

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2017

Bc. MILAN NOVÁK



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



**Vliv používání nákladního automobilu v zemědělství na
půdní prostředí**
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Milan Novák



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Milan Novák
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Zemědělské inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.

Název práce: **Vliv používání nákladního automobilu v zemědělství na půdní prostředí**
Jazyková varianta: Čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte odbornou literaturu zabývající se danou problematikou
2. Seznamte se s přírodními a výrobními podmínkami pokusné lokality
3. Vypracujte metodiku a vyberte vhodné varianty polních pokusů
4. Dle metodiky provádějte polní měření, odběr a analýzy vzorků
5. Získané hodnoty zhodnoťte a statisticky porovnejte
6. Proveďte celkové hodnocení a zjištěné závěry zpracujte v závěrečné práci

Rozsah práce: 50-60 stran

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Vliv používání nákladního automobilu v zemědělství na půdní prostředí vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 27. dubna 2017

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Lubomíru Neudertovi, Ph.D. za veškerou pomoc, ochotu, trpělivost, věnovaný čas, cenné rady, věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích a poskytnuté materiály. Děkuji zaměstnancům Ústavu agrosystémů a bioklimatologie paní Lence Ježové a Ivoně Kurczové, dále pak Karlu Machainovi a dalším zaměstnancům Agrodružstva Blížkovice, Bc. Josefu Adámkovi, Petru Neumanovi z P&L a Janu Novákovi za obětavou pomoc při provádění a vyhodnocování pokusu.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je zjištění vlivu používání nákladního automobilu v zemědělství na prostředí hlinitopísčité půdy. Byl porovnáván vliv na pedokompakci při použití různé mechanizace v provozních podmínkách. Za účelem práce byly použity soupravy traktoru s návěsem a agrotahače TATRA s návěsem.

Těžištěm práce je polně-laboratorní pokus, na jehož základě byly vyhodnoceny vlivy přejezdů jednotlivých souprav na půdu. Pokus probíhal v roce 2015 na pozemku, který obhospodařuje Agrodružstvo Blížkovice. Během pokusu byly hodnoceny klíčové ukazatele utužení půdy.

V rámci řešerské části byla charakterizována půda jako taková, dále byla prostudována problematika pedokompakce a různé dopravy v zemědělství. Experimentální část zahrnuje použitou metodiku a materiál práce spolu s výsledky měření a diskusí výsledků.

Dopravní operace představují více než 50 % celkových objemů výkonů v zemědělství. Spolu s intenzifikací zemědělství a současným zvětšováním zemědělské techniky se začal prohlubovat problém nadměrného utužení půd. Pedokompakce negativním způsobem ovlivňuje fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a snižuje její úrodnost.

Výrobci zemědělské techniky se snaží vyvíjet nové technologie mechanizace, která by minimalizovala utužení půdy. Z tohoto hlediska se jako vhodnější ukázala souprava traktoru s návěsem. Vhodným řešením se zdá být i používání speciálních systémů centrálního podhušťování a dohušťování pneumatik.

Klíčová slova: pedokompakce, fyzikální vlastnosti půdy, struktura půdy, penetrometrický odpor půdy, střední kontaktní tlak, tlak v pneumatikách, agrotahač TATRA

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to determine the influence of using an agri-tractor in agriculture and its impact on the environment of sandy loam soil. The influence on the pedocompact is compared when using different mechanization under operating conditions. A tractor with semi-trailer and TATRA agri-tractor with semi-trailer were used for that purpose.

The main point of the work is a field-laboratory experiment, on the basis of which the influence of transitions of individual ensembles on the soil is evaluated. The experiment was carried out in 2015 on the land farm cultivate by Agrodružstvo Blížkovice. Key indicators of soil compaction were appraised during the experiment.

Within the literary research soil itself is characterized in general, as well as the issues of soil compaction and various types of transport in agriculture. The experimental part includes the methodology used, the material researched together with the measurement results and further discussion on the topic.

Transport operations represent more than 50 % of the total agricultural output volume. Along with the intensification of agriculture and simultaneous magnification of agricultural technology the problem of excessive soil compaction had begun to deepen. The soil compaction negatively affects the physical and chemical characteristics of soil and reduces its fertility.

Agricultural equipment manufacturers have been trying to develop new mechanization technologies to minimize soil compaction. Considering soil compaction, the use of a tractor with semi-trailer has appeared as more suitable. Appropriate solution seems to be using special central tire inflation system or in contrast different ways of their underinflation.

Key words: soil compaction, physical soil characteristics, soil structure, penetrometric soil resistance, medium contact pressure, tyre air pressure, agri-tractor TATRA

OBSAH

1 ÚVOD.....	9
2 LITERÁLNÍ PŘEHLED.....	11
2.1 Půda	11
2.1.1 Vznik a vývoj půdy	12
2.1.2 Funkce půdy	14
2.1.3 Půdně klasifikační jednotky	15
2.1.4 Zemědělský půdní fond České republiky.....	17
2.2 Pedokompakce.....	21
2.2.1 Příčiny pedokompakce	22
2.2.2 Důsledky pedokompakce na růst rostlin	23
2.2.3 Vliv pedokompakce na půdní prostředí a fyzikální vlastnosti půdy	24
2.2.4 Agrobiologická a technologicko-organizační opatření vedoucích k omezování pedokompakce.....	30
2.2.5 Agromeliorační mechanické zásahy pro odstraňování pedokompakce	30
2.3 Doprava v zemědělství	31
2.3.1 Traktorová doprava v zemědělství	32
2.3.2 Nákladní automobilová doprava v zemědělství	35
2.3.3 Porovnání traktorové a nákladní automobilové dopravy v zemědělství	40
3 CÍL PRÁCE	42
4 MATERIÁL A METODIKA.....	43
4.1 Charakteristika Agrodružstva Blížkovice.....	43
4.2 Charakteristika půdního bloku	43
4.3 Charakteristika použité zemědělské techniky	44
4.3.1 FENDT 926 Vario TMS a ANNABURGER HTS 22.79	45
4.3.2 TATRA Phoenix agrotahač 6x6 a BERGMANN HW-11	46
4.3 Charakteristika pokusu	48

4.3.1 Odběr fyzikálních Kopeckého válečků	49
4.3.2 Odběr vzorků půdy pro stanovení její struktury	50
4.3.3 Měření penetrometrického odporu půdy	53
4.3.4 Měření otisků pneumatik a stanovení středního kontaktního tlaku	53
4.3.5 Měření profilu koleje.....	55
4.4 Postup zpracování výsledků a statistického vyhodnocení	56
5 VÝSLEDKY	57
5.1 Fyzikální vlastnosti půdy.....	57
5.1.1 Objemová hmotnost redukována.....	57
5.1.2 Celková pórovitost	59
5.1.3 Minimální vzdušná kapacita	61
5.2 Struktura půdy	63
5.2.1 Koeficient strukturnosti.....	63
5.2.2 Vodostálost půdních agregátů	65
5.3 Penetrometrický odpor půdy	67
5.4 Otisky pneumatik a střední kontaktní tlak.....	70
5.5 Profil koleje	72
6 DISKUSE.....	73
7 ZÁVĚR.....	76
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ.....	77
9 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	80
10 SEZNAM TABULEK	81
PŘÍLOHY	82

1 ÚVOD

Zemědělství, jakožto jeden ze čtyř sektorů ekonomiky, hraje v národním hospodářství velmi důležitou roli. Poptávka po jeho produktech v důsledku vyšších životních nároků a celkového rozšíření sfér obyvatelstva neustále roste a klade na životní prostředí a jeho obhospodařovatele velké nároky. V mnoha případech jsou ovšem tyto nároky uspokojovány bez ohledu na náš nejcennější dar, kterým je půda.

Bez nadsázky lze říci, že půda je neobnovitelný přírodní zdroj a v rámci zemědělské prvovýroby má zcela nezastupitelnou roli. Vzhledem k tomu, jaký má půda z historického hlediska význam, lze předpokládat, že tomu nebude jinak ani v nadcházející době. Současný urbanizační trend, jehož vedlejším efektem je ve většině případů i úbytek zemědělsky využitelné půdy, dále zvyšuje její cenu. Logickým vyústěním stále rostoucího počtu obyvatel je zvýšení nároků na její produkční funkci. Podmínkou naplnění poptávky zemědělské prvovýroby je tedy obdělávání půdy s optimálními fyzikálními vlastnostmi. Tyto vlastnosti jsou však významně degradovány jejím zhutněním. Existuje tedy negativní korelace mezi zvýšenou pedokompakcí a kvalitou půdy, potažmo její úrodností. Mělo by proto být v zájmu každého, kdo na půdě hospodaří, aby o ni pečoval co nejlépe.

Trendem, který je patrný nejen v zemědělství, je výrazná intenzifikace produkce. Ta je spojena s používáním moderní, výkonné techniky. Průvodním jevem výkonnější zemědělské techniky jsou její rostoucí rozměry, a hlavně zvyšující se hmotnost. Dojde-li k jejímu nesprávnému použití, zejména při zvýšené vlhkosti půdy, může být obdělávaná půda, vlivem pojezdů, nadměrně utužena. Taková půda potom ztrácí svou retenční schopnost, čímž se zvyšuje, mimo jiné, i riziko eroze. Dalším negativním jevem je pokles samočistící schopnosti a okyselení, které je se zhutněním spojeno.

V České republice je pedokompakcí ohroženo okolo 49 % zemědělské půdy. Zhoršení vodního, teplotního a vzdušného režimu utužené půdy je hybnou silou výzkumu, který se snaží hledat nové postupy a technologie, které by zhutnění zabránily. Jistým řešením může být vhodné použití progresivních prvků u zemědělské techniky, kterými jsou například flotační pneumatiky či pásové podvozky, stejně tak vhodné agrotechnické postupy při střídání plodin na půdních blocích, či řízení pojezdů.

Pedokompakce není pouze tuzemskou záležitostí, jedná se o eskalující problém v mezinárodním měřítku. Důležitost výzkumu sledované problematiky je stále více hmatatelná a její závěry mohou naplnit základní požadavek zachování produkčních vlastností zemědělské půdy, a tedy její jedinečné hodnoty.

2 LITERÁLNÍ PŘEHLED

2.1 Půda

Názory na půdu se z historického hlediska vyvíjely dvěma směry. Prvním z nich bylo statické nazírání, jenž považovalo půdu za neživou směs zvětralých hornin a odumřelých organických zbytků v různém stupni rozkladu. Zde do tohoto směru můžeme zařadit Rammanovu definici: „Půda je povrchová zvětrávající vrstva pevné zemské kůry, která se skládá z rozdrobených, chemicky pozměněných hornin a zbytků rostlin i zvířat žijících na půdě i v půdě“. Statické nazírání zkrátka nebere ohled na vývoj půdy a jeho vztah k životnímu prostředí (Jandák et al., 2010; Novák, 1953; Prax a Pokorný, 2004).

Druhý směr pak zastupuje dynamické nazírání. Toto pojetí má své základy v pracích ruského geologa V. V. Dokučajeva. Ten před více jak sto lety nahlížel na půdu jako na povrchové vrstvy jakýchkoliv hornin, které jsou přeměněné současným působením vody, vzduchu a různých organismů. V definici Dokučajeva je půda brána jako samostatný přírodně-historický útvar, který vzniká a vyvíjí se zákonitým procesem působení různých půdotvorných činitelů. Dokučajev je považován, díky svým vědeckým pracím, za zakladatele moderní vědy o půdě (Jandák et al., 2010; Novák 1953).

V Československu byl zastáncem dynamického pojetí Václav Novák, který v přírodovědeckém smyslu pokládal půdu za „přírodní útvar, který se vyvinul z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků; jeho stavba a složení jsou výsledkem působení klimatu a živých organismů žijících v půdě i na půdě“. Uvedená definice zohledňuje vztah mezi půdou a prostředím, přibližuje se dynamickému a dialektickému pojetí půdy, avšak vyžaduje vyzdvižení další charakteristické vlastnosti půdy, a to úrodnosti. Právě tato vlastnost výrazně odlišuje půdu od horniny případně zvětralin. Pro lidstvo je půda významná právě díky úrodnosti. Úrodnost znamená schopnost vytvářet podmínky pro růst rostlin. Z tohoto důvodu je půda jednou ze základních podmínek existence lidstva, jelikož je s ní neodmyslitelně spjata výroba produktů nezbytných k obživě (Jandák et al., 2010; Novák, 1953; Prax a Pokorný, 2004).

Půdu tedy můžeme chápat jako samostatný přírodně-historický útvar vzniklý v důsledku komplexního působení vnějších činitelů na mateční horninu v určitém čase. Takto

se vytváří úplně nová substance, která se částečně podobá živé hmotě díky tomu, že má látkovou výměnu s prostředím, ale též neživé hmotě, protože se nerozmnožuje. Jedná se pouze o obnovu, při které se nezachovávají dědičné znaky. Kromě vnějších činitelů je to také kultivační činnost lidí, jenž se stále intenzivněji podílí na procesu vývoje půdy (Jandák et al., 2010; Novák 1953).

Z ekonomického hlediska se půda chápe jako základní výrobní prostředek v zemědělské výrobě, jenž se během výroby neopotřebovává, ba naopak většinou se zlepšuje. Tím pádem se od určitého stupně vývoje lidské společnosti půda stává nejen objektem, ale také produktem lidské práce (Hůla et al., 1997; Jandák et al., 2010).

2.1.1 Vznik a vývoj půdy

Půda se vyvíjí a vzniká na styku vzájemného působení atmosféry, litosféry, hydrosféry a biosféry a též díky činnosti člověka, jenž je významný půdotvorný činitel (antropogenizace půd). Tak jako složky životního prostředí působí a ovlivňují půdu, tak samozřejmě půda zpětně působí na ostatní složky. Z toho vyplývá, že zásahem do jedné složky ekosystému je změněn celý ekosystém. Příkladem tohoto tvrzení může být vykácení lesů člověkem v Dalmácii, jenž mělo za následek zničení půdního krytu s tragickým dopadem na atmosféru, litosféru i hydrosféru. Půda je velice složitý otevřený systém ve vztahu k ostatním sférám země, ale naopak též relativně samostatný systém, který se vyznačuje schopností autoregulace vnitřních procesů. Tento samostatný přírodní útvar vzniká a vyvíjí se působením půdotvorných (pedogenetických) procesů. Procesy pedogenetické vznikem půdy nekončí, ale probíhají neustále, a to i ve zdánlivě neměnní se půdě (Jandák et al., 2010; Němeček et al., 1990).

Vývoj půdy se dá shrnout do třech základních fází: vznik půdy, evoluce půdy a metamorfóza půdy.

1. Vznik půdy – tato fáze znamená formování půdy působením půdotvorných činitelů do té doby, dokud půda nezíská svoje typické složení (ontogeneze půdy).
2. Evoluce půdy – již zformovaná půda se postupně změní za určitý čas (např. vznik pseudogleje z luvizemě).

3. Metamorfóza půdy – poslední fáze se vyznačuje změnou půdy vlivem změny charakteru působení půdotvorných faktorů. Změny mohou být zapříčiněny buď přirozenými pochody (např. snížení hladiny podzemní vody vlivem zahlobení dna recipientu v údolní nivě), nebo zásahem člověka (např. změna vodního toku) (Jandák et al., 2010; Novák 1953).

Působením půdotvorných činitelů dochází k uplatnění půdotvorných pochodů, při kterých se z původní mrtvé (mateční) horniny stává živá půda, která je kvalitativně odlišná od svého výchozího materiálu. Půdotvorné procesy můžeme rozdělit na tyto základní procesy: zvětrávání, humifikace, eluviace a iluviace, oglejení a glejový proces a zasolování (solončakování, slancování).

1. Zvětrávání – předchází samotnému vzniku půd a pokračuje i během jejich vývoje. Je silně ovlivněno klimatem a biologickým faktorem. Jedná se o mechanický rozpad horniny a chemickou přeměnu prvotních minerálů v druhotné, uvolňování bází, oxidů železa a hliníku, kyseliny křemičité a tvorbu jílu.
2. Humifikace – zahrnuje mikrobiální a chemické procesy, během kterých se mění organická hmota v humus. Tento proces probíhá ve větší či menší míře ve všech půdách. Humifikace je vůbec nejvlastnějším půdotvorným pochodem, který podmiňuje vznik půdy.
3. Eluviace – je vyplavování, během kterého dochází k přemísťování jednotlivých půdních složek v podobě roztoků, pomocí prosakující vody do spodiny. Můžeme ji rozdělit podle intenzity pochodu na: vyluhování (posun rozpustných solí), degradaci (posun uhličitanu vápenatého), illimerizaci (posun jílu) a podzolizaci (posun sloučenin železa a hliníku).
4. Iluviace – neboli obohacování je protějškem eluviace. Při tomto procesu se vyluhované součásti opět hromadí v určité vrstvě.
5. Oglejení a glejový proces – vyskytují se u zamokřených půd. Při periodickém převlhčování povrchu půdy vodou dochází k oglejení a při trvale zvýšené hladině podzemní vody nastává glejový proces. Během oglejení dochází ke střídání redukčních a oxidačních pochodů v půdě a také k uvolňování sloučenin železa a v období vyschnutí k jejich shlukování do nápadných železitých bročků a jiných novotvarů. Pokud je oglejení silnější dochází ke vzniku charakteristických mramorovaných horizontů.

6. Solončakování – je proces, během kterého jsou do půdního profilu vnášeny lehce rozpustné soli. V podmínkách naší republiky se jedná především o vnášení solí vzlínáním silně mineralizované podzemní vody v aridnějším klimatu.
7. Slancování – je typické vymýváním solí z povrchových vrstev a jejich akumulací ve spodině (Tomášek, 1995).

Půdotvorné procesy v půdě probíhají zpravidla současně. Jeden z nich se uplatňuje vedoucím způsobem (tzv. hlavní půdotvorný proces) a ostatní procesy nazýváme vedlejšími. Ve většině případů dochází k výraznějšímu uplatnění některého z vedlejších pochodů. O něm pak mluvíme jako o podřízeném půdotvorném procesu (Tomášek, 1995).

2.1.2 Funkce půdy

Půda je velmi dynamický systém, který plní značné množství funkcí a poskytuje služby nezbytné pro lidskou činnost a též pro přežití ekosystémů. Charakteristickou vlastností půdy je úrodnost. Právě díky této vlastnosti je půda nepostradatelná pro existenci lidstva. Nyní si uvedeme sedm základních funkcí, které by měla být půda schopna plnit:

1. Produkce biomasy
2. Filtrování, shromažďování a transformace živin, vody a látek
3. Zásobárna biodiverzity a stanoviště genů a druhů
4. Fyzikální a kulturní prostředí pro lidi a jejich činnosti
5. Zdroj surovin
6. Zásobárna uhlíku
7. Archiv geologického a archeologického dědictví (Kozák a Němeček, 2009).

Právě první zmíněná funkce produkce biomasy je základní a nezastupitelná funkce půdy. Bývá posuzována podle půdní úrodnosti nebo podle produkční schopnosti půdy. Půdní úrodnost lze definovat jako schopnost půdy poskytovat nezbytné podmínky pro život rostlinám a organismům, pro které je půda životním prostředím. Půda v průběhu svého vzniku a vývoje získává určité fyzikální, biologické, mineralogické a chemické vlastnosti, od kterých se půdní úrodnost odvíjí. Úrodná půda je kombinací fyzikálních a chemických vlastností, které vytvářejí příznivý vzdušný, vodní a živinný režim po celou vegetační dobu. Výsledkem dlouhodobého lidského snažení je efektivní úrodnost půd.

Cílem je vytvoření půd s vysokou produkční schopností. Klíčem k vysoké produkční schopnosti je systematická kultivace, díky níž se zvyšuje potenciální úrodnost na úrodnost efektivní. Efektivní úrodnost vlastně představuje součet úrodnosti přirozené a úrodnosti umělé, která je právě podmíněná kultivací. Může však dojít i k opačnému efektu, kdy díky nevhodné kultivaci (např. pěstováním monokultur), dochází ke snížení přirozené úrodnosti (Hůla et al., 1997; Kozák a Němeček, 2009).

2.1.3 Půdně klasifikační jednotky

Vědní obor, jenž se zabývá studiem půdy se nazývá pedologie, nebo také půdoznalství. Jakožto každá přírodní věda i pedologie má svůj určitý systém, který v našem případě nazýváme půdní klasifikací. Základní taxonomickou jednotkou půdní klasifikace je půdní typ. Ten lze definovat jako skupinu půd charakterizovanou obdobnými morfologickými a analytickými znaky, která se vyvíjela pod vlivem určitého souboru půdotvorných činitelů. Půdy, které náležejí do jednoho půdního typu, prošly stejným hlavním půdotvorným procesem a vyznačují se určitou kombinací půdních horizontů, která je pro daný typ konstantní. V klasifikaci je další nižší důležitou jednotkou půdní subtyp, který tvoří přechod mezi dvěma půdními typy. Při vzniku půdního subtypu spolupůsobil další tzv. podřízený půdotvorný pochod. Půdní druh je další významnou klasifikační jednotkou. Je vyjádřen zrnitostním, též mechanickým, složením. Další jednotka, která je zpravidla odvozená od některé význačné půdní vlastnosti, zjištělné hlavně analyticky, je půdní varieta (např. varieta silně kyselá). Nezanedbatelná je též i substrátová příslušnost půdy, která často určuje řádu důležitých půdních vlastností, jako je například skeletovitost půdy, mocnost půdy a jiné (Tomášek, 1995).

2.1.3.1 Půdní typy

Půdní typ je základní taxonomickou jednotkou půdní klasifikace. Jedná se o soubor půd, které mají obdobné morfologické a analytické znaky a které prošly vývojem pod působením určité kombinace půdotvorných činitelů. Mezi hlavní půdní typy našeho státu patří: černozemě, hnědozemě, šedozemě, smonice, illimerirované půdy, pseudogleje, surové půdy, rankery, terra fusca, rendziny, pararendziny, arenosoly, pelosoly, hnědé půdy, rezivé půdy, podzoly, nivní půdy, černice, gleje, rašeliništní půdy a slance (Tomášek, 1995).

2.1.3.2 Půdní druhy

Další významnou klasifikační jednotkou je půdní druh. Půdy se klasifikují podle mechanického složení, to znamená podle procentuálního zastoupení jednotlivých velikostních frakcí zrn. Zrnitost půd sama o sobě k podrobné charakteristice půd nepostačuje, ale patří mezi základní charakteristické znaky. Zrnitostní složení půdy silně ovlivňuje její konzistenční a technologické vlastnosti, jako je soudržnost, zpracovatelnost, přilnavost. Z tohoto důvodu se v praxi spojují tyto vlastnosti se zrnitostí a půdy s vyšším obsahem písku se nazývají lehké, půdy s obsahem siltu jako střední a s obsahem jílu se označují jako těžké. Též to znamená lehce, středně a těžko obdělávatelné půdy (Jandák et al., 2010; Němeček et al., 1990).

Mechanické složení půdy můžeme zjistit buď na poli odhadem, kdy množství písku i jílnatých částic lze rozlišit roztíráním prsty, anebo mechanickým rozborem půdy v laboratoři. Výsledky analýzy, to znamená procenta všech kategorií zrn, se užívají k označení půdního druhu. Základem označení je mechanická analýza jemnozeme. Také se přihlíží k obsahu štěrku a kamení (neboli skeletu), karbonátů (vápnitosti) a u zemin silně humózních také k obsahu humusu (Jandák et al., 2010).

K vlastní klasifikaci se u nás nejčastěji používá stupnice Novákova, která rozlišuje sedm druhů zemin podle kvantitativního zastoupení I. kategorie (částic < 0,01 mm) v jemnozemi (Jandák et al., 2010; Novák 1953).

Obsahuje-li zemina přes 75 % skeletu, můžeme ji klasifikovat jako štěrkovitou nebo kamenitou. Pokud zemina obsahuje skeletu méně, označuje se podle zrnitosti jemnozeme a připojí se označení příměsi skeletu: slabě štěrkovitá (10-25 %), středně štěrkovitá (do 50 %) a silně štěrkovitá nebo kamenitá (50-75 %) (Jandák et al., 2010; Němeček et al., 1990).

Vápenité půdy se označují podle obsahu CaCO_3 ekvivalentu, přičemž je označení připojeno ke zjednodušenému označení půdního druhu (např. slín jílovitý). Z tohoto hlediska rozeznáváme zeminy slabě vápnité (do 3 % CaCO_3), vápnité (do 25 % CaCO_3), slíny (do 60 % CaCO_3) a vápenaté zeminy, které mají přes 60 % CaCO_3 (Jandák et al., 2010; Novák, 1953).

Přes 20 % humusu obsahují humusové zeminy a označují se jako písčité, hlinité a jílovité dle obsahu jílnatých částic (< 0,01 mm). Do 20 % písčité, do 45 % hlinité a přes 45 % jílovité (Jandák et al., 2010; Novák 1953).

