

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Trakční vlastnosti pásových traktorů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Patrik Prikner, Ph.D.

Autor: Jan Fidler

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Fidler

Zemědělská technika

Název práce

Trakční vlastnosti pásových traktorů

Název anglicky

Traction properties of tracked tractors

Cíle práce

Hlavním cílem práce je vytvořit ucelený přehled trendu vývoje pásových vozidel a přehodnotit jejich uplatnění v praxi. Dílčí cíl práce je zhodnotit základní trakční parametry pro konkrétní koncepce pásových traktorů.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce – rozbor provozních vlastností pásových vozidel
4. Rešeršní část – popis základních trakčních parametrů pásových vozidel
5. Výsledky a zhodnocení – zhodnocení podkladů v kontextu technické úrovně pásových traktorů.
6. Závěr
7. Seznam použitých zdrojů
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40-45

Klíčová slova

pásové traktory, trakční vlastnosti, off-road vozidla, terramechanika

Doporučené zdroje informací

Crolla D.A. Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body. 1th.

Ed. 850s. Butterworth-Heinemann 2009. ISBN: 978-3895783715.

Grečenko A. Vlastnosti Terénních Vozidel. 118s. VŠZ 1994. ISBN: 80-213-0190-2.

Karafiath L.L., Nowatzki E.A. Soil Mechanics for Off-Road Vehicle Engineering. 1th Ed. 516s.

Trans Tech Publications 1978. ISBN: 0-87849-020-5.

Vlk, F.: Podvozky motorových vozidel, Nakladatelství a zasilatelství vlk, Brno, 2003. ISBN 80-239-0026-9

Wong J.Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, 2nd Ed: Terrain Behaviour, Off-Road

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Patrik Prikner, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Trakční vlastnosti pásových traktorů. Vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

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

V Praze dne 31.3.2018

.....
(podpis autora)

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Patriku Priknerovi, Ph.D za cenné rady, připomínky, metodické vedení práce a za čas, který mi při zpracování práce věnoval.

Abstrakt: V této bakalářské práci jsou popsány hlavní parametry tahových vlastností pásových traktorů. Cílem je vytvořit ucelený přehled trendu vývoje pásových vozidel a přehodnotit jejich uplatnění v praxi a zhodnotit základní trakční parametry pro konkrétní koncepce pásových traktorů. První část této bakalářské práce obsahuje rozbor provozních vlastností pásových traktorů. Druhá část obsahuje literární rešerši zaměřenou na popis základních trakčních parametrů pásových traktorů. V další části „výsledky“ je zhodnocení podkladů v kontextu technické úrovně pásových traktorů. Zde jsou použity dva výzkumy se zaměřením na měření a vyhodnocení trakčních vlastností pásových podvozků použitých v prvním výzkumu na ručním traktoru a v druhém použitých na klasickém konvekčním traktoru. Závěrem je provedena diskuze k dané problematice.

Klíčová slova: Pásové traktory, trakční vlastnosti, off – road vozidla, terramechanika

Summary: The bachelor thesis describes the main parameters of traction properties of tracked tractors. The aim is to create a comprehensive overview of the development trend of tracked vehicles and to re-evaluate their application in practice and to evaluate the basic traction parameters for the specific concepts of tracked tractors. The first part of this bachelor thesis contains an analysis of the operating characteristics of tracked tractors. The second part contains a literary research aimed at describing the basic traction parameters of tracked tractors. The next section "Results" is the assessment of backgrounds in the context of the technical level of tracked tractors. Two research studies focusing on the measurement and evaluation of traction properties of tracked chassis used in the first research on a hand-held tractor and the second used on a conventional conveying tractor are used here. Finally, there is a discussion on the issue.

Keywords: Track tractors, traction properties, off – road vehicles, terramechanics

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Vlastnosti pásových traktorů.....	2
2.1. Terramechanika.....	2
2.2. Motory.....	2
2.3. Převodovky.....	2
2.4. Koncepce pásových podvozků.....	3
2.5. Typy pásu.....	5
3. Tahové vlastnosti pásových traktorů.....	6
3.1. Tahová charakteristika.....	6
3.2. Vyhodnocení tahových zkoušek.....	9
3.3. Prokluz.....	10
3.4. Valivý odpor.....	11
3.5. Tahová účinnost.....	11
3.6. Změna tahové charakteristiky.....	12
3.6.1. Změna efektivního výkonu motoru.....	12
3.6.2. Změna a rozložení váhy.....	13
4. Výsledky a zhodnocení.....	15
4.2. Výhody a nevýhody pásových traktorů.....	26
5. Závěr.....	27
6. Seznam použité literatury.....	28
7. Seznam obrázků a tabulek.....	30

Nomenklatura

Veličiny

F_t	(kN)	Tahová síla
F_{t0}	(kN)	Průměrná tahová síla
F_r	(kN)	Odpor valení
η_t	(-)	Tahová účinnost
P_t	(kW)	Tahový výkon
P_e	(kW)	Efektivní výkon
v_a	(m.s ⁻¹)	Aktuální rychlost
v_t	(m.s ⁻¹)	Teoretická rychlost
δ	(-)	Prokluz
S_o	(m)	Délka měřicího úseku
t	(s)	Čas průjezdu měřícím úsekem
M_p	(kg.h ⁻¹)	Hodinová spotřeba paliva
m_{pt}	(g.kWh ⁻¹)	Měrná spotřeba paliva
m	(kg)	Hmotnost traktoru
ψ	(-)	Součinitel valení
G_c	(kN)	Celková tíha

Zkratky

NTR	– (Net Traction Ration)	– Čistý trakční poměr
DP	– (Drawbar Pull)	– Tahová síla
TE	– (Tractive Efficiency)	– Tahová účinnost
MRR	– (Motion Resistance Ration)	– Odpor proti pohybu
S	– (Slip)	– Prokluz
GTR	– (Gross Traction Ration)	– Hrubý trakční poměr
W	– (Weight)	– Hmotnost traktoru
CI	– (Cone Index)	– Kuželový index
v_a	– (Actual Velocity)	– Aktuální rychlost
v_t	– (Theoretical Velocity)	– Teoretická rychlost

1. Úvod

V minulosti práci na polích obstarávali lidé za pomoci tažných zvířat a různého po domácku vyrobeného nářadí. Aby si lidé práci zjednodušili, začali vymýšlet nejrůznější stroje. Nejdříve to byli první parní traktory a pokračovalo to přes první pásové až k dnešním pásovým traktorům. S každým zdokonalováním však souvisí narůstající váha traktoru a pro zvětšení pracovní rychlosti taky jejich odolnost a pevnost.

Díky stále se zvyšujícím výkonům traktorů a stále větším záběrům závěsné techniky je nutné zajistit co nejefektivnější přenesení výkonu na podložku. Pásové traktory se v dnešní době využívají, pro nejtěžší zemědělské práce především je to díky jejich vysoké tahové síle. Oproti kolovým traktorům se pásové traktory vyznačují větší styčnou plochou s povrchem a tím i lepší průchodností nezpevněným terénem. Pro zjištění tahových vlastností pásových traktorů se používají tahové zkoušky. Zjišťování tahových vlastností je zejména důležité jak kvalitně stroj využívá energii získanou od motoru. Kvalitu přenosu však ovlivňuje mnoho faktorů především je to valivý odpor a také prokluz. Valivý odpor a prokluz mají také vliv na tahovou účinnost, která je dána poměrem mezi tahovým výkonem traktoru k efektivním výkonem motoru.

Ucelený přehled tahových vlastností nám udává tahová charakteristika. V této práci jsou popsány základní trakční parametry pásových traktorů. Také je zde vysvětleno, jak se tyto parametry měří. V poslední části jsou použity dva výzkumy, z nichž každý odkazuje na měření tahových vlastností jak kolových tak pásových traktorů a po té jsou tyto vlastnosti porovnávány.

2. Vlastnosti pásových traktorů

V dnešní době se pásové traktory využívají pro nejnáročnější zemědělské práce. Pro práci v těžkém terénu je pásový traktor o hodně efektivnější než kolový díky většímu kontaktu pásu s podložkou může vyvinout větší tahovou sílu než kolový. Díky pásové jednotce se lépe rozkládá hmotnost traktoru a tím dochází k nižšímu utužování půdy, lepší stabilitě traktoru, čímž se zlepšují jízdní vlastnosti. Díky lepšímu rozložení váhy se mohou pásové traktory použít v půdách s větší sypnou hodnotou a s vyšším obsahem vody. Výhodou je také lepší manévrovatelnost, než je tomu u kolových traktorů. Pásové traktory také vynikají lepšími vlastnostmi při překonávání zejména strmějších terénů ale i lepším kopírováním. Pro širší využití je možnost volby několika druhů pásů o různé šířce či různém typu běhounu.

Nevýhodou bývá nižší provozní rychlost, větší mechanická složitost a vyšší pořizovací cena. Díky většímu počtu pohyblivých částí pásového podvozku je taky kladen větší nárok na údržbu. S větším počtem pohyblivých i nepohyblivých částí se zvyšuje celková hmotnost traktoru.

2.1 Terramechanika

Je vědní obor zabývající se sledováním jevů, které se projevují vzájemným působením pojezdového ústrojí vozidla s půdou. Zabývá se zejména jízdními odpory, stlačováním půdy, vytvářením stopy, přenosem obvodových sil a tahovými vlastnostmi. Tento obor je velmi důležitý pro zemědělské, ale i další stroje, které svojí jízdou ovlivňují povrch po, kterém se pohybují.

2.2 Motory

S vyšším požadavkem na větší tahové vlastnosti se zvyšují i výkony pásových traktorů. U dnešních pásových traktorů se nejčastěji využívají naftové spalovací motory s přeplňováním o vysokých výkonech 450 - 500 HP.

