

THE COMPARISON OF DRAWBAR PERFORMANCE OF TRACTORS WITH DIFFERENT CHASSIS CONSTRUCTION

POROVNÁNÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ TRAKTORŮ S RŮZNOU KONSTRUKCÍ PODVOZKU

Preč M., Sedlák P., Bauer F., Čupera J., Šmerda T.

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemědělská 1, 613 00, Brno, Czech Republic

E-mail: xprec@node.mendelu.cz, sedlakp@mendelu.cz

ABSTRACT

A purpose of crosscountry measurement was find out an influence of different tractor support frame construction solution on drawbar characteristics. The crucial comparative characteristic was drawbar force, drawbar power, slippage and drawbar consumption. To reach comparative output was necessary apply machines with the same characteristics influencing rates of wanted values. The most important is total weight of the tractor and engine power. This is the reason why were used tractors Challenger. First with tracked chassis type MT875B and second with wheel-chassis type MT975B. For getting data was employed own tractors network CAN-Bus, tensiometer sensor HBM Z4, radar RDS TGSS model SR168-6-010 and sensor of wheel speed from LARM Company. Measurement was on the surface with continuing grass growth and on concrete. Measured traktor was braked with two other tractors on positive drawbar force value. During transit in measurement section were all surveyed values continually recorded and for every surveyed speed were measured several points, which were put into graph. The other values were counted and it was put together drawbar characteristics. From measurement answers was sure the wheel tractor with dual tires extended on concrete surface better drawbar forces then the tracked tractor. On the grass surface it was reversely. In confrontation of drawbar powers was better in either cases the wheel tractor.

Key words: tractor, drawbar performance, drawbar pull, drawbar power, slip, chassis

Acknowledgments: This study was supported by the Research plan No. MSM6215648905 “Biological and technological aspects of sustainability of controlled ecosystems and their adaptability to climate change“, which is financed by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic and by the COST 356 – EST project “Transport in agriculture and its impact on the environment”.

ÚVOD

Zjišťování tahových vlastností traktoru je důležité zejména pro určení kvality přenosu energie získané v jeho motoru. To ovlivňuje mnoho faktorů, z nichž nejdůležitější jsou podmínky styku hnacích kol s povrchem terénu, které rozhodují o schopnosti využití výkonu motoru připojeným pracovním strojem. Velikostí síly přenesitelné na podložku je dána míra využití energie akumulované v palivu na vykonanou práci traktorovou soupravou při tahových operacích. K výkonovým ztrátám dochází především v převodovém ústrojí traktoru, vlivem prokluzu a valení. Podvozek traktoru má vliv především na velikost prokluzu a valivého odporu, a tím tedy i na tahovou účinnost, která je dána poměrem tahového výkonu traktoru k efektivnímu výkonu motoru. Dalším důležitým parametrem ovlivňujícím tahové vlastnosti traktoru je zatížení hnacích kol, které by nemělo způsobovat vysoký měrný tlak na půdu, aby nedocházelo k nadměrnému utužování půdy. Stejně, jak roste tahová síla při zvyšování zatížení, tak roste i při zvětšování styčné plochy mezi pneumatikou a povrchem, tj. při stejném zatížení je možno vyvinout vyšší tahovou sílu při nízkém měrném tlaku na půdu.⁵ Zvětšení kontaktní plochy lze realizovat dvojitou montáží pneumatik u kolového podvozku, nebo použitím podvozku pásového. Obě konstrukce mají své výhody i nevýhody. Zjišťování trakčních schopností traktorů s různými typy podvozků se zabývalo v minulosti již několik autorů.^{2,3,5} V našem měření však bylo použito traktorů nejvyšší hmotnostní a výkonnostní třídy se zcela rozdílným typem podvozku. Běžně používaný kolový podvozek v konfrontaci s pásovým. K dosažení porovnatelných výsledků bylo nutné použít stroje se stejnými parametry ovlivňujícími hodnoty hledaných veličin. Jedná se především o celkovou hmotnost traktoru a výkon motoru. Proto se k měření použily srovnatelné traktory Caterpillar Challenger. První s pásovým podvozkem typ MT875B a druhý s kolovým podvozkem typ MT975B. Pro objektivní porovnání se změřily tahové vlastnosti na dvou rozdílných površích, na betonu a na trvalém travním porostu.

MATERIÁL A METODIKA

Pro měření byly použity čtyři traktory, dva měřené a dva brzdící. Aby byla zajištěna výše zmiňovaná porovnatelnost výsledků, byly použity traktory se stejnými motory a kolový dotížen na hmotnost pásového. Rozdíl činil pouhých 180 kg. Pásový traktor MT 875 B je na obr. 1 a kolový MT 975 B na obr. 2. Na obr. 3 je zobrazena celá brzdící souprava s dvěma traktory FENDT 936 Vario. V tabulce 1 jsou uvedeny základní technické údaje srovnávaných traktorů.

Tab. 1 – Technické parametry traktorů

Charakteristika měřeného traktoru Challenger MT875B (pásový podvozek)

Výrobce	CATERPILLAR
Typ	Challenger MT 875 B
Rok výroby	2008
Motor	CAT C18 Vznětový s vysokotlakým plně elektronickým vstřikovacím systémem MEUI-ADEM 4, přeplňovaný turbodmychadlem s mezichladičem stlačeného vzduchu
Objem válců	18,1 dm ³
Počet válců	6
Max. výkon	425 kW / 1800 min ⁻¹
Navýšení výkonu motoru	8 % při 1800 min ⁻¹
Jmenovité otáčky	2100 min ⁻¹
Převýšení točivého momentu	42 %
Počet motohodin	20
Převodovka	CAT Powershift, 16F/4R, pohon pojezdu mechanický
Pásový podvozek	Šířka pásu 700 mm, rozvor 3 000 mm
Příslušenství	Čelní radlice, bez PTO

Charakteristika měřeného traktoru Challenger MT975B (kolový podvozek)

