

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Vliv zemědělské dopravy na fyzikální vlastnosti půdy
Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Novák, Ph.D.
Autor práce: Bc. Kryštof Šubrt

Praha 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kryštof Šubrt

Zemědělská technika

Název práce

Vliv zemědělské dopravy na fyzikální vlastnosti půdy

Název anglicky

Influence of agricultural transport on physical properties of soil

Cíle práce

Cílem práce je zhodnotit dopady provozu souprav zemědělské dopravy na změnu fyzikálních vlastností půdy.

Metodika

Literární rešerže tuzemské i cizojazyčné literatury s tematikou nežádoucího zhutňování půd provozem strojů v zemědělství včetně analýzy možných nápravných opatření. Praktická část práce bude obsahovat data z vlastního polního experimentu s několika variantami přejezdu po pozemku. Data budou náležitě vyhodnocena s využitím statistických metod.

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

zhutnění půdy, objemová hmotnost, pórovitost

Doporučené zdroje informací

Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management—a review. *Soil use and management*, 25(4), 335-345.

další podklady: odborné a vědecké databáze, firemní literatura

Elaoud, A., & Chehaibi, S. (2011). Soil compaction due to tractor traffic. *Journal of failure analysis and prevention*, 11(5), 539-545.

Horn, R., & Lebert, M. (1994). Soil compactability and compressibility. In *Developments in agricultural engineering* (Vol. 11, pp. 45-69). Elsevier.

Koolen, A. J., & Kuipers, H. (2012). *Agricultural soil mechanics* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.

Soane, B. D., & van Ouwerkerk, C. (Eds.). (2013). *Soil compaction in crop production*. Elsevier.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Novák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2022

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 01. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv zemědělské dopravy na fyzikální vlastnosti půdy vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

.....

Bc. Kryštof Šubrt

Poděkování

Rád bych poděkoval zejména panu doc. Ing. Petru Novákovi, Ph.D. za veškerý čas, který mi věnoval při konzultacích, za poskytnuté rady a zkušenosti v průběhu zpracování mé diplomové práce. Dále zástupcům zemědělských podniků ZEVA CHLÍSTOVICE a.s. a Zemědělské obchodní společnosti Onomyšl a.s. za možnost realizace polního měření. V neposlední řadě také obsluze odvozových prostředků za trpělivost a spolupráci.

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá problematikou zemědělské dopravy a jejím vlivem na půdu. První část je zaměřena na zemědělskou dopravu, dopravní prostředky a přípojná vozidla využívaná v zemědělství, včetně jejich rozdělení. V další části je představen význam půdy a její ohrožení. Zvláštní pozornost je věnována zhutnění, na které má zemědělská doprava velký dopad. Rozebrány jsou negativní vlivy a příčiny vzniku. Následuje rozbor několika možných variant, jak zhutnění předejít nebo alespoň omezit následky. V případech, kdy ke zhutnění dojde, přichází na řadu nápravná opatření popsána dále. Praktická část se zabývá vlivem jednotlivých druhů odvozové techniky na půdu. Součástí bylo polní měření, při kterém proběhl odběr a následná analýza půdních vzorků. Výsledky fyzikálních vlastností půdy a hloubky stop jednotlivých variant jsou uvedeny v poslední části diplomové práce.

Klíčová slova: doprava v zemědělství, zhutnění půdy, fyzikální vlastnosti půdy

Influence of agricultural transport on physical properties of soil

Summary: This diploma thesis deals with the issue of agricultural transport and its effect on the soil. The first part is focused on agricultural transport, means of transport and trailers used in agriculture, including their distribution. In the next part, the importance of soil and its threats are presented. Special attention is paid to compaction, on which agricultural transport has a large impact. The negative influences and causes of their occurrence are analyzed. The following is an analysis of several possible options for preventing compaction or at least limiting the consequences. In cases where compaction occurs, the corrective measures described below come into play. The practical part deals with the influence of individual types of haulage technology on the soil. Part of it was a field measurement, during which soil samples were taken and subsequently analyzed. The results of the physical properties of the soil and the depth of traces of individual variants are presented in the last part of the thesis.

Key words: transportation in agriculture, soil compaction, physical soil characteristics

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Doprava v zemědělství	3
3.1	Dopravní prostředky	4
3.1.1	Traktory	4
3.1.2	Automobily	5
3.2	Přípojná vozidla.....	7
3.3	Nástavby	9
3.3.1	Systém výměnných nástaveb	9
4	Půda	11
4.1	Degradace půdy	11
4.1.1	Vodní eroze.....	12
4.1.2	Větrná eroze	13
4.1.3	Acidifikace.....	13
4.1.4	Dehumifikace.....	13
5	Zhutnění.....	14
5.1	Vznik.....	16
5.2	Prevence a omezení	18
5.3	Odstranění zhutnění	23
5.4	Stabilizační opatření.....	25
6	Měření	27
6.1	Materiál a metodika.....	27
6.2	Pozemek.....	27
6.3	Zúčastněné odvozové prostředky.....	27
6.3.1	Porovnání hmotností.....	31

6.4	Charakteristika měření.....	31
6.4.1	Měření hloubky jízdny stopy	33
6.4.2	Odběr neporušených půdních vzorků	33
7	Výsledky.....	35
7.1	Hloubka jízdny stopy.....	35
7.2	Neporušené půdní vzorky.....	36
8	Diskuze.....	46
9	Závěr	48
10	Seznam zdrojů	50
11	Seznam obrázků.....	54
12	Seznam tabulek	55

1 Úvod

Zemědělství představuje primární zdroj obživy pro stále se zvětšující populaci, která v globálním měřítku překročila hranici osmi miliard. Velkou část zemědělských operací provází také doprava. Volba vhodných přepravních prostředků zásadně ovlivňuje efektivitu a ekonomiku celého procesu. Vzhledem ke stále klesajícímu počtu pracovníků v zemědělství, nároky na zemědělskou techniku, včetně té dopravní, narůstají. Zvyšují se její parametry, jako výkon, maximální rychlost nebo přepravní kapacita, s tím samozřejmě souvisí větší celková hmotnost. Těžší stroje mají negativní vliv na půdu a následný vývoj plodin, především pokud se pohybují po pozemcích za ztížených podmínek.

Půda je naprosto nenahraditelný přírodní zdroj, který hraje v rámci zemědělské výroby zásadní roli. Půdní vrstva sice časem přibývá, jde přitom o tak pozvolný proces, že se řadí mezi neobnovitelné přírodní zdroje. Přesto však je vystavována celé řadě ohrožujících vlivů zapříčiňujících její degradaci. Některé jsou spjaty přímo se zemědělstvím, jako nesprávné obhospodařování nebo pěstování nevhodných plodin, jiné zase s rozvojem průmyslů a urbanizací, v tomto případě jde zejména o nevratný zábor půdy. Vodní a větrná eroze zapříčiňuje odnos povrchových částic, jedná se o přírodní jev, který může být nevhodným obhospodařováním značně urychlen. Mezi další přírodní procesy ohrožující půdu patří dehumifikace a acidifikace.

Významnou hrozbu pro půdu představuje také nežádoucí zhutnění. Tento jev má negativní vliv na půdní prostředí, růst a výnos plodin, infiltraci vody nebo na podmínky při zpracování půdy. V České republice je ohroženo okolo 49 procent půd, nejedná se však o problém pouze lokální, ale celosvětový. Ke zhutnění dochází zvláště vlivem pohybu těžké zemědělské techniky po pozemcích. Na rozdíl od výše jmenovaných druhů ohrožení, lze toto zásadním způsobem ovlivnit. Zhutnění vzniká působením tlaku vyvolaného pojezdovým ústrojím na půdu. Zvýšením jeho styčné plochy je možné tento tlak snížit. Dalším důležitým faktorem je půda samotná, zejména její nakypření a vlhkost. Při nepříznivých podmínkách tedy musíme zvážit kdy, případně zdali vůbec, budeme se stroji na pozemek vstupovat. Ideální je samozřejmě zhutnění zcela předejít, to však v některých případech není možné. Následovat proto musí nápravná opatření, která zpravidla zpracovávají půdu do větších hloubek.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je zhodnocení vlivu pohybu souprav zemědělské dopravy na zhutnění půdy, včetně možných preventivních a nápravných opatření. Dále pak zpracování a vyhodnocení dat z vlastního polního měření. Rešerše vznikala analyzováním literatury, odborných publikací a článků. V praktické části došlo k vyhodnocení výsledků experimentu pomocí statistického softwaru.

3 Doprava v zemědělství

Doprava tvoří nedílnou součást zemědělské činnosti. Zajišťuje pohyb materiálu uvnitř výrobních procesů v rostlinné a živočišné výrobě. Tyto procesy se v zemědělství odlišují od těch v jiných odvětvích zejména biologickou podstatou, přetržitostí pracovních cyklů, nepřetržitostí technologického procesu a závislostí na přírodních podmínkách [1].

Zemědělskou dopravu tvoří dopravní prostředky a dopravní trasy. Prostředky se nepohybují pouze po veřejných komunikacích, ale také po místních komunikacích, polních cestách a ve vazbě na technologické postupy, také po polích a loukách. Vstupem techniky na zemědělskou plochu začíná složitý proces ovlivňování půdy, který může v některých případech přejít v proces škodlivý. Závažné je riziko zhutnění, to při překročení přijatelné meze snižuje úrodnost, biologický potenciál půdy apod. [2].

Průměrná vzdálenost ve vnitropodnikové dopravě se pohybuje v rozmezí 3,5 až 6,2 kilometrů. Charakteristické jsou pro zemědělskou dopravu jednosměrné materiálové toky, není tak možné využít potenciál stroje, který musí absolvovat cestu zpět prázdný. Tento fakt je zapříčiněn sezónností, rozdílnými vlastnostmi a potřebami přepravovaných materiálů.

Dosahované rychlosti zemědělských dopravních prostředků jsou nižší, než je tomu u jiných odvětví zabývajících se přepravou materiálů. To je dáno především tím, že hlavním druhem dopravního prostředku jsou traktorové soupravy. Další neblahý vliv mají krátké přepravní vzdálenosti a velký podíl jízd v terénu nebo po polích. Konstrukční rychlost traktorů sice narůstá, rychlost přepravy však tomu není přímo úměrná. Tu mnohem více ovlivňují jízdni a provozní podmínky, než výkon a maximální rychlost. Přesto je vhodné pro traktorové dopravní soupravy využívat traktory s co nejvyšší konstrukční rychlostí, která se dnes běžně pohybuje okolo 40 kilometrů za hodinu.

Významnou vlastnost představuje také velký podíl jízd v terénu. Udává se, že odvozové prostředky v zemědělství, během svého nasazení, ujedou 40 % vzdálenosti po pozemních komunikacích, 20 % po polních cestách a 40 % v terénu.

Zemědělství disponuje značnou přepravní kapacitou a je považováno za významného dopravce v rámci národního hospodářství. Po nákladní automobilové dopravě je zemědělství druhým největším dopravcem a překonává tak například i železniční dopravu [1].

Největší část přepravy materiálu je uskutečněna v rámci dopravy vnitřní, neboli vnitropodnikové. Pod tuto dopravu spadají toky materiálů v rámci podniku a doprava meziproductů uvnitř výrobních jednotek. První část tvoří doprava meziobjektová, která spojuje jednotlivá místa, kde probíhají výrobní procesy. Za objekt nemusí být považována pouze stavba, ale také pole nebo jiná místa spojená s výrobou. Vnitroobjektová manipulace je druhou částí vnitřní dopravy. Zajišťuje manipulaci v rámci objektu včetně skladování, nebo vážení. Meziobjektová i vnitroobjektová doprava jsou spolu úzce spjaté, to je nutné respektovat při plánovacích a projekčních pracích.

V případě dopravy vnější (mimopodnikové) směřují materiálové toky ze zemědělského podniku k odběratelům, případně od dodavatelů. Více materiálů ze zemědělství odchází (produkty rostlinné a živočišné výroby apod.) než přichází (průmyslová hnojiva, přípravky na ochranu rostlin atd.). Vnější doprava svým charakterem nejvíce připomíná dopravu v jiných odvětvích národního hospodářství. V této oblasti dává spolupráce zemědělské a jiné dopravy největší smysl. Nejvyužívanějším dopravním prostředkem jsou na rozdíl od vnitropodnikové dopravy nákladní automobily nebo železnice [1].

3.1 Dopravní prostředky

Za dopravní prostředek lze označit mobilní technický prostředek uskutečňující přepravu materiálu nebo osob. Z hlediska využití energetického prostředku se v zemědělství dělí na traktorové dopravní soupravy a nákladní automobily eventuálně automobilové dopravní soupravy. Oběma druhům jsou věnovány následující kapitoly [1].

3.1.1 Traktory

Většina podniků zemědělské prvovýroby a farem volí nákup traktorových souprav. To je dáno především tím, že je možné využít traktorů primárně určených pro polní práce. Moderní traktory jsou neustále inovovány. Z hlediska dopravy jsou nejdůležitější následující konstrukční prvky: odpružená náprava (nápravy), plynulá převodovka případně stupňová s automatickými režimy, řídicí systémy monitorující motor, převodovku a akcelerační pedál, protiblokovací brzdový systém ABS a v neposlední řadě pro dopravu velmi důležité zvyšování maximálních rychlostí nad hodnoty 40 km/h a více [3].

Důležitým parametrem je také výkon traktoru. Pro dvounápravové přívěsy a návěsy jsou běžné výkony od 170 do 240 koní, stroje s takovým výkonem bývají označovány jako univerzální a jsou v dopravě využívány nejvíce. V agregaci s třínápravovými přípojnými vozidly jsou vhodné traktory s výkonem od 240 koní. Již několik let existuje na trhu výkonová kategorie strojů od 240 do 330 koní, určených též pro univerzální použití. Takové traktory zvládnou těžké polní práce, jako například orbu s osmiradličnými polonesenými otočnými pluhy, setí s velkými secími kombinacemi nebo přípravu půdy kombinátory apod. Jinak konstruovaný podvozek nabízí větší užitečnou hmotnost a možnost dotížení pro náročné práce na poli. Nevýhodou v porovnání s první jmenovanou kategorií je větší pohotovostní hmotnost, přibližně o dvě tuny. Silnější traktory s výkonem přesahujícím 300 koní se v dopravě využívají spíše výjimečně, především kvůli spotřebě, která může být o 20 až 40 procent vyšší než u slabších strojů. Takto výkonné stroje jsou určeny primárně pro nejtěžší polní práce [4].

3.1.2 Automobily

S narůstající přepravní vzdáleností efektivita traktorové dopravy klesá. Na delších trasách se projevují větší spotřebou, nepříznivým dopadem na plynulost provozu na pozemních komunikacích, nižší přepravní rychlostí a větším opotřebením pneumatik [5].

Ke slovu se tak mohou dostat nákladní automobily (Obrázek 1). Jejich využití má v zemědělství mnohaletou tradici. Setkat se s nimi můžeme ve vnitropodnikové i mimopodnikové dopravě. Využití lze klasické nákladní automobily nebo speciály upravené do terénu. Může se jednat o samostatná vozidla, jízdní soupravy nebo tahače kamionových návěsů [1], [6].



Obrázek 1: Nákladní automobil určený pro zemědělství (Zdroj: vlastní foto)

Užitkové automobily

Tento druh je určen k přepravě lehkých nákladů, eventuálně menšího počtu osob. Nabídka těchto vozidel je velice pestrá. Může se jednat o upravené varianty klasických osobních automobilů s nosností zpravidla od 500 do 1000 kilogramů. Vozy konstruované speciálně jako užitkové mohou mít užitnou hmotnost 1500 až 2500 kilogramů. Velké využití má tento druh automobilů při zásobování jednotlivých podniků například náhradními díly, menším spotřebním materiálem nebo přípravky pro ochranu rostlin [1].

Silniční nákladní automobily

Klasické silniční nákladní automobily, které se na silnicích pohybují denně a zajišťují dopravu v řadě odvětví, jsou v zemědělství spojeny se zásobování a odbytem produktů z farem a podniků. Protože se jedná o vozidla konstruovaná primárně pro pohyb po pozemních komunikacích, jejich podvozky nejsou uzpůsobeny pro jízdu po poli. Pneumatiky mají velký kontaktní tlak na půdu a špatnou průjezdnost terénem. Možné využití těchto automobilů může být v podnicích prvovýroby v dělené dopravě, kdy obstarávají její silniční část. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně a nemalým nákladům na provoz je lépe řešit tuto dopravu formou služeb.

Menší silniční nákladní automobily jsou určeny pro rozvážku zboží, místní a oblastní dopravu. Disponují zpravidla výkonem do 270 koní a užitnou hmotností do 10 000 kilogramů. Na delší přepravní vzdálenosti jsou vhodná silnější vozidla, nejčastěji ve sklápěcím provedení, o jmenovitém výkonu až 480 koní [1].

