



**Agronomická  
fakulta**

**Mendelova  
univerzita  
v Brně**



**Vliv zatížení a tlaku huštění pneumatik traktoru na  
utužení půdy**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Adam Polcar, Ph.D.

*Vypracoval:*  
Bc. Jiří Minařík



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Jiří Minařík  
Studijní program: Zemědělská specializace  
Obor: Automobilová doprava  
Vedoucí práce: Ing. Adam Polcar, Ph.D.  
Konzultant: Ing. Dušan Slimařík

Název práce: **Vliv zatížení a tlaku huštění pneumatik traktoru na utužení půdy**

Zásady pro vypracování:

1. V úvodní části se věnujte negativnímu vlivu utužení půdy na její fyzikální vlastnosti.
2. Popište jednotlivé konstrukce pneumatik používaných u traktorů.
3. Věnujte se konstrukčním opatřením vedoucí ke snížení utužení půdy.
4. Proveďte experimentální měření utužení půdy u Vámi zvolených pneumatik traktoru při jejich různém zatížení a tlaku huštění. Naměřená data zpracujte do tabulek a grafů a proveďte statistické vyhodnocení měření.
5. V diskuzní části práce proveďte celkové zhodnocení výsledků s uvedením závěrů pro praxi.

Rozsah práce: 50-60

Literatura:

1. BAUER, F. -- SEDLÁK, P. -- ČUPERA, J. -- POLCAR, A. -- FAJMAN, M. -- ŠMERDA, T. -- KATREŇČÍK, J. *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press s.r.o., 2013. 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6.
2. GREČENKO. *Kolové a pásové traktory*.
3. SEMETKO, J. a kol. *Mobilné energetické prostriedky 3 : (Traktory a automobily 3)*. 2. vyd. Bratislava: Priroda, 1986. 453 s.
4. BAUER, F. -- SEDLÁK, P. Na co má vliv tlak vzduchu v pneumatikách. *Mechanizace zemědělství*. 2006. sv. 56, č. 2, s. 30--33. ISSN 0373-6776.
5. KATREŇČÍK, J. -- BAUER, F. -- DOSTÁL, P. The influence of the tire inflation on pull properties of agriculture tractors. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013. sv. 61, č. 6, s. 1733--1739. ISSN 1211-8516. URL: <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201361061733>
6. ČUPERA, J. -- ŠMERDA, T. Vliv huštění pneumatik na pasivní ztráty traktoru. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2010. sv. LVIII, č. 1, s. 43--51. ISSN 1211-8516.
7. VYKYDAL, P. -- BAUER, F. -- SEDLÁK, P. -- ČUPERA, J. -- POLCAR, A. Vliv huštění pneumatik na tahové vlastnosti a spotřebu paliva traktoru. *Komunální technika*. 2012. sv. 6, č. 5, s. 1--4. ISSN 1802-2391.
8. BAUER, F. -- SEDLÁK, P. Vliv zatížení hnacích kol na tahové vlastnosti traktoru. *Zemědělská technika*. 2000. sv. 46, č. 1, s. 11--15. ISSN 0044-3883.
9. ŠMERDA, T. -- BAUER, F. Vliv zatížení hnacích náprav a výšky závěsu na tahové vlastnosti traktoru. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2007. č. 4, s. 77--87. ISSN 1211-8516.
10. SVOBODA, M. -- BALUŠÍK, M. -- ČERVINKA, J. Porovnání traktorů Case Steiger a Quadtrac se stejným výkonem motoru na utuženost půdy. *Komunální technika*. 2014. sv. 2014, č. 4, s. 259--262. ISSN 1802-2391.
11. SVOBODA, M. -- ČERVINKA, J. Utužení půdy vlivem pojezdů traktoru a zemědělského stroje. *Úroda*. 2013. sv. 2013, č. 12, s. 344--347. ISSN 0139-6013.
12. SVOBODA, M. -- ČERVINKA, J. -- ČÁP, M. Vliv pneumatik traktoru na utužení půdy. In *Sborník XXXIX. mezinárodní konference kateder dopravních, manipulačních, stavebních a zemědělských strojů*. 1. vyd. 2013, s. 150--157. ISBN 978-80-248-3124-4.

Datum zadání: říjen 2014

Datum odevzdání: duben 2016

**Bc. Jiří Minařík**  
Autor práce

**Ing. Adam Polcar, Ph.D.**  
Vedoucí práce

**doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.**  
Vedoucí ústavu

**doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.**  
Děkan AF MENDELU

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci „**Vliv zatížení a tlaku huštění pneumatik traktoru na utužení půdy**“ vypracoval 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 ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, 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:.....

.....  
podpis

### **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Adamu Polcarovi, Ph.D. za příkladné vedení, trpělivost, cenné rady a odbornou pomoc při řešení a vyhodnocení mojí diplomové práce.

Upřímně děkuji Ing. Jiřímu Jandákovi, CSc. a Ing. Janě Šimečkové z Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin za vstřícnou pomoc při experimentálním měření v terénu.

Můj dík patří Ing. Lubomíru Neudertovi, Ph.D. z Ústavu agrosystémů a bioklimatologie za pomoc s měřením penetrometrického odporu půdy.

Velké poděkování patří mým rodičům a celé rodině za trpělivost a podporu během zpracování mojí diplomové práce a během celého studia na Mendelově univerzitě.

## **Abstrakt**

S narůstající velikostí a hmotností zemědělských traktorů a nářadí rostou obavy ohledně zhutnění půdy. Těžká technika a půdo-zpracující nářadí mohou poškodit půdní strukturu. Půdní struktura je důležitá, protože určuje schopnost půdy zadržovat a vést vodu, živiny a vzduch. Tyto schopnosti jsou nezbytné pro aktivitu kořenového systému zemědělských plodin.

Základním spojením mezi půdou a strojem jsou pneumatiky. Výběr pneumatik v zemědělství ovlivňuje nejen ekonomiku při provádění půdních operací, ale také ovlivňuje strukturu půdy. Výrobci pneumatik a zemědělské techniky vyvíjejí nová konstrukční řešení, jejichž cílem je snížení vlivu těžké techniky na půdní strukturu.

Praktická část diplomové práce se zabývá vlivem zatížení a huštění pneumatik traktoru na zhutnění půdy. Výsledky experimentálního měření potvrdily negativní vliv těžkého traktoru na půdní strukturu.

Klíčová slova: objemová hmotnost, penetrometrický odpor, pórovitost, radiální pneumatika, systémy centrálního huštění pneumatik, utužení půdy.

## **Abstract**

As farm tractors and field equipment become larger and heavier, there is a growing concern about soil compaction. Heavy equipment and tillage implements can cause damage to the soil structure. The soil structure is important, because it determines the ability of a soil to hold and conduct water, nutrients, and air. These properties are necessary for plant root activity.

The basic connection between soil and machine are tyres. The choice of tyres in agriculture not only affects economy of soil operations and traffic, but it affects the soil structure too. The manufacturers of tyres and agricultural machines are developing new constructions, which has goal to decrease impact of heavy machinery on soil structure.

Practical part of diploma thesis deals with the influence of load and inflation of tractor tyres on soil compaction. The results of experimental measurement confirmed negative influence of heavy tractor on soil structure.

Key words: bulk density, central tyre inflation systems, penetration resistance, porosity, radial tyre, soil compaction.

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Cíl práce .....	9
3	Literární rešerše .....	10
3.1	Půda .....	10
3.1.1	Půdotvorný proces .....	10
3.1.2	Klasifikační jednotky půdy .....	12
3.1.3	Půda v ČR .....	13
3.1.4	Zhutnění půdy .....	15
3.1.5	Vliv utužení půdy na její fyzikální vlastnosti .....	20
3.2	Konstrukce pneumatik využívaných u traktorů .....	28
3.2.1	Historie pneumatik .....	28
3.2.2	Požadavky na pneumatiky .....	28
3.2.3	Výroba a konstrukce pneumatik .....	29
3.2.4	Značení pneumatik .....	32
3.2.5	Konstrukce pneumatik používaných u traktorů .....	34
3.3	Konstrukční opatření vedoucí ke snížení utužení půdy .....	39
3.3.1	Systémy centrální regulace tlaku .....	39
3.3.2	Dvojmontáž .....	40
3.3.3	Pásové a polo-pásové podvozky .....	41
3.3.4	Speciální podvozky .....	44
3.3.5	Controlled Traffic Farming .....	46
3.3.6	Progresivní konstrukční opatření ke snižování zhutnění půdy .....	47
4	Materiál a metodika .....	53
4.1	Polní měření .....	53
4.1.1	Charakteristika pozemku .....	53

4.1.2	Charakteristika traktoru .....	54
4.1.3	Měření pomocí Kopeckého válečků .....	55
4.1.4	Měření penetrometrického odporu půdy.....	57
4.1.5	Měření hmotnosti traktoru a otisků zadního kola.....	58
4.2	Rozbor půdních vzorků .....	59
4.2.1	Stanovení objemové hmotnosti zeminy .....	59
4.2.2	Stanovení zdánlivé hustoty tuhé fáze vzorku.....	62
4.3	Postup při vyhodnocení dat.....	63
4.3.1	Vyhodnocení objemové hmotnosti a pórovitosti.....	63
4.3.2	Vyhodnocení naměřených dat penetrometrického odporu půdy.....	64
5	Výsledky .....	65
5.1	Výsledky rozboru půdních vzorků .....	65
5.2	Výsledky měření penetrometrického odporu půdy .....	69
5.3	Výsledky měření hmotnosti traktoru a rozměrů otisků kola.....	74
6	Diskuze .....	77
7	Závěr .....	83
8	Seznam použité literatury .....	86

# 1 ÚVOD

Odhaduje se, že člověk dnešního typu *Homo sapiens* začal vědomě pěstovat zemědělské plodiny za účelem obživy již před desíti tisíci lety. V této době využívali lidé nejjednodušší nástroje a hospodaření představovalo jednoduché uložení nasbíraných semínek do rýhy. Vývoj hospodaření z těchto dávných dob prošel mnohými změnami, nicméně jedna z mála nezměněných věcí je ta skutečnost, že člověk pro svoji obživu hospodaří s půdou. Půda vždy byla nejdůležitějším a nejcennějším aktivem zemědělců. V dnešní době je problémem také úbytek půdy, jež se stává globálním problémem. Jeho příčinou jsou paradoxně vlastní nevhodné činnosti člověka, ke kterým lze přiřadit zástavbu orných půd logistickými centry, městskými aglomeracemi, apod. Problémem je rovněž nevhodné hospodaření vedoucí k únavě půdy, erozi či jiné degradaci.

Jedním z častých problémů je vznik nežádoucího zhutnění půdy, které má přímý vliv na fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Vznik zhutnění je přisuzováno především pohybu těžké zemědělské techniky po pozemcích při nevhodných podmínkách. Dříve rolníci více respektovali půdu jako přírodní bohatství, dnešní zemědělci usilují o velké zisky a malé náklady, proto používají velmi výkonné stroje. Tyto stroje, především traktory, mají potřebu tento výkon přenést na podložku, což je problematické zvláště u traktorů s kolovým podvozkem. Řešením je dotížení traktoru, které v kombinaci s nevhodnými vlhkými podmínkami způsobuje zmiňované zhutnění půdy. Zhutnění způsobuje erozi, špatné hospodaření půdy s vodou, snižování výnosů, ale také větší odpor půdy vůči vnikání tělesa, což se projeví na větší spotřebě při následném zpracování půdy.

Zemědělci si problematiku zhutnění půd již začínají uvědomovat. V poslední době lze pozorovat na pozemcích v ČR různá technická či agrotechnická opatření, která by měla vést ke snižování utužení půdy. Problematiku utužení půdy si dobře uvědomují také prodejci a distributoři zemědělských strojů. Ti nabízejí nespočet technických opatření a prostředků, jejichž úkolem je snižovat riziko vzniku utužení či odstranit vzniklou utuženou vrstvu.



## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem úvodní části práce je poskytnout ucelený přehled o problematice vzniku utužení a jeho škodlivém působení na fyzikální vlastnosti půd. V této kapitole je také zmíněno rozdělení a stav půd na území České republiky.

Další částí literárního přehledu je popis jednotlivých konstrukcí pneumatik používaných u traktorů a zemědělských tahačů. Literární přehled je dále zaměřen na konstrukční opatření vedoucí k snižování utužování půdy.

Hlavním cílem praktické části bylo polně-laboratorní měření, jehož výsledkem je experimentální vyhodnocení stavu půdy v kolejích vytvořených zatíženým traktorem, u něhož byl měněn hustící tlak v pneumatikách. Cílem praktické části bylo také měření penetrometrického odporu půdy v kolejích traktoru u šesti variant vytvořených kombinací různé zátěže traktoru a hustícího tlaku pneumatik. Experiment je statisticky vyhodnocen v grafech a tabulkách s následnou diskuzí této problematiky a uvedením závěrů pro praxi.

## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Půda

Základem pro život lidí, živočichů a existenci mnoha ekosystémů je vrchní část litosféry, která tvoří rozhraní mezi litosférou a atmosférou. Tato část se označuje jako půda. Půda je nenahraditelný a velmi těžce obnovitelný zdroj energie, nositel života a regulátor pochodu v různých sférách životního prostředí. Půda je přírodní útvar, jehož vznik trvá desítky či stovky let. Je na ni nutno nahlížet jako na základní funkční jednotku přírody, která je charakterizována vzájemnými vztahy mezi abiotickou a biotickou složkou, vytvářející dynamicky rovnovážnou soustavu. Uvnitř této soustavy jsou navzájem provázané procesy jednosměrných toků energie s koloběhy látek, řízením a vývojem. (Hauptman et al., 2009)

Mezi základní funkce půdy podle Kozáka et al. (2009) patří:

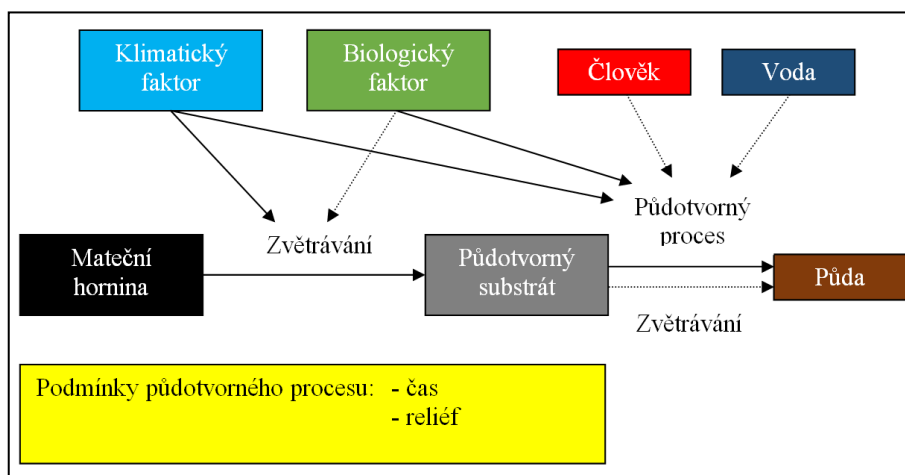
- produkce biomasy,
- shromažďování, filtrování a transformace živin, látek a vody,
- zásobárna biodiverzity,
- fyzikální a kulturní prostředí pro lidi a lidské činnosti,
- zdroj surovin,
- působení jako zásobárna uhlíku,
- archiv geologického a archeologického dědictví.

Jedna z definic popisuje půdu jako nejsvrchnější část zemské kůry, která je tvořená směsí minerálů, odumřelých organických hmot a živých organismů. Členění půdy je vertikální a je propojená se svým podložím. Půda vzniká půdotvorným procesem z povrchových zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických látek, na něž působí půdotvorné faktory za půdotvorných podmínek. (Hauptman et al., 2009)

#### 3.1.1 Půdotvorný proces

Působením půdotvorných faktorů (činitelů) dochází k půdotvorným pochodům, vedoucím k tomu, že se z mrtvých organických látek, povrchových zvětralin a minerálních látek stává organismus, jenž se oproti počátečnímu stavu kvalitativně liší. Mezi půdotvorné faktory patří půdotvorné substráty, klimatické podmínky, živá hmota, voda a činnost člověka. Podmínky půdotvorného procesu jsou územní reliéf a doba vlastního

půdotvorného procesu. Vzájemné působení půdotvorných činitelů je uvedeno na Obr. 1. V procesu vzniku půdy probíhá vždy několik půdotvorných procesů současně, kdy se zpravidla jeden půdotvorný proces staví do vedoucí pozice a je nazýván hlavním půdotvorným pochodem. Ostatní se nazývají půdotvorné procesy vedlejší. (Kozák et al., 2009)



Obr. 1 Působení půdotvorných činitelů (Kozák et al., 2009)

Podle Tomáška (1995) rozeznáváme tyto půdotvorné procesy:

- Zvětrávání – jenž předchází vlastnímu vzniku půdy, ale probíhá i během vývoje půd. Zvětrávání zahrnuje fyzikální a chemické změny při rozpadu počáteční horniny. K faktorům, které velmi ovlivňují tento proces, patří klimatický a biologický faktor.
- Humifikace – mikrobiální a chemické procesy, při kterých se organické zbytky mění v humus.
- Eluviace – vyplavování či ochuzování – proces při kterém se jednotlivé půdní složky přemísťují ve formě roztoků či kolonoidních roztoků.
- Iluviace – opak eluviace, jde tedy o obohacování, kdy se vyluhované součásti hromadí v určité vrstvě půdy.
- Oglejení – vzniká při soustavném převlhčování a vysýchání svrchních půdních vrstev, kdy se střídají redukční a oxidační procesy. Dochází k uvolňování sloučenin Fe.

- Glejový proces – probíhá při zvýšené hladině podzemní vody, kdy se redukují sloučeniny Fe, př. Mn, za nedostatku vzduchu.
- Solončakování – hromadění solí v půdních horizontech.
- Slancování – opak solončakování – soli jsou vymývány z vrchních vrstev a jsou akumulovány ve spodině.

### **3.1.2 Klasifikační jednotky půdy**

Přírodní vědní obor, zabývající se studiem a poznáním půdy, se nazývá pedologie, případně půdoznalství. Mezi činnosti pedologie patří zkoumání stavby, složení a vlastnosti půd, dále mapuje geografické rozšíření půd a odhaluje zákonitosti vzniku a vývoje půd. Důležitým úkolem půdoznalectví je také zkoumání racionálních způsobů využívání půdy, zvyšování její úrodnosti a její ochrana. Jako většina vědeckých disciplín, má i půdoznalectví svoje klasifikační jednotky, podle nichž posuzuje půdu. Tyto klasifikační jednotky rozdělují půdy na jednotlivé typy a druhy půd. (Hauptman et al., 2009)

#### **3.1.2.1 Typy půd**

Základní klasifikací půd je jejich rozdělení podle zastoupení a uspořádání půdních horizontů a matečné horniny. Půdním typem se rozumí skupina půd, jež mají navzájem podobné morfologické a analytické znaky, která se vyvíjela pod vlivem určitého souboru půdotvorných činitelů. Každá skupina půd se vyznačuje určitou skladbou půdních horizontů, která je konstantní pro daný typ půdy. Podrobněji se půdy dělí, v rámci jednotlivých půdních typů, na tzv. subtypy. V České republice jsou zastoupeny tyto základní půdní typy: černozemě, kambizemě, hnědozemě, pseudogleje, fluvizemě, černice, regozemě, luvizemě, litozemě, rendziny, podzoly. (Hůla et al., 2008)

#### **3.1.2.2 Druhy půd**

Za druhou významnou klasifikační jednotku se považuje druh půdy. Tato klasifikace rozděluje půdy podle zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí. Zrnitostní frakcí rozumíme písčité, hlinité a jílovité částice. Podle obsahu a poměru jednotlivých frakcí rozlišujeme půdní druhy. Výsledná konzistence určuje vlastnosti půdy, ke kterým patří adheze, koheze, technologické a fyzikální vlastnosti půdy a vlastnosti spojené s jejím zpracováním – orební odpor, zpracovatelnost půdy. Optimální konzistenci má takový

druh půdy, jenž má přiměřené zastoupení všech zrnitostních frakcí, přičemž poměr hrubších a jemných částí se pohybuje v rozmezí 1 : 1 až 2 : 1. Takový poměr obsahují středně těžké hlinité půdy. Půdy obsahující vysoký podíl jílu či prachových částic se řadí k extrémům a jejich obdělávání je problematické. (Němeček et al., 1990)

Půdní hmota se dělí na velikostní kategorie podle velikosti půdních částic, z nichž je tou nejvýznamnější kategorie jílnatých částic. Půdy se dělí podle obsahu těchto částic na sedm základních druhů (Němeček et al., 1990):

- písek (0 až 10 % jílnatých částic) – snadná zpracovatelnost půdy, vysoký obsah písčitých zrn s malou soudržností;
- hlinitopísčitá půda (10 až 20 % j.č.) – půda je sypká a drobí se, má malou soudržnost (kohezi);
- písčitohlinitá půda (20 až 30 % j.č.) – díky vyššímu obsahu písku je propustná vůči vodě a vzduchu, je náchylná na poškození vodní erozí;
- hlinitá půda (30 až 45 % j.č.) – má vysoký obsah částic prachu;
- jílovitohlinitá půda (45 až 60 % j.č.) – je tuhá, uléhavá a vazká, snadno se drobí za sucha;
- jílovitá půda (60 až 75 % j.č.) – hroudy lze jen obtížně narušit, těžce se kypří;
- jíl (nad 75 % j.č.) – ve vlhčích podmínkách je velmi mazlavá, za sucha je stmelená, tvrdá a má tendenci pukat.

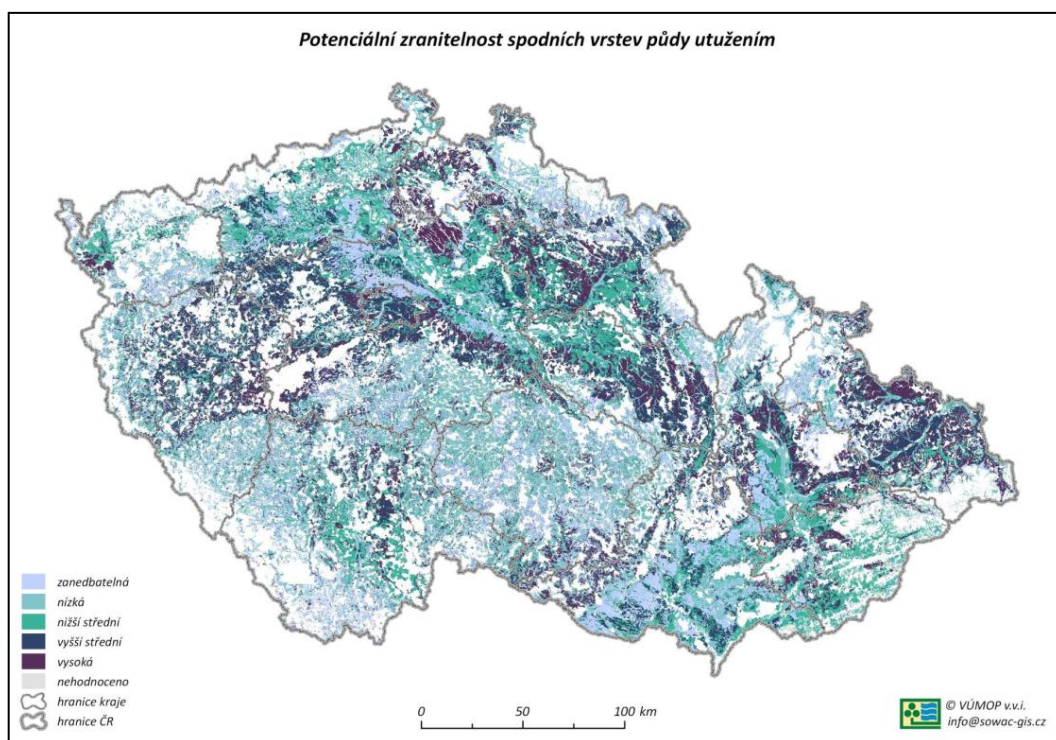
### **3.1.3 Půda v ČR**

Podle ročenky Souhrnného přehledu o půdním fondu (ČÚZK, 2014), připadalo na zemědělskou půdu, z celkové rozlohy České republiky 7,887 mil. ha, právě 53,5 %, což činí 4,22 mil. ha. Největší částí se na zemědělské půdě podílí půda orná, jejíž výměra činí 2,98 mil. ha. Do zemědělské půdy dále patří chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty a louky.

Půda je v České republice ohrožována hned několika faktory. Ztráta půdy zastavováním (tzv. soil-sealing) je spojena s nekontrolovatelným rozšiřováním sídel, a patří spolu s erozí k největším problémům zemědělských půd. V letech 2001 až 2006 ubylo v ČR 20 tis. ha, kdy denní úbytek činil 11,2 ha. V roce 2007 ubylo 5 226 ha a v roce 2008

ubýlo 5 096 ha. V roce 2006 bylo množství zakrytého povrchu připadajícího na jednoho obyvatele 243 m<sup>2</sup>, což je nadprůměr oproti hodnotám ostatních zemí EU. Vodní erozi je ohroženo téměř 50 % zemědělské půdy, maximální ztráta byla v roce 2012 vyčíslena na 21 mil. tun ornice ročně, což je ekvivalentem asi 4,3 mld. Kč. Větrná eroze ohrožuje v různém měřítku asi 14 % orné půdy. Okyselováním (acidifikací) je ohroženo v ČR přibližně 43 % půd. Náchylnost k okyselování se projevuje především u půd na Vysočině, Karlovarském a Jihočeském kraji. (Budňáková et al., 2012)

Podle průzkumu půd, uskutečněného v 80. letech minulého století, bylo zjištěno, že je 38 % zemědělské půdy ohroženo nežádoucím zhutněním půdy (Javůrek et al., 2008). Nicméně podle odhadů, jež byly publikovány v Situační a výhledové zprávě Půda (Novák et al., 1999), bylo 45 % zemědělského půdního fondu ohroženo zhutněním. Stejná ročenka z roku 2012 (Budňáková et al.) potvrzuje nárůst odhadu zhutněných půd na 49 %, přičemž 30 % z těchto půd je ohroženo genetickým utužením, zatímco zbývajících 70 % půdy je vystaveno technogennímu zhutnění. Potencionální zranitelnost spodních vrstev půd utužením v České republice je patrna z Obr. 2.



Obr. 2 Potencionální zranitelnost spodních vrstev půd utužením v ČR ([www.vumop.cz](http://www.vumop.cz))

Stávající stav utužených půd je přisuzován dlouhodobě uplatňovaným, jednostranným a nevhodným intenzifikačním opatřením, mezi které se řadí nesprávný sortiment a dávka minerálních hnojiv, nedostatečný přísun organické hmoty do půd, používání těžké zemědělské techniky a celá řada dalších činitelů, při kterých nebyly uplatňovány preventivní zásahy a agrotechnická opatření ke snižování zhutnění půdy. (Javůrek et al., 2008)

### **3.1.4 Zhutnění půdy**

Zhutnění půdy je jedním z moderních fenoménů v zemědělství. K pedokompakci dochází za působení různých činitelů, vyvolávajících takový tlak na půdu, jenž přesahuje únosnou mez půdy. Pod tlakem se stlačují jednotlivé částice půdy k sobě. U těžce utužených půd se vytváří v určitém půdním horizontu obtížně prostupná vrstva, která poukazuje na strukturní změnu v půdě a jejími následky jsou změny podstaty fyzikální, chemické a biologické. Taková půda má omezené funkce a vlastnosti. (DeJong-Hughes et al., 2001)

Podle charakteru rozdělujeme dva druhy zhutnění:

- zhutnění genetické – dané přirozenými vlastnostmi půd, je typické pro půdy s větším obsahem jílu, kdy se vytvářejí zajílené iluviální, nebo případně oglejené horizonty;
- zhutnění technogenní – způsobené pojezdy těžké techniky, nevhodnými agrotechnickými zásahy, apod.

