

Mendelova univerzita v Brně
Institut celoživotního vzdělávání
Oddělení expertního inženýrství

**Analýza délky brzdné dráhy a středního zpomalení traktoru
Zetor Forterra s přívěsem BSS 10 v závislosti na zatížení
přívěsu.**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
Prof. Ing. František Bauer, CSc.

Vypracoval:
Bc. Michal Novotný

Brno 2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Michal Novotný**
Studijní program: Technické znalectví a expertní inženýrství
Obor: Technické znalectví a expertní inženýrství
Název tématu: **Analýza délky brzdné dráhy a středního zpomalení traktoru Zetor Forterra s přívěsem BSS10 v závislosti na zatížení přívěsu.**
Rozsah práce: 50-60

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte současný stav brzdových systémů.
2. Uveďte metody prováděných zkoušek brzd.
3. Vypracujte metodiku vlastního měření.
4. Naměřené a vypočtené hodnoty tabulkově a graficky zpracujte.
5. Proveďte analýzu a formulujte závěry získaných výsledků.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „*Analýza délky brzdné dráhy a středního zpomalení traktoru Zetor Forterra s přívěsem BSS 10 v závislosti na zatížení přívěsu*“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Františku Bauerovi, CSc. za poskytnuté rady, připomínky a konzultace, které mi pomohly tuto diplomovou práci zpracovat.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou a komparací brzdné dráhy a brzdného zpomalení traktoru Zetor Forterra 12441 a taženého přívěsu BSS 10 v závislosti na jeho hmotnosti. Pro komplexnější analýzu bylo také v průběhu brzdných zkoušek provedeno měření tlaku vzduchu před a za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu přívěsu. Součástí práce je i popis současných brzdových systémů vozidel, metod provádění brzdných zkoušek a legislativních požadavků na zkoušení brzd. Dále je zde popsána metodika vlastních komparačních zkoušek a jejich specifikace. Měřením dosažené hodnoty jsou konfrontovány s legislativními předpisy platnými jak do konce roku 2015, tak i s novým předpisem platným od 1. 1. 2016. Z analýzy naměřených hodnot vyplývá, že se zvyšující se hmotností nákladu přívěsu dochází k prodlužování brzdné dráhy soupravy.

Klíčová slova: brzdy, traktor, přívěs, střední zpomalení, brzdná dráha

ABSTRACT

The thesis deals with the analysis and comparison of the braking distance and the braking deceleration of the tractor Zetor Forterra 12441 and the towed trailer BSS 10 in relation to its load. For a complex analysis, the measurement of air pressure in front of and behind the load air pressure regulator of the trailer was performed during the brake tests as well. The work also includes a description of the current vehicle braking systems, methods of performing brake testing and legislative requirements on brake testing. There is also the methodology of comparative tests themselves and their specifications described in the thesis. The values achieved by the measurement are confronted both with the legislative regulations valid until the end of 2015 and the regulation newly valid from 1st January 2016. The analysis of the measured values shows that the braking distance of the set is lengthening with increasing the weight of the trailer load.

Keywords: brakes, tractor, trailer, mean deceleration, braking distance

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	9
3	SOUČASNÝ STAV BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ.....	10
3.1	Brzdová soustava a její funkce	10
3.2	Rozdělení brzdových systémů podle ovládacího média	11
3.2.1	Mechanicky ovládaný brzdový systém.....	11
3.2.2	Hydraulicky ovládaný brzdový systém.....	11
3.2.3	Pneumaticky ovládaný brzdový systém.....	12
3.2.4	Elektronicky ovládaný brzdový systém.....	12
3.3	Rozdělení brzd podle typu konstrukce.....	13
3.3.1	Bubnové brzdy	13
3.3.2	Kotoučové brzdy	14
3.3.3	Lamelové brzdy	14
3.3.4	Odlehčovací (zpomalovací) brzdy - retardéry	15
3.4	Elektronické brzdové systémy	16
3.4.1	ABS – Protiblokovací systém.....	16
3.4.2	EBD – Elektronické rozdělování brzdného účinku	17
3.4.3	ESP – Elektronický stabilizační program	17
3.4.4	BAS – Brzdový asistenční systém.....	18
4	PŘEDPISY A SMĚRNICE PRO ZKOUŠENÍ BRZD	19
4.1	Směrnice Rady č. 76/432/EHS	19
4.2	Nařízení Komise č. 2015/68/EU	21
4.3	Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 167/2013	24
5	METODY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK BRZD.....	25
5.1	Válcové zkušebny	27
5.1.1	Pomaloběžné válcové zkušebny	27
5.1.2	Rychloběžné válcové zkušebny	28
5.2	Plošinové zkušebny.....	28
5.3	Jízdní zkoušky brzd na vozovce	29
5.3.1	Decelerometry.....	29
5.3.2	Decelerografy.....	30
5.3.3	Vlečné kolo	30
5.3.4	Optoelektrické přístroje	31
5.3.5	Měření pomocí GPS.....	31
6	MATERIÁL A METODIKA ZPRACOVÁNÍ.....	32
6.1	Průběh měření	32
6.2	Měřicí zařízení	33

6.3	Kontrola teplot povrchu brzd.....	33
6.4	Specifikace traktoru	34
6.4.1	Provozní brzdy traktoru	35
6.4.2	Parkovací brzda.....	37
6.4.3	Vzduchové brzdy traktoru	37
6.5	Specifikace přívěsu	38
6.6	Metodika vyhodnocení	41
7	VÝSLEDKY	42
7.1	Zkoušky brzd samotného traktoru Zetor Forterra 12441	42
7.2	Zkoušky brzd soupravy traktoru Forterra 12441 a prázdného přívěsu BSS 10	46
7.3	Zkoušky brzd soupravy traktoru Forterra 12441 a částečně naloženého přívěsu BSS 10.....	51
7.4	Zkoušky brzd soupravy traktoru Forterra 12441 a plně naloženého přívěsu BSS 10	56
8	KOMPARACE NAMĚŘENÝCH HODNOT	61
8.1	Komparace brzdné dráhy	61
8.2	Komparace středního plného zpomalení.....	63
8.3	Komparace tlaků vzduchu za zátěžovým regulátorem přívěsu	66
9	DISKUZE	69
10	ZÁVĚR	70
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	73
11.1	Použitá literatura	73
11.2	Elektronické zdroje	74
11.3	Ostatní zdroje.....	74
12	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
13	SEZNAM TABULEK	76
14	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	80
16	PŘÍLOHY	81

1 ÚVOD

Technika dnešních moderních motorových vozidel podléhá stále většímu zdokonalování, způsobenému vývojem nových systémů a zaváděním nových technologií, kterým dominuje především vstup elektroniky do řídicích a regulačních systémů jednotlivých částí dopravních prostředků. Toto zdokonalování se logicky projevuje i v oblasti brzdových soustav motorových vozidel. Elektronika v brzdových soustavách zajišťuje nejen lepší regulaci brzdného účinku na jednotlivá kola, ale hlavně výrazně přispívá ke zvyšování bezpečnosti a lepší ovladatelnosti vozidla při brzdění. V současné době existuje mnoho elektronických systémů brzdových soustav, z nichž nejznámější jsou například systémy ABS, EBS, ESP nebo ASR. Kromě zajištění maximální bezpečnosti musí brzdové soustavy splňovat požadavky na životnost, spolehlivost a životní prostředí.

Brzdovou soustavu je z hlediska bezpečnosti nutno chápat jako velmi důležitou součást každého vozidla. Výkon brzd musí tudíž několikanásobně převyšovat samotný výkon motoru. Tento výkon je využit k zastavení vozidla především pomocí tření na třecích plochách brzd, čímž dochází k maření pohybové energie vozidla. Vedlejším produktem tohoto tření je vznik velkého množství tepla, které je následně potřeba patřičným způsobem od třecích ploch odvést.

Současně se zvyšováním technické úrovně brzdových soustav osobních, nákladních, užitkových i zemědělských vozidel, dochází ke stupňování legislativních požadavků na brzdy v rámci celé EU. Toto zpřísnování požadavků jak na konstrukci brzd, tak i na jejich zkoušení a plnění požadovaných limitů má jednoznačný cíl, kterým je zvyšování bezpečnosti silničního provozu. Nové legislativní předpisy tím vytvářejí tlak na konstruktéry, kteří jsou přímo nuceni přicházet s novými, účinnějšími brzdovými systémy a jejich celkovou optimalizací. Z toho vyplývá, že jakékoliv vozidlo, včetně traktorů, které plnilo dané legislativní požadavky v minulosti, je s největší pravděpodobností, již nemusí plnit v současnosti. Tato skutečnost byla ověřena i v rámci provedených měření brzdné dráhy a středního zpomalení traktoru Zetor Forterra 12441.

U traktorů jsou požadavky na druhy zkoušek brzd a na jejich vyhodnocení specifikovány především podle maximální konstrukční rychlosti a maximální celkové hmotnosti.

2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vytvořit přehled typů prováděných zkoušek brzd, vytvořit metodiku měření účinnosti brzd a realizovat měření traktoru Zetor Forterra 12441 s traktorovým přívěsem BSS 10 v závislosti na jeho zatížení nákladem. Naměřené hodnoty tabulkově a graficky zpracovat, provést jejich analýzu a formulovat závěry.

3 SOUČASNÝ STAV BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ

3.1 Brzdová soustava a její funkce

Brzdová soustava je společně s řízením, z hlediska bezpečnosti, jednou z nejdůležitějších součástí vozidla. Pro bezpečnou funkci musí mít brzdová soustava vysoký výkon a bývá nejvýkonnějším systémem na vozidle.

„Brzdy musí rychle a účinně zastavit vozidlo při všech rychlostech a za všech provozních podmínek. Vozidlo se přitom nesmí vychýlit z daného směru jízdy. Brzdy musí mít velkou provozní spolehlivost, vysokou životnost, musí být nenáročné na obsluhu a údržbu se snadným ovládním“ (Bauer, 2013, s. 84).

Dle Horejše (2008, s. 230) brzdy pracují především na principu tření mezi otáčejícími se součástmi a mezi nepohyblivými stojícími součástmi brzdových systémů. Čas a velikost brzdného účinku ovlivňuje přímo řidič vozidla. Účinek brzdového systému je omezen velikostí adheze pneumatik vzhledem k vozovce, poněvadž brzdný účinek vyvolává právě tření mezi pneumatikou a vozovkou.

Funkce brzd:

Provozní

Umožňuje řidiči průběžné či rychlé zpomalení vozidla, případně jeho úplné zastavení při běžném provozu i při nestandardních mezních stavech, jako je náhlé kritické brzdění. Jako příklad lze uvést hydraulické brzdy s posilovačem ovládané od brzdového pedálu.

Nouzové

V případě poruchy provozních brzd musí být možné zastavit vozidlo pomocí nouzové brzdy. Příkladem může být selhání zdroje energie pro podtlakový posilovač brzdného účinku, kdy řidič je schopen působit na brzdy i bez posilovače, ovšem za cenu větší síly.

Parkovací

Parkovací brzda zabezpečuje funkci bezpečného zajištění stojícího vozidla i v případě nepřítomnosti řidiče. U osobních vozidel může být parkovací brzda ovládána pákou nebo pedálem tzv. ruční brzdy.

Odlehčovací

Odlehčovací brzdy dovolují vozidlu snížit rychlost, aniž by bylo nutné použít brzdy provozní. Například motorová či elektromagnetická brzda u některých druhů vozidel.

3.2 Rozdělení brzdových systémů podle ovládacího média

Podle zdroje energie, jenž působí na provozní brzdy vozidla, rozeznáváme několik druhů brzdových systémů. Základní rozdělení těchto systémů je dělení na přímočinné, strojní a polostrojní.

Přímočinné

„Na brzdy působí pouze svalová síla obsluhy. Dále se dělí podle použitého převodu na:

- mechanické - ovládané přes mechanický převod (pákový, lanový...),
- hydraulické - s hydraulickým převodem“ (Bauer, 2013, s. 84).

Strojní

„Na brzdy působí jiný zdroj energie než síla řidiče. Podle druhu energie se dále dělí na:

- hydraulické - působí tlak kapaliny z jiného zdroje,
- pneumatické - působí tlak stlačeného vzduchu“ (Bauer, 2013, s. 84).

Polostrojní

„Spolu se svalovou silou řidiče působí další zdroj energie (posilovač)“ (Bauer, 2013, s. 84).

3.2.1 Mechanicky ovládaný brzdový systém

Mechanicky ovládané brzdy lze zařadit mezi systémy přímočaré a patří k nejjednodušším brzdovým systémům. Řidič působí na brzdovou soustavu mechanicky svoji vlastní silou přímo, například prostřednictvím lanovodů s bowdeny, nebo pomocí mechanických táhel.

3.2.2 Hydraulicky ovládaný brzdový systém

Hydraulické ovládání brzd je založeno na přenosu síly od hlavního brzdového válce ovládaného brzdovým pedálem, k jednotlivým brzdovým válcům pomocí tlaku kapaliny. Kapalinou může být brzdová kapalina nebo hydraulický olej v uzavřeném hydraulickém okruhu. Hydraulické ovládání může být s přímým působením bez posilovače nebo s posilovačem brzdného účinku (například podtlakový posilovač). Rozdělení tlaku kapaliny na jednotlivé nápravy, v závislosti na zatížení, zajišťuje zátěžový regulátor.

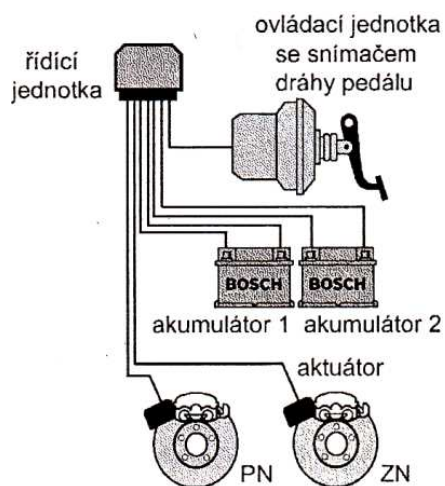
3.2.3 Pneumaticky ovládaný brzdový systém

Pneumaticky ovládaný brzdový systém je systém využívaný především u nákladních automobilů a traktorů. Funkce systému je podmíněna zdrojem tlakového vzduchu, který zajišťuje vzduchotlaký kompresor. Pomocí brzdíče, jehož součástí je i brzdový pedál, je tlak vzduchu vpouštěn do vzduchové soustavy a potrubím je dále rozváděn k jednotlivým brzdovým ústrojím u brzděných kol. Další části pneumatického brzdového systému jsou: vyrovnávač tlaku, vzduchojem, odlučovač oleje a vlhkosti, zátěžový regulátor tlaku a brzdíč přívěsu.

3.2.4 Elektronicky ovládaný brzdový systém

Elektronicky ovládaný brzdový systém (viz obr. 3.1), označovaný zkratkou EBS, je též nazývaný Breaking-by-wire. Tento systém přenáší informaci od brzdového pedálu k brzdám jednotlivých kol pomocí elektrických kabelů.

Vlk (2005, s. 84) uvádí, že při pohybu brzdového pedálu jsou vyslány elektrické impulsy do výkonových jednotek (aktuátorů) na každém jednotlivém kole, kde následně dojde pomocí elektromotorů k vyvinutí brzdné síly. Mezi pedálem a brzdovým mechanismem na kolech není přímé mechanické nebo hydraulické spojení a přenos impulzů je tedy zajištěn pouze vodiči (výkonovými a signálovými). Ovládání jen pomocí vodičů sebou nese riziko výpadku brzd v případě závady či selhání elektrického systému vozidla. Systém tedy musí mít dva nezávislé elektronické brzdové okruhy.



Obr. 3.1 – Schéma elektronického brzdového systému

Zdroj: Vlk (2005, s. 84)

Kombinace elektronicky ovládaného brzdového systému s hydraulickým, umožňuje hydraulický přenos síly v případě závady na elektrické části brzdového systému.

3.3 Rozdělení brzd podle typu konstrukce

„U silničních motorových vozidel se používají třecí brzdy, ve kterých vzniká brzdný moment třením mezi otáčející se částí a pevnou částí, čímž se pohybová energie vozidla mění v teplo. Brzda je nejčastěji umístěna přímo v kole a otáčející se část brzdy je spojena s nábojem kola“ (Vlk, 2006, s. 301).

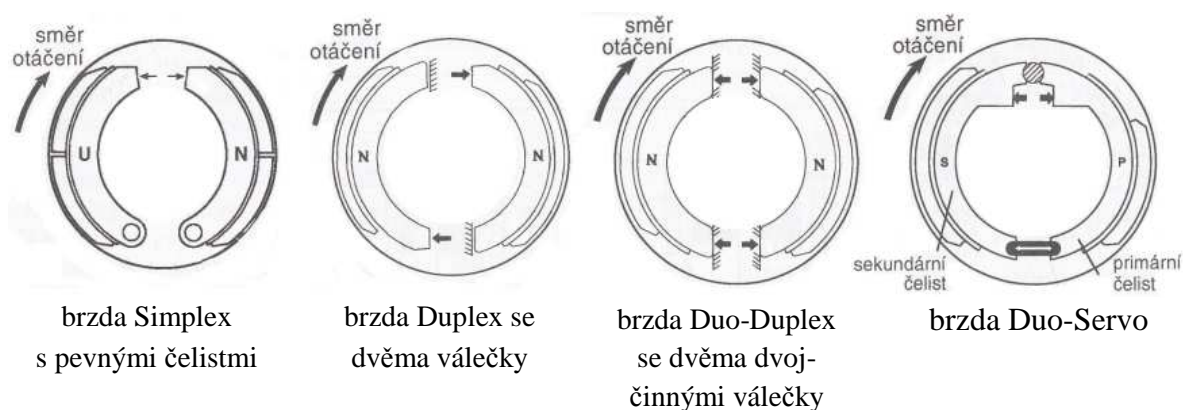
Mezi třecí brzdy lze zařadit brzdy bubnové a brzdy kotoučové. U traktorů a speciálních motorových vozidel se často používají suché či mokré lamelové nebo pásové brzdy.

3.3.1 Bubnové brzdy

Bubnové brzdy procházely postupným vývojem, ze kterého se vyvinulo několik druhů bubnových brzd. Nejstarším druhem bubnové brzdy je brzda pásová, kdy pás brzdy s obložením obepíná buben z vnějšku. Z něj se postupně vyvinuly další druhy bubnových brzd (viz obr. 3.2), u kterých jsou třecí plochy uvnitř bubnu.

Hlavními částmi bubnových brzd jsou buben, na který je montován disk kola s pneumatikou, pevně uložené čelisti s obložením a jedno či dvojčinné ovládací válečky. Tyto brzdy jsou dnes využívány hlavně u starších nákladních automobilů a přívěsů. Jejich výhodou oproti kotoučovým brzdám je to, že jsou kryté a odolnější proti pronikání znečištění. Mezi hlavní typy bubnových brzd patří:

- jednonáběžná Simplex (jedna čelist náběžná, jedna čelist úběžná),
- dvounáběžná Duplex (obě čelisti náběžné),
- dvounáběžná obousměrná – DuoDuplex,
- se spřaženými čelistmi Servo,
- dvounáběžná obousměrná se spřaženými čelistmi – Duo Servo.



Obr. 3.2 – Typy bubnových brzd

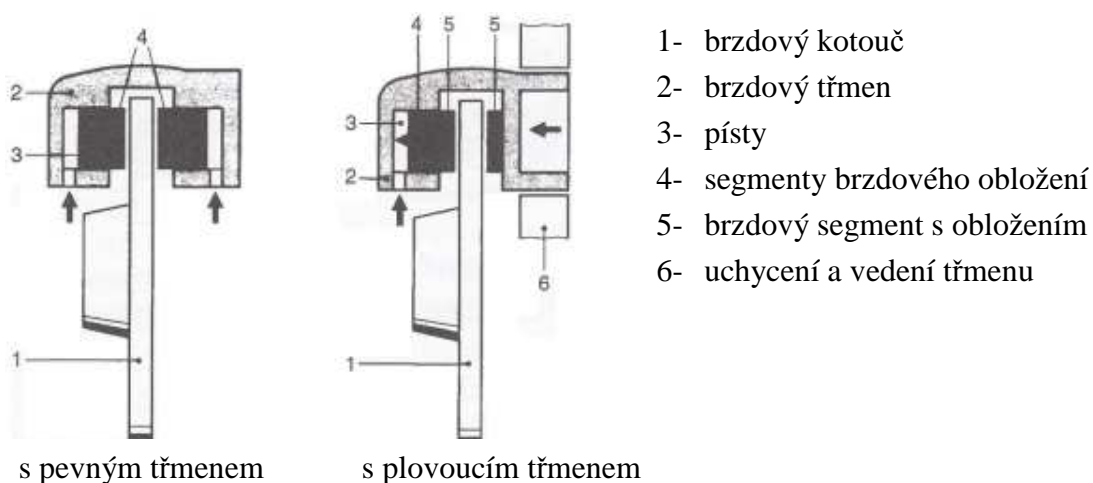
Zdroj: Horejš (2008, s. 237)

3.3.2 Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy (viz obr. 3.3) fungují, jak popisuje Horejš (2008, s. 238), na principu tření brzdového obložení (brzdových destiček) o obě strany funkčních ploch brzdového kotouče. Brzdové destičky s přilepeným obložením jsou umístěny uvnitř brzdového třmenu, kde pomocí jednoho nebo dvou pístků, jež jsou ovládány hydraulickou kapalinou, dochází k jejich přitlačování na rotující brzdový kotouč.

Typy kotoučových brzd:

- s pevným třmenem,
- s plovoucím třmenem,
- s plovoucím rámem.



Obr. 3.3 – Typy kotoučových brzd

Zdroj: Horejš (2008, s. 238)

3.3.3 Lamelové brzdy

Dalším druhem třecích brzd, používaných ve velké míře u traktorů, jsou brzdy lamelové (diskové). Tyto brzdy lze dále rozdělit na suché a mokré. Lamely a disky mokřích brzd jsou ponořeny v oleji, který slouží zároveň k jejich chlazení.

Skládají se z brzdového koše, z pevných lamel, z brzdových lamel s obložením a z rozpěrných disků s pružinkami a kuličkami (viz obr. 3.4). Při brzdění je pomocí ovládacího mechanismu působeno na rozpěrné disky, které se proti sobě pootočí. Protože jsou disky spojeny přes kuličky v tzv. slzičkových vybráních, dojde jejich pootočením k posunu slzičkového vybrání vůči kuličce a tím k následnému rozepření disků a aktivaci brzdy.



koš brzdy s lamelou

rozpěrný tlačný disk

Obr. 3.4 – Čtyř lamelová mokrá disková brzda traktoru Zetor Forterra

Zdroj: vlastní foto

3.3.4 Odlehčovací (zpomalovací) brzdy - retardéry

3.3.4.1 Motorová brzda

„Motorové brzdy jsou založeny na principu odpouštění motorem stlačovaného vzduchu (vstřík paliva je uzavřen) při kompresním zdvihu do otevřeného nebo uzavřeného výfukového potrubí (v tomto případě ve spolupráci s výfukovou brzdou)“ (Jan, 2009, s. 187).

3.3.4.2 Výfuková brzda

„Principem těchto brzd je zvýšení protitlaku výfukových plynů, které tak působí proti pohybu pístu spalovacího motoru a tento brzdicí účinek se přenáší převodným ústrojím na kola vozidla“ (Vlk, 2005, s. 158).

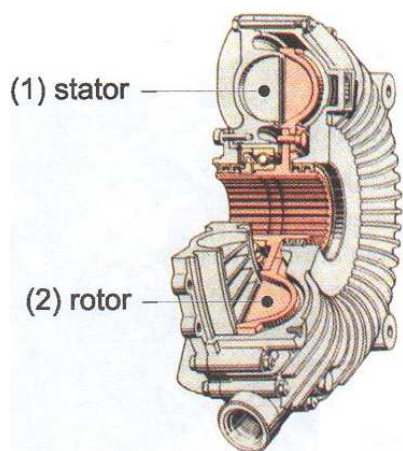
3.3.4.3 Elektromagnetický retardér

Elektromagnetický retardér funguje na principu indukovaní vířivých proudů otáčejícím se kovovým kotoučem v magnetickém poli. Tyto vířivé proudy působí silou proti otáčení kovového kotouče a zpomalují ho.

„Brzdný účinek se reguluje změnou velikosti elektrického proudu, který prochází vinutím cívek elektromagnetů a je odebírán z elektrické zdrojové soustavy vozidla. Výhodou těchto brzd je velký brzdný účinek, který je poměrně snadno regulovatelný. Nevýhodou je silné zahřívání kotoučů při dlouhotrvajícím brzdění, značná hmotnost a vysoká cena“ (Jan, 2009, s. 188).

3.3.4.4 Hydrodynamický retardér

Ján (2009, s. 189) konstatuje, že použitím hydrodynamického retardéru dochází k přeměně energie vzniklé brzděním na teplo, které vzniká uvnitř retardéru. Retardér



(viz obr. 3.5) tvoří stator, jenž je spojen na pevně se skříní retardéru a rotor jenž se otáčí. Jedná se o dvě lopatková kola přes které proudí hydraulický olej. Lopatkami rotoru je olej tryskán na lopatky statoru, kde dochází ke ztrátě jeho kinetické energie. Pozvolnou změnou velikosti tlaku oleje lze plynule bez skoků regulovat velikost brzdného účinku.

Obr. 3.5 – Hydrodynamická brzda
Zdroj: Jan (2009, s. 189)

3.4 Elektronické brzdové systémy

S rozvojem elektroniky nastal velký rozmach elektronických brzdových soustav využívajících k regulaci a optimalizaci brzdné síly na činné plochy brzd řídicích jednotek.

3.4.1 ABS – Protiblokovací systém

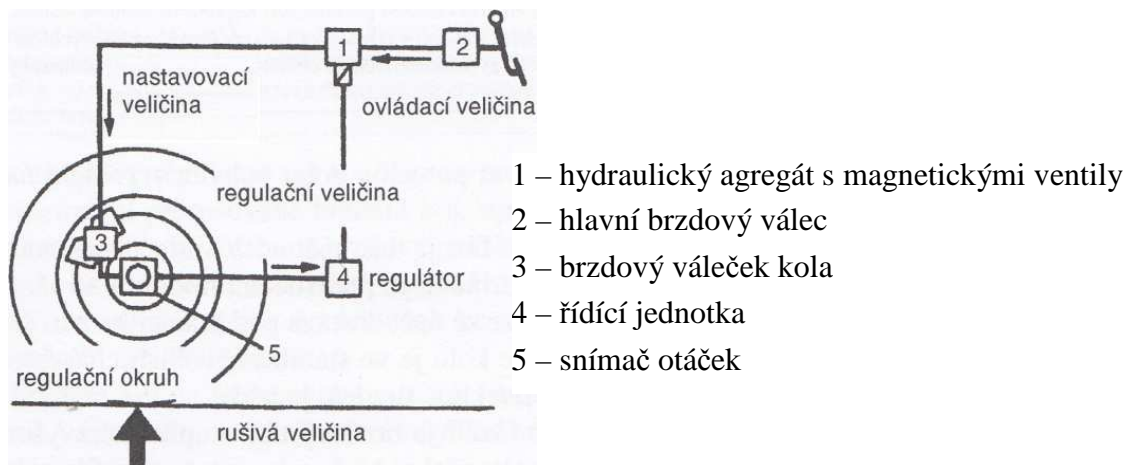
Systém ABS slouží ve vozidlech k regulování brzdné síly na obvodu kola dle aktuálních adhezních podmínek, čímž zabraňuje blokování kol. Současně s tím, že kola nejsou zablokována a otáčejí se, zajišťuje systém ABS stabilitu vozidla při brzdění a minimalizuje nebezpečí smyku vozidla při náhlém brzdění především na mokru, sněhu nebo na ledu uvádí Bauer (2013, s. 88).

„ABS musí využívat maximálně součinitel tření mezi vozovkou a koly, přičemž stabilita jízdy a říditelnost vozidla je důležitější než brzdná dráha“ (Horejš, 2008, s. 241).

„Systém ABS se skládá z těchto základních částí:

- snímačů otáček jednotlivých kol,
- hydraulické jednotky,
- elektronické řídicí jednotky,
- kontroly opotřebení obložení brzdového segmentu a jeho signalizace řidiči“ (Horejš, 2008, s. 242).

Horejš (2008, s. 242) dále popisuje, že řídicí jednotka dostává od jednotlivých snímačů na kolech signál o otáčkách kol a nadále ho vyhodnocuje. V případě, že dojde k blokování kola, řídicí jednotka ovlivní (zmenší) velikost brzdné síly na daném kole. Úzce spolupracuje s hydraulickou jednotkou, která dle potřeby a pokynů řídicí jednotky zvyšuje nebo snižuje brzdný tlak kapaliny k brzdovým válcům u jednotlivých kol.



Obr. 3.6 – Regulační soustava ABS
 Zdroj: Horejš (2008, s. 243)

3.4.2 EBD – Elektronické rozdělování brzdného účinku

V poslední době bývá se systémem ABS propojen i systém EBD, který mění velikost brzdění jednotlivých kol v závislosti na stavu a povrchu vozovky, aktuálního zatížení vozidla na jednotlivá kola či aktuální pojezdové rychlosti.