Tabulka 1 Klasifikační stupnice zemin podle Nováka 1953

OBSAH ČÁSTIC (ZRN) MENŠÍCH 0,01 mm [%]	OZNAČENÍ DRUHU PŮDY	KLASIFIKACE PŮDY
0 - 10	písčité	lehká
10 - 20	hlinitopísčité	lehká
20 - 30	písčitohlinitá	středně těžká
30 - 45	hlinitá	středně těžká
45 - 60	jílovitohlinitá	těžká
60 - 75	jílovité	těžká
nad 75	jíl	těžká

V České republice jsou nejvíce zastoupeny půdy písčitohlinité až hlinité – půdy středně těžké (59 % ZPF), poté písčité až hlinitopísčité – půdy lehké (19 % ZPF), dále jílovitohlinité až jíly – půdy těžké (17 % ZPF) a silně šterkovité až kamenité (5 % ZPF) (Jandák et al., 2010).

2.1.4 Zemědělský půdní fond České republiky

Z celkové rozlohy České republiky 7 886 973 ha zaujímá zemědělská půda 53,40 %, což je 4 211 935 ha. Ze zemědělské půdy největší díl zaujímá orná půda 2 971 957 ha (37,68 %), dále trvalé travní porosty 1 000 620 ha (12,69 %), poté zahrady 163 785 ha (2,80 %), pak ovocné sady 45 613 ha (0,58 %), za nimi vinice 19 811 ha (0,25 %) a nejmenší podíl tvoří chmelnice 10 149 ha (0,13 %) (ČÚZK, 2016).

Díky poloze České republiky se zemědělský půdní fond nachází v členitých půdně klimatických podmínkách. Česká republika jako prameniště mnoha vodních toků, pohoří, ale zároveň i rozsáhlých nížin nabízí rozmanité přírodní podmínky, které ale jsou i v následné vazbě na extrémní jevy v krajině, a to povodně či dlouhodobé sucho. Pro agroekosystémy je u nás nevhodných ploch zhruba 6 % a průměrných a podprůměrných orných půd je zhruba 54 %. Další problém tvoří nadmořská výška, kdy se 20 % zemědělského

půdního fondu rozkládá v nadmořské výšce nad 500 metrů, přičemž oblasti s vyšší nadmořskou výškou lze považovat za méně příznivé k provozování zemědělské činnosti. Těž problémem zemědělského obhospodařování u nás je skeletovitost některých půd. Slabě skeletovitých půd je téměř 42 % a silně skeletovitých je přes 2 % (MZe, 2015).

2.1.4.1 Kvalita zemědělského půdního fondu České republiky

Půdní pokryv u nás je tvořen pestrou škálou půd různé kvality. Ty nejúrodnější půdy jsou situovány v nížinách např. Haná, jižní Morava, střední Čechy nebo Polabí, ale tyto oblasti bývají v posledních letech stále častěji postihovány nedostatkem srážek, a tak zde dochází ke kolísání výnosů. Na druhou stranu oblasti ve vyšších nadmořských výškách, s průměrně kvalitními půdami, netrpí tolik nedostatkem půdní vláhy, díky čemuž je lepší stabilita výnosů zemědělských plodin (MZe, 2015).

Kvalita půdy je velmi závislá na péči o půdní prostředí a na rozvoji degračních procesů. Půdu je nutné hodnotit, kromě produkce, také i z pohledu plnění mimoprodukčních funkcí. Hlavně hydrologické funkce jsou značně degradovány utužením, erozí a dehumifikací, čímž dochází k akceleraci extrémních klimatických jevů, jako jsou sucho a přívalové deště. Vodní eroze ohrožuje zhruba 50 % našeho území. Postupný pokles organické hmoty v půdách (dehumifikace), jenž je způsoben především nedostatkem statkových hnojiv, ale také díky erozi a intenzifikaci zemědělství, je zásadním problémem s negativními dopady na půdu. Tento problém je nutné mírnit využíváním posklizňových zbytků, zeleného hnojení nebo kompostů či kalů. Díky úbytku humusu také dochází k potlačení biologického oživení půdy a též narušení látkového koloběhu v půdě. Zhruba 40 % zemědělských půd se týká utužení. Utužení je způsobeno částečně přirozenými vlastnostmi půdy, ale hlavně nesprávným způsobem hospodaření. Takto degradovaná půda pak má nižší produkční schopnost a zhoršuje se též její retenční a infiltrační schopnost. Nejvíce jsou tyto problémy patrné při extrémních stavech vody v krajině, to je sucho a povodně. V České republice ubývá denně v pětiletém průměru skoro 13 hektarů zemědělské půdy. Velkou část z toho tvoří zástavba, díky které tato půda nevratně ztrácí svou produkční schopnost a neplní ekologické funkce (MZe, 2015).

2.1.4.2 Degradace zemědělského půdního fondu České republiky

V současnosti u nás dochází k velmi závažným degradacím půd, a tím i k zhoršení jejich funkcí. I když je degradace procesem pomalým, nenápadným, její důsledky mohou vést k oslabení či úplnému zničení cenných produkčních a mimoprodukčních funkcí (MZe, 2015).

Hlavní faktory, které zapříčiňují půdní degradaci nebo její ztrátu jsou hlavně vodní a větrná eroze, utužení, ztráta organické hmoty, zastavování území, acidifikace nebo kontaminace půd. Všechny tyto druhy degradace spolu vzájemně souvisí, přičemž převažující druh degradace podmiňuje vznik dalších. Tím vzniká řetězová reakce, kterou lze jen velmi těžce zastavit. V České republice je též velkým problémem zamokření půd a nesprávné hospodaření na ochranných pásmech vodních zdrojů (MZe, 2015).

Vodní eroze je přírodní proces. Dochází při něm k rozrušování půdního povrchu působením vody, transportu půdních částic na jiné místo a jejich následnému usazování. Celkem rozeznáváme dva druhy eroze, a to erozi geologickou (normální) a erozi zrychlenou, která vzniká lidskou činností. Geologická eroze je přirozená, stále přetváří reliéf území a tyto procesy probíhají postupně a jsou z hlediska lidské generace skoro nepozorovatelné. Naopak lidská činnost tento proces velice urychluje. Dochází tak k tzv. zrychlené erozi, kdy její intenzita je 10 až 1000x vyšší než geologická eroze. Kvůli této erozi se půdní částice smývají tak rychle, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podkladu. Zrychlená eroze je tak velmi vážným problémem jak u nás, tak v celém světě. V České republice je vodní eroze jedním z nejzávažnějších druhů degradace půdy. V současné době je maximální ztráta půdy u nás vyčíslena na zhruba 21 milionu tun ornice za rok. To lze vyjádřit jako ztrátu minimálně 4,3 miliard korun (MZe, 2015).

Větrná eroze, při které dochází k odsunu půdních částic z povrchu půdy mechanickou silou větru, transportu částic půdy na jiné místo a jejich následnému usazování. Erozi větrnou lze rozdělit na erozi saltací, kdy vítr přenáší půdní částice jen po povrchu půdy a jen na malé vzdálenosti. Dalším druhem větrné eroze jsou prашné bouře, při které se částice půdy volně vznášejí ve vzduchu a ta je transportuje na velké vzdálenosti. I tato eroze patří mezi závažné degradační činitele, a to hlavně na nejúrodnějších půdách jižní Moravy a

Polabí. V České republice je větrnou erozí mírně ohroženo 182 779 ha a silně ohroženo 44 386 ha půdy (MZe, 2015).

Soil sealing neboli zastavování území je spojené s nekontrolovatelným rozšiřováním sídel a s vodní erozí patří je největším problémům zemědělských půd. Definice soil sealingu je zakrytí půdy nepropustnými materiály, čímž půda ztrácí své přirozené vlastnosti a není tedy schopna zastávat své funkce. Od roku 2000 do roku 2015 ubylo v ČR 66 825 ha zemědělské půdy, což odpovídá 12,2 hektarům za den (MZe, 2015).

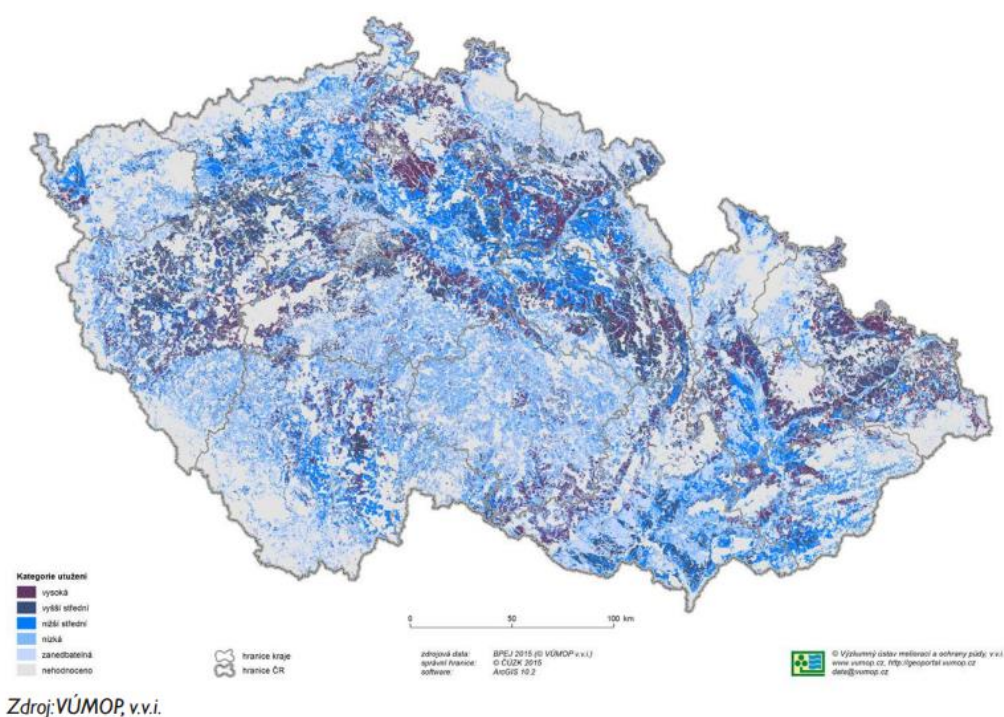
Dalším typem závažné degradace půd je acidifikace neboli okyselování. Jedná se o přírodní degradační proces, který je možné definovat jako snížení pufrční schopnosti půdy. Následkem acidifikace je pokles hodnoty půdní reakce. Nižší pH půdy může mít nežádoucí vliv na výnos plodin. V ČR je acidifikací vysoce ohroženo 43 % půd. Vysoká náchylnost půd k acidifikaci je hlavně v Kraji Vysočina, Jihočeském a Karlovarském (MZe, 2015).

K dehumifikaci neboli ztrátě organické hmoty v půdě dochází díky působení vodní i větrné eroze, zvýšené mineralizaci po odvodnění, nevhodné kultivaci a díky nedodávání organické hmoty při intenzivní produkci. V České republice hrozí intenzivní dehumifikace půd spíše místně při souběhu více degradačních vlivů. V ČR nelze jednoznačně určit trend vývoje obsahu humusu. Bylo zatím zjištěno, že ke snížení obsahu humusu došlo na půdách po jejich odvodnění a to o 5 až 15 % v závislosti na půdním typu (MZe, 2015).

Kontaminace půd je také významným typem degradace půd v evropském i celosvětovém měřítku. Zátěž kontaminanty je způsobena zvýšenou imisní zátěží z průmyslu či dopravy. Významné také mohou být i lokální zdroje, jako jsou odpadní vody nebo přímé vypouštění průmyslových odpadů do půdy. Zemědělství může mít také významnou roli v kontaminaci půdy, hlavně co se týče používání agrochemikálií nebo nesprávnou aplikací kalů z ČOV (MZe, 2015).

Posledním, avšak neméně významným faktorem půdní degradace je pedokompakce neboli utužení či zhutnění půdy, které se projevuje degradací půdní struktury, mající za

následek změny pórovitosti, objemové hmotnosti, snížení prostupnosti a infiltrace a snížení retenční kapacity. V České republice je pedokompakcí ohroženo zhruba 49 % zemědělských půd. Z toho je okolo 30 % zranitelných tzv. genetickým utužením při vzniku iluviálních a případně oglejených horizontů. Tento typ utužení je typický pro půdy s vyšším obsahem jílu. Také více jak 70 % podléhá technogennímu utužení, které se může projevit na půdách jakéhokoliv zrnitostního složení. To, že v České republice je utužení velký problém dále potvrzuje obr. 1, který znázorňuje potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením (MZe, 2015).



Obrázek 1 Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením (zdroj: MZe, 2015)

2.2 Pedokompakce

Pedokompakce (utužení či zhutnění půdy) je jevem, který způsobuje značné problémy v zemědělství celého světa, Českou republiku nevyjímaje. Tento jev se začal významněji projevovat s intenzifikací zemědělství, kdy společně s rostoucí výměrou obhospodařované půdy se zvětšovala i zemědělská technika. Těžká zemědělská technika a nevhodné obhospodařování vede k poškození půdní struktury, která je přitom klíčová, protože určuje schopnost půdy vést a zadržovat vodu, živiny a vzduch, a tudíž předurčuje

půdní úrodnost. V poslední době se na pedokompakci bere čím dál větší zřetel a zemědělci či výrobci zemědělské techniky jsou nuceni na tento problém reagovat novými agrotechnickými opatřeními a vývojem nových technologií v oblasti zemědělské mechanizace (DeJong-Hughes et al, 2001; McMahon et al.,2011).

K pedokompakci dochází při stlačení půdních částic k sobě dohromady, což vede ke snížení počtu pórů mezi půdními částicemi. Silně utužené půdy obsahují jen málo velkých pórů, které jsou nejúčinnější pro transport vody skrz vrstvy půdy, díky čemuž mají silně redukovanou schopnost vsakování vody a odvodu vody ze ztuhlé vrstvy. Kromě toho je u utužených půd horší výměna plynů, což vede k nedostatečnému provzdušnění. Problém utužení se též projevuje při klíčení a růstu rostlin, kdy rostliny musí vynaložit více energie, aby kořeny mohly pronikat do utužené vrstvy (DeJong-Hughes et al., 2001).

2.2.1 Příčiny pedokompakce

Existuje několik sil, přírodních či lidskou činností vyvolaných, které způsobují utužení půdy. Tyto síly mohou být velké například od těžké techniky nebo vyvolané zpracováním půdy, ale zároveň mohou být způsobeny něčím tak malým, jako jsou dešťové kapky (DeJong-Hughes et al., 2001; Gajri et al., 2002).

Přírozené ztuhování půdy zapříčiňují dopadající dešťové kapky. Při intenzivnějších deštích se vytváří na povrchu půdy krusta s mocností většinou méně než 1,3 centimetru, která může bránit vzcházení rostlin. Krusta se však dá snadno odstranit vhodným agrotechnickým zásahem (DeJong-Hughes et al., 2001).

Minimální střídání plodin má též neblahý vliv na půdní prostředí. Z hlediska ztuhnutí půdy zaujímají pěstované rostliny dvojí postavení. Na jednu stranu samy rostliny, biomasou kořenového systému, příznivě působí na stav půdy, hlavně na fyzikální a biologické vlastnosti. Na druhou stranu kladou rostliny nároky na další půdní vlastnosti, a to nejen v orničním, ale i podorničním profilu půdy pro jejich zdárný růst. Nedostatečným střídáním plodin také dochází k omezení různé hloubky zakořeňování a jeho blahodárných účinků na prolamování utužené vrstvy pod hloubkou zpracování (DeJong-Hughes et al., 2001; Javůrek a Vach, 2008).

Orba či jiné zpracování půdy neustále na stejnou hloubku způsobuje vytvoření silně utužené vrstvy, která se nachází právě těsně pod hloubkou, na kterou se půda zpracovává. Takto vytvořená vrstva bývá většinou relativně tenká. Její mocnost se pohybuje okolo 2,5 až 5 centimetrů a nemusí mít významný vliv na produkci. Vytvoření takovéto vrstvy lze eliminovat občasnou změnou hloubky orby, nebo speciálními operacemi na zpracování půdy (DeJong-Hughes et al., 2001; Gajri et al., 2002).

Bezesporu hlavní příčinou utužení půdy jsou přejezdy zemědělské techniky. S rostoucí velikostí zemědělských podniků, kdy je potřeba udělat co nejrychleji všechny polní práce na velké rozloze, roste úměrně i velikost zemědělské techniky. Hmotnost traktorů vzrostla z méně než tří tun ve 40. letech 20. století na dnešních 20 tun. To má mimořádný význam na půdní prostředí, protože půda musí stále odolávat větší zátěži, kterou na ni zemědělská technika působí. Negativní vliv působení těžké techniky na půdu se ještě znásobuje, je-li půda v oslabeném stavu, tzn. pokud je vysoká vlhkost půdy. Právě z tohoto důvodu jsou problémem mokrá jara a podzimy (DeJong-Hughes et al., 2001; Javůrek a Vach, 2008).

2.2.2 Důsledky pedokompakce na růst rostlin

Zhutnění půdy může mít jak nežádoucí, tak i žádoucí vliv na růst rostlin. Žádoucí vlivy poskytuje mírně utužená půda, která umožňuje rychlejší klíčení, protože je zde lepší kontakt osiva se zeminou. Kromě toho, mírně utužené půdy mohou snížit ztrátu vody v důsledku odpařování, a tak zajišťují rostlině lepší podmínky pro růst. Těchto vlastností se využívá při setí, kdy za secími botkami jsou ještě umístěna pěchovací kola, která jemně utuží vrstvu půdy nad osivem (DeJong-Hughes et al., 2001).

Nežádoucí účinky se projevují tím, že nadměrně zhutněná půda brání růstu kořenů, čímž je omezena schopnost rostlin přijímat vodu a živiny. Z hlediska produkce rostlin je ovšem negativní vliv zhutnění na vsakování a uchovávání vody v půdě větší než samotné omezení růstu kořenů. Během suchých let může utužení způsobovat zakrslost rostlin či stres suchem díky omezenému růstu kořenů. Naopak v průběhu deštivých roků díky utužení klesá provzdušnění půdy, což má za následek zesílení procesu denitrifikace. U těchto půd může také utužení vyvolat nedostatek dusíku a draslíku. Snížené provzdušnění půdy

ovlivňuje metabolismus kořenů a je zde také větší náchylnost rostlin k různým nemocem. Všechny tyto faktory mají za následek další stres pro rostliny a v konečném důsledku vedou ke snížení výnosu (DeJong-Hughes et al, 2001; a McMahon et al.,2011).

Výzkum ze Severní Ameriky a z Evropy prokázal, že během suchých let a při velmi nízké objemové hmotnosti půdy, se výnosy postupně zvyšovaly společně s rostoucím utužením půdy. Výnosy dosahovaly maxima, při optimálním utužení, které bylo vhodné pro konkrétní půdu, rostliny a klimatické podmínky. Nicméně jakmile se zhutnění zvýšilo nad optimum, začaly výnosy klesat. Též za deštivého počasí výnosy klesaly s jakýmkoliv zvýšením utužení (DeJong-Hughes et al, 2001; a McMahon et al.,2011).

2.2.3 Vliv pedokompakce na půdní prostředí a fyzikální vlastnosti půdy

Bylo dokázáno, že utužování půd má za následek zvýšení objemové hmotnosti půdy, snížení pórovitosti hlavně v podobě nižšího objemu nekapilárních pórů a silnější utužování působící destrukci půdních agregátů. Všechny tyto aspekty vedou ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností, jako je omezená prostupnost půdy pro vodu, změna obsahu vody v rámci půdního horizontu, ovlivnění pohybu vody v půdě nebo ovlivnění relace mezi obsahem vzduchu a teplotou půdy. V tabulce 2 jsou uvedeny kritické limitní hodnoty vybraných fyzikálních vlastností půdy, při jejichž překročení dochází ke škodlivému působení na rostliny (Javůrek a Vach, 2008).

Tabulka 2 Limitní hodnoty fyzikálních vlastností zhutnělé půdy (zdroj: Lhotský, 2000)

PŮDNÍ DRUH	OBJEMOVÁ HMOTNOST PO VYSOUŠENÍ [g.cm ⁻³]	PÓROVITOST [% objem]	PENETRAČNÍ ODPOR PŮDY [MPa]	PŘI VLHKOSTI [% hmot.]
Jíl	> 1,35	< 48	2,8 – 3,2	28 – 24
Půda jílovitá a jílovitohlinitá	> 1,40	< 47	3,3 – 3,7	24 – 20
Půda hlinitá	> 1,45	< 45	3,8 – 4,2	18 – 16
Půda písčitohlinitá	> 1,55	< 42	4,5 – 5,0	15 – 13
Půda hlinitopísčítá	> 1,60	< 40	5,5	12
Půda písčítá	> 1,70	< 38	> 6,0	10

Jednou z nejdůležitějších vlastností půdy je objemová hmotnost, díky níž je ovlivněna řada dalších fyzikálních vlastností půdy a podmínek v půdě. Objemovou hmotnost lze vyjádřit jako hmotnost objemové jednotky půdy [g.cm^{-3} , kg.m^{-3}] v neporušeném stavu, což znamená s póry vyplněnými momentním obsahem vzduchu a vody. V souvislosti s utužením platí, že čím je objemová hmotnost větší, tím větší je i utužení půdy. Hodnota objemové hmotnosti v ornici by se měla podle Chloupek (2005) pohybovat v rozmezí od 1 200 do 1 500 kg.m^{-3} . Na druhou stranu také není dobré ponechat nakypřenou půdu po delší dobu bez zásahu, jelikož díky tendenci půdních částic k uléhání, dochází opět ke zvyšování objemové hmotnosti. Toto zhutnění je naprosto přirozené a společně s antropogenním se podílí na celkovém utužení půdy (Chloupek et al., 2005; Javůrek a Vach, 2008; Minařík, 2016).

Lehce utužená půda může urychlovat klíčení, protože je tak zajištěn správný kontakt semene s půdou a zároveň lépe probíhá vztlínání vody ze spodních vrstev k zasetým semenům. Rostliny pak dosahují i lepšího větvení kořenového systému a tvorby sekundárních kořenů. Ovšem při utužení půdy, kdy hodnoty dosahují nad 1 600 kg.m^{-3} , se u středně těžkých půd významně snižuje efektivnost hnojení. Utužené půdy působí největší problémy u plodin, jejichž hospodářský výnos tvoří jejich podzemní orgány. U cukrové řepy dochází k tzv. mrcasatění bulv a u brambor k deformaci hlíz. U rostlin, které vytvářejí hlavní kulový kořen, jako je například řepka nebo slunečnice, je jeho růst omezen tím, že neproniká utuženou vrstvou v podorničí, ale roste horizontálně a různě se deformuje. Z toho vyplývá, že nadměrné utužení půdy má za následek nižší příjem vody a živin, ve srovnání s normálně vyvinutým kořenovým systémem. Přípustné a rizikové hodnoty objemové hmotnosti u středně těžkých půd pro vybrané rostliny udává tabulka 3 (Javůrek a Vach, 2008).

Tabulka 3 Přípustná a riziková objemová hmotnost pro vybrané rostliny (zdroj: Javůrek a Vach, 2008)

PLODINA	OBJEMOVÁ HMOTNOST PŮDY [g.cm^{-3}]	
	Přípustná	Riziková
Pšenice ozimá	1,45 – 1,50	1,60
Ječmen jarní	1,35 – 1,45	1,50
Kukuřice	1,50 – 1,55	1,60
Cukrová řepa	1,00 – 1,10	1,35
Luskoviny	1,15 – 1,20	1,30

Pórovitost je další fyzikální vlastnost, která je ovlivněna změnou objemové hmotnosti potažmo zhuštěním půdy. Pórovitost má významný vliv na úrodnost půdy a růst rostlin. Vzhledem k objemu odebraného půdního vzorku se hodnota pórovitosti udává v procentech a je závislá na druhu a ulehlosti půdy. Pro jednotlivé půdní druhy jsou výše uvedeny limitní hodnoty pórovitosti v tabulce 2. Ve svrchních vrstvách zemědělských půd se pórovitost pohybuje od 40 do 50 % a ve spodních vrstvách hodnoty klesají na 30 %. U rašelinných a silně humózních půd dosahuje pórovitost dokonce více než 70 či 80 %. Opačným jsou půdy glejové (zamokřené), které mají pórovitost pod 30 % (Jandák et al., 2010; Javůrek a Vach, 2008).

Aby póry v půdě plnily svou funkci je důležitá také jejich velikost. Póry se dají rozdělit podle druhu a velikosti sil, jež působí na vodu obsaženou v nich. Půdní póry lze připodobnit k nepravidelným kapilárám s proměnlivým průměrem. Jejich ekvivalentní průměr odpovídá průměru válcové kapiláry, z níž lze odsát vodu stejným podtlakem. Póry se dělí do tří základních skupin dle závislosti na velikosti jejich ekvivalentních průměrů. První skupinou jsou póry jemné kapilární, které mají ekvivalentní průměr $< 0,2 \mu\text{m}$. Voda je v nich ovládána kapilárními silami, které jsou schopny vodu zadržet a umožnit jí pohyb proti působení gravitace. Zde v těchto pórech probíhají biologické, chemické a fyzikálně chemické pochody. Druhou skupinou jsou póry hrubé nekapilární (ekvivalentní průměr $> 10 \mu\text{m}$), jež jsou známy tím, že gravitace v nich působí na vodu neomezeně, což má za následek to, že voda se v nich pohybuje volně do spodních vrstev, přičemž její místo zaujímá vzduch. Tato skupina pórů se podílí na vzájemné výměně plynné fáze mezi půdou a ovzduším. Třetí poslední skupinou jsou póry střední semikapilární, u nichž se ekvivalentní průměr pohybuje od $0,2$ do $10 \mu\text{m}$ a jsou přechodem mezi kapilárními a nekapilárními póry. Právě zastoupení jemných a hrubých pórů se značně promítá do vzdušných a vodních poměrů v půdě. Odlišným plodinám vyhovují odlišné optimální poměry kapilárních a nekapilárních pórů, jež jsou pro vybrané plodiny uvedeny v tabulce 4 (Jandák et al., 2010).