Podle hloubky, kde se zhutnění vyskytuje, rozlišujeme:

- zhutnění povrchové (hloubka do 30 cm) – relativně snadno odstranitelné vhodnými agrotechnickými zásahy;
- zhutnění podorničí (hloubka nad 30 cm) – zhutnění hlubších podpovrchových vrstev, trvalejšího charakteru.

#### **3.1.4.1 Příčiny zhutnění půdy**

K hlavním příčinám vzniku zhutnění půd patří intenzivní a opakované přejezdy zemědělské techniky po půdě, často za nevhodných vlhkostních podmínek. Váha zemědělské techniky se od čtyřicátých let minulého století zvýšila z necelých tří tun na dvacet tun

a více, přičemž tato hmotnost je přenášena na půdu přes pneumatiky. Pneumatiky však mají limitované rozměry, čímž je prakticky omezoována styčná plocha, přes kterou tíhová síla stroje působí. Částečně lze regulovat plochu otisku změnou tlaku v pneumatice, nicméně ne každý traktor či jiný zemědělský prostředek je touto technickou vymožeností vybaven. Větší zatížení stroje se projevuje na půdě především tehdy, je-li půda v oslabeném stavu (velká vlhkost půdy na pozemku). Typickým problémem jsou mokrá jara a podzimy, kdy je velmi obtížné zvolit vhodnou dobu vstupu na pozemek, zvláště u farem s velkými výměrami a omezeným počtem strojů či pracovníků. (Javůrek et al., 2008)

Mezi příčiny zhutnění půdy patří také samotné půdní operace, především pokud jsou v dlouhodobějším časovém úseku prováděny do stejných či podobných hloubek. Pod segmenty půdo-zpracujícího nářadí (talíře, radličky) prokypřující půdu se vytváří dna jednotlivých brázd, čímž se vytvoří uježděná vrstva. Kumulací počtu přejezdů těžkých strojů a omezeným kypřením tak mohou vznikat zhutněné vrstvy, zpravidla 2 až 5 cm tlusté. Tento jev se nemusí vyskytovat pouze u minimalizačních technologií, kde je jedním z cílů zpracovávat půdu pouze ve svrchních vrstvách, ale také u konvenčního způsobu zpracování půdy pomocí pluhu. U klasické orby působí podle Pospíšila et al. (2004) zhruba 45 % váhy traktoru na zadní kola pohybující se v brázdě (včetně hmotnosti pluhu). Tím samým kolem je rovněž přenášena celá polovina tažné síly, navíc na půdu působí kolo prokluzem (tzv. zamazání). V úvahu je nutné brát fakt, že traktory provádějící orbu jsou limitovány šířkou pneumatik proto, aby se kolo vměstnalo do brázd. Šířka pneumatik u traktorů používaných v orbě je maximálně 750 mm. Dno brázd je tedy značně ovlivňováno působící tíhovou silou traktoru, což má za následek vytváření tzv. orebního dna. Hloubka zhutňované vrstvy je závislá na hloubce orby. Je-li orba prováděna do 20 cm, tak právě v této hloubce bude v brázdě za pohybujícím se traktorem půda nejvíce ovlivněna. Umístění, respektive četnost utužených brázd je pak závislá na počtu orebních těles. Se stoupajícím počtem orebních těles se snižuje podíl zhutněných brázd, nicméně je vyžadován silnější traktor, který musí být pro optimální přenesení výkonu na podložku patřičně dotížen, což je opět nežádoucí z hlediska působení tíhy traktoru na půdu. Tento problém lze vyřešit orbou on-land (Obr. 3), kdy traktor jede všemi koly po strništi a působí tak rovnoměrně na půdu. Přínosem on-land orby je tedy především ochrana struktury půdy, nedochází tedy k již zmíněným škodlivým vlivům kola pojíždějícího v brázdě. Traktor může být také osazen širšími pneumatika-



mi, dvoumontážemi nebo pásy, čímž je také dosaženo lepších adhezních podmínek traktoru na daném povrchu. Nevýhodou on-land pluhů je jejich složitější konstrukce, vedení pluhu po pozemku a vyšší pořizovací náklady na pluh. Velké problémy s vedením pluhu a udržení přímého směru traktoru způsobuje on-land orba za vlhkých podmínek. Zhoršené adhezní podmínky na vlhké půdě mohou umocňovat rostlinné zbytky na povrchu pozemku nebo nakypřená vrchní vrstva po předchozí operaci. Pokud je však obtížné díky fyzikálnímu stavu půdy udržet přímý směr traktoru, tak je půda s největší pravděpodobností velmi vlhká, a z hlediska ochrany půdy by neměla být prováděna ani orba konvenční či jiná půdní operace. (Beneš, 2008)



*Obr. 3 Orba on-land (www.lemken.com)*

Další příčinou zhutnění může také být dlouhodobé hnojení půd neúměrnými dávkami minerálních hnojiv, nevhodně zvoleným sortimentem těchto hnojiv a nedostatečný přísun organické hmoty do půdy. Dostatečné hnojení organickými hnojivy je jedním z agrobiologických opatření, které slouží k prevenci a redukci zhutnění půdy. Kvalitní organická hmota je zdrojem živin pro zabezpečení biologických procesů (výživa edafonu) probíhající v půdě. Rozkladem organické hmoty v půdě vznikají huminové kyseliny, jež ovlivňují agregační schopnosti půdy, což má za následek zlepšování strukturního stavu a zvýšení odolnosti vůči zhutnění půdy (zvyšování nosnosti půdy). Dlouhodobé pokusy prokázaly zvýšení pórovitosti sprašových půd až o 8 % při používání vyšších dávek hnoje ve srovnání s půdou nehnojenou organickými hnojivy. Používáním kyselých minerálních hnojiv s obsahem jednomocných kationtů na půdách s kyselou půdní reakcí (pH 5,6 – 6,5) dochází k rozkladu půdních agregátů díky peptizačnímu účinku hnojiv, čímž se zvyšuje náchylnost půd na zhutnění. Mezi fyziologicky kyselá minerální

hnojiva se řadí síran amonný, síran draselný a superfosfát. Pro udržování optimální reakce půdy je vhodné na půdy aplikovat vápník, který pozitivně ovlivňuje agregační schopnosti a zvyšuje stabilitu půdní struktury. (Javůrek et al., 2008)

Příčinou nežádoucích strukturních změn v půdě může být také omezené střídání plodin (Javůrek et al., 2008). Struktura plodin a jejich střídání v osevním plánu podniku sehrává mimořádnou roli při boji s utužením. Pozice kulturních plodin vůči půdě má dvojí postavení. Z jedné strany mají samotné rostliny různé požadavky na vlastnosti půdy, a to nejen v orničním profilu, ale také v podorničí, což je důležité z hlediska růstu a produkce biomasy rostlin. Rostliny z druhé strany působí kořenovým systémem i množstvím nadzemní biomasy příznivě na fyzikální a biologické vlastnosti půdy. Pro stanovení zlepšujících vlastností plodin je důležitým faktorem jejich hloubka zakořenění a množství podzemní kořenové hmoty. Hloubka zakořenění vybraných plodin je zobrazena v Tab. 1.

Tab. 1 Hloubka zakořenění vybraných plodin (Javůrek et al., 2008)

Hloubka zakořenění vybraných plodin			
Plodina	Hloubka zakořenění [m]	Plodina	Hloubka zakořenění [m]
Vojtěška	2 – 10	Pšenice ozimá	0,2 – 0,3
Vinčenec	2 – 10	Žito ozimé	0,3 – 0,4
Komonice	1,1 – 1,9	Ječmen jarní	0,2 – 0,3
Jetel luční	1 – 2	Oves	0,5 – 0,6
Lupina modrá	0,7 – 1,3	Kukuřice	1,2 – 1,8
Hrách setý	0,8 – 1,3	Řepka olejka	1,1 – 2,8
Bob obecný	1 – 1,2	Hořčice bílá	1 – 2
Sója luštinatá	1,5 – 2	Slunečnice	1,2 – 1,5
Vikev setá	0,3 – 0,9	Cukrovka	1,8 – 2
Vikev huňatá	0,3 – 0,5	Brambory	1 - 2

Mezi plodiny s příznivým působením na fyzikální vlastnosti půd se řadí víceleté jeteloviny a luskoviny, dále také řepka olejka, kukuřice a další hlouběji kořenící plodiny. Podniky s omezeným osevním postupem, zaměřující se například na produkci pšenice, tak mohou přicházet o příznivé účinky tzv. regeneračních plodin, které svým hlubokým

kořeněním narušují zhutnělé vrstvy v podorničních vrstvách. Podobně je na tom problematika zařazování meziplodin. Vynecháním, popř. nezařazováním meziplodin do osevních postupů podniky přicházejí o přísun kvalitní organické hmoty do půdy, o příznivou činnost kořenové soustavy meziplodiny na půdu a o zvýšení mikrobiální činnosti v půdě. V literatuře Šimona a Zimové (1983) je uvedeno, že pravidelné zařazování meziplodin zvyšuje pórovitost až o 5 %. V souvislosti se střídáním plodin a využíváním meziplodin je vhodné zmínit snahu Evropské unie motivovat zemědělce ke střídání plodin pomocí dotací na tzv. ozelenění (greening). Podstata greeningu spočívá v tom, aby v zemědělcích projevil zájem o ekologičtější a půdo-ochranné hospodaření v rámci životního prostředí. (www.eagri.cz, 2014)

Samotnou příčinou zhutnění půd může být také pohyb zvířat po pozemku, především masného skotu (Obr. 4). Zvířata s touto užitkovostí dosahují u nejlepších plemen hmotností 900 až 1 100 kg, přitom „styčná plocha“ zvířat se zemí v podobě jejich končetin má rozměry minimální. Velikosti takového zatížení půdy nemůže konkurovat ani sklizeň cukrové řepy s plným zásobníkem.



*Obr. 4 Působení skotu na půdu (www.asz.cz)*

Často se objevuje argument, že každé zvíře se pohybuje po pastvině „vlastní cestou“, tomu však odporuje hierarchie zvířat, kdy ve stádě existuje vůdčí jedinec, za kterým se pohybují ostatní zvířata. Tento jev je také zřejmý pohledem na pastviny v podobě vyšlapaných cestiček, především v okolí krmelců a napajedel. Právě opakované zatížení půdy takovým tlakem způsobuje největší škody na loukách a pastvinách. U stojícího

zvířete může tlak v místě kontaktu s půdou dosahovat až 900 kPa, při chůzi ještě více, což odpovídá úrovni zatížených silničních pneumatik. (Beneš, 2011)

Při intenzivnějších deštích může způsobovat dopad kapek na půdu povrchové utužení půdy. Tento úkaz je pozorovatelný lidským okem v podobě povrchové krusty půdy (škrálopou), jež se nachází v hloubce do 1 cm. Tato vrstva je však snadno odstranitelná vhodným agrotechnickým opatřením. (DeJong-Hughes et al., 2001)

### **3.1.5 Vliv utužení půdy na její fyzikální vlastnosti**

#### ***3.1.5.1 Objemová hmotnost půdy***

Objemová hmotnost je jednou z nejdůležitějších vlastností půdy. Její změnou je ovlivněn celý komplex dalších fyzikálních parametrů a podmínek v půdě. Vyjádření objemové hmotnosti spočívá v určení hmotnosti jednotky objemu půdy [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] v neporušeném stavu (tzn. s póry vyplněnými momentním obsahem vody a vzduchu). Ve vztahu ke zhutnění půdy platí, že čím větší objemová hmotnost, tím větší je zhutnění půdy, přičemž kulturním plodinám škodí půda jak příliš kyprá, tak půda příliš utužená. Podle Chloučka (2009), by se měla hodnota objemové hmotnosti v ornici pohybovat od 1 200 do 1 500  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Kostelanský (2008) uvádí, že se objemová hmotnost u strukturálních a dobře obdělávaných půd dlouhodobě nezvyšuje, a její hodnota je kolem 1 250  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Naproti tomu ponechání nakypřené půdy po delší dobu bez zásahů způsobuje opětovné zvyšování objemové hmotnosti díky tendenci půdních částic k uléhání. Uléhání způsobuje vysoký podíl jílovitých částic v půdě, intenzivní deště, hmotnost svrchních vrstev ornice a nedostatek organické hmoty. Takové zhutňování je označováno jako přirozené, a podílí se na celkovém zhutňování půdy společně s antropogenními příčinami zhutnění (vliv těžké zemědělské techniky na půdu).

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.1.4 Zhutnění půdy, pod tlakem dochází ke stlačování půdních částic k sobě navzájem, přičemž je z půdy vytlačován vzduch. Půda je tedy více zahuštěna na úkor jiné fyzikální vlastnosti – pórovitosti. Při nadměrném zhutnění půdy (při hodnotách nad 1 600  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) se u středně těžkých půd značně snižuje efektivnost hnojení, což se projevuje především nedostatkem dusíku a draslíku. Mezní hodnoty objemové hmotnosti, při nichž dochází k pedokompakci, jsou závislé na druhu půdy (viz Tab. 2). (Javůrek et al., 2008)

Tab. 2 Limitní hodnoty fyzikálních vlastností u jednotlivých druhů půd (Javůrek et al., 2008)

Limitní hodnoty fyzikálních vlastností u jednotlivých druhů půd			
Druh půdy	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Celková pórovitost [%]	Penetrometrický odpor [MPa]
Jíl	1 350	48	2,8 – 3,2
Jílovitá	1 400	47	3,3 – 3,7
Jílovitohlinitá	1 400	47	3,3 – 3,7
Hlinitá	1 450	45	3,8 – 4,2
Písčitohlinitá	1 550	42	4,5 – 5,0
Hlinitopísčitá	1 600	40	5,5
Písek	1 700	38	6,0

Je obecně známo, že lehce utužená půda může urychlovat klíčení semen v půdě, protože je tak zajištěn dobrý kontakt zasetého semene v půdě. Kromě toho je také zajištěno vztlínání vody ze spodních vrstev k zasetým semenům. Na moderních secích strojích lze spatřit soustavu válců, které mají za úkol takto ošetřit vlastní setí. Mírné zhutnění je také vhodné pro tvorbu kořenové hmoty plodin. Tyto rostliny dosahují lepšího větvení kořenů a tvorby sekundárních kořenů, což umožňuje rostlinám lépe nalézat a absorbovat živiny v půdě. Nadměrné zhutnění však redukuje rychlost růstu kořenů plodin, jejich prodlužování a prorůstání do větších hloubek, omezena je rovněž tvorba kořenového vlášení. Zhutnělé půdy nejvíce ovlivňují výnos u rostlin, jejichž hospodářský užitek tvoří podzemní orgány (u cukrovky dochází k tzv. mrcasatění bulev, u brambor k deformaci hlíz). U plodin vytvářejících křivý kořen (řepka olejka, sója, slunečnice) je omezen růst kořene tak, že neprorůstá utuženou vrstvou v podorničí, ale šíří se horizontálně a deformuje se. Zhutnění má tedy za následek nižší příjem vody a živin oproti rostlinám s normálně vyvinutým kořenem. Z toho vyplývá, že nadměrné utužení půdy v ornici a podorničí má vliv na výnosy kulturních plodin. Přípustné a rizikové hodnoty objemové hmotnosti pro vybrané rostliny u středně těžkých půd jsou uvedeny v Tab. 3. (Javůrek et al., 2008)

Tab. 3 Limitní objemové hmotnosti pro vybrané plodiny (Javůrek et al., 2008)

Objemové hmotnosti pro vybrané rostliny		
Plodina	Objemová hmotnost půdy [kg.m <sup>-3</sup> ]	
	přípustná	riziková
Pšenice ozimá	1 450 – 1 500	1 600
Žito ozimé	1 350 – 1 400	1 550
Ječmen jarní	1 350 – 1 450	1 500
Oves	1 500 – 1 550	1 600
Kukuřice	1 500 – 1 550	1 600
Luskoviny	1 150 – 1 200	1 300
Cukrovka	1 000 – 1 100	1 350
Brambory	1 000 – 1 150	1 250

### 3.1.5.2 Pórovitost půdy

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, změny objemové hmotnosti mají za následek změnu dalších fyzikálních parametrů, konkrétně také pórovitosti. Pórovitost v půdě má velký význam vzhledem k růstu a úrodnosti půdy. Hodnoty pórovitosti se udávají v procentech vzhledem k objemu odebraného půdního vzorku. Velikost pórovitosti je závislá na druhu a ulehlosti půdy, limitní hodnoty pórovitosti pro jednotlivé druhy půd jsou rovněž uvedeny v Tab. 2. U svrchních vrstev zemědělských půd se pórovitost pohybuje v rozmezí 40 až 50 %, přičemž ve spodních vrstvách pórovitost klesá na 30 až 40 %. Silně humózní a rašelinné půdy dosahují pórovitosti více než 70 až 80 %, zatímco půdy zamokřené (glejové) mají pórovitost pod 30 %. Pro správnou funkci pórů je velmi důležitá také jejich velikost. Třídění pórů do velikostních kategorií je obtížné, protože jejich průměr nelze měřit přímou metodou. Póry se třídí podle druhu a velikosti sil, jež působí na vodu obsaženou v nich. Póry v půdě lze přirovnat k nepravidelným kapilárám s proměnlivým průměrem, přičemž jejich „ekvivalentní průměr“ odpovídá průměru válcové kapiláry, z níž lze odsát vodu stejným podtlakem. (Jandák et al., 2010)

Podle Jandáka et al. (2010) se póry dělí v závislosti na velikosti jejich ekvivalentních průměrů:

- Póry jemné kapilární (ekvivalentní průměr  $< 0,2 \mu\text{m}$ ), voda je v nich ovládána kapilárními silami, jež vodu zadrží a umožní její pohyb proti působení gravitace. V těchto pórech probíhají chemické, fyzikálně chemické a biologické pochody.
- Póry hrubé nekapilární (ekvivalentní průměr  $> 10 \mu\text{m}$ ) jsou charakteristické tím, že gravitace v nich působí na vodu neomezeně. Voda se v nich tedy pohybuje volně do spodních vrstev, přičemž její místo zaujímá vzduch. Tyto póry se podílejí na vzájemné výměně plynné fáze mezi půdou a ovzduším.
- Póry střední semikapilární (ekvivalentní průměr 10 až  $0,2 \mu\text{m}$ ) jsou přechodem mezi póry kapilárními a nekapilárními.

Zastoupení hrubých a jemných pórů se promítá do vodních a vzdušných poměrů v půdě. Je obtížné určit optimální poměr kapilárních a nekapilárních pórů. Různým plodinám vyhovují různé optimální poměry těchto pórů. Optimální poměr pórů pro vybrané plodiny je uveden v Tab. 4. (Jandák et al., 2010)

*Tab. 4 Optimální poměr pórů pro vybrané plodiny (Jandák et al., 2010)*

Optimální poměr pórů pro vybrané plodiny		
Plodiny	Optimální poměr pórů z celkové pórovitosti [%]	
	Kapilární póry	Nekapilární póry
Pícniny, zelenina	75 – 85	15 – 25
Okopaniny	70 – 80	20 – 30
Obilniny	60 – 70	30 – 40

Působením velkých tlaků na půdu dochází ke změně velikosti a rozložení poměru pórů. Stlačením částic půdy k sobě se snižuje velikost pórů mezi nimi, především jsou ovlivňovány póry nekapilární, které jsou z půdy zhutňováním vytlačeny. Snížené procento těchto pórů má za následek omezení hydro-fyzikálních vlastností půdy a omezená je také vzdušná kapacita půdy. (DeJong-Hughes et al., 2001)

Jelikož jsou nekapilární póry odpovědné za pohyb vody do spodních vrstev (vsakování, infiltrace), tak při jejich nízkém procentu v půdě dochází k špatnému odvodňování

svrchních vrstev půdy. Při srážkách pak voda zůstává na povrchu a tvoří na pozemku vodní plochy (Obr. 5), v případě intenzivnějších srážek pak voda odtéká po povrchu pozemku a společně s ní také úrodná půda. Tento jev se nazývá vodní eroze. Pomíne-li erozi, tak vodní plochy vytvořené na pozemcích ovlivňují také dobu vstupu na pozemek, poněvadž na těchto částech pozemků panují nevhodné podmínky pro zpracování půdy mnohem déle, než na částech nezhutněných. Zemědělci musejí v těchto případech obdělávat pouze část pozemku, na níž je operace z hlediska půdních podmínek možná a část pozemku s vodní plochou obdělávat až po jejím vyschnutí, což zvyšuje časovou náročnost a také náklady. V letech, kdy panují intenzivní srážky, voda na utužených částech pozemku prakticky nezmizí po celý rok. Naopak v srážkově podprůměrných letech dochází vlivem většího procentuálního zastoupení kapilárních pórů ke zvětšené vztlávanosti, což způsobuje vysoké ztráty vody z povrchu půdy. (Javůrek et al., 2008)



*Obr. 5 Vytvořená vodní plocha na zhutněném pozemku ([www.ochrana-pudy.cz](http://www.ochrana-pudy.cz))*

Nadměrné zhutnění půdy má tedy přímý vliv na infiltrační schopnosti, ale také na funkci umožňující zadržovat vodu po delší dobu. Mezi hlavní hydro-fyzikální veličiny charakterizující schopnost půdy zadržovat vodu patří podle Jandáka (2010) maximální kapilární kapacita (označovaná  $\Theta_{MKK}$ ) a retenční vodní kapacita ( $\Theta_{RVK}$ ). Maximální kapilární kapacita udává hodnotu maximálního nasycení kapilárních půdních pórů vodou, retenční vodní kapacita vypovídá o množství vody, jež je půda schopna trvaleji zadržet svými vlastními (kapilárními) silami. Zhutnění půdy snižuje jednak maximální nasycení kapilárních pórů vodou, tak i celkové množství vody, které je schopné voda zadržet.



Ovlivněním obou parametrů dochází k omezené dostupnosti vody pro rostliny, zejména v období suchých podmínek (tzv. přísušky).

Zhutnění omezuje také plynnou fázi půdy - půdní vzduch. Vzduch v půdě je udržován právě především prostřednictvím nekapilárních pórů, jež jsou zhutňováním půd vytlačovány. Veličina charakterizující obsah vzduchu v půdě se nazývá vzdušná kapacita půdy. Její hodnoty dosahují v orné půdě 10 až 20 %, přičemž hodnot pod limitní mez (10 %) je dosahováno právě u zhutněných půd. Půdní vzduch má odlišné procentuální zastoupení prvků (sloučenin) než vzduch atmosférický (Tab. 5). (Jandák et al., 2010)

Tab. 5 Zastoupení prvků (Jandák et al., 2010)

Zastoupení hlavních prvků (sloučenin) v atmosférickém a půdním vzduchu		
Prvek (sloučenina)	Atmosférický vzduch [%]	Půdní vzduch [%]
N <sub>2</sub>	78	78 – 80
O <sub>2</sub>	21	0,1 – 20
CO <sub>2</sub>	0,03	0,1 – 15

Kyslík má významnou úlohu v životě vegetace a rozvoji kořenů, jejichž činností je kyslík spotřebováván. Mikroedafon a mezoedafon jsou v podstatě živé organismy, které dýcháním přijímají kyslík. Dostatek vzduchu podmiňuje výskyt těchto živočichů v půdě, jež jsou mimo jiné také spoluvůrci drobtovité struktury půdy (zvyšují pórovitost). Při kyslíkovém deficitu dochází v půdě ke hnilobným pochodům. Oxid uhličitý se podílí na chemických a fyzikálně-chemických půdotvorných pochodech. Společně s vodou CO<sub>2</sub> vytváří kyselinu uhličitou (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), jež rozpouští minerální půdní sloučeniny a uvolňuje z nich živiny pro rostliny. Vzdušný dusík je poután v elementární formě žijícími bakteriemi v půdě (hlízkové bakterie). Nedostatkem půdního vzduchu dochází k omezení růstu kořenů do hloubky. U zhutněných půd je díky absenci vzduchu omezen mikroedafon a mezoedafon, nedostatek vzduchu má vliv rovněž na snižování výnosu a jakosti úrody (obsah škrobu a cukru). (Jandák et al., 2010)

### 3.1.5.3 *Struktura tuhé fáze půdy*

Pod pojmem struktura půdy je souhrnně označováno vzájemné prostorové uspořádání agregátů. Agregát je komplex půdních částic převážně minerálního, ale také organického původu, jež jsou mezi sebou spojovány tmelícími látkami, např. sloučeninami železa, hliníku, apod. Struktura půdy je tedy podmíněna schopností půdy stmelovat (agregovat) částice tuhé fáze půdy, či rozpojovat (desagregovat) větší celky půdní hmoty, a vytvářet tak strukturní agregáty. (Kostelanský, 2008)

Podle Kostelanského (2008) je vznik půdní struktury podmíněn těmito vlivy:

- Změnami v půdní vlhkosti – bobtnáním a smršťováním dochází k změnám objemu půdy.
- Zmrznutím a rozmrznutím půdy – fyzikální změna objemu vody v půdě (tání a tuhnutí). Účinek tvorby struktury promrznutím a rozmrznutím půdy je odvislý od toho, v jakých pórech se voda při změně v led vyskytuje.
- Působením chemických vlivů – tmelivý vliv na vznik struktury mají biochemické procesy při rozkladu organické hmoty v půdě a v průběhu tvorby humusu. Na vznik struktury působí především dvojmocné kationty vápníku hořčíku.
- Biogenní tvorba struktury – působení biologických činitelů, ke kterým se řadí především účinky kořenového systému, půdní mikroflóra, exkrekty rostlin a půdní živočišstvo (edafon).
- Zpracování půdy – nejsilnější a nejúčinnější regenerační opatření pro rychlou obnovu porušené půdní struktury, musí být však prováděno za příznivé vlhkosti půdy.