2.3 Převodovky

Pro pásové traktory těchto výkonnostních tříd se nejčastěji používá převodovka Powershift. Tyto převodovky jsou řízeny softwarově. Elektronika snímá zatížení motoru (podle dávky vstříkovaného paliva a charakteristiky motoru) a dle toho upravuje otáčky motoru a mění převodový poměr a to v polním i silničním režimu.

2.4 Koncepce pásových podvozků

Dvě pásové jednotky – základem je robustní jednodílný rám s jednou pásovou jednotkou na každé straně. Točivý moment se rozděluje diferenciálním planetovým převodem, který je součástí zadní nápravy mezi oběma hnacími koly pohánějícími pásy. Řízení traktoru je prováděno rozdílnou rychlostí pásů. Pro tento typ pásových jednotek se nejčastěji využívá třecí přenos točivého momentu mezi hnacím kolem a pásem.



Obrázek 1. John deere 9RT

Zdroj: <https://www.wnif.co.uk/2011/11/john-deere-9r-tractors> (upraveno).



Obrázek 2. 1 – hnací kolo, 2 – napínací kolo, 3 – nosný rám, 4 – vodící kladky, 5 – napínací mechanismus

Zdroj: *Tires for agricultural machinery* (Autoři: Petr Jilek, Ivo Šefčík, Lukáš Dušák), (2016), (upraveno).

Čtyři pásové jednotky – točivý moment od motoru a převodovky se nejdříve rozděluje mezi přední a zadní nápravu, teprve poté se moment rozděluje pomocí rozvodovky a diferenciálu mezi hnací kola pásových jednotek. Pro traktory se čtyřmi pásovými jednotkami se používá kloubové řízení. Pro tento typ pásových jednotek se využívá přenos

točivého momentu pomocí pryžových bloků na vnitřní straně pásu, které zapadají do otvorů na hnacím kole. U těchto typů pásových jednotek, za pomoci hydraulického systému, samočinně dochází k napínání pásů a díky tomu je zajištěna případná a snadná výměna pásů.



Obrázek 3. Case IH Quadtrac – 600.

Zdroj: <https://www.technikboerse.com/cs/view/nov-stroj/p-sov-traktor/4878104/case-ih-quadtrac-600.html> (upraveno).



Obrázek 4. 1 – Hnací kolo, 2 – Napínací kolo, 3 – Nosný rám, 4 – vodící kladky

Zdroj: *Tires for agricultural machinery* (Autoři: Petr Jilek, Ivo Šeřčík, Lukáš Dušák), (2016), (upraveno).

2.5 Typy pásů

Ocelové pásy – tento typ pásu se používal pro zemědělské účely v dřívějších letech. V dnešní době se ocelové pásy spíše využívají ve stavebnictví či těžarství na strojích pracujících ve velmi složitých terénech, např: dozery, buldozery, rypadla, těžké pásové bagry, (viz. obr. 5). Uvádějí se také pod názvem řetězové nebo článkové pásy, (viz. obr. 6). Vyznačují se vysokou odolností proti poškození v jakémkoliv terénu. Jejich nevýhodou je vysoká hmotnost a při případném přesunu po pozemní komunikaci dochází k jejímu poškození.



Obrázek 5. Použití ocelových pásů

Zdroj: [https://bagry.cz/cze/\(upraveno\)](https://bagry.cz/cze/(upraveno)).



Obrázek 6. Opěrná deska ocelového pásů

Zdroj: Kinematické struktury pásových podvozků, (Autor: Martin Chlud), (2017), (upraveno).

Pryžové pásy – pro zemědělské účely se již spíše využívají pryžové pásy a to z důvodu přesunu mezi pozemky po pozemních komunikacích, (viz. obr. 7). Také umožňují traktor jezdit vyšší rychlostí než s ocelovými pásy a také lépe tlumí dynamické rázy. Tyto pásy jsou vyrobeny ze speciálních pryžových směsí a zpevněny ocelovými dráty (kordy) pro lepší odolnost proti zničení pásů.



Obrázek 7. Pryžový pás

Zdroj: <https://www.nahradnidilystroje.cz/nahradnidily/pasy/gumove-pasy/> (upraveno).

3. Tahové vlastnosti pásových traktorů

Traktor je energetický stroj využívaný pro tahové práce proto musíme znát tahové vlastnosti. Ucelený přehled těchto tahových vlastností nám udává tahová charakteristika. V dnešní době přebírá stále více úkol těžkých tahových prací pásové traktory. Hlavními činiteli u těchto typů traktorů jsou hlavně prokluz, valivý odpor, tahová účinnost, změna výkonu motoru, rozložení váhy.

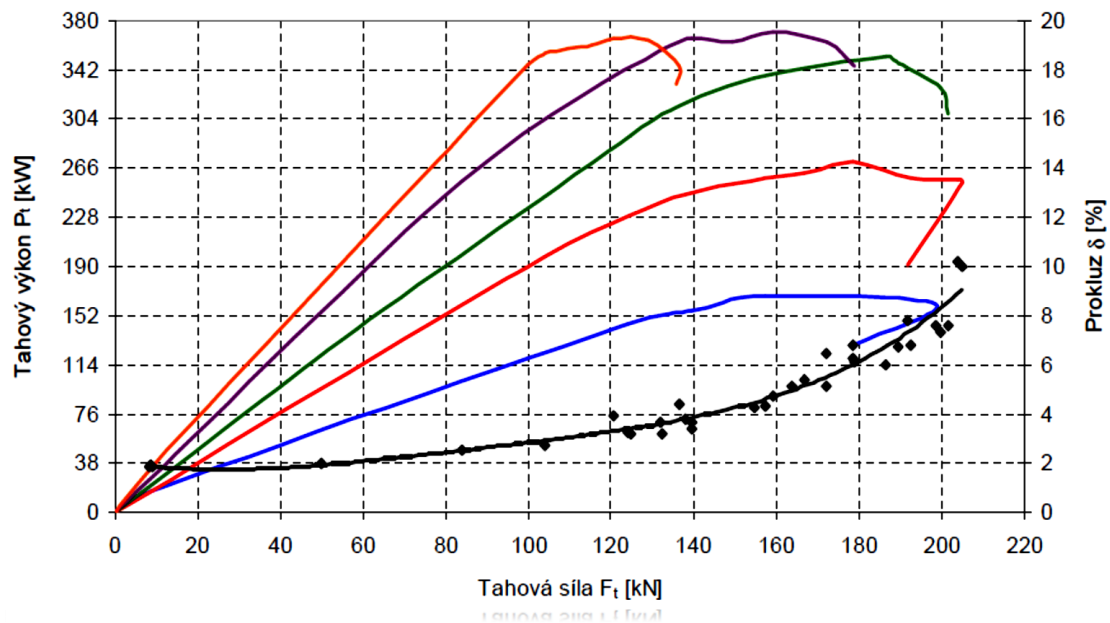
3.1 Tahová charakteristika

Tahová charakteristika je grafické vyjádření tahového výkonu, prokluzu, měrné spotřeby paliva v závislosti na tahové síle, (viz. obr. 9). Zkoušky tahových vlastností traktoru se provádí podle metodik OECD Code 1 a 2 (Organisation for Economic Co-operation and Development). Zkušební dráhy pro tahové zkoušky pásových traktorů jsou s betonovým nebo živičným povrchem, obilné strniště nebo pozemek připravený k setí. Tahové ukazatele traktoru se na zkušební dráze stanovují zatěžováním pohybujícího se traktoru silou působící na přípojovací zařízení. Pro vyvození brzdě síly se používá speciální zatěžovací vozidlo (viz. obr. 10). Díky speciálnímu brzdovému systému umožňuje nastavení požadované zatěžovací síly a její stálost po dobu měření. Součástí měřícího vozidla jsou také snímače pro určení více činitelů k sestavení tahové charakteristiky.



Obrázek 8. Brzdící soustava

Zdroj: (Porovnání tahových vlastností traktorů s různou konstrukcí podvozku), (Autoři: Preč M., Sedlák P., Bauer F., Čupera J., Šmerda T.), (2008), (upraveno).



Obrázek 9. Příklad Tahové charakteristiky

Zdroj: (Porovnání tahových vlastností traktorů s různou konstrukcí podvozku), (Autoři: Preč M., Sedlák P., Bauer F., Čupera J., Šmerda T.), (2008), (upraveno).

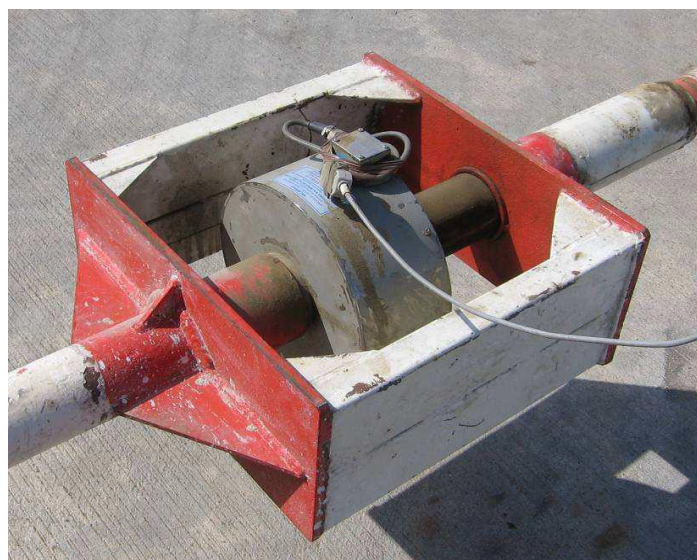
Pro tahové zkoušky se mohou jako brzdící vozidlo využít jiné traktory jak je to znázorněné na (viz. obr. 8). Při standartní tahové zkoušce, se provádí při ustáleném režimu činnosti motoru. K měření tahových sil se používá tenzometrický snímač (viz. obr. 11) vložený do ochranného rámu tažné tyče. Na výsledky měření tahových charakteristik má vliv celá řada okolností jsou

to například stav povrchu zkušební dráhy, povětrnostní podmínky, druh a stav pásů a další. Tahové vlastnosti se mohou měřit při standartních tahových zkouškách nebo s plynulou změnou zatížení zkušebního vozidla.



