

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra rostlinné výroby



Vliv zpracování a zhutnění půdy na výnos a kvalitu cukrovky

Bakalářská práce

Autor práce: Jiří Blažek

Obor studia: ABR

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Urban Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Vliv zpracování a zhutnění půdy na výnos a kvalitu cukrovky“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jaroslavu Urbanovi, PhD. za pomoc a cenné rady při zpracování zadané bakalářské práce.

Vliv zpracování a zhutnění půdy na výnos a kvalitu cukrovky

Souhrn

Zintenzivňování zemědělské produkce mělo v poslední době velký vliv na zvýšení výnosů. Čím více se ale v zemědělství používají velké a těžké stroje, tím častěji se objevují s tím související problémy jako je například zhutnění půdy.

Odhaduje se, že v České republice je ohroženo až 45 % orné půdy nadměrným utužením, které je ze 70 % způsobeno přejezdy zemědělských strojů po polích. Tento typ utužení nazýváme zhutnění půdy.

Z hlediska zpracování půdy je cukrová řepa spolu s bramborami jedna z nejcitlivějších kulturních plodin, jejich produkční část se totiž nachází téměř celým svým objemem v půdě.

V této bakalářské práci jsou shrnuty poznatky o zpracování půdy pro cukrovou řepu a také vliv zhutnění půdy na její výnos a kvalitu. Součástí bakalářské práce je i jednoletý pokus, jehož cílem bylo zjistit, jak velký vliv má zhutnění půdy na výnos cukrovky.

Pokus byl realizován na poli u soukromého zemědělce. V pokusu byly sledovány dvě varianty. Jedna byla zpracována tradičním orebným způsobem a druhá varianta byla po podzimní hluboké orbě zhutněna několika přejezdy stroje.

Během vegetačního období byla provedena tři měření penetrometrického odporu půdy a současně byla stanovena její vlhkost. V říjnu byl pokus ručně sklizen a byly vyhodnoceny výnosové a kvalitativní parametry.

Na nezhutněné variantě byl zaznamenán výnos $64,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, oproti tomu zhutněná varianta vykázala téměř poloviční výnos ($34,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Na zhutněné variantě byla zaznamenána vyšší cukernatost bulev (21,2 %) než na variantě nezhutněné (20,8 %). Po přepočtení výnosu na 16% cukernatost dosáhla výrazně vyššího výnosu nezhutněná varianta ($87,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) než varianta zhutněná ($47,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Klíčová slova: cukrovka, utužení půdy, zpracování půdy, výnos, jakost

The influence of tillage and soil compaction on yield and technological quality of sugar beet

Summary

Nowadays is agricultural production intensified to aim higher yields. The more we use big and heavy machines the more we bring about problems such as soil compaction.

It is estimated that around 45 % of arable land in the Czech Republic is suffered from excessive soil compaction from which 70 % is caused by crossing heavy machines, called technician soil compaction.

Sugar beet and potatoes are the most demanding crops about good soil cultivation. Because the main productive part of the plant is mostly under the ground.

In this bachelor thesis are summarized findings of tillage for sugar beet and the effect of soil compaction on its yield and technological quality. Component of this thesis is also one-year experiment to find out how the soil compaction effects yields of sugar beet.

The experiment was realized on private farmer field who did the traditional agricultural operation. There were two variations for the experiment. The first one was cultivated conventional (ploughing involved). The second one was wheeled in addition after deep ploughing in the autumn.

Three measurement of soil resistance and soil humidity were taken during vegetation period of sugar beet. In October was crop manually harvested, yield and parameters of quality of the beetroot were detected.

Uncompacted variation recorded yield $64,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. The second (compacted) variation recorded almost half yield ($34,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Sugar content of beetroot from the first variation was 21,2 %, from the second variation it was 20,8 %. After recalculation yields to 16%-sugar-content were values of uncompacted variation $87,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ and compacted $47,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Keywords: sugar beet, soil compaction, tillage, yield, quality

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíl práce	2
3.	Literární rešerše.....	3
3.1	Vývoj pěstování cukrovky.....	3
3.2	Zpracování půdy	6
3.2.1	Půda	6
3.2.2	Podzimní zpracování půdy.....	7
3.2.3	Jarní zpracování půdy	11
3.2.4	Minimalizace	12
3.3	Zhutnění půdy.....	13
3.3.1	Příčiny zhutnění půdy	14
3.3.2	Následky zhutnění půdy.....	15
3.3.3	Ochrana před zhutněním půdy	17
4.	Materiál a metody.....	20
4.1	Charakteristika stanoviště pokusu	20
4.2	Metodika řešení	21
4.2.1	Varianty pokusu	21
4.2.2	Pěstitelská technologie.....	22
4.2.3	Měření penetrometrického odporu a vlhkosti půdy během vegetace	23
4.2.4	Sklizeň a vyhodnocení pokusu	23
4.2.5	Charakteristika odrůdy Panorama dle ÚKZÚZ	24
4.2.6	Charakteristika počasí.....	26
5.	Výsledky.....	27
5.1	Hodnocení penetrometrického odporu a vlhkosti půdy v průběhu vegetace..	27
5.2	Výnosové a kvalitativní parametry cukrové řepy.....	30
6.	Diskuze.....	32
7.	Závěr.....	34
8.	Seznam literatury.....	35

1. Úvod

Řepa cukrová je významná kulturní plodina, pro české zemědělství. Její pěstování je v České republice hluboce zakořeněno a vždy tvořilo nedílnou součást osevních postupů.

Cukrová řepa je druhou nejrozšířenější plodinou na světě, ze které se vyrábí cukr po cukrové třtině. V celkovém objemu výroby cukru tvoří řepný cukr zhruba jednu pětinu. Dnes se řepa cukrová nepěstuje jen pro cukrovarnický průmysl, ale s rostoucím důrazem na podporu obnovitelných zdrojů se využívá stále více na výrobu biolihu (bioethanolu) a bioplynu.

V roce 2017 se cukrovka v ČR pěstovala na 66 304 ha (4 % orné půdy ČR), z toho 58 122 ha sloužilo pro výrobu cukru a 8 162 ha řepy bylo pěstováno pro jiné využití (především pro výrobu bioethanolu).

Cukrovka se řadí mezi nejintenzivnější plodiny v České republice. Počet vstupů na pozemek je vyšší než u ostatních polních plodin. Tím dochází k většímu zhutnění půdy, které plodinu oslabuje. Protože se její produkční část, bulva, nachází v půdě, patří cukrovka mezi plodiny náchylnější k nadměrnému utužení půdy.

Odhaduje se, že až 45 % polí je v České republice ohroženo nadměrným utužením půdy, z toho činí 70 % technogenní utužení půd neboli zhutnění. Navíc naprostá většina půd není schopna sama tyto škody napravit. Každoročním vymrzáním se stav půdy sice lepší, ale nevykompenzuje škody způsobené přejezdy mechanizace. Proto je třeba hledat cesty, jak se zhutnění především vyvarovat, anebo jak ho napravit.

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat přehled literatury o vlivu utužení půdy a zpracování půdy na výnos a kvalitu řepy cukrové.

3. Literární rešerše

3.1 Vývoj pěstování cukrovky

Řepa cukrová neboli cukrovka je nejmladším druhem rodu *Beta*, ale i jednou z nejmladších kulturních plodin vůbec (Švachula et al., 2006). V českých zemích se pěstuje zhruba 180–190 let, což je ve srovnání s ječmenem nebo pšenicí (6 500 let) poměrně krátká doba. Řepu – nebo přesněji rod *Beta* – známe již dlouho, už před více než 2000 lety ji pěstovali jako zahradní rostlinu ve Středozemí. Na polích se začala pěstovat až v 17. století, ale zatím jen jako krmivo pro dobytek (Draycott, 2006).

Podle Švachuly et al. (2006) stála za původem pěstování cukrovky v Čechách, ale i v celé střední Evropě, Napoleonova kontinentální blokáda z roku 1806. Ta zakazovala obchodovat s Velkou Británií a tím znemožnila dovoz třtinového cukru z jejích kolonií. Následkem bylo zvýšení ceny, které podnítilo snahy získat cukr z jiných zdrojů. Jeden z prvních vědců, který extrahoval cukr z cukrové řepy, byl německý chemik Andreas Sigismund Marggraf. Objevil, že krystalky cukrové třtiny jsou stejné jako z cukrové řepy. Své objevy prezentoval na pruské Akademii věd v roce 1749. Bohužel jeho výzkumu tehdy nebyla věnována přílišná pozornost, jelikož výtěžnost extrakce cukru byla pouhých 1,6 % z hmotnosti bulvy (Cooke et Scott, 1993). Až jeho žák, Franz Karl Achard, dnes známý po celém světě jako „otec cukrovarnictví“, přišel po roce 1799 s takovým postupem extrakce, který maximalizoval výtěžnost cukrové šťávy, a navíc byl vhodný pro průmyslovou výrobu. První cukr se v Čechách vyrobil čtyři roky po vyhlášení blokády (1810), na Moravě až o 19 let později, tedy v roce 1829.

Za počátek cukrovarnického průmyslu v Čechách můžeme ale považovat až rok 1831, kdy iniciativa Vlastenecko-hospodářské společnosti doporučila rolníkům používat pro výrobu cukru semeno bílé řepy nakupované v Německu (Švachula et al., 2006). Stále populárnější pěstování cukrové řepy vedlo podle Uhlíře (1869) k výstavbě cukrovarů na území Čech, kterých bylo v roce 1869 zaznamenáno 95.

Na konci 19. století bylo cukrovarnictví v Čechách nejdůležitější hospodářský průmysl (Uhlíř, 1869), který nadále rostl a ve dvacátých letech 20. století, patřilo dokonce české cukrovarnictví mezi světovou špičku. ČSR se totiž podílela na celkové evropské produkci cukru z 12 % a prokazovala zároveň nejvyšší výnosy (v té době se jednalo o cca 4 tuny cukru z 1 ha). Premiér A. Švehla mimochodem tento průmysl označil v roce 1924 jako jeden z nejdůležitějších pro republiku. Po roce 1945 ČSR ztratila své výsadní postavení, k čemuž přispělo dlouhé období centralizované ekonomiky. Postupně se zhoršovala i její

konkurenceschopnost. I přesto ještě v 70. letech byla ČSR třetím největším exportérem cukru na světě (Kozák, 2000).

Rok po pádu komunismu, v roce 1990, se v ČSR vyrobilo pouze 3,3 % evropské produkce cukru. Vláda posléze zrušila veškerá omezení a v zemědělství nastoupila cesta úplného liberalismu, trh si měl všechny problémy vyřešit sám. Za další tři roky, tedy v roce 1993, byly zrušeny subvence na vývoz cukru z ČR. Důsledkem byl zřetelný úbytek cukrovarů v ČR (z původních 52 v roce 1989 na 11 v roce 1999). Přeživší cukrovary prošly výraznou technologickou proměnou, v rámci čehož si také výrazně zvětšily kapacitu (Kozák, 2000).

