

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického zemědělství**



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického  
zemědělství**

**Rozložení kontaktního tlaku v dezénu zemědělské pneumatiky a  
jeho vliv na zhutnění půdy**

Bakalářská práce

Praha 2017

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Krepl CSc.

Vypracovala:

Tereza Vildová

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Rozložení kontaktního tlaku v dezénu zemědělské pneumatiky a jeho vliv na zhutnění půdy“ vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce. Veškerou použitou literaturu a další zdroje jsem uvedla v referencích.

V Praze dne .....

.....

## **Poděkování**

Děkuji tímto svému vedoucímu práce doc. Ing. Vladimíru Kreploví Csc. za cenné rady, pomoc při zpracování bakalářské práce a odbornému vedení při zpracování této bakalářské práce.

Děkuji svým rodičům, že mi umožnili studovat a po celou dobu studia mě podporovali.

## Abstrakt

Problematika zajišťování dostatečného množství potravin pro stále rostoucí počet obyvatel naší planety staví před současnou zemědělskou produkci náročné úkoly. S ohledem na potřebnou intenzifikaci rostlinné výroby se již dávno neobejdeme bez těžké zemědělské techniky, která na jednu stranu umožňuje intenzivní využívání půdního fondu, na druhou stranu však negativně ovlivňuje kvalitu půdy. Zemědělské stroje svou značnou hmotností vyvolávají při pojezdech po orné půdě značné tlaky na půdu a v důsledku působení těchto tlaků dochází ke zhutnění půdy.

V práci byly popsány základní vlastnosti půdy, příčiny i důsledky zhutnění půd, vlastnosti pneumatik používaných v zemědělství a tlaky, kterými tyto pneumatiky působí na půdu. Formou literární rešerše byly současně shrnuty získané informace z odborných článků, které uvádějí do problematiky terramechaniky, středních kontaktních tlaků a vlivu těchto tlaků na půdu. Cílem práce bylo upozornit na nežádoucí vlivy přejezdů po půdě, ale také rozšířit povědomí o konkrétních technologiích, které pomáhají ke snížení kontaktního tlaku v dezénu zemědělské pneumatiky.

Klíčová slova: terramechanika, půda, tlak, pneumatika

## **Abstract**

The questions of ensuring sufficient food for the growing population of our planet give a lot of hard tasks of today's agricultural production. With regard to the necessary intensification of plant production we cannot manage without the heavy agricultural machines which on the one side allow the intensive use of the soil fund on the other side negatively affects the quality of the soil. Agricultural machines are very heavy and so they cause considerable pressure on the soil in the field and due to it the soil become compacted.

In this thesis was describes basic ground properties, causes and consequences of compaction of the soils, properties of tyres using in agriculture and the pressures which these tyres effect the soil. There was also summarizes the information obtained from technical articles in form of literary recherché, which refer to the problems of terramechanics, medium contact pressures end the influence of these pressures on the soil. The objectives of the work was to highlight the unfavourable effect of crossing the soil, but also to increase the awareness of specific technologies that help to reduce contact pressure in the tread of agricultural tyre.

Keywords: terramechanics, soil, pressure, tyre

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Metodika .....	3
4	Literární rešerše .....	4
4.1	Půda .....	4
4.2	Zhutnění půdy .....	5
4.3	Vliv techniky na půdu .....	7
4.4	Pneumatiky .....	8
4.4.1	Vývoj pneumatik .....	8
4.4.2	Pneumatiky pro zemědělské stroje .....	9
4.4.3	Běhoun .....	11
4.4.4	Značení pneumatik .....	13
4.5	Konstrukce podvozků .....	13
4.5.1	Kolové podvozky .....	14
4.5.2	Pásové podvozky .....	15
4.5.3	Kolopásové podvozky .....	18
4.6	Teramechanika .....	18
4.6.1	Kontaktní a specifický tlak .....	20
4.6.2	Měrný tlak .....	24
4.6.3	Vytváření stopy .....	27
4.7	Možná alternativa .....	27
5	Závěr .....	29
6	Reference .....	30

---

## Seznam obrázků

obr. 1 Diagonální a radiální pneumatika (řez) (Zdroj: <a href="http://www.mitas-tyres.com">www.mitas-tyres.com</a> ) .....	10
obr. 2 Dvojmontáž kol (Zdroj: <a href="http://www.alltyres.co.nz">www.alltyres.co.nz</a> ) .....	15
obr. 3 Kombajn s polopásovou nápravou (Zdroj: <a href="http://www.ati-tracks.com">www.ati-tracks.com</a> ) .....	17
obr. 4 Traktor s dlouhými pásy, každý na jedné straně (vlevo) a traktor se systémem Quad-traks, nahrazujícím všechny čtyři kola (vpravo) (Zdroj: <a href="http://www.fginsight.com">www.fginsight.com</a> ) .....	17
obr. 5 Základní druhy kol a terénu (Zdroj: Fries, 2012).....	19
obr. 6 Průběh tlaku pod jednou pneumatikou. (huštění na 8KPa) (Zdroj: Salanci et al.) .....	22
obr. 7 Průběh tlaku pod jednou pneumatikou. (huštění na 120KPa) (Zdroj: Salanci et al.) .....	22
obr. 8 Průběh tlaku pod dvojmontáží. (huštění na 80KPa) (Zdroj: Salanci et al.) .....	23
obr. 9 Plocha otisku $S_o$ (vlevo) a plocha styku $S_d$ (vpravo) (Zdroj: Grečenko).....	24
obr. 10 vznášedlo s postřikovačem na ochranu rostlin.....	28
obr. 11 kolejový řádek (Zdroj: <a href="http://www.leadingfarmers.cz">www.leadingfarmers.cz</a> ) .....	28

## Seznam tabulek

Tab. 1 Kritické parametry půdy (mezní stav zhutnění půdy) (Lhotský, 2000).....	6
Tab. 2 Index rychlosti.....	13
Tab. 3 Střední kontaktní tlak v závislosti na podvozku (Zdroj: Beneš, 2002) .....	26

## Seznam zkratek

aj. – a jiné

atd. – a tak dále

cca – přibližně

Fh – hnací síla

G – tíhová síla

Gk – zatížení kola

GPS – globální polohový systém (Global Positioning System)

js – jmenovitý posun

k – součinitel odvislý od druhu zeminy

kg - kilogram

km – Plnost běhounu

km/h – kilometry za hodinu

kPa – kilopascal

m – metr

m<sup>2</sup> – metr čtvereční

Mh – hnací moment

n – exponent závislý na plasticitě zeminy

např. – například

P – tlak

Pa – Pascal

ps - střední kontaktní tlak

qs – kontaktní tlak



R – valivý odpor

S – plocha

Sb. – sbírka

Sd – plocha dotyku

So – dosedací plocha

tj. – to je

tzv. – tak zvaná

vyhl. č. – vyhláška číslo

Y – normálová reakce zeminy

Y - tíha

z - hloubka

$\sigma$  – tlakové napětí

$\tau$  – smykové napětí

$\tau_{\max}$  – smyková pevnost

# 1 ÚVOD

---

Počátek využívání těžkých strojů v zemědělství souvisel s vynálezem a aplikací parního stroje. K používání strojů vedla zemědělce snaha nahradit namáhavou lidskou práci vykonávanou s využitím hospodářských zvířat a zvýšit objem produkce plodin. Teprve používání spalovacích motorů v zemědělské technice umožnilo její masové nasazení v zemědělské výrobě.

S postupným rozvojem zemědělství a neustálou potřebou zvyšování produkce hospodářských plodin docházelo ke zvyšování výkonu zemědělských strojů a v důsledku toho i k nárůstu jejich hmotnosti. Negativním důsledkem používání těžkých zemědělských mechanismů bylo zvyšování míry poškození prostředí, které je zodpovědné za produkci a podporu zemědělských plodin. Toto poškození může být viditelné z důvodu deformace půdy, nebo zcela zadržené pod zemí a neviditelné na povrchu. Jednoznačně se ukazuje, že používání těžkých zemědělských strojů nepříznivě ovlivňuje zemědělskou rostlinnou výrobu v důsledku zhutňování půdních podmínek.

Současná intenzivní zemědělská výroba by ovšem bez využívání těžké zemědělské techniky, především pak traktorů a kombajnů, nemohla existovat. Ačkoliv používaná těžká mechanizace ovlivňuje opakovanými přejezdy kvalitu zemědělské půdy, je snahou výrobců techniky minimalizovat poškozování půdního profilu snížením kontaktního tlaku na půdu používáním nových technologií podvozků strojů a vývojem vhodných pneumatik.