Obrázek 10. Měřicí vozidlo pro měření tahových vlastností

Zdroj: *Development of a dynamometric vehicle to assess the drawbar performance of high-powered agricultural tractors*, (Autoři: M. Cutini , C. Bisaglia), (2015), (upraveno).



Obrázek 11. Tenzometrický snímač

Zdroj: *Porovnání tahových vlastností traktorů s různou konstrukcí podvozku*, (Autoři: Preč M., Sedlák P., Bauer F., Čupera J., Šmerda T.), (2008), (upraveno).

3.2 Vyhodnocení tahových zkoušek

Naměřené hodnoty tahových zkoušek se uvádí ve formě grafu nebo tabulky. Při ustáleném měření tahové zkoušky se z naměřených hodnot vypočte průměrná tahová síla pomocí vzorce:

$$F_{t0} = (F_t \cdot d_s) / s_o \quad (1)$$

F_t – tahová síla

s_o – délka měřicího úseku

Průměrná rychlost zkušební jízdy:

$$v_p = s_o / t \quad (2)$$

s_o – délka měřicího úseku

t – čas na průjezd měřicím úsekem

Tahový výkon:

$$P_t = F_t \cdot v_a \quad (3)$$

F_t – tahová síla

v_a – aktuální rychlost

Měrná spotřeba paliva:

$$m_{pt} = (M_p / P_t) \cdot 1000 \quad (4)$$

M_p – hodinová spotřeba paliva

P_t – tahový výkon

Součinitel záběru:

$$\mu = F_t / G \quad (5)$$

F_t – tahová síla

G – tíhová síla

Pro výpočet Čistého trakčního výkonu (NTR) se použije vzorec:

$$NTR = DP / W \quad (6)$$

DP – (Drawbar Pull) - tahová síla

W – (Weight) - váha traktoru

3.3 Prokluz

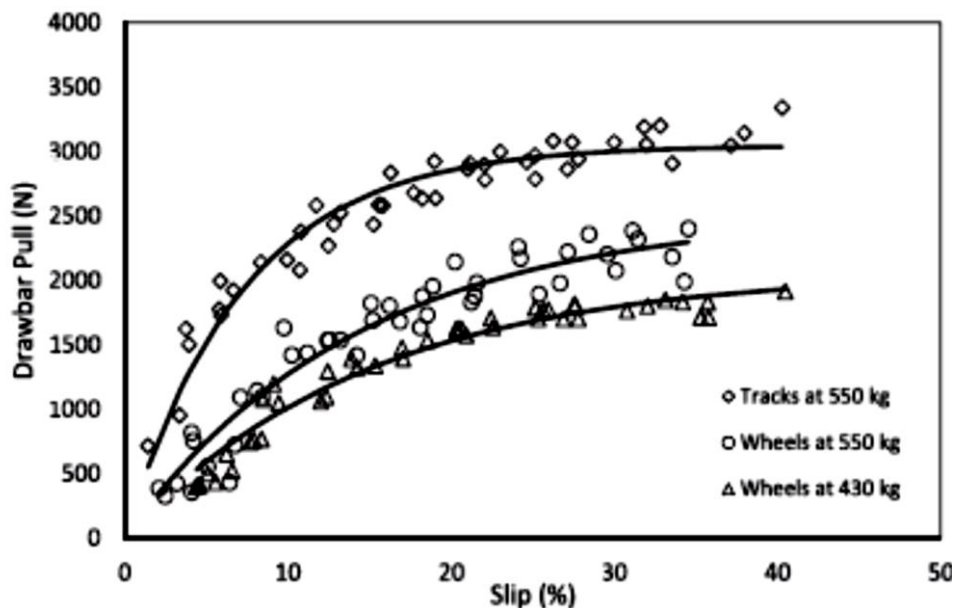
U pásových traktorů dochází při přenosu hnacích sil z pásů na podloží ke značným ztrátám prokluzem, především v oblasti vyšších tahových sil při práci s energeticky náročnějšími stroji. Proto je kladen důraz na sledování podmínek při přenosu sil mezi pásy a povrchem zkušební dráhy. V dnešní době se pro určení prokluzu traktoru dá využít systém GPS, kdy pomocí snímače na vývodovém hřídeli se určí rychlost traktoru a systémem GPS poloha traktoru na zkušební dráze. Při přenosu podélné hnací síly hnacím ústrojím vznikne ve styčné ploše skluzová rychlost v_s proti směru síly. Poměrnou skluzovou rychlostí je definován prokluz (S) - slip:

$$\delta = (v_a / v_t) \cdot 100 \quad (7)$$

v_t – teoretická rychlost

v_a – aktuální rychlost

Na obrázku 12, jsou znázorněny tři křivky jedna je pro traktor opatřený gumovými pásy a dvě pro traktor s klasickými pneumatikami. Je patrné že při zvyšující se tahové síle (DP – Drawbar Pull) se zvyšuje i prokluz (δ) traktoru .



Obrázek 12. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ)

Zdroj: (*Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks*), (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

3.4 Valivý odpor

Velikost valivého odporu je dán tíhou traktoru a vlastnostmi podloží. Výkon potřebný pro překonání valivého odporu je přímo úměrný pracovní rychlosti. Zmenšit ho je možno především snižováním váhy traktoru. Hlavním aspektem pro valivý odpor je typ a stav podloží a nevyrovnanost pozemků, ale i další činitelé váha traktoru, pojezdová rychlost, prokluz pásů apod. Valivý odpor lze vyjádřit vzorcem:

$$F_r = \psi \cdot (G_c + F_t \cdot \operatorname{tg} \theta) \quad (8)$$

F_r – odpor valení

F_t – tahová síla

Ψ – součinitel valení

G_c – celková tíha

3.5 Tahová účinnost

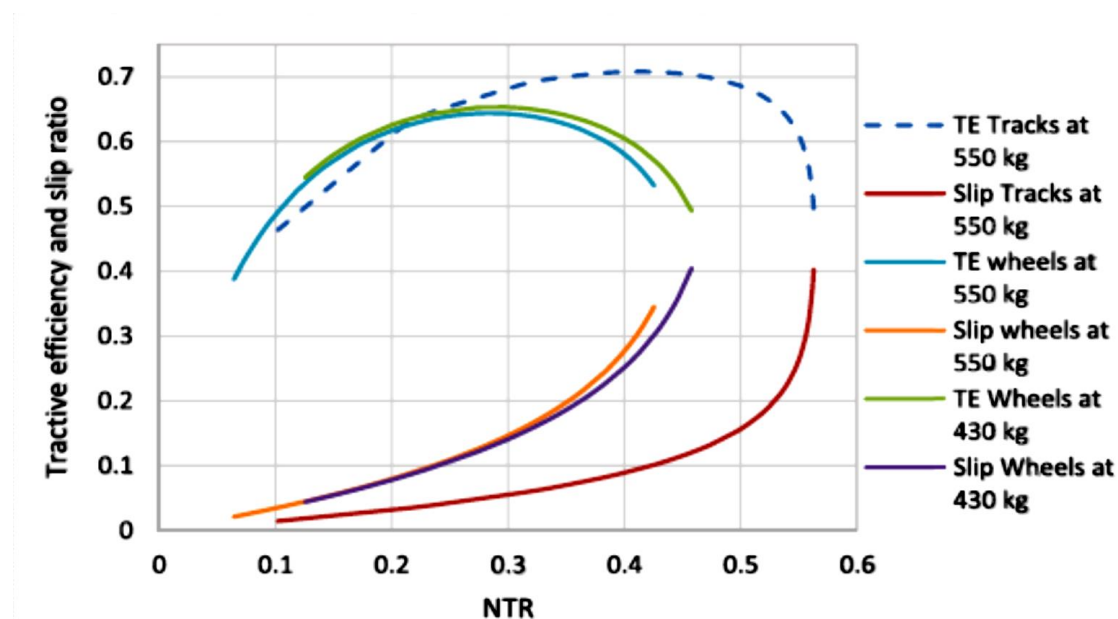
Tahová účinnost je jeden z nejvýznamnějších ukazatelů, jelikož charakterizuje efektivitu přenosu energie od motoru na tažné zařízení traktoru. Tahová účinnost, vyjadřuje u tažného traktoru kvalitu přenosu výkonu od motoru na tažené nářadí. Celková tahová účinnost vozidlo táhne a současně pohání stroj:

$$\eta_t = P_t / P_e \quad (9)$$

P_t – tahový výkon

P_e – efektivní výkon motoru

Z obrázku 13, je patrné že při zvyšujícím se čistým trakčním poměru (*NTR - Net Traction Ration*) se zvyšuje i tahová účinnost (*TE - Tractive Efficiency*). Z obrázku 13, je také patrné že při zvyšování čistého trakčního poměru (*NTR - Net Traction Ration*) se také zvyšuje i prokluz (δ).