V roce 2004 Česká republika vstoupila do Evropské unie. Tímto vstupem se také zapojila do evropského regulačního trhu s cukrem, který je součástí SZP – společné zemědělské politiky, která se řadí mezi ty vůbec nejstarší v EU. Výhodou ČR oproti ostatním kandidátským zemím bylo, že už od roku 1999 aplikovala kvótu na produkci cukru, aby si vyřešila situaci s problémovými dovozy cukru. První taková kvóta byla nastavena v roce 2000 na 475 tisíc tun cukru, o rok později na 505 tisíc tun cukru a v roce 2003, kdy kvóty byly již výsledkem jednání s EU, kvóty na cukr činily 454 tisíc tun cukru za rok. Vstupem do EU v roce 2004 se kvóta ustálila na 470 tisících tun cukru ročně. V té době to bylo možné považovat za úspěch (Reinbergr, 2017).

Krátce po vstupu ČR do EU se už ovšem začalo hovořit o ukončení kvót. Tím ale uvrhlo systém do mírné nejistoty, která vyústila mimo jiné i v to, že společnost Eastern Sugar se rozhodla ukončit své podnikání v ČR. Spolu se svým koncem v ČR vzala i kvótu na 100 tisíc tun cukru. Proto tedy od roku 2008 až do skončení kvótového režimu v roce 2017 platily kvóty pro ČR 372 tisíc tun cukru. I přes tyto dramatické události české cukrovarnictví nestagnuje, naopak v roce 2017 se v ČR vyrobilo rekordních 620 tisíc tun cukru. Toto má na svědomí hlavně zvýšení výnosu cukrovky, který se za posledních 30 let zvýšil více než 2x. Průměrný výnos bulev v roce 2017 byl 73 t.ha⁻¹ (Reinbergr, 2017).

SOT (Společná organizace trhů) s cukrem byla výrazně upravena 1. 10. 2017. Tímto dnem přestaly platit produkční kvóty na cukr a také přestala platit minimální garantovaná cena za cukr. Kdyby však došlo k výrazným hospodářským problémům evropských zemědělců, může Evropská unie znovu zavést regulaci trhu s cukrem (Trnková a Froněk, 2017).

Dnes se světová produkce cukru pohybuje kolem 170-180 miliónů tun v hodnotě bílého cukru, přičemž spotřeba je o 7–11 miliónů tun menší. Mezi největší producenty cukru patří Brazílie, Indie, EU, Thajsko, Čína, USA, Pákistán, Mexiko, Rusko, Austrálie, Guatemala a Turecko. Česká republika se na světové produkci cukru podílí zhruba 0,3 % (Anon., 2017).

V roce 2017 bylo v ČR vyprodukováno 4 292 647 tun řepy, což je dosavadní rekord. Průměrný výnos řepy činil $73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ na celkově 66 304 hektarech (Ministerstvo zemědělství ČR, 2018).

Poptávka po surovém i rafinovaném cukru je ve světě poměrně stabilní. Světová cena je ve své podstatě ale velmi variabilní a mimořádně závislá na světových zásobách obchodovatelného cukru. Světový trh s cukrem je trhem s přebytky. Výše zásob ve vztahu ke spotřebě je nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím světové tržní ceny. Zásoby cukru v poslední době stoupají, každoročně představují kolem 40–50 % světové roční spotřeby (Pulkrábek et al., 2007).

3.2 Zpracování půdy

Na veškeré polní operace je nutné pohlížet nejen z hlediska plodiny, ale i z hlediska celé zemědělské soustavy. Sled plodin musí být přizpůsoben tomu, aby zpracování půdy bylo usnadněno a zhospodárněno a aby stav půdy zanechaný agrotechnikou v předplodině přispěl k jejímu zúrodnění. Obecně musíme klást daleko větší nároky na obdělávání půdy na půdách těžkých oproti půdám lehkým. Těžké půdy mají totiž menší pórovitost, tím se do nich dostane méně vzduchu, stoupne záhřevnost a také obsahují více vláhy, což ale zhoršuje mikrobiální činnost. Agrotechnika to proto musí vyrovnat kypřením a dodáním dostatečného množství organické hmoty do půdy (Heřmanský, 1986).

Ve srovnání s jinými kulturními plodinami se řepa cukrová nevyznačuje autoregulační, ale pouze kompenzační schopností. Každá chybějící rostlina je proto ztrátou i na výnosu. Z toho vyplývá, že zpracování půdy je pro cukrovku naprosto zásadní agrotechnický zákrok, který je nutno řádně plánovat (Pulkrábek et al., 2007).

Samotná volba technologií a nástrojů pro zpracování půdy je, podle Hůly a Mayera (1999), nutno vybírat podle zrnitostního složení půdy daného pole a také podle současných vláhových podmínek. Tyto podmínky jsou důležité jak pro plodinu, tak se od nich bude odvíjet energetická náročnost operací.

3.2.1 Půda

Kvalitní řepařská půda má mít optimální strukturu a pórovitost, nízkou objemovou hmotnost (pod $1,45 \text{ g.cm}^{-3}$) a nízký penetrační odpor půdy (max. 3,5 MPa), příznivý vzdušný a vodní režim, neutrální až slabě alkalickou reakci s hodnotami pH 6,8 až 7,3, obsah kvalitního humusu nejlépe nad 2,5 %. Z bonitačních produkčních parametrů pro cukrovou řepu vyjádřených výnosem bulev a utříděných podle hlavních půdně klimatických jednotek (HPJ) vyplývá, že nejvyšších výnosů se dosahuje v klimaregionech T3 (teplý, mírně vlhký) a T2 (teplý, mírně suchý), na půdních typech hnědozem (HM), černozem (CE), luvizem (LU) a fluvizem (FL) (Pulkrábek et al., 2007).

Půdní póry různých velikostí, se nacházejí mezi pevnými částicemi půdy a jejich shluky. Póry umožňují zakořeňování rostlin, existenci mikroorganismů a vztlínáním vynášejí vodu z podzemních vod pro rostliny. Dělí se na dvě základní skupiny: kapilární (jemné, menší než 0,2 mm) póry a nekapilární (hrubé, větší než 0,2 mm) póry. Svým malým průměrem

umožňují kapilární póry pohyb vody proti směru gravitace a platí zde pravidlo: čím menší průměr póru, tím výš je schopen vodu vynést a tím těžší je pro vodu sestupovat do nižších poloh. V kapilárních pórech také probíhá většina vnitropůdních reakcí. Nekapilární póry nejsou, z hlediska vodního hospodaření, pro půdu úplně příznivé, protože vodu snadno propouštějí do spodních vrstev. Na druhou stranu jsou důležité pro výměnu vzduchu v půdě a tím pádem zbavování se i přebytečného oxidu uhličitého. Celkový objem pórů v půdě se označuje jako pórovitost a udává se v procentech (Hůla et al., 1997). Každým zpracováním půdy se pórovitost mění. Nejvíce se zvyšuje podíl nekapilárních pórů. Aby nebyla pórovitost nevhodně vysoká, je potřeba půdu utužit válci nebo pěchy. Pro rostlinu jsou v půdě optimální podmínky, pokud je pórovitost mezi 40–60 % (Draycott, 2006).

K vyjádření stupně nakypření nebo utužení půdy se používají i další ukazatele, mezi kterými je důležitá objemová hmotnost půdy. Ta se zjišťuje vysušením vzorku půdy do konstantní hmotnosti. Dalším významným ukazatelem je struktura půdy, která udává schopnost půdy spojovat půdní částice a vytvářet strukturní agregáty. Tím významně ovlivňuje půdní úrodnost a určuje kvalitu vztahů mezi rostlinami, vodou, vzduchem a živinami v půdě (Hůla et al., 1997). Strukturu ovlivňují jednak mechanické zásahy do půdy, tak i hnojení rostlin. Dalšími ohrožujícími faktory jsou zpracování vlhké půdy a přejezdy po poli. Když je půda naopak přeschlá, může docházet k rozprašování strukturních agregátů.

Podle Heřmanského (1986) klesá úbytkem vzduchu v půdě mikrobiální činnost, což znamená méně živin z organických vazeb, ale zejména jejich oddálení na pozdější dobu vegetace. Vytváří se tímto nesoulad s biorytmem cukrovky, která požaduje dostatek živin, především dusíku v ranných růstových fázích, zatímco více živin v období dozrávání způsobuje nižší cukernatost a celkový pokles technologické jakosti. Ani řízená výživa cukrovky realizovaná na základě rozboru půdy, nemůže poté splnit to, co se od jejího zavedení očekává.

3.2.2 Podzimní zpracování půdy

Chochola a Konečný (1992) uvádějí, že podzimní zpracování půdy má několik základních funkcí. Patří mezi ně obnovení strukturního stavu v ornici, vytvoření příznivého vodního a vzdušného stavu pro příští vegetační období, zapravení hnojiv do orničního profilu a odstranění zhutněné vrstvy v podorničí. Vyrovnání půdního povrchu umožňuje mělkou a jednorázovou jarní přípravu pro setí. Několikanásobné zpracování půdy přispívá k ničení vytrvalých plevelů. Pulkrábek et al. (2007) dodávají, že současné alternativy podzimního

zpracování půdy jsou velmi rozmanité a vycházejí z orebného i bezorebného systému zpracování půdy s využitím řady minimalizačních opatření.

Hlavním důvodem pro vyvíjení alternativních způsobů zpracování půdy pro cukrovku jsou ekonomické aspekty (Badalíková a Červinka, 2008).

3.2.2.1 Tradiční zpracování půdy

Chochola a Konečný (1992) poukazují, že tradiční systém přípravy půdy pro cukrovku zůstává dlouhá léta nezměněn. Změna v tomto systému zpracování přichází spíše ze strany technických inovací. To znamená nahrazení záhonových jednostranných pluhů oboustrannými a přidání drobičů a kypričů s cílem snížit počet pracovních operací na pozemku.

Systémů a postupů je více, hlavní je dodržovat některé obecné zásady. Nejdůležitější pravidlo je omezit vstup na pozemek v době vlhka. V těchto dnech se spíše než rozmělněním struktury a snížením zhutnění dosáhne jejího opaku. Ze statistického pohledu je nejlepší orat v měsíci září a první polovině října. Poté jsou šance na vhodné podmínky pro orbu nízké (Chochola a Konečný, 1992).

Dle výsledků pokusů Kocha et al. (2008) se ukazuje, že infiltrace vody je znatelně nižší při mělkém zpracování půdy, zároveň ale na ní nemají vliv pravidelné každoroční přejezdy strojů. Z pokusů dále vyplývá, že přejezdy strojů redukuje objem vzdušných pórů v půdě. Mělká podmínka sníží objem vzdušných pórů v hloubce 18–23 cm, ale na druhou stranu zvedne hodnoty v podorníci. Počet biopórů (chodbičky vytvořené zooedafonem) byl nejvyšší v hloubce okolo 0,5 m, kde neměl typ zpracování půdy na jejich počet žádný vliv. Ve zpracované vrstvě půdy byl při obou pokusech nalezen jen malý počet biopórů. Při mělkém zpracování půdy s rostoucí hloubkou vykazovala měření lineární zvyšování počtu biopórů a v hloubkách 18–23 cm a 30–35 cm jich bylo naměřeno zřetelně více než u hluboké orby.