Zemědělské nákladní automobily

Pro účely vnitropodnikové dopravy, kdy se odvozové prostředky pohybují také mimo zpevněné cesty je vhodné využít speciální stroje k tomu určené. Typický pro takové automobily je dvounápravový nebo třínápravový podvozek, stále častěji se začínají objevovat také čtyřnápravové verze. Oproti silničním vozidlům jsou vybaveny místo dvoumontáže jednou speciální pneumatikou určenou pro polní provoz. To platí jednak pro samotný tažný prostředek, tak i pro přípojná vozidla. Kromě kol a pneumatik, které mohou být vybaveny systémem regulace tlaku, se u nákladních automobilů liší také nápravy. Zmíněné úpravy zvyšují nosnost a umožňují využít větší nástavby s velkým ložným objemem [3].

Vyšší roční využití nákladního automobilu je možné, pokud se jedná o nosič výměnných nástaveb. K rozvoji tohoto řešení došlo především v průběhu 70. a 80. let minulého století, má tak v našem zemědělství velkou tradici. Nejčastěji se jedná o ryze přepravní nástavby (vanové, vícestranně sklápěné nebo velkoobjemové). Další často využívanou je cisternová nástavba, která slouží k zásobování strojů pro ochranu rostlin, dopravě a případně aplikaci tekutých statkových hnojiv. K vidění mohou být také rozmetací nástavby pevných statkových či minerálních hnojiv nebo vápenatých hmot.

S ohledem na rostoucí nároky na přepravu se začínají objevovat tahače návěsů pro zemědělské účely. Může se jednat o úpravu sériových modelů nebo speciálně vyvinuté modelové řady. Nutností pro jízdu v terénu je pohon všech kol. Zpravidla se jedná o dvounápravové nebo třínápravové verze. Některé třínápravové tahače disponují nejen první, ale také třetí říditelnou nápravou. Stejně jako u univerzálních nástaveb jsou tyto tahače vybaveny pohonem pracovních nástrojů návěsů. Ty mohou vycházet z koncepce klasických kamionových návěsů nebo se může jednat o speciální modely vycházející z koncepce těch traktorových [6].

Již několik let je na trhu k dispozici celá řada nákladních automobilů určených pro zemědělství, které jsou homologovány jako traktor. Existují také specializované firmy zabývající se přestavbou. Nejviditelnější úpravou bývá přidání ochranného rámu do prostoru za kabinou. Výhody takové homologace oproti klasickým nákladním automobilům jsou následující:

- technická kontrola pouze jednou za dva roky,
- nižší pojištění,
- osvobození od silniční daně,
- odpadá nutnost tachografu,
- k řízení stačí řidičský průkaz skupiny T [7].

3.2 Přípojná vozidla

Na zemědělská přípojná vozidla jsou kladeny zcela jiné nároky, než v běžné silniční dopravě, proto musí být speciálně uzpůsobena. Materiály přepravované v zemědělství mají různé fyzikálně-mechanické, chemické a biologické vlastnosti. Vzhledem k tomu, že se dopravní prostředky pohybují na poli a v terénu, je důležitou charakteristikou jejich stabilita

(odolnost proti převržení). Ta závisí na parametrech jako například výška těžiště, rozchod kol, druh řízení apod. Stabilita se zlepšuje s klesající polohou těžiště a se zvyšujícím se rozchodem kol. Z hlediska konstrukce podvozku rozlišujeme přípojná vozidla na přívěsy (Obrázek 2 vpravo) a návěsy (Obrázek 2 vlevo) [1].



Obrázek 2: Návěs a přívěs (Zdroj: vlastní foto)

Přívěsy mají oj připojenou k točnici s přední nápravou. Nejčastější provedení je dvounápravové, z důvodu zvýšení nosnosti, někteří výrobci nabízí třínápravové varianty. Mezi výhody patří možnost odstavení plně naloženého přívěsu, lepší manipulace nebo možnost zapojení více přívěsů za sebou. Spojení je realizováno pomocí etážového závěsu. Oj přívěsu nepřenáší na tažný prostředek téměř žádnou hmotnost, proto musí být při jízdě terénem více zatížen, například připojením závaží do předního tříbodového závěsu. Tento druh přípojného vozidla přenáší na tažný prostředek menší dynamické síly, díky tomu se při vyšších rychlostech pohybuje klidněji.

Návěsy se od přívěsů odlišují zejména tím, že část své hmotnosti přenášejí na tažný prostředek. Jedná se o modernější konstrukci přípojného vozidla, které má zpravidla větší užitnou hmotnost. Lépe zatížená zadní náprava zlepšuje trakční vlastnosti ve ztížených podmínkách. Ke spojení slouží pevný závěsný čep Piton Fix, kulový čep K-80 nebo agrozávěs. Výhody návěsů jsou lepší jízdní vlastnosti, lepší ovladatelnost zejména při couvání a lepší poměr užitné a provozní hmotnosti. Z těchto důvodů jsou mnohem častěji využívány jako univerzální nosiče nástaveb. Mezi nevýhody se řadí špatná nebo nemožná manipulace při odstavení, nemožnost odstavení plně naloženého návěsu nebo horší svahová dostupnost.

Běžné provedení návěsů má dvě nebo tři nápravy. Kvůli zvýšení nosnosti se začínají objevovat i čtyřnápravové varianty, stále se jedná spíše o výjimku. U dvounápravových verzí představuje zadní řiditelná náprava výhodu, u více náprav jde o nutnost [1].

3.3 Nástavby

Samotný podvozek je nutné opatřit vhodnou nástavbou. Ta může být trvale spojena a tvořit tak jednoúčelový celek. Druhou variantou jsou univerzální nosiče, ke kterým mohou být připojeny různé nástavby. Jednotlivé nástavby určené převážně pro dopravu v zemědělství jsou následující:

- sklápěcí,
- velkoobjemové,
 - s výtlačným čelem,
 - s řetězovým dopravníkem,
 - s nekonečným pásem,
- překládací,
- sběrací,
- cisterny,
 - přívozní,
 - aplikační,
- rozmetací,
 - tuhých statkových hnojiv,
 - tuhých minerálních hnojiv [1].

3.3.1 Systém výměnných nástaveb

Modely, které neumožňují změnu výšky podvozku (zpravidla odpružené listovými pružinami) jsou vybaveny přímočarými hydromotory v každém rohu. Při výměně nástavby dojde k odpojení všech součástí a spojovacích prvků, zvednutí pomocí hydromotorů a následně montáži odstavných podpěr. Posléze je možné podvozek přemístit pod jinou nástavbu, kde montáž probíhá v opačném pořadí.

U návěsů s pneumatickým nebo hydraulickým odpružením, je možné regulovat výšku podvozku. Toho lze využít při výměně nástaveb, není tak nutné žádné další přídavné zařízení.

Nejprve je nutné zvednout podvozek do maximální výšky, následně odpojit všechny komponenty nástavby, připevnit podpěry a nakonec snížit podvozek do nejnižší polohy, to umožní odjet s podvozkem. Tato varianta je složitější a dražší než první zmiňovaná. Přináší však výhody, jako například snížení vozidla v nízkých podjezdech nebo zvednutí nápravy při jízdě bez nákladu.

Třetí variantou mohou být hákové nosiče hojně rozšířené u nákladních automobilů. Využití mohou nalézt také v zemědělství. Traktorové a automobilové nosiče mají obdobnou konstrukci a jednotlivé kontejnery nebo nástavby jsou kompatibilní. Nejčastější je kombinace takového podvozku s vanovým kontejnerem, jiné nástavby nejsou příliš běžné jako u prvních dvou variant. S využitím tohoto systému lze jedním dopravním prostředkem obsluhovat několik kontejnerů umístěných na různých místech, kde může nakládka probíhat několik dnů případně týdnů [8].

4 Půda

Jedná se primární zdroj pro výrobu potravin, krmiv, paliv apod. Hraje také zásadní roli v rámci životního prostředí, kde tvoří základ pro rostliny a následnou fotosyntézu. Zadržuje srážkovou vodu sloužící k následnému zavlažování rostlin. V půdě také dochází k rozkladu nejrůznějších materiálů a následnému koloběhu živin. Jde tedy o zcela nezbytný zdroj pro stále se rozrůstající lidskou populaci. Potřeba potravin se od za čtyři desetiletí (od roku 1961 do 2003) zvýšila o 170% [9].

Půda představuje biologicky aktivní vrstvu na zemském povrchu. Jedná se o svrchní část zemské kůry. Tvoří jednu ze základních složek životního prostředí společně s atmosférou, hydrosférou a biosférou. Tato část země plní řadu důležitých funkcí (užitkové, environmentální a kulturní), tyto funkce jsou shrnuty v následujících bodech:

- Produkční – půda je nepostradatelná pro růst rostlin nezbytných k výrobě potravin, technických plodin a dřeva,
- součást ekosystémů – prostor pro život živočichů, rostlin a mikroorganismů,
- ochrana vody – půda je významným činitelem, který zadržuje, čistí a filtruje vodu v krajině a následně ji poskytuje živočichům a rostlinám,
- ochrana atmosféry – půda v sobě ukládá uhlík, tento jev přispívá ke snížení uvolňování CO₂ do atmosféry a omezuje tak vznik skleníkového efektu,
- recyklace živin – humus vzniklý složitými procesy z rostlinných zbytků vytváří živiny nezbytné pro další růst rostlin,
- prostor pro člověka – člověk využívá půdu přímo jako plochu pro stavby nebo jako zdroj stavebního a průmyslového materiálu, ale také pro rekreaci [10], [11].

4.1 Degradace půdy

Vzhledem k tomu že 1 cm půdy vzniká minimálně 100 let, je půda považována za neobnovitelný přírodní zdroj. Z tohoto důvodu je nutné věnovat náležitou pozornost příčinám její degradace. Ve většině případů se jedná o proces pomalý, jeho důsledky však mohou vést ke zhoršení nebo úplnému omezení funkcí půd [11].

Na degradaci se podílí řada procesů, některé jsou přímo spjaty se zemědělstvím (nesprávné obhospodařování, pěstování nevhodných plodin, chemizace atd.) a lesnictvím (odlesňování, pěstování monokultur). S rozvojem průmyslu, urbanizací a těžbou nerostných surovin souvisí především nevratný zábor půdy [10].

4.1.1 Vodní eroze

Tento druh eroze má na svědomí největší úbytek půdy v Evropě ve srovnání s ostatními procesy ohrožujícími půdu. Během posledních desetiletí je mu věnována stále větší pozornost především kvůli negativnímu dopadu na produkci potravin, kvalitu pitné vody, ekosystém záplavy apod. [12].

Povrch půdy je narušován vlivem vody, která následně odplavuje drobné částice (Obrázek 3). V přírodě se může jednat o přirozený pozvolně probíhající jev, který je kompenzován zvětráváním a tvorbou nové půdy. Nevhodným působením člověka může být tento děj výrazně urychlen. Půdní částice jsou pak smývány takovým způsobem, že nemohou být přírodními procesy nahrazeny. Vodní erozi tedy nelze zcela zabránit, lze ji však omezit. Nejrizikovější jsou svahy, zejména ty se skalním podložím, vysokým obsahem štěrku a dlouhou spádnicí [11], [13].



Obrázek 3: Vodní eroze na svažitém pozemku (Zdroj: vlastní foto)

Mezi hlavní příčiny v České republice patří velikost půdních bloků, které jsou největší v Evropě a nízký počet krajinných prvků (meze, úvozy, cesty apod.). K omezení těchto prvků došlo především v druhé polovině minulého století, právě při sjednocování pozemků.

Intenzivní eroze tak může nastat, pokud jí není věnována dostatečná pozornost při plánování osevních postupů a zpracování půdy. Mezi nejvíce erozně nebezpečné plodiny se řadí kukuřice, brambory a jiné širokořádkové plodiny, obzvláště jsou-li řádky směřovány po spádnicí. Nejhorší část roku je od června do srpna, kdy dochází k až 80% erozně nebezpečných dešťů [11], [14].

4.1.2 Větrná eroze

Přírodní jev, který vzniká působením větru mechanickou silou na povrch půdy. Rozrušené půdní agregáty uvolní částice, které jsou poté odneseny. Nejrizikovější jsou rozsáhlé rovinaté pozemky, oblast jižní Moravy a Polabí. Průběh větrné eroze ovlivňuje povaha a stav půd a odpor půdních částic. Odpor je dán zejména strukturou a vlhkostí půdy, drsností povrchu a rostlinným pokryvem. Na větrnou erozi má vliv řada meteorologických faktorů, hlavně rychlost, směr a doba působení větru. Nejvíce rizikové je silné jarní a podzimní větrné proudění [10], [11].

4.1.3 Acidifikace

Acidifikace neboli okyselování je přírodní proces, při kterém půda ztrácí schopnost udržovat pH v určitém rozmezí. Negativní vliv na tento jev má spalování fosilních paliv, doprava, kyselá dešť, monokultury nebo nadměrné používání hnojiv. Zhoršení půdní struktury a snížení kvality humusu lze omezit vápněním, kdy stroj s vyhrnovacím šnekovým dopravníkem aplikuje mletý vápenec na povrch půdy [10].

4.1.4 Dehumifikace

Dehumifikací se rozumí úbytek organické hmoty v půdě. Hlavní příčinou je nedostatečné hnojení organickými hnojivy jako hnůj, kejda či kompost. Jedná se o důsledek stále se snižující živočišné produkce. Dalšími negativními faktory mohou být vodní a větrná eroze nebo malý přísun posklizňových zbytků a zeleného hnojení. Omezit důsledky lze dostatečným hnojením, zavedením protierozních opatření a půdoochranných technologií [10].

5 Zhutnění

Na některých pozemcích může být nežádoucí zhutnění příčinou zhoršení úrodnosti a produkční schopnosti, omezení využití genetického potenciálu plodin nebo snížení efektivity vstupů do produkčního procesu pěstovaných plodin. V souvislosti s touto problematikou je nutné rozlišovat pojmy utužení a zhutnění. Utužením se rozumí cílený agrotechnický zásah, jehož úkolem je zlepšit půdní vlastnosti pro rozvoj kořenového systému a následný vývoj rostliny. Naproti tomu zhutnění je nežádoucí jev, který lze rozlišit na přírodní označované také jako genetické (dáno přirozenými vlastnostmi těžkých půd) a technogenní (důsledek nevhodného obdělávání půdy) [15], [16], [17].

Stávající situace je částečně výsledkem nevhodných intenzifikačních opatření v minulosti. Podobně jako u dříve jmenovaných způsobů jde o nadměrné využívání minerálních hnojiv a nedostatečný přísun organické hmoty. Dalším velice významným faktorem pro zhutnění je nárůst velikosti a hmotnosti zemědělské techniky v důsledku neustále se snižujícího počtu pracovníků v zemědělství. Stále těžší mechanizace působí velkými tlaky na půdu a při prokluzu poháněných kol vyvíjí na podložku smykové namáhání [15], [16], [18].

Přímé agronomické, ale také následné mimoprodukční důvody, kvůli kterým je třeba věnovat pozornost nadměrnému zhutnění, shrnují následující body:

- zhoršení půdního prostředí,
- snížení možnosti využití živin rostlinami,
- zvýšení tahového odporu a energetické náročnosti při zpracování půdy,
- zhoršení kvality zpracování,
- snížení množství a kvality produkce,
- zpomalení a omezení infiltrace vody zvyšující povrchový odtok s následnou vodní erozí,
- snížení schopnosti zadržovat vodu urychluje následné vysychání,
- zhoršení podmínek pro dodržování agrotechnických termínů [15], [16].

Půdní prostředí

Zhutnění negativně ovlivňuje téměř všechny důležité vlastnosti a funkce půdy: fyzikální, chemické i biologické. Při zhutnění dochází ke stlačení půdních částic a zmenšení pórů mezi nimi. Silně zhutnělé půdy obsahují málo velkých pórů, čímž je snížena rychlost infiltrace vody. Omezena je také výměna plyných částic, to zhoršuje provzdušňenost. Významný problém nastává při růstu rostlin, které mají omezené podmínky pro vývoj kořenového systému.

Druhou podstatnou vlastností je objemová hmotnost, neboli hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu, jejíž póry jsou vyplněny vodou a vzduchem. Hodnota se mění v závislosti na měrné hmotnosti, množství pórů a jejich zaplnění vodou. Neméně důležitými faktory jsou roční období a vlhkost půdy [19], [20].