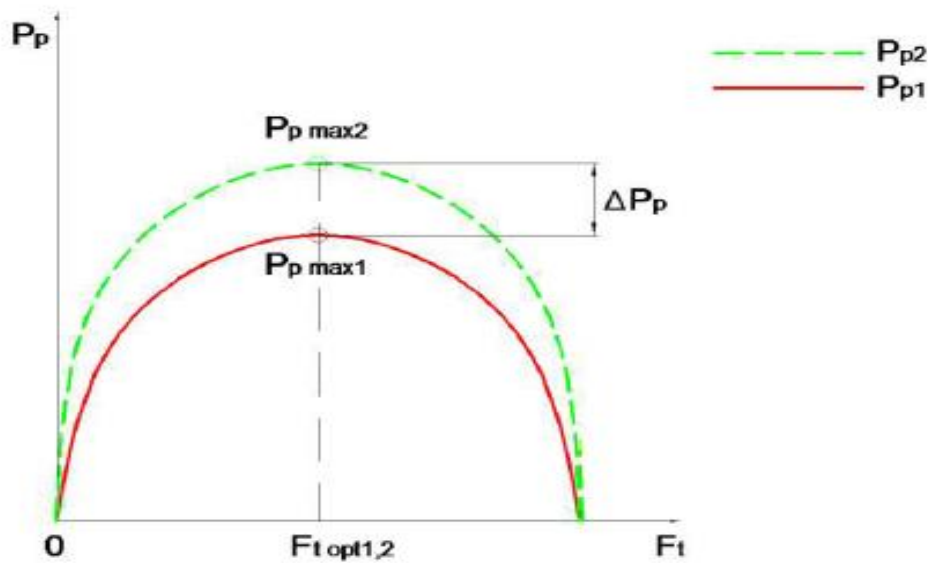
Obrázek 13. Změna Tahové účinnosti (TE) a Prokluzu (δ) s Čistým trakčním poměrem (NTR).
 Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks),
 (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

3.6 Změna tahové charakteristiky

Tahové charakteristiky pro jeden stroj mohou být různé. Stroj může pracovat v různých podmínkách, za různých povětrnostních podmínek, při jiných vlastnostech podloží atd. Proto změnu tahové charakteristiky stroje mohou způsobit nejen změny okolo stroje ale i na stroji samotném např. změna váhy, změna výkonu motoru, apod.

3.6.1 Změna efektivního výkonu motoru

Při splnění určitých podmínek mohou některé motory traktorů pracovat s tzv. navýšením výkonu. Znamená to, že kromě standartního průběhu výkonu umožní elektronika motoru přejít na vyšší průběh výkonu motoru. Pro měření tahové charakteristiky se změnou výkonu motoru musíme dbát na to, že všechny ostatní podmínky musí zůstat zachovány. Při změně výkonu motoru je tahová síla konstantní, ale mění se jen tahový výkon (obrázek 14).

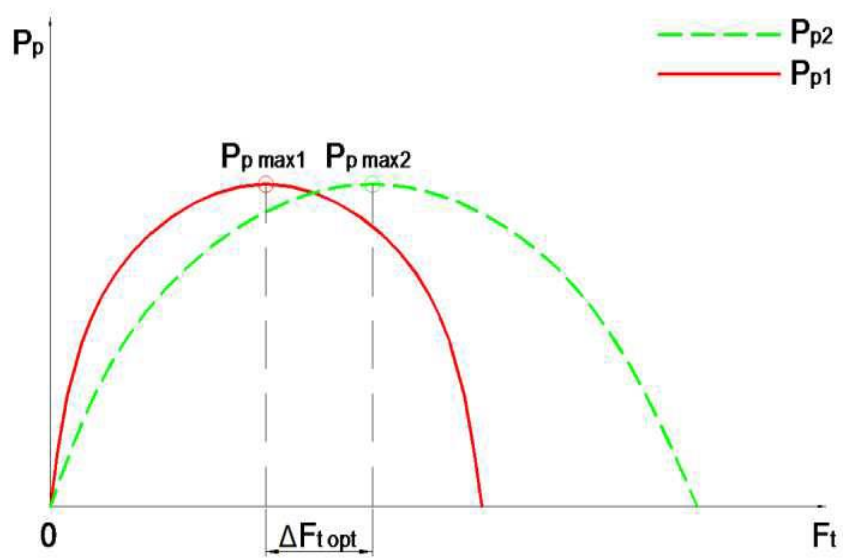


Obrázek 14. Změna efektivního výkonu motoru

Zdroj: Vliv huštění pneumatik na tahové vlastnosti traktorů, (Autor: Bc. Ádám Mizséri), (2015), (upraveno).

3.6.2 Změna a rozložení váhy

Ke každému traktoru výrobce nabízí sadu závaží pro zvýšení jeho hmotnosti popřípadě pro rozložení váhy mezi nápravy. U pásového traktoru se čtyřmi pásovými jednotkami je rozložení váhy mezi nápravami 50% na 50%. U traktorů s dvěma pásovými jednotkami je rozložení váhy mezi hnací a napínací kolo - 60% na hnací kolo a 40% na napínací kolo. Z obrázku 15. je patrné že při zvýšení hmotnosti pásového traktoru a při zachování stejného rozložení váhy a dodržení stejných měřicích podmínek a podložky je zřejmé že maximální výkon motoru zůstává stejný, ale maximální tahová síla se zvýší úměrně se zvýšením hmotnosti.

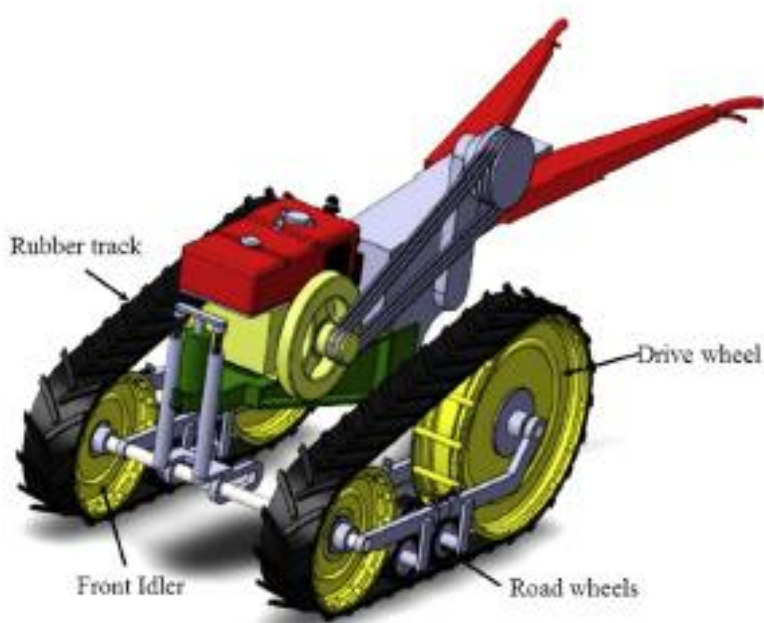


Obrázek 15. Změna hmotnosti traktoru

Zdroj: Vliv huštění pneumatik na tahové vlastnosti traktorů, (Autor: Bc. Ádám Mizersí), (2015), (upraveno).

4. Výsledky a zhodnocení

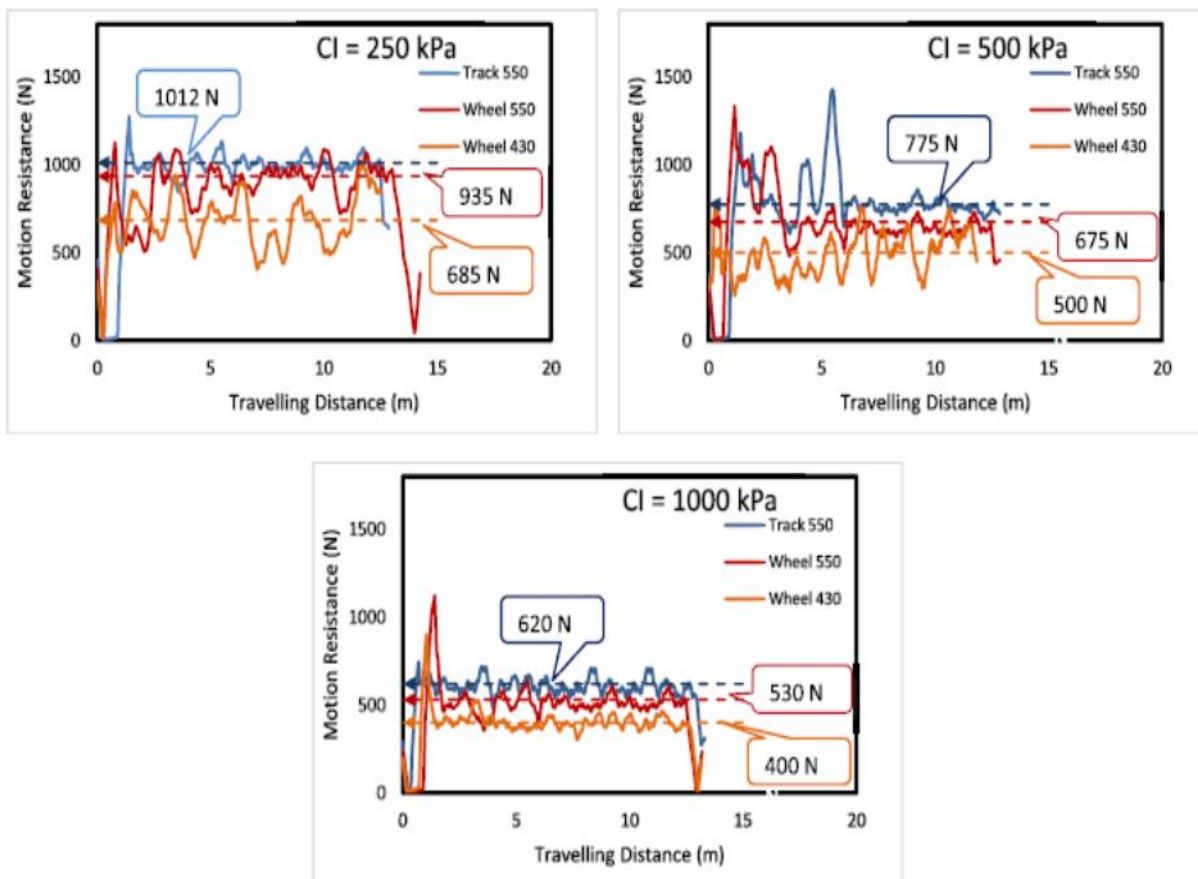
Výhodnost použití a zhodnocení trakce pásového podvozku pro ruční malotraktory (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks) publikoval Showkat et al. (2017): (Showkat Rasool, Hifjur Raheman). Tento typ ručních malotraktorů se používá v zemědělství hlavně v Asijských zemích. Cílem této práce je zhodnotit tažnou sílu ručního malotraktoru s pryžovými pásy v různých půdních podmínkách a srovnat jeho výkon se srovnatelným ručním malotraktorem se standardními pneumatikami. Systém pásového podvozku pro tento typ ručního malotraktoru je tvořen ze spojení dvou pryžových pásů, z nichž každý byl namontován mezi hnací kolo o velkém průměru vzadu a s malým kolem vpředu s pomocnými kladkami mezi těmito koly (viz. obr. 16).



