisso et al., 2012), v praxi se objem (a tím i hmotnost) zásobníků sklizečů a přepravních vozů neustále zvyšuje.

V případě, že by bylo možné zvažovat aplikaci zásahů podle aktuální vlhkosti půdy, setkáme se s problémem stanovení únosnosti půd v momentálním stavu. Současné postupy určení vlhkosti půdy obvykle vyžadují časově velmi náročná měření, která mnohdy zabírají celé dny a k provedení vyžadují dobře vybavenou laboratoř mechaniky zemin. Laboratorní testy jako triaxiální zkouška, oedometrická zkouška, měření Atterbergových mezí či měření propustnosti pro vzduch a vodu, jsou používány v odborných člancích (např. Alakukku et al., 2003; Arvidsson, 1998) k popisu parametrů zemin. V praxi jsou však nepoužitelné. Určitou možnost terénního využití nabízí Proctorova zkouška či polní odhad Atterbergových mezí, případně ruční penetrometr, s nímž bylo pracováno v této diplomové práci. K polnímu stanovení konzistence půdy (např. před aplikací hlubokého kypření) tak většinou musí stačit odhad, ideálně spojený s malou půdní sondou (Pulkrábek et al., 2015b).

Z rešerše nevyplývá jasná odpověď na to, jaké zatížení zeminy je přijatelné, jaký způsob práce se zhutněním půd je nejpříznivější či jaké postupy je ideální zvolit a dodržovat. Autoři se na mnoha aspektech výzkumu zdánlivě nemohou shodnout. Převažující polní plodiny (nikoliv však cukrovka) se dokáží poměrně dobře adaptovat a důsledky zhutnění půd na jejich růst bývají spíše malé (Arvidsson a Håkansson, 2014). V poznatcích o zhutnění podorniči a jeho kypření jsou ještě nedostatky, ale přitom je hluboké kypření autory doporučováno jako obecné nápravné opatření (Javůrek a Vach, 2008; Pulkrábek et al., 2007). Jeho aplikace je přinejmenším problematická, ale pravděpodobně potřebná. Negativní vliv zhutnění půd v hloubce od 25 do 40 cm dokazují i výsledky této práce.

V současnosti vznikají nové metodiky, které mají za cíl navrhnout správné postupy při pěstování cukrovky (např. Pulkrábek et al., 2015b). Zavádění nových postupů v zemědělství obvykle naráží na značnou konzervativnost oboru, způsobenou vysokou pořizovací cenou moderních strojů a obecnou nedůvěrou uživatelů v nové technologie. Finanční náročnost zavádění půdoochraných technologií může být značná (Javůrek a Vach, 2008; Kovaříček et al., 2014). Je proto potřeba, aby výzkum zhutnění půd dokázal kvantifikovat ekonomické dopady zanedbávání zhutnění půd. To, že se zemědělská praxe ohleduplná ke stavu půdy při pěstování cukrovky vyplácí, dokazuje např. Hanse et al. (2014). I výsledek této diplomové práce ukazuje, že je možné značně navýšit výnos cukrovky odstraněním nadměrného zhutnění půdy.

Negativní vliv zhutnění půdy na výnos cukrovky zde byl výzkumem jednoznačně prokázán. Zbývá vyhodnotit variabilitu těsnosti závislosti v různých hloubkách. O negativních dopadech zhutnění prvních centimetrů půdy nemůže být pochyb. Tam je jeho škodlivým efektem omezení klíčení a vzcházení rostlin cukrovky. Následně může docházet ke vzniku nevyrovnanosti až řidnutí porostu, což má negativní důsledky na výnos cukrovky. V hloubce 8 a 12 cm je negativní vliv zhutnění půdy relativně menší. To může být dáno tím, že zde zhutnění půdy působí negativně především na finální růst bulv. V tomto období je však cukrovka na mírné zhutnění půd už poměrně necitlivá (Pulkrábek et al., 2015a) a protože zde k nakypření většinou docházelo, nevyskytují se zde extrémně zhutněné polohy. K nárůstu negativní korelace zhutnění a výnosu dochází kolem hloubky 24 cm. Zde se patrně projevuje vliv tzv. „plužní pánve“ (Pulkrábek et al., 2015b), která je pravděpodobně přítomna alespoň ve zmenšené míře u všech variant podzimní přípravy. Touto zhutněnou vrstvou proniká kořen cukrovky jen obtížně, což omezuje vývoj celé rostliny. Pokles vlivu zhutnění v ještě větších hloubkách je způsoben tím, že se zde již netvoří bulva cukrovky, pouze pokračuje její kořen. Ten se již může na zhutnění půdy lépe adaptovat a prorůstat polohami s menším penetračním odporem.