Podle Vlka (2005, s. 80) systém EBD zamezuje blokování kol zadní nápravy, protože nejen brzdy na přední nápravě, ale i brzdy na zadní nápravě mají vysoký výkon nutný pro účinné zastavení plně naloženého vozidla. Z tohoto důvodu může dojít k jejich předbrzdění před brzdami na přední nápravě, zvláště v případě, že je vozidlo méně zatíženo. Systém EBD kontroluje a komparuje otáčky kol na přední a zadní nápravě a v případě sklonu zadních kol k blokování omezí EBD jejich brzdný účinek.

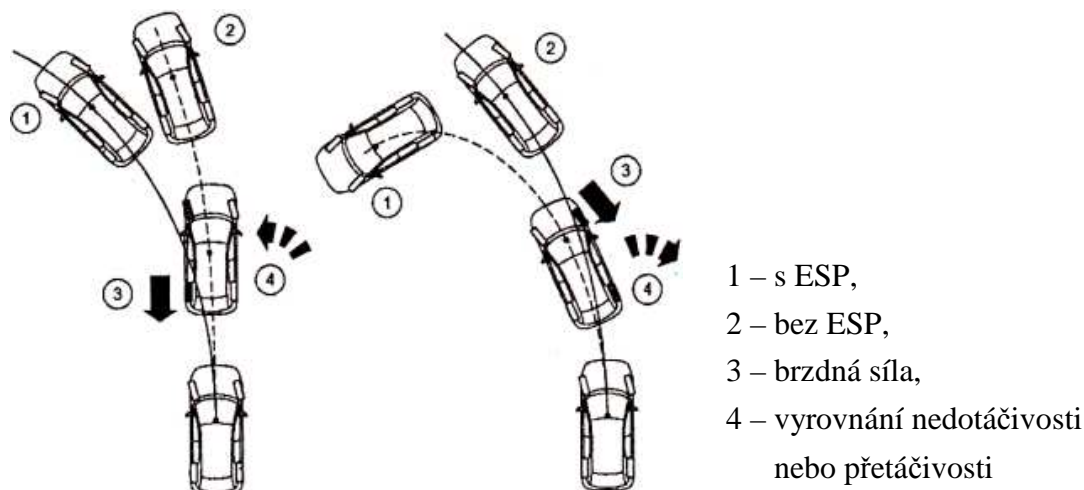
3.4.3 ESP – Elektronický stabilizační program

ESP pomáhá zajišťovat bezpečný průjezd vozidla zatáčkou (viz obr. 3.7).

ESP funguje na principu automatického zásahu systému do hnacího momentu motoru a do brzdové soustavy vozidla uvádí Vlk (2005, s. 90).

„Zjistí-li systém prostřednictvím snímačů příčně dynamický kritický stav vozidla, dochází k přibrzdění příslušných kol, tím se vytvoří točivý moment kolem svislé osy

vozidla, který kompenzuje nežádoucí nedotáčivý, popř. přetáčivý pohyb vozidla. Hrozí-li např. vybočení zadní části u přetáčivého pohybu vozidla, jsou přibrzděna kola na vnější straně zatáčky, přičemž největší brzdná síla působí na přední vnější kolo. U nedotáčivého chování vozidla se korekce provede přibrzděním kol na vnitřní straně zatáčky, přičemž převážný podíl brzdné síly působí na zadním vnitřním kole. Systém integruje protiblokovací systém ABS, elektronický dělič brzdných sil EBV, elektronickou závěru diferenciálu EDS a protiprokluzové zařízení ASR“ (Vlk, 2005, s. 90).



Obr. 3.7 – Zásah systému ESP v kritických situacích
 Zdroj: Vlk (2005, s. 91)

3.4.4 BAS – Brzdový asistenční systém

Funkcí BAS je, jak formuluje Vlk (2006, s. 424), asistence řidiči v případě potřeby nouzového brzdění, kdy dojde k prudkému navýšení brzdného tlaku v soustavě. Nezkoušený řidič brzdí v nouzové situaci nevhodně, protože ovládají pedál brzd pomalu a s velkou ovládací silou, případně rychle, ale s malou ovládací silou. BAS se snaží využít maximální účinnosti brzdového systému tím, že napodobuje ovládání systému zkušeným řidičem, to znamená, že ovládá brzdový pedál velkou ovládací silou a rychle.

Vlk (2006, s. 53) také popisuje, že princip systému BAS je založen na monitorování odporu potenciometru spojeného s pedálem brzdy, který je následně vyhodnocován řídicí jednotkou. Jednotka signál komparuje s přednastavenými hodnotami a v případě nouzového brzdění rozezná kritickou situaci a aktivuje elektrický obvod zavzdušňovacího ventilu posilovače brzd. Tímto dojde okamžitě k posílení tlaku v brzdovém systému a následnému prudkému brzdění kol. Systém úzce spolupracuje s protiblokovacím systémem ABS, který i v kritické situaci zabraňuje bloku kol a zajišťuje tak říditelnost vozidla.

4 PŘEDPISY A SMĚRNICE PRO ZKOUŠENÍ BRZD

Jako jedny ze základních předpisů týkající se konstrukce a zkoušení brzd lze označit předpis Evropské hospodářské komise EHK č. 13 a směrnici Evropské rady 71/320/EHS. Vztahují se ovšem především na vozidla kategorií M, N a přípojných vozidel kategorie O.

Pro konstrukci a zkoušky brzdových systémů kolových zemědělských a lesnických traktorů je nutno vycházet ze směrnice Rady č. 76/432/EHS, která prošla řadou novelizací. Důležité jsou zejména směrnice Komise č. 96/63/ES a 2010/0349 (COD), které přizpůsobily požadavky na brzdy i na samotné zkoušení brzd novým, aktuálním požadavkům.

4.1 Směrnice Rady č. 76/432/EHS

Tato směrnice Rady č. 76/432/EHS, o sblížení právních předpisů členských států týkajících se brzdových zařízení kolových zemědělských a lesnických traktorů, včetně jejich novelizací, byla dlouhou dobu určujícím předpisem pro zkoušení brzdových systémů. Dle nařízení (EU) č. 167/2013 byla ovšem její platnost s účinkem od 1. ledna 2016 zrušena.

Vozidla vyrobená před tímto datem podléhají požadavkům a specifikacím na konstrukci a montáž brzd uvedeným v části PŘÍLOHA I a požadavkům na zkoušení brzd uvedeným v části PŘÍLOHA II.

Pro zkoušení a vyhodnocení zkoušek brzd stanovuje směrnice č. 76/432/EHS, ve znění pozdějších předpisů, některé důležité požadavky, jako například:

- účinek systému provozního brzdění se určuje brzdou dráhou vypočtenou podle

vzorce:

$$s_{\max} \leq 0,15 * v + \frac{v^2}{116} \quad [\text{m}] \quad (2010/0349 \text{ COD}),$$

- kde: s_{\max} - maximální brzdná dráha [m],
 v - maximální konstrukční rychlost [km.h⁻¹],

- brzdná dráha je dráha, kterou traktor ujede od okamžiku, kdy řidič začne působit na ovládací orgán brzdového systému, až do okamžiku, kdy se traktor zastaví,

- síla, kterou se během zkoušek působí na ovládací orgán, aby se dosáhlo předepsaného účinku, nesmí překročit 60 daN pro pedály a 40 daN pro ruční ovládací orgány,
- silnice musí mít povrch s dobrou adhezí a musí být vodorovná,
- zkoušky se provedou jen tehdy, pokud výsledky nemohou být ovlivněny větrem,
- pneumatiky musí být studené a nahuštěné na předepsaný tlak (76/432/EHS).

Zkouška typu 0 (základní zkouška účinku se studenými brzdami)

- brzdy musí být na začátku zkoušky studené, za což se považuje teplota měřená na kotouči nebo na vnějšku bubny nižší než 100 °C, nebo u úplně zakrytých brzd, včetně brzd ponořených v oleji, na vnějšku krytu nižší než 50 °C
- brzdy byly mimo činnost po dobu jedné hodiny,
- traktor musí být naložen na svou maximální hmotnost a nebrzděná náprava musí být zatížena na svou maximální technicky přípustnou hmotnost na nápravu,
- zkoušku je nutno opakovat s nenaloženým traktorem,
- traktor musí mít největší pneumatiky doporučené výrobcem (76/432/EHS).

Zkouška typu I (zkouška ztráty brzdného účinku)

- brzdy se zkoušejí tak, aby se při naloženém traktoru pohlcovala v brzdách tatáž energie, jaká vzniká za stejnou dobu u naloženého traktoru udržovaného na ustálené rychlosti (80 ± 5) % rychlosti stanovené pro zkoušky typu 0 na klesání 10 % na vzdálenosti 1 km, s odpojeným motorem,
- na konci této zkoušky se musí změřit zbývající účinek systému provozního brzdění za stejných podmínek jako pro zkoušku typu 0 s odpojeným motorem,
- po zkoušce typu I musí být zbývající účinek brzd nejméně 75 % předepsaného účinku a nejméně 60 % hodnoty zaznamenané při zkoušce typu 0 (76/432/EHS).

Systémy parkovacího brzdění

- systém parkovacího brzdění musí udržet stojící naložený traktor na stoupání nebo klesání o sklonu 18 %,
- u traktorů určených ke spojení s jedním nebo více přípojnými vozidly musí systém parkovacího brzdění traktoru udržet na stoupání nebo klesání o sklonu 12 % stojící jízdní soupravu, skládající se z nenaloženého traktoru a z nebrzděného přípojného vozidla téže hmotnosti (2010/0349 COD).

4.2 Nařízení Komise č. 2015/68/EU

Nařízení č. 2015/68/EU je nejnovější nařízení Evropské komise, které vstoupilo v platnost 1. ledna 2016 a nahrazuje původní směrnici č. 76/432/EHS. Tímto nařízením se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 167/2013, na požadavky brzdění zemědělských a lesnických vozidel. Pro vlastní zkoušení brzd je důležitá část PŘÍLOHA II, jenž specifikuje požadavky na zkoušení a účinky brzdových systémů a brzdy přípojných vozidel. Zásadní změnou oproti původní směrnici je výpočet brzdného zpomalení a definice jeho minimální velikosti. Zároveň platí požadavek na velikost maximální délky brzdné dráhy, u kterého dochází také ke zpřísnění.

Oproti dosud platným předpisům vstupují pro vozidla kategorií T a C nařízením č. 2015/68/EU v platnost některé nové požadavky jako například:

- účinek předepsaný pro brzdové systémy je založen na brzdné dráze a na středním plném brzdném zpomalení nebo pouze na jedné z těchto veličin,
- účinek brzdového systému se určí měřením brzdné dráhy ve vztahu k počáteční rychlosti vozidla a měřením středního plného zpomalení v průběhu zkoušky nebo pouze pomocí jedné z těchto veličin,
- počáteční rychlost vozidla (v_1) je rychlost v okamžiku, kdy řidič začne působit na ovládací zařízení brzdového systému, přičemž rychlost nesmí být nižší než 98 % rychlosti předepsané pro příslušnou zkoušku,
- střední plné zpomalení d_m se vypočítá jako střední zpomalení, které je funkcí vzdálenosti ujeté v intervalu v_b až v_e , podle následujícího vzorce:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2} \text{]} \quad (2015/68/EU),$$

kde :	v_1	- počáteční rychlost vozidla	[km.h ⁻¹],
	v_b	- rychlost vozidla při 0,8 v_1	[km.h ⁻¹],
	v_e	- rychlost vozidla při 0,1 v_1	[km.h ⁻¹],
	s_b	- vzdálenost, kterou vozidlo ujede mezi v_1 a v_b	[m],
	s_e	- vzdálenost, kterou vozidlo ujede mezi v_1 a v_e	[m],

- síla, kterou se během zkoušek působí na ovládací zařízení brzdového systému, aby se dosáhlo předepsaného účinku, nesmí překročit 600 N u ovládacích zařízení ovládaných nohou a 400 N u ručně ovládaných zařízení (2015/68/EU).

Zkouška typu 0 (základní zkouška účinku se studenými brzdami)

- teplota měřená na kotouči nebo na vnějšku bubnu je nižší než 100 °C, u brzd ponořených v oleji je teplota měřená na vnějšku krytu nižší než 50 °C,
- brzdy nebyly použity během jedné hodiny před zkouškou,
- vozidlo musí být naloženo na svou maximální přípustnou hmotnost,
- zkouška musí být provedena při maximální konstrukční rychlosti vozidla, s odpojeným motorem,
- účinek provozních brzdových systémů pro zkoušky typu 0 se vyhodnotí a porovná s požadovanými hodnotami uvedenými v tabulce:

Tab. 4.1 – Požadavky na účinek provozních brzdových systémů

	$v_{\max} \leq 30 \text{ km.h}^{-1}$	$v_{\max} > 30 \text{ km.h}^{-1}$
v	$= v_{\max}$	$= v_{\max}$
s	$\leq 0,15 v + v^2/92$	$\leq 0,15 v + v^2/130$
d_m	$\geq 3,55 \text{ m.s}^{-2}$	$\geq 5 \text{ m.s}^{-2}$
F (nožní ovládání)	$\leq 600 \text{ N}$	$\leq 600 \text{ N}$
F (ruční ovládání)	$\leq 400 \text{ N}$	$\leq 400 \text{ N}$

Zdroj: 2015/68/EU

kde: v_{\max} - maximální konstrukční rychlost vozidla [km.h⁻¹],
v - předepsaná zkušební rychlost [km.h⁻¹],
s - brzdná dráha [m],
 d_m - střední plné zpomalení [m.s⁻²],
F - síla působící na ovládací zařízení [N],

- maximální brzdná dráha se vypočítá podle skutečné zkušební rychlosti,
- u taženého vozidla nesmí tlak v přívodním vedení pneumatického brzdového systému přesáhnout 700 kPa a hodnota signálu v ovládací větvi 650 kPa (2015/68/EU).

Zkouška typu I (slábnutí brzdového účinku)

- zkouší se řadou po sobě následujících uvedení brzd v činnost,
- při prvním brzdění musí být dosaženo střední plné zpomalení 3,0 m.s⁻², tato síla musí zůstat konstantní po všechna následující brzdění,
- vozidlo musí být plně naloženo a zkoušeno podle podmínek uvedených v tabulce:

Tab. 4.2 – Požadavky na ohřev brzd pro zkoušku typu I

Kategorie vozidla	Podmínky			
	v_1 [km.h ⁻¹]	v_2 [km.h ⁻¹]	Δt [s]	n
T, C	80 % v_{max}	$\frac{1}{2} * v_1$	60	20
Alternativně pro maximální konstrukční rychlosti nepřevyšující 40 km/h:				
Kategorie vozidla	Podmínky			
	v_1 [km.h ⁻¹]	v_2 [km.h ⁻¹]	Δt [s]	n
T, C	80 % v_{max}	$0,05 * v_1$	60	18

Zdroj: 2015/68/EU

kde: v_1 - rychlost při zahájení brzdění [km.h⁻¹],
 v_2 - rychlost při ukončení brzdění [km.h⁻¹],
 v_{max} - maximální konstrukční rychlost vozidla [km.h⁻¹],
n - počet brzdění
 Δt - trvání brzděného cyklu – čas [s], který uplyne mezi počátkem jednoho brzdění a počátkem následujícího brzdění) (2015/68/EU).

Dále je nově nutné provádět **zkoušku typu II** (zkouška chování vozidla na dlouhých klesáních) u traktorů s maximální přípustnou hmotností přesahující 12 000 kg.

Zkouška typu 0 pro vozidla kategorie R

Brzdný účinek taženého vozidla se může vypočítat buď z poměrného zpomalení traktoru a taženého vozidla a tlakové síly měřené ve spoji vozidel, nebo v určitých případech, z poměrného zpomalení traktoru a taženého vozidla, přičemž brzděno je pouze tažené vozidlo (2015/68/EU). Specifikace těchto případů a vzorec pro výpočet poměrného zpomalení udává podrobně uvedené nařízení.

Dle nařízení č. 2015/68/EU se musí součet brzdných sil na obvodu brzděných kol rovnat minimálně 50 % síly odpovídající maximálnímu zatížení kol u stojícího vozidla.

Systém parkovacího brzdění

Systém parkovacího brzdění musí udržet naložený traktor na sklonu stoupání nebo klesání 18 %. Tento požadavek musí být splněn i během doby na ochlazení. Doba na ochlazení se považuje za ukončenou, když brzdy dosáhnou teploty 10 °C nad teplotou okolního prostředí. Stejná zkouška se provede i za tepla, kdy se brzdy zahřejí na teplotu ≥ 100 °C a na svahu 18 % musí brzdy udržet naložený traktor i po ochlazení na teplotu okolního prostředí +10 °C (2015/68/EU).

U traktorů, u nichž je povoleno připojení tažených vozidel, musí být systém parkovacího brzdění traktoru schopen udržet soupravu vozidel při maximální přípustné hmotnosti uvedené výrobcem traktoru v poloze stání na sklonu stoupání nebo klesání 12 % (2015/68/EU).

Nařízení Komise dále podrobně specifikuje požadavky pro zkoušky brzd vozidel kategorie R (přívěsy) a kategorie S (výměnné tažené zařízení).

4.3 Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 167/2013

Aby bylo možné definovat odpovídající zkoušku brzd pro dané vozidlo, je nutné znát rozdělení vozidel do jednotlivých kategorií. Tyto kategorie vozidel podrobně definuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 167/2013. Pro zemědělské a lesnické traktory a přívěsy jsou důležité zejména kategorie třídy T, C a R, pro které nařízení č.167/2013 stanoví že:

kategorie T - veškeré kolové traktory,

kategorie T se dále dělí na subkategorie T1 až T4 např. dle hmotnosti, světlé výšky, rozvoru, šířky atd., podle konstrukční rychlosti jsou kategorie doplněny písmeny „a“ pro rychlost nižší než 40 km.h⁻¹ nebo „b“ pro rychlost vyšší než 40 km.h⁻¹,

kategorie C - pásové traktory s nekonečnými pásy nebo kombinací kol a pásů, subkategorie jsou definovány analogicky ke kategoriím T,

kategorie R - přípojná vozidla,

kategorii R se dále dělí na subkategorie R1 až R4 dle přípustných hmotností, podle konstrukční rychlosti jsou kategorie doplněny písmeny „a“ pro rychlost nižší než 40 km.h⁻¹ nebo „b“ pro rychlost vyšší než 40 km.h⁻¹ (EU 167/2013).

Zkoušený traktor Zetor Forterra 12441 lze zařadit do kategorie T1a, což je kolový traktor s maximální konstrukční rychlostí do 40 km.h⁻¹.

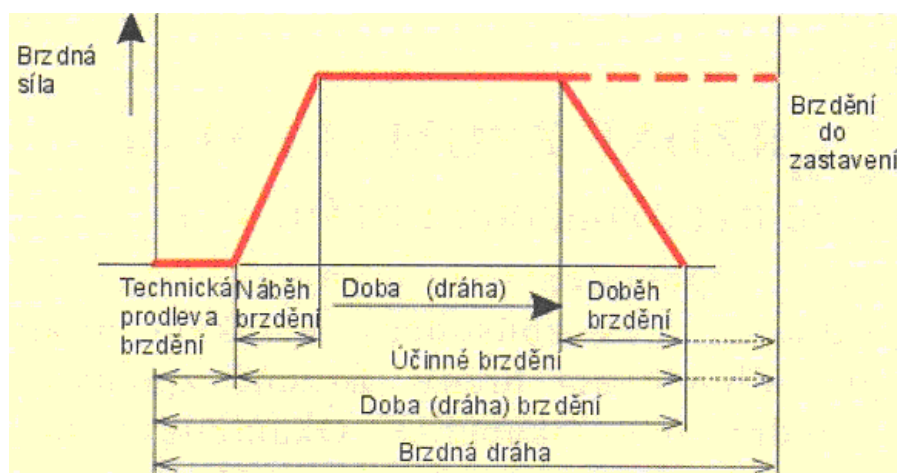
Přívěs BSS 10 lze zařadit do kategorie R3a, což jsou přípojná vozidla s maximální hmotností na nápravu vyšší než 3 500 kg, ale nižší než 21 000 kg a maximální konstrukční rychlostí stejnou nebo nižší než 40 km.h⁻¹.

5 METODY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK BRZD

Při měření a zkouškách brzd motorových vozidel je nutné vyhodnotit délku brzděné dráhy a velikost brzděného zpomalení.

„Brzděná dráha je dráha brzdění vozidla až do zastavení. Brzděné zpomalení je úbytek rychlosti vozidla za 1 s způsobený účinkem brzdy, popř. odlehčovací brzdy. Brzděné zpomalení je střední nebo okamžité“ (Jan, 2009, s. 84).

„Doba brzdění je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na brzdu vozidla (brzdovou soustavu), až do okamžiku, kdy účinek brzdy pomine nebo kdy se vozidlo zastaví“ (Jan, 2009, s. 83).



Obr. 5.1 – Doba brzdění a její složky

Zdroj: Jan (2009, s. 83)

Doba brzdění má tyto složky (viz obr. 5.1):

- ♦ **doba technické prodlevy brzdy** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na brzdu vozidla, až do okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat,
- ♦ **doba náběhu brzdění** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy dosáhne plné výše,
- ♦ **účinná doba brzdění** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy pomine nebo kdy se vozidlo zastaví,
- ♦ **doba doběhu brzdění** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič přestane působit na brzdu vozidla, až do okamžiku, kdy účinek brzd pomine.

„Pokud chceme určit celkovou dobu brzdění, musíme k takto zjištěné době brzdění samozřejmě připočítat i reakční dobu řidiče (0,5 s až 1,2 s)“ (Jan, 2009, s. 83).

Vztahy pro výpočet brzdné dráhy, zpomalení a doby brzdění (Bradáč, 1999, s. 376).

Výpočet brzdné dráhy do zastavení:

$$s = \frac{v^2}{2a} = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{v \cdot t}{2} \quad [\text{m}]$$

Výpočet zpomalení do zastavení:

$$a = \frac{v^2}{2s} = \frac{v}{t} = \frac{2s}{t^2} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$$

Výpočet doby brzdění do zastavení:

$$t = \frac{v}{a} = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \frac{2s}{v} \quad [\text{s}]$$

kde:

- s - brzdná dráha [m],
- a - zpomalení, (pro výpočet uvažujeme $a = a_{\max}$) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
- t - celkový čas brzdění [s],
- v - okamžitá (počáteční) rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Výpočty se vztahují pouze pro přímou jízdu po rovině. V případě jízdy například do zatáčky nebo do kopce vstupují do vzorců další výpočtové veličiny.

Zkoušky brzd je nutné provádět na kvalitním povrchu s dobrou adhezí.

Součinitel adheze lze teoreticky spočítat ze vztahu:

$$\mu = \frac{a}{g} \quad [-]$$

- a - dosažené brzdné zpomalení v průběhu brzdné zkoušky [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
- g - gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Z následující tabulky je zřejmé, že každý povrch má jiný součinitel adheze.

Tab. 5.1 – Součinitel adheze na různém povrchu (Bradáč, 1999)

Povrch vozovky		μ	Povrch vozovky		μ
beton	suchý	0,8 - 1,0	polní cesta	suchá	0,4 - 0,6
	mokrý	0,5 - 0,8		mokrá	0,3 - 0,4
asfalt	suchý	0,6 - 0,9	tráva	suchá	0,4 - 0,6
	mokrý	0,3 - 0,8		mokrá	0,2 - 0,5
dlažba	suchá	0,6 - 0,9	hluboký písek, sníh		0,2 - 0,4
	mokrá	0,3 - 0,5	náledí	0 °C	0,05 - 0,1
makadam	suchý	0,6 - 0,8		- 10 °C	0,08 - 0,15
	mokrý	0,3 - 0,5		- 20 °C	0,15 - 0,20

Zdroj: Bradáč (1999, s. 357)

Jestliže μ je rovno maximálně 1, potom maximální brzdné zpomalení dosažené na rovině se standardními pneumatikami pomocí kolových brzd je dle uvedeného vztahu $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

„V případě zanedbání odporu vzduchu nezávisí teoretická brzdná dráha vozidla na hmotnosti vozidla, což je zdůvodněno tím, že u vozidla s vyšší hmotností je možné na brzděných kolech vyvodit úměrně větší brzdnu sílu. Podmínkou ovšem je, že brzdy vozidla jsou schopny vyvodit na obvodu kola brzdnu sílu odpovídající daným adhezním podmínkám“ (Vala, 2003, s. 102).

Omezení, ale může nastat na straně reakční doby a účinnosti brzdové soustavy vozidla, například nerovnoměrností brzdného momentu na jednotlivá kola nebo zahřátím styčných brzdových ploch. Dalšími faktory, na kterých může záviset délka brzdné dráhy, jsou rozložení nákladu nebo stav a huštění pneumatik.

Vlastní provádění brzdových zkoušek lze realizovat buď na speciálních válcových a plošinových zkušebnách, nebo při jízdnicích měřeních na vozovce.

5.1 Válcové zkušebny

5.1.1 Pomaloběžné válcové zkušebny

Pomaloběžná zkušebna brzd se používá pro měření při nízkých rychlostech, do cca $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Skládá ze dvou válců, hnacího elektromotoru, převodovky, momentového ramena, snímače síly a ukazatele brzdných sil.

U pomaloběžných válcových zkušeben jsou válce, jak formuluje Vémola (2006, s. 100), uloženy v kovové konstrukci pod úrovní podlahy (viz obr. 5.2), přičemž každý pár válců jednoho kola je poháněn vlastním elektromotorem. Válec přímo s motorem spojuje převodovka se stálým převodovým poměrem. Tato převodovka má možnost se vůči rámu natáčet souběžně s osou hnaného válce, protože není fixně s rámem spojena. Toto natočení při brzdění, je pomocí momentového ramene napojeného na snímač síly zobrazováno ve formě brzdné síly.



Obr. 5.2 – Válcová zkušebna brzd
MAHA MBT 2250
Zdroj: www.maha-cz.cz

„Během měření je motor vozidla zastaven, kola vozidla se roztočí na určitou stálou rychlost (počáteční) měřicími válci poháněnými elektromotory. Tato počáteční, tzv. zkušební rychlost se nemění ani během brzdění. Brzdná síla, působící na obvodu brzděného kola vyvolá reakční moment, který působí proti smyslu otáčení měřicího válce a který je úměrný velikosti brzdné síly kola. Reakční moment způsobí natočení hnací jednotky. Rameno přitom tlačí na snímač, který je spojen s registračním přístrojem. Způsob měření brzdné síly, který se vyznačuje měřením reakce skříně převodovky, je označován jako mechanický“ (Vémola, 2006, s. 101).

5.1.2 Rychloběžné válcové zkušebny

Vémola (2006, s. 101) popisuje, že pro přiblížení měření podmínkám a rychlostem při jízdě v reálném provozu po pozemních komunikacích lze provádět zkoušky brzd na rychloběžných válcových zkušebnách. Princip měření brzd spočívá v tom, že elektromotorem se roztočí dva válce rychloběžné zkušebny společně s koly zkoušeného vozidla. Následně po sešlápnutí brzdového pedálu s pedometrem, měřícím ovládací sílu, dojde k odpojení pohonu válců a setrvačná energie naakumulovaná v roztočených válcích začne být mařena brzdami vozidla. Jelikož známe moment setrvačnosti válců, můžeme z počtu otáček válců do zastavení, stanovit brzdny účinek. Od reálných podmínek se tyto měření odlišují absencí klopného momentu, či odlišnou adhezí povrchu při brzdění.

5.2 Plošinové zkušebny

„U plošinových zkušeben zkoušené vozidlo najíždí na měřicí plošiny rychlostí asi $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Větší rychlost je přípustná například při zkoušení ABS. Na plošinách řidič vozidlo prudce zabrzdí. Z plošin jsou brzdné síly jednotlivých kol přeneseny pomocí snímačů a přenosového zařízení do vyhodnocovací elektronické jednotky. Na obrazovce se mj. zobrazí:

- diagram brzdných sil, z kterého lze určit účinnost brzdové soustavy a případné závady,
- brzdné zpomalení, brzdné síly předních a zadních kol, nesouměrný účinek brzd kol nápravy“ (Vémola, 2006, s. 98).

Dále Vémola (2006, s. 99) uvádí, že z měření lze také vyhodnotit velikost brzdné síly na předních i zadních kolech a jejich vzájemný poměr a tím ověřit zda je

funkční omezovač brzd kol zadní nápravy. Měření na plošinové zkušebně se z hlediska dynamických sil a účinků na vozidlo přibližuje reálnému brzdění na vozovce.