Obrázek 16. Konstrukce pásových jednotek pro ruční malotraktor.

Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks), (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

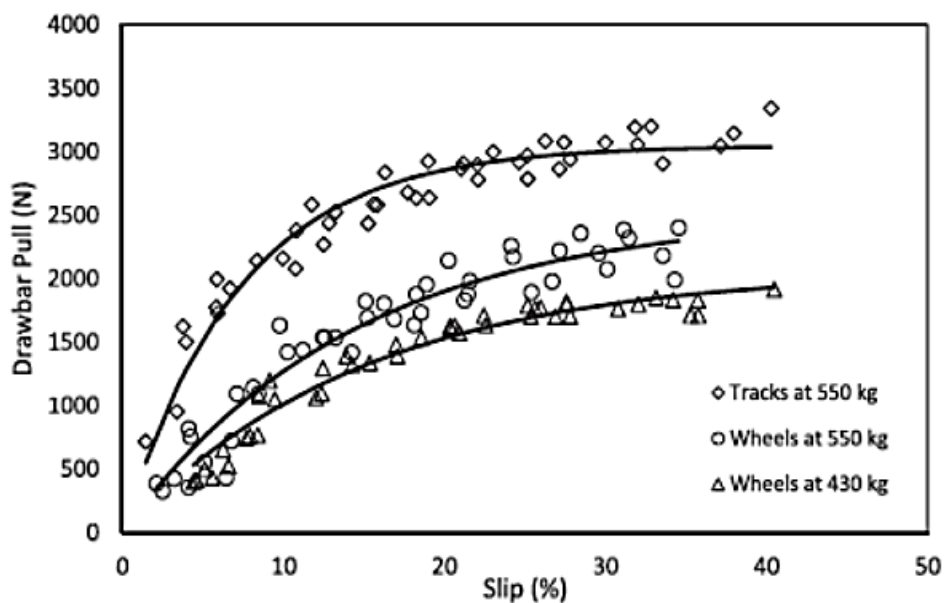
Ruční malotraktor je poháněn jednoválcovým vodou chlazeným vznětovým motorem o výkonu 9 kW. Celková hmotnost upraveného ručního malotraktoru i s pryžovými pásy činí 550 kg. Zkoušky byly provedeny v písčito - jílovité půdě s penetračním indexem (*CI - Cone Index*), který se pohyboval od 250 do 1000 kPa u obou traktorů. Údaje o odporu pohybu, tahu a prokluzu byly získány za použití různých snímačů a systému pro získávání dat. Pro penetrační index (*CI - Cone Index*) o hodnotách 250, 500 a 1000 kPa byly zjištěny hodnoty pozorovaného odporu pohybu pro pásy 1012, 775 a 620 N; viz. obr. 17, 18 a 19, které představují 18,75%, 14,36% a 11,5% hmotnosti zkoušeného ručního malotraktoru 935, 675 a 530 N pro kolový malotraktor, který představuje 17,32%, 12,5% a 9,8% hmotnosti; viz. obr. 17, 18 a 19.



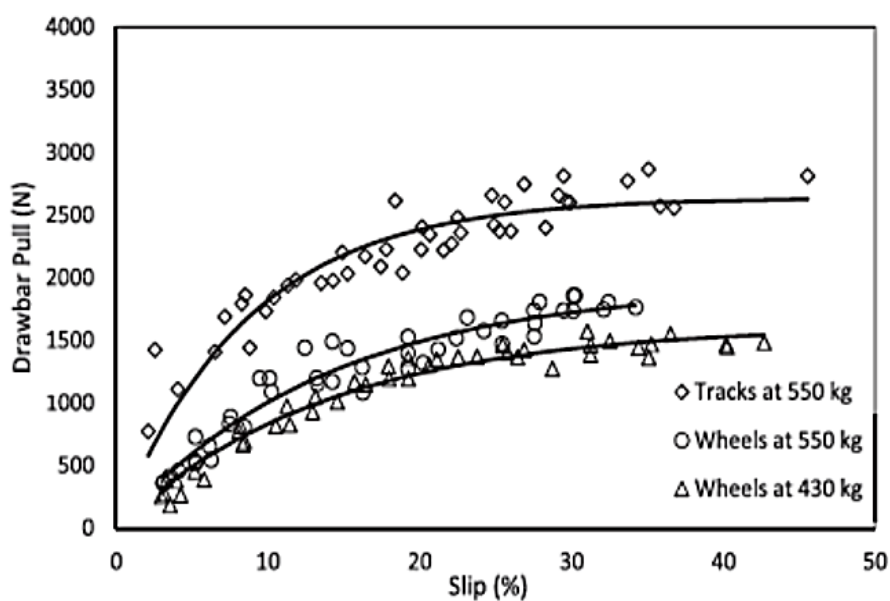
Obrázek 17, 18, 19, Odpor pohybu pásového (track) a kolového (wheel) ručního malotraktoru s penetračním indexem (CI) 250, 500 a 1000 kPa.

Zdroj: (*Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks*), (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

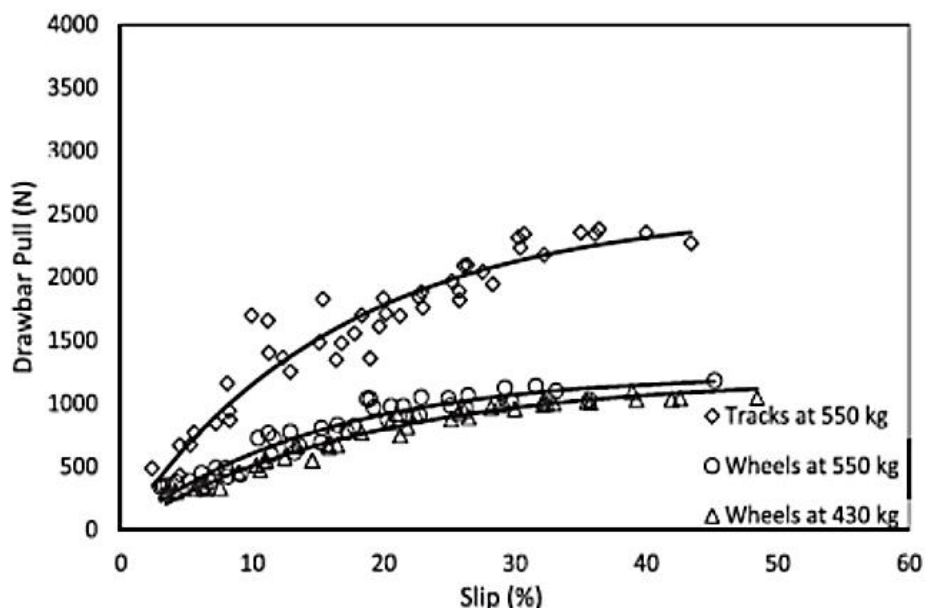
Ruční pásový malotraktor vyvinul větší tahovou sílu než kolový ve všech půdních podmínkách. Tahová síla vyvinutá pásovým podvozkem je o 115,2%, o 75,9% a o 62,4% vyšší než byla vyvinuta srovnatelným malotraktorem se standardními pneumatikami, resp. v půdách s penetračním indexem (CI - Cone Index) 250, 500 a 1000 kPa; viz. obr. 20, 21 a 22.



Obrázek 20. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ) pro penetrační index (CI) 1000 kPa
 Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks),
 (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

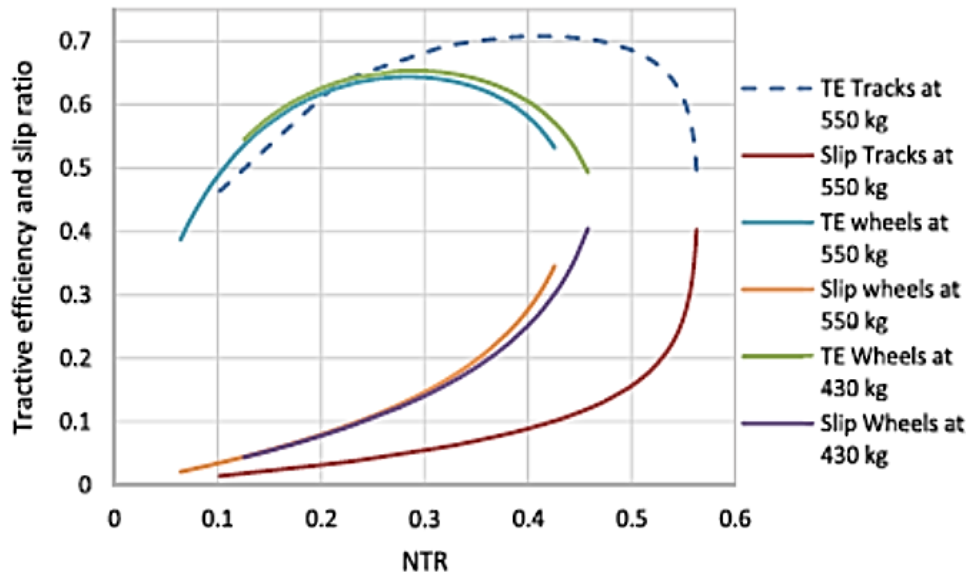


Obrázek 21. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ) pro penetrační index (CI) 500 kPa.
 Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks),
 (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).



