

České zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Diplomová práce

**TRAKČNÍ VLASTNOSTI KOLOVÝCH
TRAKTORŮ**

Jakub Hůla

©2021 ČZU v Praze

Zadání práce
(semka přijde ten list

Zadání práce
(semka přijde ten list který dostaneš od ČVUTu)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Trakční vlastnosti kolových traktorů" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.5.2021

.....

podpis

Poděkování

Děkuji především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Patrikovi Priknerovi Ph.Dr. za jeho vstřícnost, ohleduplnost, cenné připomínky, podněty a rady, které mi pomohly při vypracování této diplomové práce. Také děkuji prof. Ing. Františku Bauerovi, CSc, za možnou realizaci měření tahových vlastností. Zároveň bych rád poděkoval rodičům za všestrannou pomoc a podporu nejen v době studia, ale v průběhu celého mého života.

Trakční vlastnosti kolových traktorů

Anotace

V diplomové práci je proveden ucelený přehled vývojových trendů kolových vozidel a požadavků na jejich trakční vlastnosti v praxi. Práce se také zabývá zhodnocením základních parametrů pro konkrétní koncepci kolových traktorů na základě testování v laboratorních podmínkách.

Klíčová slova: trakční vlastnosti, prokluz, tahový výkon, tahová účinnost,

Traction properties of wheeled tractors

Abstract

The diploma thesis demonstrates a comprehensive overview of the development trends of wheel vehicles and the requirements for their traction properties in practice. The work deals with the evaluation of basic parameters for a specific concept of wheel tractors based on testing in laboratory conditions.

Keywords: traction properties, slip, traction power, traction efficiency

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
1 Úvod	9
2 Cíle práce	10
3 Rozbor provozních vlastností kolových vozidel	11
3.1 Kolový podvozek	11
3.1.1 Přední náprava	13
3.1.2 Rozdělení odpružení přední nápravy	14
3.1.3 Poháněné přední nápravy s hydropneumatickým odpružením	15
3.1.4 Poháněná přední náprava s pneumatickým odpružením	16
3.2 Pneumatiky	17
3.2.1 Požadavky na zemědělské pneumatiky	17
3.2.2 Složení pneumatik	17
3.2.3 Radiální a diagonální pneumatiky	18
3.2.4 Konstrukce a výroba pneumatik	18
3.2.5 Značení pneumatik	19
3.2.6 Tlak v pneumatikách	20
3.2.7 Regulace tlaku v pneumatikách VarioGrip	20
3.2.8 Konstrukce pneumatik využívaných u traktorů	22
3.2.9 Huštění pneumatik a jeho vliv na vlastnosti tahové charakteristiky a výkonu	23
3.2.10 Experimentální podhuštění pneumatik při orbě	23
4 Popis základních trakčních parametrů kolových zemědělských traktorů	26
4.1 Teoretický výpočet účinnosti traktorových tahových schopností v závislosti na konstrukci podvozku	26
4.2 Měření tahových vlastností	28
4.2.1 Měření pomocí měřicího vozu	29
4.2.2 Válcové zkušebny	30
4.3 Stanovení tahových ukazatelů ČSN ISO 789	31
4.3.1 Zkušební dráhy pro tahové zkoušky	32
4.4 Stanovení základních veličin pro tahové vlastnosti ČSN 789	33
5 Měření tahové charakteristiky traktorů John Deere 7700 a 8210	37
5.1 Charakteristika měřených traktorů	37
5.2 technické zázemí testovacího centra	38
5.2.1 Použitá měřicí zařízení a přístroje	38
6 Vyhodnocení měření tahové charakteristiky traktorů	41
6.1 Vyhodnocení měření tahové charakteristiky traktoru JD 7700	41
6.2 Vyhodnocení měření tahové charakteristiky traktoru JD 8210	46

7 Závěr	53
Seznam použité literatury a zdrojů	54
Seznam použitého SW	58
Seznam příloh	59

Seznam použitých značek a symbolů

Teoretický výpočet účinnosti traktorových tahových schopností v závislosti na konstrukci podvozku

η_s – účinnost prokluzu, [-]

s_f – prokluz předního kola, [%]

s_r – prokluz zadního kola, [%]

K_p – poměr rozdělení tahu, [-]

F_{DP} – tahová síla, [N]

η_M – účinnost efektivního pohybu, [-]

H_f – podélná síla na přední nápravu, [N]

H_r – podélná síla na zadní nápravu, [N]

M_f – moment na přední nápravě, [Nm]

M_r – moment na zadní nápravě, [Nm]

r_f – kinetický poloměr přední pneumatiky, [m]

r_r – kinetický poloměr zadní pneumatiky, [m]

ω_f – úhlová rychlost přední nápravy, [rad s⁻¹]

ω_r – úhlová rychlost zadní nápravy, [rad s⁻¹]

η_C – celková účinnost energie dodávané do půdy, [-]

η_{tr} – účinnost převodovky, [-]

Stanovení tahových ukazatelů ČSN ISO 789

H_{max} - statická výška osy tahu nad povrchem dráhy, [m]

G_p - statická zatížení dráhy předními koly, [N]

L - rozvor kol traktoru, [m]

F_{max} - maximální tahová síla, [N]

Stanovení základních veličin pro tahové vlastnosti ČSN 789

v_p - průměrná rychlost jízdy, [ms⁻¹]

F_t – tahová síla, [N]

P_t – Tahový výkon, [W]

m_{pt} – měrná spotřeba paliva, [g.kW⁻¹.h⁻¹]

M_{ph} – hodinová spotřeba paliva, [kg.h⁻¹]

ρ – hustota paliva, [kgm⁻³]

δ – prokuz, [%]

l_0 - dráha ujetá na zvolený počet otáček kola bez zatížení, [m]

l - dráha ujetá na stejný počet otáček kola se zatížením, [m]

n - počet otáček hnacího kola při jízdě se zatížením, [s⁻¹]

n_0 - počet otáček hnacího kola bez zatížení na stejné délce dráhy, [s⁻¹]

P_{emax} - maximální (tahový) efektivní výkon motoru, [W]

η_t - tahová účinnost, [-]

1 Úvod

Traktory, jako pracovní stroje jsou objektem stálého vývoje, jehož výsledkem jsou velké možnosti nastavení, při kterých lze stroj jako traktor provozovat. Tím se narůstá šance dosáhnout a trvale pracovat v požadované oblasti otáčkové charakteristiky i při měnícím se pracovním odporu, jako například vyhloubením nářadí nebo naopak zahloubením nebo při stoupání či klesání. Důležitým řídicím prvkem se stává společná spolupráce spalovacího motoru a převodovky, jehož výhody při provozu traktorových souprav si začali uvědomovat výrobci traktorů. Společná synchronizace poskytuje výhody pro ovlivnění režimu jízdy a nahradí lidský faktor, který se stával již limitujícím pro přesnou a přitom spolehlivou regulaci. Řazení má pod kontrolou řídicí jednotka, která vyhodnocuje vstupní a výstupní parametry a stále ho porovnává se vstupními daty, například otáčkami motoru, pojezdovou rychlostí a polohou plynového pedálu. [9]

Traktor je určen především pro tahové práce, proto jsou pro jeho provoz důležitým parametrem tahové vlastnosti. Zjišťování tahových vlastností traktoru je významné zejména pro stanovení kvality přenosu energie dosažené z jeho motoru, to má za následek mnoho okolností. Velikost síly přenositelné na podložku je dána rozsahem využití energie akumulované v palivu na vykonanou práci traktorové soupravy při tahových pracích. Podvozek traktoru a pneumatiky jsou hlavním členem a mají vliv zvláště na velikost prokluzu a valivého odporu, a tím tedy i na tahovou účinnost, která je určena poměrem tahového výkonu traktoru k efektivnímu výkonu motoru. Dalším důležitým bodem ovlivňujícím tahové vlastnosti traktoru je zatížení hnacích kol, které by nemělo způsobovat vysoký měrný tlak na půdu, aby nedocházelo k nadbytečnému utužování půdy.

Stejně, jak roste tahová síla při zvyšování zatížení nápravy podvozku, tak roste i při zvětšování styčné plochy mezi pneumatikou a povrchem. To znamená Při stejném zatížení je možno vyvinout vyšší tahovou sílu při nižším měrném tlaku na půdu. Zvětšení kontaktní plochy lze realizovat například dvojitou montáží pneumatik, nebo částečným podhuštěním pneumatiky. Obě tyto varianty v dnešní době nesou velký význam na celkovou tahovou účinnost stroje.

2 Cíle práce

Hlavním cíle práce je vytvořit ucelený přehled trendů vývoje traktorů a požadavků na jejich trakční parametry, které se projevují v praxi. Dílčí cíl práce je zhodnotit základní provozní parametry pro konkrétní koncepci kolových traktorů na základě testování v laboratorních podmínkách.

3 Rozbor provozních vlastností kolových vozidel

Podvozek lze definovat jako část traktoru, jehož celek tvoří všechny mechanismy, které umožňují jízdu a řízení traktoru. Úkolem podvozku je také zajišťovat další funkce jako nesení pracovního nářadí a strojů, umožňovat změnu rozchodu kol, u speciálních traktorů i změnu světlé výšky při zachování vyhovujících pracovních a tahových vlastností, hlavně stability a říditelnosti.

Provozní vlastnosti kolových traktorů ovlivňují nejvíce podvozek traktoru, ale také pneumatiky, které jsou na daný stroj osazeny. Vysvětlíme si nejprve jaké podvozky můžeme u traktorů definovat a jak různé parametry ovlivňují právě tahové vlastnosti.

3.1 Kolový podvozek

U kolového podvozku jsou standardně poháněna zadní kola. Pohon přední nápravy bývá připojen většinou automaticky, dle rychlosti traktoru, úhlu natočení kol, nebo v závislosti na prokluzu kol případně v závislosti na brždění v silničním režimu traktoru. Významným faktorem, který ovlivňuje komfort, bezpečnost jízdy a tahové vlastnosti je odpružení.

Podvozky zejména u traktorů nižších, ale také u vyšších výkonových tříd jsou bezrámové neboli samonosné (Obr. 1) konstrukce. U bezrámové konstrukce jsou jednotlivé části jako motor, převodovka, zadní rozvodovka) sešroubovány v jeden celek a tvoří tak nosnou konstrukci traktoru. Jednotlivé části takovéto konstrukce musí být dostatečně dimenzovány vzhledem k velkému namáhání, které působí na traktor při jízdě na nerovném povrchu s nesenými stroji. Nevýhodou této konstrukce je větší hmotnost jednotlivých skupin spojená s nutným dimenzováním a nevhodné rozložení hmotnosti. Nevhodné rozložení hmotnosti se snaží výrobci kompenzovat například uložením celého spalovacího motoru na přední nápravu traktoru, tak aby se zadní část traktoru vhodně dotěžovala pracovním nářadím či přídatným závažím do kol traktoru.

Nedostatky bezrámové konstrukce částečně odstraňuje polorámová konstrukce (Obr. 2). Rám, který nese některé strojní skupiny, většinou motor a převodovku, je přimontován k zadní nápravě s rozvodovkou. Skříň motoru a převodovky nemusí plnit nosnou funkci a nemusí být tak dimenzována a je lehčí. Podstatné je že umístění v rámu se může podřídit požadavku na vhodné rozložení hmotnosti a tím kladně ovlivnit trakční vlastnosti traktoru. Na polorámovou konstrukci se upevňuje přední tříbodový závěs, který může mít větší nosnost.

U traktorů nižších a středních tříd se stále více užívá rámové konstrukce podvozku. Použití této konstrukce si vyžádalo rostoucí zatížení od nářadí umístěné v předním a zadním tříbodovém závěsu. Nosnou funkci pak neplní skříň převodovky a motoru, ale rám, díky



Obr. 1: Podvozek traktoru bezrámové samonosné konstrukce [12]



Obr. 2: Podvozek polorámové konstrukce Fendt-Favorit 700 Vario [6]

čemuž mohou strojní skupiny mít nižší hmotnost a jejich umístění nemusí být podřízeno nosné funkci, čímž se přispěje k lepšímu rozložení hmotnosti, kladně ovlivňujícímu trakční vlastnosti. Umožňuje to také lépe splňovat požadavky na vyšší užitečné zatížení traktorů při jejich nízké hmotnosti. [2].

U kolových traktorů nižších tříd se více používá rámová konstrukce podvozku (Obr. 4). Použití této konstrukce způsobilo rostoucí zatížení nářadím na předním i zadním hydraulickém závěsu. Nosnou funkci při tomto řešení neplní skříňě motoru a převodů, ale rám. Strojní skupiny tedy mohou mít nižší hmotnost a jejich umístění nemusí být podřízeno nosné funkci. Jejich umístění v rámu tak přispívá k lepšímu rozložení hmotností a tím kladně ovlivňuje trakční vlastností traktoru.



Obr. 3: Rámová konstrukce traktoru JCB Fastrac [7]

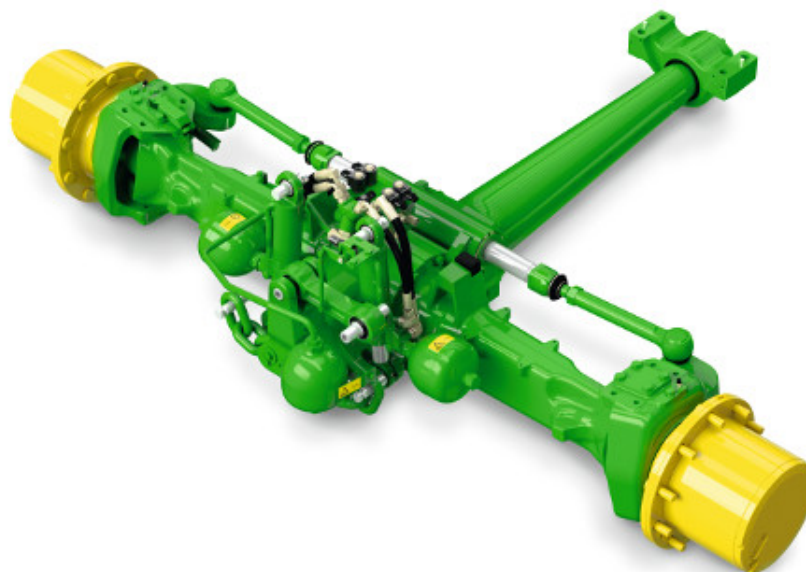


Obr. 4: Rámová konstrukce John Deere 5820 [12]

3.1.1 Přední náprava

Provedení přední nápravy má důležitý vliv na provozní vlastnosti traktoru. Musí splňovat celou řadu náročných požadavků. U poháněné nápravy zajistit přenos tahové síly, ale zároveň nést část vlastní hmotnosti traktoru spolu s čelním závažím, hmotnost vpředu připojeného nářadí nebo i čelního nakladače. Ve výjimečných případech (kompaktní traktory) může také přímo nést přední tříbodový závěs. Jako samozřejmost každý řidič očekává snadnou říditelnost stroje při všech rychlostech a účinné tlumení rázů.

Traktory John Deere byly mezi prvními, které nabízely systém odpružení přední nápravy. O tohoto výrobce se odpružená náprava nazývá TLS nebo ILS a můžeme ji vidět na Obr. 5. Díky rostoucí pracovní rychlosti traktorů je dnes odpružení přední nápravy u traktorů střední a vyšší výkonové třídy standardem. Při jízdě po nerovném terénu má přední náprava stálý kontakt s podložkou, čímž se zvyšují tahové vlastnosti traktoru a jízda je pro obsluhu pohodlnější ve srovnání s neodpruženou přední nápravou.



Obr. 5: Odpružená náprava John Deere TLS [1]

Kromě odpružení celé přední nápravy nabízejí někteří výrobci nezávislé odpružení jednotlivých kol, kdy jsou kola zavěšena pomocí kyvných pák. Tato konstrukce zlepšuje přenos výkonu motoru na podložku, jeho ovladatelnost a komfort jízdy. Tento způsob odpružení používá John Deere u řady 8000 dnes již označované jako 8R, které mají, každé přední kolo nezávisle odpružené, jak můžete vidět na Obr. 6. Tento systém odpružení se nazývá ILS (Independent Link Suspension).



