

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půdy



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv způsobu hospodaření na zhutnění půd v černozemní
oblasti**

Bakalářská práce

Tomáš Hrdlička

Rostlinná produkce

Vedoucí práce doc. Ing. Vít Penížek, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv způsobu hospodaření na zhutnění půd v černozemní oblasti" 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 Libochovicích dne 3. 5. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vítu Penížkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky, pomoc a trpělivost při zpracování této bakalářské práce. Poděkování bych touto cestou rád věnoval i soukromým zemědělcům Lence Kubešové, Miroslavu Panskému a hlavnímu vedoucímu rostlinné výroby zemědělského podniku ZEPOS a. s. Pavlu Procházkovi za možnost měření a odběru půdních vzorků na jejich pozemcích.

Vliv způsobu hospodaření na zhutnění půd v černozemní oblasti

Souhrn

Jedním z nejvýznamnějších degradačních procesů půdy je její zhutnění. Jde o často antropogenně podmíněný špatný fyzikální stav půdy, kdy oproti přirozenému stavu dochází k snížení pórovitosti a tím nárůstu objemové hmotnosti v důsledku působení tlaku na půdu. Mimo přirozeně zhutnělých půd, je obecně odhadováno, že v České republice je ohroženo 45 % zemědělsky využívaných půd. Zhutňování půd má negativní vliv na půdní úrodnost, ale i další mimoprodukční funkce. Jedním z faktorů mající vliv na možné zhutnění půd je způsob jejího obhospodařování.

Práce se zaměřuje na zhodnocení míry zhutnění půd pod klasickým orebným obhospodařováním a využíváním minimalizační bezorebné technologie. Výzkumné plochy tvoří 6 pozemků s černozeměmi modálními na slínu v klimaticky teplém a suchém regionu dolního Poohří. Stanovení utužení půdy bylo provedeno na základě měření penetrometrického odporu pomocí penetrometru firmy Eijkelkamp. Celkem bylo provedeno 180 měření v hloubkovém intervalu 0-80 cm.

Zjištěné výsledky ukázaly, že existují statisticky významné rozdíly v hodnotách penetračního odporu u sledovaných technologií zpracování půdy. U bezorebného zpracování je nižší penetrometrický odpor ve svrchní části půdního profilu, naopak u orby jsou hodnoty penetrometrického odporu nižší v hloubce pod 40 cm. Ani u jedné z technologií zpracování půdy nebylo v rámci měření zjištěno překročení kritické hodnoty 3,5 KPa používané pro označení půd jako zhutněných.

Na základě získaných dat a zpracovaných výsledků nelze prohlásit, který systém je na daném půdním typu vhodnější využívat z pohledu zhutnění půd.

Klíčová slova: zhutnění půdy, orba, bezorebné technologie, černozem, penetrometrický odpor

Influence of land management on soil compaction in Chernozem region

Summary

Soil compaction is one of the most important soil degradation processes. It causes a poor physical condition of soils, when compared to the natural state there is a decrease in porosity and thus an increase in bulk density due to the pressure on a soil. Apart from naturally compacted soils, it is estimated that 45 % of agricultural land in the Czech Republic is degraded by man-made compaction. Soil compaction has a negative effect on soil fertility, but also on other non-productive functions. One of the factors influencing the possible compaction of soils is the way it is managed.

The bachelor thesis focuses on the assessment of the soil compaction under conventional tillage management and the use of no-till technology. The research area comprises of 6 plots with chernozem in the climatically warm and dry region of the Lower Poohří. The determination of soil compaction was performed on the basis of measuring the penetrometric resistance using a penetrometer from Eijkelkamp company. A total of 180 measurements were performed for a depth interval 0-80 cm.

The obtained results showed that there are statistically significant differences in penetration resistance values between the two soil management technologies. For no-till tillage, the lower penetrometric resistance is in the upper part of the soil profiles. Penetrometric resistance values are lower below 40 cm under conventional tillage. None of the two technologies showed that the measurement exceeded the critical value of 3.5 KPa.

Based on the obtained data and processed results, it is not possible to state which system is more suitable to use on a given soil type from the point of view of soil compaction.

Keywords: soil compaction, conventional tillage, no-till system, chernozem, penetration resistance

Obsah

Obsah	6
1 Úvod.....	I
2 Cíl práce	II
3 Literární rešerše	III
3.1 Zhutnění půdy	III
3.1.1 Příčiny zhutnění	IV
3.1.2 Důsledky zhutnění půd	V
3.1.3 Negativní vliv na půdní vlastnosti	V
3.1.4 Negativní vliv na zemědělskou produkci	VI
3.2 Stanovení zhutnění půd	VII
3.2.1 Nepřímé projevy utužení půd	VII
3.3 Morfologické znaky půd	VIII
3.4 Půdní charakteristiky	VIII
3.4.1 Objemová hmotnost.....	VIII
3.5 Penetrometrický odpor.....	IX
3.6 Opatření proti zhutnění.....	X
3.6.1 Preventivní a nápravné prostředky	XI
3.7 Zpracování půdy	XI
3.7.1 Bezorebné technologie Minimalizační zpracování půdy.....	XII
3.7.2 Podmítka.....	XII
3.7.3 Orba	XIV
3.8 Černozemě	XV
4 Metodika.....	XIX
4.1 Charakteristika území	XIX
4.1.1 Schéma měření a měřené plochy	XIX
5 Výsledky	XXVII
5.1 Zhodnocení penetrometrického odporu na pozemcích	XXVII
6 Závěr.....	XLII
7 Literatura.....	XLIII
8 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	XLV
Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Půda, jakožto jediný a zatím nezastupitelný přírodní útvar, který je primárním producentem biomasy, a tedy i producentem lidské obživy a výživy zvířat. Její zdroje jsou omezené, a proto je potřeba ji chránit před degradací, aby mohla plnit své funkce. Jedním z nejvýznamnějších degradačních procesů půdy je její zhutnění. Zhutnění půd (také označováno jako utužení půd, či pedokompakce) znamená špatný fyzikální stav půdy, kdy oproti přirozenému stavu dochází k snížení pórovitosti a tím nárůstu objemové hmotnosti v důsledku působení tlaku na půdu.

Mimo přirozeně zhutnělých půd, je obecně odhadováno, že člověkem vyvolaného zhutnění je ohroženo našich přibližně 45 % zemědělsky využívaných půd.

Zhutňování půd má negativní vliv na půdní úrodnost. Kdy při překročení určitých hodnot se může snižovat výnos kulturních rostlin pěstovaných na těchto půdách. Na vyšší zhutnění reagují jednotlivé druhy odlišně. Při zhutnění půd dochází ke změnám půdní struktury, a to až ke změnám vratným, tak ke změnám nevratným. Tím pádem může dojít ke stálé změně půdního prostředí a ke stálému snížení výnosů zemědělských plodin.

Utužením půdy se může výrazným způsobem snížit schopnost infiltrace a vodní jímavost půd, tím dochází ke zvýšenému povrchovému odtoku vody, která sebou odnáší jednotlivé půdní frakce, případně půdní agregáty různých velikostí.

Míra zhutnění půdy závisí na mnoha faktorech. Jedním z nich i způsob obhospodařování půd. Cílem této práce je ověřit, zda existují rozdíly ve zhutnění mezi plochami obhospodařovanými tradičními zemědělskými technologiemi a bezzemními minimalizačními technologiemi, která v posledním období zažívá značný rozvoj. Možný vliv obhospodařování byl zaměřen na černozemě, které obecně představují půdy s velkou přirozenou odolností vůči utužení.

2 Cíl práce

Práce se zaměřuje na zhodnocení míry zhutnění (pedokompakce) půd při různém způsobu obhospodařování. Porovnává míru zhutnění půd při klasickém obhospodařování orbou a při využívání minimalizační bezorebné technologie. Práce je zaměřena na vliv odlišných technologií obdělávání v černozemním, klimaticky teplém a suchém regionu dolního Poohří.

Hypotéza:

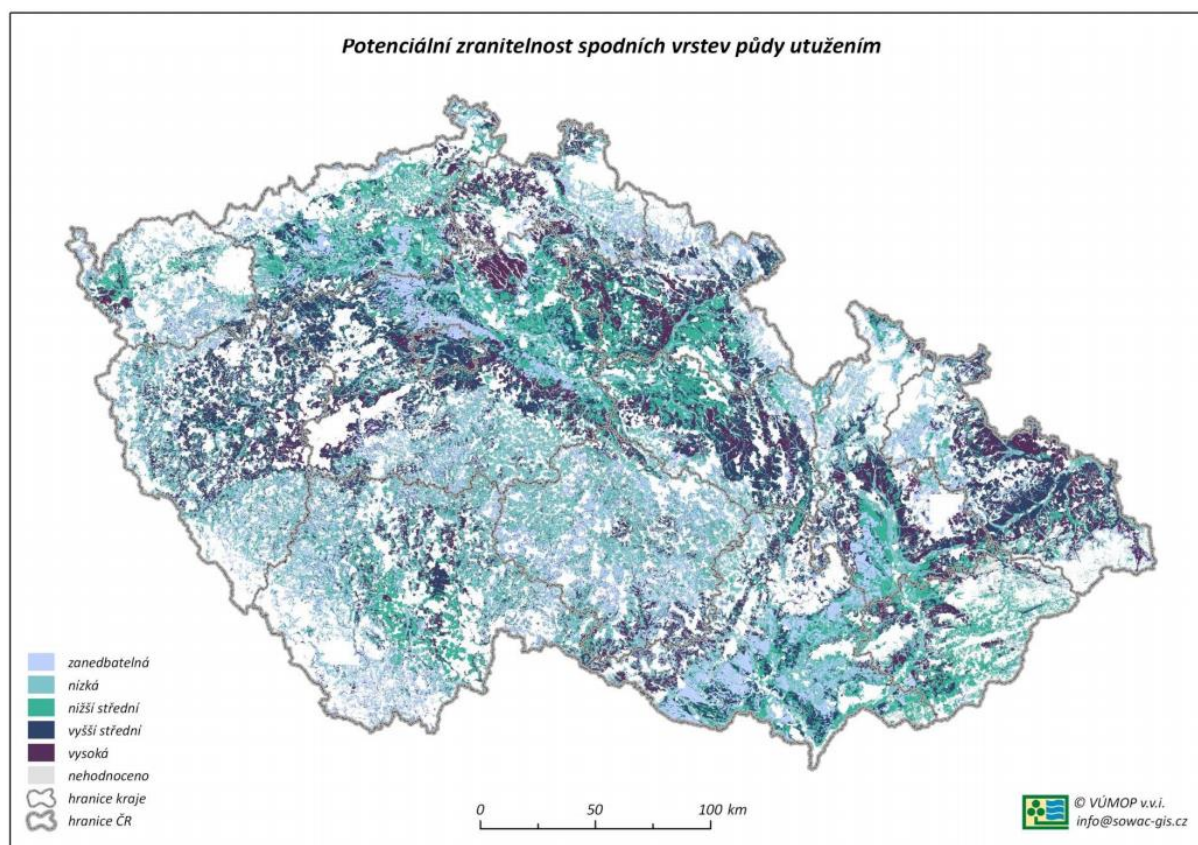
Odlišný způsob obhospodařování půdy má výrazný vliv na fyzikální vlastnosti půd a tím i dopad na zhutnění půd.

3 Literární rešerše

3.1 Zhutnění půdy

Zhutnění půd (také označováno jako utužení půd, či pedokompakce) znamená špatný fyzikální stav půdy, kdy oproti přirozenému stavu dochází k snížení pórovitosti a tím nárůstu objemové hmotnosti v důsledku působení tlaku na půdu. Zhutnění je fyzikální poškození zemědělské půdy, při němž se zmenšuje její objem a snižuje její pórovitost, prostor pro vodu a vzduch (Šarapatka 2002). K tomuto procesu degradace půd dochází jak přirozeně, tak je často akcelerován působením člověka na půdu. V našich podmínkách jsou postiženy přirozeným utužením půd především těžké, jílovité půdy. Antropogenní utužení, které je dáno především působením těžké zemědělské techniky je možné pozorovat i na všech ostatních půdách v zavislosti na lokálních podmínkách. Zhutnění půdy je také možné pozorovat na pastvinách, kde je výsledkem přílišného zatížení ploch pasoucími se hospodářskými zvířaty.

Náchylnost půd k zhutnění je dáno několika faktory. Jedná se o fyzikální, chemicko-fyzikální a chemické vlastnosti půd jako je zrnitost půdy, kdy těžší půdy s vyšším podílem jílových částic mají nižší odolnost oproti půdám s vyšším zastoupením písčité frakce, vlhkost půdy, kdy v provlhčené půdě se snižuje koheze a tím se umožňuje půdním agregátům a zrnům změna polohy a proto se zvyšující se vlhkostí se zvyšuje možnost kompakce půdy, množství a kvalita organických látek, kdy minerální půdy mají nižší schopnost odolávat zhutnění oproti organickým půdám nebo obsah uhličitánů, kdy půdy s nízkým obsahem (kyselé půdy) mají menší schopnost odolávat utužení z hůře méně vyvinuté půdní struktury. Po shrnutí výše uvedených faktorů jsou nejvíce ohrožené půdy přemokřené, kyselé, málo strukturní a v neposlední řadě s nízkým obsahem humusu (Šarapatka 2014). Zranitelnost půd vůči utužení v České republice je zachycena na obrázku 1.



Obrázek 1. Potenciální zranitelnost spodních vrstev zemědělské půdy utužením (Zdroj: VÚMOP 2021)

Náchylnost půd k zhutnění může být dále prohlubována nevhodným hospodařením na půdě, které prohlubuje dané vlastnosti, jako jsou nevhodné osevní postupy, ale i způsoby obdělávání. K vlastnímu zhutnění půdy pak dochází při překročení limitních hodnot tlaku, které působí na půdní matici a dochází k jejímu stlačení. Výše tlaku, který je limitní, závisí na výše uvedených vlastnostech půdy. Na konkrétním pozemku s daným půdním typem o daných půdních vlastnostech je pak obvykle rozhodující vlhkost půdy.

Je důležité si uvědomit, že zhutněním půd může zasahovat do relativně velkých hloubek. Nadměrné zatěžování půdy ovlivňuje nejen orniční vrstvu, kterou lze znovu nakypřit, ale i podorniční vrstvu, kam běžná agrotechnika nezasahuje a tím se vytváří takzvané podorniční prahy. V současné době je půda dlouhodobě degradována pedokompakcí právě v hlubších podorničních horizontech. Toto utužení je odstranitelné v delších časových úsecích. Funkčnímu řešení této vážné problematiky se věnuje v zemědělské praxi jen malá pozornost. Tímto pedokompakce směřuje k plošnému rozsahu a degradace se tím zvyšuje (Javůrek & Vach 2008).

3.1.1 Příčiny zhutnění

Dle odborného odhadu je v ČR postiženo zhutněním zhruba 45 % zemědělské půdy, z toho 15 % je zhutnění přirozené (genetické), dané přirozenými vlastnostmi těžkých půd. Ke genetickému zhutňování může docházet změnami objemu v jílovitých půdách (bobtnáním) či pedogenetickými procesy jako je ucpávání pórů způsobené přesunem jemných částic, například ilimerizací (Lhotský 2000).

Zbývající podíl je přisuzován antropogennímu zhutnění při přejezdech mechanizace. Hlavní příčiny utužení půdy jsou přejezdy těžké techniky při sklizni a kultivaci půdy za nevhodných

vláhových podmínek. Stlačování půdy je také rozdílné v jednotlivých ročních obdobích (Hůla 2001). Dle Kopeckého (1928) má nejvýznamnější vliv na půdní strukturu voda, kdy v půdě při vysoké vlhkosti dochází k rozplavování půdních agregátů, tím k rozpadu půdní struktury a při následném přejezdu pak kvůli nepřírozenému uspořádání půdních částic dochází ke zhutnění půdy. Přejezdy zemědělské techniky jsou škodlivé, když je na půdu vyvíjen tlak větší než 80 kPa. Tlaky do 150 kPa pak slabě poškozují i podorničí. Vyšší tlakymají negativní vliv jak na ornici, tak i podorničí. Traktory s kontaktními tlaky 250-500 kPa působí do hloubky cca 50 cm (Šarapatka 2002). Stejně tak mají výrazný vliv opakované pojezdy. Hůla et al. (2021) ve své studii zjistili, že objemová hmotnost (jeden z ukazatelů utužení – viz kapitola výsledky a diskuse tab. 1) se zvýšila po jednom pojezdu z $1,12 \text{ g.cm}^{-3}$ na $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$, ale po 8 pojezdech na $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$.