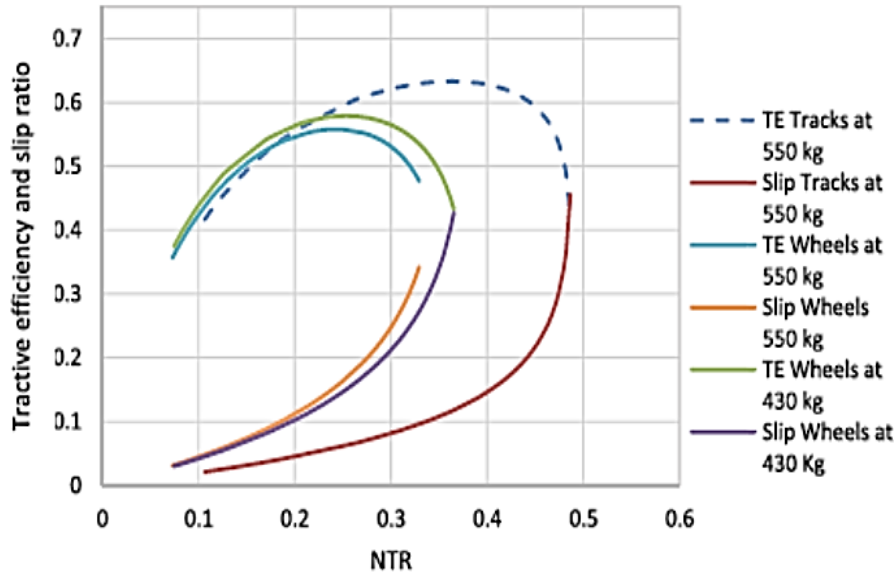
Obrázek 22. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ) pro penetrační index (CI) 250 kPa.
 Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks),
 (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

Tahová účinnost (TE - *Tractive Efficiency*) u malotraktoru s pryžovými pásy byla vyšší ve všech půdních podmínkách. Traktor s pásovým podvozkem také dosáhl vrcholu tahové účinnosti (TE - *Tractive Efficiency*) s vyšším čistým trakčním poměrem (NTR - *Net Traction Ration*). Pro širší rozsah čistého trakčního výkonu (NTR - *Net Traction Ration*) jsou obrázky 23, 24 a 25. Kolový podvozek dosáhl maximální hodnoty tahové účinnosti (TE - *Tractive Efficiency*) při nižších hodnotách čistého trakčního výkonu (NTR - *Net Traction Ration*). Výsledky ukazují na výrazné zlepšení tažné schopnosti pro traktor s pásovým podvozkem. Z těchto obrázků lze vyvodit, že pásový traktor má vyšší tahovou účinnost (TE - *Tractive Efficiency*) a pracuje při nižším prokluzu než kolový traktor.



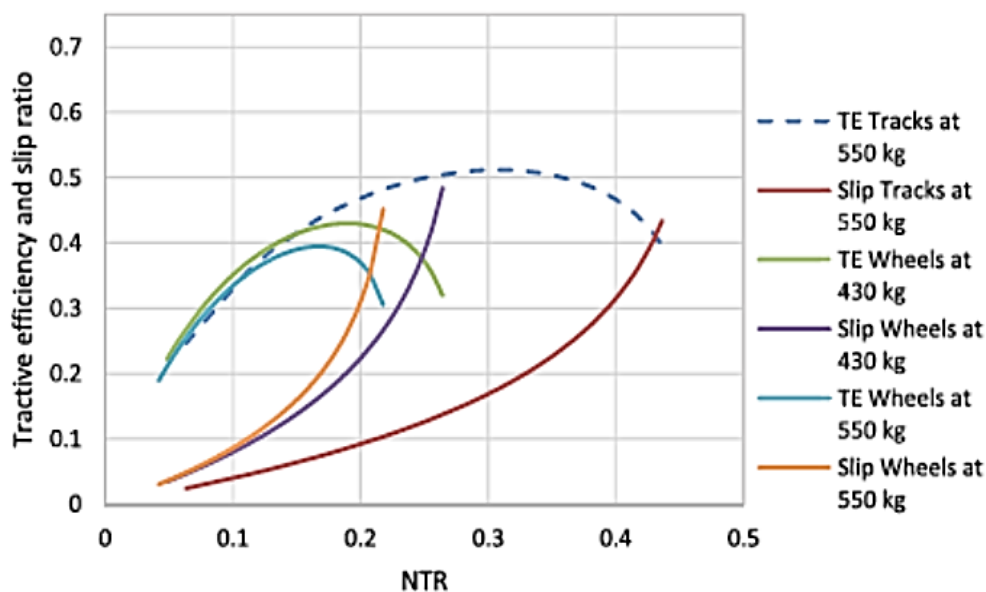
Obrázek 23. Tahová účinnost (TE) a Prokluz (δ) vs. Čistý trakční výkon (NTR) pro penetrační index (CI) 1000 kPa.

Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks), (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).



Obrázek 24. Tahová účinnost (TE) a Skluz (δ) vs. Čistý trakční výkon (NTR) pro penetrační index (CI) 500 kPa.

Zdroj: (Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks), (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).



Obrázek 25. Tahová účinnost (TE) a Skluz (δ) vs. Čistý trakční výkon (NTR) pro penetrační index (CI) 250 kPa.

Zdroj: (*Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks*), (Autoři: Showkat Rasool, Hifjur Raheman), (2017), (upraveno).

Tahová síla, vyvinutá ručními malotraktory opatřenými gumovými pásy, je větší, než vyvinutá tahová síla se srovnatelným ručním malotraktorem s pneumatikami ve všech půdních podmínkách. Tahová síla vyvinutá s pásy byla 62,4%, 75,9% a 115,2% více než u vyvinuté tahové síly srovnatelného ručního malotraktoru se standardními pneumatikami ve všech třech půdních podmínkách 1000 kPa, 500 kPa a 250 kPa, viz. obr. 20, 21 a 22.

Maximální tahová účinnost vyvinutá pásovými ručními malotraktory je vyšší než u kolových ručních malotraktorů ve všech půdních podmínkách. Pásové ruční malotraktory dosahují maximální tahové účinnosti při vyšších hodnotách čistého trakčního výkonu (NTR) a udržují vyšší tahovou účinnost pro širší rozsah čistého trakčního výkonu (NTR) zatímco kola dosahují maximální tahové účinnosti při nižších hodnotách čistého trakčního výkonu (NTR) a tahová účinnost (TE) klesá při vyšších hodnotách čistého trakčního výkonu (NTR). Maximální tahová účinnost (TE) je také vyšší u půdy s vyšším penetračním indexem (CI), viz. obr. 23, 24 a 25.

G. Molari , L. Bellentani , A. Guarnieri , M. Walker, E. Sedoni testovali v roce 2011 použití pásových jednotek na standardním traktoru New Holland T 7060 měření tahové charakteristiky a také měření utužení půdy. Byly analyzovány tyto verze, traktor vybavený standardními pneumatikami (obr. 26. A), s pneumatikami plněné kapalinou (obr. 26. B), polopásový kde, pásovými jednotkami byla nahrazena pouze zadní náprava (obr. 26. C) a plně pásová verze kde, pásové jednotky nahradily všechna kola (pneumatiky), (obr. 26. D).

Byly provedeny zkoušky tahové síly (*DP – Drawbar Pull*) na asfaltovém a půdním povrchu a byly provedeny testy na zhutňování půdy. Cílem práce je porovnat účinnost těchto podvozkových verzí na běžném traktoru.



Obrázek 26. Podvozkové verze použité na standartním zemědělském traktoru A – kolový podvozek (tlak v pneumatikách 16 kPa) B – kolový podvozek (pneumatiky vyplněny vodou) C – polopásový podvozek, D – plně pásový podvozek.

Zdroj: *Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks*, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).

Traktor použitý k vyhodnocení zkoušek je New Holland T7060 s výkonem 156.6 kW, tahovým výkonem 116.2 kW a celkovou váhou 8126 kg. Traktor je vybaven převodovkou Power Command s 19 rychlostmi vpřed a 6 rychlostmi vzad. Vlastnosti čtyř testovaných konfigurací jsou zobrazeny v tabulce 1. Přední pásová jednotka má hmotnost 1300 kg, zadní pásová jednotka má hmotnost 2400 kg. Pásová jednotka je tvořena trojúhelníkovým rámem a centrální hnací kolo namontované přímo na diferenciál. Toto kolo přenáší pohyb na pryžový pás. Přenos pohybu je zajištěn pomocí pryžových bloků, které jsou z vnitřní strany pásu.

Tabulka. 1 Vlastnosti testovaných konfigurací

Konfigurace	Hnací kola	Prokluz (%)	Celková hmotnost (kg)	Statické zatížení přední nápravy (%)	Typy pneumatik a pásů na přední nápravě	Šířka běhounu	Typy pneumatik a pásů na zadní nápravě	Šířka běhounu
A	4	2,5	8 180	42	Goodyear Optitrac DT818 540/65 R30 (16 kPa)	2334	Goodyear Optitrac DT818 650/65 R42 (16 kPa)	2334
B	4	2,5	11 320	54	Goodyear Optitrac DT818 540/65 R30 (výplň voda)	2334	Goodyear Optitrac DT818 650/65 R42 (výplň voda)	2334
C	2	22	11 960	27	Goodyear Optitrac DT818 540/65 R30 (16 kPa)	2334	Tidue Amfibios 30/36Q23M (šířka pásu 915 mm)	3015
D	4	1,4	14 100	40	Amfibios 24D18 (šířka pásu 610 mm)	2984	Tidue Amfibios 30/36Q23M (šířka pásu 915 mm)	3015

Zdroj: Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).