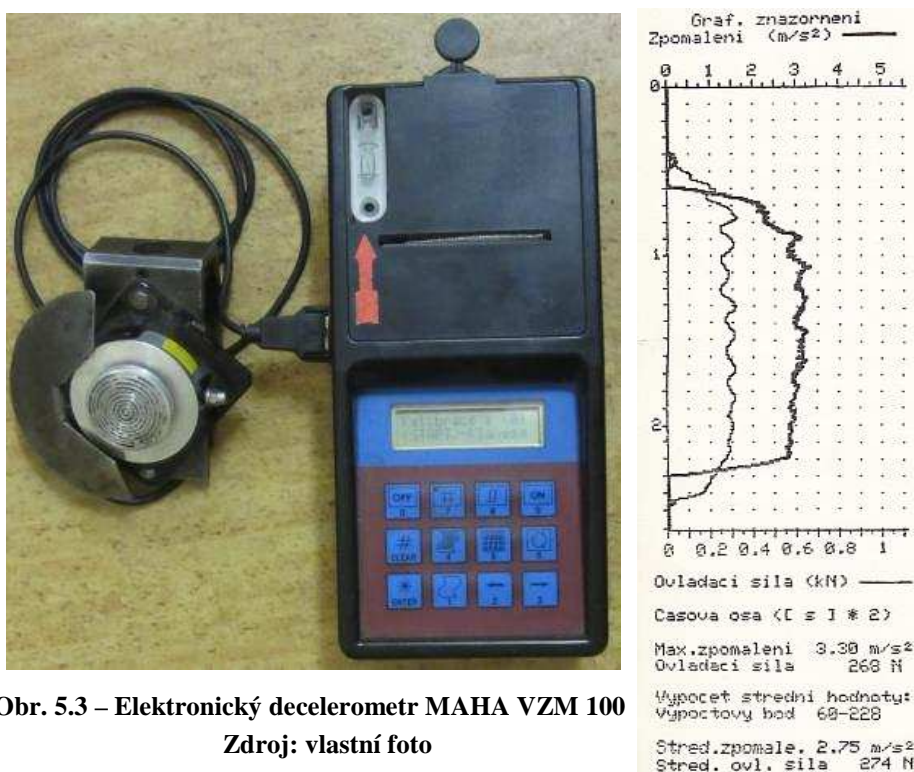
5.3 Jízdní zkoušky brzd na vozovce

Zkoušky a měření zpomalení vozidla při jízdách testech na vozovce není tak přesné jako zkoušky a měření na válcích. Zkoušky na vozovce nachází využití hlavně při homologačních zkouškách brzd, kde je nutné přiblížit se co nejvíce reálným podmínkám provozu. Zkoušky lze provádět pomocí decelerometrů, decelerografů, optoelektrických přístrojů nebo pomocí GPS.

5.3.1 Decelerometry

„Tyto přístroje přímo ukazují největší hodnotu zpomalení (deceleraci) vozidla při brzdění. Jejich funkce je většinou odvozena z pohybu kyvadla. Mimo přístrojů s mechanickým kyvadlem je známý decelerometr, kde funkci kyvadla vykonává náplň rtuť, působící na zbarvenou kapalinu, která má dostatečnou přilnavost. Podle intenzity brzdění vytlačuje vlivem setrvačného účinku rtuť zbarvenou kapalinu a na stupnici přístroje lze odečíst zpomalení“ (Vémola, 2006, s. 95).

Dalším typem decelerometrů jsou elektronické decelerometry např. MAHA VZM 100 (viz obr. 5.3) nebo novější MAHA VZM 300.



Obr. 5.3 – Elektronický decelerometr MAHA VZM 100

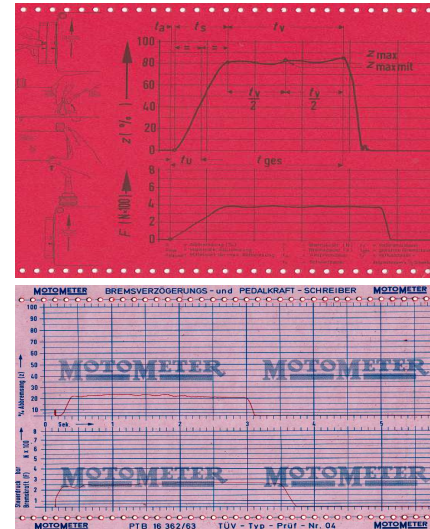
Zdroj: vlastní foto

5.3.2 Decelerografy

„Princip činnosti decelerografu lze popsat takto. Závaží o určité hmotnosti, pohyblivě uložené v jedné rovině, se při brzdění pohybuje proti pružině. Pohyb závaží, úměrný zpomalení se mechanismem přenáší na zapisovací hrot. Tento hrot zaznamenává na registrační papír velikost zpomalení. Příklad je také vybaven hydraulickým snímačem ovládací síly na brzdovém pedálu, jejíž velikost je taky zaznamenávána (viz obr. 5.4). Obě měřené veličiny jsou registrovány v závislosti na čase“ (Vémola, 2006, s. 95).



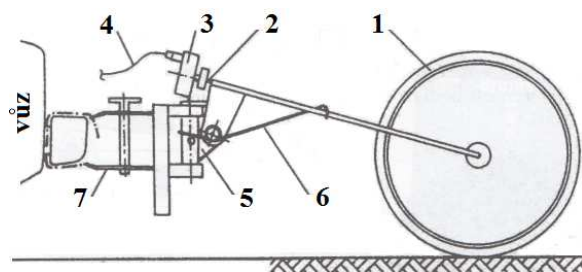
Obr. 5.4 – Decelerograf MotoMeter
Zdroj: vlastní foto



5.3.3 Vlečné kolo

Vlečné kolo (viz obr. 5.5) slouží dle Vémoly (2006, s. 96) k reálnému měření při zkouškách brzdového systému na vozovce. Pomocí rámu a závěsu je kolo připevněné k zadní části vozidla. Plášť s ráfkem kola je rozměry velmi podobné rozměrům ráfku s pláštěm jízdního kola. Důvodem je jeho neměnný dynamický poloměr v závislosti na rychlosti jízdy. Kolo je vybaveno elektronickým snímačem otáček, který bývá umístěn přímo v ose kola, případně může být umístěn na rámu kola, přičemž snímač otáček je poháněn lankem s bowdenem, nebo ohebným hřídelem.

Vlečným kolem měříme ujetou vzdálenost (dráhu) a z daného času dopočítáme rychlost a zpomalení.



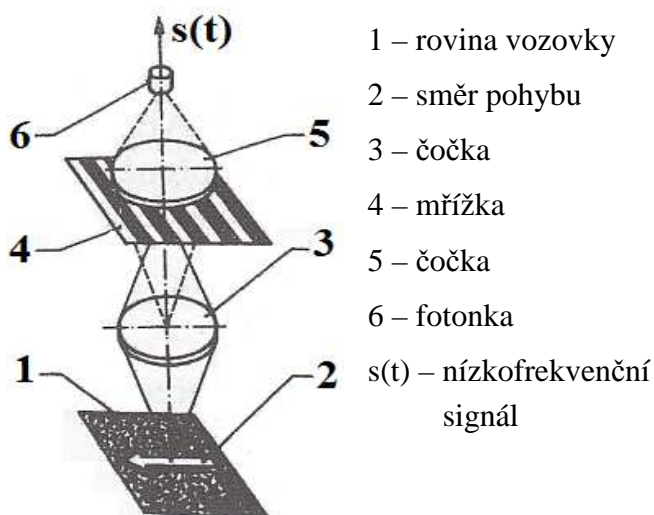
- 1 – kolo
- 2 – ohebný hřídel
- 3 – snímač impulsů
- 4 – el. kabel
- 5 – kardanový závěs
- 6 – pružina
- 7 – upevnění k vozidlu

Obr. 5.5 – Vlečné kolo
Zdroj: Vémola (2006, s. 97)

5.3.4 Optoelektrické přístroje

Dalším možným způsobem zkoušek brzd je měření pomocí optoelektrického přístroje (viz obr. 5.6).

Přístroj, jak uvádí Vémola (2006, s. 97), pomocí odrazu světelných paprsků od vozovky a jejich zachycení ve snímači (fotonce) vyhodnocuje ujetou vzdálenost a rychlost při současném zaznamenávání času. Záznam hodnot probíhá prostřednictvím řídicího počítače, ve kterém dochází k dalšímu zpracování a dopočtu dat. Vlastní uchycení optoelektrického přístroje musí být z venkovní strany vozu, tak aby světelné paprsky byly směřovány k povrchu vozovky a byly na něho kolmé.



Obr. 5.6 – Optický snímač rychlosti

Zdroj: Vémola (2006, s. 97)

5.3.5 Měření pomocí GPS

Pomocí systému satelitů GPS (Global Positioning System) lze provádět nejen měření rychlosti, ale i následným přepočtem snižující se rychlosti v čase či ujeté dráze i zpomalení vozidla. Nutností je ovšem dostatečně rychlý GPS přijímač (viz obr. 5.7), který musí být schopen rychle reagovat a zaznamenávat aktuální změnu rychlosti. Přijímač GPS by měl mít schopnost měření s frekvencí alespoň 100 Hz.



Obr. 5.7 – GPS přijímač s anténou

Zdroj: vlastní foto

6 MATERIÁL A METODIKA ZPRACOVÁNÍ

6.1 Průběh měření

Komparační zkouška brzd byla provedena na traktoru Zetor Forterra 12441 a na traktorovém přívěsu BSS 10, jehož výrobcem je firma WTC Písečná. Pro analýzu délky brzdné dráhy a středního zpomalení byly provedeny celkem čtyři sady měření.

V první sadě byly měřeny brzdy pouze samotného sólo traktoru Zetor Forterra 12441. V následujících dalších třech sadách probíhalo již měření brzd celé soupravy traktoru s uvedeným přívěsem. Jako první měření soupravy bylo provedeno měření traktoru s prázdným přívěsem BSS 10 o hmotnosti 3 206 kg, druhé měření bylo provedeno s částečně naloženým přívěsem o hmotnosti 8 330 kg a třetí měření s plně naloženým přívěsem o hmotnosti 14 064 kg. Celková nejvyšší technicky přípustná hmotnost přívěsu BSS 10 je 14 000 kg a byla tedy v posledním měření překročena o 64 kg. U každé sady bylo provedeno minimálně 20 měření s různě velkou ovládací silou na pedály brzd, tak aby bylo možné vykreslit celkový průběh brzdného středního zpomalení v závislosti na ovládací síle na pedál.

Měření probíhalo dle směrnice 76/432/EHS, ve znění pozdějších předpisů, dle PŘÍLOHY II, na uzavřeném zkušebním polygonu s asfaltovou dráhou. Pro usnadnění zkoušek a lepší komparaci všech sad měření byla veškerá tato měření prováděna pouze jako zkouška typu 0 specifikovaná směrnicí 76/432/EHS pro samotný traktor.

Před vlastním měřením bylo provedeno osazení tlakových snímačů na ovládací větve vzduchotlakých brzd přívěsu před zátěžový regulátor tlaku (tlak p_1) a za zátěžový regulátor tlaku (tlak p_2) (viz obr. 6.1), tak aby bylo možné v průběhu zkoušek zaznamenávat oba tlaky a stanovit závislosti obou tlaků při různém zatížení přívěsu.

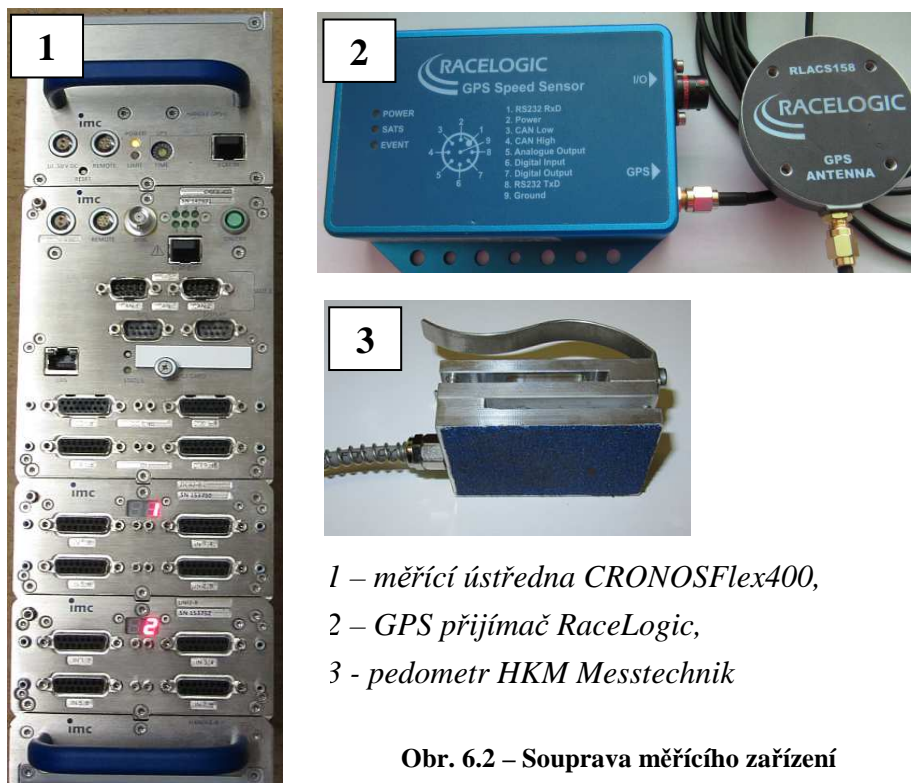
Dále byla provedena kontrola tlaku nahuštění pneumatik a traktor byl osazen následujícím měřícím zařízením.



Obr. 6.1 – Tlakové snímače před a za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu
Zdroj: vlastní foto

6.2 Měřicí zařízení

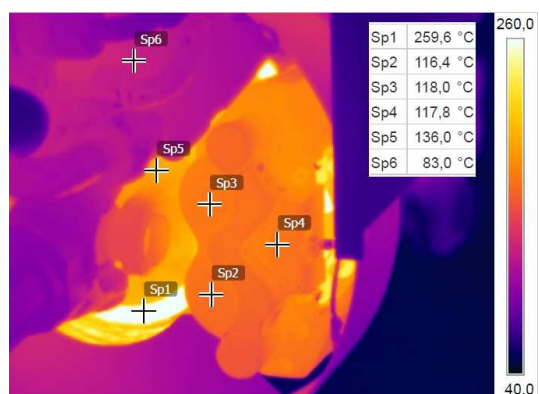
Všechna měření byla provedena měřicí ústřednou CRONOSFlex400 se zesilovačem UNI2-8, jejichž výrobcem je firma IMC Berlín (viz obr. 6.2). Rychlost a dráha je měřena pomocí GPS přijímače VBSS 100 s frekvencí měření 100 Hz od výrobce RaceLogic. Síla na brzdové pedály byla při měření snímána pomocí pedometru PK-PKH, jehož výrobcem je firma HKM Messtechnik, s měřícím rozsahem 0-1000 N. Tlaky v ovládacím okruhu vzduchotlakých brzd přívěsu byly snímány tlakovými snímači HYDAC HDA 4748-H-0009 s měřícím rozsahem -1 až +9 bar.



Obr. 6.2 – Souprava měřícího zařízení
Zdroj: vlastní foto

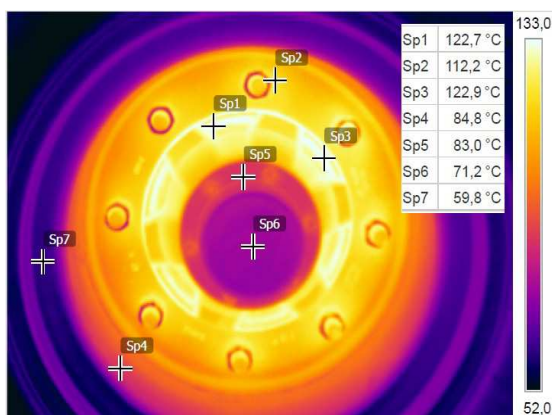
6.3 Kontrola teplot povrchu brzd

Aby bylo možné považovat zkoušky brzd za zkoušky typu 0, dle směrnice 76/346/EHS, bylo nutné po každých pěti měřeních provést přestávku pro zchladnutí brzd. Měřená teplota na konci pátého měření dosahovala na kotouči kardanové brzdy traktoru až 260 °C a na třemenu do 120 °C (viz obr. 6.3).

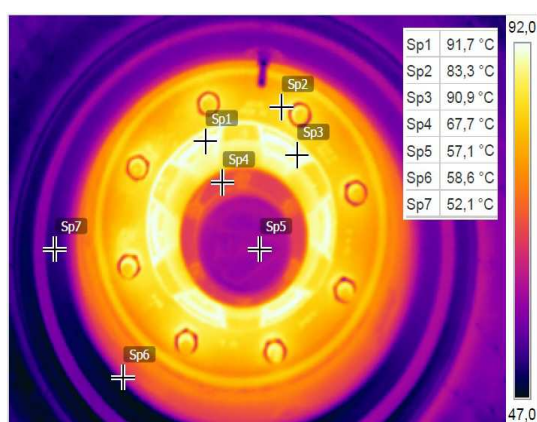


Obr. 6.3 – Teplota kardanové brzdy traktoru
na konci pátého měření
Zdroj: vlastní foto

Na předních kolech přívěsu byla vlivem brzdění naměřená teplota přes 120 °C (viz obr. 6.4). Na zadních kolech byla měřená teplota cca o 30 °C nižší (viz obr. 6.5) a dosahovala hodnoty přes 90 °C.



Obr. 6.4 – Teplota předního kola přívěsu
Zdroj: vlastní foto



Obr. 6.5 – Teplota zadního kola přívěsu
Zdroj: vlastní foto

Požadavek směrnice je méně než 100 °C na kotouči nebo na vnějšku bubnu.

6.4 Specifikace traktoru

V tabulce 6.1 je uvedena bližší specifikace traktoru použitého pro zkoušky brzd.

Tab. 6.1 - Souhrnná tabulka se základní specifikací traktoru

Výrobce:	ZETOR TRACTORS a.s.
Typ:	Forterra 12441
Rok výroby:	2006
Maximální rychlost:	40 km/hod
Výkon motoru:	88 kW
Přední pneumatiky / huštění:	Mitas RD-70, 420/70R24 huštění 160 kPa
Zadní pneumatiky / huštění:	Alliance A-370, 520/70R38 huštění 140 kPa
Brzdy:	
Brzdy přední nápravy:	kardanová kotoučová brzda
Brzdy zadní nápravy:	mokré diskové brzdy ve skříní rozvodovky
Obložení mokrých lamel:	Hoerbiger HO 112,5, průměr 222/152 mm
Třmen kardanové brzdy:	KNOTT 1039919.01
Kotouč kardanové brzdy:	průměr - vnitřní 143 mm / vnější 252 mm
Vzduchotlaký systém brzd přívěsu:	jedno a dvouhadicový vzduchový systém

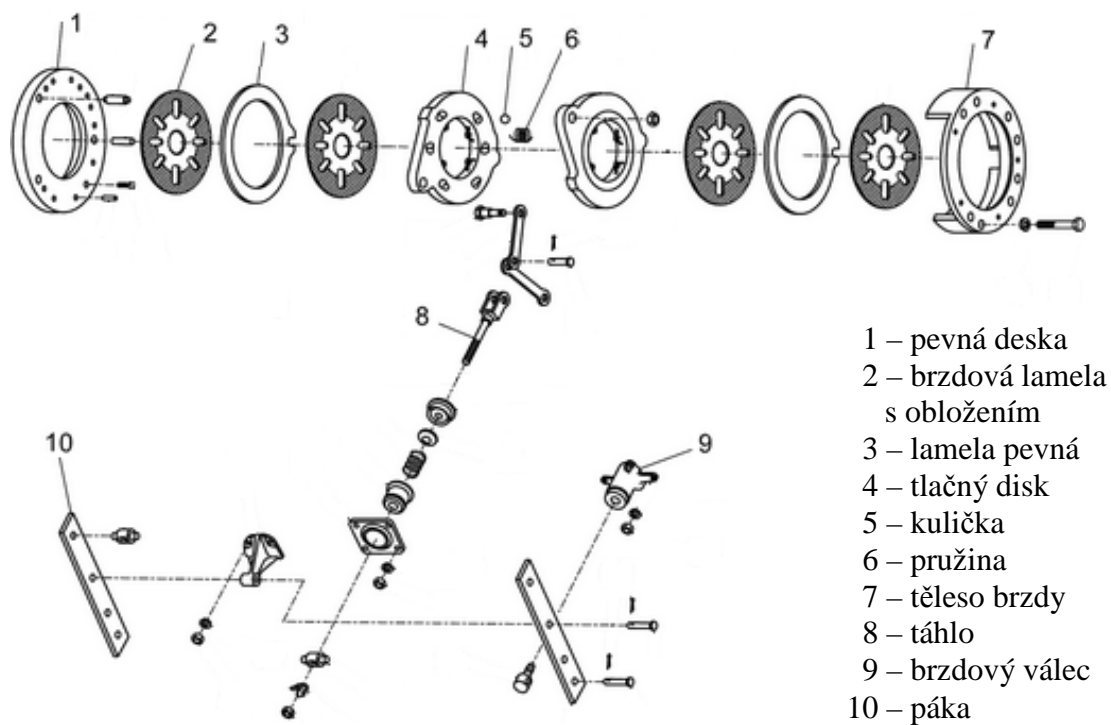
Tlak vzduchu jednohadicový / dvouhadicový:	max 600 / 740 kPa
Zdroj tlaku vzduchu:	kompresor MINESA typ 34.09, tlak 730 kPa
Regulátor tlaku vzduchu:	HALDEX 312029012, spínací tlak 620 kPa, rozpínací tlak 740 kPa
Objem vzduchojemů:	2x12 litrů
Ovládací ventil jednohadicových brzd:	HALDEX 329006122, výstupní tlak 600 kPa
Ovládací ventil dvouhadicových brzd:	HALDEX 329032001, výstupní tlak 740 kPa
Přepouštěcí ventil:	HALDEX 314013003, otevírací tlak 550 kPa
Ruční brzdový ventil:	GRAU 329007001
Ventil hydraulických brzd přívěsu:	BOSCH Rexroth 0 538 008 346 tlak 25 MPa
Rozměry:	
Délka:	5 047 mm
Šířka:	2 241 mm
Výška:	2 734 mm
Rozchod PN / ZN:	1 700 / 1 725 mm
Rozvor:	2 390 mm
Hmotnosti:	
Provozní pohotovostní hmotnost:	4 562 kg
Rozložení pohotovostní hmotnosti:	
-přední náprava:	2 065 kg
-zadní náprava:	2 497 kg

Zdroj: Zetor Tractors a.s.

6.4.1 Provozní brzdy traktoru

Zadní disková brzda

Brzdy zadních kol traktoru jsou umístěny ve skříní rozvodovky. Jedná se o mokré diskové lamelové brzdy se čtyřmi lamelami s papírovým obložením a dvěma pevnými lamelami na každé straně (viz obr. 6.6). Vlastní brzdění na každé straně zajišťují dva tlačné disky se slzičkovým vybráním, ve kterém je umístěna kulička, a které jsou spojeny pružinkami. Další částí diskové brzdy je koš brzdy, kde jsou umístěny všechny lamely i tlačné disky. Ovládání zajišťuje přes páku a táhlo brzdový váleček, na který působí tlak brzdové kapaliny Syntol HD 205 vyvozený od hlavních brzdových válců.



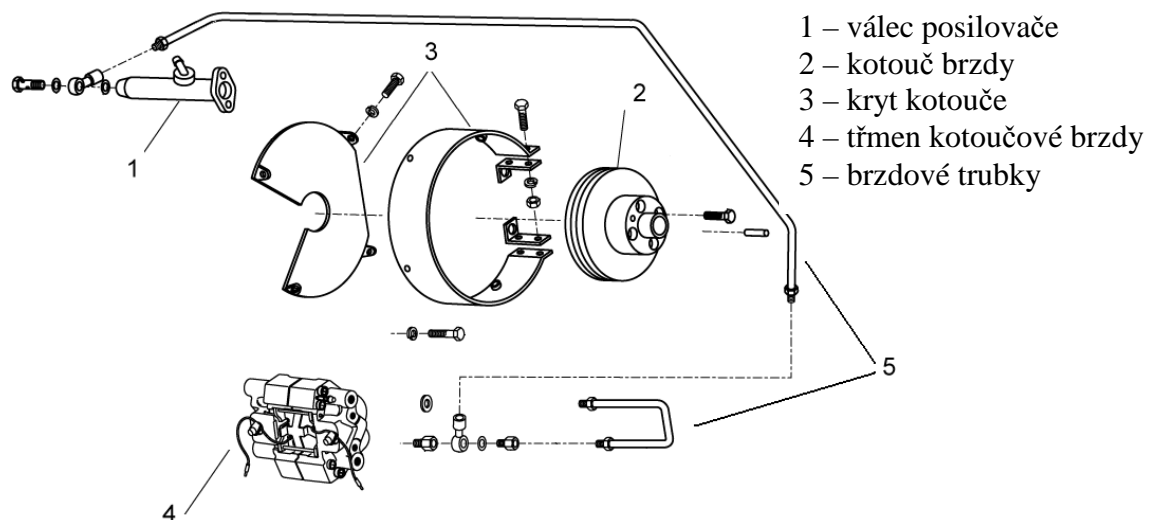
- 1 – pevná deska
- 2 – brzdová lamela s obložením
- 3 – lamela pevná
- 4 – tlačný disk
- 5 – kulička
- 6 – pružina
- 7 – těleso brzdy
- 8 – táhlo
- 9 – brzdový válec
- 10 – páka

Obr. 6.6 – Nožní disková brzda - Forterra 140

Zdroj: katalog ND Zetor (2006, s. 344)

Kardanová brzda přední nápravy

Kardanová brzda (viz obr. 6.7) brzdí přední nápravu přes hnací hřídel (kardan). Kardanová brzda je vlastně kotoučová brzda, jejíž hlavní částí je kotouč brzdy a třmen s brzdovým obložením.



- 1 – válec posilovače
- 2 – kotouč brzdy
- 3 – kryt kotouče
- 4 – třmen kotoučové brzdy
- 5 – brzdové trubky

Obr. 6.7 – Kardanová brzda přední nápravy - Forterra 140

Zdroj: katalog ND Zetor (2006, s. 340)

6.4.2 Parkovací brzda

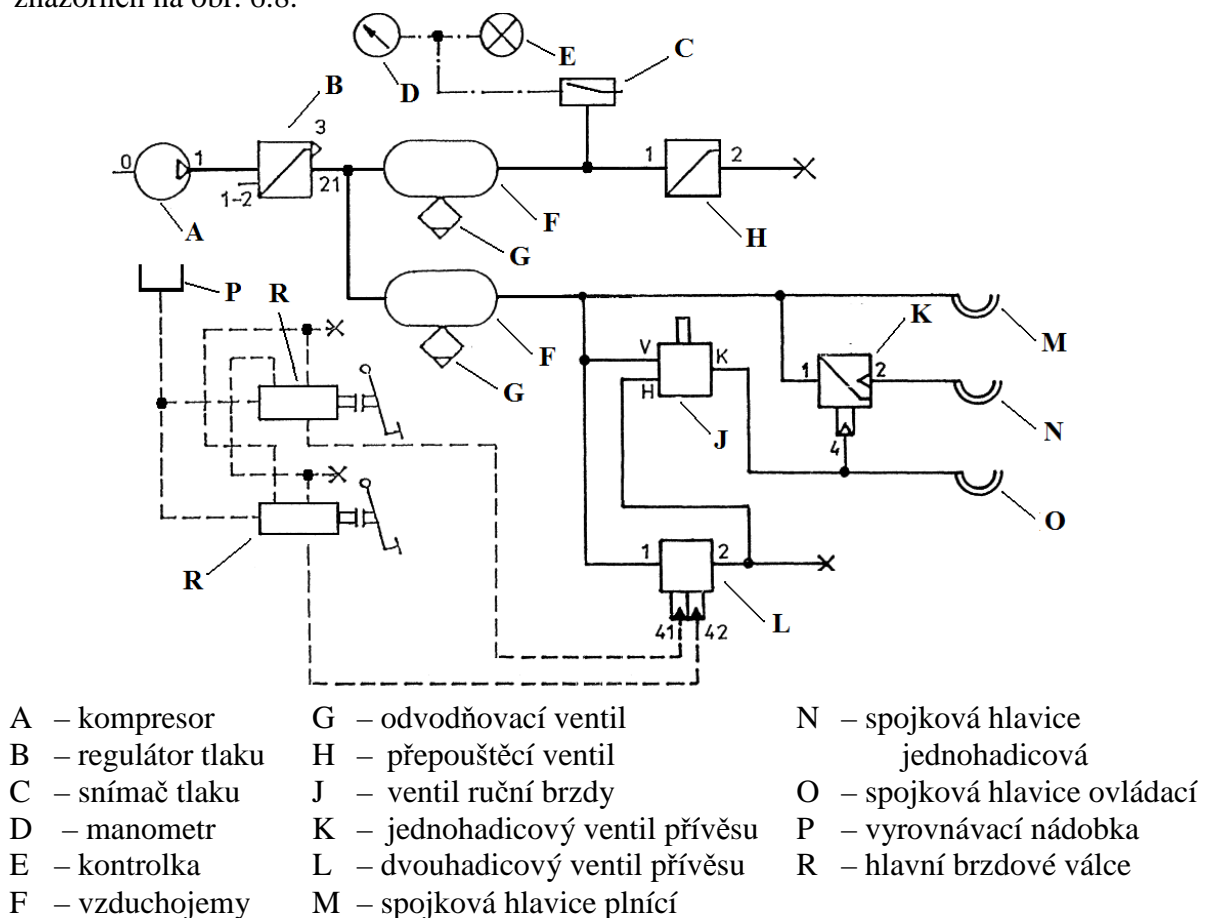
Parkovací brzda je mechanicky ovládaná pomocí lanka s bowdenem a páky s rohatkou a západkou. Pákový mechanismus působí na mechanismus ovládání zadních diskových brzd.