Mezi další vlivy zapříčiňující degradaci půdní struktury a následné utužení lze řadit závlahu půdy, pěstování monokultur s nízkým nebo žádným zastoupením víceletých pícnin v osevním postupu, vysoké hnojení draselnými hnojivými, acidifikace půdy a úbytek půdní organické hmoty a nevhodnou kultivaci (např. orba na stejnou hloubku) (Lhotský 2000). Právě problematika možného vlivu různých způsobů kultivace na zhutnění půdy je s ohledem na zaměření práce podrobně rozpracována v samostatné kapitole **Zpracování půdy**.

3.1.2 Důsledky zhutnění půd

Zhutnění půdy přináší mnoho negativních dopadů jak na vlastní půdu, tak na další složky životního prostředí a samozřejmě na zemědělskou produkci. Z hlediska půdních vlastností jsou nejpatrnější přímé dopady na fyzikální vlastnosti půd, ale stejně tak následně dochází k negativním vlivům na vlastnosti chemické i biologické. Při překročení limitních hodnot degradace fyzikálních vlastností dochází ke škodlivému působení na edafon a rostliny v půdě a dochází k neefektivnímu využití aplikovaných hnojiv (Lhotský 2000).

S degradací půdních vlastností jsou spojena závažná ekologická rizika, například zvýšený povrchový odtok vody a s tím související nebezpečí vodní eroze půdy a kontaminace vodních zdrojů (Hůla 2001).

Lhotský (2000) ve své publikaci uvádí, že důsledkem je především stagnace výnosů (citelná především u náročných plodin, například u cukrovky), ale i celková degradace půdních vlastností, zhoršení až ztráta struktury, zhutnění a ztráta přirozené drenážní způsobilosti. Zhoršuje podmínky pro ekologické fungování půd. Zhutnění lze z praktického hlediska definovat těmito parametry: intenzitou, hloubkou a mocností zasažených vrstev a plošným rozšířením.

3.1.3 Negativní vliv na půdní vlastnosti

3.1.3.1 Fyzikální vlastnosti

Dle Lhotského (2000) má zhutňování půdy za následek zvýšení objemové hmotnosti a s tím související snížení pórovitosti a značně omezené propustnosti, půda nadále trpí ztrátou

struktury, kdy kompakce ničí půdní agregáty. Je omezen pohyb vody a vzduchu, což ovlivňuje jejich obsah v rámci půdních horizontů.

Nadměrné zhutnění zvyšuje energetickou náročnost při běžném obdělávání, zejména při orbě. Řada autorů zjistila, že za posledních 30 let se v důsledku zhutnění středně těžkých a těžkých půd zvýšil orební odpor v průměru o 30 %, na souvratích až o 80 %. Tato skutečnost se zákonitě promítá do zvýšené spotřeby pohonných hmot a do vyšších nákladů na orbu. Při odstraňování půdního zhutnění podorniční vrstvy půdy (dlátování, hloubkové kypření) se energetická náročnost dále výrazně zvyšuje. Při nápravě zhutnění v podorničí činí spotřeba nafty na hloubkové meliorační kypření do 0,65 m zhruba 45 l.ha⁻¹ (Javůrek a Vach 2008).

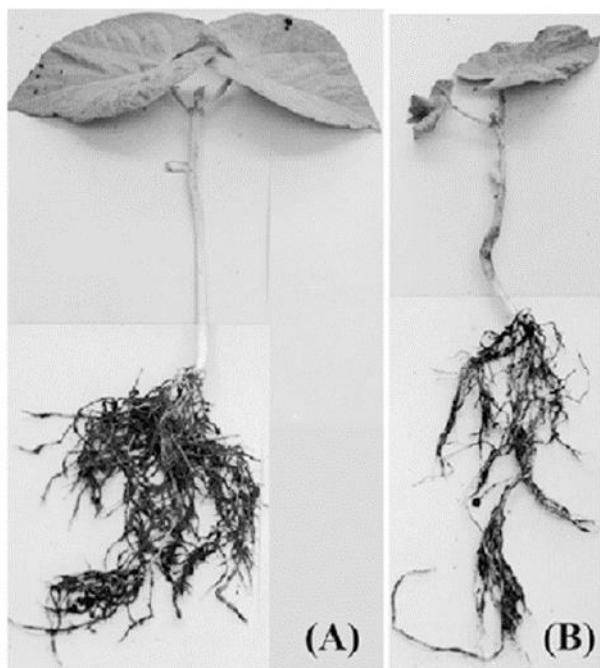
3.1.3.2 Biologické vlastnosti

Při vyšším zhutnění půdy se omezuje zejména půdní mezoedafon (dešťovky, chvostokoci, členovci aj.), kteří jsou spolutvůrci drobtovité struktury půdy. Vytvářejí chodbičky, vylučují stabilizující látky pro tvorbu půdních drobtů. Tím zvyšují pórovitost a propustnost půdy pro vodu a vzduch (Javůrek a Vach 2008). Utužení pak nemá často vliv na počet, ale složení mesoedafonu (žížal), tak jak ukázal ve své studii např. Pižl (1992).

Dopady zhutnění nezasahují pouze mesoedafon, ale i mikroedafon. Mikroedafon je tvořený zástupci jednobuněčných organismů, především bakterií a prvoků, kteří převážně patří mezi aerobní organismy. Jejich rozvoj je podmíněn nejen dostatečnou zásobou organických látek v půdě, ale i dobrou provzdušeností a vlhkostí. Půdní mikroedafon se podílí na důležitých procesech přeměn organických i minerálních látek (Hůla 2001).

3.1.4 Negativní vliv na zemědělskou produkci

Stejně jako má zhutnění půd nežádoucí dopady na půdní vlastnosti, tak se tyto přenášení na vlastní produktivitu (úrodnost) půd. Zhoršení fyzikálního stavu půd (tj. snížení pórovitosti a nárůst objemové hmotnosti) vede k omezenému rozvoji kořenového systému rostlin. U plodin, které vytvářejí hlavní kůlový kořen (řepka olejka, sója, slunečnice) se jeho růst omezuje tím, že kořen neproniká zhutnělou vrstvou do podorničí, roste víceméně horizontálně a deformuje se (Hůla 2001). To má za následek omezený přístup rostlin k vodě a živinám. Pro dosažení maximální produktivity rostlin se udává objemová hmotnost lehčích půd obvykle v rozmezí 1,2–1,3 g.cm⁻³, středně těžkých půd 1,3–1,4 g.cm⁻³ a těžkých půd 1,4–1,5 g.cm⁻³. Na půdách zhutnělých nad uvedené hraniční hodnoty rostliny mělce zakořeňují, narušuje se morfologická stavba kořenů apod. (Mulholland et al. 1996). Dále se zpomaluje růst a přesáhne-li objemová hmotnost půdy 1,8 g.cm⁻³, růst se zastavuje (Pulkrábek et al. 2015). Rozdíl růstu kořenového systému v půdě bez zhutnění a v půdě zhutnělé je zachycen na obrázku 2.



Obrázek 2. Rozdíl v růstu rostliny v půdě bez zhutnění (A) a půdě zhutnělé (B), (Převzato z: Alessa a Earnhard 2000).

Kromě omezeného růstu kořenů, které jsou důležité pro výživu rostlin, jsou obzvláště citlivé plodiny, jejichž produkční orgány rostou v půdě, ať už v podobě kořenu (řepa cukrovka) nebo hlíz (brambory). U těchto plodin jsou hospodářské ztráty z důvodu zhutnění půd nejvýraznější. Například Huntenburg et al. (2021) popsal pokles výnosu brambor na utuženém pozemku o 31 % oproti neutužené kontrole.

3.2 Stanovení zhutnění půd

Pro stanovení zhutnění půd existuje mnohopostupů, které je možné rozdělit podle jejich přesnosti stanovení či principů. V některých případech jsou hodnoceny nepřímé projevy, tj. například projevy vegetace, jindy jsou hodnoceny pouze morfologické znaky půd z nichž lze utužení usuzovat. Nepřesnější je stanovování fyzikálních vlastností půd, které mohou kvantifikovat velikost utužení.

3.2.1 Nepřímé projevy utužení půd

Nepřímé projevy zhutnění půdy lze sledovat s ohledem na sníženou pórovitost a s tím související infiltraci na rovinatých pozemcích v podobě periodické stagnace vody (Sáňka et al. 2018). Často jsou tyto projevy nejvíce patrné na souvracích pozemků, kde je zhutnění půdy obvykle nejvýraznější. Stagnace vody je buď přímo pozorovatelná, nebo je možné vidět omezený růst rostlin v důsledku stresu z převlhčení a nedostatku kyslíku.

Stejně tak je možné v utužených částech půdního profilu sledovat deformace v růstu kořenů, či znatelně omezený růst kořenů, který je soustředěn na povrchy pedů (hrud) a nepronikání jemnějších kořenů do středu půdních agregátů (Pavlů 2018).

3.3 Morfologické znaky půd

Orientačně je možné zjistit indikaci utužení podle typu struktury povrchových agregátů. Ty by měly mít spíše drobtovitý, kulovitý charakter (Khel & Vopravil 2015). V utužených částech půdního profilu se setkáváme s typicky výrazně vyvinutou polyedrickou půdní strukturou, nebo s deskovitou půdní strukturou (viz Obr. 3). Deskovitá půdní struktura je typická pro tzv. orební dno („plough pan“) – tedy hloubku půdy, která je hranicí orby.



Obrázek 3. Ukázka deskovité půdní struktury a obrůstání pedů kořeny rostlin.

S mírou utužení také obvykle narůstá pevnost půdních agregátů a kyprý, či soudržný půdní materiál se přeměňuje na ulehlý až tuhý (tvrdý).

Tvar i chování půdních agregátů slouží pro orientační určení degradace půdy utužením. Při potřebě přesného stanovení míry utužení je třeba přistoupit k stanovování vybraných půdních vlastností v terénu, či laboratoři.

3.4 Půdní charakteristiky

Hodnocení zhutnění půd se provádí především na základě dvou půdních vlastností. Jednou z nich je objemová hmotnost půdy. S ní pak úzce souvisí i pórovitost půdy. Druhým přístupem stanovování utužení půdy je pak měření penetrometrického odporu.

3.4.1 Objemová hmotnost

Pod objemovou hmotností půdy rozumíme váhu 1 cm^3 suché pórovité zeminy v neporušeném stavu. Tato váha se také nazývá redukovaná objemová hmotnost. Váha 1 cm^3 neporušeného půdního vzorku s přirozenou vlhkostí se nazývá neredukovaná objemová hmotnost. Objemová hmotnost půdy závisí na jejím mechanickém a petrografickém složení, množství a velikosti pórů a na obsahu organických látek v půdě (Hraško 1962). Organická hmota snižuje specifickou i objemovou hmotnost půdy (Šimek 2004). Objemová hmotnost půdy po vysušení vystihuje stav utužení či nakypření půdy v daném půdním horizontu. Hodnoty objemové hmotnosti

většinou stoupají směrem od ornice do spodiny půdního profilu. Pak-li, že toto nenastává, může se jednat o nadměrné zhutnění ornice či malou ulehlost spodních horizontů. Pomocí objemové hmotnosti po vysušení lze dobře najít přechod mezi částí kultivovanou a ulehlou (Jandák 2003). S objemovou hmotností úzce souvisí i pórovitost, kterou je možné právě na základě objemové (a specifické hmotnosti) vypočítat. Proto se velmi často v hodnocení uvádějí obě veličiny. Hodnoty objemové hmotnosti, které indikují utužení, se liší dle jednotlivých zdrojů a autorů a neexistuje jedna přesná hraniční hodnota mezi utuženou a neutuženou půdou (Tab 1 a 2). Hodnoty se také často liší dle jednotlivých plodin, neboť jsou na zhutnění půd různě citlivé. Stejně tak bývá hodnocení odlišné pro různé půdní druhy (viz Tab. 1).

Tabulka 1 Kritické limity objemové hmotnosti indikující zhutnění půd (Šarapatka 2002).

	Objemová hmotnost (g.cm-3)	Pórovitost (%)
Písčité půdy	1,51-1,53	40
Hlinité půdy	1,41-1,46	45
Jílovité půdy	1,28-1,30	47

Tabulka 2 Kritické hodnoty vybraných fyzikálních vlastností zhutnělé půdy (Lhotský 2000).

	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Objemová hmotnost po vysoušení (g.cm-3)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objemu)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Penetrační odpor půdy (MPa) při vlhkosti (% hm.)	2,8-3,2 28-24	3,3-3,7 24-20	3,8-4,2 18-16	4,5-5,0 15-13	5,5 12	6 10

J – jíl, JV – jílovitá půda, JH – jílovitohlinitá půda, H – hlinitá půda, PH – písčitohlinitá půda, HP – hlinitopísčitá půda, P – písčitá půda

3.5 Penetrometrický odpor

Utužení půdy je také možné stanovit na základě penetrometrického odporu. Penetrometrický odpor je odpor pronikání přesně definovaného hrotu do půdy. Hodnota penetrometrického odporu (PO) se stanoví jako:

$$PO [MPa] = \text{Síla [N]} / \text{Povrch hrotu [cm}^2\text{]} * 100$$

Na penetrometrický odpor má vliv vlhkost půdy, z tohoto důvodu je nejlépe uskutečnit měření na jaře (koncem dubna), kdy je půdní profil rovnoměrně provlhčen a není nutná korekce podle vlhkosti půdy (Javůrek a Vach 2008). Závislost mezi velikostí odporu půdy a stupněm zhutnění je přímá, závisí však, na momentální vlhkosti, což je třeba zohlednit (Lhotský 2000). Penetrometrie se nehodí pro kamenité a rašeliništní půdy (Lhotský 2000).

Při snaze zachytit prostorovou variabilitu zhutnění půd je, aby na pozemcích s vyrovnaným druhem půdy nebyla vzdálenost mezi jednotlivými sondami větší než 100 m. Na heterogenních pozemcích je třeba vzdálenost mezi jednotlivými sondami zkrátit, nejmenší počet sond na menších pozemcích by měl činit alespoň 10.

Obecně je metoda vhodná pro srovnávání odlišných pozemků (např. s odlišným způsobem zpracování půdy).

Hodnoty penetrometrického odporu, které jsou používány jako limit pro určení hranice zhutnění půdy se liší. Některé literární zdroje udávají hodnotu 1,5 MPa, jako hraniční, která omezuje růst rostlin a hodnotu 2,0 MPa, jako hranici, kdy je růst kořenů prakticky zastaven (Carter 1988). V jiných případech je navrhován jiný limit pro různé způsoby obhospodařování (Moraes et al. 2014). Hodnoty používané v našich podmínkách jsou zobrazeny v Tabulce 2.

3.6 Opatření proti zhutnění

Při úvahách o možnostech zlepšení půdní struktury je třeba zohlednit nápravné i preventivní prostředky, kterými jsou omezování a odstranění utužení půd, ochrana proti erozi, zlepšení podmínek pro biologické procesy v půdě a v neposlední řadě využívání podorničních vrstev.

K omezení zhutnění je nutné dodržet základní pravidla jako je omezení přejezdů mechanizace a kultivace půdy za nevhodných vláhových podmínek, minimalizovat celkový počet přejezdů, jízda v jedné koleji opakovaně než při každém přejezdu použít jinou stopu, agregace operací při zpracování půdy a omezení přejezdů po zpracované půdě na co možná nejnižší.

Organická hmota je jedním z nejdůležitějších strukturotvorných látek. Její dostatečný přísun je podmínkou pro tvorbu žádoucí struktury i jako preventivní opatření proti zhutnění. Organická část půdy je zdrojem pro mikroorganismy, zdrojem živin pro rostliny a zdrojem látek pro vznik humusu.

Vápněním půd s nízkým pH se udržuje půda v ideálním stavu pro tvorbu půdní struktury. Vápník sám o sobě působí jako vazebný prostředek.

Volba vhodné agrotechniky v závislosti na půdním druhu, přičemž jsou pro obdělávání nejideálnější půdy středně těžké hlinité mající přirozeně dobrou strukturu a v závislosti na ní fyzikální a biologické vlastnosti (Lhotský 2000). Hůře jsou obdělávatelné těžké půdy, na kterých se musí brát výrazný zřetel na optimální vlhkostní podmínky (Kopecký 1928).