## 2 CÍL PRÁCE

---

Cílem práce bylo nastínit problematiku zhutnění půd v důsledku jejich zatěžování provozem zemědělské techniky, charakterizovat vlastnosti jednotlivých typů pneumatik zemědělských strojů a rozšířit povědomí o konkrétních technologiích, které pomáhají ke snížení kontaktního tlaku v dezénu zemědělských pneumatik, jako prostředku pro zvýšení kvality půdy.

Mezi další cíle práce patřilo specifikovat jednotlivé půdní typy ve vazbě na problematiku zhutnění. V závěru pak shrnutí zemědělských technologií a možností využití alternativních strojů.

### 3 METODIKA

---

Práce byla vypracovaná jako literární rešerše. Informace jsem vyhledávala především přes internetové databáze Web of Science, ScienceDirect a Web of Knowledge. Hledání v těchto databázích jsem prováděla pomocí klíčových slov. Citace jsou v souladu s pravidly FTZ.

## 4 LITERÁRNÍ REŠERŠE

---

### 4.1 PŮDA

Definice půdy podle ministerstva životního prostředí: „*Půdu lze definovat jako samostatný přírodní útvar vzniklý z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků za působení půdotvorných faktorů.*“. Slouží pro pěstování kulturních rostlin, planě rostoucí vegetaci a je i životním prostředím půdních organismů (Ministerstvo životního prostředí). Nejdůležitější vlastností půdy pro člověka je její úrodnost tj. schopnost půdy poskytovat rostlinám prostředí pro žádoucí růst a vývoj, podmínky pro život mikro a makro organismů a eliminovat změny v půdním prostředí (Bačák, 2011).

Kvalitu půdy lze určit podle jejích indikátorů. Mezi ně patří fyzikální vlastnosti (hloubka půdy, textura, hydraulická vodivost, maximální retenční vodní kapacita, pórovitost, struktura, objemová hmotnost), chemické nebo fyzikálně chemické vlastnosti (obsah a kvalita humusu, obsah celkového dusíku, kationtová výměnná aktivita, reakce (pH), vodivost, obsah živin, nasycenost sorpčního komplexu a hygienické parametry s ohledem na rizikové prvky a organické kontaminanty) a biologické vlastnosti (obsah dusíku a uhlíku v biomase mikroorganismů, potenciálně mineralizovaný dusík, respirace, aktivita půdních enzymů, atd) (Orság, 2006).

Půdu lze rozčlenit do půdních druhů. Každý půdní druh má svou jedinečnou schopnost absorpce přejezdů. Půdní druh je charakterizován zrnitostním složením půdy, které výrazně ovlivňuje fyzikální a technologické vlastnosti půdy (Němeček et al., 1990).

## Rozdělení podle Nováka

- 1) Písčité 0–10 % částic menších než 0,01 mm (půdy lehké)
- 2) Hlinitopísčité 10–20 % částic menších než 0,01 mm (půdy lehké)
- 3) Písčitohlinité 20–30 % částic menších než 0,01 mm (půdy střední)
- 4) Hlinité 30–45 % částic menších než 0,01 mm (půdy střední)
- 5) Jílovitohlinité 45–60 % částic menších než 0,01 mm (půdy těžké)
- 6) Jílovité 60–75 % částic menších než 0,01 mm (půdy těžké)
- 7) Jíl > 75 % částic menších než 0,01 mm (půdy těžké)

## 4.2 ZHUTNĚNÍ PŮDY

Je prokázáno, že zhutňování půdy má za následek snížení pórovitosti, zvýšení objemové hmotnosti půdy, snižuje rychlost růstu kořenů plodin a při vyšším stupni zhutnění působí destrukci půdních agregátů (Javůrek & Vach 2008). To vede ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností půdy např. zadržetí potřebného množství vody v rámci půdního horizontu, snižování propustnosti půdy při absorbování vodních srážek, snižování možnosti horizontálního pohybu vody v půdě (Filipovic et al., 2011). Navíc ovlivňuje vztah mezi teplotou půdy a obsahem vzduchu v kořenovém prostoru rostlin (Javůrek & Vach 2008).

Zhutnění půdy a následné podmínky pro zpracování půdy jsou ovlivňovány předchozími přejezdy traktorů, dopravních prostředků a sklizňových strojů a také těžkými vrstvami sněhu a ledu. Poškození zemědělských půd je ze 45% způsobováno zhutněním. Hlubší kolejové stopy, které se tvoří přejezdy po půdě, často znemožňují využití úsporných postupů mělkého zpracování půdy. O stupni zhutnění rozhoduje, vedle hmotnosti strojů, střední kontaktní tlak na půdu, ale i odolnost půdy vůči zpracování. Kromě kolejových stop může také docházet k překročení kritických hodnot zhutnění (to závisí na vlhkosti půdy v době sklizně) (Hůla & Šimon, 1989; Lhotský, 2000; Keller & Håkansson, 2010). Hloubka nežádoucího zhutnění půdy, způsobeného přejezdy strojů, se pohybuje od 40 cm až po 100 cm. V závislosti na typu půdy se mezní hodnoty kontaktního tlaku pohybují mezi 100 až 160 kPa a v případě překročení se očekává

negativní vliv pneumatiky na půdu (Keller et al., 2007). Na zhutnění, které následně způsobuje větší odolnost při kultivaci půdy, mají vliv nejen přejezdy strojů, ale i několik dalších faktorů. Tyto faktory jsou: hmotnost samotné půdy, nízký obsah organické hmoty a také špatný způsob používání hnojiv (Lhotský, 2000).

Dalším důležitým faktorem zhutňování půd je schopnost absorpce vody (Vaz a Hopmans, 2001). Mnohem pravděpodobnější je, že zhutnění bude mít nežádoucí účinky na mokrou půdu, suchá půda může vydržet vysoké zatížení půdy a vysoký kontaktní tlak bez velkého poškození (Chamen et al., 2003). Dalším faktorem je struktura půdy. Zatížením půdy dochází ke zničení její struktury a to vede ke zhutnění půdní hmoty (Pagliai et al., 2003; Wong , 2010). To má za následek, že půda nemůže absorbovat potřebné množství srážek a odplavuje se. Dále platí, že zhutnění půdy ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy zvýšením hustoty půdy (Schaffer et al. , 2008a, b). Mezi další faktory řadíme pórovitost. Pórovitost je celkové procento pórů nebo porostu v půdě, která není vyplněna pevnou látkou. Umožňuje proudění vzduchu a vody v půdě (Pokorný et al., 2007)

*Tab. 1 Kritické parametry půdy (mezní stav zhutnění půdy) (Lhotský, 2000)*

typ půdy	J	JH	H	PH	HP	P
pd krit.	>1350	>1400	>1450	>1550	>1600	>1700
pórovitost (%)	<48	<47	<45	<42	<40	<38
Penetrační odpor půdy Mpa	2,8-3,2	3,3-3,7	3,8-4,2	4,5-5,0	5,5	>6

Legenda: J- jílní; JH- jílovitohlinitá; H- hlinitá; PH- písčito-hlinitá; HP- hlinitopísčitá; P- písčitá  
pd krit.- kritický limit suché půdy (kg/m<sup>3</sup>)

### 4.3 VLIV TECHNIKY NA PŮDU

Každý přejezd zemědělské techniky po půdě vyvolává napětí, které způsobuje negativní změny měrné hmotnosti půdy a pórovitosti. Vysoká váha těchto strojů způsobuje také deformaci půdního profilu. Extrémní zatížení vede ke snižování objemu půdy a snížení vzdušného prostoru, vody a minerálů. Pokud zatížení přenášené podvozkem traktoru překročí okamžitou únosnost půdy, dochází ke zhutnění půdy. Středně těžké a těžké půdy jsou ke zhutnění náchylnější, ale může to postihnout každý půdní charakter (Bauer, 2006; Busscher a Bauer, 2003).

Hlavní negativní faktory poškozování půdy používáním strojů a ovlivňující zhutnění jsou: opakované přejezdy, hloubka tratě, zatížení náprav, vytvoření stlačené vyjeté stopy. Trať vytvořená přejezdy strojů je prvním signálem deformace půdního profilu. Zvyšování hmotnosti mechanismů vede k nárůstu hodnoty kontaktního tlaku a zároveň negativně ovlivňuje hloubku stopy (Way et al, 1997; Raper et al, 1995).

Prokluz pneumatik tj. protáčení hnacích kol, způsobuje horizontální přesun a zamazání půdy. Dochází při něm k porušení pórů a půdních agregátů. Se zvyšující se hodnotou prokluzu pokračuje zamazání stále hlouběji do půdy. Poškození prokluzem se vyskytuje jako nejčastější poškození v orničním profilu. Prokluz kol, utužení půdy a také přenos výkonu výrazně ovlivňuje šířka pneumatik (Podpěra, 2004).