6.4.3 Vzduchové brzdy traktoru

Pro plnění okruhu vzduchotlakých brzd je využíván vzduchotlaký kompresor MINESA, jenž je poháněn přímo od motoru. Z kompresoru je stlačený vzduch veden přes regulátor tlaku s integrovaným plničem pneu do zásobníků tlaku (vzduchojemů).

Jednohadicové vzduchové brzdy

Pro plnění vzduchojemu přívěsu a ovládání brzd přívěsu se využívá pouze jednohadicový systém (pouze jedna hadice). Ovládání jednohadicového systému brzd je prováděno pomocí jednohadicového ovládacího ventilu HALDEX. Poklesem tlaku vzduchu v jednohadicové větvi dojde k brzdění přívěsu. Provozní tlak vzduchu je maximálně 620 kPa. Schéma vzduchových brzd traktoru Zetor Forterra 12441 je znázorněno na obr. 6.8.



Obr. 6.8 – Schéma vzduchotlakých brzd traktoru Zetor Forterra 12441

Zdroj: prospekty Zetor

Dvouhadicové vzduchové brzdy

Dvouhadicové brzdy eliminují pokles a ztrátu tlaku ve vzduchojemech, ke které může dojít u jednohadicového systému při opakovaném brzdění. Pro dvouhadicový systém je typické, že přívěs je s traktorem spojen dvěma hadicemi, přičemž jedna hadice, označená červeně, je plnicí a zajišťuje stálou dodávku vzduchu pro vzduchojem přívěsu a druhá žlutá hlavice je ovládací. Provozní tlak v plnicí větvi nesmí přesáhnout 700 kPa a v ovládací větvi 650 kPa.

6.5 Specifikace přívěsu

Dle nařízení (EU) č. 167/2013 patří přívěs BSS 10 do kategorie vozidel R3a (přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 21 000 kg).

Podrobnější popis přívěsu i použitých komponentů vzduchových brzd je uveden v následující tabulce 6.2.

Tab. 6.2 – Souhrnná tabulka se základní specifikací přívěsu

Výrobce:	Ing. Josef Ťulpík - WTC
Název:	přívěs traktorový sklápěcí – PTS 10
	obchodní označení BSS 10
Maximální rychlost:	40 km/hod
Počet náprav / výrobce:	2 / ADR
Pneumatiky:	Mitas IM-04, 19/45-17 huštění 480 kPa
Diskové kolo:	16x17
Brzdy:	
Brzdový buben / obložení / typ:	350 / 90 / Beral 1575
ABS / EBS:	ne / ne
Ovládání brzd:	dvouhadicový vzduchotlaký systém
Provozní tlak vzduchové brzd:	min. 650 kPa
Zátěžový regulátor:	KNORR-BREMSE BR4370
Rozvaděč přívěsu:	KNORR-BREMSE AS3100A
Reléový ventil:	KNORR-BREMSE AC574AY
Ventil rychlého odbrzdění:	KNORR-BREMSE RE2118
Vzduchojem / objem:	KNORR-BREMSE VB3406/310 / 60 litrů

Brzdové válce přední nápravy:	KNORR-BREMSE BX7525 kombinované
Brzdové válce zadní nápravy:	KNORR-BREMSE BZ3370 membránové
Rozměry:	
Délka:	6 830 mm
Šířka:	2 505 mm
Výška základní:	2 540 mm
Ložná plocha – délka / šířka / výška:	4 750 / 2 490 / 1 270 mm
Rozchod:	2 000 mm
Hmotnosti:	
Provozní hmotnost:	3 500 kg
Největší povolená hmotnost:	14 000 kg
Rozložení největší povolené hmotnosti:	
-přední náprava:	7 500 kg
-zadní náprava:	7 500 kg

Zdroj: návod BSS 10 - WTC Písečná (2013)

Zátěžový regulátor

Funkce zátěžového regulátoru spočívá v regulaci tlaku vzduchu ovládání vzduchových brzd přívěsu v závislosti na zatížení náprav přívěsu. Regulátor může být buď se statickým ventilem, kdy se brzdný tlak od začátku brzdění nemění, nebo s dynamickým ventilem, který upravuje brzdný tlak v průběhu brzdění v závislosti na pohybu nákladu a změn v zatížení náprav. U přívěsu BSS 10 je zátěžový regulátor spojen mechanicky s podvozkem pomocí ocelového lanka, které v závislosti na zatížení a pohybu přední nápravy posouvá páku regulátoru, a tím reguluje tlak vzduchu na výstupu z regulátoru.



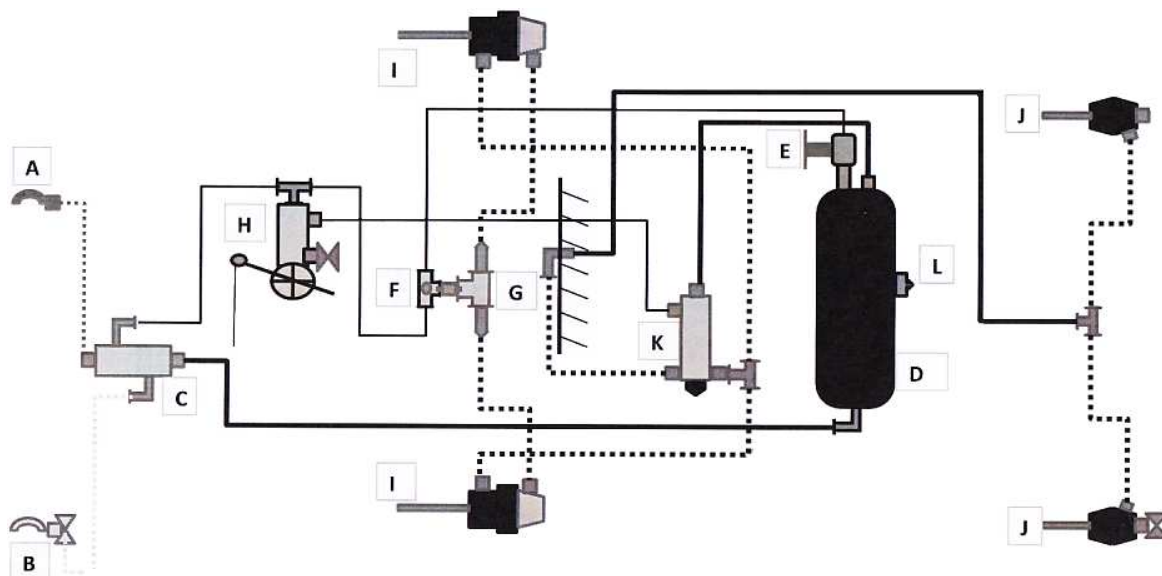
Obr. 6.9 – Zátěžový regulátor KNORR-BREMSE BR4370

Zdroj: vlastní foto

Přívěs BSS 10 disponuje jedním zátěžovým regulátorem KNORR-BREMSE BR4370 zobrazeným na obr. 6.9, který je umístěn pouze na přední nápravě přívěsu.

Vzduchotlaké brzdy

Schéma zapojení jednotlivých komponentů vzduchotlakých brzd přívěsu BSS 10 je znázorněno na následujícím obrázku.



- | | |
|-------------------------------|--|
| A – hlavice červená KU 1400 | G – uvolňovací ventil RE 2118 |
| B – hlavice žlutá KU 1412 | H – automatický zátěžový regulátor BR 4370 |
| C – rozvaděč AS 3100A | I – brzdové válce přední nápravy BX 7525 |
| D – vzduchojem VB3406/310 | J – brzdové válce zadní nápravy BZ 3370 |
| E – parkovací brzda AE 4264 | K – relé ventil AC 574Y |
| F – dvoucestný ventil AE 4105 | L – odvodňovací ventil |

Obr. 6.10 – Schéma vzduchotlakých brzd přívěsu BSS 10

Zdroj: návod BSS 10 - WTC Písečná (2013, s. 24)

Provozní brzdy

Každé kolo přívěsu je vybaveno bubnovou brzdou jejíž výrobcem je firma ADR. Brzda se skládá z bubnu brzdy, čelistí s brzdovým obložením, vratných pružin a ovládací páky (viz obr. 6.11).



Obr. 6.11 – Buben a čelisti bubnové brzdy ADR přívěsu BSS 10

Zdroj: www.fimas.cz

6.6 Metodika vyhodnocení

Z naměřených hodnot, všech čtyř sad měření, bylo provedeno vyhodnocení brzdné dráhy s a byl proveden výpočet brzdného středního zpomalení a_s . Dále byl proveden výběr měření s nejkratší brzdou dráhou a nejvyšším brzdným zpomalením. Vybrané nejkratší brzdné dráhy, nejvyšší střední zpomalení a příslušné ovládací síly na brzdové pedály byly následně mezi sebou komparovány.

Naměřené maximální střední zpomalení bylo komparováno i s požadavkem směrnice č. 76/432/EHS, ve znění pozdějších předpisů, pro traktor s maximální konstrukční rychlosti 40 km.h^{-1} .

Maximální povolená brzdá dráha pro rychlost 40 km.h^{-1}

$$s_{\max} \leq 0,15 * v + \frac{v^2}{116} \text{ [m]} \quad \Rightarrow \quad s_{v40} \leq 0,15 * 40 + \frac{40^2}{116} = \underline{\underline{19,79 \text{ m}}}$$

- kde: s_{\max} - maximální povolená brzdá dráha [m],
 v - maximální konstrukční rychlost [km.h^{-1}],
 s_{v40} - maximální brzdá dráha pro rychlost 40 km.h^{-1} [m]

První člen vzorce vyjadřuje ujetou dráhu v době náběhu brzdného účinku a druhý člen ujetou dráhu při střední hodnotě plného brzdného zpomalení.

Minimální povolené střední brzdé zpomalení pro rychlost 40 km.h^{-1}

$$a_s = \frac{v^2}{25,9 * s_{\max}} \text{ [m.s}^{-2}\text{]} \quad \Rightarrow \quad a_{s v40} \geq \frac{40^2}{25,9 * 19,79} = \underline{\underline{3,12 \text{ m.s}^{-2}}}$$

- kde: a_s - střední zpomalení [m.s^{-2}],
 v - maximální konstrukční rychlost [km.h^{-1}],
 s_{\max} - maximální povolená brzdá dráha [m],
 $a_{s v40}$ - střední zpomalení pro rychlost 40 km.h^{-1} [m.s^{-2}]

Měření, kdy došlo k úplnému zablokování kol, byla vyřazena. Měření s minimálním blokem kol, například při dobrzdění, byla ponechána.

Dále byl u každého měření zaznamenán tlak vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem vzduchotlakých brzd přívěsu BSS 10 a u vybraných měření bylo provedeno vyhodnocení diferencí tlaků vzduchu před a za zátěžovým regulátorem a jejich vzájemná komparace.

7 VÝSLEDKY

7.1 Zkoušky brzd samotného traktoru Zetor Forterra 12441

Jako první měření pro komparaci brzdné dráhy s a středního zpomalení a_s bylo provedeno měření na samotném traktoru. Před vlastním měřením bylo provedeno zjištění hmotnosti traktoru (viz tab. 7.1 a obr. 7.1).

Tab. 7.1 – Pohotovostní hmotnost traktoru Forterra 12441

Hmotnost na jednotlivá kola		Hmotnost na nápravu		Celková hmotnost
Levé přední	1 450 kg	Přední náprava	2 890 kg	
Pravé přední	1 440 kg			
Levé zadní	1 410 kg	Zadní náprava	2 784 kg	
Pravé zadní	1 374 kg			

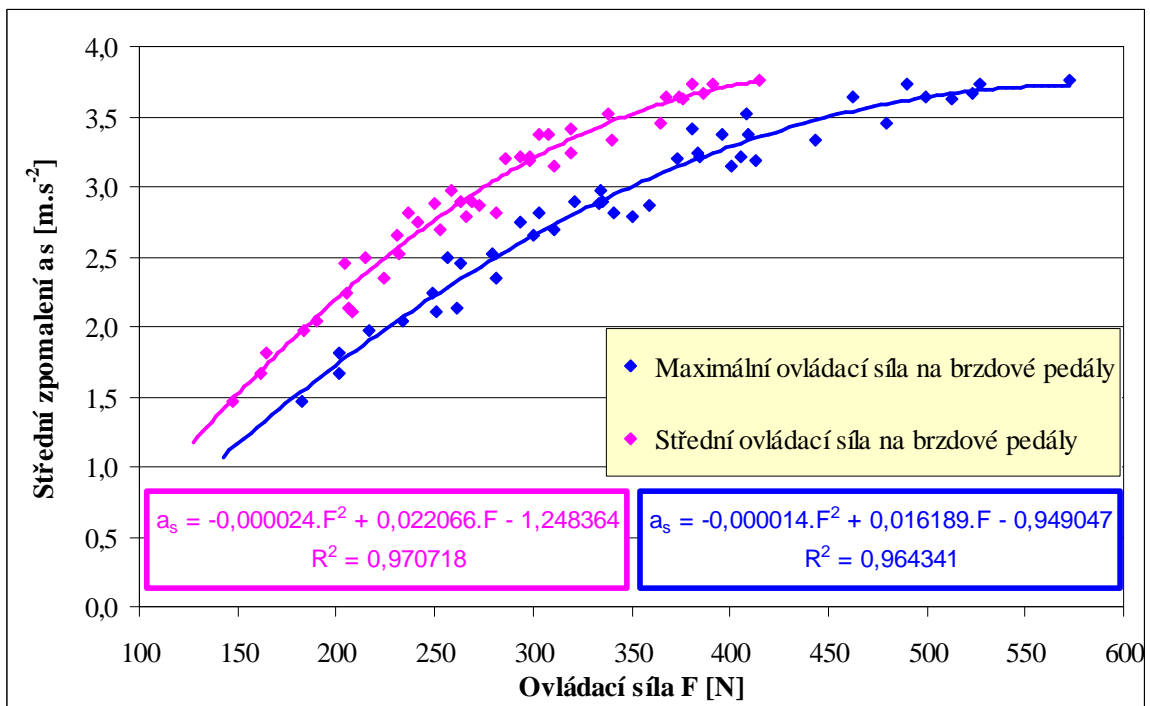


Obr. 7.1 – Pohotovostní hmotnost traktoru Forterra 12441

Zdroj: vlastní foto

V průběhu prováděných zkoušek bylo nutné splnit požadavek vyhlášky č. 341/2014Sb., ust. §34 odst. 1, z hlediska povolené maximální okamžité hmotnosti přípojného vozidla. Tato hmotnost je limitována maximálně 2,5násobkem okamžité hmotnosti tažného vozidla. Při předpokládané hmotnosti plně naloženého přívěsu na celkovou konstrukční hmotnost 14 000 kg, je požadavek na minimální hmotnost traktoru alespoň 5 600 kg. Měřením bylo ověřeno, že tento požadavek je splněn.

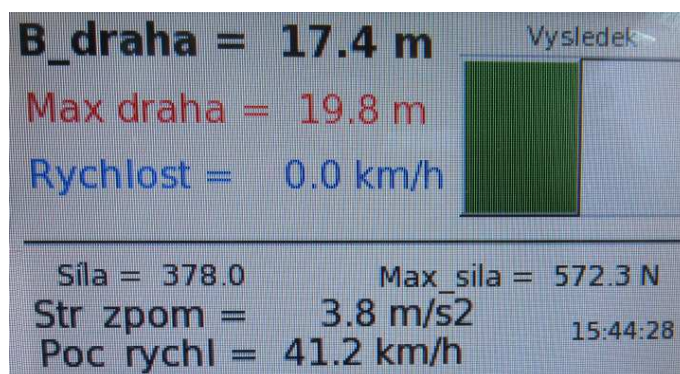
Po zjištění hmotnosti traktoru bylo provedeno vlastní měření brzd, ze kterého bylo vybráno 42 měření při různých ovládacích silách F na spojené pedály brzd. Z naměřené brzdné dráhy s bylo dopočítáno střední zpomalení a_s . Měření byla zpracována do tabulky (viz příloha) a byl vytvořen graf průběhu středního zpomalení a_s na maximální a střední ovládací síle F_{max} a F_s na brzdové pedály.



Obr. 7.2 – Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u samotného traktoru o hmotnosti 5 674 kg

Z grafu na obr. 7.2 je patrné, že nárůst středního zpomalení a_s je při nižších ovládacích silách F na brzdové pedály strmější. Se zvyšující se ovládací silou F na brzdové pedály dochází k pozvolnému snižování strmosti středního zpomalení a_s . Při středním zpomalení a_s nad $3,5 \text{ m.s}^{-2}$ je již patrný občasný blok zadních kol traktoru při dobrzdění, kdy i se zvyšující se silou F na brzdové pedály nedochází při brzdění k výraznému zvyšování středního zpomalení a_s .

Vznik bloku zadních kol traktoru při vysokých ovládacích silách na pedály brzd lze eliminovat například vyšším dotížením zadní nápravy. Se závažím 2+10 tvoří současná hmotnost zadní nápravy 49 % celkové hmotnosti traktoru.



Obr. 7.3 – Foto displeje s výsledky měření brzd při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,77 \text{ m.s}^{-2}$ u samotného traktoru

Zdroj: vlastní foto

Z naměřených hodnot bylo vybráno měření, kdy byla dosažena nejmenší brzdná dráha traktoru s , která činila 17,4 metrů (viz obr. 7.3). K této brzdě dráze bylo dopočítáno střední zpomalení $a_s = 3,77 \text{ m.s}^{-2}$. Naměřená maximální ovládací síla F_{max} na pedály brzd byla 572,3 N a dopočítaná střední ovládací síla F_s byla 415,2 N. Dle směrnice č. 76/432/EHS je povolená ovládací síla F_{max} ovládaná nohou maximálně 600 N, což traktor splňuje.

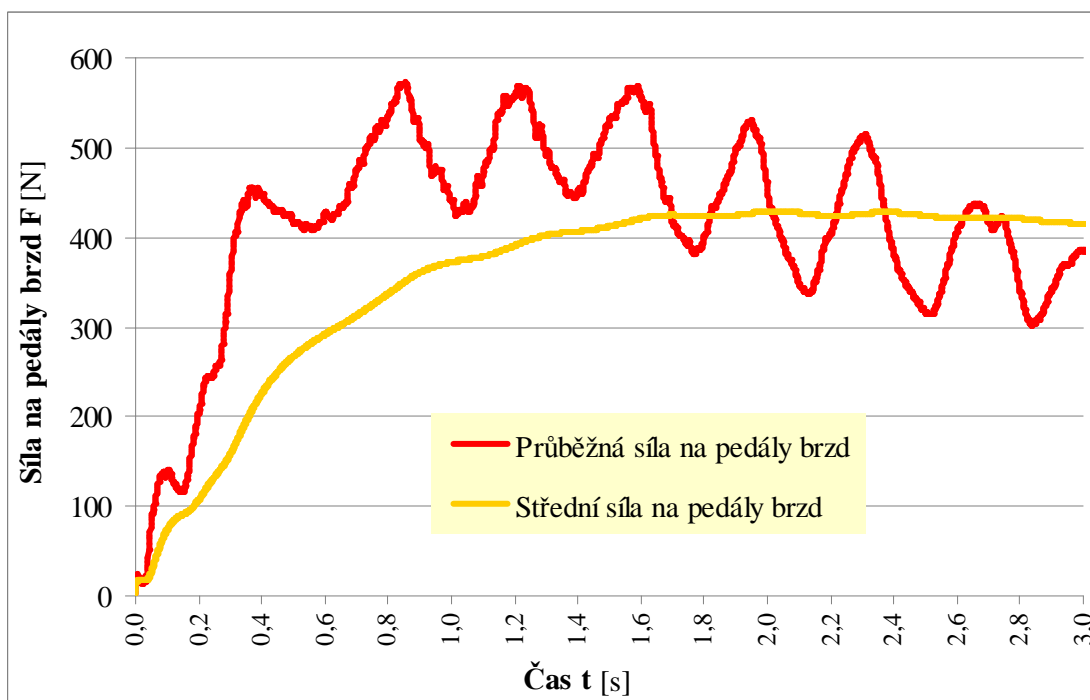
Povolené minimální střední zpomalení a_s pro traktor Forterra 12441 z roku výroby 2006, s konstrukční rychlostí $v_{max} = 40 \text{ km.h}^{-1}$, je dle směrnice č. 76/432/EHS rovno $3,12 \text{ m.s}^{-2}$, přičemž maximální povolená brzdná dráha s je 19,79 metrů. Dosažená maximální hodnota středního zpomalení a_s byla $3,77 \text{ m.s}^{-2}$ při naměřené brzdě dráze $s = 17,4$ metrů, což s rezervou splňuje požadavek uvedeného předpisu.

V případě aplikace nového nařízení komise č. 2015/68/EU je nutno dosáhnout minimální brzdě dráhy $s = 18,30$ metrů. Traktor tento požadavek splňuje. Nesplňuje ovšem požadavek na střední plné zpomalení $d_m = 5,0 \text{ m.s}^{-2}$ měřené mezi hodnotou rychlosti 80 % a 10 % počáteční rychlosti v_I . Po dosazení změřených hodnot do výpočtového vzorce a výpočtu středního plného zpomalení dle č. 2015/68/EU bylo zjištěno dosažené střední plné zpomalení d_m jen $4,81 \text{ m.s}^{-2}$ (viz tab. 7.2).

Tab. 7.2 – Naměřené hodnoty pro výpočet středního plného zpomalení d_m

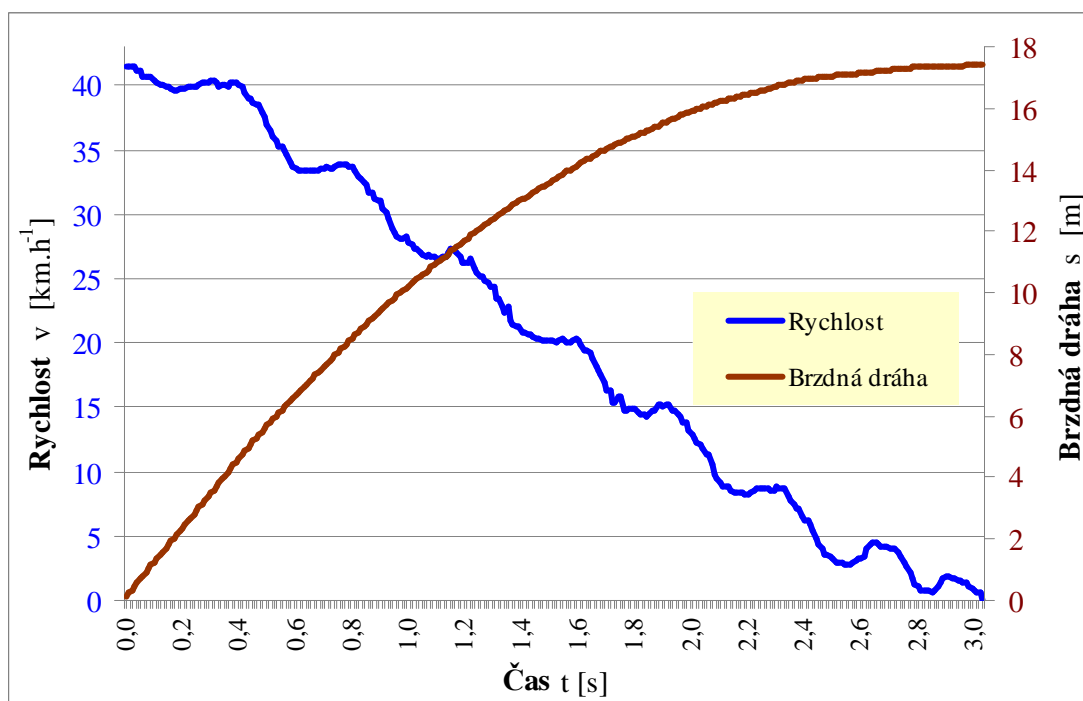
Počáteční rychlost	Rychlost $0,8*v_I$	Rychlost $0,1*v_I$	Ujetá dráha při v_b	Ujetá dráha při v_e	Střední plné zpomalení
v_I	v_b	v_e	s_b	s_e	d_m
[km.h ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m]	[m]	[m.s ⁻²]
41,2	32,96	4,12	8,72	17,01	4,81

Ze zaznamenaných dat měřící ústřednou CRONOSFlex byl sestaven graf průběhu ovládací síly F na pedály brzd v čase (viz obr. 7.4) a grafy průběhu brzdě dráhy s a rychlosti v na čase (viz obr. 7.5) pro měření při nejvyšším dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,77 \text{ m.s}^{-2}$. Z průběhu ovládací síly F je zřejmý výkmit ovládací síly na brzdové pedály z důvodu odsakování kol při brzdění a tzv. rozhoupání nohy řidiče na brzdových pedálech vlivem účinku brzdění traktoru. Tento průběh ovládací síly F na brzdové pedály je při brzdění typický. Při zkouškách brzd je důležité udržet výkmit ovládací síly F na brzdové pedály v co možná nejmenším rozsahu, mimo jiné i proto, že velikost maximální dosažené ovládací síly F_{max} rozhoduje o úspěšnosti zkoušky. Střední ovládací síla F_s zobrazuje střední hodnotu průběžné ovládací síly F na pedály brzd.



Obr. 7.4 – Průběh ovládací síly F na pedály brzd v čase při nejvyšším středním zpomalení a_s a při nejkratší brzděné dráze s u samotného traktoru

Z grafu průběhu brzděné dráhy s v čase (viz obr. 7.5) lze na začátku měření vyčíst ujetou vzdálenost 4 metrů za cca 0,4 sekundy, což lze označit jako náběh brzd. Teprve v průběhu dalšího brzdění se přírůstek ujeté dráhy s časem zmenšuje, až do úplného zastavení. Podobně i rychlost v se začne výrazněji snižovat až v čase 0,4 sekundy. Průběh snižování rychlosti je dosti ovlivněn výkyvem ovládací síly F na pedály brzd.



Obr. 7.5 – Průběh brzděné dráhy s a rychlosti v v čase při nejvyšším středním zpomalení a_s a při nejkratší brzděné s dráze u samotného traktoru

7.2 Zkoušky brzd soupravy traktoru Forterra 12441 a prázdného přívěsu BSS 10

Druhá sada měření brzd byla provedena se soupravou traktoru Zetor Forterra 12441 a prázdného přívěsu BSS 10 od výrobce WTC Písečná (viz obr.7.7). Hmotnost prázdného přívěsu činila 3 206 kg (viz tab. 7.3 a obr. 7.6) a součet hmotností celé soupravy pak byl 8 880 kg (viz tab. 7.4).

Tab. 7.3 – Hmotnost prázdného přívěsu BSS

10

Hmotnost prázdného přívěsu na jednotlivá kola		Okamžitá hmotnost přívěsu
Levé přední	812 kg	
Pravé přední	766 kg	
Levé zadní	784 kg	
Pravé zadní	844 kg	

Tab. 7.4 – Hmotnost soupravy s prázdným přívěsem BSS 10

Okamžitá hmotnost traktoru	Okamžitá hmotnost přívěsu	Okamžitá hmotnost soupravy
5 674 kg	3 206 kg	8 880 kg



Obr. 7.6 – Hmotnost prázdného přívěsu BSS 10 – 3 206 kg

Zdroj: vlastní foto

Z provedených zkoušek brzd typu 0 dle směrnice č. 76/432/EHS bylo vybráno celkem 44 měření. Vyřazena byla opět měření při plném blokování zadních kol traktoru. Ponechána byla jen měření s mírným blokem kol traktoru při dobrzdování.

Důležité bylo zjištění, že k bloku kol přívěsu při žádném z měření nedošlo, a že zátěžový regulátor brzd omezil tlak vzduchu v ovládací větvi vzduchotlakých brzd přívěsu a zamezil tak bloku kol, ke kterému by jinak mohlo dojít u přívěsu bez zátěžového regulátoru následkem vstupu plného tlaku vzduchu do brzdových válců.



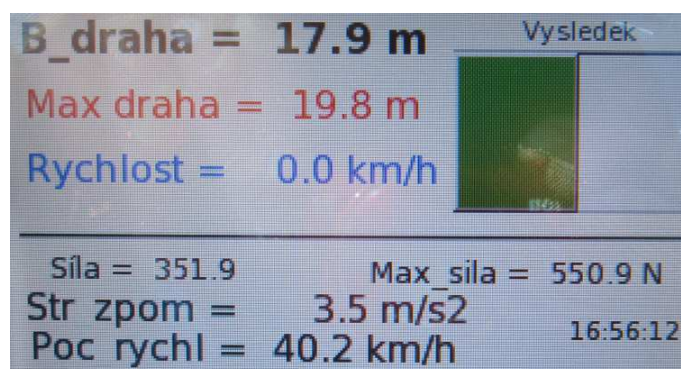
Obr. 7.7 – Souprava traktor Zetor Forterra 12441 a prázdný přívěs BSS 10

Zdroj: vlastní foto

Nejkratší brzdná dráha traktoru s byla naměřena 17,9 metrů, při vypočteném středním zpomalení $a_s = 3,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a měřené maximální síle F_{max} na pedály brzd 550,9 N (viz obr. 7.8). Střední ovládací síla F_s na pedály brzd byla 351,9 N. Současně byl zjištěn tlak vzduchu p_1 před zátěžovým regulátorem 598 kPa a tlak p_2 za zátěžovým regulátorem 145 kPa. Naměřené hodnoty při měření, u kterého byla dosažena nejkratší brzdná dráha s , jsou uvedeny v tabulce 7.5.