Obr. 6: Odpružená náprava John Deere ILS [1]

3.1.2 Rozdělení odpružení přední nápravy

Odpružení přední nápravy traktoru je řešeno hydropneumaticky nebo pneumaticky s elektrickým ovládáním. Umožňuje udržovat nezávisle na zatížení výškovou polohu

v rozmezí až 100 mm při příčném výkyvu nápravy až 11°. Odpružení přední nápravy může být elektricky vypínáno. [11]

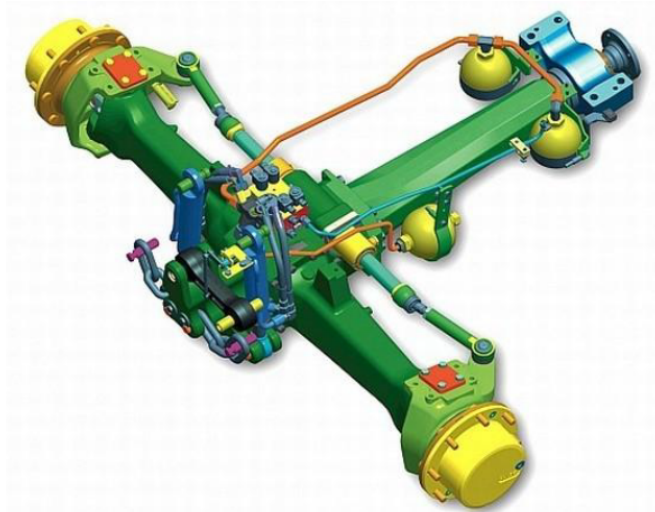
3.1.3 Poháněné přední nápravy s hydropneumatickým odpružením

Case IH u svého modelu Magnum vyvinul přední nápravu s aktivním odpružením (obr. 7) a únosností 6735 kg (dokonce 9650 kg do 16 km/h) pro možnost optimálního dotížení přední části traktoru. Díky umístění tahového bodu ve středu traktoru poskytuje také o 20 % vyšší tahový výkon. Aktivní systém jejího odpružení se pomocí dvojice hydraulických válců stará o komfort při práci na poli i silnici. To je dosaženo díky snímání polohy nápravy a pružícího tlaku pomocí senzorů a trojice akumulátorů tlaku o objemu dva litry. O dokonalé řízení a rychlou reakci systému odpružení se stará řídicí jednotka přední nápravy. Celá sestava také zaručuje výjimečnou jízdní stabilitu a komfort na poli i silnici.[13]



Obr. 7: Přední náprava Case IH Magnum [6]

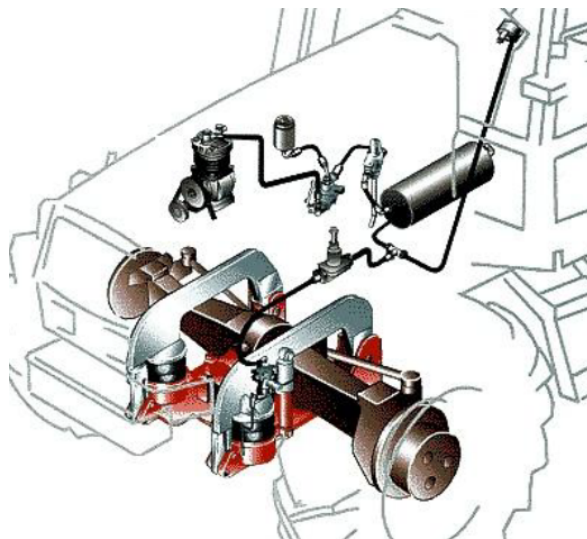
Náprava (Obr. 8) odpružena dvěma dvojčinnými přímočarými hydromotory a hydropneumatickou jednotkou s možností elektrického vypnutí pružení. Třetí bod zavěšení je přes panhardskou tyč. Přes centrální rameno pod traktorem jsou síly od přední nápravy přenášeny do těžiště traktoru. Výškový výkyv je 100 mm a příčný výkyv je 11°.



Obr. 8: Hydropneumatické odpružení přední nápravy John Deere [1]

3.1.4 Poháněná přední náprava s pneumatickým odpružením

Náprava je upevněna v pomocném rámu (Obr. 9), který je na jedné straně uložen v rámu traktoru a na druhé straně je podepřen pneumatickými pružícími jednotkami a tlumiči. Jako zdroj tlakového vzduchu se využívá kompresoru, který slouží i k brzdění přívěsu. Jedná se o modifikaci odpružení, které se využívá u užitkových vozidel a osvědčilo se i v extrémních klimatických podmínkách. [11]



Obr. 9: Pneumatické odpružení přední nápravy traktoru Valtra [12]

3.2 Pneumatiky

Dalším významným parametrem pro tahové vlastnosti jsou pneumatiky. Jsou důležitou částí traktoru, protože zajišťují spojení mezi traktorem a podložkou na kterou přenášejí hnací a brzdící momenty, boční síly, hmotnost traktoru a připojeného nářadí, eliminují prokluz kol a zvyšují tahové účinnosti na přijatelný limit, který se doporučuje od výrobce. Ovlivňují také jízdní komfort a odpružení traktoru. Jejich vlastnosti stanovuje především tlak, konstrukce pláště a jejich vzorek.

Pneumatika musí zajistit stabilitu vozidla při jízdě. Důraz je kladen na nízký valivý odpor, velikost styčné plochy, samočisticí efekt, odolnost vůči cizím předmětům a v neposlední řadě vysokou životnost. [10]

3.2.1 Požadavky na zemědělské pneumatiky

Pneumatiky v zemědělství jsou obzvláště specifické. Jejich úkolem je přenášet tahovou sílu na podložku. Tuto funkci zastávají traktory a samojízdné prostředky (sklizňové stroje). Nesprávně zvolené pneumatiky mohou způsobit ztrátu optimálních tahových vlastností soupravy, což se projeví v ekonomické stránce. Pneumatiky v zemědělství mají vliv na techniku, která je provozována po půdě. Požadavky na zemědělské pneumatiky jsou tyto:

- pneumatika by neměla poškozovat polní porost
- schopnost přenést velký moment za nepříznivých adhezních podmínek
- zajištění velké kontaktní plochy pneumatiky s povrchem
- odolnost vůči poškození
- samočisticí efekt
- možnost přenesení vysokého zatížení i při nízkém tlaku

3.2.2 Složení pneumatik

Pneumatikou rozumíme plášť, případně plášť s duší. Plášť tvoří vnější část pneumatiky, která zajišťuje kontakt s podložkou a dosedá svou patkou na ráfek. Pneumatiku tvoří tři hlavní komponenty: pryž 80-85%, 12-16% různá vlákna a 2-3% připadají na ocelový drát. Dalšími přísadami jsou saze, oleje, textilie a různé chemikálie. Samotná pneumatika se skládá z běhounu, kostry, bočnic, patky a nárazníkové vrstvy.[2] [3]

Běhoun vytváří kontakt s podložkou a odvádí teplo vzniklé v pneumatice vlivem hysterezních pochodů. Vzor záběrových figur je u traktorových pneumatik šípový s žebry

tvárouvanými do oblouku. Konstrukce pneumatiky ovlivňuje nejvíce vlastnosti pneumatiky, mezi které patří styčná plocha, nosnost, valivý odpor atd. [3]

3.2.3 Radiální a diagonální pneumatiky

Podle konstrukce kostry pneumatiky lze rozdělit pláště na radiální a diagonální. V pneumatikách s diagonální konstrukcí jsou kordové nitě kladeny křížem přes sebe a svírají s podélnou osou úhel 30-40°, běhoun tak vytváří jeden celek s bočnicí. Všechny její pohyby se přenáší na běhoun, následkem čehož dochází k deformaci a otěru. U radiálních konstrukcí jsou vlákna v kostře položena radiálně od patky k patce kolmo k obvodu pneumatiky. Boční stěny jsou vzhledem k radiálnímu uložení vláken velmi pružné, takže je umožněna větší deformace. Radiální konstrukcí se dosáhne větší kontaktní plochy s půdou, do záběru se dostane větší počet záběrových figur, čímž se zlepší přenos hnací síly a sníží se prokluz. [3]

3.2.4 Konstrukce a výroba pneumatik

Také zemědělské pneumatiky se dělí na radiální a diagonální. Kostra vytváří nosnou část a nejvíce ovlivňuje vlastnosti pneumatiky jako je valivý odpor, nosnost, styčná plocha a jiné. Pneumatika je tvořena z pogumovaných vložek kordové tkaniny, která je vyrobena z nylonu, oceli, polyesteru či aramidu.



Obr. 10: Řez pláštěm radiální traktorové pneumatiky [5]

Výstupky traktorových pneumatiky bývají vysoké 30 – 60 mm . Příliš velký dezén by způsoboval zhoršení provozních vlastností na silnici a zvýšení odporu valení po pozemku.

Také samotná výška dezénu ovlivňuje počet párů šípů v dezénu. Menší výška profilu šípů znamená hustější osazení pneumatiky šípy. [15]

3.2.5 Značení pneumatik

Rozměry pneumatiky jsou dány třemi základními parametry, mezi něž patří výška profilu, šířka nezátížená a huštěné pneumatiky a průměr ráfku, přičemž musí odpovídat předpisům Evropské hospodářské komise. Profilové číslo vyjadřuje poměr výšky profilu k šířce pneumatiky. Dojde-li ke snížení profilového čísla při zachování vnějšího průměru a průměru ráfku, zvětšuje se šířka pneumatiky a tím i objem vzduchu. Pneumatiky používané v zemědělství mají hodnotu profilového čísla v rozmezí 65 – 85 %. Na pneumatice jsou vyznačeny další informace jako konstrukce kostry, bývá označena jako D (diagonální pneumatika) či R (radiální pneumatika). Vyznačení TT (tube type) jedná se tedy o pneumatiku s duší, více používané jsou pneumatiky bezdušové označované jako TL (tubeless). Dalším značením je index rychlosti SI (speed index), vyjadřuje rychlostní index, pro kterou je pneumatika konstruována.

Hodnoty rychlostního indexu, (Tab. 1) a vybrané hodnoty hmotnostního indexu jsou vyobrazeny v Tab. 2. Hmotnostní index je označován LI (load index) a příslušnými čísly. Na pneumatice nebývá zobrazena hodnota tlaku, protože tlak je závislý na rozměrech, jejím zatížení a provozní hmotnosti. Na pneumatice bývá pouze značený maximální tlak v pneumatice. [10]

Tab. 1: Vybrané hodnoty rychlostního indexu SI [16]

Hodnoty rychlostního indexu pneumatiky										
SI	B	C	D	E	F	G	J	K	L	M
Rychlost [km.h ⁻¹]	50	60	65	70	80	90	100	110	120	130

Pneumatika označená 650/65 R42 TL 168 B udává následující informace:

Tab. 2: Značení hmotnostního indexu LI [16]

LI	Zatížení [kg]	LI	Zatížení [kg]	LI	Zatížení [kg]
151	3450	161	4625	171	6150
152	3550	162	4750	172	6300
153	3650	163	4875	173	6500
154	3750	164	5000	174	6700
155	3850	165	5150	175	6900
156	4000	166	5300	176	7100
157	4125	167	5450	177	7300
158	4250	168	5600	178	7500
159	4375	169	5800	179	7750
160	4500	170	6000	180	8000

- číslo 650 označuje šířku pneumatiky v mm
- hodnota 70 značí profilové číslo pneumatiky udávané v %
- písmeno R udává informaci, že se jedná o pneumatiku radiální
- 42 průměr ráfku v palcích
- značka TL udává, že se jedná o bezdušovou pneumatiku
- písmeno B značí rychlostní index, tedy pneumatika je konstruována do 50 km/h
- pneumatika snese zatížení 5600 kg, čemuž odpovídá číslo 168

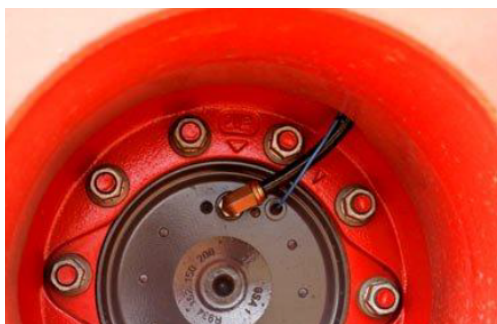
3.2.6 Tlak v pneumatikách

Pro optimální jízdní vlastnosti a dlouhou životnost je důležité udržovat předepsaný tlak. Je výhodné při práci na poli tlak v pneumatikách snížit, aby se zvětšila styková plocha traktoru s podložkou, čímž se zlepší tahové vlastnosti a zmenší se plošné zatížení půdy. Tlak však musí být snížen jen do té míry, aby nedocházelo k protáčení pneumatiky na ráfku. Při návratu na zpevněné komunikace je vhodné tlak v pneumatikách zvýšit, aby se předešlo nadměrnému opotřebování pneumatiky.

3.2.7 Regulace tlaku v pneumatikách VarioGrip

Jak již bylo zmíněno výše, tlak vzduchu v pneumatikách významně ovlivňuje utužení půdy. Z tohoto důvodu se využívají na traktoru systémy, které mají za úkol upravit tlak huštění v závislosti na podmínkách (požadavcích obsluhy).

Firma Fendt nabízela jako první do vozidla integrovaný systém regulace tlaku v pneumatikách s názvem VarioGrip. (Obr. 13). V dnešní době tento systém nabízí řada jiným výrobců zemědělské techniky.

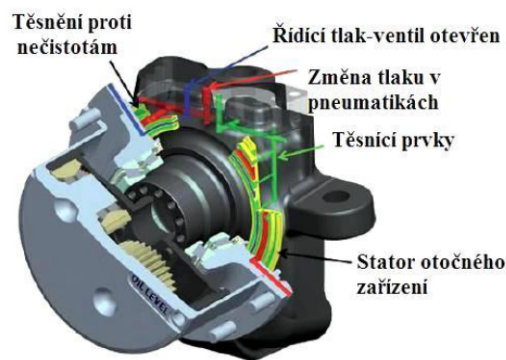


Obr. 11: Speciální ventil Systému VarioGrip [12]

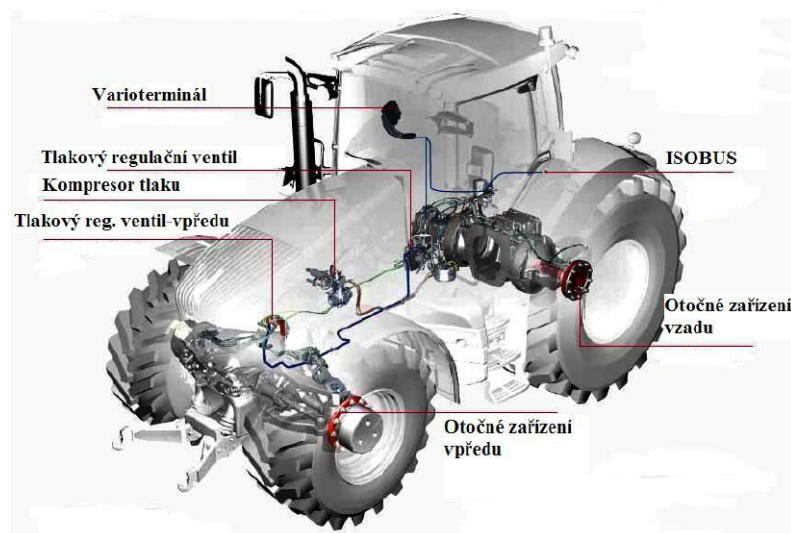
Systém umožňuje regulaci tlaku vzduchu i během jízdy. Pomocí Varioterminálu je možné změnit tlak vzduchu v pneumatikách jednoduchým stiskem tlačítka. Systém VarioGrip

funguje na principu rotačního těsnění, přísun vzduchu je získáván z upraveného kompresoru a přes speciální upravené ventily (Obr. 11) do pneumatiky traktoru.

Této regulace se dosahuje pomocí prstence, umístěného uvnitř náboje (Obr. 12), který je konstruován na celou životnost traktoru. Během deseti minut může být tlak v pneumatikách zvýšen až o jeden bar. Upuštění tlaku o jeden bar trvá asi dvě minuty. Ovládání zařízení pro regulaci tlaku v pneumatikách je integrováno do celkového konceptu vozidla. Pomocí Varioterminálu může být také regulován tlak v pneumatikách přípojného vozidla. Komunikace probíhá pomocí rozhraní ISO-BUS. Asistenční systém zobrazuje obsluze na základě rozdílných parametrů příliš vysoký nebo naopak nízký tlak v pneumatice. Pomocí tohoto asistenta je v pneumatikách vždy optimální tlak. Díky systému VarioGrip je dosahováno optimálního tlaku v pneumatikách. [14]



Obr. 12: Koncový převod pro VarioGrip [14]

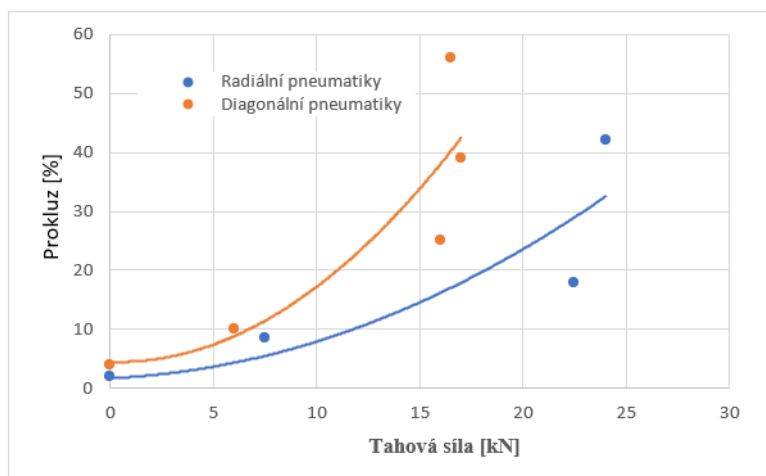


Obr. 13: Schéma systému VarioGrip [14]

3.2.8 Konstrukce pneumatik využívaných u traktorů

Současné traktory a samojízdné stroje jsou osazeny především radiálními pneumatikami, které mají mnoho pozitivních vlastností oproti pneumatikám diagonálním. Diagonální pneumatiky se na trhu stále objevují, své uplatnění ale nachází u traktorů nejmenších výkonových řad a stavební techniky, následná konstrukce byla již popsána v kapitole výše. Mezi výhody radiální pneumatiky patří, že zajišťuje větší kontaktní plochu s půdou až 20 – 25 % ve srovnání s diagonálními. Zvětšením styčné plochy pneumatiky, je docíleno menšího měrného tlaku na půdu a tím i nižšího zhutnění půdy. Zvětšením kontaktní plochy se dostane do záběru větší část běhounu, která zajistí lepší tahové vlastnosti. [17]

Radiální pneumatiky umožňují lepší přenos hnací síly na podložku a následný menší prokluz kol traktoru, jak je zřejmé z Obr. 14. Radiální pneumatiky mají výhodu díky vyšší rychlosti a nosnosti. Při odvalování diagonálních pneumatik dochází k deformaci boční části, což je příčinou opotřebení. [10]



Obr. 14: Prokluzová charakteristika při rozdílné konstrukci pneumatik [18]

3.2.9 Huštění pneumatik a jeho vliv na vlastnosti tahové charakteristiky a výkonu

Tahová účinnost je považována za nejdůležitější faktor traktorů, zejména v rostlinné výrobě. Výzkumné studie naznačují, že zhruba 20 – 55 % energie přenesené na kola traktoru jsou v pneumatice ztracena z důvodu interakce pneumatiky s půdou. Tato energie je nejen zbytečná, ale také způsobuje zhutnění půdy, [20]. Zvyšující se tahová účinnost znamená efektivnější využití mechanické práce motoru. Jinými slovy, možnosti vyšší účinnosti spočívá ve snížení ztrátového výkonu.