Výrobce	CATERPILLAR
Typ	Challenger MT 975 B
Rok výroby	2008
Motor	CAT C18 Vznětový s vysokotlakým plně elektronickým vstřikovacím systémem MEUI-ADEM 4, přeplňovaný turbodmychadlem s mezichladičem stlačeného vzduchu
Objem válců	18,1 dm ³
Počet válců	6
Max. výkon	425 kW / 1800 min ⁻¹
Navýšení výkonu motoru	8 % / 1800 min ⁻¹
Jmenovité otáčky	2100 min ⁻¹
Převýšení točivého momentu	42 %
Počet motohodin	135
Převodovka	CAT Powershift, 16F/4R, pohon pojezdu mechanický
Přední pneumatiky	Michelin 800/70 R38
Zadní pneumatiky	Michelin 800/70 R38
Rozvor	3 950 mm
Příslušenství	TBZ, bez PTO, dvoumontáž na obě nápravy, závaží v kolech 4 x 227 kg, čelní závaží 20 x 45 kg

Měření tahových vlastností probíhalo na dvou površích, na betonu a na trvalém travnatém porostu, v areálu letiště ve Vyškově, které se nachází severovýchodně od města. Letištní plocha tvořila betonovou dráhu a přilehlé pozemky s trvalým travnatým porostem (TTP) byly využity pro polní tahové zkoušky.



Obr. 1 - Pásový traktor Challenger MT 875 B



Obr. 2 - Kolový traktor Challenger MT 975 B

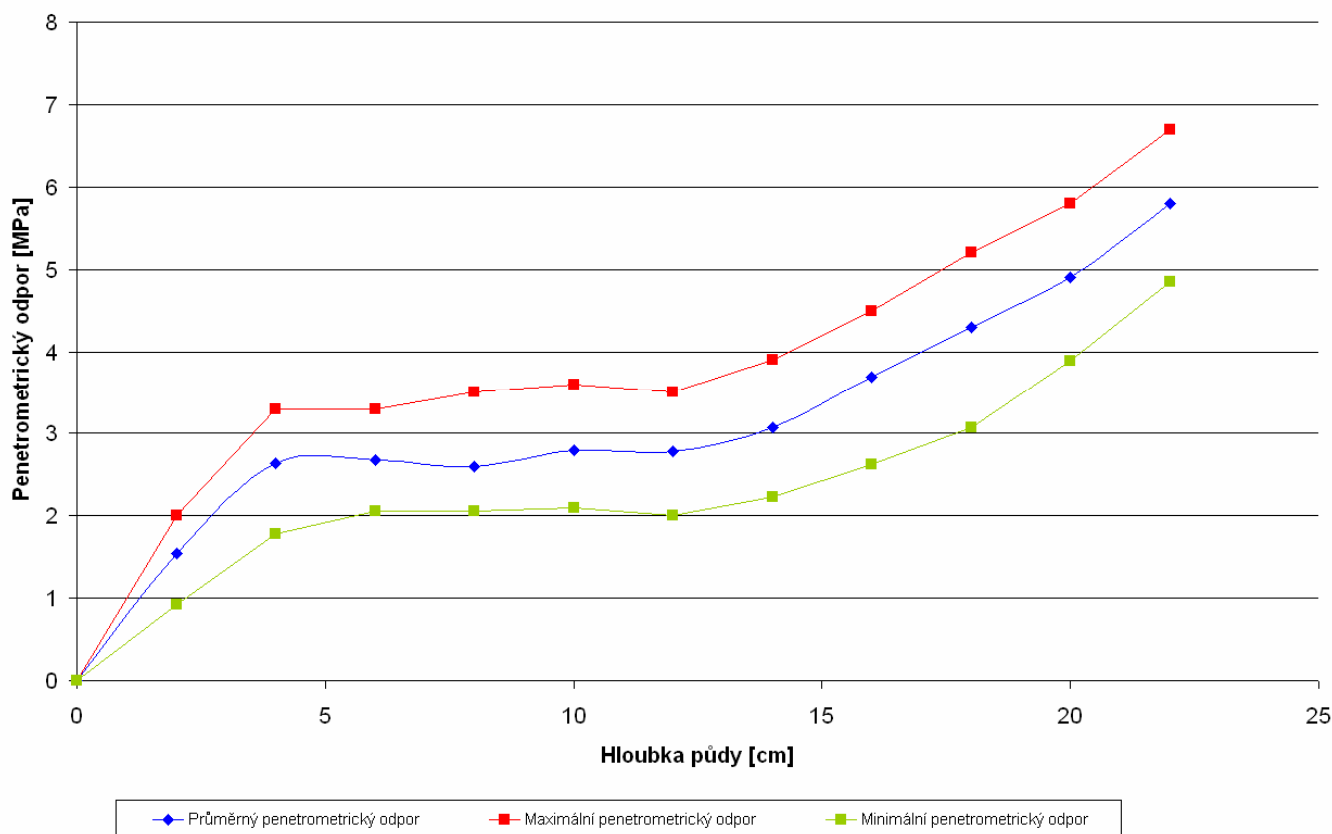
Tahové zkoušky probíhaly vždy při ustálených podmínkách v celém měřícím úseku a bylo dbáno, aby kolísání tahové síly bylo co nejmenší. Při zkouškách na travnatém porostu byla každá jízda provedena v nové stopě. Z měřících úseků na pozemcích byly odebrány vzorky půdy v hloubce 5 cm pro stanovení základních fyzikálních vlastností a během zkoušek byla měřena relativní vlhkost vzduchu a teplota. Zrnitostní složení půdy je příznivé a jedná se o hlinitou půdu, ovšem současně o půdu extrémně zhutnělou.



Obr. 3 - Brzdící souprava složená z měřeného traktoru a dvou brzdících traktorů Fendt 936 Vario

Průběh penetrometrického odporu trvalého travního porostu je zobrazen na obr. 4. Zrnitostní třída, podle taxonomického klasifikačního systému půd České republiky, je hlína. Půdní hmotnostní vlhkost se v době měření pásového traktoru pohybovala kolem 19% a při měření kolového traktoru okolo 12%.