Na utužených půdách lze použít po orbě střední místo orby hluboké střední kypření hloubkovým kypřičem do 0,40 – 0,45 m. Lehké, snadno obdělávatelné půdy lze obdělávat i za vyšší vlhkosti bez nebezpečí zhoršení struktury. Doporučuje se **minimální zpracování půdy**, aby byla omezena mineralizace organické hmoty a byl snížen neproduktivní výpar. Při obdělávání skeletovitých půd nesmí být skelet vyoráván z podorničních vrstev, nedoporučuje se tedy provádět podrývání či středně hluboké kypření (Lhotský 2000).

Dle Lhotského (2000) se oproti orbě snižuje objem pórů u mělké kultivace. U půd hlinitých oraných je v hloubce 25-30 cm výrazně nižší areace než u redukovaného zpracování půdy, což indukovalo zhutnění podorničí. U mělce kypřených půd je vyšší stupeň kontinuity pórů nad 200 μm . Vyhodnocení působení dvacetiletého pokusu u půd obhospodařovaných orbou a minimalizační technologií ve vrstvách 0-30, 30-60 a 90-120 cm. Vliv bezorebného systému na

nasyčenou hydraulickou vodivost, procento nasycenosti půdy, objemovou hmotnost a infiltrační schopnost půdy nebyl výrazně odlišný. Struktura na povrchu byla nejstabilnější u minimalizační technologie. Orbou se mění přirozené uspořádání pórů. Redukovaná příprava ovlivnila pozitivně půdní strukturu, i když v ornici byla zvýšená objemová hmotnost (o 0,08-0,12 g.cm⁻³) proti orané, kde bylo v hloubce 18-25 cm zjištěno utužení.

3.6.1 Preventivní a nápravné prostředky

Mezi preventivní a nápravné prostředky k omezování degradace půd zhutněním patří tato opatření:

- zpracování a půdy ve vhodném vlhkostním stavu,
- omezení pojezdů těžkých mechanismů, počtu pojezdů, pojezdů na jaře a po orbě, ježdění v téže koleji, rozložení hmotnosti pojezdových vozidel,
- vhodná protierozní ochrana půd,
- dostatečné organické hnojení a vápnění, zlepšování podmínek pro biologické procesy v půdě,
- vhodné ovlivňování vodního režimu (infiltrace a akumulace vody v půdě)
- spjitost s protierozními opatřeními), – vyvážené oseední postupy.

Je důležité mít informace o plodinách, protože díky tomu máme představu o možném narušování půdy v důsledku oseedních postupů (FAO 2006). Veškeré faktory působící na rostliny, jako je voda, teplo a živiny působí přímo nebo nepřímo, zprostředkovaně přes půdní prostředí, které je jimi rovněž výrazně přeměněno. Zemědělskou činností lze tyto faktory do značné míry ovlivnit (Šarapatka & Urban 2006).

Střídání různých plodin má výrazný vliv pro zadržování a infiltraci vody v půdě. Na stabilitu půdní struktury má výrazný vliv zpracování půdy spolu s oseedními postupy a ponecháním rostlinných posklizňových zbytků na pozemku (Krümmelbein et al. 2020).

3.7 Zpracování půdy

Zpracováním půdy se člověk snaží o vytváření co nejlepších podmínek pro růst požadovaných rostlin. V minulosti bylo zpracování půdy limitováno materiálovými možnostmi dané doby a rovněž využitím pouze lidské nebo zvířecí síly (Novák & Mašek 2018). Cílem systémů zpracování půdy je zajištění správného prostředí pro osivo, klíčení a růst kořenů (DeFelice et al. 2016). Uvádí se, že kvalita seřového lůžka záleží více na půdním druhu než na způsobu přípravy půdy (Lhotský 2000). Kultivací se půda zúrodnuje, jejím účelem je odstranit škodlivé vlastnosti a změnit je tak, aby co nejvíce vyhovovaly požadavkům zemědělské výroby a zajišťovaly tak dobré a stálé výnosy zemědělských plodin.

Postupy zpracování půdy lze obecně rozdělit podle intenzity, hloubky a způsobu kypření. V současné době jsou dvě základní technologie zpracování půdy, technologie s orbou (konvenční, tradiční zpracování) a technologie bez orby (tzv. minimalizační či konzervační). Rozsah uplatnění obou typů technologií je různé v odlišných regionech světa a také doznává změn s ohledem na nové poznatky v rámci ochrany půdy a také legislativních požadavků na subjekty hospodařící na půdě. Tradičně se orba používá v Evropě, naopak např. v USA je více rozšířeno používání bezorebných technologií.

Zpracování půdy je oblastí, ve které dochází k častým názorovým konfrontacím zastánců té či jiné technologie. Předpokladem úspěšného uplatňování systémů zpracování půdy bez orby je celkově vysoká úroveň agrotechniky v zemědělských podnicích. Moderní zemědělství se však volbou vhodné kultivace přizpůsobuje půdním a klimatickým podmínkám, a proto nelze tuto problematiku zúžit na to, zda orat či nikoli (Hůla 2001). Stejně tak se s vývojem zemědělství mění i názory na význam zpracování půdy, ve kterém se odráží výsledky nejnovějšího vědeckého poznání (Ledvina et al. 2000).

Oba systémy mají odlišný vliv na půdní prostředí a ovlivňují půdní vlastnosti, mezi něž je třeba řadit půdní strukturu, která hraje výraznou roli v odolnosti půd vůči zhutnění.

3.7.1 Bezorebné technologie Minimalizační zpracování půdy

Bezorebné technologie označované také jako minimalizační zpracování půdy představují zpracování půdy omezené na minimum, které je nutné pro založení porostu plodin nebo pro regulaci zaplevelení (Hůla 2001). Minimální zpracování půdy je založeno na zjednodušených postupech, při nichž je půda zpracovávána méně často, do menší hloubky a některé úkony mohou být vynechány. Hlavním důvodem k používání této technologie je snaha o snížení nákladů, omezení přejezdů po poli, snížení eroze a snaha o úsporu vláhy v suchých oblastech (Šarapatka & Urban 2006). Proto jsou podporovány alternativní systémy hospodaření, které jsou rozmanitější a méně narušují půdu, aby se zlepšily její vlastnosti a tím se i zvýšila produktivita zemědělství. Při hospodaření na půdě se dbá o zachování optimálních fyzikálních a hydrologických směrů pro rostlinnou výrobu (Wani et al. 2016). Hlavními důvody využití minimalizačních technologií jsou ochrana půdní struktury, omezení pojezdů po půdě, a to především v krátkém časovém intervalu od jejího nakypření, ochrana před vodní a větrnou erozí, usnadnění a urychlení zpracování půdy, omezení areace na vysušených půdách s vysokou mírou mineralizace organické hmoty a omezení pohybu s půdou při nevhodných vláhových podmínkách. Minimální zpracování půdy zahrnuje především zkrácené postupy obdělávání a sloučení počtu jednotlivých operací a tím snížení přejezdů (Lhotský 2000).

Mezi základní postupy a nástroje uplatňované při minimalizaci řadíme podmítka a mělké kypření radličkovými a diskovými podmiťáči. Obvyklý sled kultivačních operací během pěstební sezóny je:

- Podmítka nebo náhradní kypření strniště, které je v bezorebném zpracování půdy věnována významná pozornost, neboť podmítka je v minimalizační technologii jedním z mála vstupů na pozemek.
- Případné ošetření podmiťky
- výsev strništních (letních) meziplojin
- druhá podmítka, zpravidla sloučena s předseťovou přípravou
- předseťová a předvýsadbová příprava půdy
- kultivace půdy v porostech plodin (Křen et al. 2015).

3.7.2 Podmítka

Včasná a kvalitní podmítka je velmi důležitým faktorem při hospodaření s půdní vláhou. Při kvalitně provedené podmítce dochází k přerušení kapilárních pórů směrem k povrchu půdy. Přerušení těchto pórů minimalizuje vztlínání vody. Zároveň dojde k lepšímu pronikání vody do

půdy při srážkách. Nezanedbatelným efektem dobře provedené podmítky je likvidace plevelů a výdrolu mechanickou cestou. Jde o vliv podmítky nejen na klíčení a vzházení plevelů, ale i při regulaci vytrvalých, vegetativně se rozmnožujících plevelů (Pospíšil 2020). V průběhu vegetačního období dochází k postupné degradaci drobtovité půdní struktury, která se mění na celistvou, případně se na povrchu půdy vytváří půdní škraloup. V důsledku těsného přiléhání jednotlivých půdních agregátů dochází ke zvyšování půdní kapilarity (vzlínivosti vody). V době žní již plodiny čerpají vlhkost jen omezeně, voda se dostává až k povrchu půdy a odtud se bez užítu odpařuje. Tento výpar vysušuje půdní profil, a tím ovlivňuje hospodaření s vodou v celé krajině. Mezi hlavní cíle podmítky patří narušení kapilarity, a tím omezení výparu vody (Winkler 2020). Dle Pospíšila (2020) se volí hloubka podmítky 100 až 200 mm.

Radličkové podmítače jsou tvořeny nosným rámem, který je osazen závěsem, slupicemi pro montáž radliček, zařízením k opětovnému utužení půdy a v některých případech rovněž nivelačními koly. Nejmenší a nejjednodušší podmítače jsou konstruovány jako nesené, zpravidla se záběrem od 2,5 m. Pracovní hloubka se nastavuje polohou třibodového závěsu, respektive spodních ramen na straně jedné a na straně druhé nastavitelným válcem, který zajišťuje rovněž opětovné utužení půdy. To napomáhá kromě urovnání pozemku ke zlepšení vláhových poměrů a rovnoměrnému vzházení plevelů a výdrolu, které se následně chemicky nebo mechanicky likvidují. Pracovními orgány jsou radličky upevněné ke slupicím šrouby, či rychloupínacím systémem. Radličky jsou konstruovány tak, aby docházelo k plošnému zpracování půdy v celé šíři záběru a urovnání povrchu pozemku. V takovém případě mají radličky tvar křídla. Jejich dalším úkolem je promíchávání a zapracování posklizňových zbytků. Slupice jsou většinou umístěny ve dvou, nebo čtyřech řadách, přičemž velkou úlohu hraje výška rámu a rozteč slupic, což je velmi důležité při výskytu většího množství rostlinných zbytků na povrchu půdy. Řady radliček bývají doplněny míchacími disky, které umocňují mísicí a zapravovací efekt (Javorek 2008). Většina konstrukcí radličkových podmítačů je v současné době řešena pro univerzální využití v rámci technologií zakládání porostu. Nároky na tyto podmítače jsou především zaměřeny na variabilitu pracovní hloubky a to od 50 mm pro mělké kypření, tak i pro kypření hluboké do 300 m. Kvalita práce a hloubka zpracování je u takového nářadí zajištěna geometrií kypřících radliček (Pospíšil 2020).

Diskové podmítače. Tvar pracovních orgánů je u všech strojů obdobný. Jsou vytvořeny z kulové úseče, proto mají tvar kulového vrchlíku. Táhneme-li talíř vodorovně ve směru jeho osy, částečně se zahloubí a bude půdu od půdního monolitu hrnout před sebou. Budeme-li ho vláčet tak, aby směr pohybu svíral s rovinou talíře úhel $\alpha < 90^\circ$, pracovní proces bude výhodnější. Talíř se bude třením o půdu otáčet, odříznutou skývu bude zvedat, drobit, promíchávat a částečně i obracet. Drobící a mísicí účinek talíře je vysvětlován tím, že částice půdy, které uvádí do pohybu vzdálenější pracovní plocha od středu talíře, se dostanou do pohybu větší počáteční rychlostí, než částice ležící blíže ke středu. Tak se stane, že částice, které jsou na povrchu půdy, se dostanou po projetí talíře nejnižší. Tam je zasypou částice, které se zase dostanou přibližně do střední vrstvy. Nejnižší umístěné částice se pohybují největší počáteční rychlostí, a proto se dostanou na povrch zpracované ornice. Tato uvedená technologie talíře je výhodou pro podmítku. S ohledem na odlišné požadavky kladené na práci různých strojů s talířovými

pracovními orgány se jejich stavba navzájem poněkud liší. Výhodou talířových podmiťáčů je vysoká plošná výkonnost při podmítce nebo při opakovaném mělkém kypření půdy. Ve výbavě jsou většinou utužovací a drobicí válce, takže není nutné zařazovat po podmítce její ošetření v samostatné operaci (Novotný 2019). Diskové podmiťáče mohou pracovat při vyšší pracovní rychlosti, protože řezná rychlost je nižší než pojezdová rychlost. Při vyšších rychlostech dochází k mírnému vyhlubování talířů. Například zvýší-li se pracovní rychlost z 1 m/s na 2,5 m/s, sníží se zahloubení podle empirie asi o 10 %. Při zvýšení pojezdové rychlosti se zlepšuje práce těchto strojů a zvýší se výkonnost. Stroj lépe zapravuje rostlinné zbytky, lépe drobí půdu a povrch zpracovaného pozemku je rovnější. Proto je vhodné jako pracovní rychlost strojů, jako jsou podmiťáče a brány volit v rozmezí 7 až 15 km/h. Při prvotním zpracování půdy disky zanechávají hřebenovité dno pod vrstvou zpracované půdy. Proto je vhodné pro opakované kypření měnit směr jízdy od kypření předcházejícího (Pospíšil 2020).

3.7.3 Orba

Použití pluhu jako základního nástroje pro zpracování půdy má v Evropě velkou tradici. Základní zpracování půdy technologie s orbou zahrnuje podmítka, seřovou a hlavní orbu, prohlubování, podrývání, hloubkové kypření a podzimní úpravu zoraného pole.

Tyto úkony svým kypřícím účinkem zvyšují pórovitost, obsah makropórů a tím lepší pronikání vody do půdy. Orba zajišťuje rozmělnění půdy a téměř úplné zaklopení semen a zbytků plevelů. (Novák & Mašek 2018). Orba zanechává méně než 15 % rostlinných zbytků na povrchu půdy. Při orebném systému dochází k úplnému narušení povrchu půdy v celém záběru nářadí. Velká pozornost je věnována především kvalitě orby, aby tak nákladná operace, kterou orba je, byla pro půdu přínosem. U půd s těžkým charakterem se pórovitost může zvýšit v průměru až o 50 %, u půd s charakterem lehčích to může být 30 %. Tím je výrazně zvýšena areace půdy, kdy dochází ke zvýšení mineralizace organické hmoty v půdě (Šnobl et al. 2007). Orba je nejčastěji prováděna radličnými pluhy (Kostelanský 2004). Pomocí orby se půda drobí, mísí, kypří a obrací. Předseřová příprava půdy a setí se uskutečňují buď v oddělených operacích, nebo se operace zajišťující přípravu půdy a setí sjednocují. Při oddělených pracovních operacích se k přípravě půdy využívají především kombinátory. Při sjednocování se používá zpravidla strojů s poháněnými pracovními nástroji ve spojení se secími stroji s pneumatickou nebo gravitační dopravou osiva do půdy (Hůla & Procházková 2002). Ideální hodnota vlhkosti půdy pro orbu je na půdě lehké 8–12 %, na půdě střední 16–18 % a na půdě těžké 18–21 % (hmotnostních). Tato čísla nejsou v praxi nijak využívána, neboť každý zemědělec dokáže určit na základě svých vlastních zkušeností vhodný stav vlhkosti půdy pro orbu, ale předcházející hodnoty vlhkosti naznačují, že v podmínkách velmi suchých, kde takováto vlhkost půdy nebývá dosahována, není vhodné používat orbu, ale raději minimalizační technologie (Šimon & Lhotský 1989).

U postupů mělkého neboli minimálního zpracování půdy, zejména v tzv. minimalizačních technologiích, je nutné věnovat podmítce maximální pozornost, neboť je jediným agrotechnickým zásahem, který zajišťuje vytvoření seřového lůžka a významně tak ovlivňuje budoucí úrodu (Javorek 2008).

Půdy, které mají sklony k zamokření, jsou velmi vhodné pro systém orby. Při hlubší orbě se zvyšuje mineralizace i intenzita areace. Díky tomu je uvolněno více živin a zlepšuje se jejich příjem rostlinami, především dusíku a fosforu

V posledních letech se do konvenčního zpracování půdy běžně zařazují takové systémy zpracování, které mají spojené pracovní operace, například spojení orby s drcením hrud a povrchovým utužením půdy, spojení operací předseťové přípravy půdy či spojení předseťové přípravy půdy se setím.