Běžná rychlost traktoru během provozu v terénu se pohybuje od 3 km/h do 15 km/h . Bohužel toto je rozsah rychlostí, kde prokluz kol nabývá maximálních hodnot. Proto by měl být cíl zaměřen na zmenšení prokluzu pneumatiky, což může přinést větší tahová účinnost traktoru. Existují dva základní způsoby, jak snížit prokluz.

První spočívá ve zvýšení hmotnosti traktoru o přídavné zátěže. Druhou možností je zvětšit kontaktní plochu mezi pneumatikami a povrchem. Zvětšení kontaktní plochy pneumatiky snižuje záporné hodnoty vlivů pohybu traktoru na pole a omezuje fyzikální degradaci vlastností půdy (poškození struktury, zhutnění atd). Navíc větší kontaktní plocha zmenšuje valivý odpor v měkké půdě [21]. V této souvislosti existuje intenzivní výzkumné úsilí a vývoj za účelem zjištění optimálních provozních parametrů což by mohlo zlepšit trakční účinnost. Bylo zjištěno, že nahuštění pneumatik je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující trakci [22]. Obecně platí, pro trakci, že v kyprých nebo měkkých půdách, vede pokles tlaku v pneumatikách ke zlepšení distribuce obou normálových a tangenciálních inferenčních napětí v tahu ke zvýšení výkonu pneumatiky. [23] Rozsah tlaku v pneumatikách 40 – 50 kPa se doporučuje, aby se předešlo škodlivému poškození půdy ve vlhkých až mokrých půdních podmínkách. [24] Výhody používání nízkotlakých pneumatik, mají pozitivní vliv na tahové schopnosti a také na zhutňování půdy. Společnosti, které vyvíjí zemědělské stroje spolupracují s výrobcí pneumatik, tak aby společně vyvíjeli nízkotlaké pneumatiky s tlakem huštění okolo 40 kPa, které by neměly negativní vlastnosti na utužení půdy.

3.2.10 Experimentální podhuštění pneumatik při orbě

V roce 2009 se ve své práci pánové doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D. a Ing. Tomáš Šmerda, Ph.D z Mendelovy univerzity v Brně zabývali zmenšováním tlaku huštění v pneumatikách při orbě v závislosti na zlepšení tahových vlastností traktoru.

Práce se zabývá důsledky nahuštění pneumatik na tahová vlastnosti a výkonově-energetické parametry traktoru při orbě. Zkouška, kterou se práce zabývá byla provedena za použití dvou sad pneumatik s různými tlaky.

Na měření byly použity následující radiální pláště:



Obr. 15: Příklad nízkotlaké pneumatiky podhuštěné na 50 kPa [25]

- Pneumatiky s úzkými běhouny (standard) Přední pneumatika: 14,9 R28 Zadní pneumatika: 18,4 R28
- Pneumatiky se širokými běhouny (nízkoprofilové) Přední pneumatika: 520/60 R28 Zadní pneumatika: 650/60 R38

Samotné měření spočívalo v podhuštění pneumatik na níže uvedené hodnoty a následným testováním v polních podmínkách.

Huštění pneumatik bylo sníženo ze 180 na 65 kPa a 75 kPa u pneumatik se širokými běhouny. Podhuštění vedlo ke zvýšení kontaktní plochy přední pneumatiky o 24,7% a zadní pneumatiky o 31,1%.

U pneumatik s hustým dezénem bylo podhuštěno z 250 kPa na 170 kPa. Podhuštění vedlo ke zvýšení kontaktní plochy obou pneumatik v průměru o 21,4 %.

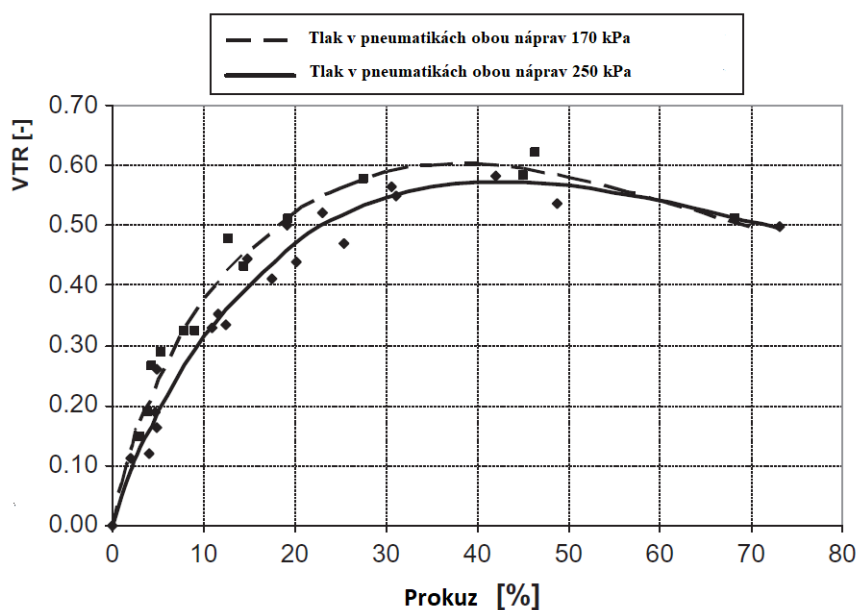
Tato změna v hustění měla pozitivní dopad na výkonnostní parametry stroje jak je vidět v Tab. 3 [22]

Cílem této práce bylo demonstrovat, jak je snížení tlaku huštění důležité na výkonnostní parametry tahového prostředku.

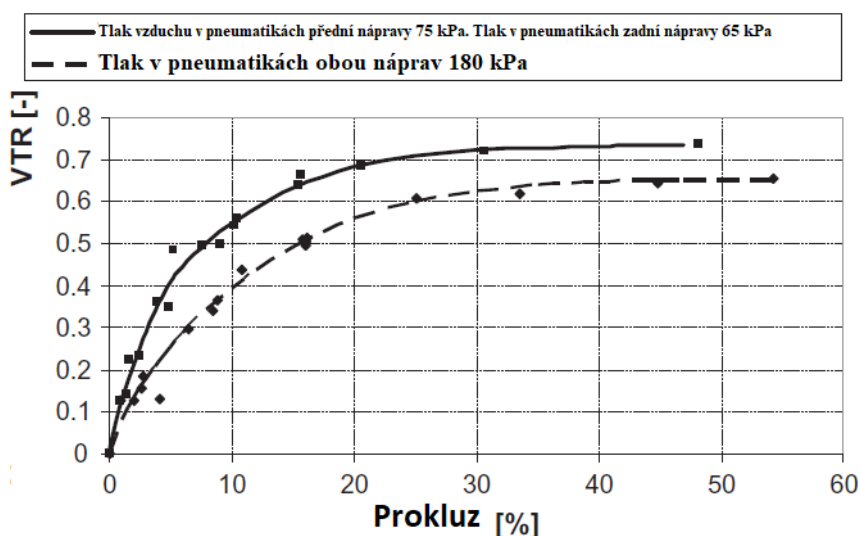
Tab. 3: Výsledky měření [22]

Výsledky měření orebního testu

	Šířka m	Hloubka m	Rychlost traktoru		Prokluz %	Plošný výkon		Spotřeba paliva	
			m s ⁻¹	kph		ha h ⁻¹	m ³ s ⁻¹	l ha ⁻¹	ml m ⁻³
<i>Radiální pláště se širokým dezenem (nízkoprofilová) přední 75 kPa, zadní 65 kPa</i>									
Hodnoty	2.71	0.25	1.31	4.70	19.11	1.27	0.895	24.33	9.61
<i>Radiální pláště se širokým dezenem (nízkoprofilová) obě nápravy 180 kPa</i>									
Hodnoty		0.26	1.21	4.35	21.99	1.17	0.83	26.68	10.38
<i>Radiální pláště s hustým dezenem (standardní) obě nápravy 250 kPa</i>									
Hodnoty		0.25	1.23	4.44	24.73	1.17	0.81	26.55	10.67
<i>Radiální pláště s hustým dezenem (standardní) obě nápravy 170 kPa</i>									
Hodnoty		0.25	1.29	4.66	20.74	1.21	0.832	25.53	10.34



Obr. 16: Tahový poměr vozidla v závislosti na skluzu s radiálními pneumatikami s úzkými běhouny (standardními) při různých tlacích. [22] (VTR - tahová účinnost)



Obr. 17: Tahový poměr vozidla proti skluzu u radiálních pneumatik se širokými běhouny (nízkoprofilové) při různém tlaku. [22] (VTR - tahová účinnost)

4 Popis základních trakčních parametrů kolových zemědělských traktorů

Traktor je určený především pro tahové práce. Celkový přehled o tahových vlastnostech traktoru podává tahová charakteristika. Pokud chceme posoudit tahové vlastnosti komplexně nevystačíme pouze s parametry jako tahová síla, výkon, spotřeba apod. zjištěnými při jednom režimu práce traktoru. Pro objektivní posouzení energetického prostředku je nutné znát vzájemné vztahy těchto jednotlivých činitelů v celém rozsahu pracovních režimů. Grafické vyjádření průběhu tahového výkonu P_t , prokluzu kol δ měrné tahové spotřeby paliva m_{pt} , popř. dalších parametrů v závislosti na tahové síle F_t , se nazývá tahová charakteristika.

Při tahových zkouškách se měří především tahová síla, rychlost teoretická a skutečná, spotřeba paliva, popř. další hodnoty, které se po vyhodnocení vynášejí do tahové charakteristiky. Podle zvoleného typu zkoušky a použité měřicí aparatury jsou měřené údaje zaznamenávány kontinuálně, nebo jako průměrné hodnoty naměřené na vytyčené dráze při ustáleném pohybu měřeného traktoru. [10]

4.1 Teoretický výpočet účinnosti traktorových tahových schopností v závislosti na konstrukci podvozku

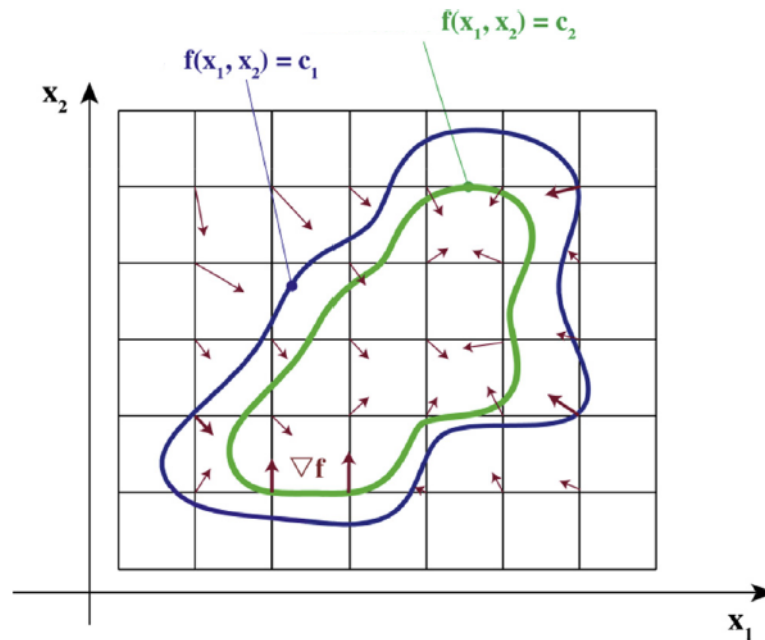
Možnost přesunutí do podvozků

Tahová účinnost je hlavním problémem výrobců zemědělských traktorů a koncových uživatelů a to jak z ekonomických, tak z environmentálních důvodů. Ve článku, který nese název Teoretická studie parametrů ovlivňujících účinnost dodávky výkonu zemědělského traktoru, od autorů Nicolò Regazzi, Mirko Maraldi a Giovanni Molari, který vyšel v roce 2018 v Department of Agricultural and Food Sciences, je vyvinut trakční model celého vozidla, který zohledňuje speciální vlastnosti zemědělských traktorů. Cílem článku bylo identifikovat klíčové konstrukční parametry ovlivňující výkon a účinnost dodávaný zemědělskými traktory a kvantifikovat jejich účinek na tahový výkon. Za tímto účelem byly provedeny numerické simulace různých konstrukčních parametrů traktorů. Výsledky simulací byly poté analyzovány pomocí různých metod, která umožnily identifikovat nejdůležitější konstrukční parametry pro dosažení nejlepšího konstrukčního vlastností a tím i nejlepších tahových vlastností. [24]

Účinnost prokluzu můžeme spočítat podle vztahu

$$\eta_s = 1 - \frac{s_f(1 - s_r) - (s_f + s_r)K_p}{s_f(1 - s_r) + (s_f + s_r)K_p}, \quad (1)$$

kde:



Obr. 18: Příklad gradientní analýzy pro funkci dvě proměnných. oblast je diskretizována v 56 bodech. Gradient se počítá na vnitřních uzlech. Směr gradientu je kolmý k úrovnovým křivkám a může se lišit od uzlu k uzlu. [24]

η_s – účinnost prokluzu,

s_f – prokluz předního kola,

s_r – prokluz zadního kola,

K_p – poměr rozdělení tahu, který se spočítá podle vztahu:

$$K_p = \frac{H_r}{F_{DP}}$$

kde:

F_{DP} – tahová síla,

dále můžeme spočítat účinnost efektivního pohybu podle vztahu:

$$\eta_M = \frac{H_f(L + 1) + H_r}{\frac{M_f}{r_f}(L + 1) + \frac{M_r}{r_r}} \quad (2)$$

kde:

η_M – účinnost efektivního pohybu,

H_f – podélná síla na přední nápravu,

H_r – podélná síla na zadní nápravu,

M_f – moment na přední nápravě,

M_r – moment na zadní nápravě,

r_f – kinetický poloměr přední pneumatiky,

r_r – kinetický poloměr zadní pneumatiky,

L – poměr obvodových rychlostí přední a zadní nápravy, který se spočítá podle vztahu:

$$L = \frac{\omega_f r_f - \omega_r r_r}{\omega_r r_r}$$

kde:

ω_f – úhlová rychlost přední nápravy,

ω_r – úhlová rychlost zadní nápravy,

Pokud dále budeme chtít vyjádřit celkovou účinnost dodávané energie do půdy můžeme ji vypočítat podle vztahu:

$$\eta_t = \eta_M \cdot \eta_s \cdot \eta_{tr} \quad (3)$$

kde:

η_C – celková účinnost energie dodávané do půdy,

η_{tr} – účinnost převodovky.

Výsledné rovnice udávají stav, který by měl dosáhnout nejlepších výstupních parametrů pro tahové charakteristiky a tím i celkového výkonu traktoru.

4.2 Měření tahových vlastností

Zkoušky tahových vlastností traktorů se provádí podle metodik OECD Code 1 a 2, postup tahových zkoušek obsahují také normy ČSN ISO 789-9 a ČSN ISO 789-7. Znamé dvě metody měření tahových vlastností a to měření za pomoci měřicího vozu, či jiného zařízení připojené za traktor, v reálných podmínkách nebo měření na válcové stolici v laboratorních podmínkách [15]

Tahové vlastnosti se zjišťují buď při ustálených režimech práce měřeného vozidla při tzv. standardních tahových zkouškách, nebo s plynulou změnou zatížení zkoušeného vozidla při tzv. urychlených tahových zkouškách a to buď se zatěžováním traktoru kontinuálně měnící se silou, a nebo zatěžováním měnící se silou s krátkými úseky rovnoměrného pohybu. Nevýhodou prvního typu zkoušek, je nutné naměřené údaje korigovat setrvačnými účinky od posuvných a rotačních hmot. Tato korekce u druhého typu zkoušek odpadá.

