



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**MĚŘENÍ ZPOMALENÍ NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ NAD
12 TUN PŘI BRZDĚNÍ MOTOREM**

MEASURING OF DECELERATION OF HEAVY GOODS VEHICLES (GREATER THAN 12 TONNES) WHEN
SLOWING DOWN USING THE MOTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Daniel Süttő

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav soudního inženýrství
Student: **Ing. Daniel Süttő**
Studijní program: Soudní inženýrství
Studijní obor: Expertní inženýrství v dopravě
Vedoucí práce: **Ing. Albert Bradáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Měření zpomalení nákladních automobilů nad 12 tun při brzdění motorem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkoly:

1. Rešerše dostupné literatury.
2. Zpracování teoretické části (jízdní odpory, převodové poměry, ...).
3. Návrh experimentální části (počet vozidel, převodové stupně, výchozí rychlosti, zatížení vozidel, retardér).
4. Zajištění dostatečného počtu vozidel pro měření.
5. Provedení měření.
6. Statistické vyhodnocení a učinění závěrů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce bude změření a vyhodnocení zpomalení dostatečného reprezentativního vzorku nákladních automobilů nad 12 tun při brzdění motorem na různé rychlostní stupně z různých rychlostí.

Seznam literatury:

VLK, František. Stavba motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2003, 499 s. ISBN 80-238-8757-2.

VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 392 s. ISBN 80-239-0026-9.

VLK, František. Převodová ústrojí motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 312 s. ISBN 80-239-0025-0.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s.

ISBN 80-239-0024-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá meraním spomalenia nákladných vozidiel pri brzdení motorom. Hmotnosť daných vozidiel je väčšia ako 12 t. Diplomovú prácu je možné rozčleniť na teoretickú časť a na praktickú časť.

V teoretickej časti sú vymedzené odborné predpoklady k úspešnému zvládnutiu danej problematiky. Dôraz sa kladie na konštrukciu nákladných vozidiel a na jazdné odpory, ktoré značne ovplyvňujú priebeh spomalenia. Diplomová práca rozoberá aj technické riešenie jednotlivých možností brzdenia a tiež funkciu prevodovky.

V praktickej časti je popísaná metodika merania. Uvedené sú tiež meracie prístroje, prostredníctvom ktorých sa merania realizovali. Hlavnú časť práce tvoria namerané hodnoty jednotlivých nákladných vozidiel a samotná interpretácia nameraných hodnôt. V závere diplomovej práce je uvedené výsledné hodnotenie nameraných dát.

Abstract

This thesis is dealing with measuring the deceleration of lorries when they are braked by the engine. The weight of the vehicles given is bigger than 12 tons. The thesis can be divided into theoretical and practical part.

In the theoretical part there are special presumptions to manage the given problem successfully. The stress is on the construction of lorries and on driving resistances which influence the process of deceleration a lot. The thesis also analyses the technical solution of each possibilities of braking and also the function of the gearbox.

In the practical part the method of measuring is described. The measurement devices are also given through which the measurements were realized. The main part of this work is made by measured values of each lorries and the interpretation of measured values itself. The final evaluation of measured data are mentioned at the end of the thesis.

Kľúčové slová

Nákladné vozidlo, jazdné odpory, spomalenie, brzdenie motorom, motorová brzda, retardér.

Keywords

Lorry, driving resistances, deceleration, engine breaking, exhaust valve brake, retarder.

Bibliografická citácia

SÜTTŐ, D. *Měření zpomalení nákladních automobilů nad 12 tun při brzdění motorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 86 s. Vedúci diplomovej práce Ing. Albert Bradáč, Ph.D..

Prehlásenie

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Albert Bradáč, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dňa

.....

podpis diplomanta

Pod'akovanie

Úprimne ďakujem vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Albertovi Bradáčovi, Ph.D. za rady, pripomienky a za priateľskú atmosféru pri konzultácií diplomovej práce. Úprimne ďakujem aj pánovi Ing. Milanovi Svozilovi a pánovi Ing. Petrovi Zemanovi za prejavenu ochotu a pomoc pri sprostredkovaní možností uskutočniť merania na nákladných vozidlách.

Ďakujem mojim rodičom, bratovi, starým rodičom, mojej priateľke ako aj mojim kamarátom za neustálu podporu počas celého vysokoškolského štúdia.

OBSAH

ÚVOD	12
1 NÁKLADNÉ VOZIDLÁ	13
2 KONŠTRUKCIA NÁKLADNÝCH VOZIDIEL	15
2.1 Podvozok	15
2.2 Hnacie ústrojenstvo	16
2.2.1 Umiestnenie motora	17
2.2.2 Odpruženie nákladných vozidiel	18
2.3 Kabína vodiča	19
2.3.1 Výhľad z kabíny	19
2.4 Nadstavba	20
3 SPAĽOVACÍ MOTOR	21
3.1 Hlavné časti motora	21
3.2 Princíp činnosti	22
3.2.1 Štyri pracovné obehý	23
3.3 Preplňovanie motora turbodúchadlom	24
3.3.1 Princíp preplňovania motora turbodúchadlom	24
4 JAZDNÉ ODPORY	26
4.1 Odpor valivý	26
4.1.1 Povrch vozovky	27
4.1.2 Deformácia pneumatiky	27
4.1.3 Rýchlosť vozidla	28
4.2 Odpor vzdušný	29
4.2.1 Súčiniteľ odporu vzduchu	30
4.2.2 Merná hmotnosť vzduchu	30
4.2.3 Čelná plocha vozidla	31
4.2.4 Výsledná (náporová) rýchlosť	32
4.3 Odpor stúpania	32
4.4 Odpor zrýchlenia	32
4.5 Odpor prívěsu	33
4.6 Celkový jazdný odpor	33
5 BRZDENIE	35
5.1 Brzdenie motorom	35
5.2 Spomaľovacie brzdy (odľahčovacie brzdy)	36

5.2.1	<i>Výfuková brzda</i>	36
5.2.2	<i>Motorová brzda</i>	37
5.2.3	<i>Elektromagnetická vírivá brzda</i>	38
5.2.4	<i>Hydrodynamická brzda</i>	40
5.2.5	<i>Porovnanie účinnosti jednotlivých typov odľahčovacích brzd</i>	41
6	PREVODOVKY	42
6.1	Prevodové pomery	42
6.2	Redukcia	44
6.2.1	<i>Rozsahová redukcia</i>	44
6.2.2	<i>Deliaca redukcia</i>	44
7	METODIKA MERANIA	45
7.1	Meranie vozidla Mercedes-Benz Actros 2546	45
7.1.1	<i>Miesto merania</i>	45
7.1.2	<i>Atmosferické podmienky</i>	46
7.1.3	<i>Mercedes-Benz Actros 2546</i>	46
7.2	Meranie vozidla DAF XF105.460 SC	47
7.2.1	<i>Miesto merania</i>	47
7.2.2	<i>Atmosferické podmienky</i>	48
7.2.3	<i>DAF XF105.460 SC</i>	48
7.3	Meranie vozidla Scania R410	49
7.3.1	<i>Miesto merania</i>	49
7.3.2	<i>Atmosferické podmienky</i>	50
7.3.3	<i>Scania R410</i>	50
7.4	Meranie spomalenia vozidiel	51
7.4.1	<i>Použité meracie prístroje</i>	52
7.4.2	<i>Postup pri meraní prístrojom Inventure XL meter Pro</i>	53
7.4.3	<i>Postup pri meraní prístrojom Racelogic PerformanceBox</i>	54
8	VÝSLEDKY MERANIA	55
8.1	Mercedes-Benz Actros 2546	55
8.1.1	<i>Meranie naloženého nákladného vozidla</i>	55
8.1.2	<i>Meranie prázdneho nákladného vozidla</i>	59
8.2	DAF XF105.460 SC	59
8.2.1	<i>Meranie naloženého nákladného vozidla</i>	60
8.2.2	<i>Meranie prázdneho nákladného vozidla</i>	62

8.2.3 Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia.....	64
8.3 Scania R410	64
8.3.1 Meranie naloženého nákladného vozidla	65
8.3.2 Meranie prázdneho nákladného vozidla.....	72
8.3.3 Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia.....	74
ZÁVER.....	76
POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE	77
ZOZNAM OBRÁZKOV	79
ZOZNAM TABULIEK.....	82
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	84
ZOZNAM PRÍLOH	86

ÚVOD

Nedeliteľnou súčasťou nášho každodenného života je nákladné vozidlo. Každý deň sa po celom svete prevážajú milióny ton tovaru. Prvé nákladné vozidlo bolo verejnosti predstavené po desaťročnom odstupe po tom, čo svetlo sveta uzrel prvý osobný automobil. Prelomový bol rok 1896, kedy Gottlieb Daimler skonštruoval a zrealizoval prvé nákladné vozidlo na svete. Výkon jeho nákladného vozidla mal necelých 3 kW, dokázal prevážať tovar s hmotnosťou 1,5 t. 120 rokov je dlhá doba. Počas tohto obdobia prechádzalo nákladné vozidlo mnohými vývojovými etapami. Dnešná podoba nákladného vozidla vznikla vďaka pokrokovým nápadom a inovatívnym schopnostiam konštruktérov a dizajnérov. Pasívna a aktívna bezpečnosť, poskytovaná vozidlom, hrala významnú úlohu vo všetkých vývojových etapách. Brzdová sústava je najdôležitejším faktorom pri zabezpečení aktívnej bezpečnosti.

Pri spracovaní problematiky diplomovej práce s názvom: „Meranie spomalenia nákladných automobilov nad 12 ton pri brzdení motorom“, bolo mojou snahou spracovať a poskytnúť vierohodné informácie o spomalení nákladného vozidla pri brzdení motorom.

V teoretickej časti diplomovej práce som mal za úlohu pripraviť teoretický základ pre zoznámenie sa s nákladnými vozidlami. Zameral som sa na dôležitosť jazdných odporov, ktoré majú značný vplyv na samotnú jazdu. V práci som tiež spomenul technické riešenie jednotlivých spôsobov brzdenia, technické riešenie prevodoviek. Tie tvoria nedeliteľnú súčasť každého jednotlivého vozidla. Hlavnú časť diplomovej práce tvoria namerané hodnoty spomalenia. Meranie sa uskutočnilo na troch rôznych nákladných vozidlách. Rozdiely hodnôt spomalenia jednotlivých vozidiel závisia od typov ich prevodoviek, od typov namontovaných odľahčovacích brzd. To má podstatný vplyv na konečné výsledky priečného spomalenia. Dva z vozidiel boli vybavené 12 stupňovou automatickou prevodovkou. Jedno vozidlo bolo vybavené 16 stupňovou manuálnou prevodovkou. Odľahčovacie brzdy vytvárali podstatné technické rozdiely vo vybavenosti vozidiel. Jedno vozidlo bolo vybavené 5 stupňovou hydrodynamickou odľahčovacou brzdou.

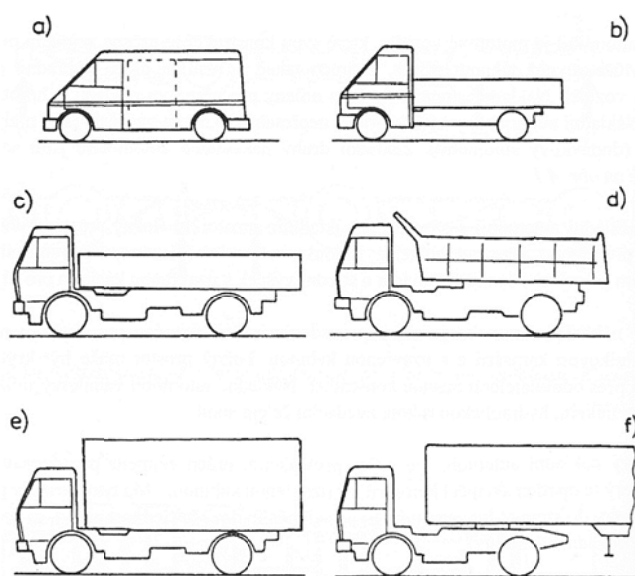
Dôležitá je konečná interpretácia dosiahnutých výsledkov a vzájomné porovnanie nameraných dát.

1 NÁKLADNÉ VOZIDLÁ

Nákladné vozidlo je typ úžitkového vozidla, ktoré slúži najmä na prepravu užitočného nákladu nad 1,5 t. Nákladné vozidlá, ktorých hmotnosť nepresahuje 3,5 t sa označujú ako malé nákladné vozidlá. Základné druhy nákladných vozidiel sú nasledovné:

- pikap,
- valníkové nákladné vozidlo,
- sklápacie nákladné vozidlo,
- skriňové nákladné vozidlo,
- furgon.

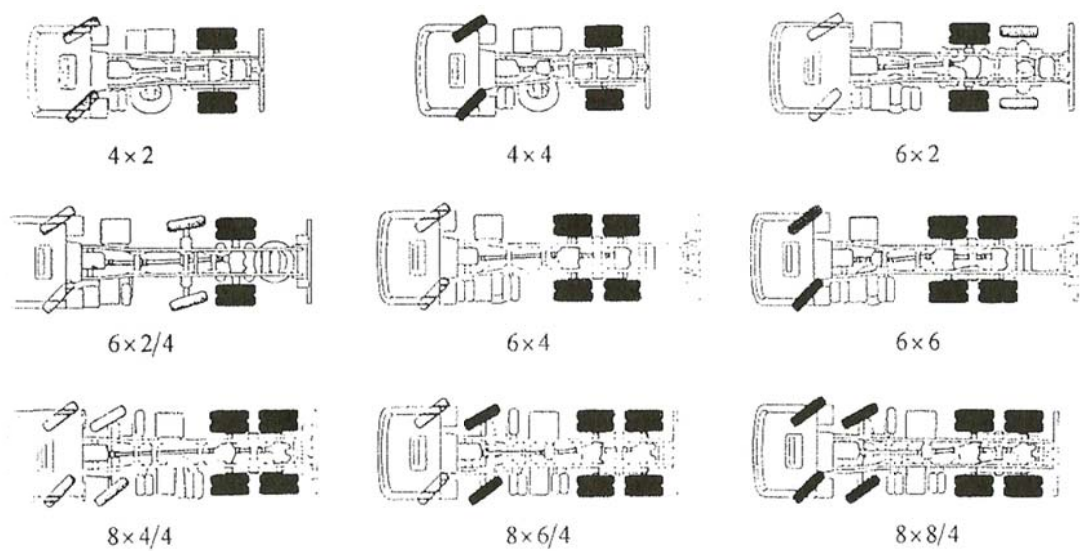
Na nasledujúcom obrázku som znázornil jednotlivé typy nákladných vozidiel: a) skriňové dodávkové vozidlo, b) valníkové dodávkové vozidlo, c) valníkové nákladné vozidlo, d) sklápacie nákladné vozidlo, e) skriňové nákladné vozidlo, f) ťahač návesov. (6, s. 113–114)



Obr. č. 1 – Základné druhy nákladných vozidiel [6]

U nákladných vozidiel sa bežne používa tzv. kolesová formula. Podľa tejto formule je možné poznať, koľko kôl je poháňaných. Napr. označenie 4×4 znamená, že vozidlo má štyri kolesá a zároveň sú všetky poháňané. Pri označení 6×4 je teda zreteľné, že z celkovo šiestich kolies sú poháňané štyri. (6, s. 120)

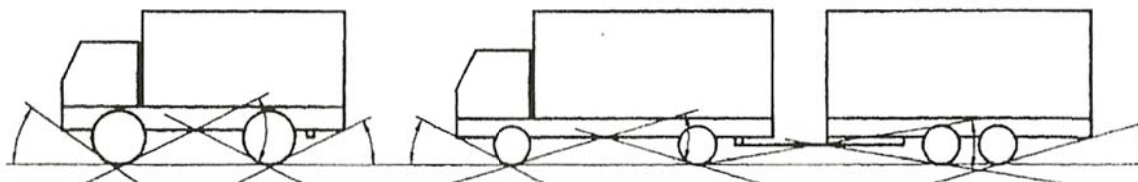
Na obr. č. 2 uvádzam rôzne možnosti prevedenia pohonu a podvozkov nákladných vozidiel značky MAN.



Obr. č. 2 – Druhy pohonu a podvozkov pre nákladné vozidlá MAN [6]

2 KONŠTRUKCIA NÁKLADNÝCH VOZIDIEL

Norma ČSN 30 0026 a odporúčanie Medzinárodnej organizácie pre štandardizáciu ISO/R 612 stanovuje základné rozmery nákladných vozidiel. Na obr. č. 3 je znázornený predný a zadný nájazdový uhol pre nákladné vozidlo a pre nákladné vozidlo s prívesovou súpravou. (6, s. 121)



Obr. č. 3 – Predný a zadný nájazdový uhol pre rôzne vozidlové koncepcie [6]

Bežné nákladné vozidlo sa skladá z troch hlavných častí:

- podvozok,
- kabína vodiča,
- nadstavba.

2.1 PODVOZOK

Pod pojmom podvozok rozumieme nasledujúce časti: rám, náprava, motor a ďalšie agregáty. Centrálnu jednotku nákladného vozidla tvorí rám.

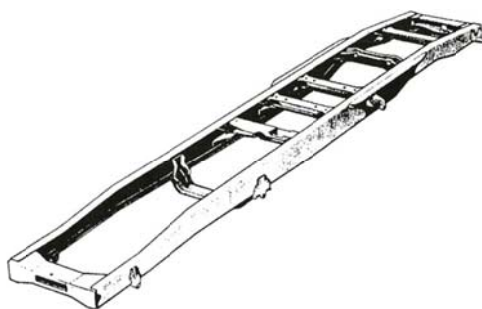
Účelom podvozkového rámu je:

- spájať medzi sebou nápravy,
- niesť karosériu a náklad a zároveň prenášať ich tiaž na nápravu,
- niesť hnaciu skupinu vozidla (motor, prevody a príslušenstvo),
- prenášať hnacie, brzdné a posuvné sily medzi nápravami a karosériou. (1, s. 29)

Na rám sú kladené vysoké požiadavky. Týka sa to hlavne pružnosti, tuhosti, pevnosti a nízkej hmotnosti.