Provozováním těžkých strojů na polích, se snižuje množství pórů naplněných vzduchem a tím je ovlivněno značné množství fyzikálních vlastností půdy. To má velký vliv a dopad na procesy v půdě, jako je infiltrace, proudění vody v půdě a ochranu vody. Dále může dojít k obstrukci růstu kořenů zapříčiněné zvýšením hustoty půdy. Zvýšená hustota půdy může v hloubkách vyšších než 0,4m zůstat po několik desetiletí nebo může zůstat trvalá. Zvýšení hustoty půdy je nežádoucí pro dlouhodobou produkci rostlin. Proto je nutné, abychom pochopili, jak snižovat hustotu půdy při používání těžkých zemědělských strojů (Trautner, 2003).



## 4.4 PNEUMATIKY

Pneumatiky, které přenášejí hnací sílu motorů zemědělské techniky na povrch půdy, jsou neustále technicky zdokonalovány. Požadavky kladené na tuto důležitou součást strojů jsou stále stupňovány. Zvyšují se výkony motorů (za posledních 15 let se téměř zdvojnásobily), zohledňují se konkrétní půdní a klimatické podmínky pro provoz techniky a na tyto skutečnosti reagují konstruktéři a výrobci pneumatik neustálými inovacemi. V současné době jsou nejvíce využívány pneumatiky bezdušové, radiální, nízkotlaké (Prikner, 2012).

Na pneumatiky jsou kladeny nároky převážně z bezpečnostního, ale i ekonomického hlediska. Z důvodu dynamického namáhání pneumatik je nutné jim věnovat dostatečnou péči, která však bývá velmi často zanedbávána (Dufka, 2010).

### 4.4.1 Vývoj pneumatik

Vývoj pneumatiky byl zahájen použitím železného pásu, který byl umístěn na obvodu dřevěného kola. Později železný pás nahradila gumová obruč, ale ani tento způsob ještě nezajišťoval dostatečný komfort v dopravě. V roce 1888 se Skot John Boyd Dunlop zasadil o rozšíření pneumatik u bicyklů. Současně s výrobou prvních automobilů došlo k rozmachu používání pneumatik, kdy v roce 1895 francouzský Michelin vyrobil první pneumatiku pro osobní automobily. Mezi důležitý mezník patří vytvoření bezdušové pneumatiky v roce 1903, o rok později došlo k vyztužení pneumatiky kordem firmou Good year. Využívání pneumatik se dále rozšiřovalo přes leteckou dopravu až k nákladním automobilům. Další významnou inovaci přinesla opět firma Michelin a to radiální pneumatiku. Roku 1946 byly do běžného provozu konečně představeny bezdušové pneumatiky firmou BF Goodrich. Poté v 80. letech představila firma Pirelli nízkoprofilovou pneumatiku určenou pro sportovní vozy. I přes obrovský vývoj během 20. století dochází i dnes k neustálému zdokonalování pneumatik (Dočkal et al., 1998).

#### 4.4.2 Pneumatiky pro zemědělské stroje

V zemědělství se objevuje velké množství konstrukcí, typů a dezénů pneumatik. Ty nalezneme na trakčních prostředcích, ale také u polonesených a nesených strojů. Pro správné obutí kol musíme znát podmínky povrchu terénu a práci, která se bude vykonávat. Při setí a přípravě půdy je nutné použít pneumatiky, s nimiž bude souprava šetrná a zároveň bude dezén zajišťovat příznivý samočistící efekt. Naopak u orby musí mít vhodnou šířku z důvodu pohybu v brázdě, dobré trakční schopnosti a dostatečný samočistící efekt. Správná volba dále závisí na provedení pneumatiky v závislosti na konstrukční rychlosti. Geometrie dezénu pneumatiky s konstrukční rychlostí do 60km/h je jiná než u pneumatiky s konstrukční rychlostí do 30km/h. Flotační pneumatiky je nutné použít pro obhospodařování rostlin, naopak například pro produkční hnojení je nutné použití kultivačních kol. Závěsné nářadí a stroje často používají kombinaci kol, což se týká například obrabečů, shrnovačů, ale také například zařízení na setí a zpracování půd (Javorek, 2008). U silnějších a těžších traktorů se zvětšuje šířka a průměr pneumatik. To převážně kvůli přenesení výkonu a také aby vyšší hmotnost nepůsobila negativně na půdu. Pneumatiky se liší svou konstrukcí. Historicky byly v zemědělství využívány pneumatiky diagonální, ty jsou v posledních několika letech masově nahrazovány pneumatikami radiálními (Mikulič, 2004).

##### 4.4.2.1 Druhy pneumatik

##### 4.4.2.2 Diagonální

Diagonální pneumatiky mají vlákna kostry kladena křížem a svírají úhel 30-40 stupňů. (Cejlak, 2001). Mezi běhounem a kostrou je umístěný diagonální nárazník, který má za úkol chránit kostru před vniknutím cizích těles. Při vysokých rychlostech může dojít k porušení vláken, vzhledem k jejich délce a odstředivým silám působících při vyšších rychlostech (Motejl & Horejš, 2001).

#### 4.4.2.3 Radiální

Radiální pneumatiky mají na podélnou osu kladena vlákna vnitřní kostry kolmo. Radiální konstrukcí dosahují pneumatiky větší kontaktní plochy s půdou, tím se do záběru dostane větší počet figur, sníží se tak velikost prokluzu a zlepší přenos hnací síly. Konstrukce pneumatiky je opatřena nárazníkovým pásem k zabezpečení stability a zároveň ochrany kostry před vnějšími cizími předměty (Cejlak, 2001).

##### Výhody radiální pneumatiky

- dobrá přilnavost tzn. větší tažná síla a menší prokluz
- nižší spotřeba paliva
- menší zhutnění půdy díky lepšímu rozložení tlaku v půdě
- delší životnost
- vyšší komfort a pružnost
- nižší valivý odpor
- lepší odolnost vůči teplotě a únavě materiálu (Beneš, 2012)

##### Nevýhody radiální pneumatiky

- velká choulostivost na nesprávné huštění
- vyšší cena
- hlučnost na nekvalitním povrchu (Motejl, & Horejš, 2001)



obr. 1 Diagonální a radiální pneumatika (řez) (Zdroj: [www.mitas-tyres.com](http://www.mitas-tyres.com))

#### 4.4.2.4 *Nízkotlaké pneumatiky*

U zemědělské techniky se jeví jako výhodné používání nízkotlakých pneumatik, které snižují negativní působení hmotnosti těchto strojů na půdu. Použití relativně nízkého tlaku v pneumatikách, rozloží působení hmotnosti zemědělského stroje na větší plochy, klesne měrný tlak a tím se omezí zhutnění půdy. Zvláštním používaným druhem nízkotlakých pneumatik jsou pneumatiky flotační (široké nízkotlaké pneumatiky, používané především pro velkotonážní vleky s velkou nosností).

U pláště pneumatik je pro přenos síly hnací jednotky zemědělského stroje nejdůležitějším prvkem běhoun (Motejl & Horejš, 2001).

#### 4.4.3 **Běhoun**

Běhoun je část pláště opatřená vzorkem. Chrání spodní částí pneumatiky proti mechanickému poškození, zajišťuje styk kola s povrchem a má rozhodující význam pro konečné jízdní vlastnosti zemědělského stroje. Hlavní částí běhounu je jeho dezén. Dezén je vyroben z pryžové směsi a tvoří ho příčně a podélně vedené drážky. Příčné drážky mají za úkol zabezpečovat přenos mezi brzdnými a hnacími silami. Podélné drážky přenášejí boční síly a zajišťují boční stabilitu (Motejl & Horejš, 2001).

##### 4.4.3.1 *Druhy dezénu*

#### **Symetrický dezén**

Symetrický dezén je základním uspořádáním dezénových drážek, který je nejčastěji používán u vozidel, na které jsou kladeny nižší nároky. Má v běhounu symetrické drážky, a proto nezáleží na směru montáže pneumatiky (Michelin, 2009).

### **Směrový dezén**

Směrový dezén má na pneumatice uveden směr otáčení, ten je dán směrovým uspořádáním dezénových drážek a většinou je používán pro zimní pneumatiky (Michelin, 2009).

### **Asymetrický dezén**

Asymetrický dezén, je kombinací směrového a symetrického dezénu. Většinou se rozděluje na dvě části a to na vnitřní a vnější. Vnější strana udržuje stabilitu a vede vozidlo v zatáčkách. Vnitřní část přenáší záběrové a brzdné síly na vozovku a stará se o odvod vody (Michelin, 2009).