Za optimální půdní strukturu je považována půda se stabilními drobtovitými agregáty, což odpovídá velikosti agregátů 1 – 10 mm. Jednou z hlavních příčin degradace struktury je degradace mechanická, která vzniká působením strojů při zpracování půdy a sklizních za nevhodné vlhkosti. V těchto podmínkách dochází prostřednictvím velkých tlaků kol na půdu k vertikálnímu utlačení půdy, čímž vzniká ornice se slitým prostorovým uspořádáním. Tato ornice je charakteristická ulehlostí, těžkou obdělávatelností, převahou kapilárních pórů, špatným zasakováním srážkové vody a silným povrchovým odtokem. Na těchto půdách je také omezena vzdušná kapacita a omezená biologická aktivita. (Jandák et al., 2010)

### 3.1.5.4 Orební a penetrometrický odpor půdy

Podle Jandáka et al. (2010) je orební odpor charakterizován jako měrný odpor, jež je nutno překonat při vnikání orebního tělesa do orané vrstvy, při odřezání, nadzdvížení, drobení a obracení příčného řezu skývy. Odpor kladený půdou je závislý na hustotě uložení částic půdy, aktuální vlhkosti půdy, intenzitě prokořenění, hloubce orby, typu odhrnovačky apod. Při měření orebního odporu je většinou měřena také potřeba tahové síly traktoru a síla na háku. Demo et al. (1995) uvádí, že hodnota orebního odporu je u lehkých půd 2 až 4 t.m<sup>-2</sup> a u středních půd 4 až 6 t.m<sup>-2</sup>. Těžké půdy dosahují orebních odporů v hodnotách 6 až 8 t.m<sup>-2</sup>, u velmi těžkých půd je to 8 až 10 t.m<sup>-2</sup>. Orební odpor lze podle Kostelanského (2008) vypočítat z následující rovnice:

$$P = K \cdot a \cdot b \quad (1.1)$$

Kde:  $P$  – orební odpor [t.m<sup>-2</sup>],

$K$  – měrný odpor [t.m<sup>-2</sup>],

$a$  – hloubka orby [m],

$b$  – šířka záběru [m].

Pro většinu zemědělců je však měření orebního odporu půdy složité a finančně nedostupné. Díky jednoduchosti si pro zjišťování stavu půdy zemědělci oblíbili metodu založenou na měření odporu půdy vůči vnikání kovového kužele o normovaných rozměrech rovnoměrným pohybem do půdy. Takto měřená veličina se nazývá penetrometrický odpor půdy, charakterizuje ji jednotka tlaku (MPa). Penetrometrická metoda využívá získaných poznatků a principiálně vychází z toho, že odpor půdy proti vnikání tělesa je přímo závislý na hustotě uložení částic v daném místě. Přístroj pro měření penetrometrického odporu se nazývá penetrometr a pomocí něj lze zjistit stav zhutnění půdy. Limitní hodnoty penetrometrického odporu pro jednotlivé půdní druhy jsou uvedeny v Tab. 2, metodika měření penetrometrického odporu půdy pro účely této diplomové práce je uvedena v kapitole 4.1.4 Měření penetrometrického odporu půdy. (Váchal et al., 1987)

Nadměrné utužení půdy zvyšuje celkový odpor půd při jejich zpracování, čímž vzrůstá energetická náročnost na obdělávání půd, zejména při orbě. Podle Kohouta et al. (1993) se za posledních 30 let zhoršil fyzikální stav půd, a v důsledku jejich zhutnění vzrostl i orební odpor až o 30 %, v případě souvratí až o 80 %. Takové navýšení odporu půd se

promítá do zvýšené spotřeby paliva při půdo-zpracujících operacích. Zvláště vysoká spotřeba paliva ( $45 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) je zřejmá při odstraňování utužených vrstev v podorničí pomocí dlátových pluhů a podrýváků pracujících do hloubek až 65 cm.

## **3.2 Konstrukce pneumatik využívaných u traktorů**

### **3.2.1 Historie pneumatik**

Pneumatiky jsou charakterizovány jako těleso naplněné vzduchem spojující vozidlo s podložkou a tvoří tak základní nosnou část osobních a nákladních automobilů, motocyklů, zemědělských strojů apod. Prvotní snahy o vytvoření komfortnější jízdy se datují k roku 1829. Stroje vybavené pevnými běhouny měly špatnou adhezi mezi kolem a povrchem vozovky, problémem byly také otřesy, jež se vlivem nerovností přenášely na celou karosérii vozidla. Nepříjemný byl také hluk vznikající vlivem nárazů pevného běhounu na povrchové nerovnosti. Právě v roce 1829 byl objeven běhoun, jenž byl vytvořený ze silného pásu plsti. Vynález pneumatiky jako takové se objevil v letech 1845 a 1888. V roce 1845 získal patent Robert William Thomson, jeho vynález se však neujal, protože pro něj nebyla vhodná vozidla. V roce 1888 John Boyd Dunlop vyrobil ze zahradní hadice vzduchem plněnou pneumatiku pro tříkolku svého syna, vynález si nechal patentovat. Na automobilech se pneumatiky objevily v roce 1891 zásluhou André a Édouarda Michelinových. Životnost těchto pneumatik byla velmi nízká, často docházelo k defektům. Je nutno podotknout, že celé hnací ústrojí automobilu nebylo přizpůsobeno pneumatikám, zejména citelná byla absence diferenciálu. Tudíž docházelo ke smýkání pryže, čímž vznikalo nadměrné opotřebení pneumatik. Od devatenáctého století prošly vývojem veškeré komponenty automobilů včetně pneumatik, u kolových traktorů byly podle Grečenka (1963) pneumatiky zavedeny kolem roku 1930.

### **3.2.2 Požadavky na pneumatiky**

Pneumatika tvoří základní spojovací článek mezi podložkou a vozidlem, zabezpečuje jejich vzájemnou adhezi, pomocí níž jsou přenášeny hnací a brzdící síly. Pneumatiky přenášejí hmotnost vozidel na podložku a tvoří součást pružící soustavy vozidla. Důležitou funkcí pneumatik je také stabilita jízdy. Požadavky jsou kladeny na nízký valivý odpor a výkon při vysokých rychlostech. U silničních vozidel je kladen důraz rovněž na nízkou hlučnost pneumatik, poněvadž až 70 % hluku projíždějícího vozidla pochází

právě od pneumatik. Zákazníci vyžadují také přiměřenou cenu, vysokou životnost, odolnost pneumatik vůči vnějším vlivům. Na závěr je nutno podotknout, že řada požadavků na pneumatiky má protichůdný charakter, proto jsou výrobci nuceni požadované vlastnosti pneumatik řešit kompromisem. (Bauer et al., 2006)

### ***3.2.2.1 Zvláštnosti v požadavcích na pneumatiky u zemědělských strojů***

Pneumatikám musí být věnována pozornost obzvláště v zemědělství, poněvadž prostřednictvím pneumatik je přenášena tahová síla na podložku u traktorů či zemědělských tahačů. Nevhodná volba pneumatik u těchto strojů může znamenat ztrátu optimálních tahových vlastností celé soupravy, což se projeví především na ekonomice provozu. Volba pneumatik v zemědělství ovlivňuje také vliv techniky na půdu. (Bauer et al., 2006)

Na pneumatiky používané v zemědělství jsou kladeny zejména tyto požadavky:

- dobrý samo-čisticí efekt,
- zvýšená odolnost vůči průrazu,
- schopnost přenášet vysoká zatížení i při nízkém tlaku huštění,
- schopnost přenášet velké momenty za zhoršených adhezivních podmínek,
- větší kontaktní plocha pneumatik s povrchem,
- dezén pneumatiky by neměl poškozovat kulturní porosty.

### **3.2.3 Výroba a konstrukce pneumatik**

Pneumatika je tvořena třemi hlavními komponenty, kterými je pryž (80 – 85 %), vlákna různého druhu (12 – 16 %) a ocelový drát (2 – 3 %). K dalším přísadám používaným při výrobě pneumatik patří saze, textilie, různé chemikálie, oleje a další suroviny. (Bauer et al., 2006)

Základní surovinou pro výrobu plášťů pneumatik jsou elastomery (kaučuk), přísady do kaučukové směsi, kordy z přírodních a chemických vláken (polyamid, bavlna, polyester, apod.), kordy z ocelových vláken a ocelový drát (patní lano). Hlavní složku kaučukové směsi tvoří kaučuk, který podle povahy zdroje může být přírodní či syntetický.

Přírodní kaučuk je získáván z kaučukodárných stromů a keřů pomocí naříznutí jejich kůry (tzv. čepování). Bílá tekutina vytékající z těchto rostlin se nazývá latex (Obr. 6).

Syntetickým kaučukem používaným pro gumárenský průmysl je například butadienstyrenový kaučuk (cis – 1,4 – polybutadien, cis – 1,4 – polyisopren) a další. Výhodou syntetických kaučuků jsou především některé vlastnosti převyšující vlastnosti u kaučuků přírodních – vyšší odolnost vůči nízkým a vysokým teplotám, nižší citlivost na oleje. Vulkanizací je z kaučukové směsi vytvářena pryž. Důležitým aspektem je přesné dávkování vulkanizačních činidel (aktivátory, plniva, ztužovadla, aj.) v průběhu tohoto procesu. Tím je docíleno požadovaných vlastností, mezi něž patří pevnost struktury, pevnost v tahu, odolnost vůči stárnutí, ozónu a povětrnostním vlivům. Pro dobré vmíchání přísad do kaučukové hmoty je kaučuk uváděn do plastického stavu, přičemž konečné vlastnosti pneumatik spočívají v kvalitním rozložení přísad. Při vulkanizaci dochází k chemické reakci kaučukových makromolekul se sírou, při níž je plastická kaučuková směs přetvářena na elastickou pryž. Proces vulkanizace probíhá při lisování pláště pneumatiky ve formě (Obr. 7). (Vlk, 2003)



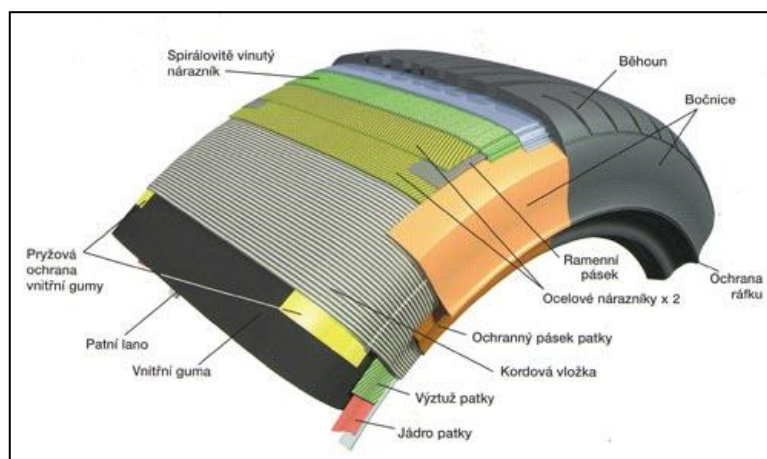
Obr. 6 Získávání přírodního kaučuku  
([www.topnews.in](http://www.topnews.in))



Obr. 7 Forma na výrobu pneumatiky  
([www.indiamart.com](http://www.indiamart.com))

Pneumatika se skládá z těchto částí (Gscheidle et al., 2007): nárazník, běhoun, kostra, boční stěna, vnitřní gumová vrstva, patka a patní lano. Řez pneumatikou je uveden na Obr. 8. Základní nosnou část tvoří kostra a nejvíce ovlivňuje vlastnosti pneumatik (styčná plocha, nosnost, valivý odpor, aj.). Je složena z několika vložek z pogumované kordové tkaniny, která je vyrobená z nylonu, rayonu, oceli, polyesteru či aramidu. Bauer (2006) uvádí, že jsou-li jednotlivé vložky (vlákna) kladeny ve vrstvách přes sebe

a svírají-li s podélnou osou pneumatik úhel 30 až 40 °, jsou to pneumatiky označované jako diagonální. Pokud jsou vlákna kladena kolmo na podélnou osu a u vnější vrstvy svírají s podélnou osou úhel 10 až 30 °, jedná se o pneumatiky radiální. Vlákna kostry vedou až k ráfku, kde jsou přehnuty okolo ocelových patních lan, přičemž při vulkanizaci nastává pevné spojení kostry.



Obr. 8 Řez pláštěm radiální pneumatiky ([www.ceskepneu.cz](http://www.ceskepneu.cz))

Nárazník je umístěn mezi běhounem a horní částí kostry. Je složen z několika vrstev pogumovaných vložek z textilního, polyamidového, aramidového či ocelového kordu. Vlákna jednotlivých vložek se navzájem kříží a několikanásobně překrývají. Pneumatiky určené pro vyšší rychlosti mohou mít nárazníky překládané pro zvýšení celkové stability. U některých pneumatik se místo nárazníku může nacházet tzv. výztužný pás, který se skládá z několika vrstev tkaniny, případně vrstev pryže. Úlohou jak nárazníku, tak výztužného pásu je pohlcování nárazů od vozovky, čímž chrání kostru pneumatiky. Nárazník také pohlcuje část tepla, jež je vytvářeno při jízdě. (Gscheidle et al., 2007)

Běhoun opatřený profilem má rozhodující význam pro jízdní vlastnosti pneumatiky, chrání spodní část pneumatiky proti poškození. Pomocí drážek zabezpečuje přenos sil mezi pneumatikou a podložkou. Podélné drážky zabezpečují boční vedení pneumatiky, příčné drážkování slouží k přenosu brzdících a záběrových sil. Tvar profilu běhounu má vliv na valivý odpor a hluk pneumatiky, dostatečná hloubka drážek umožňuje bezpečnou ovladatelnost vozidla při mokré vozovce. Pro snadnou kontrolu stavu opotřebení je umístěn v běhounu indikátor opotřebení TWI (Tread Wear Indicator). Boční stěna pneumatiky (bočnice) chrání pneumatiky z bočních stran proti mechanickým

a povětrnostním vlivům. Na boční stěnu je používána směs pryže a přísad, které zabráňují působení negativních vlivů. Patka zajišťuje styk pláště s ráfkem, přenáší obvodové síly v podobě brzdného a hnacího momentu, brání protáčení pneumatiky a ráfku vůči sobě navzájem. U bezdušových pneumatik patka také zajišťuje jejich vzduchotěsnost. (Gscheidle et al., 2007)

### 3.2.4 Značení pneumatik

Značení pneumatik podléhá firemním předpisům a současně také předpisům Evropské hospodářské komise (EHK). Rozměry pneumatik udávají tři základní parametry, mezi které patří šířka nezatížená a nahuštěná pneumatiky, výška profilu a průměr ráfku. Podstatným parametrem je profilové číslo vyjadřující poměr výšky profilu k šířce pneumatiky. Se snižujícím se profilovým číslem se, při zachování vnějšího průměru a průměru ráfku, zvětšuje šířka pneumatiky a tím i objem vzduchu. Při stejném zatížení pak lze u pneumatiky snížit hustící tlak, čímž se také sníží konstantní tlak pneumatik. Proto je u pneumatik určených pro zemědělství profilové číslo snižováno na hodnoty 65 až 70 %. (Bauer et al., 2006)

Údaje na pneumatice bývají velmi často doplněny dalšími informacemi, mezi které patří označení, zda se jedná o provedení s duší značené jako TT (tube type) či bezdušové provedení označené TL (tubeless). Konstrukce kostry je na pneumatice označena jako R (radiální pneumatika) či pomlčkou (diagonální pneumatika). Index rychlosti SI (speed index) je kód tvořený písmenem a vyjadřuje maximální rychlost, pro kterou je pneumatika konstruována. Podle písmena uvedeného na pneumatice lze z tabulky SI odečíst údaj o maximální rychlosti pneumatiky. Vybrané hodnoty indexů rychlosti jsou zobrazeny v Tab. 6. (Bauer et al., 2006)

Tab. 6 Vybrané hodnoty rychlostního indexu SI ([www.tyreteam.co.nz](http://www.tyreteam.co.nz))

Vybrané hodnoty rychlostního indexu pneumatik									
SI	B	C	D	E	F	G	J	K	L
Rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	50	60	65	70	80	90	100	110	120



Další uváděný index je hmotnostní index LI (load index), jehož funkce je obdobná jako u rychlostního indexu, rozdílem je použití čísel místo písmen. Vybrané hodnoty indexů hmotnosti jsou zobrazeny v Tab. 7.

Tab. 7 Vybrané hodnoty hmotnostního indexu LI ([www.tyreteam.co.nz](http://www.tyreteam.co.nz))

Vybrané hodnoty hmotnostního indexu pneumatiky							
LI	Zatížení [kg]	LI	Zatížení [kg]	LI	Zatížení [kg]	LI	Zatížení [kg]
141	2 575	151	3 450	161	4 625	171	6 150
142	2 650	152	3 550	162	4 750	172	6 300
143	2 725	153	3 650	163	4 875	173	6 500
144	2 800	154	3 750	164	5 000	174	6 700
145	2 900	155	3 875	165	5 150	175	6 900
146	3 000	156	4 000	166	5 300	176	7 100
147	3 075	157	4 125	167	5 450	177	7 300
148	3 150	158	4 250	168	5 600	178	7 500
149	3 250	159	4 375	169	5 800	179	7 750
150	3 350	160	4 500	170	6 000	180	8 000

Označení pneumatik v podobě kódu 710/70 R42 TL 179D udává o pneumatice následující informace. Číslo 710 označuje šířku pneumatiky v mm, 70 značí profilové číslo pneumatiky udávané v %. Písmeno R udává informaci o radiální konstrukci kostry a číslo 42 značí průměr ráfku v palcích (1" = 2,54 cm). Značka TL označuje bezdušovou pneumatiku, číslo 179 a písmeno D jsou směrodatné údaje pro hmotnostní a rychlostní index. Jednoduchým vyčtením z tabulky lze zjistit, že je možné pneumatiku zatížit hmotností 7 750 kg a maximální rychlost, pro kterou je tato pneumatika konstruována při této zátěži, je 65 km.h<sup>-1</sup>.

Velikost tlaku pneumatik často nebývá na pneumatice uváděna, protože tlak je závislý na rozměrech pneumatiky, jejím zatížení a provozní hmotnosti (Bauer et al., 2006). Velikost zatížení a rychlost pneumatik má podstatný vliv na tlak obzvlášť u pneumatik používaných v zemědělství. Tyto pneumatiky mají díky své konstrukci velký rozsah používaných tlaků, aby bylo možno docílit optimálních vlastností jak při tahových pracích, tak v dopravě. Např. firma Michelin na svých internetových stránkách

(www.michelinag.com, 2016) uvádí pro pneumatiku 710/70 R42 TL 179D AXIOBIB rozsah používaných tlaků v rozmezí 40 až 240 kPa. V tabulce je pro jednotlivé tlaky pneumatiky uvedena velikost maximálního zatížení a maximální rychlost. Pro názornou ukázkou jsou hodnoty uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8 Nosnost pneumatiky v závislosti na tlaku a rychlosti (www.michelinag.com)

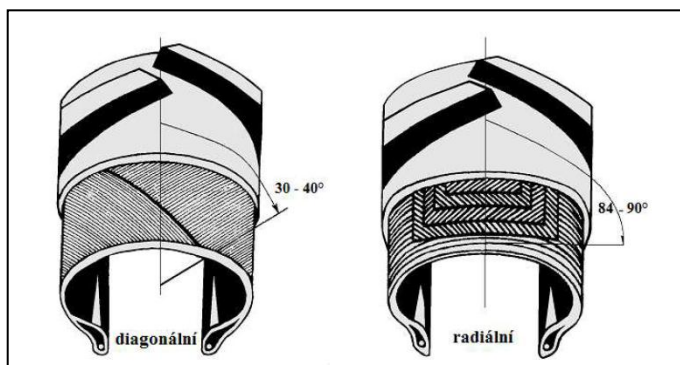
Nosnost pneumatiky Michelin 710/70 R42 TL 179D AXIOBIB		
Tlak [kPa]	Zátěž (při 65 km.h <sup>-1</sup> ) [kg]	Zátěž ve dvojmontáži (při 65 km.h <sup>-1</sup> ) [kg]
40	-	2 640
80	4 250	3 740
100	4 850	4 270
120	5 450	4 800
140	6 075	5 350
160	6 700	5 900
180	7 000	6 160
200	7 300	6 420
220	7 525	6 620
240	7 750	6 820

Součástí identifikace pneumatiky je také kód DOT (Department of Transportation), jež udává týden a rok výroby pneumatiky.

### 3.2.5 Konstrukce pneumatik používaných u traktorů

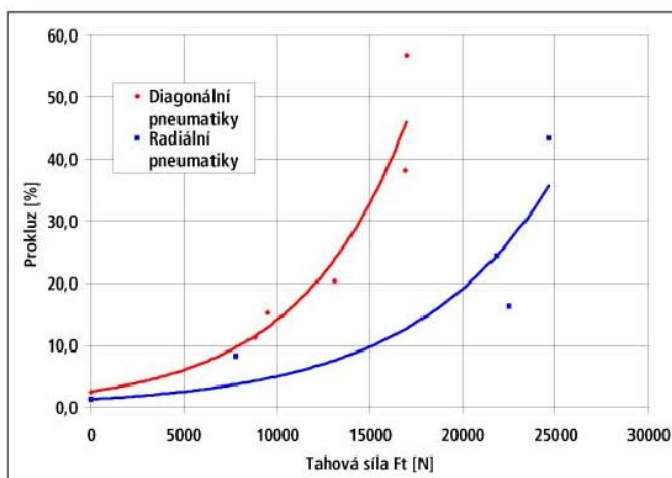
Dnešní traktory a samojízdné stroje jsou vybaveny pneumatikami především radiální konstrukce, které se proti diagonálním vyznačují řadou pozitivních vlastností. Lze říci, že radiální pneumatiky již téměř vytlačily diagonální konstrukci z trhu (Janků, 2004). Nicméně diagonální konstrukce pneumatik je stále nabízená některými výrobci pneumatik, a v praxi je uplatňována především u traktorů nejmenších výkonnostních kategorií. Rozdíl v konstrukci radiálních a diagonálních pneumatik byl již popsán v kapitole 3.2.3 Výroba a konstrukce pneumatik, rozdíl v konstrukci je graficky znázorněn na Obr. 9. Radiální konstrukce pneumatik se vyznačuje větší kontaktní plochou s půdou v porovnání s diagonální konstrukcí o 20 až 25 % (Jurtík, 2004). Větší styčnou plochou se při stejném zatížení docílí menšího měrného tlaku na půdu, čímž je docíleno nižšího

zhutnění půdy. Prostřednictvím větší kontaktní plochy se dostane do záběru také více záběrových figur pláště, což má příznivý vliv na tahové vlastnosti traktoru.



Obr. 9 Řez diagonální a radiální konstrukcí pláště ([www.bezpecnenasilnicich.cz](http://www.bezpecnenasilnicich.cz))

Radiální pneumatiky dosahují efektivnějšího přenosu hnací síly na podložku za současného snížení velikosti prokluzu traktoru. Tuto skutečnost potvrdily výsledky terénního měření uskutečněného VÚZT Praha (Srový et al., 2004). Rozdíly v konstrukci kostry pneumatik byly znatelné u prokluzové charakteristiky traktoru (Obr. 10). Za stejných provozních podmínek jsou tedy u radiálních pneumatik uspořeny náklady na pohonné hmoty a pracovní čas. K příznivým vlastnostem radiálních pneumatik se také řadí větší nosnost a vyšší rychlostní kategorie. Podle Bauera et al. (2006) dochází při odvalování diagonálních pneumatik k deformacím především jejich bočních částí, čímž se snižují vlastní pohyby dezénu běhounu, které jsou právě u diagonálních pneumatik nejvýznamnější příčinou otěru.



Obr. 10 Prokluzová charakteristika traktoru při rozdílné konstrukci pneumatik (Srový et al., 2004)

Pneumatiky klasické radiální konstrukce umožňují snižování tlaku až na cca 100 kPa. Nadměrným podhuštěním pneumatiky vzniká riziko, že tlak vzduchu v pneumatice nezajistí dostatečný kontakt ráfku s patkou pneumatiky. Tímto může dojít k vzájemnému prokluzu pláště a ráfku kola, přičemž se může nevratně poškodit patka pneumatiky. Nadměrně zatížené a podhuštěné pneumatiky zvyšují také riziko vzniku trhlin především v bočních stěnách. Výrobci na požadavek provozu pneumatik za sníženého tlaku a zvýšeného zatížení zareagovali konstrukcí nízkotlakých radiálních pneumatik. Tyto pneumatiky se za posledních pár let rozšířily především u výkonných traktorů, určených pro těžké tahové práce. Mnoho světových výrobců tyto pneumatiky označuje značkou IF - Improved Flexion (Obr. 11) nebo VF - Very High Flexion (Wallin, 2016), což lze přeložit jako pneumatiky se zlepšenou, resp. velmi vysokou flexí (ohebností). Konstrukce těchto pneumatik umožňují nést o 20 % (IF), respektive o 40 % (VF) větší zatížení při stejném tlaku huštění jako konvenční radiální pneumatika. Při stejném zatížení jako konvenční radiální pneumatika umožňují tyto konstrukce snížení tlaku o 20 % (IF), respektive 40 % (VF).



*Obr. 11 Radiální, nízkotlaká traktorová pneumatika konstrukce IF o šířce 900 mm a průměru ráfku 46" (foto autor)*

Z konstrukčního hlediska jsou nízkotlaké radiální pneumatiky vyráběny z flexibilnějších materiálů, zejména v oblasti bočnic, které musejí být ohebné a přitom velmi pevné (www.michelin.cz, 2011). Ramena těchto pneumatik bývají zesílena tak, aby byla odolná navzdory velkému vychylování. Kostra pneumatik je díky tomu odolnější vůči velké mechanické zátěži způsobené zejména velkým nákladem. Pro lepší ovladatelnost na

silnici jsou pneumatiky osazeny na širokých ráfcích s průměry 42 či 46", gumová směs s nižším hysterezním činitelem má za cíl snížit teplotu vznikající v důsledku valení kola. Tím je docíleno delší životnosti pneumatik. Při zvýšeném zatížení a sníženém tlaku pneumatik je však obsluha stroje limitována přepravní rychlostí, poněvadž by mohlo dojít k poškození pneumatik. Proto jsou traktory hojně osazovány centrální regulací tlaku v pneumatikách, čímž je vyřešena problematika rozdílných požadavků na tlak pneumatik při tahových pracích a v dopravě (Beneš et al., 2015). Popis systémů centrálního huštění pneumatik je uveden v kapitole 3.3.1 Systémy centrální regulace tlaku.