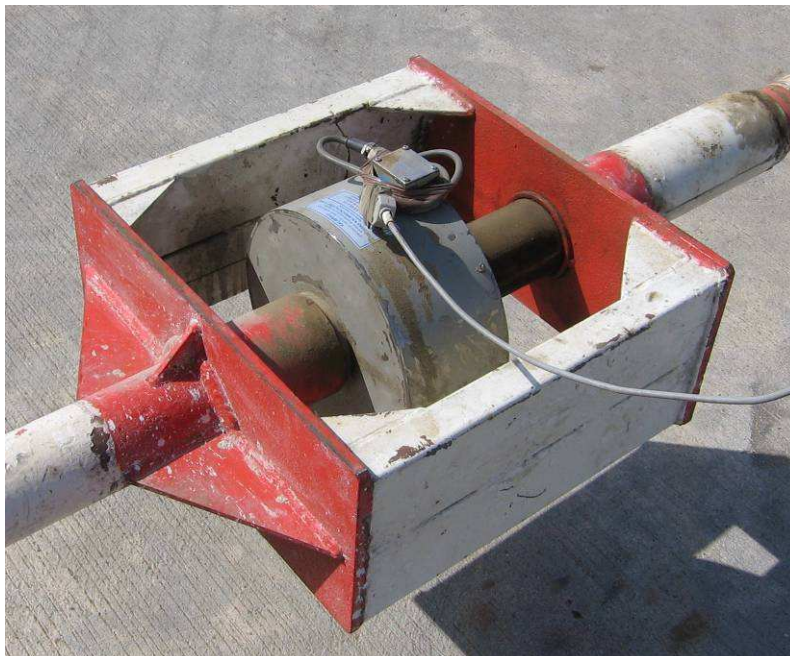
Penetrometrický odpor v závislosti na hloubce



Obr. 4 – Průběh penetrometrického odporu trvalého travnatého porostu

Pro odpovídající průběh charakteristik tahového výkonu, spotřeby paliva a otáček v závislosti na tahové síle se pro každý rychlostní stupeň realizoval dostatečný počet měření, kdy každému z nich odpovídá jeden bod. Měřící úseky byly na betonové dráze 100 m a na travnatém porostu 50 m. Před každým úsekem byla ponechána dostatečná dráha pro ustálení měřených parametrů. Zatěžovací soupravu tvořily dva traktory Fendt spojené ocelovým lanem. Při všech zkouškách byla u měřených traktorů nastavena plná dodávka paliva. V průběhu celého měření byla zapnuta klimatizace. U kolového traktoru vybaveného nápravovými uzávěrkami diferenciálů, byly tyto při měření vždy sepnuty a zařazen pohon všech náprav. Během měření se zaznamenávala data z externích snímačů doplněná daty z vnitřní sítě traktoru (CAN-Bus). K měření tahových sil byl použit tenzometrický snímač HBM Z4 (viz obr. 5) s rozsahem 500 kN vložený do ochranného rámu tažné tyče, která byla umístěna mezi zkoušeným a prvním zatěžovacím traktorem. Tenzometr má výrobní číslo B38612 a byl kalibrován akreditovanou kalibrační laboratoří č. 2230. K indikaci počátku a konce měřícího úseku bylo využito reflexní optické závory IFM electronic s reléovým výstupem (12V). Za účelem stanovení prokluzu byly měřeny skutečné rychlosti soupravy pomocí radaru RDS TGSS model SR 168-6-010 s nominální frekvencí 24,125 GHz (viz obr. 6) namontovaného na rámu zkoumaného traktoru a vypočteny teoretické rychlosti z hodnot získaných ze snímače otáček firmy LARM Netolice a.s. přišroubovaného na ose hnacího kola. Jedná se o inkrementální optický snímač s 360 body na jednu otáčku a jeho umístění na

traktoru je ukázáno na obr. 7. Ostatní požadované hodnoty, jako otáčky motoru, hodinová spotřeba, teplota paliva, točivý moment a další, byly získány z CAN-Bus sítě traktoru. Na začátku zkoušek byly traktory přesně zváženy a bylo provedeno cejchovní měření radaru a snímače otáček kola na předem vytyčené dráze.



Obr. 5 - Tenzometrický snímač HBM Z4



Obr. 6 – Radar RDS TGSS model SR 168-6-010 s reflexní optickou závorou IFM



Obr. 7 – Inkrementální optický snímač otáček kola LARM

Údaje z jednotlivých externích snímačů byly kontinuálně ukládány s frekvencí 20 Hz na pevný disk měřícího počítače. Data snímaná ze sítě CAN-Bus byla ukládána s využitím diagnostického software do servisního počítače výrobce traktoru.

Při zkouškách byly dodržovány podmínky a požadavky dané normami OECD Code 2 a ISO 789-1.

Z naměřených údajů byly dopočítány hodnoty tahového výkonu, prokluzu a měrných tahových spotřeb dle následujících vztahů a sestrojeny tahové charakteristiky.

Tahový výkon

$$P_t = F_t \cdot v_s \quad [\text{kW}]$$

kde F_t – tahová síla [kN]

v_s – skutečná rychlost [m.s⁻¹]

Prokluz

$$\delta = \left(\frac{v_t - v_s}{v_t} \right) \cdot 100 \quad [\%]$$

kde v_t – teoretická rychlost [m.s⁻¹]

v_s – skutečná rychlost [m.s⁻¹]

Měrná tahová spotřeba

$$m_{pt} = \frac{M_p}{P_t} \cdot 1000 \quad [\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}]$$