Výkon naměřený při tahové zkoušce je nižší než výkon na vývodovém hřídeli o mechanické ztráty v převodech, ztráty valením a prokluzem kol. Při transformaci na

tahový výkon na betonové dráze se ztráty pohybují v rozmezí 10 až 18 % a maximální tahová účinnost traktoru se pohybuje v rozsahu 80 až 87 %. Uvádí se, že ztráty táhnocího traktoru jsou asi 30 až 50 % efektivního výkonu motoru. Uvedené ztráty jsou velmi ovlivněny podmínkami práce traktoru, konstrukčním řešením a kvalitou sestavy traktoru s pracovním strojem. Ztráty mohou být ještě vyšší při nevhodně zvolené soupravě. [2]

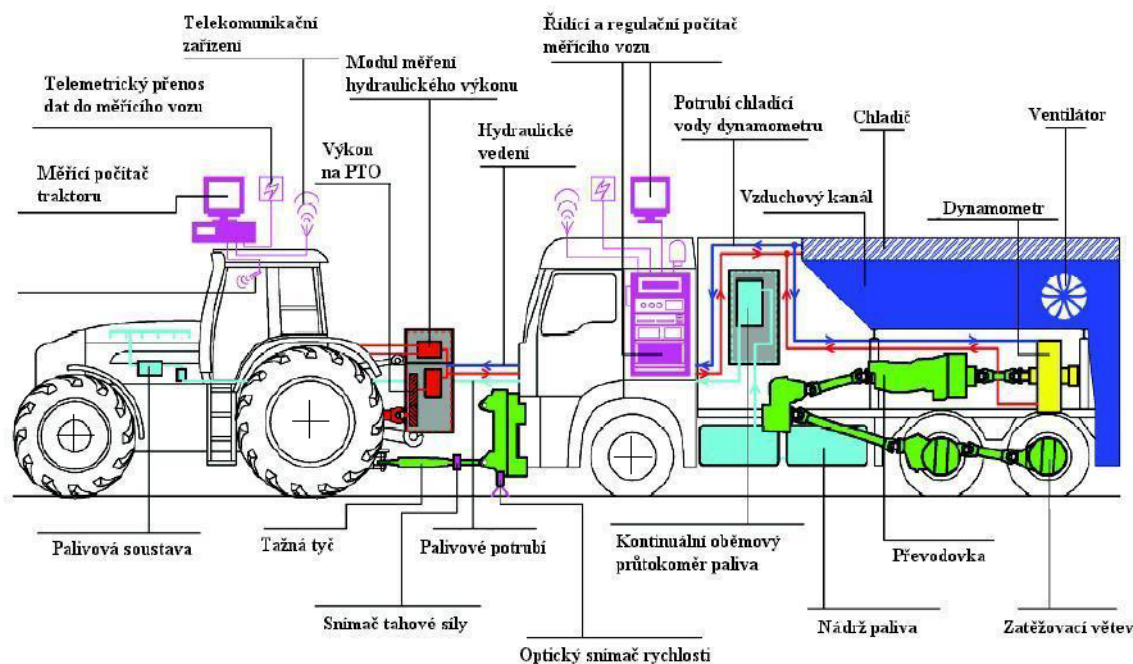
4.2.1 Měření pomocí měřícího vozu

Zkušební dráhy pro tahové zkoušky kolových traktorů jsou s betonovým nebo živičným povrchem, strniště obilovin nebo pozemek připravený k setí. Tahové parametry traktoru se na zkušební dráze stanovují zatěžováním pohybujícího se traktoru silou, působící na přípojovací zařízení. Pro vyvození brzdě síly se používá zatěžovací vozidlo (zpravidla speciální nákladní automobil (Obr. 20), pracovní nářadí, nebo jiný traktor), jehož brzdový systém umožňuje nastavení požadované zatěžovací síly a její udržení po dobu měření. Součástí měřícího vozu jsou také snímače a měřicí přístroje ke zjištění potřebných údajů pro sestavení tahové charakteristiky. Standardní tahové zkoušky se provádí při ustáleném režimu činnosti motoru. Na výsledky má vliv celá řada okolností, jako stav povrchu zkušební dráhy, povětrnostní podmínky, druh a stav pneumatik a další. Proto v poslední době začínají nabývat na významu laboratorní měření výkonu na nápravách traktoru, nebo na válcových dynamometrech.



Obr. 19: Snímače tahové síly [12]

Součástí měřícího vozu jsou také snímače (Obr. 19) a měřicí přístroje ke zjištění potřebných údajů pro sestavení tahové charakteristiky. Jako brzdící vozidlo především při polních zkouškách je možno použít také jiný traktor. Standardní tahové zkoušky se provádí při ustáleném režimu činnosti motoru. Na výsledky má vliv celá řada okolností, jako stav povrchu zkušební dráhy, povětrnostní podmínky, druh a stav pneumatik a další. Proto se častěji využívají laboratorní měření výkonu na nápravách traktoru, nebo na válcových dynamometrech podle normy ČSN ISO 789-7.



Obr. 20: Schéma soupravy pro měření tahové charakteristiky traktoru. [2]

4.2.2 Válcové zkušebny

Měření tahových vlastností se stále více provádí v testovacích centrech tedy v laboratorních podmínkách na válcových dynamometrech. V současné době se můžeme setkat s moderními válcovými zkušebnami (Obr. 21).

Měření tahových vlastností v laboratorních podmínkách na válcových dynamometrech se pro nesporné výhody používají stále častěji. V současné době je možné se setkat s moderními válcovými zkušebnami charakteristickými znaky jako:

- velké průměry válců – u dvojic válců pro jedno kolo je to více jak 0,5 m
- každému kolu odpovídá samostatný válec (dvojice válců) – válce pro jednu nápravu nejsou pevně mechanicky spojeny,
- každému kolu odpovídá jeden dynamometrický pohon – tj. nezávislý dynamometr s digitálním řízením otáček i momentu
- každému kolu přísluší skluzová rolna – pro měření otáček (obvodové rychlosti) kola, z nichž je možno vyhodnotit prokluz
- digitálním řízením celé zkušebny
- distribuovaným řídicím a měřícím systémem – řízení, měření a zpracování výsledků je rozloženo na více procesorů (počítačů)
- použitím nových informačních technologií uplatnění uplatnění online databází.



Obr. 21: Válcová zkušebna pro měření tahových vlastností traktorů Tess Vsetín s.r.o. [19]

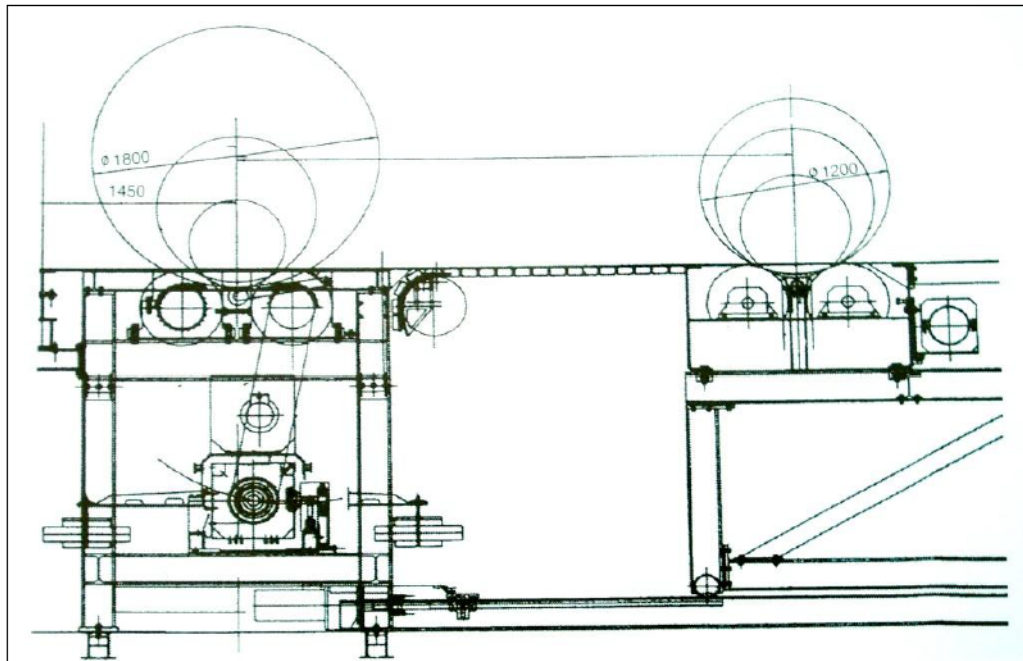
Na válcových zkušebnách lze provádět celou řadu různých testů, zkoušky hnacího ústrojí, tahových vlastností vozidla, automatiky řazení, zkoušky brzdové soustavy, kalibrační testy a další doplňkové testy. Díky řešení zkušeben, kdy konfigurace a realizace zkoušek je svěřena řídicímu softwaru, lze nastavit na zkušebně testy přesně dle přání uživatele. Software řízení dynamometru umožňuje například simulovat dynamická zatížení traktoru naměřená v provozu apod.

I přes vysokou investiční náročnost tohoto způsobu testování jehož výhody spočívají v opakovatelnosti měření a eliminaci nepříznivých vlivů, se kterými zahrnují klasické tahové zkoušky v terénu. Obdobně, jako při měření na zkušební dráze, lze na válcovém dynamometru provádět zkoušky při ustálených režimech (obdobu standardní tahové zkoušky) i při plynulé změně zatížení měřeného vozidla (urychlená tahová zkouška). V některých případech, například chceme-li měřit tahové vlastnosti traktoru s automatickým řazením převodových stupňů, nebo s převodovkou s plynulou změnou převodového poměru, lze měření realizovat pouze při plynulé změně zatěžující síly.

4.3 Stanovení tahových ukazatelů ČSN ISO 789

Stanovení těchto ukazatelů definují normy ČSN ISO 789-9 Zemědělské traktory - Postupy zkoušek - Část 9: Zkoušky výkonu na výkyvném táhle a ČSN ISO 789-7 Zemědělské traktory. Zkušební metody. Část 7: Výkon na hnací nápravě.

Před provedením tahových zkoušek musí být traktor zaběhnut. Rozměry pneumatik a tlak vzduchu v nich musí odpovídat předpisu pro konkrétní typ pneumatik a traktoru. Opotřeben



Obr. 22: Schéma válcového dynamometru pro měření tahových vlastností traktorů (MENDELU Brno) [2]

vzorku (úbytek jeho výšky) nesmí přesahovat 30 % a protažení pásu 2 % z původních rozměrů.

Směr tahové síly musí být vodorovný (odchylka od vodorovné roviny max. $\pm 3\%$). Výška bodu závěsu (Obr. 23) musí být stejná při všech režimech zkoušek a musí zabezpečovat zachování ovladatelnosti traktoru z hlediska kontaktu předních kol s povrchem dráhy.

Při tahových zkouškách kolových traktorů se poloha připojovacího zařízení (výška osy tahu nad povrchem dráhy), z důvodu zachování říditelnosti, stanoví podle vzorce:

$$H_{max} = \frac{0,8 \cdot G_p \cdot L}{F_{tmax}} \quad (4)$$

kde

H_{max} - statická výška osy tahu nad povrchem dráhy

G_p - statická zatížení dráhy předními koly

L - rozvor kol traktoru

F_{max} - maximální tahová síla

4.3.1 Zkušební dráhy pro tahové zkoušky

- pro kolové traktory na pneumatikách: dráha s betonovým povrchem (obr. 24) nebo živичný makadam s minimálním množstvím spojovacích rýh.



Obr. 23: Nastavení výšky bodu závěsu na měřícím vozidle [12]

– pro pásové traktory a traktory s ocelovými koly - hlinitá dráha nebo uválcovaná cesta.

Doplňovací zkoušky mohou být provedeny na strništi obilovin, pozemku připraveném k setí apod. Charakteristiky drah a pozemků jsou uvedeny v Tab. 4.

Výsledky tahových zkoušek se uvádějí ve formě grafu tahové charakteristiky nebo v tabulkové formě, podle kterých se rovněž ověřuje, zda tahová síla odpovídá její jmenovité hodnotě.

4.4 Stanovení základních veličin pro tahové vlastnosti ČSN 789

Průměrná tahová síla traktoru F_t je vyjádřena podle vztahu:

$$F_t = \frac{\int_0^{S_0} F_{t0} \cdot ds}{S_0} \quad (5)$$

kde:

F_t - okamžitá hodnota síly,

S_0 - dráha ujetá traktorem za dobu zkoušky,



Obr. 24: Zkušební dráha s batonovým povrchem v Nebrasce [12]

Tab. 4: Charakteristika drah a pozemku pro tahové zkoušky [12] *Poznámky:* 1. Z betonu musí být odstraněno bláto a 2. Vlhkost půdy se stanoví v hloubce ob 0 do 15 cm .

Dráha nebo pozemek pro zkoušky	Typ zkoušeného traktoru	Odchylka rovinatosti pozemku v mezích celkových rozměrů traktorů, max., [mm]	Sklon povrchu dráhy nebo pozemku v rozmezí celkových rozměrů traktoru, maximum, [%]		Vlhkost půdy při zkouškách, [%]
			ve směru jízdy	kolmo ke směru jízdy	
Beton Makadam	kolový	10	1	3	Není stanovena
Hlinitá dráha	pásový	20	2	6	od 8 do 15
Strniště obilovin	kolový a pásový	40	2	6	od 8 do 18
Pozemek připravený k setí	kolový a pásový	40	2	6	od 8 do 20

dále průměrná rychlost jízdy traktoru (v_p) lze vyjádřit podle vztahu:

$$v_p = \frac{S_0}{t} \quad (6)$$

kde:

t - čas na průjezd měřícím úsekem,

průměrný tahový výkon (P_t) podle vztahu:

$$P_t = F_t \cdot v_p \quad (7)$$

hodinová spotřeba paliva (M_{ph}) stanovíme podle vztahu:

$$M_{ph} = \frac{V_p \cdot \rho}{t} \quad (8)$$

kde:

V_p - objem paliva spotřebovaný při průjezdu měřícím úsekem,

ρ - hustota paliva,

měrná tahová spotřeba (m_{pt}) je dána podle vztahu:

$$m_{pt} = \frac{M_{ph}}{P_t} \quad (9)$$

prokluz, pro každé pojezdové ústrojí (δ) vyjadřuje vztah:

$$\delta = \left[\frac{l_0 - l}{l_0} \right] = \left[1 - \frac{n}{n_0} \right] \quad (10)$$

kde:

l_0 - dráha ujetá na zvolený počet otáček kola bez zatížení,

l - dráha ujetá na stejný počet otáček kola se zatížením,

n - počet otáček hnacího kola při jízdě se zatížením,

n_0 - počet otáček hnacího kola bez zatížení na stejné délce dráhy.

Je dovolené měření otáček hnacích kol na jakémkoliv hřídeli, spojené pevně s hnacími koly ČSN ISO 789.

Velmi důležitým parametrem traktoru je tahová účinnost η_t , která vyjadřuje, jak dokonale je traktor schopen v daných podmínkách přeměnit výkon motoru na tahový výkon. [10]

Tahová účinnost traktoru u jednotlivých převodových stupňů (η_t) je dána podle vztahu:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{emax}} \quad (11)$$

kde:

P_{emax} - maximální efektivní výkon motoru.

5 Měření tahové charakteristiky traktorů John Deere 7700 a 8210

Měření v reálných podmínkách bylo provedeno na traktorech John Deere 7700 a 8210. Tyto stroje byli nejprve osazeny příslušnými čidly, které byli potřeba k měření a dále byly zafixovány do zkušební stolice v laboratořích Mendelovi univerzity v Brně, kde probíhalo veškeré měření.

5.1 Charakteristika měřených traktorů

K měření byly přistaveny traktory John Deere 7700 a John Deere 8210.

Tab. 5: Základní údaje o měřených traktorech

Traktor	JD 7700	JD 8210
Číslo motoru	RW 7700P 005844	RW 8210P 002233
Číslo traktoru	RG 6076T 522397	RG6081H 101963
Rok výroby	1994	2000
Počet motohodin	10 787	1253

Vybrané základní údaje uváděné výrobcem.

Typ traktoru	— John Deere 770 —	— John Deere 8210—
Motor		
Výkon [kW]	107	155
Jmenovité otáčky [min ⁻¹]	2100	2200
Vrtání [mm]	111,8	11,8
Zdvih [mm]	127	127
Objem válců [cm ²]	7600	7600
kompresní poměr [-]	15,8:1	15,8:1
Chlazení motoru [-]	kapalinové	kapalinové
Plnění turbokompresorem [-]	bez mezichladiče	bez mezichladiče
Vstřikovací čerpadlo [-]	řadové	řadové s el. regulátorem
Převodovka		
Řazení [-]	Power Shift	Power Shifr
	všechny převodové stupně	pod zatížením
Počet převodových stupňů [-]	19/7	16/5
Pohon pojezdu [-]	4K4	4K4
Vývodový hřídel		
Druh [-]	nezávislý	nezávislý
Otáčky [min ⁻¹]	540/1000	1000

Otáčky motoru [min^{-1}]	1730/1970	1970
Rozměr pneumatik		
Přední náprava [-]	480/70 R30	480/70 R30
Zadní náprava [-]	20.8 R42	620/70 R42
Základní rozměry traktoru		
Šířka [mm]	2438	2438
Délka [mm]	4256	5246
Výška [mm]	3058	3005
Rozvor [mm]	2800	2950
Rozchod předních kol [mm]	1780	1800
Rozchod zadních kol [mm]	2035	1900
Poloměr zatáčení [m]	5,3	5,3
Rozložení hmotnosti		
Celková hmotnost [kg]	7470	9610
Přední náprava [kg]	2800	5400
Zadní náprava [kg]	4670	4210

Podle normy ČSN ISO 789 je možné měření otáček kol na jakékoli hřídeli.

5.2 technické zázemí testovacího centra

Obě měření byli realizovány na MZLU v Brně v laboratořích ústavu základů techniky a automobilové dopravy.

Tahová charakteristika byla měřena u obou traktorů ve dnech 13.10. až 14.10. 2020. Druhý traktor ve dnech 10.11. až 11.11.2020 na válcovém dynamometru viz Obr. 25, Obr. 26.

5.2.1 Použitá měřící zařízení a přístroje

Samotné měření probíhalo na dynamometru:

Typ dynamometru	VDU E270T - E150T
Výrobce	MEZSERVIS Vsetín
Maximální měřený výkon	
Celkový [kW]	420
Přední náprava [kW]	150
Zadní náprava [kW]	270



Obr. 25: Válcový dynamometr pro měření tahových charakteristik traktorů.