Kvalitativní parametry bývají málokdy testovány v rozsahu srovnatelném s tímto výzkumem. Zatímco mezi zhutněním půdy a charakteristikami výnosu lze většinou najít těsnou závislost, u jakostních parametrů tomu tak často nebývá. Na obsahu  $\alpha$ -aminodusíku je patrné, že cukrovka rostoucí ve zhutněné půdě je hůře vyživovaná. Omezený příjem nitrátů (ze kterých  $\alpha$ -aminodusík vzniká) může být způsoben malou propustností zhutněné půdy pro kapilární vodu, neboť těsnost korelace narůstá směrem do hloubky. Protože je vysoký obsah  $\alpha$ -aminodusíku v bulvách nežádoucí, může být vhodné snížit dávky dusíku k cukrovce v hluboce kypřených půdách. Sodík a draslík jsou pravděpodobně lépe dostupné, protože

korelace jejich obsahu a zhutnění půdy není statisticky průkazná. V půdě je těchto prvků pravděpodobně dostatek. V opačném případě by se na výnosu cukrovky měl více odrazit např. suchý ročník 2015, neboť tyto prvky zabraňují uvadání rostlin (Rybáček et al., 1985). V porovnání variant podzimní přípravy vychází co do obsahu melasotvorných látek orba i hluboké kypření lépe než mělké kypření, ale varianta hlubokého kypření je na tom pokaždé ještě o něco lépe než orba.

Co však způsobuje, že podzimní orba nakypří půdu více než hluboké kypření, ale porosty nedosahují takových výnosů? Odpověď by se mohla nacházet v oboru podzemní vody. Půdní vláha by měla lépe vzlínat v půdě, která je směrem od povrchu více ulehlá a tak dokáže udržet více propojené kapilární kanálky. Takové vlastnosti má půda po nakypření půdním kypřičem. Orba oproti tomu překlápí na dno brázdy vyčerpanou, deformovanou půdu od povrchu a spolu s ní také většinu rostlinných zbytků, které mohou vzlínání vody bránit. Orané porosty mohou vzcházet nevyrovnaně, především pokud nebyly urovnaný na podzim (Pulkrábek et al., 2015b), jak tomu bylo i v případě testovaných polí (viz Obr. 9.1).

Jaké tedy může být uplatnění poznatků získaných výzkumem? Získané výsledky nemusí nutně platit pro všechny pole, metody přípravy a klimatické podmínky. Alespoň v rozsahu České Republiky by tomu tak rámcově být mohlo. Hodnoty naměřeného penetračního odporu odpovídají hodnotám naměřeným i jinými českými autory (viz Obr. 3.1) a pole zahrnutá do pokusu se svými poměry řadí v českých řepářských oblastech spíše k průměru (LPIS, 2016). Vliv ročníků byl v rozsahu pokusu různý. Měřené parametry porostu byly nepochybně ovlivněny velice dobrým průběhem některých ročníků (zejména 2014), kdy dosahovala řepa vysoce nadprůměrných výnosů a kvalit. Jiné ročníky byly spíše průměrné, i když někdy neobvyklé svým průběhem. Časový rozsah pokusu je nadprůměrný, neboť zahrnuje 4 sezóny. Mezi polními pokusy spíše převládají tříletá sledování.

## 7 Závěr

Hlavní část výzkumu hodnotí vliv způsobu půdní přípravy na kvalitativní a výnosové ukazatele cukrové řepy. Práce se zaměřuje na problematiku zhutnění půdy, které by měla podzimní příprava omezovat a tím zlepšovat stav porostu v následujícím roce.

Výsledky jednoznačně potvrzují, že zanedbání podzimní přípravy má značně negativní vliv na výnos cukrovky. Hypotéza, že podzimní zpracování půdy snižuje zhutnění půdy a tím zvyšuje výnos a kvalitu bulev cukrové řepy je výzkumem potvrzena. Kvalitní půdní příprava zlepšuje hodnoty všech výnosotvorných prvků i jakostních parametrů.