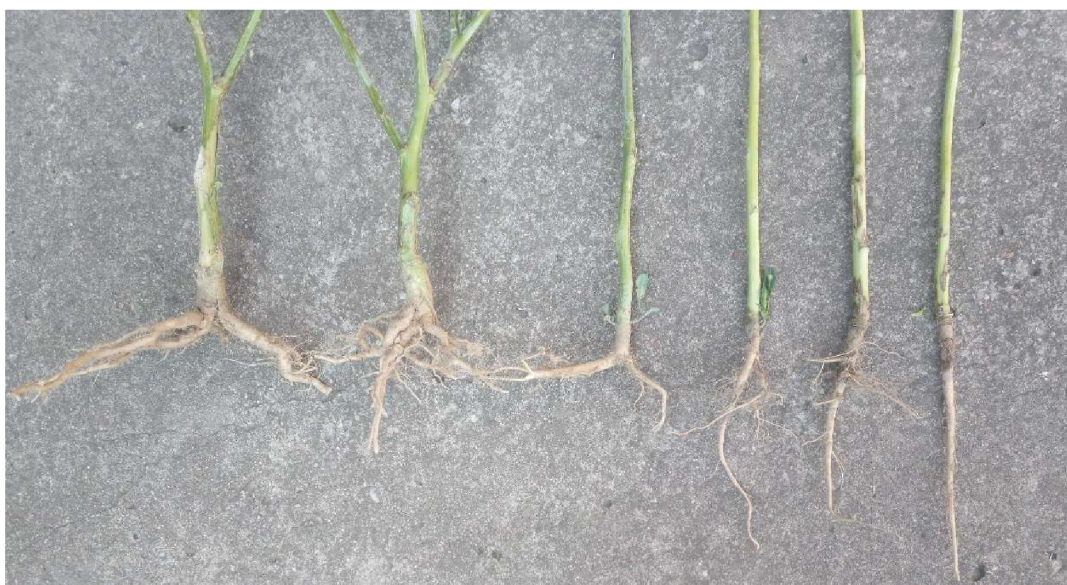
Mezoedafon, představovaný dešťovkami, chvostokoci, členovci apod., může být zhutněním také negativně ovlivněn. Tito živočichové vytváří chodbičky, které zvyšují pórovitost a propustnost vody a vzduchu.

Mikroedafon (jednobuněčné organismy – bakterie a prvoci) zajišťuje procesy přeměn minerálních a organických látek, mezi které patří humifikace, rozklad síranů a dusičnanů nebo oxidace celé řady látek. Podmínkou pro jejich správnou funkci je dostatečná zásoba organických látek, ale především provzdušnění a vlhkost. V případě nadměrného zhutnění je tak činnost utlumena, to má za následek snížení kvality humusu, acidifikaci a větší riziko kontaminace půdy agrochemikáliemi [15].

Podmínky pro růst rostlin

Zhutnění má negativní vliv na rychlost růstu kořenů plodin. Ovlivněna je také hloubka zakořenění a kořenové vlášení. Nejvíce jsou ohroženy plodiny, které tvoří výnos svou podzemní částí. U cukrové řepy nastává tzv. mrcasatění bulev, u brambor deformace hlíz apod. U plodiny tvořících kulový kořen jako například řepka olejka (Obrázek 4), slunečnice nebo sója je kořen značně omezen. Neproniká do velké hloubky a roste ve směru menšího odporu tedy horizontálně. Následkem toho mohou kořeny vysílat hormonální signály, které zpomalují růst.

Tam, kde zhutnění omezuje pronikání kořenů do větší hloubky, může docházet k rychlejšímu vysychání vrchní části ornice, protože rostlina nepřijímá vlhkost z větší hloubky [15], [18].



Obrázek 4: Porovnání kořenů řepky olejky z oblasti blízko vjezdu na pozemek (vlevo) a z oblasti uprostřed pozemku (vpravo)
(Zdroj: vlastní foto)

Z výše uvedeného vyplývá, že spolu s počasím, vlhkostí půdy a použité agrotechnice je zhutnění významným faktorem pro výnos plodin. Přípustná a riziková objemová hmotnost středně těžkých půd včetně teoretického snížení výnosu jednotlivých plodin je uvedeno v tabulce 1 [15].

Plodina	Objemová hmotnost půdy [g/cm ³]		snížení výnosu [%]
	přípustná	riziková	
Pšenice ozimá	1,45-1,50	1,60	10-20
Žito ozimé	1,35-1,40	1,55	10-20
Ječmen jarní	1,35-1,45	1,50	10-20
Oves	1,50-1,55	1,60	10-20
Kukuřice	1,50-1,55	1,60	10-15
Luskoviny	1,15-1,20	1,30	15-20
Cukrová řepa	1,00-1,10	1,35	20-30
Brambory	1,00-1,15	1,25	20-25

Tabulka 1: Objemová hmotnost a snížení výnosu pro vybrané plodiny [15]

5.1 Vznik

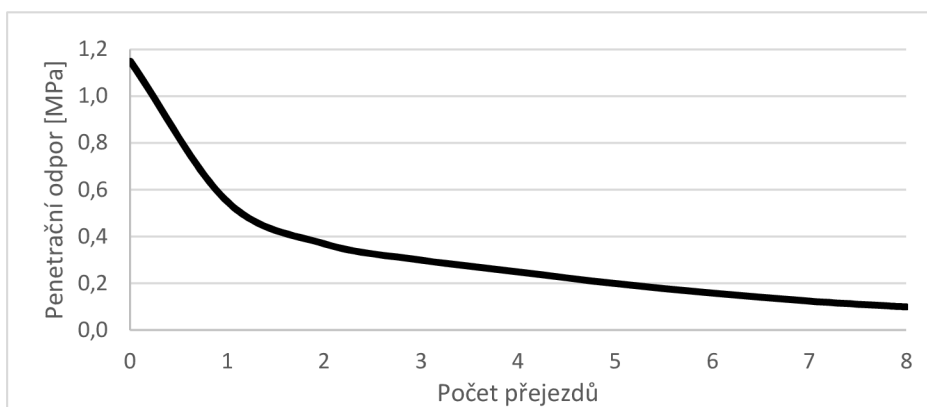
Tlak způsobený pojezdovým ústrojím je hlavní příčinou vzniku technogenního zhutnění. Další příčinou je smykové namáhání při prokluzu kol nebo pásů zemědělské techniky. Zásadní je vlhkost a nakypření půdy, protože vlhká a nakypřená půda je náchylnější

ke zhutnění. Z tohoto důvodu jsou rizikové operace v jarním období nebo sklizeň některých plodin v podzimních měsících. Rovněž na intenzivně zavlažovaných pozemcích pravděpodobnost zhutnění roste. Důležitou roli hraje také pracovní operace. Například každoroční orba do stejné hloubky může vést k vytvoření zhutnělé vrstvy pod dnem brázd (tzv. podorniční podlaha). Tento efekt je umocněn, pokud se energetický prostředek pohybuje po dně brázdy, nikoli po povrchu pozemku [16], [21].

Pohyb zemědělské techniky po pozemcích je v současné době nevyhnutelný. Lze však ovlivnit její parametry. Zásadní je zatížení náprav, kdy více zatížená náprava působí tlakem do větší hloubky. Někteří autoři se shodují, že za kritickou hodnotu je možné považovat 10 tun na nápravu. Od této hodnoty ve vlhkých podmínkách téměř vždy dochází ke zhutnění podloží v hloubce přesahující 50 cm. V posledních letech se začíná uvažovat o snížení hranice na 5 tun na nápravu pro těžké podmínky.

Mimo samotného zatížení nápravy je podstatný kontaktní tlak. Jde o kolmý tlak, který vytváří pojzdové ústrojí v ploše otisku. Ve styčné ploše se nejedná o konstantní hodnotu, díky rozdílné tuhosti bočních stěn a běhounu. Pokud je pneumatika více nahuštěna, vyšší tlak se soustředí uprostřed styčné plochy. Naopak při snížení tlaku v pneumatikách se vyšší tlak projeví na jejich stranách.

Při sledování přejezdů strojů při všech pracovních operacích bylo zjištěno, že plocha přejezdů se pohybuje od 2,6 do 4,4 násobku výměry pozemku, v závislosti na pěstované plodině. Výsledky pokusů hodnotící vliv opakovaných přejezdů potvrzují výrazné snížení nárůstu zhutnění (Obrázek 5). Nejvíce zvyšuje penetrační odpor první přejezd o zhruba 50-70%. Druhý přejezd pak o 24%, další dva o 13% a další čtyři o 12,5% [22].



Obrázek 5: Přírůstky penetračního odporu při opakovaných přejezdech [22]

5.2 Prevence a omezení

Jak bylo již dříve zmíněno, zhutnění představuje vážný problém pro zemědělství. Nejlepším řešením by samozřejmě bylo tomuto jevu zcela předejít. To není v některých případech možné. Vhodným plánováním a správným využitím techniky lze dospět k významnému omezení.

Prvním důležitým krokem je výběr vhodné technologie zpracování půdy vzhledem k vlastnostem pozemku a pěstované plodině. Jednotlivé technologie vykazují podstatné rozdíly v zatížení pozemku. Z výsledků měření vyplývá, že s využitím orebné technologie byla celková přejetá plocha 95,3 % a 145,6 % již jednou přejeté plochy přejetu minimálně dvakrát. Při zpracování půdy minimalizační technologií bylo 72,8 % plochy přejetu jednou a 44,8 % opakovaně. V případě přímého setí se přejetá plocha rovnala 55,7 %, opakované přejezdy zaujaly plochu 18,4 % [21].

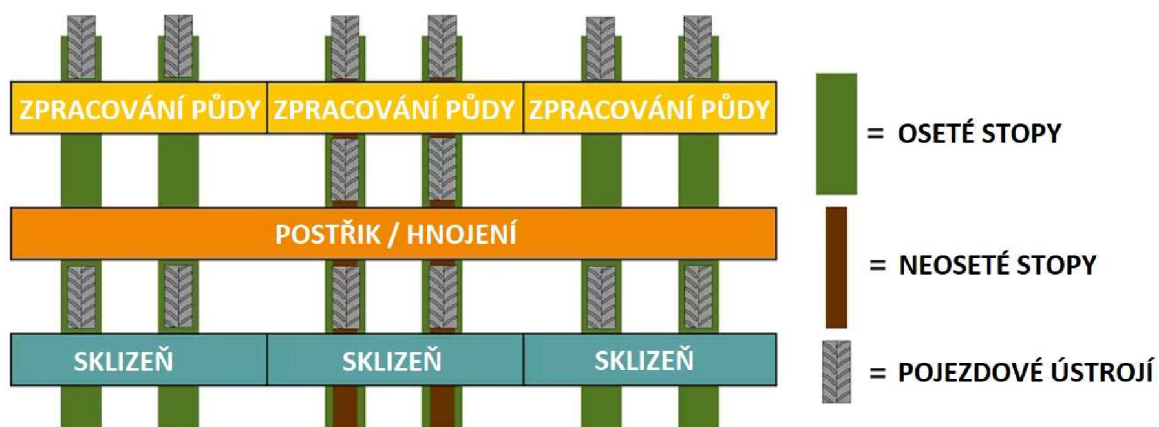
Počet přejezdů je možné omezit spojením některých operací. Například při setí spojit tuto operaci se zpracováním půdy. Na trhu je celá řada secích strojů, které zvládají zpracování půdy, přípravu setového lůžka a samotné setí. Volba stroje se samozřejmě odvíjí od zvolené technologie.

V době vegetace plodin je vhodné soustřeďovat pojezdy do tzv. kolejových meziřádků. Docílí se tak ochrany produkční plochy proti neorganizovaným přejezdům a omezí se poškození nadzemní i kořenové části rostlin. Opakované přejezdy nezpůsobují již takovou škodu, jako první přejezd viz Obrázek 5. Bez využití navigačních systémů kolejové meziřádky zlepšují přesnost a kvalitu při ošetření plodin agrochemikáliemi nebo při aplikaci minerálních hnojiv [15].

Controlled Traffic Farming

Systém řízených přejezdů po pozemcích neboli controlled traffic farming (CTF) spočívá v přesunutí všech přejezdů zemědělské techniky do předem stanovených jízdnic stop (Obrázek 6). Pozemek je rozdělen na části bez přejezdů a na co nejmenší část určenou pro pohyb strojů. Tato myšlenka pochází již z minulého století, dříve však nebyl k dispozici

dostatečně přesný způsob, jak stroje navigovat. To se změnilo s příchodem GPS navigací. V současné době je jejich přesnost pro tyto účely dostatečná [16].



Obrázek 6: Jízdní stopy při využití systému řízených přejezdů [23] (upraveno)

Největšího snížení přejeté plochy lze dosáhnout kombinací velkého pracovního záběru a sjednocení šířky kolejových stop u všech strojů. Zejména úprava rozchodu je finančně náročná a přináší jiné problémy, například při pohybu strojů po pozemních komunikacích.

Dobrych výsledků je možné dosáhnout také bez výše jmenovaného. Systém OutTrac, využívá původního rozchodu kol a řídí jednotlivé trasy tak, aby se co nejvíce překrývaly. Pozemky jsou tak rozděleny na tři části: s intenzivními přejezdy, s nízkými přejezdy a bez přejezdů. Dle výsledků lze snížit přejetou plochu až na hodnotu 37 procent z celkové rozlohy. To je velice dobrý výsledek, zvážíme-li, že nejsou zapotřebí žádné velké konstrukční zásahy do techniky. Podmínkou je pouze přesná navigace a vhodné pracovní záběry strojů [24].

Největší provoz na polích je při sklizni plodin a jejich následném odvozu. Nejen v minulosti docházelo ke ztuhnutí především v podorniční vrstvě vlivem těžkých dopravních prostředků s vysokými kontaktními tlaky. Následky kombinace velkých nákladních automobilů a velké vlhkosti půdy mohou být patrné dodnes. Možným řešením může být začlenění dopravy do systému řízených přejezdů [15].

Dělená doprava

Další variantou může být oddělení polní a silniční dopravy. Nákladní automobily nejsou pro jízdu po polích příliš vhodné, oproti traktorům mají však zpravidla větší kapacitu a mohou se pohybovat větší rychlostí. Vhodná proto může být jejich kombinace. Transport po poli

zajišťují traktory s překládacími vozy, jejichž primárním cílem je zvýšení efektivity sklizňových strojů. V kombinaci s vhodným obutím působí na půdu šetrněji, než klasické dopravní prostředky. Zbylé stroje vyčkávají na okraji pozemku nebo úplně mimo něj, kam za nimi traktor s překládacím vozem přijede. Největší rozdíl je patrný při sklizni zrnové kukuřice, kdy je půda vlhčí a náchylnější na poškození. K větší šetrnosti k půdě však dochází i v poměrně suchých letních měsících [25].

Volba vhodného pojezdového ústrojí

Pojezdové ústrojí má zásadní vliv na zhutnění půdy, neboť dochází k přímému styku s podložkou. Jeho velikost, zatížení a kontaktní plocha jsou parametry, které ovlivňují působení kola na fyzikálně-mechanické vlastnosti půdy. Významný je především nízký měrný tlak neboli podíl zatížení a dosedací plochy. Volbou vhodného pojezdového ústrojí případně správným nahuštěním pneumatik lze zhutnění omezit. Nejběžnější je u všech typů strojů stále pneumatika. Ty se konstrukčně dělí na radiální a diagonální [2].

Radiální pneumatika disponuje lepší přilnavostí k nerovnostem a lepším pohlcováním vibrací. Díky své flexibilitě má větší styčnou plochu, nižší kontaktní tlak a umožňuje snížit tlak bez rizika poškození. Větší styčná plocha má vliv na lepší trakci a nižší prokluz. Nevýhodou radiální konstrukce je nižší odolnost proti mechanickému poškození [26].

Tužší bočnice diagonálních pneumatik mohou být výhodou zvláště u traktorů nižších výkonových tříd. Takové bočnice jsou velmi odolné a umožňují přenést velká zatížení. Diagonální konstrukce má řadu nevýhod, například způsobují vyšší zhutnění půdy, hůře kopírují terén a mají větší tendenci prokluzovat [26].

Jednou z možností snížení tlaku na půdu je využití dvoumontáží. Jedná se o použití dvou zpravidla stejných kol vedle sebe. V případě tažných prostředků je jejich využití především při práci na poli, nikoli v dopravě. Hlavním důvodem je velká šířka spojená s obtížným přesunem po pozemních komunikacích. Jediným případem využití při dopravě může být situace, kdy transport probíhá pouze na poli, například agregace traktoru a překládacího vozu.

Dvougontáže se využívají také v případě přípojných vozidel, převážně však u těch nákladních. U nákladních automobilů je takovéto uspořádání pneumatik zcela běžné. Pro účely využití v zemědělství je mnohem vhodnější zvolit jednu širokou než dvě úzké pneumatiky.

Tlak v pneumatikách

Snížení tlaku v pneumatikách vede ke zvětšení styčné plochy a zmírnění negativního dopadu pojezdového ústrojí zemědělské techniky. Již několik let se výrobci zabývají možnostmi regulovat tlak v pneumatikách při provozu stroje. Manuální změna tlaku je pracná a časově náročná, proto se v praxi téměř nevyužívá. Není však sporu o tom, že správné nahuštění ovlivňuje tahové vlastnosti, spotřebu paliva i zhutnění půdy. Velkou výhodou je tak možnost využití systému, který celou operaci zvládne urychlit. Moderními systémy je možné vybavit všechna kola tažných prostředků, ale také přípojných vozidel jako návěsy, aplikační cisterny, návěsná rozmetadla nebo postřikovače. Samozřejmě, že nejpohodlnější je ovládání z kabiny, kdy obsluha zvládne celé nastavení pouze za pomoci počítače [27], [28].