Obr. 26: Válcový dynamometr pro měření tahových charakteristik traktorů.

Dynamometr umožňuje měření tahových vlastností traktorů v rozsahu jezdových rychlostí od 1 km/h do 16 km/h . Měření spotřeby paliva bylo provedeno objemově pomocí průtokoměru Flowtronic 206 s chladičem Flowtronic 4705. Při zkoušce byly současně měřeny otáčky motoru, tahová síla, rychlost jízdy, prokluz kol traktoru, teplota nasávaného vzduchu, mazacího oleje v motoru, teplota výfukových plynů, plnicí tlak za turbodmychadlem a teplota paliva. Při všech zkouškách byla nastavena plná dodávka paliva. V průběhu celého měření nebyla spuštěna klimatizace ani jiné spotřebiče na traktoru.

Další sledované hodnoty měření

Typ traktoru —————	— John Deere 770 —	— John Deere 8210—
Teplota nasávaného vzduchu [°C]	18,2 - 23,3	27,1 - 31,7
Tlak vzduchu [hPa]	981 - 982	985 - 987
Vlhkost vzduchu [%]	60	30
Tlak vzduch v pneumatikách		
Přední [kPa]	230	230
Zadní [kPa]	250	250

6 Vyhodnocení měření tahové charakteristiky traktorů

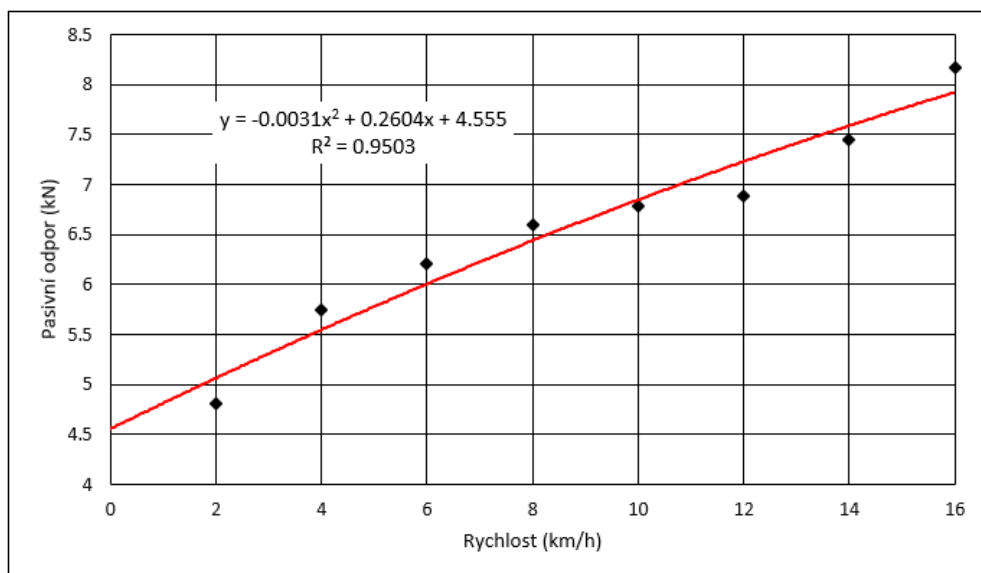
6.1 Vyhodnocení měření tahové charakteristiky traktoru JD 7700

Všechna měření proběhla se zařazeným pohonem obou náprav. Před započítáním měření tahových sil byl zjištěn průběh pasivních odporů v rozsahu rychlostí 0 – 16 km/h. Průběhu pasivních odporů, včetně vnitřních odporů dynamometru, je vyneseno do grafu na Obr. 27. Jak je z grafu patrné, při zařazeném neutrálu s pohonem 4x4 pasivní odpory proti pohybu traktoru spolu s odporem dynamometru rostou od 4,7 kN až po 8,1 kN

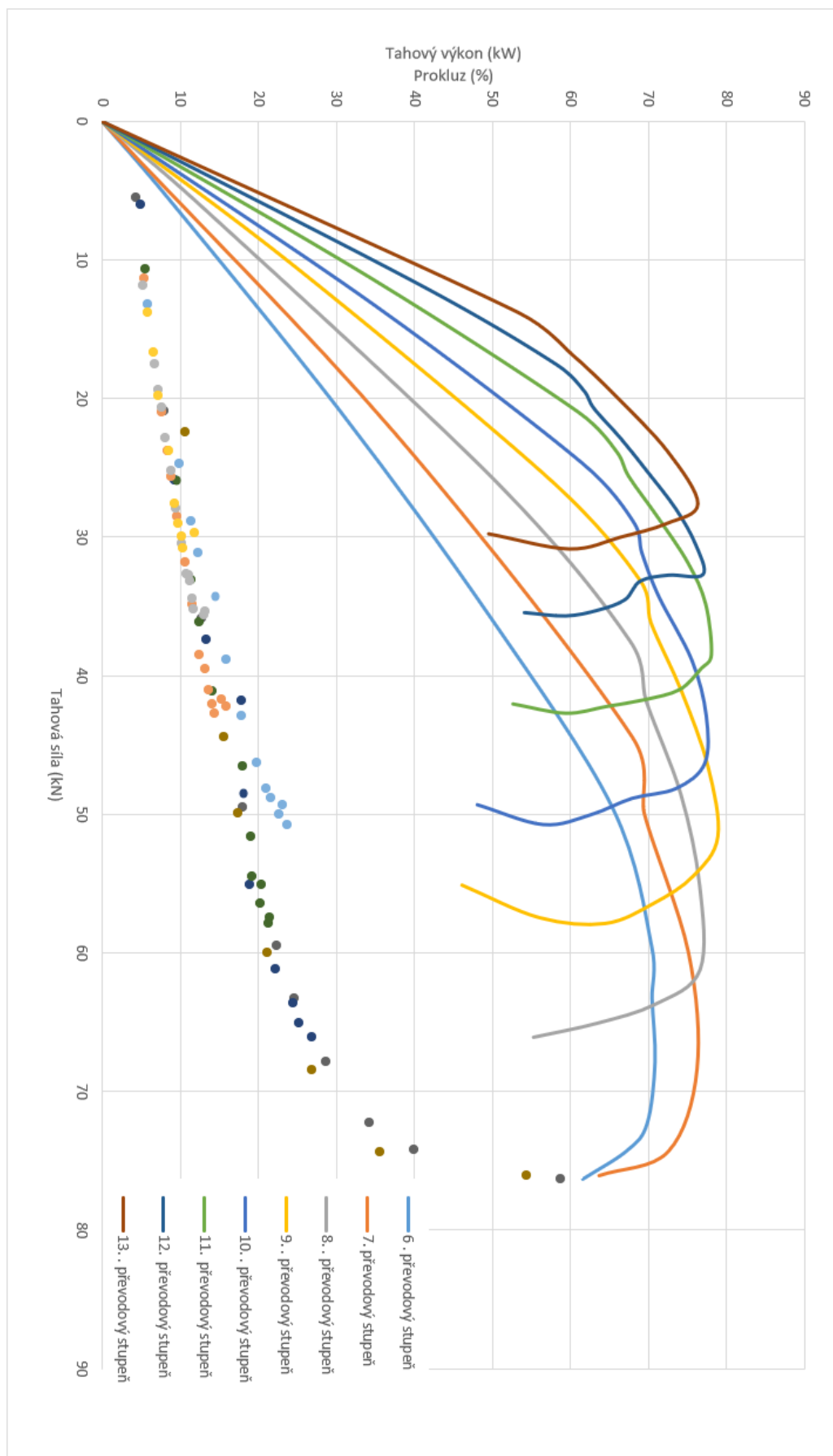
Měření tahových vlastností traktoru JD 7700 bylo provedeno pro osm převodových stupňů (6 až 13) v rozsahu pojezdových rychlostí 3,01 km/h až 13,9 km/h. Naměřené a vypočtené hodnoty z tahových zkoušek na válcovém dynamometru jsou uvedeny v příloze. Z tabulky je vidět, že maximální tahová síla se při měření na jednotlivé převodové stupně pohybovala od 30,8 kN se zařazeným 13 stupněm, až po 76,3 kN se zařazeným 6 stupněm. Maximální hodnota tahového výkonu 78,1 kW byla naměřena na převodový stupeň 11, kdy motor pracoval s nejnižší měrnou tahovou spotřebou 338,5 g . kW⁻¹h⁻¹. Na uvedený převodový stupeň traktor vykazoval také nejvyšší tahovou účinnost 76 %. Teplota paliva při zkouškách kolísala v rozmezí 34,7 – 39,5 °C a teplota výfukových plynů se pohybovala od 211,9 °C až do 478,8 °C. Prokluz kol na válcích dynamometru byl naměřen od 4,1 % do 58,6 %.

Výsledky měření jsou vyneseny do tahové charakteristiky na Obr. 28, Obr. 29 a Obr. 30. V Obr. 28 jsou vyneseny průběhy tahového výkonu traktoru na jednotlivé převodové stupně a průběh prokluzu v závislosti na tahové síle. Z grafu je patrné, že maximální hodnoty tahových výkonů jsou u všech měřených převodových stupňů téměř shodné, a pohybují se těsně pod hranicí 80 kW. Největší tahová síla byla naměřena na 6 převodovém stupni a při řazení vyšších stupňů tahová síla postupně klesá až po 13 převodový stupeň. Prokluz roste se zvyšující se tahovou silou do 70 kN téměř lineárně a dosáhl hodnoty těsně pod 30 %. Od 70 kN prokluz kol prudce narůstá. Při zvýšení tahové síly o 10 kN narostl prokluz o více jak 20 %. Pro větší prokluzu jsme měření, z důvodu z značného opotřebení dezénu pneumatik, neprováděli. Na Obr. 29 jsou v závislosti na tahové síle vyneseny průběhy měrné tahové spotřeby pro jednotlivé měřené převodové stupně. Z grafu je jasně vidět, že traktor pracuje s minimální měrnou tahovou spotřebou na všechny převodové stupně v oblasti maximálních tahových sil.

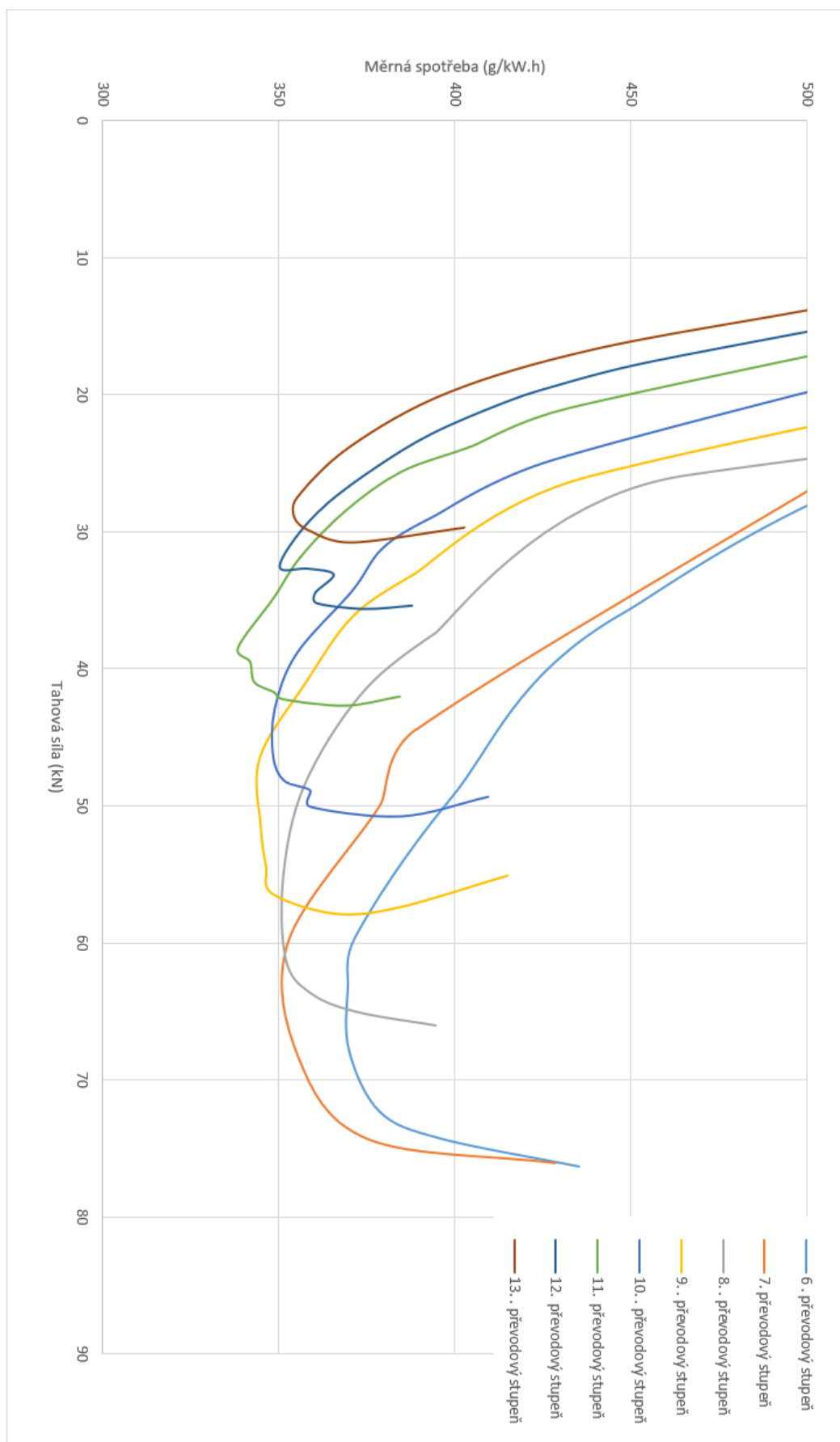
Tomu odpovídá režim práce motoru s plnou dodávkou paliva v oblasti otáček 1500–1700 min⁻¹. Na Obr. 30 tahové charakteristiky je vynesena změna pojezdových rychlostí v závislosti na tahové síle.



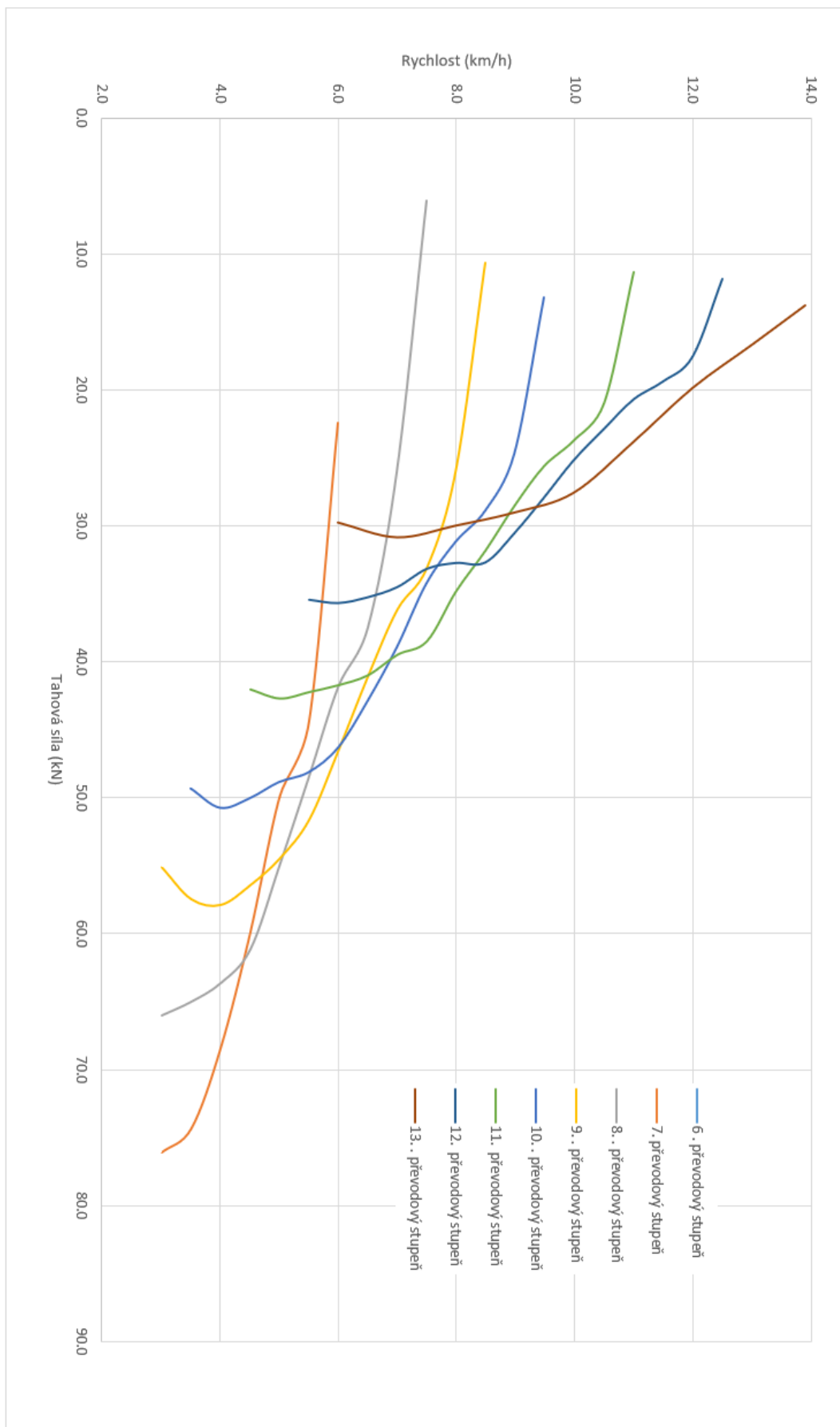
Obr. 27: Pasivní odpory traktoru JD 7700, zařazen neutrál a pohon 4x4. Měřeno na válcovém dynamometru



Obr. 28: Průběh tahového výkonu a prokluzu v závislosti na tahové síle u traktoru JD 7700 na válčovém dynamometru.



