



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra agroekosystémů

Diplomová práce

Průzkum půd z hlediska degradace půdní struktury a stavby
s využitím penetrometrie pro vybranou oblast

Autor práce: Ing. Tomáš Polan

Vedoucí práce: Ing. David Kabelka, Ph.D.

České Budějovice
2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá degradací půdy, jednotlivými degradačními procesy a ve vybrané oblasti zkoumá půdní strukturu. Pro zpracování práce byly zvoleny dvě výzkumné technologie. Jednou z nich je měření zhutnění půdy pedometricky a druhou je rozbor půdních vzorků odebraných pomocí Kopeckého válečků, na zjištění vodní retenční kapacity, pórovitosti a provzdušněnosti půdy. Ve zvolené oblasti se mezi sebou porovnávají dvě metody zpracování půdy, technologie se zpracování půdy orbu a technologie zpracování půdy bez orby.

V závěru práce jsou shrnuty výsledky šetření a doporučeny postupy pro snížení degradačních vlivů na půdu.

Klíčová slova: pedologie; penetrometrie; degradace půdy; zhutnění půdy; půda

Abstract

The diploma thesis deals with soil degradation, individual degradation processes and examines the soil structure in the selected area. Two research technologies were chosen for the processing of the work, one of them is the measurement of soil compaction by pedometric means and the other is the analysis of soil samples taken using Kopecky rollers to determine the water retention capacity, porosity and aeration of the soil. In the selected area, two soil cultivation methods are compared with each other, soil cultivation technology with plowing and soil cultivation technology without plowing.

At the end of the work, the results of the investigation will be summarized and procedures recommended for reducing degradation effects on the soil.

Keywords: pedology; penetrometry; soil degradation; soil compaction; soil

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Davidovi Kabelkovi, Ph.D. za vedení a cenné rady při vypracovávání diplomové práce. Poděkování také patří agronomovi panu Ing. Adamovi Řehořovi ze společnosti AGROKAT Katovice spol. s r.o. za umožnění provedení pokusu a spolupráci při zjišťování potřebných dat.

Obsah

Úvod.....	7
1 Půda a její význam	8
1.1 Půdoznalství	9
1.2 Komplexní průzkum půd.....	9
1.3 Půdní průzkum v současné době	11
1.4 Půda a její vlastnosti.....	12
1.4.1 Struktura půdy	12
1.4.2 Technologické vlastnosti půdy.....	13
1.4.3 Chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy	14
1.4.4 Fyzikální vlastnosti půdy	16
1.4.5 Biologické vlastnosti půdy	17
1.5 Klasifikace půdních druhů.....	18
1.6 Klasifikace půdních typů.....	19
1.7 Degradace půdy	19
1.7.1 Zhutnění půdy	22
1.8 Penetrometrie.....	23
2 Metodika	24
2.1 Charakteristika dané oblasti	24
2.2 Metodický postup	25
3 Výsledky	30
3.1 Penetrometrické šetření	30
3.2 Rozbor půdních vzorků	39
4 Diskuse.....	45
Závěr	49
Seznam použité literatury.....	51
Seznam obrázků	55

Seznam tabulek	56
----------------------	----

Úvod

V zemědělství je základním výrobním prostředkem zemědělská půda. Na jejích chemických, fyzikálních i biologických vlastnostech závisí úrodnost, možnosti a náročnost zpracování, ohroženost erozí, způsob využití apod. Proto je důležité, aby zemědělci k pozemkům s různými vlastnostmi půdy přistupovali individuálně. Vždy by měla být snaha přizpůsobovat zásahy a způsoby zpracování půdy konkrétním podmínkám daného pozemku tak, aby bylo dosaženo požadovaných zisků, ale také zachována půda v dobré kondici bez degradace.

Možností, jak obdělávat pozemky je hned několik. Současné vědeckotechnické znalosti přinášejí nová zjištění o procesech probíhajících v půdě, zdokonalují se a vyvíjejí nové technologie, jak s půdou zacházet.

Zpracování půdy patří v zemědělství k energeticky nejnákladnějším úkonům. Proto je snaha využívat způsoby, jak dosáhnout snížení nákladů a časové náročnosti a zároveň zachovat požadovanou úroveň produkce. Mezi tyto způsoby dnes patří tzv. minimalizační technologie. Jejich základem je zajištění dostatku potravin při zachování udržitelnosti produkce pro další generace.

Diplomová práce má za cíl přiblížit děje probíhající v půdě, popsat degradaci a základní způsoby, jakými se zkoumá. V praktické části se práce zabývá porovnáním konvenční a minimalizační technologie v ohledu na strukturu a zhutnění půdy. Při provádění pokusu bylo zjištěno aktuální zhutnění půdy a její struktura na různě zpracovaných pozemcích v dané oblasti. Uveden je popis jednotlivých technologií zpracování půdy včetně získaných výsledků. V závěru jsou uvedeny možnosti, jak lze degradaci půdy a její následky snižovat.

1 Půda a její význam

Dynamicky se vyvíjející živý přírodní systém, který vzniká z organických zbytků a povrchových zvětralin za působení půdotvorných faktorů označujeme jako půda. Slouží jako stanoviště půdních organismů, rostoucích plodin a zásobárna vody a živin. Půda je tenká vrstva zemského povrchu a řadí se do národního bohatství každé země (MZP, 2023).

Půda je složkou ekosystému, ve kterém neustále probíhá látková a energetická výměna s prostředím. Je stanovištěm pěstovaných plodin, pro které je zásadním faktorem umožňující jejich správný a požadovaný vývoj (Škoda a Cholenský, 1993).

Půda má velký počet funkcí, prvotně lze tyto funkce rozdělit na funkce produkční a mimoprodukční. S produkční funkcí je spjata možnost poskytovat výnos, který se využívá v zemědělství a lesnictví. Z tohoto pohledu je půda vnímána především jako zdroj a s tímto souvisí pojem úrodnost půdy. Mimoprodukční funkce půdy jsou stejně významné pro lidstvo a je podstatné je udržovat. Mezi tyto funkce patří schopnost zachytávat, přetvářet a filtrovat látky, a to jak organické, tak i anorganické, jako jsou hnojiva a kontaminační látky. Tyto látky poté transformují rozkladem nebo syntetizují. Rozkladné funkce se využívají při přeměně odumřelé biomasy a uvolňování živin, nebo degradaci pesticidů. Syntetické funkce umožňují tvorbu stabilních humusových látek, které zajišťují sekvestraci uhlíku v půdě. Nenahraditelnou funkcí je vstup půdy do koloběhu vody na Zemi. Na první pohled je patrná funkce kulturní. (Pavlů, 2018).

Ze zemědělského pohledu je podstatným významem úrodnost půd. Jedná se o celkový ukazatel, který bere v úvahu fyzikální, fyzikálně-chemické a chemické vlastnosti půdy, dále biologické a biochemické vlastnosti. Obecně lze půdní úrodnost definovat jako schopnost půdy poskytnout plodinám nejvhodnější podmínky pro jejich růst a vývoj, umožnit optimální vývoj půdního edafonu a vyrovnávat změny v půdním prostředí. Význam půdy je zcela jistě nedocenitelný (Rejšek a Klement, 2018).

Z ekonomického pohledu chápeme půdu jako základní výrobní prostředek ve výrobě potravin. Má se za to, že se v procesu využívání neopotřebovává. S určitým stupněm vývoje lidské společnosti se tak půda stává produktem lidského působení (Jandák et al., 2004).

1.1 Půdoznalství

Hlavním předmětem pozornosti půdoznalství je půda, kterou v současném pojetí popisujeme jako přírodně historický útvar, vznikající při působení komplexu půdotvorných faktorů. Půdoznalství zkoumá fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti půdy a studuje celkové pedogenetické pochody, které mají za následek vývoj půd (Jandák et al., 2004).

Půdoznalství se zaměřuje především na studium vývoje půd a jejich specifických vlastností. Za cíl si klade objasnit vývoj půd, popsat jejich vlastnosti a vytvoření klasifikačního systému s databázemi s výskytem jednotlivých půdních jednotek na Zemi s následným určením možností jejich využívání a ochrany (Šantrůčková et al., 2018).

Současnou filozofií oboru je zajištění setrvalého rozvoje zemědělství bez degradace a znečištění půdy, pomocí moderních zemědělských systémů produkovat zdravé potraviny, adaptovat výrobu potravin k nepříznivým vlivům přírodních a lidských faktorů a v neposlední řadě chránit krajinu a mimoprodukční funkce půdy (Kozák et al., 2008).

Zjišťování půdních vlastností se neobejde bez důkladného pedologického šetření. Cílem šetření jsou důkladně zpracovaná a správně vyhodnocená data z terénu i laboratoře. Při provádění pedologického průzkumu pro zjištění půdních vlastností se postupuje dle následujících bodů: přípravné práce, vlastní terénní práce, terénní šetření a odběr vzorků, laboratorní analýza a vyhodnocení výsledků (Rejšek a Vácha, 2018).

1.2 Komplexní průzkum půd

Významným přínosem pro půdoznalství byly metodiky a metody prof. Kopeckého a prof. Nováka, které se pro stanovení půdní struktury a zrnitosti používají dodnes. V roce 1961 se na území Československa zahájil ojedinělý a dosud u nás nezopakovaný projekt Komplexní průzkum půd. V rámci tohoto projektu bylo zmapováno 7,2 mil. ha zemědělské půdy, odebráno 700 000 půdních sond, které byly podstoupeny laboratornímu zkoumání (Novotný et al., 2013).

Komplexní průzkum půd v ČSR schválila tehdejší vláda v usnesení č. 11 ze dne 4. ledna 1961 jako jednu z částí k zajištění vědecké úrovně řízení zemědělství. Průzkum probíhal v letech 1961–1971, vznikly písemné i mapové podklady, které byly k dispozici všem zapojeným organizacím. Jednalo se o nejzákladnější průzkum zemědělských půd, kterému předcházelo odborné a organizační plánování. Využívaly se

poznatky z amerického, západoevropského a sovětského půdoznalství. Základní členění celého průzkumu bylo na terénní průzkum, laboratorní zpracování vzorků a kancelářské zpracování výsledků, součástí bylo také předání zjištěných závěrů průzkumu zemědělské veřejnosti (Jandák et al., 2004).

V rámci komplexního průzkumu byla vytvořena geneticko-agronomická klasifikace půd, která sloužila pro mapování půd. Jedná se o komplexní hierarchický klasifikační systém, který kromě klasifikace půdy dále klasifikuje i půdní horizonty, půdotvorné substráty a popisuje některé další vlastnosti půd. Textové a grafické výstupy průzkumu jsou dostupné v archivu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy. Většina dat byla digitalizována a jsou dostupná na geoportálu SOWAC-GIS. Klasifikací půd byly vymezené bonitované půdně ekonomické jednotky. Základními jednotkami jsou půdní typ jako skupina půd se stejnou stratigrafií půdního profilu v kvalitativně stejných geomorfologických podmínkách, s podobným charakterem produkce a na určitých skupinách substrátů, subtyp jako skupina půd v rámci půdního typu kvalitativně stejnorodá projevem základního i dílčího půdotvorného procesu, varieta, vyjadřující méně výrazné genetické modifikace typu, dále erozní forma, charakterizující uplatnění eroze, transportu a akumulace půdy a litogenní a zrnitostní varianta upřesňuje agronomické hodnocení půd (VÚMOP, 2023).

Při komplexním průzkumu proběhly dvě průzkumné akce, první byl půdoznalecký průzkum půd, který měl zjistit zrnitostní složení, obsah humusu a krabonátů a sorpční vlastnosti půdy. Druhou akcí byla agrochemická kontrola půdy, ta měla za úkol zjistit půdní reakce, potřebu vápnění a obsah přístupných živin, jako jsou K_2O , P_2O_5 . Terénní práce obsahovaly vytvoření třech druhů sond. Základní sondy měly obdélníkový tvar o rozměrech 150 x 60 cm a hluboké byly 120 cm. Místo provedení bylo vybíráno dle reliéfu, litologických poměrů a složení vegetace tak, aby byl podchycen vztah půdy s půdotvornými faktory. Výsledky pak stanovily okrsky základních půdních představitelů podobných vlastností. Výběrové sondy se prováděly až po výsledcích základních sond, kdy se vybrané prohlubovaly do hloubky 150 až 200 cm. Jejich význam byl k získání analytické charakteristiky vymezených celků genetických půdních představitelů. Výsledkem speciálních sond byly analytické charakteristiky vymezených celků genetických půdních představitelů. U všech sond byl vytvořen záznam, který obsahoval údaje, jako například přesné umístění, nadmořskou výšku, charakteristiku rostlinného společenstva, hloubku podzemní vody, mocnost jednotlivých horizontů, popis morfologie jednotlivých horizontů a další.

Ze základních sond byly odebírány vzorky humusového horizontu a pak každý další jiný druh horizontu nacházející se do hloubky 60 cm o hmotnosti 0,5 kg. Při tvorbě výběrových sond byly odebírány vzorky všech horizontů i ze spodní části s celkovým váhovým množstvím 2 kg. A ze speciálních sond se odebíraly neporušené vzorky z každého horizontu o hmotnosti 8 kg, dále se odebíraly vzorky do Kopeckého válečků pro fyzikální rozbor (Navrátil, 2018).

1.3 Půdní průzkum v současné době

Pro získání kvalitních vzorků, by měl nejprve být vytvořen plán odběru vzorků, který zohledňuje předem daný cíl, který může být technický, ekonomický a následně analytické možnosti. Obecně plán obsahuje počet a rozmístění vzorků na daném území, schéma odběrných míst, typ odebíraných vzorků (porušené, neporušené), typ vzorkovacího zařízení, hloubku odběrů, požadovanou hmotnost vzorků, termín vzorkování, způsob uchovávání vzorků a analyzované parametry (Sáňka, 1998).

K analýze půdy je potřeba odebrat půdní vzorky, jednou z možností je odběr neporušeného půdního vzorku pomocí Kopeckého válečků. Neporušený půdní vzorek se používá k určení základních fyzikálních vlastností půdy, jako je hmotnostní, ale především objemový poměr pevné, kapalné a plynné fáze půdy. Neporušený znamená, že půda se nachází ve svém přirozeném uložení a při odběru se musí postupovat opatrně. Nejeftektivnější je provádění odběru při přiměřené vlhkosti půdy (Bátková et al., 2013).

Kopeckého válečky se odebírají směrem shora dolů tak, že se v každé požadované hloubce odběru pomocí lopatky odstraní svrchní vrstva zeminy, položí váleček a postupně se zahlubuje pomocí nadstavce do půdy. Opatrně, pomocí lopatky se váleček vyjme z půdního profilu, přečnávající zemina horního okraje válečku se pomocí nože odstraní. Váleček se zavíčkují víčky, pojistí dvěma gumičkami a uloží se do popsaného sáčku. Vzorky se po určitou dobu mohou uchovávat v lednici (Šimečková, 2023).

Druhým způsobem, nejvíce rozšířeným, je odběr porušeného půdního vzorku. Odběr se může provádět sondážní tyčí, kopanou sondou a odběrem vzorku lopatkou, nebo Edelmanovy vrtáky. Vzorky se odebírají za účelem laboratorního zkoumání, pro mechanické, chemické a mikrobiologické rozbor. Z hlediska vlastní odběru musí vzorek splňovat dvě hlavní kritéria. Nesmí být kontaminován jinými vzorky např. z výše lokalizovaných horizontů nebo cizorodými materiály z místa výkopu půdní sondy

a musí být homogenní. Pro odběry směsných vzorků z ornice se používá sondovací tyč, která prostoupí celou hloubku ornice. Pro získání směsného vzorku je potřeba nejméně 30 vpichů ve zvolené vzorkovací síti na zkoumané ploše (Hammerová, 2022).

1.4 Půda a její vlastnosti

Možností, jak půdu definovat je více, záleží na pohledu, z kterého budeme půdu zkoumat. Obecně lze půdu popsat jako soubor zvětraliny zemského povrchu, půdního vzduchu, zbytků organické hmoty a živých organismů žijících na i v půdě. Půdu lze posuzovat za samostatný přírodně-historický útvar, vznikající při účasti vnějších činitelů, mezi které se řadí klima, biologický faktor, podzemní voda, působících na mateční horninu v daném čase. Nezanedbatelným faktorem jsou i činnosti lidí a jejich dopady na půdu (Jandák et al., 2004).

Ze zemědělského pohledu je důležitou vlastností půdní úrodnost. Tato vlastnost se vyznačuje optimálními podmínkami, jako je dostatek živin a vody a vhodné prostředí, pro požadovaný růst a vývoj rostlin. Z pohledu úrodnosti půdy jsou nejdůležitějšími vlastnostmi složení půdy, hloubka ornice, svahovitost terénu a expozice, hloubka spodní vody a nadmořská výška (Richter, 1997).