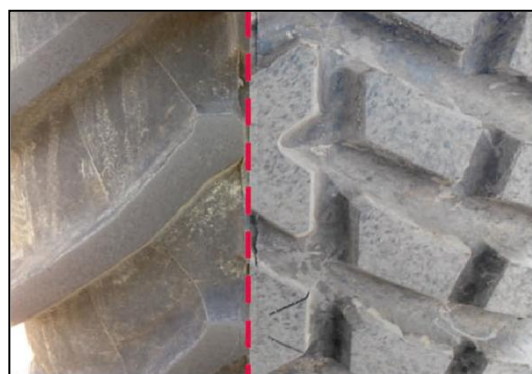
Zvláštním druhem nízkotlakých pneumatik radiální konstrukce jsou flotační pneumatiky a Terra pneumatiky. V podstatě se jedná o velkoobjemové pneumatiky, které se vyznačují velkou šířkou (až 1 050 mm) a malým průměrem ráfku (25 až 32"). Profilové číslo těchto pneumatik je oproti klasickým zemědělským radiálním pneumatikám sníženo na hodnotu cca 50. Velké rozměry těchto pneumatik zaručují jejich velkou nosnost a současně také velmi nízký střední kontaktní tlak s půdou (až 60 kPa), a to díky jejich velké styčné ploše a nízkému tlaku huštění (40 kPa). Tyto pneumatiky jsou používány především u aplikační a sklizňové techniky, která při své pracovní operaci nese velký náklad. Nejčastěji lze tedy osazení těmito pneumatikami spatřit na sklizečích cukrovky, systémových nosičích a návěsné technice (rozmetadla, aplikátory kejdy, překládací vozy). (Prikner, 2016)

Traktory v zemědělských podnicích často vykonávají úlohu přepravních prostředků. Jedná se především o agregaci traktoru a přívěsu či návěsu, jež spolu vytvářejí dlouhodobější soupravy, sloužící k přemísťování sklizených komodit. Takové soupravy se většinu času pohybují po zpevněných pozemních komunikacích, od toho se také vyvíjí volba pneumatik. Pro tento druh použití výrobci nabízejí průmyslové pneumatiky (viz Obr. 12), které se vyznačují oproti klasickým zemědělským pneumatikám větším množstvím dezénových bloků. Naproti tomu je tento dezén ve srovnání s šípovým (hloubka dezénu 40 až 60 mm) hluboký pouze 20 až 25 mm. Porovnání šípového a průmyslového dezénu je patrné z Obr. 13. Průmyslový dezén se vyznačuje menším opotřebením, lepší stabilitou traktoru především při brzdění a také nižším valivým odporem při jízdě na tvrdém povrchu. Průmyslové pneumatiky s označením písmenem „A“ představují širší pneumatiky s menším průměrem, zatímco pod označením písmenem „B“ jsou zahrnuty pneumatiky užší s větším průměrem. Měření uskutečněné Recklebenem a Schäferem

(2014), z odborné vysoké školy v Kielu (Fachhochschule Kiel), bylo zaměřeno na úbytek dezénu zemědělských a průmyslových pneumatik především při dopravních činnostech traktoru. Za 1 000 provozních hodin činil úbytek dezénu u zemědělských pneumatik 30 až 40 %, v případě průmyslových pneumatik byl úbytek dezénu za stejnou provozní dobu 10 až 13 %. U zemědělských podniků, jejichž pozemky jsou ve střední vzdálenosti od středisek (10 až 50 km), může být použití průmyslových pneumatik v dopravě zajímavou alternativou z pohledu finančních úspor, za předpokladu, že se těmto podnikům ekonomicky nevyplatí pořízení nákladního automobilu.



*Obr. 12 Traktor osazený průmyslovými pneumatikami*



*Obr. 13 Srovnání pneumatik šípového a průmyslového dezénu*

*(Mechanizace zemědělství 6/2014)*

Traktory používané k ošetřování rostlin v průběhu jejich vegetace jsou často osazovány pneumatikami úzkořádkovými. Úzké rozměry pneumatik jsou žádoucí proto, aby se vmístily mezi širokořádkové plodiny, případně do kolejových řádků. Důležitým aspektem v jejich konstrukci je použití tužších pryží a materiálů, čímž je dosaženo vysoké nosnosti pneumatik navzdory jejím malým rozměrům. Pro zachování nosnosti je nutno udržovat v těchto pneumatikách tlak 200 až 300 kPa, ráfky používané u úzkořádkových pneumatik mají velké průměry (38 – 54"). Úzké rozměry pneumatik této konstrukce velmi ovlivňují stabilitu a manévrovatelnost traktoru, zejména v kopcovitých oblastech. (www.michelinag.com, 2016)

### 3.3 Konstrukční opatření vedoucí ke snížení utužení půdy

#### 3.3.1 Systémy centrální regulace tlaku

Systémy centrální regulace tlaku v pneumatikách (CTIS – Central tire inflation system) jsou již rozšířeným konstrukčním opatřením, které vedou nejen ke snižování utužení, ale také k menšímu opotřebení pneumatik při provozu na pozemních komunikacích a k hospodárnému provozu traktorů a souprav. Jak již bylo nastíněno v kapitole 3.2.5 Konstrukce pneumatik používaných u traktorů, požadavky na tlak v pneumatikách jsou rozdílné v dopravě a při tahových pracích. Na poli je vyžadováno, aby pneumatika měla nižší tlak, což zlepšuje trakční schopnosti traktoru a snižuje riziko vzniku zhutnění. Při provozu na silnicích je vyžadován tlak v pneumatikách vyšší, což umožní vyšší přepravní rychlost stroje. Díky tomu je také nosnost pneumatiky vyšší za současného snížení valivého odporu. Výhoda systémů CTIS spočívá tedy v nastavení optimálního tlaku pneumatik pro dané podmínky. Jako nevýhoda se může jevit vyšší investiční zátěž u nedostatečně vytíženého stroje vybaveného tímto systémem. (Bauer et al., 2006)

Mezi hlavní komponenty systémů centrálního huštění patří přídavný kompresor, rozvod vzduchu, řídicí a ovládací ventily, otočné převodníky, tlakové snímače, elektronická řídicí jednotka a ovládací panel v kabině. Systémy CTIS mají různé uspořádání z hlediska jejich pracovních částí. Důležitou součástí je otočný převodník, jehož umístění může být dvojitý. U jednodušších systémů je přívod vzduchu řešen vzduchovým potrubím umístěným přes blatník kola. Toto potrubí ústí do otočného převodníku umístěného na náboji kola, který vzduch přepouští do pneumatiky pomocí potrubí a speciálního ventilku. Nevýhodou takového systému je zvětšená šířka stroje, kde hrozí riziko poškození systému. U sofistikovanějších systémů je otočný převodník umístěn přímo v nápravové trubici a vzduch je k němu přiváděn skrze nápravu. Důležitým aspektem je, aby výrobce daného stroje technicky umožnil takový systém. CTIS jsou konstruovány jako jedno-okruhové či dvou-okruhové. Jedno-okruhové systémy (Obr. 14) mají nevýhodu v tom, že veškeré součásti systému jsou namáhány stejným tlakem, jako je tlak v pneumatice. Na hadicích, jež ústí do pneumatiky sice bývají mechanické ventily k uzavření přívodu vzduchu, nicméně řidič musí při každé změně tlaku vystoupit a ventily uzavřít či otevřít. Tuto nevýhodu řeší dvou-okruhové systémy (Obr. 15), u nichž je ovládání uzavíracího ventilu ovládáno druhým vedením. Tím je docíleno toho, že komponenty nejsou tlakově namáhány v době nečinnosti zařízení, ale také je vy-

loučeno riziko kdy poruchou systému může dojít k vyprázdnění všech kol. (Beneš, 2009)



Obr. 14 Jedno-okruhový systém CTIS  
([www.ptg.info](http://www.ptg.info))



Obr. 15 Dvou-okruhový systém CTIS  
([www.rbmagricultural.co.uk](http://www.rbmagricultural.co.uk))

Rychlost změny tlaku v pneumatikách je ovlivněna výkonností použitého typu přídavného kompresoru, velikostí pneumatik, hmotností stroje a také je závislá na použitém systému centrální regulace tlaku. Mezi přední výrobce a dodavatele těchto systémů patří firmy PTG, Krude a Steuerungstechnik Stg, které dodatečně osazují zemědělské stroje systémem CTIS, nebo dodávají svoje komponenty do výrobních závodů zemědělské techniky. Systémy centrální regulace jsou osazovány nejenom traktory, ale také sklizňová technika, návěsná technika, aplikační a dopravní technika. Mezi první firmy, které začaly osazovat systémy centrální regulace na svoje produkty přímo z výrobních závodů, patří firma Fendt. Tato firma prezentuje systém pod názvem VarioGrip, jehož inovace popsané v kapitole 3.3.6 Progresivní konstrukční opatření ke snižování zhutnění půdy, dosahují prozatím nejspokojivějších časových úspor v rámci systémů CTIS.

### 3.3.2 Dvojmontáž

Dvojmontáž znamená osazení jedné či obou náprav traktoru dvojicí extra pneumatik, jež se upínacími prvky spojí s primárními koly nápravy. Základním účelem dvojmontáží je snížit měrný tlak na půdu prostřednictvím zvětšené kontaktní plochy stroje s půdou, výhodou je také zlepšení trakčních vlastností traktoru. Nejnáchylnější na utužení jsou půdy v oslabeném stavu, tedy takové půdy, které mají zvýšenou vlhkost a v kratším časovém úseku prošly hlubším kypřením (orba, podryvání). Pro takový stav půdy je



typické vlhčí jaro, kdy jsou u traktorů využívány dvoumontáže, např. při strhávání hrubé brázdy (Obr. 16), předseťové přípravě a setí, aby byla chráněna půda před nežádoucím ztuhnutím. Dvoumontáží bývá osazována pouze zadní nebo obě nápravy traktoru. Důležitým aspektem je, aby ve všech kolech na jedné nápravě byl stejný plnicí tlak. Tak je dosaženo rovnoměrného rozložení měrného tlaku na půdu. Dvoumontáží bývají v praxi osazovány traktory určené zejména ke zpracování půdy a setí (traktory středních a vyšších výkonových kategorií). (Döll, 1997)



*Obr. 16 Traktor John Deere osazený dvoumontáží při strhávání hrubé brázdy  
([www.farmweb.cz](http://www.farmweb.cz))*

Problém u traktorů osazených dvoumontáží spočívá v nadměrné šířce při přepravě po pozemních komunikacích. Podle § 16 vyhlášky č. 341/2002 Sb. je maximální dovolená šířka traktoru 2,55 m, v případě samojízdných, přípojných a pracovních strojů v soupravě s nosičem je dovolená šířka 3 m. Překračuje-li traktor maximální povolenou šířku, musí být ze zákona vybaven výstražným majákem, musí se pohybovat sníženou rychlostí do 20 km.h<sup>-1</sup> a je nutný doprovod vozidla s výstražným majákem, jedoucího před traktorem. Přeprava po pozemních komunikacích nadměrně širokého traktoru také podléhá zvláštním právním předpisům, podle nichž musí provozovatel požádat o povolení zvláštního užívání na pozemních komunikacích. (www.mdcz.cz, 2002)

### **3.3.3 Pásové a polo-pásové podvozky**

Většina výrobců traktorů, sklízecích mlátiček a ostatních strojů dnes nabízejí jako alternativu k pneumatikám pásové podvozky. Uplatnění pásů v zemědělství ale není žádnou novinkou. Již na začátku 20. století (rok 1904) byl vyroben a patentován pásový podvo-

zek, který měl přenášet vzrůstající hmotnost traktorů na půdu a současně zlepšit průchodnost terénem (Pastorek, 2001). V letech 1925 až 1966 tvořila nabídka všech prodejců 6 až 10 % traktorů s pásovým podvozkem, přičemž tehdy se jednalo o pásy ocelové (DeJong-Hughes et al., 2001). Pásový podvozek se stal jedním z řešení, které umožnilo účinněji přenášet hnací sílu traktorů na podložku za současného snížení negativních účinků vysokých hmotností na půdu (Bauer et al., 2006). Užití pásového podvozku také vyhovuje požadavkům legislativy na přepravní šířku traktorů, což u dvoumontáží není možné. Dnešní pásové traktory mají pásy vyrobené z pryže, přičemž se používají dvě základní koncepce pásového podvozku, a to podvozky se dvěma (Obr. 17) či čtyřmi pásovými jednotkami (Obr. 18). Polo-pásový podvozek je potom „hybridní“ verze, kdy je kombinován podvozek kolový s pásovým.



Obr. 17 Traktor se dvěma pásy  
([www.challenger-ag.com](http://www.challenger-ag.com))



Obr. 18 Traktor se čtyřmi pásovými jednotkami  
([www.deere.co.uk](http://www.deere.co.uk))

Ve srovnání s pneumatikami mají pásy lepší trakci za zhoršených adhezních podmínek, efektivnější přenos výkonu na podložku a pásový podvozek také zabezpečuje rovnoměrnější rozložení hmotnosti, poněvadž má větší styčnou plochu než pneumatiky. Tím je zabezpečena ochrana půdy před zhutňováním, protože střední měrný kontaktní tlak je u pásů ve srovnání s pneumatikou menší. Kontaktní tlak u pásových traktorů může dosahovat hodnot 30 až 60 kPa. Aby pneumatika dosahovala srovnatelného kontaktního tlaku jako pás, musela by být velmi podhuštěna, což je z konstrukčního hlediska nemožné. Výhodou pásů je také větší jízdní komfort. Hlavní nevýhodou pásů jsou jejich pořizovací náklady, složitější konstrukce (velké množství pohyblivých součástí), dále náklady na údržbu a opravy. (DeJong-Hughes et al., 2001)

U traktorů osazených dvěma pásy je točivý moment motoru přiváděn přes převodovku a rozvodovku na zadní most, odkud je přenášěn na hnací kola pásových jednotek. Řízení traktoru zabezpečuje hydromechanický diferenciální převod, umístěný mezi kuželovým převodem rozvodovky a hnacími koly pásů. Tento mechanismus řízení s hydrostatickým převodem umožňuje plynulou změnu rychlostí obou pásů, čímž se plynule mění směr jízdy traktoru. V případě traktorů se čtyřmi pásovými jednotkami je točivý moment motoru z převodovky rovnoměrně rozdělován na obě hnací nápravy s rozvodovkou, diferenciálem a koncovými převody. Řízení těchto traktorů je řešeno jako kloubové, kdy podélně uložené přímočaré hydro-motory zajišťují natáčení předního a zadního rámu vůči sobě. (Bauer et al., 2006)

Pásové jednotky se zpravidla skládají z centrálního nosníku, hnacího kola, napínacího kola, středové vodící kladky, napínacího mechanismu a pásu. Hnací síla přivedená na hnací kolo pohání pásy podvozku pomocí zubů (bloků) zapadajících do výřezů v hnacím kole, nebo pohání pásy třením mezi pásem a hnacím kolem. Napínání pásů zajišťuje hydraulický systém pomocí napínacího kola. Samotné pásy jsou z pryže s ocelovými vlákny. Vnější strana pásů je opatřena šípovým dezénem podobně jako u pneumatik, vnitřní strana je opatřena pryžovými bloky, jež usnadňují vedení pásu a snižují riziko příčného posunu pásů. Šířka pásů je nejčastěji 400 až 900 mm. (Bauer et al., 2006)

Polo-pásové traktory se řadí mezi traktory klasické koncepce, jež jsou osazeny pásovými jednotkami na zadní nápravě (Obr. 19). Tato koncepce má spojovat výhody obou systémů, kdy pásový podvozek zabezpečuje lepší trakci a přenos tahové síly na podložku, zatímco směr jízdy udává podvozek kolový (www.agrics.cz, 2016). Šířka pásů těchto traktorů je omezená tak, aby celková šířka traktoru nepřekračovala dovolené rozměry určené legislativou silničního provozu. Pásové jednotky na zadní nápravy traktoru montují někteří výrobci na přání zákazníka přímo ve výrobě (New Holland, Case). U ostatních značek traktorů jsou pásové jednotky výsledkem práce externích firem (např. Zuidberg, Soucy Track). Tyto firmy nabízejí také osazení předních náprav pásovými jednotkami, tím vzniká traktor klasické koncepce na výhradně pásovém podvozku. Výhodou těchto pásových jednotek je možnost jejich jednoduché demontáže a opětovné výměny za klasická kola, nicméně je nutno zmínit, že na pásové jednotky jsou poměrně vysoké investiční náklady čítající sumu okolo 350 000 Kč bez DPH za jednu jednotku.

Výhod pásového podvozku je hojně využíváno také u sklízecích mlátiček (Obr. 20), které u nejvyšších výkonnostních kategorií dosahují hmotnosti 19 000 až 20 000 kg bez adaptéru a s prázdným zrnovým zásobníkem. Přičteme-li hmotnost plného zásobníku zrna a sklízecího adaptéru (cca 15 000 kg), tak může celková hmotnost stroje dosahovat hodnot až 35 000 kg, přičemž větší část této hmotnosti působí na přední nápravu. Používání pásů u sklízecích mlátiček je tedy opodstatněné především ve vztahu stroje k půdě. To si začali uvědomovat přední světoví výrobci sklízecích mlátiček, kteří nabízejí osazení přední nápravy pásy jako alternativu pohonu ve výbavě na přání.



*Obr. 19 Traktor s polo-pásovým podvozkem ([www.caseih.com](http://www.caseih.com))*



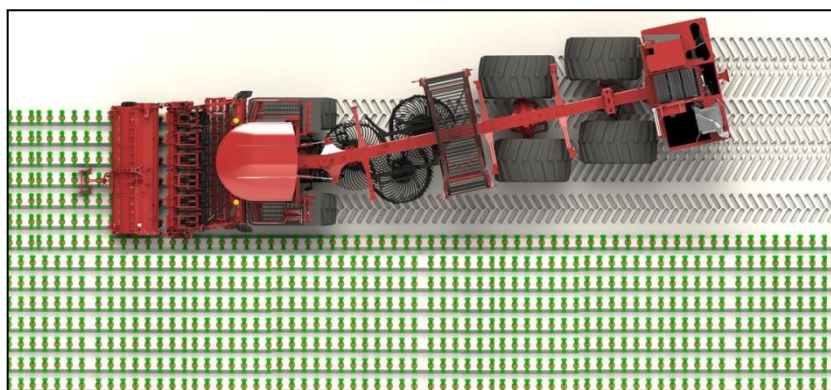
*Obr. 20 Sklízecí mlátička s polo-pásovým podvozkem ([www.agrall.cz](http://www.agrall.cz))*

Pásovými podvozky jsou osazovány také další sklízňové stroje, mezi něž patří sklízecí řezačky, stroje na sklizeň řepy a brambor apod. Pásové podvozky lze najít i u překládacích vozů, které přepravují velká množství sklizených produktů z pozemku, což lze pozorovat především na území kontinentů Ameriky a Austrálie. Tato technologie se také pomalu začíná objevovat u evropských výrobců překládacích vozů (Perard, Horsch).

### **3.3.4 Speciální podvozky**

Hlavním úkolem speciálních podvozků je minimalizovat tlak na půdu a chránit ji před nežádoucím zhutněním. Nejvíce využívaným prvkem je v rámci speciálních podvozků tzv. krabí chod. Tento druh pohybu po pozemku spočívá v takové jízdě, kdy se stopy náprav překrývají částečně, nebo se nepřekrývají vůbec, tím je minimalizováno vícenásobné působení zatížení ve stejné stopě. Krabí chod je nejčastěji využíván u sklízeců cukrovky, poněvadž jejich pracovní nasazení probíhá v období pozdějšího podzimu (listopad). Tomuto období již přísluší výskyt většího množství dešťových srážek, což se

přirozeně projevuje na stavu půdy, která se stává méně únosnou. V tomto období také převládá studenější počasí, ranní mrazíky a mlhy, půda tak vysychá velmi pomalu. Sklízeče cukrovky jsou osazovány širokými terra pneumatikami, které společně s krabím chodem snižují riziko zhutnění. Princip krabího chodu u sklízečů cukrovky spočívá v umístění kloubu za přední nápravu stroje, což dovolu je vytočení celé zadní části za kabinou stroje do boku. Natáčení ovládají přímočaré hydro-motory, jež umožňují vytočení na obě strany. Prostřednictvím vytočení se tedy každé kolo pohybuje částečně ve své stopě, díky čemuž se hmotnost sklízeče rozloží na větší plochu. Nedo chází tak k opakovanému působení hmotnosti ve stejné stopě, což je jednou z hlavních příčin hlubokého zhutnění při sklizni cukrovky. Krabí chod u sklízeče cukrovky firmy Holmer je patrný z Obr. 21. ([www.holmer-maschinenbau.de](http://www.holmer-maschinenbau.de), 2016)



Obr. 21 Schéma krabího chodu sklízeče cukrové řepy firmy Holmer ([www.holmer-maschinenbau.de](http://www.holmer-maschinenbau.de))

Krabí chod umožňují kromě sklízečů cukrovky také některé systémové nosiče a tahače. Za zmínku stojí tahač opět od firmy Holmer, model Terra Variant 600 eco, umožňující jízdu každého kola ve své vlastní stopě. Stejnou funkcí je vybaven tahač Xerion od firmy Claas ([www.claas.co.uk](http://www.claas.co.uk), 2016), který umožňuje prostřednictvím natáčení každého kola zvláště až šest druhů řízení. To zajišťuje dobrou manévrovatelnost a obratnost stroje.

Speciální podvozky nabízejí i někteří výrobci návěsné techniky. Jedno z řešení provozu velkokapacitních silážních a sběracích vozů na málo únosných půdách uvedla firma Pöttinger (Obr. 22). Konstrukce spočívá v osazení tandemové nápravy osmi koly, přičemž skupina kol na zadní nápravě je natáčecí. Takto konstruovaný podvozek lépe vyrovnává nerovnosti pozemku a šetrněji působí na půdu, protože použitím více kol je

váha rovnoměrněji rozprostřena na větší plochu. Natáčecí zadní náprava zabraňuje smýkání kol po povrchu, čímž se zmenšuje opotřebení pneumatik a klesá odpor soupravy při změně směru jízdy. Větší počet kol také zabraňuje ujíždění vozu do strany při pojíždění po vrstevnici na svazích, z těchto důvodů je tento druh podvozku využíván v horských oblastech. (www.poettinger.at, 2005)



Obr. 22 Speciální osmi-kolový podvozek firmy Pöttinger (www.poettinger.at)

### 3.3.5 Controlled Traffic Farming

System CTF není přímo konstrukčním řešením ke snížení utužení půdy, nýbrž se jedná o způsob pohybu zemědělských strojů po pozemku, kdy se veškerá technika pohybuje ve stanovených kolejích tak, aby procento uježděné půdy bylo co nejmenší. Právě pro pohyb ve stanovených kolejích zemědělská technika vyžaduje různá konstrukční řešení, aby byla tato podmínka splněna. Tento systém má několik základních potřeb, tou první je sladění rozchodů kol, případně pásových jednotek, jednotlivých strojů. Druhou potřebou je, aby si stroje „zapamatovaly“ jednotlivé koleje. V neposlední řadě na sebe také musejí navazovat záběry jednotlivých strojů. (Stehno, 2015)

Sjednocení rozchodu kol je považováno za největší problém při přechodu na technologii CTF. Při sjednocení rozchodu kol se vybírá stroj s největším konstrukčním rozchodem, který mají většinou sklízecí mlátičky, tudíž se jejich rozchodu kol vhodně přizpůsobí rozchody ostatních strojů. U traktorů a většiny strojů lze rozchody pouze zvětšovat, tudíž se používají speciální nástavné disky kol, které rozchod rozšíří (Obr. 23). Výjimku k těmto strojům tvoří některé samojízdné postřikovače, jejichž podvozek je uzpůsoben k regulaci rozchodu kol přímo z kabiny stroje. Se změnou rozchodu pásů počítají také někteří výrobci pásových traktorů, u kterých lze pásové jednotky stranově posouvat. Většina nových zemědělských strojů je připravena pro navádění pomocí Globálních

satelitních navigačních systémů již z výroby. Tyto technologie napomáhají obsluze při udržování stanovené dráhy, což dělá polní pracovní operace podstatně jednodušší. Výhodou v posledních letech je plánování trasy stroje tím způsobem, že se do paměti stroje v palubním počítači uloží naplánovaná trasa tak, aby byly pojezdy v rámci technologie CTF co nejmenší a s minimálním pracovním překrytím.

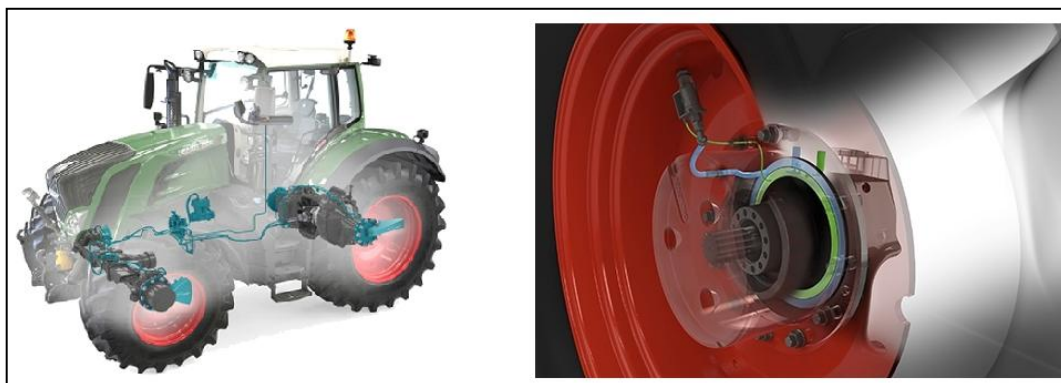


Obr. 23 Traktor osazený speciálními diskami ke zvýšení rozchodu kol  
([www.grainews.ca](http://www.grainews.ca))

### 3.3.6 Progresivní konstrukční opatření ke snižování zhutnění půdy

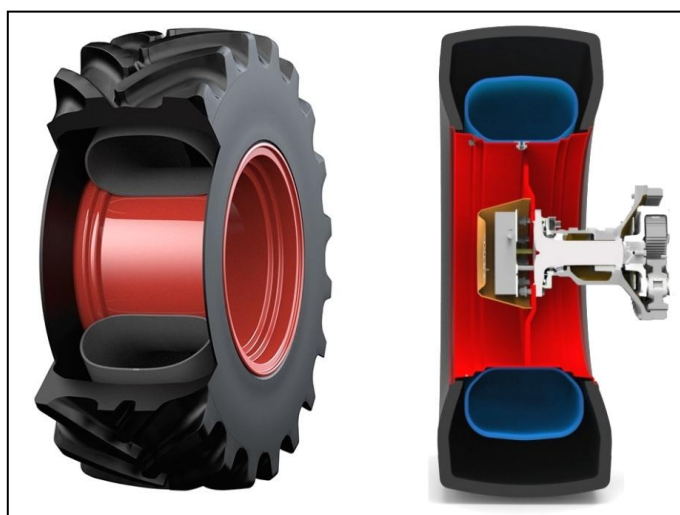
#### 3.3.6.1 Fendt VarioGrip Pro

Systém VarioGrip Pro firmy Fendt je vylepšená verze systému VarioGrip, oceněného v roce 2009 stříbrnou medailí na mezinárodním veletrhu Agritechnica v Hannoveru. Verze Pro vznikla za spolupráce zmíněné firmy Fendt a českého výrobce pneumatik firmy Mitas a.s. Jedná se o systém centrálního huštění pneumatik plně integrovaného do obsluhy traktoru z výrobního závodu. Tlak a rozvod vzduchu je zajištěn pomocí modifikovaného kompresoru a ventilové techniky, tlak je možno regulovat jak v klidu, tak při jízdě díky rotačnímu převodníku PTG. Schéma systému VarioGrip a rotačního převodníku je na Obr. 24. Systém umožňoval zvýšení tlaku o 100 kPa za deset minut, naopak snížení tlaku o stejnou hodnotu trvalo dvě minuty. Desetiminutový prostoj při huštění pneumatik je však dlouhá doba, proto byl vzájemnou spoluprací obou firem vyvinut efektivnější systém. (Paulová, 2010)



Obr. 24 Znárodnění komponent systému Fendt VarioGrip na traktoru  
([www.agricolturanews.it](http://www.agricolturanews.it))

Základní částí verze Pro se stala nově vyvinutá konstrukce pneumatiky, která v sobě ukrývá vnitřní akumulční zásobník, tzv. AirCell (vzduchová buňka), viz Obr. 25. V tomto akumulčním zásobníku je udržován konstantní tlak 800 kPa, který je v případě požadavku na zvýšení tlaku přepuštěn do vnější pneumatiky. Tento systém umožňuje navýšení tlaku v pneumatice o 100 kPa za 30 s, což je oproti původním deseti minutám značná časová úspora. Rychlá změna tlaku je hlavní výhodou tohoto systému, což je zčásti způsobeno také přítomností vnitřního zásobníku v pneumatice, kterou vyplňuje z třiceti procent, čímž se prakticky snižuje objem, jenž musí být v pneumatice vyplněn vzduchem. (Prikner, 2016)