3.2.2.1.1 Podmítka

Podmítka představuje první zákrok zpracování půdy po sklizni obilnin, ale i dalších zrnin a píce. Příznivé vlastnosti podmítky jsou oceňovány především po všech plodinách zanechávajících strniště. Podmítkou se vytvoří příznivé podmínky pro klíčení semen nebo plodů plevelů a výdrolu řepky či obilnin. Tyto rostliny jsou následnou operací zapraveny

do půdy a zlikvidovány. Avšak všechny jednoleté plevele kvůli dormanci semen nevyklíčí ihned ani při příznivých podmínkách (Hůla et al., 1997).

Kvalitní a včas udělaná podmínka usnadní následné zpracování půdy. Dalším pozitivem je přerušování odpařování vody z ornice. Ta lépe uchovává vláhu a při následné orbě se skýva dobře drobí. Pokud se oře nepodmítnutý pozemek, obzvláště za sucha, vytváří se veliké hroudy. Zvyšuje se tím spotřeba nafty a více se opotřebovávají také orebná tělesa (Hůla et al., 1997).

3.2.2.1.2 Hluboké prokypření a urovnání brázdy

Orba radličnými pluhy představuje základní operaci klasického zpracování půdy. Podle Hůly et al. (1997) se především u okopanin při využívání půdoochráněných technologií bez orby, může orat alespoň periodicky. Orbou se půda obrací, mísí, kypří, případně mísí a zapravují se do ní hnojiva. Tyto změny jsou základem dobrého stavu půdní struktury, příznivého vodního a vzdušného režimu půdy a intenzivní biologické činnosti v půdě. Stupeň kvality prokypření, promísení a rozdrobení půdy závisí především na zrnitostním složení půdy a její vlhkosti. Klíčem ke správně provedené orbě je vhodně zvolená pojezdová rychlost a konstrukce pluhu. Pro orbu do hloubky 27 cm je zapotřebí orebné těleso s pracovním záběrem alespoň 35 cm. Pluh se záběrem 40 cm se využívají pro velmi hlubokou orbu.

Hůla et al. (1997) dodávají, že nelze obecně určit jakou vlhkost by půda měla mít, protože se liší především v závislosti na půdním druhu. Obecně platí, že půda by v době orby měla být drobivá. Při nadměrné vlhkosti dochází k deformacím, čímž se zčásti snižuje příznivý vliv orby na půdu, současně se také zvyšuje prokluz stroje, kdy může dojít k nežádoucímu zhutnění půdy. Heřmanský (1986) píše, že v době orby musí být ornice vlahá. Tedy musí se rozpadat mezi prsty. U těžkých půd tomu odpovídá 20–25 % vlhkosti, 15–30 % u lehkých. Orba za sucha vytváří hroudy, půda se náležitě nerozpadá. To podmiňuje další operace, kdy je nutné povrch urovnat.

V našich půdách se podorniční vrstva nejčastěji vyskytuje v hloubce 25–40 cm, kde dochází k ničení makrostruktury, to ovlivňuje mnoho dalších důležitých podmínek prostředí. Proto je nutné kritické vlastnosti druhotně zhutněných a extrémně těžkých půd napravovat hlubokým kypřením nebo velmi hlubokou orbou. Použití orby k tomuto účelu může vynést na povrch biologicky méně činnou půdu, obecně se výhoda hluboké orby může projevit až po několika letech. Pokud se vynese na povrch biologicky méně aktivní půda, má to za následek horší půdní vzházivost a pomalejší počáteční růst cukrovky (Heřmanský, 1986).

Hůla et al. (1997) ve své publikaci uvádějí, že u hlubokých půd můžeme zvýšit účinný profil ornice mechanickým narušením zhutněné podorniční části půdního profilu. Jestliže se podorniční vrstva liší od ornice pouze zhutněním, je možné opatrně zvýšit hloubku orby (například o 3 cm) bez rizika snížení výnosu následných plodin. Při tomto prohlubování je silně doporučováno hnojit kvalitním chlévským hnojem, aby se zvýšila mikrobiální činnost v půdě, především však v přiorané zemině. Důležité je hnůj zapravit rovnoměrně do celého povrchu, aby se nevytvářela izolační vrstva bránící vsakování nebo vzlínání vody.

Na základě tříletého pokusu na cukrovce, který provedli Pulkrábek et al. (2015), se jako nejvýnosnější ukázala varianta založená na hluboce prokypřené půdě. Hluboké prokypření v tomto případě způsobilo zlepšení infiltrace vody a zlepšení kořenového růstu, tím se omezil odtok povrchové vody a zlepšil se celkový výnos cukrovky. Zároveň s výnosem stoupla u cukrovky také cukernatost a pokleslo množství melasotvorných látek.

Po hluboké orbě a současně mělké jarní přípravě je půda nejvíce homogenní, zaručující dobrý růst křovitého kořene pevně zakotveného v půdě. Zásadou by mělo být hloubku orby v rámci osevního postupu střídat, přičemž by se mělo orat nejhlouběji na mělkých půdách až na plnou únosnost ornice. V ostatních případech je nejefektivnější orba při 30–32 cm (Heřmanský, 1986).

Podle Hůly et al. (1997) je hluboká orba oceňována z hlediska potlačování kořínků pýru, jenž je po této operaci výrazně oslaben. Pokud je orba provedena na podzim k jařinám, příznivě se projevuje akumulací srážkové vody do ornice. Když se navíc hrubě urovnají brázdy, omezí to výpar vody i v předjaří (Pulkrábek et al., 2007).

Pozitivní faktory hrubého urovnání brázdy na podzim spočívají hlavně v rovnoměrnosti slehávání půdy přes zimu. Takto se vytvoří podobné vlhkostní podmínky ve svrchní vrstvě půd. Vylepší se předpoklady pro předseťovou přípravu pozemku a zajistí jednotnou a vyšší vzcháživost, což je nutné pro správnou aplikaci postemergentních postřiků, ale i pro použití meziřádkových pleček. Na druhou stranu, pokud se půda na podzim urovná příliš, může to mít také negativní důsledky. Především nižší objem zachycované vláhy a delší časový úsek při prohřívání půdy na jaře (Heřmanský, 1986).

3.2.3 Jarní zpracování půdy

Cílem jarního zpracování je připravit vhodnou vrchní vrstvu půdy pro snadné vzcházení osiva s co nejmenším množstvím přejezdů po poli (Hůla et al., 1997). Na jaře je půda většinou vlhká a kyprá, v těchto podmínkách bývají půdy nejnáchylnější k nežádoucímu zhutnění. Podle Pulkrábka et al. (2007) se u cukrovky považují za optimální maximálně dva pracovní přejezdy na jaře.

Při předseťové přípravě se vytváří tzv. lůžko osiva, jenž je charakteristické mírně utuženou vrstvou půdy, na ni je následně osivo uloženo do kypré vrstvy půdy. Utužená vrstva má zajistit osivu kontakt s kapilární vodou, naopak kyprá část zajišťuje dostatečné množství vzduchu a více tepla, které je pro vzcházení nezbytné (Hůla et al., 1997).

Hloubka výsevu u cukrovky činí 25–30 mm od povrchu, čemuž musíme přizpůsobit i hloubku jarního zpracování, pohybující se do 5 cm. Takováto půda lépe udržuje vlhkost, má větší pórovitost a celkově je ideálním prostředím pro vzcházející rostlinu. Při nadměrně hlubokém prokypření dochází k vynášení mokré půdy na povrch, vedoucí k tvorbě hrud a ochuzení půdy o potřebnou vláhu. Pokud se nepodaří dosáhnout rovnoměrné hloubky zpracování a setí, dochází na jaře k nerovnoměrnému vzcházení rostlin. Vlastní kypření povrchové vrstvy by mělo být zajištěno pouze jednou pracovní operací. Vyšší počet pracovních zásahů vede k poklesu výnosu až o 5 % s každým zásahem navíc. Z toho důvodu se používají hlavně kompaktory neboli kombinátory, které kombinují více pracovních nástrojů a šetří přejezdy po poli. V případě, že byla ornice urovnána na podzim, je možný pouze jeden zásah kompaktořem před setím. Na druhé straně na těžších půdách je lépe provzdušnit půdu před přípravou branami, a to ve směru setí (nikoliv nakoso). Po ukončení přípravy půdy musí bezprostředně poté přijít setí cukrovky. Tzn. nejpozději do týdne je třeba, aby bylo zaseto (Pulkrábek et al., 2007).

3.2.4 Minimalizace

Systém zpracování půdy, který vypouští hluboké zpracování půdy, může být za určitých podmínek konkurenceschopný tradičnímu zpracování půdy. Dokládají to pokusy Badalíkové a Červinky (2008), kteří dosáhli vyššího výnosu u mělkého zpracování půdy než u orby dvakrát během tří let. Na pozemcích s černozemí se současně zvýšil i obsah humusu v půdě. V hnědozemi byl obsah humusu lepší po orbě.

Setí do vymrzající meziplodiny je možné jako alternativa pro podniky bez možnosti zapravení organické hmoty do půdního profilu. Mezi plodiny, které jsou k tomu nejvhodnější, patří svazenka vratičolistá, vikev letní a hořčice bílá. Je však nutné zasít meziplodinu do začátku září. Na jaře se následně nemusí provádět předset'ová příprava. Pakliže meziplodina vytvoří hustý porost, je vhodné ji rozdrtit a následně zhruba týden před setím aplikovat totální herbicid spolu s dodáním dusíku potřebný na rozklad uhlíku. Setím do mulče se vyřeší problém s vodní erozí na pozemcích, které jsou jí ohroženy (Pospíšil, 2000).

Horších výsledků s minimalizací v pokusech dosáhli Pulkrábek et al. (2015). Ten ve variantě mělkého zpracování půdy zjistil výrazný pokles výnosu bílého cukru. Činil pouhých 86,7 % z průměru tří pokusů (mělké zpracování, hluboká orba a hluboké kypření). A zároveň během čtyřletého sledování zhutnění půdy na počátku vegetace řepy cukrové se ukázalo, že v systému s mělkým zpracováním půdy (do 10 cm) je zhutnění půd vyšší než tam, kde se použilo hluboké kypření.

Rozdíl ve výnosu cukrovky se podle výsledků pokusů Kocha et al. (2008) začal nejvíce projevovat od června, kdy parcela zpracovaná jen mělkým kypřením, vykazovala znatelně nižší hodnoty než parcela zpracovaná hlubokou orbou.

Pokusy minimalizace provedli i Wozniak a Gos (2014), aby zjistili její vliv na výnos jarní pšenice. Z výsledků jednoznačně vyplynula jasná korelace mezi zpracováním půdy a výnosem. Zatímco při konvenčním zpracování půdy byl výnos nejvyšší, při redukované přípravě výnos klesal a minimalizace v jejich pokusu dosáhla nejhorších výsledků.

3.3 Zhutnění půdy

Již během 19. století bylo pozorováno, že tažná zvířata používaná k obdělávání polí způsobují do jisté míry zhutnění půdy. Během druhé poloviny 19. století byly pokusy na obdělávání půdy parními stroji. Tyto stroje kvůli své nadměrné hmotnosti zhutňovaly půdy v mnohem větší míře, než by bylo přijatelné. Celosvětový problém se ze zhutnění půdy stal až zhruba v posledních 30–40 letech, kdy zemědělci začali obdělávat velké plochy velkými stroji a při vysoké intenzitě (Soane et Ouwerkerk, 1994).