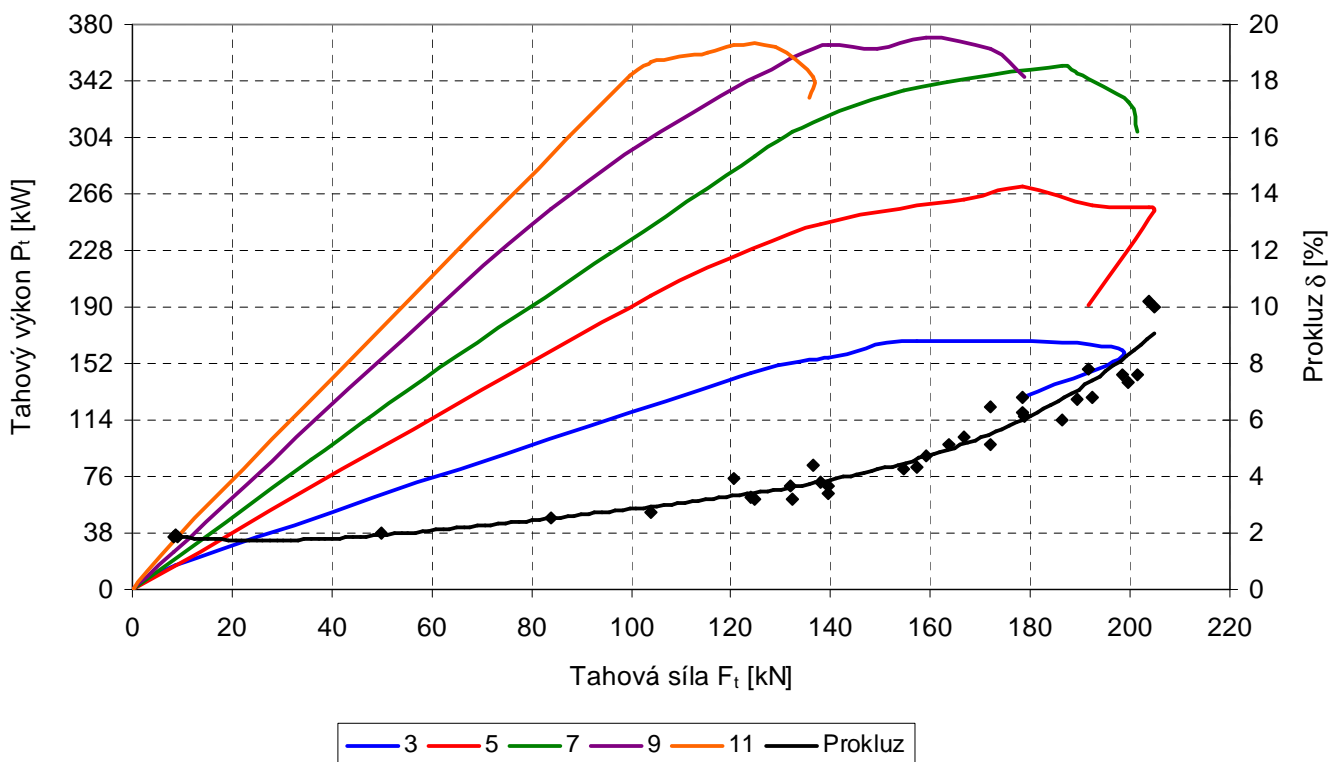
kde M_p – hodinová spotřeba $[\text{kg.h}^{-1}]$

P_t – tahový výkon $[\text{kW}]$

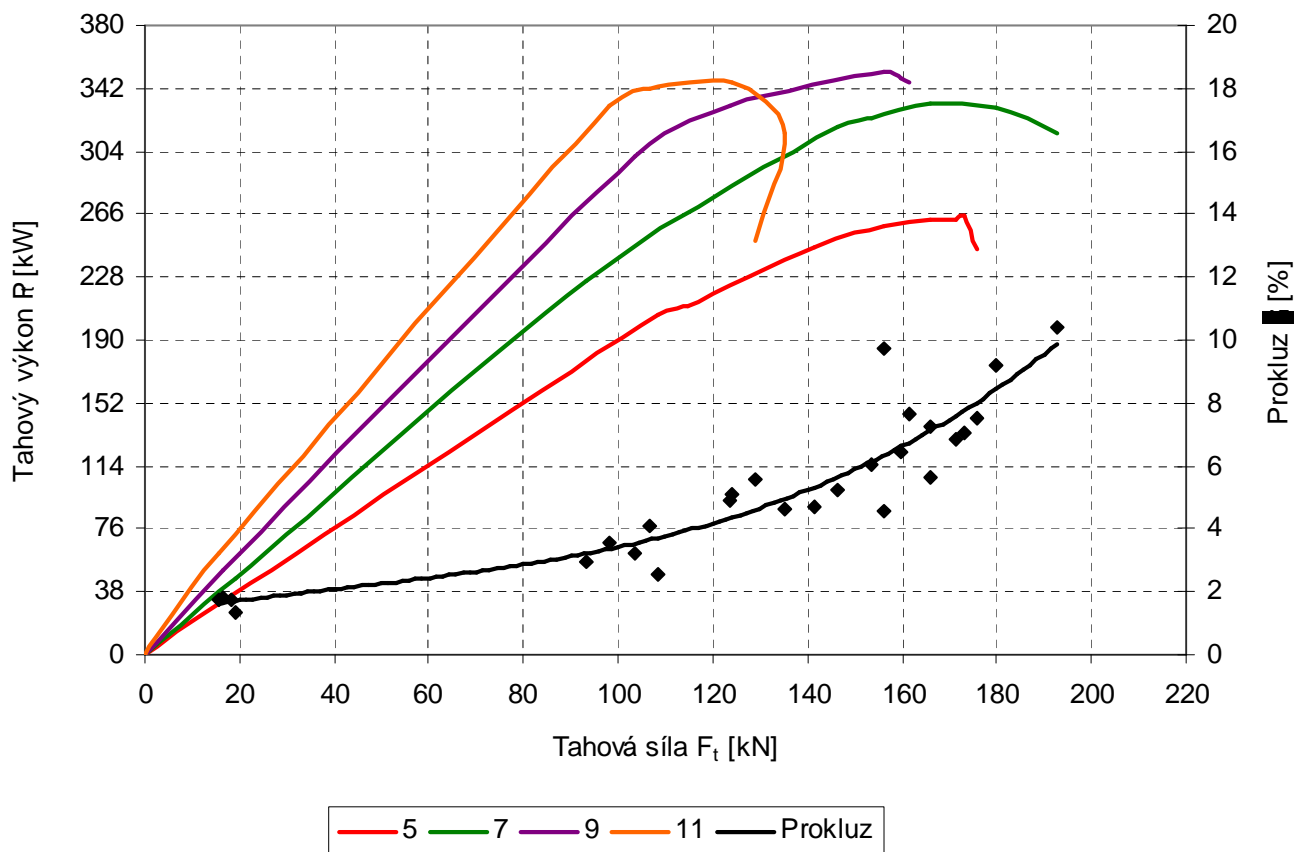
VÝSLEDKY A DISKUZE

Naměřené a vypočítané hodnoty byly vyneseny do příslušných grafů. S ohledem na velkou četnost těchto charakteristik jsou v článku uvedeny pouze závislosti tahového výkonu a prokluzu na tahových silách při vybraných převodových stupních pro každou variantu a jejich vzájemné porovnání.