Nížší huštění má samozřejmě svá omezení, která jsou dána zejména konstrukcí pneumatik. Proto je nutné respektovat údaje stanovené výrobcem, ty udávají závislost mezi tlakem vzduchu pneumatik, rychlostí pojezdu a maximálním zatížením na nápravu. K dostání jsou stále se zlepšující pneumatiky určené speciálně pro provoz s nízkým nahuštěním [27].

Hlavní součástí takového systému je regulační ventil. Jedná se o modifikovaný trojcestný kuželový ventil, ovládaný stejnosměrným proudem. Tento ventil může mít tři polohy: huštění, snižování tlaku nebo uzavření. Pokud skutečný tlak odpovídá požadovanému, řídicí jednotka nastaví ventil do nulové polohy. V případě potřeby zvýšení tlaku řídicí jednotka přestaví ventil do polohy, ve které proudí vzduch ze zásobníků do pneumatiky, po nahuštění dojde k opětovnému zavření ventilu. Při snižování tlaku se ventil otevře a přebytečný tlak je odveden do atmosféry [29].

Na každém ráfku takto ovládaných pneumatik je umístěn kohout, který umožňuje manuální vypnutí. Takto pracuje jednookruhový systém, který je po většinu času pod tlakem. Oproti tomu dvouokruhový systém má kromě pracovního, ještě druhé ovládací vedení. To zajišťuje otevírání a zavírání ventilků kola. Otevřeno je pouze po dobu, kdy dochází ke změně tlaku v pneumatice a většinu času je tak systém zcela bez tlaku [29].

Možnost regulace tlaku v sobě skrývá mimo již zmíněných výhod, také nevýhody. Jako hlavní nevýhoda se jeví dlouhý čas plnění pneumatik. U velkých traktorových souprav může zvýšení tlaku o 100 kPa pomocí centrální regulace trvat až deset minut. Pokud stroj absolvuje tuto proceduru několikrát za den, jde o významný prostoj. Proto přichází výrobci s nejrůznějšími inovacemi. Možným řešením může být využití speciálního zásobníku stlačeného vzduchu umístěného ve středové části ráfku. Takovýto zásobník může pojmout vzduch s tlakem až 600 kPa. V případě potřeby je pak možné přepustit tlak do pneumatik bez nutnosti zastavování. Přináší tak možnost rychlé změny z polního na silniční režim [30].

Druhou variantou je využití přídatného kompresoru s vlastními zásobníky stlačeného vzduchu. Problematická může být otázka, kam celé zařízení umístit. Zajímavé řešení může nabídnout speciální závaží do předního tříbodového závěsu traktoru. Hlavní částí je hydraulicky ovládaný pístový případně šroubový kompresor, který je schopen dodávat až 2 500 litrů za minutu. Tlakové zásobníky mohou mít objem až čtvrt metru krychlového. V případě potřeby lze přidat další deskové závaží, pomocí kterého neztratíme možnost správně dotížit stroj [31].

Pásy

Traktory s klasickým kolovým podvozkem mohou mít poměrně velký tlak na půdu, větší prokluz a menší tahovou sílu. Tyto nevýhody mohou řešit pásové podvozky. V minulosti se využívaly zejména ocelové pásy, v současné době se situace změnila a převážná část pásových traktorů má pásy pryžové. V porovnání s pneumatikami jsou pásy šetrnější k půdě a umožňují přenést větší výkon. Mezi výhody patří také menší transportní šířka, která se u většiny pásových strojů pohybuje pod hodnotou třech metrů. Tento požadavek není například u dvoumontáží možné splnit [26].

Největší využití mohou pásové podvozky nalézt především u traktorů vyšších výkonových tříd, sklízecích mlátiček a jiné sklízecí techniky nebo u překládacích vozů. Stejně jako v případě dvoumontáží jsou pásy určeny primárně pro pohyb na poli. Pásové stroje tedy mohou tvořit polní část dělené dopravy.

Na trhu jsou v současné době k dostání dvě rozdílné koncepce, dvoupásová a čtyřpásová. Hlavní částí pásové jednotky je hnací kolo, které přenáší sílu od motoru na pás.

Nedílnou součástí také tvoří napínací a vodící kladky včetně uchycení. Pohon pásu je realizován buď třením, nebo pomocí pryžových výstupků, které zapadají do vybrání v hnacím kole. Pás jako takový se vyrábí ze speciální pryžové směsi a z ocelových vláken, která mají za úkol udržet pevnost v tahu, zabránit vytahování a zvýšit odolnost proti mechanickému poškození. Vnější strana pásů je zpravidla opatřena šípovým dezénem. Uprostřed vnitřní části se nachází pryžové bloky, které zlepšují vedení a zabraňují příčnému posunu při otáčení. Šířka pásu by měla odpovídat potřebám konkrétního typu stroje. Širší pásy disponují lepší průchodností terénu, ale zhoršují manévrovací schopnosti. Důležité je také řádné napnutí pásů po celou dobu provozu, vzhledem k tomu že oprava gumových pásů není možná a při poškození je nutná jejich výměna. Nutné je rovněž zabránit styku pryže s oleji, pohonnými hmotami či mazivy [26].

5.3 Odstranění zhutnění

U půd zasažených zhutněním až do podorniční vrstvy je nutné tento nepříznivý jev odstranit mechanickým zásahem. Může se jednat o podrývání, dlátování, hloubkové kypření nebo prohlubování. Zejména u středních a těžkých půd hrají zásadní roli půdní podmínky. Zpracováním suché půdy dochází k významnému praskání a drobení, vzniká tak velký počet nekapilárních pórů. Nakypřená půda ke slehnutí potřebuje dlouhý časový úsek. Tento proces může být urychlen větším množstvím srážek pronikajících do spodních vrstev [32].

Podrývání

Podrývání slouží k nakypření podorničí na půdách, kde se ornice a podorničí liší a je tak nežádoucí vynášet zeminu spodních vrstev na povrch. Tato operace může být spojena s orbou v případě, kdy orební těleso doplníme o speciální zařízení (podrývák). Podrýváky se umísťují na rám pluhu za plužní těleso eventuálně pod něj. Pokud jsou tímto zařízením opatřeny všechny tělesa, dojde k rozrušení podbrázdí v celé ploše pozemku. Je-li umístěn pouze jeden na prvním tělese, rozruší se pouze dno brázd, po kterém se pohybují kola traktoru.

Podrýváky mohou kypřit podorniční vrstvu až do hloubky 12 centimetrů pod dno brázd. Jejich tvar ovlivňuje kvalitu a intenzitu nakypření. Při podrývání se významně projeví nárůst požadavků na tahový výkon traktoru a spotřebu pohonných hmot. Tento jev není tolik patrný v případě použití pouze jednoho podrýváku, než při jeho použití na všech orebních tělesech.

V současnosti jsou pro kypření podorničí více používány kypřiče dlátové nebo takové, které umožňují nastavení rozdílné hloubky jednotlivých typů pracovních nástrojů. Důležité je zachování cílů podrývání. Úkolem této operace je rozrušení vrstvy na přechodu orničního profilu a podorničí, nikoli hlubší kypření podorniční vrstvy. Podrývání má kladný vliv na zvyšování výnosu například jarního ječmene, brambor nebo silážní kukuřice [32], [33].

Dlátování

Jedná se o středně hluboké kypření zasahující do hloubky až 45 centimetrů. Dlátování představuje agrotechnickou a částečně také meliorační operaci, vhodnou k odstranění nepříznivých fyzikálních vlastností v podorničí. V bezorebných systémech zpracování půdy se stále častěji využívá středně hluboké kypření jako náhrada klasické orby. Dobrého kypřicího efektu lze dosáhnout bezprostředně po sklizni meziplodin, zvláště následuje-li v osevním postupu cukrová řepa [33].

Pro dlátování se využívají primárně speciální dlátové kypřiče, jejichž konstrukce ovlivňuje intenzitu kypření. Kypřiče mohou být pasivní nebo s aktivním pohybem pracovních nástrojů pro vyšší stupeň nakypření. Další možností je využití speciálních pluhů osazených kypřicími radlicemi, které umožňují tzv. dvouvrstevné zpracování půdy. Základem klasického kypřiče jsou slupice osazené dláty. Nabídka na trhu je velice pestrá. K dostání jsou různá technická řešení odlišující se stupněm kypření a mísení půdy. S tím souvisí následná heterogenita půdy, která má významný vliv na vláhový a tepelný režim půdy a vývoj porostů.

Tato ekonomicky náročná operace se provádí z důvodů porušení ztuhlé podorniční vrstvy, podpory biologické aktivity v podorničí a zajištění podmínek pro rozvoj kořenových systémů. V průběhu dlátování, stejně jako je tomu u podrývání, nesmí docházet k vynášení podorničí a následnému míchání s ornicí [32].

Hloubkové kypření

Hloubkové kypření je zaměřeno na zpracování do hloubky 50 až 80 cm. Jedná se o agromeliorační zásah do půdy. Úkolem je krom nakypření spodních vrstev, také podpora infiltrace a následné akumulace vody v půdě. Pro svou vysokou energetickou náročnost a často jen krátkodobý přínos je hloubkové kypření využíváno jen v krajních případech, kdy ztuhnutí podorničí zasahuje do hloubky větší než 45 centimetrů. Kvůli své energetické

náročnosti není nutné provádět tuto operaci v celé ploše. Jednou z možností je průzkum pozemku například pomocí penetrometru a následné vytyčení vybraných ploch (souvratě, odvozové trasy, uložště hnoje apod.) [32], [33].

Stroje robustní konstrukce určené ke kypření se nazývají hloubkové kypřiče. Jejich důležitou součástí tvoří systémy bránící poškození pracovních nástrojů v kamenitých půdách. Tento úkol mohou plnit střížné šrouby nebo listové případně hydraulické odpružení. Po hloubkovém kypření je důležité nechat půdu projít procesem slehnutí. Na pozemek by tak po určité době neměla vjíždět žádná technika [32].

Prohlubování

Prohlubováním neboli přioráním podorničí lze rozrušovat podorniční podlahu a zvyšovat hloubku ornice. Tím můžeme v rámci několika let nakypřit ztuhlou vrstvu podorničí. Tento způsob je vhodný výhradně pro půdy s vysokým humusovým horizontem a dobrou přirozenou úrodností nebo na půdách, kde se podorničí příliš neliší od ornice. Hloubka orby se smí zvyšovat pouze o 1 až 2 centimetry maximálně jednou za tři roky, lépe za pět let. Jednorázové prohlubování do velké hloubky zvyšuje riziko vynesení mrtviny do horní vrstvy ornice, to by negativně ovlivnilo podmínky pro růst plodin. Toto riziko je větší na mělkých a těžších půdách než na těch s hlubším humózním horizontem [32], [33].

K prohlubování mohou sloužit klasické pluhy pro zpracování půdy, které jsou určeny pro práci v dané hloubce. V praxi je však problematické dodržení požadované hloubky. Prohlubování je nutné spojit s hnojením organickými hnojivy a vápněním [32].

5.4 Stabilizační opatření

Zásahy popsané v předchozí kapitole tvoří důležitou součást péče o půdu se sklonem ke zhoršování fyzikálních vlastností. Operaci jako takovou je však nutné považovat pouze za začátek řešení problému. Následovat by měla opatření vedoucí k posílení regenerace půdní struktury. Ta jsou sice známá, ale v praxi často opomíjená. Jedná se o hnojení kvalitními organickými hnojivy nebo zařazování hlubokokořenících rostlin jako jsou víceleté pícniny [34].

V současné době nejjednodušší a nejúčinnější opatření tvoří biologické zásahy tzv. fytoefekty. Do této skupiny patří pěstování rostlin, které jsou svými kořeny schopné zpevnit primárně vytvořenou strukturu půdy a pomoci vytvořit stabilnější sekundární strukturu

prokořeněním nakypřeného prostoru. V rámci osevního postupu je nutné zařadit vhodné meliorační plodiny jako vojtěška, jetel luční, luskoviny, hořčice bílá, řepka olejka nebo slunečnice. Také v zemědělských podnicích bez chovu skotu je třeba zvážit pěstování například vojtěšky nebo jetele lučního po nápravném zásahu. Nutností je však sjednat odbyt na tyto plodiny předem.

Druhou skupinu opatření tvoří tzv. chemoefekty. Nejznámějším představitelem je vápnění, jeho uplatnění je účelné pouze na půdách vyžadujících úpravu pH. Avšak aplikace vápenatých hnojiv ve zkeypřeném prostoru může být problematická [15].

6 Měření

6.1 Materiál a metodika

V rámci diplomové práce proběhlo měření zhutnění půdy vlivem odvozových prostředků. Měření se uskutečnilo v průběhu sklizně pšenice ozimé 3. 8. 2022 na poli Zemědělské obchodní společnosti Onomyšl a.s. Pro porovnání byly vybrány 3 rozdílné odvozové prostředky.

6.2 Pozemek

Měření proběhlo na pozemku s názvem U Hřbitova Košice, který se nachází v katastrálním území obce Košice v okrese Kutná Hora. Výměra činí 28,95 hektarů. Jak bylo již zmíněno, tento pozemek obhospodařuje ZOS Onomyšl a.s. se sídlem v Nepoměřicích. Svou výměrou přibližně 1700 hektarů se společnost řadí mezi středně velké zemědělské podniky v okrese Kutná Hora. Hlavním zaměřením je rostlinná a živočišná prvovýroba. Rostlinná výroba se zabývá pěstování obilovin, olejnin a krmných plodin. Živočišná výroba se věnuje chovu skotu s tržní produkcí mléka. V současné době společnost chová zhruba 350 kusů dojnic Holštýnského skotu [35].

6.3 Zúčastněné odvozové prostředky

Prvním byl klasický zemědělský traktor JOHN DEERE 8430 (Obrázek 7) s tříosým návěsem BIG 27.20 od českého výrobce WTC Písečná, jehož parametry jsou přehledně uvedeny v Tabulce 2.

Druhým prostředkem byl MAN TGA 41.410 (Obrázek 8), který sice sjel z výrobní linky jako klasický nákladní automobil, nyní je však přetypován jako kolový traktor. Tato úprava byla v podstatě pouze formální a na stroji jako takovém se nic nezměnilo, jeho technické údaje jsou uvedeny v Tabulce 3.

Třetí a poslední byla souprava nákladního automobilu SCANIA R620 (Obrázek 9) s návěsem Schwarzmüller KIS-3/E. Tato souprava se většinu času pohybuje po pozemních komunikacích a není pro jízdu po poli nijak uzpůsobena. Parametry poslední soupravy jsou taktéž uvedeny v Tabulce 4.