Druhá hypotéza, týkající se toho, zda má hluboké kypření srovnatelný vliv na eliminaci zhutnění půdy jako hluboká orba, je také potvrzena. Orba poskytuje o něco kypřejší půdu, ale vyšší výnos ve finále připadá variantě hlubokého kypření. Mezi variantami objeven statisticky významný rozdíl ve výnosu polarizačního cukru, který činí 1,5 % z průměrného výnosu ve prospěch hlubokého kypření. Jakostní parametry bulev byly pokaždé lepší v případě hlubokého kypření. Prakticky jsou však rozdíly v přínosu obou podzimních příprav malé, až zanedbatelné. Každá metoda má v širším pohledu své klady i zápory, takže mi nepřijde být korektní jednu variantu jednoznačně upřednostnit oproti druhé. Záleží především na kvalitě jejich provedení. Samotný fakt, že jsou metody srovnatelné, dává agronomům velké možnosti, např. při návrhu harmonogramu podzimních prací.

Výzkum zpracoval data ze čtyřletého pokusu v poloprovozních podmínkách. Tato práce dokázala přiblížit a konkretizovat souvislost mezi zhutněním půdy a její úrodností pro porost cukrové řepy. Podrobně analyzovala vliv podzimní přípravy na zhutnění půdy v následujícím roce a jejich souvislost s kvalitativními parametry porostu. Práce tímto přináší mnoho konkrétních poznatků ze zemědělské praxe, které reflektuje, a může proto fungovat jako zpětná vazba pro postupy využívané v praxi.

## 8 Literární zdroje

Alakukku, L., Weisskopf, P., Chamen, W. C. T., Tjink, F. G. J., van der Linden, J. P., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. *Soil & tillage reseach.* 73. 145 – 160.

Arvidsson, J. 1998. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. *Soil & tillage reseach.* 49. 159 – 170.

Arvidsson, J. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden, I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. *Soil & tillage reseach.* 60. 67 – 78.

Arvidsson, J., Trautner, A., van der Akker, J. J. H., Schjønning, P. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden, II. Soil displacement during wheeling and model computations of compaction. *Soil & tillage reseach.* 60. 79 – 89.

Arvidsson, J., Sjöberg, E., van der Akker, J. J. H. 2003. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden, III. Risk assesment using a soil water model. *Soil & tillage reseach.* 73. 77 – 87.

Arvidsson, J., Bölenius, E., Cavalieri, K. M. V. 2012. Effects of compaction during drilling on yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy.* 39. 44 – 51.

Arvidsson, J., Håkansson, I. 2014. Response of different crops to soil compaction-Short-term effects in Swedish field experiments. *Soil & tillage reseach.* 138. 56 – 63. *Jornal of theoretical Biology.* 186. 327 – 338.

Bengough, A. G. 1997. Modelling Rooting Depth and Soil Strength in a Drying Soil Profile. *Journal of theoretical biology.* 186. 327 – 338.

Berisso, F. E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Etana, A., de Jonge, L. W., Iversen, B. V., Arvidsson, J., Forkman, J., 2012 Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. *Soil & tillage reseach.* 122. 42 – 51.

Bretschneider, R. 1969. Technologie cukru (surovárna a rafinérie). Nakladatelství technické literatury. Praha. 404 s.

- Černý, I., Pačuta, V., Žembery, J., Candráková E. 2008. Formovanie úrody repy cukrovej vplyvom termodynamických podmienok prostredia. Listy cukrovarnícké a řepářské. 124. 74 - 78.
- Demjanová, E., Hunková, E., Liška, E., Žembery, J. 2004. Termodynamické podmienky pestovania cukrovej repy v oblasti Ťitavskej pahorkatiny. Listy cukrovarnícké a řepářské. 120. 340 - 341.
- Etana, A., Larsbo, M., Keller, T., Arvidsson, J., Schjønning, P., Forkman, J., Jarvis, N. 2013. Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. *Geoderma*. 192. 430 – 436.
- Gao, W., Whalley W. R., Tian, Z., Liu, J., Ren, T. 2016. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. *Soil & tillage reseach*. 155. 190 – 198.
- Hanse, B., Vermeulen, G. D., Tijink F. G. J., Koch H-J., Märländer, B. 2011. Analysis of soil characteristics, soil management and sugar yield on top and averagely managed farms growing sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in the Netherlands. *Soil & tillage reseach*. 117. 61 – 68.
- Hartmann, P., Zink, A., Fleige, H., Horn, R. 2012. Effect of compaction, tillage and climate change on soil water balance of Arable Luvisols in Northwest Germany. *Soil & tillage reseach*. 124. 211 – 218.
- Horn, R., Domżał, H., Słowińska-Jurkiewicz, A., van Ouwerkerk, C. 1995. Soil Compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil & tillage reseach*. 35. 23 – 36.
- Javůrek, M., Vach, M. 2008. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. 25 s. ISBN 978-80-87011-57-7.
- Kincl, D., Procházková, E., Kadlec, V., Srbek, J. 2015. Půdochranné technologie pro pěstování cukrové řepy. *Zpravodaj AGRObase*. 2. 32 – 33.
- Koch, H., Heuer, H., Tomanová, O., Märländer, B. 2008. Cumulative effect of annually repeated passes of heavy agricultural machinery on soil structural properties and sugar beet yield under two tillage systems. *Soil & tillage reseach*. 101. 69 – 77.