Rám nákladného vozidla býva spravidla rebrinový. Rebrinový rám sa skladá z dvoch pozdĺžnikov a niekoľkých priečnikov. Geometria rámov a prierezy rámu sú prispôbované na účel použitia vozidla. Na to, aby bola zaručená lepšia jazdná stabilita u vozidiel používaných na rozvážku tovaru, resp. na diaľkovú dopravu, je nutné mať rám s vysokou tuhosťou v krute. Za účelom udržania potrebnej dráhy v medziach, slúžiacich pre prepruženie podvozku

u terénnych vozidiel, je požadované, aby bol rám na krut mäkký. Rámy, ktoré sú tuhé na ohyb a na krut, majú rybinový tvar. Tento tvar dodáva rámu v hlavných záťažových oblastiach mäkký. Je to v oblasti za kabinou vodiča a v oblasti ťažiska nákladu. Rybinový tvar rámu (tvar „rybie brucho“) vzniká tým, že priečny prierez rámu je v závislosti na zaťažení vozidla premenlivý. Sklápacie vozidlá majú často miestne zosilnenie pomocou U-profilov. (6, s. 131)

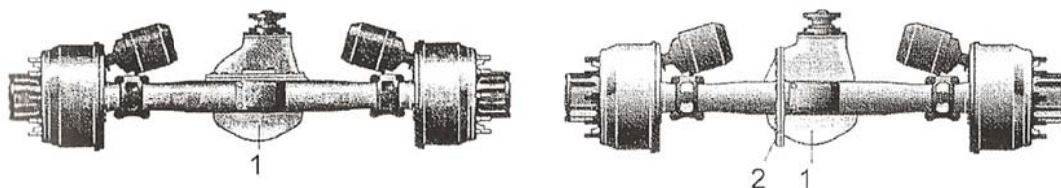


Obr. č. 4 – Konštrukčné prevedenie rebrinového rámu [6]

„Okrem vertikálneho zaťaženia podvozku môže byť rám zaťažovaný taktiež veľkými bočnými silami, ktoré vytvárajú v pozdĺžnikoch priečny ohyb a zároveň sa snažia štruktúru rebriňového rámu rovnobežne posunúť. Toto vzniká najmä u vozidiel s dlhým rázvorom, u vozidiel s tandemovými nápravami pri zatáčaní na spevnenej alebo rozjazdenej vozovke a tiež u vozidiel s dlhým zadným previsom pri ťahaní prívesu.“ (6, s. 133)

2.2 HNACIE ÚSTROJENSTVO

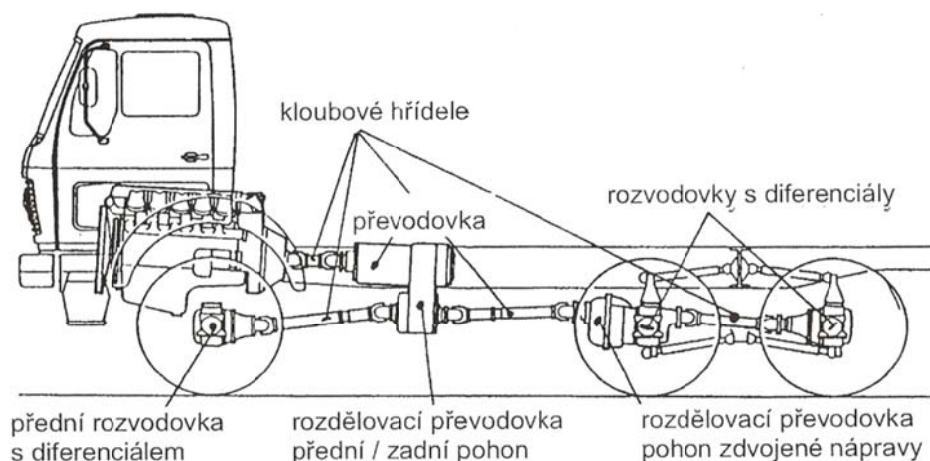
Nákladné automobily majú väčšinou tuhú hnaciu nápravu s diferenciálom. Na obr. č. 5 sú znázornené dva obvyklé konštrukčné typy. Náprava typu „banjo“ má výhodu v tom, že sa celá rozvodovka s diferenciálom montuje ako samostatná konštrukčná skupina. Delená tuhá náprava má rozvodovku zloženú z dvoch častí. Jednotlivé nápravy sa nedajú rozložiť. Dodatočná úprava a nastavovanie je veľmi nákladné, z tohto dôvodu sa používajú tieto nápravy iba u dodávkových vozidiel. Nedelené hnacie nápravy majú výhodu iba v nižších výrobných nákladoch. (6, s. 145)



Obr. č. 5 – Vľavo: nedelená tuhá hnacia náprava „banjo“. Vpravo: delená tuhá hnacia náprava [6]

Pod označením číslo 1 na obr. č. 5, je znázornená rozvodovka a pod číslom 2 je znázornené priečne delenie.

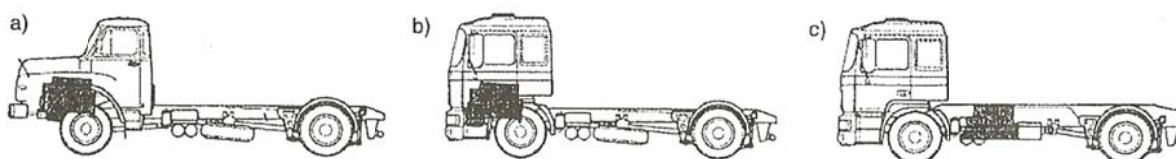
Na obr. č. 6 je znázornené hnacie ústrojenstvo nákladného vozidla s čelnou kabínou. Prevod točivého momentu je rozdelený pomocou rozdeľovacej prevodovky na prednú a zadnú nápravu. U tohto modelu je zreteľné technické riešenie pohonu zadných náprav pomocou rozvodovky s diferenciálom. Tým je umožnený pohon všetkých kolies.



Obr. č. 6 – Hnacie ústrojenstvo nákladného vozidla so zdvojenou zadnou nápravou [6]

2.2.1 Umiestnenie motora

U nákladných vozidiel jestvujú tri rôzne usporiadania motora: a) kapotová kabína, b) čelná kabína a c) podpodlažný motor. (6, s. 124)



Obr. č. 7 – Usporiadanie motora u nákladných vozidiel [6]

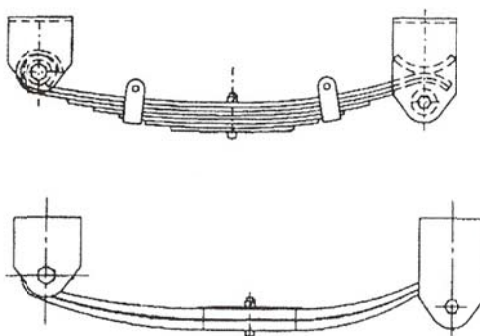
Základné princípy usporiadania hnacieho ústrojenstva nákladných vozidiel majú podobnú koncepciu ako osobné vozidlá. Motor je umiestnený vpredu a spojovací hriadeľ je vedený do rozvodovky na zadnej náprave. (6, s. 126)

Motor umiestnený za prednou nápravou zväčšuje priestor pre osádku vozidla. Vďaka tejto konštrukčnej metóde je možné použiť čelnú kabínu a tým zvýšiť ložnú plochu vozidla. (6, s. 126)

2.2.2 Odpruženie nákladných vozidiel

Na odpruženie jednoduchých náprav nákladných vozidiel sa používajú listové pružiny, parabolické pružiny alebo vzduchové vaky. (6, s. 148)

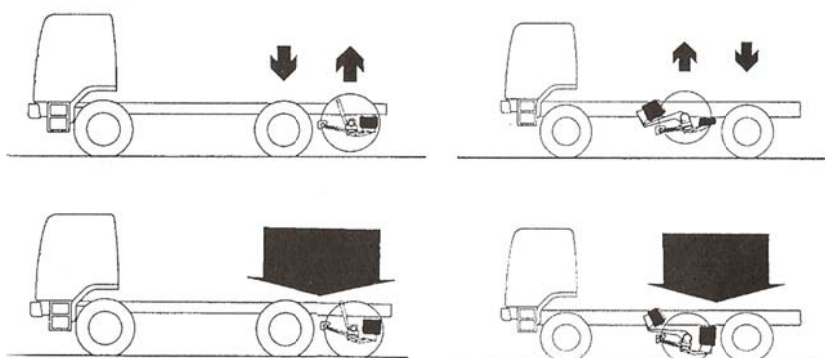
Na obr. č. 8 je znázornené odpruženie jednoduchej nápravy listovými pružinami (horný obrázok) a parabolickými pružinami (dolný obrázok)



Obr. č. 8 – Odpruženie nápravy listovými a parabolickými pružinami [6]

Za účelom vykompenzovania veľkého rozdielu hmotnosti medzi prázdny a plne naloženým nákladným vozidlom, ktoré je vybavené listovými alebo parabolickými pružinami, sa montujú tzv. prídavné pružiny. Tieto prídavné pružiny sú v činnosti len v prípade naloženého vozidla.

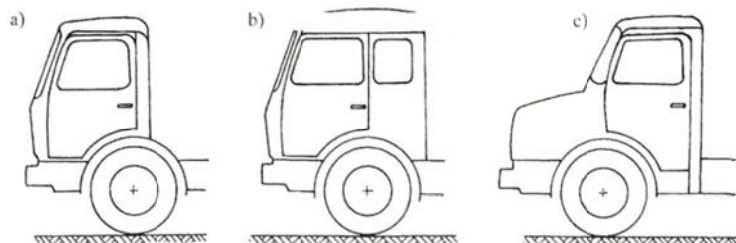
Z ekonomických dôvodov sa u nákladných automobilov používajú zdvíhateľné zadné nápravy (znázornené na obr. č. 9). Touto konštrukciou je možné získať zvýšenie užitočnej hmotnosti až o 12 t. Pri jazde prázdneho alebo čiastočne naloženého vozidla sa šetria pneumatiky a zároveň sa znižuje valivý odpor. Pri ťažkých cestných podmienkach je výhodou zadnej zdvíhateľnej nápravy možnosť krátkodobého zvýšenia trakcie hnacej nápravy. (6, s. 150)



Obr. č. 9 – Schéma usporiadania zdvíhateľnej nápravy: vľavo – vlečná náprava, vpravo – tlačaná náprava [6]

2.3 KABÍNA VODIČA

Existujú tri typy prevedenia kabín nákladných vozidiel: a) čelná, b) čelná s priestorom na spanie a c) kapotová, pričom čelná umožňuje sklopenie kabíny smerom dopredu¹.

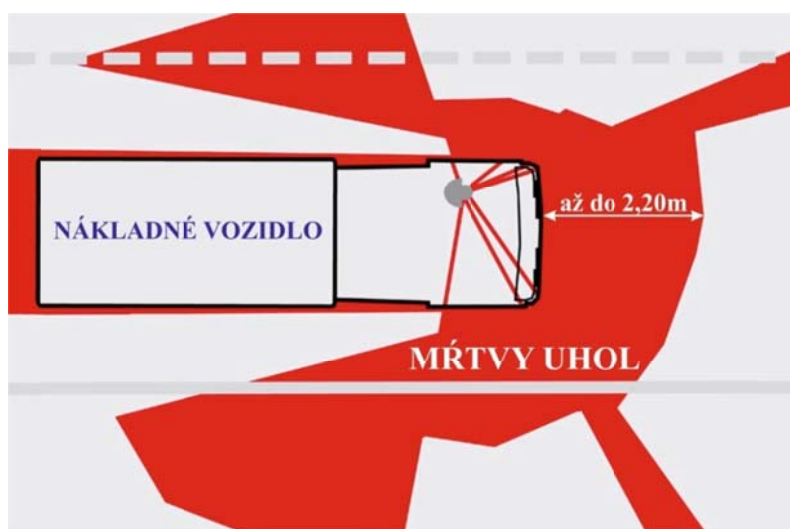


Obr. č. 10 – Druhy kabín vodiča u nákladných vozidiel [6]

2.3.1 Výhľad z kabíny

Výhľad z kabíny vodiča nákladných vozidiel je obmedzený. Existujú určité oblasti, tzv. mŕtve uhly, ktoré vodič z kabíny nákladného vozidla nie je schopný zaznamenať. Je to spôsobené celkovou veľkosťou a konštrukciou daného vozidla.

Oblasti, ktoré vodič nákladného vozidla nie je schopný vidieť, sú vyznačené na nasledujúcom obrázku červenou farbou.



Obr. č. 11 – Oblasti mŕtveho uhlu [19]

Z obr. č. 11 je zrejmé, že sa jedná o štyri hlavné oblasti:

- tesne pred vozidlom,
- za vozidlom,
- časť ľavej strany vozidla,
- a obzvlášť nebezpečná pravá strana.

¹ Je to z dôvodu prístupu k motoru.

Vodič, ktorý nie je schopný zaznamenať celú časť pravej vozovky, ohrozuje pri odbočení doprava iných účastníkov cestnej premávky. Jedná sa najmä o motocyklistov a cyklistov.

Existuje mnoho riešení ako redukovať, prípadne úplne vyradiť mŕtvy uhol. Jedným z týchto možností je použitie viacerých zrkadiel.

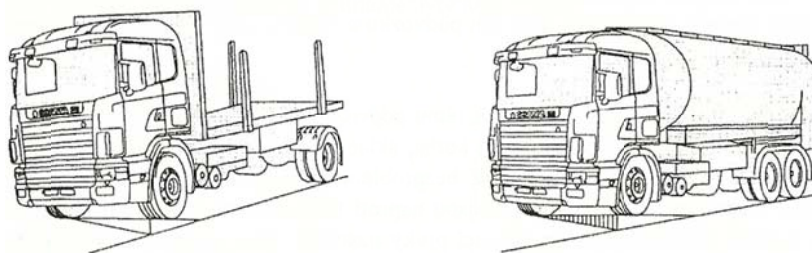


Obr. č. 12 – Použitie viacerých zrkadiel na minimalizovanie mŕtveho uhlu [9]

2.4 NADSTAVBA

K tomu, aby nákladné vozidlo mohlo byť vybavené rôznymi nadstavbami, je potrebné, aby sa na podvozok namontoval tzv. pomocný rám. Pomocný rám sa zvyčajne upevňuje na rebrňový rám podvozku. Pre optimálny prenos síl musí mať pomocný rám po celej dĺžke rovnakú vonkajšiu šírku ako rám podvozku. Zároveň musí sledovať jeho vonkajší obrys. (6, s. 135)

„Voľba prvkov pre pripevnenie nadstavby k rámu podvozku sa v prvom rade riadi podľa torznej tuhosti nadstavby. Pevná valníková korba, sklápacia a návesová točnica sú príklady pre torzne mäkké nadstavby. Tieto môžu pri jazde bezproblémovo sledovať skrútenie podvozku. Cisterna, silo alebo samonosné skrine sú naproti tomu extrémne tuhé na krut a predstavujú preto zvláštne požiadavky na upevňovacie prvky nadstavby. Tieto upevňovacie prvky musia v extrémnych situáciách pripustiť obmedzenie a nazdvihnutie nadstavby.“ (6, s. 135)



Obr. č. 13 – Porovnanie nadstavby s malou torznou tuhosťou (vľavo) a s veľkou torznou tuhosťou (vpravo) [6]

3 SPALOVACÍ MOTOR

„Spaľovací motor (v širšom zmysle) je stroj, ktorý spálením paliva premieňa jeho chemickú energiu na mechanickú prácu. K spaľovaniu paliva alebo palivovej zmesi môže dochádzať v motore ale aj mimo motora. V užšom zmysle sa pod pojmom spaľovací motor spravidla rozumie piestový spaľovací motor.“ [18]

Spaľovacie motory možno rozdeliť do niekoľkých skupín:

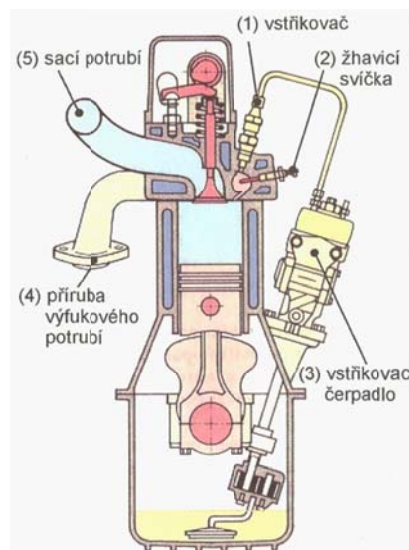
- v závislosti od toho, kde dochádza k spaľovaniu:
 - motory s vnútorným spaľovaním,
 - motory s vonkajším spaľovaním,
- podľa pracovného cyklu na:
 - motory s kontinuálnym pracovným cyklom (spaľovacia turbína),
 - motory s prerušovaným pracovným cyklom (dvojdobý, štvordobý motor),
- podľa základného pracovného princípu na:
 - piestové spaľovacie motory (motory s priamočiarym vratným pohybom piesta, motory s krúživým pohybom piesta),
 - lopatkové motory,
 - reaktívne motory,
- podľa spôsobu vyvolania spaľovania na:
 - zážihové,
 - vznietové,
 - motory s kombinovaným zapáľovaním. [18]

V dnešnej dobe sú u nákladných vozidiel najviac využívané vznietové preplňované motory. Ich funkciu a hlavné časti popíšem v nasledujúcej kapitole.

3.1 HLAVNÉ ČASTI MOTORA

Vznietový motor používaný v motorových vozidlách má v podstate rovnaké hlavné časti ako motor zážihový. Motor sa skladá z týchto štyroch hlavných konštrukčných skupín a príslušenstva:

- pevné časti motoru: veko hlavy valcov, hlava valcov, valce, kľuková skriňa a spodné veko motora,
- kľukové ústrojenstvo: piesty, ojnice, kľukový hriadeľ,
- ventilový rozvod: ventily, ventilové pružiny, rozvodové páky alebo ventilové vahadlá, vačkový hriadeľ, rozvodové kolesá, reťaz alebo ozubený rozvodový remeň pre pohon ventilového rozvodu a vstrekovacieho čerpadla,
- palivový systém: vstrekovacie čerpadlo s regulátorom a presuvníkom vstreku, palivové podávacie čerpadlo, čistič paliva, vstrekoval so vstrekovacou tryskou,
- príslušenstvo motora: mazanie a chladenie motora, výfukové potrubie a zariadenie pre spúšťanie studeného motora. (1, s. 29)



Obr. č. 14 – Hlavné časti štvordobého vznetového motora [1]

3.2 PRINCÍP ČINNOSTI

Vznetový motor je tiež známy ako "samozapaľovací". Na rozdiel od zážihového motora, kde sa nasáva zmes paliva a vzduchu, je vo vznetovom motore nasávaný čistý vzduch. Tento čistý vzduch je tak silno stlačený v spaľovacej komore, až sa získa zahriatie na 700 °C. Následne sa do horúceho vzduchu strekne nafta. Vplyvom veľkej teploty nastane samovznietenie.

Aj napriek týmto rozdielom sú si zážihové a vznetové motory podobné v štvortaktnom princípe.

3.2.1 Štyri pracovné obeh

1. doba – nasávanie:

piest sa pohybuje z hornej úvrati (HÚ) do dolnej úvrati (DÚ). Cez otvorený sací ventil je nasávaný vzduch do spaľovacieho priestoru.

2. doba – kompresia:

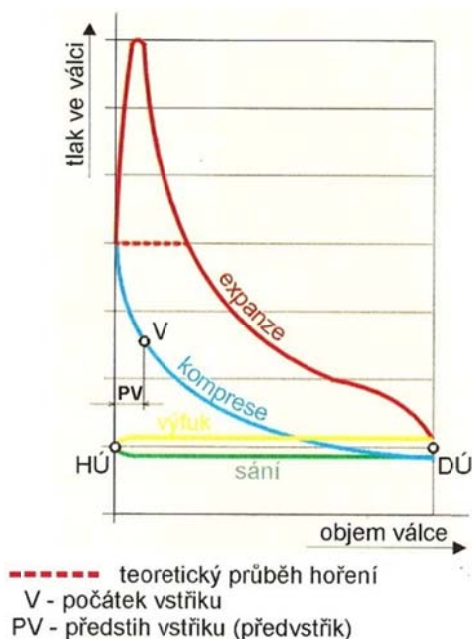
nasávacie a výfukové ventily sú uzavreté. Piest sa pohybuje z DÚ do HÚ. Veľkým stlačením a vzniknutým tlakom sa vzduch zohreje na 600 – 900 °C.

3. doba – expanzia:

oba ventily sú zatvorené. Tesne pred HÚ vstrekuje vstrekovač naftu do stlačeného vzduchu. Nasleduje vznietenie. Spálené plyny sa rozpínajú a tlačia piest do DÚ. Táto jediná doba koná prácu, ktorú ojnica ďalej prenáša na kľukový hriadeľ.

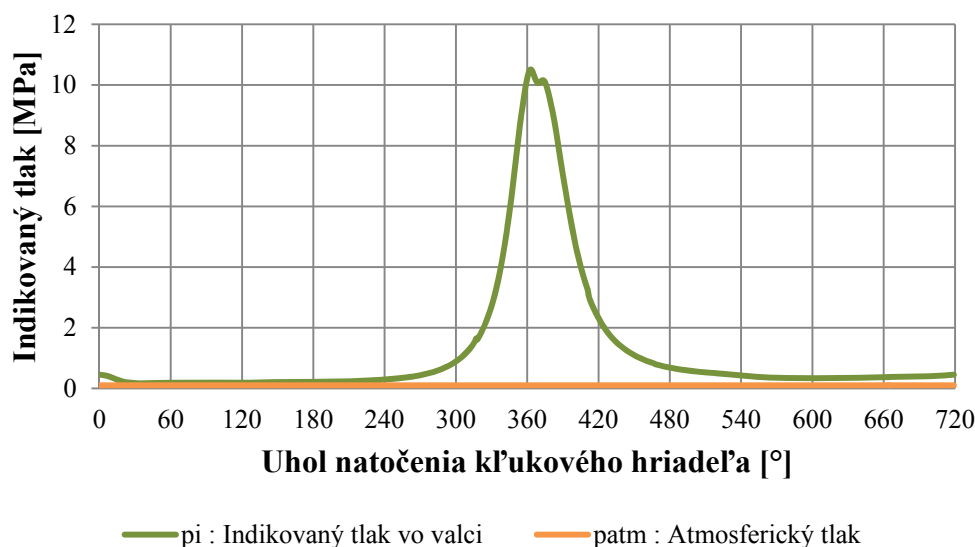
4. doba – výfuk:

piest sa pohybuje z DÚ do HÚ. Cez otvorené výfukové ventily vytláča piest spaliny cez výfuk do ovzdušia. Výfukový ventil sa zatvára tesne za HÚ.