Obr. 29: Průběh měrné spotřeby v závislosti na tahové síle u traktoru JD 7700 na válcovém dynamometru.



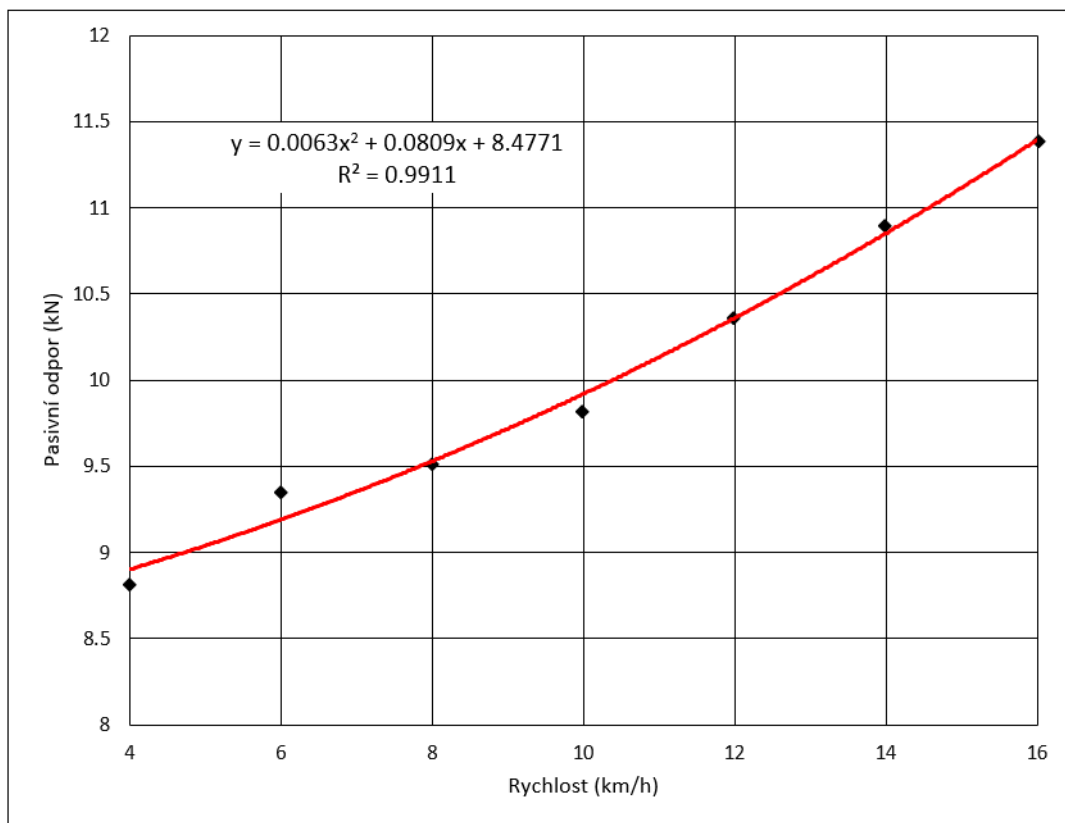
Obr. 30: Průběh rychlosti v závislosti na tahové síle u traktoru JD 7700 na válčovém dynamometru.

6.2 Vyhodnocení měření tahové charakteristiky traktoru JD 8210

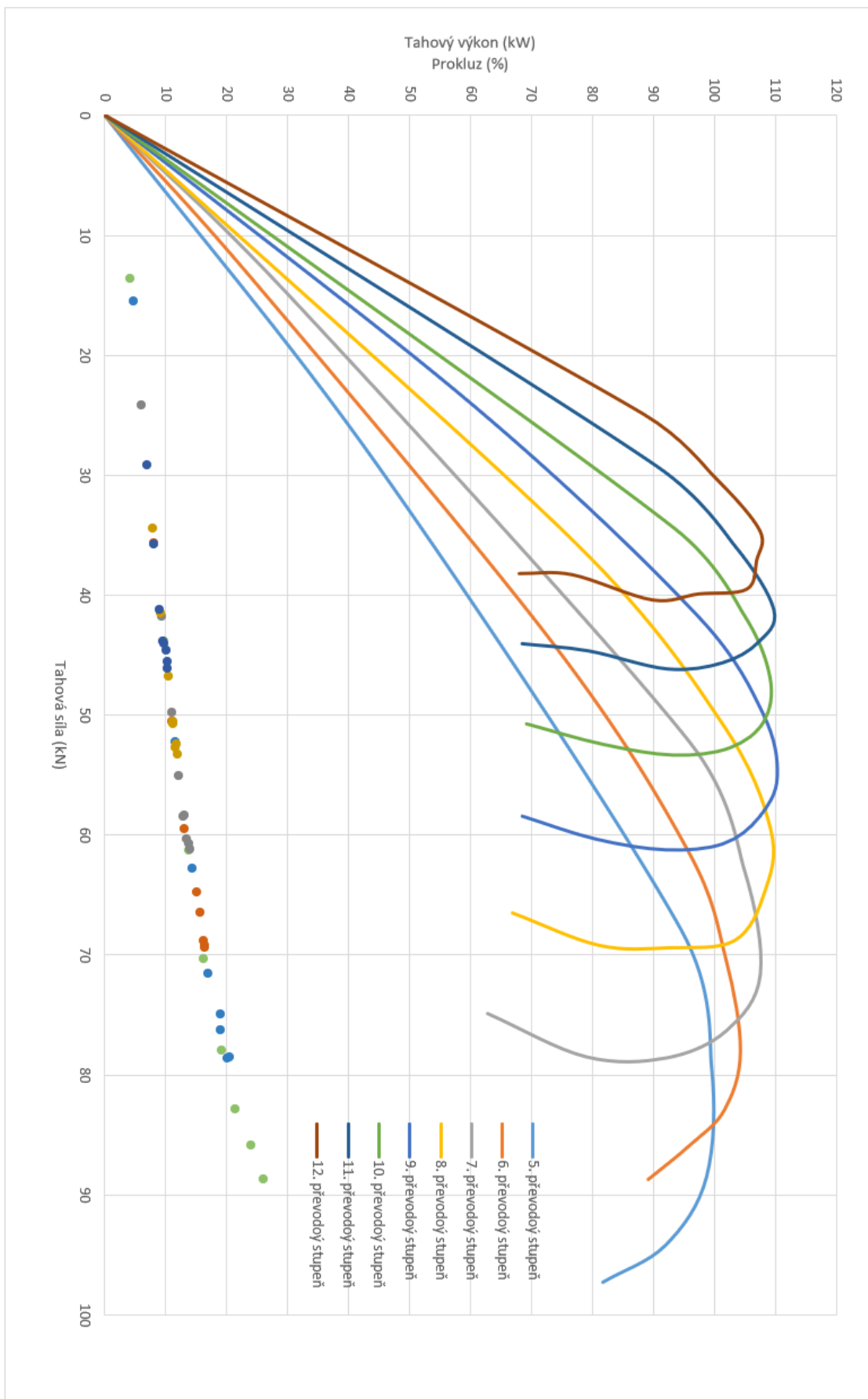
Obdobně jako u předchozího traktoru byla měřena tahová charakteristika na válcovém dynamometru také u traktoru JD 8210. Všechna měření proběhla se zařazeným pohonem obou náprav a s nastavenou plnou dodávkou paliva. Před započítáním měření byly po zahřátí náplní v převodech dynamometru změřeny jeho pasivní odpory a po najetí traktoru také pasivní odpory v převodech a valením kol u traktoru. Průběh pasivních odporů traktoru a dynamometru v závislosti na rychlosti je vyneseno do grafu na Obr. 31.

Měření tahové charakteristiky proběhlo při osmi zařazených rychlostních stupních F5 až F 12, pojezdová rychlost traktoru se pohybovala od 3,02 km/h až po 12,76 km/h. Výsledky získané z měření na válcovém dynamometru jsou uvedeny v příloze. Při měření byla dosažena maximální tahová síla 97,3 kN na převodový stupeň F5. Nejvyšší tahový výkon 110,3 kW byl naměřen na převodový stupeň F 9 při tahové síle 55,1 kN a rychlosti 7,2 km/h . To znamená, že traktor pracoval s maximální tahovou účinností 72,6 %. Na uvedený převodový stupeň byla dosažena také minimální měrná tahová spotřeba paliva 304,7 g.kW⁻¹.h⁻¹. Pro přepočtení objemové spotřeby na hmotnostní byla měřena i teplota paliva vstříkovaného do motoru, která se během zkoušek pohybovala v rozmezí 27,9 – 35,5 °C. současně byla měřena teplota nasávaného vzduchu před turbodmychadlem, ta se měnila od 23,2 °C do 31,1 °C. Po kompresi za turbodmychadlem teplota narostla na 78,5 – 157,9 °C a po průchodu mezichladičem byl vzduch ochlazen na 33,5 – 69 °C. Teplota výfukových plynů kolísala od 259,3 °C až po 495,3 °C. Prokluz kol traktoru se při zkouškách pohyboval od 4 % do 34,9 %.

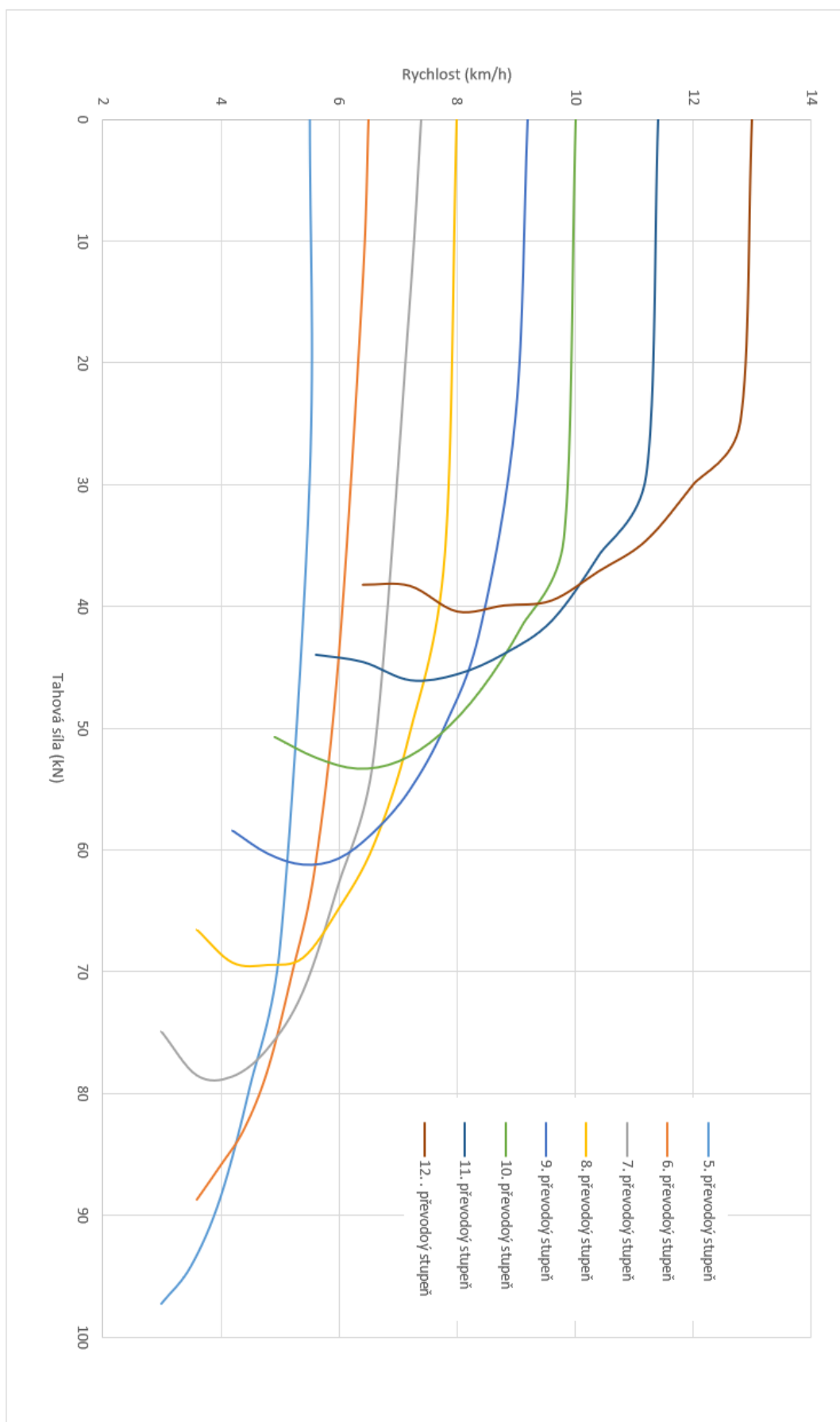
Naměřené a vypočtené hodnoty jsou pro přehlednost vyneseny do grafů v závislosti na tahové síle viz Obr. 32, Obr. 33, Obr. 34 a Obr. 35. V tahové charakteristice uvedené na Obr. 32 a Obr. 33, jsou uvedeny průběhy tahových výkonů, prokluzů a pojezdových rychlostí. Z grafu je patrné, že pro převodové stupně F 8 – F 12 jsou maximální naměřené tahové výkony téměř stejné (107 – 110 kW) a byly dosaženy při prokluzu kol pod 20 %. V grafu na Obr. 34 a Obr. 35 jsou vyneseny průběhy hodinové a měrné spotřeby paliva. Maximální hodnoty hodinové spotřeby se pohybují těsně kolem 35 kg.h¹ . Jak je vidět z Obr. 35, pro uvedené převodové stupně byla také naměřena minimální měrná tahová spotřeba, která je ve všech případech pod 311 g.kW⁻¹ .h⁻¹.



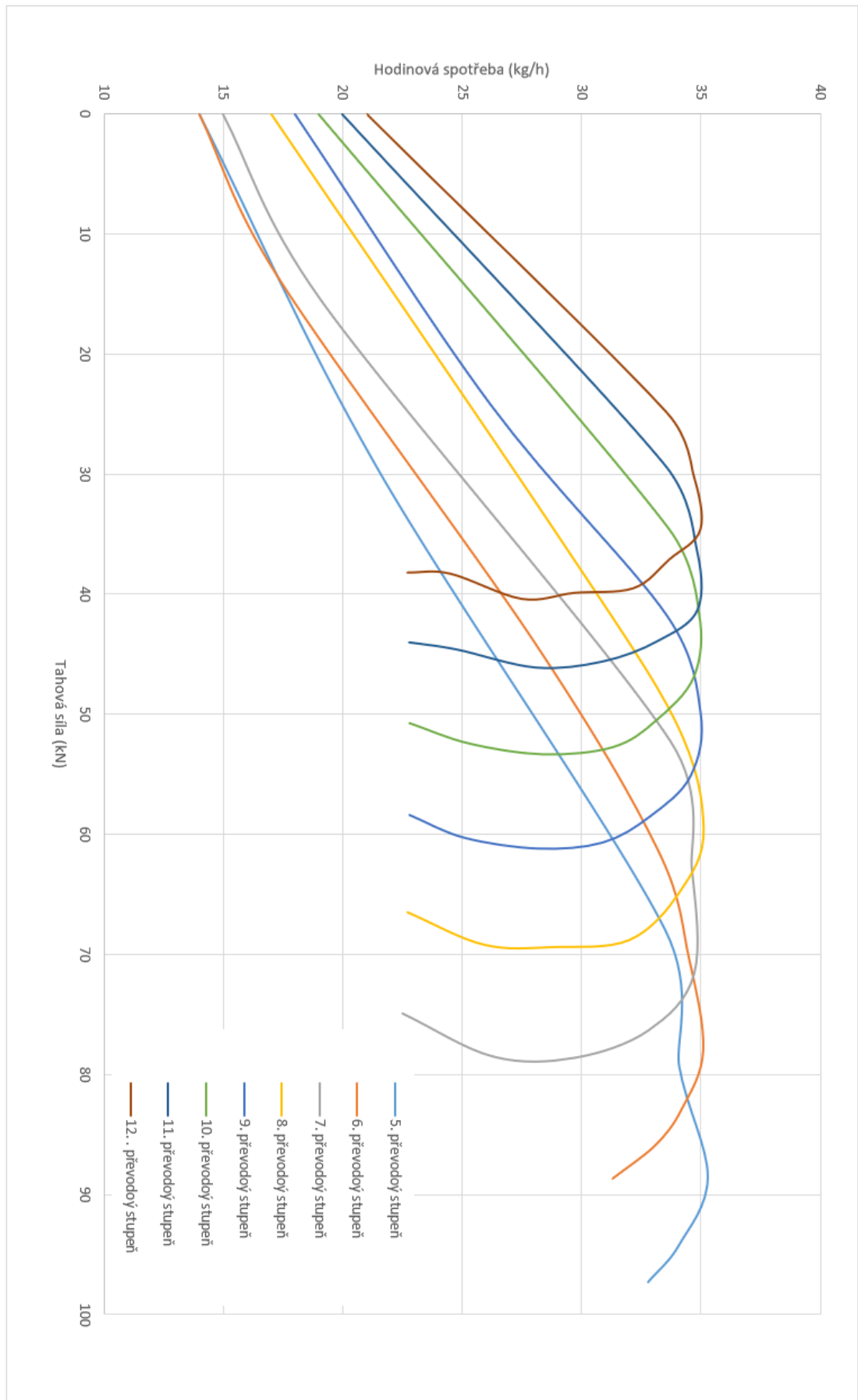
Obr. 31: Pasivní odpory traktoru JD 8210, zařazen neutrál a pohon 4x4. Měřeno na válcovém dynamometru.