1.4.1 Struktura půdy

Vázáním organických látek v půdě na látky anorganické vznikají organominerální komplexy, které jsou podstatné pro utváření půdní struktury. Struktura půdy je dána prostorovým uspořádáním pevných částic a pórů. Základní jednotkou jsou půdní agregáty, které se obecně tvoří spojováním minerálních částic s organickými částicemi, do tvorby agregátů zasahuje textura půdy a řízena je přirozenými procesy v půdním prostředí. Podstatný vliv na strukturu půdy má vlhkost, mráz, mikrobiální aktivita a rozklad organické hmoty, aktivita půdních živočichů a kořenů, rozpad indukovaný přítomností kationtů. Procesy spojené s tvorbou fyzikálně chemických vazeb a spojování jemných koloidních částic do větších celků, jsou nejdůležitější při utváření mikroagregátů, které jsou menší než 250 mikrometrů. Stabilita půdních agregátů je významná pro provzdušněnost, retenční vodní záchytnost a kationtovou výměnnou kapacitu (Šantrůčková et al., 2018).

Pronikání vody a vzduchu do půdy umožňují půdní póry, dělené jsou na kapilární póry, v těchto voda vzlíná ve směru proti gravitaci a zároveň zpomalují vsakování

srážkové vody do větších hloubek. V těchto pórech probíhá velké množství vnitropůdních reakcí. Druhým typem jsou nekapilární póry, jsou důležité pro přístup vzduchu do půdy, kdy je půda obohacována o kyslík a odvádí se oxid uhličitý, dále se jimi vsakuje srážková voda. Pórovitost půdy je vyjádření celkového objemu půdních pórů. Ovlivňována je především mechanickými zásahy při obdělávání. Pórovitost v ornici se pohybuje mezi 40 % až 60 %, podorničí ji má nižší. Neoptimálnější je dosažení drobtovité půdní struktury o velikosti 1 až 10 mm, která má příznivé vlastnosti pro pěstování plodin (Bauer et al., 1997).

Významným faktorem půdní struktury je tvorba a soudržnost půdních agregátů. Půdní agregát je skupina primárních půdních částic, které k sobě přiléhají silněji než k ostatním okolním částicím. Půdní agregáty vznikají kombinovaným působením procesů soudržnosti a fragmentace. To znamená, že na částice v půdě působí přitažlivé a narušující síly, které způsobují větší soudržnost mezi některými částicemi a skupinami částic než jinými. Většina půd se přirozeně rozpadá na nějakou formu agregátů. Mezi důležité fyzikální aspekty agregátů patří jejich velikost, hustota, stabilita, struktura a jejich vliv na transport tekutin, rozpuštěných látek, koloidů a tepla. Souhrnné informace o stabilitě a velikosti lze použít k vyhodnocení nebo předpovědi účinků různých zemědělských technik, jako je zpracování půdy nebo přidávání organické hmoty (Peth, 2010).

Tvorba agregátů je výsledkem mnoha interakcí a zpětnovazebních smyček probíhajících pod zemí. Špatně agregované půdy se snadno rozpadají, když jsou vystaveny erozním silám, jako jsou dešťové kapky, změny objemu, narušování zemědělskými zásahy. Mají tendenci se rychleji rozkládat, což vede k degradaci půdy. Špatná stabilita může vést k zaplnění pórů, a nakonec může vést k tvorbě půdních krust. To může vést ke snížení infiltrace a výměny plynů. Špatně agregované půdy mohou snížit produktivitu plodin (Moonilall, 2019).

1.4.2 Technologické vlastnosti půdy

Půdní vlhkost, složení a obsah humusu ovlivňují technologické vlastnosti půdy, které souvisejí se zpracovatelností půdy. Vlastnost půdních částic držet pohromadě se nazývá soudržnost půdy. Těžké půdy při sušších podmínkách vykazují velkou soudržnost a jsou tak náročné na zpracování, kdy se často tvoří hroudy. Malou soudržnost mají půdy lehké, se zvyšující se vlhkostí ale narůstá. Problém ulpívání zeminy na pracovních orgánech půdopracujících strojů, má za následek přilnavost půdy. Ta je největší

při zpracovávání těžkých půd při větší půdní vlhkosti. Přílnavost je důležitým měřítkem pro správné zahájení zpracování půdy (Bauer et al., 1997).

Zpracovatelnost půdy je ovlivněna vícero faktory, jako jsou zrnitostní složení, pěstovaná předplodina a půdní vlhkost. Právě vlhkost má podstatný vliv na kvalitu prováděných pracovních operací. Optimální vlhkost pro pracovní operace se pohybuje v rozmezí 10 % až 35 % objemu vody v půdě (Škoda a Cholenský, 1993).

Odpor půdy vůči vstupujícím tělesům se nazývá penetrační odpor půdy a vypočítává o stupni zhutnění půdy. Penetrometrie je vhodnou diagnostickou metodou pro zjištění zhutněných vrstev v půdním profilu. Zjištění hloubky utužení napomáhá k určení vhodného způsobu kypření půdy. Při zjišťování penetračního odporu se usuzuje, že je přímo úměrný hustotě půdních částic, souvisí s objemovou hmotností a pórovitostí půdy, tyto úvahy ovšem platí jen při určité zrnitosti a vlhkosti půdy. Pokud chceme penetračním odporem posuzovat stupeň utužení, tak na daném pozemku mají zjištěné hodnoty jen vzájemně porovnávatelný charakter (Bauer et al., 1997).

1.4.3 Chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy

Chemické vlastnosti půdy jsou ovlivňovány především výskytem jednotlivých prvků, jejich uvolňováním a pohybem v půdě. Nejvýznamněji je v půdě obsažen kyslík s 49 %, následuje křemík s 33 %, hliník s 6,7 %, železo s 3,2 % a vápník s 2 %. Vsaňováním srážkové vody a vzlínáním vody spodní, se do půdního profilu dostává voda, která obsahuje rozpustné komponenty vzduch, dusičnany, amoniak a rozpustné produkty biochemického rozkladu organických látek a chemického zvětrávání. Půdní voda účinkuje jako velice dobré rozpouštědlo látek a jako disperzní prostředí pro vznik koloidních systémů. Půdní roztok, tedy tekutá fáze půdy je důležitý pro průchod půdotvorných procesů a při výživě rostlin. V půdním roztoku jsou obsaženy minerální, organické a organo-minerální látky v koloidní, molekulové a iontové formě. Za organické sloučeniny se v půdním roztoku vyskytují vodorozpustné látky organických zbytků a produkty jejich rozkladu, dále humusové látky především ve formě organo-minerálních sloučenin. Koncentrace vodíkových iontů podmiňuje reakci půdního roztoku. S půdní reakcí velice úzce souvisí důležitá vlastnost půdního roztoku a tou je pufrovitost, neboli schopnost odolávat změnám pH. Pufrovitost půdy nebo také ústojnost je schopnost půdy obrany proti změnám půdní reakce, to znamená zachování přibližně stálé koncentrace vodíkových iontů v půdním roztoku. Na přítomnosti ústojných systémů, které se vytvářejí v půdním roztoku směsmi slabých kyselin nebo zásad

a jejich solí, spočívá ústojnost půdy. Hlavní kyselou složkou ústojných systémů v půdě jsou huminové kyseliny, kyselina uhličitá, křemičitá a fosforečná, dále koloidní alumosilikáty acidoidní povahy. Pufrovitost je závislá na zrnitostním a chemickém složení půd, sorpční kapacitě a na stupni nasycenosti půd bazickými kationty. Pufrovitost humózních půd silně ovlivňuje adsorpčně nasycený humus, podobným významem, i když menším, než má humus, se vyznačují i jílové minerály. Tím je zapříčiněna vysoká ústojčivost na těžších půdách s vyšším obsahem jílu. Lehké písčité půdy, s nízkým obsahem humusu, velice razantně reagují na každý zásah do půdy, mají velký rozptyl hodnot pH, proto je nutné takové půdy hnojit pravidelně organickými hnojivy a vápnit (Jandák et al., 2004) (Wu et al., 2021).

Významný vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti půdy mají částice o velikosti 1 μm až 1 nm, ty jsou označovány jako půdní koloidy. Dle vztahu koloidů k disperznímu prostředí, se dělí na hydrofilní, které jsou silně hydratované polárními molekulami vody, jsou poměrně stabilní a patří mezi ně organické koloidy a na hydrofobní, které mají slabou hydrataci, ty jsou nestabilní a snadno se srážejí. Částice koloidů jsou složeny z pevného jádra a povrchem, dohromady tvoří koloidní granuli s nepohyblivou vrstvou kompenzujících iontů, která určuje náboj koloidu. K zajištění podmínky elektroneutality náboje dochází adsorpcí opačně nabytých iontů z půdního roztoku, a tak se na povrchu vytváří vrstva kompenzujících iontů. Změna povrchového napětí a adsorpce ovlivňuje změnu elektrického náboje. Hlavní součástí půdní soustavy koloidů jsou jílové minerály, ty jsou slabě hydrofobní (Jandák et al., 2004) (Ning et al., 2022).

Schopnost půdy poutat různé látky z disperzního prostředí se nazývá sorpční schopnost a důležitou součástí tohoto procesu jsou půdní koloidy. Látky v půdě jsou poutány několika způsoby a rozlišujeme tak několik sorpčních mechanismů. První možností je sorpce mechanická, ta je uskutečňována zachycováním částic v jemných a zúžených pórech. Druhou možností je sorpce fyzikální, která souvisí s povrchovými jevy na fázovém rozhraní. Zvětšená koncentrace molekul na povrchu pevné fáze je projevem fyzikální sorpce. Dalším způsobem sorpce je fyzikálně chemická, dochází při ní k výměně adsorbovaných kationtů za kationty z půdního roztoku. Sorpce chemická znamená vázání iontů, které za daných podmínek vytvářejí málo rozpustné sloučeniny zadržované v adsorpčních pórech. A biologická sorpce se odvíjí od činnosti vegetace a edafonu. Organismy adsorbují prvky, které potřebují k životu, syntetizují je, chrání uvnitř svých těl a po rozkladu je zase uvolňují. V půdě probíhá výměnná sorpce kationtů, která je závislá na pH půdního roztoku. Pokud stoupá hodnota pH,

roste záporný náboj a kladný klesá, současně se zvyšuje maximální sorpční kapacita kationtů. Neustálému pohybu kationtů z roztoku do iontové vrstvy ve fázovém rozhraní a opačně dochází difuzí a elektrostatickými přitažlivými silami. Mezi hlavní výměnné kationty v půdách patří hořčík, vápník a v kyselých půdách vodík. Žádaný výměnný poměr mezi vápníkem a hořčíkem by měl být kolem 4. Ze všech výměnných kationtů v půdě je množství výměnného vápníku až 50 %. Výměnná sorpce aniontů vzrůstá s kyselostí půdy, kdy se zvyšuje kladný náboj půdních koloidů. V půdách s neutrální a zásaditou půdní reakcí se tvoří nerozpustné fosforečnany vápenaté. Všechny půdní koloidy podílející se na výměnných reakcích se nazývají půdní sorpční komplex. Aktivně působící část sorpčního komplexu s anionty vyvolává v půdním roztoku sorpční procesy. Pasivní část je tvořena kationty, které sorbuje aktivní aniontová část komplexu. Působením člověka, především mechanicky a chemicky může dojít až k destrukci sorpčního komplexu, kdy dochází k rozpadu jádra koloidní micely. Degradací sorpčního komplexu nastává zhoršování fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy. Obecně řečeno se po odvápnění půdního substrátu hydrolyticky štěpí některé volné poutané složky jádra koloidní micely. V závěrečné fázi destrukce sorpčního komplexu znamená rozpad koloidní micely na její jednotlivé složky. Pro výživu rostlin je význam sorpčního půdního komplexu značný. Sorpční komplex ovlivňuje půdotvorné procesy, které jsou nositelem přirozené půdní úrodnosti a schopnosti jejího udržení (Jandák et al., 2004) (Kartini, 2023).

Koncentrace vodíkových iontů určuje půdní reakci. Půdní reakce je závislá na rovnovážném stavu mezi disociací a asociací vodíkových iontů. Při označení pH 7 je neutrální reakce, rozmezí pH 0 až 7 kyselá reakce a od pH 7 do 14 je reakce alkalická. K okyselování půd dochází například používáním průmyslových hnojiv, spadem kyselých dešťů, hromaděním humusových a organických kyselin na povrchu půdy. Půdní reakce zasahuje do složení půdní mikrofauny a flory a ovlivňuje půdotvorný proces. V rozmezí pH 6 až 7 jsou rostlinám nejvíce přístupné živiny (Jandák et al., 2004) (Singh et al., 2022).

1.4.4 Fyzikální vlastnosti půdy

K základním fyzikálním vlastnostem půdy patří barva, zrnitost, konzistence, pórovitost a struktura. Pro rostliny jsou zásadní vlastnosti zrnitostní, jako je celkový obsah jílu, skeletu a zrnitostní frakce jemnozemi. Dále mechanické vlastnosti v podání měrné hmotnosti, pórovitosti, objemové hmotnosti, s tím související vzdušný režim půdy.

A také vlastnosti hydrofyzikální, kde se posuzuje hmotnostní vlhkost, maximální kapilární kapacita, relativní vlhkost a relativní nasycenost pórů. Měrná hmotnost vyjadřuje hmotnost 1 m³ půdy pouze pevné fáze, tedy bez vzduchu a vody. V České republice se její hodnota pohybuje převážně kolem 2,6 – 2,7 t*m⁻³. Hodnota měrné hmotnosti závisí převážně na obsahu organické hmoty a mineralogickém složení. Objemová hmotnost je další vlastností půdy, vyjadřuje hmotnost 1 m³ půdy ve stavu přirozeného výskytu, tedy s obsaženým vzduchem a vodou. Proto je její hodnota pokaždé menší, než hodnota měrné hmotnosti a také závisí na mineralogickém složení, dále na vlhkosti a pórovitosti. Její průměrná hodnota se uvádí okolo 1,46 t*m⁻³. Půda se skládá přibližně z 50 % pevných částic, 30 % tvoří půdní roztok a 20 % zaujímají půdní plyny. Minerální podíl pevných částic je tvořen zvětralinami půdotvorných substrátů, přibližně 15 % půd na území České republiky je tvořeno půdotvorným substrátem matečné horniny a zbytek je z přemístěného sedimentu (Rejšek a Vávha, 2018).

Průměrná celková pórovitost je u zemědělské půdy ve svrchních vrstvách v rozmezí 40 až 50 %, ve spodních vrstvách se snižuje ke 30 až 40 %. Půdy rašelinné a silně humózní mohou mít pórovitost až 80 %, naopak zamokřené půdy mohou mít jen 30% pórovitost. Velikost pórů ovlivňuje jejich funkci. Dle druhu a velikosti sil působících na vodu v pórech, se obecně třídí póry na jemné, střední a hrubé. V jemných, kapilárních pórech, se voda díky působení kapilárních sil pohybuje směrem proti gravitaci. Vzduch se v těchto pórech pohybuje obtížně. Kapilární póry fungují jako hlavní dějiště chemických, biologických a fyzikálně chemických pochodů. Naopak hrubé, nekapiilární póry, plně podléhají gravitačnímu působení a voda v nich prostupuje do spodních vrstev a uvolňuje prostor vzduchu. Fungují jako prostředí pro výměnu plynné fáze mezi ovzduším a půdou. Střední, semikapilární, póry mohou být dle aktuálních vláhových podmínek zaplněny vodou nebo vzduchem (Jandák et al., 2004).

1.4.5 Biologické vlastnosti půdy

V této části je důležitým faktorem význam a vznik humusu, který je určující pro půdní úrodnost. Ovlivňuje sorpční schopnosti, barvu půdy, vznik a udržení agregátů a další faktory. Stabilní půdní struktura zabezpečuje utváření vitálního mykorhizního soužití a odolnost proti erozím. Podstatným faktorem, ovlivňujícím půdní úrodnost, je obsah organické hmoty v půdě, přičemž základní složkou je uhlík. Půdní organická hmota se dělí na primární organickou hmotu, to jsou nepřeměněné části rostlinného a živočiš-

ného původu a na humusové látky, jako jsou fulvokyseliny, humínové kyseliny a humáty. Pro hodnocení kvality půdy je jedním z nejpodstatnějších parametrů obsah organické hmoty. Organická hmota v půdě podléhá různým přeměnám (Rejšek a Vácha, 2018).

Organická hmota může v půdě mineralizovat, přičemž rozeznáváme dva druhy mineralizace. První možností je primární mineralizace, při té se kompletní dekompozici vstupující organická rostlinná hmota v půdě rozkládá na své jednotlivé původní složky, tedy z původních proteinů, cukrů a aminokyselin, se na konci dekompozice v půdním roztoku objevují z nich uvolněné kationty a anionty. Z půdního roztoku pak mohou být například asimilovány biotou, jako třeba NH_4 , nebo mohou být fyzikálně-chemicky absorbovány na výměnné povrchy půdních koloidů, jako například vodíkový H^+ kationt, nebo mohou být odplaveny vyluhováním, jako třeba vápníkový kationt Ca^{2+} , nebo mohou být uvolněny do atmosféry vytěkáním, jako například NH_3 , anebo mohou být přijaty rostlinou jako jejich minerální výživa. Druhou možností je sekundární mineralizace, při které dochází k úplnému rozkladu humusu (Rejšek a Vácha, 2018).