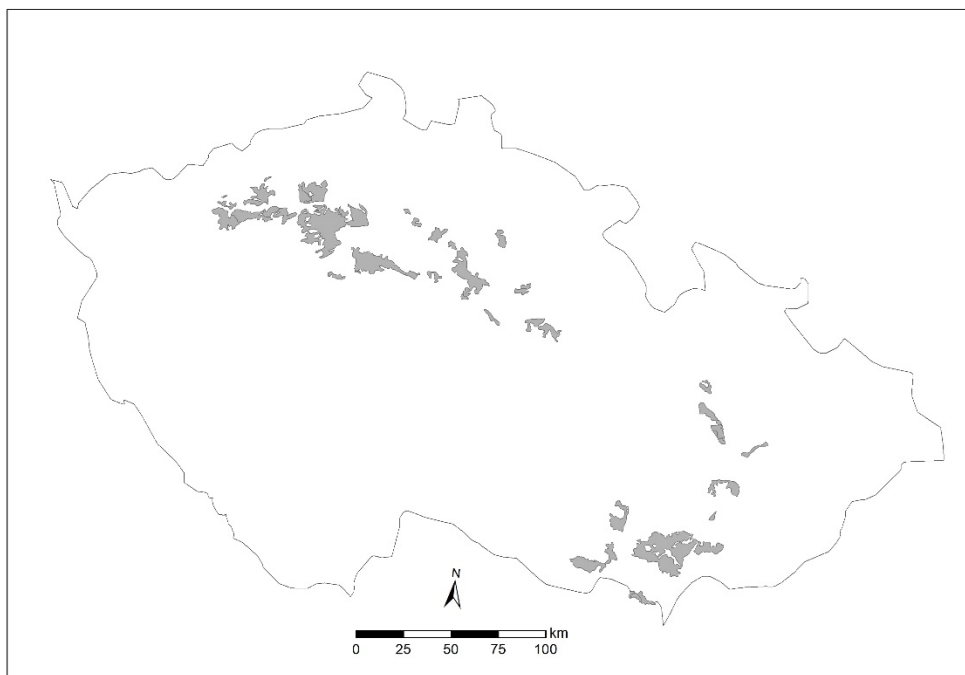
Obvyklý sled kultivačních operací během pěstební sezóny je:

- Podmítka, mělké zpracování půdy po sklizni plodin. Hlavními důvody použití podmítky jsou šetření půdní vláhou a potlačení plevelů. Termín podmítky je dán dobou sklizně.
- Orba, Hlavním úkolem orby je vytvořit v ornici kyprou, drobtovitou vrstvu s příznivými hydrofyzikálními a biologickými poměry. Doba orby se může lišit dle pěstovaných plodin a lze je rozdělit na letní orbu, seťovo orbu k ozimým plodinám, podzimní orbu k plodinám setým na jaře, zimní orbu a orbu jarní.
- Předseťová příprava je mělké kypření ornice. Je to nejčastěji první úkon předseťového zpracování půdy v jarním období. Uplatňuje se také podle okolností i v přípravě půdy k ozimům
- o Vlácení je operace, kterou provádí brány, používaná při předseťové přípravě půdy, ale i k ošetření porostu během vegetace.
- o Válání. Válce se používají pro uválení podmítky, po orbě, v předseťové přípravě půdy, po zasetí nebo výsadbě plodin a při ošetřování porostů během vegetace.
- Setí, do zpracované půdy s orbou lze provést po předseťové přípravě půdy buď provedenou v jedné operaci se setím za pomoci secích kombinací, či rozdělením předseťové přípravy a setí do jednotlivých pojezdů (Křen et al. 2015).

3.8 Černozemě

Půda je důležitým přírodním zdrojem, který je klíčový pro produkci potravin. Působením různých kombinací půdotvorných faktorů vznikají půdy s odlišnými znaky, stavbou půdního profilu, vlastnostmi a také úrodností. Významným činitelem mající vliv na podobu a stav půdy je i člověk, jak na ní hospodář a využívá ji. Snahou člověka je půdy vylepšovat tak, aby poskytovaly co nejvíce produkce, ale právě snaha o co nejvyšší výnosy může vést naopak k jejich degradaci.

Z hlediska zemědělské produkce jsou v našich, ale i světových, podmínkách důležité černozemní půdy, mezi které patří mezi nejúrodnější půdy nejen v našem regionu, ale i globálně. Tvoří přibližně 10 % půdního pokryvu České republiky, a z naprosté většiny jsou právě s ohledem na jejich vysokou úrodnost využívány jako zemědělská, respektive orná půda. V podmínkách ČR se černozemě nacházejí v nejteplejších a nejsušších oblastech. Mezi hlavní oblasti výskytu černozemí v České republice můžeme řadit Poohří, Dolní Povltaví, Polabí, Dolnomoravský úval, Břeclavsko a Znojensko (Penížek 2019). Výskyt černozemí na území ČR dokumentuje obrázek číslo 4.



Obrázek 4. Výskyt černoze na území ČR (Zdroj: PUGIS).

Ve světě se s černozečními půdami můžeme setkat především v Eurasii (Slovensko, Maďarsko, jih Ukrajiny, Ruska), Severní Americe (SZ USA, jih Kanady) a Jižní Americe (Argentina). Tvoří v daných oblastech nejúrodnější regiony, které byly (a i dodnes často jsou) klíčovými produkčními oblastmi pro pěstování obilnin. Černoze vznikaly od raných období post glaciálu pod původní stepí a lesostepí. V dnešní době se uchovávají ve své původní podobě převážně díky zemědělské kultivaci. Roční úhrn srážek v černozečních oblastech činí 450-650mm, průměrná roční teplota je nad 8 °C. Matečným substrátem jsou většinou spraše, jen místy se uplatňují také zvětraliny slínovců (slíny), vápnité terciární jíly nebo vápnité písky. Nadmořská výška výskytu černoze zpravidla nepřesahuje 300 m. n. m. (Tomášek 1995).

Černozeční profil je tvořen černickým horizontem (Ac) o mocnosti alespoň 40 cm (jeho součástí je obvykle orniční hor Ap), který níže přechází v půdotvorný substrát s obsahem sekundárních karbonátů (Ck). Na tomto přechodu se může vyskytovat i horizont s výraznější akumulací sekundárních uhličitánů – kalcický horizont (K) (Němeček et al. 2011). Na obrázku 5 je ukázka typického profilu modální černoze na spraši. Černický horizont o hloubce 60 cm.

Z hlediska obsahu humusu se jedná o půdy středně až vysoko humózní. Kvalita humusu je vysoká, charakteristická převahou huminových kyselin nad fulvokyselinami. Půdní reakce černoze je neutrální až slabě zásaditá. Velikost sorpčního komplexu středně velká s vysokým podílem jeho nasycení.



Obrázek 5. Ukázka typického profilu černozemě modální na spraši. Černický horizont o hloubce 60 cm (se znaky biologické aktivity v podobě krotovin, přechází do půdotvorného substrátu se sekundárními karbonáty – spraše (Ck).

Z hlediska zrnitosti je půdní profil obvykle homogenní, hlinitý, s vysokým podílem prachu – to se týká černozemí na sprašových pokryvech. Vyskytují se však i oblasti zrnitostně odlišné, jak s těžkými půdami – především sever Polabí (půdotvorný substrát tvoří směs spraše se slínou, nebo převaha slínů), nebo naopak s výrazně lehkými půdami – např. Znojensko, kde je velký podíl vátých písků.

Vysoký podíl kvalitních humusových látek, výskyt dvojmocných kationtů (Ca), vysoká biologická aktivita – to vše vede k tomu, že černozemě mají zpravidla dobře vyvinutou půdní strukturu, obvykle hrudkovitou. Ta společně s příznivou zrnitostí vytváří ideální podmínky pro zadržování vody v půdě (retenční kapacita je až 350 l.m^{-3}), růst kořenů, rozvoj mikroorganismů. U černozemí se obsah stabilních agregátů větších než 0,25 mm pohybuje od 40 do 60 %. Pro udržení příznivého režimu orniční vrstvy je nutný jejich obsah alespoň 40-45 %, čímž lze vysvětlit optimální fyzikální režim těchto půd. Dlouhodobým obděláváním půdy se ale postupně redukuje vnitroagregátová pórovitost a tím se snižuje i jejich agronomická hodnota (Lhotský 2000).

Příznivé chemické i fyzikální vlastnosti černozemí mají vliv na celkovou odolnost těchto půd k degradačním procesům, jak chemickým (acidifikace, kontaminace atd.) tak i fyzikálním (eroze, zhutnění atd.). Na druhé straně je důležité si uvědomit, že se jedná o půdy, které jsou nejdéle a nejintenzivněji obhospodařované a z tohoto důvodu je možné najít relativně velké plochy, kde jsou tyto půdy výrazně degradované (především z důvodu vodní eroze). Méně je známo o stavu černozemí z hlediska utužení, vůči němuž jsou hodnoceny jako odolné. Potenciální odolnost černozemí vychází z jejich fyzikálních a chemických vlastností. Černozemě jsou charakterizovány dobře vyvinutou drobtovitou až hrudkovitou strukturou. Často jsou považovány za půdy s nejlépe vyvinutou půdní strukturou ve srovnání s jinými půdními typy (Ciric et al. 2012). V mezinárodním prostředí je právě charakter struktury i jedním

z kritérii zařazení půd do této klasifikační skupiny – Chernozems ve WRB (FAO 2015). Dobře vyvinutá půdní struktura je výsledkem dlouhodobé akumulace vysoce kvalitních organických látek. To se děje i z důvodu přítomnosti dvoumocných kationtů vápníku, který se vyskytuje v černozemích ve formě sekundárních uhličitánů.

Na výslednou odolnost vůči utužení má pak výrazný vliv způsob jejich obhospodařování. Rozdíly v kvalitě struktury byly popsány jak mezi jednotlivými typy využití půd, tak mezi různými způsoby kultivace při využití půd pro zemědělské účely. Struktura je lépe vyvinuta na lesní půdě a trvalých travních porostech oproti orné půdě (Ćirić et al. 2012). Rozdílné technologie mají odlišný vliv na intenzitu a hloubku kultivace a s tím spojenou mineralizaci organické hmoty, která hraje významnou roli ve stabilitě půdních agregátů tvořících půdní strukturu. Právě dlouhodobá kultivace půd pak může vést k poklesu obsahu stabilních půdních agregátů (Trofimova et al. 2018).

Zde lze právě předpokládat, že způsob jejich obhospodařování může hrát klíčovou roli.

4 Metodika

4.1 Charakteristika území

Pro porovnání vlivu typu kultivace půd na jejich zhutnění byla vybrána oblast okolí města Libochovice. Z pohledu geomorfologické stavby je celá oblast součástí Hercynského systému, v rámci oblasti České tabule, respektive podcelku Házmburské tabule. Charakter území je rovinatý až mírně zvlněný.

Z hlediska širších vztahů se jedná o území spadající do teplého a suchého klimatického regionu T1. Ten je charakterizován ročním úhrnem srážek pod 500 mm, průměrnou roční teplotou 8-9 °C, sumou teplot nad 10 °C v rozsahu 2600 – 2800.

Geologická stavba území je tvořena mozaikou hornin různého stáří. Část území je tvořena druhohorními sedimenty České křídové tabule. Jedná se především o slíny. Na území se také uplatňují třetihorní horniny (čedič). Z kvartérních sedimentů se můžeme setkat s fluviálními pleistocenními sedimenty řeky Ohře – štěrkopísky a písky a se spraší, která tvoří různě mocné pokryvy.

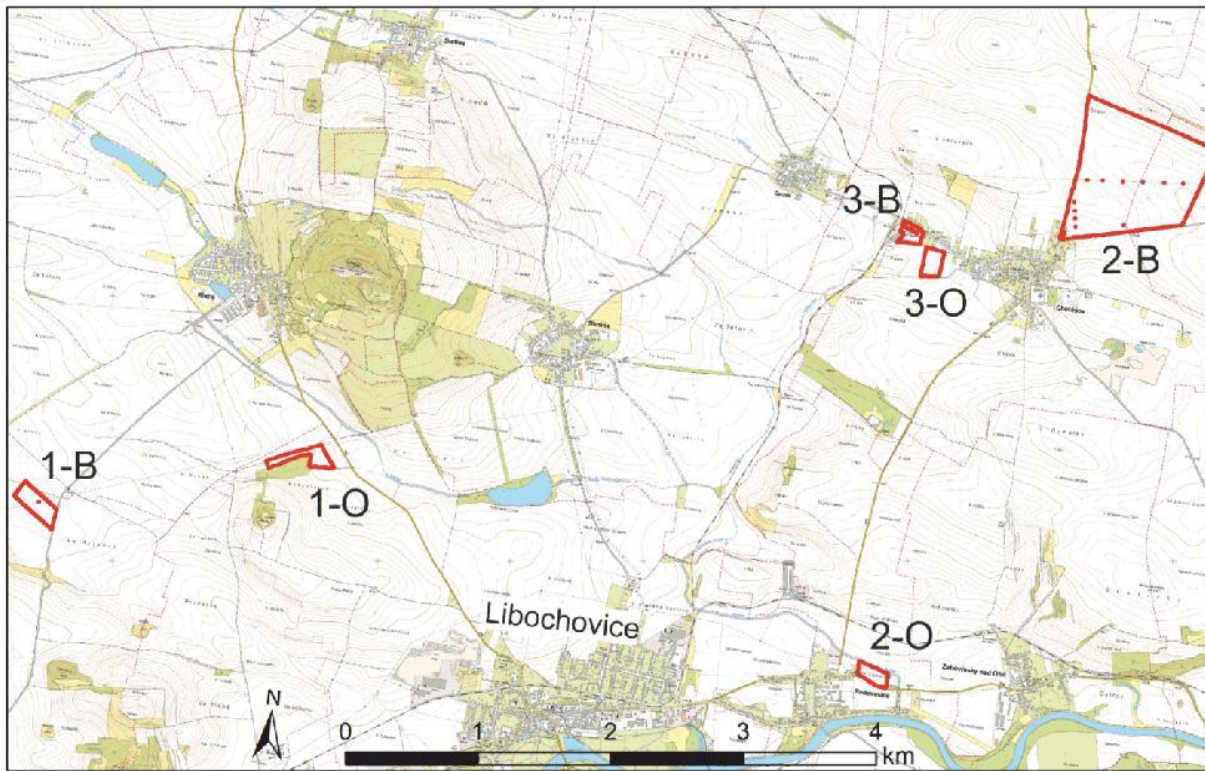
Půdní pokryv širšího území sestává z naprosté většiny z černozemí na slínu či spraši. V místech s vystupujícími druhohorními sedimenty se vyskytují pararendziny na slínu. V nivě řeky Ohře se vyskytují fluvizemě. Bližší popis a charakteristika půd je vždy uvedena u jednotlivých vzorkovaných lokalit.

4.1.1 Schéma měření a měřené plochy

V rámci porovnání vlivu způsobu obhospodařování na zhutnění půdy bylo vybráno celkem šest pozemků (Obr. 6). Tři, které jsou dlouhodobě obhospodařovány tradiční orbou (O) a tři, na kterých je uplatňován bezorebný systém (B) obhospodařování.

Na každém z pozemků bylo provedeno měření penetrometrického odporu pomocí přístroje Penetrologger 6.00 Eijkelkamp. Na každém z pozemků bylo provedeno celkem 30 měření uspořádaných do 3 vzorkovacích hnízd, která byla tvořena transekty s deseti měřeními, které šly napříč směrem kultivace půd. Měření bylo prováděno mimo kolejové meziřádky (když byly přítomny). Měření probíhalo do hloubky 80 cm. Penetrometrický odpor je přístrojem zaznamenáván po 1 cm, pro hodnocení však byly použity zprůměrované hodnoty pro hloubkový interval 5 cm.

Na každém z pozemků byly také odebrány vzorky na určení hmotnosti, vlhkosti půdy pro hloubkové intervaly 0-20, 20-40, 40-60 a 60-80 cm. Na obrázku 6 je Přehledová mapa s vyznačenými pozemky, na kterých probíhalo měření.



Obrázek 6 Přehledová mapa s vyznačenými pozemky, na kterých probíhalo měření.

Plocha 1-O

Půdní blok 6204/1 v k.ú. Libochovice.

Způsob obhospodařování: orba

Plodina: ozimá pšenice

Geomorfologie: nadmořská výška 199 m.n.m, rovina se všesměrnou expozicí

Půdní typ: černozem karbonátová

Zrnitost a skeletovitost: JH až JV, příměs skeletu (oblázky křemene, čedič)

Půdotvorný substrát: slín



Obrázek 7. Půdní profil a měřicí schéma na pozemku 6204/1 s vyznačeným místem odběru vzorků půdní vlhkosti a popisu půdního profilu.