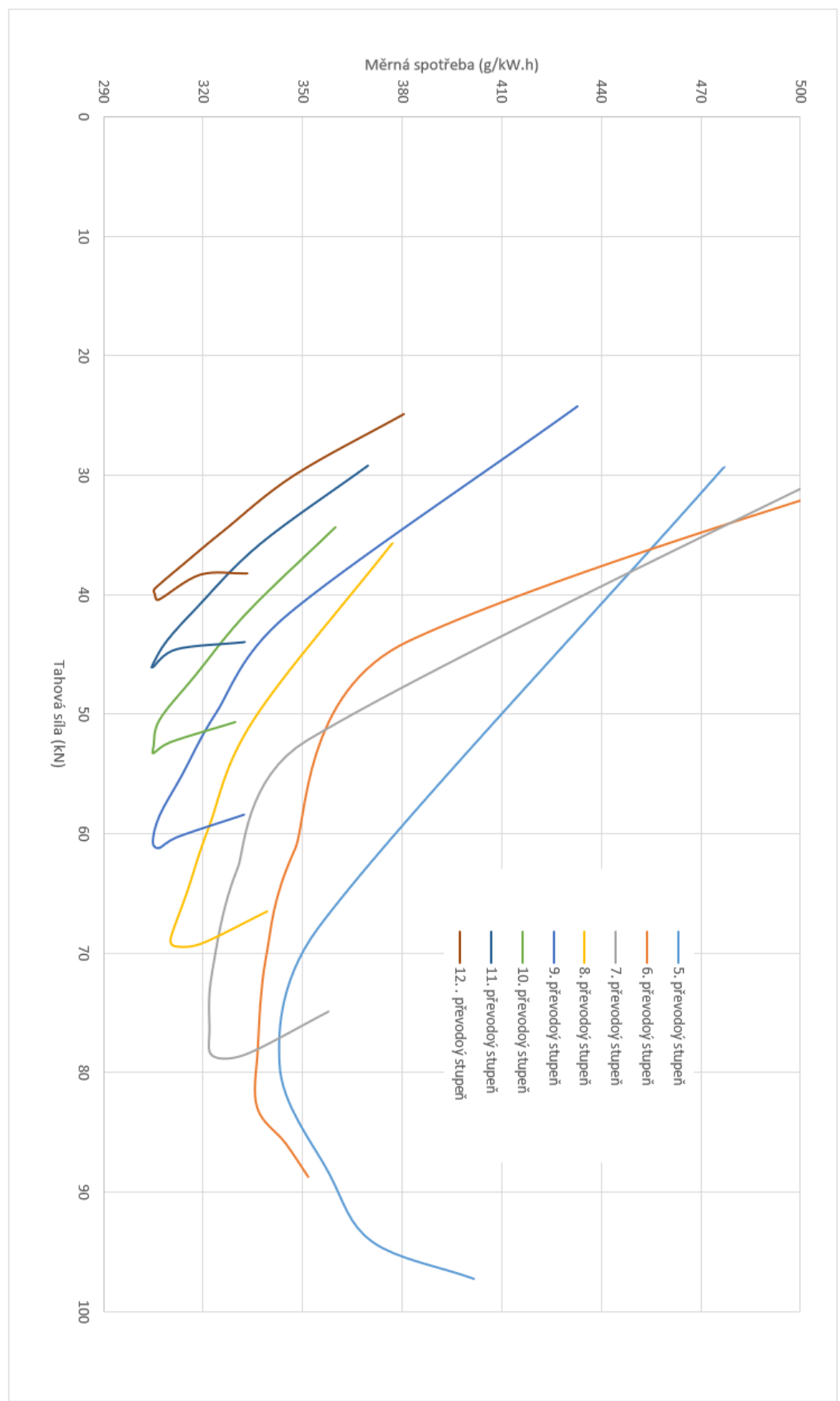
Obr. 32: Průběh tahového výkonu a prokluzu v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210 na válcovém dynamometru.



Obr. 33: Průběh rychlosti v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210 na válcovém dynamometru.



Obr. 34: Průběh hodinové tahové spotřeby paliva v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210, měřeno na válcovém dynamometru.



Obr. 35: Průběh měrné tahové spotřeby paliva v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210, měřeno na válcovém dynamometru.

Naměřené a vypočtené hodnoty byly zaneseny nejprve do tabulek a po té do grafu. V grafu jsou uvedeny závislosti tahového výkonu, prokluzu, rychlosti, hodinové spotřeby měrné spotřeby na tahových silách. Všechna měření proběhla se zařazeným pohonem obou náprav. Byly také zaznamenány a vyneseny do grafu pasivní odpory traktoru v převodech a valením kol. Z charakteristiky u traktoru John Deere 7700 na Obr. 28 je patrné, že traktor s celkovou hmotností 7470 kg, dosahuje největšího rozmezí tahových sil od 30,8 kN ze zařazeným převodovým stupněm F13 až do 76,3 kN se zařazeným převodovým stupněm F6. Maximální hodnota tahového výkonu 78,1 kW byla naměřena na převodovém stupni F11 kdy motor pracoval s nejnižší měrnou tahovou spotřebou $338,5 \text{ g.kW}^{-1}\text{h}^{-1}$. Na uvedený převodový stupeň traktor vykazoval také nejvyšší tahovou účinnost 76%. Dále z charakteristiky u traktoru John Deere 8210 na Obr. 32 je patrné, že traktor dosáhl nejvyšší tahové síly 97,3 kN na převodovém stupni F5 nejvyšší tahový výkon výkonu 110,3 kW na převodové stupni F9 při tahové síle 55,1 kN a rychlosti 7,2 km/h. To znamená, že traktor pracoval s maximální tahovou účinností 72,6 %. Na uvedený převodový stupeň byla dosažena také minimální měrná tahová spotřeba paliva $304,7 \text{ g.kW}^{-1}\text{h}^{-1}$. Prokluz kol se při zkouškách pohyboval od 4 % do 34,9 %.

Pro zlepšení tahových vlastností, respektive tahového výkonu, bude výhodné využívat podhuštění pneumatik. Toto téma je na základě výsledků provozních testů popsáno v kapitole 3.2.10. Změna v tlaku huštění pneumatik měla pozitivní vliv na výkonnostní parametry stroje. Vhodným řešením ke snížení provozních nákladů je možnost doplňkového vybavení traktoru systémem centrálního huštění pneumatik i za podmínky zvýšené pořizovací ceny stroje. Snížením tlaku huštění v pneumatikách dojde ke zvětšení styčné plochy pneumatiky a potenciálně i snížení prokluzu kol. Snížením tlaku huštění v pneumatikách současně dochází i ke zvýšení hektarové výkonnosti soupravy.

Podle praktických zkušeností autora této diplomové práce mají velkou budoucnost pneumatiky z označením VF (Very high Flexion) a pneumatiky s označením IF (Increased Flexion). Tyto typy moderních pneumatik umožňují nastavení optimálního tlaku huštění v pneumatice a zlepšení tahových vlastností. Další nespornou výhodou těchto nových typů pneumatik je pozitivní efekt eliminace utužení půdy.

7 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit ucelený přehled vývojových trendů v oblasti traktorů, konkrétně trakčních vlastností kolových traktorů. V první kapitole se práce věnovala rozboru provozních vlastností právě kolových traktorů. Nejprve rozdělila na dva základní členy, které hrají klíčovou roli právě v těchto parametrech. Jedná se o podvozek a pneumatiky. U podvozku práce definovala, jak jednotlivé části ovlivňují tahové vlastnosti a s jakými typy podvozků se dne u kolových traktorů můžeme setkat v rámci podvozků. Práce také uvedla příklady odpružení přední náprav a také odpružení kabiny traktoru.

Následující téma při hodnocení tahových vlastností patří pneumatikám. Toto téma uvádí základní požadavky kladené na moderní zemědělské pneumatiky. Dílčí formou je uvedena současná konstrukce pneumatik včetně jejich označení. Tato část uvádí názornou formou možnosti změny tlaku huštění, které pozitivně ovlivňují tahové vlastnosti. Změna tlaku huštění pozitivně ovlivňuje tahové vlastnosti což je názorně uvedeno.

Stěžejní téma práce popisuje a vyhodnocuje základní trakční vlastnosti kolových traktorů, prezentuje definice jednotlivých veličin a jejich způsob ověření v standardizovaných podmínkách testování traktorů. Poslední kapitola teoretické části seznamuje s postupem testování na válcovém dynamometru a rovněž měření za pomoci měřícího vozu.

Praktická část diplomové práce prezentuje a vyhodnocuje výsledky reálných měření testovaných tahových vlastností dvou traktorů v testovacím centru, která se nachází v Mendelově univerzitě v Brně. Práce prezentuje komplexní vyhodnocení tahové charakteristiky zahrnující průběhy tahové síly, prokluzu, měrné spotřeby paliva, tahového výkonu a tahové účinnosti. Testovaný traktor John Deere disponuje hodnotou tahové účinnosti 76 %, naproti tomu silnější třída traktoru John Deere 8210 měla hodnotu pouze 72,6 %. Která může být způsobena rozdílným opotřebením pneumatik nebo rozdílnými provozními hodinami.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] Deere.cz: *Řady 6R/M, 7R,8R* [online]. Praha: Deere Company, 2021 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://www.deere.cz/cs/traktory/stredni/rada-6m/6135m/>
- [2] Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T., Čupera, T., Fajman, J., Polcar, M., Katrenčík, A.,: *Traktory a jejich využití*. 2.vyd. Praha: Profi Press s.r.o., 2013. ISBN 978-80-86726-52-6.
- [3] VLK, F.,: *Podvozky motorových vozidel*, 3.vyd. Brno: Vlk 2006. ISBN 80-239-6464-X
- [4] *Pneumatiky - konstrukce* [online]. 2008 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z:<http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/12-pneumatiky-konstrukce.html>
- [5] *Pneumatiky osobních automobilů a jejich značení* [online]. [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <http://auta5p.eu/informace/info/pneu.php>
- [6] CHMELÁŘ, Z.,: *Vliv podvozků na tahové vlastnosti traktorů* Brno, 2015 [cit. 2021-5-12]. Diplomová práce. Vedoucí práce Prof. Ing. František Bauer, CSc.
- [7] *JCB Fastrac* [online]. [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: http://www.fastrac.cz/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=3
- [8] OECD Guidelines for Code 2 2019: *ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT* [online]. In: . [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.oecd.org/agriculture/tractors/Guidelines-on-OECD-Code-2.pdf>
- [9] PERNIS, P., 2009: *Traktor už není jednoduchým strojem*. Databáze online [cit. 2021-1-18]. Dostupné z: <https://www.zemedelec.cz/traktor-uz-neni-jednoduchym-strojem/>
- [10] BAUER, F., 2006: *Traktory* Profi Press s.r.o., Praha, 192 s., 1. vydání ISBN 80-86726-15-0
- [11] PASTOREK, Z. (2001): *Traktory I*. vyd. Praha: Agrospoj. 356 s
- [12] Erik, J.,: *Vliv konstrukce podvozků na tahové vlastnosti traktorů*: Diplomová práce. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. František Bauer, CSc.
- [13] STEHNO, L., 2009: *Nová přední odpružená náprava pro Magnum 335*. Mechanizace zemědělství, 5/2009, Profi Press, Praha, s. 10.

- [14] PAULOVÁ, M., 2010: *Rok 2009 druhým nejlepším rokem*. Mechanizace zemědělství, 10/2010, Profi Press, Praha, s. 6-8.
- [15] GREČENKO, A., 1963: *Kolové a pásové traktory*. Státní zemědělské nakladatelství ve spolupráci s Ústředním vědeckotechnických informací MZLVH Praha, 402 s.
- [16] AGRO PNEUMATIKY., 2017: *Rozměry pneumatik*, online [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <http://www.e\T1\textendashagropneu.cz>
- [17] JURTIK T., 2004: *Proč používat radiální traktorové pneumatiky?* Mechanizace zemědělství č. 1, 2004; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.
- [18] SYROVÝ O. ET AL., 2004: *Radiální, nebo diagonální pneumatiky?* Mechanizace zemědělství č. 7, 2004; Profi Press s.r.o., Praha, ISSN 0373-6776.
- [19] Tess.cz: *Zkušebny* [online]. 2020 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.tes.cz/cz/product/automobilovy-prumysl/>
- [20] *Burt EC, Lyne PW, Meiring P, Keen JF. Ballast and inflation effect on tyre efficiency.* Trans ASAE 1983;26(5):1352–4.
- [21] Elwaleed, AK., Yahya, A., Zohadie, M., Ahmad, D., Kheiralla, AF.: *Net traction ratio prediction for high-lug agricultural tyre.* J Terramech 2006;43:119–39.
- [22] Šmerda T., Čupera, J.: *Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set* [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: Journal of Terramechanics 47 (2010) 395–400
- [23] Raper, RL., Bailey, AC., Burt, EC., Way, TR., Liberati, P.: *The effects of reduced inflation pressure on soil–tyre interface stresses and soil strength.* J Terramech 1995;32:43–51.
- [24] Nicolo, R., Mirko, M., Giovanni, M.: *A theoretical study of the parameters affecting the power delivery efficiency of an agricultural tractor.* Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), University of Bologna, Viale G. Fanin 50, 40127, Bologna, Italy . [cit. 2021-4-29].
- [25] CONTINENTAL. *Continental is presenting its VF technology for agricultural tires at Agritechnica* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/2019-09-27-vf-technologie-187994>

Seznam obrázků

Obrázek 1	Podvozek traktoru bezrámové samonosné konstrukce [12]	12
Obrázek 2	Podvozek polorámové konstrukce Fendt-Favorit 700 Vario [6]	12
Obrázek 3	Rámová konstrukce traktoru JCB Fastrac [7]	13
Obrázek 4	Rámová konstrukce John Deere 5820 [12]	13
Obrázek 5	Odpružená náprava John Deere TLS [1]	14
Obrázek 6	Odpružená náprava John Deere ILS [1]	14
Obrázek 7	Přední náprava Case IH Magnum [6]	15
Obrázek 8	Hydropneumatické odpružení přední nápravy John Deere [1]	16
Obrázek 9	Pneumatické odpružení přední nápravy traktoru Valtra [12]	16
Obrázek 10	Řez pláštěm radiální traktorové pneumatiky [5]	18
Obrázek 11	Speciální ventil Systému VarioGrip [12]	20
Obrázek 12	Koncový převod pro VarioGrip [14]	21
Obrázek 13	Schéma systému VarioGrip [14]	21
Obrázek 14	Prokluzová charakteristika při rozdílné konstrukci pneumatik [18] . . .	22
Obrázek 15	Příklad nízkotlaké pneumatiky podhuštěné na 50 kPa [25]	24
Obrázek 16	Tahový poměr vozidla v závislosti na skluzu s radiálními pneumatikami s úzkými běhouny (standardními) při různých tlacích. [22] (VTR - tahová účinnost)	25
Obrázek 17	Tahový poměr vozidla proti skluzu u radiálních pneumatik se širokými běhouny (nízkoprofilové) při různém tlaku. [22] (VTR - tahová účinnost)	25
Obrázek 18	Příklad gradientní analýzy pro funkci dvě proměnných. oblast je diskretizována v 56 bodech. Gradient se počítá na vnitřních uzlech. Směr gradientu je kolmý k úrovnovým křivkám a může se lišit od uzlu k uzlu. [24] . .	27
Obrázek 19	Snímače tahové síly [12]	29
Obrázek 20	Schéma soupravy pro měření tahové charakteristiky traktoru. [2] . .	30
Obrázek 21	Válcová zkušebna pro měření tahových vlastností traktorů Tess Vsetín s.r.o. [19]	31
Obrázek 22	Schéma válcového dynamometru pro měření tahových vlastností traktorů (MENDELU Brno) [2]	32
Obrázek 23	Nastavení výšky bodu závěsu na měřicím vozidle [12]	33
Obrázek 24	Zkušební dráha s batonovým povrchem v Nebrasce [12]	34
Obrázek 25	Válcový dynamometr pro měření tahových charakteristik traktorů. . . .	39
Obrázek 26	Válcový dynamometr pro měření tahových charakteristik traktorů. . . .	39
Obrázek 27	Pasivní odpory traktoru JD 7700, zařazen neutrál a pohon 4x4. Měřeno na válcovém dynamometru	42
Obrázek 28	Průběh tahového výkonu a prokluzu v závislosti na tahové síle u traktoru JD 7700 na válcovém dynamometru.	43

Obrázek 29	Průběh měrné spotřeby v závislosti na tahové síle u traktoru JD 7700 na válcovém dynamometru.	44
Obrázek 30	Průběh rychlosti v závislosti na tahové síle u traktoru JD 7700 na válcovém dynamometru.	45
Obrázek 31	Pasivní odpory traktoru JD 8210, zařazen neutrál a pohon 4x4. Měřeno na válcovém dynamometru.	47
Obrázek 32	Průběh tahového výkonu a prokluzu v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210 na válcovém dynamometru.	48
Obrázek 33	Průběh rychlosti v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210 na válcovém dynamometru.	49
Obrázek 34	Průběh hodinové tahové spotřeby paliva v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210, měřeno na válcovém dynamometru.	50
Obrázek 35	Průběh měrné tahové spotřeby paliva v závislosti na tahové síle u traktoru JD 8210, měřeno na válcovém dynamometru.	51