Proces, při kterém dochází k tvorbě pravého humusu, se nazývá humifikace. Jedná se o převážně anaerobní proces, kdy soubor mikrobiologických, biochemických a enzymatických pochodů způsobuje přeměny, při nichž se utvářejí nové látky z meziproduktů rozkladu, označované jako huminové látky. Charakteristickým znakem je obsah uhlíku k dusíku 10 : 1. Jejich barevné spektrum je hnědé až černohnědé a jejich vlastnosti jsou podobné koloidům. Humusové látky mají vyšší molekulovou hmotnost a zásadně komplikovanější stavbu oproti humusotvornému materiálu. Optimální humifikace probíhá při opakujícím se zvlhčování a vysychání a střídání přístupu a nepřístupu vzduchu. Přibližně 50 až 60 % humusotvorného materiálu podléhá mineralizaci, zbytek připadá na humifikaci (Jandák et al., 2004).

1.5 Klasifikace půdních druhů

Dle jednotlivě zastoupených velikostních frakcí zrn půdy v procentickém měřítku, se posuzují půdní druhy. Tato klasifikace není příliš podrobná a nemá jasné vypovídací schopnosti o všech vlastnostech půdy. Zrnitostní složení vypovídá o vlastnostech soudržnosti, zpracovatelnosti a přilnavosti půdy. Snáze zpracovatelné jsou půdy s větším obsahem písku, naopak půdy jílové kladou větší nároky na zpracování.

V České republice se nejvíce využívá stupnice klasifikace podle Nováka, která je přehledně uvedena v tabulce č. 1 (Jandák et al., 2004).

Tabulka 1.1: Klasifikační stupnice zemin podle Nováka (Jandák et al., 2004)

Obsah částic menších 0,01 mm v %		Označení druhu půdy		Klasifikace půdy
1.	0 - 10	písčítá	P	lehká
2.	10 - 20	hlinitopísčítá	HP	lehká
3.	20 - 30	písčitohlinitá	PH	středně těžká
4.	30 - 45	hlinitá	H	středně těžká
5.	45 - 60	jílovitohlinitá	JH	těžká
6.	60 - 75	jílovitá	JV	těžká
7.	Nad 75	jíl	J	těžká

1.6 Klasifikace půdních typů

V České republice je základní taxonomickou jednotkou půdní typ. Pro určení půdního typu byly klasifikovány diagnostické horizonty, určujícím hlediskem je jejich vrstvení. Jeden daný půdní profil má jen jeden půdní typ, ale jednotlivý horizont v něm může obsahovat rozdílné půdní druhy. Půdní typ je tedy sofistikovaným označením daného půdního stanoviště. V České republice se rozeznává až 26 půdních typů, které jsou specifické svým vývojem. Každý půdní typ se vyznačuje svými znaky a vlastnostmi, které ovlivňují přirozenou úrodnost i mimoprodukční funkce, jako je schopnost akumulace vody, odolnost proti erozi či místo pro zdraví příznivou rekreaci (Rejšek a Vácha, 2018).

1.7 Degradace půdy

Pokud půda neplní nějakou ze svých funkcí, plyne z toho, že došlo k degradaci. Obecně lze popsat všechny procesy, které vedou ke snížení kvality půdy, jako degradaci půdy. Degradální pochody se dělí do dvou skupin, první je skupina přirozených degradačních mechanismů, které souvisejí s půdotvornými procesy a s vlivy faktorů prostředí, zahrnuje pozvolné změny půdní struktury, vymývání látek a změny v půdních organismech. Druhou skupinou jsou mechanismy spojené s činností člověka, sem patří všechny změny půdy, které ovlivňuje svým působením člověk (Šimek, 2004).

Přírodní procesy většinou probíhají velmi pomalu, naopak činnosti člověka velice často přispívají k rychlým a zásadním změnám. Degradální procesy se mohou rozdělovat do určitých skupin, podle mechanismu procesů, které při nich působí na skupinu fyzikální degradace, fyzikálně-chemické, chemické a biologické (Rejšek a Vácha, 2018).

Degradace půdy je definována jako zmenšující se schopnost půdy poskytovat ekosystémové zboží a služby. Degradace může být důsledkem erozí větrem, vodou nebo zpracováním půdy, změny půdního chemického a biologického prostředí prostřednictvím acidifikace, zasolování nebo kontaminace, zrychlená ztráta živin pocházejících z půdních minerálních a organických materiálů a samotné organické, potlačení nebo odstranění půdní bioty, zmenšení půdního pórového prostoru strukturálními modifikacemi půdy v důsledku zhutnění nebo jiných namáhání působících na půdu a zabírání půdy infrastrukturou a rozvojem bydlení (Krasilnikov et al., 2016).

I když je degradační proces pomalým a plíživým procesem, může přispět k razantnímu omezení, až k úplnému znemožnění produkčních a mimoprodukčních vlastností půdy. Mimo vnější vlivy způsobující degradaci, závisí degradační proces i na samotných vlastnostech půdy, především na stabilitě, labilitě a zranitelnosti (Voltr, 2011).

Erozi se označuje děj odnosu půdních částic vodou nebo vzduchem. Celosvětově se eroze považuje za nejvýznamnější proces degradace půdy, který způsobuje závažné ekonomické, a především enviromentální škody. V České republice je nejvíce postiženou oblastí erozí oblast jižní Moravy. I když eroze jako taková je přírodní proces, zasahující do půdotvorných procesů přirozeným prouděním vody a větru a jedná se o zásadní krajinnotvorný proces, tak lidskou činností se tyto procesy urychlují, zintenzivňují a dochází ke stavům, které by přirozeně nenastávaly. Odhaduje se, že v České republice je vodní erozi ohrožováno kolem 50 % a větrnou kolem 10 % výměry zemědělské půdy, kvůli nevhodným hospodářským zásahům a skladbě plodin (Rejšek a Vácha, 2018).

Větrná eroze ohrožuje půdy odnosem nejjemnějších půdních částic ve formě suspenze, které přenáší i na velké vzdálenosti. Kromě síly větru, vlhkosti půdy a teplotě, je důležitým faktorem povaha půdy a odpor půdních částic. Větrná eroze nejvíce postihuje lehké písčité půdy a ostatní vyschlé půdy (Janeček, 2007).

Vodní eroze je způsobena narušováním povrchu půdy kapkami deště a následným odnosem částic půdy. Intenzita srážek je velice významným hlediskem pro vznik

a průběh erozních procesů, za nebezpečnou intenzitu se považuje hodnota 24 mm během hodiny s úhrnem alespoň 12,5 mm. Nárůst výskytu přívalových dešťů v posledních letech situaci s vodní erozí jen zhoršuje. Procesy eroze mají za následek snižování půdní úrodnosti z důvodu úbytku organické hmoty, poklesu obsahu minerálních látek a obnažení podorničí, které má v zásadě kyselejší půdní reakci. (Rejšek a Vácha, 2018).

V oblastech s rychlou mineralizací organické hmoty dochází k úbytku organické hmoty z důvodu prostupu produktů mineralizace do hlubších vrstev půdního profilu. Úbytek organické hmoty je vázán na snižování živočišné výroby, která produkuje kvalitní organická hnojiva. V současné době není pro sledování obsahu a kvality půdní organické hmoty zaveden žádný soustavný a sjednocený monitoring, který by měl širší vypovídající hodnoty (Rejšek a Vách, 2018).

Za nejvýznamnější formu degradace půdy se řadí, čím dal tím více zábor půd. Jedná se o proces téměř nevratný, kdy je na místě odtěženého humusového horizontu již zcela nepředstavitelné, že by se po odstranění stavby mohli opět pěstovat plodiny, i odtěžená humusová vrstva často končí nevyužitá na skládkách, kde dochází k nevratným a znehodnocujícím procesům. Urbanizace, která globálně zabírá 2 ha půdy za hodinu, je značným důvodem záboru půdy. Ještě více alarmujícím faktorem je zábor nejúrodnějších půd v důsledku rozšiřování velkých měst, které se často rozléhají v rovinných oblastech vysoce bonitních půd (Rejšek a Vácha, 2018).

Desertifikace půdy je proces přeměny produktivní půdy na neproduktivní, způsobené především v důsledku špatného managementu. Oblast výskytu je především od semiaridních půd s ročním úhrnem srážek pod 600 mm až k hranicím pouští. Příčin desertifikace je několik, jednou z nich je nadměrná pastva. Další příčinou je kultivace oblastí nevhodných k pěstování plodin, kde je snaha o vytěžení alespoň nějakého zisku. Zájem o palivové dříví v aridních oblastech, kdy se ničí lesní vegetace, je další příčinou (Šarapatka et al., 2002).

Produkcí a vstupem kyselin do půdy dochází k okyselování půd, pokles neutralizační kapacity půdy je s tímto procesem také spojený. Acidifikace je přirozený proces, který ale může být činností člověka urychlován. Do kategorie přirozených příčin okyselování patří typ matečné horniny, působení organických kyselin a humusu v půdním prostředí, nebo tvorba oxidu uhličitého. Mezi antropogenní vlivy se řadí emise síry

a dusíku do atmosférické depozice. Acidifikace postihuje pufrací kapacitu půd v různém rozsahu. Podle stupně acidifikace se přistupuje k potřebě nápravného použití vápenatých složek (Rejšek a Vácha, 2018).

Hromaděním nadbytků solí v půdě je nazýván proces zasolování půd. Na salinizaci se podílí půdotvorné procesy a geochemie půd. Lidskou činností přispívající k zasolování půd, je používání kontaminovaných vod k závlahám, dále imisní spady s vysokým obsahem solných sloučenin. Nezanedbatelným faktorem je také zaplavování půd slanou vodou v okolí moří a delt řek (Rejšek a Vácha, 2018).

Snížení biodiverzity, především mikrobiálního společenstva, snižuje stabilitu ekosystémů a ty jsou poté náchylnější na nepříznivé podmínky. Reakce na kontaminaci půdy je u mikrobiálních společenstev relativně rychlá, v závislosti na intenzitě a typu narušení. Při diagnostických průzkumech se využívá znalost přemnožení či úbytku některých ze skupin mezoedafonu a makroedafonu i mikroedafonu (Rejšek a Vácha, 2018).

1.7.1 Zhutnění půdy

Proces zhutnění nastává přírodním a antropogenním působením. Přírodní utužení půd je spojeno s genetickým utužením půd, které je ovlivněno povahou půdotvorného substrátu, půdní reakcí, strukturou půdy a půdotvorným procesem. Antropogenní utužení souvisí se způsobem hospodaření na půdách, především se jezdem techniky a sešlapem dobyt看em. Utužováním půdy se snižuje obsah pórů v půdě, to má za následek zhoršení oběhu půdního vzduchu, vsakování vody a neschopnost kořenů rostlin pronikat půdním profilem, dále dochází k negativnímu ovlivňování půdního edafonu i mikrobiální aktivity. Má se za to, že v České republice je nadměrným utužením ohroženo až 50 % půd. Proces zhutnění podorničí je stále více rostoucím problémem z důvodu systému moderního hospodaření. Používání stále větší a těžší techniky se současným trendem minimalizačního zpracovávání půdy dochází ke vzniku utužených nepropustných vrstev v půdním profilu. Více náchylné na zhutnění jsou půdy s vyšším obsahem jílu a menším obsahem organické hmoty. Nesprávné hnojení vede k rozpadu půdní struktury a tím ke zvýšení náchylnosti k nadměrnému zhutnění (Rejšek a Vácha, 2018).

Zhutnění půdy způsobuje podstatné snížení produktivity zemědělství a zemědělce vždy velmi trápilo. Zdá se, že intenzivní zemědělství je při zhutňování důležitější. Vy-

soké mechanické zatížení, menší diverzifikace plodin, intenzivní pastva a způsoby zavlažování vedou ke zhutnění půdy. Zhutnění půdy zvyšuje objemovou hustotu půdy a pevnost půdy, zatímco snižuje pórovitost, index stability agregátu, hydraulickou vodivost půdy a dostupnost živin, čímž snižuje zdraví půdy. V důsledku toho snižuje výkonnost plodin prostřednictvím zakrnělého nadzemního růstu spojeného se sníženým růstem kořenů (Shah et al., 2017).

Zhutnění půdy ovlivňuje řadu parametrů prostředí i ve značné vzdálenosti od původního místa, kde ke zhutnění došlo. Zhutnění může změnit toky skleníkových plynů z půdy do atmosféry prostřednictvím mechanismů spojených s účinky na propustnost půdy, provzdušňování a vývoj plodin. Zhutňování zvyšuje emise CO₂, protože kultivace zhutněných půd vyžaduje znatelně více energie než kultivace nezhutněných půd. Přibližně 90 % globálních emisí NO_x do atmosféry pochází z půdy. Zhutněné půdy mají tendenci být vlhčí než půdy nezhutněné a denitrifikace je posílena. Zhutnění způsobené provozem vozidel před založením obilných plodin může způsobit výrazné zvýšení NO_x, jak klesá pórovitost naplněná vzduchem během období raného růstu na jaře (Akker a Soane, 2005).

1.8 Penetrometrie

Pomocí penetrometrie se zjišťuje zhutnění půdního profilu, určit je možné místo, hloubku a stupeň zhutnění na pozemku. Penetrometrické měření se provádí pomocí penetrometru, kdy specifikovaný kužel na tyči penetrometru proniká do půdy, která klade odpor, výstupní hodnotou je odpor v MPa. Hodnotu měření ovlivňuje aktuální hodnota vlhkosti půdy, proto je vhodnější měření provádět v jarních měsících, kdy se očekává rovnoměrné zvlhčení půdního profilu (Lukas, 2011).

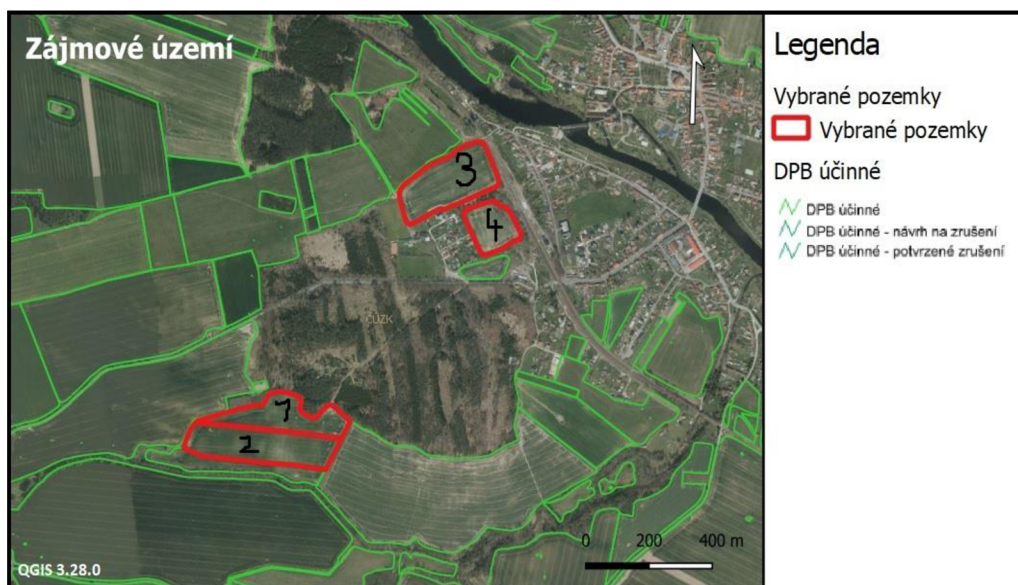
2 Metodika

2.1 Charakteristika dané oblasti

Provedení polního šetření umožnila společnost AGROKAT spol s r.o. Katovice. Firma hospodaří od roku 1993 na pozemcích bývalého Zemědělského družstva Katovice. Aktuálně činí výměra společnosti 1380 ha zemědělské půdy, ze které je 168 ha trvalých travních pozemků, z orné půdy zaujímají 695 ha obiloviny, 170 ha silážní kukuřice, 270 ha řepka, 60 ha brambory a 17 ha jetelotravní směsi. V živočišné produkci se podnik zaměřuje na chov skotu s tržní produkcí mléka, kdy současný stav skotu je 650 ks, z toho je 230 ks dojných krav, 150 ks jalovic, 140 ks býků a telat do 6 měsíců věku je 110 ks.

Pro vypracování diplomové práce byly vybrány tři pozemky, kdy jeden byl rozdělen na dvě části, část pozemku číslo 1 byla zpracována pouze talířovým podmiťáčem před setím a část pozemku číslo 2 byla zorána, na zbývajících dvou pozemcích, které jsou v těsné blízkosti u sebe, byl postup obdobný, pozemek číslo 3 byl zorán a pozemek číslo 4 zpracovaný podmiťáčem. Nadmořská výška všech pozemků se pohybuje v hladině 415 m. Z údajů na veřejně přístupném registru půdy na Portále farmáře vyplývá, že pozemky leží v pátém klimatickém regionu, ten je specifický mírně teplým a mírně vlhkým podnebím.