Tabulka 4 Optimální poměr pórů u vybraných plodin (zdroj: Jandák et al., 2010)

PLODINA	OPTIMÁLNÍ POMĚR PÓRŮ Z CELKOVÉ PÓROVITOSTI PŮDY [%]	
	Kapilární póry	Nekapilární póry
Obilniny	60 - 70	30 - 40
Okopaniny	70 - 80	20 - 30
Píceňiny	75 - 85	15 - 25

Ke změně velikosti a poměru pórů dochází působením velkých tlaků na půdu. Pokud se půdní částice stlačí k sobě, tak se snižuje velikost pórů mezi nimi a póry nekapilární jsou z půdy zhutňováním vytlačeny nejvíce. To má obrovské následky na půdní prostředí, především v podobě omezení hydro-fyzikálních vlastností půdy a také vzdušné kapacity půdy. Protože jsou nekapilární póry zodpovědné za infiltraci do spodních vrstev půdy, tak při jejich nízkém zastoupení v půdě dochází ke špatnému odvodňování horních vrstev půdy. V případě srážek voda zůstává na povrchu půdy a na poli se vytváří vodní plochy. Pokud přijdou intenzivní deště tak voda stéká po povrchu pozemku a bere s sebou i úrodnou půdu. Tento úkaz se nazývá vodní eroze. Utužení také negativně působí i na schopnost půdy zadržovat vodu po delší dobu. Hlavními hydro-fyzikálními veličinami, které charakterizují schopnost půdy zadržovat vodu patří maximální kapilární kapacita (Θ_{MCK}), která udává hodnotu maximálního nasycení kapilárních půdních pórů vodou a retenční vodní kapacita (Θ_{RVK}) zase vypovídá o množství vody, kterou je půda schopna trvaleji zadržet vlastními kapilárními silami. Negativním ovlivněním obou parametrů díky utužení dochází k omezené dostupnosti vody pro rostliny, což znamená velký problém hlavně v období suchých let (DeJong-Hughes et al., 2001; Jandák et al., 2010).

Plynnou fází neboli půdní vzduch také omezuje zhutnění, protože vzduch je v půdě udržován právě díky nekapilárním pórům, které jsou, jak již bylo výše zmíněno, utužováním vytlačovány. Právě vzdušná kapacita půdy je veličina, která určuje obsah vzduchu v půdě. V orné půdě její hodnoty dosahují 10 až 20 % a u utužených půd bývají pod limitních 10 %. Kyslík je nepostradatelný v životě vegetace a rozvoji kořenů, které ho svou činností spotřebovávají. Dostatek vzduchu také podmiňuje výskyt mikroorganismů (mikroedafon a mezoedafon) v půdě, které jsou také, mimo jiné, spolutvůrci drobtovité struktury půdy a tím zvyšují její pórovitost. Pokud je kyslíku v půdě nedostatek, tak dochází

k hnilobným procesům a omezuje se růst kořenů do hloubky. Utužené půdy vykazují absenci kyslíku a je u nich zaznamenána omezená aktivita mikroedafonu a mezoedafonu. Absence kyslíku má též neblahý vliv na jakost úrody a výnos (Jandák et al., 2010; Javůrek a Vach, 2008).

K fyzikálním vlastnostem půdy náleží také půdní struktura, jíž je souhrnně označováno vzájemné prostorové uspořádání půdních agregátů. Půdní agregát se dá popsat jako komplex půdních částic hlavně minerálního původu, ale také i organického původu, které jsou mezi sebou spojovány tmelícími látkami. Jako tmelící látky slouží sloučeniny železa či hliníku. Struktura půdy je vlastně podmíněna schopností půdy agregovat neboli stmelovat částice tuhé fáze půdy, či naopak rozpojovat větší kusy půdní hmoty, a tudíž vytvářet tak strukturní agregáty. Vznik půdní struktury je podmíněn několika vlivy. Jedním z nich je zmrzáni a rozmrzání půdy, tedy fyzikální změna objemu vody v půdě. Vliv promrzáni a rozmrzání půdy na tvorbu půdní struktury je závislý na tom, v jakých pórech se voda při zmrznutí nachází. Dalším vlivem, působícím na půdní strukturu, jsou biochemické procesy, které mají tmelící účinek. Rozklad organické hmoty a tvorba humusu je velmi důležitá pro dobrou půdní strukturu, přičemž na vznik struktury mají největší vliv dvojmocné kationty hořčíku a vápníku. Změna půdní vlhkosti také ovlivňuje vznik půdní struktury, kdy smršťováním a bobtnáním dochází ke změnám objemu půdy. Neopomenutelný vliv má též působení biologických činitelů. Jedná se především o účinky kořenového systému, rostlinných exkretů, půdní mikroflóry a edafonu. Zpracování půdy také neodmyslitelně patří k vlivům, které se podílejí na vzniku půdní struktury. Ovšem při zpracování půdy musíme brát v potaz vlhkostní podmínky půdy. Právě zpracování půdy je nejúčinnější a nejsilnější regenerační opatření pro rychlou obnovu porušené půdní struktury, ale musí být bezpodmínečně prováděno při příznivé vlhkosti půdy (Jandák et al., 2010; Kohout et al., 1992; Kostelanský, 2004).

Optimální struktura půdy se stabilními drobtovitými agregáty o průměru 1 až 10 mm je podstatným ukazatelem tzv. zralosti půdy, která představuje optimální stav fyzikálních a tím též biologických vlastností půdy. Strukturní ornice je celkově kyprá, s vyrovnaným poměrem kapilárních a gravitačních pórů, s dobrým zasakováním srážkové vody, s minimálním neproduktivním výparem a je také snadno obdělávatelná. Při zpracování půdy či sklizni, hlavně za nevhodných vlhkostních podmínek půdy, dochází k tzv. mechanické

degradaci, která je jednou z hlavních příčin degradace půdní struktury. Za těchto podmínek dochází, kvůli velkému tlaku zemědělské techniky na půdu, k vertikálnímu utlačení půdy, díky čemuž vzniká ornice se slitým prostorovým uspořádáním. Takováto ornice je pak typická ulehlostí, převahou kapilárních pórů, těžkou obdělávatelností a špatným zasaňováním srážkové vody, které vede až k silným povrchovým odtokům. To vše má za následek omezenou biologickou i vzdušnou kapacitu půdy (Jandák et al., 2010).

Pro zjišťování stavu půdního prostředí se dnes běžně v praxi setkáváme s metodou penetrometrie. Díky této metodě se dá zjistit výskyt, hloubka a stupeň zhutnění půdy. Penetrometrie je založená na měření odporu půdy proti vnikání kužele penetrometrické sondy o normovaných rozměrech. Závislost mezi stupněm zhutnění a velikostí odporu je přímá, avšak závisí na okamžité vlhkosti půdy, což se musí zohlednit. Penetrometry mohou být ruční či na traktor, ale nejběžněji se používají ruční, které měří odpor v MPa. Penetrometry jsou konstruovány podle standardu ASAE (1999a,b). Ruční penetrometry mohou být ještě vybaveny přijímačem GPS signálu, sondou na měření vlhkosti půdy, nebo elektronickou výbavou, která umožňuje počítačové zpracování dat. Na základě naměřených hodnot pak můžeme provádět kypření. Hloubka kypření je odvislá od hloubky zjištěného škodlivého zhutnění a podle toho zvolíme dlátování nebo hloubkové meliorační kypření (Lukas et al., 2011).

Škodlivé zhutnění můžeme také zjistit metodou odběru neporušených vzorků půdy (Kopeckého fyzikální válečky) nebo měřením tahového odporu půdy celého stroje. První zmíněná metoda je poměrně přesná a spolehlivá a její pomocí se dají stanovit kritické vlastnosti půdy pro zhutnění, kterými jsou: objemová hmotnost, pórovitost, vzdušnost a propustnost. Odběr Kopeckého fyzikálních válečků je ovšem časově a pracovně velmi náročný. Pro druhou metodu sledování tahového odporu se použije tříbodový rám, který je osazen tenzometrickými můstky ve všech třech bodech závěsu a je zabudován mezi traktor a kypřič (Lukas et al., 2011).

Limitní hodnoty penetračního odporu pro jednotlivé druhy půdy jsou uvedeny v tabulce 2. Nadměrné utužení zvyšuje celkový odpor půdy, což se projevuje vyšší energetickou náročností na její zpracování (obdělání). Nejvíce znatelný vzrůst energetické ná-

ročnosti je znatelný při orbě. Díky zhoršenému fyzikálnímu stavu půd a jejich nadměrnému utužením se zvýšil i orební odpor až o 30 % a na souvratích dokonce až o 80 %, což se samozřejmě promítá do zvýšené spotřeby paliva. Obzvláště vysoká spotřeba je pak dosahována při odstraňování zhutněných vrstev v podorniči za pomoci dlátových kypřičů a hloubkových podrýváků (Kohout et al., 1992; Minařík, 2016).

2.2.4 Agrobiologická a technologicko-organizační opatření vedoucích k omezování pedokompakce

2.2.4.1 Agrobiologická opatření

Mezi agrobiologická opatření v soustavě hospodaření na půdě vedoucí k prevenci a ke snižování zhutnění půdy patří:

1. dostatečné hnojení kvalitními organickými hnojivy
2. udržování optimální hodnoty pH a vápnění půdy
3. šetrné používání fyziologicky kyselých minerálních hnojiv či hnojiv s obsahem jednomocných kationtů
4. využívání plodin působících kořenovým systémem na tvorbu drobtovité struktury půdy a přispívajících k omezování zhutnění půdy
5. vhodné zpracování půdy s ohledem na její vlastnosti (Javůrek a Vach, 2008; Lhotský 2000).

2.2.4.2 Technologicko-organizační opatření

Technologicko-organizační opatření, která vedou ke snižování zhutnění se dají rozdělit do těchto čtyř základních skupin:

1. technická a konstrukční řešení zemědělských strojů, která vedou ke snižování jejich tlaku na půdu
2. revize uspořádání půdního fondu
3. omezování pojezdu zemědělské techniky po pozemku a vhodná doba vstupu na pozemek
4. ochranné a šetrné obhospodařování půdy (Javůrek a Vach, 2008).

2.2.5 Agromeliorační mechanické zásahy pro odstraňování pedokompakce

Při odstraňování zhutnělé půdy je třeba brát zřetel na propojenost a kombinaci jednotlivých zásahů. U půd, kde zhutnění zasahuje do podorniční vrstvy, je nezbytné tento

nežádoucí fyzikální stav odstranit mechanickým zásahem. Na základě zjištění míry škodlivosti a hloubky utužení půdy se aplikují tyto tři základní mechanické zásahy:

1. dlátování, které slouží pro nakypření zhuťné podorniční vrstvy do hloubky 45 centimetrů
2. hloubkové meliorační kypření utužených podorničních vrstev, které přesahuje hloubku 45 centimetrů
3. opatření stabilizující nakypření půdy v podorniční vrstvě po provedeném hloubkovém melioračním kypření (Javůrek a Vach, 2008).

Na základě názorů odborníků a zpětné vazby z praxe je bohužel nutno říci, že se nadměrné utužení orných půd u našich zemědělských podniků systematicky neřeší a pravděpodobně dochází k dalšímu nárůstu plošného rozsahu a intenzity pedokompakce. Je nezbytně nutné vyvinout maximální snahu pro zkvalitňování a zvyšování úrodnosti půdy dosud zemědělsky obhospodařované, už jen z důvodu neustálého snižování výměry orné půdy, kvůli záboru pro bytovou a nebytovou výstavbu (Javůrek a Vach, 2008).

2.3 Doprava v zemědělství

Zemědělství je neodmyslitelně spojeno s dopravou, a to ve velkém rozsahu. Na celkovém objemu výkonů se dopravní operace podílejí z více než 50 % a to platí jak pro rostlinnou, tak i živočišnou výrobu či obslužné práce. Dopravou v zemědělství se rozumí vnitropodniková a nadpodniková doprava. Vnitropodniková doprava je doprava materiálů a komodit v rámci zemědělského provozu a probíhá na zemědělských pozemcích, obslužných komunikacích i na veřejné silniční síti. Nadpodniková doprava se využívá hlavně při obchodu mezi jednotlivými partnery, což znamená na jednu stranu zásobování podniku či farmy různými druhy vstupů a na straně druhé zásobování zpracovatelských a obchodních kapacit zemědělskými produkty. Tato doprava je pak provozována na veřejných komunikacích, a to na vzdálenosti desítek až stovek kilometrů (Javůrek, 2014).

Z oblasti rostlinné výroby můžeme zmínit odvoz zrnin a slámy na místo skladování nebo třeba dopravu osiv, prostředků na ochranu rostlin či statkových a minerálních hnojiv. V oblasti živočišné výroby pak můžeme mluvit o dopravě krmiv a steliv včetně jejich zakládání, nebo dopravě a manipulaci se statkovými hnojivy. Pro výše zmíněné druhy dopravy v zemědělství se, díky technickému pokroku, různým vývojovým inovacím a

speciálním úpravám, využívá jak traktorová doprava, tak i nákladní automobilová doprava (Javorek, 2014).

2.3.1 Traktorová doprava v zemědělství

Traktorová doprava je umožněna zejména díky vývoji v konstrukci klasických zemědělských kolových traktorů, případně systémových nosičů s tím, že se jedná o tyto konstrukční prvky: odpružená náprava či nápravy, odpružená kabina, zvýšená konstrukční rychlost na úroveň 40-60 km/h, plynulá převodovka nebo převodovka stupňová s různými automatickými režimy, vyspělé řídicí systémy včetně managementu mezi motorem, převodovkou a akceleračním pedálem a v neposlední řadě také výrazně lepší brzdové systémy s ABS. Všechny tyto technické inovace posouvají, v určitých směrech, klasické zemědělské kolové traktory na úroveň dnešních moderních nákladních automobilů, a proto není divu, že se kolové traktory uplatňují ve více druzích dopravy než tomu bylo dříve, a to i například v rychlé nadpodnikové dopravě (Javorek 2014).

2.3.1.1 Univerzální návěsy, přívěsy a podvozky

Právě za přispění univerzálních návěsů, přívěsů a podvozků výměnných systémů, které umožňují všestranné využívání, se může rozvíjet a uplatňovat traktorová doprava. Samozřejmě tak jak procházejí technickými inovacemi kolové traktory, tak nimi musí nutně procházet i návěsy, přívěsy a podvozky. Největšími změnami jsou nové prvky související s provedením podvozku. Ruku v ruce s těmito změnami jdou i brzdové systémy přípojných vozidel včetně regulace brzdového účinku v různých, mnohdy krizových, situacích. Testování souprav traktoru s přípojnými vozidly si v ničem nezádá s testováním, na které jsme byli až dosud zvyklí z prostředí osobních automobilů na uzavřených polygonech. Souběžně s tím, jak rostou rychlostní limity traktorů, tak se i zvyšuje konstrukční rychlost zejména návěsů, ale rovněž přívěsů. U přívěsů dokonce platí, že stejní výrobci dodávají přívěsy jak pro nákladní automobily, tak i pro zemědělské kolové traktory (Javorek, 2014; Pastorek, 2002).

U moderních zemědělských návěsů, přívěsů, případně podvozků výměnných systémů a také rozmetadel a cisteren, se používá pět druhů provedení podvozků. Pokud jde o menší návěsy nebo přívěsy s konstrukční rychlostí do 25 km/h, tak jejich podvozek tvoří pevné

nápravy. U návěsů s celkovou hmotností od 13 000 kg výše, které jsou v zemědělské traktorové dopravě nejčastější, se používají tzv. výkyvné kloubové nápravy, nápravy odpružené listovými pery, hydraulicky odpružené nápravy, nebo pneumatické odpružení. Na podvozky dvouosých a tříosých přívěsů se používají také listová pera, kloubové nápravy, nebo i kompletní vzduchové odpružení. Z hlediska počtu náprav se přívěsy také dodávají nejčastěji v podobě dvou a třínápravových modelů. Ovšem můžeme se také setkat s návěsy a přívěsy, které disponují i čtyřmi nápravami. U více nápravových návěsů se používá náběžně nebo nuceně řízená náprava či nápravy a též se pro přenesení těžiště a zatížení trakčního prostředku využívá zvedání první nápravy podvozku (Javorek, 2014; Málek, 2014).

V případě většiny přípojných vozidel určených pro zemědělskou dopravu, bývá obvyklá maximální konstrukční rychlost 40 km/h a v případě přívěsů určených i pro agregaci s nákladními automobily se jedná o rychlost 80 km/h a více. S konstrukcí přípojných vozidel také souvisí provedení podvozku například z pohledu možností agregace s tažným prostředkem, a to v provedení s mechanicky, nebo hydraulicky odpružené oje jak do spodního, tak horního závěsu. Mimo tažné oko se setkáváme také s provedením s kulovým čepem o průměru 80 mm. Kromě velké řady nástaveb se v případě zemědělských návěsů, ať již jednoúčelových provedení nebo výměnných systémů, setkáváme s provedením s výtlačným čelem nebo překládacím provedením pro zrniny, cukrovou řepu či objemná krmiva (Javorek, 2014; Málek, 2014).

2.3.1.2 Sklizňová dopravní technika

Do této skupiny traktorové dopravy můžeme zařadit hlavně senážní vozy, jejich víceúčelová provedení a dále též překládací návěsy. Senážní vozy v sobě kombinují několik funkcí. Díky sběracímu, vkládacímu a řezacímu ústrojí umožňují sběr, pořezání a dopravu píce do ložného prostoru, který je tvořen podlahou s podlahovým řetězovým dopravníkem, přičemž se většinou jedná o dvojici těchto dopravníků. Ty umožňují posun materiálu směrem k zadním vratům a též vyprázdnění objemu ložného prostoru. Zadní část nástavby tvoří většinou hydraulicky otevíratelná jednoduchá vrata nebo vrata se dvěma nebo třemi dávkovacími válci. Systém podlahového dopravníku je spojován s automatickým systémem posuvu, díky čemuž se umožňuje dosahovat lepšího využití. U klasických senážních vozů je součástí nástavby stropní konstrukce, která je tvořena napnutými lany

ve spojení s usměrňovacími clonami. Jinou možností představují tzv. víceúčelové senážní vozy. U nich je koruna nástaveb zesílena lemem s tím, že stropní část je konstruovaná jako otevřená. Díky tomu, lze tyto vozy použít do linek se sklízecími rezačkami. U výkonných modelů je takovéto provedení doplněno polohovacím předním čelem nástavby. To umožňuje soustavné a výkonné plnění nástavby při plnění nebo lze nastavit tak, aby nebránilo plnění sklízecí rezačkou při průsecích, respektive aby byl maximálně využit objem při souběžné jízdě. Pokud se zaměříme na konstrukční řešení podvozku, platí totéž jako u výše zmíněné dopravní techniky, tzn. dvou až tříosé podvozky v provedení s listrovními pery nebo hydraulickým odpružením. Stejná pravidla také platí pro výběr pneumatik, které mají většinou 500-800 mm. Vozy jsou vybaveny různými systémy ovládní, většinou různými typy ovládacích terminálů, které mají vlastní displeje nebo jsou kompatibilní se systémem ISO-Bus a, nebo se ovládají přímo prostřednictvím ovládacího panelu trakčního prostředku (Javorek, 2014).

Nyní se dostáváme k překládacím vozům, které se využívají při tzv. dělené dopravě. Při dělené dopravě je oddělena dopravní obslužnost sklízecí techniky od dopravy na zpevněných a dalších komunikacích. Překládacích vozů existuje také několik druhů, přičemž se jedná jak o jednoúčelové modely, tak i o nástavby pro výměnné podvozky. Lze říci, že obecně existují dva typy speciálních překládacích nástaveb, a to s jedním šnekovým dopravníkem, nebo se dvěma šnekovými dopravníky. První skupinu tvoří konstrukce využívající trychtýřového provedení ložného prostoru s šnekovým dopravníkem, který je polohovatelný a sklopný do přepravní polohy. Dopravník slouží k samotnému překládání obsahu a tyto modely překládacích vozů se většinou konstruují jako jednoosé. Druhou skupinu tvoří modely s dvojicí šnekových dopravníků a tyto vozy se nabízejí s jednoosým až tříosým podvozkem. První šnekový dopravník též slouží k překládání obsahu a plnění nástavby odvozního prostředku, přičemž druhý šnekový dopravník je uložen ve spodní části nástavby se skosenými bočnicemi a slouží k zásobování překládacího šneku a postupnému vyprazdňování ložného prostoru (Javorek, 2014).

Překládací vozy mají hned dvojí význam. Mimo šetrný přístup k ochraně půdy, kdy nemusí těžké odvozní prostředky vjíždět na pole, též slouží překládací vozy, potažmo systémy dělené dopravy také ke zvýšení výkonnosti sklízecích mlátiček. Většinou jeden překládací vůz obsluhuje dvě až tři mlátičky, které díky tomu nemusejí vysýpat zrniny

na souvrati, ale je naopak umožněno dobré vysypání za jízdy bez nutnosti zastavovat. Díky tomu se zvyšuje výkonnost mlátičky až o 25 % (Javorek, 2014).

2.3.2 Nákladní automobilová doprava v zemědělství

Používání nákladních automobilů v zemědělství má dlouhou tradici a historii. V zemědělských podnicích a provozech se setkáváme s různými druhy nákladních automobilů, které se používají k účelům jak vnitropodnikové, tak i nadpodnikové dopravy. V obou uvedených systémech se používají jak sólo vozidla, tak i soupravy včetně speciálních tahačů a kamionových návěsů (Javorek, 2014).

Pro nákladní automobily užívané v zemědělství jsou typické různě rozsáhlé speciální úpravy, které zajišťují ochranu půdního fondu, dobrou průchodnost terénem a zároveň se díky těmto úpravám zvyšuje nosnost, a to hlavně v souvislosti s výměnami konstrukčních celků podvozku. Velmi důležitá je volba pneumatik, kterých existuje velmi široká nabídka, včetně provedení se šípovým dezénem. Jako příklad lze uvést modely pro aplikaci hnojiv a pesticidů ve vzrostlých porostech, které se dodávají s kultivačními pneumatikami. Důležitá je vhodná konfigurace podvozku a používaného obutí. Preferují se nízko-tlaké pneumatiky flotačního typu s jednoduchou montáží, které minimalizují zanechávání stop. Podvozky mohou být také opatřeny systémem změny tlaku v pneumatikách, ovládaným z kabiny vozu. Často se samotné úpravy těchto automobilů soustředí právě na volbu vhodného obutí. Existuje ovšem řada specializovaných úpravců, kteří provádějí důkladné přestavby včetně dodávek celých podvozkových skupin včetně říditelných náprav. Práce v zemědělství znamená pohyb v lehčím či těžším terénu. Právě proto je nutné dbát na vhodnou volbu převodového ústrojí. K výběru se nabízí jak manuální provedení, tak i převodovky s různou mírou automatizace. Velmi významnou roli v těchto případech hrají redukční převodovky (Javorek, 2014).

Nákladní automobily, které jsou upravené pro potřeby a služby v zemědělství, slouží také jako trakční prostředky pro zemědělské stroje a nářadí nebo jako nosiče nástaveb, ať již speciálně konstruovaných, nebo kontejnerových, které jsou určeny zejména k dopravě zemědělských komodit, hnojiv či steliv. Další skupinou nákladních automobilů, které jsou hojně využívány v zemědělství, jsou speciální tahače návěsů. Obecně se dá říci, že

vozidla dodávána víceméně ve standardním provedení jsou určena pro dopravu po zpevněných komunikacích. Jestli je dané vozidlo více či méně vhodné i pro polní provoz, určuje jeho technické provedení a míra úprav (Javorek, 2014).

2.3.2.1 Nosiče výměnných nástaveb

Používání nákladních automobilů jako nosičů různých nástaveb má v našem zemědělství bohatou tradici. K boomu tohoto systému dopravy došlo v průběhu 70. a 80. let 20. století a řada takto upravených nákladních automobilů v zemědělství slouží dodnes i přesto, že jejich používání není z hlediska provozních nákladů a utužení půdy příliš vhodné. Z hlediska používaných nástaveb můžeme hovořit o speciálně konstruovaných či z valníkových provedení vycházejících nástavbách velkoobjemových nebo nástavbách ryze přepravních, které mohou být z hlediska konstrukce vanové či vícestranně sklápěné valníkové. Hojně se v provozu můžeme také setkat s cisternovými nástavbami, které slouží zejména pro dopravu a případnou aplikaci tekutých statkových hnojiv, obsluhování různých typů postřikovačů či dopravu vody pro obsluhování pastvin bez vlastního zdroje vody. Řada podniků využívá nákladní automobily jako nosiče rozmetacích nástaveb. Tyto nástavby mohou sloužit jak pro aplikaci pevných statkových hnojiv, tak hnojiv minerálních nebo vápenatých hmot. Nástavby mohou být také doplněny o překládací šnek, který je vhodný pro zásobování výkonných samochodných aplikátorů minerálních hnojiv nebo zásobování secích strojů (Javorek, 2014).