Testy byly provedeny v červnu a červenci 2010 na asfaltovém povrchu a v červenci a srpnu 2010 na půdním povrchu v testovacím centru CNH v Modena, Itálie. Testy na asfaltovém povrchu byly prováděny experimentální zkušební dráze cca 150 m dlouhé. Testy tahové síly (*DP – Drawbar Pull*) byly provedeny pomocí speciálního testovacího vozu (viz. obr. 27).



Obrázek 27. Testovací souprava

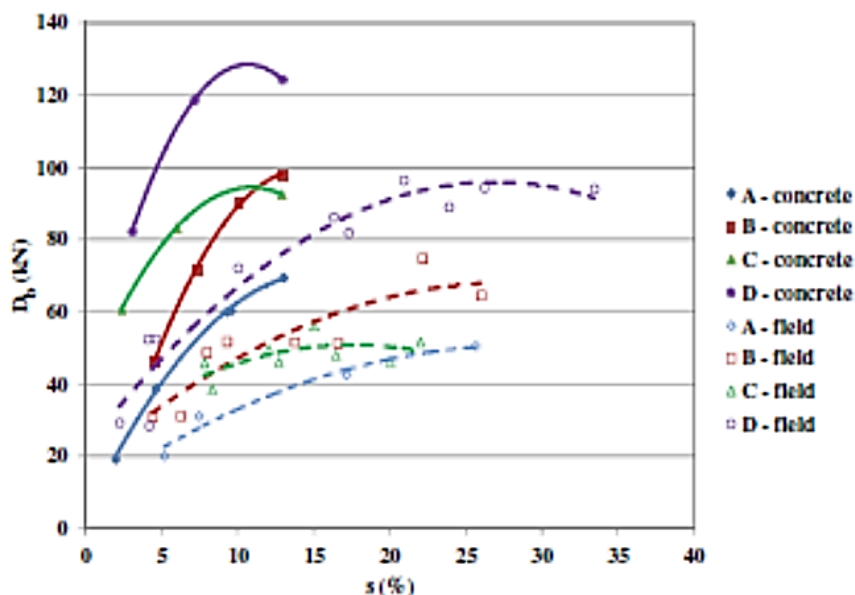
Zdroj: Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).

Zkoušky byly provedeny těmito rychlostními stupni:

3. rychlostní stupeň (jmenovitá rychlost: 2,8 km.h⁻¹ při 2200 min⁻¹),
6. rychlostní stupeň (jmenovitá rychlost: 4,9 km.h⁻¹ při 2200 min⁻¹),
9. rychlostní stupeň (jmenovitá rychlost: 7,9 km.h⁻¹ při 2200 min⁻¹).

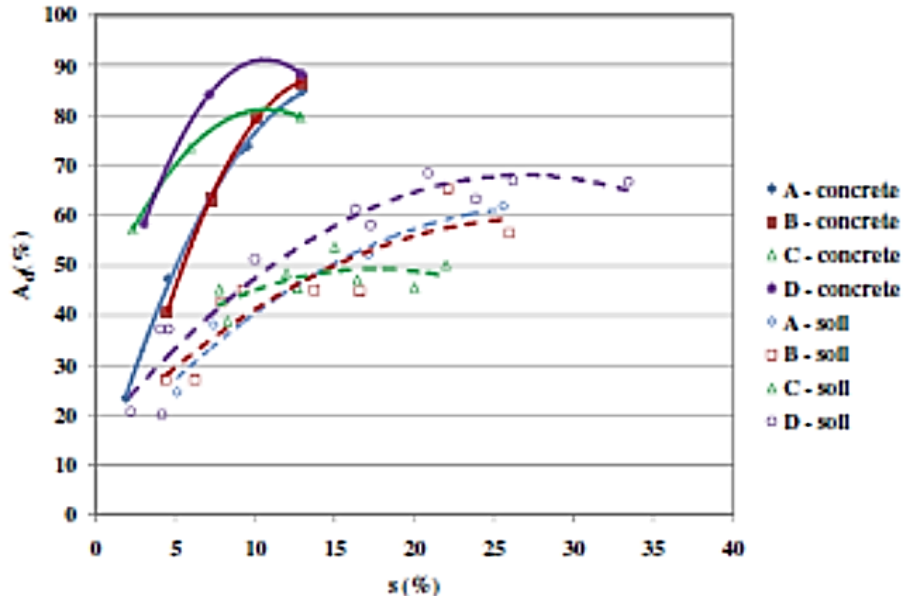
Prokluz (δ) byl vyhodnocen měřením počtu otáček na vývodovém hřídeli přes definovanou délku. Půdní podmínky byly hodnoceny objemovou hustotou na suchém stavu a hodnot penetračního indexu (CI). Sypná hustota na suchém základě byla hodnocena válcovou metodou (průměr 50 mm, výška 55 mm) na povrchu půdy. Průměrný penetrační index (CI) byl vyhodnocen v hloubce 150 mm za použití kuželového penetrometru s hřídeli o průměru 20 mm.

Výsledky trakčního testu na asfaltovém a půdním povrchu pro všechny testované konfigurace jsou uvedeny v obrázku 28. ve smyslu tahové síly (DP) v závislosti na prokluzu (δ) a v obrázku 29. z hlediska dynamického trakčního poměru (Ad) jako funkce prokluzu (δ). S ohledem na tahovou sílu (DP) je možné zobrazit některé důležité rozdíly mezi testovanými konfiguracemi. Konkrétně konfigurace traktoru A a B na asfaltovém povrchu vykazují rostoucí trend na zkoumaném prokluzu (δ), zatímco v konfiguracích C a D, s pásovými jednotkami, se trend křivky zvyšuje až o 10%, přičemž absolutní hodnoty jsou koherentní s hmotností a jejím rozložením na nápravy. U pásových traktorů je zřejmý vzrůstající trend tahové síly s maximálními hodnotami asi 100 kN pro konfiguraci D a asi 50 kN pro konfiguraci C.



Obrázek 28. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ) pro asfalt (concrete) a pole (field).

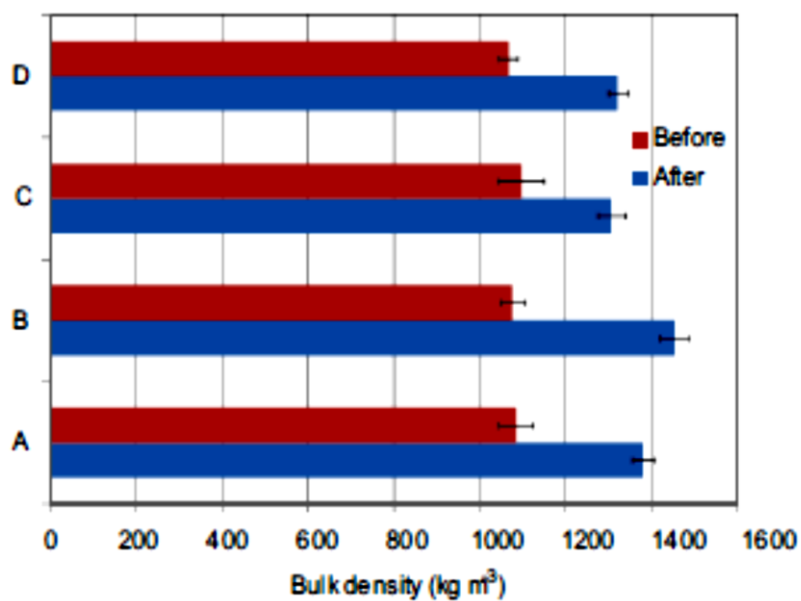
Zdroj: Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).



Obrázek 29. Dynamický trakční poměr (A_d) vs. Prokluz (δ) pro asfalt (concrete) a půdu (soil).
 Zdroj: Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).

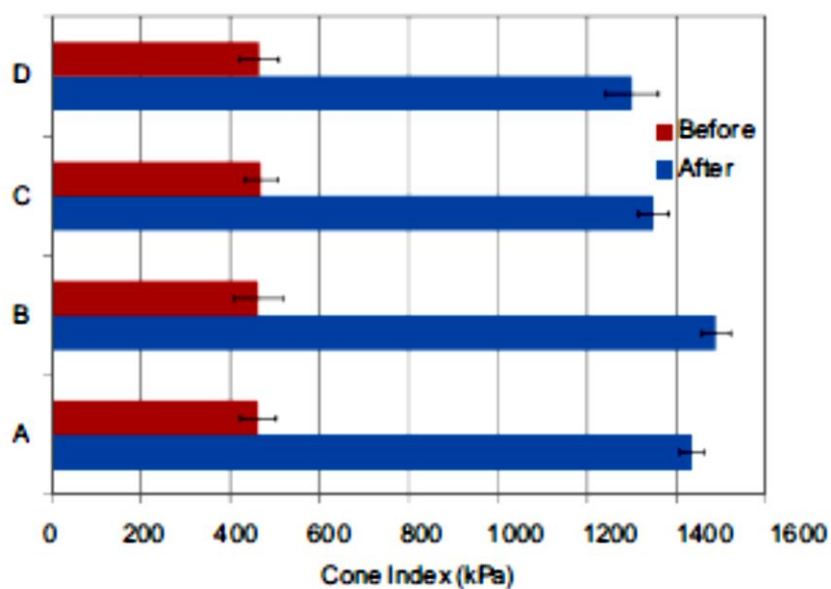
Výsledky týkající se účinků interakce mezi poháněnými systémy a půdy, vyjádřených objemovou hustotou a penetračním indexem (CI) jsou uvedeny v obrázku 30 a 31. Statistická analýza dat pro suchou objemovou hmotnost (viz. obr. 30) a penetračního indexu (CI), (viz. obr. 31), získaný před průchodem traktoru, nevykazují významné rozdíly mezi půdami pro různé pozemky. Průměrná hodnota penetračního indexu, je <550 kPa, což naznačuje dolní limitní podmínku obchodovatelnosti. Tato hodnota je v souladu s hodnotami obsahu vlhkosti na mezi plasticity a sypnou hustotou kolem 1100 kg.m^{-3} .