Seznam tabulek

Tabulka 1	Vybrané hodnoty rychlostního indexu SI [16]	19
Tabulka 2	Značení hmotnostního indexu LI [16]	19
Tabulka 3	Výsledky měření [22]	25
Tabulka 4	Charakteristika drah a pozemku pro tahové zkoušky [12] <i>Poznámky:</i> 1. Z betonu musí být odstraněno bláto a 2. Vlhkost půdy se stanoví v hloubce ob 0 do 15 cm	34
Tabulka 5	Základní údaje o měřených traktorech	37

Seznam použitého SW

- Texmaker, Miklive (\LaTeX)
- Microsoft Excel

Seznam příloh

1. Příloha A - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (1/4)
2. Příloha B - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (2/4)
3. Příloha C - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (3/4)
4. Příloha D - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (4/4)
5. Příloha E - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 8210 (1/2)
6. Příloha F - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 8210 (2/2)

Příloha A - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (1/4)

Rychl. stupeň	F _t	P _t	M _{ph}	n _{mot}	T _{pal}	T _{výfuk}	ρ _{pal}	m _{pt}
	kN	kW	l/h	min ⁻¹	°C	°C	kg/m ³	g/kW.h
6	5.5	8.4	16.9	2441.0	35.2	211.9	819.1	1641.0
	20.9	30.5	22.2	2436.0	35.8	233.5	818.6	595.9
	35.9	49.9	27.3	2400.0	36.4	263.5	818.2	448.5
	49.5	65.4	31.9	2361.0	37.0	294.5	817.8	398.9
	59.5	70.4	32.1	2186.0	37.6	324.1	817.3	371.9
	63.3	70.5	31.9	2099.0	37.9	336.8	817.1	369.8
	67.8	70.8	32.1	2028.0	38.1	349.1	817.0	370.1
	72.3	69.8	32.4	1971.0	38.1	361.5	817.0	378.8
	74.2	67.3	32.6	1930.0	38.1	371.7	817.0	395.8
	76.3	61.6	32.8	1935.0	38.1	379.7	817.0	435.4
	7	22.4	37.4	24.2	2424.0	35.2	234.7	819.1
44.4		67.9	32.3	2335.0	35.9	271.5	818.6	389.2
50.0		69.5	32.2	2169.0	36.3	297.0	818.3	378.8
60.0		75.1	32.4	2009.0	36.7	317.9	818.0	352.6
68.4		76.2	33.2	1868.0	37.0	343.4	817.8	355.6
74.3		72.5	33.3	1754.0	37.0	367.2	817.8	375.4
76.1		63.7	33.4	1711.0	36.9	390.5	817.9	428.5
8	6.1	12.6	18.9	2371.0	37.1	226.6	817.7	1222.2
	25.9	50.3	28.7	2386.0	38.4	265.9	816.8	465.3
	37.5	67.6	32.6	2277.0	38.9	299.1	816.5	394.1
	41.8	69.7	31.9	2125.0	39.3	322.2	816.2	373.5
	48.5	74.1	32.4	1984.0	39.5	343.7	816.1	357.2
	55.1	76.5	32.9	1821.0	39.5	366.3	816.1	351.2
	61.2	76.6	33.0	1702.0	39.1	392.3	816.3	351.8
	63.7	70.9	31.1	1520.0	38.7	414.9	816.6	358.8
	65.0	63.4	28.9	1358.0	38.3	436.0	816.9	371.8
66.1	55.3	26.7	1181.0	37.9	452.9	817.1	394.5	

Příloha B - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (2/4)

Rychl. stupeň	F _t	P _t	M _{ph}	n _{mot}	T _{pal}	T _{výfuk}	ρ _{pal}	m _{pt}	
	kN	kW	l/h	min ⁻¹	°C	°C	kg/m ³	g/kW.h	
9	10.7	25.2	22.4	2435.0	35.5	231.9	818.9	728.3	
	26.0	57.7	30.9	2372.0	36.2	271.8	818.3	438.2	
	33.1	68.9	32.7	2259.0	36.7	300.1	818.0	388.4	
	36.2	70.3	31.9	2124.0	37.2	319.7	817.7	371.0	
	41.1	74.2	32.5	1998.0	37.5	339.2	817.4	357.4	
	46.6	77.6	32.7	1872.0	37.7	358.5	817.3	344.5	
	51.6	78.9	33.3	1743.0	37.6	378.6	817.4	344.9	
	54.5	75.7	32.1	1603.0	37.4	399.5	817.5	346.3	
	56.4	70.7	30.1	1436.0	37.2	415.5	817.6	348.1	
	57.9	64.5	28.8	1304.0	37.0	433.2	817.8	365.6	
	57.5	56.0	26.3	1131.0	36.7	448.8	818.0	383.6	
	55.1	46.1	23.4	962.9	36.3	464.7	818.2	415.0	
	10	13.2	34.8	25.5	2413.0	34.7	311.2	819.4	600.6
		24.7	61.6	32.2	2355.0	35.5	329.3	818.8	428.7
28.9		68.1	32.8	2251.0	36.2	342.9	818.3	393.9	
31.2		69.2	32.1	2135.0	36.8	354.1	817.9	379.6	
34.3		71.3	32.4	2025.0	37.4	366.9	817.5	370.9	
38.9		75.6	32.8	1919.0	37.6	380.9	817.4	355.0	
42.9		77.4	33.0	1809.0	37.6	397.1	817.4	348.9	
46.3		77.2	32.9	1697.0	37.5	411.5	817.4	348.4	
48.1		73.6	31.6	1570.0	37.3	427.7	817.6	351.5	
48.9		67.9	29.8	1379.0	37.1	438.8	817.7	358.9	
50.0		62.6	27.5	1288.0	37.0	451.2	817.8	358.8	
50.8		56.5	26.6	1152.0	36.7	464.0	818.0	384.7	
49.3		48.1	24.1	994.4	36.4	478.8	818.2	409.5	

Příloha C - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (3/4)

Rychl. stupeň	F _t	P _t	M _{ph}	n _{mot}	T _{pal}	T _{výfuk}	ρ _{pal}	m _{pt}
	kN	kW	l/h	min ⁻¹	°C	°C	kg/m ³	g/kW.h
11	11.4	34.6	25.8	2408.0	36.5	290.2	818.1	609.4
	21.0	61.0	32.3	2348.0	37.3	313.8	817.6	432.7
	23.8	65.9	32.6	2250.0	37.7	329.7	817.3	405.1
	25.6	67.5	31.8	2146.0	38.1	340.6	817.0	384.9
	28.5	71.1	32.1	2047.0	38.4	353.2	816.8	369.1
	31.8	75.1	32.8	1948.0	38.6	367.0	816.7	356.3
	34.9	77.4	33.0	1847.0	38.6	379.3	816.7	348.7
	38.5	78.1	33.2	1745.0	38.6	392.9	816.7	338.5
	39.5	76.8	32.1	1635.0	38.5	408.6	816.8	341.9
	41.0	74.0	31.1	1509.0	38.3	421.5	816.9	343.2
	41.7	69.6	29.7	1398.0	38.1	431.7	817.0	348.8
	42.2	64.6	27.8	1283.0	37.9	442.2	817.1	351.0
	42.7	59.4	26.8	1182.0	37.7	454.0	817.3	368.9
	42.1	52.7	24.8	1063.0	37.4	467.1	817.5	384.5
	12	11.9	41.0	28.8	2386.0	36.9	319.1	817.9
17.5		58.3	32.6	2319.0	37.7	335.4	817.3	456.9
19.4		61.7	32.4	2232.0	38.2	346.7	816.9	428.5
20.7		63.1	31.9	2141.0	38.6	354.2	816.7	413.0
22.9		66.5	32.1	2053.0	38.9	363.0	816.5	393.5
25.2		69.9	32.4	1963.0	39.1	374.5	816.3	378.3
27.9		73.6	32.8	1878.0	39.2	384.8	816.3	364.0
30.5		76.1	33.1	1790.0	39.2	395.9	816.3	354.7
32.7		77.1	33.1	1694.0	39.1	409.6	816.3	350.4
32.7		72.6	31.9	1603.0	38.9	421.5	816.5	358.3
33.2		69.0	30.9	1490.0	38.8	431.9	816.6	365.7
34.5		67.1	29.6	1409.0	38.2	450.2	817.0	360.4
35.2		63.6	28.1	1310.0	37.9	456.8	817.2	360.8
35.7		59.5	27.2	1213.0	37.7	467.3	817.3	374.2
35.4		54.2	25.7	1112.0	37.4	476.2	817.5	387.9

Příloha D - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 7700 (4/4)

Rychl. stupeň	F _t	P _t	M _{ph}	n _{mot}	T _{pal}	T _{výfuk}	ρ _{pal}	m _{pt}
	kN	kW	l/h	min ⁻¹	°C	°C	kg/m ³	g/kW.h
13	13.8	53.4	32.7	2326.0	36.6	306.8	818.1	500.6
	16.7	60.0	32.3	2174.0	37.0	329.0	817.8	439.6
	19.8	66.0	32.1	2022.0	37.6	345.4	817.4	398.3
	23.8	72.5	32.9	1871.0	38.0	364.6	817.1	370.4
	27.6	76.4	33.2	1714.0	38.1	387.0	817.0	355.3
	29.0	72.4	31.4	1549.0	38.1	405.9	817.1	354.6
	30.0	66.5	29.2	1382.0	37.9	424.6	817.2	358.9
	30.8	59.9	27.2	1212.0	37.7	439.2	817.3	370.8
	29.7	49.6	24.4	1038.0	37.5	455.6	817.4	402.9

Příloha E - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 8210 (1/2)

Přev. Stupeň	F_t	P_t	M_ph	T_vst	T_turbo	t_plnění	t_výfuk	M_ph2	m_pt	v	Skluž
	kN	kW	l/h	°C	°C	°C	°C	kg/h	g/kW.h	km/h	%
F5	29.3	44.9	27.9	23.2	88.6	38.7	259.3	21.4	477.2	5.5	6.7
	67.9	94.5	29.3	23.4	137.6	58.0	324.7	33.5	354.8	5.0	14.8
	79.3	99.5	30.0	24.0	147.1	64.4	360.2	34.1	343.1	4.5	18.6
	88.5	98.7	30.8	24.7	152.3	65.9	383.4	35.3	358.1	4.0	23.8
	94.2	92.0	31.0	25.3	150.1	59.3	398.2	34.1	371.1	3.5	28.8
	97.3	81.7	31.4	26.0	145.1	55.6	412.8	32.8	401.7	3.0	34.9
F6	13.6	24.1	27.9	24.1	78.5	35.8	264.0	17.3	715.3	6.4	4.0
	43.9	73.3	29.3	23.9	118.6	49.9	313.5	28.0	382.1	6.0	9.6
	61.3	95.6	30.3	24.1	142.3	62.0	350.0	33.2	347.8	5.6	13.6
	70.3	101.8	31.1	25.2	150.7	66.7	374.6	34.5	339.1	5.2	16.1
	78.0	104.2	31.4	25.5	154.2	62.7	389.9	35.1	336.6	4.8	19.0
	82.9	101.6	31.7	26.0	152.0	58.9	401.5	34.2	336.4	4.4	21.3
	85.9	95.8	32.0	26.5	146.9	55.9	412.9	33.1	345.0	4.0	23.9
	88.7	89.1	31.6	26.9	111.4	37.3	471.2	31.3	351.8	3.6	26.0
F7	15.5	31.1	29.0	24.9	88.0	39.0	287.6	19.1	615.0	7.2	4.7
	52.2	95.8	30.4	24.5	140.0	59.2	339.8	33.7	351.3	6.6	11.5
	62.8	104.8	31.2	25.0	149.6	66.1	371.3	34.6	330.5	6.0	14.2
	71.6	107.5	31.7	25.3	151.7	64.6	393.3	34.7	322.7	5.4	16.9
	76.3	102.0	31.7	26.1	145.0	56.2	410.7	32.8	321.9	4.8	18.9
	78.6	92.1	32.0	26.7	131.8	50.7	437.0	29.7	322.8	4.2	19.9
	78.5	78.9	31.8	27.1	117.2	42.0	462.5	26.3	332.7	3.6	20.3
	74.9	62.8	31.1	27.4	98.9	33.5	481.5	22.5	357.8	3.0	18.8
F8	35.7	77.3	30.6	25.3	124.5	52.5	327.8	29.2	377.1	7.8	7.9
	50.5	101.0	31.4	24.9	145.9	63.4	361.8	33.9	335.2	7.2	!LO
	59.5	109.2	32.0	25.5	152.7	65.5	385.8	35.1	321.7	6.6	13.0
	64.8	108.2	32.1	26.1	149.8	58.8	401.6	34.1	315.3	6.0	14.9
	68.8	103.3	32.1	26.7	142.0	54.3	421.1	32.0	310.2	5.4	16.1
	69.4	92.6	32.3	27.3	128.8	48.8	444.9	28.8	311.4	4.8	16.3
	69.2	81.1	31.9	27.5	115.8	41.1	467.2	25.9	319.4	4.2	16.3
	66.5	66.9	31.1	27.6	100.6	33.7	484.1	22.7	339.3	3.6	15.6

Příloha F - Naměřené hodnoty na válcovém dynamometru, traktor JD 8210 (2/2)

Přev. Stupeň	F _t	P _t	M _{ph}	T _{vst}	T _{turbo}	T _{plni}	T _{výfu}	M _p	m _{pt}	v	Skluž
	kN	kW	l/h	°C	°C	°C	°C	kg/h	g/kW.h	km/h	%
F9	24.2	60.5	30.2	25.2	115.2	47.9	320.9	26.2	433.0	9.0	6.0
	41.8	97.4	31.0	25.0	143.8	61.6	356.4	33.6	344.8	8.4	9.2
	49.8	107.9	31.7	25.3	151.7	66.4	381.3	35.0	324.0	7.8	10.9
	55.1	110.3	32.0	25.7	152.0	61.8	398.2	34.6	313.5	7.2	12.1
	58.5	107.3	32.1	26.4	146.1	56.8	412.6	32.9	306.7	6.6	12.7
	60.7	101.4	32.3	26.9	136.8	52.3	433.0	30.9	304.7	6.0	13.7
	61.2	92.0	32.5	27.3	125.8	46.3	453.2	28.2	306.6	5.4	13.8
	60.3	80.5	32.0	27.6	112.9	39.7	472.4	25.1	311.9	4.8	13.4
	58.4	68.5	31.2	27.6	100.5	33.6	487.1	22.8	332.3	4.2	12.9
F10	34.4	93.4	32.6	27.5	143.3	60.0	348.6	33.6	360.0	9.8	7.8
	41.5	104.7	33.6	27.7	152.7	67.2	378.2	34.9	333.4	9.1	9.1
	46.8	109.1	34.1	28.3	155.2	67.1	399.3	34.7	317.6	8.4	10.4
	50.5	108.1	34.1	28.8	150.0	59.7	414.6	33.1	306.8	7.7	11.1
	52.7	102.5	34.4	29.1	140.7	55.2	435.5	31.3	305.0	7.0	11.5
	53.3	93.3	34.5	29.2	129.2	48.9	456.1	28.4	304.9	6.3	11.9
	52.4	81.7	34.0	29.5	116.3	42.2	475.8	25.3	309.9	5.6	11.6
	50.7	69.2	33.5	29.7	103.3	36.2	490.5	22.8	329.7	4.9	11.1
	F11	29.2	90.5	34.4	29.1	149.2	63.9	372.1	33.5	369.6	11.2
35.8		103.3	34.9	28.8	156.0	67.0	390.9	34.8	337.1	10.4	8.0
41.2		109.8	34.7	29.0	156.4	62.7	404.8	34.9	317.9	9.6	8.9
43.9		107.2	34.8	29.3	150.1	51.5	418.4	33.2	309.2	8.8	9.5
45.6		101.3	34.9	29.5	140.0	53.7	438.4	30.9	305.5	8.0	10.1
46.1		92.3	35.1	29.9	129.0	48.2	458.5	28.1	305.0	7.2	10.2
44.6		79.4	34.8	30.4	115.0	42.9	478.0	24.8	312.1	6.4	9.9
44.0		68.5	34.4	30.7	103.7	37.1	493.2	22.8	332.6	5.6	9.7
F12		24.9	88.3	34.7	29.3	148.2	63.8	364.1	33.6	380.5	12.8
	30.0	99.7	35.4	29.0	155.4	69.0	386.5	34.7	347.5	12.0	7.1
	34.6	107.4	35.2	29.3	157.9	64.7	401.5	35.0	326.4	11.2	7.8
	37.1	106.9	35.1	29.4	153.3	58.8	413.1	33.7	315.5	10.4	8.1
	39.5	105.3	35.3	29.9	146.3	56.5	429.3	32.2	305.4	9.6	8.5
	39.9	97.4	35.5	30.2	135.8	51.7	448.6	29.7	305.5	8.8	8.5
	40.4	89.8	35.4	30.5	126.9	47.2	466.8	27.5	306.6	8.0	8.8
	38.3	76.7	35.3	30.9	113.8	40.0	482.7	24.5	319.2	7.2	8.7
	38.2	68.0	34.4	31.1	103.7	36.8	495.3	22.7	333.4	6.4	8.5