Výše zmíněné nákladní automobily se vyrábí v provedení se dvěma, třemi nebo čtyřmi nápravami. Při používání systému výměnných nástaveb lze jednotlivé nástavby vyměňovat za pomoci manipulační techniky, pomocí hydraulických válců nebo pokud je automobil vybaven pneumatickým odpružením, lze měnit nástavby za pomoci snížení celkové výšky podvozku (Javorek, 2014).

2.3.2.2 Kontejnerové a ostatní nosiče

Používání kontejnerových nosičů je v našem zemědělství spjato hlavně s dopravní obsluhností areálů živočišné výroby a zajišťování svozu chlévské mrvy z jednotlivých provozů na centrální hnojiště. Díky široké nabídce kontejnerů došlo k rozšíření tohoto systému také do dalších odvětví zemědělské výroby a využití ve vnitropodnikové do-

pravě. Jako příklad lze uvést odvoz obilovin od skupiny sklízecích mlátiček prostřednictvím kontejnerů rozmístěných rovnoměrně na sklizeném poli. K dispozici byly a jsou také velkoobjemové, cisternové či další nástavby upevněné na rám kontejneru. Součástí kontejnerových nosičů může být též hydraulické rameno, které slouží pro nakládání různých materiálů a usnadňuje tak manipulaci s přepravovaným nákladem (Javorek, 2014).

Nákladní automobily, které se používají jako nosiče kontejnerů, se dodávají v provedení s dvouosým, tříosým nebo čtyřosým podvozkem. Délka a potažmo objem kontejneru je přímo úměrný délce šasi nákladního automobilu. Nákladní automobily staršího data výroby používaly k agregaci kontejneru lanový systém s kotvou. Nyní se častěji používají hákové nosiče, u kterých je podvozek opatřen hydraulicky ovládaným hákovým ramenem, které slouží k agregaci kontejneru a jeho upevnění. Součástí mechanismu je také systém sloužící k zadnímu vyklápění kontejneru (Javorek, 2014).

2.3.2.3 Speciální tahače návěsů

S rostoucími nároky na přepravovaný objem a rychlost přepravy se v evropských podmínkách prosazují tahače kamionových návěsů určených pro zemědělské provozy. Tyto tahače mají speciální úpravy v podobě konstrukce a konfigurace podvozku, které jim umožňují se pohybovat v různě obtížném terénu. Součástí úprav a přestaveb je centrální systém změny tlaku v pneumatikách a také pohon všech náprav. Pro použití různých typů převodových ústrojí opět platí, že je na výběr jak manuální provedení, tak i převodovky s různou mírou automatizace a nesmějí chybět ani redukční převodovky. Významný je také systém odpružení náprav. Tahače jsou též vybaveny systémy pro pohon nástaveb návěsů. Tyto tahače vycházejí buď ze sériových modelů nákladních automobilů, nebo jsou zvláště vyvíjené speciální modelové řady. Speciální modely mají řešení vynikající nízkým měrným tlakem a podvozek uzpůsobený pro překonávání terénních nerovností a překážek. Tahače kamionových návěsů pro zemědělství jsou k dostání v provedení s dvouosým nebo tříosým podvozkem, přičemž tříosé modely mohou disponovat také poslední říditelnou nápravou (Javorek, 2014).

Návěsy na speciální tahače mohou být klasické neupravené kamionové, nebo to jsou modely, které prošly různě zásadními přestavbami. Základní přestavbou je úprava pro pohyb celé soupravy v polních podmínkách, která cílí na použití odpovídajících pneumatik

s nižším měrným tlakem. Většina návěsů vychází z koncepce velkoobjemových traktorových návěsů a mají také různé systémy pro vykládku přepravovaného materiálu. Návěsy mohou mít výtlačný štít nebo podlahový řetězový laťový dopravník či podlahový pás. Modely návěsů, které mají výtlačný štít nebo podlahový dopravník mívají objem 60 až 70 m³ a v případě cisternových návěsů je to 25 až 30 m³ a více. S rostoucím objemem roste úměrně i hmotnost, takže není divu, že jsou tyto návěsy tříosé. Velkoobjemové návěsy slouží hlavně jako dopravní prostředky v technologických linkách určených pro sklizeň a zpracování siláží, kdy je nutné co možná nejrychleji přepravit co největší množství. Tříosé návěsy o objemu 90 m³ s podlahovým pásem se pak také používají i v běžné silniční dopravě. Cisternové návěsy jsou vhodné jako přívozní dopravní prostředky v technologických linkách aplikace tekutých statkových hnojiv s oddělenou dopravou a aplikací (Javorek, 2014).

Nabídku speciálních tahačů doplňují především dvouosé a někdy tříosé nákladní automobily, které mohou být navíc ještě vybaveny tříbodovým závěsem a vývodovým hřídelem. Díky tomu mohou být využity jako trakční prostředky pro různé zemědělské nářadí či výkonné senážní dvouosé a tříosé návěsy s kapacitou při středním stlačení na úrovni 65 až 100 m³, respektive 40 až 55 m³ podle DIN (Javorek, 2014).

2.3.2.4 TATRA Phoenix agrotahač 6x6

TATRA Phoenix v provedení agrotahač (tovární označení: T 158-8P5R33.311 6×6.1R) je postavena na osvědčeném tatrováckém podvozku. Ten je tvořen nezávislými výkyvnými polonápravami se vzduchovým pérováním a umožňuje tak provoz jak po silnicích, tak i v tom nejtěžším terénu, kde lze dosáhnout i vyšších rychlostí, než kterými se pohybují vozidla s tuhými nápravami. Přední náprava je řízená s možností připojení pohonu s osovým diferenciálem a se stabilizátorem. Zadní nápravy jsou poháněné s mezi-nápravovým diferenciálem, s osovými diferenciály, se stabilizátorem prostřední nápravy a na přání lze mít poslední nápravu říditelnou s elektrohydraulickým systémem ovládní do rychlosti 40 km/h. Co se týče kol, lze aby disky byly na přední i zadních nápravách stejné, a to o rozměru 22,5 x 14,00 palců s pneumatikami 445/65 R22,5, přičemž ale výrobce doporučuje disky na přední nápravě o rozměru 15,00 x 22,5 palců obutých do pneumatik 500/60 R22,5 a na zadních nápravách disky 20,00 x 22,5 palců obutých do pneumatik 600/50 R22,5. Vozidlo má také systém CTIS (Central Tire Inflation System), který

umožňuje automatické centrální huštění pneumatik, což společně s doporučenými nízkotlakými flotačními pneumatikami splňuje požadavek na snižování měrných tlaků na půdu (P&L, 2017; TATRA, 2017).

Agrotahač k pohonu využívá moderní, výkonné, úsporné motory PACCAR MX, EURO 5 ve třech výkonových variantách v kombinaci s automatizovanou 16stupňovou převodovkou ZF AS Tronic nebo 6stupňovou automatickou převodovkou Allison. Čistý výkon se pohybuje v závislosti na výkonnostních variantách od 265 do 340 kW (při jmenovitých otáčkách 1500-1900 ot/min) a točivý moment je od 1775 do 2300 Nm (při jmenovitých otáčkách 1000-1410 ot/min). Kabina modelu TATRA Phoenix, která je dodávána automobilkou DAF TRUCKS, poskytuje více pohodlí, prostoru, i bezpečnosti. Pracoviště řidiče je pohodlné díky komfortním sedadlům a celkovému uspořádání ovládacích prvků (P&L, 2017; TATRA, 2017).

Společně s vhodným návěsem dokáže tento agrotahač zásadním způsobem zvýšit produktivitu přepravy zemědělských komodit a hmot. Může být ideálním řešením pro podniky jejichž objem přeprav převyšuje objem mechanizačních prací. Díky rychlejší přepravě, kdy maximální konstrukční rychlost je 69 km/h, je též vhodný pro přepravu produktů, u kterých je výsledná kvalita závislá na rychlosti zpracování. Agrotahač je určen k agregaci jak s klasickými kamionovými návěsy, tak především se speciálními návěsy určenými do zemědělství. Speciální návěsy, v závislosti na výrobci, mají různé objemy ložného prostoru a různá technická vylepšení jako je vzduchové odpružení, zesílené nápravnice či říditelné nápravy, které umožňují tzv. „psí chod“, kdy agrotahač a návěs nejedou v jedné stopě. Mezi nejvýznamnější výrobce speciálních zemědělských návěsů, určených pro tento agrotahač, patří německá firma BERGMANN či belgická firma JOSKIN, nebo tuzemské firmy PANAV a UMIKOV, přičemž návěs UMIKOV NP2 pak oproti ostatním návěsům skýtá významnou výhodu, protože slouží jako výměnný systém nástaveb a tím umožňuje všestranné využití agrotahače (P&L, 2017; TATRA, 2017).

Zvláštností tatrováckého agrotahače je fakt, že i když konstrukčně vychází z klasického nákladního automobilu, je díky jistým úpravám a prvkům homologován do kategorie vozidel "T", tedy jako traktor. Aby agrotahač mohl být homologován do této kategorie, musela u něho být snižená rychlost na 69 km/h a instalovány povinné prvky výbavy "T"

jakými jsou: čelní upínací deska, ochranný ROPS rám, zadní etážový rámeček a přídavná světla pod čelním sklem (P&L, 2017).

2.3.3 Porovnání traktorové a nákladní automobilové dopravy v zemědělství

Většina zemědělských podniků z hlediska vnitropodnikové dopravy investuje do traktorových souprav a traktorové dopravní techniky. Je to díky tomu, že tyto provozy disponují dostatečně výkonnými zemědělskými kolovými traktory v požadovaném počtu, kdy se jedná o modely výkonové kategorie řádově 88-272 kW nominálního výkonu. Využití traktorů při dopravě umožňuje vyšší uplatnění traktorů, které byly primárně pořízeny pro energeticky náročné polní práce, které se ale provádějí jen v určitém období a mimo tyto sezónní špičky přichází právě příležitost k využití traktorů pro dopravu. Stále více podniků potvrzuje, že nejvhodnější souprava do dopravy je právě traktor o relativně nižším výkonu motoru a co největší návěs na dvou nápravách. Takováto souprava má především nižší pořizovací cenu a náklady než velké traktory s třinápravovými návěsy, které mají navíc vyšší hmotnost a snížené možnosti manévrování (Javorek, 2014; Málek, 2014).

Na druhou stranu díky nadpodnikové dopravě, která je provozována na vzdálenosti desítek až stovek kilometrů, nárůstu výkonnosti speciálních sklizňových a aplikačních strojů, rozvoji služeb v zemědělství a také díky rozmachu dělené dopravy, která potřebuje objemné odvozní prostředky, má nákladní automobil v zemědělství nezastupitelnou funkci. Z výše uvedeného vyplývá, že používání nákladních automobilů v zemědělství je dnes spíše orientováno na silnice, zpevněné komunikace nebo na souvratě polí, ale například při jejich nasazení, jako dopravních prostředků v technologických linkách určených pro sklizeň a zpracování siláží, se jejich provoz nevyklučuje ani přímo na poli. Řada zemědělců ovšem tvrdí, že: „Nákladňák na pole nepatří!“. To možná pramení ze zažitého rčení a neznalosti technických inovací a speciálních úprav nákladních automobilů určených do zemědělství. Výrobci nákladních automobilů přicházejí z technickými řešeními, která dbají na ochranu půdního fondu. Nejvýznamnějším opatřením z hlediska ochrany půdy jsou pneumatiky. Nákladní automobily určené do zemědělství používají nízkotlaké flotační pneumatiky a centrální systémy dohušťování a podhušťování pneumatik, které lze ovládat přímo z kabiny vozu. Tento systém umožňuje při jízdě v poli pneumatiky podhustit, a tak zvětšit jejich kontaktní plochu s půdou, díky čemuž se sníží měrný tlak

na půdu, a naopak na pevné vozovce pneumatiky dohustit a snížit tak jejich valivý odpor a jejich opotřebení (Javorek, 2014; Pastorek, 2002).

3 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv používání nákladního automobilu v zemědělství na půdní prostředí.

Pro splnění tohoto cíle byl zpracován literární přehled týkající se půdy a její funkce, ohrožení zemědělského půdního fondu České republiky, příčin vzniku pedokompakce a jejího negativního vlivu na půdní prostředí a porovnání používání traktorové a nákladní automobilové dopravy v zemědělství.

Cílem experimentální části práce bylo provedení polně-laboratorního pokusu, jehož podstatou bylo vyhodnocení stavu půdního prostředí po přejezdu soupravy traktoru s návěsem a soupravy agrotahače TATRA s návěsem v osmi variantách, které vznikly kombinací různého zatížení souprav a různého tlaku v pneumatikách.

V neposlední řadě bylo cílem práce, na základě získaných výsledků, poskytnout doporučení pro použití zemědělské techniky v provozních podmínkách.

4 MATERIÁL A METODIKA

V diplomové práci byl porovnán a zhodnocen vliv použití nákladního automobilu a traktoru s návěsem na půdní prostředí. Měření bylo prováděno 18. a 19. 11. 2015 na pozemku, který obhospodařuje Agrodružstvo Blížkovice se sídlem Blížkovice 325, 671 55, které leží v Jihomoravském kraji, přibližně 6,5 km jihovýchodně od Moravských Budějovic (GPS souřadnice: 48°59'44.290"N, 15°50'5.796"E).

4.1 Charakteristika Agrodružstva Blížkovice

Agrodružstvo Blížkovice vzniklo v roce 1993 transformací z JZD Blížkovice. Zemědělský podnik obhospodařuje lehké půdy. Podloží tvoří spraše a z 50 % to jsou půdy hlinitopísčité, z 20 % hlinité, 25 % tvoří písčitohlinité a 5 % nivní půdy. Celková výměra podniku je 4544,76 ha a zasahuje do 14 katastrů. Agrodružstvo hospodaří v bramborářské výrobní oblasti a bioklimatologické podmínky byly v roce 2015 následující: průměrná roční teplota 6-10 °C, teplotní minima 12/15 -5 °C, teplotní maxima 8/15 38 °C, bez zámrazu a bez trvalé sněhové pokrývky, úhrn srážek za celý rok 462 mm, minima 2/15 3 mm a maxima 10/15 90 mm. V roce 2015 družstvo pěstovalo: pšenici ozimou na 1814,98 ha, ječmen ozimý na 89,47 ha, ječmen jarní na 140,46 ha, žito seté na 68,6 ha, řepku olejku na 768,48 ha, kukuřici na 664,24 ha, hrách setý na 357,29 ha, hořčici na 10,03 ha, vojtěšku na 131,95 ha, jetelotrávy na 229,18 ha, jarní podsevy na 153,01 ha a trvalé travní porosty zaujímaly 117,07 hektarů. V rámci živočišné výroby podnik chová 1300 kusů skotu Holštýnského plemene z toho 650 kusů dojnic. Družstvo má 72 trvalých zaměstnanců.

4.2 Charakteristika půdního bloku

Pokus probíhal na půdním bloku s názvem U Trojice, který má výměru 34,13 ha a je evidován pod číslem: 6705-0 (650-1170), čtverec: 650-1170 a zkrácený kód: 6705/13. Tento pozemek leží u cesty mezi obcemi Blížkovice a Ctidružice (GPS souřadnice: 48°59'17.228"N, 15°50'52.033"E). Půdním typem je zde hnědozem a půdní druh je hlinitopísčitá, tudíž lehká půda. Půdními rozbory byly na tomto pozemku zjištěny následující hodnoty přístupných živin (mg.kg^{-1} půdy) a pH:

- P - 103 mg.kg^{-1} půdy,
- K - 224 mg.kg^{-1} půdy,

- Mg - 171 mg.kg⁻¹ půdy,
- Ca - 1744 mg.kg⁻¹ půdy,
- pH 6.

Před vlastním provedením pokusu byla na pozemku pěstována kukuřice na zrno. Ta byla sklizena 15. 10. 2015 a sláma z kukuřice byla rozdrvena adaptérem kombajnu. Strniště bylo následně mulčováno a na pozemek se aplikovala kejda skotu v dávce 30 m³/ha. Po aplikaci kejdy proběhlo kypření strojem HORSCH Tiger, který půdu zpracoval do hloubky 0,30 m.



Obrázek 2 Letecký snímek půdního bloku U Trojice (zdroj: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>)

4.3 Charakteristika použité zemědělské techniky

K pokusu byla použita zemědělská technika, která je ve vlastnictví Agrodružstva Blížkovice. Jako zástupce traktorové dopravy byl vybrán traktor FENDT 926 Vario TMS, který byl agregován s návěsem ANNABURGER HTS 22.79. Zástupcem nákladní automobilové dopravy byla TATRA Phoenix agrotahač 6x6, která byla agregována s návěsem BERGMANN HW-11.

U obou souprav a u všech pneumatik použitých na soupravách byl zjištěn jejich rozměr a typ. Dle doporučení výrobce a dle daného typu pneumatik se nahustily na příslušný

tlak dle variant (nahuštěná a podhuštěná), přičemž tlak v pneumatikách obou návěsů zůstával konstantní, protože ani v praxi se nemění (nemá vliv na trakci). To vše se provedlo jak u prázdných souprav, tak i u souprav naložených. Soupravy prázdné i naložené se ještě zvážily a zaznamenala se jejich celková hmotnost. Typy pneumatik, jejich rozměry, tlak v pneumatikách při různých variantách a hmotnosti prázdných a naložených souprav udávají tabulky 5-10.

4.3.1 FENDT 926 Vario TMS a ANNABURGER HTS 22.79

Jedná se o klasický kolový zemědělský traktor německé výroby. Modelová řada 900 je na trhu již od roku 1995 a jedná se o traktory vyšší třídy, které jsou vhodné pro větší zemědělské podniky a firmy poskytující služby v zemědělství. Tento model disponuje motorem o výkonu 220 kW, který je zároveň šetrný k životnímu prostředí a za nějž FENDT dostal různá ocenění. Unikátní je také převodovka Vario, která pomáhá co nejlépe využít sílu traktoru. Německý návěs ANNABURGER slouží jako výměnný systém nástaveb. Díky tomu ho lze všestranně využívat pro dopravu různých zemědělských materiálů a hmot.

Tabulka 5 Typ a rozměr pneumatik u soupravy traktoru s návěsem

FENDT 926 Vario TMS		
PNEUMATIKA	TYP (VÝROBCE)	ROZMĚR [v palcích]
NÁPRAVA		
1. přední (řiditelná)	KLEBER Gripker	600/65 R34
2. zadní (neřiditelná)	KLEBER Topker	650/85 R38
ANNABURGER HTS 22.79		
1. přední	MICHELIN CargoXBib	600/55 R26,5
2. zadní	MICHELIN CargoXBib	600/55 R26,5

Tabulka 6 Tlak různě nahuštěných pneumatik u soupravy traktoru s návěsem

FENDT 926 Vario TMS				
VARIANTA	NAHUŠTĚNÁ PNEUMATIKA [bar]		PODHUŠTĚNÁ PNEUMATIKA [bar]	
NÁPRAVA	LEVÁ	PRAVÁ	LEVÁ	PRAVÁ
1. přední (řiditelná)	1,25	1,25	0,7	0,7
2. zadní (neřiditelná)	1,65	1,65	1,2	1,2
ANNABURGER HTS 22.79				
1. přední	3,2	2,95	3,2	2,95
2. zadní	3,2	3,2	3,2	3,2

Tabulka 7 Celková hmotnost prázdné a naložené soupravy traktoru s návěsem

	PRAZDNÁ SOUPRAVA	NALOŽENÁ SOUPRAVA	NÁKLAD
HMOTNOST [kg]	17 500	34 700	17 200



Obrázek 3 Souprava FENDT 926 Vario TMS s návěsem ANNABURGER HTS 22.79 (foto: Jan Novák)

4.3.2 TATRA Phoenix agrotahač 6x6 a BERGMANN HW-11

Agrotahač je postaven na unikátním tatrováckém podvozku, který umožňuje nasazení tohoto vozidla i do velmi těžkého terénu. Výkon agrotahače je 340 kW, díky čemuž dokáže, společně s vhodným návěsem, zásadním způsobem zvýšit produktivitu přepravy zemědělských komodit a hmot. V kapitole 3.3.2.4 je uveden bližší technický popis agrotahače. Návěs BERGMANN pocházející z Německa je přímo určen k agregaci s tatro-

váčkým agrotahačem. Může sloužit k dopravě jak sypkých, tak i objemných zemědělských materiálů a díky jeho říditelným nápravám je usnadněné manévrování s celou soupravou.

Tabulka 8 Typ a rozměr pneumatik u soupravy agrotahače s návěsem

TATRA Phoenix agrotahač 6x6		
PNEUMATIKA	TYP (VÝROBCE)	ROZMĚR [v palcích]
NÁPRAVA		
1. přední (řiditelná)	CONTINENTAL Contract AC 70+	445/65 R22,5
2. zadní (neřiditelná)	TRELLEBORG Twin Radial	600/50 R22,5
3. zadní (řiditelná)	CONTINENTAL Contract AC 70+	445/65 R22,5
BERGMANN HW-11		
1. přední (řiditelná)	ALLIANCE All Steal Agri-truck	600/50 R22,5
2. zadní (řiditelná)	ALLIANCE All Steal Agri-truck	600/50 R22,5

Tabulka 9 Tlak různě nahuštěných pneumatik u soupravy agrotahače s návěsem

TATRA Phoenix agrotahač 6x6				
VARIANTA	NAHUŠTĚNÁ PNEUMATIKA [bar]		PODHUŠTĚNÁ PNEUMATIKA [bar]	
	LEVÁ	PRAVÁ	LEVÁ	PRAVÁ
NÁPRAVA				
1. přední (řiditelná)	4,5	4,47	3,5	3,5
2. zadní (neřiditelná)	3,8	4,05	2,10	2,10
3. zadní (řiditelná)	4,7	4,15	3,30	3,30
BERGMANN HW-11				
1. přední (řiditelná)	5,15	5,05	5,15	5,05
2. zadní (řiditelná)	4,9	4,4	4,9	4,4

Tabulka 10 Celková hmotnost prázdné a naložené soupravy agrotahače s návěsem

	PRÁZDNÁ SOUPRAVA	NALOŽENÁ SOUPRAVA	NÁKLAD
HMOTNOST [kg]	22 300	43 800	21 500



Obrázek 4 Souprava TATRA Phoenix agrotahač 6x6 s návěsem BERGMANN HW-11
(foto: Jan Novák)

4.3 Charakteristika pokusu

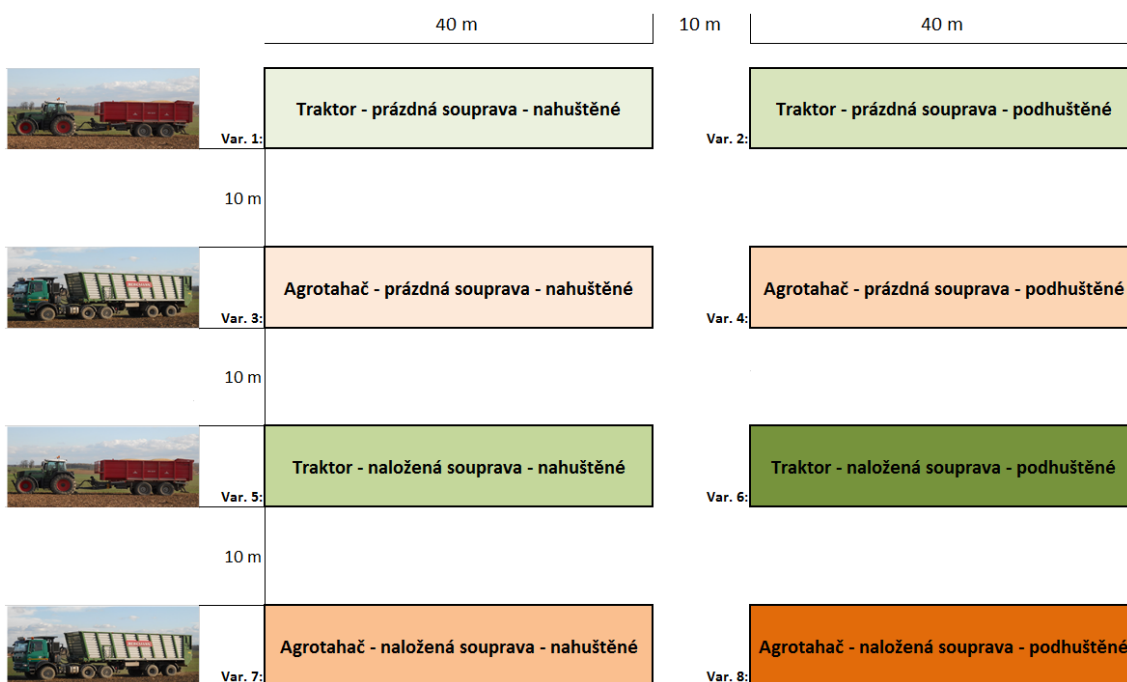
Pokus probíhal na základě třech proměnných, přičemž první proměnnou byla použitá zemědělská technika (souprava traktoru s návěsem a souprava agrotahače s návěsem). Druhou proměnnou je hmotnost souprav (prázdná souprava a naložená souprava) a třetí proměnnou je pak tlak v pneumatikách (nahuštěné pneumatiky – tzn. doporučený tlak výrobcem a podhuštěné pneumatiky). Kombinací těchto třech proměnných vzniklo celkem osm variant.