Jak bylo očekáváno, účinky tranzitu vozidel v důsledku použití různých systémů, jsou značné s prudkým nárůstem penetračního indexu (CI) způsobený zhutněním půdy. Zejména hodnoty penetračního indexu (CI) kolových konfigurací (A a B) jsou výrazně vyšší než ty, které byly získány při sledování konfigurací (C a D). Žádné významné rozdíly nebyly pozorovány při porovnání polopásové konfigurace C a plně pásové konfigurace D, ačkoli bylo rozdělení hmotnosti odlišné.



Obrázek 30. Objemová hustota na suchém základě před a po průchodu traktorů pro konfigurace A, B, C, D.

Zdroj: Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).



Obrázek 31. Penetrační index (CI) pro konfigurace A, B, C, D.

Zdroj: Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, (Autoři: G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni), (2011), (upraveno).

Výkon trojúhelníkových pásových jednotek namontovaných na konvenční traktor, v různých konfiguracích, dovolilo zaměřit se na jejich efektivitu a přínosy. Plně pásová konfigurace v porovnání s polopásovou konfigurací vykazuje vyšší tahovou účinnost (*TE*) díky své rovnoměrnější distribuci dynamického zatížení náprav. Ve skutečnosti polopásová verze má vysoké hodnoty prokluzu a vykazuje nižší dynamiku trakčního poměru, a to nejen při srovnání s plně pásovou konfigurací, ale také ve srovnání s kolovou konfigurací, jak na půdním, tak i na asfaltovém povrchu. Výsledky ukazují lepší tahovou účinnost (*TE*) a redukované ztuhnutí půdy pro řešení se čtyřmi pásovými jednotkami vzhledem k ostatním.

4.2 Výhody a nevýhody pásových traktorů

Výhody:

- vhodnější pro práci ve svahovitém terénu, z důvodu větší styčné plochy pásu s povrchem;
- nižší tlak na podloží než u kolových traktorů;
- pohodlnější jízda pro obsluhu při práci na poli;
- lepší poloměr otáčení;

Nevýhody:

- vyšší pořizovací cena;
- větší důraz na údržbu;
- nevhodné pro převážení materiálu po zpevněných komunikacích - větší opotřebení pásů;
- nemůže být vybaven předním tříbodovým závěsem;
- nižší světlá výška traktoru;
- nižší provozní rychlost;

5. Závěr

První část této bakalářské práce představuje nejčastěji používané motory a převodovky na pásových traktorech. Tato část dále obsahuje, popis moderní koncepce pásových podvozků a dále popisuje použití kovových a pryžových pásů pro tyto koncepce.

V druhé části jsou uvedeny základní trakční parametry pro pásové traktory např. tahová síla, tahová účinnost, valivý odpor. Dále jsou zde popsány tahové zkoušky pásových traktorů pro měření tahové síly. Jsou zde také popsány změny ovlivňující tahovou charakteristiku např. změna výkonu motoru, změna hmotnosti a jejich dopady na tahovou charakteristiku.

Poslední část obsahuje porovnání dvou výsledků, z nichž jeden odkazuje na změnu tahových vlastností při použití pásového podvozku na ručním malotraktoru. Z výsledků je patrné, že nejvýhodnější je použití pásového podvozku, který vykazuje nejvyšší tahovou sílu, tahovou účinnost, přičemž prokluz je nižší než u stejného typu traktoru s kolovým podvozkem. Ve druhém výzkumu jsou měřeny tahové vlastnosti čtyřech různých konfigurací, kolový traktor (pneumatiky vyplněny vzduchem), kolový traktor (pneumatiky vyplněny kapalinou), halftrack - pásovými jednotkami je nahrazena pouze zadní náprava a plně pásová konfigurace, kdy jsou všechna kola nahrazena pásovými jednotkami. V porovnání s plně pásovou konfigurací vyplývá, že polopásová a kolová konfigurace vykazuje vysoké hodnoty prokluzu. Plně pásová konfigurace se vyznačuje optimální tahovou účinností a také nejvyšší tahovou silou v porovnání s ostatními konfiguracemi.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T.: Traktory. Nakladatelství ProfiPress, s.r.o., Praha 2006
- Grečenko, A.: Kolové a pásové traktory. SZN Praha 1963, 402 s
- Grečenko, A.: Vlastnosti terénních vozidel. Praha: VŠZ, 1994, 118 s
- Semetko, J., a kol.: Mobilné energetické prostriedky 3. Bratislava 1986, Príroda, SZN, 457 s
- Sedlák, P., Bauer, F.: Vliv styčné plochy pneumatik na tahové vlastnosti traktoru. Acta Univ. agric. et silvic. Mendel. Brun (Brno) 2004. 52,1,209 216 ISSN 1211 8516
- Wong, J. Y. (1989). Terramechanics and off-road vehicles. NY: Elsevier.
- D. Crolla Automotive Engineering Powertrain, Chassis System and Vehicle Body
- Troubleshooting_and_Repair_of_Diesel_Engines
- Burt, E. C. (1993). Soil-tire/track interaction e current and future researchneeds. Journal of Terramechanics, 30, 317e323.
- Crolla, D. A., & Schwanghart, H. (1992). Vehicle dynamics-steering I. Journal of Terramechanics,.
- Culshaw, D. (1988). Rubber tracks for traction. Journal of Terramechanics,
- Keller, T., Trautner, A., & Arvidsson, J. (2002). Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during plowing, both on-land and with infurrows. Soil & Tillage Research,
- Reece AR. The effect of grousers on off-the-road vehicle performance. J Agric Eng Res 1967.
- Grisso, R. D., Perumpral, J., Zoz, F. M., 2006. An empirical model for tractive performance of rubber track in agricultural soils. J. Terramech.
- An empirical model for tractive performance of rubber-tracks in agricultural soils.
Robert Grisso, John Perumpral, Frank Zoz
- Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks.
G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni
- Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks.
Showkat Rasool, Hifjur Raheman

Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks.

G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni

Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. A. Marsilia, P. Servadioa, M. Pagliaib, N. Vignozzi

Rubber track systems for conventional tractors – Effects on soil compaction and traction

J. Arvidsson, H. Westlin, T. Keller, M. Gilbertsson

7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky:

Obrázek 1. John deere 9RT

Obrázek 2. 1 – hnací kolo, 2 – napínací kolo, 3 – nosný rám, 4 – vodící kladky, 5 – napínací mechanismus

Obrázek 3. Case IH Quadtrac – 600.

Obrázek 4. 1 – Hnací kolo, 2 – Napínací kolo, 3 – Nosný rám, 4 – vodící kladky

Obrázek 5. Použití ocelových pásů

Obrázek 6. Opěrná deska ocelového pásů

Obrázek 7. Pryžový pás

Obrázek 8. Brzdící soustava

Obrázek 9. Příklad Tahové charakteristiky

Obrázek 10. Měřicí vozidla pro měření tahových vlastností

Obrázek 11. Tenzometrický snímač

Obrázek 12. Graf. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ)

Obrázek 13. Graf. Změna Tahové účinnosti (TE) a Prokluzu (δ) s Čistým trakčním poměrem (NTR).

Obrázek 14. Graf. Změna efektivního výkonu motoru.

Obrázek 15. Graf. Změna hmotnosti traktoru.

Obrázek 16. Konstrukce pásových jednotek pro ruční traktor.

Obrázek 17. Graf. Odpor pohybu pásového (track) a kolového (wheel) traktoru s penetračním indexem (CI) 250 kPa.

Obrázek 18. Graf. Odpor pohybu pásového (track) a kolového (wheel) traktoru s penetračním indexem (CI) 500 kPa.

Obrázek 19. Graf. Odpor pohybu pásového (track) a kolového (wheel) traktoru s penetračním indexem (CI) 1000 kPa.

Obrázek 20. Graf. Tahová síla (DP) vs. Skluz (δ) pro penetrační index (CI) 1000 kPa

Obrázek 21. Graf. Tahová síla (DP) vs. Skluz (δ) pro penetrační index (CI) 500 kPa.

Obrázek 22. Graf. Tahová síla (DP) vs. Skluz (δ) pro penetrační index (CI) 250 kPa.

Obrázek 23. Graf. Tahová účinnost (TE) a Prokluz (δ) vs. Čistý trakční výkon (NTR) pro penetrační index (CI) 1000 kPa.

Obrázek 24. Graf. Tahová účinnost (TE) a Skluz (δ) vs. Čistý trakční výkon (NTR) pro penetrační index (CI) 500 kPa.

Obrázek 25. Graf. Tahová účinnost (TE) a Skluz (δ) vs. Čistý trakční výkon (NTR) pro penetrační index (CI) 250 kPa.

Obrázek 26. Podvozkové verze použité na standartním zemědělském traktoru A – kolový podvozek (tlak v pneumatikách 16 kPa), B – kolový podvozek (pneumatiky vyplněny vodou), C – polopásový podvozek, D – plně pásový podvozek.

Obrázek 27. Testovací souprava.

Obrázek 28. Graf. Tahová síla (DP) vs. Prokluz (δ) pro asfalt (concrete) a pole (field).

Obrázek 29. Graf. Dynamický trakční poměr (Ad) vs. Prokluz (δ) pro asfalt (concrete) a půdu (soil).

Obrázek 30. Graf. Objemová hustota na suchém základě před a po průchodu traktorů pro konfigurace A, B, C, D.

Obrázek 31. Graf. Penetrační index (CI) pro konfigurace A, B, C, D.

Tabulky:

Tabulka. 1 Vlastnosti testovaných konfigurací.