Tab. 7.5 – Tabulka naměřených hodnot při nejkratší naměřené brzdné dráze s a při nejvyšším středním zpomalením a_s pro soupravu o hmotnosti 8 880 kg – prázdný přívěs

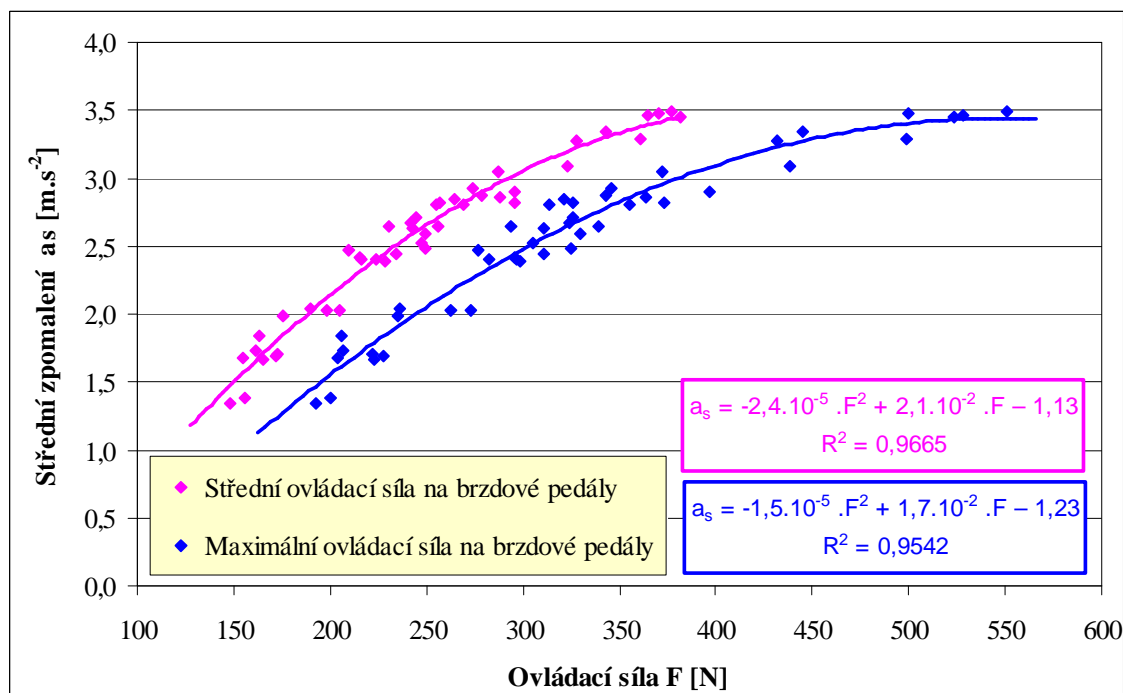
Počáteční rychlost	Brzdná dráha	Střední ovládací síla na pedály brzd	Maximální ovládací síla na pedály brzd	Střední zpomalení	Tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu	Tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
v_0	s	F_s	F_{max}	a_s	p_1	p_2
[km.h ⁻¹]	[m]	[N]	[N]	[m.s ⁻²]	[kPa]	[kPa]
40,2	17,9	376,9	550,9	3,49	598	145



Obr. 7.8 – Displej s výsledky měření při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ - prázdný přívěs

Zdroj: vlastní foto

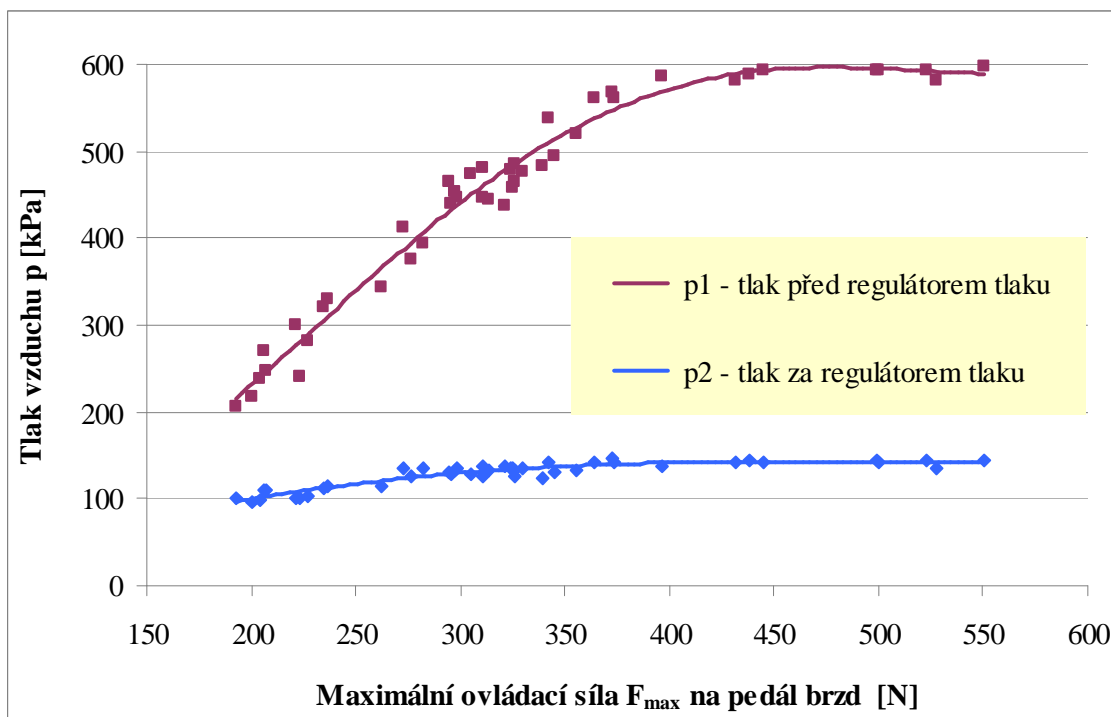
V grafu (viz obr. 7.9) je znázorněn průběh středního zpomalení a_s na ovládací síle F na pedály brzd u soupravy traktoru a prázdného přívěsu. Oproti měření samotného traktoru je patrné, že došlo ke snížení hodnot středního zpomalení a_s o téměř $0,3 \text{ m.s}^{-2}$ při stejné ovládací síle F na pedály brzd. Podobně jako u měření samotného traktoru je v grafu u vyšších ovládacích sil zřetelný vliv bloku zadních kol při dobrzdění. Následkem toho i při dalším zvyšování ovládací síly F na pedály brzd již nedochází ke zvyšování středního zpomalení a_s .



Obr. 7.9 – Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u soupravy traktoru s prázdným přívěsem – celková hmotnost soupravy 8 880 kg

Při komparaci brzdnych tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem (viz obr. 7.10) je patrný velký rozdíl těchto tlaků v celém rozsahu měření. Do maximální ovládací síly $F_{max} = 430 \text{ N}$ na brzdové pedály dochází téměř lineárně k prudkému nárůstu tlaku vzduchu p_1 před zátěžovým regulátorem až na hodnotu 598 kPa. Tlak vzduchu p_2 za zátěžovým regulátorem roste jen velmi pozvolna a svého maxima dosahuje jen kolem 145 kPa už při maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd 370 N. Z toho vyplývá, že tlak vzduchu p_2 za zátěžovým regulátorem dosahuje maximální hodnoty jen 24,24 % tlaku vzduchu p_1 před zátěžovým regulátorem.

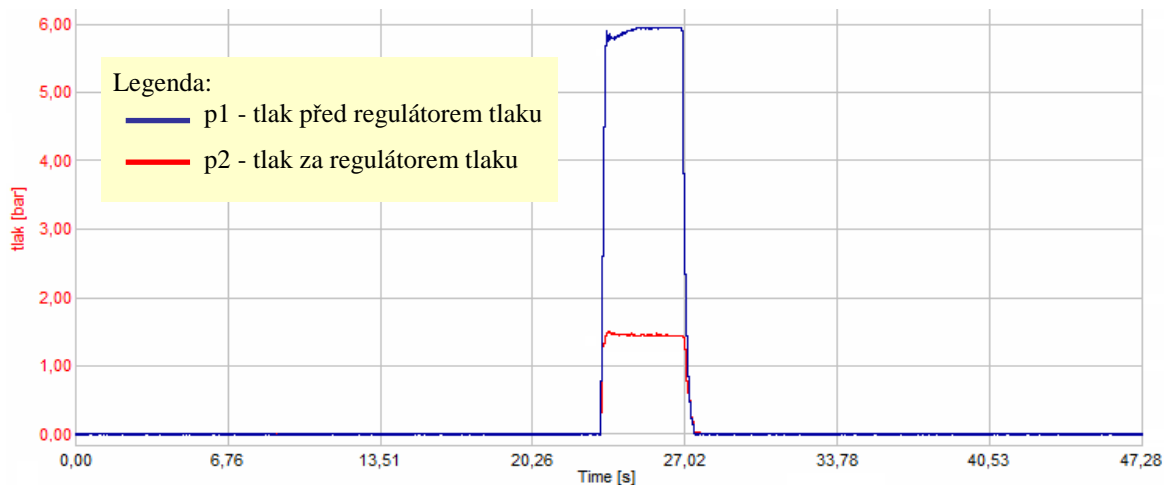
Souhrnná tabulka naměřených hodnot tlaků při všech měřeních je uvedena v příloze.



$$p_1 = 4,8 \cdot 10^{-8} \cdot F_{\max}^4 - 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot F_{\max}^3 + 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot F_{\max}^2 - 4,53 \cdot F_{\max} + 262,89 \quad R^2 = 0,9755$$

$$p_2 = 3,6 \cdot 10^{-9} \cdot F_{\max}^4 - 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot F_{\max}^3 + 6,8 \cdot 10^{-4} \cdot F_{\max}^2 + 4,7 \cdot 10^{-1} \cdot F_{\max} + 3,97 \quad R^2 = 0,8769$$

Obr. 7.10 – Průběhu tlaku p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd v závislosti na maximální ovládací síle F_{\max} na pedály brzd zaznamenaný ze všech měření



Obr. 7.11 – Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při maximálním dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

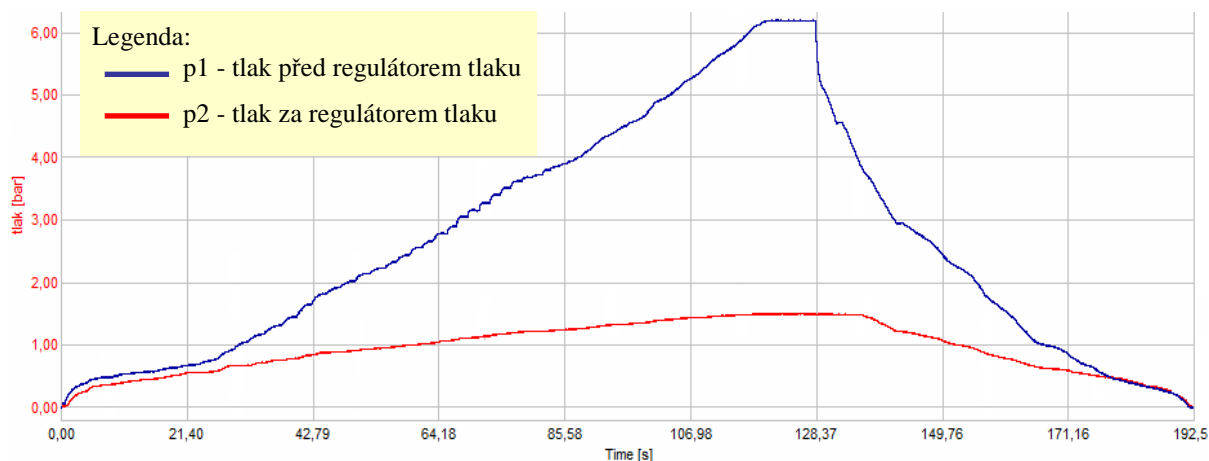
Pro další komparaci byla změřena i difference tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu (viz tab. 7.6 a obr. 7.12), při postupném statickém zvyšování tlaku vzduchu zvyšováním ovládací síly F na pedály brzd při stojícím traktoru na místě. Oproti měření na dráze je tato komparace přesnější, protože eliminuje výkyv ovládací síly F na pedály brzd vlivem oscilace ovládací síly F při skutečném brzdění. Na druhou

stranu toto měření v sobě nezahrnuje přitížení přední nápravy přívěsu při brzdění a tím i možnou změnu polohy páky na zátěžovém regulátoru sledující zatížení přední nápravy.

Tab. 7.6 – Tabulka průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření

Tlak vzduchu před regulátorem tlaku	Tlak vzduchu za regulátorem tlaku	Procentuální podíl tlaku vzduchu p_2 na tlaku p_1	Tlak vzduchu před regulátorem tlaku	Tlak vzduchu za regulátorem tlaku	Procentuální podíl tlaku vzduchu p_2 na tlaku p_1
p_1	p_2	-	p_1	p_2	-
[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
0	0	0,00	325	113	34,77
25	11	44,00	350	118	33,71
50	38	76,00	375	122	32,53
75	58	77,33	400	126	31,50
100	67	67,00	425	130	30,59
125	73	58,40	450	134	29,78
150	79	52,67	475	137	28,84
175	84	48,00	500	140	28,00
200	90	45,00	525	143	27,24
225	96	42,67	550	146	26,55
250	100	40,00	575	148	25,74
275	104	37,82	600	149	24,83
300	108	36,00	625	150	24,00

Při statickém měření na místě je při maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd tlak vzduchu p_2 za zátěžovým regulátorem 150 kPa, což je jen 24 % tlaku p_1 před zátěžovým regulátorem, který činí 625 kPa. Diference tlaků je shodná jako při reálných zkouškách brzd na dráze.



Obr. 7.12 – Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly na pedály brzd – statické měření

7.3 Zkoušky brzd soupravy traktoru Forterra 12441 a částečně naloženého přívěsu BSS 10

Třetí sadou měření bylo měření brzdné dráhy traktoru Zetor Forterra 12441 a částečně naloženého přívěsu BSS 10. Přívěs byl naložen na okamžitou hmotnost 8 330 kg, což je 59,5 % z celkové hmotnosti přívěsu (viz tab. 7.7 a obr. 7.13). Po odečtení pohotovostní hmotnosti přívěsu 3 206 kg činil náklad 5 124 kg, což je 47,5 % užitečné hmotnosti přívěsu. Hmotnost celé soupravy je uvedena v tab. 7.8.

Tab. 7.7 – Hmotnost částečně naloženého přívěsu BSS 10

Hmotnost přívěsu na jednotlivá kola		Okamžitá hmotnost přívěsu
Levé přední	1 996 kg	
Pravé přední	1 968 kg	
Levé zadní	2 126 kg	
Pravé zadní	2 240 kg	

Tab. 7.8 – Hmotnost soupravy s částečně naloženým přívěsem BSS 10

Okamžitá hmotnost traktoru	Okamžitá hmotnost přívěsu	Okamžitá hmotnost soupravy
5 674 kg	8 330 kg	14 004 kg



Obr. 7.13 – Hmotnost částečně naloženého přívěsu BSS 10 – 8 330 kg

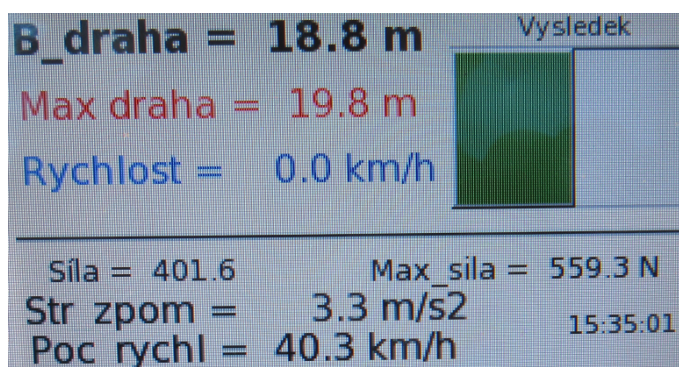
Zdroj: vlastní foto

Z měřených zkoušek bylo vybráno, podobně jako u předchozích měření, 38 vhodných záznamů brzdných drah s a vypočtených středních zpomalení a_s . Nejkratší brzdné dráhy $s = 18,8$ metrů bylo dosaženo při středním zpomalení $a_s = 3,34 \text{ m.s}^{-2}$ a maximální ovládací síle $F_{max} = 559,3 \text{ N}$. Při tomto měření byl změřen tlak vzduchu p_1

před zátěžovým regulátorem 606 kPa a tlak p_2 za zátěžovým regulátorem 309 kPa. Naměřené hodnoty při nejkratší brzdě dráze s a nejvyšším středním zpomalením a_s jsou uvedeny v tabulce 7.9 a na obrázku 7.14.

Tab. 7.9 – Tabulka naměřených hodnot při nejkratší brzdě dráze s při a nejvyšším středním zpomalením a_s pro soupravu o hmotnosti 14 004 kg – částečně naložený přívěs

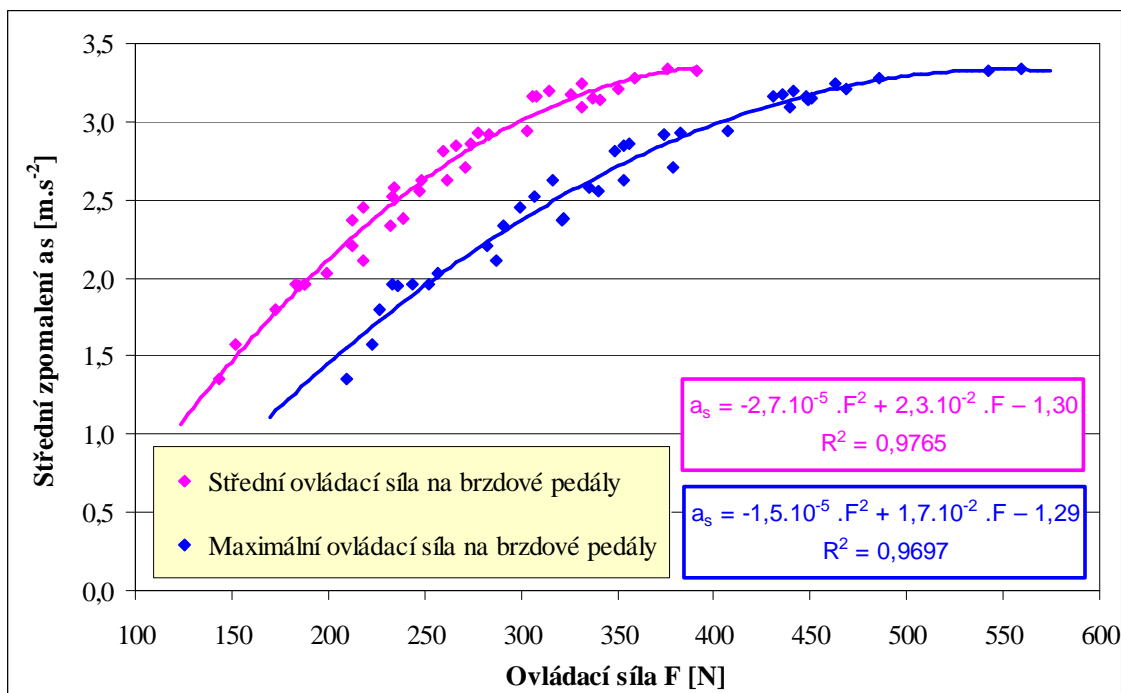
Počáteční rychlost	Brzdě dráha	Střední ovládací síla na pedály brzd	Maximální ovládací síla na pedály brzd	Střední zpomalení	Tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu	Tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
v_0	s	F_s	F_{max}	a_s	p_1	p_2
[km.h ⁻¹]	[m]	[N]	[N]	[m.s ⁻²]	[kPa]	[kPa]
40,3	18,8	376,2	559,3	3,34	606	309



Obr. 7.14 – Displej s výsledky měření při nejvyšším středním zpomalením $a_s = 3,34 \text{ m.s}^{-2}$ – částečně naložený přívěs
Zdroj: vlastní foto

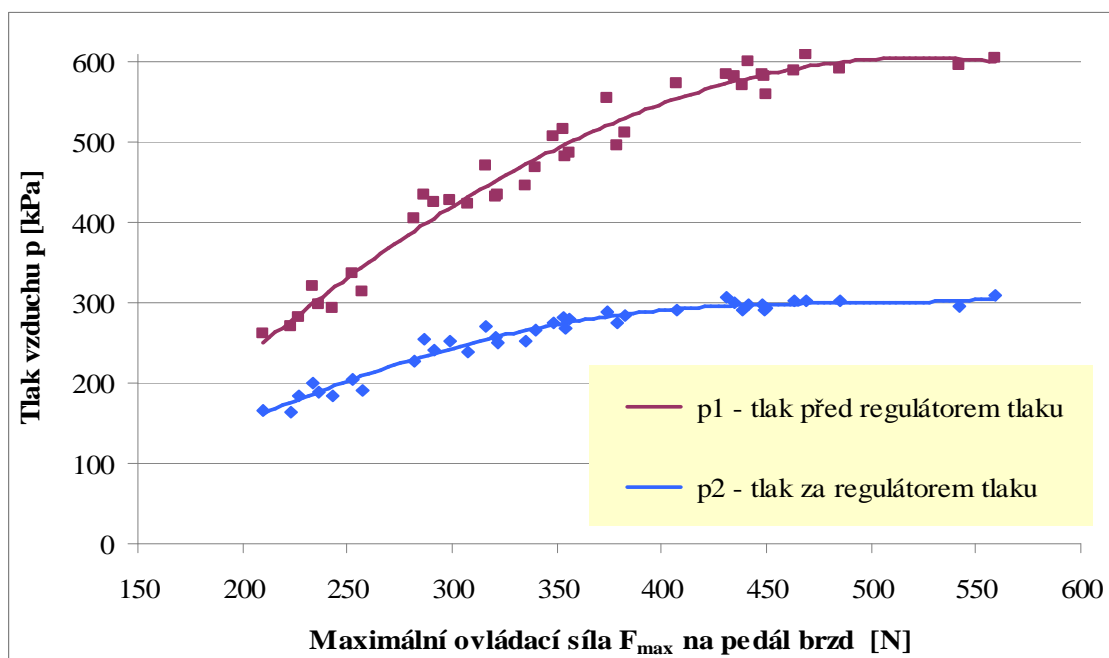
Při vynesení všech měřených středních zpomalení a_s do grafu (viz obr. 7.15) a jejich komparaci se středními zpomaleními a_s měřenými s prázdným přívěsem je patrné další snížení hodnot středního zpomalení a_s v celém rozsahu měření. Maximální dosažená hodnota středního zpomalení a_s u měření s částečně naloženým přívěsem je o $0,15 \text{ m.s}^{-2}$ nižší než u měření s prázdným přívěsem a o $0,43 \text{ m.s}^{-2}$ nižší než u měření samotného traktoru bez přívěsu.

Rozdíl středních a maximálních dosažených ovládacích sil F_s a F_{max} na brzdové pedály se u této sady měření pohybuje průměrně na hodnotě 94 N. Minimální rozdíl 45 N byl dosažen při nízkých ovládacích silách a naopak maximální rozdíl střední a maximální síly 183 N při nejvyšší ovládací síle.



Obr. 7.15 – Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u soupravy traktoru s částečně naloženým přívěsem – celková hmotnost soupravy 14 004 kg

Při vzájemné komparaci tlaků vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem je zřetelný nárůst tlaku vzduchu p_2 za zátěžovým regulátorem oproti měření s prázdným přívěsem. Tlak vzduchu p_1 před zátěžovým regulátorem roste rovnoměrně s ovládací

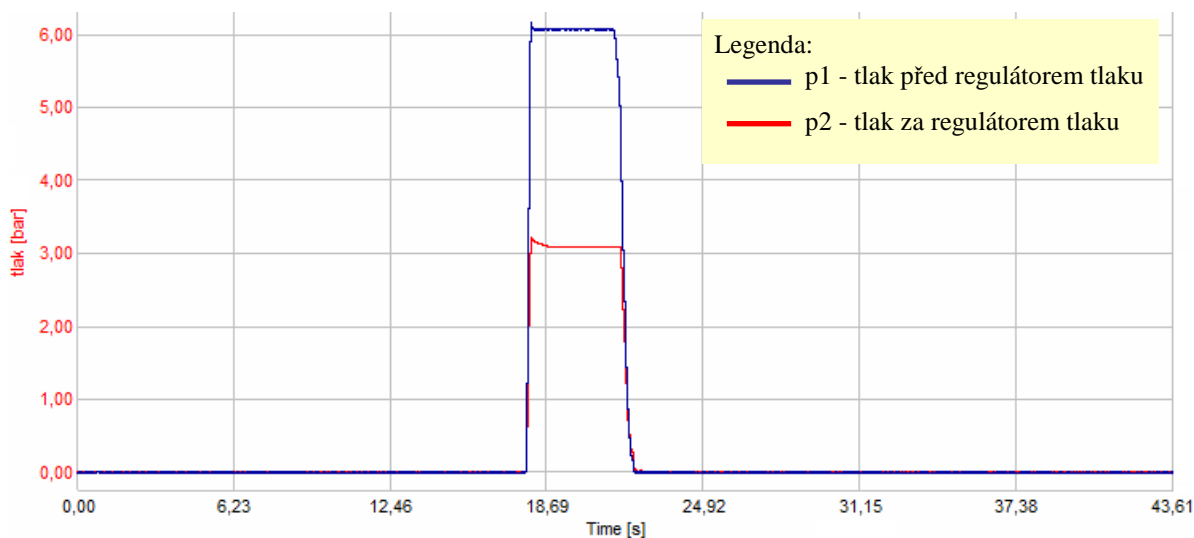


$$p_1 = 3,3 \cdot 10^{-9} \cdot F_{\max}^4 - 6,2 \cdot 10^{-6} \cdot F_{\max}^3 + 6,8 \cdot 10^{-4} \cdot F_{\max}^2 + 2,54 \cdot F_{\max} - 261,84 \quad R^2 = 0,9733$$

$$p_2 = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot F_{\max}^4 - 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot F_{\max}^3 + 8,4 \cdot 10^{-3} \cdot F_{\max}^2 - 1,9 \cdot 10^{-1} \cdot F_{\max} + 3,06 \quad R^2 = 0,9656$$

Obr. 7.16 – Průběh tlaku p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd v závislosti na maximální ovládací síle F_{\max} na pedály brzd zaznamenaný ze všech měření

silou na brzdové pedály až do maximální ovládací síly F_{max} cca 450 N. Poté se nárůst tlaku p_1 před zátěžovým regulátorem zastaví na hodnotě 590 až 600 kPa. Tlak p_2 za zátěžovým regulátorem roste pozvolna také až do hodnoty lehce nad 300 kPa. Nad touto hodnotou již dochází k stagnaci tlaku za regulátorem (viz obr.7.16). Maximálně měřený tlak p_2 za regulátorem tlaku je 309 kPa, což je 50,9 % současně měřeného tlaku p_1 před regulátorem 606 kPa (viz obr.7.17). Souhrnná tabulka naměřených hodnot tlaků při všech měřeních je uvedena v příloze.



Obr. 7.17 – Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při maximálním dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,34 \text{ m.s}^{-2}$

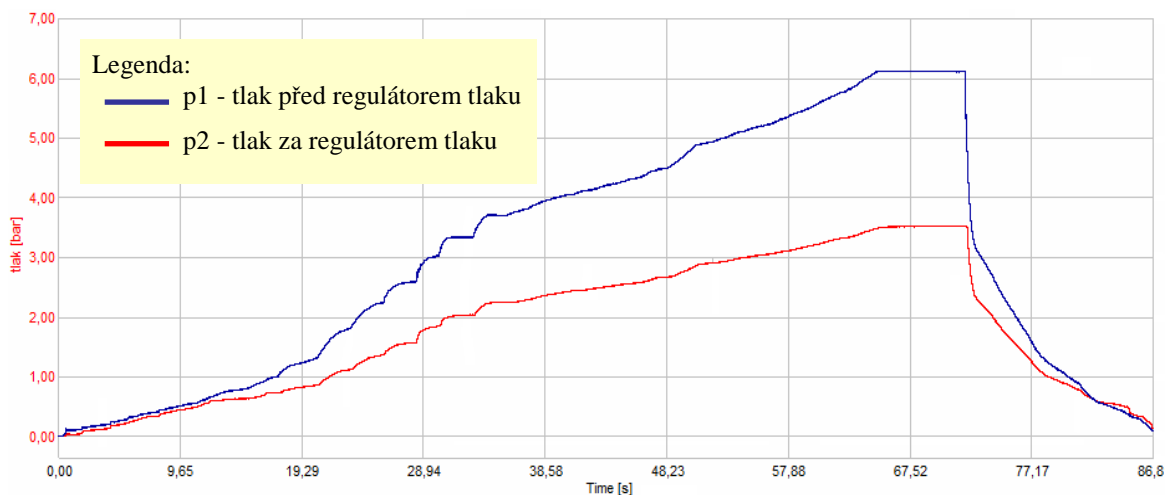
Při komparaci postupného zvyšování tlaků zvětšováním ovládací síly na brzdové pedály, při stojícím traktoru na místě, byl při tlaku p_1 před zátěžovým regulátorem 600 kPa, což je nejbližší tlak podobný dosaženému tlaku při reálné zkoušce na dráze, naměřen tlak p_2 za zátěžovým regulátorem 343 kPa (viz tab. 7.10). Hodnota tlaku vzduchu p_2 za regulátorem tlaku je 57,17 % hodnoty tlaku p_1 před regulátorem.