Plánek pokusu ukazuje obrázek 5. V každé variantě ujela souprava vždy 40 měřených metrů po pokusném pozemku, přičemž mezi jednotlivými variantami bylo vždy vynecháno 10 metrů.

Pro posouzení vlivu použité techniky na půdní prostředí byly odebírány vzorky půdy (odběr fyzikálních Kopeckého válečků, odběr vzorků půdy pro stanovení její struktury) a prováděla se různá měření (měření penetrometrického odporu, měření otisku pneumatik, měření profilu koleje). Abychom mohli zhodnotit a porovnat naměřené hodnoty, bylo nutné provést výše zmíněné odběry a měření na pokusném pozemku, v místě budoucího pojezdu, ještě před samotným projetím souprav (varianta 0).

Varianty pokusu:

- 0 – kontrola – pokusný pozemek před projetím porovnávaných souprav
- 1 – prázdná souprava traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami
- 2 – prázdná souprava traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami
- 3 – prázdná souprava agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami
- 4 – prázdná souprava agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami
- 5 – naložená souprava traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami
- 6 – naložená souprava traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami
- 7 – naložená souprava agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami
- 8 – naložená souprava agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami



Obrázek 5 Plánek pokusu

4.3.1 Odběr fyzikálních Kopeckého válečků

Odebírání fyzikálních Kopeckého válečků slouží pro zhodnocení fyzikálních vlastností půdy. Před a po projetí soupravy se u každé varianty odebíraly Kopeckého válečky ze tří hloubek (0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-30 m) ve 4 opakováních, což je celkem 108 válečků. Rozbor půdních vzorků byl proveden na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně tzv. metodou přímého rozboru vzorků půdy v přirozeném uložení podle Kopeckého a Nováka (1954), která byla upravena dle Kostelanského

(1980). Ze zkoumaných fyzikálních vlastností byly vybrány tyto tři: objemová hmotnost půdy redukovaná (ρ_d), celková pórovitost (PC) a minimální vzdušná kapacita (MVK). Právě u těchto fyzikálních vlastností půdy jsou velmi dobře znatelné změny vyvolané přejezdem zemědělské techniky v třífázovém půdním systému, tvořeného pevnou půdní hmotou, vodou a vzduchem.

4.3.2 Odběr vzorků půdy pro stanovení její struktury

Před a po projetí soupravy se u každé varianty odebraly vzorky pro stanovení struktury půdy. Vzorky byly odebírány ze dvou hloubek (0-0,15 m; 0,15-0,30 m) a to ve dvou opakováních.

4.3.2.1 Stanovení koeficientu strukturnosti

Stanovení koeficientu strukturnosti se provádělo tzv. suchou cestou. Jednotlivé proschlé vzorky zeminy se přesely na síťovacím stroji FRITSCH Analysette 3 SPARTAN, který má síta s průměry ok 10, 5, 2, 1, 0,5 a 0,25 mm (Javorský et al., 1987). Půdu z jednotlivých sít a půda ze dna se po prosévání zvažila. Procentuální zastoupení jednotlivých velikostních frakcí půdy, které jsou stabilní za sucha, se vypočítaly z navážených hodnot. Hodnoty procentuálního zastoupení se použily k výpočtu koeficientu strukturnosti (KS). Ten nám udává poměr mezi agronomicky cennými agregáty s průměrem 0,25-10 mm a méně cennými strukturními agregáty. Koeficient strukturnosti se zvyšuje se zvyšujícím se podílem agronomicky cenných agregátů (Smutný, 2014).

$$KS = \frac{\sum \% \text{ zastoupení agregátů } 10-0,25 \text{ mm}}{\sum \% \text{ zastoupení agregátů } > 10 \text{ mm} + < 0,25 \text{ mm}}$$



Obrázek 6 (vlevo) Sítovací stroj FRITSCH Analysette 3 SPARTAN

Obrázek 7 (vpravo) Přesívání proschlých vzorků zeminy (foto: Lubomír Neudert)

4.3.2.2 Stanovení vodostálosti půdních agregátů

Metodika měření schopnosti půdní struktury odolávat eroznímu vlivu vody, tedy vodostálosti půdních agregátů, vychází z principu konstrukce dispergačního přístroje. Ke stanovení vodostálosti půdních agregátů byla využita německá norma č. DIN 19683-16. Ta se používá v Německu a Rakousku a je upravená na základě metody (Kemper a Koch 1996; Murer et al., 1993). Námi použitá metodika je pak popsána v disertační práci Makrostrukturální změny antropogenně zhutněných půd (Bartlová, 2013). Vzhledem k dlouhé době sušení se proces stanovení provádí tři dny. Nejprve se pomocí sít oddělily z půdního vzorku, který je vyschlý při laboratorní teplotě, frakce 1-2 mm. S přesností na dvě desetinná místa se navážilo 4 g (W) půdního vzorku do předem vysušených a zvážených odpařovacích misek (M_1). Jen při prvním stanovení, když byla sítko suchá, se namočila destilovanou vodou a do jednotlivých sítok se nasypal půdní vzorek. Zbytek z misky se vypláchl asi 80 ml destilované vody o teplotě 20-25 °C. V síťovém promývacím přístroji (výrobce Adolf Herzog GmbH) se promýval vzorek po dobu pěti minut při 42 zdvích za minutu. Aby nedocházelo k dalšímu rozplavování, vyndala se sítko se

vzorky co nejrychleji a vložila do odpařovacích misek dnem vzhůru. Zbytek po rozplavení se převedl destilovanou vodou do odpařovací misky a vzorek se sušil při 105 °C do konstantní teploty. Po vychladnutí v exsikátoru se zvážil (M_2). Do zvážených vzorků se nalilo 50 ml roztoku pyrofosforečnanu a nechalo dvě hodiny působit. Nato se půdní částice rozetřely gumovou stěrkou a znovu se převedly do sítok a opět promývaly pět minut na síťovém promývacím přístroji. Poté se vzorky vyňaly a proudem vody promyly tak, aby na dně sítok zůstal jen písek a byly vyplaveny všechny jílovité částice. Písek (částice nad 0,25 mm) se vypláchl do odpařovací misky a sušil při 105 °C do konstantní hmotnosti. Po vychladnutí v exsikátoru se zvážil (M_3). Vážení misek po vysušení a vychladnutí na laboratorní teplotu se provedlo s přesností na 0,0001 g.

Vodostálost půdních agregátů je vyjádřena jako procento stabilních agregátů z celkového množství agregátů po odečtení obsaženého písku podle vzorce:

$$\% \text{ SAS} = \frac{M_2 - M_3}{W - (M_3 - M_1)} * 100$$



Obrázek 8 (vlevo) Síťový promývací přístroj (foto: Josef Adámek)

Obrázek 9 (vpravo) Vzorky půdy v miskách (foto: Josef Adámek)

4.3.3 Měření penetrometrického odporu půdy

Pomocí ručního digitálního penetrometru EIJKELKAMP Penetrologger se před a po projetí soupravy měřil penetrometrický odpor půdy, který slouží ke zhodnocení možného utužení půdy. Měření se provádělo ve stopě na 3 místech (opakováních) u každé varianty. Vždy se provedlo 5 vpichů přes celou šířku stopy (od jednoho okraje stopy k druhému okraji) do hloubky 0,45 m. Součástí tohoto penetrometru je i sonda Theta-probe na měření vlhkosti půdy. Z naměřených hodnot byl vygenerován graf s průběhem penetrometrického odporu půdy.



Obrázek 10 Označení vpichů penetrometrického měření (foto: Lubomír Neudert)

4.3.4 Měření otisků pneumatik a stanovení středního kontaktního tlaku

U všech variant pokusu se měřila délka otisku a z vyjeté stopy také šířka otisku pneumatik. Délka dotyku pneumatiky s podložkou (půdou) se měřila po zastavení soupravy, kdy se nejdříve rýčem a poté ručně opatrně, z vytlačené zeminy na okrajích stopy, obnažil bok pneumatiky a délka styku pneumatiky s půdou se změřila pomocí skládacího metru. Šířka otisku pneumatiky se pak měřila pomocí skládacího metru ve vyjeté stopě u hrany pneumatiky. Měření se provádělo vždy u všech kol soupravy ve třech opakováních.



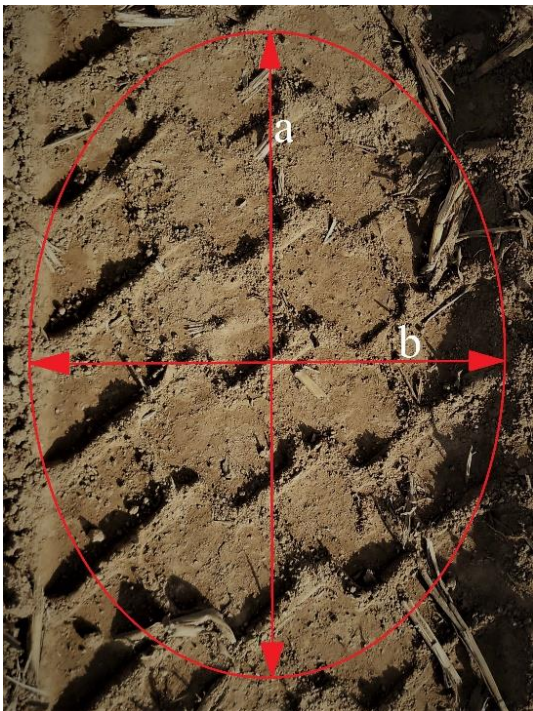
Obrázek 11 (vlevo) Obnažování boku pneumatiky pro následné měření (foto: Jan Novák)
Obrázek 12 (vpravo) Měření šířky otisku pneumatiky ve vyjeté stopě (foto: Jan Novák)

Z naměřených hodnot se pak vypočítala plocha otisku pneumatik (kontaktní plocha pneumatik s půdou) a kontaktní tlak soupravy na půdu. Výpočet plochy otisku pneumatik byl proveden dle vzorce pro výpočet obsahu elipsy (Polák, 1991): $S = (\pi * a * b) / 2$

kde: π = Ludolfovo číslo

a = délka styku a [cm]

b = délka styku b [cm].



Obrázek 13 Plocha otisku pneumatiky (obsah elipsy)

Po výpočtu ploch otisků všech pneumatik u všech souprav byl vypočítán střední kontaktní tlak podle vzorce (Bauer et al., 2006):

$$q_s = \frac{Y}{S_0}$$

kde: q_s = střední kontaktní tlak [Pa]

Y = normálová reakce [N]

S_0 = plocha otisku pneumatiky [m²].

Střední kontaktní tlak (q_s) byl poté ještě přepočítán, podle Söhne (in Bauer et al., 2006), koeficientem 1,5 (koeficient měkká suchá podložka) pro náš povrch, kterým byla měkká suchá půda.

4.3.5 Měření profilu koleje

Po vnějších stranách koleje se zatloukly pomocné kolíky, na které se umístila šrafovaná lať, která měla šafování po pěti centimetrech. Kolíky musely být zatlučené tak, aby na nich položená lať byla vodorovná, což jsme překontrolovaly pomocí vodováhy. Šrafovaná lať byla ve výšce zhruba 0,5 metru nad vyjetými kolejemi. Poté byly spuštěny kolmice po 5 cm a odměřována vzdálenost latě od povrchu terénu. Měření se provádělo u každé varianty, přičemž z naměřených hodnot byly vygenerovány grafy profilů kolejí.



Obrázek 14 Měření profilu vyjeté koleje pomocí šrafované latě (foto: Jan Novák)

4.4 Postup zpracování výsledků a statistického vyhodnocení

Naměřené hodnoty a laboratorně stanovené hodnoty byly zpracovány k základním výpočtům a k vygenerování grafů pomocí počítačového programu MICROSOFT Excel 2016. Ke statistickému vyhodnocení a grafickému vyjádření výsledků byl použitý software STATISTICA CZ, verze 12.

Data byla vyhodnocena analýzou rozptylu (ANOVA). Při zjištění průkaznosti byla data dále testována mnohonásobným porovnáním, kdy se zjistila míra průkaznosti. Testování míry průkaznosti bylo provedeno metodou minimální průkazné difference (LSD test). Rozdílná malá psací písmena (a, b, c a d), v horních indexech u hodnot, značí průkazný rozdíl v hladině významnosti $P \leq 0,05$.

5 VÝSLEDKY

Pro lepší orientaci ve výsledných hodnotách, jež jsou uváděny v tabulkách bylo použito barevné rozlišení. Zjištěné hodnoty, které překračují limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělé půdy jsou označeny červeně. Červeně a tučně jsou označeny takové hodnoty, které pro danou hodnocenou vlastnost vyšly nejhůře. Naopak zeleně a tučně označené hodnoty dopadly nejlépe.

5.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Následující podkapitoly 5.1.1, 5.1.2 a 5.1.3 pojednávají o vlivu přejezdu různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách na fyzikální vlastnosti půdy. Limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělé půdy pro jednotlivé půdní druhy udává tabulka 11. Výsledky u jednotlivých fyzikálních vlastností půdy jsou zaznamenány níže v příslušných tabulkách a graficky znázorněny v příslušných obrázcích.

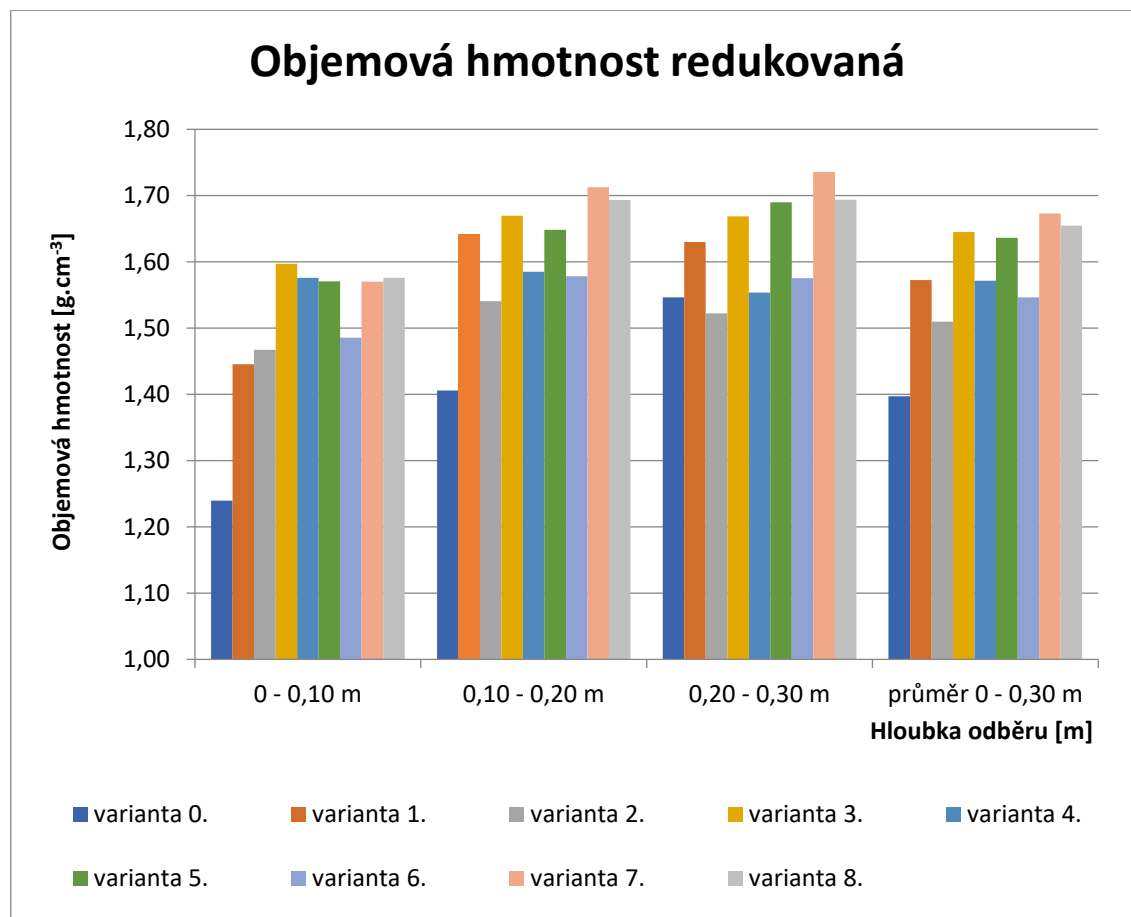
Tabulka 11 Limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělé půdy (zdroj: Lhotský, 2000)

PŮDNÍ DRUH	OBJEMOVÁ HMOTNOST REDUKOVANÁ [g.cm ⁻³]	CELKOVÁ PÓROVITOST [% objem.]	MINIMÁLNÍ VZDUŠNÁ KAPACITA [% objem.]
Jíl	> 1,35	< 48	< 10
Půda jílovitá a jílovitohlinitá	> 1,40	< 47	< 10
Půda hlinitá	> 1,45	< 45	< 10
Půda písčitohlinitá	> 1,55	< 42	< 10
Půda hlinitopísčítá	> 1,60	< 40	< 10
Půda písčítá	> 1,70	< 38	< 10

5.1.1 Objemová hmotnost redukována

Nejnižší zaznamenaná hodnota objemové hmotnosti redukována je u kontroly (var. 0), zatímco nejvyšší hodnota je u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 7). Je patrné, že s narůstající hloubkou se zvyšují hodnoty objemové hmotnosti redukována. Limitní hodnoty pro zhutnělou půdu byly překročeny u prázdné soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 3), naložené soupravy

traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 5), naložených souprav agrotahače s návěsem jak s nahuštěnými, tak podhuštěnými pneumatikami (var. 7, 8). Tuto skutečnost znázorňuje obrázek 15 a udává tabulka 12.



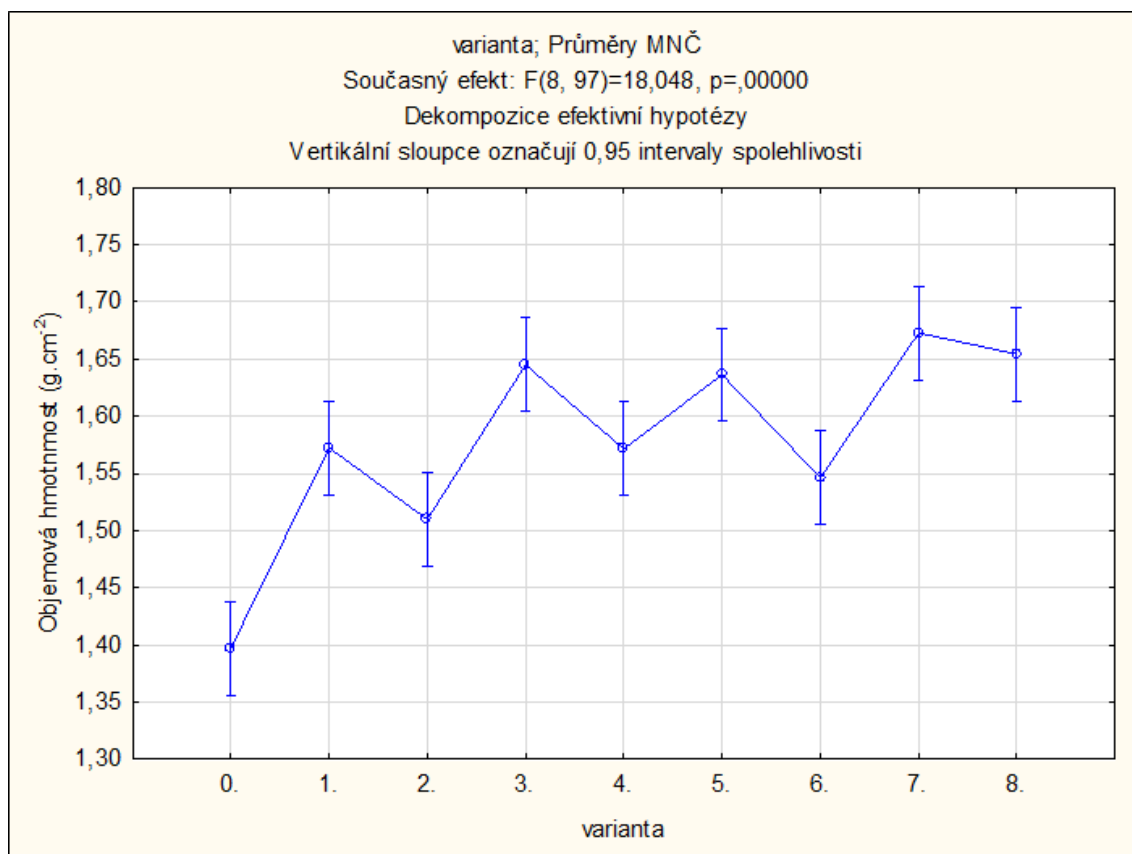
Obrázek 15 Objemová hmotnost redukovaná pro jednotlivé varianty

Tabulka 12 Objemová hmotnost redukovaná [$g.cm^{-3}$] pro jednotlivé varianty

HĹOUBKA ODBĚRU [m]	VARIANTY								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0 – 0,30 průměr	1,40^a	1,57 ^c	1,51 ^b	1,65^d	1,57 ^c	1,64^d	1,55 ^{b,c}	1,67^d	1,65^d

Testováním pomocí LSD testu byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 0 a ostatními variantami. Taktéž tomu bylo i mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 5, 7 a 8, mezi variantou 2 a variantami 3, 4, 5, 7 a 8, mezi variantou 3 a variantami 4 a 6.

Statisticky významný rozdíl nebyl zjištěn mezi variantami 2 a 6. Ten nebyl zjištěn ani mezi variantami 1, 4 a 6, stejně tomu tak bylo i mezi variantami 3, 5, 7 a 8. Z toho vyplývá, že podhuštění pneumatik má pozitivní vliv na objemovou hmotnost redukovanou. Tento fakt dokazuje tabulka 12 a v obrázku 16 jsou vyznačeny intervaly spolehlivosti.

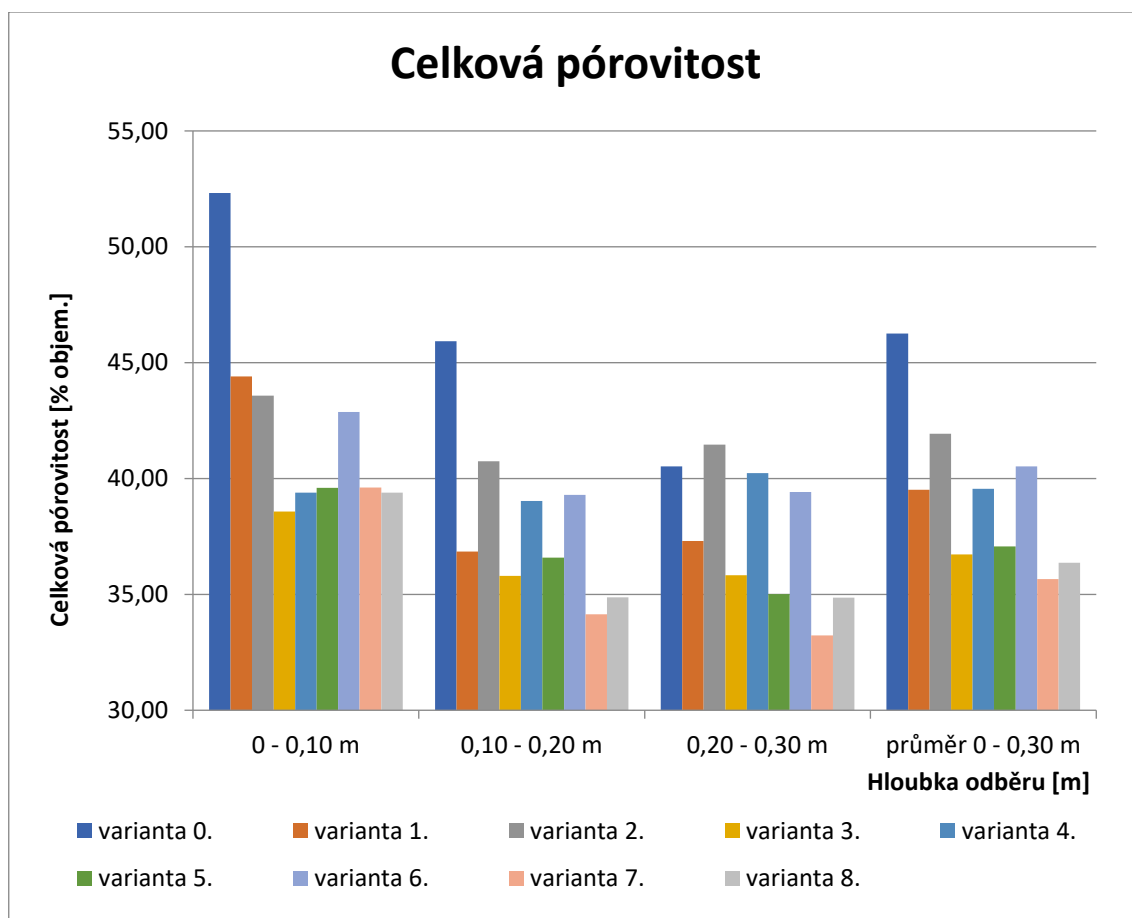


Obrázek 16 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u objemové hmotnosti redukované

5.1.2 Celková pórovitost

Nejvyšší hodnota celkové pórovitosti byla zaznamenána u kontroly (var. 0), nejnižší pak byla u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 7). S rostoucí hloubkou klesá i celková pórovitost. Limitní hodnoty pro ztuhlou půdu byly překročeny u prázdné soupravy traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 1), prázdné soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 3), prázdné soupravy agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 4), naložené soupravy traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 5) a naložených souprav

agrotahače s návěsem jak s nahuštěnými, tak podhuštěnými pneumatikami (var. 7, 8). Tento fakt znázorňuje obrázek 17 a udává tabulka 13.