Utužení půdy neboli pedokompakce je degradace půdních fyzikálních vlastností úzce souvisejících s rozpadem půdní struktury. Rozlišujeme dvě základní utužení půdy: genetické a technogenní. Genetické utužení je typické pro půdy těžké, zatímco technogenní vzniká jako důsledek působení těžkých mechanizačních prostředků na poli (Brtnický et al., 2012).

Podle Brtnického et al. (2012) je utužením půdy v ČR ohroženo kolem 45 % zemědělských půd. Z toho je asi 70 % původu technogenního. V našich podmínkách je nejzávažnějším jevem technogenní zhutnění podorničí a spodiny, které se kombinuje s utužením genetického původu, a to zvláště na těžších půdách.

Proces zhutňování je v první řadě vyvoláván tlakem. Pro jeho šíření v půdě je určující počet kontaktních plošek, kde záleží jak na zrnitosti, tak na uspořádání částic – struktuře. Polyedrická struktura klade větší odpor než prismatická nebo koherentní struktura (Brtnický et al., 2012).

Zhutnění půd je nežádoucím důsledkem vznikající při každoročním obhospodařování půd. Pokud přesáhne určitou mez, nejen že se sníží výnosy, ale zároveň se i zvýší energetické náklady na zpracování půdy. Zvýšená tvorba hrud je typickým příznakem pro zhutněné půdy. Dalším znakem zhutnění je omezené zasakování srážkové vody do půdy. V místech častých přejezdů se výrazně déle drží vlhkost, která při dalším zásahu těžkou agrotechnikou podporuje zhutnění do větších hloubek. Na takto zhutněné půdě dochází i ke zvýšenému odtoku vody při deštích, což vede k ohrožení půdy erozí (Hůla et al., 1997).

Podle Hůly et al. (1997) se však nejedná o nenávratný proces. Přírodním přírodním procesem je půda schopna sama přes zimu tuto degradaci eliminovat až do hloubky 0,6–0,8 m promrznutím. Na půdách, které jsou však zhutněné i v podorniční vrstvě, je nutné do této vrstvy zasáhnout mechanicky. K regeneraci zhutněné vrstvy v hloubce 60 cm bylo zapotřebí 18 měsíců, v hlubších vrstvách šlo o význačně dlouhodobější proces (Lhotský, 2000).

Pro změření zhutnění půdy používáme penetrometr, který proniká do půdy a tím zaznamená její odpor. Tyto hodnoty ale lze uplatnit jen na jednom stanovišti, kde platí ty samé podmínky, neboť při samotném měření se vychází z toho, že penetrační odpor je přímo úměrný hustotě uložených částic. To platí pouze při určité zrnitosti a vlhkosti půdy. Proto se penetrometry používají hlavně pro zjištění hloubky nakypřené ornice, aby se na více zhutněných místech při přípravě použil například hloubkový dlátový kypřič (Hůla et al., 1997).

Měření penetrometrického odporu by se měla provádět pouze na jaře, kdy lze očekávat rovnoměrné rozložení vlhkosti v celém orničním profilu. Měření v létě a na podzim už z tohoto pohledu bývají nespolehlivá (Hůla et al., 1997).

3.3.1 Příčiny zhutnění půdy

Nejzávažnější a nejčastější příčinou zhutňování půd jsou technologické procesy rostlinné produkce, spojené s častými přejezdy mechanizace po pozemcích, obzvláště pokud se přejíždí za vyšší půdní vlhkosti. I když technologická doprava hraje nejzásadnější roli při zhutňování půd, problémy jsou i jinde (Rybáček, 1985).

Jako jednu z dalších příčin utužení půdy uvádí Rybáček (1986) chemické hnojení. Především vysoké dávky draselných a amonných hnojiv a hnojiva s vyšším obsahem sodíku. Sodíkové, draselné a částečně také amonné ionty způsobují peptizaci půdních koloidů, a tím i rozrušování půdní struktury.

Podílejí se na tom ale i další vlivy, jako je nedostatečné hnojení organickými hnojivy, nedostatečné zastoupení strukturotvorných pícnin, aplikace kejdy s nízkým obsahem sušiny, špatné hnojení průmyslovými hnojivy a další (Heřmanský, 1986).

3.3.2 Následky zhutnění půdy

Zhutnění je akumulativní proces, v němž se sčítají nepříznivé vlivy na půdu. Tlak menší než 0,10 MPa může vyvolat za příznivého vlhkostního stavu vratné změny. Tlak 0,15 MPa se může projevit až do hloubky 0,4 m. Písčité půdy nemají téměř schopnost samovolné regenerace zhutněných horizontů, zatímco u těžších půd existují faktory, které tuto regeneraci půdní struktury umožňují. Mezi ně patří mráz, působení kořenů a jakékoliv další objemové změny (bobtnání a smršťování) (Lhotský, 2000).

Přejezdy strojů po polích vytvářejí zhutněné pásy. To má největší vliv na výnos cukrovky od setí do srpna. Od září do sklizně již v pokusech Kocha et al. (2008) nebyly nalezeny žádné výrazné rozdíly. U luvisolů a černosolů s lehčí půdní strukturou není podle autora také možno doufat, že se regenerace půdy založená na rozpínání a smršťování půdy v mírném podnebném pásu vyrovná škodlivému vlivu přejezdů mechanizace po poli. Naproti tomu půdy s jílovitou půdní strukturou jsou schopny v mírném podnebném pásu tyto škody vykompenzovat.

Šimon (1986) a Brtnický et al. (2012) popisují vliv zhutnění půdy na výnosy plodin. Kořeny rostlin nemohou prorazit utuženou vrstvu a nedochází k příznivému vzcházení a vývoji rostlin. Může tak dojít ke zpoždění zralosti v jehož důsledku dochází ke snížení výnosů. Nejvíce na utužení půdy trpí rostliny, které tvoří výnos podzemními orgány, to znamená cukrovka a brambory. U cukrovky může docházet k tzv. mrcasatění bulev. U rostlin rostoucích v půdách s nadměrným utužením je nižší příjem vody než u rostlin v neutužených půdách. Navíc na zhutněné půdě je obtížnější sklizeň, při které se navyšují ztráty.

Krebstein et al. (2014) ve svém pokusu provedeném na loukách zjistili, že kořeny trav nacházející se ve vrchní vrstvě půdy (0–15 cm) jsou v nezhutněné půdě průměrně o 44,7 % delší než v půdě zhutněné. V hlubší vrstvě půdy (20–30 cm) tento rozdíl činí 36,6 %. Celková hmotnost kořenů bez ohledu na hloubku byla ve zhutněné půdě o 60,5 % nižší než v půdě nezhutněné. Rozdíl hmotnosti kořenů mezi pokusy byl ve vrchních vrstvách větší než ve spodních. To ale podle něj mohlo být způsobeno nízkou hmotností stroje, který byl pro pokus vybrán ke zhutnění půdy.

Efekty zhutnění jsou pro cukrovku větší než pro většinu ostatních kulturních plodin, neboť cukrovka potřebuje kvalitně připravené seťové lůžko, které zhutněním trpí více (Draycott, 2006). Cukrovce podle Heřmanského (1986) škodí i její postavení v osevním postupu, protože se často pěstuje po sledu obilnin, které zanechávají půdu v ulehlém stavu s rozmělněnou strukturou, biologicky málo činnou a se špatně rozloženými živinami napříč

půdním profilem. Konkrétně dochází k obohacování horní vrstvy ornice na úkor spodní, to u cukrovky vede k tvorbě povrchových kořenů a nedochází k žádoucímu zatahování kořene do půdy. Vlivem kolísání vlhkosti v povrchových vrstvách ornice vznikají krátkodobé stresové periody v příjmu živin při nerovnoměrném rozdělení srážek. Z tohoto důvodu je u cukrovky obzvláště důležité vytvořit homogenní profil.

Podle Kocha et al. (2008) má zhutnění půdy za následek snížení vzdušných pórů v půdě způsobující deficit kyslíku pro kořeny rostlin. Tím se zvyšuje celkový stres rostliny, který se projevuje zvýšenou spotřebou kyslíku, čímž se kyslíkový deficit jen prohloubí. Lhotský (2000) dále uvádí, že při nedostatku vzduchu se omezují aerobní procesy v půdě a nastupuje větší rozvoj anaerobních procesů.

Vzduch v půdě je důležitý pro mikrozoedafon, jenž je tvořen zástupci jednobuněčných organismů, a to především aerobními bakteriemi a prvoky. Ke svému rozvoji potřebuje mikrozoedafon nejen dostatečnou zásobu organických látek, ale i dobrou vlhkost a dostatek vzduchu. Podílí se na důležitých procesech přeměn organických i minerálních látek, tedy na humifikaci, oxidaci amoniaku, jakož i železa, síry, manganu, rozkladu síranů, dusičnanů atd. Ve zhutněných neprovzdušněných půdách je aktivita mikrozoedafonu značně omezena, v důsledku čehož klesá kvalita půdního humusu, acidifikace půdního prostředí a kontaminace agrochemikáliemi (Draycott, 2006). Okyselováním se zhoršuje přijímání živin rostlinou a zvyšuje se mobilita většiny rizikových prvků s důsledkem jejich intenzivnějšího příjmu rostlinami (Lhotský, 2000). V půdách s degradovanou strukturou je snížen celkový počet procesů látkové přeměny a snižuje se její sanitární účinnost. Následkem zhutnění je tedy i nižší efektivita hnojení s následnou akumulací nevyužitých živin v půdě. Podle Brtnického et al. (2012) se u nadměrně utužených půd častěji projevuje nedostatek dusíku.

Podle Brtnického et al. (2012) je nejvíce zhutněním omezován mezozooedafon – dešťovky, chvostokoci, členovci a jiné. Tito živočichové tvoří chodbičky a vylučují stabilizující látky pro tvorbu půdních drobtů, které zvyšují pórovitost a propustnost půdy pro vodu a vzduch. Tomuto tvrzení ale odporuje výzkum Kocha et al. (2008), který nenalezl korelaci mezi zhutněním a přejezdy po poli s výskytem biopórů. Podle jeho výzkumu biopóry nejvíce ovlivňuje zpracování půdy, přičemž orba má výrazně horší vliv na půdní organismy než mělké prokypření půdy.

Destrukce struktury půdního povrchu přispívá ke snížené infiltraci srážek a vodní erozi, jejímž druhotným důsledkem jsou lokální akumulace smyvů půdy (Lhotský, 2000). V těchto smyvech mohou být přítomny i rizikové látky, které mají tendence se koncentrovat na jednom

místě. U hlinitých a jílovitých půd způsobuje destrukce struktury defekty v růstu a kvalitě rostlin, které mohou být ještě zvýrazněny extrémními povětrnostními situacemi.

Nepříznivý vodní režim na půdách se zhoršenými fyzikálními vlastnostmi způsobuje větší závislost těchto půd na průběhu srážek, neboť omezená cirkulace vody značně snižuje schopnost půdy udržet určitou setrvačnost optimální úrovně vlhkosti. To znamená, že i krátkodobý přebytek nebo nedostatek může způsobit trvalé poškození kultur (Heřmanský, 1986).