Traktor JOHN DEERE 8430 s návěsem BIG 27.20



Obrázek 7: JOHN DEERE 8430 + BIG 27.20 (Zdroj: vlastní foto)

Technické údaje			
Traktor		Pneumatiky	
Výrobce	JOHN DEERE	Náprava	Rozměr
Typ	8430	Traktor	
Rok výroby	2008	1.	600/70 R30
Výkon	258 kW	2.	710/70 R42
Maximální rychlost	40 km/h	Návěs	
Provozní hmotnost	10 100 kg	1.	560/60 R22,5
Povolená hmotnost	18 000 kg	2.	560/60 R22,5
Návěs		3.	560/60 R22,5
Výrobce	WTC Písečná		
Typ	BIG 27.20		
Rok výroby	2015		
Maximální rychlost	40 km/h		
Provozní hmotnost	6 920 kg		
Nosnost	20 080 kg		
Objem korby	28,7 m ³		
Hmotnost soupravy v době měření			
Brutto	45 380 kg		
Tára	23 400 kg		
Netto	21 980 kg		

Tabulka 2: Technické údaje traktoru JOHN DEERE a návěsu WTC [36], [37]

Nákladní automobil MAN TGA 41.410



Obrázek 8: MAN TGA 41.410 (Zdroj: vlastní foto)

Technické údaje				
Nákladní automobil		Pneumatiky		
Výrobce	MAN	Náprava	Rozměr	Poznámka
Typ	TGA 41.410	1.	385/65 R22,5	
Rok výroby	2004	2.	385/65 R22,5	
Výkon	301 kW	3.	315/80 R22,5	Dvoumontáž
Maximální rychlost	90 km/h	4.	315/80 R22,5	Dvoumontáž
Provozní hmotnost	16 310 kg			
Nosnost	15 690 kg			
Objem korby	26,5 m ³			
Hmotnost v době měření				
Brutto	37 640 kg			
Tára	17 300 kg			
Netto	20 340 kg			

Tabulka 3: Technické údaje nákladního automobilu MAN [38]

Nákladní automobil SCANIA R620 s návěsem SCHWARZMÜLLER KIS-3/E



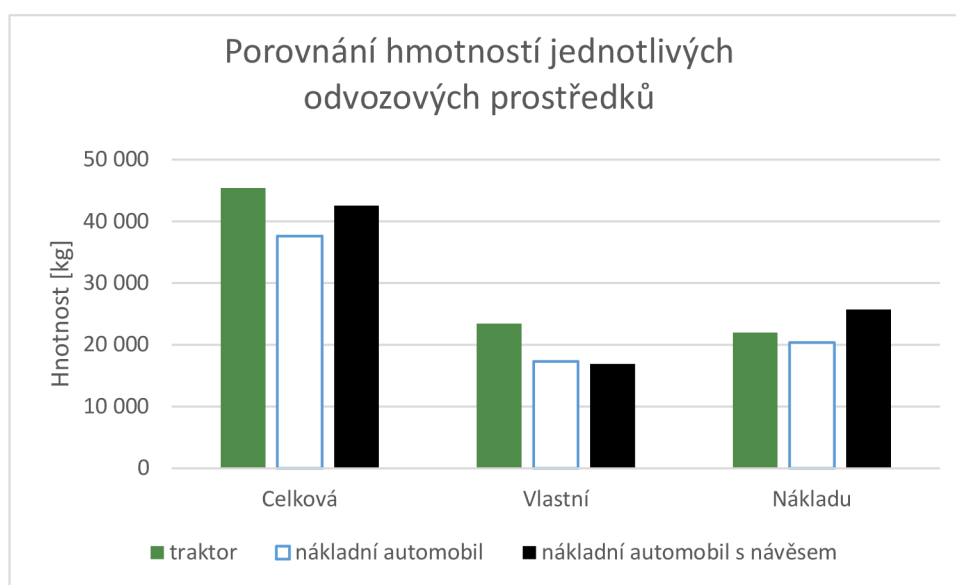
Obrázek 9: SCANIA R620 + SCHWARZMÜLLER KIS-3/E (Zdroj: vlastní foto)

Technické údaje				
Nákladní automobil		Pneumatiky		
Výrobce	SCANIA	Náprava	Rozměr	Poznámka
Typ	R620	Nákladní automobil		
Rok výroby	2013	1.	385/65 R22,5	
Výkon	456 kW	2.	315/80 R22,5	Dvoumontáž
Maximální rychlost	90 km/h	3.	315/80 R22,5	Dvoumontáž
Provozní hmotnost	10 223 kg	Návěs		
Max. hmotnost soupravy	48 000 kg	1.	385/65 R22,5	
Návěs		2.	385/65 R22,5	
Výrobce	SCHWARZMÜLLER	3.	385/65 R22,5	
Typ	KIS-3/E			
Rok výroby	2007			
Maximální rychlost	90 km/h			
Provozní hmotnost	44 000 kg			
Nosnost	37 800 kg			
Objem korby	31 m ³			
Hmotnost soupravy v době měření				
Brutto	42 560 kg			
Tára	16 860 kg			
Netto	25 700 kg			

Tabulka 4: Technické údaje nákladního automobilu SCANIA [39], [40]

6.3.1 Porovnání hmotností

Váha patří spolu se styčnou plochou mezi hlavní faktory ovlivňující zhutnění půdy. Ideální by samozřejmě bylo mít co nejlehčí odvozový prostředek s co největší nosností. Na základě dodacích listů byl sestaven graf (Obrázek 10). Levé sloupce udávají celkovou hmotnost naložené soupravy, označovanou také jako brutto. Uprostřed jsou porovnány hmotnosti prázdných strojů, čili tára. Pravé sloupce srovnávají hmotnost převáženého nákladu, neboli netto.



Obrázek 10: Hmotnosti odvozových prostředků

Pro větší názornost lze spočítat poměr nákladu k vlastní hmotnosti, který udává kolikanásobek vlastní hmotnosti stroj, případně souprava uveze. V případě traktoru s návěsem je tento poměr 0,94, u čtyřnápravového nákladního automobilu 1,16 a nákladnímu automobilu s návěsem vychází číslo 1,52.

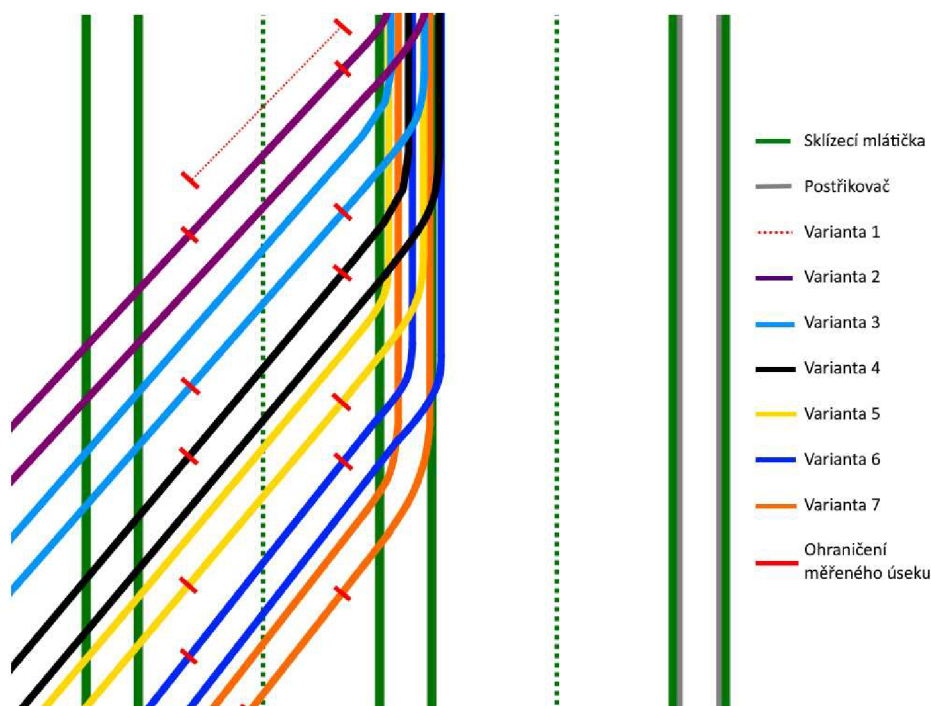
6.4 Charakteristika měření

Měření probíhalo přímo při sklizni pšenice ozimé, kdy byly na poli přítomny všechny odvozové prostředky odvázející zrno od sklízecích mlátiček. Po obsekání celého pozemku byl vytipován prostor ve větší vzdálenosti od jeho okraje, v místě mimo souvrať, kde se technika při práci již neotáčí.

Bezprostředně po sklizení této oblasti došlo k její ohrazení, tak bylo možné zajistit aby se do tohoto prostoru nedostal žádný jiný stroj, který by mohl ovlivnit měření. Následně začala postupně najíždět nejprve prázdná technika a poté také naplněná pšenící. Jednalo se tedy o celkem sedm variant, šest variant odvozových prostředků a jedna výchozí bez přejezdu:

1. varianta – bez přejezdu,
2. varianta – traktor s prázdným návěsem,
3. varianta – prázdný nákladní automobil,
4. varianta – nákladní automobil s prázdným návěsem,
5. varianta – traktor s plným návěsem,
6. varianta – plný nákladní automobil,
7. varianta – nákladní automobil s plným návěsem.

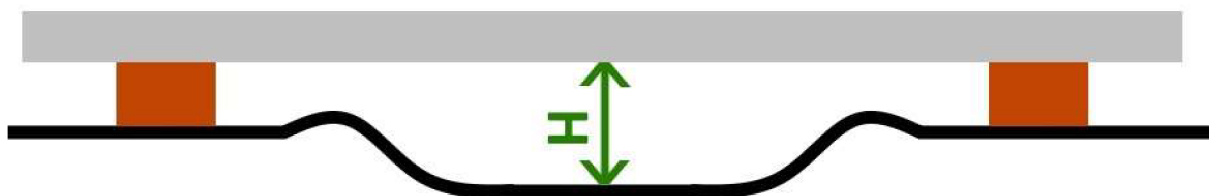
Každý stroj jel pod úhlem zhruba třiceti stupňů oproti jízdě sklízecí mlátičky. Všechny zkoumané stopy byly označeny kolíky v úseku přibližně čtyř metrů, zde se následně uskutečnil odběr vzorků a měření (Obrázek 11). Po vytvoření stop následoval převoz zrna na silo, kde probíhá vážení plného a prázdného prostředku. Každý z řidičů mi po návratu předložil dodací list, ze kterého bylo možné zjistit přesné hmotnosti v době pokusu.



Obrázek 11: Schématické znázornění jízdních stop jednotlivých strojů a úseků měření

6.4.1 Měření hloubky jízdní stopy

Prvním zjišťovaným údajem byla hloubka stopy, udávající o kolik se stroj zabořil do půdy (Obrázek 12). Jedná se o měření, ke kterému nejsou nutné žádné speciální přístroje ani vybavení. Po obou stranách se rovnoběžně se stopou položí latě, v tomto případě o výšce 5 cm (na obrázku znázorněno hnědě). Tímto způsobem je možné omezit zkreslení vlivem vytlačeného materiálu směrem do stran. Na krajní latě se umístí další lať (na obrázku šedá) od které lze měřit hloubku (zakótováno jako H). Samozřejmě musíme od naměřené vzdálenosti odečíst výšku latě. Toto měření proběhlo vždy ve třech opakováních pro varianty 2 až 7.



Obrázek 12: Schéma měření hloubky jízdní stopy

6.4.2 Odběr neporušených půdních vzorků

Jako druhý následoval odběr půdních vzorků. Tyto vzorky se odebírají do tzv. Kopeckého válečků. Jedná se o válečky z nerezové oceli s výškou 5 cm a celkovým objemem 100 cm^3 , které jsou na spodní straně opatřeny břitem. Nejprve se odstraní svrchní vrstva půdy. Poté jsou pomocí vhodného nástavce válečky zatlačovány nebo zatloukány do půdy tak, aby se vzorek dostal až nad horní okraj válečku (zhruba o 5 mm). Následně se okolní materiál opatrně odstraní a váleček vyrýpne. Po vyjmutí je nutné pomocí nože případně polní lopatky materiál přesahující z válečku odstranit a vzorek zavíčkovat. Pokud při manipulaci část vzorku odpadne, nebo pokud vzorek obsahuje vzduchovou kapsu či kámen je nutné odběr opakovat. Během další manipulace je nutné dbát na to, aby nebyl vzorek vystavován velkým teplotám. Mohlo by dojít k odpařování vody a zkreslení výsledků měření. Analýza vzorků probíhá v laboratoři, kam je vhodné vzorky přepravit v jejich přirozené poloze co nejdříve [20], [41].

Z neporušeného půdního vzorku se v laboratoři určují základní fyzikální vlastnosti. Dochází k analýze vzdušných a vodních poměrů a také stanovení pórovitosti. Při rozboru se váleček odvíčí, postaví na filtrační papír a na hodinové sklo o známé hmotnosti a zváží se. Tato hodnota bude sloužit pro stanovení momentální vlhkosti vzorku. Následuje nasycení

destilovanou vodou kapilárním vztlínáním pomocí filtračního papíru. Horní strana válečku musí být zakryta hodinovým sklem, aby nedocházelo k odpařování vody. Proces nasycení probíhá minimálně 12 hodin, dokud není horní základna zcela navlhčena (to lze poznat jejím leskem). Po nasycení se váleček odejme z filtračního papíru a nakloní, aby přebytečná voda odkapala. Poté se vzorek zváží. Naměřená hodnota slouží k určení nasáklivosti.

Následuje odsávání vody ze vzorku, kdy se váleček postaví na čtyřikrát přeložený filtrační papír, horní strana musí být opět zakryta hodinovým sklem. Od tohoto okamžiku se počítá čas jednotlivých měření. Prvním je třicetiminutová vlhkost. Váleček se po uplynutí půl hodiny sejme z filtračního papíru a zváží. Poté je opět postaven na nový čtyřikrát přeložený filtrační papír. Stejný proces proběhne po dalších 90 minutách (2 hodinách od začátku měření), kdy na váze odečteme hodnotu potřebnou pro stanovení maximální kapilární vodní kapacity. Po 22 hodinách (24 hodinách od začátku měření) stanovíme vážením hmotnost sloužící k určení přibližné retenční vodní kapacity.

Váleček se vzorkem, kulatým filtračním papírem a zváženým hodinovým sklem se následně suší při teplotě 105°C až do konstantní hmotnosti. Hmotnost po vychladnutí slouží k určení hmotnosti sušiny. Suchá zemina pak po rozmělnění slouží ke stanovení specifické hmotnosti. V pedologii se častěji než základní jednotka $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ používá $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ neboli hmotnost 1 cm^3 zeminy bez pórů [42].

V každém úseku byly vybrány tři místa odběru. Na každém místě byl odebrán jeden váleček z úrovně těsně pod svrchní vrstvou a druhý v úrovni bezprostředně pod ním. Takto bylo postupováno u všech variant včetně té bez přejezdu. Celkem se tedy jednalo o 42 vzorků.

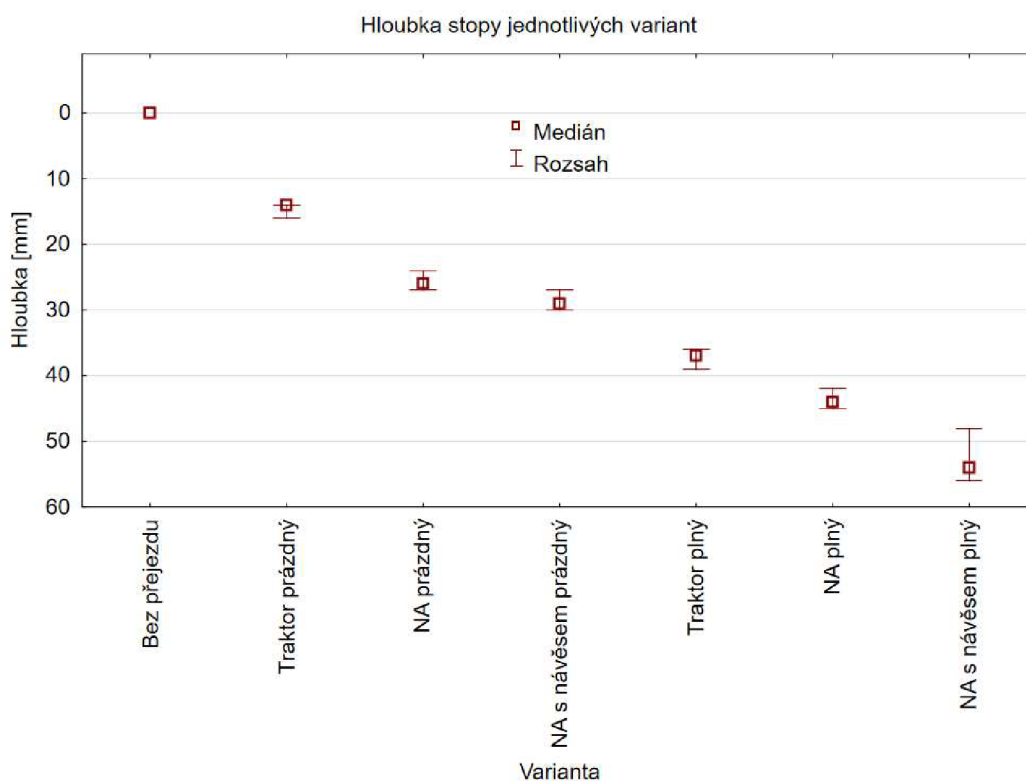
7 Výsledky

V této kapitole jsou statisticky zpracovány výsledky naměřených hodnot. Pro přehlednost je v grafech využíváno zkratk:

- NA – nákladní automobil,
- hor. – horní válečky,
- sp. – spodní válečky,
- pr. – prázdný odvozový prostředek.

7.1 Hloubka jízdní stopy

Graf na Obrázku 13 znázorňuje hloubky stop jednotlivých variant. Patrný je přirozeně nárůst hloubky mezi prázdnými a plnými odvozovými prostředky. V obou případech nejmělkčí stopu zanechává traktor s návěsem.



Obrázek 13: Hloubky jízdních stop

Tukeyův test na hladině významnosti 0,5 (Tabulka 5) našel statisticky významné rozdíly mezi všemi variantami s výjimkou prázdného nákladního automobilu a nákladního automobilu s návěsem, tyto dvě varianty se od sebe významně neliší.

Cell No.	A	hloubka Mean	1	2	3	4	5	6
1	Bez přejezdu	0,00000		****				
2	Traktor prázdný	14,66667			****			
3	NA prázdný	25,66667	****					
4	NA s návěsem prázdný	28,66667	****					
5	Traktor plný	37,33333				****		
6	NA plný	43,66667					****	
7	NA s návěsem plný	52,66667						****

Tabulka 5: Tukeyův test pro hloubku stopy

7.2 Neporušené půdní vzorky

Momentální vlhkost

Momentální vlhkost udává vlhkost půdy v době odběru vzorku. Může být vyjádřena v objemových nebo hmotnostních procentech. Pro pedologické účely, stejně jako v tomto případě, je vhodnější vyjádření v procentech objemových [42].

Tabulka 6 uvádí průměrné hodnoty momentální vlhkosti pro jednotlivé varianty měření.