Tab. 7.10 – Tabulka průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření

Tlak vzduchu před regulátorem tlaku	Tlak vzduchu za regulátorem tlaku	Procentuální podíl tlaku vzduchu za regulátorem tlaku	Tlak vzduchu před regulátorem tlaku	Tlak vzduchu za regulátorem tlaku	Procentuální podíl tlaku vzduchu za regulátorem tlaku
p_1	p_2	-	p_1	p_2	-
[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[kPa]	[%]
0	0	0,00	325	195	60,00
25	19	76,00	350	210	60,00

50	44	88,00		375	226	60,27
75	62	82,67		400	239	59,75
100	73	73,00		425	253	59,53
125	83	66,40		450	268	59,56
150	95	63,33		475	279	58,74
175	109	62,29		500	293	58,60
200	122	61,00		525	306	58,29
225	137	60,89		550	319	58,00
250	151	60,40		575	331	57,57
275	170	61,82		600	343	57,17
300	183	61,00		625	352	56,32

Při statickém měření byl naměřen vyšší tlak p_2 za regulátorem tlaku vzduchu asi o 35 kPa (viz obr. 7.18), oproti měření tlaku při provádění brzdových zkoušek na dráze. V procentuálním vyjádření je rozdíl těchto tlaků kolem 6 %.



Obr. 7.18 – Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívesu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření

7.4 Zkoušky brzd soupravy traktoru Forterra 12441 a plně naloženého přívěsu BSS 10

Jako poslední byla provedena sada měření brzd soupravy traktor Zetor 12441 a plně naloženého přívěsu BSS 10 (viz obr. 7.22). Hmotnost samotného naloženého přívěsu byla 14 064 kg, čímž byla o 64 kg překročena celková maximální hmotnost přívěsu (viz tab. 7.11 a obr. 7.19). Hmotnost samotného nákladu činila 10 858 kg. Okamžitá hmotnost celé soupravy pak byla 19 738 kg (viz tab. 7.12).

Tab. 7.11 – Hmotnost plně naloženého přívěsu BSS 10

Hmotnost přívěsu na jednotlivá kola		Okamžitá hmotnost přívěsu
Levé přední	3 336 kg	
Pravé přední	3 420 kg	
Levé zadní	3 582 kg	
Pravé zadní	3 726 kg	

Tab. 7.12 – Hmotnost soupravy s plně naloženým přívěsem BSS 10

Okamžitá hmotnost traktoru	Okamžitá hmotnost přívěsu	Okamžitá hmotnost soupravy
5 674 kg	14 064 kg	19 738 kg



Obr. 7.19 – Hmotnost plně naloženého přívěsu BSS 10 – 14 064 kg

Zdroj: vlastní foto

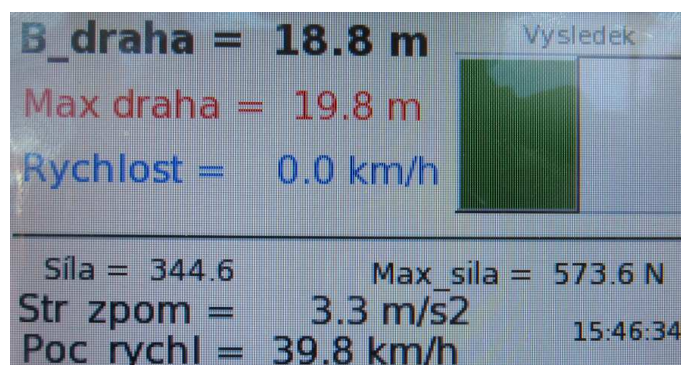
U této sady měření bylo z provedených brzdových zkoušek vybráno 44 vhodných měření, kdy nedošlo k úplnému blokování zadních kol traktoru. Mírný blok při dobrzdování byl opět ponechán. Z těchto měření byla pro komparaci vybrána brzdná zkouška, při které byla naměřena nejkratší brzdná dráha soupravy $s = 18,8$ metrů při maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd 573,6 N a střední ovládací síle F_s na pedály brzd 359,7 N (viz tab. 7.13 a obr. 7.20). Tato brzdná dráha s je totožná jako u měření

s částečně naloženým přívěsem. Rozdíl je ovšem ve velikosti počáteční rychlosti v_0 , která byla u tohoto měření s plně naloženým přívěsem menší a činila $39,8 \text{ km.h}^{-1}$, zatím co u částečně naloženého přívěsu byla počáteční rychlost v_0 $40,3 \text{ km.h}^{-1}$. Dupočítané střední zpomalení a_s bylo $3,27 \text{ m.s}^{-2}$.

Současně byl zaznamenán tlak vzduchu $p_1 = 601 \text{ kPa}$ před a $p_2 = 553 \text{ kPa}$ za zátěžovým regulátorem brzd přívěsu.

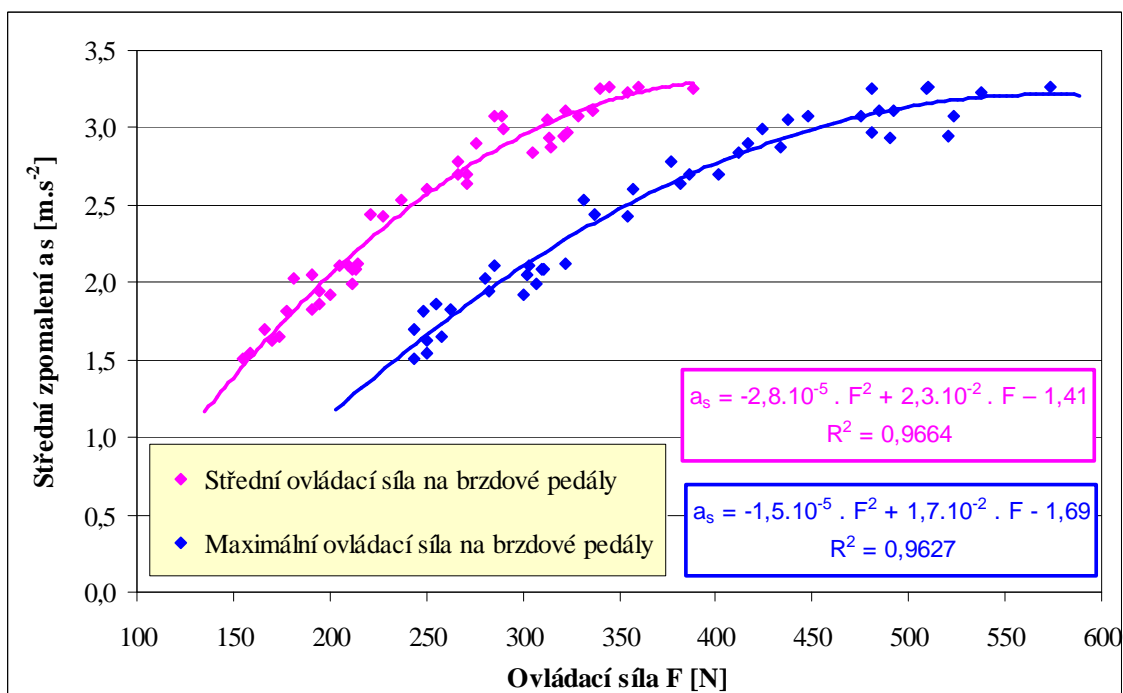
Tab. 7.13 – Tabulka naměřených hodnot při nejkratší měřené brzdě dráze s a při nejvyšším středním zpomalení a_s pro soupravu o hmotnosti $19\,738 \text{ kg}$ - plně naložený přívěs

Počáteční rychlost	Brzdná dráha	Střední ovládací síla na pedály brzd	Maximální ovládací síla na pedály brzd	Střední zpomalení	Tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu	Tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
V_0	s	F_s	F_{\max}	a_s	p_1	p_2
$[\text{km.h}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{N}]$	$[\text{N}]$	$[\text{m.s}^{-2}]$	$[\text{kPa}]$	$[\text{kPa}]$
39,8	18,8	359,7	573,6	3,27	601	553



Obr. 7.20 – Displej s výsledky měření při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,27 \text{ m.s}^{-2}$ – plně naložený přívěs
Zdroj: vlastní foto

Ze sestaveného grafu průběhu středního zpomalení soupravy a_s a ovládacích sil na brzdové pedály F (viz obr. 7.21) je opět patrný mírný pokles středního zpomalení a_s při komparaci s měřením soupravy s částečně naloženým přívěsem o okamžité hmotnosti soupravy $14\,004 \text{ kg}$. Při komparaci maximálních středních zpomalení a_s došlo oproti měření brzd samotného traktoru ke snížení středního zpomalení a_s o $0,50 \text{ m.s}^{-2}$, oproti měření brzd s prázdným přívěsem o $0,22 \text{ m.s}^{-2}$ a oproti měření s částečně naloženým přívěsem jen o hodnotu $0,07 \text{ m.s}^{-2}$. Při vyšších ovládacích silách F je i u tohoto měření patrný blok zadních kol traktoru při dobrzdění, což se projevuje změnou průběhu středního zpomalení a_s ze stoupajícího na téměř konstantní.



Obr. 7.21 – Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u soupravy traktoru s plně naloženým přívěsem – celková hmotnost soupravy 19 738 kg

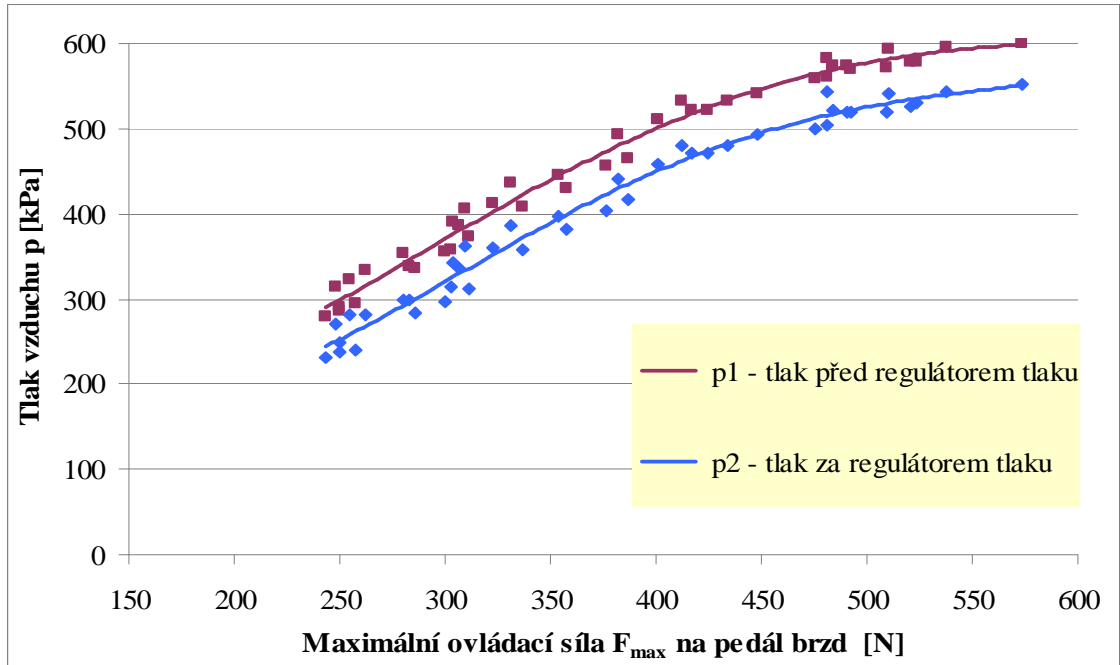
Z komparovaných středních zpomalení a_s naměřených u souprav s různou okamžitou hmotností je zřejmé, že se zvyšující se hmotností nákladu přívěsu se zmenšuje diference mezi jednotlivými středními zpomaleními a_s .

Nejnižší dosažená diference maximální a střední ovládací síly F_{max} a F_s na pedály brzd byla u této sady měření 60 N a byla naměřena opět při nízkých ovládacích silách. Naopak při vysokých ovládacích silách byla dosažena diference ovládacích sil na pedály brzd až 214 N. Průměrná diference maximální a střední ovládací síly F_{max} a F_s v průběhu všech měření byla 122 N. Velikost diferencí maximální a střední ovládací síly F_{max} a F_s je do jisté míry ovlivněna schopností řidiče eliminovat výkmit brzdových pedálů při brzdění.



Obr. 7.22 – Souprava traktor Zetor Forterra 12441 s plně naloženým přívěsem BSS 10
Zdroj: vlastní foto

Graf na obr. 7.23 zobrazuje průběh ovládací síly F_{max} na pedály brzd na tlaku p_1 před a p_2 za regulátorem tlaku vzduchu přívěsu, přičemž je zřejmá téměř totožná křivka nárůstu tlaku vzduchu před i za regulátorem. Pouze křivka tlaku vzduchu p_2 za regulátorem je posunuta níže průměrně o 50 kPa.

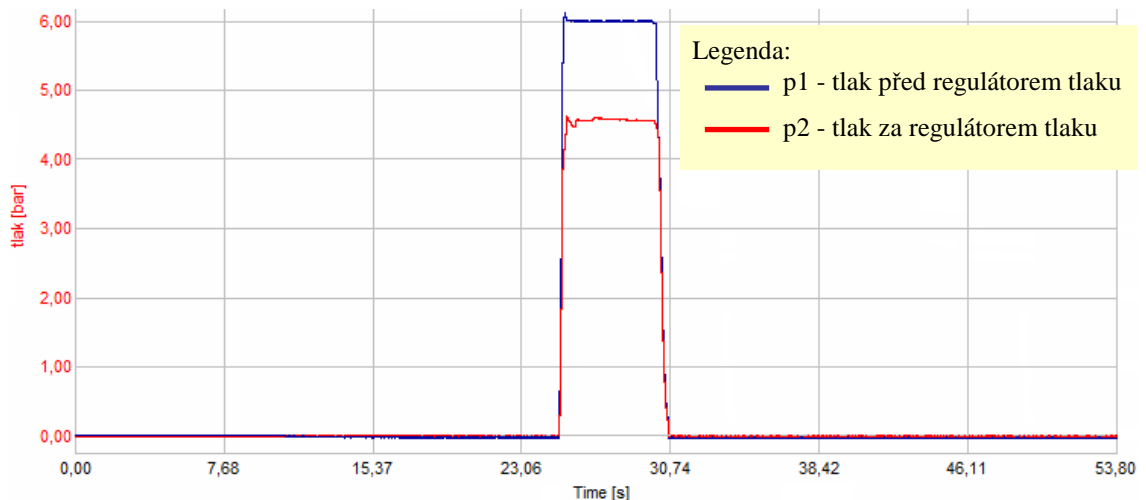


$$p_1 = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot F_{max}^4 - 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot F_{max}^3 + 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot F_{max}^2 - 4,13 \cdot F_{max} + 426,45 \quad R^2 = 0,9855$$

$$p_2 = 3,3 \cdot 10^{-8} \cdot F_{max}^4 - 5,6 \cdot 10^{-5} \cdot F_{max}^3 + 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot F_{max}^2 - 6,96 \cdot F_{max} + 652,36 \quad R^2 = 0,9810$$

Obr. 7.23 – Průběh tlaku p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd zaznamenaný ze všech měření

Při nejvyšším naměřeném tlaku vzduchu p_1 před regulátorem 601 kPa byl naměřen tlak p_2 za regulátorem 553 kPa, což je 92 % tlaku p_1 před regulátorem (viz obr. 7.24).

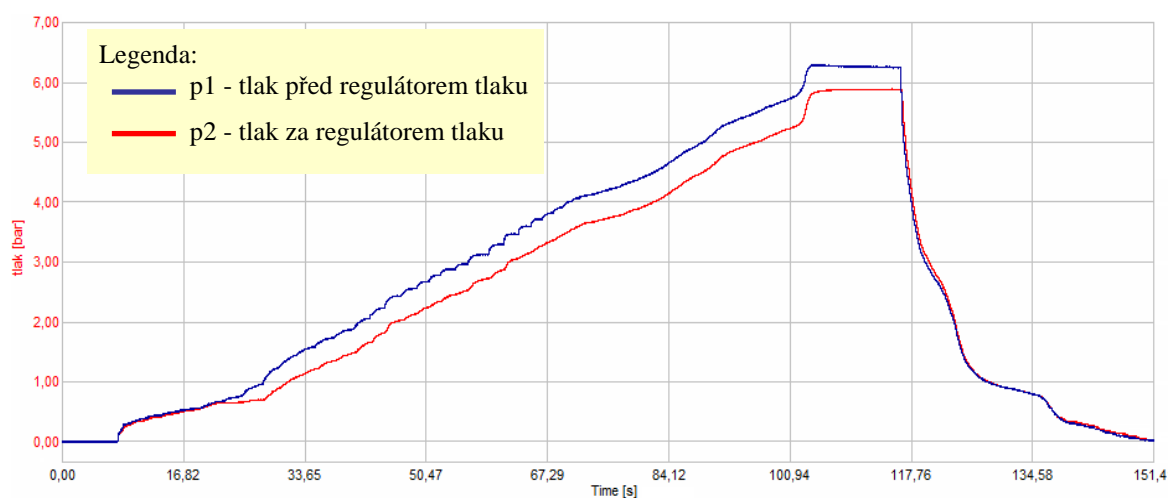


Obr. 7.24 – Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při maximálním dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

U statického měření průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za regulátorem při zvyšující se ovládací síle F na pedály brzd byl naměřen nejvyšší tlak p_2 za regulátorem 544 kPa při tlaku p_1 před regulátorem 600 kPa, což je nejbližší hodnota maximálně dosaženého tlaku při reálných zkouškách (viz tab. 7.14 a obr. 7.25). V procentuálním vyjádření dosahuje tlak p_2 za regulátorem 90,67 % hodnoty tlaku p_1 před regulátorem.

Tab. 7.14 – Tabulka průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření

Tlak vzduchu před regulátorem tlaku	Tlak vzduchu za regulátorem tlaku	Procentuální podíl tlaku vzduchu za regulátorem tlaku	Tlak vzduchu před regulátorem tlaku	Tlak vzduchu za regulátorem tlaku	Procentuální podíl tlaku vzduchu za regulátorem tlaku
p_1	p_2	-	p_1	p_2	-
[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[kPa]	[%]
0	0	0,00	325	274	84,31
25	21	84,00	350	306	87,43
50	47	94,00	375	328	87,47
75	65	86,67	400	350	87,50
100	70	70,00	425	377	88,71
125	90	72,00	450	400	88,89
150	111	74,00	475	424	89,26
175	136	77,71	500	450	90,00
200	157	78,50	525	474	90,29
225	182	80,89	550	500	90,91
250	204	81,60	575	524	91,13
275	228	82,91	600	544	90,67
300	253	84,33	625	574	91,84



Obr. 7.25 – Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření

8 KOMPARACE NAMĚŘENÝCH HODNOT

8.1 Komparace brzdné dráhy

Pro komparaci naměřené brzdné dráhy s je nutné vycházet ze stejné počáteční rychlosti v . Proto bylo nutné provést přepočet počátečních rychlostí v_0 vybraných jednotlivých měření při největším středním zpomalení a_s . Jako výchozí rychlost pro přepočet všech měření byla stanovena počáteční rychlost $40,0 \text{ km.h}^{-1}$.

Výpočet brzdné dráhy s_{40} při přepočtené počáteční rychlosti $40,0 \text{ km.h}^{-1}$ byl proveden z dosaženého středního zpomalení a_s upravením následujícího vzorce:

$$a_s = \frac{v^2}{25,9 * s} [\text{m.s}^{-2}] \quad \Rightarrow \quad s_{40} = \frac{40,0^2}{25,9 * a_s} [\text{m}]$$

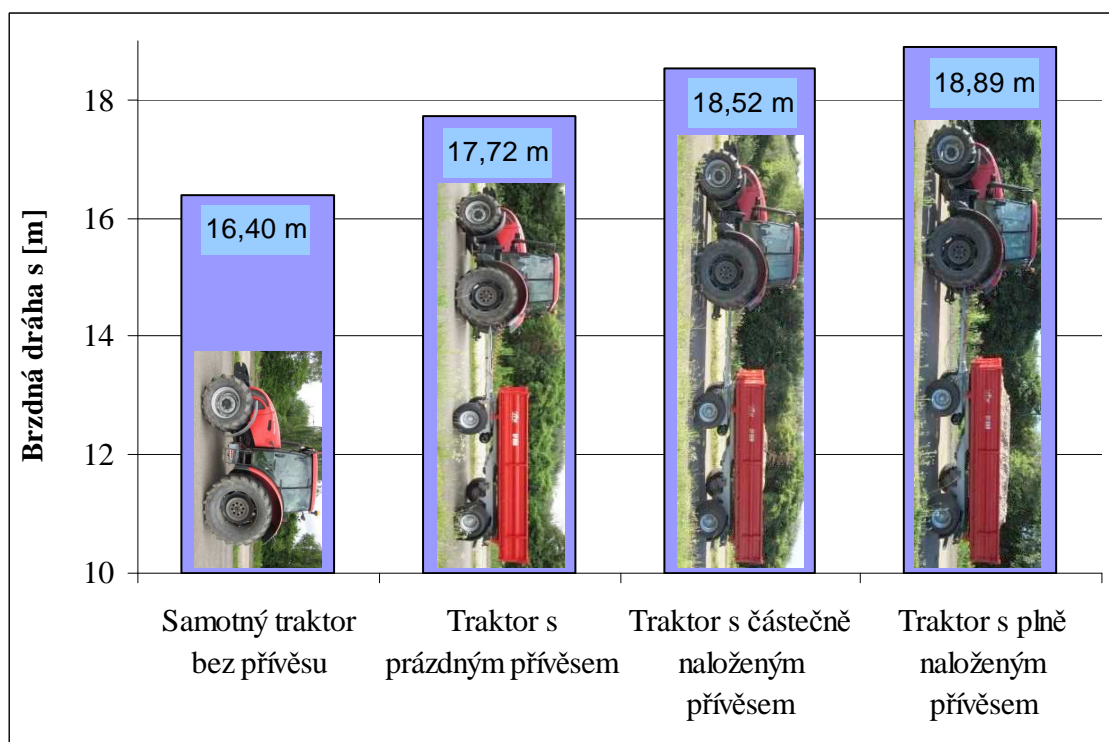
Tab. 8.1 – Komparace vypočtených brzdných drah s při přepočtení na počáteční rychlost $v = 40 \text{ km.h}^{-1}$

Měření	Skutečná brzdná dráha	Střední zpomalení	Počáteční rychlost měření	Střední ovládací síla na pedály brzd	Maximální ovládací síla na pedály brzd	Vypočtená brzdná dráha pro rychlost 40 km.h^{-1}
	s	a_s	v_0	F_s	F_{max}	s_{40}
	[m]	[m.s^{-2}]	[km.h^{-1}]	[N]	[N]	[m]
Samotný traktor bez přívěsu	17,4	3,77	41,2	415,2	572,3	16,40
Traktor s prázdným přívěsem	17,9	3,49	40,2	376,9	550,9	17,72
Traktor s přívěsem s nákladem 8 000 kg	18,8	3,34	40,3	376,2	559,3	18,52
Traktor s přívěsem s nákladem 13 000 kg	18,8	3,27	39,8	359,7	573,6	18,89

Při vzájemné komparaci spočítaných teoretických brzdných drah s_{40} uvedených v tabulce 8.1 je zřejmé, že se zvyšující se hmotností soupravy dochází k prodlužování brzdné dráhy s . Nejvýraznější diference brzdné dráhy s je mezi brzdou dráhou samotného traktoru a brzdou dráhou soupravy traktoru a prázdného přívěsu. Diference obou brzdných drah je 1,32 metrů, což je 8,05 %.

Naopak nejmenší diference brzdných drah s byla zjištěna komparací brzdné dráhy částečně naloženého přívěsu a plně naloženého přívěsu, kde došlo k prodloužení brzdné dráhy jen o necelé 2 % tedy o 0,37 metru.

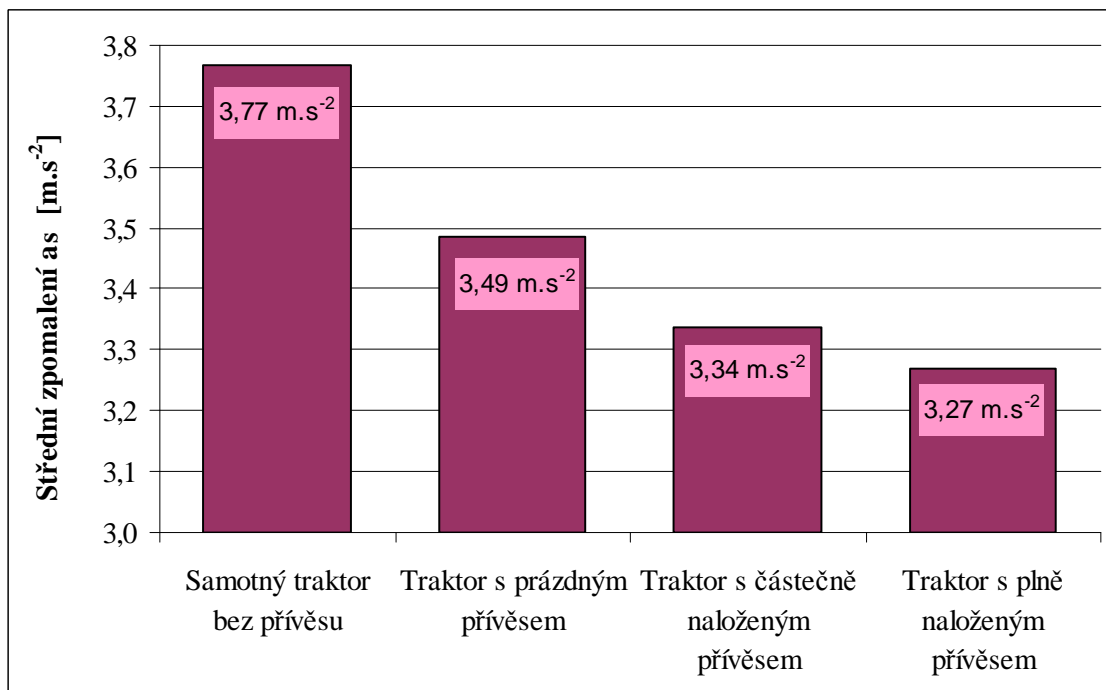
Při komparaci brzdných drah s samotného traktoru a plně naloženého přívěsu bylo zjištěno prodloužení brzdné dráhy o 2,49 metrů, což je v procentuálním vyjádření o 15,18 % delší brzdná dráha (viz obr. 8.1).



Obr. 8.1 – Komparace délek brzdných drah s vypočtených pro počáteční rychlost $v = 40 \text{ km.h}^{-1}$

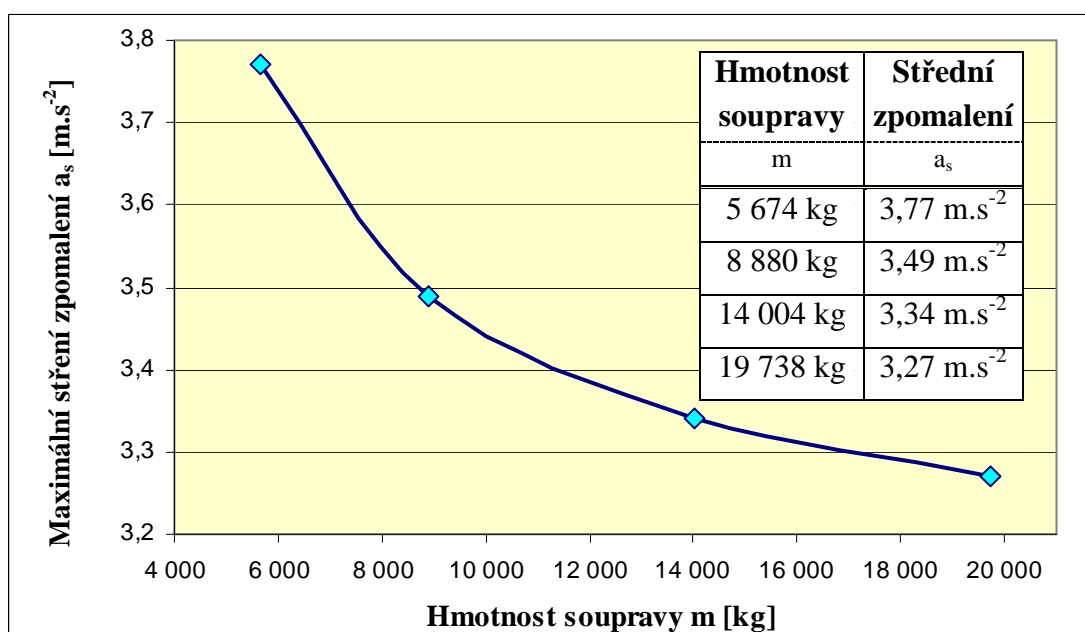
8.2 Komparace středního plného zpomalení

Jelikož se střední zpomalení a_s dopočítává z velikosti brzdné dráhy s , kopírují výsledky velikosti diferencí středních zpomalení a_s naměřené výsledky brzdných drah.