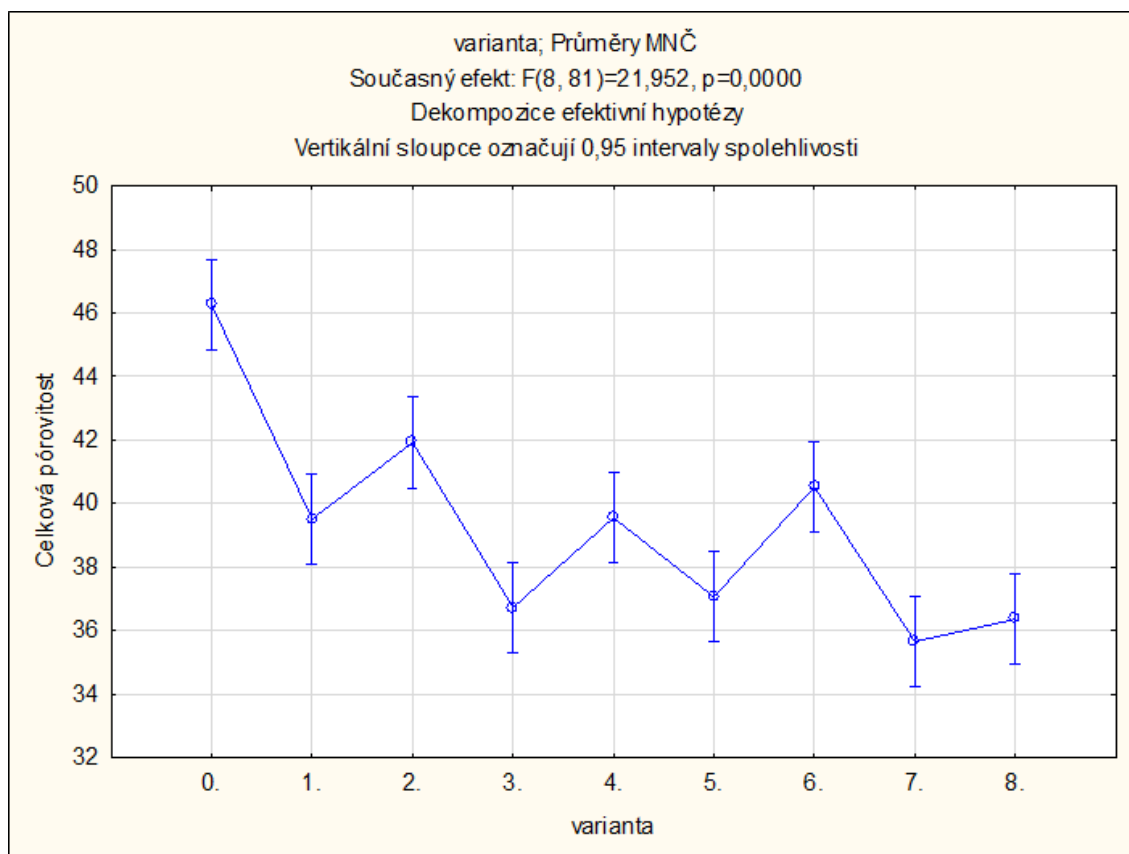
Obrázek 17 Celková pórovitost pro jednotlivé varianty

Tabulka 13 Celková pórovitost [% objem.] pro jednotlivé varianty

HLOUBKA ODBĚRU [m]	VARIANTY								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0 – 0,30 průměr	46,26 ^a	39,52 ^b	41,93 ^c	36,73 ^d	39,55 ^b	37,06 ^d	40,53 ^{b,c}	35,66 ^d	36,37 ^d

Testováním pomocí LSD testu byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 0 a všemi ostatními variantami. Tento fakt byl také zjištěn mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 5, 7 a 8, mezi variantou 2 a variantami 3, 4, 5, 7 a 8, mezi variantou 3 a variantami 4 a 6.

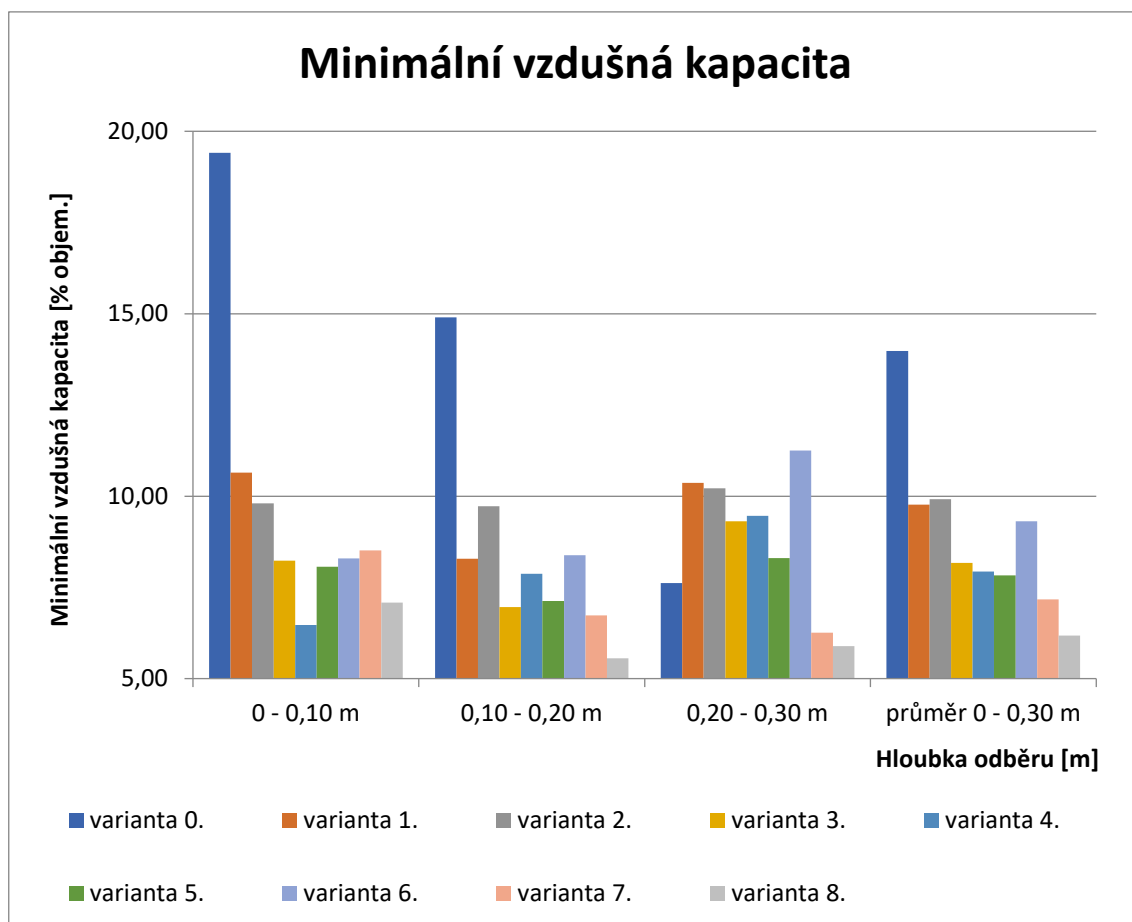
Mezi variantami 2 a 6 nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Ten nebyl zjištěn ani mezi variantami 1, 4 a 6, stejně tomu tak bylo i mezi variantami 3, 5, 7 a 8. Opět se potvrdil pozitivní vliv podhuštění, jelikož celková pórovitost vzrostla. To potvrzuje tabulka 13 a v obrázku 18 jsou vyznačeny intervaly spolehlivosti.



Obrázek 18 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u celkové pórovitosti

5.1.3 Minimální vzdušná kapacita

Minimální vzdušná kapacita vykazuje nejvyšší hodnoty u kontroly (var. 0). Nejnižší hodnota byla naměřena u naložené soupravy agrothače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 8). Limitní hodnoty pro minimální vzdušnou kapacitu byly překročeny všechny soupravy (var. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 a 8). Tuto skutečnost znázorňuje obrázek 19 a udává tabulka 14.



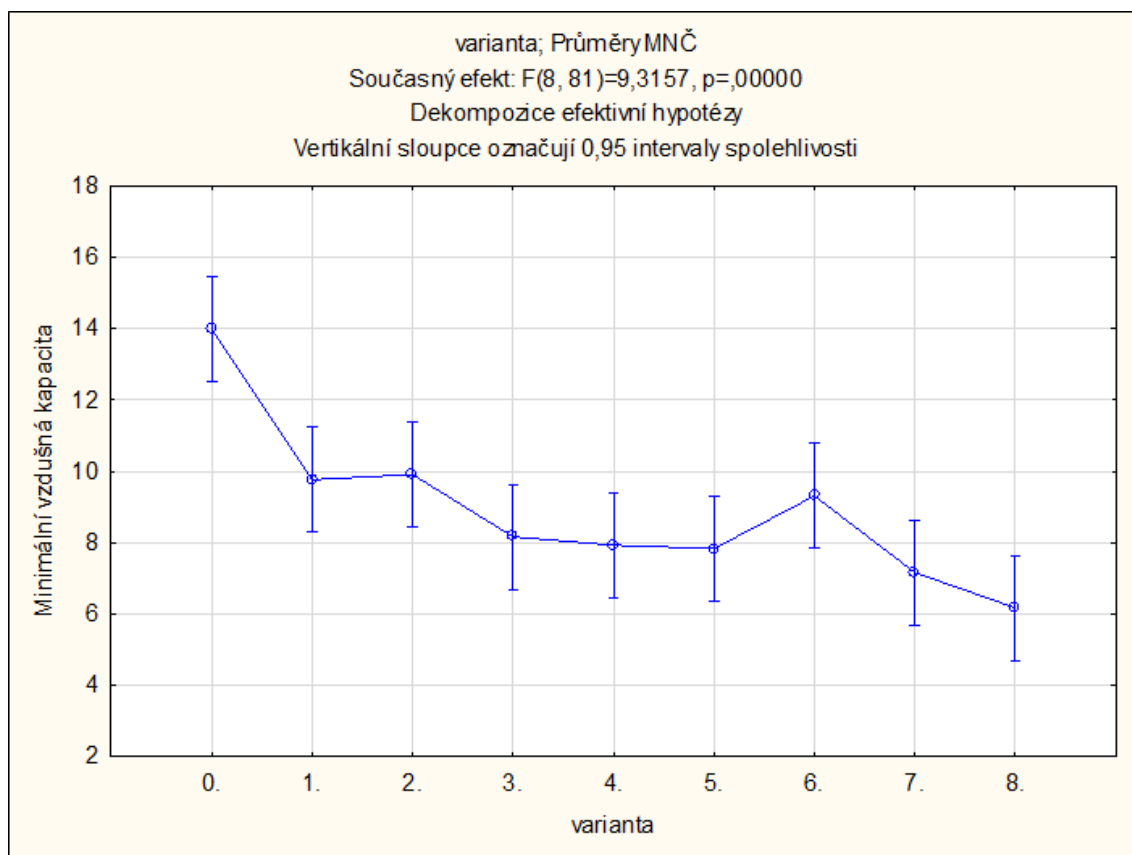
Obrázek 19 Minimální vzdušná kapacita pro jednotlivé varianty

Tabulka 14 Minimální vzdušná kapacita [% objem.] pro jednotlivé varianty

HLOUBKA ODBĚRU [m]	VARIANTY									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0 – 0,30 průměr	13,98 ^a	9,76 ^{b,c}	9,91 ^b	8,17 ^{b,c,d}	7,93 ^{b,c,d}	7,83 ^{c,d}	9,31 ^{b,c}	7,17 ^d	6,18 ^d	

Testováním pomocí LSD testu byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 0 a ostatními variantami. Statisticky významný rozdíl byl také zjištěn mezi variantou 1 a variantami 7 a 8, mezi variantou 2 a variantami 5, 7 a 8.

Mezi variantami 1, 2, 3, 4 a 6 nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Taktéž tomu bylo i mezi variantami 1, 3 a 4, nebo mezi variantami 3, 4, 5, 7 a 8. Z uvedeného vyplývá, že s rostoucí hmotností klesá minimální vzdušná kapacita a rovněž je patrný pozitivní vliv podhuštěných pneumatik. To zobrazuje tabulka 14 a v obrázku 20 jsou znázorněny intervaly spolehlivosti.



Obrázek 20 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u minimální vzdušné kapacity

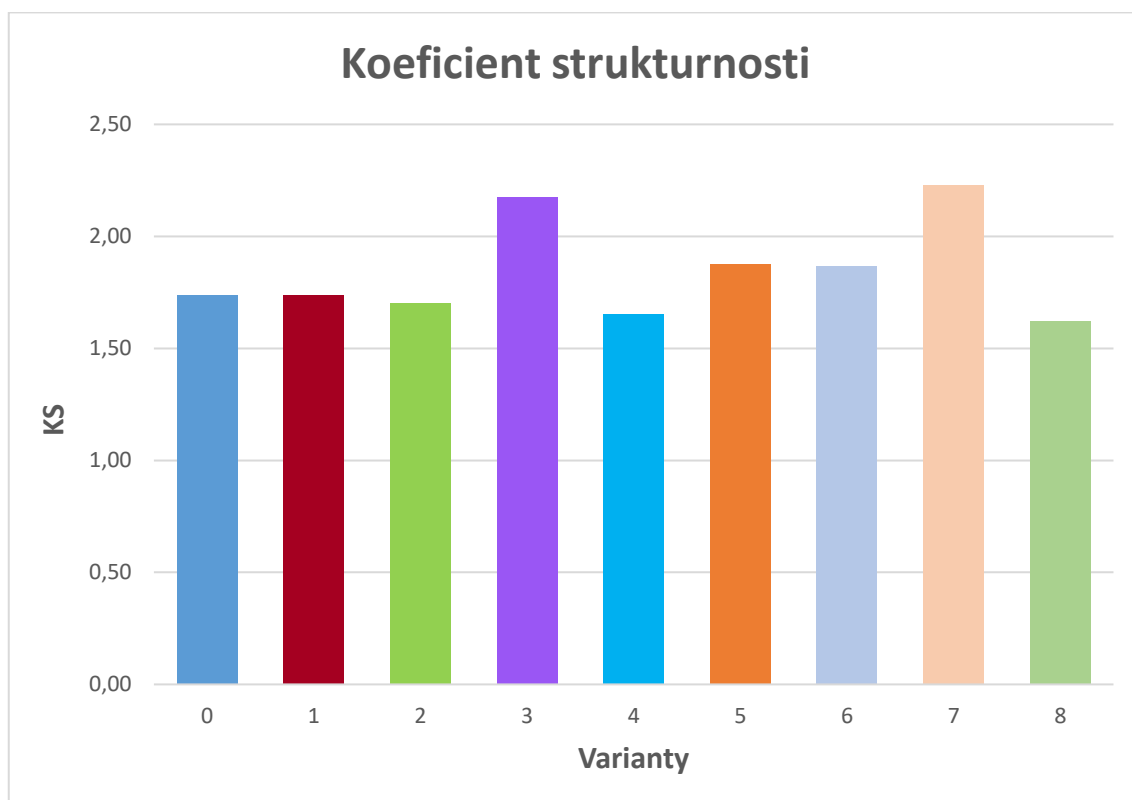
5.2 Struktura půdy

Následující podkapitoly 5.2.1 a 5.2.2 pojednávají o vlivu přejezdu různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách na strukturu půdy. Výsledky pro posouzení struktury půdy jsou zaznamenány níže v příslušných tabulkách a graficky znázorněny v příslušných obrázcích.

5.2.1 Koeficient strukturnosti

Na základě zjištěných hodnot koeficientu strukturnosti můžeme posoudit poměr mezi agronomicky cennými agregáty s průměrem 0,25-10 mm a méně cennými strukturními agregáty. Koeficient strukturnosti se zvyšuje se zvyšujícím se podílem agronomicky cenných agregátů, které nám zlepšují strukturu půdy.

Koeficient strukturnosti s hodnotou nad 2 byl naměřen u prázdné soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var.3) a u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 7). Nejnižší hodnota byla neměřena u naložené soupravy agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 8). U ostatních souprav se naměřené hodnoty koeficientu strukturnosti pohybovaly v rozmezí 1,5 až 2. Tento fakt znázorňuje obrázek 21 a udává tabulka 15.



Obrázek 21 Koeficientu strukturnosti pro jednotlivé varianty

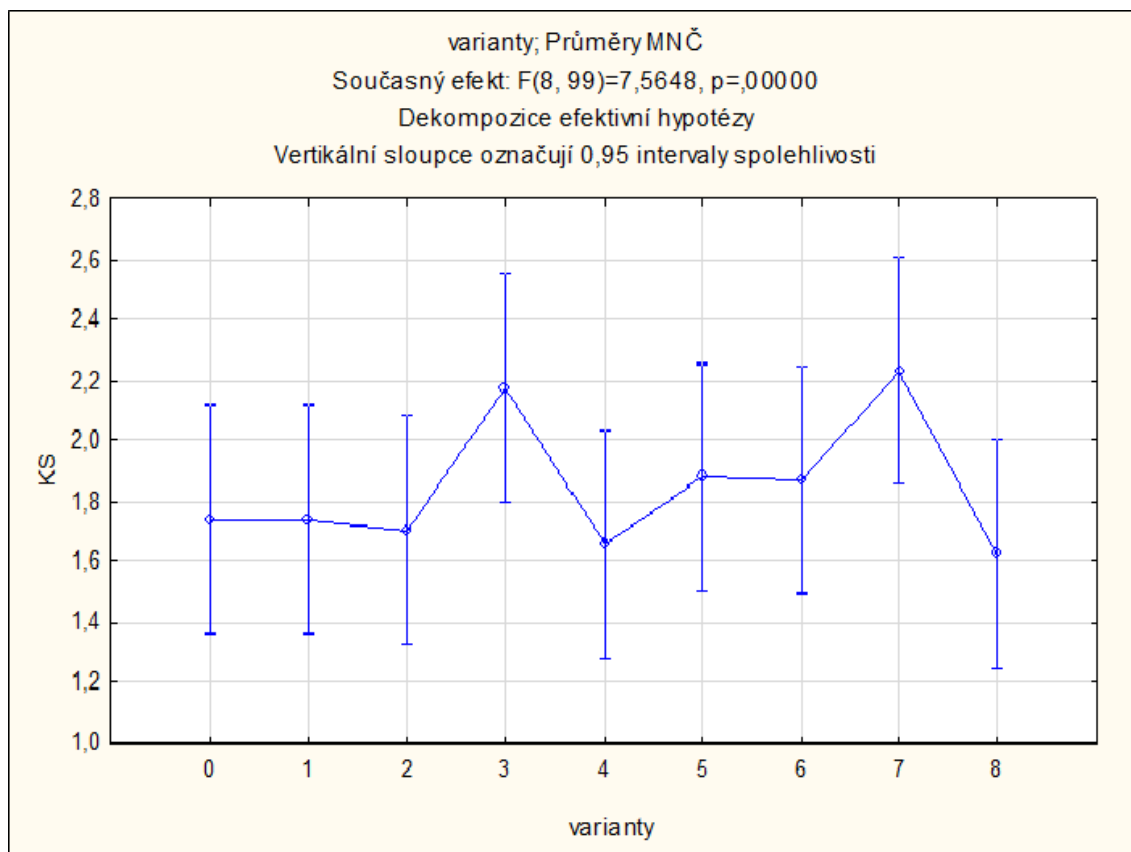
Tabulka 15 Koeficientu strukturnosti pro jednotlivé varianty

KS	VARIANTY								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	1,74 ^{a,b,c}	1,74 ^{a,b,c}	1,70 ^{a,b,c}	2,18 ^{a,b}	1,66 ^{a,c}	1,88 ^{a,b,c}	1,87 ^{a,b,c}	2,23 ^b	1,62 ^c

Testováním pomocí LSD testu byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami 3 a 8 a mezi variantami 7 a 8.

Mezi variantami 0, 1, 2, 3, 4, 5 a 6 nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Taktéž tomu bylo i mezi variantami 0, 1, 2, 3, 5, 6 a 7 nebo mezi variantami 0, 1, 2, 4, 5, 6 a 8.

Vzhledem k tomu, že po pozemku byl proveden pouze jeden přejezd, neměly použité soupravy významný vliv na koeficient strukturnosti. To znázorňuje tabulka 15 a v obrázku 22 jsou znázorněny intervaly spolehlivosti.



Obrázek 22 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u koeficientu strukturnosti

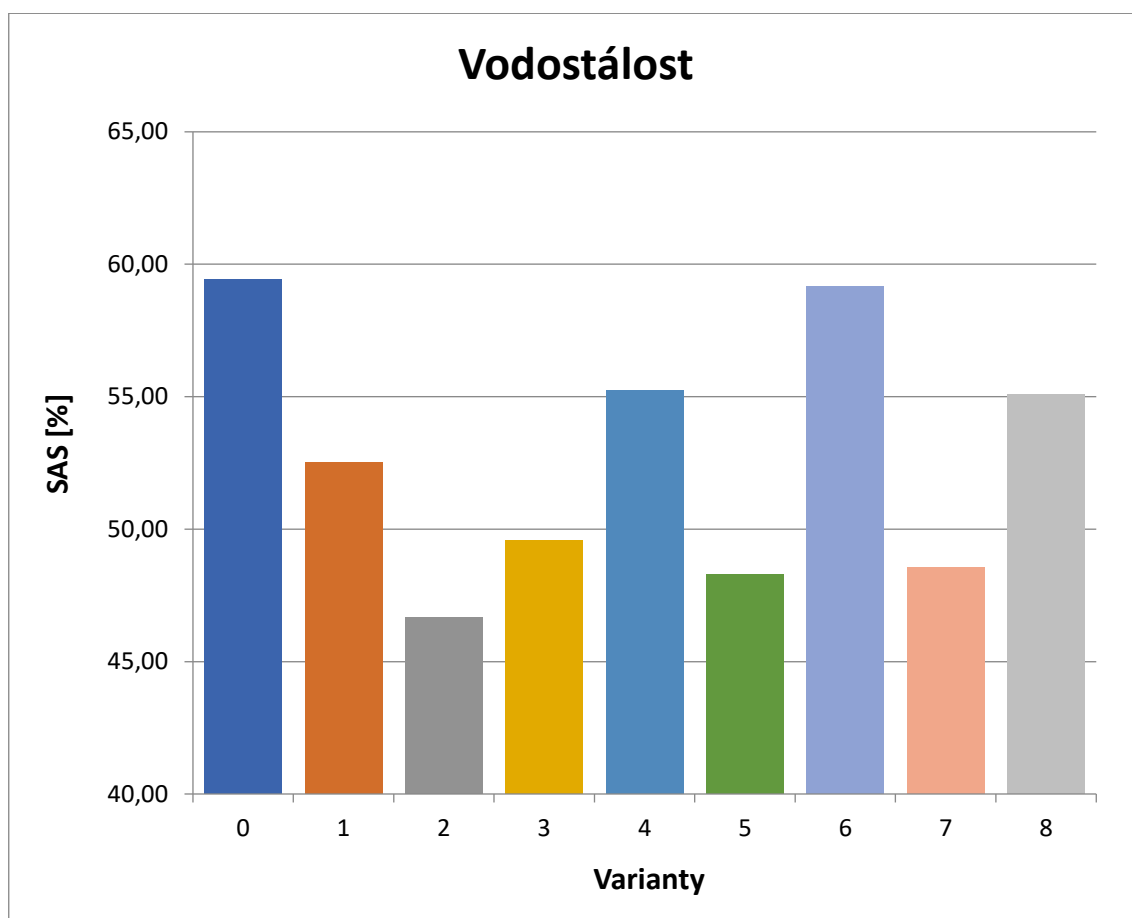
5.2.2 Vodostálost půdních agregátů

Na základě zjištěných hodnot vodostálosti a pomocí klasifikační stupnice (tabulka 16) od Bartlové (2013) můžeme posoudit kvalitu struktury půdy.