První pozemek je dle kódu BPEJ charakterizován převažující půdní jednotkou jako kambizem se středním půdním druhem, s mírným sklonem, hlubokou půdou se slabou skeletovitostí. Druhý pozemek je charakterizován převažující půdní jednotkou jako pseudoglej s těžkým půdním druhem, s mírnou sklonitostí, hloubkou půdy středně až hlubokou a bezskeletovitým složením. Třetí pozemek spadá do půdní jednotky kambizem s těžkým půdním druhem, mírnou sklonitostí, hlubokou půdou a střední skeletovitostí, touto charakteristikou se vyznačuje i čtvrtý pozemek. Rozložení pozemků v zájmovém území je znázorněné na obrázku číslo 2.1.



Obrázek 2.1: Zájmové území s rozložením pozemků

2.2 Metodický postup

Hloubka orby byla nastavena na 25 cm a talířový podmítač pracoval do hloubky 15 cm. Zpracování půdy na daných pozemcích bylo totožné dva roky po sobě. Prvně byla na pozemku pěstována kukuřice na siláž, před kterou byla zapravena hořčice na zelené hnojení. Následně byla na zkoumaných pozemcích vyseta ozimá pšenice. Odběr vzorků a pedometrické měření budou probíhat v měsíci říjnu, po zasetí pšenice.

Vzorky půdy se odeberou pomocí Kopeckého válečků, z každé sondy se odeberou vzorky z hloubky 10, 20 a 30 cm. Rozložení sond na pozemcích se zvolí způsobem, aby byly co nejvíce zachyceny rozlišnosti vlastností pozemku. K měření zhutnění půdy se použije penetrometr Penetrologger od firmy Eijkelkamp, rozmístění jednotlivých vpichů pro měření se opět zvolí tak, aby se zachytil profil celého daného pozemku a zároveň nedocházelo ke zkreslení výsledků měřením na okrajích pozemků, kde zpravidla dochází k vyšší míře pojezdu techniky.

Penetrologger je zařízení pro měření zhutnění půdy, skládající se z penetrolloggeru se softwerm, sondážní tyče, podkladové desky s vodováhou a z výměnných hrotů. Přístroj obsahuje GPS anténu pro určení přesného místa měření, displej pro nastavování a ovládání, pomocí dvou madel se vpichuje do půdy. Sondážní tyče jsou složeny ze dvou částí, které se do sebe šroubují, jeden konec tyče se připevní do přístroje a na druhý konec se připevní kuželový hrot. Hroty jsou vyhotoveny s vrcholovým úhlem 60° a plocha je od 1 do 5 cm^2 , volí se dle odporu půdy, čím větší odpor, tím menší

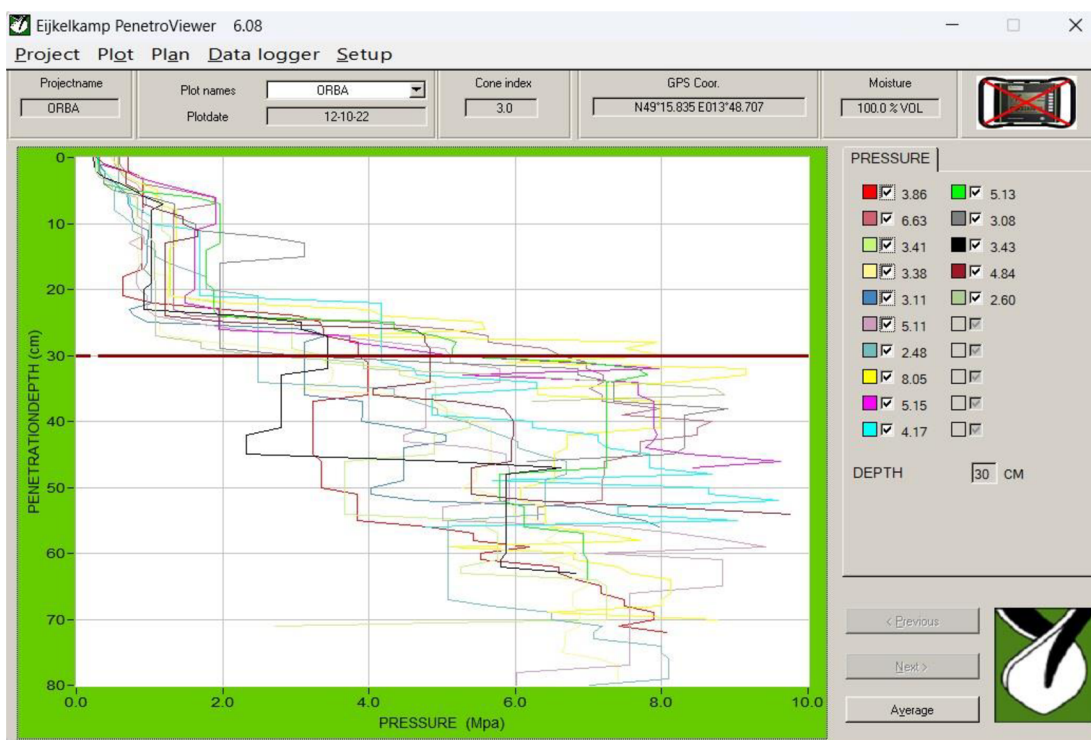
plocha hrotu se volí, pro pokus byl zvolen hrot s plochou 1 cm^2 . Maximální hloubka, ve které je přístroj schopný měřit, je 80 cm, ale pro pokus byla stanovena hloubka do 30 cm z důvodu podloží, které neumožňuje na všech pozemcích dosáhnout větší hloubky. Použité zařízení je zachyceno při měření na obrázku číslo 2.2.



Obrázek 2.2: Penetrologger při terénním měření

Záznamové schopnosti přístroje umožňují měřit hodnoty v rozsahu po jednom cm. Před zahájením samotného měření je nutné nejprve vytvořit pracovní plán, je možné konfigurovat přímo na displeji přístroje, ale snazší je přístroj připojit ke stolnímu počítači a pomocí programu dodávaného k přístroji provést konfiguraci tímto způsobem. V plánu se definují lokality pro měření, jejich počet, množství měření v jednotlivých lokalitách, dále se definuje rychlost průniku hrotu do půdy a použitý hrot. V tomto pokusu byla zvolena rychlost pronikání $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, přístroj na displeji naznačuje, zda by se měla aktuální rychlost pronikání při měření zvýšit či snížit, aby se co nejpřesněji dodržovala nastavená hodnota. Rychlost přístroj sleduje pomocí odrazové desky, která je umístěna na povrchu půdy, touto deskou je také sledována hloubka měření. Přístroj

zaznamenává naměřené hodnoty do paměti, v případě potřeby je možné hodnoty vyvolat přímo na displeji přístroje, ať v podobě numerické či grafické, anebo se po propojení přístroje s počítačem v programu vyobrazí grafy s naměřenými hodnotami, se kterými je možné následně pracovat. Práce s naměřenými daty umožňuje zobrazení dat v dané lokalitě, možnost zobrazit průměrných hodnot pro danou oblast nebo z vybraných měření, upravovat styl zobrazení grafu a zobrazení polohy měření. Možné je také vyvolat numerickou tabulku získaných hodnot zobrazených s hodnotami po jednotlivých cm. Primárně uvádí přístroj naměřené hodnoty v jednotkách Mpa. Příklad grafického zobrazení naměřených hodnot v programu je uvedený na obrázku číslo 2.3.



Obrázek 2.2: Příklad grafického zobrazení naměřených hodnot

U získaných výsledků bude provedeno základní statistické zpracování. Pro každý pozemek bude stanoven průměr, medián, směrodatná odchylka. U výsledků týkajících se utužení půdy se dále bude zjišťovat, zda je statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými pozemky. Nejprve bude proveden Shapiro-Wilk test s cílem ověřit, zda je u získaných dat splněna podmínka normality dat. Podle splnění či nesplnění podmínky bude dále proveden Tukey HSD/Tukey Kramer nebo Kruskal Wallis Test. Hodnota P-value bude zvolena na hladině 0,05. Grafické zpracování dat se uskuteční v programu QGIS. Pro názorné zpracování bude provedena prostorová analýza, tzv. interpolace dat.

Odběr půdních vzorků z kopaných sond do Kopeckého válečků bude prováděn odkrytím svrchní vrstvy zeminy do hloubky 10 cm, kde bude na dno výkopu umístěn váleček a opatrně pomocí přípravku a palice vpraven do půdy. Následně se opatrně odstraní půda kolem válečku a podříznutím půdy se váleček se vzorkem vyjme, přebytečná půda mimo váleček se opatrně odřízne nožem, přiloží se víčka z obou stran válečku a označí se pro identifikaci. Tento postup se bude opakovat pro každou hloubku ve všech sondách. Po nutnou dobu skladování se vzorky ve válečcích uloží do chladničky. Půdní vzorky budou laboratorně zpracovány pro zjištění hodnot retenční vodní kapacity, pórovitosti a provzdušněnosti půdy.

Postup při laboratorním zkoumání vzorků půdy z Kopeckého válečků bude následovný, na přesné laboratorní váze se nejprve zváží hmotnost odebraného půdního vzorku v Kopeckého válečku (G_A), následně se vzorek i s válečkem umístí na vodní lázeň, aby se plně kapilárně nasýtil. Po nasycení se opět zváží a hodnota se zaznamená (G_B), poté se nechá samovolně vysoušet po dobu 24 hodin a opětovně zváží se záznamem hodnoty (G_E). Nakonec se půdní vzorek vysuší při 105 °C a zjistí se hmotnost suché zeminy s válečkem (G_F) a hmotnost pouze suché zeminy (G_F'). Pro zjištění měrné hmotnosti půdy (M_Z) je ještě nutné podrobit nadrcený vzorek zeminy pyknometrické zkoušce. Odečtením zjištěných hodnot se zjistí hodnoty retenční vodní kapacity za 24 hodin (RVK_{24}), celková pórovitost (P_C) a provzdušněnost půdy (A). Vzorec pro výpočet celkové pórovitosti je uvedený pod číslem 2.1, výpočet retenční vodní kapacity za 24 hodin je uvedený ve vzorci 2.2 a provzdušněnost půdy se vypočítá použitím vzorce 2.3.

Celková pórovitost

$$P_C = \frac{100 \times (M_Z - O_R)}{M_Z} \quad (2.1)$$

Kde:

P_C – pórovitost celková [%],

M_Z – měrná hmotnost [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],

O_R – objemová hmotnost redukována [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$].

Retenční vodní kapacita (24 h)

$$RVK_{24} = G_E - G_F \quad (2.2)$$

Kde:

RVK_{24} – retenční vodní kapacita (24 h) [%],

G_E – hmotnost vzorku po 24 hodinách odsávání [g],

G_F – hmotnost vzorku po vysušení [g].

Provzdušněnost půdy

$$A = P_C - W_{mom} \quad (2.3)$$

Kde:

A – provzdušněnost půdy [%],

P_C – porovitost celková [%],

W_{mom} – vlhkost momentální [%].

3 Výsledky

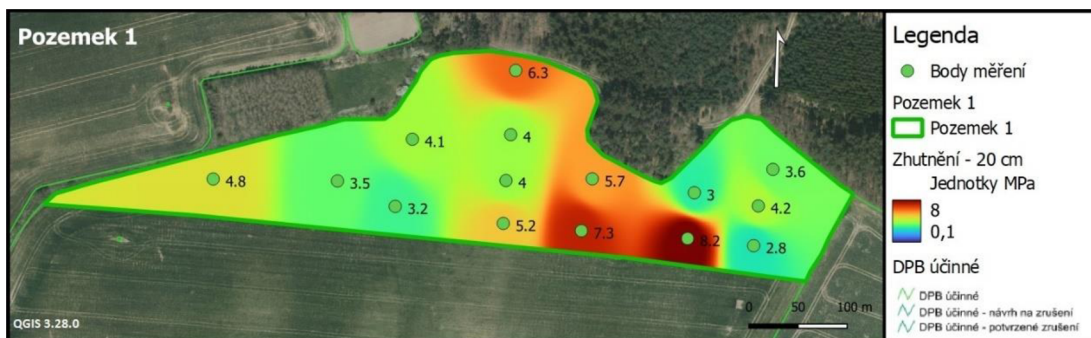
3.1 Penetrometrické šetření

Měření zhutnění půdy na všech pozemcích bylo provedeno v jeden den, aby se zabránilo možným změnám vlhkosti půdy, stejně tak i odběr půdních vzorků byl vykonán během jednoho dne. Pro tuto práci je důležité srovnání získaných hodnot na pozemcích číslo 1 a 2, které k sobě přímo přiléhají a pozemku číslo 3 a 4, které jsou od sebe velmi blízko. Dále je podstatné srovnání výsledných hodnot mezi jednotlivými technologiemi zpracování půdy, orbou a minimalizační technologií.

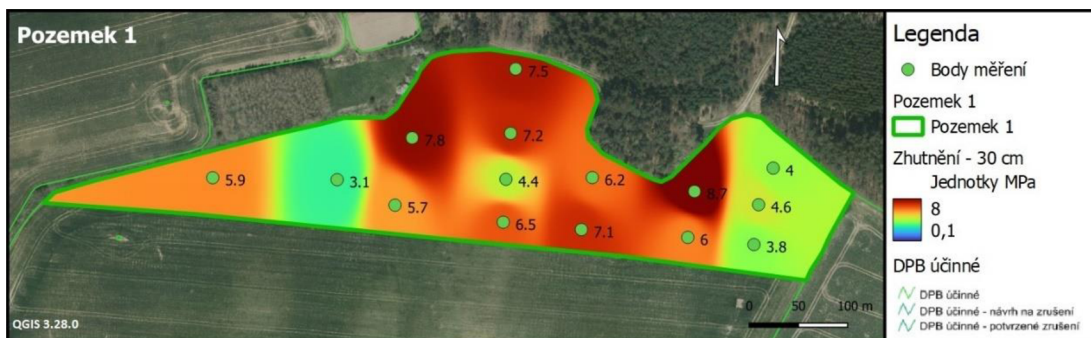
Pozemek číslo 1 byl zpracován minimalizační technologií a měření zhutnění půdy na něm bylo provedeno na patnácti místech rovnoměrně rozložených na dané ploše. Prvním měřením v hloubce 10 cm byly zjištěny hodnoty zhutnění od 2,60 do 5,00 MPa a průměrná hodnota je 3,56 MPa, grafické zobrazení zhutnění v dané hloubce je uvedené na obrázku číslo 3.1. Naměřené hodnoty zhutnění půdy v hloubce 20 cm se pohybovaly v rozmezí od 2,80 do 8,20 MPa. Průměrnou hodnotou zhutnění půdy v dané hloubce je údaj 4,66 MPa. Zobrazení naměřených hodnot v hloubce 20 cm je na obrázku číslo 3.2. Zhutnění půdy v hloubce 30 cm se na daném pozemku pohybovalo v rozmezí od 3,10 do 8,70 MPa. V dané hloubce je průměrné zhutnění 5,90 MPa. Grafické zobrazení naměřených hodnot této hloubky je na obrázku 3.3.