Obr. 8.2 – Komparace maximálně dosažených středních zpomalení a_s

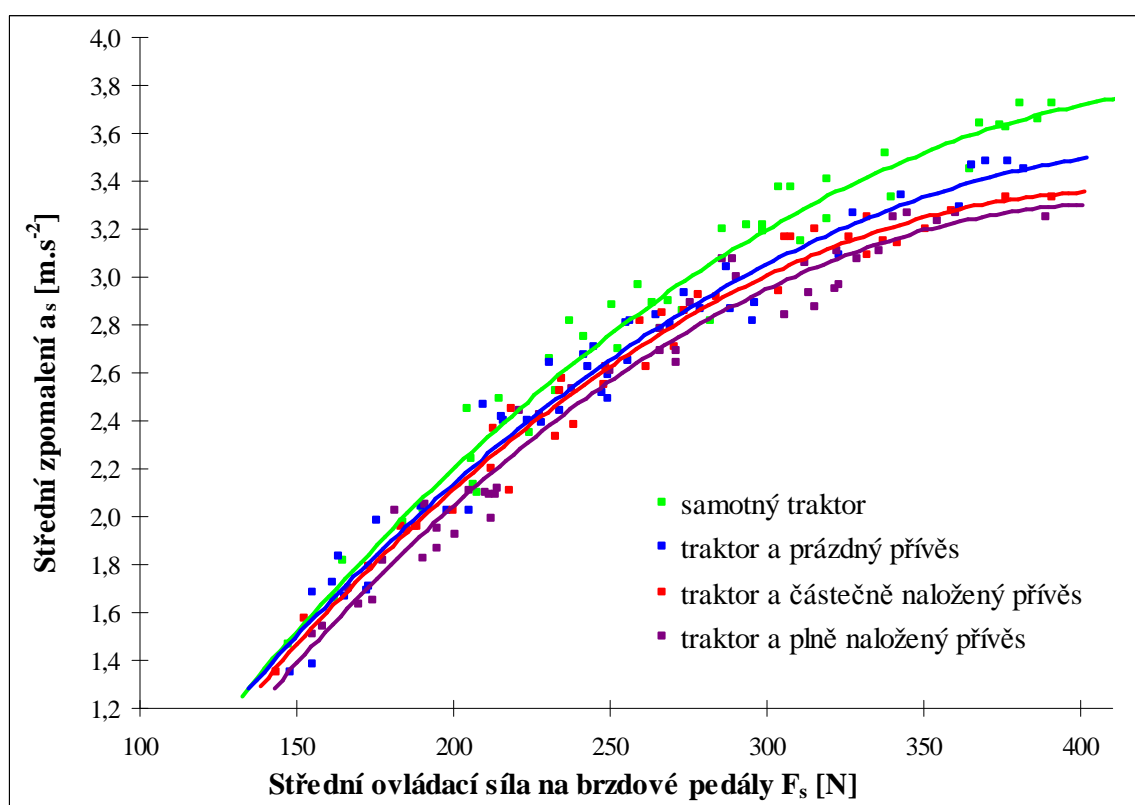
Nejvyšší hodnoty středního zpomalení a_s bylo dosaženo při měření samotného traktoru bez přívěsu. Naopak nejnižší hodnota středního zpomalení a_s byla dosažena při měření soupravy traktoru s plně naloženým přívěsem. Diference mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou středního zpomalení a_s je $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ (viz obr. 8.2).



Obr. 8.3 – Průběh maximálních středních zpomalení a_s vzhledem k hmotnosti soupravy m

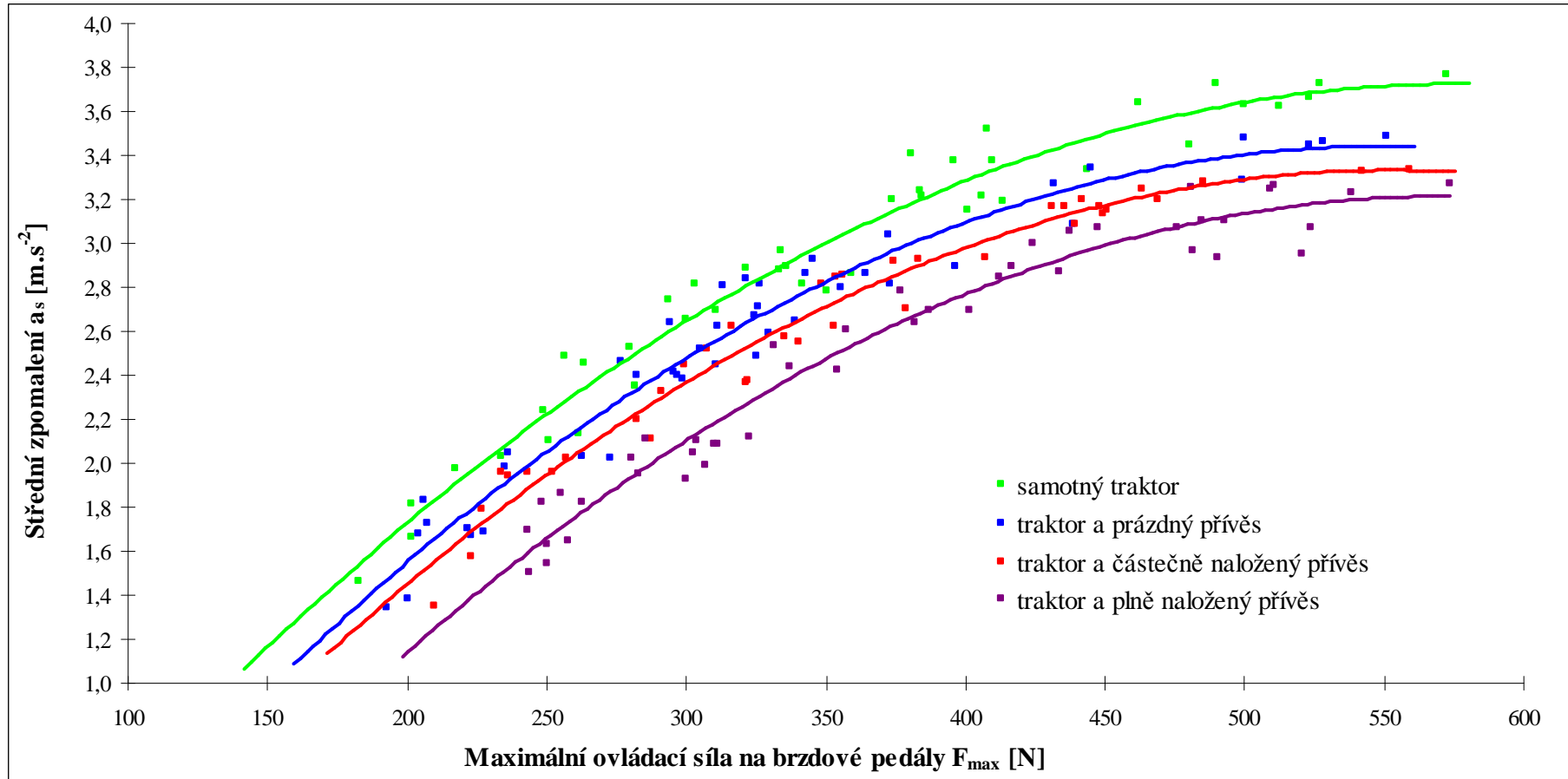
Při grafickém vyjádření průběhu okamžité hmotnosti soupravy a středního zpomalení a_s dostáváme klesající křivku, u které dochází k postupnému snižování klesající tendence (viz obr. 8.3). Se vzrůstající okamžitou hmotností soupravy dochází ke snižování difference velikosti středního zpomalení a_s mezi jednotlivými měřeními.

Diference mezi jednotlivými sadami měření je velmi dobře znatelná v grafech průběhu středního zpomalení a_s na ovládací síle F na pedály brzd (viz obr. 8.4 a obr. 8.5). Zde jsou znázorněny jednotlivé body všech sad měření a jejich umístění v grafu. Při proložení těchto bodů polynomicou funkcí dostáváme průběh brzdného středního zpomalení a_s pro každou sadu měření. Při vyšších ovládacích silách F na pedály brzd se do grafů promítá občasný mírný blok zadních kol traktoru, což se projevuje poklesem nárůstu středního zpomalení a_s při zvyšování ovládací síly F na pedály brzd. Při nejvyšších ovládacích silách F_{max} již dojde z důvodu bloku zadních kol traktoru k téměř úplnému zastavení nárůstu středního zpomalení a_s a jeho stagnaci na maximální hodnotě.



samotný traktor	$a_s = -2,4 \cdot 10^{-5} \cdot F_s^2 + 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot F_s - 1,248$	$R^2 = 0,9707$
traktor a prázdný přívěs	$a_s = -2,4 \cdot 10^{-5} \cdot F_s^2 + 2,1 \cdot 10^{-2} \cdot F_s - 1,125$	$R^2 = 0,9665$
traktor a částečně naložený přívěs	$a_s = -2,7 \cdot 10^{-5} \cdot F_s^2 + 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot F_s - 1,301$	$R^2 = 0,9765$
traktor a plně naložený přívěs	$a_s = -2,8 \cdot 10^{-5} \cdot F_s^2 + 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot F_s - 1,414$	$R^2 = 0,9665$

Obr. 8.4 – Komparace průběhů středních zpomalení a_s všech provedených měření v závislosti na střední ovládací síle F_s na brzdové pedály

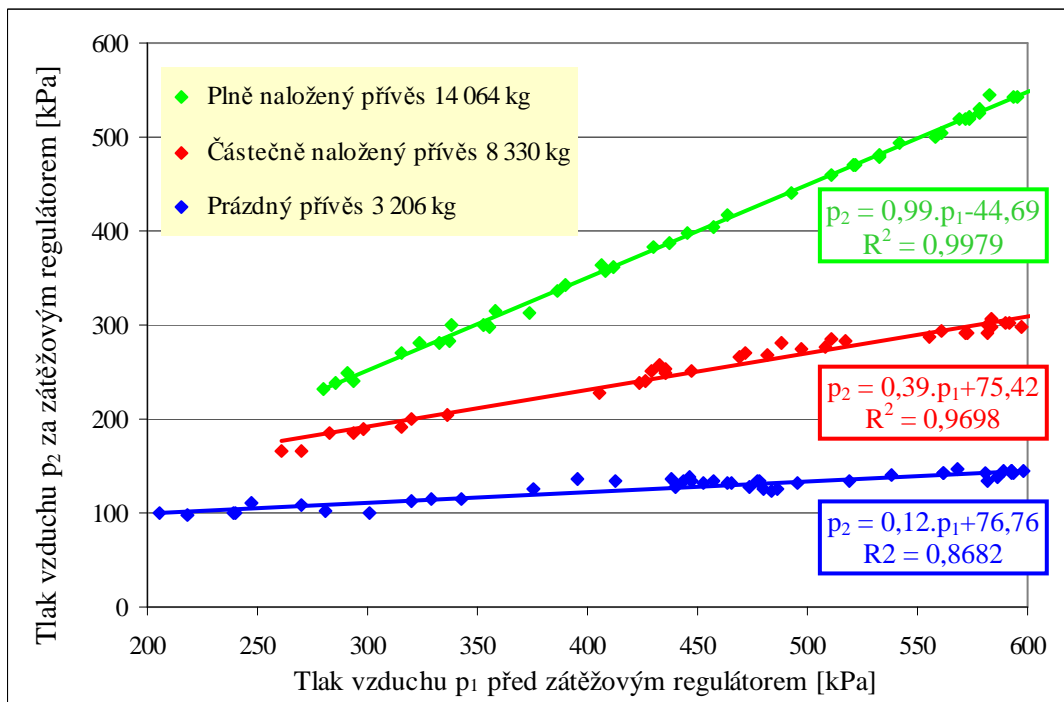


samotný traktor	$a_s = -1,4 \cdot 10^{-5} \cdot F_{\max}^2 + 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot F_{\max} - 0,949$	$R^2 = 0,9644$
traktor a prázdný přívěs	$a_s = -1,5 \cdot 10^{-5} \cdot F_{\max}^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot F_{\max} - 1,234$	$R^2 = 0,9542$
traktor a částečně naložený přívěs	$a_s = -1,5 \cdot 10^{-5} \cdot F_{\max}^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot F_{\max} - 1,291$	$R^2 = 0,9697$
traktor a plně naložený přívěs	$a_s = -1,5 \cdot 10^{-5} \cdot F_{\max}^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot F_{\max} - 1,687$	$R^2 = 0,9627$

Obr. 8.5 – Komparace průběhů středních zpomalení a_s všech provedených měření v závislosti na maximální ovládací síle F_{\max} na brzdové pedály

8.3 Komparace tlaků vzduchu za zátěžovým regulátorem přívěsu

Průběhy tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem vzduchotlakých brzd přívěsu byly měřeny dvojím způsobem. Nejdříve měřením v průběhu reálných zkoušek brzd a pak staticky při stojícím traktoru na místě při postupném zvyšování ovládací síly na pedály brzd.



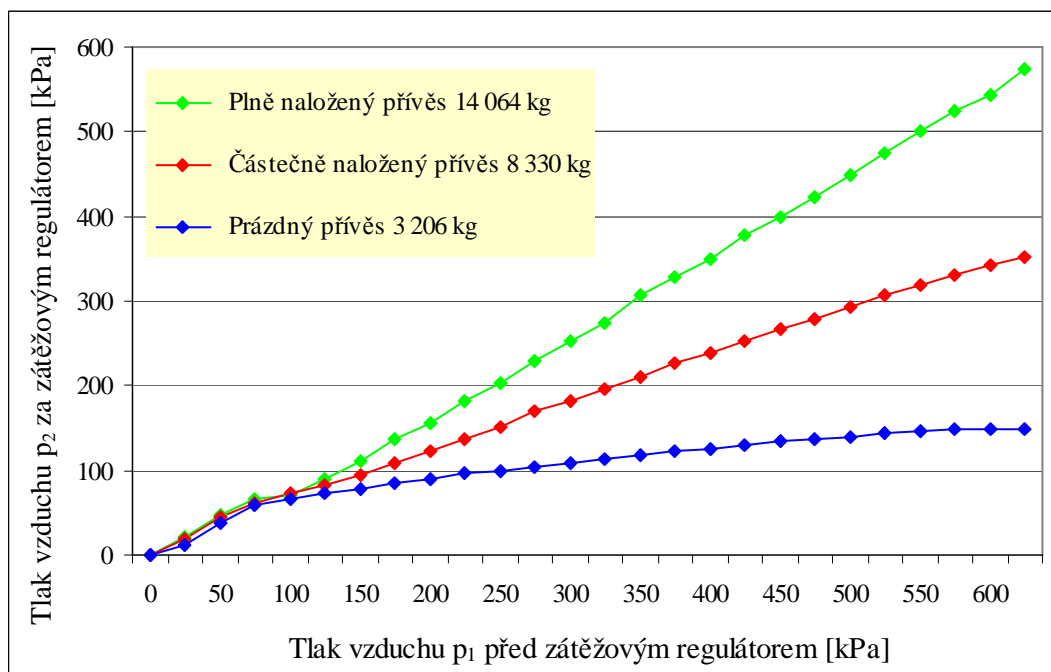
Obr. 8.6 – Komparace naměřených tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem při různých hmotnostech přívěsu v průběhu reálných měření

V průběhu měření, při reálných zkouškách, na dráze byly naměřeny téměř lineární průběhy tlaků vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem vzduchu (viz obr. 8.6). Nejmenší nárůst tlaku vzduchu p_2 za regulátorem byl očekávaně měřen při zkouškách s prázdným přívěsem. Nejvyšší naměřená hodnota tlaku p_2 za regulátorem vzduchu byla u tohoto měření jen 145 kPa při hodnotě tlaku p_1 před regulátorem 568 kPa a vyšší, což jsou hodnoty tlaku kolem 25 % tlaku vzduchu před regulátorem.

U částečně naloženého přívěsu byla nejvyšší naměřená hodnota tlaku p_2 za regulátorem 309 kPa při nejvyšší hodnotě tlaku p_1 před regulátorem 606 kPa, což je hodnota 51 % plného tlaku vzduchu před regulátorem.

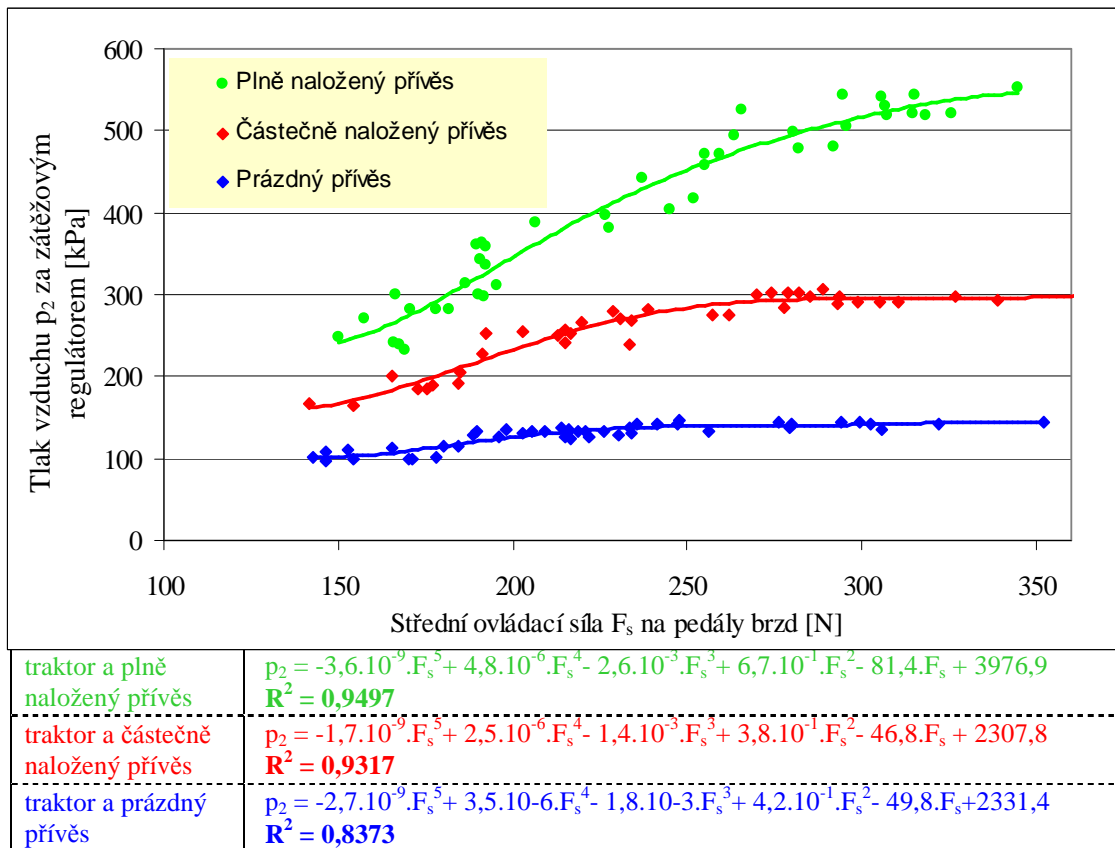
U plně naloženého přívěsu byl měřený tlak p_2 za regulátorem 553 kPa při tlaku p_1 před regulátorem vzduchu 601 kPa. Tato hodnota tlaku p_2 za regulátorem odpovídá 92 % plného tlaku p_1 před regulátorem.

Při statickém měření na místě byly naměřeny nepatrně vyšší hodnoty tlaku vzduchu p_2 za zátěžovým regulátorem při stejných hodnotách tlaku p_1 před zátěžovým regulátorem (viz obr. 8.7) v porovnání s reálným měřením na dráze. Toto lze přičíst výrazně pomalejšímu výšlapu brzdových pedálů při měření, kdy tlak nabíhá postupně a pomaleji. Zajímavá je část grafu při nižších tlacích vzduchu, kdy až do hodnoty tlaku vzduchu před regulátorem $p_1 = 100$ kPa nezáleží na zatížení přívěsu a tlak vzduchu p_2 za zátěžovým regulátorem se pohybuje při všech měřeních kolem 70 kPa.

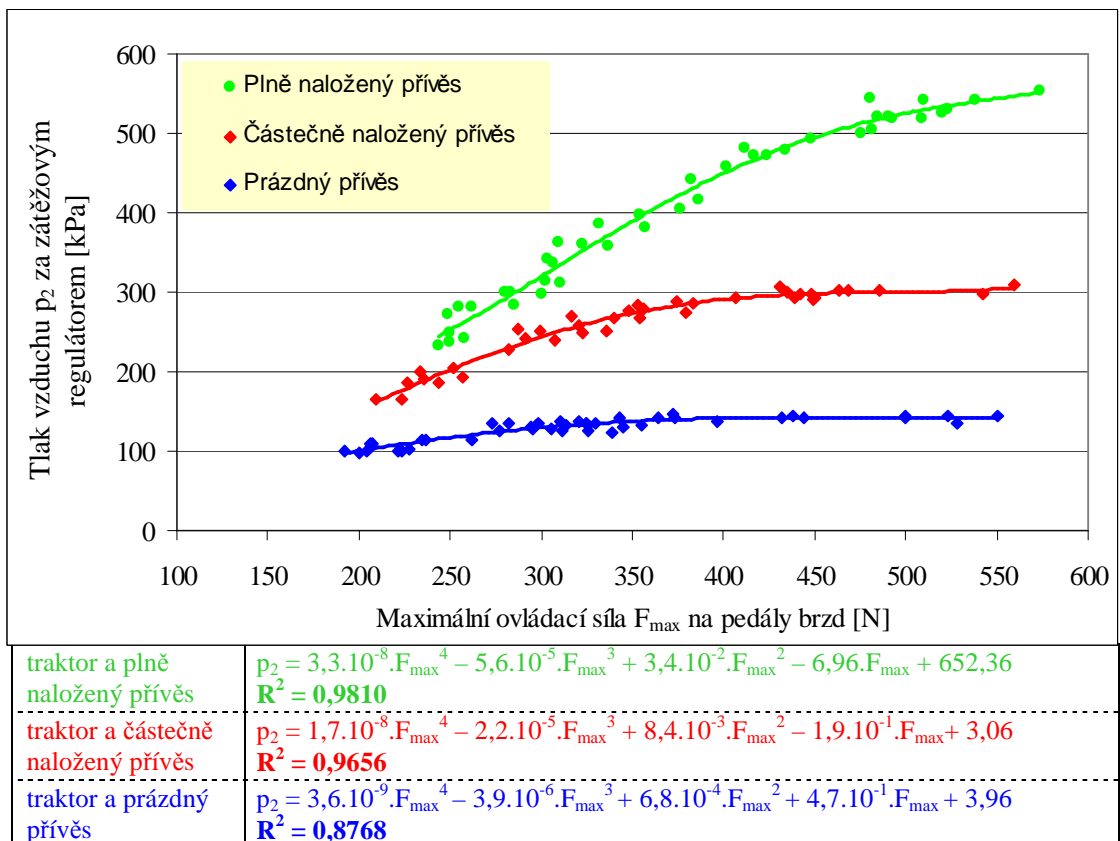


Obr. 8.7 – Komparace tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem při různých hmotnostech přívěsu při statickém měření na místě

Z reálného měření na dráze byla dále provedena komparace průběhu tlaků p_2 za zátěžovým regulátorem při střední ovládací síle na brzdové pedály F_s (viz obr. 8.8) a při maximální ovládací síle na brzdové pedály F_{max} (viz obr. 8.9). I zde je znatelná diference tlaků za regulátorem při stejné ovládací síle v závislosti na hmotnosti nákladu a zatížení přední nápravy přívěsu respektive celého přívěsu. Tlak p_2 za regulátorem při měření prázdného přívěsu roste jen minimálně a dosahuje maxima na hodnotě 145 kPa při maximální síle F_{max} na pedály brzd 372 N a výše. U částečně zatíženého přívěsu tlak p_2 za regulátorem roste až do maximální síle na pedály brzd $F_{max} = 400$ N. Pak již stagnuje na hodnotě lehce nad 300 kPa. Při měření plně zatíženého přívěsu dochází ke strmému nárůstu tlaku p_2 za regulátorem až do tlaku 500 kPa při maximální síle na pedály brzd $F_{max} = 475$ N, kdy se strmost nárůstu sníží. Maximálně dosažený tlak p_2 za regulátorem tlaku byl 553 kPa při maximální ovládací síle $F_{max} = 573$ N na pedály brzd.



Obr. 8.8 – Komparace průběhů tlaků p_2 za zátěžovým regulátorem v závislosti na střední ovládací síle F_s na pedály brzd



Obr. 8.9 – Komparace průběhů tlaků p_2 za zátěžovým regulátorem v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd

9 DISKUZE

Jak již bylo popsáno v kapitole č. 5, teoreticky nezáleží délka brzdné dráhy na hmotnosti vozidla, ale pouze na stavu vozovky, respektive na velikosti součinitele adheze.

Pokud by tedy přívěs nebyl vybaven zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu a kola přívěsu by bylo možno pokaždé dostat do plného blokování, bylo by teoreticky možné při všech měřeních s přívěsem (s prázdným, s částečně naloženým i s plně naloženým) dosáhnout stejné brzdné dráhy a stejného brzdného zpomalení. Nezáleželo by tedy na hmotnosti, což například Vala (2003) zdůvodňuje tím, že s vyšší hmotností je možné na brzděných kolech vyvinout úměrně větší brzdnou sílu při splnění podmínky vyvození brzdné síly na obvodu kola odpovídající daným adhezním podmínkám. U přívěsu by ovšem muselo dojít k blokování kol, čímž by se dostal do neřízeného a nepředvídatelného pohybu, čemuž právě zátěžový regulátor zabraňuje tím, že adekvátně rozděluje tlak vzduchu k brzdovým válcům v závislosti na zatížení nápravy. Vzhledem k tomu, že ani v jednom případě nedošlo k zablokování kol přívěsu, prokázal zátěžový regulátor tlaku vzduchotlakých brzd přívěsu svoji správnou funkci a je tudíž důležitým bezpečnostním prvkem k zajištění říditelnosti přívěsu v průběhu brzdění.

Při zkouškách brzd nebylo z důvodu použití zmíněného zátěžového regulátoru tlaku vzduchu ani v jednom případě dosaženo stejného brzdného středního zpomalení a_s a stejné brzdné dráhy s . Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se zatížením (hmotností) přívěsu dochází ke snižování velikosti dosaženého středního zpomalení a_s a k prodlužování brzdné dráhy s .

Podobnou problematikou se zabýval Motl (2010), který při posuzování vlivu okamžité hmotnosti vozidel na jejich brzdnu dráhu prokázal, že se zvyšující se hmotností nákladu nákladního vozidla Scania P 380 dochází k prodlužování jeho brzdné dráhy. Toto prodlužování brzdné dráhy je způsobeno nutností mařit větší energii v brzdovém systému se vzrůstající hmotností nákladu. Obdobných výsledků bylo dosaženo i při homologačních zkouškách traktoru Zetor Forterra 10641, kdy dle restriktivního testu OECD provedeného v SZZPLS Praha (2002) bylo zjištěno, že traktor s přídatným závažím má při stejné ovládací síle na pedály brzd o více než 3 metry delší brzdnu dráhu než traktor bez přídatného závaží.

10 ZÁVĚR

Diplomová práce na téma „Analýza délky brzdné dráhy a středního zpomalení traktoru Zetor Forterra s přívěsem BSS 10 v závislosti na zatížení přívěsu“ je rozdělena na tři stěžejní části. První část pojednává o současném stavu konstrukce a funkce brzdových systémů, část druhá je zaměřena na legislativu a způsoby zkoušení brzdových systémů a provedené komparace a analýzy výsledků měření jsou zahrnuty do třetí, praktické části.

Z provedených měření a jejich následných komparací je zřejmé, že nejkratší brzdná dráha s po přepočtení na počáteční rychlost $v = 40 \text{ km.h}^{-1}$ byla naměřena u samotného traktoru o hmotnosti 5 674 kg a činila 16,4 metrů. Naopak nejdelší přepočtená brzdná dráha $s = 18,89$ metrů byla zjištěna u soupravy traktoru s plně naloženým přívěsem o hmotnosti 19 738 kg. Při komparaci brzdných drah samotného traktoru a traktoru s plně naloženým přívěsem došlo k prodloužení brzdné dráhy o 2,49 metrů, respektive o 15,18 %. Diference hmotností byla téměř tři a půl násobná.

Z analýzy dalších zkoušek je patrné, že s postupnou zvyšující se hmotností přívěsu a tím i celé soupravy, dochází ke snižování velikosti difference brzdných drah mezi jednotlivými měřeními. Toto je patrné z komparace všech naměřených brzdných drah, kdy samotný traktor dosáhl již uvedené přepočtené brzdné dráhy 16,4 metrů, souprava s prázdným přívěsem 17,72 metrů, souprava s částečně naloženým přívěsem 18,52 metrů a souprava s plně naloženým přívěsem 18,89 metrů.