Plocha 1-B

Půdní blok 8202/6 v k.ú. Křesín, část půdního bloku v k.ú. Klapý

Způsob obhospodařování: bezorebná technologie

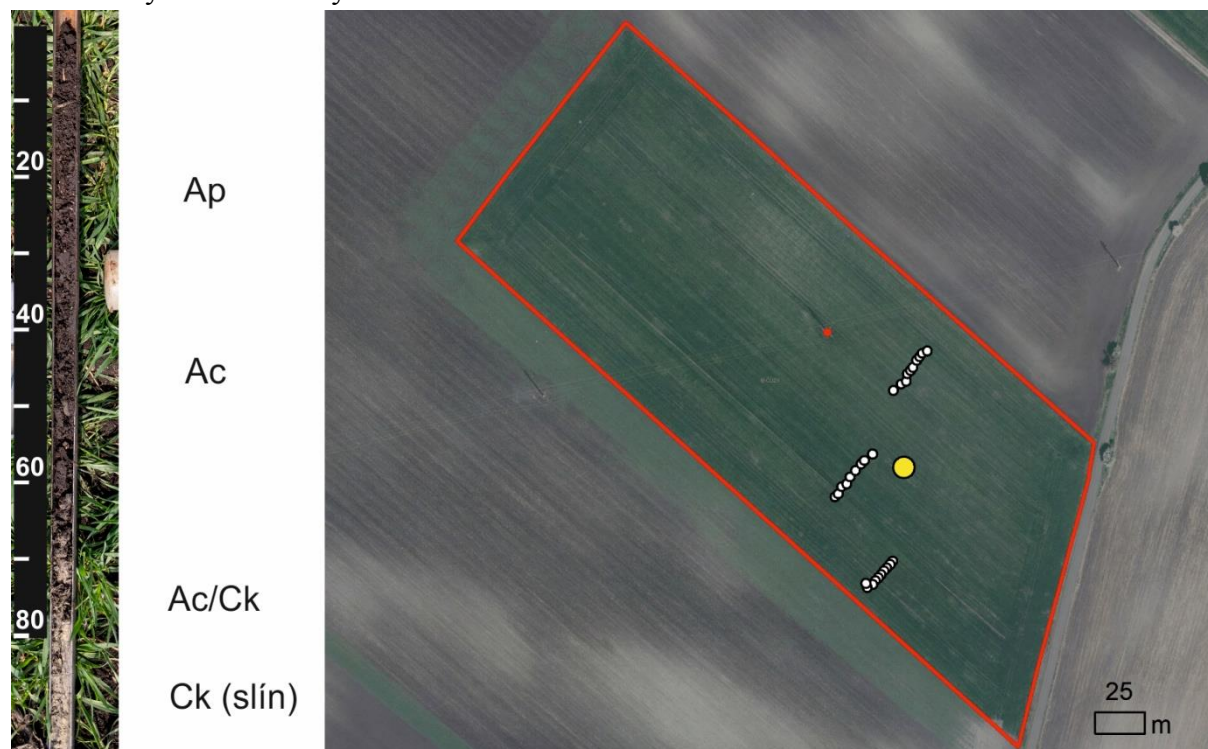
Plodina: ozimá pšenice

Geomorfologie: nadmořská výška 211 m.n.m, rovina se všesměrnou expozicí

Půdní typ: černozem karbonátová

Zrnitost a skeletovitost: JH až JV, příměs skeletu (oblázky křemene, čedič)

Půdotvorný substrát: slíny



Obrázek 8. Půdní profil a měřicí schéma na pozemku 8202/6 s vyznačeným místem odběru vzorků půdní vlhkosti a popisu půdního profilu.

Plocha 2-O

Půdní blok 2305/3 v k.ú. Radovesice u Libochovic

Způsob obhospodařování: orba

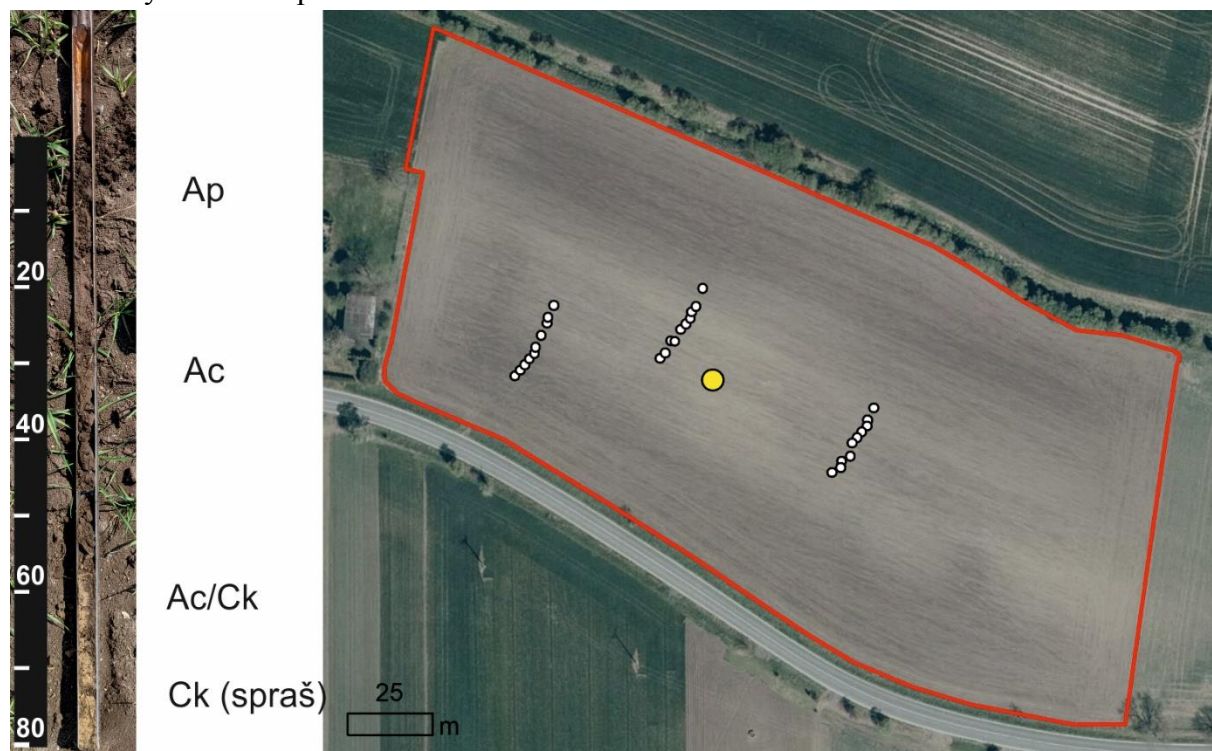
Plodina: ozimá pšenice

Geomorfologie: nadmořská výška 165 m.n.m, rovina se všesměrnou expozicí

Půdní typ: černozem karbonátová

Zrnitost a skeletovitost: HP až JH, příměs skeletu (oblázky křemene)

Půdotvorný substrát: spraš



Obrázek 9. Půdní profil a měřicí schéma na pozemku 2305/3 s vyznačeným místem odběru vzorků půdní vlhkosti a popisu půdního profilu.

Plocha 2-B

Půdní blok 9901/36 v k.ú. Chotěšov, Brozany nad Ohří

Způsob obhospodařování: bezorebná technologie

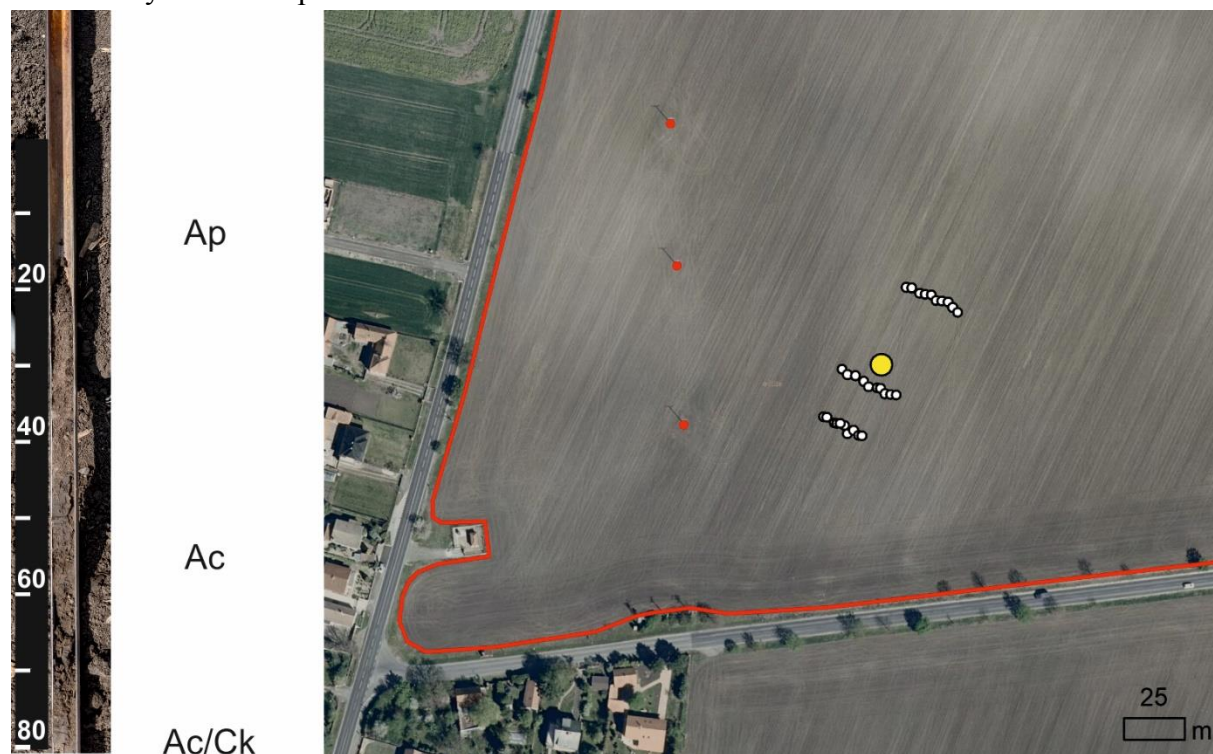
Plodina: kukuřice (nevzešlá)

Geomorfologie: nadmořská výška 203 m.n.m, rovina se všesměrnou expozicí

Půdní typ: černozem karbonátová

Zrnitost a skeletovitost: H, bez příměsi

Půdotvorný substrát: spraš



Obrázek 10. Půdní profil a měřicí schéma na pozemku 9901/36 s vyznačeným místem odběru vzorků půdní vlhkosti a popisu půdního profilu.

Plocha 3-O

Půdní blok 1012/2 v k.ú. Chotěšov

Způsob obhospodařování: orba

Plodina: ozimá pšenice

Geomorfologie: nadmořská výška 181 m.n.m, rovina se všesměrnou expozicí

Půdní typ: černozem karbonátová

Zrnitost a skeletovitost: H až JV, příměs skeletu (oblázky křemene)

Půdotvorný substrát: slíny



Obrázek 11. Půdní profil a měřicí schéma na pozemku 1012/2 s vyznačeným místem odběru vzorků půdní vlhkosti a popisu půdního profilu.

Plocha 3-B

Půdní blok 1008/1 v k.ú. Chotěšov

Způsob obhospodařování: bezorebná technologie

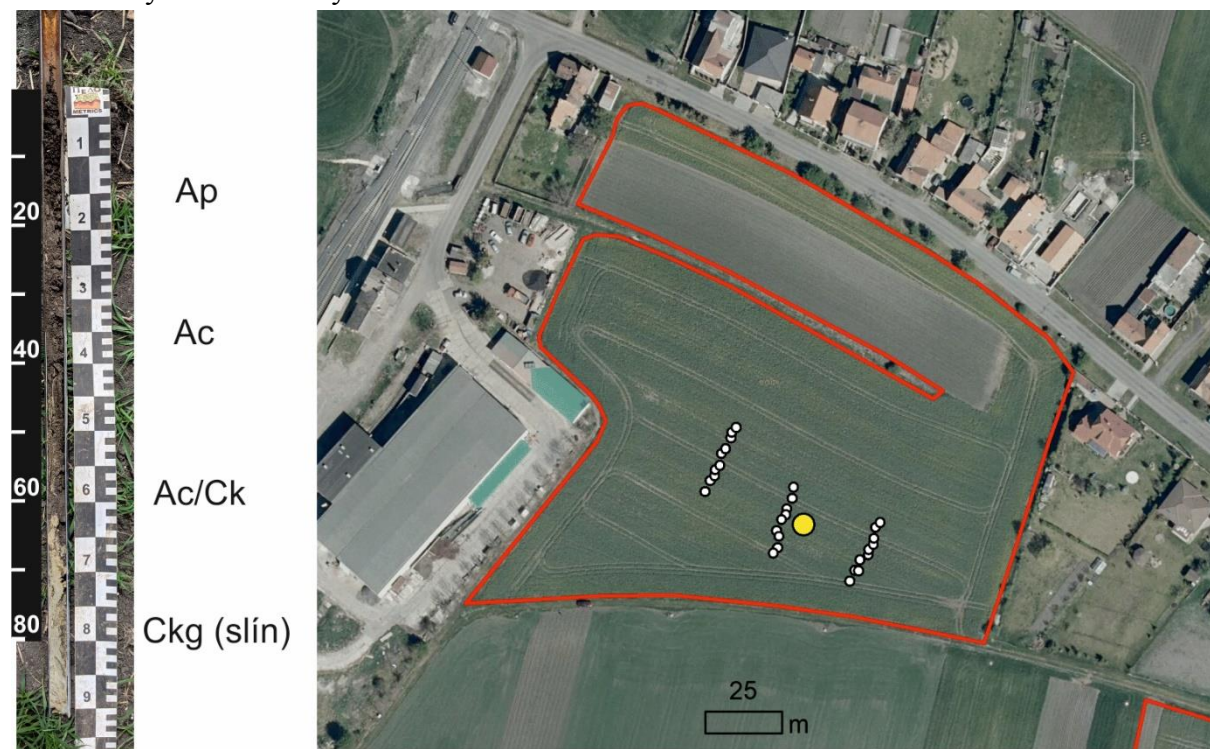
Plodina: ozimá pšenice

Geomorfologie: nadmořská výška 181 m.n.m, rovina se všesměrnou expozicí

Půdní typ: černozem karbonátová

Zrnitost a skeletovitost: H až JV, příměs skeletu (oblázky křemene)

Půdotvorný substrát: slíny



Obrázek 12. Půdní profil a měřicí schéma na pozemku 1008/1 s vyznačeným místem odběru vzorků půdní vlhkosti a popisu půdního profilu.

5 Výsledky

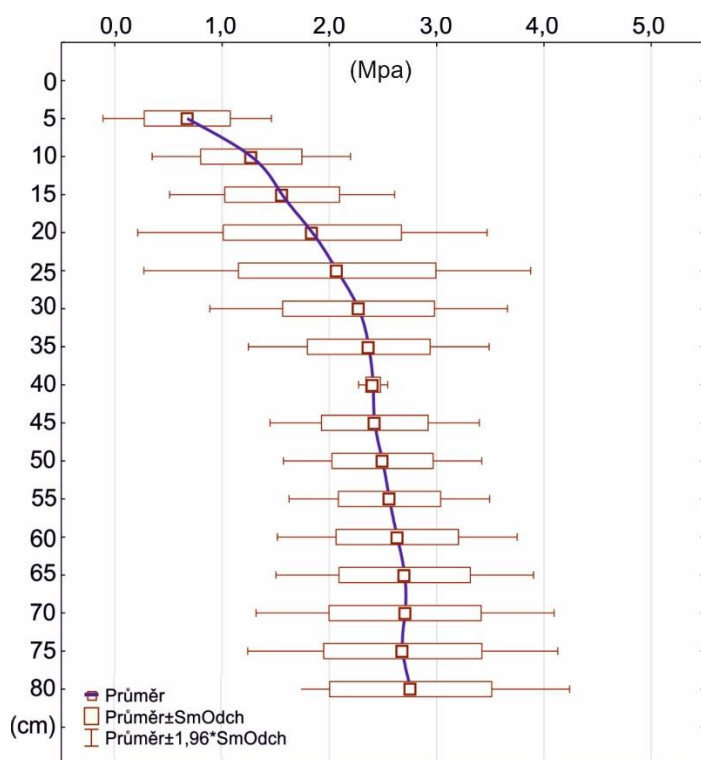
5.1 Zhodnocení penetrometrického odporu na pozemcích

Plocha 1-O

Hodnoty penetrometrického odporu zachycené v grafu 1 a tabulce 3 ukazují, že nárůstu penetračního odporu je pozvolný od povrchu až do hloubky přibližně 35 cm, kde se růst prakticky zastavuje a zůstává konstantní. Hloubka 35 cm je hloubkou orby. V celém profilu není překročena kritická hodnota penetračního odporu (3,5 KPa). Není ani pozorovatelné skokové utužení podorničí.