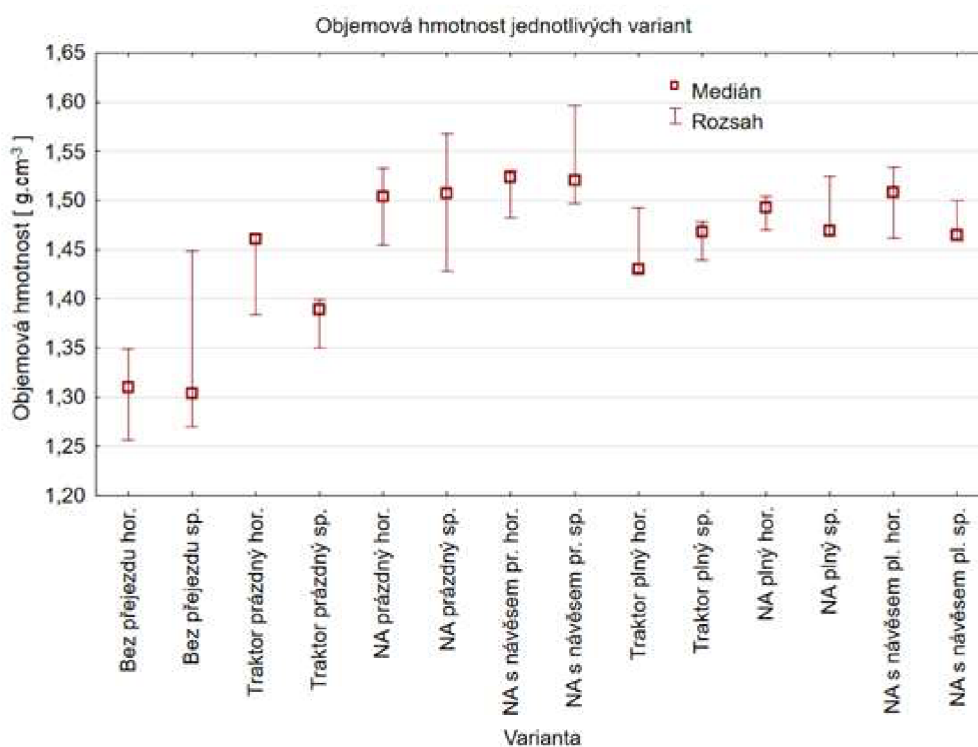
Varianta	Průměrná vlhkost [% obj.]
Bez přejezdu horní	25,988
Bez přejezdu spodní	25,519
Traktor prázdný horní	28,069
Traktor prázdný spodní	25,951
NA prázdný horní	28,677
NA prázdný spodní	27,826
NA s návěsem prázdný horní	29,642
NA s návěsem prázdný spodní	28,841
Traktor plný horní	26,397
Traktor plný spodní	23,713
NA plný horní	26,396
NA plný spodní	27,148
NA s návěsem plný horní	29,486
NA s návěsem plný spodní	27,063

Tabulka 6: Průměrná vlhkost vzorků

Objemová hmotnost

Udává hmotnost objemové jednotky v jejím přirozeném uložení, v tomto případě se jedná o $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Výsledná hodnota je ovlivněna půdními vlastnostmi jako zrnitost, struktura, vlhkost nebo pórovitost. Jedná se o významný parametr při hodnocení míry zhutnění půdy [43].

V grafu (Obrázek 14) jsou znázorněny naměřené hodnoty. Se zvyšující se hodnotou objemové hmotnosti dochází k většímu zhutnění.



Obrázek 14: Objemové hmotnosti

Tukeyovým testem na hladině významnosti 0,5 byly nalezeny statisticky významné rozdíly, které znázorňuje Tabulka 7. Nejmenší vliv na objemovou hmotnost měl traktor s prázdným návěsem, který se statisticky významně neliší od výchozí varianty bez přejezdu.

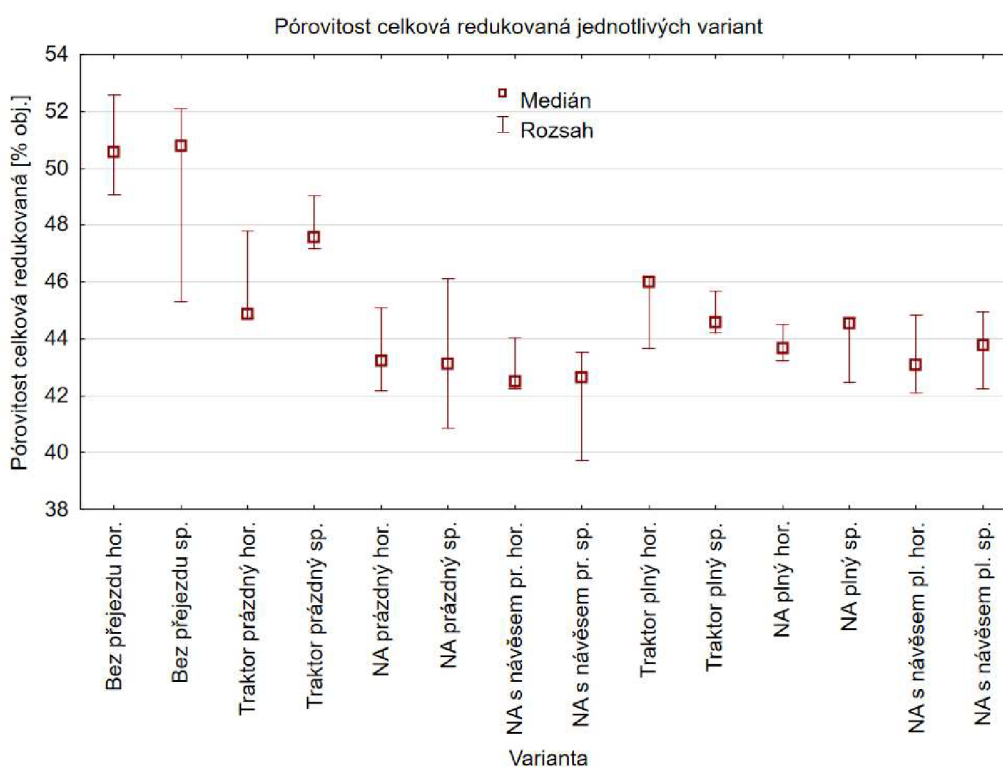
Cell No.	Varianta	Objemová hmotnost [g•cm-3] Mean	1	2	3	4
1	Bez přejezdu hor.	1,305417	****			
2	Bez přejezdu sp.	1,340827	****	****		
4	Traktor prázdný sp.	1,379763	****	****	****	
3	Traktor prázdný hor.	1,436477	****	****	****	****
9	Traktor plný hor.	1,450017		****	****	****
10	Traktor plný sp.	1,462363		****	****	****
14	NA s návěsem pl. sp.	1,474754		****	****	****
12	NA plný sp.	1,486363			****	****
11	NA plný hor.	1,489043			****	****
5	NA prázdný hor.	1,497397			****	****
6	NA prázdný sp.	1,500997			****	****
13	NA s návěsem pl. hor.	1,501410			****	****
7	NA s návěsem pr. hor.	1,512387			****	****
8	NA s návěsem pr. sp.	1,538130				****

Tabulka 7: Tukeyův test pro objemové hmotnosti

Pórovitost celková

Pórovitost udává celkové procentuální zastoupení volného prostoru (pórů) z celkového objemu. Spolu s objemovou hmotností představují významný ukazatel stavu fyzikálních vlastností. Detailnější informace o kvalitě pórů udává jejich dělení na kapilární, semikapilární a nekapilární [42], [43].

V následujícím grafu (Obrázek 15) jsou znázorněny hodnoty celkové pórovitosti odebraných vzorků. Nižší pórovitost ukazuje na vyšší míru zhuštění.



Obrázek 15: Pórovitost celková

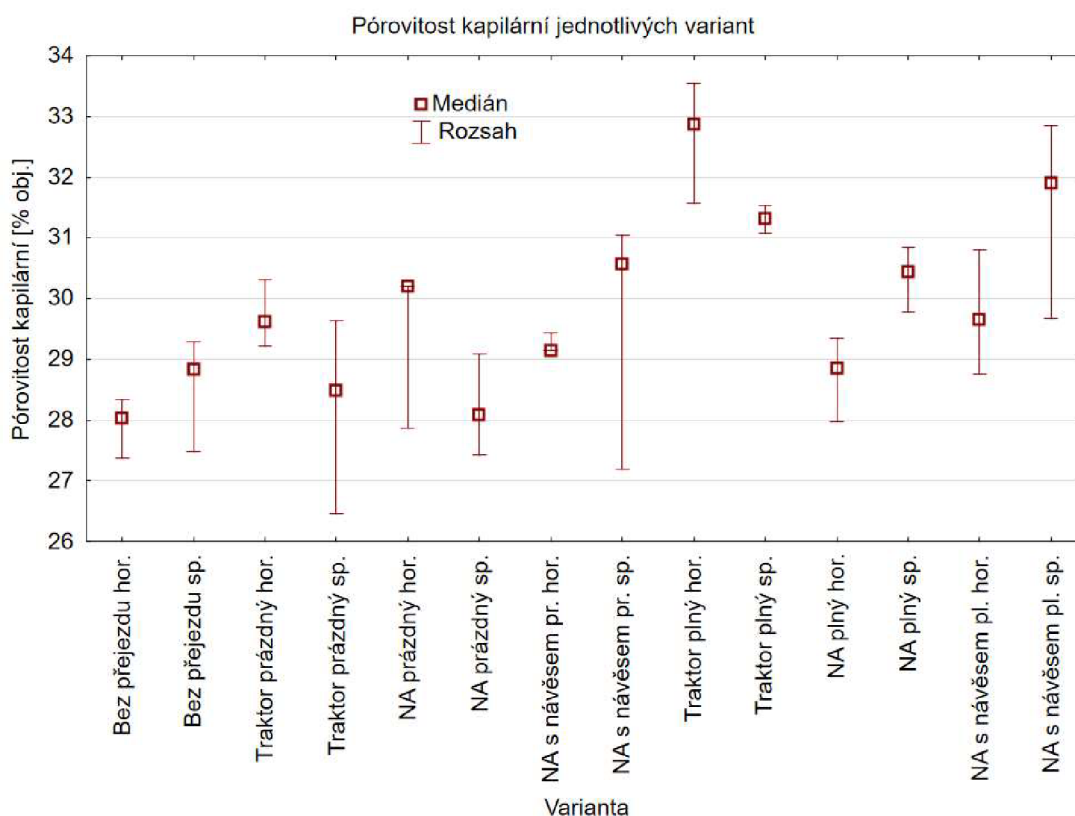
Tukeyův test na hladině významnosti 0,5 našel statisticky významné rozdíly (Tabulka 8). S částečnou výjimkou varianty traktoru s prázdným návěsem ve spodní hloubce, měly všechny odvozové prostředky statisticky významný vliv na celkovou pórovitost.

Cell No.	Varianta	Pórovitost celková redukována [% obj.] Mean	1	2	3	4
8	NA s návěsem pr. sp.	41,95736	****			
7	NA s návěsem pr. hor.	42,92881	****	****		
13	NA s návěsem pl. hor.	43,34302	****	****		
6	NA prázdný sp.	43,35862	****	****		
5	NA prázdný hor.	43,49447	****	****		
14	NA s návěsem pl. sp.	43,64810	****	****		
11	NA plný hor.	43,80969	****	****		
12	NA plný sp.	43,91082	****	****		
10	Traktor plný sp.	44,81648	****	****	****	
9	Traktor plný hor.	45,28239	****	****	****	
3	Traktor prázdný hor.	45,79333	****	****	****	****
4	Traktor prázdný sp.	47,93346		****	****	****
2	Bez přejezdu sp.	49,40277			****	****
1	Bez přejezdu hor.	50,73899				****

Tabulka 8: Tukeyův test pro celkovou pórovitost

Pórovitost kapilární

Udává se, že optimální zastoupení kapilárních pórů (výsledky kapilární pórovitosti jsou znázorněny na Obrázku 16) je okolo dvou třetin z celkového množství. Jejich velký počet omezuje infiltraci vody do půdy. To má za následek omezený příjem vody, provlhčování do menších hloubek, omezené využití potenciálu srážek a zvyšující se povrchový odtok s rizikem eroze na svazích. Naopak nedostatečné zastoupení kapilárních pórů znamená sníženou zásobu vody pro vegetaci [42].



Obrázek 16: Pórovitost kapilární

Na rozdíl od předchozích veličin, nebyly Tukeyovým testem (Tabulka 9) prokázány statisticky významné rozdíly, mezi variantou bez přejezdu a většinou variant odvozových prostředků. Významně se liší pouze horní i spodní vzorky traktoru s plným návěsem a spodní vzorky nákladního automobilu s plným návěsem, které dosahují nejvyšších hodnot.

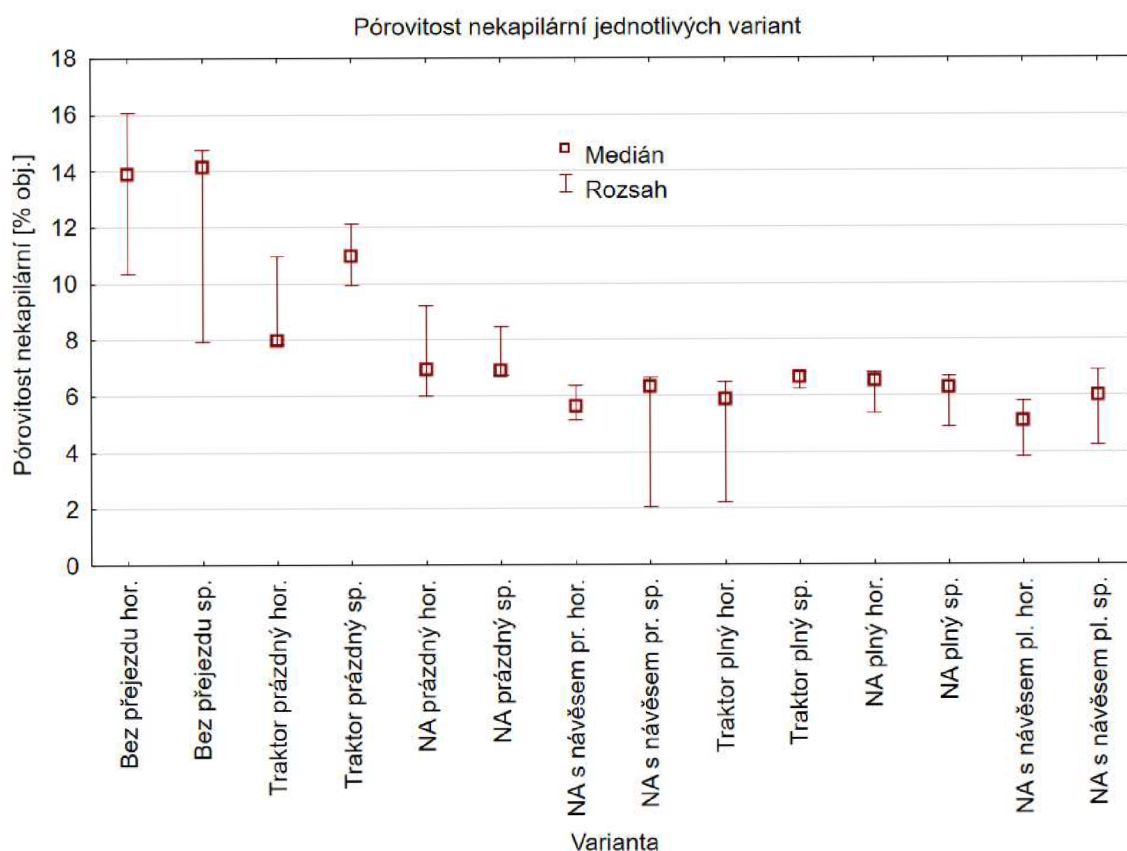
Cell No.	Varianta	Pórovitost kapilární [% obj.] Mean	1	2	3	4
1	Bez přejezdu hor.	27,91400	****			
4	Traktor prázdný sp.	28,19400	****	****		
6	NA prázdný sp.	28,20000	****	****		
2	Bez přejezdu sp.	28,53100	****	****	****	
11	NA plný hor.	28,72100	****	****	****	
7	NA s návěsem pr. hor.	29,24100	****	****	****	
5	NA prázdný hor.	29,41500	****	****	****	
8	NA s návěsem pr. sp.	29,59400	****	****	****	****
3	Traktor prázdný hor.	29,71500	****	****	****	****
13	NA s návěsem pl. hor.	29,73933	****	****	****	****
12	NA plný sp.	30,35300	****	****	****	****
10	Traktor plný sp.	31,31200		****	****	****
14	NA s návěsem pl. sp.	31,47465			****	****
9	Traktor plný hor.	32,66367				****

Tabulka 9: Tukeyův test pro kapilární pórovitost

Pórovitost nekapilární

Nekapilární póry zajišťují infiltraci zejména do větších hloubek. Jejich nadměrné zastoupení vlhkost povrchové vrstvy půdy téměř nezvyšuje, voda může prosakovat takovou rychlostí, že nedochází k nasycení kapilárních pórů a voda se vsakuje do hloubek, kam kořenový systém rostlin již nedosáhne [42].