Obr. 25 Pneumatika Mitas s akumulčním zásobníkem AirCell  
([www.agricolturanews.it](http://www.agricolturanews.it))



Celý systém je integrován do palubního počítače traktoru, tudíž může obsluha přímo za jízdy kontrolovat tlak huštění a případně ho upravovat stiskem tlačítka. Součástí je také asistenční software Fendt Grip Assistant, který v závislosti na zatížení traktoru, jezdové rychlosti, typu půdy a agregovaném nářadí upozorňuje řidiče, zda má vysoký nebo nízký tlak vzhledem k pracovním podmínkám. Systém dokáže nahustit kola na rozdílné tlaky, což by se teoreticky mohlo uplatnit i u klasické orby, kdy je každé ze zadních hnacích kol zatíženo jinou silou. Podle výrobce se systém vyznačuje vysokou přesností a uživatelsky přívětivým dojmem. Celý systém je v podstatě také bezpečnostním prvkem díky nepřetržitému monitorování aktuálního tlaku v pneumatikách. Mezi další výhody se řadí úspora paliva, a to nejen díky optimálním trakčním vlastnostem správně huštěné pneumatiky, ale také díky nízkým otáčkám motoru při dohušťování pneumatik. U obvyklých konstrukcí regulačních systémů musí totiž traktory při zvyšování tlaku udržovat vyšší otáčky, aby bylo docíleno maximální výkonnosti kompresoru a požadovaná změna tlaku byla co nejrychlejší. Výrobce podle propagačních materiálů deklaruje navrácení počáteční investice 10 000 € do dvou až čtyř let, v závislosti na vytížení stroje. Systém VarioGrip Pro je prozatím omezen jako volitelná výbava u modelové řady 900 Vario, vybavené pneumatikami 710/75R42, očekává se však jeho rozšíření na pneumatiky jiných rozměrů. (www.fendt.com, 2015)

### ***3.3.6.2 Systém přídavných dvoumontáží - Gull Wing Double Tyre System***

V roce 2015 na veletrhu zemědělské techniky v Hannoveru představila holandská firma Peecon novinku, která odstraňuje problémy s nadměrnou šířkou u traktorů vybavených dvoumontážemi. Základním prvkem tohoto systému, jenž byl oceněn stříbrnou medailí, je rám, připevněný k zadní konzole traktoru. Na rám jsou umístěna dvě hydraulicky ovládaná ramena a každé z ramen má na náboji uložené přídavné kolo. V dopravní poloze jsou kola uložena za kabinou traktoru, respektive nad blatníky tak, aby nezvětšovala základní šířku traktoru. Jakmile řidič přijede na pozemek, dá povel hydraulice ke sklopení ramen zařízení, čímž se přídavná kola přemístí z pozice nad blatníky do pozice vedle primárních zadních kol. Tato pozice se nazývá pracovní. Kola primární a sekundární jsou spojena pomocí ozubení na nálitcích ráfků. Dalším úkonem obsluhy je zajištění trvalého zubového spojení tím, že řidič pomocí upínacích prvků spojí obě kola. Systém je v transportní a pracovní poloze znázorněn na Obr. 26. Hlavní výhodou uvedeného systému je snadné upevnění a odstranění dvojmontáží na traktoru. Dalším

přínosem je bezpečná doprava po silnicích (traktor nepřesahuje šířku 2,55 m, není tedy potřeba doprovodného vozidla a nejsou omezení nebo ohrožení ostatní účastníci silničního provozu). Podle stránek výrobce je tento systém nabízen pro rozměry pneumatik 650/65R38 a 710/70R42. (www.peecon.com, 2015)



Obr. 26 Systém Gull Wing Double Tyre (www.peecon.com)

### 3.3.6.3 Systém Annaburger UniCrawler

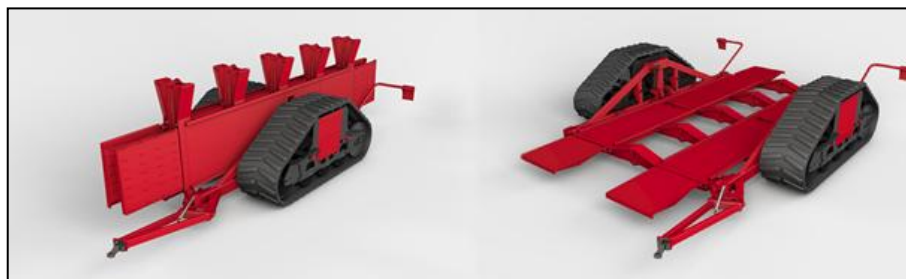
Jedná se o návrh německé společnosti Annaburger, představený rovněž na veletrhu v Hannoveru 2015. Funkce tohoto systému spočívá ve snižování tlaku na půdu tím, že je těžký návěs převážen na plošině s pásy (Obr. 27), místo toho aby se pohyboval sám po pozemku, zároveň má tento koncept lepší průchodnost terénem ve ztížených podmínkách, především za vlhka.



Obr. 27 Zabrzděný návěs na plošině UniCrawler (www.topagrar.pl)

Systém má přepravní a pracovní polohu (Obr. 28). V přepravní poloze je složen a tažen traktorem pomocí tažného oka a stroj se pohybuje po svých vlastních pásových jednotkách. Po příjezdu na pole je stroj rozložen, čímž vznikne plošina s nájezdovými rampami. Traktor s návěsem plošinu přejezdí a zastaví tím způsobem, že všechna kola návěsu

zůstanou na plošině, přičemž traktor je v přímém styku s půdou. Návěs se zabrzdí a nyní se traktor po pozemku pohybuje s návěsem, jehož podvozek tvoří plošina s pásy. Tímto způsobem se souprava pohybuje po pozemku, dokud nedojde k naplnění/vyprázdnění návěsu, rozmetadla či cisterny. Následně traktor odtáhne plošinu s návěsem na vhodné místo ke kraji pole, obsluha odbrzdí návěs a sjede z plošiny.



*Obr. 28 Systém Annaburger UniCrawler (www.topagrar.com)*

Výhodou systému je snížení tlaku na půdu a to především díky velké ploše pásů, jež každý má šířku 81 mm a délku 275 mm. Dobré jsou také transportní parametry stroje, jeho šířka je ve složeném stavu 2,41 m, jeho transport tedy neohrožuje bezpečnost provozu. V rozloženém stavu je šířka plošiny 5,68 m. Mezi další výhody, jež výrobce deklaruje ve svém marketingovém videu, patří nezávislost na klimatických podmínkách a univerzálnost plošiny, která může převážet jak návěsy, tak rozmetadla a cisterny. Dále se jedná o krátkou dobu nastavení a skutečnost, že jedna plošina zvládne obsloužit více souprav. (www.annaburger.de, 2015)

#### **3.3.6.4 Mitas PneuTrac**

Mitas PneuTrac je koncept trakční traktorové pneumatiky, která v sobě spojuje významné přednosti pneumatik a pásů (Obr. 29). Konstrukce této pneumatiky zajišťuje větší styčnou plochu s podložkou, což zajišťuje lepší trakční a tahové vlastnosti pneumatiky při nízkém prokluzu (Prikner, 2016). Lze tak přenést větší tahovou sílu v porovnání s pneumatikou klasické konstrukce. Větší styčná plocha zajišťuje také rovnoměrné rozložení váhy stroje a tím i nižší střední kontaktní tlak s půdou obdobně, jako je tomu u pásových jednotek. Koncept má tedy kromě zlepšení efektivity práce také půdo-ochranný účinek. Podle oficiální tiskové zprávy firmy (www.mitas-tyres.com, 2015) je otisk vytvořený pneumatikou PneuTrac větší zhruba o 50 % ve srovnání s pneumatikou klasické konstrukce, přičemž boční tuhost pneumatiky je větší asi

o 160 %. Tahová síla je u pneumatiky Mitas 600/65 R38 PneuTrac vyšší o 25 % než u standardní pneumatiky, a o 15 % větší než u pneumatiky konstrukce IF (Improved Flexion). Výhodou inovace je také stabilní a bezpečná jízda i při nízkém hustícím tlaku, který není nutno pro zajištění komfortní jízdy upravovat. Firma Mitas již testováním ověřila lepší parametry svého konceptu ve srovnání s klasickými pneumatikami. V roce 2016 bude svůj projekt porovnávat s pásovým hnacím ústrojím. Na evropských mezinárodních veletrzích byl koncept představen v rozměrech 600/65 R38, 480/65 R28 a 280/70 R18. Cílem firmy je uvést tento produkt na trh v roce 2017.



*Obr. 29 Pneumatika Mitas PneuTrac ([www.gummibereifung.de](http://www.gummibereifung.de))*

## 4 MATERIÁL A METODIKA

### 4.1 Polní měření

Na vybraném pozemku bylo provedeno měření za účelem zjištění utužení půdy v několika variantách dvěma způsoby. Prvním způsobem bylo určení fyzikálních vlastností půdy pomocí Kopeckého válečků. Druhým způsobem bylo měření penetrometrického odporu půdy pomocí penetrometru. Měření pomocí Kopeckého válečku probíhalo u zatíženého traktoru při tlacích huštění pneumatik 200, 150 a 100 kPa. Penetrometrický odpor půdy byl zjišťován při stejných hustících tlacích pneumatik jako v případě metody Kopeckého válečků, a to nejenom u zatíženého traktoru ale také u traktoru bez zátěže.

#### 4.1.1 Charakteristika pozemku

Polní měření bylo uskutečněno dne 29. 10. 2015 na pozemku poblíž obce Otmarov nacházející se v okrese Brno – venkov. Výměra pozemku činí 30,07 ha, jeho průměrná sklonitost je 2,27° a leží v průměrné nadmořské výšce 192,99 m n. m. Pozemek je znázorněn pomocí satelitního snímku na Obr. 30.



Obr. 30 Poloha pozemku ([www.eagri.cz](http://www.eagri.cz))

Podle bonitační půdně ekologické jednotky – BPEJ ([bpej.vumop.cz](http://bpej.vumop.cz), 2015) leží pozemek ve velmi teplém a suchém klimatickém regionu, jehož průměrná roční teplota činí 9 až 10 °C, roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 500 až 600 mm. Půdní typ je klasifiko-

ván jako Černice, reliéf pozemku tvoří rovinu až mírně svažité terén, případně mikrodepresní plochy. Půda je hluboká až velmi hluboká bez skeletu nebo s možnou mírnou skeletovitostí. Dále má půda pozemku malou až žádnou náchylnost k acidifikaci, je středně náchylná na erozi, přičemž má střední až výraznou náchylnost na zhutnění. Letecká meteorologická stanice Brno/Tuřany, nacházející se asi 6,5 km vzdušnou čarou od pozemku, uvádí (portal.chmi.cz, 2015), že průměrná teplota za rok 2015 byla 11,3 °C a úhrn srážek 409 mm.

Co se týče osevního postupu, byl pozemek v posledních letech osíván pšenicí ozimou a slunečnicí roční, přičemž zpracování půdy bylo prováděno bezorebnou technologií. V sezóně 2014/2015 byly na pozemku provedeny tyto úkony:

- červenec 2014 – podmítka strniště po předplodině těžkým talířovým kypřičem, (hloubka 8 – 10 cm);
- září 2014 – druhá podmítka radličkovým kypřičem (hloubka 20 cm);
- říjen 2014 – předseťová příprava půdy kompaktorem, (hloubka 4 – 5 cm);
- říjen 2014 – setí pšenice ozimé talířovým secím strojem (hloubka 4,5 cm, vzdálenost řádků 12,5 cm, výsevek 210 kg·ha<sup>-1</sup>), ošetření setí – uválení cambridge vály;
- jaro 2015 – během vegetace ošetřování chemickými přípravky, přihnojování, pohyb po pozemku pouze v kolejových řádcích;
- červenec 2015 – sklizeň pšenice ozimé, sláma byla drcena a rovnoměrně rozhozena po povrchu;
- červenec 2015 – podmítka sklizeného strniště těžkým talířovým kypřičem (hloubka 10 cm);
- září 2015 – podmítka krátkým talířovým kypřičem (hloubka 12 cm).

#### **4.1.2 Charakteristika traktoru**

Pro vyvození tlaku na půdu byl zvolen traktor německé výroby Deutz – Fahr, konkrétně model Agrottron X720. Traktor měl v době měření doplněné veškeré provozní kapaliny. Pro dotížení traktoru bylo použito v předním tříbodovém závěsu závaží, v zadním tříbo-

dovém závěsu byl upnut nesený talířový kypřič. V Tab. 9 jsou uvedeny parametry traktoru.

Tab. 9 Vybrané parametry traktoru

Vybrané parametry traktoru	
Hmotnost traktoru [kg]	10 160
Hmotnost závaží traktoru [kg]	1 100
Rozměr přední pneu traktoru	600/65R38
Rozměr zadní pneu traktoru	710/70R42
Hmotnost kypřiče [kg]	3 490

#### 4.1.3 Měření pomocí Kopeckého válečků

Na pozemku byl vybrán vhodný a rovný úsek pozemku s minimální svažitostí, aby byl tlak na kola traktoru rozložen rovnoměrně (Obr. 31). V dalším kroku následovalo vytvoření stop traktoru. Po krátkém přeměření tlaku byla v dostatečné vzdálenosti od kraje pozemku zvolena výchozí pozice traktoru. Pro rovnoměrnější rozložení tlaku byl talířový kypřič rozložen do pracovní pozice, jeho výška nad pozemkem zůstala v maximální poloze zdvihu zadního třibodového systému traktoru.



Obr. 31 Pohled na plochu s minimálním sklonem podél polní cesty (foto autor)

Následovalo odměření dráhy deseti metrů navíjecím pásmem, kterou traktor odjel při tlaku huštění pneumatik 200 kPa rychlostí přibližně 10 km.h<sup>-1</sup>. Dalším úkonem byla

redukce tlaku na 150 kPa a 100 kPa. Tlak byl kontrolován pomocí plniče pneu s manometrem od výrobce Aerotec. Po úpravě tlaku na požadovanou hodnotu se postup opakoval. Všechny tři desetimetrové úseky byly patřičně označeny.

Následujícím krokem byl odběr neporušených půdních vzorků, pomocí Kopeckého válečků, objem jednoho válečku činil  $100 \text{ cm}^3$ . Válečky byly odebírány v hloubkách 5, 15, 25, 35 a 45 cm v uspořádání do čtverce jak je patrné z Obr. 32. K veškerým pomůckám pro odběr vzorků patřily samotné Kopeckého válečky, víčka válečků, nástavec na válečky, palice, lopatka, rýč, nůž, metr, gumičky, polyetylenové sáčky a popisové lístky. Odběr jednotlivých vzorků probíhal vertikálně, s předešlým odstraněním svrchní části zeminy. Válečky, položené na zarovnanou půdu ostrou hranou, byly plynule zatlačeny palicí přes nástavec do půdy tak, dokud část zeminy (minimálně 0,5 až 1 cm) nepřecházela okraj horní základny. Dále se odebral vzorek půdy uprostřed vykopané jámy do polyetylenového sáčku. Tento vzorek sloužil pro stanovení vlhkosti a pro stanovení zdánlivé hustoty tuhé fáze vzorku. Pomocí lopatky a nože byla odhrnuta zemina v okolí válečků tak, aby bylo možné jednotlivé válečky bezpečně vyjmout, aniž by vzniklo porušení celistvosti hmoty napěchované uvnitř válečků. Půda, přesahující váleček u dolního okraje, byla úhledně zarovnána nožem s následným přikrytím upravené plochy víčkem. Následně byla stejným způsobem upravena také půda přesahující váleček u horního okraje. Víka byla z obou stran zajištěna gumičkami, aby nedocházelo ke ztrátám zeminy z válečků při manipulaci. Konečná podoba válečku viz Obr. 33. Celkem bylo odebráno 120 válečků neporušeného půdního vzorku.



Obr. 32 Válečky zaklepané v zemi



Obr. 33 Konečná podoba válečku

(foto autor)



#### 4.1.4 Měření penetrometrického odporu půdy

Měření odporu půdy bylo prováděno pomocí přístroje od nizozemské firmy Eijkelkamp, typ Penetrolloger. Penetrometr pracuje na principu vlačování kuželového tělesa do půdy konstantní rychlostí. Největší měřitelná hloubka penetrometru je daná sondovací tyčí o délce 0,8 m, jejíž konec je opatřen kuželem, u kterého je možné volit ze čtyř velikostních variant, o površích 1; 2; 3,3 nebo 5 cm<sup>2</sup>. Maximální síla, jíž lze na penetrometr působit je 1 000 N. Přesnost přístroje je ≤ 1 %, data jsou zobrazována na grafickém displeji (Obr. 34), a ukládána do vestavěné paměti přístroje. (en.eijkelkamp.com, 2014)



Obr. 34 Displej penetrometru (foto autor)

Proti měření utužení půdy pomocí Kopeckého válečků byl penetrometrický odpor měřen také v kolejích u nezatíženého traktoru. Měření tedy sestávalo ze šesti variant, kdy proměnnými veličinami byly tři tlaky huštění pneumatik (100, 150 a 200 kPa) a zatížení traktoru (zatížený a nezatížený traktor). Vlastnímu měření odporu tedy předcházelo odpojení závaží a kypřiče od traktoru a vytvoření kolejí nezatíženého traktoru se stejnými hustími tlaky jako u měření pomocí Kopeckého válečků. Pro srovnání bylo také nutné zjistit stávající stav pozemku, proto byla uskutečněna sedmá varianta měření penetrometrického odporu půdy na volném pozemku.

V každé z šesti variant bylo prováděno sedm vpichů, na rovnoměrný odstup mezi jednotlivými vpichy byla vyrobena jednoduchá šablona s označeným místem pro měření. Měření podle šablony je znázorněno na Obr. 35. Uvnitř koleje bylo vždy provedeno pět vpichů, zbývající dva byly vedle stopy, a to z důvodu toho, že tlak se v půdě pod kolem

traktoru může šířit také do stran. Pro zvýšení přesnosti měření byla každá varianta měřena třikrát. Uspořádání vpichů je zobrazeno na Obr. 36. Jak bylo uvedeno v popisu přístroje, rychlost vpichování byla prováděna konstantní rychlostí a statickou silou na penetrometr vyvozovala obsluha přístroje. Měření bylo prováděno do hloubky 60 cm.



Obr. 35 Měření odporu podle šablony



Obr. 36 Vpichy šikmo na kolej traktoru

(foto autor)

#### 4.1.5 Měření hmotnosti traktoru a otisků zadního kola

Hmotnost traktoru je jeden z faktorů ovlivňujících ztuhnutí půdy a rovněž udává podmínky, za jakých byl experiment prováděn. Měření hmotnosti, připadající na jednotlivé nápravy, bylo prováděno pomocí tenzometrických vah. Vážení traktoru je znázorněno na Obr. 37 a Obr. 38.



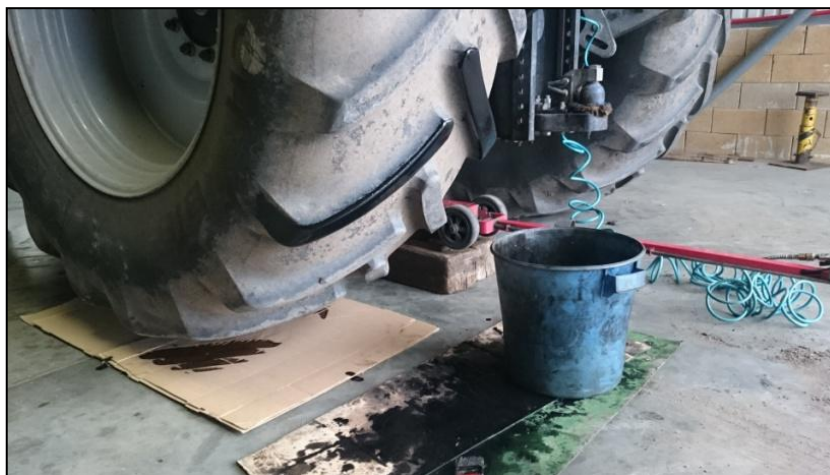
Obr. 37 Vážení zadní nápravy



Obr. 38 Vážení přední nápravy

(foto autor)

Pro zjištění změny rozměrů styčné plochy zadní pneumatiky při změnách tlaku a zatížení bylo rovněž provedeno měření otisku kol traktoru. Postup při vytváření otisků byl následující: traktor byl jednotlivě spouštěn a zvedán, přičemž bylo vždy pootočeno kolem tak, aby na sebe jednotlivé obtisky šípů navazovaly, čímž vytvořily celkovou styčnou plochu kola s podložkou. Pro grafické znázornění byl šíp při každém zdvihu natřen, aby vytvořil zřetelný otisk. Vytváření otisků kol traktoru je zobrazeno na Obr. 39.



*Obr. 39 Vytváření otisků pneumatiky (foto autor)*

## **4.2 Rozbor půdních vzorků**

Odebrané vzorky bylo nutné zpracovat a vyhodnotit jejich jednotlivé fyzikální vlastnosti, což bylo provedeno v laboratořích Ústavu agrochemie, půdoznalství a výživy rostlin v areálu Mendelovy univerzity. Měřítkem ve zhutnění půdy bývá objemová hmotnost a pórovitost odebraných vzorků, proto se rozbor neporušených vzorků ubíral směrem k určení právě těchto dvou parametrů.

### **4.2.1 Stanovení objemové hmotnosti zeminy**

Cílem rozboru neporušených půdních vzorků bylo stanovení objemové hmotnosti zeminy po vysušení  $\rho_d$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Tato veličina vypovídá o stavu nakypřené či zhutněné půdy daného horizontu a dále také slouží pro výpočet pórovitosti půdy. Základními pomůckami při rozboru neporušených půdních vzorků byly samotné válečky se vzorky, nastříhaný čtvercový filtrační papír, nůž, rovná cukrářská lopatka, zařízení pro kapilární nasávání válečků, technické váhy, sušárna a exsikátor se sikativem.

Postup rozboru neporušených půdních vzorků byl podle Jandáka et al. (2003):

- Válečky se z vnějšku očistí a poté jsou zváženy pomocí technických vah v přirozené vlhkosti půdy uvnitř válečků. Každý váleček má svoje identifikační číslo, které je společně s hmotností válečku zapsáno do záznamu.
- Následuje sycení válečků vodou podle Obr. 40. Při tomto procesu jsou válečky uloženy v plechových klíčidlech. Břítová strana válečku je opatřena filtračním papírem a stejnou stranou je váleček postaven na skleněné perforované tabulky, obalené čtyřmi vrstvami filtračního papíru, který je vyvýšen nad hladinu vody pomocí stojanů, vysokých cca 1,5 – 2 cm. Podmínkou je, aby byl ponor okrajů všech čtyř listů filtračního papíru nejméně 10 mm hluboko ve vodě, přičemž voda nesmí zaplavovat rovnou plochu listů. Tím je zajištěna ta skutečnost, že filtrační papír předává půdnímu vzorku vodu pouze kapilárním vedením ve svých pórech. Celá nádoba, v které sycení probíhá, je opatřena víkem, které zamezuje výparu vody. Podle metodiky jsou válečky syceny tak dlouho, dokud se voda neleskne na povrchu vzorku, přičemž norma sycení je nejméně 24 hodin.



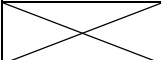
*Obr. 40 Sycení válečků vodou (foto autor)*

- Po nasycení válečků vodou následuje odsávání vody ze vzorků. Povrch válečků je po vyjmutí ze syticích nádob otřen a jednotlivé válečky se zváží i s podloženým čtverečkem filtračního papíru, číslo válečku a hmotnost je opět zapsána do záznamu. Před vlastním odsáváním jsou válečky položeny na čtyři

vrstvy filtračního papíru. Po půlhodinovém odsávání, kdy vzorky opustí nejvíce vody, následuje opětovné převážení. Převážení vzorků se opakuje po dvou a dvaceti-čtyř hodinách odsávání.

- Jakmile je dokončeno odsávání vody ze vzorků, tak se zemina vytlačí z válečků na zvážené suché smaltované misky. Miska s hmotou se opět převáží a umístí do laboratorní sušárny, kde probíhá sušení při 105 °C do konstantní hmotnosti, po vychladnutí proběhne opětovné převážení. Převáženy jsou také omyté a vysušené prázdné válečky. Vzor záznamu, kam jsou zapisovány veškeré hmotnosti válečků, je zobrazen v Tab. 10.

Tab. 10 Formulář pro zapisování hmotností vzorků (Jandák et al., 2003)

Číslo stavu	Stav neporušeného vzorku	Označení stavu	Hmotnost [g]
1.	Bezprostředně po odběru	A + T	
2.	Nasyčený vztlínající vodou	B + T	
3.	Po odsávání na filtračním papíře (30 min)	B <sub>30</sub> + T	
4.	Po odsávání na filtračním papíře (2 h)	B <sub>2</sub> + T	
5.	Po odsávání na filtračním papíře (24 h)	B <sub>24</sub> + T	
6.	Vysušený při 105 °C	C	
	Hmotnost tary	T	

- Kompletní tabulka a znalost objemu vzorků umožňuje výpočet objemové hmotnosti půdy. Tato veličina se vypočítá ze vztahu podle následující rovnice 1.2:

$$\rho_d = \frac{C}{V_s} \quad (1.2)$$

Kde:  $\rho_d$  – objemová hmotnost zeminy po vysušení [ $kg \cdot m^{-3}$ ],

$C$  – hmotnost zeminy po vysušení [ $kg$ ],

$V_s$  – objem neporušeného vzorku [ $m^3$ ].

#### 4.2.2 Stanovení zdánlivé hustoty tuhé fáze vzorku

Pro další rozbor je nutné stanovit zdánlivou hustotu tuhé fáze vzorků  $\rho_s$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ], protože je tento parametr důležitý pro výpočet pórovitosti půdy. Pórovitost je vedle objemové hmotnosti zeminy druhou důležitou veličinou při objasňování stavu zhutnění půdy.

Pro stanovení zdánlivé hustoty tuhé fáze vzorku se vytváří umělý stav půdy, kdy zemina neobsahuje žádné póry, pomocí pyknometru. K dalším potřebám patřila porcelánová miska (průměr asi 10 cm), skleněná tyčinka, plynový kahan, vodní lázeň (20 °C), nálevka z umělé hmoty, teploměr, analytické váhy, síto, třecí miska a tlouček. Postup je rovněž prováděn podle metodiky Jandáka et al. (2003):

- Prvotním úkolem je nadrcení odebraných vzorků zeminy. Zemina je drcena tloučkem v třecí misce s následným přesíváním nadrcené hmoty přes síto s otvory 2 mm (tzv. jemnozeme). Podmínkou je, aby byl od zeminy oddělen hrubší skelet a rostlinné zbytky s cílem získu cca 20 g jemnozeme.
- Do porcelánové misky se odváží přesně deset gramů vzorku jemnozeme a následně se do misky přidá voda tak, aby byla zemina vzorku ponořena minimálně 5 mm pod hladinou.
- Suspenze v misce je zahřívána nad plamenem tak, aby prošla mírným varem po dobu tří až deseti minut. Kritérium záhřevu je, aby suspenze při vaření neprskala – velké ztráty zeminy. Prskání se odstraní přidávkem destilované vody a mícháním. Cílem tohoto provaření je odstranit (vypudit) ze vzorku vzduch.
- Již zchlazená suspenze je přelita do Gay-Lussacova pyknometru, a to včetně veškerých zbytků na míchací tyčince, nálevce a misce s následným doplněním pyknometru destilovanou vodou, do poloviny zábrusu hrdla.
- Pyknometr je ponořen do vodní lázně o přesné teplotě 20 °C až po hrdlo. Doba ponoru a výdrže v lázni je dvacet až třicet minut, přičemž po tomto temperování baňky je třeba do nádoby spustit zabroušenou skleněnou zátku, sloužící pro odstranění vzduchových bublin u hladiny suspenze.
- Na závěr je celý pyknometr ořen, zvážen a celý postup je opakován pouze s destilovanou vodou.