Obr. č. 15 – Indikátorový diagram štvordobého vznetového motora [1]

Na vykonanie hore popísaných štyroch dôb sú potrebné dve otočenia kľukového hriadeľa, t. j. 720°. Na nasledujúcom obrázku som znázornil priebeh indikovaného tlaku vo valci v závislosti od uhla natočenia kľukového hriadeľa. Z obrázku je zreteľné, že maximálny tlak cca 10,5 MPa je dosiahnutý tesne za HÚ. To priaznivo vplýva na efektivitu využitia krútiaceho momentu.



Obr. č. 16 – Priebeh indikovaného tlaku vo valci

3.3 PREPLŇOVANIE MOTORA TURBODÚCHADLOM

Výkon spaľovacieho motora možno zvýšiť viacerými spôsobmi:

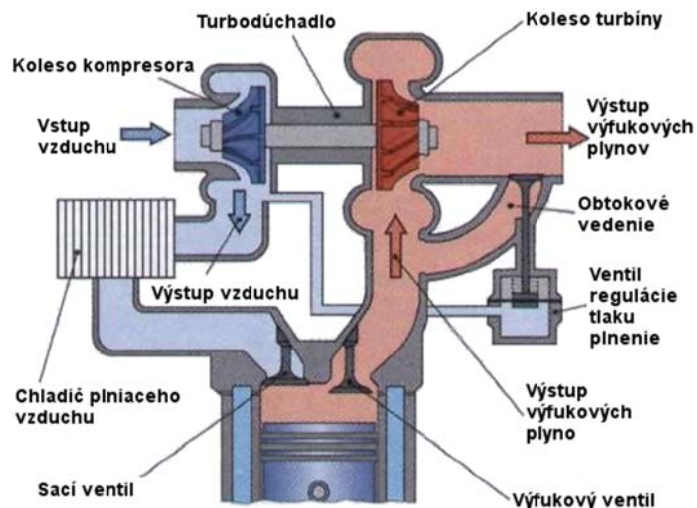
- zväčšenie zdvihového objemu motora,
- zvýšenie otáčok motora, alebo,
- zvýšením plniacej účinnosti motora.

V dnešnej dobe mnoho automobiliek nasleduje módu downsizingu. Jedná sa o znížovanie zdvihového objemu motora a o zníženie mernej spotreby paliva a zachovanie pôvodného, ba i získanie väčšieho výkonu. Tento technický pokrok umožňujú rozvinuté funkcie turbodúchadla.

3.3.1 Princíp preplňovania motora turbodúchadlom

Základnou úlohou preplňovania motora je dostať do spaľovacieho priestoru valca čo najviac vzduchu a tým aj množstvo vstreknutého paliva za jednotku času. Turbodúchadlo umožňuje získať vyšší výkon a lepší krútiaci moment.

Turbodúchadlo je točivý stroj, ktorý využíva pre svoj pohon energiu obsiahnutú vo výfukových plynch. Takýmto spôsobom zlepšuje energetickú bilanciu spaľovacieho motora. Zároveň dochádza k zvýšeniu termickej účinnosti a zníženiu spotreby paliva. [13]



Obr. č. 17– Princíp funkcie preplňovania motora turbodúchadlom [13]

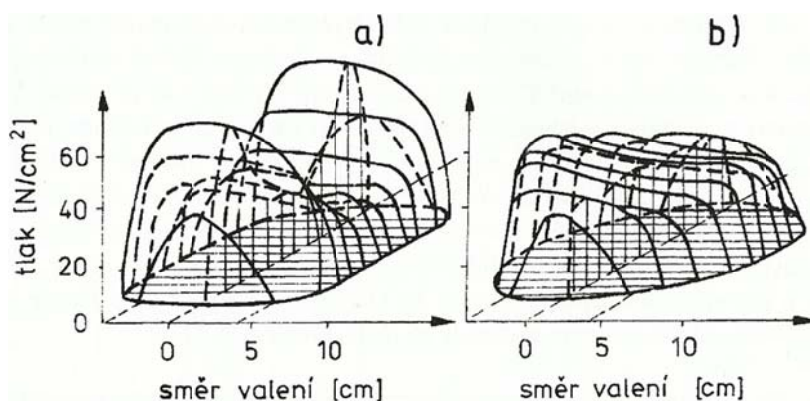
Turbodúchadlo stláča vzduch prúdiaci do motora. Výfukové plyny roztáčajú lopatky turbíny, niekedy až k hodnote 300 000 ot/min. Turbodúchadlo je priamo napojené na výfukové potrubie motora. Na spoločnom hriadeľi sa nachádza turbínka, cez ktorú prúdia výfukové plyny a tiež turbínka, do ktorej prúdi čerstvý vzduch. Ten je ďalej stláčaný cez sacie potrubie priamo do valcov. [13]

4 JAZDNÉ ODPORY

Jazdné odpory sú sily, ktoré pôsobia proti pohybu vozidla. Jazdné odpory, ktoré pôsobia vždy proti pohybu sú: odpor valivý a odpor vzdušný. Pri jazde do svahu musí vozidlo prekonávať odpor stúpania, pri zrýchľovaní vozidla musí prekonávať odpor zrýchlenia a ak je za vozidlo zapojený príves, tak aj odpor prívesu. (3, s. 21)

4.1 ODPOR VALIVÝ

Odpor valivý vzniká deformáciou pneumatiky a vozovky. Odpor má dve časti. Okrem samotného odporu totiž vznikajú straty aj v dôsledku trenia. Plocha, v ktorej sa pneumatika stýka s vozovkou, sa nazýva stopa. Všetky sily, ktoré pôsobia na vozidlo sú prenášané pneumatikami. V prípade, že je vozovka tuhá, dochádza k deformácii iba u pneumatiky. V prednej časti stopy, v smere valenia, dochádza k stláčaniu obvodu pneumatiky do roviny vozovky. V zadnej časti stopy sa obvod vyrovnáva opäť do kruhového tvaru. Na obr. č. 18 je znázornené rozloženie merných tlakov v stope u diagonálnej a radiálnej pneumatiky. (3, s. 21)



Obr. č. 18 – Deformácia diagonálnej (a) a radiálnej (b) pneumatiky [3]

Sily potrebné k stláčeniu pneumatiky sú väčšie ako sily, ktorými pôsobí pneumatika na vozovku pri vrátení do kruhového tvaru (hysterézia). Je to zapríčinené práve vplyvom strát v pneumatike, ktoré sa menia v teplo. Merné tlaky v prednej časti stopy sú preto väčšie ako v zadnej, a tak aj zvislá výslednica elementárnych síl v stope pneumatiky Z_K je predsunutá pred zvislú os kola. Pomer dĺžky tohto predsunutia a dynamického polomeru kola vyjadruje tzv. súčiniteľ valivého odporu F_K . (3, s. 21–22)

Valivý odpor vozidla je daný súčtom valivých odporov jednotlivých kolies [3]:

$$O_f = \sum_i O_{fKi} = \sum_i Z_{Ki} \times f_{Ki} \quad [\text{N}]$$

kde Z_K je radiálna reakcia vozovky [N],

f_k je súčiniteľ valivého odporu kolesa [-].

Faktory, ktoré ovplyvňujú veľkosť valivého odporu patrí:

- povrch vozovky,
- deformácia pneumatiky a
- rýchlosť vozidla.

4.1.1 Povrch vozovky

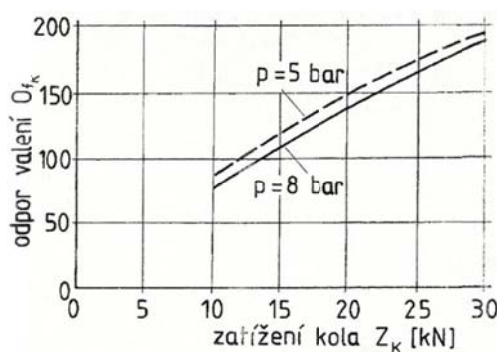
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hodnoty súčiniteľa valivého odporu v závislosti od povrchu vozovky.

Tab. č. 1 – Súčiniteľ valivého odporu pre rôzne povrchy vozoviek [3]

Povrch	Súčiniteľ valivého odporu f_k
Asfalt	0,01–0,02
Betón	0,015–0,025
Dlažba	0,02–0,03
Makadam	0,03–0,04
Poľná cesta – suchá	0,04–0,15
Poľná cesta – mokrá	0,08–0,20
Trávnatý terén	0,08–0,15
Hlboký piesok	0,15–0,30
Čerstvý sneh	0,20–0,30
Bahnitá pôda	0,20–0,40
Poľadovica	0,01–0,025

4.1.2 Deformácia pneumatiky

Pri menšom tlaku vzduchu v pneumatike dochádza k väčšej deformácii, tým pádom vzrastá deformačná práca a súčasne stúpa tlmiaca práca, ktorá zväčšuje valivý odpor. Na obr. č. 19 je znázornený vplyv správneho nahustenia pneumatiky na valivý odpor. (3, s. 22)



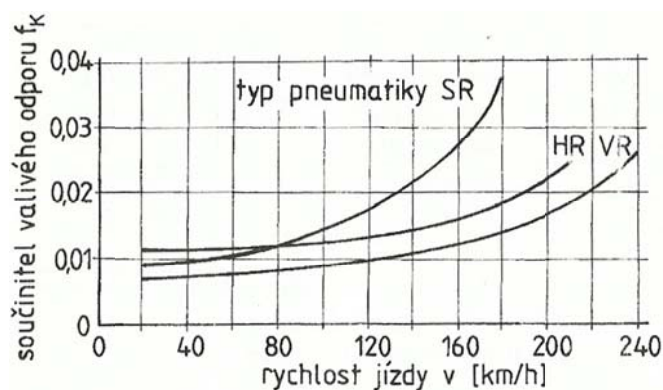
Obr. č. 19 – Vplyv hustenia pneumatiky na odpor valenia [3]

Pre názornosť sú uvedené hodnoty súčiniteľa valivého odporu pneumatík u nákladných vozidiel. [10]

- Radiálna pneumatika: $f_K = 0,005\text{--}0,01$.
- Diagonálna pneumatika: $f_K = 0,008\text{--}0,013$.

4.1.3 Rýchlosť vozidla

Pri vyšších rýchlostiach nestačí pneumatika v pomerne krátkom čase vyrovnávať deformácie, ktoré vznikajú v prednej časti stopy. Preto v zadnej časti stopy vzniká menší merný tlak ako pri nižšej rýchlosti. Zvislá reakcia Z_K sa posúva dopredu a súčiniteľ valivého odporu sa podľa vzťahu zväčšuje. Pri veľkých rýchlostiach sa súčiniteľ valivého odporu zväčšuje aj vplyvom strát, ktoré súvisia s rozkmitaním obežnej plochy pri bočných stenách pneumatiky. Pri nízkych rýchlostiach u nákladných vozidiel, spravidla do 50 km/h, možno súčiniteľ valivého odporu považovať za nezávislý na jazdnej rýchlosti. (3, s. 22)



Obr. č. 20 – Vplyv rýchlosti vozidla na odpor valenia [3]

Súčtom jednotlivých odporov pôsobiacich na vozidlo, možno vyjadriť celkový jazdný odpor [3]:

$$O_f = f \times G \times \alpha \quad [\text{N}]$$

kde G je tiaž vozidla kolmej k vozovke [N],

f je súčiniteľ valivého odporu [–],

α je uhol medzi vodorovnou a naklonenou vozovkou [°].

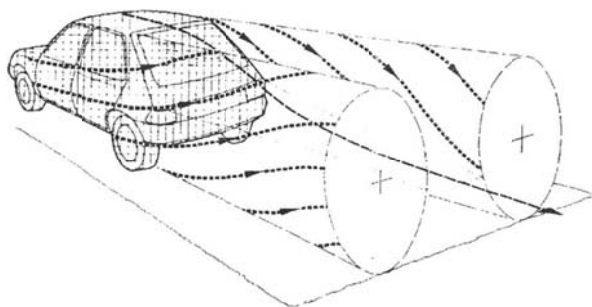
Pre jazdu po rovine platí nasledujúci vzťah [3]:

$$O_f = f \times G \quad [\text{N}]$$

4.2 ODPOR VZDUŠNÝ

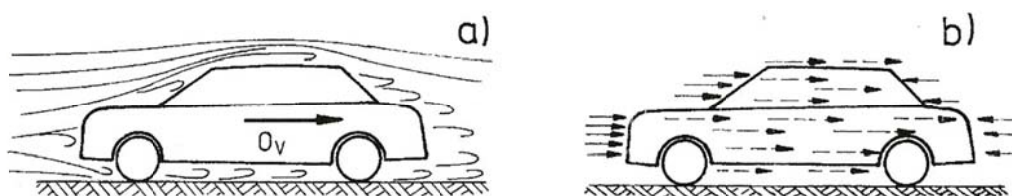
Pri jazde vozidla prúdi časť vzduchu okolo hornej časti karosérie a časť sa musí pretlačiť priestorom medzi spodnou časťou vozidla a povrchom vozovky. Prúdnice sa za vozidlom neuzatvárajú, ale nastáva vírenie. Týmto vzniká odpor. (3, s. 25)

„Veľkosť vzdušnej sily je daná výslednicou normálových tlakov vzduchu na povrch karosérie a trecích síl, ktoré pôsobia v tangenciálnom smere prúdenia vzduchu okolo karosérie.“ (3, s. 25)



Obr. č. 21 – Vzduchové pomery za vozidlom [3]

Na obr. č. 22 je znázornené pôsobenie trecích a tlakových síl na vozidlo. Nerovnakým tlakom nad a pod vozidlom navyše dochádza k víreniu vzduchu v priečnej rovine vozidla, ktoré je ďalšou zložkou celkového vzdušného odporu. Celkový vzdušný odpor vozidla zahŕňa aj odpory vznikajúce priechodom vzduchu chladiacim, vetracím a odpory vzniknuté vírením a trením vzduchu u otáčajúcich sa kolies vozidla. (3, s. 26)



Obr. č. 22 – a) priebeh prúdnic vozidla obtekaného vzduchom, b) vznik vzdušného odporu z tlakových síl (vytiahnuté šípky) a trecích síl (čiarkované šípky) [3]

Celkový vzdušný odpor sa určuje z nasledujúceho vzťahu [3]:

$$O_V = c_x \times \frac{\rho}{2} \times S_x \times v_r^2 \quad [\text{N}]$$

kde c_x je súčiniteľ odporu vzduchu [-],

ρ je merná hmotnosť vzduchu [kg/m^3],

S_x je čelná plocha vozidla [m^2],

v_r je výsledná (náporová) rýchlosť vozidla [m/s].

4.2.1 Súčiniteľ odporu vzduchu

Súčiniteľ odporu vzduchu c_x závisí predovšetkým od tvaru vozidla. Hodnota c_x je zisťovaná buď s využitím modelu, alebo meraním skutočných vozidiel v aerodynamickom tuneli. Na nasledujúcom obrázku je uvedený vplyv tvaru telies na veľkosť súčiniteľa odporu vzduchu c_x .

Tvar	c_x
guľa → ○	0,47
polguľa → ◐	0,42
kužeľ → ◁	0,50
kocka → □	1,05
pootočená kocka → ◇	0,80
dlhý valec → ▭	0,82
krátky valec → ◻	1,15
aerodynamické teleso → ◌	0,04
polovica aerodynamického telesa → ◐	0,09

Obr. č. 23 – Hodnoty súčiniteľa odporu vzduchu v závislosti od tvaru telies²

Veľký súčiniteľ vzdušného odporu má za následok veľkú spotrebu paliva. Z tohto dôvodu je snaha, aby bola dosiahnutá čo najmenšia hodnota c_x . Vhodným tvarovaním určitých častí vozidla je možné dosiahnuť zníženie hodnôt súčiniteľa odporu vzduchu. Pri úžitkových vozidlách, najmä u návesových kontajnerových súprav, sa pre zníženie súčiniteľa vzdušného odporu používajú nadstavby nad kabínu vodiča. (3, s. 29)

Na nasledujúcom obrázku je znázornený vplyv tvarovania návesovej kontajnerovej súpravy na veľkosť súčiniteľa odporu vzduchu c_x .

						
$c_x = 0,86$	0,67	0,68	0,61	0,57	0,55	0,67

Obr. č. 24 – Vplyv tvarovania návesovej kontajnerovej súpravy na veľkosť súčiniteľa vzdušného odporu [3]

4.2.2 Merná hmotnosť vzduchu

Merná hmotnosť vzduchu ρ je závislá na teplote a tlaku vzduchu. V praktických výpočtoch sa uvažuje s hodnotou $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, čo zodpovedá tlaku $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$ a teplote $t_0 = 15 \text{ °C}$. Pre inú teplotu a tlak vzduchu je potrebné mernú hmotnosť vzduchu prepočítať podľa nasledujúceho vzťahu [3]:

² Pozn.: vlastná úprava podľa [8]

$$\rho = \frac{354 \times p}{(t + 273)} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

kde p je tlak vzduchu [bar],

t je teplota vzduchu [°C],

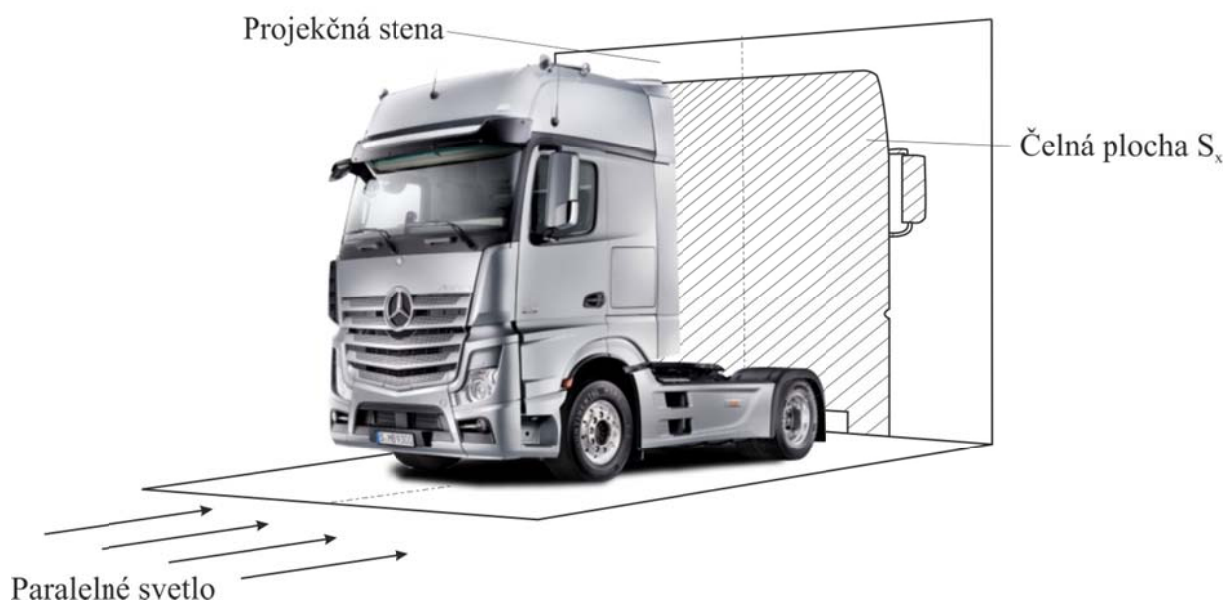
4.2.3 Čelná plocha vozidla

Čelná plocha vozidla je plocha, ktorá sa premietne na projekčnú stenu vplyvom nasvietenia vozidla paralelným svetlom. Hodnotu S_x je možno získať metódou čelnej projekcie alebo je možné ju vypočítať na základe nasledujúceho vzťahu:

$$S_x = B \times H \text{ [m}^2\text{]}$$

kde: B je rozchod kolies vozidla [m],

H je celková výška vozidla [m].