Výsledné hodnoty nekapilární pórovitosti jednotlivých variant odběru jsou znázorněny na Obrázku 17.



Obrázek 17: Pórovitost nekapilární

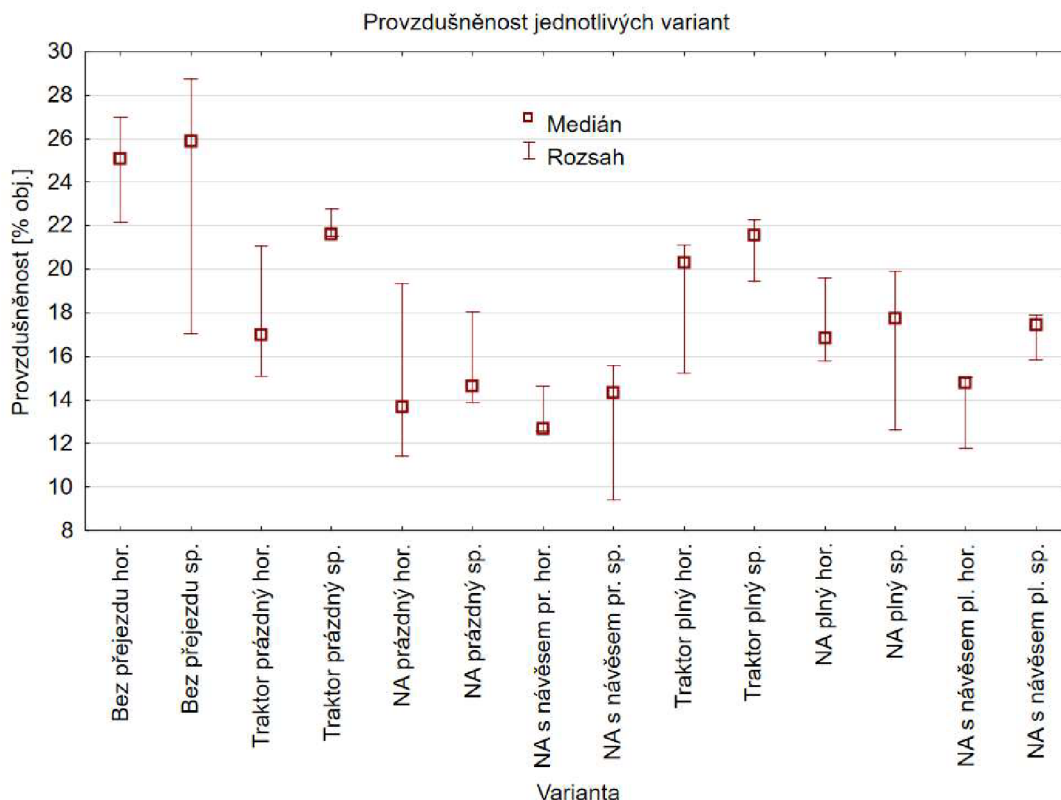
Tukeyův test (Tabulka 10) na hladině významnosti 0,5 pro nekapilární pórovitost dosáhl podobných výsledků, jako ten pro celkovou pórovitost. Jako ve většině případů nejlepších výsledků dosáhl traktor s prázdným návěsem. Ostatní varianty se od sebe příliš neliší.

Cell No.	Varianta	Pórovitost nekapilární [% obj.] Mean	1	2	3	4
9	Traktor plný hor.	4,87139	****			
13	NA s návěsem pl. hor.	4,90402	****			
8	NA s návěsem pr. sp.	5,01103	****			
14	NA s návěsem pl. sp.	5,70620	****	****		
7	NA s návěsem pr. hor.	5,70714	****	****		
12	NA plný sp.	5,96715	****	****		
11	NA plný hor.	6,25102	****	****		
10	Traktor plný sp.	6,57881	****	****		
6	NA prázdný sp.	7,38028	****	****	****	
5	NA prázdný hor.	7,39047	****	****	****	
3	Traktor prázdný hor.	8,93967	****	****	****	****
4	Traktor prázdný sp.	11,01446		****	****	****
2	Bez přejezdu sp.	12,26110			****	****
1	Bez přejezdu hor.	13,44799				****

Tabulka 10: Tukeyův test pro nekapilární pórovitost

Provzdušňenost

Provzdušňenost (výsledky měření na Obrázku 18) je dána množstvím vzduchových pórů při momentální vlhkosti. Jednotkou pro tuto veličinu jsou procenta z celkového objemu půdy. Nabývat může hodnot od nuly až po hodnotu pórovitosti. Malé provzdušnění indikuje zamokření půdy a následnou potřebu melioračního zásahu [42].



Obrázek 18: Provzdušňenost

Tabulka 11 udává výsledky Tukeyova testu. Opět byly zjištěny statisticky významné rozdíly. U všech variant dosahuje medián vyšších hodnot u spodních válečků.

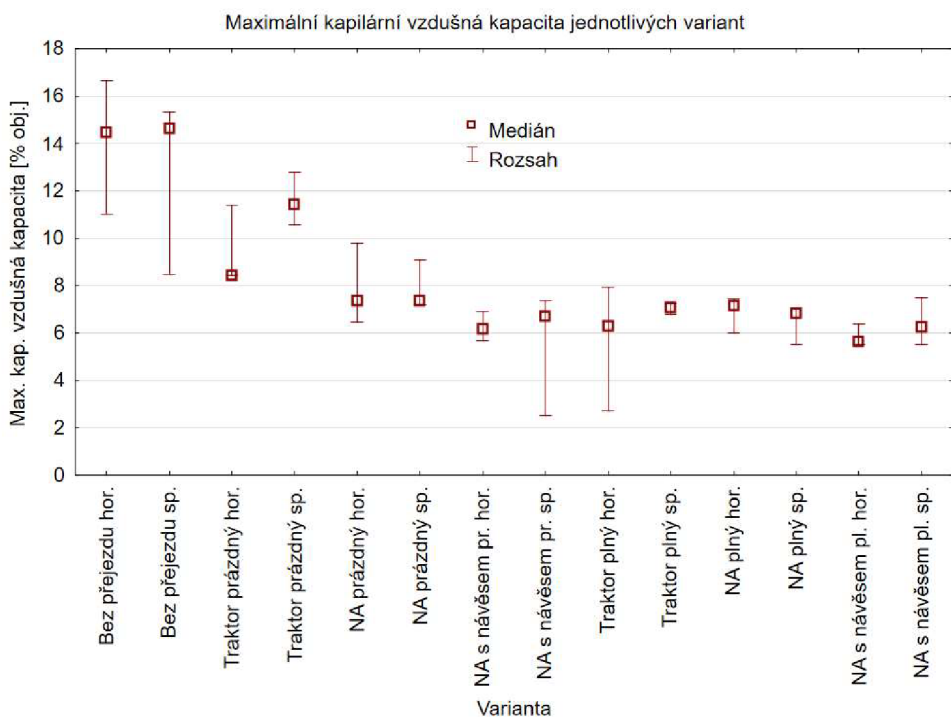
Cell No.	Varianta	Provzdušněnost [% obj.] Mean	1	2	3	4
8	NA s návěsem pr. sp.	13,11636	****			
7	NA s návěsem pr. hor.	13,28714	****	****		
13	NA s návěsem pl. hor.	13,85702	****	****		
5	NA prázdný hor.	14,81780	****	****		
6	NA prázdný sp.	15,53228	****	****	****	
12	NA plný sp.	16,76248	****	****	****	****
14	NA s návěsem pl. sp.	17,04317	****	****	****	****
11	NA plný hor.	17,41335	****	****	****	****
3	Traktor prázdný hor.	17,72433	****	****	****	****
9	Traktor plný hor.	18,88506	****	****	****	****
10	Traktor plný sp.	21,10381	****	****	****	****
4	Traktor prázdný sp.	21,98246		****	****	****
2	Bez přejezdu sp.	23,88377			****	****
1	Bez přejezdu hor.	24,75133				****

Tabulka 11: Tukeyův test pro provzdušněnost

Maximální kapilární vzdušná kapacita

Vzdušná kapacita je úzce spojena s kapacitou vodní. Při sečtení těchto hodnot se dostaneme na hodnotu pórovitosti. Maximální kapilární vodní kapacita představuje schopnost půdy zadržet vodu pro potřeby vegetace. U této charakteristiky není voda zcela ustálena a působením tíhy se dále ustaluje [42].

Výsledky měření jsou znázorněny na Obrázku 19. Tabulka 12 pak uvádí výsledky Tukeyova testu, kde byly opět nalezeny statisticky významné rozdíly.



Obrázek 19: Maximální kapilární vzdušná kapacita

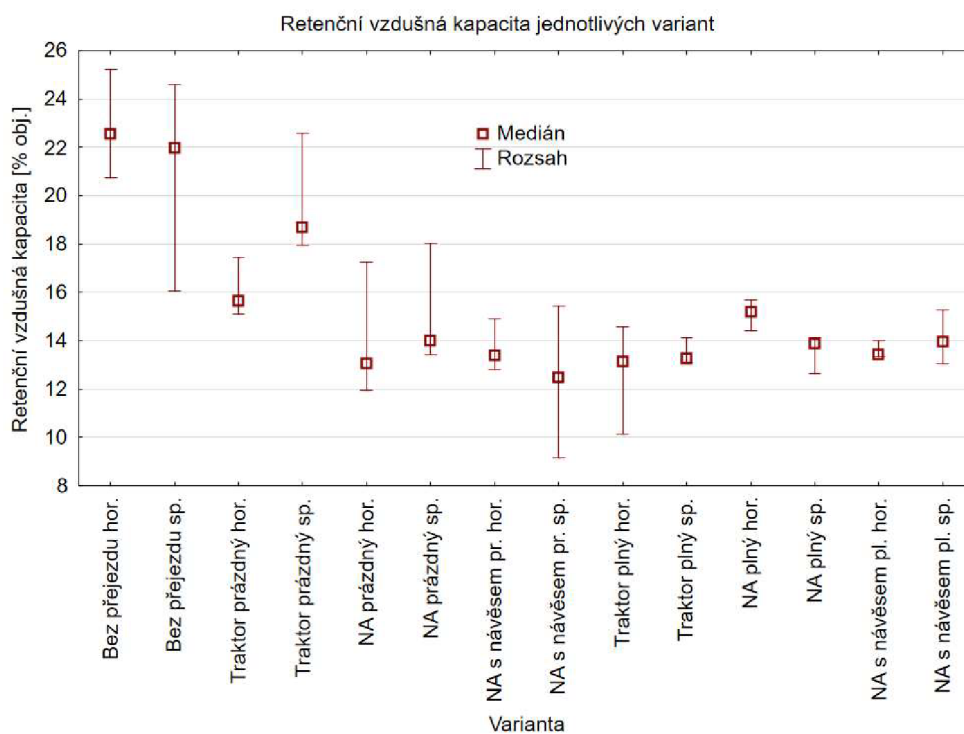
Cell No.	Varianta	Max. kap. vzdušná kapacita [% obj.] Mean	1	2	3	4
8	NA s návěsem pr. sp.	5,53536	****			
9	Traktor plný hor.	5,65172	****			
13	NA s návěsem pl. hor.	5,84169	****			
7	NA s návěsem pr. hor.	6,25514	****	****		
14	NA s návěsem pl. sp.	6,41811	****	****		
12	NA plný sp.	6,47415	****	****		
11	NA plný hor.	6,87135	****	****		
10	Traktor plný sp.	7,02748	****	****		
5	NA prázdný hor.	7,85747	****	****	****	
6	NA prázdný sp.	7,88862	****	****	****	
3	Traktor prázdný hor.	9,40467	****	****	****	****
4	Traktor prázdný sp.	11,58479		****	****	****
2	Bez přejezdu sp.	12,81077			****	****
1	Bez přejezdu hor.	14,05099				****

Tabulka 12: Tukeyův test pro maximální kapilární vzdušnou kapacitu

Retenční vzdušná kapacita

Stejně jako u maximální kapilární vzdušné kapacity, je také tato hodnota spjata s vodní kapacitou. Na rozdíl od předchozích hodnot, představuje retenční vodní kapacita ustálený stav vlhkosti blízký teoretickému [42].

Obrázek 20 znázorňuje výsledky měření. V Tabulce 13 jsou uvedeny výsledky Tukeyova testu.



Obrázek 20: Retenční vzdušná kapacita

Cell No.	Varianta	Retenční vzdušná kapacita [% obj.] Mean	1	2	3	4
8	NA s návěsem pr. sp.	12,36336	****			
9	Traktor plný hor.	12,61872	****			
10	Traktor plný sp.	13,50448	****	****		
12	NA plný sp.	13,55782	****	****		
13	NA s návěsem pl. hor.	13,60369	****	****		
7	NA s návěsem pr. hor.	13,68781	****	****		
5	NA prázdný hor.	14,07947	****	****		
14	NA s návěsem pl. sp.	14,09004	****	****		
11	NA plný hor.	15,08869	****	****	****	
6	NA prázdný sp.	15,15862	****	****	****	
3	Traktor prázdný hor.	16,07833	****	****	****	
4	Traktor prázdný sp.	19,73946		****	****	****
2	Bez přejezdu sp.	20,87177			****	****
1	Bez přejezdu hor.	22,82499				****

Tabulka 13: Tukeyův test pro retenční vzdušnou kapacitu

8 Diskuze

Z výsledků rozborů neporušených půdních vzorků, podrobně uvedených v předchozí kapitole, vyplývá negativní vliv přejezdů zemědělské techniky na fyzikální vlastnosti půdy. Tato problematika však není záležitostí pouze posledních let. Zhutněním a jeho vlivem na půdní prostředí a následné výnosy se zabývali již na začátku druhé poloviny minulého století například Raney et al. (1955) z hlediska dopravy a zpracování půdy [44] nebo Tanner a Mamaril (1959), kteří se zaměřili na pokles výnosů plodin [45]. S vývojem techniky a nárůstem její hmotnosti se otázka zhutnění stávala více důležitou. Vlivem přejezdů traktoru na půdu se zabýval Froehlich (1979) [46]. V posledních letech se na toto téma zaměřuje stále více autorů. Například Hamza a Anderson (2005) diskutují podstatu a příčiny zhutnění, navrhují možná řešení a postupy [47]. Batey (2009), jehož práce se soustředí na dopad zhutnění půdy a na praktické problémy spojené s hospodařením s půdou. Pojednává o kontextu současného stavu a o příčinách a možné eliminaci zhutnění [18]. Nebo Nawaz et al. (2013), který se zaměřil na danou problematiku z hlediska fyzikálních vlastností půd a vlivu na vývoj rostlin [48]. A mnoho dalších autorů.

Ze zkoumaných parametrů zpravidla nejlépe vycházela souprava traktoru s návěsem. U prázdné varianty této odvozové soupravy v mnohých případech nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly v porovnání s variantou bez přejezdu. Jedinou výjimku představuje kapilární pórovitost, u které nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi variantou bez přejezdu a většinou ostatních variant. Souprava traktoru s návěsem se ukázala v několika případech jako nejméně škodlivá také mezi plnými odvozovými prostředky, zde však nebyly rozdíly tak patrné. Čtyřnápravový nákladní automobil a nákladní automobil s návěsem se od sebe ve většině případů významně nelišily. Nepatrně lepších výsledků dosahoval samotný nákladní automobil, tyto hodnoty však nebyly obvykle statisticky významné a to v případech plných i prázdných nákladových prostorů.

Vlivem různých odvozových prostředků mimo jiné na pórovitost a objemovou hmotnost při sklizni cukrové třtiny se zabýval Lozano (2013). Jeho měřením byla také zjištěna nejmenší škodlivost přejezdu traktorovou soupravou. Naproti tomu nákladní automobily vykazovaly vyšší míru zhutnění dosahující větších hloubek [49]. Snižující se zhutnění s narůstající hloubkou naměřil také Barik et al. (2014) [50]. V obou případech byla měření

prováděna i ve větších hloubkách a to až 30 cm pod povrchem. V mém případě byly vzorky odebrány z hloubky maximálně 15 centimetrů a tento jev není u všech zkoumaných parametrů zcela patrný. Nejvýznamnější je tento trend u traktoru s prázdným návěsem, u ostatních variant, zejména u těch plných není tolik významný. Lze tak usuzovat že v těchto případech dochází k působení do větších hloubek.

S výsledky neporušených půdních vzorků do značné míry korespondují výsledky měření hloubky jízdní stopy. Také u tohoto parametru byla v obou případech naměřena nejmenší hloubka stopy pro soupravu traktoru s návěsem. Rozdíl mezi variantou bez přejezdu a traktorem s prázdným návěsem byl však statisticky významný. Hlubší stopu vytvořil nákladní automobil a nejhlubší pak nákladní automobil s návěsem. Pořadí všech odvozových prostředků bylo stejné pro plné i prázdné varianty. V případě prázdných prostředků však nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi nákladními automobily.