Tabulka 16 Klasifikační stupnice kvality struktury půdy (zdroj: Bartlová, 2013)

VODOSTÁLOST [%]	KVALITA STRUKTURY PŮDY
< 20	velmi nízká
20,1 – 36,0	nízká
36,1 – 50,0	střední
50,1 – 66,0	vysoká
> 66,1	velmi vysoká

Na základě zjištěných hodnot vodostálosti konstatujeme u prázdné soupravy traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 1), prázdné soupravy agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 4) a u naložených souprav traktoru s návěsem i agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 6 a 8) kvalitu struktury půdy jako vysokou. U ostatních souprav, tedy prázdné soupravy traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 2), prázdné soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 3), naložených souprav traktoru s návěsem a agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 5 a 7), můžeme hodnotit půdní strukturu jako střední.



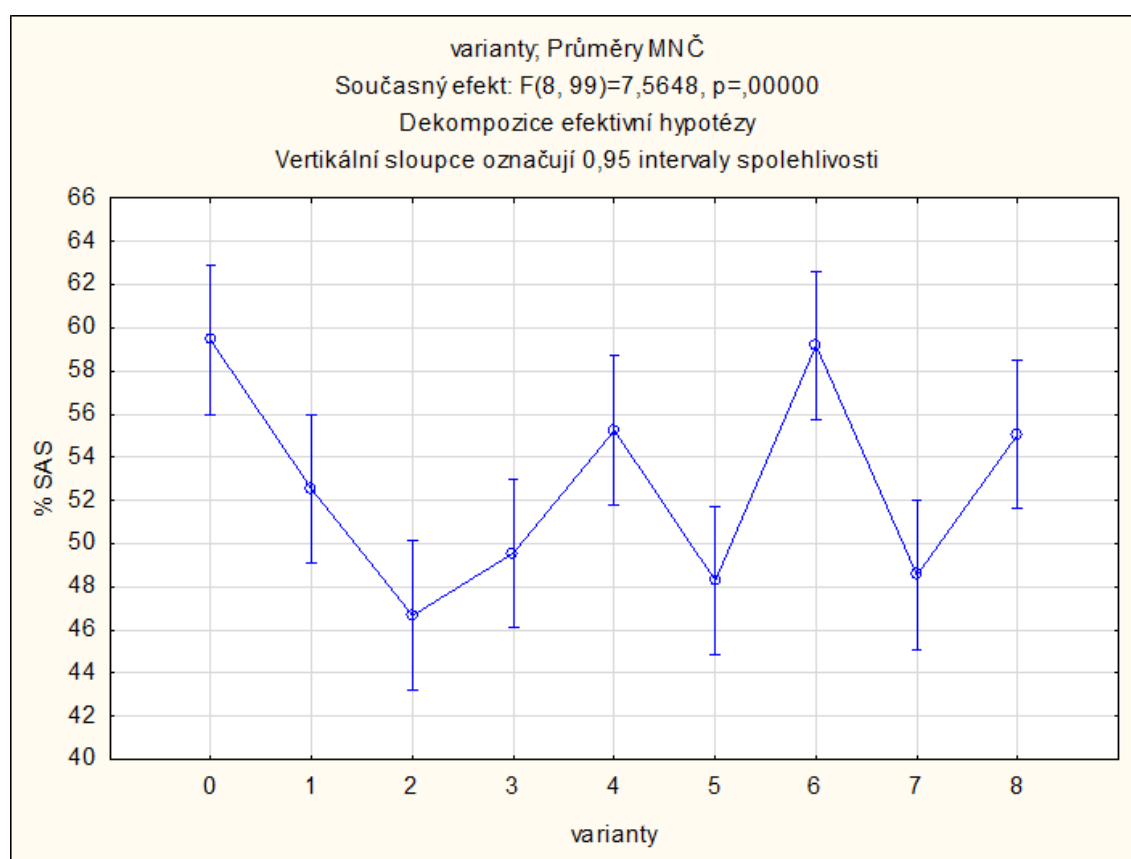
Obrázek 23 Vodostálosti půdních agregátů pro jednotlivé varianty

Tabulka 17 Vodostálosti půdních agregátů [%] pro jednotlivé varianty

SAS	VARIANTY								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
%	59,42 ^a	52,52 ^{a,b}	46,67 ^{a,b}	49,57 ^{a,b}	55,25 ^{b,c}	48,28 ^{c,d}	59,18 ^{c,d}	48,55 ^d	55,07 ^d

Testováním pomocí LSD testu byl zjištěn statistický významný rozdíl mezi variantou 0 a variantami 4, 5, 6, 7 a 8, mezi variantou 1 a variantami 5, 6, 7 a 8, mezi variantou 2 a variantami 5, 6, 7 a 8, mezi variantou 3 a variantami 5, 6, 7 a 8, mezi variantou 4 a variantami 7 a 8.

Statisticky významný rozdíl nebyl zjištěn mezi variantami 0, 1, 2, 3, mezi variantami 1, 2, 3 a 4, mezi variantami 4,5,6, mezi variantami 5, 6, 7 a 8. Vliv použité dopravní techniky a tlak v pneumatikách neměly rozdílný vliv na strukturu půdy, neboť byl po pozemku proveden pouze jeden přejezd. To znázorňuje tabulka 17 a v obrázku 24 jsou znázorněny intervaly spolehlivosti.



Obrázek 24 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u vodostálosti půdních agregátů

5.3 Penetrometrický odpor půdy

Kapitola pojednává o naměřených hodnotách penetrometrického odporu půdy vlivem přejezdu různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách. Limitní hodnoty

penetrometrického odporu pro jednotlivé půdní druhy udává níže uvedená tabulka 18. Naměřené hodnoty penetrometrického odporu půdy jsou níže graficky znázorněny v obrázku 25 a v tabulce 19.

Tabulka 18 Limitní hodnoty penetračního odporu půdy (zdroj: Lhotský, 2000)

PŮDNÍ DRUH	PENETRAČNÍ ODPOR PŮDY [MPa]
Jíl	2,8 – 3,2
Půda jílovitá a jílovitohlinitá	3,3 – 3,7
Půda hlinitá	3,8 – 4,2
Půda písčitohlinitá	4,5 – 5,0
Půda hlinitopísčítá	5,5
Půda písčítá	> 6,0

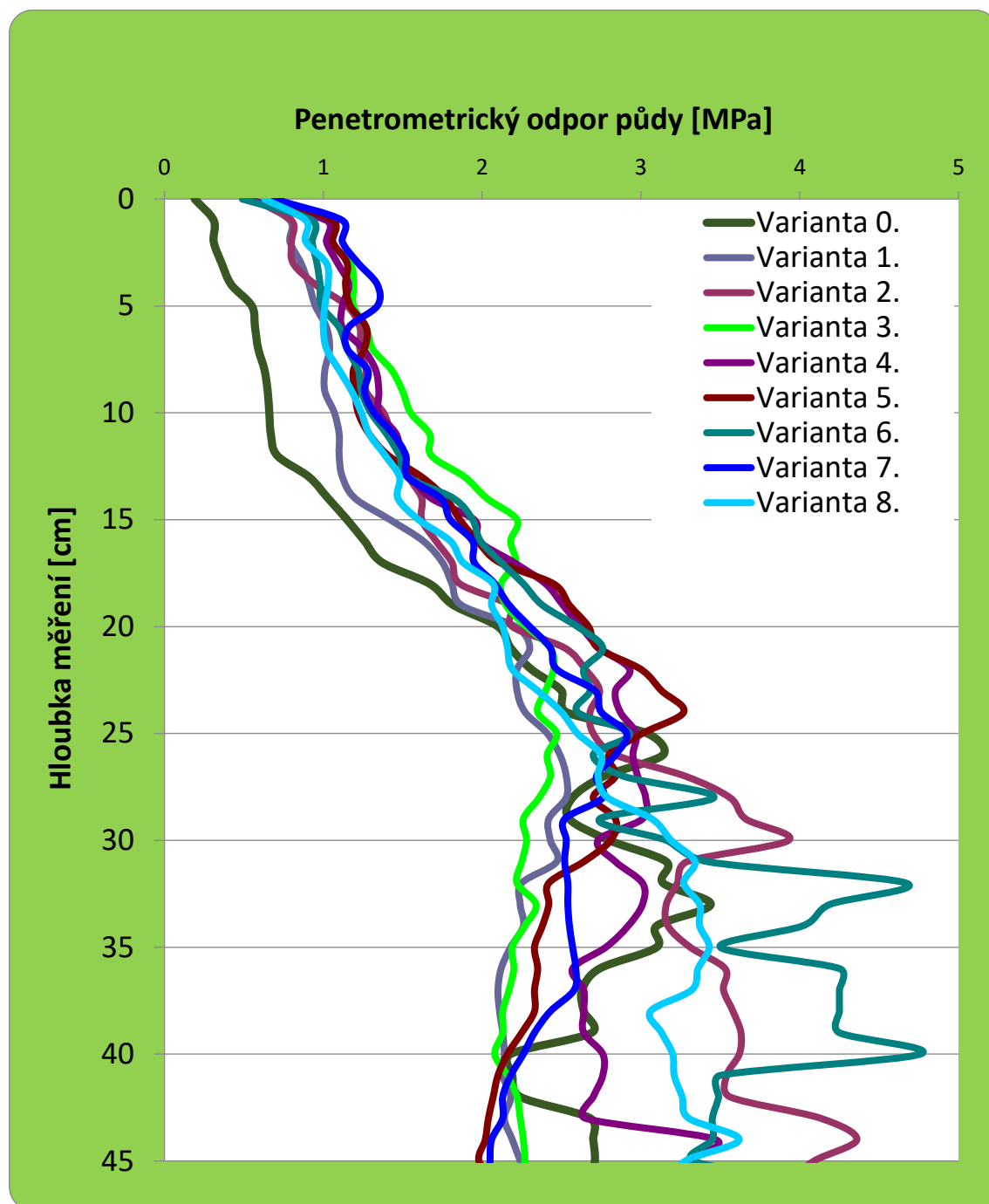
Naměřené hodnoty penetrometrického odporu půdy u žádné z variant nepřekročily limitní hodnotu. Ve vrchní vrstvě, do hloubky 5 cm, vykazují všechny varianty podobně velké utužení oproti variantě 0. Pouze u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 7) je utužení větší. Dále pak do 25 cm všechny varianty vykazují velmi podobný průběh křivek penetrometrického odporu. Hlouběji se hodnoty u jednotlivých variant rozrůžňují, přičemž nejnižší hodnoty vykazují varianty u prázdné soupravy traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 1) a u prázdné soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 3). Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u naložené soupravy traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var.6). Tato fakta potvrzuje níže přiložený obrázek 25.

Tabulka 19 Nárůstu penetrometrického odporu půdy [MPa] v porovnání s variantou 0

HLOUBKA [m]	var. 1	var. 2	var. 3	var. 4	var. 5	var. 6	var. 7	var. 8
0-0,05	0,45	0,49	0,68	0,63	0,68	0,52	0,78	0,56
0,06-0,10	0,41	0,66	0,79	0,66	0,61	0,58	0,61	0,49
0,11-0,15	0,29	0,65	1,00	0,73	0,70	0,74	0,71	0,55
0,16-0,20	0,21	0,30	0,54	0,70	0,71	0,63	0,44	0,34
0,21-0,25	-0,23	0,15	-0,09	0,36	0,52	0,21	0,14	-0,15

Legenda: Kladné hodnoty znamenají nárůst, a naopak záporné hodnoty znamenají snížení penetrometrického odporu půdy

Z tabulky 19 je patrné, že s rostoucí hloubkou docházelo k nárůstu penetrometrického odporu a u většiny variant byl zaznamenán pozitivní vliv podhuštění.

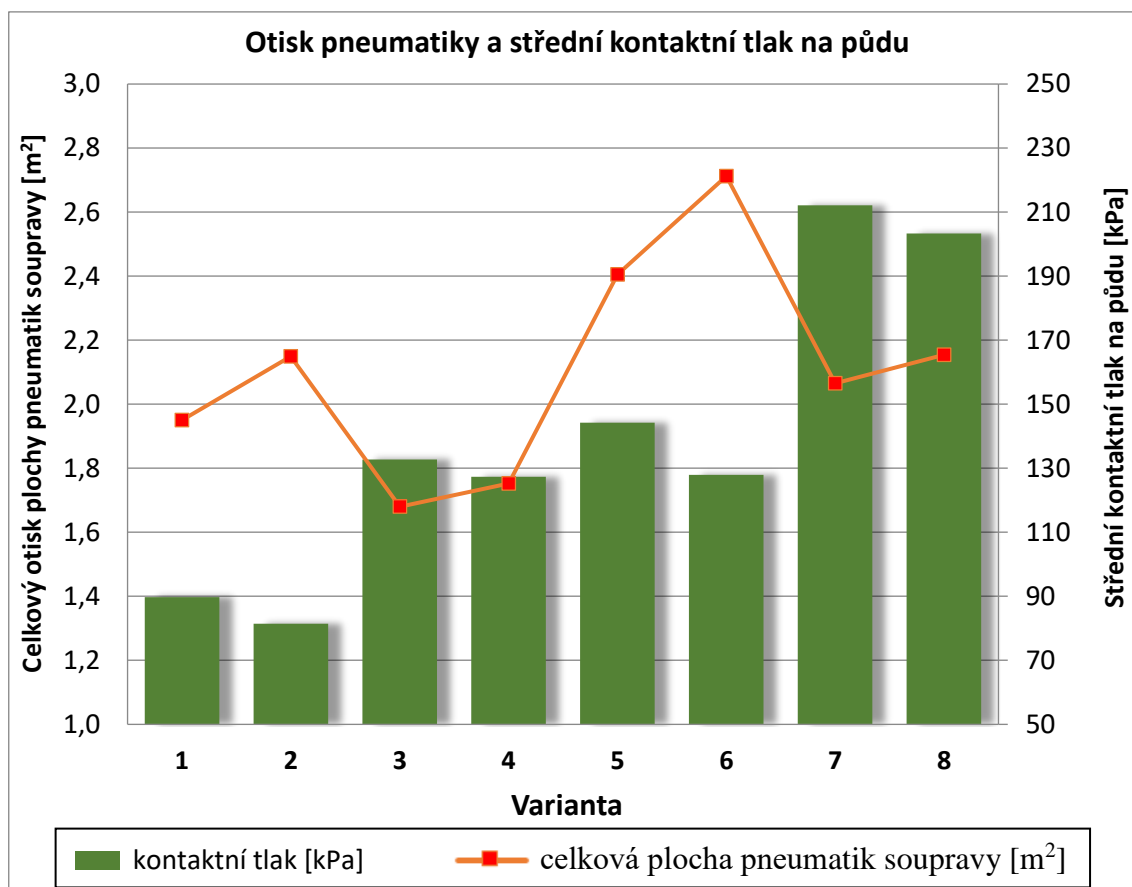


Obrázek 25 Penetrometrický odporů půdy pro jednotlivé varianty

5.4 Otisky pneumatik a střední kontaktní tlak

Na základě zjištěných otisků pneumatik se vypočítal střední kontaktní tlak souprav na půdu. Kapitola pojednává o zjištěných hodnotách středního kontaktního tlaku souprav a přepočítaném kontaktním tlaku souprav na měkkou suchou půdu vlivem přejezdu různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách. Zjištěné hodnoty středního kontaktního tlaku a přepočítaného kontaktního tlaku na měkkou suchou půdu jsou níže uvedeny v tabulce 20 a graficky znázorněny v obrázku 26.

Z naměřených hodnot vyplývá, že při podhuštění pneumatik se zvětší jejich kontaktní plocha (otisk plochy pneumatiky) s podložkou. U prázdné soupravy traktoru s návěsem se kontaktní plocha zvětšila o 10,26 %, u naložené soupravy traktoru s návěsem se zvětšila o 12,45 %, u prázdné soupravy agrotahače s návěsem o 4,17 % a u naložené soupravy agrotahače s návěsem o 3,86 %. Z hmotností souprav a kontaktních ploch byly dále vypočteny hodnoty středního kontaktního tlaku. Stejně jako u kontaktních ploch i zde bylo dosaženo lepších hodnot při podhuštění pneumatik, kdy se střední kontaktní tlak souprav na půdu snížil. Nejnižší hodnota 81,41 kPa byla zjištěna u prázdné soupravy traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (var. 2). Naopak nejvyšší hodnota 212,08 kPa byla zaznamenána u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 7).



Obrázek 26 Celkový otisk pneumatik a střední kontaktní tlak na půdu pro jednotlivé varianty

Tabulka 20 Celkový otisk pneumatik, střední kontaktní tlak a kontaktní tlak na měkkou suchou půdu pro jednotlivé varianty

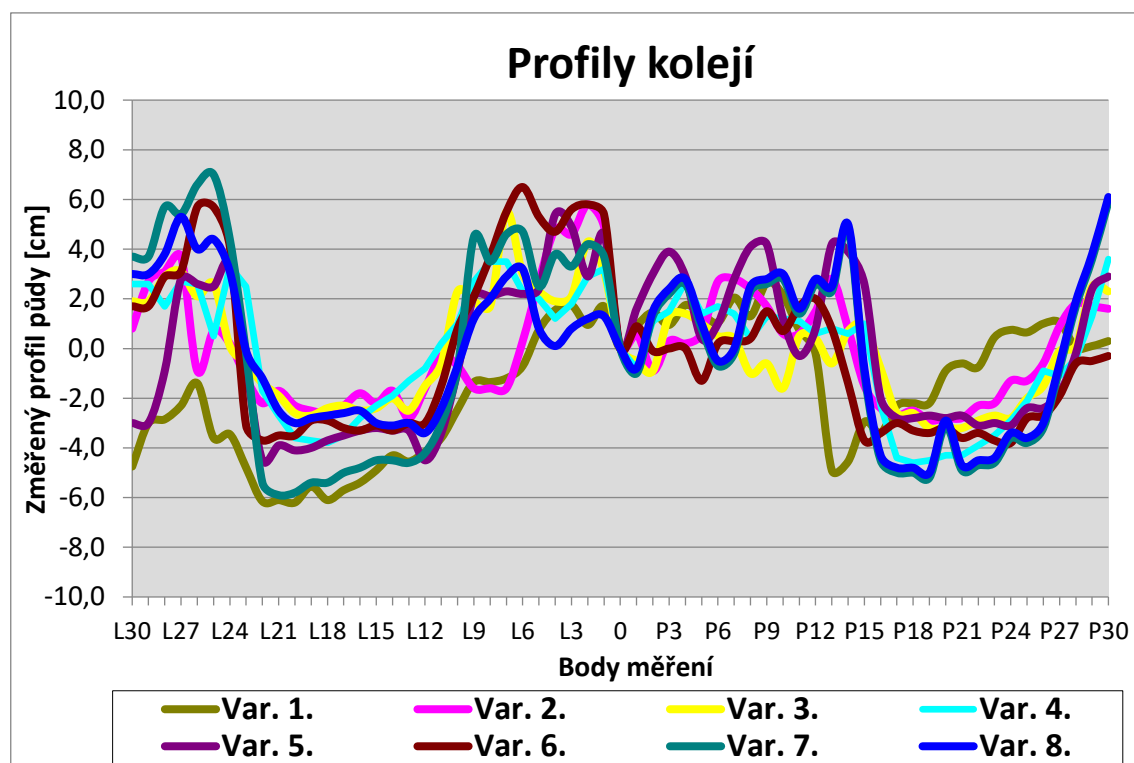
VARIANTA	HMOTNOST SOUPRAVY [kg]	OTISK PLOCHY PNEUMATIK SOUPRAVY [m ²]	STŘEDNÍ KONTAKTNÍ TLAK [kPa]	KONTAKTNÍ TLAK NA SUCHOU MĚKKOU PŮDU [kPa]
1	17 500	1,95	89,72	134,58
2	17 500	2,15	81,41	122,11
3	22 300	1,68	132,75	199,13
4	22 300	1,75	127,28	190,92
5	34 700	2,41	144,25	216,37
6	34 700	2,71	127,93	191,89
7	43 800	2,07	212,08	318,12
8	43 800	2,15	203,35	305,03

Legenda: Podbarvením jsou označeny podhuštěné varianty.

5.5 Profil koleje

Kapitola se zabývá profilem kolejí vytvořených přejezdem různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách. Grafické vyhodnocení naměřených hodnot představuje obrázek 27.

Lze konstatovat, že profily kolejí jednotlivých souprav se od sebe významně neliší. Rozdíl v hloubkách kolejí u jednotlivých souprav se pohybuje v rozmezí kolem 4 cm. Pouhým okem prakticky nelze rozeznat koleje jednotlivých variant. Nejhlubší profil koleje byl zaznamenán u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (var. 7). Detailnější zobrazení profilů kolejí jednotlivých variant je k dispozici v přílohách.



Obrázek 27 Profily kolejí jednotlivých variant

6 DISKUSE

Na celkovém objemu výkonů v zemědělství se dopravní operace podílejí z více než 50 %. Díky velké rozloze obhospodařované půdy tuzemských podniků a stále vyšším požadavkům na produktivitu práce, úsporu energie a času, se opět vrací používání nákladních automobilů v zemědělství. Tento trend se projevil i v experimentální části předložené práce, kdy byl posuzován vliv přejezdu soupravy traktoru s návěsem a soupravy agrotahače TATRA s návěsem na půdní prostředí.

DeJong-Hughes et. al (2001) uvádějí, že optimální fyzikální vlastnosti půdy a její dobrá struktura jsou základním předpokladem dosažení vysoké výnosové úrovně, přičemž utužování půdy má za následek zhoršení právě fyzikálních vlastností a silnější utužování dokonce způsobuje destrukci půdních agregátů. Naše výsledky měření dokazují, že přejezdem těžkých souprav dochází k nadměrnému utužování půdy. Působením souprav na půdu došlo k překročení limitních hodnot pro zhutnělou půdu u objemové hmotnosti redukované, celkové pórovitosti a u minimální vzdušné kapacity. Naložená souprava agrotahače s návěsem, která je těžší než naložená souprava traktoru s návěsem, měla právě největší vliv na utužení půdy.

Tyto výsledky potvrzují Javůrek a Vach (2008) kteří udávají, že pedokompakce je zapříčiněna především nevhodným zpracováním půdy a přejezdy těžké zemědělské techniky.

Struktura půdy byla posuzována, po jednom přejezdu různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách, na základě koeficientu strukturnosti a vodostálosti půdních agregátů. Hodnoty koeficientu strukturnosti se po přejezdu všech souprav pohybovaly v rozmezí 1,5 až 2. Na základě zjištěných hodnot vodostálosti můžeme konstatovat, že i po přejetí souprav byla kvalita struktury půdy střední až vysoká. Tyto výsledky jsou ovšem po jednom přejezdu souprav, a jak již bylo řečeno, při příznivých vlhkostních podmínkách půdy. Lze předpokládat, že při více přejezdech a při vyšší vlhkosti půdy by byla struktura půdy více narušena.

To potvrzují Jandák et. al (2010), kteří říkají že, při přejezdu techniky, hlavně za nevhodných vlhkostních podmínek půdy, dochází k tzv. mechanické degradaci, která je

jednou z hlavních příčin degradace půdní struktury. Za těchto podmínek dochází, kvůli velkému tlaku zemědělské techniky na půdu, k jejímu vertikálnímu utlačení, díky čemuž vzniká ornice se slitým prostorovým uspořádáním.

Utužení půdy bylo také sledováno na základě penetrometrického odporu. Po přejezdu zemědělské techniky nebyla u žádné z porovnávaných souprav překročena limitní hodnota. Ve vrchní vrstvě vykazují všechny varianty podobně velké utužení oproti kontrolní variantě. Pouze u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami je utužení větší. S rostoucí hloubkou se penetrometrický odpor zvětšuje, což je ale také zapříčiněno dřívějším zpracováním půdy. S každými 0,05 m hloubky se penetrometrický odpor zvýšil přibližně o 0,5 MPa, přičemž u naložených souprav byl patrný příznivý vliv snížení tlaku v pneumatikách.

Ve svých pracích taktéž Bačák (2011) a Čáp (2012) potvrdili snížení penetrometrického odporu půdy při snížení tlaku v pneumatikách.

Při posouzení působení souprav na půdu byl sledován střední kontaktní tlak, který je dán poměrem normálové reakce a plochy otisku pneumatik. Dokázalo se, že podhuštěním pneumatik se zvětší jejich kontaktní plocha s podložkou a tím se sníží i střední kontaktní tlak souprav na půdu. Vypovídají o tom naše výsledky, které ukazují, že při podhuštění pneumatik se snížil tlak u prázdné soupravy traktoru s návěsem o 8,31 kPa, u prázdné soupravy agrotahače s návěsem o 5,47 kPa, u plné soupravy traktoru s návěsem o 16,32 kPa a u plné soupravy agrotahače s návěsem se tlak snížil o 8,73 kPa. Nejnižší hodnota středního kontaktního tlaku 81,41 kPa byla zjištěna u prázdné soupravy traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami, a naopak nejvyšší hodnota 212,08 kPa byla zaznamenána u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami.

Naše výsledky potvrdily tvrzení Pastorka (2002), který uvádí, že centrální dohušťování a podhušťování pneumatik umožňuje při jízdě v poli pneumatiky podhustit, a tak zvětšit jejich kontaktní plochu s půdou, díky čemuž se sníží měrný tlak na půdu.