### **Záběrový dezén**

Záběrový dezén je opatřen šípovým uspořádáním nebo uspořádáním ve formě bloků a to zajišťuje vhodné trakční schopnosti. Používá se pro hnací nápravy mobilních prostředků a při použití stroje v terénu musí obstarávat samočistící efekt (Michelin, 2009).

### **Vlečný dezén**

Pro vlečné nápravy je charakteristický vlečný dezén, který je tvořen několika vedle sebe umístěnými obvodovými drážkami. Vzhledem k tomu, že při manévrování dochází k nejnáročnějšímu namáhání v oblasti nad bočnicí pneumatiky, plní v tomto místě důležitou funkci plný souvislý pás dezénu (Michelin, 2009).

### **Vodící dezén**

Vodící dezén zajišťuje směrovou stabilitu a přesný přenos řídicích sil. To vše díky výrazně vytvořenými obvodovými drážkami. Vodící dezén se používá pro řídicí nepoháněné nápravy traktorů, nákladních automobilů apod (Motejl & Horejš, 2001).

Mezi další typy dezénu patří dezén s technologií dvojího úhlu, který má až o 4% více kontaktní plochy než standardní dezén. Tato technologie zvětšuje záběrovou plochu

a zlepšuje trakci. Záběrová hrana bloků se sníženým úhlem sklonu snižuje utužování půdy a je samočistící (bestdrive, 2017).

#### 4.4.4 Značení pneumatik

Příklad: CONTICONTRACT AC 70 T 280/70 R16 112A8

280 – šířka pneumatiky v milimetrech

70 - profilové číslo

R – konstrukce kostry, radiální pneumatika (diagonální se značí pomlčkou)

16 – průměr ráfku v palcích

AC 70 – označení dezénu

112 – index nosnosti

A8 – rychlostní index

Index nosnosti a rychlostní index jsou důležité parametry, které označují maximální nosnost pneumatiky a maximální možnou rychlost.

Tab. 2 *Index rychlosti*

Index	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B	C	D	E	F	G	J
Km/h	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	80	90	100

#### 4.5 KONSTRUKCE PODVOZKŮ

Podvozek musí přenášet zatížení stroje pohybem stroje v jakémkoli terénu a v různých klimatických podmínkách. Podvozek také zajišťuje manévrovací schopnost, která ovlivňuje výkonnost stroje. Úkolem podvozků strojů je:

- Přenášení hmotnosti a všech sil, které působí na podložku
- Zabezpečení stability stroje při práci určením správného rozložení opěrných bodů, rozměrů a hmotnosti
- Zajištění povoleného kontaktního tlaku na půdu,

- Umožnění přesunutí stroje na jiné místo (Fries, 2012).

Části podvozků strojů jako jsou kola, pásy nebo kombinované tzv. kolopásy, slouží pro styk stroje s podložkou. V terénu, kde je potřebná vysoká pohyblivost a časté přesouvání stroje, jsou nejvhodnějším řešením kolové podvozky.

Ke správnému zvolení typu podvozku musíme znát:

- Druh a stav povrchu terénu na kterém bude stroj pracovat
- Požadované jízdní vlastnosti stroje
- Požadovanou manévrovatelnost strojů

#### 4.5.1 Kolové podvozky

U kolových podvozků slouží ke styku s podložkou právě kola. Hovoříme tak o tzv. kolových traktorech, které jsou dnes nejvíce využívány. Podle velikosti a hmotnosti stroje je dán i počet náprav, nejčastěji se setkáváme s dvounápravovými traktory. U dvounápravových traktorů může být hnací nápravou náprava zadní, přední nebo mohou být poháněné obě nápravy. K přenosu tahové síly využívají dvounápravové traktory se všemi hnacími koly celou hmotnost traktoru. Díky tomuto uspořádání se při stejné tahové síle velice sníží prokluz kol, další výhodou traktoru se všemi hnacími koly je snížením bočního sjíždění traktoru na svazích (Semetko et al., 1986).

Výhody kolových podvozků

- Hmotnost podvozku tvoří z celkové hmotnosti stroje cca 20% (u pásového je to 30-40%)
- Mají vyšší životnost danou menším počtem třecích částí
- Především na tvrdém povrchu mají menší dynamické namáhání při pojezdu a tím také menší opotřebení částí
- Možnost vyšší rychlosti (až 35km/h)
- Levnější náklady na přepravu, protože není potřeba podvalníku
- Nepoškozují povrch vozovky

I přes množství výhod kolových podvozků, mají značnou nevýhodu v tom, že působí na půdu větším kontaktním tlakem a tím dochází k vyšší úrovni zhutnění než u pásových podvozků.

#### 4.5.1.1 Dvojmontáž kol

Dvojmontáž kol se používá především k eliminaci zhutňování půd, které vzniká při přejezdech traktoru po méně únosných půdách. Použitím dvojmontáže dosáhneme lepšího přenosu výkonu traktoru, přičemž se současně snižuje možnost prokluzu. U dvojmontáží je styčná plocha na jedno kolo menší než u standardního obutí, což je způsobené větším rozložením hmotnosti, traktor se pak méně propadá (Beneš, 2002).



obr. 2 Dvojmontáž kol (Zdroj: [www.alltyres.co.nz](http://www.alltyres.co.nz))

#### 4.5.2 Pásové podvozky

Pásové traktory jsou použity především k nejtěžším pracím a při podmínkách, kdy se požaduje malý měrný tlak na půdu. Využívá se celková hmotnost traktoru k dosažení velkých tlakových sil. Pásové traktory dosahují nízkého měrného tlaku na půdu díky



velké styčné ploše pásů s půdou (cca 40-70 kPa). Při zatáčení vozidla má poškození půdy povrchový charakter a stlačení půdy do hloubky také není výrazné. Oproti kolovým podvozkům jsou ale provozní náklady a náklady na opravy pásových podvozků několikanásobně vyšší.

Výhody pásových podvozků - dobrá stabilita, lepší tahové vlastnosti, dobrá pojízdnost po málo únosných terénech, nízký měrný tlak na půdu a využívání tahové síly použitím vlastní tíhy.

Nevýhody pásových podvozků - oproti kolovým podvozkům: vyšší pořizovací cena, technicky a finančně náročnější údržba, komplikovaná přeprava zemědělské techniky po komunikacích (Semetko et al., 1986).

Pro traktory existují 3 typy pásových podvozků: Quad-tracks (pojezdový pás je použit místo každého ze čtyř kol), dva dlouhé pásy (na každé straně traktoru je jeden pojezdový pás) nebo polopásové podvozky (u kombajnů většinou pásy na předních nápravách a kola na zadních nápravách, u traktorů většinou naopak) (Keller, 2016).

Pásová jednotka, která nahrazuje pneumatiky trojúhelníkovým pásem, se skládá z centrálního nosníku, hnacího a napínacího kola, středové vodící kladky, pásu a napínacího mechanismu. Do konstrukce traktoru, díky tomu, že není potřeba další úprava podvozku (vše je řešeno pouze záměnou kol za trojúhelníkový pás), není nutné dále zasahovat (Krůtiš, 2010).

Pásová jednotka, stejně jako klasický pásový podvozek, má větší styčnou plochu pod pásy, nižší měrný tlak a tím působí i menší zhutnění půdy (Krůtiš, 2010).

Jedním z hlavních důvodů pro použití gumových pásů místo pneumatik na zemědělské technice je snaha o zmírnění zhutnění půdy, ke kterému dochází vzhledem k větší styčné ploše trati ve srovnání s pneumatikou. Dalším důležitým důsledkem použití pásů je zlepšení průchodnosti, tj. umožnění provozu při vysokém zatížení na mokré půdě (Keller, 2016).



obr. 3 Kombajn s polopásovou nápravou (Zdroj: [www.ati-tracks.com](http://www.ati-tracks.com))



obr. 4 Traktor s dlouhými pásy, každý na jedné straně (vlevo) a traktor se systémem Quad-traks, nahrazujícím všechny čtyři kola (vpravo) (Zdroj: [www.fginsight.com](http://www.fginsight.com))

### 4.5.3 Kolopásové podvozky

Za kolopásový traktor se označuje kolový traktor s neřiditelnými předními koly, který má přes přední a zadní pneumatiky nataženy pásy podobné jako u polopásů. Měrný tlak ve stopě u kolopásových podvozků se pohybuje okolo 70-80 kPa. Nevýhodou je obtížné najíždění z cest na strmější svahy a opačně. Dnes se kolopásové podvozky využívají především u těžších strojů používaných v lesnictví (Semetko et al. 1986) .