Měřením vlivu přejezdů techniky se věnoval Elliason (2005). Přestože se zabýval spíše počtem přejezdů a různým tlakem huštění pneumatik, než porovnáním různých prostředků, také z jeho výsledků je patná souvislost mezi hloubkou stopy a zhutněním. Kdy v případě hlubší stopy došlo k většímu zhutnění. Ze svých výsledků dospěl k závěru, že snížením tlaku o zhruba 100 kPa nedojde k výraznému snížení hloubky stopy [51].

Přestože má traktor s návěsem největší vlastní i celkovou hmotnost dosáhl nejlepších výsledků ze zúčastněných odvozových prostředků především kvůli svým pneumatikám. Ty jsou nejen nezanedbatelně širší, ale v případě traktoru mají také výrazně větší průměr. Šířka a průměr pneumatiky udávají velikost styčné plochy a výsledný tlak na podložku, což je klíčové při zhutnění půdy.

To potvrzuje Ansorge et. al (2007), který se zabýval laboratorním porovnáním různě velkých pneumatik a pásů zatížených stejnou hmotností. Z jeho výsledků vyplývá pokles nežádoucích účinků s nárůstem šířky a velikosti styčné plochy. Dospěl také k závěru, že ke snížení zhutnění je výhodnější větší průměr než větší šířka pneumatiky. Zároveň zjistil významný vliv nahuštění pneumatiky, kdy o 20% širší pneumatika nahuštěná o 30 kPa více působila na půdu stejně jako ta užší méně nahuštěná. Na tuto práci navázal v následujících letech, kdy porovnával vliv přejezdů více náprav za sebou [52].

9 Závěr

Tato diplomová práce je věnována problematice zemědělské dopravy a jejímu vlivu na půdní prostředí. První část se zabývá dopravou jako takovou, dopravními prostředky, přípojnými vozidly a nástavbami používaných v zemědělství. Další část se věnuje půdě a nežádoucím vlivům, které ji ohrožují. Shrnuty jsou zde vodní a větrná eroze, acidifikace a dehumifikace. Zvláštní pozornost je zaměřena na zhutnění, na které může mít doprava naprosto zásadní dopad. Rozebrány jsou vlivy na půdní prostředí a růst rostlin. Následuje rozbor možností omezujících následky zhutnění od systému řízených přejezdů, po volbu vhodného pojezdového ústrojí. V případech, kdy dojde ke zhutnění je vhodné zvolit jedno z nápravných opatření popsanych v další kapitole.

Praktická část porovnává rozdílné druhy odvozových prostředků, se kterými se lze v zemědělství setkat, zejména při sklizni obilovin a olejnin. Analyzovány byly technické parametry vozidel, hloubka stopy a neporušené půdní vzorky odebrané po přejezdu prázdných a plných prostředků v průběhu sklizně ozimé pšenice.

Doprava je se zemědělstvím neodmyslitelně spjata a tvoří jeho podstatnou část. U množství operací se nedá vyhnout pohybu odvozové techniky po pozemcích. V posledních letech stále dochází ke zvyšování přepravních kapacit, s tím samozřejmě souvisí i nárůst hmotnosti. Z těchto důvodů se zvyšuje riziko negativního vlivu na půdní prostředí, zejména zhutnění, kterému je nutné věnovat náležitou pozornost. Dlouhodobé vystavování půdy negativním vlivům může mít za následek její degradaci. To je závažný problém, protože půda jakožto neobnovitelný přírodní zdroj, zajišťuje potravu pro celé lidstvo, krmivo pro zvířata a správnou funkci přírodních koloběhů.

Mezi hlavní zdroje informací literární rešerše patří odborné a internetové články, výzkumy a knihy zaměřené na danou problematiku. Využil jsem také nabyté zkušenosti získané několika sezónami strávených prací v zemědělském podniku. Vstupní data do praktické části pochází z vlastního polního měření. Analýza všech zkoumaných veličin proběhla pomocí statistického softwaru, kde se uskutečnila analýza Tukeyovým post-hoc testem. Následně byly hodnoty znázorněny v krabicových neboli boxplot grafech.

Negativnímu vlivu zemědělské techniky na půdu nelze zcela zabránit, vhodným přístupem však lze nežádoucí účinky omezit. Faktory jako je počasí ovlivnit nedokážeme,

zvolenou techniku a její pohyb ovšem ovlivnit můžeme. Řada výrobců se této problematice věnuje a nabízí stroje šetrnější k půdě. Jedná se například o překládací vozy s pásovým podvozkem nebo klasické návěsy opatřené širšími pneumatikami, či více nápravami. V případě využití nákladních automobilů jako odvozových prostředků je vhodná jejich kombinace s překládacím vozem, který se pohybuje po poli. Také stroje pro hluboké zpracování půdy procházejí neustálým vývojem a ve svém portfoliu je mají téměř všichni velcí výrobci. Pokud dojde ke zhutnění je velice vhodné tyto stroje použít.

Výsledky potvrdily, že ze zkoumaných odvozových prostředků nejméně negativně ovlivňuje půdu souprava traktoru s návěsem. U některých zkoumaných veličin dokonce nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi variantou bez přejezdu a přejezdem touto prázdnou soupravou. Větší dopad na půdu než traktor měly nákladní automobily. Samotný nákladní automobil dosáhl lepších výsledků, než ten s návěsem. Mezi jednotlivými parametry však nebyly velké rozdíly. Pořadí strojů bylo stejné pro plné i prázdné varianty.

Do budoucna je nutné věnovat problematice zhutnění náležitou pozornost. Lze předpokládat, že dokud se bude zemědělská technika pohybovat po pozemcích, bude toto téma stále aktuální. Čelit tomuto problému nemusí být vždy jednoduché, existuje však celá řada opatření. Vhodné je především zaměření na prevenci, ta může být v mnohých případech jednodušší, rychlejší a především méně ekonomicky nákladná.

10 Seznam zdrojů

- [1] SYROVÝ, Otakar. Doprava v zemědělství. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-30-4.
- [2] BARTOLOMĚJEV, Alexandr. DOPRAVA A PŮDA V ZEMĚDĚLSTVÍ [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/doprava-a-puda-v-zemedelstvi/>
- [3] JAVOREK, Filip. Obvyklé druhy zemědělské dopravy. Mechanizace zemědělství. 2014, LXIV(6), 66-68. ISSN 0373-6776.
- [4] FUKA, Vladislav. Jaký výkon traktoru do dopravy? [online]. 2020 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/jaky-vykon-traktoru-do-dopravy/>
- [5] FUKA, Vladislav. Doprava materiálu v nových dimenzích [online]. 2016 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/doprava-materialu-v-novyhdimenzich/>
- [6] JAVOREK, Filip. Nákladní automobily v zemědělství. Mechanizace zemědělství. 2014, LXIV(6), 58-60. ISSN 0373-6776.
- [7] FUKA, Vladislav. Výhody registrace vozidel jako traktor [online]. 2020 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/vyhody-registrace-vozidel-jakotraktor/>
- [8] JAVOREK, Filip. Víceúčelová dopravní technika. Farmář. Profi Press, 2016, 22(12), 48-50. ISSN 1210-9789.
- [9] PALM, Cheryl, et al. Soils: A contemporary perspective. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 2007, 32: 99-129.
- [10] ŠARAPATKA, Bořivoj. Půda - přehlížené bohatství: publikace pro střední školy i další zájemce o danou problematiku. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci ve spolupráci s Českou pedologickou společností, z.s. a Radou vědeckých společností ČR, 2021. ISBN ISBN978-80-244-6022-2.
- [11] SITUAČNÍ A VÝHLEDOVÁ ZPRÁVA PŮDA. [Praha]: Ministerstvo zemědělství České republiky, [2021]-. ISBN ISBN978-80-7434-598-2.
- [12] PANAGOS, Panos, et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 2015, 54: 438-447.
- [13] Zpráva o životním prostředí České republiky. [Praha]: Ministerstvo životního prostředí, 2020. ISBN ISBN 978-80-7674-028-0.
- [14] *Eroze od roku 2019: Uživatelská příručka*. Ministerstvo zemědělství České republiky.

- [15] JAVŮREK, Miloslav a Milan VACH. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008. ISBN 978-80-87011-57-7.
- [16] HŮLA, J., Milan KROULÍK a Pavel KOVAŘÍČEK. VLIV OPAKOVANÝCH PŘEJEZDŮ PO PŮDĚ NA STUPEŇ ZHUTNĚNÍ PŮDY. Katedra zemědělských strojů, Technická fakulta, ČZU v Praze, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha.
- [17] Utužení pudy neznamena zhutneni [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/utuzeni-pudy-neznamena-zhutneni/>
- [18] BATEY, Tom. Soil compaction and soil management—a review. *Soil use and management*, 2009, 25.4: 335-345.
- [19] DEJONG-HUGHES, Jodi, et al. *Soil compaction: causes, effects and control*. St. Paul, MN: University of Minnesota Extension Service, 2001.
- [20] POKORNÝ, Eduard, Bořivoj ŠARAPATKA a Květuše HEJÁTKOVÁ. Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007. ISBN 80-903-5485-8.
- [21] KROULÍK, M., J. HŮLA, F. KUMHÁLA a I. HONZÍK. *HODNOCENÍ INTENZITY ZATÍŽENÍ PŮDY PNEUMATIKAMI ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ*. Katedra zemědělských strojů, Technická fakulta, ČZU v Praze.
- [22] PRAŽAN, Radek, Karel KUBÍN a Ilona GERNDTOVÁ. Hlavní faktory technogenního zhutnění půdy. *Mechanizace zemědělství*. 2014, LXIV(1). ISSN 0373-6776.
- [23] What is CTF? [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://www.controlledtrafficfarming.com/what-is-ctf>
- [24] STEHNO, Luboš. CTF – zkušenosti z domova i zahraničí [online]. 2015 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/ctf-zkusenosti-z-domova-izahranici/>
- [25] FUKA, Vladislav. Má význam dělená doprava? [online]. 2017 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/ma-vyznam-delena-doprava/>
- [26] Jilek, P., Šefčík, I. a Dušek, L. (2016). PNEUMATIKY PRO ZEMĚDĚLSKOU TECHNIKU. *Perner's Contacts*, 11(3), 80–89. Dostupné z <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/549>

- [27] FUKA, Vladislav. Má smysl měnit tlak vzduchu v pneumatikách? [online]. 2017 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/ma-smysl-menit-tlakuvzduchu-v-pneumatikach/>
- [28] FUKA, Vladislav. Novinky v regulaci tlaku vzduchu v pneumatikách [online]. 2021 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/prakticky-vyresenaregulace-tlaku-vzduchu-v-pneumatikach/>
- [29] FUKA, Vladislav. Jak funguje regulace tlaku vzduchu v pneumatikách [online]. 2018 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/jak-funguje-regulacetlaku-vzduchu-v-pneumatikach/>
- [30] FUKA, Vladislav. Zásobník vzduchu v ráfku Tank Air Wheel [online]. 2018 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/zasobnik-vzduchu-v-rafku-tankair-wheel/>
- [31] TERRACARE Automatický systém regulace tlaku v pneumatikách pro traktory [online]. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.newia.cz/download/9-terra-care-produktovy-letak-2020/>
- [32] BRANT, Václav. Základy zpracování půdy (8): Zhutnění půdy a kypření podorničních vrstev půdního profilu [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/zaklady-zpracovani-pudy-8-zhutneni-pudy-a-kypreni-podornicnich-vrstev-pudniho-profilu>
- [33] KŘEN, Jan, Lubomír NEUDERT, Blanka PROCHÁZKOVÁ, Vladimír SMUTNÝ a Josef HŮLA. OBECNÁ PRODUKCE ROSTLINNÁ – 2. ČÁST: Zpracování půdy, Herbologie. 2015. Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta. ISBN 978-80-7509-327-1.
- [34] HŮLA, J., Pavel KOVAŘÍČEK a Marcela VLÁŠKOVÁ. Trvanlivost jednorázového prokypření zhutnělé vrstvy v půdním profilu. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha.
- [35] *Zemědělská obchodní společnost Onomyšl, a.s.* [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://www.zosonomysl.cz/>
- [36] *Osvědčení o registraci zvláštního motorového vozidla a zvláštního přípojného vozidla I. část: JOHN DEERE 8430.*
- [37] *Osvědčení o registraci zvláštního motorového vozidla a zvláštního přípojného vozidla I. část: BIG 27.20.*

- [38] *Osvědčení o registraci zvláštního motorového vozidla a zvláštního přípojného vozidla I. část: MAN TGA 41.410.*
- [39] *Osvědčení o registraci vozidla I. část: SCANIA R620.*
- [40] *Osvědčení o registraci přípojného vozidla I. část: SCHWARZMÜLLER KIS-3/E.*
- [41] HAMMEROVÁ, Anna. Odběr půdních vzorků [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-poster_odber_pudnich_vzorku.pdf
- [42] VALLA, Miloš. Pedologické praktikum. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002. ISBN 978-80-213-0914-2.
- [43] SÁŇKA, Milan; MATERNA, Jan. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Ministerstvo životního prostředí, 2004.
- [44] RANEY, W. A.; EDMINSTER, T. W.; ALLAWAY, W. H. Current status of research in soil compaction. *Soil Science Society of America Journal*, 1955, 19.4: 423-428.
- [45] TANNER, C. B.; MAMARIL, C. P. Pasture Soil Compaction by Animal Traffic 1. *Agronomy Journal*, 1959, 51.6: 329-331.
- [46] FROEHLICH, Henry A. Soil compaction from logging equipment: effects on growth of young ponderosa pine. Forest Service, US Department of Agriculture, 1979.
- [47] HAMZA, M. A.; ANDERSON, Walter K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and tillage research*, 2005, 82.2: 121-145.
- [48] NAWAZ, Muhammad Farrakh; BOURRIE, Guilhem; TROLARD, Fabienne. Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for sustainable development*, 2013, 33: 291-309.
- [49] LOZANO, N., et al. Evaluation of soil compaction by modeling field vehicle traffic with SoilFlex during sugarcane harvest. *Soil and Tillage Research*, 2013, 129: 61-68.
- [50] BARIK, Kenan, et al. Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations. *Catena*, 2014, 120: 122-133.
- [51] ELIASSON, Lars. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*, 2005, 39.4: 549.
- [52] ANSORGE, Dirk; GODWIN, R. J. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies. *Biosystems Engineering*, 2007, 98.1: 115-126.

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Nákladní automobil určený pro zemědělství (Zdroj: vlastní foto)	5
Obrázek 2: Návěs a přívěs (Zdroj: vlastní foto)	8
Obrázek 3: Vodní eroze na svažitém pozemku (Zdroj: vlastní foto)	12
Obrázek 4: Porovnání kořenů řepky olejky z oblasti blízko vjezdu na pozemek (vlevo) a z oblasti uprostřed pozemku (vpravo) (Zdroj: vlastní foto).....	16
Obrázek 5: Přírůstky penetračního odporu při opakovaných přejezdech [22]	17
Obrázek 6: Jízdní stopy při využití systému řízených přejezdů [23] (upraveno)	19
Obrázek 7: JOHN DEERE 8430 + BIG 27.20 (Zdroj: vlastní foto)	28
Obrázek 8: MAN TGA 41.410 (Zdroj: vlastní foto).....	29
Obrázek 9: SCANIA R620 + SCHWARZMÜLLER KIS-3/E (Zdroj: vlastní foto)	30
Obrázek 10: Hmotnosti odvozových prostředků.....	31
Obrázek 11: Schématické znázornění jízdních stop jednotlivých strojů a úseků měření	32
Obrázek 12: Schéma měření hloubky jízdní stopy	33
Obrázek 13: Hloubky jízdních stop	35
Obrázek 14: Objemové hmotnosti	37
Obrázek 15: Pórovitost celková	38
Obrázek 16: Pórovitost kapilární	40
Obrázek 17: Pórovitost nekapilární	41
Obrázek 18: Provdušňenost.....	42
Obrázek 19: Maximální kapilární vzdušná kapacita	43
Obrázek 20: Retenční vzdušná kapacita.....	44

12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Objemová hmotnost a snížení výnosu pro vybrané plodiny [15].....	16
Tabulka 2: Technické údaje traktoru JOHN DEERE a návěsu WTC [36], [37]	28
Tabulka 3: Technické údaje nákladního automobilu MAN [38]	29
Tabulka 4: Technické údaje nákladního automobilu SCANIA [39], [40].....	30
Tabulka 5: Tukeyův test pro hloubku stopy	36
Tabulka 6: Průměrná vlhkost vzorků	36
Tabulka 7: Tukeyův test pro objemové hmotnosti	38
Tabulka 8: Tukeyův test pro celkovou pórovitost	39
Tabulka 9: Tukeyův test pro kapilární pórovitost.....	40
Tabulka 10: Tukeyův test pro nekapilární pórovitost.....	42
Tabulka 11: Tukeyův test pro provzdušněnost	43
Tabulka 12: Tukeyův test pro maximální kapilární vzdušnou kapacitu.....	44
Tabulka 13: Tukeyův test pro retenční vzdušnou kapacitu.....	45