Oproti dříve vyráběným přívěsům, které jsou i dnes ještě hojně rozšířeny, jsou současně vyráběné přívěsy s jedním či s více zátěžovými regulátory mnohem bezpečnější, hlavně při brzdění prázdného nebo částečně naloženého přívěsu. U přívěsů bez zátěžového regulátoru docházelo často při brzdění k blokování kol vlivem působení konstantního (plného) tlaku na brzdové válce přívěsu. Při komparaci měřené brzdné dráhy prázdného a plného přívěsu BSS 10 se zátěžovým regulátorem je difference minimálních brzdných drah pouze 1,17 metrů (6,6 %) při rozdílu okamžité hmotnosti přívěsu 10 858 kg, což je z hlediska bezpečnosti velmi dobrá hodnota. Měřením a analýzou bylo zjištěno, že zátěžový regulátor vzduchotlakých brzd plní svoji funkci a vždy zabránil bloku kol přívěsu, čímž potvrdil, že je důležitým bezpečnostním prvkem brzd přívěsu.

Diference nejvyšších dosažených středních zpomalení kopírují měření brzdných drah. Nejvyšší střední zpomalení $a_s = 3,77 \text{ m.s}^{-2}$ bylo naměřeno u samotného traktoru.

Naproti tomu nejmenší střední zpomalení $a_s = 3,27 \text{ m.s}^{-2}$ bylo zaznamenáno u měření soupravy s plně naloženým přívěsem. Vzájemná diference středních zpomalení a_s je $0,5 \text{ m.s}^{-2}$. I zde je zjevné, že se zvyšující se hmotností soupravy se snižuje velikost diference jednotlivých středních zpomalení. Tato skutečnost se nejvíce projeví při komparaci měření částečně naloženého přívěsu a plně naloženého přívěsu. Zde je diference středního zpomalení a_s pouze $0,07 \text{ m.s}^{-2}$ a dosažená střední zpomalení a_s jsou téměř shodná.

Při konfrontaci naměřeného středního zpomalení a_s s legislativou bylo zjištěno, že samotný traktor splňuje požadavky dnes již zrušené směrnice č. 76/432/EHS a jejich novelizací, které byly platné k datu homologace tohoto typu traktoru jak pro brzdou dráhu, tak i pro střední brzdné zpomalení. V případě aplikace nového nařízení EU 2015/68, které vstoupilo v platnost 1. 1. 2016, by traktor sice splňoval požadavek na délku brzdné dráhy, ale nespĺňuje nový požadavek na střední plné zpomalení $d_m = 5,00 \text{ m.s}^{-2}$. Naměřená hodnota středního plného zpomalení d_m činila pouze $4,81 \text{ m.s}^{-2}$. Oba tyto požadavky musí být splněny současně, což zde nebylo dosaženo a brzdy traktoru by nemohly v současné době projít úspěšnou homologací.

Komparace brzdových tlaků za zátěžovým regulátorem vzduchu prokázala jednoznačnou závislost výstupního tlaku vzduchu za regulátorem na naložení přívěsu, respektive jeho přední nápravy nákladem. U měření prázdného přívěsu činí hodnota tlaku vzduchu za regulátorem jen 25 % hodnoty tlaku vzduchu před regulátorem tlaku, což je minimální hodnota tlaku vzduchu, na kterou regulátor sníží výstupní tlak. Při měření plně naloženého přívěsu na maximální celkovou hmotnost byla zjištěná hodnota tlaku vzduchu za regulátorem 92 % tlaku vzduchu před zátěžovým regulátorem, což je nejvyšší hodnota tlaku vzduchu, které regulátor tlaku umožní průchod k dalším přístrojům vzduchotlakých brzd přívěsu. Nebylo tedy, při plně naloženém přívěsu, dosaženo stejné hodnoty tlaku před i za zátěžovým regulátorem.

Dále bylo zjištěno, že při velmi malých ovládacích silách na pedály brzd (do 100 N) je tlak za zátěžovým regulátorem při všech měřených hmotnostech velmi podobný, z čehož vyplývá, že při těchto ovládacích silách nezáleží na hmotnosti a zatížení přívěsu a tlak vzduchu působící na přístroje přívěsu je stále stejný. Nad uvedenou ovládací sílu na pedály brzd již dochází ke zvyšování diferencí tlaků se stoupající ovládací silou na brzdové pedály.

Dílčím výsledkem provedených zkoušek bylo orientačním měřením termokamerou potvrzení skutečnosti, že při brzdění přívěsu dochází vlivem klopného

momentu a setrvačného účinku hmoty k většímu zatížení přední nápravy přívěsu při brzdění, a tím i k vyššímu zatížení bubnových brzd na přední nápravě přívěsu. Toto se projevilo až o třetinu vyšší naměřenou teplotou na bubnech kol přední nápravy přívěsu v porovnání s teplotou na bubnech kol zadní nápravy přívěsu. Při měření s plně naloženým přívěsem dosahovaly povrchové teploty bubnů brzd přední nápravy po pěti brzdných zkouškách hodnot přes 120 °C, zatímco teploty bubnů brzd zadní nápravy jen lehce přes 90 °C.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

11.1 Použitá literatura

- BAUER, František, et al. *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013, 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6.
- BRADÁČ, Albert, et al. *Soudní inženýrství*. 1. vyd. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-7204-133-9.
- HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. 4. vyd. Brno: Littera, 2008, 358 s. ISBN 978-80-85763-42-3.
- JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily I.: Podvozky*. 2. vyd. Brno: Nakladatelství Avid s.r.o., 2009, 228 s. ISBN 978-80-87143-03-2.
- MOTL, Jakub. *Vliv okamžité hmotnosti vozidel na jejich brzdovou dráhu*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
- STÁTNÍ ZKUŠEBNA ZEMĚDĚLSKÝCH, POTRAVINÁŘSKÝCH A LESNICKÝCH STROJŮ. *O.E.C.D. STANDARD CODE 2 - Restricted Code: ZETOR 10641 Forterra (4WD) 40 km/h version*. Report No 22668. Praha, 2002.
- VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, 229 s. ISBN 80-7194-503-X.
- VÉMOLA, Aleš. *Diagnostika automobilů*. 1. vyd. Brno: Littera, 2006, 127 s. ISBN 80-85763-31-1.
- VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- VLK, František. *Lexikon moderní automobilové techniky*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2005, 344 s. ISBN 80-239-5416-4.
- VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- ZETOR BRNO – Dokumentačně propagační oddělení: *Katalog náhradních dílů ZETOR 8641-11741*. 3.vydání-100-2006. Brno, 2006. 678 s. Číslo publikace: 22.22.12.429.

11.2 Elektronické zdroje

Čelist brzdy ADR 350/90 9RE0066 | E-shop FIMAS s.r.o. Nové Veselí. *E-shop FIMAS s.r.o. Nové Veselí* [online]. 2015 [cit. 2015-10-19]. Dostupné z: <http://obchod.fimas.cz/fimas/eshop/0/0/5/1737-celist-brzdy-ADR-350-90-9RE0066>

MBT 2250 EUROSISTEM, MCD 2000 :: Maha-cz.cz. *Maha-cz.cz* [online]. 2010 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.maha-cz.cz/cz/produkty/zkusebny-brzd/osobni-vozidla/mbt-2250-eurosystem-mcd-2000/#attachedImages>

11.3 Ostatní zdroje

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 167/2013 ze dne 5. února 2013 o schvalování zemědělských a lesnických vozidel a dozoru nad trhem s těmito vozidly.

Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) č. 2015/68 ze dne 15. října 2014, kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 167/2013, pokud jde o požadavky na brzdění vozidel pro účely schvalování zemědělských a lesnických vozidel.

Návod na obsluhu a údržbu traktorových přívěsů řady PTS 10: WTC PÍSEČNÁ. Písečná 147, Písečná u Jeseníku, 2013, 25 s.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2010/0349 (COD) ze dne 10.12.2010 o brzdových zařízeních kolových zemědělských a lesnických traktorů - kodifikované znění.

Směrnice Rady č. 76/432/EHS ze dne 6. dubna 1976 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se brzdových zařízení kolových zemědělských a lesnických traktorů.

12 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Název
a_s	$m.s^{-2}$	střední zpomalení
d_m	$m.s^{-2}$	střední plné zpomalení
s	m	brzdná dráha
s_{40}	m	vypočtená brzdná dráha pro rychlost 40 km.h ⁻¹
s_{max}	m	maximální povolená brzdná dráha
v_0	km.h ⁻¹	počáteční rychlost měření
v_{40}	km.h ⁻¹	rychlost traktoru 40 km.h ⁻¹
F_s	N	střední ovládací síla na pedály brzd
F_{max}	N	maximální ovládací síla na pedály brzd
p_1	kPa	tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
p_2	kPa	tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
m	kg	hmotnost
μ	-	součinitel adheze povrchu
g	$m.s^{-2}$	gravitační zrychlení
R^2	-	rozptyl hodnot
ABS	Protiblokovací brzdový systém (Anti-lock Brake System)	
ASR	Systém regulace prokluzu kol (Anti-Slip Regulation)	
BA	Brzdový asistent (Brake Assist)	
BAS	Brzdový asistenční systém (Brake Assis System)	
EBD	Elektronické rozdělování brzdného účinku (Electronic brakeforce distribution)	
EBS	Elektronický brzdový systém (Electronic Braking System)	
EBV	Elektronický dělič brzdných sil (Elektronische Bremsverteilssystem)	
EDS	Elektronická závěrka diferenciálu (Elektonische-Differenzial-Sperre)	
ESP	Elektronický stabilizační program (Electronic Stability Program)	
GPS	Globální polohovací systém (Global Positioning System)	
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Cooperation and Development)	
SZZPLS	Státní zkušebna zemědělských, potravinářských a lesnických strojů	

13 SEZNAM TABULEK

- Tab. 4.1 Požadavky na účinek provozních brzdových systémů
- Tab. 4.2 Požadavky na ohřev brzd pro zkoušku typu I
- Tab. 5.1 Součinitel adheze na různém povrchu
- Tab. 6.1 Souhrnná tabulka se základní specifikací traktoru
- Tab. 6.2 Souhrnná tabulka se základní specifikací přívěsu
- Tab. 7.1 Pohotovostní hmotnost traktoru Forterra 12441
- Tab. 7.2 Naměřené hodnoty pro výpočet středního plného zpomalení d_m
- Tab. 7.3 Hmotnost prázdného přívěsu BSS 10
- Tab. 7.4 Hmotnost soupravy s prázdným přívěsem BSS 10
- Tab. 7.5 Tabulka naměřených hodnot při nejkratší naměřené brzdné dráze s a při nejvyšším středním zpomalením a_s pro soupravu o hmotnosti 8 880 kg - prázdný přívěs
- Tab. 7.6 Tabulka průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd - statické měření
- Tab. 7.7 Hmotnost částečně naloženého přívěsu BSS 10
- Tab. 7.8 Hmotnost soupravy s částečně naloženým přívěsem BSS 10
- Tab. 7.9 Tabulka naměřených hodnot při nejkratší brzdné dráze s při a nejvyšším středním zpomalením a_s pro soupravu o hmotnosti 14 004 kg – částečně naložený přívěs
- Tab. 7.10 Tabulka průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd - statické měření
- Tab. 7.11 Hmotnost plně naloženého přívěsu BSS 10
- Tab. 7.12 Hmotnost soupravy s plně naloženým přívěsem BSS 10
- Tab. 7.13 Tabulka naměřených hodnot při nejkratší měřené brzdné dráze s a při nejvyšším středním zpomalením a_s pro soupravu o hmotnosti 19 738 kg - plně naložený přívěs
- Tab. 7.14 Tabulka průběhu tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly na pedály brzd - statické měření

Tab. 8.1 Komparace vypočtených brzdných drah s při přepočtení na počáteční rychlost $v = 40 \text{ km.h}^{-1}$

14 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 3.1 Schéma elektronického brzdového systému
- Obr. 3.2 Typy bubnových brzd
- Obr. 3.3 Typy kotoučových brzd
- Obr. 3.4 Čtyř lamelová mokrá disková brzda traktoru Zetor Forterra
- Obr. 3.5 Hydrodynamická brzda
- Obr. 3.6 Regulační soustava ABS
- Obr. 3.7 Zásah systému ESP v kritických situacích
- Obr. 5.1 Doba brzdění a její složky
- Obr. 5.2 Válcová zkušebna brzd MAHA MBT 2250
- Obr. 5.3 Elektronický decelerometr MAHA VZM 100
- Obr. 5.4 Decelerograf MotoMeter
- Obr. 5.5 Vlečné kolo
- Obr. 5.6 Optický snímač rychlosti
- Obr. 5.7 GPS přijímač s anténou
- Obr. 6.1 Tlakové snímače před a za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu
- Obr. 6.2 Souprava měřícího zařízení
- Obr. 6.3 Teplota kardanové brzdy na konci pátého měření
- Obr. 6.4 Teplota předního kola přívěsu
- Obr. 6.5 Teplota zadního kola přívěsu
- Obr. 6.6 Nožní disková brzda - Forterra 140
- Obr. 6.7 Kardanová brzda přední nápravy - Forterra 140
- Obr. 6.8 Schéma vzduchotlakých brzd traktoru Zetor Forterra 12441
- Obr. 6.9 Zátěžový regulátor KNORR-BREMSE BR4370
- Obr. 6.10 Schéma vzduchotlakých brzd přívěsu BSS 10
- Obr. 6.11 Buben a čelisti bubnové brzdy ADR na přívěsu BSS
- Obr. 7.1 Pohotovostní hmotnost traktoru Forterra 12441
- Obr. 7.2 Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u samotného traktoru o hmotnosti 5 674 kg

- Obr. 7.3 Foto displeje s výsledky měření brzd při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,77 \text{ m.s}^{-2}$ u samotného traktoru
- Obr. 7.4 Průběh ovládací síly F na pedály brzd v čase při nejvyšším středním zpomalení a_s a při nejkratší brzdné dráze s u samotného traktoru
- Obr. 7.5 Průběh brzdné dráhy s a rychlosti v v čase při nejvyšším středním zpomalení a_s a při nejkratší brzdné dráze s u samotného traktoru
- Obr. 7.6 Hmotnost prázdného přívěsu BSS 10 – 3 206 kg
- Obr. 7.7 Souprava traktor Zetor Forterra 12441 a prázdný přívěs BSS 10
- Obr. 7.8 Displej s výsledky měření při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,49 \text{ m.s}^{-2}$ - prázdný přívěs
- Obr. 7.9 Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u soupravy traktoru s prázdným přívěsem – celková hmotnost soupravy 8 880 kg
- Obr. 7.10 Průběh tlaku p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd zaznamenaný ze všech měření
- Obr. 7.11 Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při maximálním dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,49 \text{ m.s}^{-2}$
- Obr. 7.12 Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření
- Obr. 7.13 Hmotnost částečně naloženého přívěsu BSS 10 – 8 330 kg
- Obr. 7.14 Displej s výsledky měření při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,34 \text{ m.s}^{-2}$ – částečně naložený přívěs
- Obr. 7.15 Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u soupravy traktoru s částečně naloženým přívěsem – celková hmotnost soupravy 14 004 kg
- Obr. 7.16 Průběh tlaku p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd zaznamenaný ze všech měření
- Obr. 7.17 Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při maximálním dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,34 \text{ m.s}^{-2}$

- Obr. 7.18 Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření
- Obr. 7.19 Hmotnost plně naloženého přívěsu BSS 10 – 14 064 kg
- Obr. 7.20 Displej s výsledky měření při nejvyšším středním zpomalení $a_s = 3,27 \text{ m.s}^{-2}$ – plně naložený přívěs
- Obr. 7.21 Průběh středního zpomalení a_s v závislosti na ovládací síle F na brzdové pedály u soupravy traktoru s plně naloženým přívěsem – celková hmotnost soupravy 19 738 kg
- Obr. 7.22 Souprava traktor Zetor Forterra 12441 s plně naloženým přívěsem BSS 10
- Obr. 7.23 Průběh tlaku p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd zaznamenaný ze všech měření
- Obr. 7.24 Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při maximálním dosaženém středním zpomalení $a_s = 3,27 \text{ m.s}^{-2}$
- Obr. 7.25 Průběh tlaku vzduchu p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem tlaku brzd přívěsu při postupném zvyšování ovládací síly F na pedály brzd – statické měření
- Obr. 8.1 Komparace délek brzdných drah s vypočtených pro počáteční rychlost $v = 40 \text{ km.h}^{-1}$
- Obr. 8.2 Komparace maximálně dosažených středních zpomalení a_s
- Obr. 8.3 Průběh maximálních středních zpomalení a_s vzhledem k hmotnosti soupravy m
- Obr. 8.4 Komparace průběhů středních zpomalení a_s všech provedených měření v závislosti na střední ovládací síle F_s na brzdové pedály
- Obr. 8.3 Komparace průběhů středních zpomalení a_s všech provedených měření v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na brzdové pedály
- Obr. 8.6 Komparace naměřených tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem při různých hmotnostech přívěsu v průběhu reálných měření
- Obr. 8.7 Komparace tlaků p_1 před a p_2 za zátěžovým regulátorem při různých hmotnostech přívěsu při statickém měření na místě
- Obr. 8.8 Komparace průběhů tlaků p_2 za zátěžovým regulátorem v závislosti na střední ovládací síle F_s na pedály brzd

Obr. 8.9 Komparace průběhů tlaků p_2 za zátěžovým regulátorem v závislosti na maximální ovládací síle F_{max} na pedály brzd

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Tabulka měření brzd samotného traktoru Zetor Forterra 12441

Příloha 2 - Tabulka měření brzd traktoru Zetor Forterra 12441 a prázdného přívěsu BSS 10

Příloha 3 - Tabulka měření brzd traktoru Zetor Forterra 12441 a částečně naloženého přívěsu BSS 10 o hmotnosti 8 330 kg

Příloha 4 - Tabulka měření brzd traktoru Zetor Forterra 12441 a plně naloženého přívěsu BSS 10 o hmotnosti 14 064 kg

16 PŘÍLOHY

Příloha č.1

Tabulka měření brzd samotného traktoru Zetor Forterra 12441

Počáteční rychlost	Brzdná dráha	Předepsaná brzdná dráha dle 76/432/EHS	Střední ovládací síla na pedál brzd	Maximální ovládací síla na pedál brzd	Střední zpomalení
V_0	s	s	F_s	F_{max}	a_s
[km.h ⁻¹]	[m]	[m]	[N]	[N]	[m.s ⁻²]
40,7	43,6	20,39	147,4	182,4	1,47
39,3	32,9	19,21	164,7	201,5	1,81
40,1	37,4	19,88	161,8	201,8	1,66
39,9	31,1	19,71	183,8	217,1	1,98
41,0	31,9	20,64	190,3	233,7	2,03
40,5	28,3	20,22	205,5	248,5	2,24
40,6	30,3	20,30	207,7	250,6	2,10
41,2	26,3	20,81	214,3	256,2	2,49
39,9	28,8	19,71	206,3	261,7	2,13
40,1	25,3	19,88	204,2	263,6	2,45
41,7	26,6	21,25	232,3	279,6	2,52
39,0	25,0	18,96	224,3	281,3	2,35
40,8	23,4	20,47	241,6	293,4	2,75
40,8	24,2	20,47	230,7	300,0	2,66
41,2	23,3	20,81	237,0	302,8	2,81
39,9	22,8	19,71	252,4	310,7	2,70
40,3	21,7	20,05	263,1	321,0	2,89
40,8	22,3	20,47	250,2	333,1	2,88
41,4	22,3	20,99	258,5	333,9	2,97
42,1	23,6	21,59	268,5	335,6	2,90
40,7	22,7	20,39	281,6	341,3	2,82
41,1	23,4	20,73	265,7	350,3	2,79

41,1	22,8	20,73	272,7	359,3	2,86
40,9	20,2	20,56	285,8	373,4	3,20
41,4	19,4	20,99	318,9	380,6	3,41
41,9	20,9	21,42	319,3	383,7	3,24
40,2	19,4	19,96	293,5	384,4	3,22
39,8	18,1	19,63	307,5	395,7	3,38
39,9	19,5	19,71	310,5	400,9	3,15
40,0	19,2	19,79	298,4	405,9	3,22
40,5	18,0	20,22	337,9	407,9	3,52
41,5	19,7	21,07	303,5	409,7	3,38
38,9	18,3	18,88	298,6	413,5	3,19
40,5	19,0	20,22	339,6	443,4	3,33
41,1	17,9	20,73	367,6	462,2	3,64
39,3	17,3	19,21	364,7	479,9	3,45
41,1	17,5	20,73	380,7	489,7	3,73
41,5	18,3	21,07	374,4	499,9	3,63
41,2	18,1	20,81	375,9	512,5	3,62
41,2	17,9	20,81	386,1	523,1	3,66
41,1	17,5	20,73	390,8	526,7	3,73
41,2	17,4	20,81	415,2	572,3	3,77

Příloha č.2

Tabulka měření brzd traktoru Zetor Forterra 12441 a prázdného přívěsu BSS 10

Počáteční rychlost	Brzdná dráha	Střední ovládací síla na pedál brzd	Maximální ovládací síla na pedál brzd	Střední zpomalení	Tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu	Tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
V_0	s	F_s	F_{max}	a_s	p_1	p_2
[km.h ⁻¹]	[m]	[N]	[N]	[m.s ⁻²]	[kPa]	[kPa]
40,0	45,9	147,8	192,5	1,35	205	101
39,4	43,2	155,3	200,3	1,39	218	97
39,8	36,4	155,1	204,1	1,68	239	99
40,2	34,0	163,3	206,0	1,84	270	109
40,2	36,1	161,7	207,2	1,73	247	110
40,7	37,5	173,1	221,7	1,71	301	100
42,6	42,0	165,6	223,0	1,67	240	100
39,2	35,1	172,1	227,4	1,69	281	102
40,2	31,4	175,4	234,8	1,99	320	113
40,0	30,2	189,5	236,5	2,05	329	114
38,7	28,5	198,3	262,4	2,03	343	115
39,7	30,1	204,7	272,9	2,02	413	134
40,9	26,2	209,5	276,8	2,47	375	126
41,0	27,0	216,0	282,2	2,40	395	136
39,9	23,3	230,7	294,2	2,64	465	131
39,5	24,9	215,2	295,6	2,42	440	128
39,1	24,6	223,4	297,0	2,40	453	132
39,4	25,1	228,1	298,8	2,39	447	134
39,4	23,8	247,3	305,1	2,52	474	128
41,8	27,6	233,9	310,6	2,44	446	138
39,9	23,4	242,8	311,2	2,63	480	126
40,1	22,1	255,0	313,2	2,81	444	133

39,7	21,4	264,9	321,1	2,84	438	137
40,6	23,8	241,3	324,2	2,67	478	135
40,3	25,2	249,4	325,0	2,49	457	134
40,0	22,8	244,9	325,8	2,71	464	132
39,9	21,8	256,6	326,1	2,82	486	126
40,3	24,2	249,4	329,7	2,59	477	134
39,8	23,1	255,7	339,1	2,65	484	124
40,6	22,2	278,6	342,5	2,87	538	141
40,4	21,5	273,5	345,3	2,93	495	131
40,3	22,4	269,4	355,3	2,80	519	133
40,3	21,9	288,1	364,0	2,86	562	142
39,7	20,0	287,0	372,4	3,04	568	145
40,4	22,4	295,2	373,2	2,81	562	143
39,2	20,5	296,0	396,6	2,89	586	138
39,9	18,8	327,5	431,9	3,27	581	142
39,4	19,4	323,1	438,3	3,09	589	145
41,4	19,8	342,6	444,6	3,34	594	143
39,6	18,4	361,2	499,3	3,29	593	144
40,4	18,1	369,9	500,0	3,48	593	143
40,2	18,1	381,6	523,2	3,45	593	144
40,4	18,2	365,0	528,1	3,46	582	135
40,2	17,9	376,9	550,9	3,49	598	145

Příloha č.3

Tabulka měření brzd traktoru Zetor Forterra 12441 a částečně naloženého přívěsu

BSS 10 o hmotnosti 8 330 kg

Počáteční rychlost	Brzdná dráha	Střední ovládací síla na pedál brzd	Maximální ovládací síla na pedál brzd	Střední zpomalení	Tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu	Tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
V_0	s	F_s	F_{max}	a_s	p_1	p_2
[km.h ⁻¹]	[m]	[N]	[N]	[m.s ⁻²]	[kPa]	[kPa]
38,3	41,9	143,3	209,5	1,35	261	166
38,4	36,2	152,4	223,2	1,57	270	165
39,8	34,1	172,9	226,6	1,79	283	185
38,2	28,8	188,3	233,7	1,96	320	200
40,4	32,4	185,0	236,1	1,94	298	190
41,0	33,1	183,3	243,3	1,96	294	185
38,9	29,8	187,6	252,2	1,96	336	205
39,8	30,2	199,6	257,3	2,03	315	192
39,6	27,5	212,3	282,2	2,20	405	228
38,0	26,4	217,8	287,0	2,11	435	254
39,0	25,2	232,4	291,0	2,33	426	241
39,8	25,0	218,5	299,3	2,45	429	252
39,6	24,0	233,7	307,4	2,52	424	239
39,6	23,1	248,4	316,4	2,62	472	270
39,4	25,3	212,9	321,1	2,37	433	258
39,8	25,7	238,6	322,2	2,38	435	250
40,2	24,2	234,4	335,4	2,58	447	252
39,0	23,0	247,8	340,1	2,55	469	267
40,4	22,4	259,6	348,4	2,81	508	276
39,0	22,4	261,5	353,1	2,62	517	283
41,9	23,8	266,4	353,7	2,85	482	268

41,0	22,7	273,9	356,2	2,86	488	280
38,3	19,4	283,6	374,1	2,92	555	288
39,7	22,5	270,6	379,0	2,70	497	275
39,5	20,6	278,2	382,9	2,92	511	285
39,6	20,6	303,5	407,1	2,94	573	292
40,9	20,4	307,8	431,2	3,17	584	307
39,5	19,0	326,3	435,2	3,17	582	301
39,4	19,4	331,7	439,0	3,09	572	292
40,4	19,7	315,0	441,6	3,20	601	298
41,4	20,9	305,6	447,8	3,17	584	298
39,2	18,9	341,2	449,2	3,14	582	291
40,2	19,8	337,3	450,4	3,15	561	294
40,6	19,6	331,8	463,1	3,25	590	303
39,6	18,9	350,5	468,8	3,20	610	302
40,9	19,7	359,0	485,3	3,28	592	303
40,9	19,4	390,9	542,2	3,33	597	297
40,3	18,8	376,2	559,3	3,34	606	309

Příloha č.4

Tabulka měření brzd traktoru Zetor Forterra 12441 a plně naloženého přívěsu BSS 10
o hmotnosti 14 064 kg

Počáteční rychlost	Brzdná dráha	Střední ovládací síla na pedál brzd	Maximální ovládací síla na pedál brzd	Střední zpomalení	Tlak před zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu	Tlak za zátěžovým regulátorem tlaku vzduchu
V_0	s	F_s	F_{max}	a_s	p_1	p_2
[km.h ⁻¹]	[m]	[N]	[N]	[m.s ⁻²]	[kPa]	[kPa]
39,1	34,8	166,5	243,3	1,70	305	268
37,2	35,5	155,1	243,7	1,51	280	232
38,9	32,1	177,3	248,4	1,82	315	271
39,7	39,4	158,2	250,2	1,54	285	238
38,6	35,3	169,5	250,2	1,63	291	249
37,9	29,7	194,9	255,0	1,87	324	281
41,2	39,7	174,0	257,8	1,65	294	241
37,6	29,9	190,4	262,4	1,83	333	281
38,9	28,9	181,5	280,1	2,02	353	299
37,8	28,3	194,7	282,7	1,95	338	300
40,7	30,3	204,8	285,4	2,11	337	283
37,7	28,5	200,6	300,1	1,93	355	297
37,8	26,9	191,0	302,6	2,05	358	314
40,5	30,1	209,9	303,5	2,10	390	342
39,5	30,2	211,9	306,9	1,99	386	337
36,7	24,9	211,7	309,7	2,09	406	363
38,5	27,4	213,1	311,0	2,09	374	312
37,9	26,2	214,0	322,3	2,12	412	361
37,3	21,2	237,5	331,4	2,53	437	387
41,1	26,7	221,2	337,2	2,44	408	358
38,1	23,1	227,4	354,2	2,43	445	398

41,1	25,0	249,9	357,4	2,61	430	382
40,9	23,2	266,0	376,8	2,78	457	404
41,1	24,7	270,9	382,0	2,64	493	441
38,1	20,8	266,0	386,8	2,69	464	417
38,1	20,8	270,9	401,2	2,69	511	459
38,2	19,8	305,6	412,0	2,85	533	481
39,4	20,7	275,3	416,7	2,90	522	471
39,4	20,0	290,4	424,1	3,00	521	471
37,6	19,0	314,9	433,6	2,87	533	479
39,8	20,0	312,3	437,6	3,06	538	488
40,7	20,8	288,7	447,7	3,07	542	493
40,9	21,0	285,4	475,7	3,08	558	499
39,9	18,9	339,9	480,7	3,25	583	544
39,4	20,2	322,7	481,2	2,97	561	505
39,3	19,2	336,0	484,4	3,11	574	521
38,2	19,2	313,5	490,5	2,93	574	520
41,0	20,9	322,4	492,6	3,11	569	518
40,0	19,0	388,7	509,1	3,25	572	519
40,5	19,4	344,6	510,2	3,26	594	542
38,1	19,0	321,3	520,3	2,95	578	525
38,9	19,0	328,5	523,5	3,08	578	530
40,0	19,1	354,5	538,0	3,23	595	543
39,8	18,8	359,7	573,6	3,27	601	553