## 4.6 TERAMECHANIKA

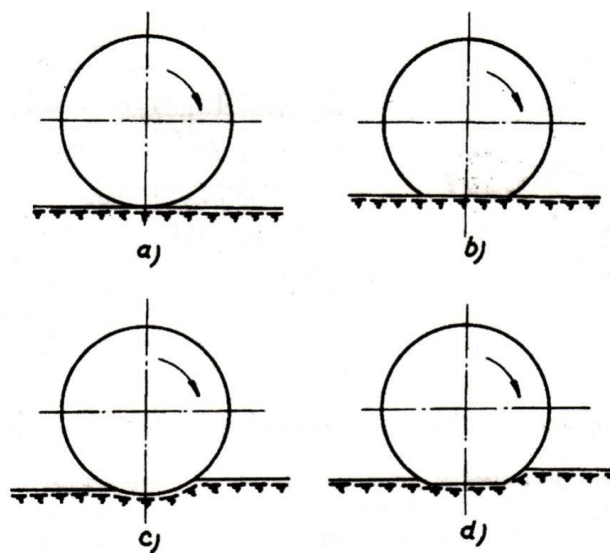
Teramechanika je vední obor, který se zabývá jevy, které vznikají při styku jedoucího stroje s podložkou. Jevy, které vznikají při pojezdu po podložce, jsou:

- Vznik stopy
- Stlačení půdy
- Odpor při jízdě
- Pohyblivost jedoucího mechanismu v terénu
- Záběrové vlastnosti jedoucího mechanismu

Teramechanika má za úkol na základě teoretických poznatků ověřených v provozu zlepšovat pojezdové vlastnosti mechanismů. Především pak má za úkol zdokonalovat jízdni odpor, prokluz, stlačení půdy, adhezi, schopnost plynulé jízdy po nerovném terénu a překonávání překážek v terénu. Význam má především v tom, že její znalost umožňuje navrhnout nejvhodnější typy podvozků strojů pro určité typy terénu, tím výrazně ovlivnit práci strojů. (Salanci et al., 1989). Podrobně se zabývá vytvářením stop v půdě pohybujícím se podvozkem, možnostmi, které má stroj v určitém terénu a také záběrovými vlastnostmi různých typů podvozků.

Podle Frieše (2012) je při zkoumání styku kola s podložkou nutné rozeznávat tyto čtyři případy:

1. Tuhé kolo na pevné podložce (obr.5a). Nedochozí k poškození (deformaci) podložky ani kola. Ve skutečnosti velmi malé deformace existují, ale jsou zanedbatelné. (ocelové kolo na kolejnici)
2. Pružné kolo (pneumatika) na pevné podložce (obr.5b). Nedochozí k poškození podložky, k deformaci kola však ano. O velikosti deformace rozhoduje tuhost kola (tuhost pláště) a tlak huštění. (stroj s pneumatikami na pevné vozovce)
3. Tuhé kolo na měkké podložce (obr.5c). U kola z deformaci nedochází, půda však vykazuje silné poškození. (špatné zvolené obutí na měkké půdě, poté dochází k silnému zhutnění)
4. Pružné kolo na měkké podložce (obr.5d). Dochází k deformaci kola i podložky. Nutné znát charakteristické vlastnosti půdy, pneumatiky, stroje, podvozku atd. pro výpočet ideálního složení (aby bylo co nejmenší poškození půdy)



obr. 5 Základní druhy kol a terénu (Zdroj: Fries, 2012)

#### 4.6.1 Kontaktní a specifický tlak

Kontaktní tlak je tlak, který vzniká přenášením hmotnosti stroje pneumatikou nebo pásem na povrch půdy. Pokud dokážeme snížit kontaktní tlak, sníží se také zhutnění půdy. (Arvidsson et al, 2002). Při přejezdu stroje přes podložku vzniká kontakt kola nebo pásu s podložkou tzv. dotyková plocha. Kolový podvozek má dotykovou plochu ve tvaru elipsy a pásový ve tvaru obdélníku (Raper et al., 1995). Poměr dotykové plochy, k ploše vytlačené pneumatikou, se nazývá plnost běhounu ( $k_m$ ),

$$k_m = \frac{S_d}{S_o}$$

kde  $S_d$  je dotyková rovina plochy a  $S_o$  je dosedací rovina plochy eliptické.

Kontaktní neboli dotyková plocha a její velikost, závisí především na deformačních vlastnostech pneumatiky a charakteristice půdy. Tuto velikost je obtížné stanovit. Deformace půdy je závislá na fyzikálních a chemických vlastnostech půdy a je ovlivněna zejména tlakem a zatížením půdy. Při určitém tlaku v pneumatikách se pneumatika chová jako pevná konstrukce. Při nižším tlaku huštění se pneumatika stlačuje a tím ovlivňuje velikost plochy otisku. Teoretické modely pro výpočet kontaktní plochy, které nejvíce odrážejí skutečnost, zvažují dvě základní možnosti. První model popisuje pneumatiku na tvrdém a pevném povrchu. Šířka pneumatiky je dána stlačením a průměrem pneumatiky. To vede k vytvoření malých odchylek a nastává problém s tím, který diagonální průměr použít. Tento teoretický model na tvrdé půdě vyvinul Ziani a Biarez (1990). Další teoretický model pneumatiky na měkké půdě vyvinul Schwanghart (1990). Modely jsou založeny na teorii, kde je oblast dotyku pneumatiky považována za závislou proměnnou a parametry půdy a pneumatiky za nezávislé proměnné. Obecně platí, že použité parametry pneumatik jsou: huštění pneumatik, průměr pneumatik šířka pneumatiky nebo její tuhost. Parametry půdy jsou především odolnost proti pronikání, vlhkost nebo elasticita. Tvar a velikost kontaktní plochy závisí na konstrukci pneumatiky, použitém huštění a zatížení pneumatiky. Dále pak na charakteristikách půdy. Na tvrdém povrchu mají úzké pneumatiky s vysokým průměrem a vysokým tlakem huštění tvar

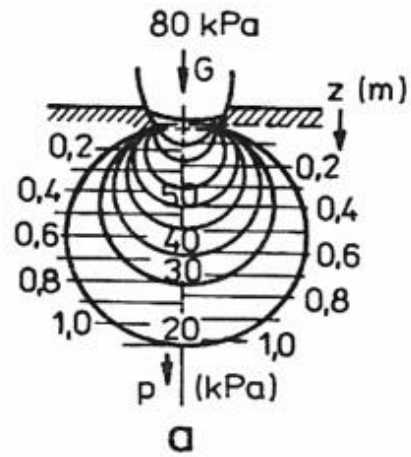
kontaktní plochy eliptický. Pokud se šířka pneumatiky zvýší, bude její tvar zesílený (Volejníková, 2017)

U hnacího kola působí svým účinkem hnací moment, který vyvolává v půdě smykové napětí  $\tau$  (na rozdíl od hnaného kola, u kterého dochází k zatížení podložky jen tlakovými silami). Kolmý směr na dosedací plochu má tlakové napětí vyvolané zatížením kola, které se značí  $\sigma$ . Tlakové napětí lze rozdělit na složku rovnoběžnou s povrchem (valivý odpor  $R$ ) a složku kolmou na povrch (normálová reakce zeminy  $Y$ ). Přenosem hnacího momentu  $M_h$  je vyvoláno smykové napětí  $\tau$ , které má rovnoměrný směr s povrchem a jeho výslednice udává hnací sílu  $F_h$ . Smykové napětí a kontaktní tlak způsobují výsledné zatížení půdy pod koly nebo pásy. Kontaktní tlak je napětí mezi dosedací plochou a nápravou, je kolmý na povrch podložky a působí v dosedací ploše. Jeho střední velikost  $P_s$  je vyjádřena vztahem:

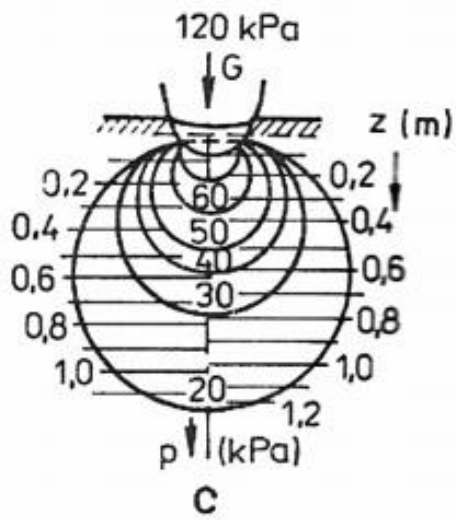
$$p_s = \frac{G_k}{S_o} = \frac{Y}{S_o} (Pa)$$

Kde  $G_k$  je zatížení kola (nebo normálová reakce  $Y$ ) a  $S_o$  je dosedací plocha (Salanci et al. 1989; Vavřín, 2006).