Traktor Challenger MT 875 B byl zkoušen na trvalém travním porostu pro převodové stupně 5, 7, 9, 11 a na betonovém povrchu pro stupně 3, 5, 7, 9 a 11. Před zahájením zkoušek byl traktor zvážen a zjištěna hmotnost 24 520 kg. Při všech měřeních byla nastavena plná dodávka paliva. Traktor byl ovládán proškolenou obsluhou a bylo realizováno celkem 53 měření. Výsledné tahové charakteristiky jsou uvedeny na obr. 8 a 9 a hodnoty při maximálním tahovém výkonu a tahové síle v tabulce 2.



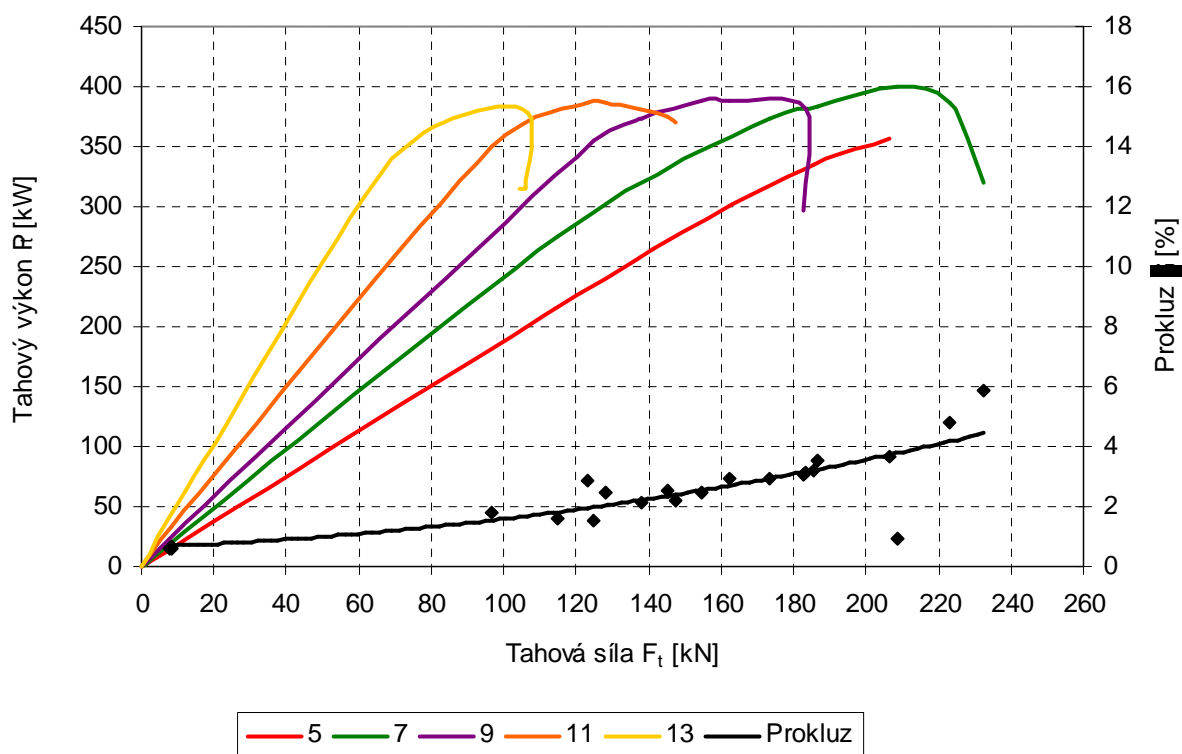
Obr. 8 – Tahová charakteristika traktoru Challenger MT 875 B na betonu



Obr. 9 – Tahová charakteristika traktoru Challenger MT 875 B na trvalém travním porostu

Z charakteristik na obr. 8 a 9 je patrné, že u pásového traktoru byly naměřeny jen nepatrné rozdíly maximálních tahových sil mezi použitými povrchy. Rozdíl činil pouze 6,22 %. Na betonu byla naměřena maximální tahová síla 204,8 kN při prokluzu 10 %, zatímco na trvalém travním porostu 192,8 kN s prokluzem 10,4 %. Maximálního tahového výkonu 370,6 kW na betonu bylo dosaženo při jezdové rychlosti 8,28 km/h a na trvalém travním porostu 352 kW při totožné jezdové rychlosti 8,28 km/h. Rychlost traktoru se při zkouškách na betonovém povrchu pohybovala v rozmezí 2,52 – 14,04 km/h a na trvalém travním porostu 5,04 – 14,04 km/h.