- Nyní lze s pomocí znalosti objemu pyknometru (100 ml) vypočítat objem naváženého vzorku jemnozeme podle rovnice 1.3:

$$V = P_v + N_s - P_s \quad (1.3)$$

Kde:  $V$  – objem naváženého vzorku [ $m^3$ ],  
 $N_s$  – navážka přepočtená na sušinu u vyschlé zeminy [ $kg$ ],  
 $P_v$  – hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [ $kg$ ],  
 $P_s$  – hmotnost pyknometru se suspenzí [ $kg$ ].

- Následně lze vypočítat zdánlivou hustotu tuhé fáze vzorku podle rovnice 1.4:

$$\rho_s = \frac{N_s}{V} \quad (1.4)$$

Kde:  $\rho_s$  – zdánlivá hustota tuhé fáze vzorku [ $kg \cdot m^{-3}$ ],  
 $N_s$  – navážka přepočtená na sušinu u vyschlé zeminy [ $kg$ ],  
 $V$  – objem naváženého vzorku [ $m^3$ ],

- Se znalostí objemové hmotnosti půdy a zdánlivé hustoty tuhé fáze vzorku lze vypočítat pórovitost podle vztahu 1.5:

$$P = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \quad (1.5)$$

Kde:  $P$  – pórovitost [%],  
 $\rho_s$  – zdánlivá hustota tuhé fáze vzorku [ $kg \cdot m^{-3}$ ],  
 $\rho_d$  – objemová hmotnost půdy [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

## 4.3 Postup při vyhodnocení dat

### 4.3.1 Vyhodnocení objemové hmotnosti a pórovitosti

Data fyzikálních vlastností půdy, pórovitosti a objemové hmotnosti, byla statisticky a graficky vyhodnocena pomocí programu Statistica 12.

Při pohledu na seřazená data byly patrné některé výchyly v podobě extrémních hodnot. Tyto hodnoty se jasně odlišují od ostatních naměřených dat a bývají označovány jako

hrubé chyby měření, jež mohou být způsobeny například výskytem kamenů v neporušených půdních vzorcích. Extrémní hodnoty zkreslují výsledek a proto je nutné je podrobit statistickému testu, jenž se nazývá testem extrémních odchylek. Těmito testy posuzujeme nulovou hypotézu na zvolené hladině významnosti. Jinými slovy zkoumáme, zda je daná naměřená hodnota natolik odchylena od ostatních hodnot, že ji nemůžeme přičítat náhodným jevům, ale považujeme ji za hrubou chybu měření. Pro data pórovitosti a objemové hmotnosti byl použit Grubbsův test extrémních odchylek. (Drápela et al., 1999)

Po Grubbsově testu následovalo vyhodnocení dat pomocí ANOVA - Analysis of variance. Její principiální funkce spočívá v testu shody středních hodnot pro více výběrů. Analýza porovnává, zda alespoň mezi dvěma středními hodnotami existuje statisticky významný rozdíl. Na posuzovaný parametr působilo více faktorů – hloubka, tlak, zatížení, proto byla zvolena ANOVA vícefaktorová. V případě, že byl na základě prvotních výsledků ANOVA zjištěn statisticky významný rozdíl alespoň mezi dvěma skupinami, byl následně použit Tukeyův HSD test. (Drápela et al., 2000)

#### **4.3.2 Vyhodnocení naměřených dat penetrometrického odporu půdy**

Vyhodnocení penetrometrického odporu půdy proběhlo v hloubkách 0 až 60 cm. Data byla před zpracováním rovněž podrobena testu extrémních odchylek. Cílem vlastního zpracování dat penetrometrického odporu byly grafy průběhu tlaku v půdě pod pneumatikou. Pro stanovení příslušných tlaků dosahovaných v půdě byla použita polynomická interpolace. Naměřené hodnoty tlaků a hloubek byly proloženy metodou nejmenších čtverců polynomem. Stupeň polynomu byl volen tak, aby hodnota indexu determinace byla co nejvyšší. Tím bylo docíleno přesnosti při reprezentaci naměřených hodnot nakreslenou křivkou. Po dosazení do rovnice polynomu byl možný výpočet konkrétní hloubky pro daný tlak. Proložení křivky jednotlivými body hloubky příslušného tlaku vznikla křivka konstantního tlaku v půdě. Tlaky, v kterých byly vytvářené křivky, byly voleny od 0,2 do 2,4 MPa, s krokem po 0,2 MPa. K vyhodnocení dat penetrometrického odporu, resp. k ověření zda se mezi jednotlivými variantami nacházejí statisticky významné rozdíly, byla použita ANOVA podobně jako tomu bylo u vyhodnocení objemové hmotnosti a pórovitosti.



## 5 VÝSLEDKY

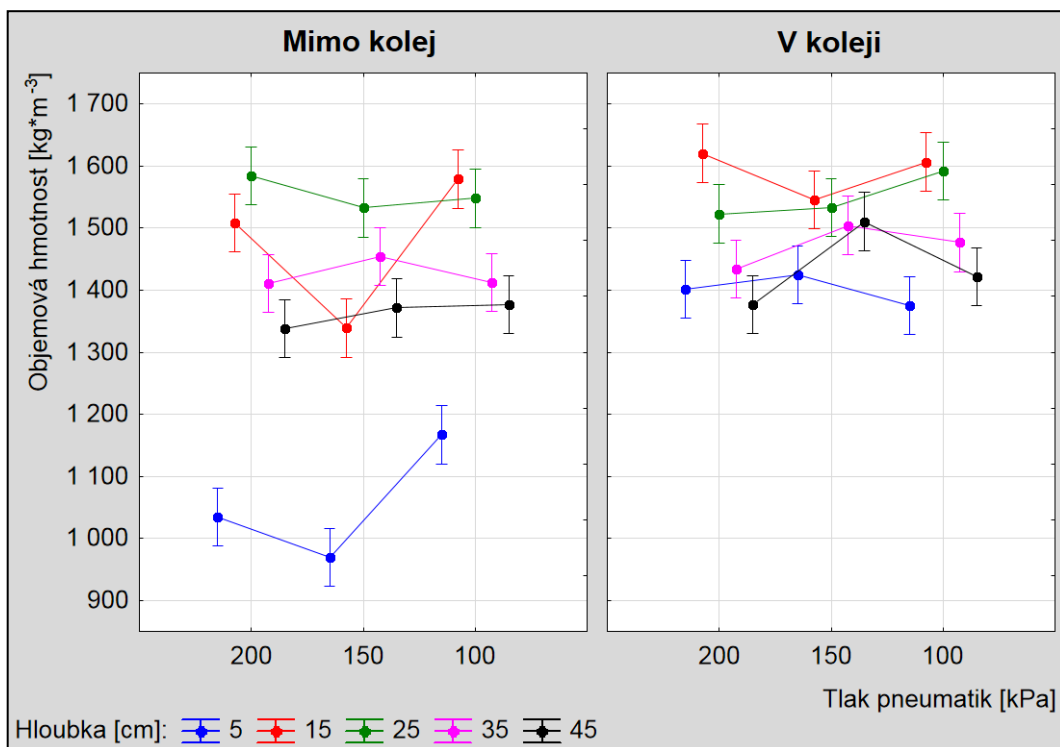
Výsledkem statistických testů a funkcí je zejména grafická interpretace výsledků, které jsou porovnávány v rámci jednotlivých variant mezi sebou. Část hodnocení stanovené problematiky je vztažena také k půdě, na níž bylo měření uskutečněno, resp. k jejím maximálním přípustným mezím v rámci zachování fyzikálních vlastností. Půda byla stanovena jako hlinitá, jejíž hodnoty, při nichž je fyzikálně poškozena zhutněním, jsou uvedeny v Tab. 11.

*Tab. 11 Limitní hodnoty fyzikálního poškození půdy*

Meze fyzikálního poškození půdy	
Druh půdy	hlinitá
Limitní objemová hmotnost [kg. m <sup>-3</sup> ]	1 450
Limitní pórovitost [%]	45
Limitní maximální kapilární kapacita [%]	36
Limitní minimální vzdušná kapacita [%]	10

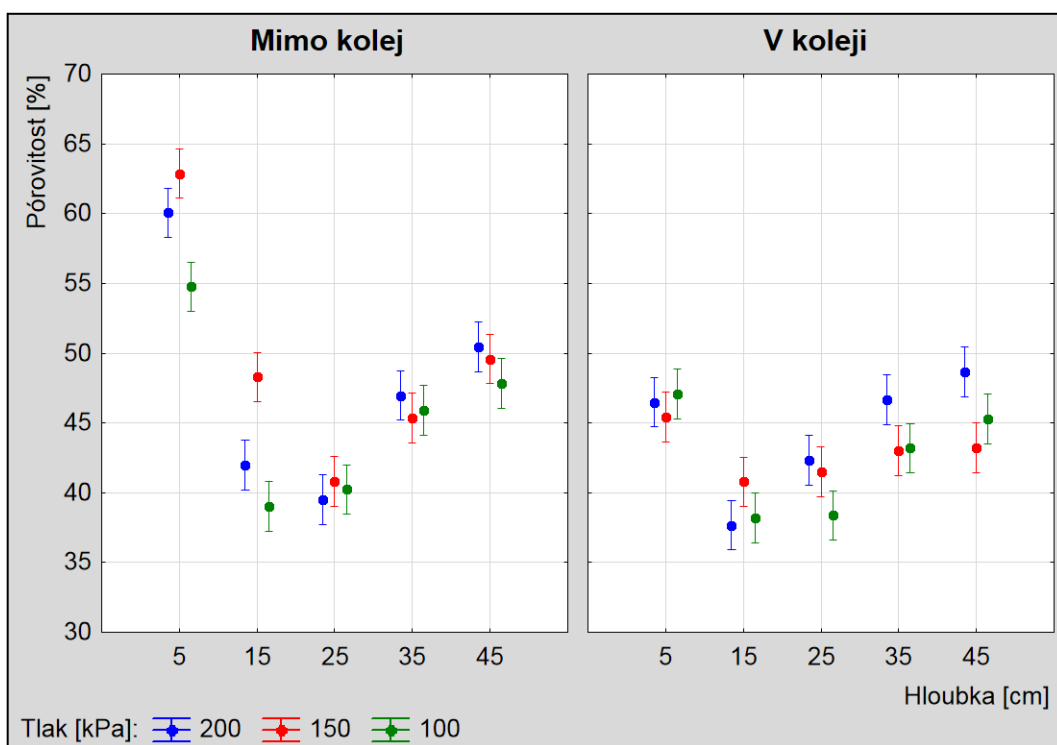
## 5.1 Výsledky rozboru půdních vzorků

Obr. 41 zobrazuje objemovou hmotnost v závislosti na všech třech parametrech. Z grafu je patrný výrazný rozdíl mezi objemovou hmotností v hloubce 5 cm u odběru vzorků mimo kolej a v koleji. Hodnoty mimo kolej poukazují na významný statistický rozdíl mezi hloubkami 5 a 15 cm. Podobná skutečnost se vyskytuje v koleji. Zde je statisticky významný rozdíl mezi hloubkami 5 a 15 cm u všech tří variant huštění. Zatímco objemová hmotnost v hloubce 5 cm má hodnoty limitní, hodnoty v hloubce 15 cm jsou již nadlimitní. Další statisticky významné rozdíly jsou patrné mezi hloubkami 25 a 45 cm u všech tlaků a to především mimo kolej. V případě koleje je podobný trend, nicméně u tlaku 150 kPa je u hloubek 25 a 45 cm v koleji rozdíl neprůkazný.



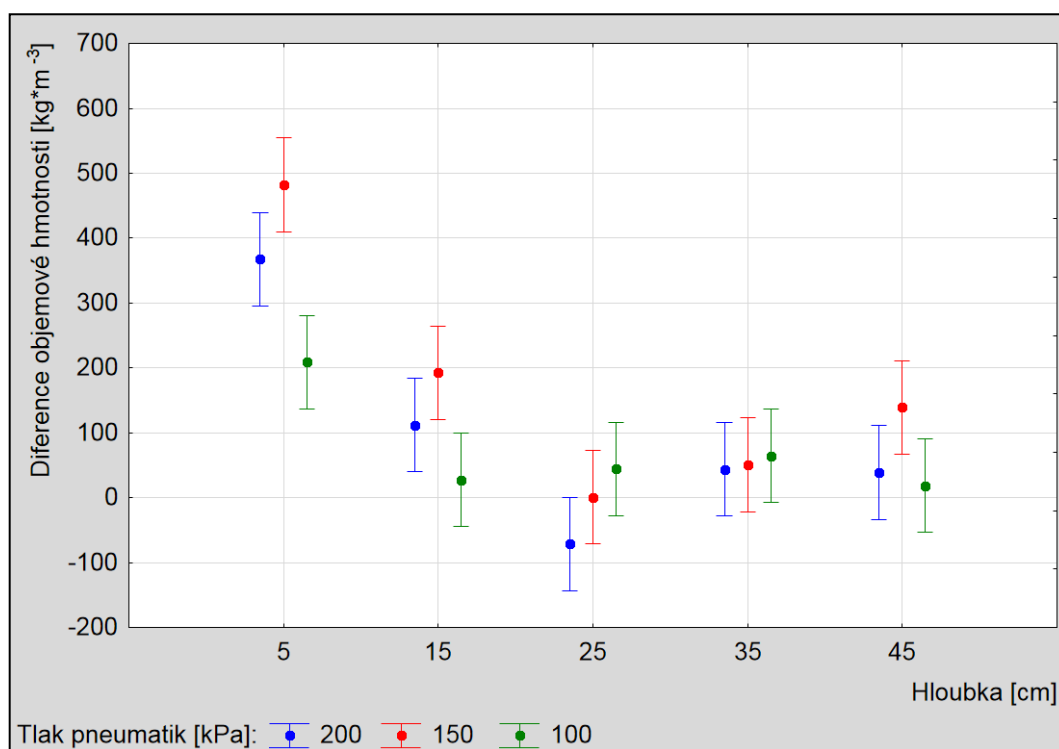
Obr. 41 Závislost objemové hmotnosti na hloubce, místě a tlaku huštění

Na Obr. 42 je znázorněn graf závislosti pórovitosti na daných parametrech. Jelikož data objemové hmotnosti a pórovitost spolu korelují, lze pozorovat podobný trend jako u předešlého grafu, vztah mezi pórovitostí a objemovou hmotností má však charakter nepřímé úměry. Dalo se tedy očekávat, že pórovitost bude mít nejvyšší hodnoty u odběru vzorků mimo kolej v hloubce 5 cm. Tento trend se potvrdil, mezi hloubkami 5 a 15 cm se nachází statisticky významné rozdíly vně i mimo kolej u všech tlaků huštění. Podobně jako u objemové hmotnosti lze pozorovat i u pórovitosti statisticky významné rozdíly mezi hloubkami 25 a 45 cm. Rozdíl je patrnější mimo kolej, v koleji jsou statistické rozdíly v těchto hloubkách pouze u tlaků 200 a 100 kPa.



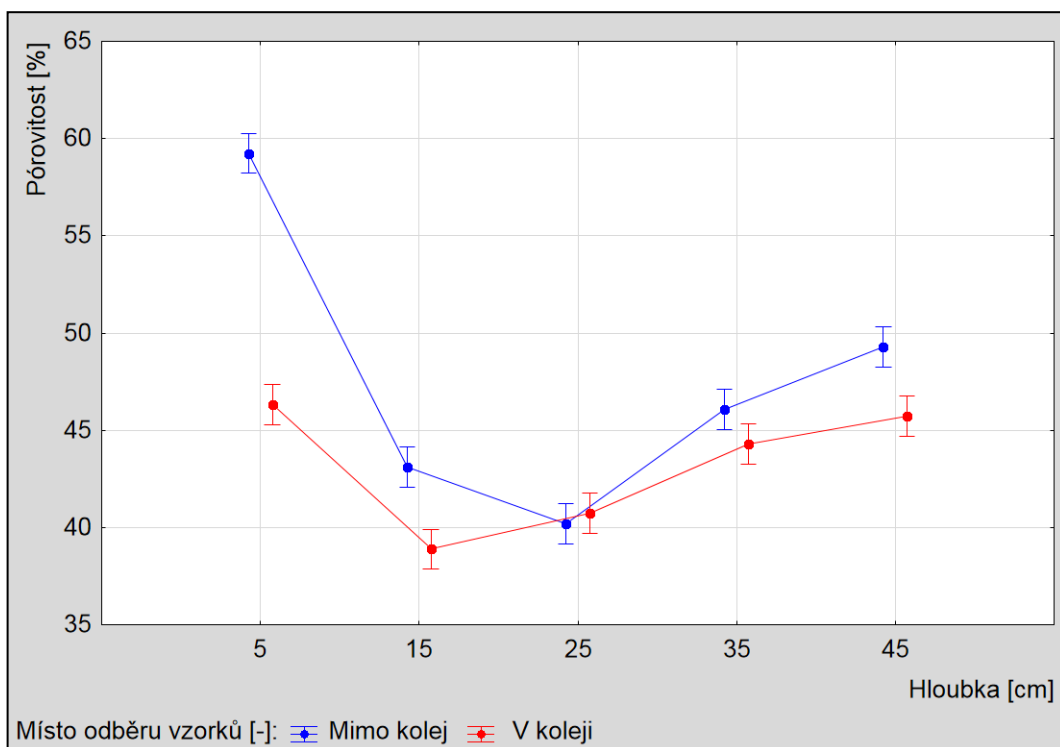
Obr. 42 Závislost pórovitosti na hloubce, místě a tlaku huštění

Obr. 43 znázorňuje graf rozdílů objemových hmotností v koleji a mimo kolej. Statistické rozdíly lze opět nalézt především v hloubkách 5 a 15 cm. Z hlediska hloubek jsou patrné rozdíly mezi všemi tlaky v hloubkách 5 a 15 cm. Porovnáním tlaků v závislosti na hloubce lze pozorovat statistické rozdíly v hloubce 5 cm mezi tlaky 100 a 200 kPa. Mezi tlaky 200 a 150 kPa statistický rozdíl není. V hloubce 15 cm je rozdíl patrný pouze mezi tlaky 100 a 150 kPa. Největších hodnot změn objemové hmotnosti půdy lze tedy pozorovat zejména v hloubce 5 cm, kdy se hodnoty pohybovaly mezi 300 až 550 kg.m<sup>-3</sup> u tlaků 150 a 200 kPa, a u tlaku 100 kPa jsou rozdíly vždy 300 kg.m<sup>-3</sup>. V hloubkách 25, 35 a 45 cm nejsou již patrné žádné statistické rozdíly z pohledu hloubky ani z pohledu tlaků huštění. Hodnoty diferencí objemové hmotnosti dosahují minimálních změn.



Obr. 43 Rozdíly objemové hmotnosti půdy v závislosti na hloubce a tlaku huštění

Na Obr. 44 je zobrazena závislost pórovitosti na místě a hloubce odběru vzorků. Na grafu lze pozorovat, že hodnoty pórovitosti klesají z podlimitních hodnot na hodnoty nadlimitní. Porovnáním obou míst odběru vzorků lze pozorovat významné statistické rozdíly místa v koleji a mimo kolej především v hloubkách 5 a 15 cm a také mezi hloubkami 25 a 45 cm. Právě mezi hloubkami 25 a 45 cm je patrné opětovné zvýšení pórovitosti na hodnoty limitní v koleji a hodnoty nadlimitní mimo kolej.

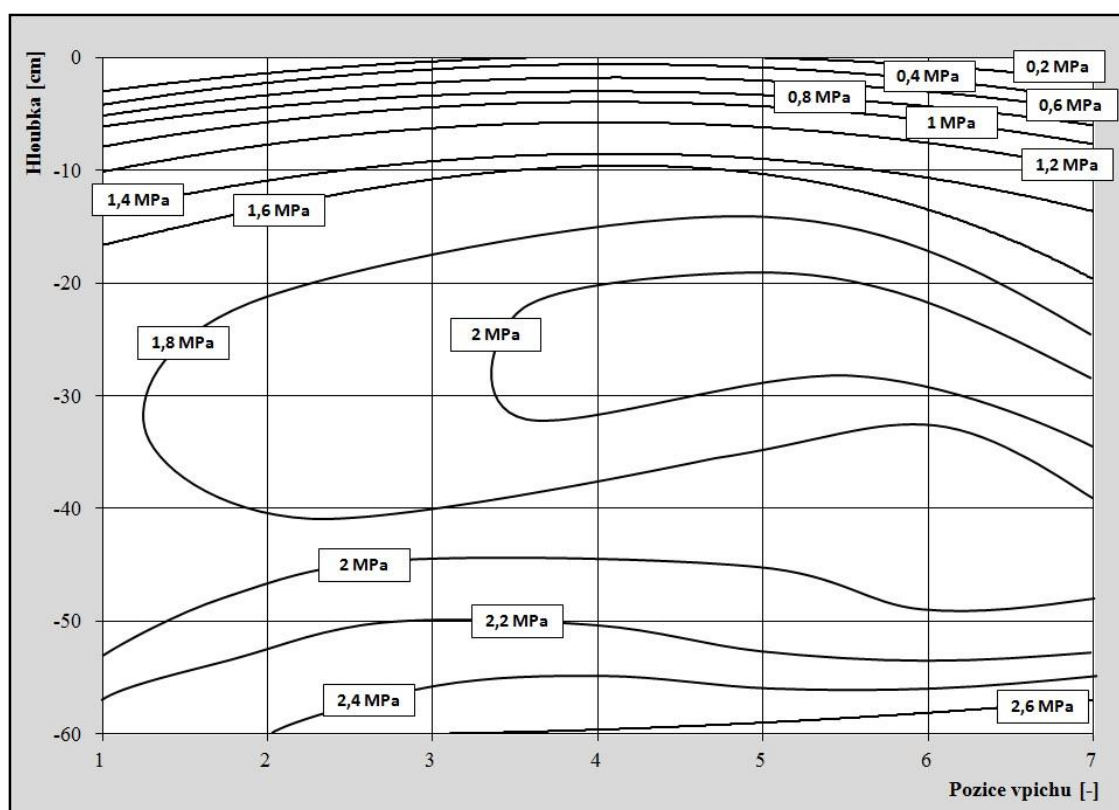


Obr. 44 Závislost pórovitosti na místě a hloubce odběru vzorků

Jelikož data pórovitosti a objemové hmotnosti vzájemně korelují, nejsou tedy ve výsledcích uvedeny graf diferencí pórovitosti a graf závislosti objemové hmotnosti na hloubce a místě odběru vzorků.

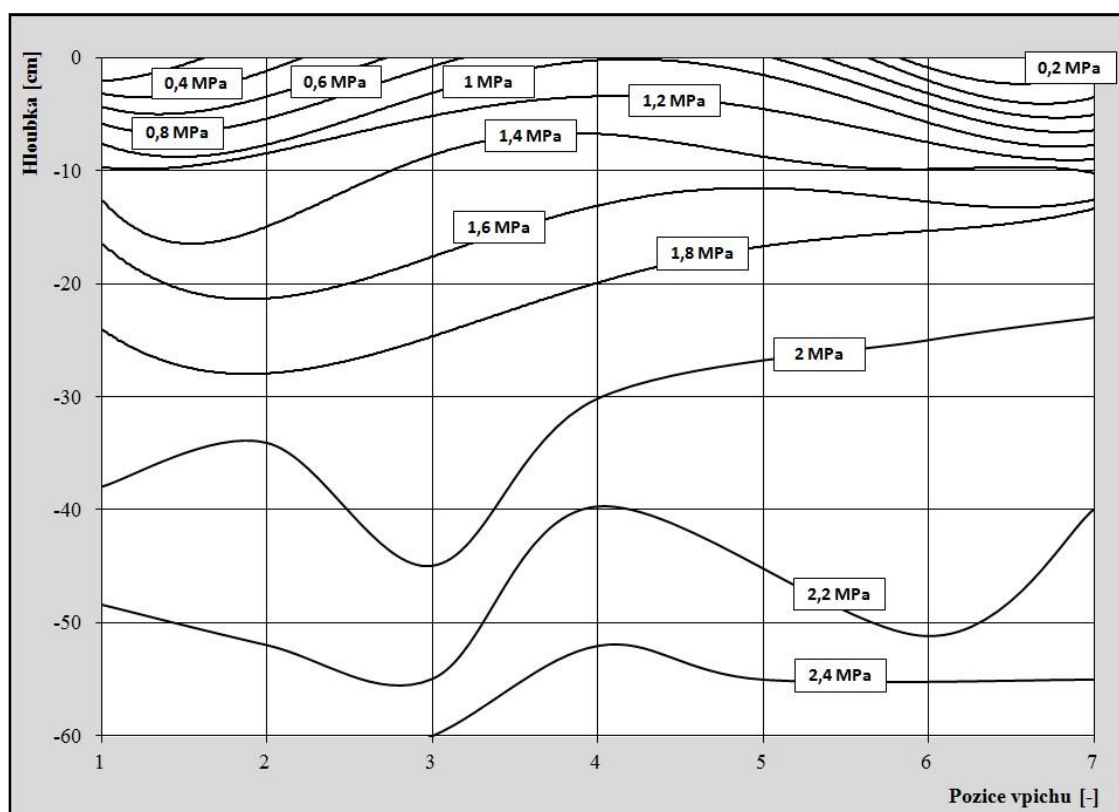
## 5.2 Výsledky měření penetrometrického odporu půdy

Na následujících grafech jsou znázorněny křivky konstantních penetrometrických tlaků u nezatíženého resp. zatíženého traktoru. U nezatíženého traktoru (Obr. 45) je z charakteru křivek patrný pozvolný nárůst penetrometrického odporu v závislosti na pozici ve stopě traktoru. Logicky uprostřed koleje je dosaženo nejvyšších hodnot penetrometrického odporu. Projev změny penetrometrického odporu je patrný v hloubkách 0 až 10 cm, kdy v této oblasti těsně pod povrchem jsou křivky nejvíce nahuštěny. Těsně pod povrchem je dosaženo penetrometrického odporu 0,4 MPa, přičemž největší dosažená hodnota odporu v hloubce 0 až 10 cm je 1,6 MPa.