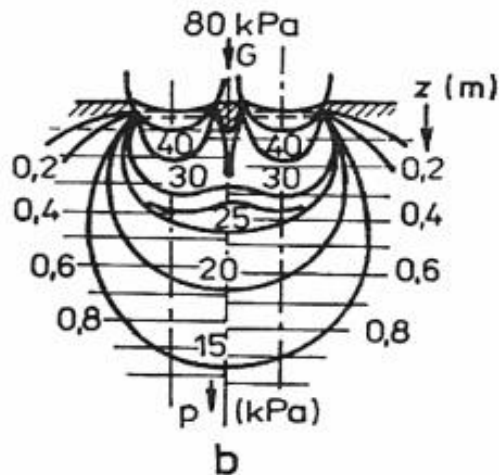
Oblast nejvyšších tlaků se při pohybu po tuhé podložce posouvá ve směru jízdy. Zatížení kol určuje hodnotu konstantního tlaku  $p_s$ . Stejně jako tlak vzduchu v pneumatice tak i objem pneumatiky se při zatížení mění jen velmi málo. Stlačený vzduch v pneumatice přenáší převážnou část zatížení kola, kostra pláště pneumatiky přenáší jen menší část. Pomocí izobar (křivek napětí) se nejčastěji znázorňuje průběh tlaku na půdu (obr. č. 5 a 6 (Vavřín, 2006). Van der Akker (1992) experimentem zjistil, že napětí v podloží je mnohem nižší u dvojitých náprav v porovnání s jednotlivými koly.



obr. 6 Průběh tlaku pod jednou pneumatikou. (huštění na 8kPa) (Zdroj: Salanci et al.)



obr. 7 Průběh tlaku pod jednou pneumatikou. (huštění na 120kPa) (zdroj: Salanci et al.)



obr. 8 Průběh tlaku pod dvojmontáží. (huštění na 80kPa) (Zdroj: Salanci et al.)

Kontaktní tlak vytvořený zemědělskými stroji může být snížen zvýšením kontaktních ploch země:

- používáním pásu místo pneumatik
- používáním více pneumatik
- snížením tlaku v pneumatikách

Použitím pásových traktorů, se kontaktní plocha sníží oproti kolovým (Brown et al., 1992).

Velikost kontaktního tlaku závisí na zatížení nápravy a na svislé síle působící na kolo. Při jízdě na nerovném povrchu může sklon podloží, náklon stroje, nerovnoměrné zatížení strany stroje, atd. měnit velikost tlaku. Nejdůležitější faktory ovlivňující nebo měnící kontaktní tlak jsou:

- rychlost stroje
- tlumení kolísání náprav
- systém zavěšení (Celjak, 2013)

Mimo svislých sil přenášených k zemi, se vyskytují také vodorovné síly, které jsou způsobeny přenášením tahové nebo brzděné síly na povrch podloží ve směru pohybu vozidla. Závisí na smykovém tření, konstrukci stroje a stylu jízdy (Celjak, 2013).



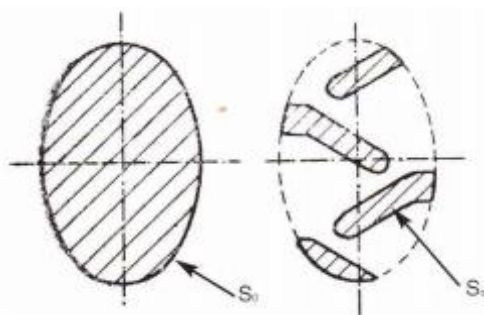
#### 4.6.2 Měrný tlak

Měrný, neboli střední kontaktní tlak pneumatiky vzniká při kontaktu kola s podložkou. Je to tlak, přenášený kolmo na podložku a působící v dosedavé (styčné) ploše pneumatiky.

Zhutňování půd ovlivňuje plocha styku a otisku, čímž je charakteristické každé pojezdové ustrojí. U podložek s malou únosností, to je např. podmáčená nebo nakypřená půda, vzniká plocha otisku. Podle Nerudy a Simanova (2006) jsou tyto plochy charakterizovány následovně:

- plocha otisku  $S_o$  – celková konstantní plocha mezi podložkou a pneumatikou, ohraničená obrysovou čarou
- plocha styku  $S_d$  – část plochy otisku vymezená dezénem pneumatiky, který je v přímém kontaktu s podložkou.

Poměr plochy styku a plochy otisku se nazývá plností vzorku běhounů, který dosahuje 30 až 60% na tuhé podložce (plocha otisku má na tuhé podložce tvar elipsy). Velikost plochy styku  $S_d$ , pokud je pneumatika vystavena stejné zátěži, závisí na profilu dezénu pneumatiky, konstrukci pneumatiky, tlaku huštění a také na vlastnostech podložky. Na měkkém podkladu oproti tvrdé podložce dojde k zaboření do větší hloubky a k vytvoření větší plochy styku pneumatiky s podkladem (Grečenko, 1963).



obr. 9 Plocha otisku  $S_o$  (vlevo) a plocha styku  $S_d$  (vpravo) (Zdroj: Grečenko)

Pro rozložení tlaků v půdě platí, že při použití menší pneumatiky dosahují menší hloubky, mají menší stranový rozptyl než při použití velké pneumatiky. Pokud dvě pneumatiky se stejným průměrem mají rozdílnou šířku, pak pod užší pneumatikou lze očekávat menší stranový rozptyl a větší zasaženou hloubku. U pneumatiky se stejným zatížením a tlakem vzduchu rozhoduje o rozložení tlaků charakteristika půdního profilu. Na tvrdé podložce je větší stranový rozptyl, ale menší zasažená hloubka. Čím vlhčí a tvárnější je půda, tím se zmenšuje stranový rozptyl a naopak zvyšuje zasažená hloubka (Grečenko, 1963; Raper et al., 1995).

U dopravních prostředků je zcela zásadním parametrem vysoká přepravní kapacita. Ta je vždy limitovaná maximální nosností podvozku. Dle Vyhl. č. 102/1995, vyplývající ze Zákona č. 38/1995 Sb. o technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích, měrný tlak působící mezi vozovkou a otiskem dezénu pneumatiky nápravy se statickým zatížením nad 10 tun, nesmí překročit hodnotu 800kPa a u nápravy se statickým zatížením do 10 tun včetně, nesmí překročit hodnotu 1000kPa. Je-li hnací náprava vybavena dvojitou montáží kol pneumatik, nesmí celková hmotnost být vyšší než 26 tun. Pokud je vozidlo zatíženo dvěma nápravami, celková hmotnost nesmí překročit 18 tun, se třemi nápravami nesmí být vyšší než 25 tun. Celková hmotnost vozidla je součet užitečné a pohotovostní hmotnosti. Užitečná hmotnost vozidla je hmotnost nákladu, osob, a pomocného či pracovního zařízení (jeřáby, protizávaží, aj.). Pohotovostní hmotnost je hmotnost celkově vybaveného vozidla pro jízdu. Celková povolená maximální hmotnost je 48 tun (Sbírka zákonů, 1995).

Aby se zvýšila efektivita práce a produkce potravin, hmotnost používaných zemědělských strojů se zvyšuje a lze předpokládat, že se bude zvyšovat i nadále (Håkansson a Danfors, 1981). Proto je nutné přijít s technickým řešením, které bude pomáhat snižovat riziko zhutňování. Zásadní je umožnit snížení tlaku v pneumatikách, vhodně zvolit uspořádání kol, využívat nápravy s pásy místo kol a vyvíjet automatizované stroje s nízkou hmotností (Van den Akker et al., 2003; Radford et al., 2001).

Střední kontaktní tlak je závislý na tíhové síle a na ploše, na které tíhová síla působí. Rozhodující roli zde hraje především šířka použitých pneumatik, tlak vzduchu v pneumatice a konstrukce pneumatiky (Celjak, 2001).

Tab. 3 Střední kontaktní tlak v závislosti na podvozku (Zdroj: Beneš, 2002)

stroj	lehký traktor	výkonný traktor	výkonný traktor	výkonný traktor
pneumatiky	standardní	standardní	dvojmontáž vzadu	dvojmontáž obou náprav
rozměr pneumatik vpředu	480/65 R24	600/65 R34	600/65 R34	600/65 R34
rozměr pneumatik vzadu	540/65 R38	650/85 R38	650/85 R38	650/85 R38
celková hmotnost (kg)	5400	11500	11800	12000
hmotnost na přední nápravu	2700	5750	5750	5950
hmotnost na zadní nápravu	2700	5750	6050	6050
styčná plocha vpředu (m <sup>2</sup> )	2*0,16	2*0,22	2* 0,22	4*0,16
styčná plocha vzadu (m <sup>2</sup> )	2*0,21	2*0,27	4*0,20	4*0,20
celková styčná plocha (m <sup>2</sup> )	0,74	0,98	1,24	1,44
střední kontaktní tlak vpředu (kPa)	84,4	130,7	130,7	93
střední kontaktní tlak vzadu (kPa)	64,3	106,5	75,6	75,6

V tabulce 3 můžeme vidět teoretický vliv šířky pneumatik na kontaktní tlak. Nejmenší kontaktní tlak je u lehkého traktoru, avšak pro polní práce se používají spíše výkonnější a těžší traktory. Proto nejvýhodnější by v této situaci byla dvojmontáž. Pro výpočet kontaktního tlaku byl použit vzorec  $q_s=Y/S$  kde Y je tíha a S je plocha. V celkovém výsledku je u dvojmontáží plocha styku o 35 % větší. Měrný tlak má vliv na zhutnění půdy tzn., že u dvojmontáže se promítne do nejmenší hloubky. V některých zemích se již používají trojmontáže kol (Beneš, 2002).