Obrázek 3.1: Zhutnění půdy na pozemku číslo 1 v hloubce 10 cm

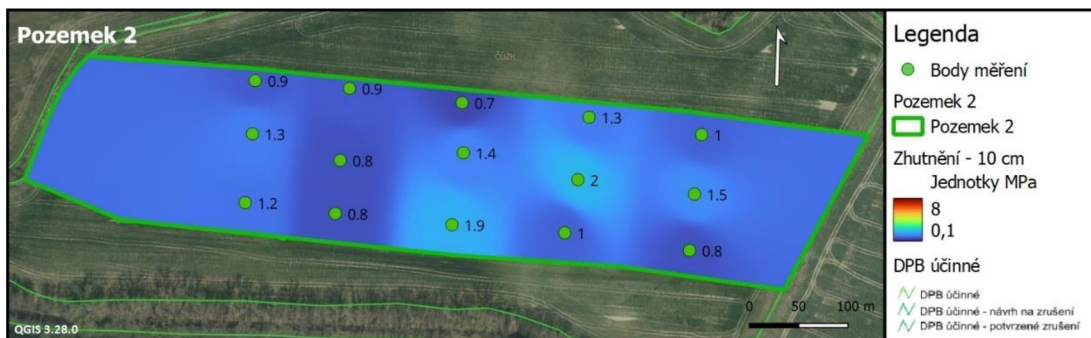


Obrázek 3.2: Zhutnění půdy na pozemku číslo 1 v hloubce 20 cm

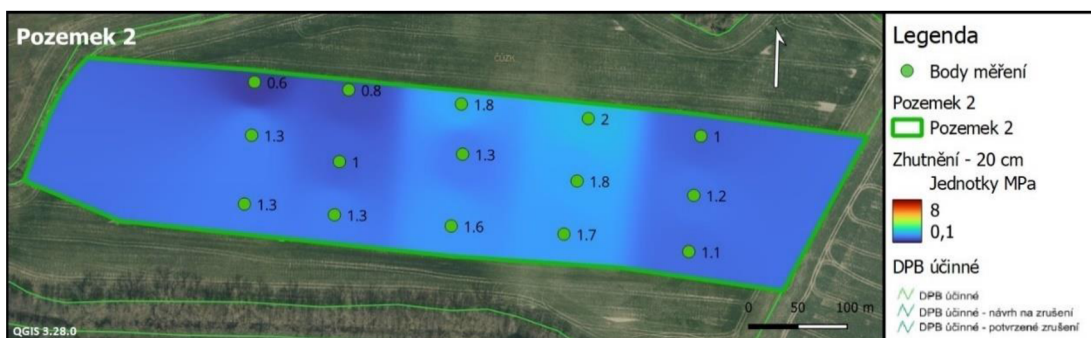


Obrázek 3.3: Zhutnění půdy na pozemku číslo 1 v hloubce 30 cm

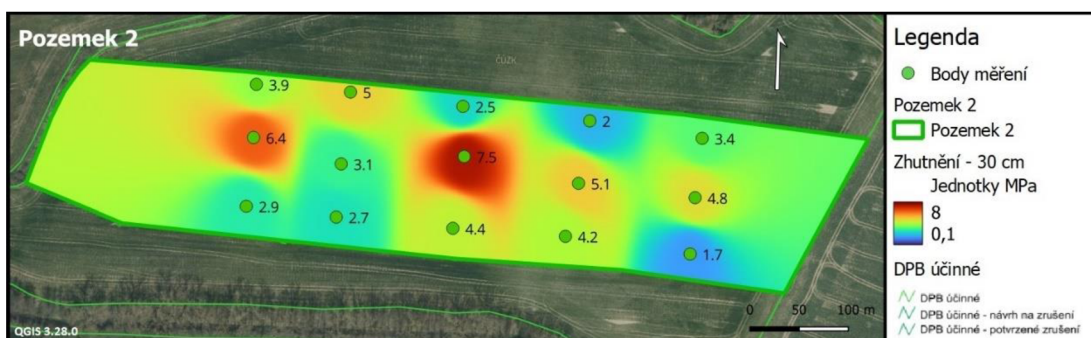
Na pozemku číslo 2, který byl zpracován orbou, bylo provedeno měření zhutnění půdy na patnácti místech, charakterizující danou plochu. Naměřené hodnoty zhutnění v hloubce 10 cm se pohybovaly od 0,70 do 2,00 MPa. Průměrná hodnota zhutnění na daném pozemku činí 1,17 MPa. Grafické zobrazení zhutnění půdy v hloubce 10 cm je znázorněno na obrázku číslo 3.4. Měření zhutnění půdy v hloubce 20 cm vykazovalo hodnoty od 0,60 do 1,80 MPa a průměrná hodnota daného pozemku v této hloubce činí 1,32 MPa. Zobrazení výsledků v grafické podobě je na obrázku číslo 3.5. Hodnoty zhutnění půdy v hloubce 30 cm nabývaly údajů od 1,70 do 7,50 MPa, průměrným zhutněním v této hloubce je hodnota 3,97 MPa. Naměřené hodnoty v grafické podobě jsou na obrázku číslo 3.6.



Obrázek 3.4: Zhutnění půdy na pozemku číslo 2 v hloubce 10 cm

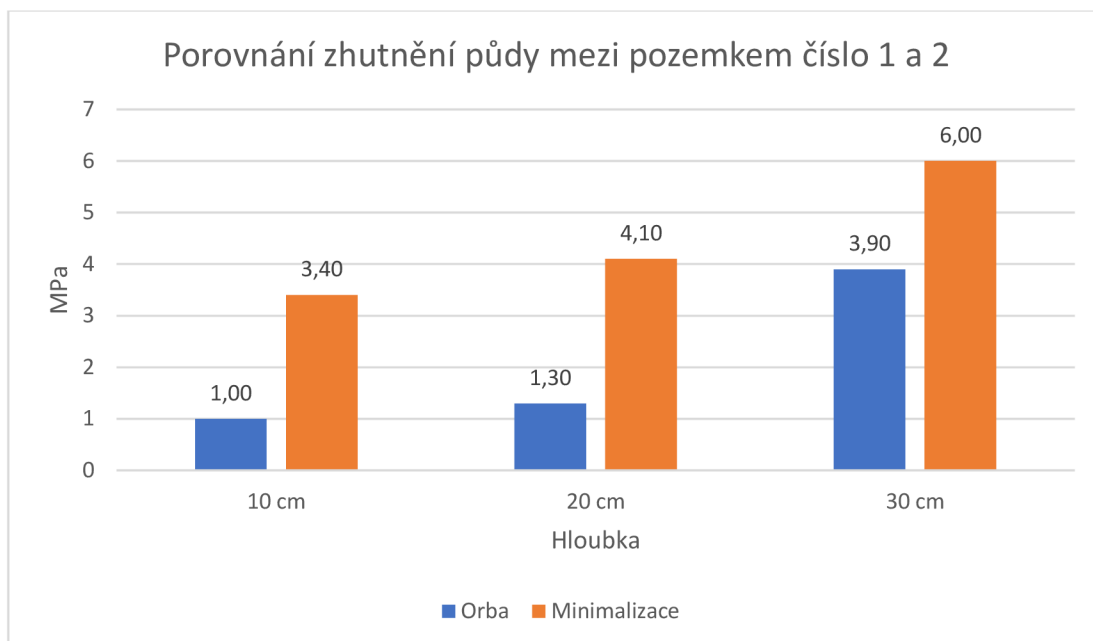


Obrázek 3.5: Zhutnění půdy na pozemku číslo 2 v hloubce 20 cm



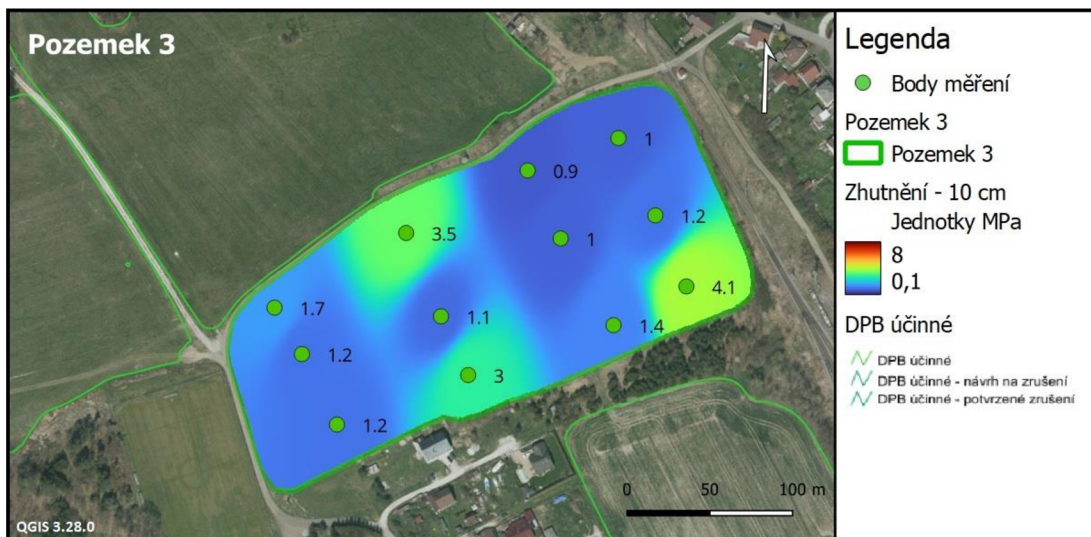
Obrázek 3.6: Zhutnění půdy na pozemku číslo 2 v hloubce 30 cm

Hodnota mediánu zhutnění půdy pro pozemek číslo 1 vychází 3,40 MPa v hloubce 10 cm, pro hloubku 20 cm je tato hodnota 4,10 MPa a pro hloubku 30 cm činí 6,00 MPa. Pro srovnání na pozemku číslo 2 jsou tyto hodnoty mediánu u hloubky 10 cm 1,00 MPa, pro hloubku 20 cm je to 1,30 MPa a v hloubce 30 cm dosahuje zhutnění 3,90 MPa. Tyto hodnoty jsou graficky porovnány v grafu na obrázku číslo 3.7.

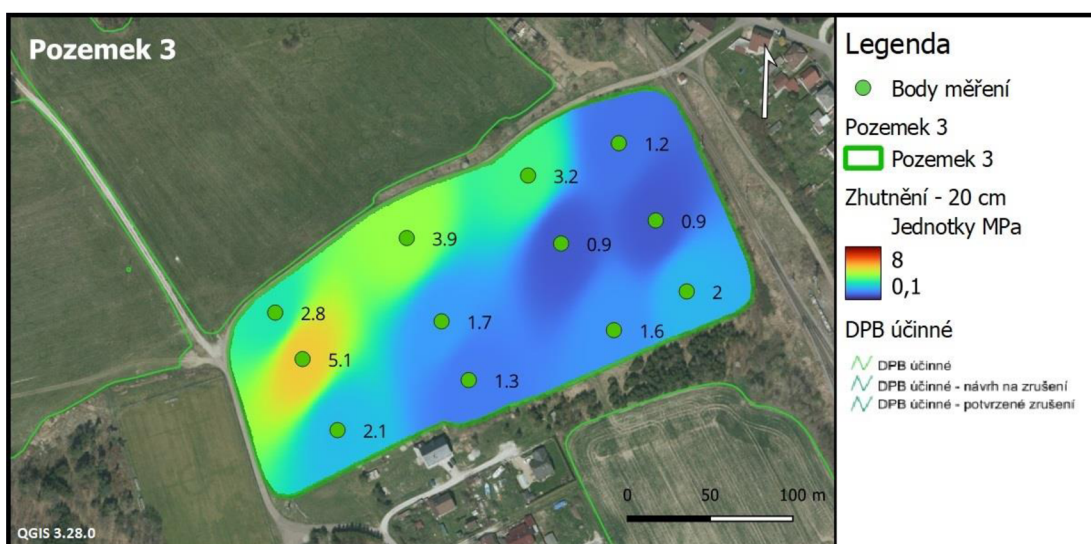


Obrázek 3.7: Graf srovnání zhutnění půdy na pozemcích číslo 1 a 2

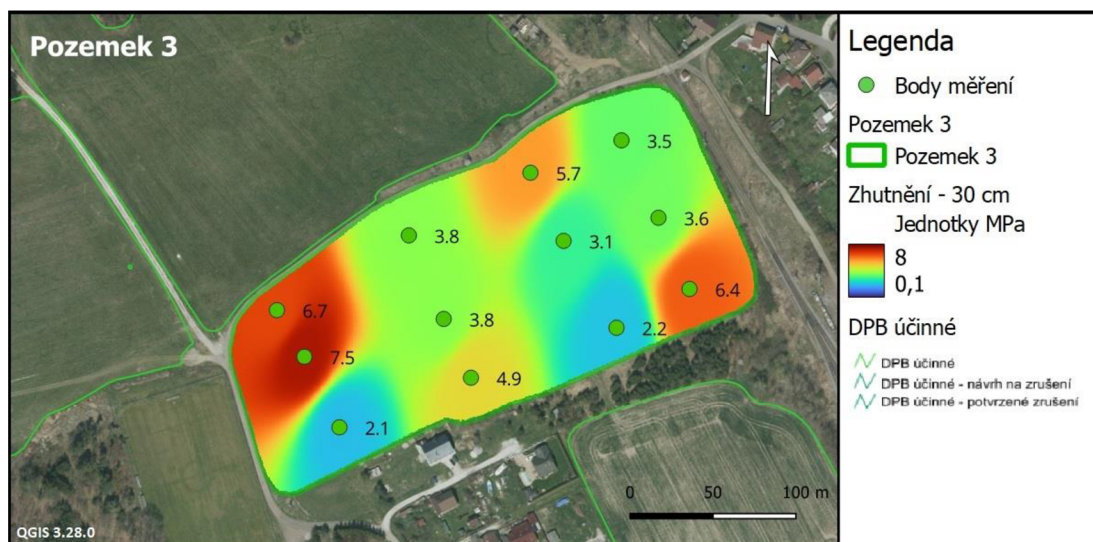
Na pozemku číslo 3 bylo provedeno měření zhutnění půdy na dvanácti místech rovnoměrně rozmístěných po ploše a na tomto pozemku byla provedena orba. Z naměřených hodnot je patrné, že se zhutnění na tomto pozemku v hloubce 10 cm pohybovalo v rozmezí 0,90 až 4,10 MPa. V průměru je hodnota zhutnění v dané hloubce 1,78 MPa. Zobrazení naměřených hodnot zhutnění v hloubce 10 cm je na obrázku číslo 3.8. Hodnoty zhutnění půdy v hloubce 20 cm na daném pozemku se pohybují od 0,90 do 5,10 MPa, v průměru je pak tato hodnota 2,23 MPa. Grafické zobrazení hodnot zhutnění půdy z hloubky 20 cm je na obrázku 3.9. Naměřené hodnoty zhutnění půdy na daném pozemku z hloubky 30 cm se pohybují v rozmezí 2,10 až 7,50 MPa a průměrná hodnota činí 4,44 MPa. Vyobrazení naměřených hodnot v grafické podobě zachycuje obrázek číslo 3.10.