Obr. č. 25 – Zistenie čelnej plochy metódou projekcie

4.2.4 Výsledná (náporová) rýchlosť

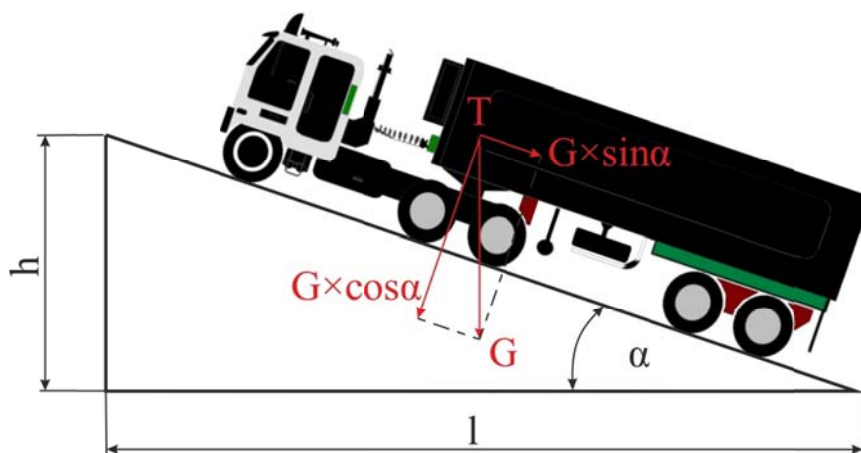
Náporová rýchlosť v_r sa skladá zo zápornej rýchlosti pohybu vozidla, ktorou vozidlo prechádza pokojný vzduch a z rýchlosti vetra. Pri praktických výpočtoch vzdušného odporu sa zvyčajne počíta s priemernou rýchlosťou vetra $\bar{v} = 4,7 \text{ m/s} \approx 17 \text{ km/h}$.

4.3 ODPOR STÚPANIA

Odpor určuje tá zložka tiaže vozidla, ktorá je rovnobežná s povrchom vozovky [3]:

$$O_S = \pm G \times \sin \alpha \text{ [N]}$$

Znamenie mínus značí v rovnici stav, kedy sa vozidlo pohybuje po svahu dole.



Obr. č. 26 – Určenie odporu stúpania

Pri praktických výpočtoch sa spravidla miesto uhla stúpania v stupňoch používa sklon svahu s . Výpočet sklonu svahu je možné uskutočniť podľa nasledujúceho vzťahu [3]:

$$s = \frac{h}{l} = \tan \alpha \text{ [-]}$$

4.4 ODPOR ZRÝCHLENIA

Pri zrýchľovaní vozidla pôsobí proti smeru zrýchlenia zotrvačná sila, ktorú nazývame odporom zrýchlenia. Odpor zrýchlenia sa skladá z dvoch častí [3]:

$$O_Z = O_{Zp} + O_{Zr} \text{ [N]}$$

kde O_{Zp} je odpor zrýchlenia o určitej hmotnosti [N],

O_{Zr} je odpor zrýchlenia otáčajúcich sa častí [N].

Odpor zrýchlenia o určitej hmotnosti možno vypočítať na základe nasledujúceho vzťahu [3]:

$$O_{zp} = m \times a \text{ [N]}$$

kde m je hmotnosť vozidla [kg],

a je zrýchlenie [m/s^2]

Odpor zrýchlenia otáčajúcich sa častí možno vypočítať dosadením hodnôt do nasledujúceho vzťahu [3]:

$$O_{zr} = \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} \times r_{Ki}} \times a \text{ [N]}$$

kde J_{Ki} je celkový moment zotrvačnosti rotačných častí [$\text{kg} \times \text{m}^2$],

r_{di} je dynamický polomer kolesa [m]

r_{Ki} je valivý polomer kolesa [m]

Po sčítaní a následnej úprave vzťahov odporu zrýchlenia hmotnosti a odporu zrýchlenia otáčajúcich sa častí, získame nasledujúci vzťah [3]:

$$O_z = \vartheta \times m \times a \text{ [N]}$$

kde ϑ je súčiniteľ vplyvu rotačných častí [–]

4.5 ODPOR PRÍVESU

Odpor prívesu je sila, ktorú musí prekonať ťažné vozidlo na prekonanie jazdných odporov prívesu. Jednotlivé zložky odporu prívesu možno vypočítať podľa vzťahov uvedených v kap. 4.1 až 4.4. Vzdušný odpor prívesu sa neurčuje samostatne. Určuje sa pre celú jazdnú súpravu.

Určenie odporu prívesu je pre vozidlá určené na ťahanie prívesu veľmi dôležité, pretože značne zvyšuje potrebnú hnaciu silu vozidla. (3, s. 35)

4.6 CELKOVÝ JAZDNÝ ODPOR

Celkový jazdný odpor možno vyjadriť súčtom jednotlivých odporov pôsobiach na vozidlo [3]:

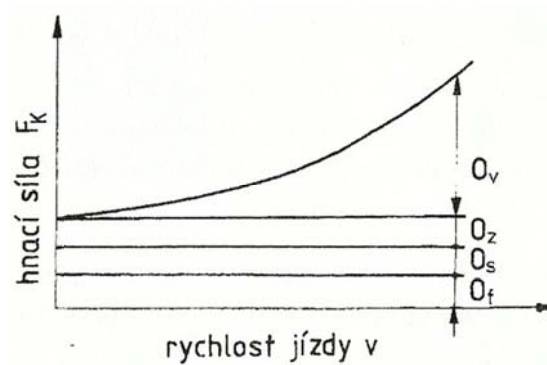
$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_z + O_p \text{ [N]}$$

Pre prekonanie jazdných odporov je potrebné priviesť určitú hnaciu silu na kolesá vozidla. Hnacia sila potrebná na prekonanie všetkých jazdných odporov je rovná súčtu jednotlivých jazdných odporov. Platí teda:

$$F_K = O_C \text{ [N]}$$

kde F_K je hnacia sila potrebná na kolesách vozidla [N].

Na obr. č. 27 je znázornená závislosť jazdných odporov na rýchlosti jazdy. Je zrejmé, že najväčší podiel na maximálnej rýchlosti jazdy tvorí vzdušný odpor.



Obr. č. 27 – Hnacia sila potrebná na prekonanie jazdných odporov [3]

5 BRZDENIE

Za brzdenie sa považuje úmyselné znižovanie rýchlosti (decelerácia) vozidla alebo zaistenie stojaceho vozidla proti rozbehnutí. Brzdenie vozidla možno podľa účelu deliť na štyri druhy: prevádzkové, núdzové, odľahčovacie a parkovacie.

Prevádzkové brzdenie musí umožňovať ovládanie pohybu vozidla a jeho účinné a rýchle zastavenie pri všetkých možných zaťaženiach a rýchlostiach na všetkých druhoch svahov, ktoré pri prevádzke vozidla prichádzajú do úvahy. (3, s. 120)

V prípade poruchy prevádzkového brzdenia slúži núdzové brzdenie na docielenie bezpečného zastavenia vozidla. Odľahčovacie brzdenie umožňuje obmedzenie rýchlosti alebo jej dodržanie pri jazde zo svahu. Parkovacie brzdenie musí umožniť udržanie vozidla na svahu. (3, s. 120)

Nakoľko predmetom tejto práce je zmeranie a následné vyhodnotenie spomalenia nákladného vozidla za pomoci brzdenia motorom, v nasledujúcej kapitole podrobnejšie rozviním princíp brzdenia motorom a jednotlivé konštrukčné riešenia odľahčovacích bŕzd.

5.1 BRZDENIE MOTOROM

Jedným zo spôsobov ako ušetriť pohonné hmoty a zároveň nenamáhať brzdovú sústavu pri brzdení, je využitie samotného brzdneho účinku motora. Pri zaradenej prevodovej rýchlosti a pri uvoľnenom plynovom pedále dochádza vplyvom zvýšenej kompresie v HÚ k znižovaniu otáčok motora, t. j. nastáva spomalenie (brzdenie) vozidla. Spravidla u vznetrových motorov je brzdenie motorom účinnejšie ako pri zážihových motoroch. Je to spôsobené vyšším kompresným pomerom.

Vznetrové motory majú kompresný pomer na úrovni 20:1 alebo aj vyššie. Z dôvodu zabránenia detonačného spaľovania u zážihových motorov, nepresahuje kompresný pomer hodnotu 10:1. Motory, ktoré sú vybavené snímačom detonačného spaľovania, elektronickou riadiacou jednotkou alebo ďalšími vylepšeniami, môžu mať zvýšený kompresný pomer až do 14:1. U preplňovaných zážihových motorov je kompresný pomer okolo 8,5:1. [11]

Pre vysokú hmotnosť nákladných vozidiel neposkytuje brzdenie prostredníctvom kompresie motora dostatočne vysokú efektivitu, aby vozidlo udržalo svoju danú rýchlosť pri jazde zo svahu.

Z daného dôvodu sa u nákladných vozidiel používajú tzv. odľahčovacie brzdy, ktorých funkcia je podrobne popísaná v nasledujúcej kapitole.

5.2 SPOMAĽOVACIE BRZDY (ODĽAHČOVACIE BRZDY)

Brzdné zariadenia ťažkých úžitkových vozidiel sú podľa zákonných požiadaviek doplnené spomaľovacími sústavami (odľahčovacími brzdami). Sú to ústrojenstvá, slúžiace na zmiernenie alebo obmedzenie rýchlosti pohybujúceho sa vozidla a to najmä pri schádzaní dlhých svahov, kde hrozí nebezpečenstvo prehriatia trecích bŕzd. Spomaľovacie sústavy musia zabrzdiť vozidlo do úplného zastavenia avšak jej účinok by mal s narastajúcou rýchlosťou vozidla rásť. (4, s. 369)

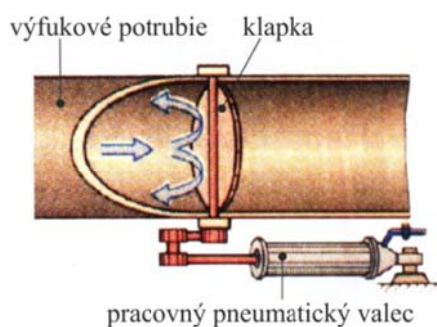
Spomaľovacie brzdy (retardéry) pracujú bez opotrebenia. Na rozdiel od trecích bŕzd premieňajú brzdňú energiu na teplo bez trenia. Sú v činnosti iba vtedy, keď sa vozidlo pohybuje, to znamená, že ich nemožno použiť ako parkovacie brzdy. (7, s. 187)

Je niekoľko druhov spomaľovacích sústav: výfuková brzda, motorová brzda, elektrodynamická brzda, hydrodynamická brzda.

5.2.1 Výfuková brzda

Pokiaľ prerušíme dodávku paliva, je motor poháňaný zotrvačnosťou vozidla. Motor v určitom slova zmysle pôsobí ako brzda. Tento „efekt“ s narastajúcimi otáčkami motora, rastie.

Brzdny účinok motora sa môže zvýšiť utesnením výfukového potrubia. Na tento účel sa najčastejšie používa plochý posúvač alebo klapka umiestnená vo výfukovom potrubí v blízkosti motora. (7, s. 187)



Obr. č. 28 – Výfuková brzda³

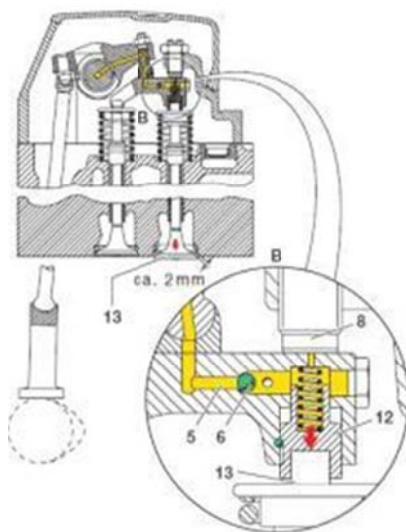
³ Pozn.: vlastná úprava podľa [7]

5.2.2 Motorová brzda

Dekompresná motorová brzda je založená na princípe zmeny časovania rozvodu výfukových ventilov. Vplyvom zmeny časovania dochádza na konci kompresie k pootvoreniu výfukového ventilu a k následnému vypusteniu vzduchu stlačeného piestom do výfukového potrubia. Výsledkom je fakt, že stlačený vzduch nemôže väčšinu nadobudnutej energie stlačením piestu vrátiť formou svojho spätného rozpínania–expanzie. Následne tak počas tzv. prázdnej expanzie dochádza v motore ku vzniku podtlaku, čím vzniká potreba ďalšej mechanickej práce. Vo výsledku tak motor vyvíja väčší brzdný účinok a vozidlo viac brzdí. [12]

Činnosť pri uzavretom ventile

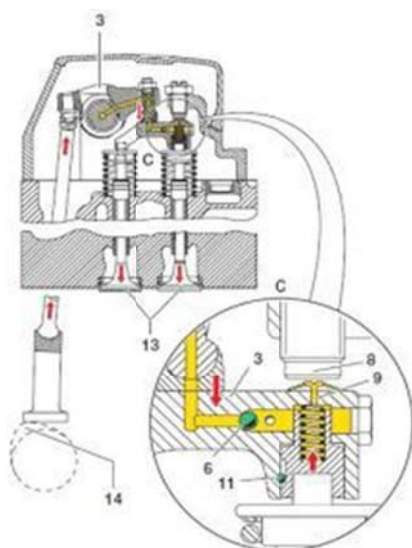
Pri uzavretí klapky výfukovej brzdy dochádza k otvoreniu výfukového ventilu (13) až o 2 mm. Vôľa je vytvorená vplyvom tlaku oleja privedeného kanálikom (5). Ventil sa nemôže uzavrieť, pretože prepúšťaniu oleja bráni guľička (6). Tento stav zotrúva do doby, kým sa neotvorí výfukový ventil pôsobením vačky.



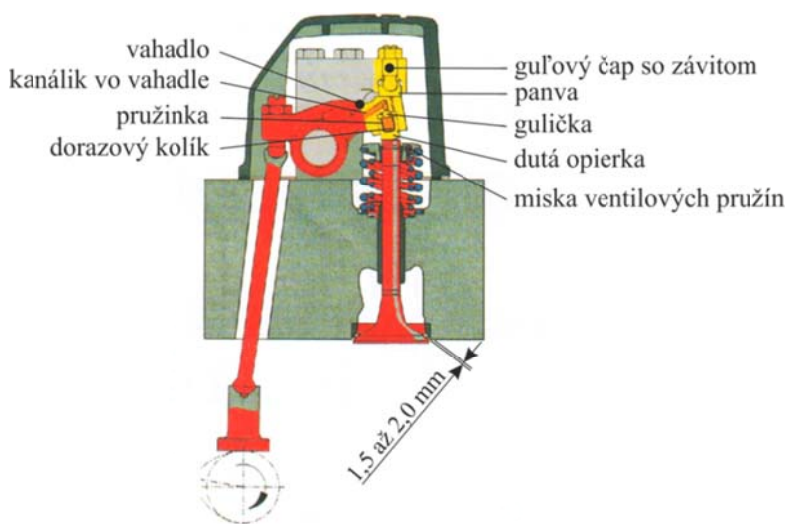
Obr. č. 29 – Činnosť motorovej brzdy pri uzavretom výfukovom ventile [14]

Činnosť pri otvorenom ventile

V okamžiku, kedy pôsobením vačky sa otvorí výfukový ventil, sa vypustí olej a ventilová pružina (9) sa vráti do pôvodnej polohy.



Obr. č. 30 – Činnosť motorovej brzdy pri otvorenom výfukovom ventile [14]



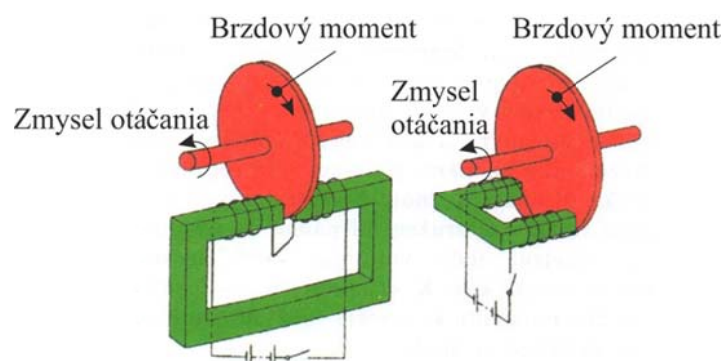
Obr. č. 31 – Motorová brzda⁴

Najväčšou výhodou tohto typu spomaľovacej brzdy je jej cena. Obnáša asi 15% až 20% hodnoty dodatočnej montáže hydrodynamickej spomaľovacej brzdy. (7, s. 188)

5.2.3 Elektromagnetická vírivá brzda

Ak sa otáča kovový kotúč v magnetickom poli, indukujú sa v ňom vírivé prúdy. Tieto prúdy pôsobia proti pohybu. Týmto vzniká brzdivý moment, ktorý spomaľuje otáčanie kotúča. Pri brzdení sa vytvára teplo. Rovnaký efekt vzniká aj vtedy ak sa kotúč neotáča medzi pólmi magnetu, ale pred nimi. (7, s. 188)

⁴ Pozn.: vlastná úprava podľa [7]

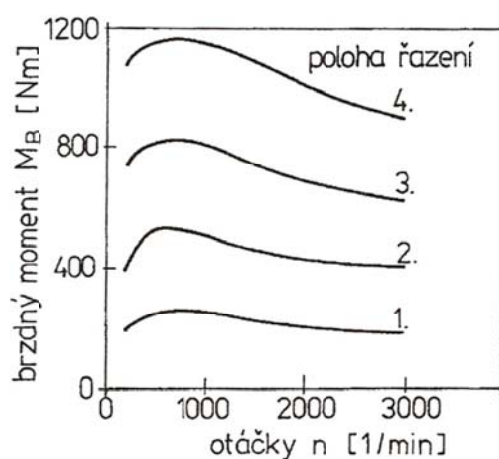


Obr. č. 32 – Princíp elektromagnetickej vírivej brzdy⁵

Brzdný účinok závisí na otáčkach kotúča a intenzite magnetického poľa. Brzdný účinok sa reguluje zmenou veľkosti elektrického prúdu, ktorý prechádza vinutím cievok elektromagnetov. Na vozidle sú vírivé brzdy umiestnené spravidla na spojovacom kĺbovom hriadeli. Ovládané sú páčkou na prístrojovej doske. (7, s. 188)



Obr. č. 33 – Elektromagnetická vírivá brzda Telma umiestnená na spojovacom kĺbovom hriadeli [15]



Obr. č. 34 – Charakteristika elektrodynamickéj brzdy s vírivými prúdmi [4]

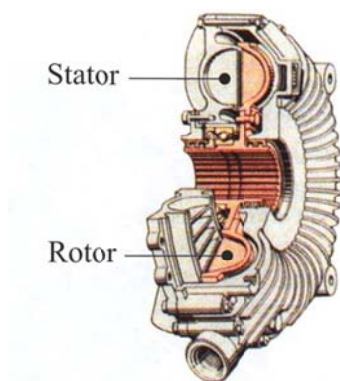
⁵ Pozn.: vlastná úprava podľa [7]

Na obr. č. 34 je vidno priebeh brzdného momentu v závislosti na otáčkach motora a stupňa zaradenej páčky.