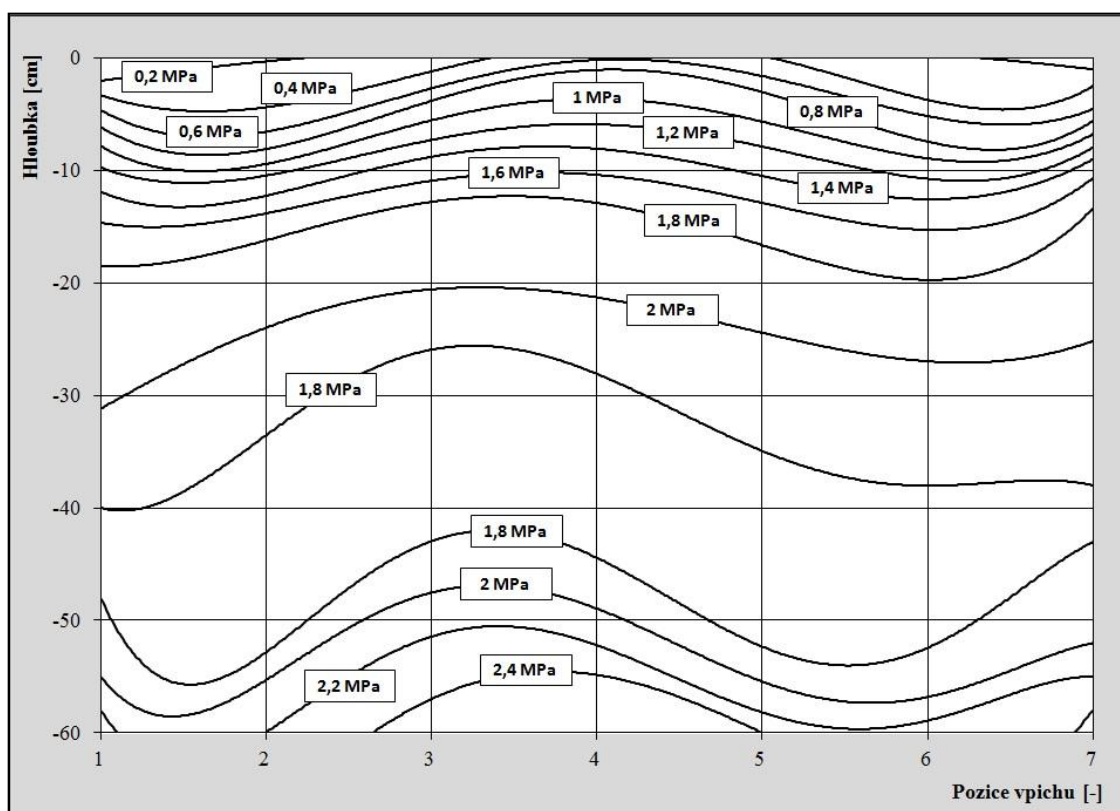
Obr. 45 Penetrometrický odpor u nezatíženého traktoru při tlaku huštění 100 kPa

Na grafu zatíženého traktoru (Obr. 46) je vidět větší nárůst penetrometrického odporu v podobě prudšího průběhu křivek konstantních penetrometrických odporů. Proti variantě nezatíženého traktoru je na grafu patrný zejména velký nárůst povrchového odporu půdy, který dosahuje uprostřed stopy traktoru (pozice 4) hodnot až 1 MPa. V hloubkách větších než 10 cm lze pozorovat podobné výsledky v obou variantách, nicméně v těchto hlubších oblastech jsou zřejmé také velmi nevyrovnané hodnoty a to jak v rámci pozic vpichů, tak v závislosti na dosažených hodnotách penetrometrických odporů.



Obr. 46 Penetrometrický odpor u zatíženého traktoru při tlaku huštění 100 kPa

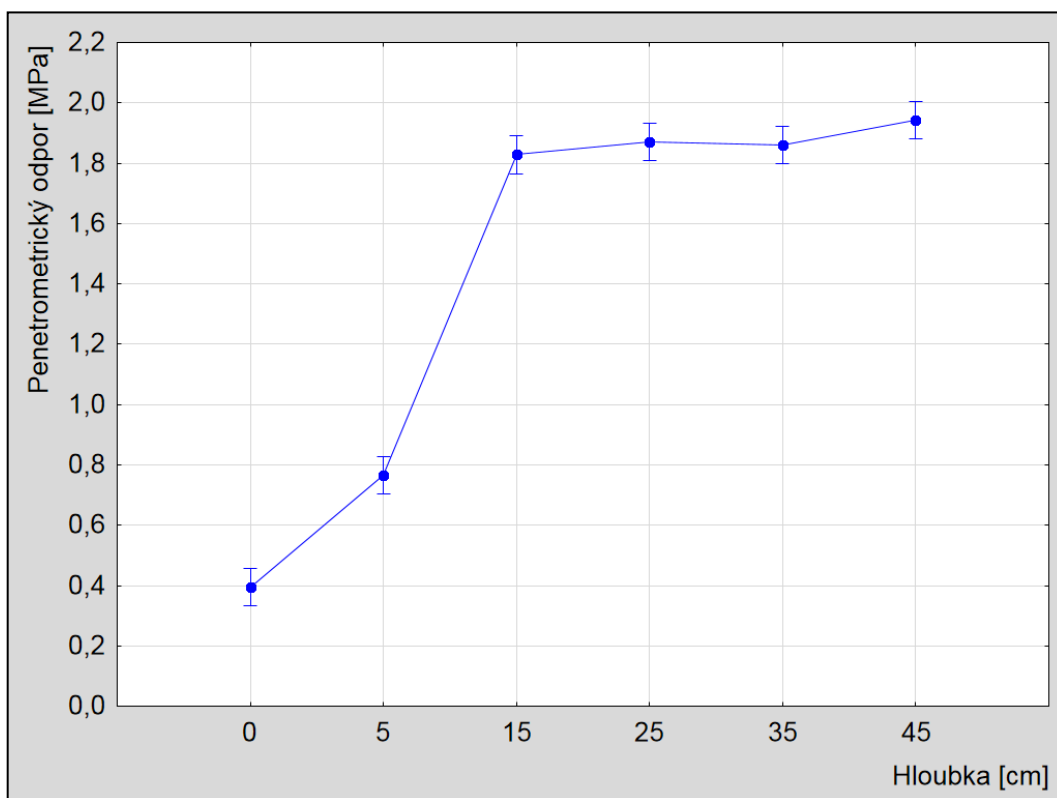
Obr. 47 prezentuje graf zatíženého traktoru při tlaku 200 kPa. Ve srovnání s grafem zatíženého traktoru při huštění 100 kPa (Obr. 46) lze pozorovat nižší povrchový tlak, jenž činí 0,6 MPa, ovšem z grafu je patrné vyšší nahuštění konstantních křivek tlaků zejména ve středu stopy. Tlaku 1,8 MPa je dosaženo v rozmezí hloubek 10 až 15 cm, což je ve srovnání s variantou 100 kPa, kdy je stejného tlaku dosaženo v hloubce 20 cm, rozdíl přes 5 cm. Rozdílná je také hloubka dosažená u konstantní křivky tlaků 2 MPa, která v případě 100 kPa činí 30 cm, u varianty 200 kPa se dostává na hranici 20 cm uprostřed stopy.



Obr. 47 Penetrometrický odpor u zatíženého traktoru při tlaku huštění 200 kPa



Stejně jako v případě vyhodnocení objemové hmotnosti a pórovitosti byla i při zjišťování statisticky významného rozdílu v penetrickém odporu půdy (nejenom při různém tlaku huštění, ale i při rozdílném zatížení kol traktoru) použita ANOVA s následným mnohonásobným porovnáváním. Výsledky tohoto vyhodnocení velmi úzce korespondovaly s výsledky dosaženými z rozboru půdních vzorků. Stejně jako u objemové hmotnosti a pórovitosti bylo dosaženo největších změn v povrchových vrstvách a hloubkách do 15 cm jak je zřejmé z grafu závislosti penetrického odporu půdy na hloubce (Obr. 48). Výsledky také ukázaly, že výrazných rozdílů mezi variantami zatížení a huštění pneumatik dosaženo nebylo, stejně jako u výsledků rozboru půdních vzorků.



Obr. 48 Závislost penetrického odporu na hloubce

### 5.3 Výsledky měření hmotnosti traktoru a rozměrů otisků kola

Jak již bylo zmíněno v kapitole materiál a metodika, měření penetrometrického odporu půdy proběhlo nejen při různých tlacích, ale i při různém zatížení traktoru. Pro porovnávací účely a také pro stanovení podmínek, za jakých měření probíhalo, byla měřena hmotnost zatíženého a nezatíženého traktoru. V Tab. 12 jsou zaznamenány hodnoty hmotnosti připadající na nápravy traktoru a také celková hmotnost traktoru. Rozdíl celkové hmotnosti zatíženého a nezatíženého traktoru činil 4 590 kg, což odpovídá hmotnosti kypřiče a čelního závaží traktoru, tímto zatížením traktoru narostla jeho celková hmotnost o 45 %. Z hmotností připadajících na nápravu je zřejmá také změna rozložení hmotnosti traktoru, kdy byla hmotnost u nezatíženého traktoru rozložena v poměru 38,5 : 61,5 (přední náprava : zadní náprava). Se zatížením traktoru se rozložení hmotnosti změnilo v poměru 20,3 : 79,7.

Tab. 12 Naměřené hmotnosti traktoru

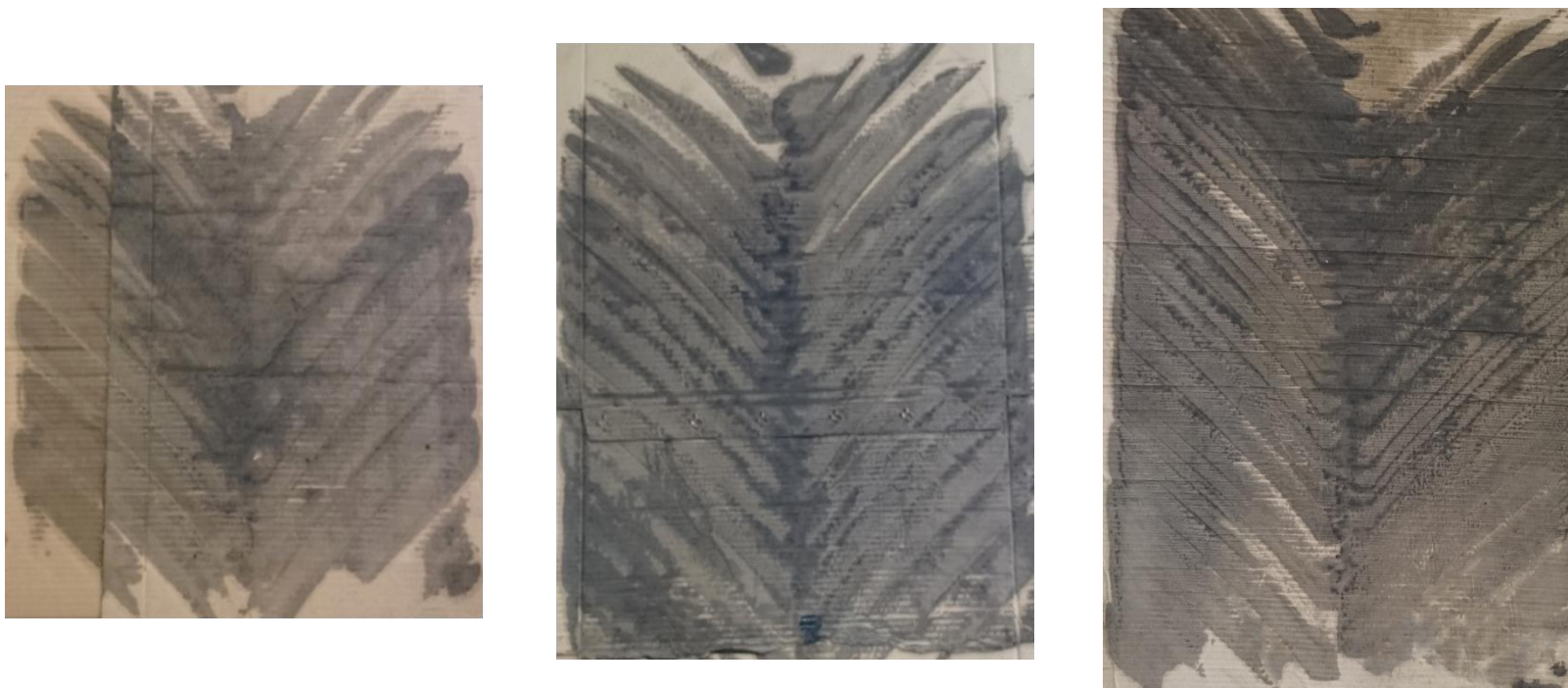
Naměřené hmotnosti traktoru		
Měřené hmotnosti	Zatížení traktoru	
	Zatížený traktor	Nezatížený traktor
Hmotnost připadající na přední nápravu [kg]	2 990	3 910
Hmotnost připadající na zadní nápravu [kg]	11 760	6 250
Celková hmotnost traktoru [kg]	14 750	10 160

V Tab. 13 jsou zaznamenány rozměry otisků zadní pneumatiky resp. otisků styčné plochy pneumatiky se zemí. Z tabulky vyplývá, že se šířka pneumatik příliš neměnila. Největší změny se podle očekávání projeví v délce otisku. U pneumatiky se vždy s konstantním zatížením měnila délka otisku pneu v závislosti na tlaku huštění. Rozdíl v délce otisku byl u nezatíženého traktoru mezi tlaky 200 a 100 kPa 18,8 cm, což je navýšení délky otisku o 39 %. U zatíženého traktoru rozdíl v délce otisku mezi tlaky 200 a 100 kPa činil 20 cm, délka otisku byla tedy zvětšena o 27,8 %. Při tlaku 200 kPa se vlivem zatížení traktoru zvětšila délka otisku pneumatiky ze 48,2 cm na 72 cm, rozdíl je tedy 23,8 cm, procentuálně 49,4 %. U tlaku 100 kPa činil rozdíl změny délky otisku pneumatiky vlivem zatížení 25 cm, tedy 37,3 %.

*Tab. 13 Rozměry otisků zadní pneumatiky*

Rozměry otisků pneumatiky			
Zatížení traktoru	Tlak v pneu [kPa]	Šířka otisku [cm]	Délka otisku [cm]
Nezatížen	200	59,5	48,2
Nezatížen	150	64,6	54,8
Nezatížen	100	64,8	67
Zatížen	200	64,5	72
Zatížen	150	64,7	83
Zatížen	100	64,8	92

Na Obr. 49 je zobrazeno porovnání vytvořených otisků zadní pneumatiky traktoru v měřítku.



*Obr. 49 Rozdíl ve velikosti otisků zadního kola u zatíženého traktoru, zleva 200 kPa, uprostřed 150 kPa, vpravo 100 kPa  
(měřítko 1 : 10)*

## 6 DISKUZE

Na základě výsledků rozboru neporušených půdních vzorků lze konstatovat, že k největším změnám u objemové hmotnosti a pórovitosti půdy došlo především v nejmenší hloubce 5 cm. Obě veličiny nabývají před přejezdem kola v nakypřené půdě hodnot podlimitních s následnou změnou na hodnoty limitní. Podobné změny jsou také patrné u grafů konstantních křivek odporů půdy (Obr. 45, Obr. 46 a Obr. 47) v hloubce od 0 do 10 cm, a také u grafu závislosti penetrometrického odporu na hloubce půdy (Obr. 48). Podle Kostelanského (2008) se kypřícími zásahy hodnoty pórovitosti obecně zvyšují na 50 až 60 %. V seznamu agrotechnických operací na daném pozemku lze vidět, že půda byla před měřením kypřena dvakrát do podobných hloubek 10 a 12 cm. Z grafů pórovitosti lze pozorovat, že hodnoty v hloubce 5 cm skutečně dosahovaly hodnot 50 až 65 %. Následné snížení pórovitosti u odebraných vzorků v koleji je tedy prokazatelně příčinou průjezdu zatíženého kola traktoru.

Kromě patrných rozdílů v hloubce 5 cm jsou na Obr. 44 znázorněny také rozdíly v pórovitosti v hloubce 15 cm v koleji a mimo kolej. Z tohoto grafu také vyplývá, že se hodnoty pórovitosti dále nezhoršovaly se vzrůstající hloubkou (z hlediska limitních hodnot). Tento trend je také zřejmý z výsledků závislosti penetrometrického odporu na hloubce (Obr. 48). Některé studie uvádí, že se kypření půdy do stále stejných či podobných hloubek může projevit vytvořením tzv. orebního dna. Podle experimentu Baudera et al. (1981), provedeného v Minnesotě (USA), byla detekována zhutněná vrstva hned pod hloubkou zpracování půdy diskovým kypřičem. Experiment byl prováděn na jílovitě půdě, kde byla deset let po sobě pěstována kukuřice. Jediné hlubší kypření představovalo zpracování půdy diskovým kypřičem do 8 cm každým rokem. Půda na pozemku, kde bylo prováděno měření pro tuto diplomovou práci, byla v posledních letech kypřena do omezených hloubek minimalizačními technologiemi. Tvrzení o vytvoření obtížně prostupné vrstvy nasvědčují především výsledky na Obr. 41 a Obr. 42, kdy hodnoty pórovitosti a objemové hmotnosti dosahují ve 25 cm mimo kolej nadlimitních hodnot. V obou grafech je patrná také následná změna obou sledovaných veličin z hodnot nadlimitních v hloubce 25 cm na hodnoty limitní v hloubce 45 cm. Lze tedy říci, že na šíření tlaku pod pneumatikou traktoru a následné utužení půdy má výrazný vliv také stav pozemku před vlastním přejezdem. Obzvlášť u intenzivně obhospodařovaných půd, kde

se vlivem kumulativního jevu, jakým zhutnění půdy bezesporu je, vytváří zhutnělá vrstva v podorničí.

Jak již bylo zmíněno, objemová hmotnost nabývá nejvyšších nadlimitních hodnot právě v 15 a 25 cm. Hodnoty dosahují rozmezí 1 500 až 1 650 kg.m<sup>-3</sup>. Podobných hodnot objemových hmotností bylo dosaženo ve výsledcích prezentovaných v práci Svobody a Červinky (2013). Měření mělo srovnatelnou metodiku a materiál jako tato práce, neporušené půdní vzorky byly odebírány v hloubkách 15 a 30 cm. Podle autorů experimentu byly dosaženy hodnoty objemových hmotností ve svrchních vrstvách půdy v rozmezí 1 200 až 1 500 kg.m<sup>-3</sup>, hodnoty v nižších vrstvách půdy dosahovaly 1 600 až 1 800 kg.m<sup>-3</sup>. Lze tedy pozorovat obdobné výsledky v obou pracích, je nutno si však uvědomit pár odlišností. Na polním měření podle Svobody a Červinky byl použit traktor s rozměry předních pneumatik 540/65R30 a zadních pneumatik 650/65R42. Odlišná byla také hmotnost soupravy traktoru a secího stroje, jež činila 17 950 kg. Pro dané měření byl použit traktor střední výkonové kategorie, jehož hmotnost byla okolo 7 000 až 8 000 kg (podle informačních materiálů výrobce). Použitou zátěž traktoru tvořil polonešený secí stroj, tudíž lze bez objektivních výsledků měření těžko posoudit zátěž přenášenou ze secího stroje na traktor. Posledním výrazným rozdílem byla příprava půdy pozemku, který byl na podzim zorán do hloubky 25 cm a na jaře před měřením urovnán smykem. Ve výsledku tedy bylo v onom měření dosaženo obdobné či dokonce vyšší objemové hmotnosti, přičemž hmotnost na zadní nápravě traktoru byla pravděpodobně nižší. Srovnáním obou variant lze dojít k závěrům, že zhutnění je závislé především na hmotnosti strojů a jejím působení přes styčnou plochu pneumatik. Patříčně zatížený traktor střední výkonové kategorie dokáže způsobit na dobře nakypřené půdě zhutnění jedním přejezdem. Dále je také míra zhutnění závislá na stavu půdy před přejezdem, protože zhutnění se projevuje především do hloubky předchozího zkyplení půdy. Pokud se nalézá v půdě orební dno způsobené několikaletým kypřením do konstantních hloubek, tak lze říci, že toto dno je také schopno utužení zadržovat tak, aby se nešířilo do větší hloubky. Na druhou stranu je nutné neprostupnou vrstvu odstranit, jelikož se akumulací může zhutnělý půdní horizont rozšiřovat.

Dosažené nadlimitní hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti mohou způsobovat v půdě řadu problémů. Podle Kostelanského (2008) vyhovuje obilninám na středně těžkých půdách objemová hmotnost 1 300 až 1 450 kg.m<sup>-3</sup>, přičemž v případě tohoto mě-

ření bylo dosaženo těchto hodnot především v hloubce 5 cm a 45 cm. Kulturní plodiny potřebují pro svůj růst, aby bylo dosaženo optimálních hodnot fyzikálních parametrů půdy v celém profilu ornice. Stav ornice má přímou souvislost s vegetačními faktory daného místa. DeJong-Hughes et al. (2001) uvádí, že nadměrné utužení půdy omezuje kořeny plodin v jejich růstu a následně také jejich celkovému kontaktu s půdou, což zapříčiňuje snížení schopnosti rostlin přijímat živiny a špatné hospodaření s vodou. Bez dobře načasovaných srážek může v suchých letech docházet k zakrnění rostlin vlivem snížené kořenové aktivity. Naproti tomu ve vlhkých letech je snížena u zhutněných půd jejich prodyšnost, což má za následek zvýšenou denitrifikaci. Působení půdy a rostlin je však oboustranné. Kořenová hmota a její množství přímo ovlivňuje strukturu půdy a působí na půdu mechanicky, biologicky a chemicky. Podle hloubky kořenového systému mají největší pozitivní vliv na strukturu půdy rostliny hlubokokořenících, především jeteloviny a jetelotrávní směsky. Obilniny patří do skupiny mělkokořenících rostlin a půdu více či méně poškozují. V osevních postupech má střídání hluboce a mělce kořenících rostlin velký význam. Na pozemku, kde bylo prováděno měření, byla v dlouhodobějším horizontu střídána pšenice ozimá se slunečnicí. Před provedeným polním měřením však byla na pozemku pěstována ozimá pšenice dva roky po sobě. Je tedy pravděpodobné, že omezený osevní postup také přispěl ke stávající struktuře půdy.

Vliv zatíženého traktoru na půdu byl prokázán pomocí objemové hmotnosti a pórovitosti v hloubce 5 a 15 cm, tedy především v povrchových vrstvách. Vliv rozdílných tlaků na půdu je částečně potvrzen v grafu diferencí objemových hmotností půdy v závislosti na hloubce a tlaku huštění (Obr. 43). Z grafu je patrné, že nejmenších změn, tedy rozdílů mezi objem. hmotností, je dosaženo u varianty 100 kPa v hloubce 5 cm. Větší výpočtovou hodnotu o rozdílných tlacích a zátěžích mají však grafy křivek konstantních tlaků v půdě (Obr. 45, Obr. 46 a Obr. 47). Podle Grečenka (1963) se tlak pod užší pneumatikou rozkládá více do hloubky s menším stranovým rozptylem. S narůstající šířkou pneumatiky se tlak šíří spíše do stran a méně zasahuje hloubku. Podle výsledků měření stopy pneumatiky v závislosti na tlaku a zatížení lze vidět, že pneumatika s narůstající zátěží a se snižujícím se tlakem zvětšovala především svoji délku. Pneumatika tedy zvětšovala styčnou plochu s půdou, což je opticky patrné z fotek otisků (Obr. 49). Ze srovnání grafů na Obr. 46 a Obr. 47 vyplývá, že pod pneumatikou s větší styčnou plochou, resp. menším hustícím tlakem, se tlak v půdě šíří do menší hloubky. Rozvržení křivek pod pneumatikou potvrzuje rovnoměrnější rozložení tlaku v půdě. Graf na Obr. 47 zob-

razuje větší koncentraci křivek uprostřed stopy pneumatiky. Z grafu je patrna také větší zasažená hloubka, do které se projevil nárůst penetrometrického odporu půdy. Podobně jako odlišný tlak se projevilo také odlišné zatížení traktoru. Rozdíly ve tvaru křivek a hodnotách tlaků dosažených ve vrchních vrstvách půdy jsou zřejmé z grafů na Obr. 45 a Obr. 46. Prudký nárůst povrchového penetrometrického tlaku u zatíženého traktoru s tlakem pneumatik 100 kPa (Obr. 46), kdy bylo dosaženo 1 MPa, je pravděpodobně příčinou chyby měření. V místě měření se v minulosti pravděpodobně nacházel kolejový řádek, nebo zde působila přejezdem či statickým tlakem sklízecí mlátička, například při vyprazdňování zásobníku.

Půdu ovlivňuje tedy zatížení a huštění pneumatiky. Kromě vlivu pneumatiky na půdu je nutné také zohlednit vliv rozdílných parametrů pneumatik na tahové vlastnosti traktoru. Měření podle Šmerdy a Bauera (2007) posuzovalo tahové vlastnosti traktoru při různém zatížení, experiment byl prováděn na válcové zkušebně. Dotížení traktoru závažím o hmotnosti 980 kg se projevilo posunutím maximálního tahového výkonu do oblasti vyššího tahové síly při nezměněné nejvyšší tahové účinnosti. Největší tahová síla vzrostla o 18,9 % a nejvyšší tahový výkon o 15,2 % ve srovnání s naměřenými hodnotami bez přídatného závaží. U daného traktoru byla měřena plocha otisku u zadních pneumatik o rozměrech 600/65R38. Celkový rozdíl v ploše otisku u tlaků 100 kPa a 200 kPa činil 836 cm<sup>2</sup>. Změnou tlaku z 200 kPa na 100 kPa se plocha otisku zvětšila o 50,5 %. Experiment dokázal, že dotížení traktoru přídatným závažím snižuje prokluz v oblasti největších tahových sil, což je žádoucí především při tahových pracích, poněvadž výkon ztracený prokluzem způsobuje nejvyšší ztráty na tahovém výkonu. Tím je snížena celková efektivita přenosu výkonu motoru na podložku. Subjektivně lze na základě výsledků tohoto experimentu předpokládat, že také u traktoru použitého pro měření této diplomové práce došlo ke změně tahové síly a tahového výkonu při dotížení traktoru. Celková zátěžová hmotnost činila 4 590 kg a celková hmotnost traktoru narostla o 45 %, což je podstatně více než u traktoru použitého pro měření na válcové zkušebně. Objektívni hodnoty změn tahových vlastností traktoru by se daly zjistit měřením, které však nebylo cílem této diplomové práce. Podobně je to i s naměřenými hodnotami otisků kol. Objektívni nelze porovnávat délkové rozměry otisků (šířka a délka) s plochou otisku pneumatik. Lze však opět předpokládat, že stejně jako tomu bylo u experimentu z roku 2007, tak i u tohoto měření byla hodnota středního kontaktního tlaku příznivější u nižšího tlaku huštění. To je způsobeno především konstrukcí pneu-



matiky umožňující cílenou deformaci pneumatiky při snížení tlaku. Tato deformace má za úkol zvětšit styčnou plochu pneumatik s podložkou, čímž se dostane více figur pláště do záběru.