Tabulka 3 Základní statistické údaje hodnot penetrometrického měření v intervalech po 5 cm hloubky pro pozemek 1-0.

Hloubka	Popisné statistiky								
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Sm.odch.	Var.koef.	Šikmost	Špičatost
0-5	180	0,57	0,48	0,00	2,04	0,40	69,08	1,01	0,86
5-10	180	1,07	1,02	0,00	2,86	0,52	48,56	0,62	0,22
10-15	180	1,29	1,24	0,00	3,18	0,57	44,16	0,67	0,47
15-20	180	1,47	1,42	0,46	3,94	0,62	42,28	0,86	1,25
20-25	180	1,73	1,72	0,50	4,20	0,66	38,22	0,58	0,67
25-30	180	2,05	2,03	0,66	3,90	0,61	29,89	0,05	0,04
30-35	180	2,28	2,24	0,88	3,96	0,53	23,36	0,28	0,22
35-40	180	2,42	2,44	1,94	2,88	0,22	9,02	-0,33	-0,54
40-45	179	2,52	2,52	1,40	3,82	0,51	20,10	0,19	-0,27
45-50	179	2,59	2,58	1,28	4,14	0,54	21,04	0,26	-0,38
50-55	179	2,66	2,62	1,20	3,90	0,56	20,98	0,03	-0,58
55-60	178	2,78	2,74	1,50	5,22	0,63	22,75	0,42	0,13
60-65	174	2,89	2,86	1,37	5,48	0,68	23,60	0,34	0,18
65-70	171	2,88	2,84	1,35	4,54	0,72	24,90	0,17	-0,72
70-75	167	2,92	2,86	1,40	5,30	0,76	25,97	0,50	-0,15
75-80	164	2,96	2,92	1,34	5,22	0,78	26,33	0,54	0,02



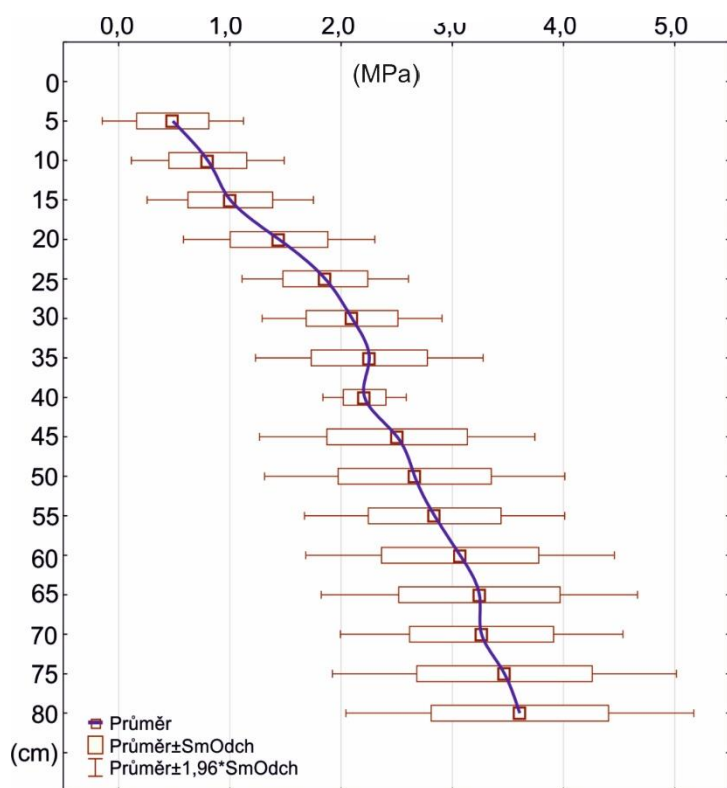
Graf 1 . Penetrometrický odpor v jednotlivých hloubkových intervalech na pozemku 1-0.

Plocha 1-B

Hodnoty penetrometrického odporu zachycené v grafu 2 a tabulce 4 ukazují, že nárůst penetračního odporu je pozvolný od povrchu až do hloubky přibližně 15 cm, kde se růst částečně navyšuje, to je nejspíše přechodem mezi kultivovanou a nekultivovanou částí. Hloubka 15 cm je hloubkou minimalizační technologie. V rozmezí 15 až 35 cm je půda mírně ulehlá, to může být známkou ještě neustálené bezorebné technologie a může být známkou ještě technologie s orbou, to by mohlo vysvětlovat i mocnost mírně ulehlé vrstvy. V hloubce 40 cm odpor mírně klesá, to může být způsobeno tím, že od 40 cm není naměřená hodnota způsobená antropogenním zhutňováním, ale přirozenou ulehlostí půdy. kritická hodnota penetračního odporu (3,5 KPa) je sledovatelná až v intervalu 75 až 80 cm.

Tabulka 4. Základní statistické údaje hodnot penetrometrického měření v intervalech po 5 cm hloubky pro pozemek 1-B.

Hloubka	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var. koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	30,0	0,49	0,47	0,00	1,66	0,11	0,32	66,73	1,70	4,94
5_10	30,0	0,80	0,77	0,06	1,90	0,12	0,35	43,77	0,82	2,29
10_15	30,0	1,00	0,96	0,50	1,80	0,15	0,38	38,02	0,55	-0,76
15_20	30,0	1,44	1,40	0,72	2,30	0,19	0,44	30,44	0,13	-0,94
20_25	30,0	1,86	1,90	0,80	2,60	0,15	0,38	20,53	-0,79	1,12
25_30	30,0	2,10	2,11	0,84	2,88	0,17	0,41	19,67	-0,66	1,74
30_35	30,0	2,25	2,24	1,24	3,50	0,27	0,52	23,18	0,42	-0,06
35_40	30,0	2,21	2,16	1,94	2,58	0,04	0,19	8,67	0,69	-0,57
40_45	29,0	2,50	2,54	1,40	3,82	0,40	0,63	25,23	-0,04	-0,54
45_50	29,0	2,66	2,60	1,56	4,14	0,47	0,69	25,88	0,11	-0,67
50_55	29,0	2,84	2,96	1,60	3,70	0,36	0,60	21,02	-0,42	-0,79
55_60	29,0	3,07	3,10	1,94	5,22	0,50	0,71	23,05	0,78	1,68
60_65	29,0	3,24	3,20	2,10	5,48	0,53	0,73	22,37	0,93	1,80
65_70	28,0	3,26	3,22	2,02	4,54	0,42	0,65	19,86	0,21	-0,26
70_75	28,0	3,47	3,39	2,26	5,30	0,62	0,79	22,76	0,53	-0,37
75_80	27,0	3,61	3,62	2,16	5,22	0,64	0,80	22,13	0,28	-0,47



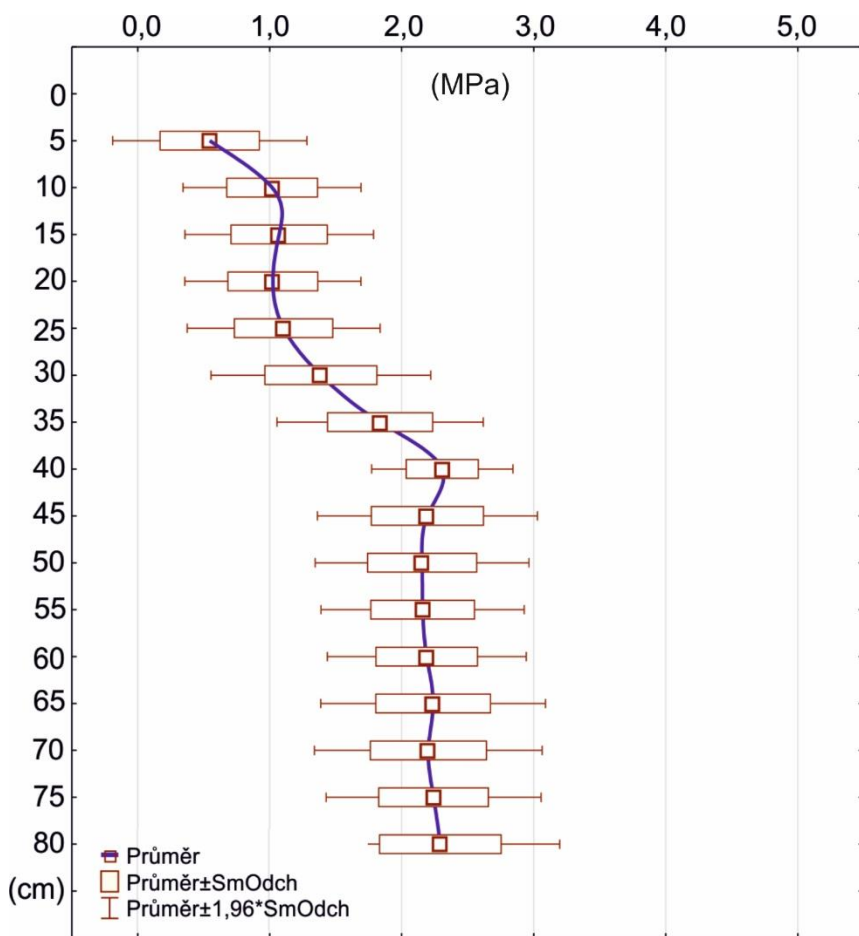
Graf 2 zaznamenání vývoje odporu v jednotlivých hloubkových intervalech pozemek 1-B.

Plocha 2-O

Hodnoty penetrometrického odporu zachycené v grafu 3 a tabulce 5 ukazují, že Penetrační odpor je na tomto pozemku v celém profilu nízký (max. 2,29 KPa). Výrazný nárůst je pak především v hloubkovém intervalu od 5 do 10 cm, tento vývoj je nejspíše způsoben předsetovou přípravou, případně i samotným setím, či koulením povrchu půdy. Od 10 do 25 cm hodnota penetrace mírně klesá. Od hloubky 25 do hloubky 40 cm dochází k výraznému nárůstu hodnot. Tento nárůst je způsoben přechodem mezi nakypřenou a nenakypřenou částí ve 25 cm. Od 25 do 40 cm opět patrný výrazný nárůst penetrometrického odporu. Lokální maximum (2,31 KPa) v 40 cm ukazuje na hloubku orby a náznak utužení v této hloubce. V dalších hloubkových intervalech (níže než 45 cm) je zaznamenán mírný pokles hodnot odporu a v dalších hloubkových intervalech mají hodnoty stagnující tendenci.

Hloubka	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var.koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	30	0,55	0,46	0,00	1,48	0,14	0,38	68,84	0,68	0,06
5_10	30	1,02	0,94	0,34	1,62	0,12	0,34	33,81	0,10	-0,71
10_15	30	1,07	1,02	0,50	2,40	0,13	0,36	34,02	1,60	4,89
15_20	30	1,02	0,99	0,60	2,38	0,12	0,34	33,25	2,17	7,84
20_25	30	1,11	1,05	0,50	1,90	0,14	0,37	33,72	0,35	-0,52
25_30	30	1,39	1,37	0,66	2,06	0,18	0,42	30,60	-0,12	-1,20
30_35	30	1,84	1,86	0,88	2,84	0,16	0,40	21,71	-0,19	0,96
35_40	30	2,31	2,27	1,98	2,84	0,07	0,27	11,83	0,44	-1,18
40_45	30	2,19	2,16	1,48	3,30	0,18	0,43	19,37	0,56	0,30
45_50	30	2,15	2,06	1,28	3,30	0,17	0,41	19,18	0,63	1,23
50_55	30	2,16	2,12	1,58	3,30	0,15	0,39	18,18	0,77	0,95
55_60	30	2,19	2,13	1,50	3,30	0,15	0,38	17,57	0,79	1,00
60_65	30	2,24	2,16	1,50	3,42	0,19	0,43	19,41	0,90	0,89
65_70	30	2,20	2,04	1,56	3,50	0,19	0,44	19,99	1,24	1,77
70_75	30	2,24	2,14	1,70	3,48	0,17	0,42	18,53	1,34	1,88
75_80	30	2,29	2,14	1,76	3,36	0,21	0,46	20,11	0,83	-0,22

Tabulka 5 Výsledná statistika penetrometrického měření v intervalech po pěti cm hloubky pro pozemek 2-O.



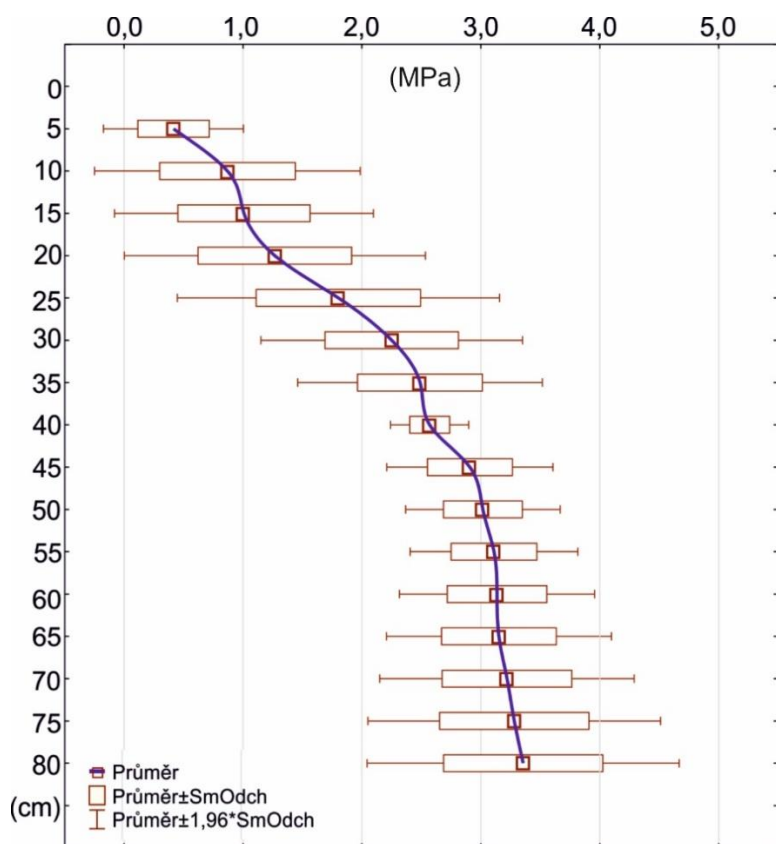
Graf 3 zaznamenání vývoje odporu v jednotlivých hloubkových intervalech pozemek 2-O.

Plocha 2-B

Hodnoty penetrometrického odporu zachycené v grafu 4 a tabulce 6. vykazují výrazný nárůst především v hloubce 15 cm, tento trend je nejspíše zapříčiněn přechodem mezi vrstvou nakypřenou a nekypřenou. V intervalu 15-40 cm je v profilu ještě historická známka orby a pod 40 cm je půda přirozeně ulehlá. V celém profilu není překročena kritická hodnota penetračního odporu (3,5 KPa).

Tabulka 6 Výsledná statistika penetrometrického měření v intervalech po pěti cm hloubky pro pozemek 2-B.