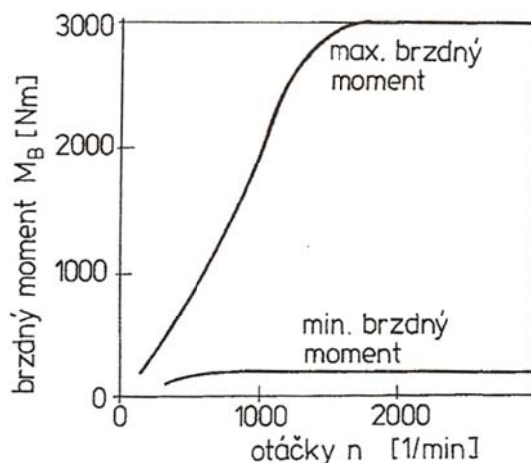
Výhodou elektromagnetickej vírivej brzdy je jej veľký brzdný účinok, ktorý je pomerne ľahko regulovateľný. Nevýhodou je silné zahrievanie kotúčov pri dlhotrvajúcom brzdení, značná hmotnosť a vysoká cena. (7, s. 189)

5.2.4 Hydrodynamická brzda

„Tento typ brzdy je tvorený dvoma lopatkovými kolesami. Stator je pevne spojený so skriňou brzdy, rotor sa otáča (poháňané zvyčajne od spojovacieho kĺbového hriadeľa). Kvapalina je urýchľovaná rotorom a vrhaná na lopatky statora, kde je brzdená. Lopatky oboch kolies sú sklonené o 45° proti rovine prechádzajúcej hriadeľom, pričom stoja vzájomne proti sebe.“ (7, s. 189)



Obr. č. 35 – Hydrodynamická brzda⁶



Obr. č. 36 – Charakteristika hydrodynamickej brzdy [4]

Na obr. č. 36 je zreteľný nárast brzdného účinku s narastajúcimi otáčkami motora.

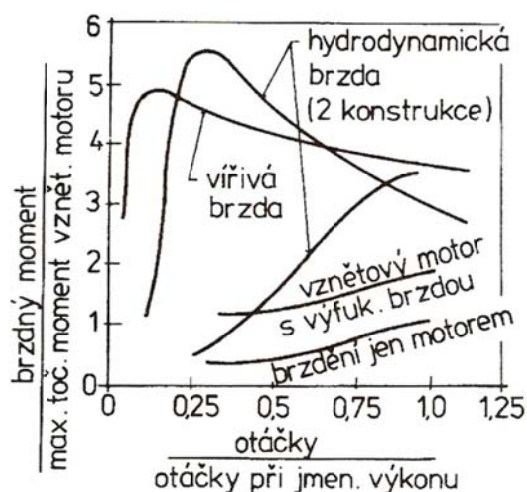
⁶ Pozn.: vlastná úprava podľa [4]

Regulácia brzdného účinku sa vykonáva zmenou tlaku kvapaliny v priestore rotora. Brzdny účinok je plynulý, bez rázov. Vodič môže nastavovať veľkosť jeho účinku prostredníctvom páky na prístrojovej doske. (7, s. 189)

Kvapalinové retardéry môžu byť umiestnené na spojovacom hriadeli vozidla (sekundárne retardéry) alebo priamo v prevodovke (intardéry). (7, s. 189)

5.2.5 Porovnanie účinnosti jednotlivých typov odľahčovacích brzd

Na nasledujúcom obrázku je vidno priebeh brzdného momentu u jednotlivých typov odľahčovacích brzd. Je zreteľné, že najväčšiu účinnosť poskytuje hydrodynamická brzda. Jej nevýhodou je v porovnaní s elektrodynamickou brzdou neskoršia účinnosť. Z obrázku je tiež zreteľné, že brzdenie samotným motorom neposkytuje skoro žiadny dostačujúci efekt.



Obr. č. 37 – Charakteristiky různých odľahčovacích brzd [4]

6 PREVODOVKY

Prevodovky slúžia k zmene prenášaného točivého momentu. Hlavnou úlohou prevodovky je umožniť zmenu prevodu medzi motorom a hnacími kolesami tak, aby motor pracoval v optimálnych otáčkach, v ktorých dosahuje plný výkon. Zmena rýchlostného pomeru je buď stupňovitá alebo plynulá. (5, s. 62)

Stupňovité prevodovky bývajú s ozubenými alebo planétovými kolesami. Rýchlostné stupne sa radia ručne. Pri zmene jednotlivých rýchlostných stupňov sa následkom rozpojenia vypnutej spojky vždy preruší prenos točivého momentu. To je veľkou nevýhodou pri jazde do svahu. (5, s. 62)

Naproti tomu plynulé prevodovky bývajú spravidla samočinné s hydraulickým meničom a radenie prebieha automaticky. (5, s. 62)

Prevodovka má však aj ďalšie funkcie. Musí dovoliť vozidlu cúvať zaradením spätného chodu, zabezpečiť brzdenie motorom pri jazde zo svahu. Pri jazde mestom zaistuje nižší rýchlostný stupeň pružnejšiu jazdu. Pri menších rýchlostiach vozidlo dosahuje väčšiu akceleráciu. To zaručuje pohotovejší prejazd križovatkami, tiež predbiehanie pomalších vozidiel. (5, s. 62)

6.1 PREVODOVÉ POMERY

Prevodový pomer definuje vzťah medzi otáčkami na vstupnom a výstupnom hriadeľi [5][5]:

$$i = \frac{\text{otáčky hnacieho hriadeľa}}{\text{otáčky hnaného hriadeľa}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} [-]$$

kde $n_{1,2}$ sú otáčky jednotlivých ozubených kolies,

$D_{1,2}$ sú priemery jednotlivých ozubených kolies,

$z_{1,2}$ je počet zubov jednotlivých ozubených kolies.

V prípade, že je výsledný pomer:

- $i > 1$, jedná sa o prevod dopomala,
- $i < 1$, jedná sa o prevod dorychla.

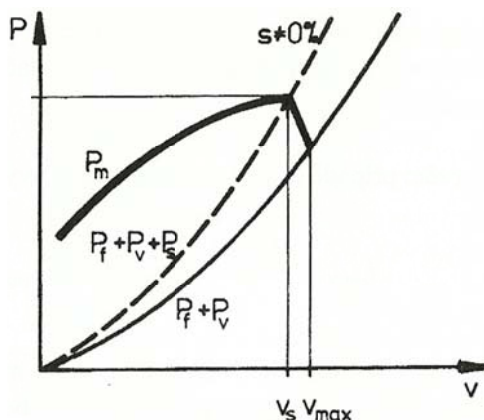
Základným prevodom i_0 nazývame celkový prevod s najmenším zaradeným prevodom v prevodovke. Je to teda prevod, pri ktorom vozidlo najčastejšie ide. Základný prevod má

vplyv na dynamické vlastnosti vozidla, tiež na pracovný režim motora. U nákladných vozidiel so vznetrovým motorom sa základný prevod určuje z podmienky stúpavosti vozidla [5]:

$$i_0 = 0,377 \times \frac{n_{reg} \times r_d}{v_s} \quad [\text{N}]$$

kde n_{reg} sú otáčky motora, pri ktorých zasahuje regulátor motora [s^{-1}],

v_s je rýchlosť pri stúpaní [m/s].



Obr. č. 38 – Určenie maximálnej rýchlosti a rýchlosti do svahu u vozidiel so vznetrovým motorom [5]

Nakoľko celkový prevod u vozidiel pozostáva z prevodu základného i_0 ako aj z prevodu meniteľného i_p , bude rozsah prevodov udávať taktiež pomer maximálneho a minimálneho meniteľného prevodu [5]:

$$R_0 = \frac{i_{p \max}}{i_{p \min}} \quad [-]$$

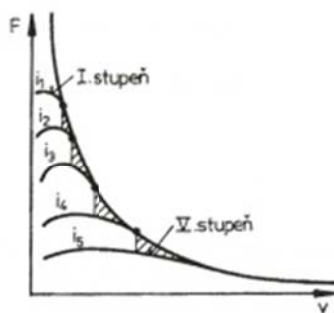
kde R_0 je rozsah rýchlostných stupňov [-].

Najlepšie využitie výkonu motora pri všetkých rýchlostiach vozidla dáva priebeh hnacej sily podľa hyperboly konštantného výkonu [5]:

$$P = F \times v = P_{max} \times \eta_m = \text{konšt.}$$

Aby bolo možné dostatočne využiť výkon motora v širokom rozsahu hnacích síl a rýchlosti jazdy, musia byť medzi základným a maximálnym prevodom vložené ďalšie prevody. Týmto sa dosiahne podstatné zlepšenie využitia výkonu motora pri potrebe stredne veľkých hnacích síl. (5, s. 66)

Na nasledujúcom obrázku je vidno diagram v závislosti $F-v$.



Obr. č. 39 – $F-v$ diagram vozidla s päťstupňovou prevodovkou [5]

6.2 REDUKCIA

Pretože vznetové motory majú úzky využiteľný prevádzkový rozsah otáčok, nie je počet rýchlostných stupňov základnej prevodovky dostačujúci. Potrebného vyššieho počtu rýchlostných stupňov sa dosahuje použitím dvojstupňového prídavného prevodu pred alebo za základnú prevodovkou. Prípadne súčasným použitím oboch. [17]

Zo základnej troj- alebo štvorstupňovej prevodovky sa použitím oboch prevodov stáva prevodovka dvanásťstupňová ($2 \times 3 \times 2$) alebo šesťnásťstupňová ($2 \times 4 \times 2$). Prídavné prevody sú zvyčajne integrované v spoločnej skrini so základnou prevodovkou. [17]

6.2.1 Rozsahová redukcia

Na zvýšenie celkového rozsahu prevodov sa za základnú prevodovku pridáva dvojstupňová rozsahová prevodovka. Spravidla sa jedná o planetové súkolie. Počet rýchlostných stupňov sa vďaka nemu zdvojnásobuje pričom obe skupiny prevodov na seba nadväzujú. Tam, kde končí rozsah prvých troch alebo štyroch rýchlostných stupňov, začína rozsah druhý. V praxi sa používa označenie dolnej a hornej rady. Radu volí vodič buď prepínačom, presuvnou objímkou na radiacej páke alebo presuvnou kulisou ovládanou radiacou pákou. [17]

6.2.2 Deliaca redukcia

Deliaca redukcia ponúka možnosť voľby z dvoch stálych prevodov základnej prevodovky. Z prevodu medzi vstupným hriadeľom prevodovky (od motora) a predlohovým hriadeľom. Pomer prevodov je volený tak, že predradená redukcia delí jednotlivé rýchlostné stupne na polovicu. Celkový počet rýchlostných stupňov je tak opäť dvojnásobný. [17]

Predradená prevodovka sa obvykle ovláda elektropneumaticky. Pokyn pre radenie dáva vodič prepínačom na radiacej páke. Konštrukcia deliacej redukcie zabezpečuje jemné odstupňovanie prevodov, pričom celkový rozsah prevodov základnej prevodovky sa nemení.

7 METODIKA MERANIA

Táto kapitola sa zaoberá metodikou a popisom priebehu uskutočnených meraní. Štandardne sa jazdná skúška typu – brzdenie v priamom smere – uskutočňuje pre kontrolu predpisom stanovených brzdnych dráh, k overeniu funkcie posilňovačov brzdnej sústavy, prípadne k zisteniu správnej funkcie protiblokovacieho systému ABS. Jazdná skúška sa môže uskutočniť aj k overeniu jazdnej stability vozidla, napr. pri nesúmernom účinku brzd na ľavej a pravej strane nápravy. Pre motorové vozidlá kategórie M, N a ich prípojné vozidlá O stanovuje predpis OSN/EHK č. 13, limity pre jednotlivé typy skúšok brzd, a to hodnotou maximálne povolených brzdnych dráh a minimálne nutných limitov spomalenia. Predpis určuje metodiku týchto skúšok. Skúšky sú vykonávané pri homologačných skúškach. Meranie spomalenia pri brzdení motorom je charakteristické tým, že preň neexistujú legislatívne požiadavky, ktoré by stanovovali limitné hodnoty brzdneho spomalenia.

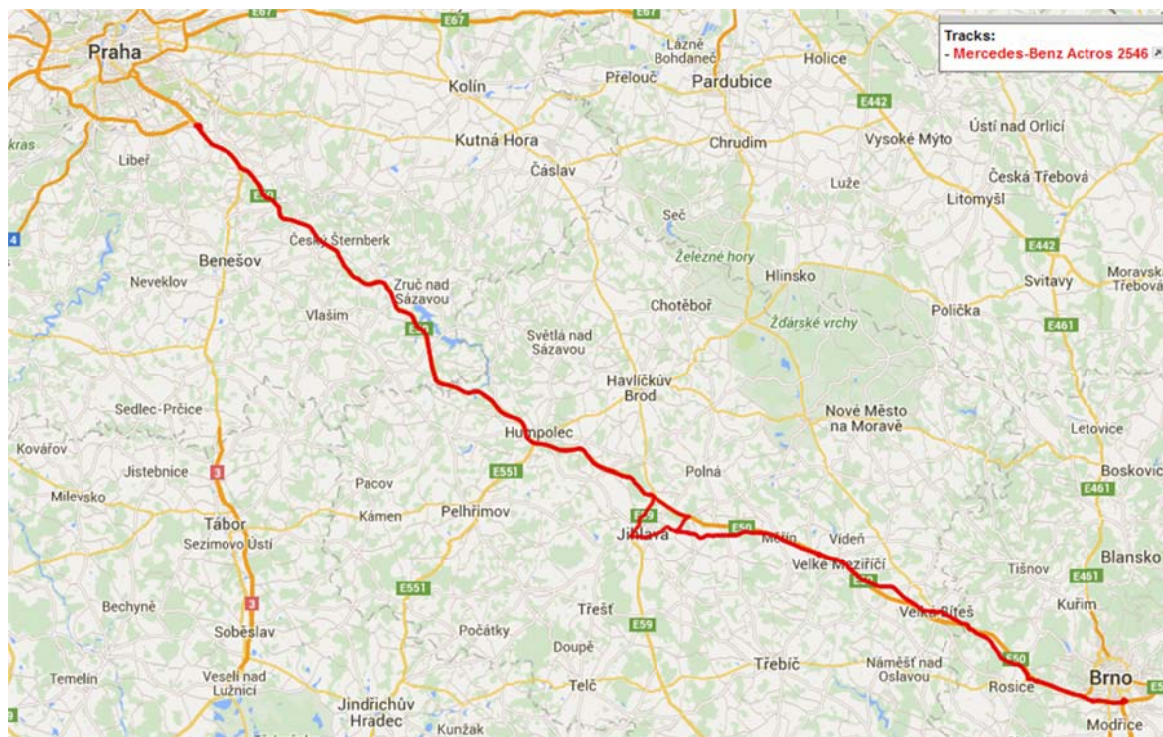
Jednotlivé merania boli uskutočnené na troch rôznych nákladných vozidlách, ktoré boli sprístupnené spoločnosťami MISVO TRANS s.r.o. a JAPO – Transport s.r.o.. Tieto merania sa realizovali v rozličných lokalitách, pričom sa kládol dôraz na rovnosť jednotlivých úsekov, aby výsledky meraní neboli skreslené prípadným priečnym sklonom vozovky.

Pre zachovanie prehľadu uskutočnených meraní na jednotlivých nákladných vozidlách bola metodika merania celkovo rozdelená do niekoľkých podkapitol.

7.1 MERANIE VOZIDLA MERCEDES-BENZ ACTROS 2546

7.1.1 Miesto merania

Meranie vozidla Mercedes-Benz Actros 2546 bolo uskutočnené na trase Brno–Praha–Brno. Presný priebeh trasy je vidno na nasledujúcom obrázku.



Obr. č. 40 – Trasa na ktorej sa uskutočnilo meranie vozidla Mercedes-Benz Actros 2546

7.1.2 Atmosferické podmienky

Meranie bolo uskutočnené 9. 2. 2016 na suchej vozovke. Teplota vzduchu sa pohybovala v rozmedzí 10–13 °C. Obloha bola zatiahnutá. Neboli zaznamenané žiadne dažďové zrážky. Rýchlosť vetra bola cca 3 m/s.

7.1.3 Mercedes-Benz Actros 2546

Jedná sa o jazdnú súpravu, ktorú tvorí nákladné vozidlo – valník spolu s prípojným vozidlom. Znáznornené sú na obr. č. 41.



Obr. č. 41 – Jazdná súprava Mercedes-Benz Actros 2546

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené technické údaje nákladného vozidla Mercedes-Benz Actros 2546 ako aj technické údaje prívesu značky Hangler, ktoré boli vyčítané z technických preukazov daných vozidiel.

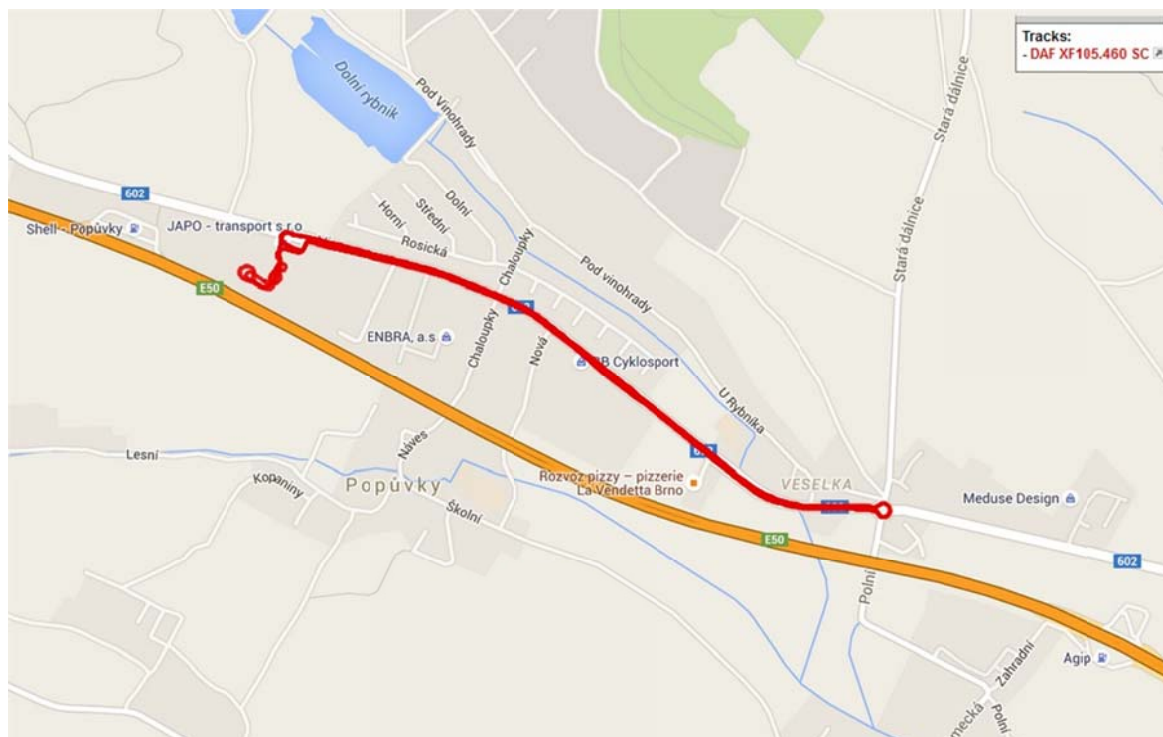
Tab. č. 2 – Technické údaje nákl. vozidla Mercedes-Benz Actros 2546 a prípojného vozidla Hangler

Nákl. vozidlo Mercedes-Benz Actros 2546:	
Zdvihový objem:	11 946 cm ³
Maximálny výkon / otáčky:	335 kW / 1 800 ot.×min ⁻¹
Najvyššia rýchlosť:	90 km/h (obmedzená)
Radenie prevodovky:	Automatické
Najväčšia technicky prípustná hmotnosť:	25 000 kg
Povolená hmotnosť:	25 000 kg
Prevádzková hmotnosť:	10 300 kg
Hmotnosť súpravy:	44 000 kg
Prípojné vozidlo Hangler:	
Najväčšia technicky prípustná hmotnosť:	18 000 kg
Povolená hmotnosť:	18 000 kg
Prevádzková hmotnosť:	4 250 kg

7.2 MERANIE VOZIDLA DAF XF105.460 SC

7.2.1 Miesto merania

S nákladným vozidlom DAF bolo uskutočnené meranie v blízkosti areáli spoločnosti JAPO – transport s.r.o., ktorého sídlo je v obci Popůvky. Presný priebeh merania je znázornený na obr. č. 42. Úsek, ktorý je znázornený od výjazdu zo spoločnosti JAPO – transport s.r.o. smerom ku kruhovému objazdu v centre obce Veselka, je dlhý 1,5 km. Pri nízkych rýchlostiach sa merania uskutočňovali v areály spoločnosti. Kvôli menšej výbehovej dráhe sa následne pri vyšších rýchlostiach merania uskutočňovali na spomenutej 1,5 km dlhej ceste.