Ačkoliv je cukrovka díky svému původu (pochází z přímořské oblasti středozemního moře) odolná proti suchým periodám (Cooke et Scott, 1993), dokáže odolávat suchu jen do určité míry. Nároky na vodu vyplývají ze složení řepy, neboť ta obsahuje poměrně vysoké procento vody v porovnání s jinými polními plodinami, např. obilninami. Nejcitlivější reakce na nedostatek vody bývá pravidelně zjišťována u dlouhivého růstu buněk postižených orgánů, neboť dochází ke zmenšení velikosti buněk a ke zvýšení jejich pružnosti. Při delším nedostatku vody se začínají projevovat další metabolické změny. Především u fotosyntézy je výrazně omezen výdej vody transpirací (Petříková et al., 2012).

3.3.3 Ochrana před zhutněním půdy

Hlavním způsobem ochrany půdy proti zhutňování je prevence, která spočívá ve správném obhospodářování půdy. Vzhledem k pravidelné kultivaci orniční vrstvy v intenzivním hospodaření je poškození o to závažnější. Je nutné ctít vlhkostní podmínky pozemku při zpracování půdy. Snižit tlak na půdu (dvojité pláště, flotační pneumatiky). Při konvenčním zpracování půdy by se měla orba provádět v různých hloubkách, aby se zamezilo utužení podorniční vrstvy. Jako další preventivní opatření je nutné uvést osevní postup, zejména zařazení víceletých píceňin pomáhá díky svým kořenům snížit utužení podorniční (Brtnický et al., 2012). Dále pomáhá proti utužení půd pravidelné dodávání organických živin a dostatečné množství sloučenin vápníku v půdě.

Orba obecně zlepšuje následky zhutnění, ale pokud se každoročně oře ve stejné hloubce, hrozí riziko oddělení orniční a utužené podorniční vrstvy. Následky utužení podorniční vrstvy mohou být na daném pozemku vidět i po pěti letech (Cooke et Scott, 1993).

Podle Chocholy a Konečného (1992) je jedním z řešení prokypřit půdu až do hloubky 40–50 cm speciálními podrývaky, to lze použít jako náhradu za hlubokou orbu. Pulkrábek et al. (2015) uvádějí, že při rozrušování zhutněné vrstvy v půdě je naprosto nezbytné ji narušit v celé

její mocnosti, jinak tato operace nesplní svůj účel. Při použití této technologie pro pěstování cukrovky je vhodné použít dlátové kypřiče, které dokážou sáhnout až do hloubky 50 cm a zároveň nezpůsobují přílišnou hřebenovitost, a tím omezují počet přejezdů v předset'ové přípravě půdy. I kvůli ekonomické náročnosti je vhodné místa potřebná pro rozrušení zhutněné vrstvy lokalizovat například penetrometrem. Při zpracování půdy pro cukrovou řepu se osvědčilo použití dlátového kypřiče v hloubce 40 cm po provedené střední orbě se zapracovaným organickým hnojivem. V současné době lze nahradit hlubokou orbou také kombinovaným kypřičem, který pasivně ve spodní vrstvě používá radlice a příčný hřebový rotor urovnává vrchní část ornice.

Důležitá je i úprava ornice na podzim, aby se na jaře minimalizovaly přejezdy po poli a zbytečně se tak nezvyšovalo zhutnění půdy (Hůla et al., 1997).

Soane a Ouwerkerk (1994) uvádějí, že použití podhuštěných kol nebo kol s dvoumontáží, přispěje výrazně ke zvýšení kontaktní plochy traktoru a půdy a tím výrazně sníží tlak vyvíjený strojem na půdu. Oproti jízdám na normálních pneumatikách se zvyšují výhody těchto technologií, zvláště pokud je potřeba vjet do pole mírně kyprého a vlhkého. Zvláště doporučují použít tyto technologie při vjezdu do připraveného set'ového lůžka. Testování kol s nízkým tlakem probíhalo již v bývalém Sovětském svazu v 80. letech minulého století. Už tehdy zjistili, že tímto systémem se sníží náročnost práce pro traktor a zároveň se sníží i spotřeba paliva.

Obecně můžeme shrnout několik zásad, jejichž dodržováním můžeme výrazně přispět k omezování zhutňování půdy. Přejezdy po pozemcích před orbou či jiném hloubkovém kypření jsou mnohem méně nebezpečné než přejezdy poté (Pulkrábek et al., 2007). Nadměru opatrní z hlediska zhutnění půdy bychom měli být hlavně na jaře při předset'ové přípravě cukrovky. V této době má půda velmi nízkou odolnost na zhutňování půdy, neboť je kyprá a vlhká. Proto bychom měli omezit přejezdy na jaře na naprosté minimum (Brtnický et al., 2012). Při opakovaném vjezdu na pozemek je nutností jezdit v jedné koleji. Prvním přejezdem se totiž zhutnění zvedne nejvíce (Soane et Ouwerkerk, 1994).

3.3.3.1 Navigační systémy GPS

Používání GPS se stalo nezbytností pro moderní zemědělství. Výhody jsou jednoznačné. Farmářům šetří zbytečné přejezdy po poli, umožňují lepší přesnost strojů a zároveň mohou sloužit pro sběr dat (Kvíz et al., 2014).

U kypřičů půdy se podle Kovaříčka (2014) obsluha sice snaží o malé překrytí pracovní plochy, ale překrytá plocha je nerovnoměrná a pohybuje se od 2 do 10 %. U postřikovačů a rozmetadel, tedy strojů s větší pracovní šířkou, se nepřesnost pohybuje okolo 0,5 m. Při preemergentním ošetřování byla chyba dokonce větší než 10 % (2–3 m). Tyto nepřesnosti a chyby nejenže zmenšují reálný záběr pracovních nástrojů, a tím zvyšují hustotu přejezdů stroje po pozemku. Chyby u rozmetadel a postřikovačů vedou také k celkové nerovnoměrnosti z hlediska ochrany a výživy.

Je evidentní, že v zemědělství použití GPS jako přesné navigační technologie nestačí, proto je doplňována různými diferenčními systémy pro zvýšení přesnosti. Tyto přijímače jsou označovány jako DGPS a jsou schopny pracovat s přesností ± 5 cm. Další možností je vlastní pozemní referenční telekomunikační stanice (RTK). Potom se dostaneme na přesnost ± 2 cm (Loch et al., 2008).

Vedle vcelku běžné výhody GPS, tedy přesnějších přejezdů po poli se vyvíjejí i specifické systémy pro zemědělství. Jedním z nich je systém pro kontrolovaný pohyb techniky po pozemku (CTF – controlled traffic farming). Systém CTF je založen na principu společných kolejí stroje s různými pracovními nástroji a s rozdílnými pracovními šířkami. Při základní šířce pracovního nástroje 4 m je možno koncentrovat přejezdy všech strojů do dvou trvalých kolejí. Ovšem velkou překážkou je rozdílný rozchod kol, který není standardizovaný a na jedné farmě se často vyskytují stroje s výraznými rozdíly v šířce mezi koly. Tím si zvětšujeme plochu kolejí a snižujeme výhody tohoto systému (Kvíz et al., 2014).

Pěstováním cukrovky v systému CTF se zabývali například Marinello et al. (2017). Přestože řádky rostlin netrpící stresem z přejezdů tvořily pouze jednu třetinu z celkové plochy, měly vliv na zvýšení výnosů na celém poli. Z jeho výsledků vyplývá zvýšení výnosů až o 10 % na plochách s použitím CT oproti výsledkům varianty RT (Random traffic), tedy varianty nekontrolovaného přejezdů strojů po pozemku.

4. Materiál a metody

Jednoletý pokus byl proveden na části půdního bloku u zemědělce Petra Blažka v okrese Praha-Západ, katastr Zadní Kopanina v roce 2015. Kompletní agrotechniku prováděl zemědělec a odpovídala běžným agrotechnickým zásahům z dané lokality.

4.1 Charakteristika stanoviště pokusu

Pokusy se nacházely v okrese Praha-Západ u obce Zadní Kopanina, katastr Zadní Kopanina. Značení LPIS: čtverec: 750–1050, číslo půdního bloku: 2001,27. Celková výměra půdního bloku činila 31,2 ha.

Pozemek se nachází v nadmořské výšce 340–350 m.n.m. Jedná se o rovinný pozemek bez výrazných nadmořských výkyvů. Průměrná sklonitost 1,78 °.

Hloubka ornice se pohybuje od 24 do 35 cm. Půdní typ pole je hnědozemě, která se nachází na sprašovém substrátu. Barva ornice je světle hnědá s drobtovitou strukturou. Hodnota pH půdy je neutrální s mírným obsahem humusu.

Oblast zasahuje do řepářské výrobní oblasti. Klimatický region – T2 teplý, mírně suchý. Průměrná roční teplota pro danou oblast je 7,6 °C, pro teplý půlrok (duben–září) to vychází na 13,5 °C, chladný půlrok (říjen–březen) 1,7 °C. Průměrný roční úhrn srážek je 525,8 mm, z toho v teplém půlroce 363,9 mm a v chladném 161,9 mm.

Uvedená data jsou třicetiletým průměrem pro nejbližší meteorologickou stanici (Praha-Ruzyně).

4.2 Metodika řešení

V realizovaném jednoletém pokusu byl sledován vliv zhutnění půdy na výnosové a kvalitativní parametry cukrové řepy.

Na půdním bloku byly vyznačeny dvě parcely s různou agrotechnikou zpracování půdy. Velikost jedné parcely byla 10 m x 1,35 m. Což je 13,5 m². Každá parcela měla tři opakování.

Zhutnění varianty 2 proběhlo třemi přejezdy tam a zpět traktorem Fendt 920 s použitím dvoumontáží pneumatik. Zhutnění se provedlo po podzimní orbě.

V průběhu vegetace proběhly tři měření penetrometrického odporu společně se zjištěním aktuální vlhkosti půdy.

Sklizeň byla provedena ručně. Pro zjištění cukernatosti a melasotvorných prvků byly z jednotlivých variant odebrány vzorky a následně odeslány do laboratoře SynTech Research Czech s.r.o. Na základě analýz bylo možné vypočítat následující výnosové a kvalitativní parametry.

Výnos polarizačního cukru: (výnos bulev x cukernatost) /100

Teoretická výtěžnost (%):

$$\text{Teoretická výtěžnost} = \text{cukernatost} - C_M$$

$$\text{Reinefeldův vztah: } C_M = 0,343 [K + Na] + 0,094 [\alpha N] + 0,29$$

K je obsah draslíku (mmol.100 g⁻¹), Na je obsah sodíku (mmol.100 g⁻¹) a αN je obsah α -aminodusíku v bulvách (mmol.100 g⁻¹).

Výnos bílého cukru: (výnos bulev x teoretická výtěžnost) /100

Výnos bulev přepočtený na 16% cukernatost: výnos bulev x (cukernatost - 2,7) /13,3

4.2.1 Varianty pokusu

- Varianta 1 – nezhutněná půda
- Varianta 2 – zhutněná půda

4.2.2 Pěstitelská technologie

Předplodinou cukrovky byla pšenice jarní. Ta byla zapravena mělkou podmítkou.