Jako poslední se sledovaly profily kolejí vytvořené přejezdem různě zatížených souprav s různým tlakem v pneumatikách na povrchu půdy. Profily kolejí jednotlivých souprav se od sebe významně nelišily. Rozdíl v hloubkách kolejí u jednotlivých souprav se pohyboval v rozmezí kolem 4 cm a prakticky nebylo možno rozeznat koleje jednotlivých variant. Nejhlubší profil koleje byl zaznamenán u naložené soupravy agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na vliv používání nákladního automobilu v zemědělství na prostředí půdy hlinitopísčité. Za tímto účelem byla zpracována technická charakteristika srovnávaných souprav traktoru s návěsem a agrotahače TATRA s návěsem se zaměřením na rozměr, typ a tlak v pneumatikách a celkovou hmotnost prázdných a naložených souprav. V experimentální části práce byl vyhodnocen vliv přejezdu souprav na půdu během polně-laboratorního pokusu, který probíhal v roce 2015 na pozemku obhospodařovaném Agrodružstvem Blížkovice.

Nadměrné zhutnění půdy ovlivňují faktory, jako jsou vlhkostní podmínky půdy, hmotnost souprav, typ pneumatik a tlak v pneumatikách, potažmo jejich celková kontaktní plocha s půdou. Naše výsledky měření potvrzují, že použití soupravy traktoru s návěsem je šetrnější k půdnímu prostředí. Přesto, když vezmeme v úvahu, že souprava agrotahače s návěsem vezla o 4 300 kg těžší náklad, nebyly výsledky nějak markantně rozdílné.

Výsledky též dokázaly, že podhuštěním pneumatik se zvětší jejich kontaktní plocha s podložkou a tím pádem se sníží střední kontaktní tlak soupravy na půdu, což má pozitivní vliv na snížení utužení půdy. Na základě této zkušenosti můžeme doporučit systémy centrálního podhušťování a dohušťování pneumatik, jako například námi testovaný systém CTIS, kterým byl opatřen agrotahač TATRA.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

- BARTLOVÁ, Jaroslava. *Makrostrukturální změny antropogenně zhutněných půd* [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?id=4340;zalozka=7;studium=47162;zp=25165>. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně.
- BAČÁK, Josef. *Problematika utužení a zhutnění půd technikou v rostlinné výrobě* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?id=20676;zalozka=7;studium=42052;zp=26155>. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jan Červinka.
- BAUER, František, Pavel SEDLÁK a Tomáš ŠMERDA. *Traktory*. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita; Praha: Profi Press, 2006, 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
- ČÁP, Marek. *Problematika utužení a zhutnění půd technikou v rostlinné výrobě* [online]. Brno, 2012 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?id=24367;zalozka=7;studium=49303;zp=33162>. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jan Červinka.
- DEJONG-HUGHES, J., J. F. MONCRIEF, W. B. VOORHEES a J. B. SWAN. Soil compaction: Causes, effects and control. *University of Minnesota - Extension* [online]. Minnesota, 2001 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/soils/tillage/soil-compaction/>
- GAJRI, P. R., V. K. ARORA a S. S. PRIHAR. *Tillage for sustainable cropping*. New York: Food Products Press, c2002. ISBN 1-56022-903-9.
- HŮLA, Josef, Zdeněk ABRHAM a František BAUER. *Zpracování půdy*. 1. Praha: Nakladatelství Brázda, 1997. ISBN 80-209-0265-1.
- CHLOUPEK, Oldřich, Blanka PROCHÁZKOVÁ a Eva HRUDOVÁ. *Pěstování a kvalita rostlin*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 978-80-7157-897-0.
- JANDÁK, Jiří, Eduard POKORNÝ a Alois PRAX. *Půdoznalství*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-445-7.
- JAVOREK, Filip. Nákladní automobily v zemědělství. *Mechanizace zemědělství* č. 6. Praha: Profi Press, 2014, **2014**(6), 58-60. ISSN 0373-6776.
- JAVOREK, Filip. Obvyklé druhy zemědělské dopravy. *Mechanizace zemědělství* č. 6. Praha: Profi Press, 2014, **2014**(6), 66-68. ISSN 0373-6776.
- 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.

- KOHOUT, Václav, Vítězslav ŠKODA a Miloslav ZITTA. *Obecná produkce rostlinná*. Praha: Vysoká škola zemědělská, 1992 (dotisk 1993). ISBN 978-80-2130-133-7.
- KOSTELANSKÝ, František. *Obecná produkce rostlinná*. Vyd. 2. nezm. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. ISBN 80-7157-765-0.
- KOZÁK, Josef a Jan NĚMEČEK. *Atlas půd České republiky*. Praha: MZe ČR ve spolupráci s ČZU, 2009. ISBN 978-80-213-1882-3.
- LHOTSKÝ, Jiří. *Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000. Studijní informace. ISBN 80-7271-067-2.
- LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 978-80-7375-562-1.
- MÁLEK, Michael. Profesionální řešení dopravní techniky. *Mechanizace zemědělství č. 6*. Praha: Profi Press, 2014, **2014**(6), ISSN 0373-6776.
- McMAHON, Margaret., Anton M. KOFRANEK, Vincent E. RUBATZKY a Hudson Thomas HARTMANN. *Plant science: growth, development, and utilization of cultivated plants*. 5th ed. Boston: Prentice Hall, c2011. ISBN 978-0-13-501407-3.
- MINAŘÍK, Jiří. *Vliv zatížení a tlaku huštění pneumatik traktoru na utužení půdy*. Brno, 2016. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Adam Polcar.
- NĚMEČEK, Jan, Libuše SMOLÍKOVÁ a Miroslav KUTÍLEK. *Pedologie a paleopedologie*. 1. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-0153-0.
- NOVÁK, Václav. *Jak se tvoří a mění půda*. Praha: Orbis, 1953. 1. vyd. 26. s.
- PASTOREK, Zdeněk. *Zemědělská technika dnes a zítra: rádce při výběru a efektivním využívání zemědělských strojů a technologií*. Praha: Martin Sedláček, 2002. ISBN 80-902413-4-4.
- POLÁK, Josef. *Přehled středoškolské matematiky*. Dot. 6. vyd. Praha: Prometheus, 1991. ISBN 80-85849-78-x.
- PRAX, Alois a Eduard POKORNÝ. *Klasifikace a ochrana půd*. Vyd. 2. přeprac. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. ISBN 80-7157-746-4.
- SMUTNÝ, Vladimír. *Technologie zpracování půdy vhodné do suchem ohrožených oblastí* [online]. Brno, 2014 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://ipm.af.mendelu.cz/cz/veda_a_vyzkum/habilitacni_prednasky. Habilitační přednáška v podobě ppt. Mendelova univerzita v Brně.

TOMÁŠEK, Milan. *Atlas půd České republiky*. Praha: Český geologický ústav, 1995. ISBN 80-7075-198-3.

AGROTAHAC 6X6. *P&L* [online]. P & L, spol s.r.o., Webdesign Bluesoft, 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://doprava.pal.cz/Nakladni/Tatra-Traktory/Tatra-AG-ROTAHAC-6%C3%976#header1>

AGROTAHAC 6X6. *TATRA* [online]. TATRA TRUCKS A.S., SHERWOOD, 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/underwood/download/files/tatra-phoenix-6x6-agrotahac.pdf>

Situační a výhledová zpráva PŮDA. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 1995-2015. ISBN 978-80-7434-252-3. ISSN 1211-7692

Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky: stav ke dni 31. prosince 2015. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2010-2016. ISBN 978-80-86918-90-7. ISSN 1804-2422.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením.....	21
Obrázek 2 Letecký snímek půdního bloku U Trojice	44
Obrázek 3 Souprava FENDT 926 Vario TMS s návěsem ANNABURGER HTS 22.79	46
Obrázek 4 Souprava TATRA Phoenix agrotahač 6x6 s návěsem BERGMANN HW-11	48
Obrázek 5 Plánek pokusu.....	49
Obrázek 6 (vlevo) Sítovací stroj FRITSCH Analysette 3 SPARTAN.....	51
Obrázek 7 (vpravo) Přesívání proschlých vzorků zeminy	51
Obrázek 8 (vlevo) Sítový promývací přístroj.....	52
Obrázek 9 (vpravo) Vzorky půdy v miskách	52
Obrázek 10 Označení vpichů penetrometrického měření	53
Obrázek 11(vlevo) Obnažování boku pneumatiky pro následné měření	54
Obrázek 12 (vpravo) Měření šířky otisku pneumatiky ve vyjeté stopě	54
Obrázek 13 Plocha otisku pneumatiky (obsah elipsy)	54
Obrázek 14 Měření profilu vyjeté koleje pomocí šrafované latě	55
Obrázek 15 Objemová hmotnost redukována pro jednotlivé varianty.....	58
Obrázek 16 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u objemové hmotnosti redukováne	59
Obrázek 17 Celková pórovitost pro jednotlivé varianty	60
Obrázek 18 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u celkové pórovitost	61
Obrázek 19 Minimální vzdušná kapacita pro jednotlivé varianty.....	62
Obrázek 20 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u minimální vzdušné kapacity	63
Obrázek 21 Koeficientu strukturnosti pro jednotlivé varianty.....	64
Obrázek 22 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u koeficientu strukturnosti	65
Obrázek 23 Vodostálosti půdních agregátů pro jednotlivé varianty	66
Obrázek 24 Intervaly spolehlivosti pro jednotlivé varianty u vodostálosti půdních agregátů	67
Obrázek 25 Penetrometrický odporů půdy pro jednotlivé varianty	69
Obrázek 26 Celkový otisk pneumatik a střední kontaktní tlak na půdu pro jednotlivé varianty	71
Obrázek 27 Profily kolejí jednotlivých variant.....	72

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Klasifikační stupnice zemin podle Nováka 1953.....	17
Tabulka 2 Limitní hodnoty fyzikálních vlastností zhutnělé půdy.....	24
Tabulka 3 Přípustná a riziková objemová hmotnost pro vybrané rostliny.....	25
Tabulka 4 Optimální poměr pórů u vybraných plodin.....	27
Tabulka 5 Typ a rozměr pneumatik u soupravy traktoru s návěsem.....	45
Tabulka 6 Tlak různě nahuštěných pneumatik u soupravy traktoru s návěsem.....	46
Tabulka 7 Celková hmotnost prázdné a naložené soupravy traktoru s návěsem.....	46
Tabulka 8 Typ a rozměr pneumatik u soupravy agrotahače s návěsem.....	47
Tabulka 9 Tlak různě nahuštěných pneumatik u soupravy agrotahače s návěsem.....	47
Tabulka 10 Celková hmotnost prázdné a naložené soupravy agrotahače s návěsem.....	47
Tabulka 11 Limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělé půdy.....	57
Tabulka 12 Objemová hmotnost redukována [g.cm ⁻³] pro jednotlivé varianty.....	58
Tabulka 13 Celková pórovitost [% objem.] pro jednotlivé varianty.....	60
Tabulka 14 Minimální vzdušná kapacita [% objem.] pro jednotlivé varianty.....	62
Tabulka 15 Koeficientu strukturnosti pro jednotlivé varianty.....	64
Tabulka 16 Klasifikační stupnice kvality struktury půdy.....	65
Tabulka 17 Vodostálosti půdních agregátů [%] pro jednotlivé varianty.....	66
Tabulka 18 Limitní hodnoty penetračního odporu půdy.....	68
Tabulka 19 Nárůstu penetrometrického odporu půdy [MPa] v porovnání s variantou 0.....	68
Tabulka 20 Celkový otisk plochy pneumatik soupravy, střední kontaktní tlak a kontaktní tlak na měkkou suchou půdu pro jednotlivé varianty.....	71

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha 1: Var. 1 - prázdná souprava traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami

Příloha 2: Var. 2 - prázdná souprava traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami

Příloha 3: Var. 3 - prázdná souprava agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami

Příloha 4: Var. 4 - prázdná souprava agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami

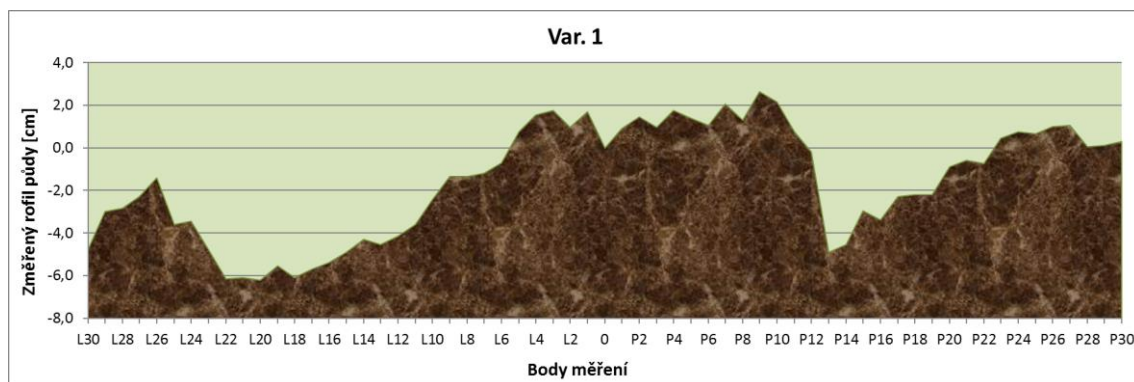
Příloha 5: Var. 5 - naložená souprava traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami

Příloha 6: Var. 6 - naložená souprava traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami

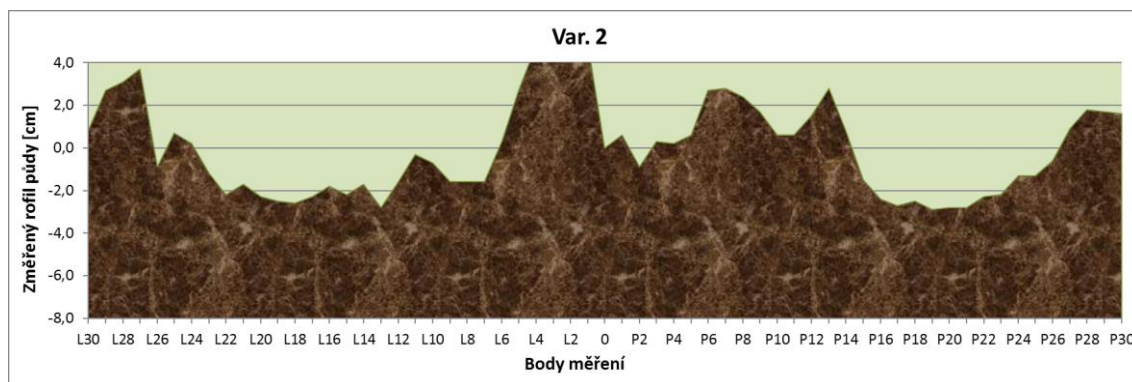
Příloha 7: Var. 7 - naložená souprava agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami

Příloha 8: Var. 8 - naložená souprava agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami

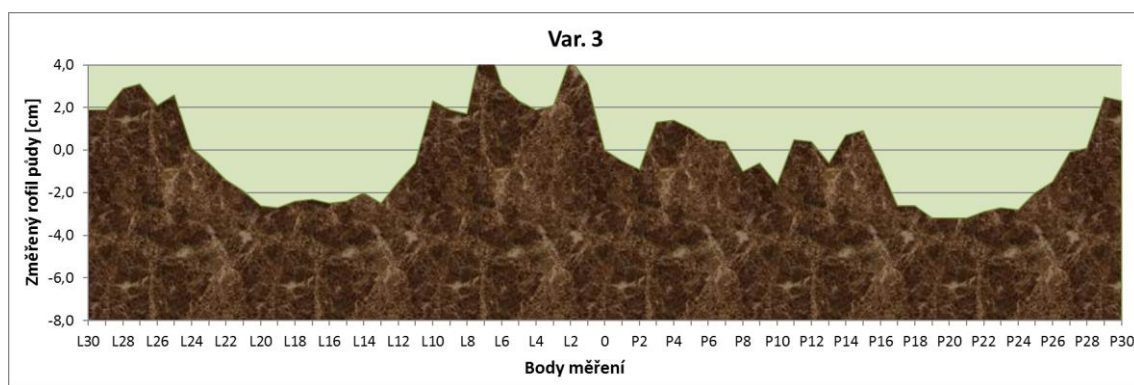
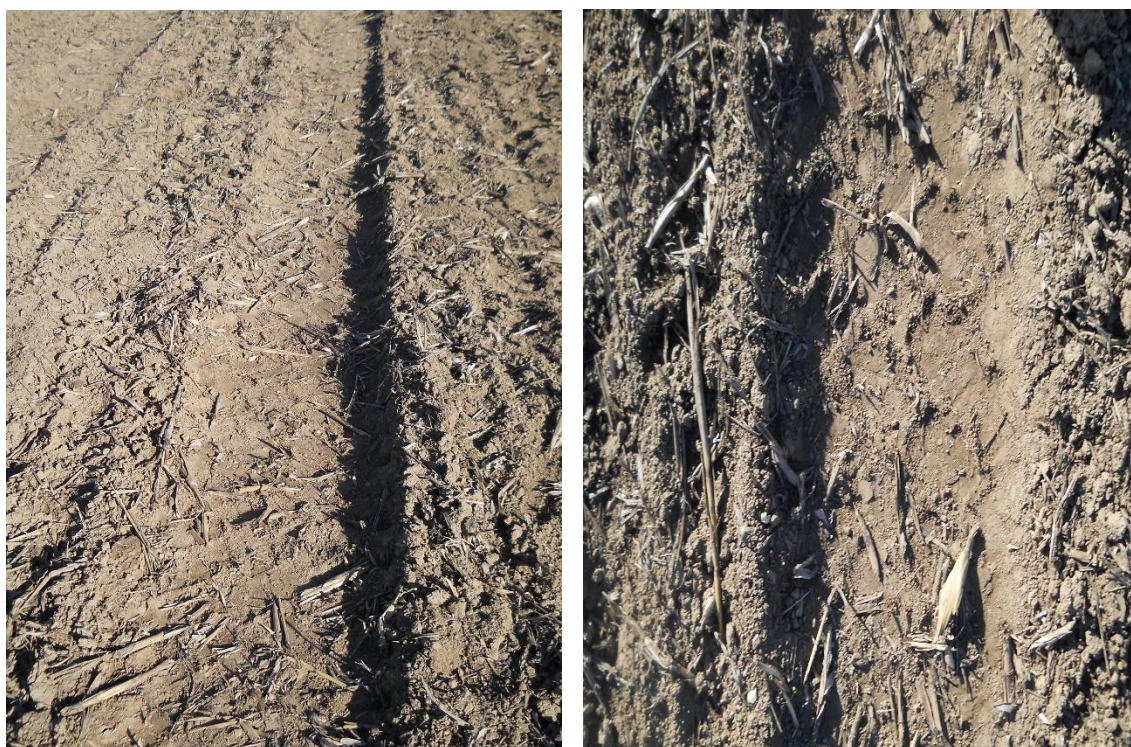
Příloha 1: Var. 1 - prázdná souprava traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (profil koleje)



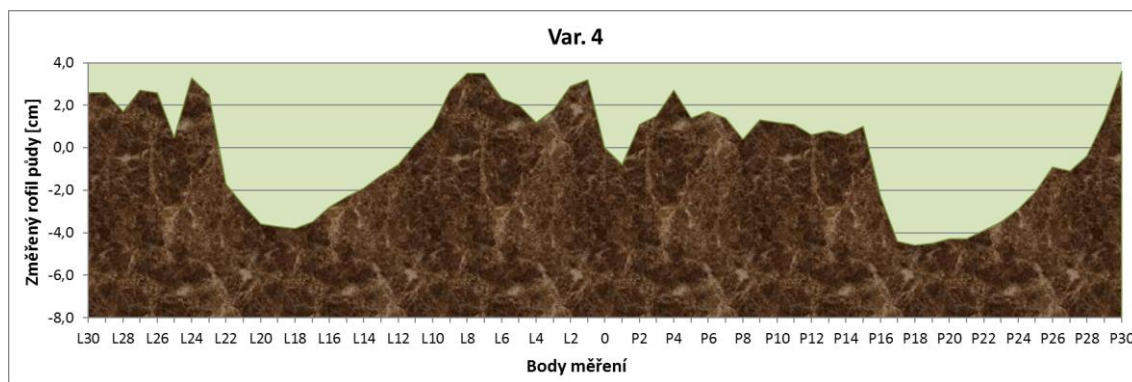
Příloha 2: Var. 2 - prázdná souprava traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (profil koleje)



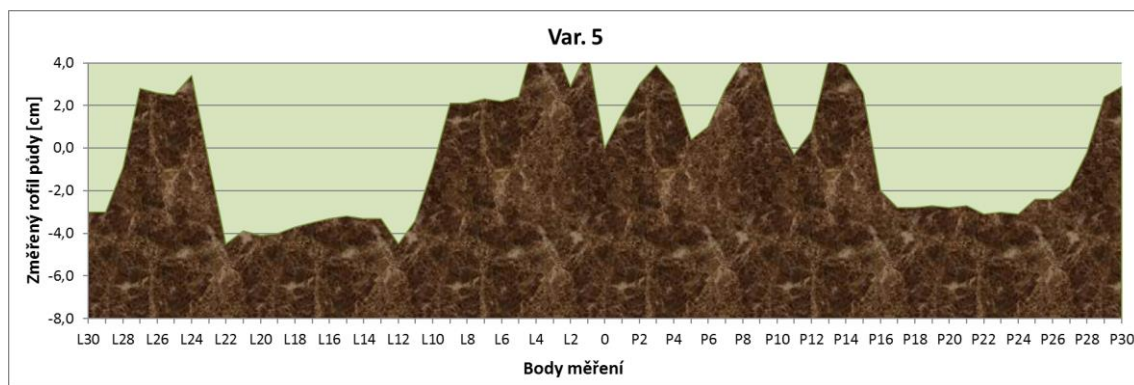
Příloha 3: Var. 3 - prázdná souprava agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (profil koleje)



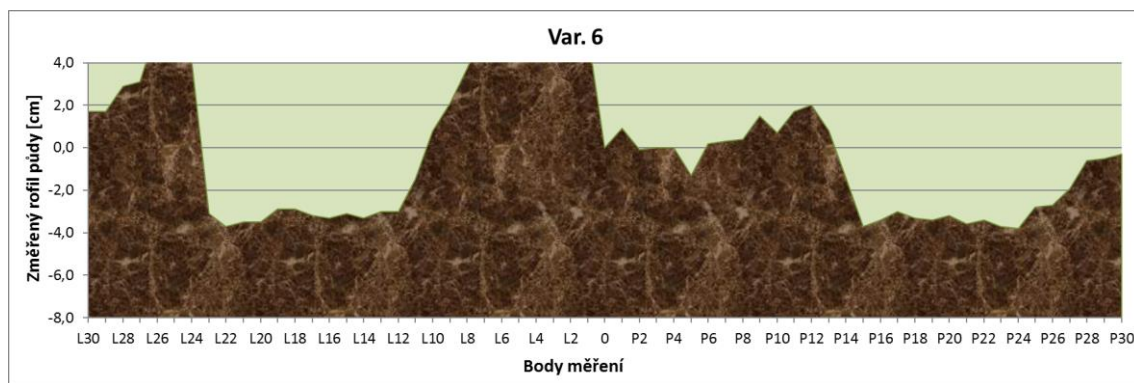
Príloha 4: Var. 4 - prázdna souprava agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (profil koleje)



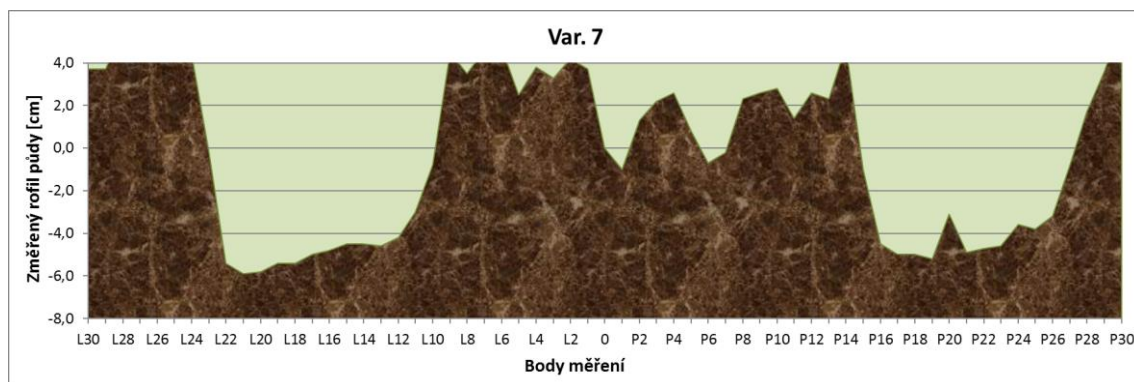
Príloha 5: Var. 5 - naložená souprava traktoru s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (profil koleje)



Příloha 6: Var. 6 - naložená souprava traktoru s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (profil koleje)



Příloha 7: Var. 7 - naložená souprava agrotahače s návěsem s nahuštěnými pneumatikami (profil koleje)



Příloha 8: Var. 8 - naložená souprava agrotahače s návěsem s podhuštěnými pneumatikami (profil koleje)