Obr. č. 42 – Trasa na ktorej sa uskutočnilo meranie vozidla DAF XF105.460 SC

7.2.2 Atmosferické podmienky

Meranie bolo uskutočnené 9. 3. 2016 na suchej vozovke. Teplota vzduchu sa pohybovala v rozmedzí 5–7 °C. Obloha bola miestami zatiahnutá. Neboli zaznamenané žiadne dažďové zrážky. Rýchlosť vetra bola 3–4 m/s.

7.2.3 DAF XF105.460 SC

Jedná sa o jazdnú súpravu, ktorú tvorí nákladné vozidlo – ťahač spolu s návesom. Znáznornené sú na obr. č. 43.



Obr. č. 43 – Jazdná súprava DAF XF105.460 SC

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené technické údaje nákladného vozidla DAF XF105.460 SC ako aj technické údaje návesu značky Schmitz, ktoré boli vyčítané z technických preukazov daných vozidiel.

Tab. č. 3 – Technické údaje nákl. vozidla DAF XF105.460 SC a návesu Schmitz CARGOBULL AG SCS 24/L – 13.62 MB

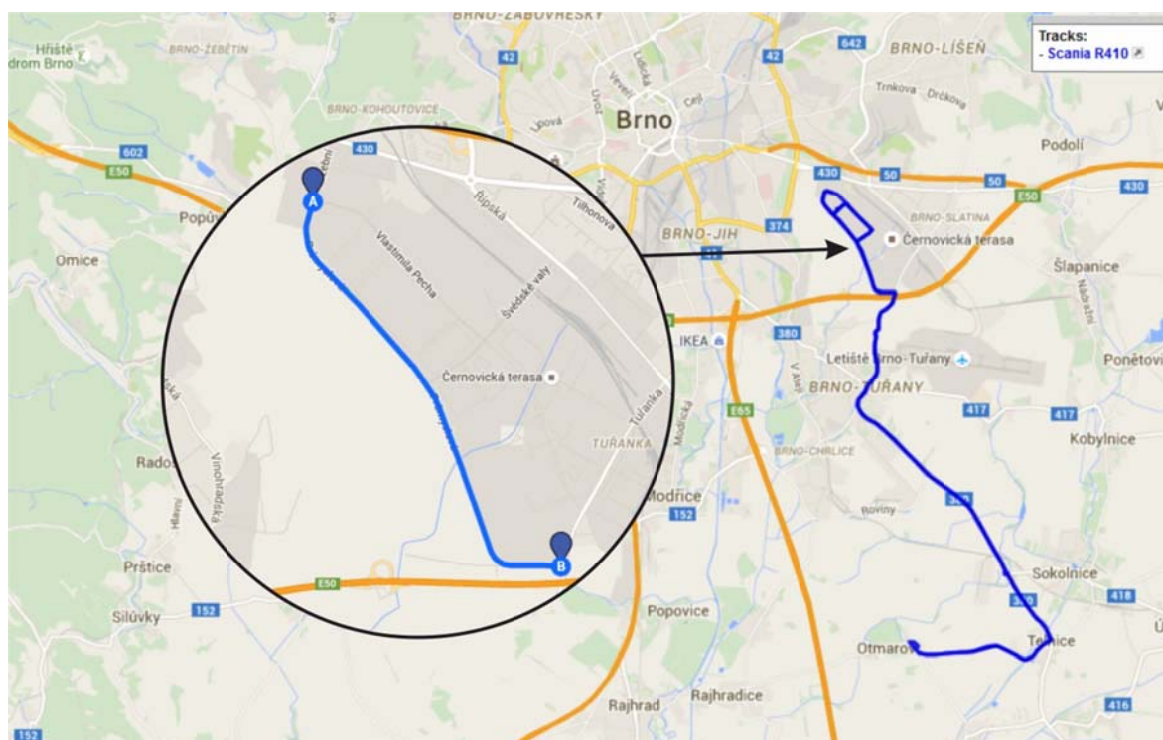
Nákl. vozidlo DAF XF105.460 SC:	
Zdvihový objem:	12 900 cm ³
Maximálny výkon / otáčky:	340 kW / 1 900 ot.×min ⁻¹
Najvyššia rýchlosť:	85 km/h (obmedzená)
Radenie prevodovky:	Manuálne
Najväčšia technicky prípustná hmotnosť:	18 600 kg
Povolená hmotnosť:	18 000 kg
Prevádzková hmotnosť:	7 270 – 9 270 kg
Hmotnosť súpravy:	44 000 kg
Náves Schmitz CARGOBULL AG SCS 24/L – 13.62 MB:	
Najväčšia technicky prípustná hmotnosť:	39 000 kg
Povolená hmotnosť:	35 000 kg
Prevádzková hmotnosť:	7 180 kg

7.3 MERANIE VOZIDLA SCANIA R410

7.3.1 Miesto merania

S nákladným vozidlom Scania bola uskutočnená trasa Brno-Slatina–Otmarov–Brno-Slatina, ktorá je znázornená na obr. č. 44. Jednotlivé merania sa však realizovali na ul. Průmyslová, ktorá je vyznačená na v obr. č. 44 nachádzajúca sa v kruhu⁷. Tento úsek bol vhodný na merania, nakoľko jeho dráha s dĺžkou 2,5 km predstavovala dostatočný priestor na uskutočnenie všetkých meraní v zaťaženom ako aj v prázdnom stave, aby nebol narušený plynulý chod premávky.

⁷ Trasa merania začína v bode „A“ a končí v bode „B“.



Obr. č. 44 – Trasa na ktorej sa uskutočnilo meranie vozidla Scania R410

7.3.2 Atmosferické podmienky

Meranie bolo uskutočnené 6. 4. 2016 na suchej vozovke. Teplota vzduchu sa pohybovala v rozmedzí 12–17 °C. Obloha bola zatiahnutá. Neboli zaznamenané žiadne dažďové zrážky. Rýchlosť vetra bola cca 4 m/s.

7.3.3 Scania R410

Jedná sa o jazdnú súpravu, ktorú tvorí nákladné vozidlo – ťahač spolu s návesom. Znáznornené sú na obr. č. 45.



Obr. č. 45 – Jazdná súprava Scania R410

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené technické údaje nákladného vozidla Scania R410 ako aj technické údaje návesu značky Schmitz, ktoré boli vyčítané z technických preukazov daných vozidiel.

Tab. č. 4 – Technické údaje nákl. vozidla Scania R410

Nákl. vozidlo DAF XF105.460 SC:	
Zdvihový objem:	12 742 cm ³
Maximálny výkon / otáčky:	302 kW / 1 900 ot.×min ⁻¹
Najvyššia rýchlosť:	90 km/h (obmedzená)
Radenie prevodovky:	Automatické
Najväčšia technicky prípustná hmotnosť:	18 600 kg
Povolená hmotnosť:	18 000 kg
Prevádzková hmotnosť:	8 347 kg
Hmotnosť súpravy:	45 000 kg
Náves Schmitz SCS 24 Mega:	
Najväčšia technicky prípustná hmotnosť:	39 000 kg
Povolená hmotnosť:	35 000 kg
Prevádzková hmotnosť:	7 070 kg

7.4 MERANIE SPOMALENIA VOZIDIEL

Meranie spomalenia vozidiel môže byť zaznamenané rôznymi typmi prístrojov. Medzi najjednoduchšie patria decelerometry, ktorých funkcia je odvodená od pohybu kyvadla. Tieto prístroje priamo ukazujú najväčšiu dosiahnutú hodnotu spomalenia. Decelerografy sú sofistikovanejšie prístroje, ktoré zaznamenávajú celý priebeh spomalenia. Prístroj je vybavený závažím o určitej hmotnosti, ktoré je pohyblivo uložené v jednej rovine. Pri brzdení sa závažie pohybuje proti pružine. Pomocou zapisovacieho hrotu je celý priebeh spomalenia zapisovaný na registračný papier. Viacúčelovým zariadením je vlečené „piate“ koleso, ktoré slúži k zaznamenávaniu hodnôt počas dynamickej jazdnej skúšky. Toto koleso je pripevnené k zadnému nárazníku, kde pomocou elektronického snímača dochádza k zaznamenávaniu otáčok kolesa. Modernejším prevedením vlečeného kolesa je optické zariadenie, ktoré funguje na princípe snímania optického odrazu svetelných lúčov, vysielaných z idúceho vozidla na vozovku. Jedná sa o bezdotykové a bezpreklzové merania jazdných vlastností vozidla. [2]

7.4.1 Použité meracie prístroje

Inventure XL meter Pro

K uskutočneniu potrebných meraní bol použitý decelerometer XL MeterTM Pro maďarskej spoločnosti Inventure. Toto mobilné zariadenie je schopné zapisovať hodnoty spomalenia (zrýchlenia) v priečnom ako aj v pozdĺžnom smere. Prístroj pracuje v rozmedzí $-12,7$ až $+12,7 \text{ m/s}^2$ s presnosťou $0,1 \text{ m/s}^2$. [20]

XL meter je vybavený LCD displejom. Po okamžitom vyhodnotení sa na displeji ukazuje prejdená vzdialenosť, počiatočná rýchlosť, doba spomalenia a stredná hodnota brzdného spomalenia. Pre komplexné vyhodnotenie dát meraní je vhodné prístroj spojiť s počítačom. Pomocou programu XL Vision možno vyhodnotiť priebehy meraní graficky, prípadne v tabuľkách.

Výhodou prístroja je jeho jednoduchá inštalácia a ovládateľnosť. Medzi pozitíva patrí absencia potrebného externého napájania (prístroj pracuje prostredníctvom štyroch tužkových batérií typu AA).

Nevýhodou prístroja je jeho malá pamäť zaznamenaných hodnôt. Maximálne je možné uložiť 8 meraní. Pri objemných meraniach je preto nutné ukladať zaznamenané dáta do pamäte počítača.



Obr. č. 46 – Inventure XL MeterTM Pro [20]

Racelogic PerformanceBox

Sekundárne sa pri meraní používal prístroj PerformanceBox od americkej spoločnosti Racelogic. Je to prístroj, ktorý pomocou GPS signálu zaznamenáva presnú polohu vozidla. Na vložení SD karty sa popri presnej polohe zaznamenáva: rýchlosť, zrýchlenie (spomalenie), brzdná dráha. Prístroj ponúka taktiež meranie vopred stanovených rozmedzí. Napr. pri meraní zrýchlenia automaticky vyhodnocuje potrebný čas k dosiahnutiu stanovenej rýchlosti (0–60,

0–100, 0–160, 0–200 km/h). Umožňuje meranie brzdnéj dráhy z rýchlostí 100–0, 60–0 km/h., alebo vyhodnocuje kombinované parametre ako 0–100–0, 0–160–0 km/h. [16]

Prístroj pracuje s frekvenciou 10 Hz, pričom dokáže zaznamenať maximálnu rýchlosť 1600 km/h s citlivosťou 0,2 km/h. Maximálnu hodnotu zrýchlenia, ktorú prístroj dokáže zaznamenať je $\pm 39,2 \text{ m/s}^2$ s presnosťou $0,1 \text{ m/s}^2$. [16]

Výhodou PerformanceBoxu je jeho jednoduchá inštalácia, jeho kompaktnosť a ľahká ovládateľnosť. Nutnosť prístroja je externé napájanie od 6 V až do 28 V. Ďalším pozitívom prístroja je externá anténa, ktorá sa pomocou magnetu pripevní na strechu snímaného vozidla. [16]



Obr. č. 47 – Racelogic PerformanceBox [16]

7.4.2 Postup pri meraní prístrojom Inventure XL meter Pro

Pomocou vákuovej prísavky sa prístroj upevnil na čelné sklo motorového vozidla. Po zapnutí sa na displeji zobrazila hodnota pozdĺžneho a priečneho zrýchlenia, pričom tieto hodnoty je potrebné ustanoviť na nulové hodnoty (kalibrácia). Samotné merania je nutno uskutočniť na rovných úsekoch, kde výškový profil vozovky je konštantný, nie je zreteľné klesanie ani stúpanie.

Po kalibrácii je prístroj pripravený k samotnému zaznamenávaniu dát. Po dosiahnutí potrebnej rýchlosti sa stlačí tlačítko štart. Následne sa uskutoční brzdenie motorom, po ktorom sa meranie ukončí pomocou tlačítka stop. Výsledkom nameraných dát je priečne a pozdĺžne spomalenie. Hodnoty rýchlostí a prejdenej úsekov nezodpovedajú skutočnosťam, nakoľko vozidlo pri meraniach nebolo uvedené do úplného zastavenia.

Prejdené vzdialenosti sa dopočítajú pomocou nasledujúceho vzťahu:

$$s = v_0 \times t - \frac{1}{2} \times a \times t^2 \text{ [m]}$$

kde v_0 je počiatočná rýchlosť [m/s],

t je čas [s].

Počiatočná rýchlosť bola pri každom meraní odčítaná z displeju PerformanceBoxu. Následne sa hodnota zapísala do poznámkového bloku, do ktorého sa tiež zapisoval spôsob brzdenia a zaradeného prevodového stupňa.

Pre analýzu a spracovanie nameraných dát, je potrebné dané dáta otvoriť v príslušnom programe – XL Vision, v ktorom možno uskutočniť vyexportovanie do tabuľkového procesoru (MS Excel).

7.4.3 Postup pri meraní prístrojom Racelogic PerformanceBox

Prostredníctvom vákuových prísaviek sa prístroj umiestnil na čelné sklo motorového vozidla. Externá magnetická anténa bola umiestnená na strechu daného vozidla. Napájanie bolo uskutočnené skrz 12 V zásuvku zapaľovača. Po zapojení prístroja k zásuvke zapaľovača a následným spojením prístroja s dostatočným počtom satelitov, sa automaticky spustilo nahrávanie dát na vloženú SD kartu.

Z nameraných dát sa pomocou programu PerformanceBox Tools vyexportovali hodnoty polôh motorového vozidla počas uskutočnených meraní. Výsledkom je grafické znázornenie trias, ktoré boli počas meraní zrealizované. Vidno sú na obr. č. 40, 42 a 44.

8 VÝSLEDKY MERANIA

V tejto kapitole je popísaný priebeh meraní jednotlivých vozidiel, pričom na každom z nich bolo uskutočnených niekoľko rôznych konfigurácií typu: počiatočná rýchlosť – prevodový stupeň. Meranie prebehlo s prázdny ako aj s naloženým vozidlom. Pre spresnenie údajov ako aj pre minimalizovanie možných chýb počas merania, boli niektoré typy meraní viackrát opakované. Nepodarilo sa však všetky merania viackrát opakovať. Celkovo bolo uskutočnených cca 100 meraní.

8.1 MERCEDES-BENZ ACTROS 2546

Nákladné vozidlo Mercedes-Benz Actros 2546 je vybavené automatickou prevodovkou, ktorá je tvorená 3 stupňovou synchronizovanou základnou prevodovkou rozšírenou o rozsahovú a deliacu redukciu. Vodič nákladného vozidla tak má možnosť radíť medzi 12 stupňami. Informácia o zaradenom stupni je vodičovi oznámená prostredníctvom displeja, na ktorom sa popri zaradenom stupni (1 až 6) ukazuje šípka hore alebo dole. Tá znázorňuje zaradený normálny (rýchly) prevod alebo redukčný (pomalý) prevod. Pre zachovanie rovnakého prevodového stupňa bola automatická prevodovka prepnutá vodičom nákladného vozidla na manuálne ovládanie. Tým bolo zaručené, aby prevodovka nepreraďovala samovoľne prevodové stupne pri nízkych, prípadne vysokých otáčkach motora.

Nákladné vozidlo Mercedes-Benz Actros 2546 je štandardne vybavené dvojstupňovou dekompresnou motorovou brzdou. Pri meraniach bolo brzdenie uskutočnené brzdením motorom ako aj prvým a druhým stupňom motorovej brzdy.

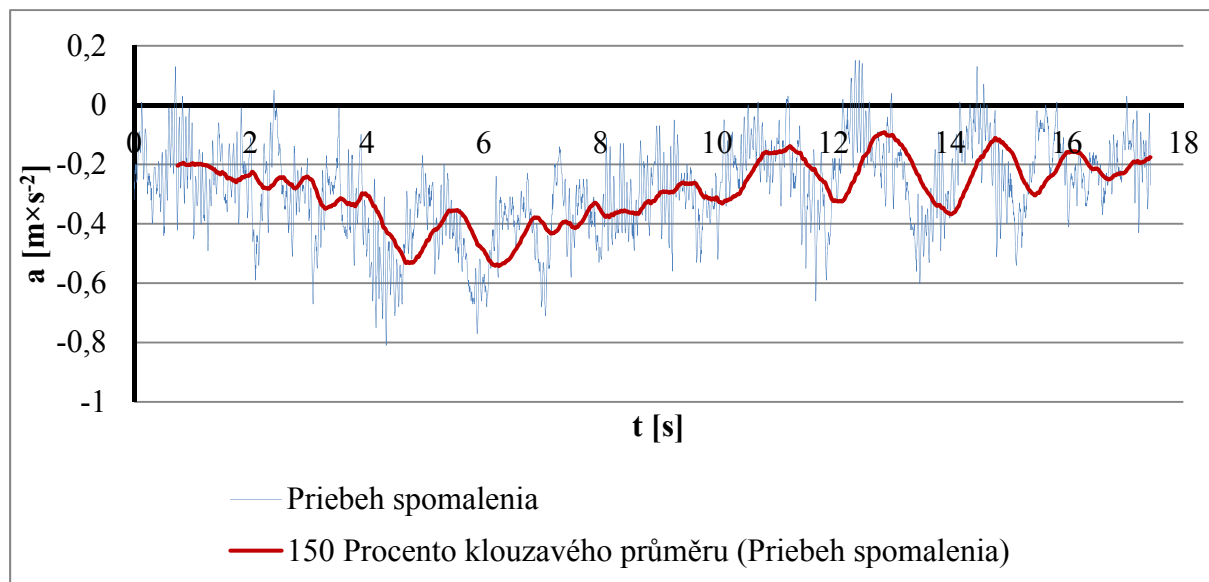
8.1.1 Meranie naloženého nákladného vozidla

Celková hmotnosť súpravy počas meraní bola cca 23 000 kg. Maximálna povolená hmotnosť súpravy je 44 000 kg, čo žiaľ počas nakládky tovaru, ktorý sa následne prevážal do blízkosti Prahy, nebol dosiahnutý. Namerané hodnoty však majú výpovednú hodnotu, nakoľko sa nie vždy podarí zaistiť maximálne zaťaženie súpravy počas každodennej prepravy tovaru.

Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

V tabuľkovom procesore MS Excel sa uskutočnila analýza nameraných dát. Výsledkom je priemerné spomalenie a grafické znázornenie priebehu jednotlivých meraní.

Pre názornosť je na obr. č. 48 zobrazený priebeh priečného spomalenia z rýchlosti 42 km/h pri zaradenom 4. normálnom prevodovom stupni. Okamžité spomalenie v závislosti na čase bolo analyzované metódou klzavého priemeru, čím bolo dosiahnuté vyhladenie krivky. Výhoda tejto metódy spočíva v lepšom určení trendu alebo zmeny trendu. Výpočty a grafické priebehy všetkých meraní sú súčasťou prílohy 1.



Obr. č. 48 – Spomalenie brzdéním motora pri zaradenom 4 normálnom prevodovom stupni

V nasledujúcej tabuľke sú znázornené hodnoty rýchlostí, prejdenej vzdialenosti, času a výsledného priemerného spomalenia. V tabuľke je taktiež uvedené maximálne dosiahnuté spomalenie. Všetky hodnoty spomalení sú uvedené v absolútnych hodnotách.