Obrázek 3.8: Zhutnění půdy na pozemku číslo 3 v hloubce 10 cm

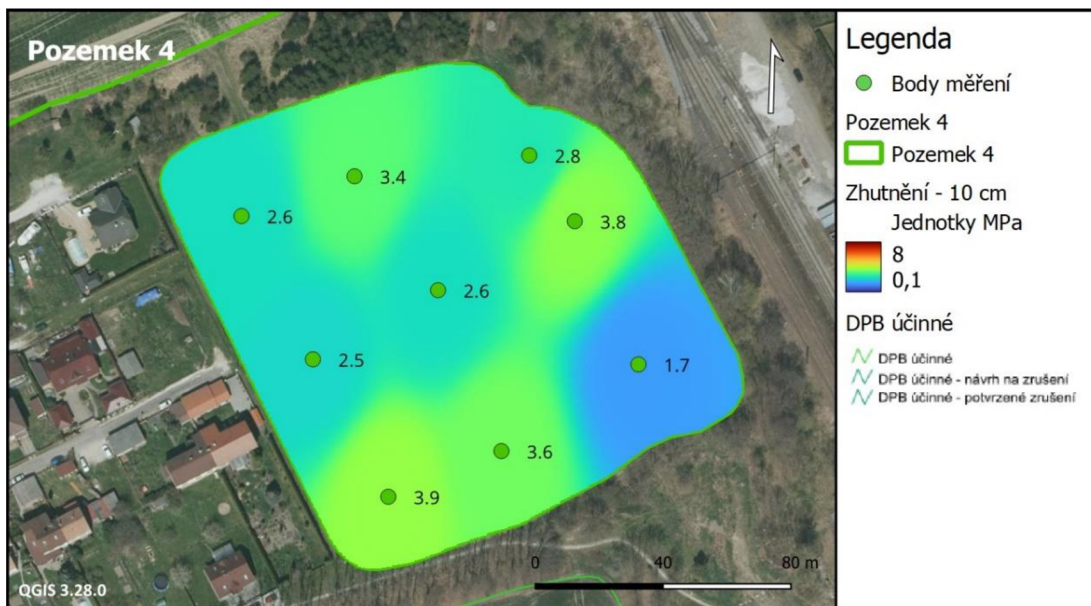


Obrázek 3.9: Zhutnění půdy na pozemku číslo 3 v hloubce 20 cm

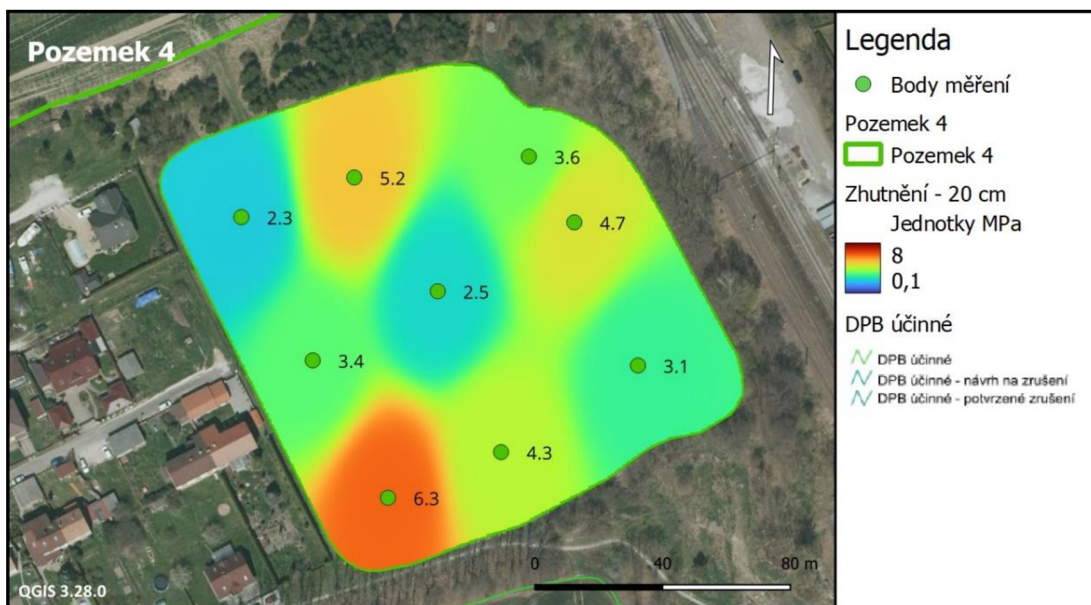


Obrázek 3.10: Zhutnění půdy na pozemku číslo 3 v hloubce 30 cm

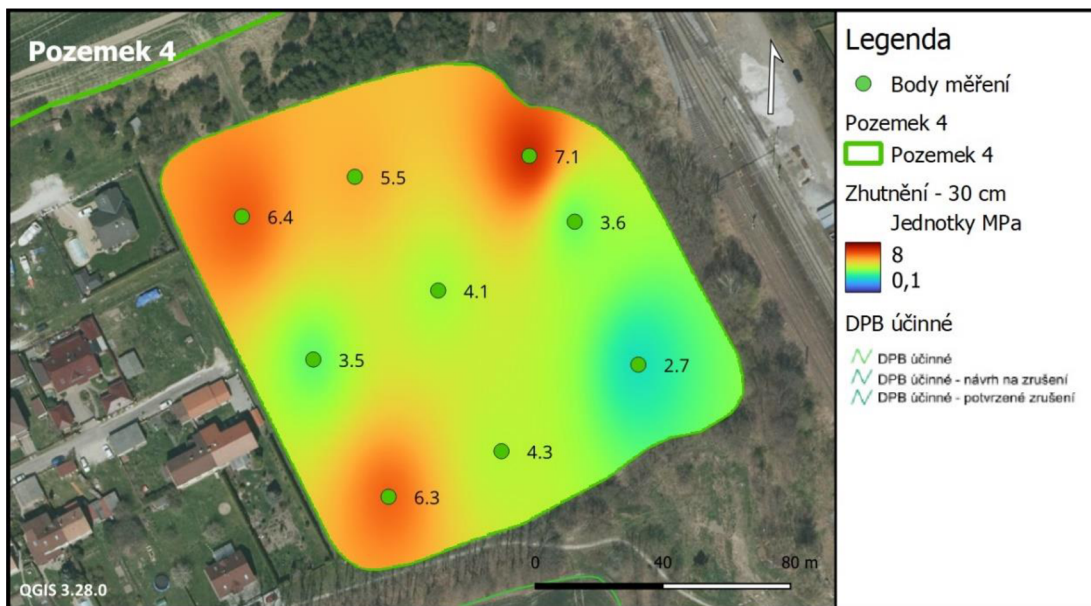
Pozemek číslo 4 byl zpracován minimalizační technologií a také zde bylo provedeno dvanáct měření zhutnění půdy rovnoměrně po ploše. V hloubce 10 cm byly naměřeny hodnoty zhutnění od 1,70 do 3,90 MPa, kdy průměrná hodnota dané hloubky činila 2,99 MPa. Tyto hodnoty v grafické podobě jsou uvedeny na obrázku číslo 3.11. Naměřené hodnoty v hloubce 20 cm se pohybovaly v rozmezí 3,10 až 6,30 MPa a průměrná hodnota této hloubky činí 3,93 MPa. Graficky jsou naměřené hodnoty utužení půdy v hloubce 20 cm zaznamenány na obrázku číslo 3.12. Měření zhutnění půdy v hloubce 30 cm na daném pozemku byly zjištěny hodnoty od 2,70 do 7,10 MPa, kdy průměrná hodnota v této hloubce činí 4,83 MPa. Zobrazení naměřených hodnot zhutnění v dané hloubce je na obrázku číslo 3.13.



Obrázek 3.11: Zhutnění půdy na pozemku číslo 4 v hloubce 10 cm



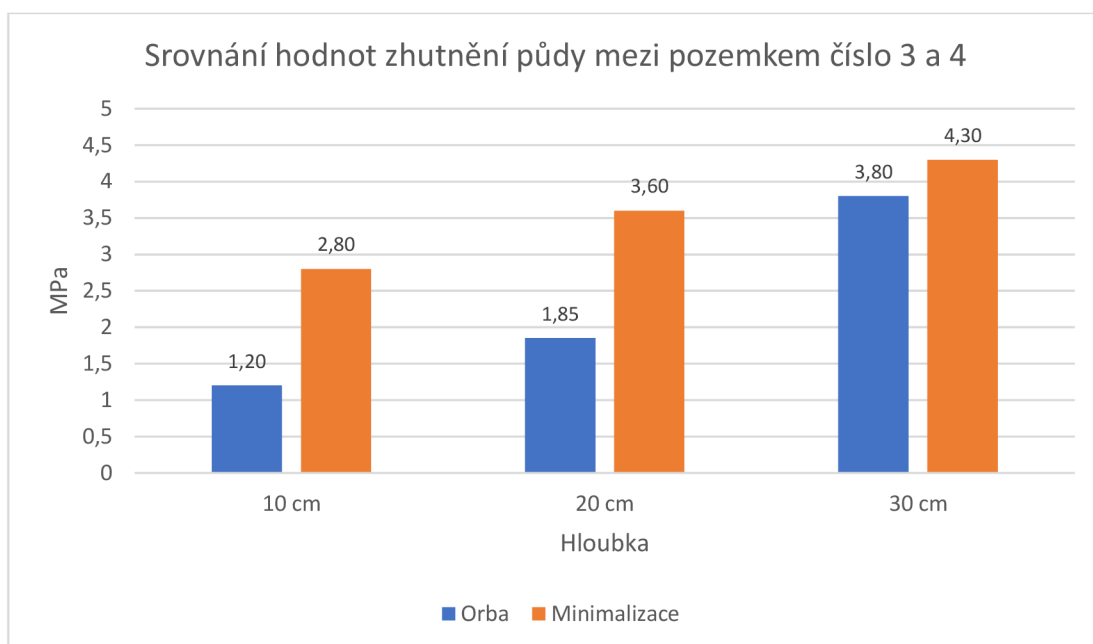
Obrázek 3.12: Zhutnění půdy na pozemku číslo 4 v hloubce 20 cm



Obrázek 3.13: Zhutnění půdy na pozemku číslo 4 v hloubce 30 cm

Výsledky měření zhutnění půdy získané pedometricky byly statisticky zpracovány. Na pozemku číslo 1 v hloubce 10 cm vyšel statisticky medián naměřeného zhutnění půdy 3,40 MPa, v hloubce 20 cm pak 4,10 MPa a v hloubce 30 cm 6 MPa. Pozemek číslo 2 vykazoval po statistickém zpracování hodnoty zhutnění mediánu v hloubce 10 cm 1,00 MPa, v 20 cm 1,30 MPa a v hloubce 30 cm 3,97 MPa. Na pozemku číslo 3 vyšla následující data ze statistiky, medián zhutnění půdy v 10 cm byl 1,20 MPa, v 20 cm poté 1,85 MPa a v 30 cm byl 3,80 MPa. Ze statistického zpracování výsledků na pozemku číslo 4 vzešli hodnoty mediánu pro hloubku 10 cm 2,80 MPa, pro hloubku 20 cm 3,60 MPa a v hloubce 30 cm 4,6 MPa. Porovnání hodnot mediánů zhutnění

půdy pro pozemky číslo 3 a 4 jsou v grafické podobě na obrázku číslo 3.14. Pro přehlednost jsou statistické výsledky uvedeny pro jednotlivé pozemky v tabulkách číslo 3.1, 3.2, 3.3 a 3.4.



Obrázek 3.14: Graf srovnání zhutnění půdy mezi pozemkem číslo 3 a 4

Tabulka 3.1: Statisticky zpracované hodnoty zhutnění půdy na pozemku číslo 2

Hloubka	Počet vpichů	Medián (MPa)	Průměr (MPa)	Směrodatná odchylka	Shapiro wilk test (P-value <0.05)	Tukey HSD / Tukey Kramer (P-value <0.05)		
						10 cm vs. 20 cm	10 cm vs. 30 cm	20 cm vs. 30 cm
10 cm	15	1	1,17	0,39	0,074			
20 cm	15	1,3	1,32	0,38	0,795	0,906	3,55*10 ⁻⁹	1,41*10 ⁻⁸
30 cm	15	3,9	3,97	1,56	0,666			

Tabulka 3.2: Statisticky zpracované hodnoty zhutnění půdy na pozemku číslo 1

Hloubka	Počet vpichů	Medián (MPa)	Průměr (MPa)	Směrodatná odchylka	Shapiro wilk test (P-value <0.05)	Tukey HSD / Tukey Kramer (P-value <0.05)		
						10 cm vs. 20 cm	10 cm vs. 30 cm	20 cm vs. 30 cm
10 cm	15	3,4	3,56	0,72	0,222			
20 cm	15	4,1	4,66	1,54	0,105	0,088	0,0001	0,0048
30 cm	15	6,0	5,90	1,58	0,775			

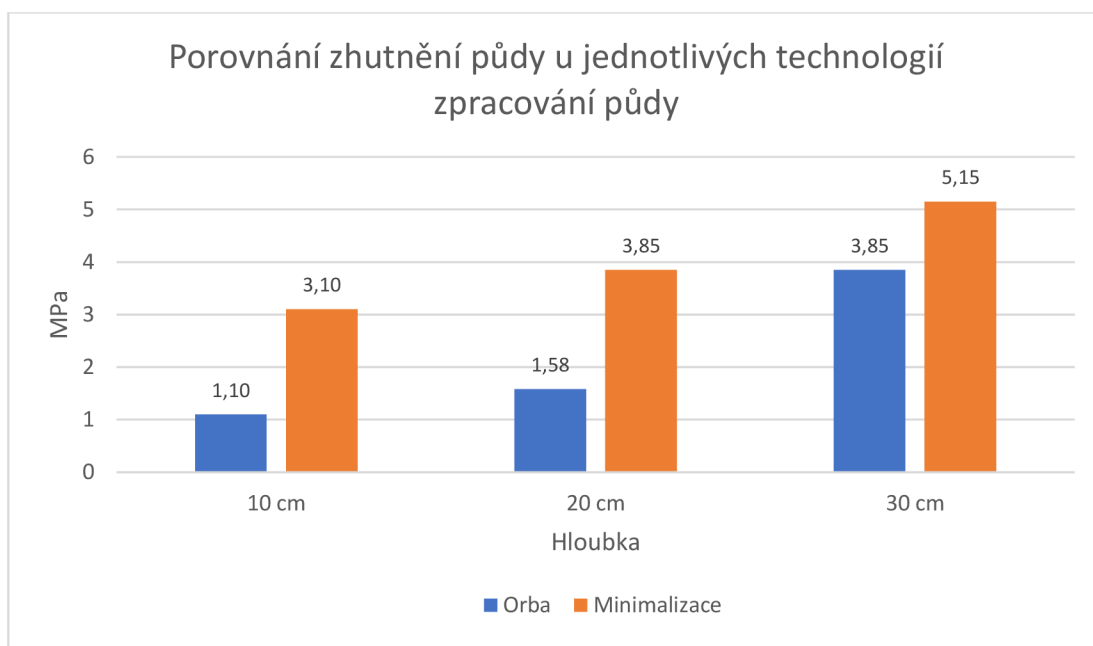
Tabulka 3.3: Statisticky zpracované hodnoty zhutnění půdy na pozemku číslo 3

Hloubka	Počet vpichů	Medián (MPa)	Průměr (MPa)	Směrodatná odchylka	Shapiro wilk test (P-value <0.05)	Kruskal Wallis/ Tukey Kramer (P-value <0.05)		
						10 cm vs. 20 cm	10 cm vs. 30 cm	20 cm vs. 30 cm
10 cm	12	1,2	1,78	1,06	0,002			
20 cm	12	1,85	2,23	1,24	0,120	0,393	0,0003	0,005
30 cm	12	3,8	4,44	1,70	0,400			

Tabulka 3.4: Statisticky zpracované hodnoty zhutnění půdy na pozemku číslo 4

Hloubka	Počet vpichů	Medián (MPa)	Průměr (MPa)	Směrodatná odchylka	Shapiro wilk test (P-value <0.05)	Tukey HSD / Tukey Kramer (P-value <0.05)		
						10 cm vs. 20 cm	10 cm vs. 30 cm	20 cm vs. 30 cm
10 cm	9	2,8	2,99	0,69	0,500	0,258	0,0114	0,291
20 cm	9	3,6	3,93	1,24	0,872			
30 cm	9	4,3	4,83	1,45	0,568			

Hodnoty průměrů mediánů zhutnění půdy z pozemků, které byly zpracovány orbou vychází z hloubky 10 cm 1,10 MPa, pro hloubku 20 cm poté 1,58 MPa a pro hloubku 30 cm je to 3,85 MPa. Hodnoty zhutnění půdy z pozemků zpracovaných minimalizační technologií jsou následující, v hloubce 10 cm vychází zhutnění 3,10 MPa, pro hloubku 20 cm je to 3,85 MPa a ve 30 cm hodnota dosahuje velikosti 5,15 MPa. Výsledná data jsou uvedena v grafu na obrázku číslo 3,15.



Obrázek 3.15: Graf srovnání zhutnění půdy mezi orbou a minimalizací

3.2 Rozbor půdních vzorků

Vzorky půdy nabrané do Kopeckého válečků na zkoumaných pozemcích byly podrobeny laboratornímu rozboru pro zjištění maximální vodní kapacity za 24 hodin, celkové pórovitosti a provzdušněnosti půdy. K výpočtu těchto údajů byly použity vzorce uvedené v kapitole Metodika, ale nejprve bylo potřeba zjištění pomocných dat, potřebných k výpočtům, jako je hmotnost vzorku při momentální vlhkosti, po kapilárním

nasycení, po třicetiminutovém odsávání, po dvouhodinovém odsávání, po dvoudenním odsávání, po vysušení, a hmotnost čisté suché zeminy. Na každém pozemku byly odebrány tři vzorky v každé ze tří hloubek.

Na pozemku číslo 1 byla v hloubce 10 cm retenční vodní kapacita (24h) v rozmezí 18,36 až 18,80 % a průměrná hodnota činila 18,59 %. Celková pórovitost se v této hloubce pohybovala od 37,65 do 42,35 % a průměrná hodnota nabývala hodnoty 40,26 %. Pro danou hloubku se hodnoty provzdušněnosti půdy pohybovaly v rozmezí 18,71 až 26,17 %, průměr pro tuto hloubku byl 23,51 %.

Pro hloubku 20 cm byly výsledky následující, retenční vodní kapacita (24h) nabývala hodnot 17,34 až 20,78 %, průměrnou hodnotou bylo 18,68 %. Hodnoty celkové pórovitosti se pohybovaly v rozmezí 28,24 až 42,36 % a průměrná hodnota měla velikost 40,79 %. Provzdušněnost půdy byla v rozmezí 13,07 až 36,50 %, s průměrnou hodnotou 24,37 %.

Hloubka 30 cm na daném pozemku vykazovala hodnoty retenční vodní kapacity (24h) v rozmezí od 10,09 do 22,86 % a průměrná hodnota činila 16,02 %. Celková pórovitost pro danou hloubku se pohybovala v rozmezí 38,43 až 43,13 %, s průměrnou hodnotou 41,31 %. Hodnoty provzdušněnosti půdy byly od 14,00 do 30,66 % a průměrná hodnota činila 24,57 %. V tabulce číslo 3.5 jsou hodnoty uspořádány pro lepší přehlednost.

Tabulka 3.5: Laboratorní hodnoty z pozemku číslo 1

Hloubka (cm)	Pórovitost celková (%)			Retenční vodní kapacita (24h) (%)			Provzdušněnost půdy (%)		
	Sonda číslo			Sonda číslo			Sonda číslo		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	42,35	18,80	25,64	37,65	18,36	18,71	40,78	18,62	26,17
20	42,36	20,78	23,53	28,24	17,92	13,07	51,76	17,34	36,50
30	38,43	22,86	14,00	43,14	10,09	29,06	42,35	15,10	30,66

Na pozemku číslo 2 byla v hloubce 10 cm retenční vodní kapacita (24h) v rozmezí 13,64 až 18,37 % a průměrná hodnota činila 16,42 %. Celková pórovitost se v této hloubce pohybovala od 27,06 do 43,92 % a průměrná hodnota nabývala hodnoty 37,52 %. Pro danou hloubku se hodnoty provzdušněnosti půdy pohybovaly v rozmezí 7,90 až 30,46 %, průměr pro tuto hloubku byl 21,56 %.

Pro hloubku 20 cm byly výsledky následující, retenční vodní kapacita (24h) nabývala hodnot 14,15 % až 18,92 %, průměrnou hodnotou bylo 16,04 %. Hodnoty celkové pórovitosti se pohybovaly v rozmezí 40,00 až 53,33 % a průměrná hodnota měla velikost 46,01 %. Pro vzdušnost půdy byla v rozmezí 21,30 až 42,52 %, s průměrnou hodnotou 32,00 %.

Hloubka 30 cm na daném pozemku vykazovala hodnoty retenční vodní kapacity (24h) v rozmezí od 9,62 do 11,12 % a průměrná hodnota činila 10,23 %. Celková pórovitost pro danou hloubku se pohybovala v rozmezí 45,49 až 46,67 %, s průměrnou hodnotou 46,01 %. Hodnoty provzdušnění půdy byly od 36,01 do 37,39 % a průměrná hodnota činila 36,93 %. V tabulce číslo jsou 3.6 hodnoty uspořádány pro lepší přehlednost.