### 4.6.3 Vytváření stopy

Pokud se stroj pohybuje po neúnosném terénu, dojde tlakem v dosedací ploše k poškození zeminy, neboli k vytvoření stopy. Pneumatiky v měkké zemině tvoří dosedací plochu s menším zakřivením než je poloměr pneumatiky. Díky tomu při výpočtech můžeme pružný obvod pneumatiky nahradit obloukem tuhého kola s příslušně větším průměrem. Vztah mezi zabořením pneumatiky a středním kontaktním tlakem  $p_s$  je:

$$p_s = k * z^n \text{ (Pa)}$$

$k$ = součinitel odvislý od druhu zeminy

$n$ = exponent závislý od stupně plasticity zeminy

$n= 0$ - Zemina v kašovitém stavu

$n= 0,5$  měkká plastická zemina

$n= 1$  pevná plastická zemina

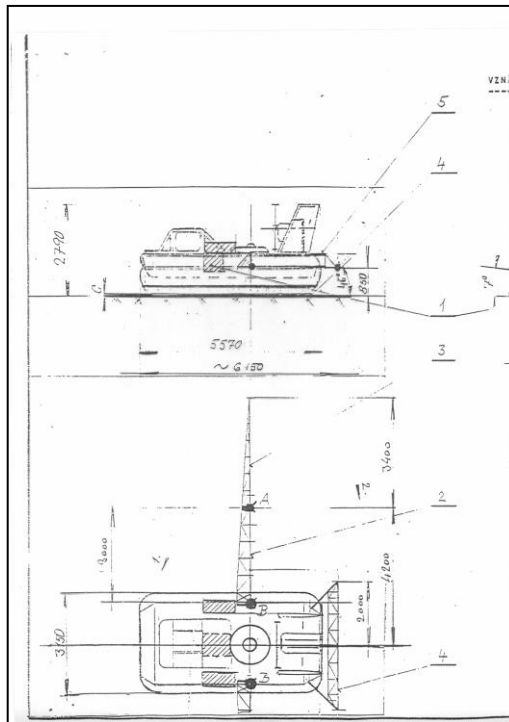
$z$ = hloubka

Mechanismus uvnitř podložky vyvolává při jízdě stroje po podložce smykové napětí  $\tau$ . Při zvyšování kontaktního tlaku  $p$  roste smyková pevnost  $\tau_{\max}$  a také se posouvá jmenovitý posun  $j_s$ . Pokles smykového napětí nastává při určité smykové pevnosti. Se vzrůstajícím posuvem na kypré zemině je postupný nárůst smykového napětí (Grečenko, 1968).

## 4.7 MOŽNÁ ALTERNATIVA

### **Vzduchový polštář neboli „vznášedlo“**

Vznášedla se v zemědělství využívají jako nosiče nářadí na ochranu rostlin. Při ochraně rostlin, i když jsou jen ve vegetativním růstu třeba jako obilí, může vznášedlo do porostu vjet (vlétnout), porost se rozhrne a po několika hodinách se vrátí do původní polohy. Použitím vznášedla se půda neutlačuje (Krepl, 2015).



obr. 10 vznášedlo s postřikovačem na ochranu rostlin

Kolejové řádky postřikovačů na ochranu rostlin, které se dnes běžně využívají na celém světě (ne v nejméně rozvinutých zemích), vytváří řádky (stopy, pruhy) v porostu, kde plodiny nemohou vyrůst. Dále tyto kolejové řádky zhutněním orniční i podorniční vrstvy půdy narušují kapilaritu a můžou narušit či změnit směr proudění spodní vody. Využitím postřikovačů umístěných na vznášedle se tak eliminuje poškození půdy.



obr. 11 kolejový řádek (Zdroj: [www.leadingfarmers.cz](http://www.leadingfarmers.cz))

## 5 ZÁVĚR

---

Pro pěstování plodin je kvalitní půda nejdůležitějším faktorem. Z důvodu zvyšování hmotnosti strojů a tím k větším tlakům na půdu při používání zemědělských mechanismů, dochází ke zhutnění půd. Zhutnění půd vede ke zhoršení fyzikálních vlastností půdy, má za následek snížení pórovitosti, snížení rychlosti růstu kořenů plodin, snížení schopnosti půdy zadržovat vodu a zvýšení objemové hmotnosti půdy. V krajních případech může docházet až k destrukci půdních agregátů. Zhutnění je způsobené převážně opakovanými přejezdy traktorů a jiné zemědělské techniky. O míře zhutnění půdy rozhoduje střední kontaktní tlak působící na podloží, ten lze ovlivnit vhodnou volbou použitých pneumatik a optimálním typem zvoleného podvozku.

Při navrhování nejvhodnějších typů podvozků pro určitý terén je využívána terramechanika, která na základě teoretických poznatků ověřených v provozu pomáhá zlepšovat jezdové vlastnosti mechanismů, především pak prokluz, stlačení půdy, jízdní odpor atd.

Mezi nejšetrnější pneumatiky pro půdu patří nízkotlaké radiální pneumatiky, které díky větší kontaktní ploše s půdou dostanou do záběru větší počet figur a tím se sníží velikost prokluzu a také tlak na půdu. Podvozky, které se využívají pro zemědělské stroje, mají různé podoby. Základní jsou tzv. kolové podvozky, u těch však nelze razantně snižovat působení kontaktního tlaku na půdu. Proto se často používá dvojmontáž, u které se snižuje možnost prokluzu, plocha zasažená přejezdem je sice větší, ale díky rozložení hmotnosti působí menším tlakem na půdu, a tím dochází ke snížení zhutnění půd. Na málo únosných půdách, jejichž obdělávání je možné pouze při malém středním kontaktním tlaku, se jako nejvhodnější jeví zvolit pásové a polopásové podvozky.

## 6 REFERENCE

---

Arvidsson, J., Trautner, A., Keller, T., 2002. Influence of tyre inflation pressure on stress and displacement in the subsoil

Bačák J. 2011. Problematika utužení a zhutnění půd technikou v rostlinné výrobě. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Brno.

Bauer F, Sedlák P, Šmerda T. 2006. Traktory. vyd. 1. Praha. Profipress, 192s. ISBN: 80-86726-15-0

Beneš P. 2002. Moderní technologie pojezdu a ochrana půdy. Mechanizace zemědělství: Odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku. 8: s.26-28

Beneš P. 2012. Vydařená prezentace pneumatik Trelleborg. Mechanizace zemědělství: Odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku. č. 11.

Bestdrive. 2017. Radiální zemědělské pneumatiky: Navrženo pro rostoucí výnosy. [online] Praha. Available at [https://www.bestdrive.cz/cs/download/53-ag-sortiment\\_firestone.pdf](https://www.bestdrive.cz/cs/download/53-ag-sortiment_firestone.pdf) (accessed on 23 March 2017)

Brown, H.J., Cruse, R.M., Erbach, D.C., Melvin, S.W., 1992. Tractive device effects on soil physical properties. Soil Till. Res. 22, 41–53

Busscher, W.J., Bauer, P.J., 2003. Soil strength, cotton root growth and lint yield in a southeastern USA coastal loamy sand. Soil Till. Res. 74, 151–159, doi:10.1016/j.still.2003.06.002

Celjak I. 2001. Tlak vzduchu v pneumatikách. Mechanizace zemědělství: Odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku. 6: 25-27s.

Celjak, Ivo. 2013. Dopravní a manipulační technika. České Budějovice, Available at: <http://kzt.zf.jcu.cz/studentum/vyukove-materialy/> Accessed 2015- 11-10.

Česko. Ministerstvo životního prostředí. Podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění, obecnou ochranu územní a druhů a zvláštní ochranu územní a druhů. Sbírka zákonů České republiky. 1992. Dostupné na

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice\\_pudy/\\$FILE/OOHPP](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP)  
Definice\_pudy-20080820.pdf.