Tab. č. 5 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Zaradený prevodový stupeň ⁸	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
3↓	25 → 14	11	99,8	18,62	0,17	0,69
3↓	25 → 11	14	64,1	12,66	0,30	0,70
3	15 → 1	14	41,9	18,74	0,21	0,58
3	33 → 16	17	106,2	15,45	0,30	0,44
3	30 → 11	19	102,9	18,13	0,29	0,76
4↓	16 → 5	11	59,0	20,68	0,15	0,59
4↓	38 → 13	25	155,8	21,89	0,31	0,65
4	42 → 24	18	159,9	17,44	0,27	0,81
5↓	40 → 29	11	207,4	21,72	0,14	0,95
5	82 → 68	14	537,3	25,78	0,15	0,74
5	70 → 51	19	375,4	22,34	0,24	0,74
5	80 → 57	23	548,6	28,84	0,22	0,95

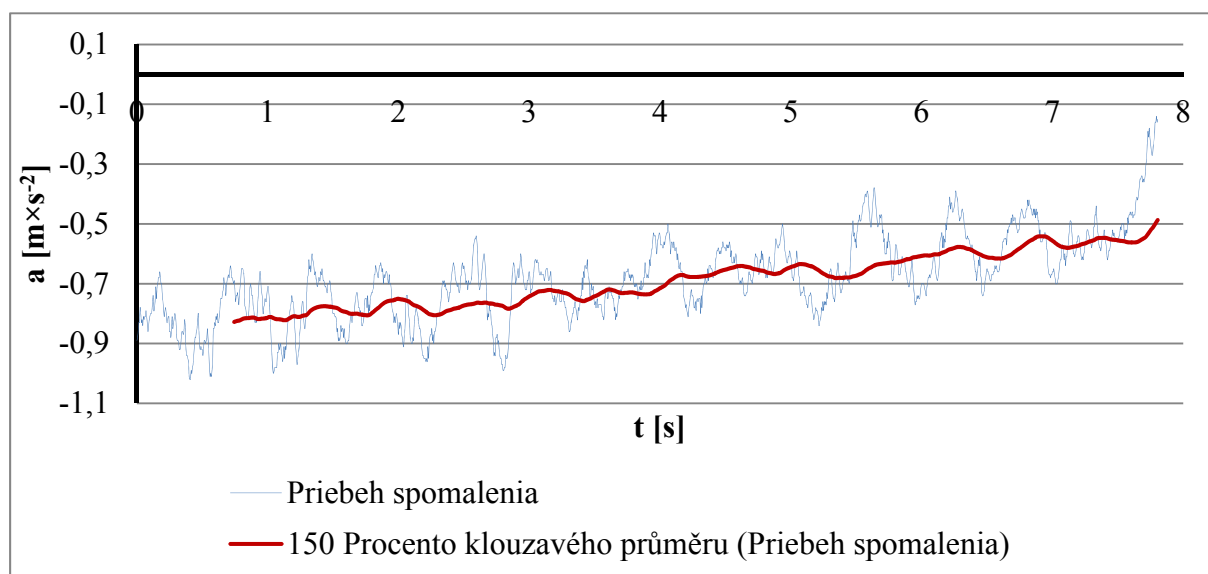
⁸ Symbol ↓ značí redukčný (pomalý) prevod. Prevodový stupeň bez symbolu ↓ naopak značí normálny (rýchly) prevod.

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
6↓	45 → 35	10	197,6	17,75	0,15	0,42
6	57 → 45	12	565,7	39,84	0,08	0,60
6	85 → 75	10	505,1	22,74	0,12	0,79
6	73 → 59	14	552,9	30,19	0,13	0,55

Z údajov, ktoré sú uvedené v tabuľke, vyplýva, že pri zaradenom nižšom prevodovom stupni a zároveň väčšej rýchlosti, čomu zodpovedajú vyššie otáčky motora, je pričné spomalenie vyššie.

Hodnoty namerané pri spomalení 1. stupňom motorovej brzdy

Ako bolo spomenuté, nákladné vozidlo Mercedes-Benz Actros 2546 disponuje dvojstupňovou motorovou brzdou. V tejto kapitole sú uvedené výsledky meraní, ktoré sa uskutočnili počas spomalenia nákladného vozidla vplyvom zapnutého 1. stupňa motorovej brzdy. Typickým priebehom takéhoto spomalenia je graf uvedený na obr. č. 49. Jedná sa o spomalenie z rýchlosti 25 km/h pri zaradenom 3. redukčnom prevodovom stupni.



Obr. č. 49 – Spomalenie 1. stupňom motorovej brzdy pri zaradenom 3. redukčnom prevode

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené výsledné hodnoty priemerného spomalenia v závislosti na rôznych konfiguráciách rýchlostí a prevodových stupňov.

Tab. č. 6 – Hodnoty namerané pri spomalení 1. stupňom motorovej brzdy

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
3↓	25 → 6	19	33,4	7,81	0,68	1,02
3	28 → 15	13	54,0	9,06	0,40	0,73
4	60 → 38	18	171,1	12,63	0,49	0,01
5↓	62 → 36	26	319,1	23,44	0,31	0,82
5↓	39 → 29	10	102,8	10,95	0,26	0,53
5	80 → 64	16	302,0	15,13	0,30	0,70
6↓	80 → 59	21	485,0	25,16	0,23	0,66
6↓	80 → 62	18	339,5	17,26	0,30	1,46
6↓	50 → 40	10	224,5	17,88	0,15	0,47
6	75 → 45	30	666,6	39,85	0,21	0,67
6	80 → 57	23	471,1	24,68	0,25	1,27

S porovnaním údajov z tab. č. 5 a tab. č. 6 je zreteľný nárast priemerného spomalenia, ktorý je práve spôsobený zapnutým 1. stupňom motorovej brzdy.

Hodnoty namerané pri spomalení 2. stupňom motorovej brzdy

Posledný typ merania, ktorý sa uskutočnil s nákladným vozidlom Mercedes-Benz Actros 2546 bolo meranie pri zapnutom 2. stupni motorovej brzdy.

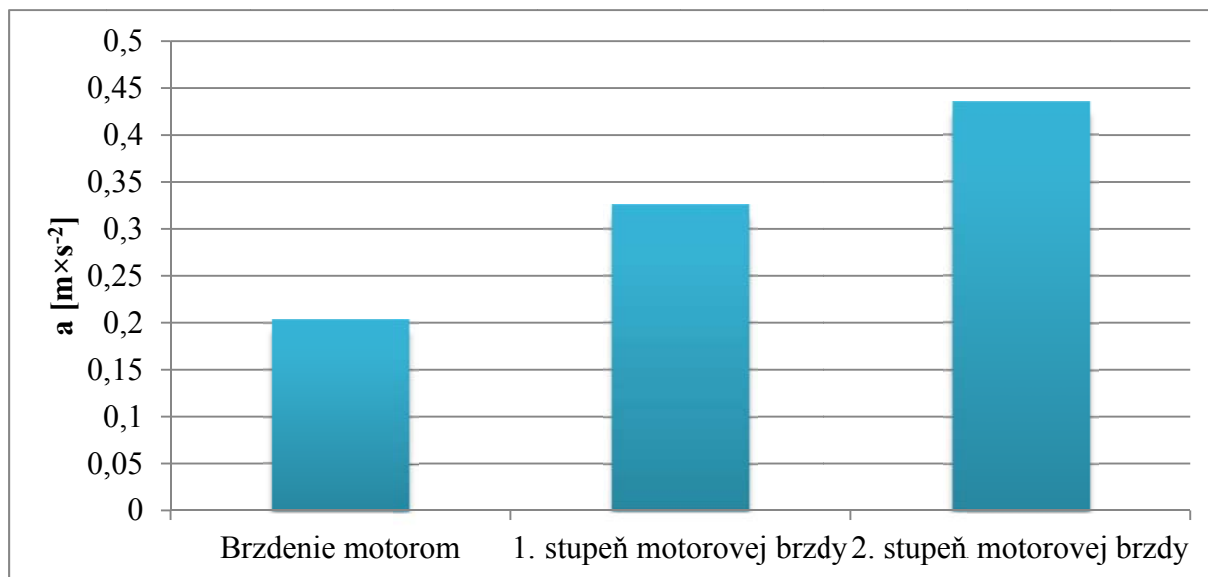
Tab. č. 7– Hodnoty namerané pri spomalení 2. stupňom motorovej brzdy

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
3↓	25 → 7	18	25,2	5,64	0,88	1,32
3	28 → 14	14	42,5	7,3	0,54	0,71
4↓	35 → 12	13	83,8	12,93	0,50	0,80
4	60 → 32	28	190,3	14,92	0,52	0,93
5↓	45 → 28	17	138,7	13,69	0,35	0,62
5	80 → 63	17	290,9	14,6	0,32	1,35
6↓	80 → 59	21	391,9	20,26	0,28	0,80
6	70 → 47	23	441,7	27,18	0,24	1,47
6	87 → 66	21	422,5	19,9	0,30	0,76

Pri zapnutom 2. stupni motorovej brzdy sú hodnoty priemerného spomalenia ešte vyššie. Dokazuje to aj graf, ktorý je uvedený v nasledujúcej podkapitole.

Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia pri brzdení motorom, 1. a 2. stupni motorovej brzdy

Pre porovnanie účinnosti jednotlivých spôsobov brzdenia, boli hodnoty priemerného spomalenia z tab. č. 5, 6, 7 spriemerované. Ich hodnoty možno vidieť na obr. č. 50, vo forme stĺpcového grafu.



Obr. č. 50 – Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia pri brzdení motorom, 1. a 2. stupni motorovej brzdy

8.1.2 Meranie prázdneho nákladného vozidla

Ako bolo na začiatku kap. 8 spomenuté, merania nákladných vozidiel boli realizované pri naloženom ako aj pri ich prázdnom stave. Pri vozidle Mercedes-Benz Actros 2546 však táto možnosť neexistovala. Vozidlo je každý deň využívané a to pri takom zaťažení, pri ktorom sa merania uskutočňovali. Spoločnosť MISVO TRANS s.r.o., kvôli vyťaženosti daného vozidla neumožnila zmerať vozidlo v jeho prázdnom stave.

8.2 DAF XF105.460 SC

Nákladné vozidlo DAF XF105.460 SC je vybavené manuálnou 4 stupňovou prevodovkou, ktorá je rozšírená o rozsahovú ako aj o deliacu redukciu. Vodič nákladného vozidla tak má možnosť radiť medzi 16 stupňami. Pomocou rozsahovej redukcie môže vodič prepínať medzi „veľkou“ a „malou“ radou. Deliaci redukcia slúži na radenie redukovaných, t. j. „polených“ prevodových stupňov.

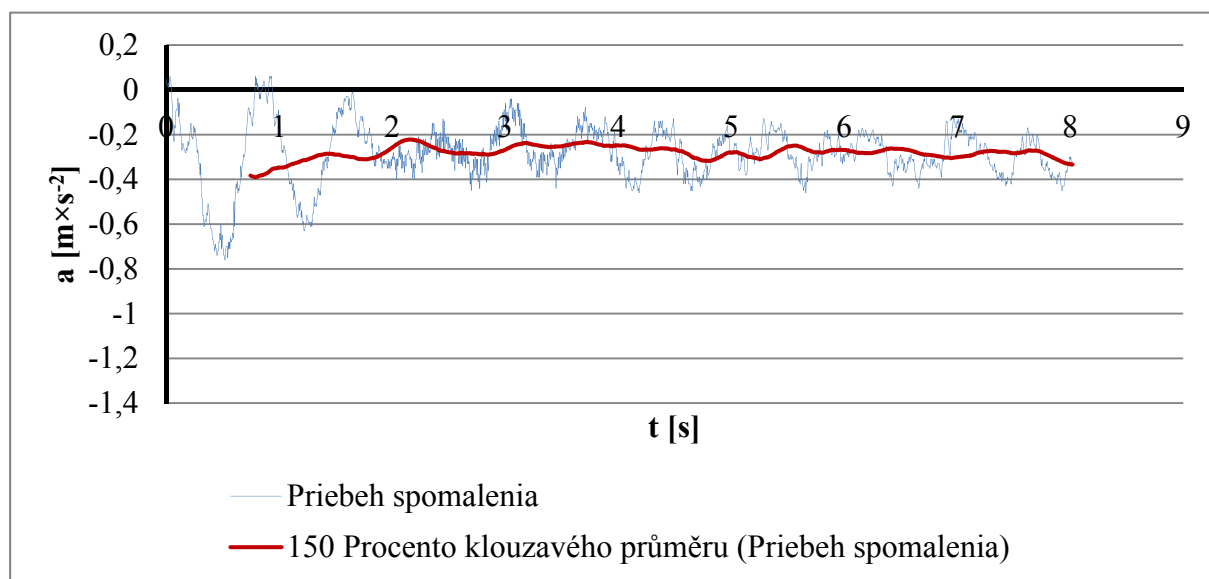
Nákladné vozidlo je štandardne vybavené jednostupňovou dekompresnou motorovou brzdou. Pri meraniach bolo brzdenie uskutočnené brzdením motorom ako aj motorovou brzdou.

8.2.1 Meranie naloženého nákladného vozidla

Náklad, ktorý bol rovnomerne rozložený v úložnom priestore návesu, mal hmotnosť cca 23 000 kg. Celková hmotnosť súpravy sa pohybovala na hranici 39 000 kg. Hmotnosť je dostatočne vysoká na to, aby sa dosiahli dobré merania. Tie nám zaručia vierohodné porovnanie hodnôt priečného spomalenia medzi naloženou a prázdnu návesovou súpravou.

Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Pre názornosť je na obr. č. 51 zobrazený priebeh priečného spomalenia z rýchlosti 20 km/h pri zaradenom 3. prevodovom stupni malej rady. V časovom úseku, ktoré je zobrazené na danom grafe, má hodnotu $0,28 \text{ m/s}^2$. Z obrázku je zreteľná maximálna amplitúda krivky, ktorá predstavuje maximálne dosiahnuté spomalenie. Jej hodnota je $0,76 \text{ m/s}^2$.



Obr. č. 51 – Spomalenie brzdením motora pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady

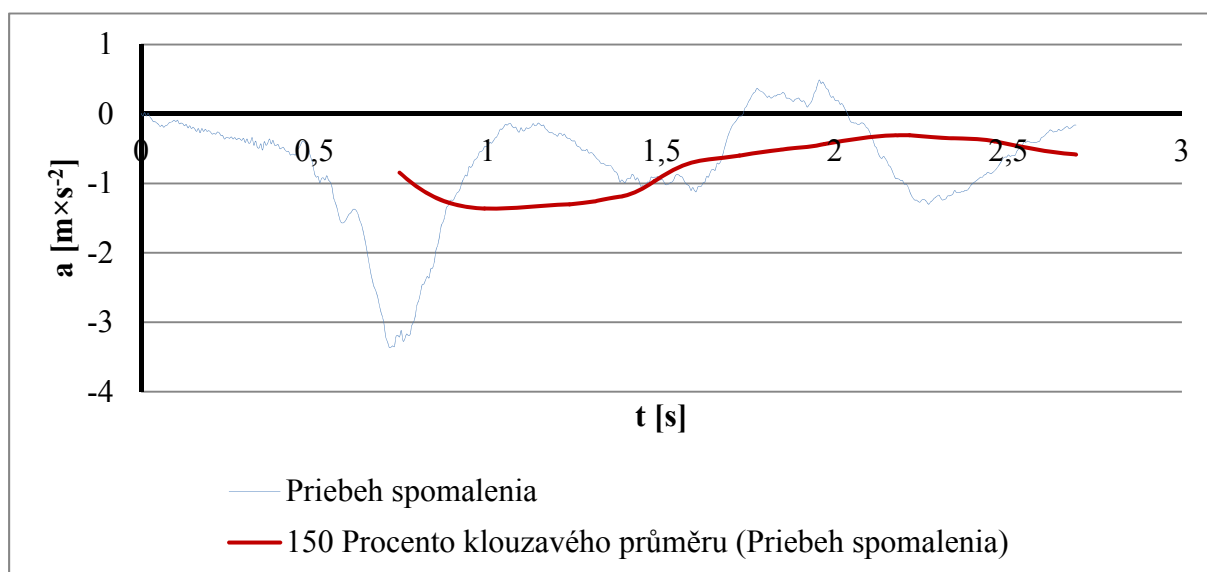
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas brzdenia motorom.

Tab. č. 8 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Zaradený prevodový stupeň ⁹	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
2 L	15 → 5	10	28,8	10,16	0,26	0,99
3 L	20 → 12	8	35,4	8,02	0,28	0,76
2 H	55 → 40	15	198,1	14,99	0,28	1,48
3 H↓	62 → 60	2	203,3	12,02	0,05	1,56
4 H↓	66 → 66	0	115,5	6,315	0,01	0,82

Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Nákladné vozidlo DAF XF105.460 SC disponuje jednostupňovou motorovou brzdou. V tejto kapitole sú uvedené výsledky meraní, ktoré sa uskutočnili počas spomalenia prostredníctvom zapnutej motorovej brzdy u uvedeného nákladného vozidla. Typickým priebehom takéhoto spomalenia je graf uvedený na obr. č. 52. Jedná sa o spomalenie z rýchlosti 13 km/h pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady. Priemerné spomalenie v časovom úseku cca 2,7 s, je 0,70 m/s².



Obr. č. 52 – Spomalenie motorovou brzdou pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené výsledné hodnoty priemerného spomalenia v závislosti na rôznych prevodových stupňoch malej a veľkej rady ako aj rôznych rýchlostí.

⁹ Písmeno L (Low) za číslom prevodového stupňa predstavuje malú radu. Písmeno H (High) predstavuje veľkú radu. Symbol ↓ značí redukčný (pomalý) prevod. Prevodový stupeň bez symbolu ↓ naopak značí normálny (rýchly) prevod.

Tab. č. 9 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
2 L	13 → 4	9	8,8	3,77	0,68	2,78
3 L	16 → 4	12	11,3	4,18	0,83	2,62
3 L	13 → 6	7	7,2	2,7	0,70	3,36
2 H	55 → 32	23	132,7	10,93	0,57	2,28
3 H↓	44 → 32	12	165,9	15,8	0,22	1,73
4 H↓	54 → 49	5	197,9	13,9	0,10	0,83

8.2.2 Meranie prázdneho nákladného vozidla

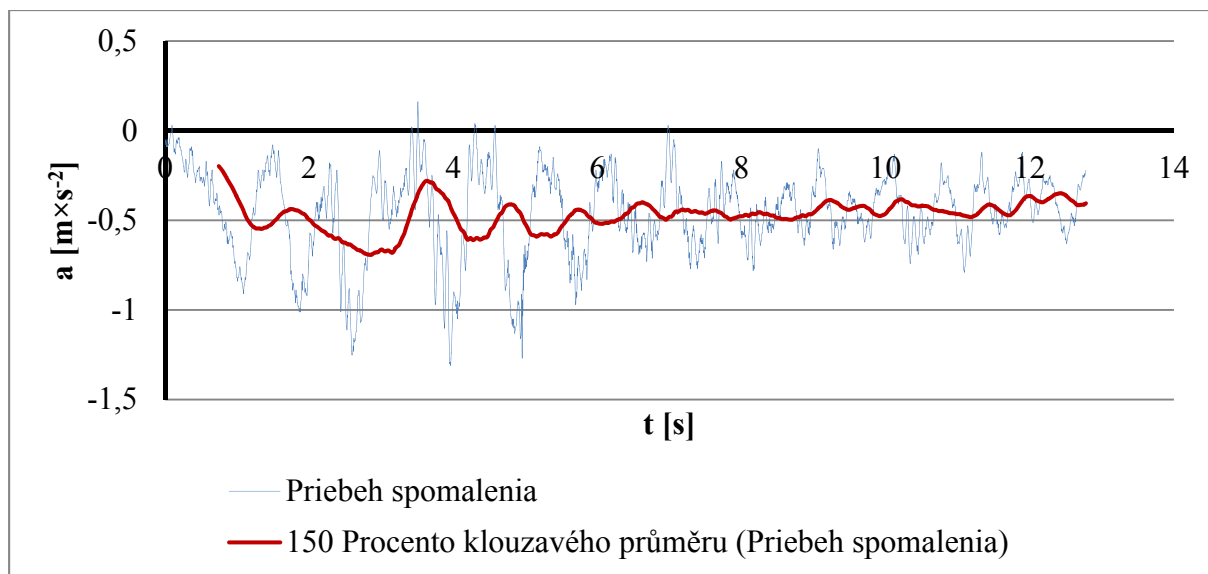
Za účelom zistenia hodnôt spomalenia prázdneho nákladného vozidla bolo meranie uskutočnené na typovo identickom vozidle DAF XF105.460 SC, ktoré malo zhodné technické vlastnosti¹⁰ ako vozidlo, s ktorým sa uskutočnili merania pri naloženom stave.