Tabulka 3.6: Laboratorní hodnoty z pozemku číslo 2

Hloubka (cm)	Pórovitost celková (%)			Retenční vodní kapacita (24h) (%)			Provzdušněnost půdy (%)		
	Sonda číslo			Sonda číslo			Sonda číslo		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	43,92	41,57	27,06	13,64	17,26	18,37	30,46	26,32	7,90
20	44,71	53,33	40,00	15,04	14,15	18,92	32,18	42,52	21,30
30	45,88	46,67	45,49	11,12	9,62	9,93	37,39	37,38	36,01

Na pozemku číslo 3 byla v hloubce 10 cm retenční vodní kapacita (24h) v rozmezí 11,56 až 16,83 % a průměrná hodnota činila 14,44 %. Celková pórovitost se v této hloubce pohybovala od 35,69 do 42,75 % a průměrná hodnota nabývala hodnoty 38,96 %. Pro danou hloubku se hodnoty provzdušnění půdy pohybovaly v rozmezí 21,50 až 26,99 %, průměr pro tuto hloubku byl 24,88 %.

Pro hloubku 20 cm byly výsledky následující, retenční vodní kapacita (24h) nabývala hodnot 11,83 % až 13,54 %, průměrnou hodnotou bylo 12,79 %. Hodnoty celkové pórovitosti se pohybovaly v rozmezí 38,82 až 47,84 % a průměrná hodnota měla velikost 41,96 %. Pro vzdušnost půdy byla v rozmezí 26,11 až 34,69 %, s průměrnou hodnotou 30,07 %.

Hloubka 30 cm na daném pozemku vykazovala hodnoty retenční vodní kapacity (24h) v rozmezí od 3,77 do 8,60 % a průměrná hodnota činila 6,96 %. Celková pórovitost pro danou hloubku se pohybovala v rozmezí 27,45 až 44,31 %, s průměrnou hodnotou 38,04 %. Hodnoty provzdušnění půdy byly od 24,95 do 39,07 % a průměrná hodnota činila 33,19 %. V tabulce číslo 3.7 jsou hodnoty uspořádány pro lepší přehlednost.

Tabulka 3.7: Laboratorní hodnoty z pozemku číslo 3

Hloubka (cm)	Pórovitost celková (%)			Retenční vodní kapacita (24h) (%)			Provozdušnost půdy (%)		
	Sonda číslo			Sonda číslo			Sonda číslo		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	42,75	35,69	38,43	16,83	14,94	11,56	26,16	21,50	26,99
20	47,84	39,22	38,82	13,00	13,54	11,83	34,69	26,11	29,40
30	27,45	44,31	42,35	3,77	8,52	8,60	24,95	39,07	35,55

Na pozemku číslo 4 byla v hloubce 10 cm retenční vodní kapacita (24h) v rozmezí 9,72 až 19,12 % a průměrná hodnota činila 15,41 %. Celková pórovitost se v této hloubce pohybovala od 37,25 do 57,25 % a průměrná hodnota nabývala hodnoty 46,01 %. Pro danou hloubku se hodnoty provzdušněnosti půdy pohybovaly v rozmezí 24,38 až 55,35 %, průměr pro tuto hloubku byl 35,50 %.

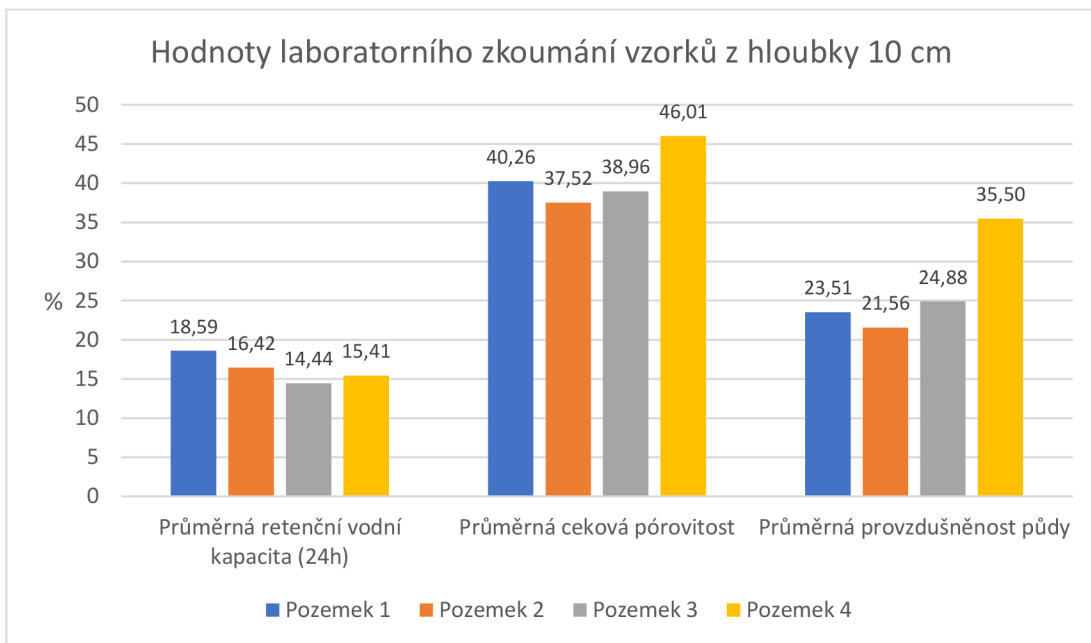
Pro hloubku 20 cm byly výsledky následující, retenční vodní kapacita (24h) nabývala hodnot 12,55 % až 18,40 %, průměrnou hodnotou bylo 15,21 %. Hodnoty celkové pórovitosti se pohybovaly v rozmezí 34,51 až 52,55 % a průměrná hodnota měla velikost 45,49 %. Provozdušnost půdy byla v rozmezí 15,20 až 49,33 %, s průměrnou hodnotou 34,66 %.

Hloubka 30 cm na daném pozemku vykazovala hodnoty retenční vodní kapacity (24h) v rozmezí od 10,35 do 15,00 % a průměrná hodnota činila 13,29 %. Celková pórovitost pro danou hloubku se pohybovala v rozmezí 32,94 až 38,04 %, s průměrnou hodnotou 35,95 %. Hodnoty provzdušněnosti půdy byly od 19,41 do 33,18 % a průměrná hodnota činila 25,84 %. V tabulce číslo 3.8 jsou hodnoty uspořádány pro lepší přehlednost.

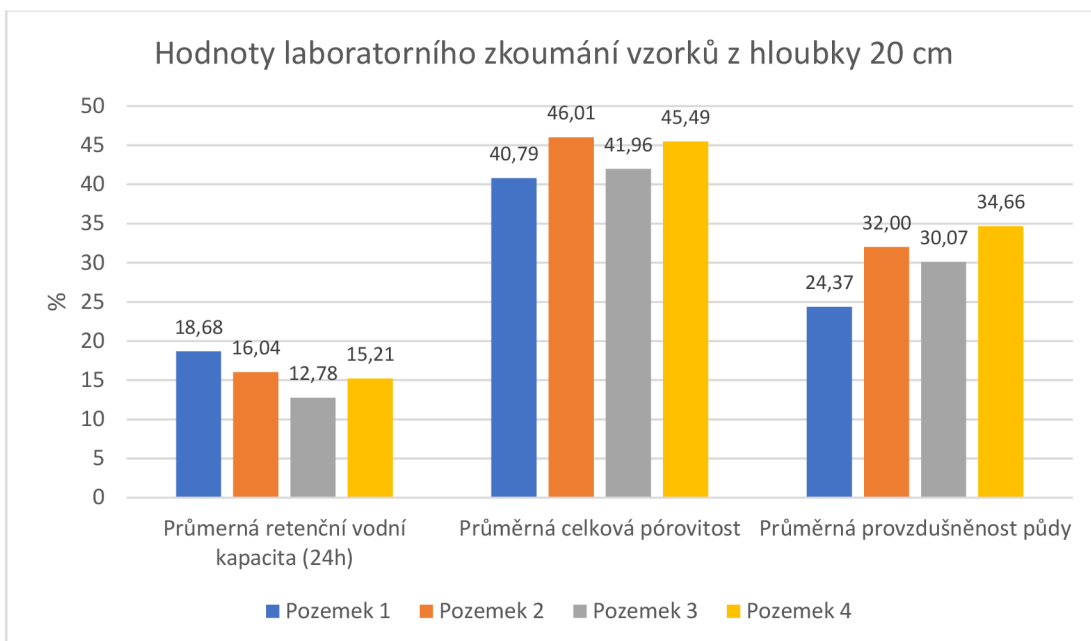
Tabulka 3.8: Laboratorní hodnoty z pozemku číslo 4

Hloubka (cm)	Pórovitost celková (%)			Retenční vodní kapacita (24h) (%)			Provozdušnost půdy (%)		
	Sonda číslo			Sonda číslo			Sonda číslo		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	37,25	57,25	43,53	17,40	9,72	19,12	24,38	55,35	26,76
20	34,51	52,55	49,41	18,40	12,55	14,68	15,20	49,33	39,45
30	36,86	38,04	32,94	15,00	10,35	14,52	24,94	33,18	19,41

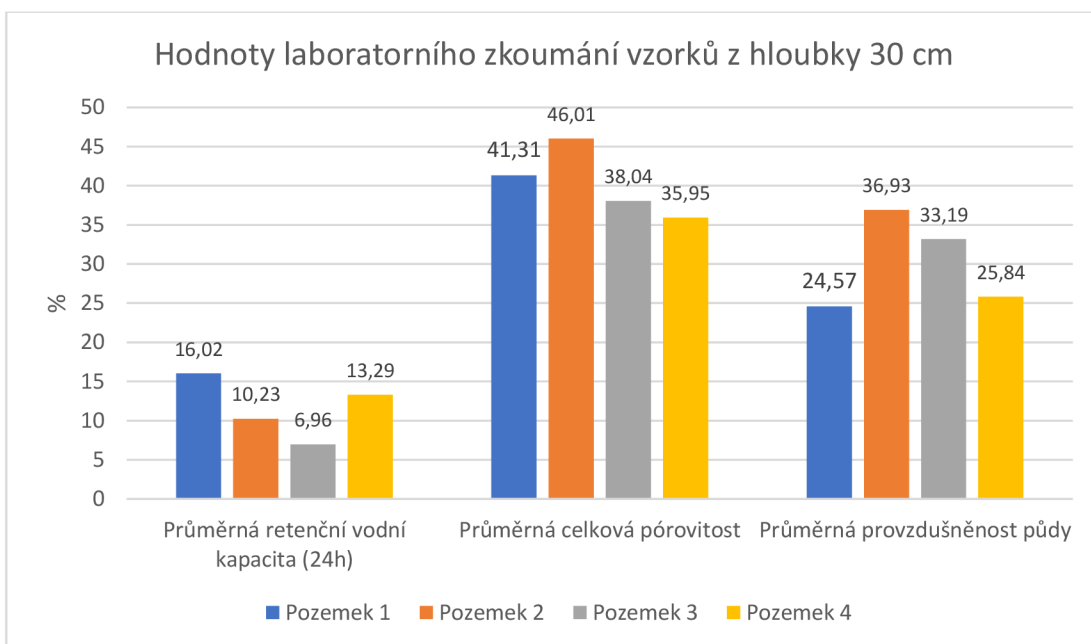
Průměrné hodnoty retenční vodní kapacity (24h), průměrné celkové pórovitosti a průměrné provzdušněnosti půdy jsou znázorněny v grafech pro lepší přehlednost, Hodnoty z hloubky 10 cm jsou na obrázku číslo 3.16, hodnoty z hloubky 20 cm na obrázku číslo 3.17 a hodnoty z hloubky 30 cm jsou na obrázku číslo 3.18.



Obrázek 3.16: Graf průměrných hodnot z laboratorního zkoumání půdy v hloubce 10 cm



Obrázek 3.17: Graf průměrných hodnot z laboratorního zkoumání půdy v hloubce 20 cm



Obrázek 3.18: Graf průměrných hodnot z laboratorního zkoumání půdy v hloubce 30 cm

4 Diskuse

Z výsledků pedometrického šetření a zpracováním získaných hodnot je patrné, že mezi porovnávanými metodami zpracování půdy, a to konvenční technologií a minimalizační technologií, jsou patrné rozdíly ve zhutnění půdy. Porovnáním pozemků číslo 1 a 2, které k sobě přiléhají, je zřejmé, že zhutnění půdy na pozemku číslo 1, který byl zpracován minimalizační technologií, je vyšší ve všech zkoumaných hloubkách oproti pozemku číslo 2, který byl orán. Konkrétně v hloubce 10 cm je rozdíl 2,40 MPa, v hloubce 20 cm je rozdíl 2,80 MPa a v hloubce 30 cm je rozdíl 2,10 MPa. Srovnáním druhých dvou pozemků číslo 3 a 4, které jsou od sebe vzdáleny do 30 metrů od okrajů pozemků, s rozdílnými technologiemi zpracování půdy, se získaly výsledky, které rovněž vykazují vyšší míru zhutnění ve všech zkoumaných hloubkách na pozemku zpracovaného minimalizační technologií. Rozdíl ve zhutnění u hloubky 10 cm je 1,60 MPa, u hloubky 20 cm je rozdíl 1,75 MPa a u hloubky 30 cm rozdíl činí už jen 0,5 MPa. Pokud srovnáme průměry mediánů mezi oběma technologiemi, získáme jasné hodnoty poukazující na vyšší míru zhutnění půdy u minimalizační technologie, a to ve všech zkoumaných hloubkách. V hloubce 10 cm je u orebné technologie průměrná hodnota 1,10 MPa a u minimalizační technologie 3,10 MPa, rozdíl je tedy 2,00 MPa ve prospěch menšího zhutnění u orby. Hloubka 20 cm vykazuje hodnoty zhutnění u orby 1,58 MPa a u minimalizace 3,85 MPa, rozdíl 2,27 MPa je opět ve prospěch orby. Na závěr hloubka 30 cm vykazuje hodnoty u orby 3,85 MPa, to je o 1,3 MPa méně než u minimalizační technologie. Ze získaných dat je zřejmé, že při použití minimalizační technologie je orniční vrstva pozemků více zhutněná, oproti technologii s orbou. Podle Šarapatky et. al (2002) je u jílovitohlinité půdy mezní kritická hodnota penetračního odporu již při hodnotě 3,70 MPa. Tuto hraniční hodnu se při zkoumání v této práci podařilo splnit orbě v hloubce 10 a 20 cm, u hloubky 30 cm se hodnota o nízké desetině přesáhla nad hraniční hodnotu, to může být dáno tím, že hloubka orby nedosahovala hloubky 30 cm a všeobecně při orbě dochází k zhutnění podorničí, ale tady je toto zhutnění jen nepatrné. Vypovídá to o správném seřízení pluhu, použití vhodného energetického prostředku a o termínu orby za vhodných klimatických podmínek. Naopak minimalizační technologie tuto kritickou hodnotu penetrometrického odporu orniční vrstvy 3,70 MPa přesahuje na jenom pozemku již v hloubce 20 cm a u druhého pozemku se při hloubce 20 cm dostává na hraniční hodnotu, ve větších hloubkách už tuto hodnotu přesahuje výrazně. Tato skutečnost má

patrně příčinu v menší hloubce zpracování půdy oproti orbě a menšímu prokypření půdy. Předpokladem je, že lepší struktura půdy v ohledu na penetrometrický odpor bude přínosem pro snazší vsákavost srážkové vody a energetická náročnost klíčících rostlin a růstu kořenů bude menší u konvenční technologie.

Porovnáním konvenční a minimalizační technologie zpracování půdy se zabýval i Mach (2021), který porovnával orbu s kypřením radličkovým kypřičem. Dlouhodobě porovnával penetrometrický odpor u daných technologií zpracování půdy a došel k obdobnému zjištění, a to do hloubky 30 cm byl odpor nižší u orby než u kypření, naopak u větších hloubek bylo patrné, že v daném pokusu orba vytvářela zhutněnou podorniční vrstvu.

Nižší míru penetrometrického odporu v hloubce do 30 cm u orby oproti zpracování půdy talířovým kypřičem popisuje také Niederhafner (2020) ve své práci, celkové hodnoty penetrometrického odporu měl znatelně nižší, patrně je to z důvodu odlišného půdního druhu.

Laboratorním zpracováním vzorků půdy z Kopeckého válečků byly získány hodnoty průměrné retenční vodní kapacity (24h), průměrné celkové pórovitosti a průměrné provzdušněnosti půdy v daných hloubkách. Průměrná retenční vodní kapacita se v hloubce 10 cm pohybovala na oraných pozemcích od 14,44 % do 16,42 % a u minimalizační technologie v rozpětí 15,41 % až 18,59 %, větší procento kapacity u minimalizace je zřejmě dáno výskytem většího množství kapilárních pórů, kdy podmínka talířovým podmínáčem tyto póry tolik nenarušila. V hloubce 20 cm je patrné také vyšší procento průměrné retenční vodní kapacity u minimalizační technologie z podobného důvodu, jako u předchozí hloubky, i když rozdíl v procentech je ještě menší. Hloubka 30 cm přinesla největší rozdíl v průměrné retenční vodní kapacitě, ale opět ve prospěch minimalizační technologie a to přibližně o 5 %. V celkovém hledisku je ale rozdíl mezi konvenční a minimalizační technologií v tomto pokusu zanedbatelný. Schneiderová (2017) ve své práci dospěla k průměrné vodní retenční kapacitě 27,10 % u minimalizační technologie, rozdíl není příliš velký a důvodem může být odlišný půdní druh.