KONTROLA PODMÍNĚNOSTI, Cross Compliance, Průvodce zemědělce Kontrolou podmíněnosti platný pro rok 2015. 2015. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha. 276 s. ISBN 978-80-7434-208-0

Kovaříček, P., Hůla, J., Abrham, Z., Vlášková, M. 2014. Systém hospodaření s cílem omezit nežádoucí zhutnění půdy a zvýšit propustnost půdy pro vodu. Uplatněná certifikovaná metodika. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. 40 s. ISBN 978-80-86884-78-3.

Krause, U., Koch, H., Märlander, B. 2009. Soil properties effecting yield formation in sugar beet under ridge and flat cultivation, European Journal of Agronomy. 31. 20 – 28.

Kroulík, M., Kumhála, F., Hůla, J., Honzík, I. 2009. The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies. Soil & Tillage Research, 105. 171 – 175.

Kulovaná, E. 2001. Vliv animální výživy na metabolismus a technologickou jakost cukrovky. Dostupné online na <http://naschov.cz/vliv-animalni-a-mineralni-vyzivy-na-metabolismus-a-technologickou-jakost-cukrovky/>. Citováno 11.3.2016.

Kuncoro, P. H., Koga, K., Satta, N., Muto, Y. 2014a. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. Soil & Tillage Research. 143. 172 – 179.

Kuncoro, P. H., Koga, K., Satta, N., Muto, Y. 2014b. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water II: Soil pore structure indices. Soil & Tillage Research. 143. 180 - 187.

Landefeld L. S., Brandhuber, R. 1999. Measurement of soil compaction caused by heavy machinery under actual field conditions. In: Proceedings of the 13th International Conference of the ISTVS. Mnichov. Německo. 47 – 54.

LPIS. Dostupné online na <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny/> Citováno 20.3.2016.

Novák, J., Skalický, M. 2012. Botanika. Powerprint. Praha. 336 s. ISBN 978-80-87415-53-5.

Pokorný, E., Spáčilová, V., Bílovský, J., Podešvová, J. 2016. Vybrané pedopatologické aspekty současného zemědělství. Obilnářské listy. 1. 16 – 18.



Pulkrábek, J., Šroller, J., Faměra, O., Zahradníček, J. 1999. Počasí a výnosy cukrovky. Listy cukrovarnické a řepařské. 115. 254 – 256.

Pulkrábek, J., Urban, J., Bečková, L., Valenta, J. 2007. Řepa cukrová - Pěstitelský rádce. Katedra rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze. 64 s. ISBN 978-80-87111-00-0.

Pulkrábek, J. 2013. Podklad pro zprávu za rok 2013, Nové postupy v pěstebních technologiích okopanin šetrné k životnímu prostředí, TA02021392. V držení autora.

Pulkrábek, J., Urban, J., Jedličková, M. 2015a. Vliv podzimního zpracování půdy na zhutnění půdy v počátcích vegetace cukrové řepy. Listy cukrovarnické a řepařské. 131. 272 – 278.

Pulkrábek, J., Urban, J., Kadlec, V., Růžek, P., Šedek, A., Srbek, J., Bečková, L., Dvořák, P., Kobzová, D., Kincl, D. 2015b. Začlenění podzimního hlubokého kypření půdy a kypření za vegetace do půdoochranné technologie pěstování cukrové řepy, Certifikovaná metodika. ČZU v Praze. 42 s. ISBN 978-80-213-2614-9

Richards, B. G. 1974. Analysis of flexible road pavements in the Australian environment, Stresses, strains and displacements under traffic loadings. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Austrálie.

Rücknagel, J., Götze, P., Hofmann, B., Christen, O., Marschall, K. 2013. The influence of soil gravel content on compaction behaviour and pre-compression stress. Geoderma. 209 – 210. 226 – 232.

Rybáček, V. a kol. 1985. Cukrovka. SZN. Praha. 480 s.