Česko. Vláda. Zákon č. 38/1995 Sbírka o technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích legislativou. Vyhl. č. 102/1995. Sbírka zákonů České republiky. 1995. Dostupné také na: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-38>.

Dočkal V, Kovanda J, Hrubec F. 1998. Pneumatiky. vyd. 1. Praha. ČVUT, 50s. ISBN 80-01-01882-2

Dufka R. 2010. Konstrukce pneumatik a jejich provozní vlastnosti. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Brno.

Filipović D., Husnjak S., Košutić S., Gospodarić Z., Kovačev I., Čopec K., 2011. Impact of the repeated tractor passes on some physical properties of silty loam soil. POLJOPRIVREDA 17:2011 (2) 43-48

Fries J. 2012. Zemní stroje. Učební text. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Ostrava

Grečenko A. 1963. Kolové a pásové traktory. Praha. Státní zemědělské nakladatelství. 402s.

Håkansson, I., Danfors, B., 1981. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth

Hůla J, Šimon J. 1989. Systémy zpracování půdy a způsoby snižování nadměrného tlaku na půdu. ÚVTIZ. Praha.č. 5: 44s.

Chamen T., Alakukku L., Pires S., Sommer C., Spoor G., Tijink F., Weisskopf P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2. Equipment and field practices Soil Till. Res., 73 (2003), pp. 161–174

Jandák, Jiří; Pokorný, Eduard; Prax, Alois. 2007, Půdoznalství. 2. vyd. /. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. 142 s. ISBN 978 – 807 - 1575- 597.

Javůrek M, Vach M. 2008. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Praha. Výzkumný ústav rostlinné výroby. 26s. ISBN 978-80-87011-57-7



Keller T, Advirdson J. 2016. A model for prediction of vertical stress distribution near the soil surface below rubber-tracked undercarriage systems fitted on agricultural vehicles. Soil and Tillage Research. Zürich, Switzerland. Volume 155 . 8s.

Keller T., Défossez P., Weisskopf P., Arvidsson J., Richard G. 2007: SoilFlex: A model for prediction of soil stresses and soil compaction due to agricultural field traffic including a synthesis of analytical approaches, Soil Till. Res. 93 391-411

Keller, T., Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma. S. 398-406. ISSN 0016-7061

Kovaříček P, Hůla J. 2004. Metoda automatického sledování strojních souprav a vyhodnocení dat. In Informačné technológie v manažmente výrobných systémov: Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie. Nitra. s.119-124. ISBN: 80-8069-364-1

Krepl, V. 2015. Non-contact manipulation. Agri-business development branch. UNIDO, Vienna, Austria.

Krůtiš M. 2010. Kola versus pásy II. Mechanizace zemědělství: Odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku. 2: 22.-25s.

Lhotský, J.: Soil compaction and measures against it [in Czech, abstract in English]. Study Inf Plant Product No. 7, Prague: IAEI; 2000

Michelin. 2009. Manuál pro profesionály. Valivý odpor- podíl pneumatiky. In Manuál pneumatik pro osobní vozidla a tlaku huštění. Maďarsko. Michelin Hungaria. 254s.

Mikulič M. 2004. Pneumatiky z nové haly. Mechanizace zemědělství: Odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku. 6: 25-27s.

Motejl V, Horejš K. 2001. Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů. Littera. Brno. 600s.

Němeček J, Smolíková L, Kutílek M. 1990. Pedologie a paleopedologie. Praha. Academia. 552s. ISBN 80-200-0153-0

Neruda, J., a kol., 2005. Metody pro zlepšení determinace poškození kořenů stromů ve smrkových porostech vyvážecími traktory. Brno, MZLU v Brně, 176 s. ISBN 80 - 7157 - 831 - 2.

Pacas, B. 1986. Teorie stavebních strojů. 2.nezměněné. Praha: SNTL, 1986. 244s. 411 - 33725

Pagliai, M., Marsili, A., Servadio, P., Vignozzi, N., Pellegrini, S., 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. Soil and Tillage Research 73, 119–129

Podpěra V, ANSER spol.s.r.o., Jiříčková L, Jílek L, VÚZT, Syrový O, Holubová V, Luňáček M, Gerndtová I, Košek V. 2004. Radiální, nebo diagonální pneumatiky?. Mechanizace zemědělství. 7: 54-56s.

Prikner P. 2012. Vliv zatížených pneumatik na půdu. Zemědělec. 44: 11-12s.

Radford, B.J., Yule, D.F., McGarry, D., Playford, C., 2001. Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments. Soil Till. Res. 61, 157–166

Raper R.L. 2004. Agricultural traffic impact on soil. Journal of Terramechanics. USA. 42: 259-280s.

Raper, R.L., Bailey, A.C., Burt, E.C., Way, T.R., Liberati, P., 1995. The effects of reduced inflation pressure on soil-tyre interface stresses and soil strength. J. Terramechanics 32, 43–51

Salanci J, Jech J, Kuráň J. 1989. Teória polnohospodárskych strojov. Alfa Bratislava. 364s.

Semetko J a kolektiv. 1986. Mobilné energetické prostriedky: Traktory a automobily 3. 2.vyd. Bratislava. 453s.

Schaffer, B., Mueller, T.L., Stauber, M., Muller, R., Keller, M., Schulin, R., 2008b. Soil and macro-pores under uniaxial compression. II. Morphometric analysis of macro-pore stability in undisturbed and repacked soil. Geoderma 146, 175–182

- Schaffer, B., Stauber, M., Mueller, T.L., Muller, R., Schulin, R., 2008a. Soil and macropores under uniaxial compression. I. Mechanical stability of repacked soil and deformation of different types of macro-pores. *Geoderma* 146, 183–191
- Schwanghart, H. 1990. Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil. Proc. 10th ISTVS Conf, Kobe Aug 20-24, 1990. I:193-204
- Trautner, A. (2003) On soil behaviour during field traffic. [MSc.], Swedish University Agricultural Science, Uppsala, Sweden
- Van den Akker, J.J.H., 1992. Stresses and required soil strength under terra tyres and tandem and dual wheel configurations
- Van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J., Horn, R., 2003. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. *Soil Till. Res.* 73, 1–8
- Vavřín J. 2006. Rozbor procesu působení podvozků lesních stojů na půdu. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno
- Vaz, C.M.P., Hopmans, J.W., 2001. Simultaneous measurement of soil strength and water content with a combined penetrometer-moisture probe. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65 (1), 4–12
- Volejníková B. 2017. Improvement in tyre soil compaction rating for global agricultural systém. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita. Praha
- Way, T.R., Kishimoto, T., Burt, E.C., Bailey, A.C., 1997. Tractor tire aspect ratio effects on soil stresses and rut depths, *Trans. ASAE* 40, 871-881
- Wong, J. 2010. *Terramechanics and off-road vehicles engineering*. Second edition. xix, 463 pages. ISBN 9780750685610
- Ziani, F., Biarez (1990). Pressure sinkage relationship for tyres on very loose sand. *Journal of Terramechanics* 27(3):167-17

# Přílohy

Tabulka 1 Index nosnosti..... I

Tabulka 1 Index nosnosti

Index	kg	Index	kg	Index	kg	Index	kg	Index	kg	Index	kg
50	190	71	345	92	630	113	1150	134	2120	155	3875
51	195	72	355	93	650	114	1180	135	2180	156	4000
52	200	73	365	94	670	115	1215	136	2240	157	4125
53	206	74	375	95	690	116	1250	137	2300	158	4250
54	212	75	387	96	710	117	1285	138	2360	159	4375
55	218	76	400	97	730	118	1320	139	2420	160	4500
56	224	77	412	98	750	119	1360	140	2500	161	4625
57	230	78	425	99	775	120	1400	141	2575	162	4750
58	236	79	437	100	800	121	1450	142	2650	163	4875
59	243	80	450	101	825	122	1500	143	2725	164	5000
60	250	81	462	102	850	123	1550	144	2800	165	5150
61	257	82	475	103	875	124	1600	145	2900	166	5300
62	265	83	487	104	900	125	1650	146	3000	167	5450
63	272	84	500	105	925	126	1700	147	3075	168	5600
64	280	85	515	106	950	127	1750	148	3150	169	5800
65	290	86	530	107	975	128	1800	149	3250	170	6000
66	300	87	545	108	1000	129	1850	150	3350	171	6150
67	307	88	560	109	1030	130	1900	151	3450	172	6300
68	315	89	580	110	1060	131	1950	152	3550	173	6500
69	325	90	600	111	1090	132	2000	153	3650	174	6700
70	335	91	615	112	1120	133	2060	154	3750	175	6900
71	345	92	630	113	1150	134	2120	155	3875	176	7100