Vliv huštění pneumatik na tahové vlastnosti traktoru byl také experimentálně zjišťován v práci Katrenčíka et al. (2013). Pneumatiky traktoru byly huštěny v první variantě na 180 kPa, v druhé variantě měla přední kola tlak 75 kPa a zadní kola 65 kPa. Tahová síla byla měřena tenzometrickým snímačem od firmy Hottinger. Při prvním měření (180 kPa) byl největší dosažený tahový výkon 72,6 kW při prokluzu 56,3 %. Redukcí tlaku a opětovným měřením bylo dosaženo stejného tahového výkonu, ale při prokluzu 16,2 %, což je rozdíl 40,1 %. Rozdíl tahových síl činil 12,5 %. Z práce také vyplývá snížená měrná spotřeba paliva stroje při redukováném tlaku v pneumatikách. Podobný experiment provedl také Serrano et al. (2008), který porovnával spotřebu u traktoru agregovaného s talířovým kypřičem. První varianta byla odjeta s tlakem pneumatik 140 kPa, druhá varianta spočívala v redukcí tlaku předních pneumatik na 100 kPa a zadních pneumatik na 70 kPa. Ve výsledku bylo ve variantě s nižšími tlaky dosaženo nižšího prokluzu o 18 % a nižší spotřeby paliva na hektar o 15 %. Na základě obou polních měření lze subjektivně tvrdit, že u traktoru v této diplomové práci byly tahové vlastnosti a spotřeba paliva příznivější při nižším tlaku vzduchu v pneumatikách.

Příznivé vlastnosti pneumatik s redukováným plnicím tlakem a větším zatížením byly tedy prokázány u několika studií a experimentů v laboratorních a polních podmínkách. Tyto vlastnosti mají příznivý vliv na tahové vlastnosti a spotřebu traktoru, ale také na půdu a její strukturu. Práce traktorů však nespočívá pouze v terénních operacích, ale také v dopravě na pozemních komunikacích při agregaci s přívěsy či návěsy. Častá je také kombinace pohybu takových souprav, které urazí část trasy po poli a část na pozemních komunikacích. Problematická je pak volba tlaku pneumatik na takových soupravách. Konkrétní řešení spočívá v rozhodnutí, zda jezdit se soupravou s nižšími hustíci tlaky a chránit tak půdy před zhutněním. Druhá varianta spočívá v ponechání hustících tlaků na vyšší hodnotě, čímž je zajištěna větší rychlost soupravy s příznivější spotřebou při pohybu na pozemních komunikacích. Podle prováděných experimentů je zřejmé, že pojíždění traktoru na zpevněných pozemních komunikacích se sníženým hustícím tlakem má za následek zvýšení valivého odporu pneumatiky, čímž je také zvýšená spotřeba paliva. Jeden z těchto experimentů provedli Čupera a Šmerda (2010). Mě-

ření probíhalo v laboratorních podmínkách na válcovém dynamometru a v reálných podmínkách zemědělské dopravy. Ve výsledcích laboratorního měření byl zřejmý nárůst odporu v celém rozsahu měření o 0,54 kN (po redukci tlaku předních pneumatik traktoru z 200 kPa na 160 kPa). Součinitel odporu valení vzrostl v průměru o hodnotu 0,136. Měření v reálných podmínkách bylo prováděno na naplněném návěsu s tandemovou nápravou při tlaku huštění 210 a 270 kPa. Rozdíl v celkovém odporu soupravy činil 0,71 kN, což činí 12,1 % ve srovnání s tlakem 270 kPa. Celkový výkon potřebný pro pohyb soupravy dosahoval při rychlosti 35 km.h<sup>-1</sup> hodnoty 57,06 kW při tlaku 270 kPa, v případě 210 kPa byla potřebný výkon 64 kW. Rozdíl v měrné spotřebě paliva činil 10 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> ve prospěch vyššího tlaku huštění.

## 7 ZÁVĚR

Zhutnění půdy je v poslední době často řešeným problémem dnešních zemědělců. Velká část půd na území České republiky je zhutněna ať už na povrchu či v podorničí. Nema-lou část výměry ČR čítají také pozemky, u kterých hrozí velké potenciaální riziko vzniku zhutnění. Pedokompakce však není problémem pouze českých zemědělců, nýbrž je problémem globálním. Hlavních příčin zhutnění půdy je několik, přičemž jsou všechny v součtu způsobeny nárůstem intenzivních metod hospodaření. Zhutnění je jev, kterému by se zemědělci měli naučit předcházet tak, že budou omezovat agrotechnické operace na půdách v oslabeném stavu (nakypřené vlhké půdy). Pedokompakce má přímý vliv na fyzikální vlastnosti půdy, ke kterým patří zejména půdní struktura, objemová hmotnost, pórovitost a orební či penetrometrický odpor. Na půdu je nutné nahlížet jako na komplexní celek, který po narušení vykazuje špatnou funkci celého systému. Zhutnění je toho vzorovým příkladem, protože zhoršené fyzikální parametry půdy ovlivňují zakořenění a růst rostlin. Ovlivněna je také vodohospodářská funkce půdy a také půdní život (edafon), který se přímo podílí na tvorbě struktury půdy. Stav půdy a jejích komplexních vlastností se potom dříve nebo později přímo promítá na výnosu kulturních plodin.

Vliv traktoru na půdu výrazně ovlivňuje volba pneumatik. Již při investičním rozhodování je nutno zvážit požadovanou šířku pneumatik, jejich průměr (resp. průměr disku) a volbu jejího dezénu. Traktor používaný v dopravě by měl být osazen pneumatikami se silničním dezénem o menší šířce. Volba hustíciho tlaku u dopravní soupravy bude vyšší pro optimalizování pasivních ztrát, především valivého odporu. Traktory používané v tahových operacích je nutno osadit radiálními pneumatikami, které budou mít velký průměr a šířku, provozní tlak bude nižší. Tyto aspekty zajistí větší styčnou plochu traktoru s půdou, čímž se docílí lepších tahových vlastností při menší spotřebě pohonných hmot. Vzhledem k půdě má volba rozměrnějších pneumatik s nižším hustícím tlakem lepší vliv na fyzikální vlastnosti půdy. Traktory a traktorové tahače nejvyšších výkonostních kategorií jsou osazovány pneumatikami o šířce 710 až 900 mm, s šířkou ráfku 42 až 46". U traktorů využívaných v konvenční orbě jsou častou volbou pneumatiky do šířky 750 mm, poněvadž by se širší pneumatiky do brázdy nevměstnaly. Širší pneumatiky, dvojmontáže a pásy jsou v orbě využitelné při použití pluhu umožňující tzv. orbu on-land. Pro zajištění lepších provozních vlastností traktorů a traktorových souprav vý-

robci nabízejí různá konstrukční řešení. Tato opatření v podobě přídavných pásových jednotek či centrální regulace tlaku v pneumatikách apod. zvyšují produktivitu práce traktorových souprav a také chrání půdu před nežádoucím zhutněním.

Praktická část diplomové práce se zabývá vlivem rozdílných tlaků traktorové pneumatiky a jejího zatížení na zhutnění půdy. Výsledky rozboru neporušených půdních vzorků potvrdily negativní vliv zatížené pneumatiky na půdu především v její svrchní části, která byla před měřením nakypřena. Statistické rozdíly mezi odlišnými tlaky huštění touto metodou zjištěny nebyly, nicméně byla zjištěna jiná skutečnost - vlivem dlouhodobého užívání bezorebných pracovních postupů vznikl v půdě zhutnělý horizont. Rozdílné tlaky pneumatik a jejich zatížení se ve výsledcích polně-laboratorního měření projevily především u metodiky měření penetrometrického odporu půdy. Podle výsledných křivek konstantních tlaků v půdě bylo nejnižších penetrometrických odporů v půdě dosaženo u varianty nezatížené pneumatiky nahuštěné na 100 kPa. Naopak nejvyšších penetrometrických odporů dosahovaly pneumatiky zatížené, nahuštěné na 200 kPa. V této variantě se nárůst penetrometrického odporu také projevil do větších hloubek. Součástí experimentu bylo měření otisků zadní pneumatiky traktoru, které poukázalo na výrazné rozdíly ve velikosti, resp. rozměrech otisků u jednotlivých variant tlaků a zatížení pneumatik. Ve výsledku je patrný velký nárůst délky otisku pneumatiky zejména u zatíženého traktoru s tlakem pneumatiky 100 kPa. Díky této vlastnosti pneumatik je dosaženo nižšího kontaktního tlaku s půdou, poněvadž se tíha traktoru rozkládá na větší plochu. Zároveň se dostane do záběru více figur pneumatik, což se příznivě projeví na tahových vlastnostech traktoru.

Polně-laboratorním měření byl analyzován zhutnělý horizont v orniční vrstvě. Vhodným doporučením by tedy bylo provést hlubší kypření půdy, např. podrýváním či hlubokou orbou. Firma obhospodařující uvedený pozemek prakticovala dlouhá léta minimalizační technologii, nicméně během uplynulých dvou let se částečně vrátila k orbě. Každoročním cílem firmy je zorat jednu třetinu výměry, to znamená, že během tří let je zorána celá výměra. Toto východisko řeší problematiku firmy spočívající ve větších nákladech na orbu celé výměry a příznivých účincích orby na půdní strukturu. Efekt orby se již na zoraných pozemcích projevil v podobě vyšších výnosů v roce 2015. Také pozemek, na němž se uskutečnilo experimentální měření pro tuto diplomovou práci, byl v listopadu 2015 zoran hlubokou orbou. Na jaře r. 2016 byla na pozemku zasetá sluneč-

nice, která patří mezi hlubokokořenní rostliny obecně zlepšující půdní strukturu. Z hlediska monitorování stavu půdy by bylo vhodné po první podmítce slunečnicového strniště provést opakované měření alespoň jednou z použitých metodik. Také na ostatních pozemcích firmy by bylo příhodné analyzovat a do budoucna sledovat stav půdy. K tomuto účelu je pro svoji jednoduchost optimální pořídit penetrometr.

Z hlediska vztahu stroje k půdě by měly pneumatiky být nahuštěné na nízký tlak tak, aby byla zajištěna půdo-ochranná funkce, ale také tak, aby bylo minimalizováno riziko poškození pneumatiky. To je doporučení pro pohyb traktorové soupravy po pozemku, nicméně je nutné brát v úvahu také přepravní vzdálenosti při přejezdech mezi pozemky a areálem firmy. Vzhledem k tomu, že žádný z traktorů firmy není osazen centrální regulací tlaku pneumatik (CTIS), bylo by patřičné zvážit přídatné opatření těchto systémů od některého z výrobců. To také platí pro případné pořízení nového traktoru, kde by mohl být výše zmíněný systém nainstalován ve výrobním závodu. Pokud se firma rozhodne stroje neosazovat systémy CTIS, bylo by z hlediska ochrany půdy bylo vhodné dlouhodobější snížení tlaku v pneumatikách. To by se týkalo především traktorů, které ve firmě provádějí hlavní tahové práce. Tlak v pneumatikách by byl zvolen podle tabulek výrobce tak, aby byl co nejnižší vzhledem k požadované únosnosti pneumatik. Tato varianta se zdá být jako nejjednodušší a nejlevnější. Je si však nutné uvědomit, že takto provozované pneumatiky budou mít při přejezdech na silničním povrchu větší opotřebení, zvýšený valivý odpor a nižší pojezdovou rychlost.

Závěrem je vhodné zmínit, že volba dvou metodik při posuzování vztahu pneumatik k půdě se ukázala jako velmi dobrá. Měření by bylo příhodné zopakovat na stejném pozemku po hlubším prokypření a následné předseťové přípravě. Tím bychom mohli analyzovat vliv proměnlivých parametrů pneumatiky na nakypřené půdě a porovnat výsledky s měřením na strništi. Pro kompletní hodnocení pneumatik traktoru a jejich vlastností by bylo vhodné provést měření cílené na posuzování tahových vlastností traktoru, a to v laboratorních či polních podmínkách. Doplnkové měření by mohlo též zahrnovat vliv tlaku pneumatik na pasivní ztráty traktoru.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AGRICS A.S., 2016: [www.agrics.cz](http://www.agrics.cz). Databáze online [Citace: 15. 1. 2016], dostupné z: <http://www.agrics.cz/magnumrowtrac?sid=6c6fbd22d5ca8143383163c6109f4d3c>.

ANNABURGER NUTZFAHRZEUG GMBH, 2015: [www.annaburger.de](http://www.annaburger.de). Databáze online [Citace: 7. 3. 2016], dostupné z: <http://www.annaburger.de/en/annaburgernews.html>.

BAUDER J. W., RANDALL G. W., SWAN J. B., 1981: Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. *Soil Science Society of American Journal*, 45:802-806.

BAUER F., SEDLÁK P., 2006: Na co má vliv tlak vzduchu v pneumatikách. *Mechanizace zemědělství* č. 6, 2006; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

BAUER F., SEDLÁK P., ŠMERDA T., 2006: *Traktory*. vyd. 1. Profi Press s.r.o., Praha, ISBN 80-86726-15-0.

BENEŠ P., STEHNO L., 2015: Vyplatí se investovat do kvalitních pneumatik? *Mechanizace zemědělství* č.11, 2015; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

BENEŠ P. 2008: Orba on-land. *Mechanizace zemědělství* č. 5, 2008; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776

BENEŠ P. 2009: Přínos změny tlaku v pneumatikách. Databáze online [citace: 22. 2. 2016], dostupné z: <http://zemedelec.cz/prinos-zmeny-tlaku-v-pneumatikach/>.

BENEŠ P., 2011: Vliv moderní techniky na půdu (II). *Zemědělec* č. 9, 2011; Profi Press s.r.o., Praha.

BUDŇÁKOVÁ M., JACKO K., 2012: *Situační a výhledová zpráva Půda*. Ministerstvo zemědělství, Praha. ISBN 879-80-7434-088-8.

CLAAS GMBH, 2016: [www.claas.co.uk](http://www.claas.co.uk). Databáze online [Citace: 4. 2. 2016], dostupné z: <http://www.claas.co.uk/products/tractors/xerion5000-4000hrc/engine drivetrain/steering-modes>.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2015: portal.chmi.cz. Databáze online [Citace: 7. 2. 2016], dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>.

ČUPERA J., ŠMERDA T., 2010: Vliv huštění pneumatik na pasivní ztráty traktoru. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, Sv. LVII, č. 1, ISSN 1211-8516.

ČÚZK, 2014: Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha. ISBN 978-80-86918-80-8.

DEJONG-HUGHES J., MONCRIEF J. F., VOORHEES W. B., SWAN J. B., 2001: Soil compaction: causes, effects and control. Databáze online [Citace: 23. 3. 2016], dostupné z: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/tillage/soil-compaction/>.

DEMO M., 1995: Obrábanie pôdy. Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra, ISBN 80-7137-255-2.

DÖLL H., 1997: Ochrana půdy pomocí zdvojených kol - krok k ekologicky uvedomělému zemědělství. Mechanizace zemědělství č. 5, 1997; Nakladatelství MH.

DRÁPELA K., 1999: Statistické metody I. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ISBN 80-7157-416-3 .

DRÁPELA K., 2000: Statistické metody II. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ISBN 80-7157-474-0.

EIJKELKAMP SOIL & WATER, 2014: en.eijkelkamp.com. Databáze online [Citace: 7. 2. 2016], dostupné z: <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/tech-specs-penetrologger-set-a.html>.

FENDT AGCO GMBH, 2015: www.fendt.com. Databáze online [Citace: 23. 1. 2016], dostupné z: <http://www.fendt.com/int/11342.asp>.

GREČENKO A., 1963: Kolové a pásové traktory. Státní zemědělské nakladatelství ve spolupráci s Ústředím vědeckotechnických informací MZLVH, Praha.

GSCHEIDLE R. ET AL., 2007: Příručka pro automechanika. [překl.] MICHŇOVÁ I. ET AL. Dotisk 2010. Nakl. Europa-Sobotáles cz s.r.o., Praha, ISBN 978-80-86706-17-7.

HAUPTMAN I., ET AL. 2009: Půda v České republice. Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství, Praha, ISBN 80-903482-4-6.

HOLMER MASCHINENBAU GMBH, 2016: [www.holmer-maschinenbau.de](http://www.holmer-maschinenbau.de). Databáze online [Citace: 1. 3. 2016], dostupné z: <http://www.holmer-maschinenbau.de/en/products/beet-lifting-technology/terra-dos-t4/t4-30-t4-40.html>.

HORN R., VAN DEN AKKER J. J. H., ARVIDSSOM J. 2000: Subsoil compaction: distribution, processes and consequences. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, ISBN 3-923381-44-1.

HŮLA J., PROCHÁZKOVÁ B., 2008: Minimalizace zpracování půdy. Profi Press s.r.o., Praha, ISBN 978-80-86726-28-1.

CHLOUPEK O., PROCHÁZKOVÁ B., HRUDOVÁ E., 2009. Pěstování a kvalita rostlin. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ISBN 978-80-7157-897-0.

JANDÁK J., 2003: Cvičení z půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ISBN 80-7157-733-2.

JANDÁK J., POKORNÝ E., PRAX A., 2010: Půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ISBN 978-80-7375-445-7.

JANKŮ P., 2004: Výrazná radializace zemědělství pokračuje. Mechanizace zemědělství č.7, 2004, Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

JAVŮREK M., VACH M., 2008: Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i., Praha, ISBN 978-80-87011-57-7.

JURTÍK T., 2004: Proč používat radiální traktorové pneumatiky? Mechanizace zemědělství č.1, 2004; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.



KATRENČÍK J., BAUER F., DOSTÁL P., 2013: The influence of the tire inflation on pull properties of agriculture tractors. *Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, sv. 61, č. 6, ISSN 1211-8516.

KOHOUT V., ŠKODA V., ZITTA, M., 1993: *Obecná produkce rostlinná*. Vysoká škola zemědělská, Praha, ISBN 978-80-2130-133-7.

KOSTELANSKÝ F., 2008: *Obecná produkce rostlinná*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ISBN 978-80-7157-765-2.

KOZÁK J. ET AL., 2009: *Atlas půd České republiky*. MZe ve spolupráci s ČZU, Praha, ISBN: 978-80-213-1882-3.

MICHELIN ČR, 2011: [www.michelin.cz](http://www.michelin.cz), Veletrh SIMA 2011 - Tiskový balíček. Databáze online [Citace: 27. 3. 2016], dostupné z: [http://www.michelin.cz/content/pdf/PressKit\\_MICHELIN\\_SIMA2011\\_CZ\\_new.pdf](http://www.michelin.cz/content/pdf/PressKit_MICHELIN_SIMA2011_CZ_new.pdf).

MICHELIN, 2016a: [www.michelinag.com](http://www.michelinag.com). Databáze online [Citace: 27. 3. 2016], dostupné z: <http://www.michelinag.com/Agricultural-tires/Tractors/MICHELIN-AXIOBIB>.

MICHELIN, 2016b: [www.michelinag.com](http://www.michelinag.com). Databáze online [Citace: 28. 3. 2016], dostupné z: <http://www.michelinag.com/Agricultural-tires/Tractors/MICHELIN-AGRIBIB-Row-Crop>.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2002: [www.mdcr.cz](http://www.mdcr.cz). Databáze online [Citace: 15. 3. 2016], dostupné z: <http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, 2014: [www.eagri.cz](http://www.eagri.cz). Databáze online [Citace: 26. 3. 2016], dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/castokladene-otazky/szp-1-pilir/i-pilir-prime-platby/greening/>.

MITAS A.S., 2015: [www.mitas-tyres.com](http://www.mitas-tyres.com). Databáze online [Citace: 15. 3. 2016], dostupné z: <http://www.mitas-tyres.com/cz/o-nas/tiskove-zpravy/mitas-planuje-vest-pneutrac-na-trh-do-dvou-let/>.

NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M., 1990: *Pedologie a paleopedologie*. Academia, Praha, ISBN 80-200-0153-0.

NOVÁK P., LAGOVÁ J., NĚMEC J., VOLTR V., VIGNER J., MAREK V., 1999: Situační a výhledová zpráva Půda. Ministerstvo zemědělství, Praha.

PASTOREK Z., 2001: Traktory. Agrospoj, Praha.

PAULOVÁ M., 2010: Překvapením byla sklízecí řezačka. Zemědělec č. 41, 2010; Profi Press s.r.o., Praha.

PEECON, 2015: [www.peecon.com](http://www.peecon.com). Databáze online [Citace: 30. 1. 2016], dostupné z: <http://www.peecon.com/peecon/portfolio-item/gull-wing-double-tyre-system/?lang=en>.

POSPÍŠIL J., NEUDERT L., 2004: V brázdě i mimo brázdu. Mechanizace zemědělství č. 2, 2004; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

PÖTTINGER LANDTECHNIK GMBH, 2005: [www.poettinger.at](http://www.poettinger.at). Databáze online [Citace: 28. 2. 2016], dostupné z: [http://www.poettinger.at/en\\_UK/Newsroom/Artikel/403](http://www.poettinger.at/en_UK/Newsroom/Artikel/403).

PRIKNER P., 2016: Moderní zemědělské pneumatiky snižují zhutnění půdy. Mechanizace zemědělství č. 1, 2016; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

RECKLEBEN Y., SCHÄFER N., 2014: Výběr pneumatik pro traktory - větší efektivita v silničním provozu. Mechanizace zemědělství č. 6, 2014; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

SERRANO J. M., PEÇA J. O., SILVA J. R., MÁRQUEZ L., 2008: The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. Biosystems Engineering 2009 Vol. 102, No. 1., ISSN 1537-5110.

STEHNO L., 2015: Systémy CTF - zkušenosti z domova i zahraničí. Mechanizace zemědělství č. 8, 2015; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

SVOBODA M., ČERVINKA J., 2013: Utužení půdy vlivem pojezdů traktoru a zemědělského stroje. Úroda - vědecká příloha [disk] č.12, 2013; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0139-6013.

SYROVÝ O. ET AL., 2004: Radiální, nebo diagonální pneumatiky? Mechanizace zemědělství č. 7, 2004; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.

ŠIMON J., ZIMOVÁ D., 1983: Meziplodiny v soustavě hospodaření na půdě. Studijní informace ÚVTIZ, Praha.

ŠMERDA T., BAUER F., 2007: Vliv zatížení hnacích náprav a výšky závěsu na tahové vlastnosti traktoru. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, č. 4, ISSN 1211-8516.

TOMÁŠEK M., 1995: Atlas půd České republiky. Český geologický ústav, Praha ISBN: 80-200-0153-0.

VÁCHAL J., CHÁBERA V., EHRLICH P., ZÁGORA M., 1987: Využití penetrometrických metod pro průzkum a projektování zúrodňovacích opatření. Výzkumný ústav pro zúrodnění zemědělských půd, Praha.

VLK F., 2003: Podvozky motorových vozidel. Nakladatelství František Vlk, Brno, ISBN 80-239-0026-9.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, V.V.I., 2015: bpej.vumop.cz. Databáze online [Citace: 17. 2. 2016], dostupné z bpej.vumop.cz.

WALLIN T., 2016: A simple guide to IF/VF farm tires. Databáze online [Citace: 27. 3. 2016], dostupné z: <http://atablogs.atgtire.com/a-simple-guide-to-if/vf-farm-tires>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Působení půdotvorných činitelů .....	11
Obr. 2 Potencionální zranitelnost spodních vrstev půd utužením v ČR.....	14
Obr. 3 Orba on-land.....	17
Obr. 4 Působení skotu na půdu .....	19
Obr. 5 Vytvořená vodní plocha na zhutněném pozemku .....	24
Obr. 6 Získávání přírodního kaučuku.....	30
Obr. 7 Forma na výrobu pneumatiky .....	30
Obr. 8 Řez pláštěm radiální pneumatiky .....	31
Obr. 9 Řez diagonální a radiální konstrukcí pláště .....	35
Obr. 10 Prokluzová charakteristika traktoru.....	35
Obr. 11 Radiální, nízkotlaká traktorová pneumatika.....	36
Obr. 12 Traktor osazený průmyslovými pneumatikami.....	38
Obr. 13 Srovnání pneumatik šípového a průmyslového dezénu.....	38
Obr. 14 Jedno-okruhový systém CTIS .....	40
Obr. 15 Dvou-okruhový systém CTIS .....	40
Obr. 16 Traktor John Deere osazený dvojmontáží.....	41
Obr. 17 Traktor se dvěma pásy .....	42
Obr. 18 Traktor se čtyřmi pásovými jednotkami .....	42
Obr. 19 Traktor s polo-pásovým podvozkem .....	44
Obr. 20 Sklízecí mlátička s polo-pásovým podvozkem .....	44
Obr. 21 Schéma krabího chodu sklízeče cukrové řepy firmy Holmer .....	45
Obr. 22 Speciální osmi-kolový podvozek firmy Pöttinger.....	46
Obr. 23 Traktor osazený speciálními disky ke zvýšení rozchodu kol.....	47
Obr. 24 Znázornění komponent systému Fendt VarioGrip na traktoru .....	48
Obr. 25 Pneumatika Mitas s akumulčním zásobníkem AirCell.....	48
Obr. 26 Systém Gull Wing Double Tyre .....	50
Obr. 27 Zabrzděný návěs na plošině UniCrawler .....	50
Obr. 28 Systém Annaburger UniCrawler .....	51
Obr. 29 Pneumatika Mitas PneuTrac .....	52
Obr. 30 Poloha pozemku .....	53
Obr. 31 Pohled na plochu s minimálním sklonem podél polní cesty.....	55
Obr. 32 Válečky zaklepané v zemi.....	56

Obr. 33 Konečná podoba válečku .....	56
Obr. 34 Displej penetrometru .....	57
Obr. 35 Měření odporu podle šablony.....	58
Obr. 36 Vpichy šikmo na kolej traktoru.....	58
Obr. 37 Vážení zadní nápravy .....	58
Obr. 38 Vážení přední nápravy .....	58
Obr. 39 Vytváření otisků pneumatiky .....	59
Obr. 40 Sycení válečků vodou.....	60
Obr. 41 Závislost objemové hmotnosti na hloubce, místě a tlaku huštění .....	66
Obr. 42 Závislost pórovitosti na hloubce, místě a tlaku huštění.....	67
Obr. 43 Rozdíly objemové hmotnosti půdy.....	68
Obr. 44 Závislost pórovitosti na místě a hloubce odběru vzorků .....	69
Obr. 45 Penetrometrický odpor u nezatíženého traktoru při tlaku 100 kPa .....	70
Obr. 46 Penetrometrický odpor u zatíženého traktoru při tlaku 100 kPa.....	71
Obr. 47 Penetrometrický odpor u zatíženého traktoru při tlaku 200 kPa.....	72
Obr. 48 Závislost penetrometrického odporu na hloubce.....	73
Obr. 49 Rozdíl ve velikosti otisků zadního kola u zatíženého traktoru .....	76

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Hloubka zakořenění vybraných plodin .....	18
Tab. 2 Limitní hodnoty fyzikálních vlastností u jednotlivých druhů půd .....	21
Tab. 3 Limitní objemové hmotnosti pro vybrané plodiny .....	22
Tab. 4 Optimální poměr pórů pro vybrané plodiny .....	23
Tab. 5 Zastoupení prvků.....	25
Tab. 6 Vybrané hodnoty rychlostního indexu SI .....	32
Tab. 7 Vybrané hodnoty hmotnostního indexu LI .....	33
Tab. 8 Nosnost pneumatiky v závislosti na tlaku a rychlosti .....	34
Tab. 9 Vybrané parametry traktoru .....	55
Tab. 10 Formulář pro zapisování hmotností vzorků .....	61
Tab. 11 Limitní hodnoty fyzikálního poškození půdy .....	65
Tab. 12 Naměřené hmotnosti traktoru.....	74
Tab. 13 Rozměry otisků zadní pneumatiky .....	75