Hloubka	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var. koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	30	0,42	0,35	0,04	1,20	0,09	0,30	72,33	0,96	0,27
5_10	30	0,87	0,73	0,30	2,86	0,33	0,57	65,58	1,79	4,07
10_15	30	1,01	0,86	0,30	2,60	0,31	0,56	55,10	1,13	0,98
15_20	30	1,27	1,16	0,46	2,60	0,42	0,65	50,95	0,62	-0,57
20_25	30	1,80	1,79	0,60	3,20	0,48	0,69	38,35	0,07	-0,68
25_30	30	2,25	2,20	1,14	3,20	0,31	0,56	24,93	-0,17	-0,82
30_35	30	2,49	2,45	1,36	3,40	0,28	0,53	21,11	-0,05	-0,03
35_40	30	2,57	2,56	2,31	2,87	0,03	0,17	6,54	0,15	-1,22
40_45	30	2,91	2,81	2,30	3,80	0,13	0,36	12,27	0,74	0,10
45_50	30	3,02	2,99	2,40	3,80	0,11	0,33	10,99	0,42	-0,17
50_55	30	3,11	3,07	2,50	3,90	0,13	0,36	11,57	0,33	-0,08
55_60	30	3,14	3,17	2,36	4,00	0,18	0,42	13,35	-0,15	-0,49
60_65	30	3,15	3,13	2,26	4,00	0,23	0,48	15,31	0,07	-0,97
65_70	30	3,22	3,12	2,26	4,30	0,30	0,55	16,95	0,12	-0,73
70_75	30	3,28	3,15	2,32	4,70	0,39	0,63	19,13	0,71	-0,23
75_80	30	3,36	3,15	2,46	5,04	0,45	0,67	19,95	0,75	-0,15



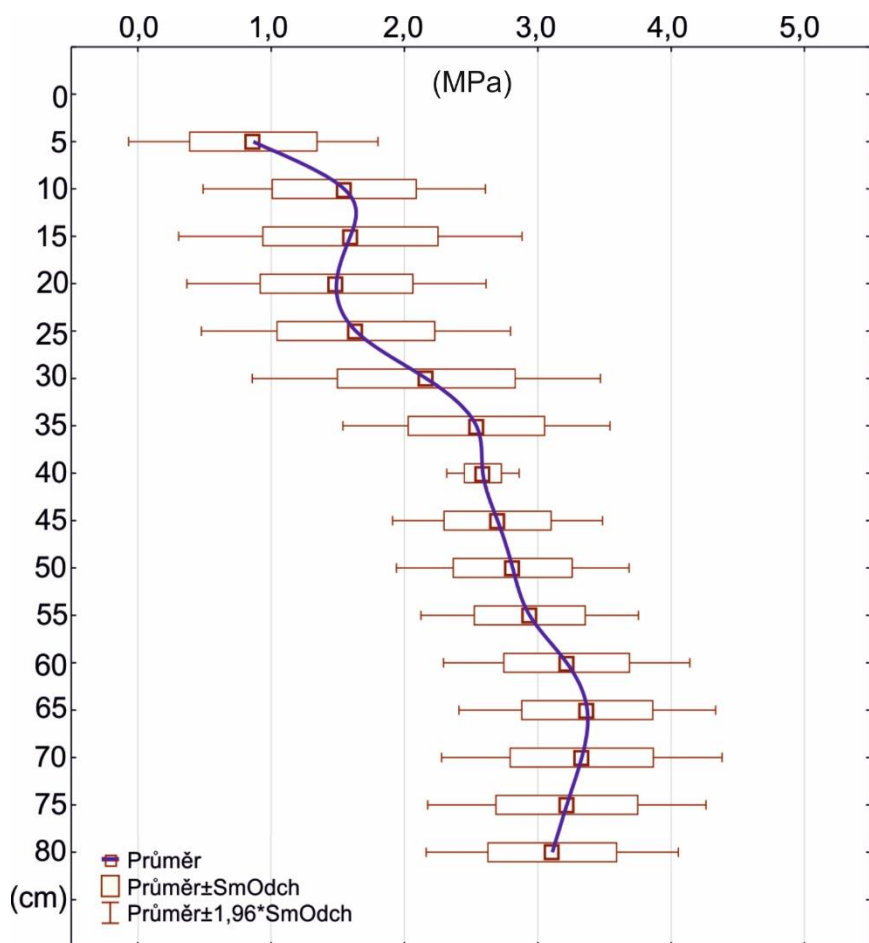
Graf č. 4. zaznamenání vývoje odporu v jednotlivých hloubkových intervalech pozemek 2-B.

Plocha 3-O

Hodnoty PO zachycené v grafu 5 a tabulce 7 ukazují, že Výrazný nárůst hodnot je v hloubce do 10 cm, který lze připsat předseťové přípravě, setí, či koulení povrchu. Nasvědčuje tomu i skutečnost, že v hloubkovém intervalu 10 až 25 cm je zaznamenán mírný pokles hodnot. V hloubce 25 cm je zaznamenán další nárůst PO. Tento nárůst lze přisoudit přechodu mezi vrstvou kultivovanou a nekultivovanou. V hloubkovém intervalu 25 až 35 cm je další výrazný nárůst hodnot PO (1,6 na 2,5 KPa) V hloubce 35 až 65 cm je další pozvolný nárůst hodnot až téměř ke kritické hranici zhutnění. Hodnoty kritické hranice (3,5 KPa) však nedosáhne. V hloubce 65 cm je odpor dosahuje nejvyšších hodnot PO (3,4 KPa) a následně hodnoty od hloubky 65 až 80 cm opět mírně klesají. To může být způsobeno přirozeně méně ulehlou částí.

Tabulka 7. Výsledná statistika penetrometrického měření v intervalech po pěti cm hloubky pro pozemek 3-O.

Hloubka	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var. koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	30	0,87	0,80	0,00	2,04	0,23	0,48	55,13	0,44	-0,09
5_10	30	1,55	1,58	0,00	2,56	0,29	0,54	34,90	-0,60	1,18
10_15	30	1,59	1,60	0,00	3,18	0,43	0,66	41,22	0,35	1,28
15_20	30	1,49	1,56	0,48	2,90	0,33	0,57	38,42	0,45	0,01
20_25	30	1,64	1,45	0,70	2,92	0,35	0,59	36,18	0,80	-0,15
25_30	30	2,16	2,20	0,70	3,38	0,44	0,67	30,81	-0,07	-0,35
30_35	30	2,54	2,56	1,10	3,38	0,26	0,51	20,13	-0,54	0,87
35_40	30	2,59	2,60	1,98	2,88	0,02	0,14	5,34	-2,70	13,50
40_45	30	2,70	2,69	2,02	3,40	0,16	0,40	14,89	0,05	-0,95
45_50	30	2,81	2,76	2,06	3,80	0,20	0,45	15,84	0,35	-0,29
50_55	30	2,94	2,90	2,10	3,80	0,17	0,42	14,16	0,15	-0,50
55_60	30	3,22	3,19	2,10	4,08	0,22	0,47	14,66	-0,12	-0,10
60_65	30	3,37	3,34	2,06	4,22	0,24	0,49	14,57	-0,19	0,42
65_70	30	3,33	3,29	2,04	4,30	0,29	0,54	16,11	-0,15	-0,17
70_75	30	3,22	3,15	2,08	4,20	0,28	0,53	16,54	-0,12	-0,26
75_80	30	3,11	3,06	2,20	4,06	0,23	0,48	15,52	0,20	-0,48



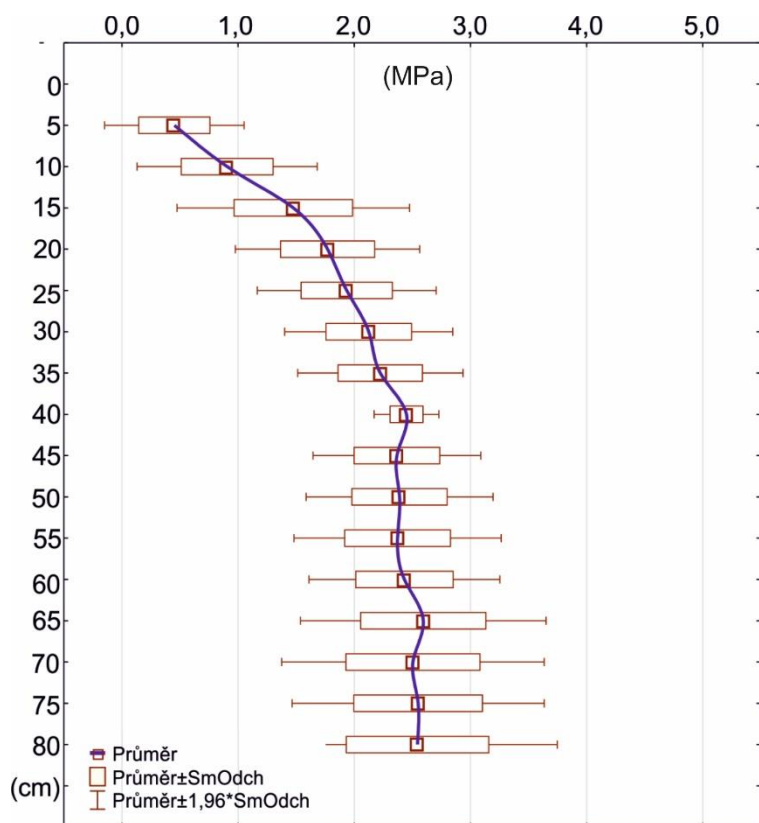
Graf č. 5. zaznamenání vývoje odporu v jednotlivých hloubkových intervalech pozemek 3-O.

Plocha 3-B

Hodnoty PO zachycené v grafu 6 a tabulce 8 ukazují na rychlý nárůst PO v intervalu 0-15 cm a dále pozvolnější trend nárůstu do 40 cm. V hlubších vrstvách jsou hodnoty PO prakticky konstantní, ustálené v úzkém intervalu 2,3-2,6 KPa.

Tabulka 8. Výsledná statistika penetrometrického měření v intervalech po pěti cm hloubky pro pozemek 3-B

Hloubka	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var.koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	30	0,45	0,32	0,06	1,28	0,09	0,31	67,86	0,99	0,40
5_10	30	0,91	0,91	0,34	1,62	0,16	0,40	43,64	0,17	-1,15
10_15	30	1,48	1,40	0,44	2,62	0,26	0,51	34,59	0,36	0,26
15_20	30	1,77	1,77	0,96	2,56	0,16	0,40	22,88	-0,14	-0,31
20_25	30	1,94	1,91	1,24	2,74	0,15	0,39	20,30	0,18	-0,37
25_30	30	2,12	2,10	1,36	2,94	0,14	0,37	17,38	0,35	0,15
30_35	30	2,22	2,16	1,66	2,98	0,13	0,36	16,33	0,50	-0,40
35_40	30	2,45	2,38	2,27	2,66	0,02	0,14	5,79	0,28	-1,72
40_45	30	2,37	2,35	1,72	3,20	0,14	0,37	15,57	0,49	-0,23
45_50	30	2,39	2,31	1,84	3,60	0,17	0,41	17,17	1,07	1,47
50_55	30	2,37	2,41	1,20	3,60	0,21	0,46	19,18	0,00	2,03
55_60	29	2,43	2,44	1,60	3,60	0,18	0,42	17,24	0,60	1,50
60_65	26	2,59	2,57	1,37	3,64	0,29	0,54	20,79	-0,26	-0,14
65_70	24	2,51	2,54	1,35	3,84	0,33	0,58	23,03	0,25	0,55
70_75	20	2,55	2,65	1,40	3,72	0,31	0,55	21,72	-0,19	0,09
75_80	18	2,54	2,61	1,34	3,52	0,38	0,61	24,11	-0,43	-0,70



Graf č. 6. zaznamenání vývoje odporu v jednotlivých hloubkových intervalech pozemek 3-B.

Porovnání technologií zpracování půdy:

Souhrnné hodnoty penetrometrického odporu dle jednotlivých technologií kultivace jsou zachyceny v tabulkách 9 a 10.

Vlastní zhodnocení, zda existují statisticky významné rozdíly mezi hodnotami PO u dvou sledovaných typů zpracování půdy, byly vyhodnoceny pomocí testu ANOVA (hladina významnosti 0,05) pro všechny sledované hloubkové intervaly (Tabulka 1 v přílohách). Statisticky významné rozdíly PO mezi technologiemi obdělávání byly identifikovány ve všech hloubkových intervalech mimo hloubky 15-20, 30-35 a 35-40 cm. Graf 7 ukazuje, že ve svrchní části do hloubky 15 cm jsou hodnoty PO nižší u bezorebné technologie. V hloubkovém intervalu 15-20 cm jsou hodnoty PO totožné. Níže této hloubky pak platí opačný trend než ve svrchní části půdního profilu. Hodnoty PO jsou vyšší u bezorebné technologie, než u orebné. Výjimkou je hloubkový interval 35-40 cm, kde jsou hodnoty identické.

Tabulka 9 Výsledná statistika penetrometrického měření v intervalech po pěti cm hloubky pro průměr orebné metody 3 pozemků.

Hloubka	Kultivace=O									
	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var.koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	90,0	0,70	0,58	0,00	2,04	0,19	0,44	62,67	0,68	0,10
5_10	90,0	1,28	1,24	0,00	2,56	0,25	0,50	39,36	0,16	-0,22
10_15	90,0	1,41	1,36	0,00	3,18	0,33	0,58	41,09	0,66	0,75
15_20	90,0	1,45	1,26	0,48	3,94	0,48	0,70	47,87	1,30	1,93
20_25	90,0	1,60	1,41	0,50	4,20	0,59	0,77	48,01	1,10	1,06
25_30	90,0	1,94	1,90	0,66	3,90	0,52	0,72	37,28	0,35	-0,28
30_35	90,0	2,25	2,22	0,88	3,96	0,33	0,58	25,72	0,30	0,34
35_40	90,0	2,43	2,45	1,98	2,88	0,05	0,21	8,78	-0,57	-0,22
40_45	90,0	2,44	2,40	1,48	3,76	0,23	0,48	19,87	0,39	-0,23
45_50	90,0	2,49	2,46	1,28	3,80	0,27	0,52	20,72	0,41	-0,11
50_55	90,0	2,55	2,52	1,58	3,80	0,28	0,53	20,86	0,31	-0,53
55_60	90,0	2,68	2,58	1,50	4,08	0,41	0,64	23,76	0,36	-0,75
60_65	89,0	2,77	2,76	1,50	4,24	0,48	0,69	25,06	0,32	-0,81
65_70	89,0	2,75	2,74	1,44	4,30	0,54	0,73	26,68	0,36	-0,89
70_75	89,0	2,72	2,66	1,62	4,26	0,49	0,70	25,68	0,49	-0,79
75_80	89,0	2,72	2,62	1,68	4,84	0,44	0,67	24,47	0,62	-0,05

Obecně lze konstatovat, že u orebné technologie hodnoty PO kolísají mezi 0,69 KPa (u nejsvrchnějšího hloubkového intervalu) až po 2,77 KPa v hloubce 60-64 cm. Průběh hodnot PO má pozvolný trend nárůstu se zlomem kolo 30-35 cm, což lze spojovat s hloubkou orby. Trendy hodnot ale neukazují na utužení podorničí. U utuženého podorničí lze obvykle sledovat následný pokles hodnot PO níže v profilu, což nebylo prokázáno.

U bezorebné technologie je interval hodnot PO širší a kolísá mezi 0,45 KPa v nejsvrchnějším hloubkovém intervalu až po hodnotu 3,25 KPa identifikovanou naopak v nejhlubší části

půdního profilu. Podobný trend ukazatelů zhutnění půd popsali ve své studii Chen et al. (2014) zkoumající vliv různé kultivace na černozemě. Obdobný trend byl zachycen i v práci zkoumající vliv kultivace na zhutnění černozemí (Mollisols) v USA. Bezorebné technologie vykazaly mírně vyšší PO, než orané půdy (Hill & Cruse 1985).

Provedená měření nepotvrdila konstatování některých autorů (např. Lhotský 2000), že orba je méně příznivá na zhutnění půdy oproti bezorebným technologiím. Významnou roli zde jistě hraje fakt, že výzkum byl prováděn na černozemích, které jsou hodnoceny jako půdy s vysokou resistencí proti potenciálnímu zhutnění (VÚMOP, 2021).

Ani u jedné ze zkoumaných technologií zpracování půdy nebyly překročeny kritické limity (3,5 KPa) pro hodnocení zhutnění půd. Těmto hodnotám se ale více blížily hlubší partie půd s bezorebnou technologií. Stejného výsledku bylo dosaženo již ve výše uvedené studii (Hill & Cruse 1985).

Tabulka 10. Výsledná statistika penetrometrického měření v intervalech po pěti cm hloubky pro průměr bezorebné technologie 3 pozemků.