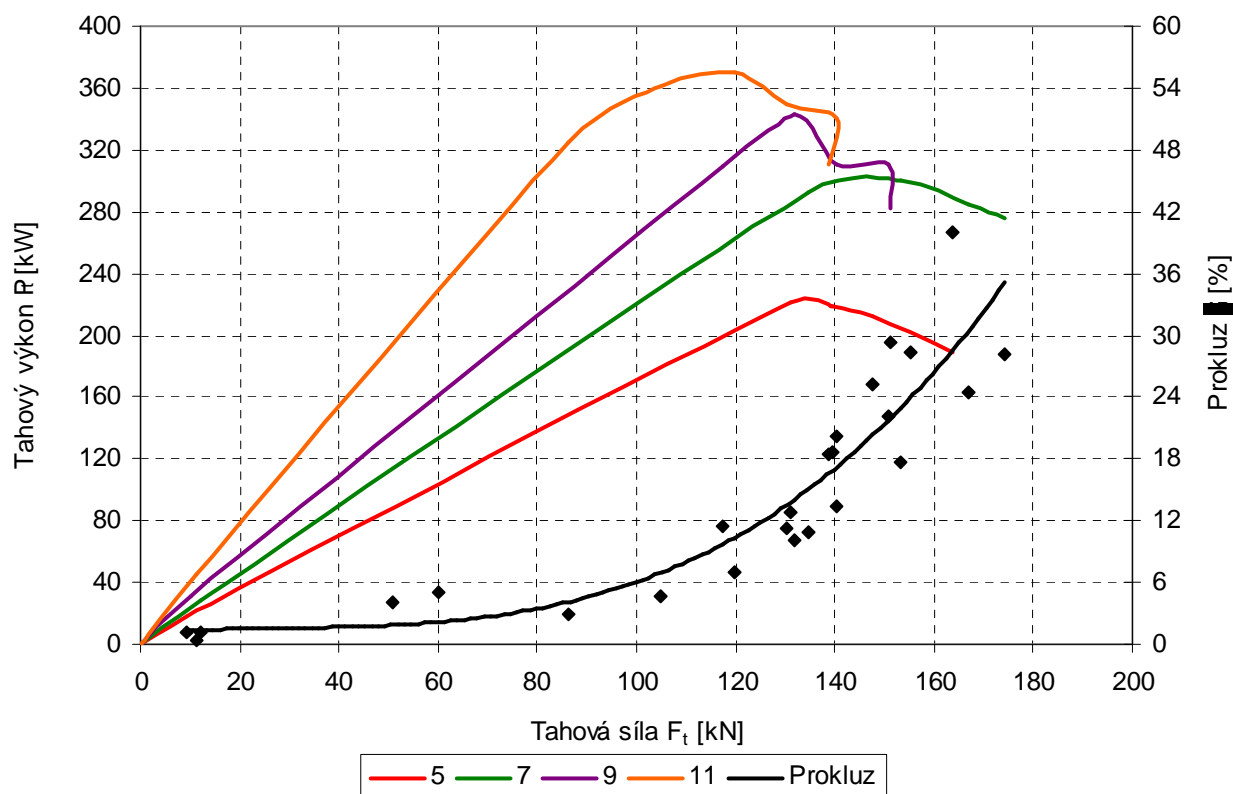
Kolový traktor Challenger MT 975 B byl zkoušen na travnaté dráze pro převodové stupně 5, 7, 9 a 11 a na betonovém povrchu pro stupně 5, 7, 9, 11 a 13. U traktoru byla zjištěna celková hmotnost 24 340 kg. Při všech měřeních byla nastavena plná dodávka paliva, zapnuty uzávěrky a pohony obou náprav a pneumatiky použity ve dvojitě montáži. Přední pneumatiky byly nahuštěny na tlak 0,6 bar a zadní na tlak 0,45 bar. Traktor byl ovládán proškolenou obsluhou a bylo realizováno celkem 61 měření. Výsledné tahové charakteristiky jsou uvedeny na obr. 10 a 11 a hodnoty při maximálním tahovém výkonu a tahové síle v tabulce 2.



Obr. 10 – Tahová charakteristika traktoru Challenger MT 975 B na betonu

Charakteristiky na obr. 10 a 11 ukazují, že kolový traktor dosáhl na betonu vyšší maximální tahové síly než na trvalém travním porostu o 33,31%. Na betonu byla naměřena maximální tahová síla 232,5 kN při prokluzu 5,8 %, zatímco na travnaté dráze 174,4 kN s prokluzem 28,1 %. Maximálního tahového výkonu 400,4 kW na betonu bylo dosaženo při jezdové rychlosti 6,84 km/h a na trvalém travním porostu 370,1 kW při jezdové rychlosti 11,16 km/h. Rychlost traktoru se při zkouškách na betonovém povrchu pohybovala v rozmezí 4,93 – 18,68 km/h a na travnatém povrchu 4,18 – 14,26 km/h.

Pro porovnání závislostí tahových výkonů na tahových silách srovnávaných traktorů je výhodné pro každý povrch vynést hodnoty zkoumaných veličin do jednoho grafu. Na obr. 12 je porovnání tahových veličin obou traktorů na betonovém povrchu a na obr. 13 na trvalém travním porostu. Křivky vykreslené plnou čarou charakterizují pásový traktor MT 875 B a čárkovanou čarou kolový traktor MT 975 B.