Průměrné hodnoty celkové pórovitosti se na pozemcích zpracovaných talířovým podmínáčem pohybovaly v hloubce 10 cm od 40,26 % do 46,01 %, na oraných pozemcích pak od 37,52 % do 38,96 %. Rozdíl je tak přibližně 10 % s větší pórovitostí na pozemcích zpracovaných minimalizačně. Hloubka 20 cm již takový rozdíl nevykazuje, v průměru jsou hodnoty téměř totožné. U orby se tak hodnoty pórovitosti

zvýšily na hodnoty minimalizace, ale rozdíl mezi 10 cm a 20 cm u minimalizace je zanedbatelný. U hloubky 30 cm byl výraznější rozdíl u dvojic pozemků, které se sebou sousedí, první dvojice, tvořená pozemkem číslo 1 a 2, vykazovala vyšší hodnotu průměrné pórovitosti u orby ku minimalizaci v poměru 46,01 % ku 41,31 %. U pozemků číslo 3 a 4 byly také vyšší hodnoty u orby v poměru 38,04 % ku 35,96 %. Patrná je tedy zrcadlová odlišnost v jednotlivých hloubkách při úvaze, že hodnoty ve střední hloubce 20 cm jsou srovnatelné. Orba má hodnoty větší pórovitosti u hloubky 30 cm a naopak minimalizace u hloubky 10 cm. Podle Bauera et. al (1997) se běžná hodnota celkové pórovitosti v ornici pohybuje v rozmezí 40 % až 60 %, hodnoty v této práci se pohybují u spodní hranice výše zmíněného rozmezí, nebo lehce pod ní, tato skutečnost je ale v rozporu s Bauerem et. al (1997), kteří uvádějí zvyšující se pórovitost u těžších půd, které se ve zkoumané oblasti vyskytují. Zrcadlový efekt v hloubce 10 a 30 cm u pórovitosti půdy mezi zpracování orbou a talířovým kypřičem ve stejné úrovni zaznamenal i Niederhafner (2020) ve své práci.

Pro vzdušnost je rozdíl mezi vlhkostí a pórovitostí půdy, tedy vyjadřuje aktuální stav vzduchu v půdě, který ovlivňuje růst rostlin a chemické reakce v půdě. MENDELU (2023) uvádí jako minimální kritickou provzdušněnost orné půdy v rozmezí 15 % až 20 % dle půdního druhu. V této práci se hodnoty ve všech měřeních pohybují nad touto hranicí, konkrétně u hloubky 10 cm se na pozemcích zpracovaných minimalizačními technologiemi průměrné hodnoty pohybují v rozsahu 23,51 % až 35,50 %, na pozemcích s konvenčními technologiemi pak od 21,56 % do 24,88 %. U porovnání technologií zpracování půdy na pozemcích, které k sobě přiléhají, vychází nepatrně větší průměrná provzdušněnost u minimalizace. V hloubce 20 cm není prokazatelný rozdíl mezi zkoumanými technologiemi zpracování půdy, u orby je rozmezí hodnot od 30,07 % do 32,00 % a u minimalizace se hodnoty pohybují v rozsahu 24,37 % až 34,66 %. Hloubka 30 cm naopak od hloubky 10 cm vykazuje vyšší hodnoty průměrného provzdušnění u technologie s orbou. Konvenčně zpracované pozemky mají rozsah hodnot od 33,19 % do 36,93 % a minimalizačně zpracované od 24,57 % do 25,84 %. Celkově jsou hodnoty ale jen málo rozdílné u jednotlivých technologií zpracování půdy, a tak se nedá posoudit vliv zkoumaných technologií na provzdušněnost půdy. Pravděpodobně vyšší vliv na provzdušněnost půdy bude mít půdní druh a obsah organické hmoty. Podobné hodnoty provzdušněnosti u minimalizační technologie zpracování půdy popisuje i Schneiderová (2017) ve své práci, kdy v průběhu jara a léta zaznamenávala průměrnou provzdušněnost

na pozemcích v hloubce 10 cm a výsledkem jejího šetření jsou průměrné hodnoty 24,23 %. Podobnou hodnotu průměrné provzdušněnosti, ale u konvenční technologie, popisuje také Komárková (2015), kdy v její práci uvádí průměrnou hodnotu 22,81 %.

Závěr

Provedením pokusu a shromážděním výsledků je zřejmé, jak konvenční technologie s orbou prokazatelně vykazuje menší míru zhutnění půdy v orniční vrstvě oproti minimalizační technologii bez orby, ale ve vrstvě podorničí pak u orebné technologie značně narůstá míra zhutnění. Menší penetrometrický odpor na oraných pozemcích bude mít příznivý vliv na růst plodin, které nebudou muset vynakládat takové množství energie při klíčení a růstu kořenů, jako u minimalizační technologie. Naopak minimalizační technologie při správné technologii zpravidla nevytváří utuženou podorniční vrstvu.

Hodnoty retenční vodní kapacity (24h) jsou v pokusu u obou technologií celkově nízké a rozdíl mezi nimi je jen v řádech nízkých jednotek procent. Proto vliv technologie zpracování půdy na retenční schopnosti v tomto pokusu není prokazatelný. Podnik by se měl ale zaměřit na celkové zvýšení retenční schopnosti na svých pozemcích, vhodným postupem by mohlo být dodávání kvalitní organické hmoty do půdy, například formou meziplodin a pěstování hluboko kořenících plodin, například jetele, vojtěšky či lupiny.

Celková pórovitost půdy na zkoumaných pozemcích je u obou technologií souhrnně nižší, než je optimum, kdy se hodnoty u pokusu pohybují kolem 40 %, ale optimum u těžších půd by mělo být kolem 60 %. U jednotlivých technologií se projevil efekt inverze u jednotlivých hloubek odběru vzorků. Vyšší hodnoty pórovitosti vykazují pozemky u orebné technologie v hloubce 30 cm, naopak minimalizační technologie u hloubky 10 cm. I když se nepatrný rozdíl mezi zkoumanými technologiemi projevil, především v jednotlivých hloubkách, vypovídající hodnotu o vlivu technologie výsledky nepřinesly.

Stejně tak jako hodnoty celkové pórovitosti, tak i hodnoty provzdušněnosti půdy nevykazují zásadní rozdíl mezi oběma technologiemi. U všech pozemků se průměrné hodnoty pohybují nad minimální kritickou hodnotou 20 % a rostliny i mikroorganismy tak mají dostatečný přísun půdního vzduchu.

Vliv technologie v pokusu se projevil tedy jen ve výsledcích penetračního odporu půdy, kdy se nižší hodnoty v orniční vrstvě projeví v systému zpracování půdy konvenční technologií s orbou. V ostatních sledovaných hlediscích retenční kapacity, pórovitosti a provzdušněnosti půdy jsou mezi oběma technologiemi jen nepatrné rozdíly, které nemají vypovídající hodnotu o vlivu dané technologie.

Získané výsledky poukazují na nepříliš dobrou půdní strukturu s ohledem na pórovitost. Základem pro zlepšení půdní struktury by tak neměla být jen technologie zpracování půdy, ale i práce s organickou hmotou v půdě a snaha o zvýšení obsahu humusu v půdě.

Pro udržení kvalitního a zdravého půdního prostředí k zabezpečení potřebné rostlinné produkce je tedy důležité zvolit nejen vhodnou technologii zpracování půdy vzhledem k daným klimatickým a půdním podmínkám, ale i kompletní soubor agrotechnických opatření, jako je například hnojení, ochrana rostlin, osevní postupy a nakládání s organickou hmotou.

Seznam použité literatury

- Akker, J. a Soane, B. (2005). COMPACTION. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. [Online] Elsevier. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123485304002484. 9780123485304
- Báťková, K., Matula, S., Miháliková, M. (2013). *Odběr neporušeného půdního vzorku. Multimediální učebnice hydroopedologických terénních měření*. [Online] Česká zemědělská univerzita v Praze. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: <http://hydroopedologie.agrobiologie.cz/neporuseny.html>. 978-80-213-2434-3
- Bauer, F., Hůla, J., Abrham, Z. (1997). *Zpracování půdy*. Brázda, Praha. ISBN 80-209-0265-1
- Hammerová, A. (2022). *Odběr půdních vzorků*. [Online] Mendelova univerzita v Brně. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-poster_odber_pudnich_vzorku.pdf
- Jandák, J., Prax, A., Pokorný, E. (2004). *Půdoznalství*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. ISBN 80-7157-559-3
- Janeček, M. (2007). *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. VÚMOP, Praha. ISBN 2007. 978-80-254-0973-2
- Kartini, N., Saifulloh, M., Trigunasih, M. (2023). *Assessment of Soil Degradation Based on Soil Properties and Spatial Analysis in Dryland Farming*. [Online] Scopus [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85150993093&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ba85fa757ee77025943513313afa11ff&sot=b&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2C%22AGRI%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28Chemical+and+physical-chemical+properties+of+soil.22998993>
- Komárková, M. (2015). *ÚČINKY OBHOSPODAŘOVÁNÍ PŮDY NA FYZIKÁLNÍ KVALITU PODPOVRCHOVÉ VRSTVY PŮDY*. [Online] Theses. [cit. 16. 4. 2023]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/960lz0/32258.pdf?zpet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3Dprovzdu%2C%20A1enost%20p%2C%20AFdy%26start%3D1>
- Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Valla, M., Borůvka, L. (2008). *Pedologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. ISBN 2008. 978-80-213-0907-4
-

-
- Krasilnikov, P. (2016). *Assessing soil degradation in northern Eurasia*. [Online] Geoderma Regional. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009415300134. 2352-0094.
- Lukas, V. (2011). *Mapování variability půdy a porostů*. [Online] Mendelu. [cit. 7. 3. 2023]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/metodiky_pro_praxi/3_sber_dat.pdf. 978-80-7375-562-1
- Mach, V. (2021). *Porovnání utužení půdy na zemědělském pozemku v závislosti*. Portál [Online] IS/STAG. [cit. 15. 4. 2023]. Dostupné z: https://wstag.jcu.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=AAA AAQAGMjMxOTY4EwEAAAABA AhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjIzMzcyMD M2ODU0Nzc0MDU3AAAAAA**#prohlizeniSearchResult
- Moonilall, N. (2019). *What are soil aggregates?* [Online] Soils Matter, Get the Scoop! Blog at WordPress. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: <https://soilsmatter.wordpress.com/2019/07/15/what-are-soil-aggregates/>
- MZP (2023). *Definice, význam a funkce půdy*. [Online] Ministerstvo životního prostředí. [cit. 21. 2. 2023]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)
- Navrátil, T. (2018). *Komplexní průzkum zemědělských půd, bonitace*. [Online] SlidePlaiier. [cit. 25. 2. 2023]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2842060/>
- Němeček, J. (2001). *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha, Praha. ISBN 2001. 80-238-8061-6
- Niederhafner, K. (2020). *Stanovení zhutnění půdy*. [Online] Theses. [cit. 15. 4. 2023]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/iwc8hz/15264225>
- Ning, T., Liu, Z., Hu, H., Li, G., Kuzjakov, J. (2022). *Physical, chemical and biological subsoiling for sustainable agriculture*. [Online] Science Direct. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198722001763?via%3Dihub>. 0167-1987
- Novotný, I. (2013). *Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-87361-21-4
-

-
- Pavlu, L. (2018). *Základy pedologie a ochrany půdy*. [Skripta] Česká univerzita v Praze, Praha. ISBN 2018. 978-80-213-2876-1
- Peth, S. (2010). *Applications of Microtomography in Soils and Sediments*. [Online] Elsevier. Developments in Soil Science. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166248110340037. 9780444532619
- Anonim 1 (2023). *Půdoznalství- laboratorní cvičení*. [Online] MENDELU. [cit. 16. 4. 2023]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5496&typ=html
- Rejšek, K., Vácha, R. (2018). *Nauka o půdě*. Agriprint, s.r.o., Olomouc. ISBN 987-80-87091-82-1
- Richter, R. (1997). *Půdní úrodnost*. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR, Praha. ISBN 80-7105-145-4
- Sánka, M. (1998). *Vzorkování půd pro jednorázová šetření a dlouhodobá pozorování*. Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice. ISBN 80-902020-3-9
- Shah, A., Tanveer, M., Shahzad, B. (2017). *Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview*. [Online] Springer Nature. Environ Sci Pollut Res. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
- Schneiderová, Š. (2017). *VYBRANÉ HYDROFYZIKÁLNÍ PARAMETRY*. [Online] VUT. [cit. 15. 4. 2023]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=155703
- Singh, H., Northup, B., Rice, Ch., Prasad, V. (2022). *Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis*. [Online] Scopus. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85125282443&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ba85fa757ee77025943513313afa11ff&sot=b&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2C%22AGRI%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28Chemical+and+physical-chemical+properties+of+soil.25247867>
- Šantrůčková, H., Kaštovská, E., Bárta, J., Miko, L., Tajovksý, K. (2018). *Ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. ISBN 978-8-7391-695-1
- Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. (2002). *Kvalita a degradace půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. ISBN 80-244-0584-9
-

-
- Šimečková, J. (2023). *Odběr půdních vzorků*. [Online] Půdoznalství- laboratorní cvičení. Mendelova univerzita v Brně. [cit. 6. 3. 2023]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5491&typ=html
- Šimek, M. (2004). *Základy nauky o půdě - 4. Degradace půdy*. Jihočeská univerzita, České Budějovice. ISBN 80-7040-667-4
- Škoda, V. a Cholenský, J. (1993). *Konvenční a perspektivní způsoby zpracování a kultivace půdy*. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha. ISBN 80-7105-048-2
- Voltr, V. (2011). *Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí*. Ústav zemědělské ekonomiky a informací, Praha. ISBN 978-80-866671-86-4
- VÚMOP. 2023. *Komplexní průzkum půd*. [Online] VÚMOP. [cit. 1. 2. 2023]. Dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=account>
- Wu, D., Andales, A., Yang, H., Sun, Q., Chen, S., Guo, X., Li, D., Du, T. (2021). *LINKING CROP WATER PRODUCTIVITY TO SOIL PHYSICAL, CHEMICAL AND MICROBIAL PROPERTIES*. [Online] Frontiers Agricultural Science and Engineering [cit. 3. 4. 2023]. Dostupné z: <https://journal.hep.com.cn/fase/EN/10.15302/J-FASE-2020349>.
-

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Zájmové území s rozložením pozemků	25
Obrázek 2.2: Penetrologger při terénním měření	26
Obrázek 2.3: Příklad grafického zobrazení naměřených hodnot	27
Obrázek 3.1: Zhutnění půdy na pozemku číslo 1 v hloubce 10 cm	31
Obrázek 3.2: Zhutnění půdy na pozemku číslo 1 v hloubce 20 cm	31
Obrázek 3.3: Zhutnění půdy na pozemku číslo 1 v hloubce 30 cm	31
Obrázek 3.4: Zhutnění půdy na pozemku číslo 2 v hloubce 10 cm	32
Obrázek 3.5: Zhutnění půdy na pozemku číslo 2 v hloubce 20 cm	32
Obrázek 3.6: Zhutnění půdy na pozemku číslo 2 v hloubce 30 cm	32
Obrázek 3.7: Graf srovnání zhutnění půdy na pozemcích číslo 1 a 2.....	33
Obrázek 3.8: Zhutnění půdy na pozemku číslo 3 v hloubce 10 cm	34
Obrázek 3.9: Zhutnění půdy na pozemku číslo 3 v hloubce 20 cm	34
Obrázek 3.10: Zhutnění půdy na pozemku číslo 3 v hloubce 30 cm	35
Obrázek 3.11: Zhutnění půdy na pozemku číslo 4 v hloubce 10 cm	36
Obrázek 3.12: Zhutnění půdy na pozemku číslo 4 v hloubce 20 cm	36
Obrázek 3.13: Zhutnění půdy na pozemku číslo 4 v hloubce 30 cm	37
Obrázek 3.14: Graf srovnání zhutnění půdy mezi pozemkem číslo 3 a 4.....	38
Obrázek 3.15: Graf srovnání zhutnění půdy mezi orbou a minimalizací	39
Obrázek 3.16: Graf průměrných hodnot z laboratorního zkoumání půdy v hloubce 10 cm.....	43
Obrázek 3.17: Graf průměrných hodnot z laboratorního zkoumání půdy v hloubce 20 cm.....	44
Obrázek 3.18: Graf průměrných hodnot z laboratorního zkoumání půdy v hloubce 30 cm.....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Klasifikační stupnice zemin podle Nováka (Jandák et al., 2004)..... 19