Na pozemek byla naaplikováno 40 t.ha⁻¹ hnoje (převážně od koní), který byl ihned zapraven do půdy hlubokou orbou (35 cm), italským pluhem značky Nardi. Následně byla vyznačena část pozemku s pokusem, který byl zhutněn trojnásobným přejetím tam a zpět traktorem Fendt 920 s dvoumontáží pneumatik. Po dvou týdnech byla urovňána brázda celého pole smyky.

Na jaře před jarními pracemi se naaplikovala minerální hnojiva: Timac NPS 100 kg.ha⁻¹, Fosmag 100 kg.ha⁻¹, Mescal 200 kg.ha⁻¹ a Draselná sůl 150 kg.ha⁻¹. Pracovní záběr 30 m.

Celková dávka dusíku na jaře na 1 ha byla 72,5 kg, fosforu 47,5 kg, draslíku 90 kg a síry 45,6 kg.

Na jaře se použily hřebové brány, jež měly prokypřit mělkou vrstvu půdy a tím zajistit rychlejší prohřátí vrchní vrstvy půdního profilu, které by umožnilo dřívější setí.

Samotná předseťová příprava byla provedena čtyřmetrovým kombinátorem, neseným za traktorem s dvoumontážními pneumatikami. Stroj jel mírně diagonálně k ose setí.

Cukrovka byla zaseta přesným secím strojem do hloubky 25 mm, vzdálenost mezi řádky - 45 cm a vzdálenost semen v řádku - 20 cm, výsevek - 1,1 výsevní jednotky obalovaného osiva Panorama od firmy KWS. To vychází na 110 000 semen.ha⁻¹. Šířka sečky 8,4 m.

Postřik byl prováděn taženým postřikovačem Tecnomat s rozpětím 32,4 m.

Jako herbicid byl použit Betanal maxxPro, aplikace rozdělena na tři termíny – celková dávka 4,2 l.ha⁻¹. Při poslední aplikaci k němu byl přidán herbicid Safari na vyřešení problému s odolnějším plevellem.

Jediný fungicid použitý za doby vegetace byl přípravek Sfera 535 SC.

S každým přejezdem postřikovače se aplikovalo 30 l.ha⁻¹ hnojiva AmisaN v celkové dávce 120 l.ha⁻¹.

Obě varianty pokusu byly sklizeny ručně.

4.2.3 Měření penetrometrického odporu a vlhkosti půdy během vegetace

Celkem proběhla 3 měření penetrometrického odporu (10. 4. 2015, 3. 5. 2015 a 25. 6. 2015). Pro obě varianty se v daný termín měřil odpor na 15 místech (5 na každé parcele). Současně s každým měřením odporu byla změřena vlhkost půdy v 10, 20, 30 a 40 cm. Z obou variant a dané hloubky byly naměřeny 4 hodnoty, ze kterých se následně vypočítal průměr na hloubku a variantu.

4.2.4 Sklizeň a vyhodnocení pokusu

Sklizeň proběhla ručně 3. 10. 2015. Ze středu každé parcely byly vykopány tři řádky rostlin na vzdálenost 10 m. To vychází při sponu 45x20 cm na 50 řep v jednom řádku, celkem tedy 150 bulv, to odpovídá rozloze 13,5 m². Tento postup se opakoval na všech šesti pokusných parcelách (3 na variantu). Z každé varianty tedy bylo sklizeno 450 bulv a celková rozloha každé varianty činila 40,5 m².

Po sklizni byla všechna rostlinná hmota odvezena z pole, očištěna a zvážena. Nadzemní hmota a bulvy byly zváženy zvlášť.

Pro vyhodnocení cukernatosti a melasotvorných látek se vybralo z každé parcely 15 průměrných řep, které se poslaly do laboratoře SynTech Research Czech s.r.o.

4.2.5 Charakteristika odrůdy Panorama dle ÚKZÚZ

Panorama KWS je diploidní odrůda tolerantní k rizománii, NV typu. Dle testů rezistence je odrůda středně odolná k hád'átku řepnému. Odrůda je odolná proti vybíhání do květu, méně odolná proti napadení komplexem listových skvrnitostí.

V systému pěstování bez fungicidního ošetření, v rámci sortimentu odrůd s odolností k hád'átku řepnému, je výnos kořene vysoký až velmi vysoký, cukernatost středně vysoká, výnos polarizačního cukru velmi vysoký, výtěžnost rafinády středně vysoká až vysoká, výnos rafinády velmi vysoký. Obsah popelovin velmi nízký až nízký, obsah škodlivého dusíku velmi nízký až nízký.

V systému pěstování s fungicidním ošetřením, v rámci sortimentu odrůd s odolností hád'átku řepnému, je výnos kořene vysoký až velmi vysoký, cukernatost středně vysoká až vysoká, výnos polarizačního cukru velmi vysoký, výtěžnost rafinády středně vysoká až vysoká, výnos rafinády velmi vysoký. Obsah popelovin velmi nízký až nízký, obsah škodlivého dusíku velmi nízký.

Odrůda je vhodná k pozdní sklizni.

Tabulka 1 - Přehled pracovních operací

Pracovní operace	Datum provedení
Sklizeň předplodiny	15. 8. 2014
Podmítka	21. 8. 2014
Rozmetání hnoje	30. 10. 2014
Hluboká orba	30. 10. 2014
Zhutnění varianty 2	8. 11. 2014
Smykování	11. 11. 2014
Jarní hnojení	20. 3. 2015
Prokypření povrchu	23. 3. 2015
Předseťová příprava	27. 3. 2015
Setí	29. 3. 2015
Herbicidní aplikace T1	25. 4. 2015
Herbicidní aplikace T2	10. 5. 2015
Herbicidní aplikace T3	1. 6. 2015
Fungicidní aplikace	15. 7. 2015
Sklizeň	1. 10. 2015

Tabulka 2 - Hnojení

Typ	Hnojivo	Dávka
Rozmetání hnoje	Košský hnůj	40 t.ha ⁻¹
Jarní hnojení	Timac NPS	100 kg.ha ⁻¹
Jarní hnojení	Fosmag	100 kg.ha ⁻¹
Jarní hnojení	Mescal	200 kg.ha ⁻¹
Jarní hnojení	Draselná sůl	150 kg.ha ⁻¹
V průběhu vegetace	AmisaN	120 l.ha ⁻¹

Tabulka 3 - Aplikace přípravků na ochranu rostlin

Typ POR	Název	Dávka
Herbicid	Betanal maxxPro	1,2 l.ha ⁻¹
Herbicid	Betanal maxxPro	1,5 l.ha ⁻¹
Herbicid	Betanal maxxPro	1,5 l.ha ⁻¹
Herbicid	Safari 50 WG	30 g.ha ⁻¹
Fungicid	Sfera	0,3 l.ha ⁻¹

4.2.6 Charakteristika počasí

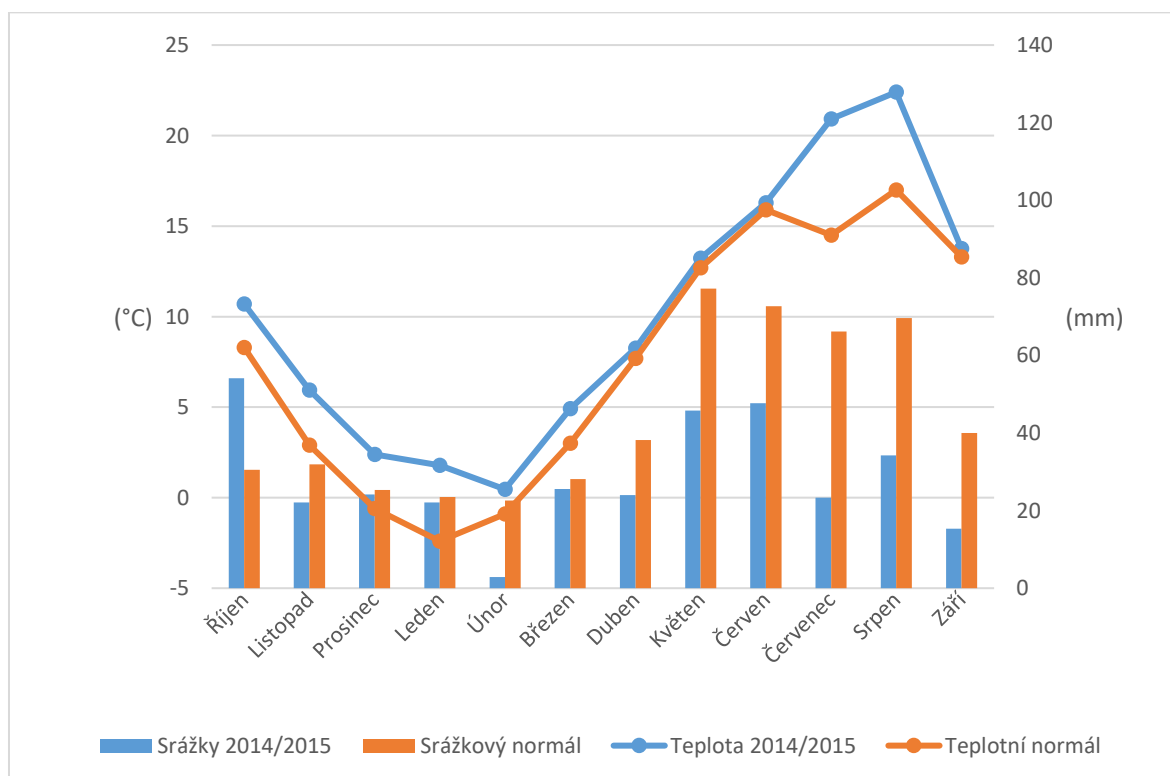
Tabulka 4 - Suma měsíčních srážek a průměrná teplota na pokusném stanovišti – chladný půlrok

		Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Chladný půlrok
Srážky (mm)	2014/2015	54,1	22,1	24,2	22,1	2,9	25,6	151,0
	Normál	30,5	31,9	25,3	23,5	22,6	28,1	161,9
Teplota (°C)	2014/2015	10,7	6,0	2,4	1,8	0,5	4,9	4,4
	Normál	8,3	2,9	-0,6	-2,4	-0,9	3	1,7

Tabulka 5 - Suma měsíčních srážek a průměrná teplota na pokusném stanovišti – teplý půlrok

		Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Teplý půlrok
Srážky (mm)	2015	24,0	45,8	47,7	23,4	34,2	15,4	190,4
	Normál	38,2	77,2	72,7	66,2	69,6	40	363,9
Teplota (°C)	2015	8,3	13,2	16,3	20,9	22,4	13,8	31,7
	Normál	7,7	12,7	15,9	14,5	17,0	13,3	60,7

Graf 1 - Grafické porovnání měsíčního úhrnu srážek (mm) a průměrné teploty (°C) agrometeorologického roku 2014/2015 s klimatologickým normálem