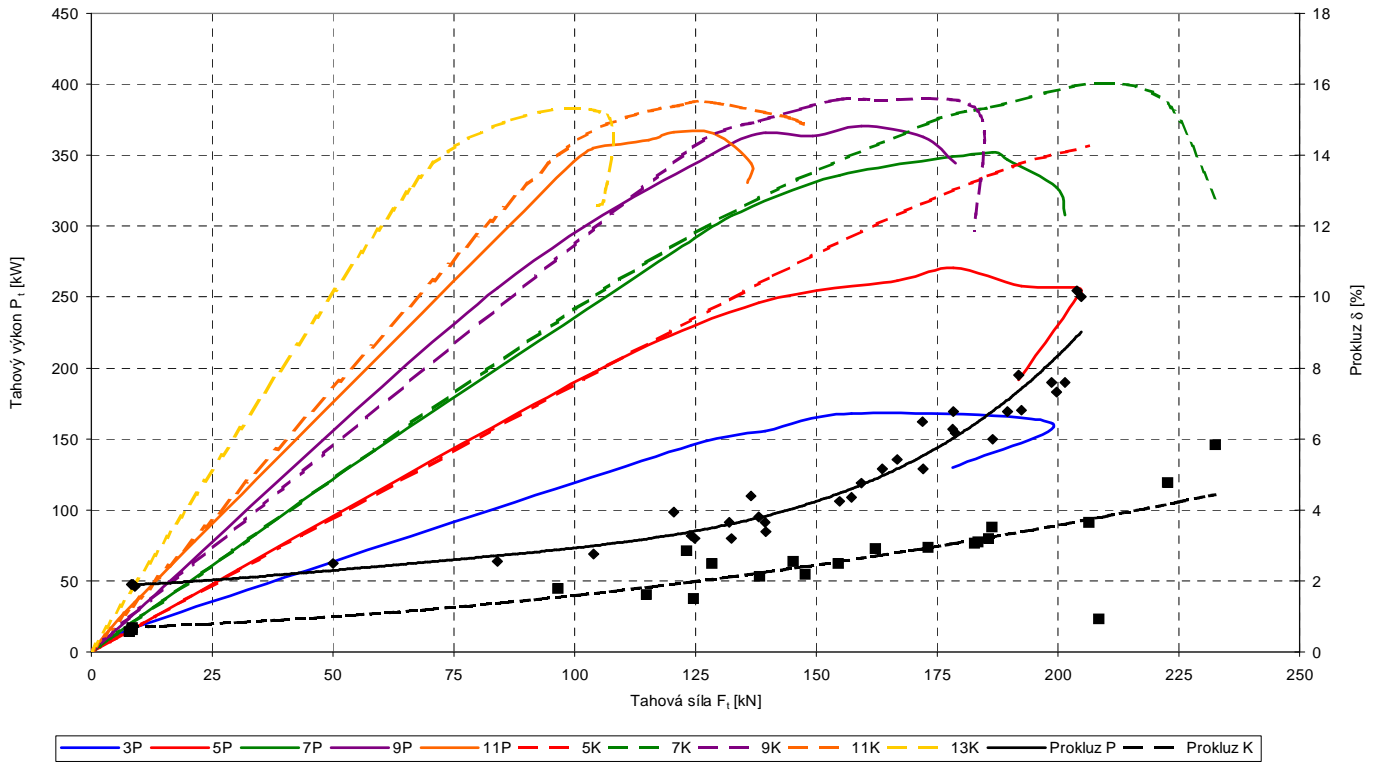


Obr. 11 – Tahová charakteristika traktoru Challenger MT 975 B na trvalém travním porostu

Tab. 2 – Výsledky při nejvyšší tahové síle a tahovém výkonu

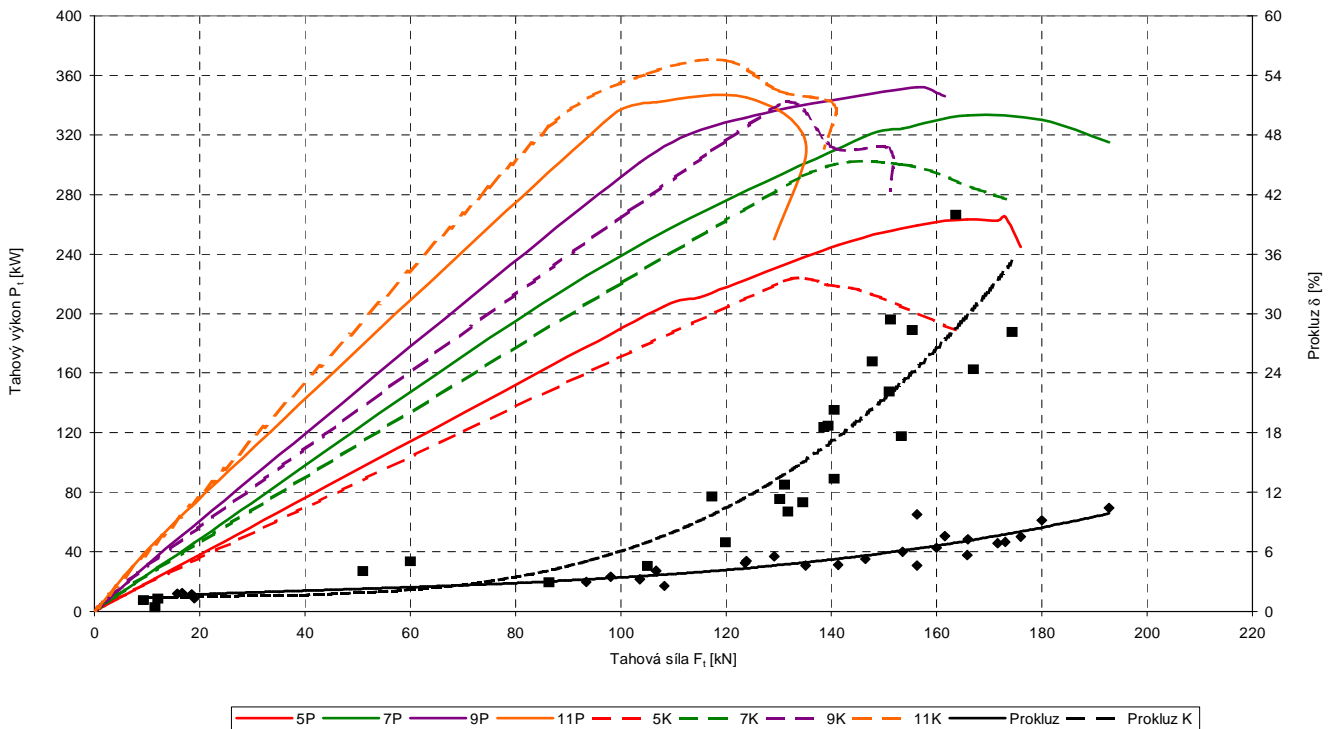
			Hodnoty při maximální tahové síle				Hodnoty při max. tahovém výkonu			
			MT 875 B		MT 975 B		MT 875 B		MT 975 B	
			Trvalý travní porost	Beton	Trvalý travní porost	Beton	Trvalý travní porost	Beton	Trvalý travní porost	Beton
Převodový stupeň			7	5	7	7	9	9	11	7
Tahová síla	F_t	[kN]	192,8	204,8	174,4	232,5	156,3	159,3	119,8	208,5
Tahový výkon	P_t	[kW]	314,9	254,1	275,4	319,5	352	370,6	370,1	400,4
Prokluz	δ	[%]	10,4	10	28,1	5,8	9,7	4,8	6,9	0,9
Skutečná rychlost	v_s	[m.s ⁻¹]	1,6	1,2	1,6	1,4	2,3	2,3	3,1	1,9
Otáčky motoru	n	[min ⁻¹]	1649,9	1526,1	1989,3	1320,7	1678,6	1714,4	1838,7	1755,3
Hodinová spotřeba	Q	[l.h ⁻¹]	111,4	86,8	121,7	93,8	118,7	119,6	125,4	126,1
Měrná tahová spotřeba	m_{pt}	[g.kW ⁻¹ .h ⁻¹]	290,2	280	362,8	238,7	276,4	263,2	277,6	256,2