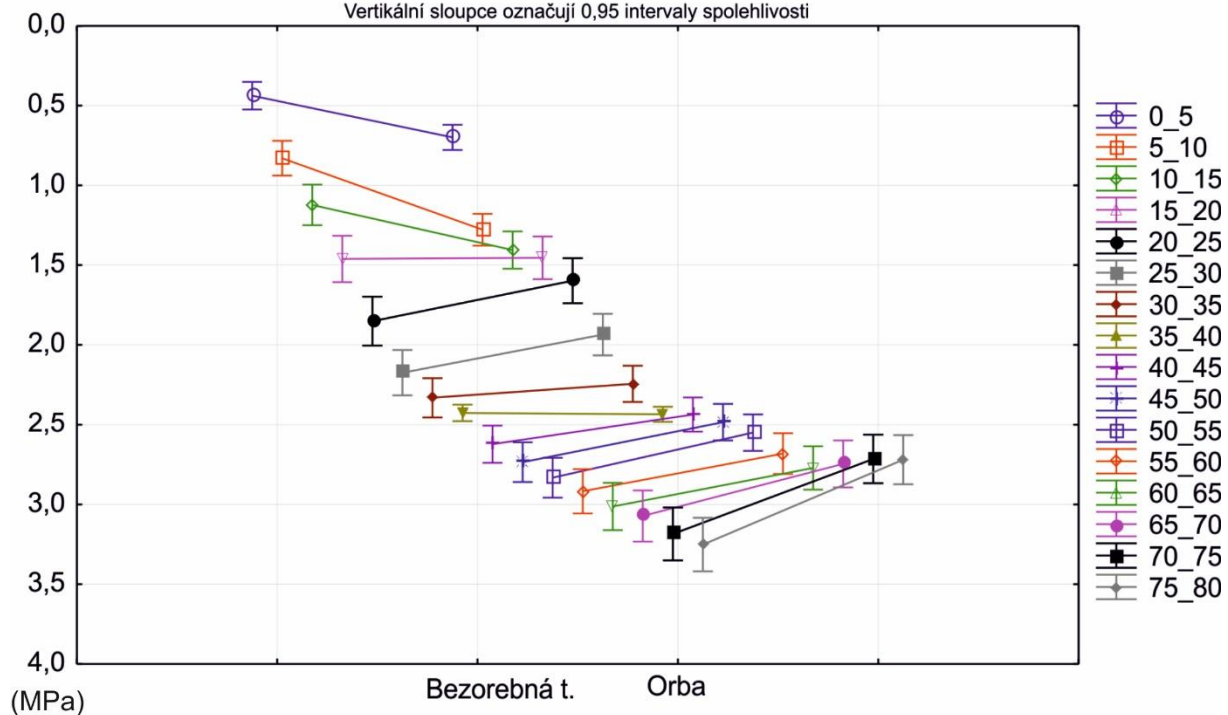
Hloubka	Kultivace=B									
	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var. koef.	Šikmost	Špičatost
0_5	90	0,45	0,38	0,00	1,66	0,10	0,31	68,39	1,21	1,94
5_10	90	0,86	0,78	0,06	2,86	0,20	0,45	51,93	1,37	3,60
10_15	90	1,16	1,12	0,30	2,62	0,28	0,53	45,72	0,69	0,10
15_20	90	1,49	1,54	0,46	2,60	0,30	0,54	36,43	-0,02	-0,74
20_25	90	1,87	1,90	0,60	3,20	0,26	0,51	27,14	-0,18	0,30
25_30	90	2,16	2,12	0,84	3,20	0,21	0,46	21,08	-0,04	0,10
30_35	90	2,32	2,28	1,24	3,50	0,24	0,49	20,92	0,34	-0,11
35_40	90	2,41	2,40	1,94	2,87	0,05	0,22	9,29	-0,12	-0,70
40_45	89	2,59	2,62	1,40	3,82	0,27	0,52	19,94	-0,03	-0,09
45_50	89	2,69	2,68	1,56	4,14	0,31	0,56	20,70	0,08	-0,44
50_55	89	2,77	2,86	1,20	3,90	0,32	0,57	20,37	-0,27	-0,27
55_60	88	2,88	2,86	1,60	5,22	0,38	0,61	21,32	0,57	1,15
60_65	85	3,01	2,98	1,37	5,48	0,42	0,65	21,57	0,49	1,55
65_70	82	3,03	2,94	1,35	4,54	0,46	0,67	22,30	0,06	-0,23
70_75	78	3,16	3,04	1,40	5,30	0,58	0,76	24,09	0,48	0,20
75_80	75	3,25	3,08	1,34	5,22	0,66	0,81	24,95	0,29	0,04

Typ kultivace; Průměry MNČ

Wilksovo lambda=,56669, F(16, 147)=7,0249, p=,00000

Dekompozice efektivní hypotézy

Vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti



Graf 7 Zaznamenává vývoj odporu a míru ztuhnutí jednotlivých hloubkových intervalů za průměr pozemků obdělávané bezorebnou technologií a technologií s orbou.

6 Závěr

- Cílem práce bylo zjistit, zda-li má minimalizační technologie na černozemích v oblasti dolního Poohří příznivější vliv na míru pedokompakce než technologie orebná. Za tímto účelem bylo vybráno šest pozemků s podobnými půdními podmínkami, ze kterých se na třech blocích hospodaří orbou a na dalších třech systémem bezorebným. Na všech šesti pozemcích bylo provedeno vždy po 30 měřeních penetrometrického odporu (PO) digitálním penetrometrem v hloubce 0-80 cm.
- Následně došlo ke statistickému vyhodnocení získaných dat. Pro účely této bakalářské práce se vyhodnocovaly hodnoty hloubkových intervalů po 5 cm zprůměrované z měření pro jednotlivé pozemky. Následně se pro srovnání zprůměrovala všechna data získaná z pozemků, na kterých se prováděla orba a stejným způsobem došlo ke zprůměrování dat na pozemcích obdělávaných bezorebně.
- Zjištěné výsledky ukázaly, že existují statisticky významné rozdíly v hodnotách penetračního odporu u sledovaných technologií zpracování půdy. U bezorebného zpracování je nižší PO ve svrchní části půdního profilu, naopak u orby jsou hodnoty PO nižší v hloubce pod 40 cm. Ani u jedné z technologií zpracování půdy nebylo v rámci měření zjištěno překročení kritické hodnoty 3,5 KPa používané pro označení půd jako zhutněných.
- Na základě získaných dat a zpracovaných výsledků nelze prohlásit, který systém je na daném půdním typu vhodnější využívat z pohledu zhutnění půd.

7 Literatura

- Alessa L, Earnhard CG. 2000. Effects of Soil Compaction on Root and Root Hair Morphology: Implications for Campsite Rehabilitation. *USDA Forest Service* **15**:99-104.
- MR. 1988. Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. *Canadian Journal of Soil Science* **68**:657-668.
- Ciric V, Manojlovic M, Nesic L, Belic M. 2012. Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **12**:689-703.
- Chen XW, Liang AZ, JiaSX, Zhang XP, Wei SC. 2014. Impact of tillage on physical characteristics in a Mollisol of Northeast China. *Plant Soil Environ* **2014**:309–313.
- DeFelice M, Carter PR, Mitchell SB. 2016. Evaluation of Tillage Systems. *Agronomic spotlight* 2016:2.
- Huntenburg K, Dodd IC, Stalham M. 2021. Agronomic and physiological responses of potato subjected to soil compaction and/or drying. *Annals of Applied Biology* **178**:328–340.
- Hraško J. 1962. Rozbory pod. Slovenské vydavateľstvo podohospodarskej literatúry, Bratislava.
- Hůla J, Procházková B. 2002. Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha. ISBN 80-7271-106-7.
- Jandák J. 2003. Cvičení z půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Javůrek M, Vach M. 2008. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. ISBN 978-80-87011-57-7.
- Khel T, Vopravil J. 2015. Možnosti identifikace utužení půdního profilu. *Úroda* **1**: 63-66.
- Kopecký J. 1928. Půdoznalství: Část agrofyzikální. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Kostelanský F. 2004. Obecná produkce rostlinná. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. ISBN: 80-7157-765-0.
- Krümmlbein J, Horn R, Pagliai M. 2020. Soil degradation. schweizerbart. International Union of Soil Science. ISBN 978-3-510-65380-5.
- Křen K, Neudert L, Procházková B, Smutný V, Hůla J. 2015. Obecná produkce rostlinná 2. část. Mendelova univerzita, Brno. ISBN 978-80-7509-327-1.
- Kozák J., Němeček J. and Jetmar M. 1996. the database of soil information systém-PUGIS. *Rostlinná výroba* **42**:529-534
- Ledvina R., Horáček J., Šindelářová M. 2000. Geologie a půdoznalství. Jihočeská univerzita, České Budějovice. ISBN 80-900364-6-5.
- Lhotský J., 2000. Zhutňování půd a opatření proti němu. Ústav zemědělské techniky, Praha. ISBN: 80-7271-067-2.

- Moraes MT. 2014. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **38**:288-298.
- Němeček J, Muhlanselová M, Macků J, Vokoun J, Vavříček D, Novák P. 2011. taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. uprava vydání Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN: 978-80-213-2155-7.
- Pavlu L. 2018. Základy pedologie a ochrany půdy. Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN: 978-80-213-2876-1.
- Penížek V. 2019. Půdní krajiny. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Pižl V. 1992. Effect of soil compaction on earthworms (lumbricidae) in apple orchard soil. *Soil Biology and Biochemistry* **12**:1573-1575.
- Sánka M, Vácha R, Poláková Š, Fiala P. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Tisk SABING spol., Olomouc.
- Šarapatka B, Dlapa P, Bednar Z. 2002. Kvalita a degradace půdy. Tiskservis, Olomouc.
- Šarapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství. PRO-BIO, Šumperk.
- Šimek M. 2004. Základy nauky o půdě. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- Šimon J, Lhotský J. 1989. Zpracování a zúrodnování půd. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Šnobl J. 2007. Základy rostlinné produkce. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Tomášek M. 1995. Atlas půd České republiky. Český geologický ústav, Praha.
- Trofimova, TA, Korzhov SI, Gulevskii VA. 2018. Assessing the Degree of Physical Degradation and Suitability of Chernozems for the Minimization of Basic Tillage. *Agricultural Chemistry and Soil Fertility* **51**:1080–1085.
- Wani SA, Ali T, Sofi MN, Ramzan M, Hakeem KR. 2016. An appraisal of conservation tillage on the soil physical properties. In 'Soil science: agricultural and environmental perspectives'. (Eds K Hakeem, J Akhtar, M Sabir) pp. 1–22.

Internetové zdroje

VÚMOP. 2021 Available from:

<https://geoportal.vumop.cz/>

FAO. 2006. Guidelines for soil description. Available from: <http://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf> (accessed April 2021).

FAO. 2015. World reference base for soil resources 2014 Available from: <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf> (accessed April 2021)

- Hill R. L., Cruse R. M. 1985. Tillage Effects on Bulk Density and Soil Strength of Two Mollisols Available from:
<https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900050040x> (accessed April 2021).
- Hůla J., Krouhlik M., Kovaříček P. 2021. Vliv opakovaných přejezdů po půdě na stupeň zhutnění. Available from:
<http://WWW.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2009/059.pdf>
- Hůla J. 2001. Mechanizace zemědělství: zpracování půdy. Available from:
<https://www.mechanizaceweb.cz/zpracovani-pudy/> (accessed April 2021).
- Hůla J. 2001. Technogenní zhutňování půdy – nežádoucí jev. Available from:
<https://www.uroda.cz/technogenni-zhutnovani-pudy-nezadouci-jev/> (accessed April 2021).
- Novák P, Mašek J. 2018. Doučasně trendy zpracování půdy. Available from:
<https://www.agrojournal.cz/clanky/soucasne-trendy-zpracovani-pudy-327> (accessed April 2021).
- Javorek F. 2008. Podmítka základem zpracování půdy. Available from
<https://www.zemedelec.cz/podmitka-zakladem-zpracovani-pudy/> (accessed April 2021).
- Novotný F. 2019. Technologie zpracování půdy, talířové pluhy, talířové podmítače a talířové brány. Available from <https://www.agroportal24h.cz/clanky/technologie-zpracovani-pudy-talirove-pluhy-talirove-podmitace-a-talirove-brany> (accessed April 2021).
- Pospíšil J. 2020. Podmítka a podmítače. Available from:
<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/podmitka-a-podmitace> (accessed April 2021).
- Pulkrábek J, Urban J, Jedličková M. 2015. Vliv podzimního zpracování půdy na zhutnění půdy v počátcích vegetace cukrové řepy. Available from:
<https://www.asz.cz/cs/odborne-clanky-a-analyzy/vliv-podzimniho-zpracovani-pudy-na-zhutneni-pudy-v-pocatcich-vegetace-cukrove-repy.html> (accessed April 2021).
- Winkler J. 2020. Podmítka - významný nástroj pro regulaci zaplevelení. in
Www.agromanual.cz. agromanual.cz, agromanual.cz. Available from
<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/podmitka-vyznamny-nastroj-pro-regulaci-zapleveleni> (accessed April 2021).

8 Samostatné přílohy

Tab 1. Výsledky analýzy ANOVA (hl.významnosti 0,05)

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (data vše průměr)												
	Stupně (volnosti)	0_5 (SČ)	0_5 (PČ)	0_5 (F)	0_5 (p)	5_10 (SČ)	5_10 (PČ)	5_10 (F)	5_10 (p)	10_15 (SČ)	10_15 (PČ)	10_15 (F)	10_15 (p)
Abs. člen	1	52,64127	52,64127	367,4377	0,000000	180,8816	180,8816	792,4062	0,000000	260,1250	260,1250	832,5205	0,000000
Kultivace	1	2,78095	2,78095	19,4111	0,000019	8,1632	8,1632	35,7614	0,000000	3,2534	3,2534	10,4125	0,001515
Chyba	162	23,20906	0,14327			36,9795	0,2283			50,6177	0,3125		
Celkem	163	25,99002				45,1428				53,8711			
	Stupně (volnosti)	15_20 (SČ)	15_20 (PČ)	15_20 (F)	15_20 (p)	20_25 (SČ)	20_25 (PČ)	20_25 (F)	20_25 (p)	25_30 (SČ)	25_30 (PČ)	25_30 (F)	25_30 (p)
Abs. člen	1	346,0072	346,0072	848,8824	0,000000	484,2271	484,2271	1064,061	0,000000	687,5727	687,5727	1771,305	0,000000
Kultivace	1	0,0017	0,0017	0,0042	0,948610	2,6200	2,6200	5,757	0,017556	2,3185	2,3185	5,973	0,015601
Chyba	162	66,0317	0,4076			73,7221	0,4551			62,8840	0,3882		
Celkem		66,0334				76,3421				65,2025			
	Stupně (volnosti)	30_35 (SČ)	30_35 (PČ)	30_35 (F)	30_35 (p)	35_40 (SČ)	35_40 (PČ)	35_40 (F)	35_40 (p)	40_45 (SČ)	40_45 (PČ)	40_45 (F)	40_45 (p)
Abs. člen	1	852,1918	852,1918	2904,990	0,000000	962,1154	962,1154	19053,80	0,000000	1041,900	1041,900	3994,394	0,000000
Kultivace	1	0,3130	0,3130	1,067	0,303200	0,0031	0,0031	0,06	0,805720	1,405	1,405	5,387	0,021528
Chyba	162	47,5234	0,2934			8,1801	0,0505			42,256	0,261		
Celkem		47,8364				8,1832				43,661			
	Stupně (volnosti)	50_55 (SČ)	50_55 (PČ)	50_55 (F)	50_55 (p)	55_60 (SČ)	55_60 (PČ)	55_60 (F)	55_60 (p)	60_65 (SČ)	60_65 (PČ)	60_65 (F)	60_65 (p)
Abs. člen	1	1179,348	1179,348	3948,008	0,000000	1276,116	1276,116	3428,662	0,000000	1361,894	1361,894	3226,731	0,000000
Kultivace	1	3,253	3,253	10,888	0,001190	2,263	2,263	6,080	0,014711	2,376	2,376	5,629	0,018837
Chyba	162	48,393	0,299			60,295	0,372			68,375	0,422		
Celkem		51,645				62,558				70,751			
	Stupně (volnosti)	65_70 (SČ)	65_70 (PČ)	65_70 (F)	65_70 (p)	70_75 (SČ)	70_75 (PČ)	70_75 (F)	70_75 (p)	75_80 (SČ)	75_80 (PČ)	75_80 (F)	75_80 (p)
Abs. člen	1	1378,092	1378,092	2788,032	0,000000	1416,868	1416,868	2677,219	0,000000	1451,293	1451,293	2681,916	0,000000
Kultivace	1	4,332	4,332	8,764	0,003534	8,991	8,991	16,989	0,000060	11,518	11,518	21,285	0,000008
Chyba	162	80,075	0,494			85,735	0,529			87,665	0,541		
Celkem		84,407				94,727				99,183			