5. Výsledky

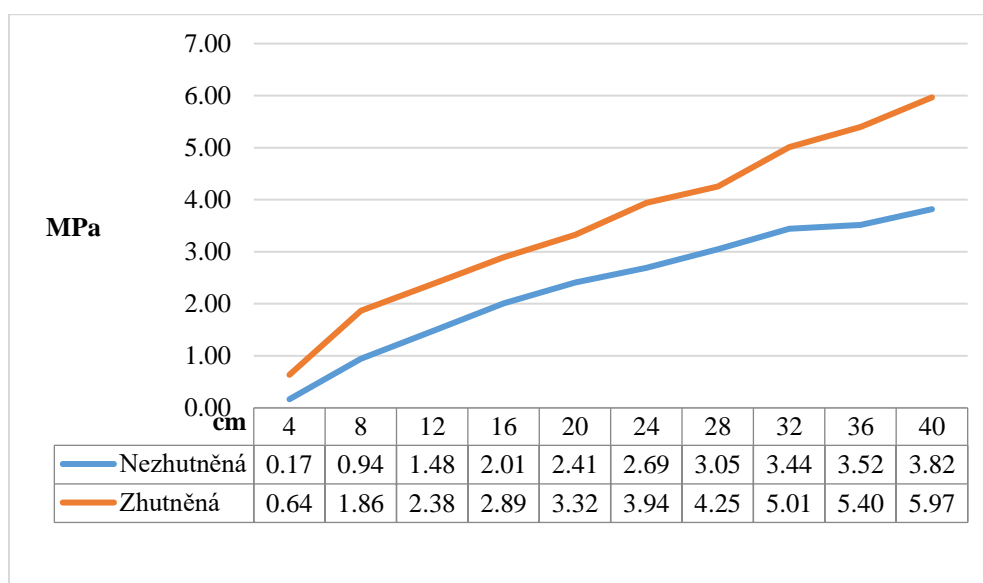
5.1 Hodnocení penetrometrického odporu a vlhkosti půdy v průběhu vegetace

Měření – 10. 4. 2015

Tabulka 4 - Vlhkost půdy v % (10. 4. 2015)

Vlhkost půdy	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
1. Nezhutněná	29,8	32,6	33,1	35,7
2. Zhutněná	31,3	36,4	32,3	31,6

Graf 2 - Penetrometrické měření 10. 4. 2015



První měření probíhalo ve velmi rané vývojové fázi cukrovky – BBCH 10.

Zhutněná varianta vykazuje vyšší hodnotu vlhkosti ve vrchní vrstvě půdy, to znamená do 20 cm, nezhutněná varianta má vyšší vlhkost v hloubce 30 cm a níže.

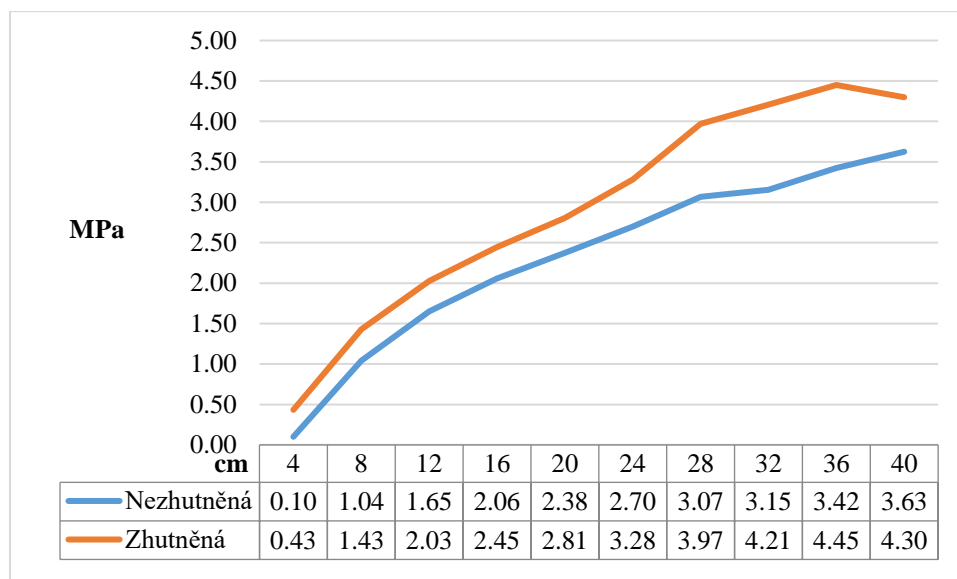
Penetrometrický odpor je v každé hloubce větší ve zhutněné variantě. Průměrně je odpor půdy ve variantě 2 o 1,21 MPa vyšší než ve variantě 1.

Měření - 3. 5. 2015

Tabulka 5 - Vlhkost půdy v % (3. 5. 2015)

Vlhkost půdy	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
1. Nezhutněná	29,1	31,3	34,0	34,7
2. Zhutněná	25,9	33,4	33,8	33,1

Graf 3 - Penetrometrické měření 3. 5. 2015



Druhé měření proběhlo v BBCH fázi cukrovky 14–18. Vlhkost půdy od 30 cm a hlouběji byla vyšší v nezhutněné variantě, současně byla naměřena u této varianty vyšší vlhkost půdy v nejsvrchnější vrstvě (10 cm). V této hloubce byla naměřená hodnota vyšší o 3,2 %. Jediná hloubka, která vykazovala vyšší vlhkost u zhutněné varianty byla ve 20 cm.

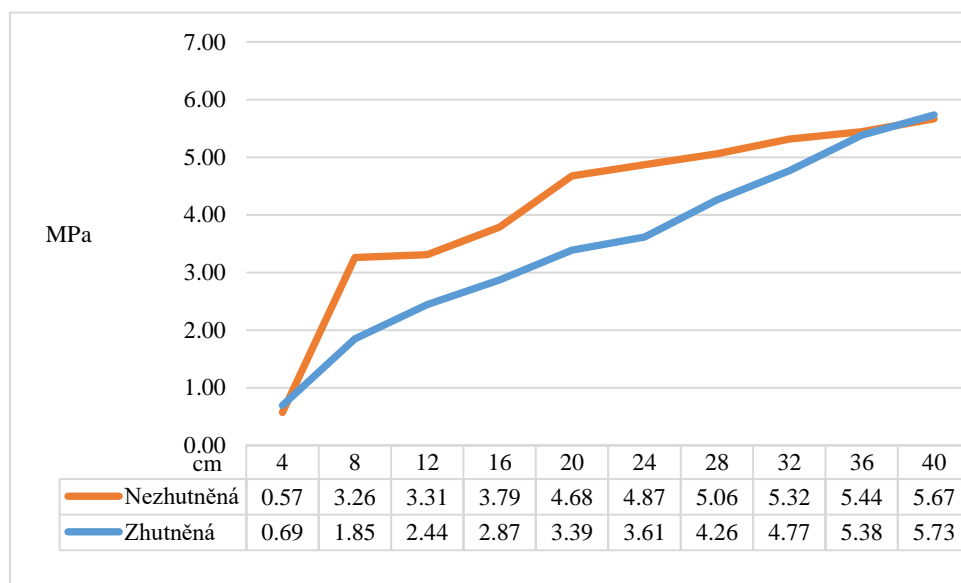
Penetrační odpor neužité varianty je v průměru menší o 0,68 MPa než penetrační odpor ve zhutněné variantě. V tomto měření jsou hodnoty nejpodobnější ze všech provedených měření.

Měření – 25. 6. 2015

Tabulka 6 - Vlhkost půdy v % (25. 6. 2015)

Vlhkost půdy	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
1. Nezhtutněná	17,8	20,4	18,0	20,3
2. Zhutněná	33,8	35,2	34,8	37,3

Graf 4 - Penetrometrické měření 25. 6. 2015



Třetí měření bylo provedené v době neúplného zakrytí řádky cukrovkou – BBCH 39.

Vlhkost půdy je v každé hloubce téměř dvojnásobná ve zhutněné variantě oproti nezhtutněné. Zatímco průměrná vlhkost půdy nezhtutněné varianty je 19,1 %, ve zhutněné variantě je vlhkost půdy v průměru 35,3 %.

Hodnoty penetrometrického odporu v nezhtutněné variantě přesahují ty ze zhutněné varianty. Odpor je podobný pouze v hloubce 4 cm a 40 cm. Nezhtutněná varianta má v průměru o 2,56 MPa větší hodnoty než zhutněná varianta.

5.2 Výnosové a kvalitativní parametry cukrové řepy

Tabulka 7 – Výnosové a kvalitativní parametry

	Varianta 1 (nezhutněná)	Varianta 2 (zhutněná)	Rozdíl	Varianta 2 Rel. (%)
Výnos bulev (t.ha ⁻¹)	64,4	34,2	-30,2	53,1
Výnos chrástu (t.ha ⁻¹)	20,3	15,3	-5,0	75,4
Cukernatost (%) _p	20,8	21,2	0,4	101,9
Obsah draslíku (mmol.100 g ⁻¹)	3,50	4,25	0,75	121,4
Obsah sodíku (mmol.100 g ⁻¹)	0,41	0,39	-0,02	95,1
Obsah α-aminodusíku (mmol.100 g ⁻¹)	2,44	2,00	-0,44	82,0
Výnos polarizačního cukru (t.ha ⁻¹)	13,4	7,3	-6,1	54,1
Teoretická výtěžnost (%)	18,9	19,1	0,2	101,1
Výnos bílého cukru (t.ha ⁻¹)	12,2	6,5	-5,7	53,4
Výnos bulev přepočtený na 16% cukernatost (t.ha ⁻¹)	87,4	47,5	-39,9	54,3
Mezerovitost (%)	97,3	90,7	-6,6	93,2

Ve výnosu bulev byly naměřeny značné rozdíly mezi oběma variantami. Na variantě 1 (nezhutněné) bylo naměřeno 64,4 t.ha⁻¹, oproti tomu na variantě 2 (zhutněné) byl zjištěn výnos bulev pouze 34,2 t.ha⁻¹, což je o 46,9 % méně než kontrolní, nezhutněná varianta. Výnos chrástu takový rozdíl nezaznamenal, na zhutněné variantě vyšel výnos o 24,6 % menší než na nezhutněné, tedy 15,3 t.ha⁻¹, respektive 20,3 t.ha⁻¹.

Cukernatost byla vyšší na zhutněné variantě (21,2 %) než na nezhutněné (20,8 %). Cukernatost tedy vyšla o 0,4 % vyšší na variantě 2 (zhutněné). Po přepočítání na 16% cukernatost vyšel výnos bulev nezhutněné varianty 87,4 t.ha⁻¹ a zhutněné varianty 47,5 t.ha⁻¹, to je o 45,7 % méně.

Výnos polarizačního cukru u nezhutněné varianty činil 13,4 t.ha⁻¹, u zhutněné varianty byl o 45,9 % menší, tedy 7,3 t.ha⁻¹.

Obsah melasotvorných látek byl zpravidla lepší na zhutněné variantě. Pouze hodnota draslíku byla horší ve zhutněné variantě (4,25 mmol.100 g⁻¹), než v nezhutněné (0,39 mmol.100 g⁻¹), rozdíl obsahu sodíku byl minimální, činil pouhých 4,9 %. Největší rozdíl obsahu melasotvorných látek mezi variantami byl naměřen u obsahu α-aminodusíku. Ten

u nezhutněné varianty vykázal hodnotu $2,44 \text{ mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, zatímco u zhutněné varianty byla hodnota přesně $2 \text{ mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Teoretická výtěžnost byla mírně vyšší u zhutněné varianty 19,1 %, což je pouze o dvě setiny vyšší hodnota, než vykázala nezhutněná varianta (18,9 %).