Semmel, H. 1993. Auswirkungen kontrollierter Bodenbelastungen auf das Druckfortpflanzungsverhalten und physikalisch-mechanische Kenngrößen von Ackerboden. Christian Albrechts University. Kiel. Německo. Schriftenreihe Inst. Pflanzenem. Bodenkd. 183 s.

Scholz, G., Quinton, J. N., Strauss, P. 2008. Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. Catena. 72. 91 – 105.

Yavuzcan, H. G., Matthies D., Auernhamer, H. 2005. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. Soil & tillage reseach. 84. 200 – 215.



Tab. 9.2: Hodnoty testů na vybraných parametrech porostu. Výsledky na hladině významnosti 75, 90 a 95 %. r.p. = rozdíl průměrů; t test = hodnota t-testu; p = p-hodnota t-testu (vyšší hodnota je méně příznivá); zn = hodnota znaménkového testu; t - krit. h. = rozdíl t-hodnoty (abs) a příslušné kritické hodnoty. Kladná hodnota značí, že je mezi průměry významný rozdíl.

alfa					0,75	0,9	0,95
kritická hodnota					0,765	1,638	2,353
<b>výnos bulev n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,36	-0,10	0,92	2	-0,28	-0,72	-1,07
orba / mělké kypření	14,6	2,96	0,13	4	2,58	2,14	1,78
hluboké kypření / mělké kypření	15,0	2,27	0,11	4	1,89	1,45	1,10
<b>výnos chrástu n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	1,34	0,43	0,70	3	0,05	-0,39	-0,75
orba / mělké kypření	9,53	1,87	0,16	3	1,49	1,05	0,69
hluboké kypření / mělké kypření	8,19	2,40	0,25	3	2,01	1,58	1,22
<b>cukernatost n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,11	-0,03	0,88	2	-0,35	-0,79	-1,15
orba / mělké kypření	0,47	0,89	0,38	3	0,51	0,07	-0,28
hluboké kypření / mělké kypření	0,58	2,77	0,13	4	2,39	1,95	1,59
<b>počet bulev n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,57	-1,01	0,50	2	0,63	0,19	-0,17
orba / mělké kypření	13,3	1,06	0,25	3	0,68	0,24	-0,12
hluboké kypření / mělké kypření	13,87	1,13	0,13	4	0,75	0,31	-0,05
<b>obsah draslíku n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,23	1,43	0,13	4	1,04	0,61	0,25
orba / mělké kypření	0,2	-1,47	0,37	3	1,09	0,66	0,30
hluboké kypření / mělké kypření	0,43	-1,80	0,25	3	1,42	0,98	0,62
<b>obsah sodíku n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,20	1,09	0,38	3	0,71	0,27	-0,09
orba / mělké kypření	0,17	0,87	0,63	3	0,49	0,05	-0,30
hluboké kypření / mělké kypření	0,03	-0,69	0,63	3	0,30	-0,13	-0,49
<b>α-aminodusík n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,07	0,37	0,75	2	-0,02	-0,45	-0,81
orba / mělké kypření	0,03	0,13	1,00	3	-0,25	-0,69	-1,04
hluboké kypření / mělké kypření	0,04	-0,99	0,38	3	0,60	0,17	-0,19
<b>přepočítání 16% cukernatosti n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	1,55	-0,87	0,38	3	0,49	0,05	-0,31
orba / mělké kypření	18,8	2,44	0,13	4	2,06	1,62	1,27
hluboké kypření / mělké kypření	20,35	2,41	0,13	4	2,03	1,59	1,23
<b>výnos polariz. cukru n = 4</b>	<b>r. p.</b>	<b>t test</b>	<b>p</b>	<b>zn</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>	<b>t - krit. h.</b>
orba / hluboké kypření	0,26	-0,89	0,04	3	0,51	0,08	-0,28
orba / mělké kypření	2,68	2,11	0,13	4	1,73	1,29	0,93
hluboké kypření / mělké kypření	2,94	2,09	0,13	4	1,71	1,27	0,91



Obr. 9.1: Ukázka kvality a hloubky orby.

Foto: František Balák.

*Na spodku brázdy je vidět vrstva rostlinných zbytků. Délka lžice je 18 cm.*



Obr. 9.2: Ukázka kvality a hloubky hlubokého kypření. Foto: František Balák.

*Rostlinné zbytky jsou poměrně rovnoměrně promíchány v profilu. Délka lžice je 18 cm.*



Obr. 9.3: Ukázka kvality a hloubky mělkého kypření. Foto: František Balák

*Rostlinné zbytky nejsou v profilu promíchány příliš rovnoměrně. Délka lžice je 18 cm.*