Porovnání tahových charakteristik traktorů MT 875 B a MT 975 B na betonovém povrchu



Obr. 12 – Porovnání tahových výkonů traktorů Challenger MT 875 B a MT 975 B na betonu

Porovnání tahových charakteristik traktorů MT 875 B a MT 975 B na trvalém travnatém povrchu



Obr. 13 – Porovnání tahových výkonů traktorů Challenger MT 875 B a MT 975 B na trvalém travním porostu

Jak je zřejmé z porovnávacích tahových charakteristik, dosahuje pásový traktor na trávě poměrně ve velkém rozmezí tahových sil od 90 kN do 190 kN pro praxi využitelný tahový výkon. Traktor v tomto případě pracoval s nejvyšším využitím výkonu motoru. Pro tahovou sílu 190 kN se pohybuje prokluz kolem 10 %. Kolový Challenger má na stejném povrchu nejvyšší využití výkonu motoru v rozmezí tahových sil 85 kN až 150 kN, ale dosahuje na jedenáctý rychlostní stupeň vyššího tahového výkonu než traktor pásový. Maximálních tahových sil, jak je zřejmé z obr. 13, však nedosahuje takových, jako pásový traktor, a navíc se čtyřnásobným prokluzem. Hodnoty prokluzu jsou při tahových silách do 80 kN srovnatelné, s dalším zatěžováním u kolového traktoru prudce narůstají.

Co se týče betonového povrchu, viz obr. 12, vychází ve všech parametrech lépe kolový traktor. Pro praxi je využitelný tahový výkon, vyšší než 350 kW, dosahován v rozmezí tahových sil od 70 kN až do 230 kN, přičemž při naměřených maximálních silách vykazuje prokluz hodnot 4,8 %. Maximální tahový výkon i maximální tahová síla byla naměřena na sedmý rychlostní stupeň. Pásový traktor na tomto povrchu dosáhl maximální tahové síly nižší, 204,8 kN, při více jak dvojnásobném prokluzu a na pátý zařazený rychlostní stupeň. Hodnoty tahových výkonů se při nejvyšším využití výkonu motoru pohybují v rozmezí 100 kN až 190 kN. Maximálního tahového výkonu traktor dosáhl při devátém rychlostním stupni s prokluzem 4,8 %.

Jelikož přenos síly z kola na podložku ovlivňuje styčná plocha pásu (či pneumatiky) s povrchem terénu, lze uvedenou vyšší tahovou sílu pásového traktoru změřenou na trvalém travnatém porostu při srovnatelné tíze obou traktorů odůvodnit větší styčnou plochou pryžového pásu oproti styčné ploše kol traktoru MT 975 B. O velikosti síly přenesené na povrch pozemku rozhodují také vlastnosti půdy, jež však byly totožné pro oba sledované traktory, a proto i smyková pevnost půdy byla stejná.

Na betonu zákony teramechaniky neplatí, protože betonový povrch je dostatečně pevný a musí bez trvalé deformace umožnit přenos tangenciálních sil všech dopravních prostředků, které ho využívají. Nezáleží tedy na kontaktním tlaku a přenos sil je závislý pouze na vlastnostech použitého traktoru. Jedná se především o konstrukci, kvalitu a nahuštění pneumatik, hmotnost, motor a celý systém trakce traktoru. Na betonovém povrchu dosáhl vyšších tahových sil kolový traktor, protože nebyl omezen půdními vlastnostmi. U pásového traktoru při nižších převodových stupních docházelo po dosažení tahových sil 200 kN ke snížení točivého momentu a výkonu motoru. Ke stejnému zjištění dospěli na univerzitní traktorové zkušebně v Nebrasce „Nebraska Tractor Test Laboratory“, kde byl pásový traktor Challenger MT 875 B změřen. Výrobce traktoru při vysokém zatížení motoru a nízkých převodových stupních záměrně omezuje točivý moment motoru, aby ochránil hnací nápravy i celé převodné ústrojí před vysokým namáháním, které je dáno velkým točivým momentem motoru a velkým převodovým poměrem. Poklesem točivého momentu byla snížena i dosažitelná tahová síla.

ZÁVĚR

Na základě výsledků provedených měření tahových charakteristik obou porovnávaných traktorů na betonu a na travnatém povrchu je možno konstatovat, že pásový traktor Challenger MT 875 B dosahuje vyšších tahových sil při použití na travnatém povrchu, zatímco na betonu vyvinul vyšší tahovou sílu i vyšší tahový výkon kolový traktor Challenger MT 975 B.

Z uvedených výsledků vyplývá, že i přes dvojitou montáž pneumatik na kolovém traktoru je účelnější použití pásového traktoru, který dokáže vyvinout vyšší tahové síly při relativně nízkém prokluzu (do 10 %). Další výhodou je vliv vyšší styčné plochy a tím nižšího měrného tlaku na půdu, který snižuje riziko nežádoucího zhutnění půdy. Na betonovém povrchu dosahoval nižších hodnot tahové síly a tahového výkonu, protože má pro nižší převodové stupně omezen točivý moment za účelem vyšší životnosti hnací nápravy a převodných ústrojí.

LITERATURA

- Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T.: Traktory. Nakladatelství Profi Press, 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
- Bauer a kol.: Výsledky měření tahových vlastností traktorů, Brno 2008, 68 s
- Bauer a kol.: Analýza výsledků tahových zkoušek, Brno 2008, 44 s