V mezerovitosti vykázala lepší hodnoty nezhutněná varianta, která měla sklizeno 97,3 % ze všech možných bulev. Naopak porost zhutněné varianty byl zapojen jen z 90,7 %.

6. Diskuze

První ani druhé měření penetrometrického odporu a vlhkosti půdy v průběhu vegetace nezaznamenalo výrazné odchylky. Avšak při posledním měření v průběhu vegetace dne 25. 6. 2015 byla naměřená průměrná vlhkost půdy varianty 1 (nezhutněné) menší o 16 % než vlhkost půdy varianty 2 (zhutněné). Z toho vyplývá, že cukrovka si v nezhutněné variantě odebrala více vody než cukrovka ve variantě zhutněné, nebo že v nezhutněné variantě došlo k větším ztrátám vody v průběhu vegetace.

Cukrovka si skutečně odebrala více vody v nezhutněné variantě, neboť její konečný výnos bulev byl téměř dvojnásobný oproti výnosu bulev zhutněné varianty. S větším výnosem bulev se pojí i vyšší příjem vody. Je ale také pravděpodobné, že díky větší prokypřenosti povrchu došlo k vyššímu výparu vody z této varianty, takže nejpravděpodobněji došlo ke kombinaci obou faktorů.

U posledního měření v průběhu vegetace došlo k výraznému navýšení hodnot penetrometrického odporu nezhutněné varianty. Toto zvýšení bylo tak veliké, že dokonce nezhutněná varianta vykazovala vyšší penetrometrický odpor půdy než nezhutněná. Na tomto výsledku se pravděpodobně projevil zmíněný pokles vlhkosti. Dalším důvodem může být množství podzemní hmoty u obou variant. Podle Kocha et al. (2008) se rozdíly výnosů zhutněných částí polí a nezhutněných diferencují spíše v počátečních fázích vegetace, nejpozději do srpna, pak je přírůstek obou pokusů podobný. Proto můžeme předpokládat, že již v době posledního měření byl rozdíl podzemní hmoty v půdě stejně veliký, z čehož vyplývá, že bulvy cukrovky u nezhutněné varianty působily větším tlakem na okolní půdu než varianta zhutněná. Tím zvyšovala hodnoty penetrometrického odporu půdy.

Z konečných výsledků je vidět, jakou měrou se na výnosu cukrovky může podílet zhutnění půdy. Na zhutněné variantě je přepočtený výnos na 16% cukernatost menší o 45,7 % oproti nezhutněné variantě. Kdybychom počítali cenu 700 Kč.t⁻¹ bulev činí finanční rozdíl 27 930 Kč.ha⁻¹. Je nutné si ale uvědomit, že na zhutněné půdě přibývají náklady na zpracování půdy, tudíž by finanční ztráta byla ještě výraznější.

Podle Geblera et al. (2016) je rok 2015 z meteorologického hlediska výjimečný. Prakticky každý měsíc byl výrazně teplejší oproti dlouhodobému normálu, a naopak srážky byly nižší než dlouhodobý průměr. Počasí během vegetačního období výrazně ovlivnilo kvalitu a výnos cukrovky. Na jedné straně bylo důvodem zvýšené cukernatosti, na druhé straně výrazně snížilo výnos bulev, což se promítlo i do celkově sníženého výnosu polarizačního cukru.

Podle konečných výsledků řepné kampaně 2015/2016 byl průměrný výnos řep sklizených na výrobu cukru 57,22 t.ha⁻¹. Výnos nezhutněné varianty (64,4 t.ha⁻¹) byl tedy ve srovnání s průměrným výnosem tohoto roku vyšší, naopak ve zhutněné variantě (34,2 t.ha⁻¹) výnos výrazně klesl pod průměrnou hodnotu. Na těchto výsledcích mají podle Geblera et al. (2016) největší podíl chybějící srážky v období od dubna do září.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat přehled literatury o vlivu utužení a zpracování půdy na výnos a kvalitu řepy cukrové. V rámci bakalářské práce byl rovněž proveden polní pokus sledující vliv zpracování a zhutnění půdy na produkci cukrovky.

V průběhu vegetace byla provedena 3 měření penetrometrického odporu půdy a současně stanovena vlhkost půdního profilu. V říjnu byl pokus ručně sklizen a vyhodnocen.

Z provedeného jednoletého pokusu je jasně patrný výrazný vliv zhutnění půdy na výnos cukrovky. Zhutněná varianta vykazovala výnos bulev $34,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, oproti tomu výnos bulev na nezhutněné variantě byl téměř dvojnásobný ($64,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Varianta 2 (zhutněná) vykazovala naopak vyšší procento cukernatosti – 21,2 %, přestože varianta 1 (nezhutněná) měla nadprůměrnou hodnotu (20,8 %). Také teoretická výtěžnost byla vyšší u zhutněné varianty (19,1 %) než u varianty nezhutněné (18,9 %). Naopak výnos bílého cukru, jako další kvalitativní parametr, vykazoval u zhutněné varianty hodnotu $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, to je o $5,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ méně než u varianty nezhutněné ($12,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Výnos bulev přepočtený na 16% cukernatost, pro zemědělce nejdůležitější faktor, vychází u nezhutněné varianty $87,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, čímž převyšuje variantu zhutněnou o $39,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, neboť u ní byla naměřena hodnota pouhých $47,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Kdybychom započítali průměrnou cenu za tunu řepy 700 Kč, ztráta by na zhutněné půdě činila $27\,930 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}$.

8. Seznam literatury

Anon. 2017. Sugar World Markets and Trade [online]. 5th November 2017 [cit 2018-04-01]. Dostupné z < <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/sugar.pdf>>.

Badalíková, B., Červinka, J. 2008. Různé technologie zpracování půdy k cukrovce a jejich vliv na obsah půdního humusu a výnos plodiny. Listy Cukrovarnické A Řepařské. 124(11). 306-310.

Brtnický, M., Vopravil, J., Hladký, J., Khel, T., Novák, P., Kynický, J. 2012. Degradace půdy v České republice. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. 91 s. ISBN: 9788087361207.

Cooke, D. A., Scott, R. K. (eds.). 1993. The Sugar beet crop: science into practice. Chapman and Hall. New York. p. 675. ISBN: 0412251302.

Draycott., A. P. (ed.). 2006. Sugar beet. Blackwell Pub. Oxford. p. 474. ISBN: 140511911X

Gebler, J., Kožnarová, V., Hájková, L. 2016. Zpráva o cukrovarnické kampani 2015/2016 v České republice. Listy Cukrovarnické A Řepařské. 132(7-8). 252-258.

Heřmanský, J. (1986). Cukrovka jako specializovaná plodina v zemědělské soustavě. Požadavky na základní zpracování půdy. In: Cukrovka v soustavě hospodaření v půdě. Vysoká škola zemědělská. Praha. s. 37-46.

Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F. 1997. Zpracování půdy. Brázda. Praha. 140 s. ISBN: 8020902651

Hůla, J., Mayer, V. 1999. Technologické systémy a stroje pro zpracování půdy. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR. Praha. 35 s. ISBN: 807105187X

Chochola, J., Konečný, I. 1992. Pěstování cukrovky. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Praha. 111 s.

Koch, H. J., Heuer, H., Tomanova, O. 2008. Cumulative effect of annually repeated passes of heavy agricultural machinery on soil structural properties and sugar beet yield under two tillage systems. *Soil And Tillage Research*. 101(1). 69-77.

Kovaříček, P. 2014. Systém hospodaření s cílem omezit nežádoucí zhutnění půdy a zvýšit propustnost půdy pro vodu: uplatněná certifikovaná metodika. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. 40 s. ISBN: 9788086884783

Kozák, S. 2000. Stav a perspektiva pěstování cukrovky a cukrovarnictví v ČR a ve světě. In: *Řepářství 2000*. Česká zemědělská společnost. Praha. s. 115-117. ISBN: 8021305908.

Krebstein, K., von Janowsky, K., Kuht, J., Reintam, E. 2014. The effect of tractor wheeling on the soil properties and root growth of smooth brome. *Plant Soil Environment*. 60(2). 74-79.

Kvíz, Z., Kroulík, M., Chyba, J. 2014. Machinery guidance systems analysis concerning pass-to-pass accuracy as a tool for efficient plant production in fields and for soil damage reduction. *Plant Soil Environment*. 60(1). 36-42.

Lhotský, J. 2000. Zhutňování půd a opatření proti němu. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 61 s. ISBN: 8072710672.

Loch, T., Zlínský, M., Kroulík, M., Hůla, J. Satelitní navigace a cukrová řepa [online]. *Zemědělec*. 8. srpna 2008 [cit. 2018-02-08]. Dostupné z <<http://zemedelec.cz/Satelitni-navigace-a-cukrova-repa>>.

Marinello, F., Pezzuolo, A., Cillis, D., Chiumenti, A., Sartori, L. 2017. Traffic effects on soil compaction and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) taproot quality parameters. *Spanish Journal Of Agricultural Research*. 15(1). 1-8.

Ministerstvo zemědělství ČR. 2018. Statistika komodity cukr: cukrová řepa v České republice [online]. 15. března 2018 [cit 2018-04-02], Dostupné z <<http://www.cukr-listy.cz/dokumenty/mze/statistika-CZ-15032018.pdf>>.

Petříková, K., Pokluda, R., Koudela, M. 2012. Omezení negativních důsledků vláhového deficitu na hospodářské ukazatele zeleniny. Mendelova univerzita. Brno. 50 s. ISBN: 9788073756741

Pulkrábek, J., Urban, J., Bečková, L., Valenta, J. 2007. Řepa cukrová: pěstitelský rádce. Kurent. Praha. 67 s. ISBN: 9788087111000.

Pulkrábek, J., Urban, J., Jedličková, M. 2015. Vliv podzimního zpracování půdy na zhutnění půdy v počátcích vegetace cukrové řepy. Listy Cukrovarnické A Řepařské. 131(9-10). 272-278.

Reinbergr, O. 2017. Návrat českého cukrovarnictví do liberálního prostředí. Listy Cukrovarnické A Řepařské. 132(5-6). 166-169.

Rybáček, V. 1985. Cukrovka. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 471 s.

Soane, B. D., Ouwerkerk, C. van. 1994. Soil compaction in crop production. Elsevier. London. p. 662. 0444882863

Šimon, J. 1986. Zhutňování půdy a výnosy polních plodin. Vědeckotechnický rozvoj v zemědělství. Praha. 38. s.

Švachula, V., Pulkrábek, J., Šroller, J., Zahradníček, J. 2006. Ohlédnutí za 175 lety českého řepářství. In: Kompendium vybraných poznatků při pěstování jarního sladovnického ječmene a cukrovky p. 114. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 8021314613.

Trnková, J., Froněk, D. 2017. SOT s cukrem na prahu bezkvótového období: Část 1. Příprava, přijetí a zrušení kvótového systému. Listy Cukrovarnické A Řepařské. 133(7-8). 217-221.

Uhlíř, J. B. 1869. Jak lze nejvyšší výnos cukrovky co do množství i co do jakosti docílit?. Tisk S. Pospíšila. Chrudim. 8 s.

Woźniak, A., Gos, M. 2014. Yield and quality of spring wheat and soil properties as affected by tillage system. *Plant Soil Environment*. 60(4). 141-145.