Pri meraní spomalenia návesovej súpravy bola jeho celková hmotnosť cca 16 000 kg.

Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Pre porovnanie priebehu spomalenia z obr. č. 51, je na nasledujúcom obrázku vidno priebeh spomalenia pri porovnateľných podmienkach. Spomalenie bolo uskutočnená z rýchlosti 27 km/h pri zaradenom 3. prevodovom stupni malej rady. Priemerné spomalenie v časovom úseku, ktoré je zobrazené na danom obrázku, je 0,46 m/s². Z obrázku je tiež zreteľné maximálne dosiahnuté spomalenie, ktorého hodnota je 1,31 m/s².

¹⁰ Vozidlo bolo vybavené manuálnou 16 stupňovou prevodovkou a jednostupňovou dekompresnou motorovou brzdou.



Obr. č. 53 – Spomalenie brzdením motora pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas brzdenia motorom.

Tab. č. 10 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
2 L	26 → 5	21	37,8	8,71	0,66	1,32
2 L	25 → 8	17	30,8	6,68	0,70	1,67
3 L	27 → 6	21	58,3	12,78	0,46	1,31
3 L	33 → 14	19	78,1	11,94	0,44	1,59
2 H	55 → 31	24	222,5	18,66	0,36	1,61
2 H	60 → 31	29	269,5	21,405	0,38	1,63
3 H↓	63 → 47	16	211,8	13,88	0,32	1,18
4 H↓	78 → 53	25	363,2	19,98	0,35	1,50

Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

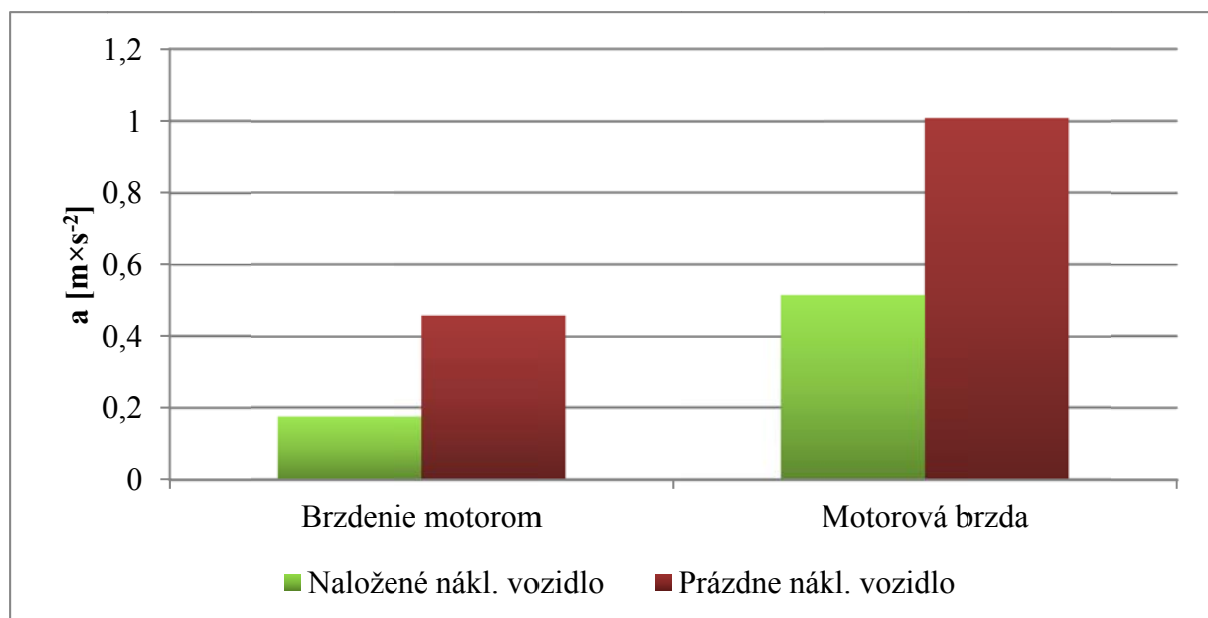
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené výsledné hodnoty rýchlostí, dráh, časov. Tiež sú uvedené hodnoty priemerného a maximálneho spomalenia. Tie boli dosiahnuté počas merania prázdnej návesovej súpravy pri spomalení vplyvom motorovej brzdy. Grafické znázornenia jednotlivých priebehov sú súčasťou prílohy 1.

Tab. č. 11 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
2 L	14 → 6	8	5,4	1,93	1,15	2,51
2 L	18 → 10	8	7,8	1,97	1,08	2,67
3 L	26 → 11	15	16,2	3,16	1,32	2,30
3 L	30 → 10	20	25,9	4,68	1,19	2,24
2 H	46 → 18	28	66,0	7,47	1,06	2,04
2 H	57 → 26	31	98,5	8,52	1,00	3,73
3 H↓	59 → 32	27	130,8	10,35	0,72	1,33
4 H↓	78 → 56	22	214,5	11,51	0,53	1,51

8.2.3 Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia

Z tabuliek, ktoré sú uvedené v kap. 8.2.1 a v kap. 8.2.2, boli hodnoty priemerného spomalenia spriemerované a to v závislosti od typu zaťaženia a spôsobu spomalenia. Výsledok je znázornený na obr. č. 54, v podobe stĺpcového grafu. Z obrázka je jednoznačný vplyv jednotlivých faktorov na veľkosť spomalenia. Najväčšie spomalenie sa dosahuje pri prázdnom stave so súčasne zapnutou motorovou brzdou.



Obr. č. 54 – Porovnanie hodnôt priemerných spomalení v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdienia

8.3 SCANIA R410

Nákladné vozidlo Scania R410 je vybavené 3 stupňovou synchronizovanou základnou prevodovkou, ktorá je rozšírená o rozsahovú a deliacu redukciu. Vodič nákladného vozidla

má možnosť radiť medzi 12 stupňami. Radenie jednotlivých stupňov prebieha plne automaticky, pričom vodičovi je umožnené prepnutie na radenie v manuálnom móde. Tento mód bol použitý pri meraní spomalenia vozidla. Informácia o zaradenom stupni je vodičovi oznámená prostredníctvom displeja, na ktorom sa zobrazuje stupeň zaradeného prevodu (1 až 12).

Nákladné vozidlo Scania R410 je štandardne vybavené jednostupňovou dekompresnou motorovou brzdou. Za príplatok je možné vozidlo vybaviť hydrodynamickou brzdou (ďalej len „retardér“). Testované vozidlo disponovalo touto možnosťou. Jedná sa o 5 stupňový retardér, ktorý maximálne dosahuje brzdný moment o veľkosti $3500 \text{ N}\times\text{m}^{11}$.

Existuje nespočetne veľa konfigurácií typu: zaradený prevodový stupeň – spôsob brzdzenia. Z daného dôvodu boli merania uskutočnené hlavne v 6. zaradenom prevodovom stupni. Začiatok merania bol spravidla z rýchlosti 45 km/h do konečnej rýchlosti cca 15 km/h. Merania sa uskutočnili pri brzdení motorom, pri brzdení motorovou brzdou ako aj brzdením prostredníctvom jednotlivých stupňov retardéra.

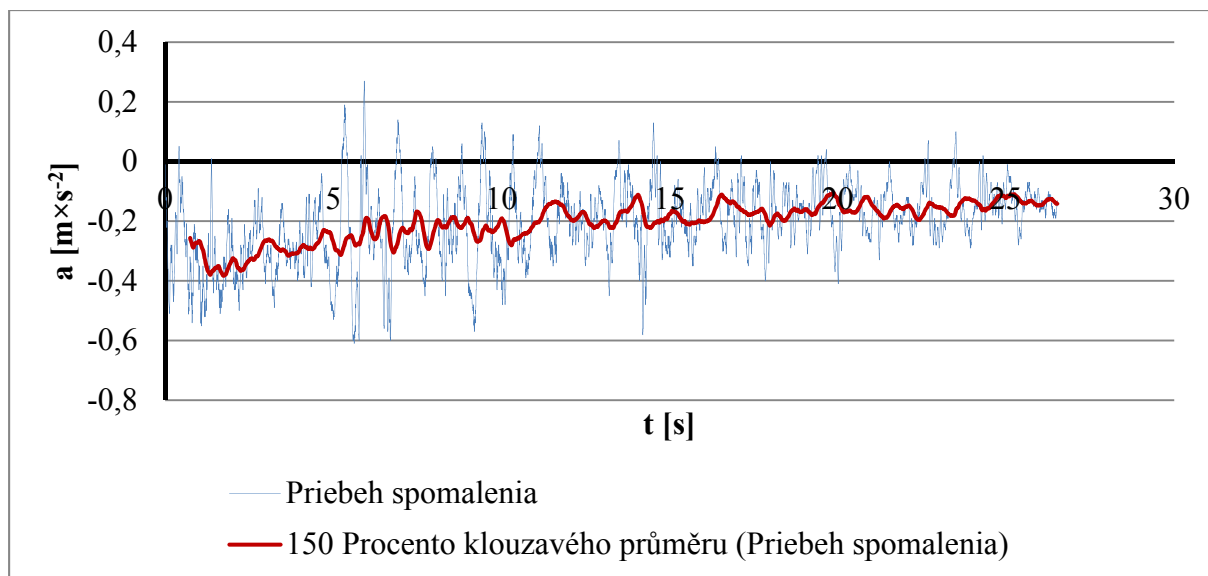
8.3.1 Meranie naloženého nákladného vozidla

Hmotnosť nákladu, ktorá bola prevážaná, bola na úrovni 5 000 kg. Celková hmotnosť súpravy počas meraní činila cca 21 000 kg. Počas nakládky tovaru, ktorý sa následne prevážal do obce Otmarov, bola maximálna povolená hmotnosť, určená na 45 000 kg, nedosiahnuteľná.

Hodnoty namerané počas brzdzenia motorom

Na obr. č. 55 je zobrazený priebeh priečneho spomalenia z rýchlosti 45 km/h pri zaradenom 6. prevodovom stupni. V časovom úseku, ktorý je dlhý cca 27 s je priemerné spomalenie $0,20 \text{ m/s}^2$. Z obrázku je zreteľné maximálne dosiahnuté spomalenie, ktorého hodnota je $0,61 \text{ m/s}^2$.

¹¹ Táto hodnota mi bola oznámená po tel. kontakte so Scania Senec.



Obr. č. 55 – Spomalenie brzděním motoru při zaradenom 6 prevodovom stupni

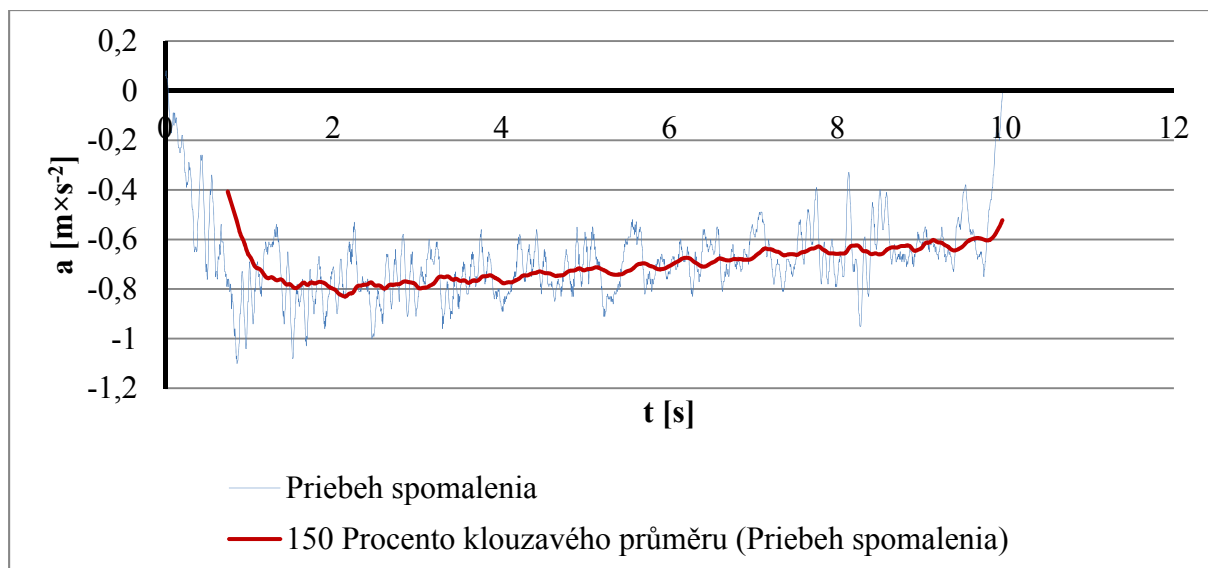
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas brzdenia motorom.

Tab. č. 12 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
4	20 → 11	9	42,3	9,9	0,26	0,52
6	45 → 26	19	259,8	26,53	0,20	0,61
8	30 → 22	8	68,9	9,46	0,22	0,90

Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Pre porovnanie je na obr. č. 56 uvedený priebeh prietného spomalenia v zaradenom 6. prevodovom stupni. Metodika merania bola identická ako pri predošlom meraní. Počiatočná rýchlosť, z ktorej sa meranie uskutočnilo, bola 45 km/h. Na rozdiel od brzdenia motorom sa pri brzdení motorovou brzdou dosiahol nárast priemerného spomalenia o 230% a to na hodnotu 0,68 m/s².



Obr. č. 56 – Spomalenie motorovou brzdou pri zaradenom 6 prevodovom stupni

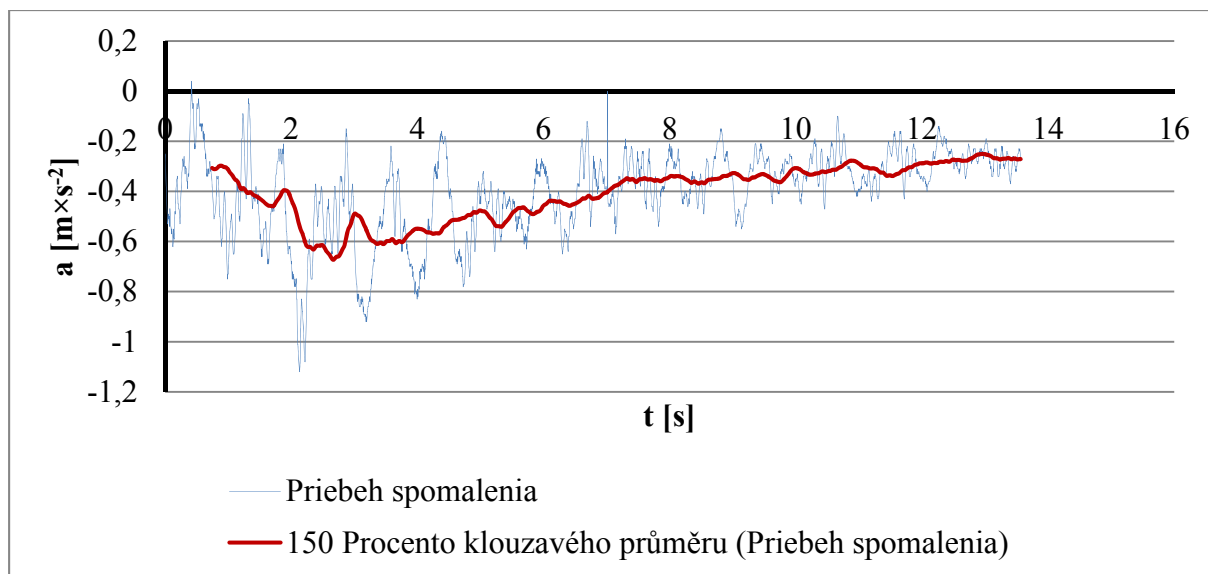
V tab. č. 13 sú uvedené výsledné hodnoty rýchlostí, dráh, časov, priemerného a maximálneho spomalenia. Tie boli dosiahnuté počas merania naloženej návesovej súpravy pri spomalení prostredníctvom motorovej brzdy.

Tab. č. 13 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
4	25 → 10	15	26,1	5,4	0,78	1,81
6	45 → 22	23	90,3	9,76	0,67	1,21
6	45 → 21	24	90,8	9,96	0,68	1,10
8	46 → 24	22	96,5	9,94	0,62	1,65

Hodnoty namerané pri spomalení 1. stupňom retardéra

Na obr. č. 57 je uvedený priebeh spomalenia pri 6. prevodovom stupni, ktorý bol dosiahnutý vplyvom zapnutého 1. stupňa retardéra. Počiatočná rýchlosť činila 45 km/h. Veľkosť priemerného spomalenia pri 1. stupni retardéra voči spomaleniu motorovou brzdou klesla cca 38% a to na 0,40 m/s².



Obr. č. 57 – Spomalenie 1. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni

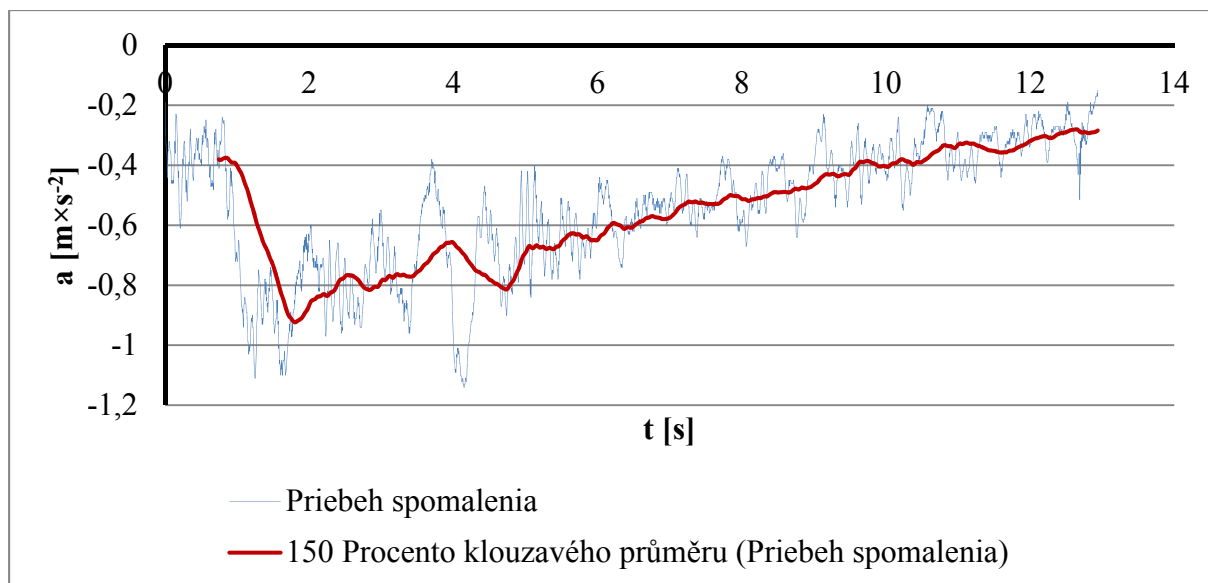
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas spomalenia 1. stupňom retardéra.

Tab. č. 14 – Hodnoty namerané počas spomalenia 1. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
4	25 → 9	16	52,3	10,92	0,40	0,73
5	30 → 14	16	65,6	10,73	0,41	1,19
6	45 → 25	20	132,6	13,57	0,40	1,12
6	40 → 16	24	117,6	15,11	0,44	0,86
8	53 → 30	23	175,1	15,24	0,42	1,06
12	82 → 53	29	351,9	18,71	0,42	1,07

Hodnoty namerané pri spomalení 2. stupňom retardéra

Pre možnosť priameho porovnania meraní, ktoré boli uskutočnené pri rôznych spôsoboch brzdenia je na obr. č. 58 uvedený priebeh spomalenia, ktorý bol dosiahnutý vplyvom zapnutého 2. stupňa retardéra. Meranie sa uskutočnilo pri 6. prevodovom stupni z počiatočnej rýchlosti 45 km/h. Veľkosť priemerného spomalenia voči 1. stupni retardéra stúpila o cca 35% na hodnotu 0,54 m/s².



Obr. č. 58 – Spomalenie 2. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni

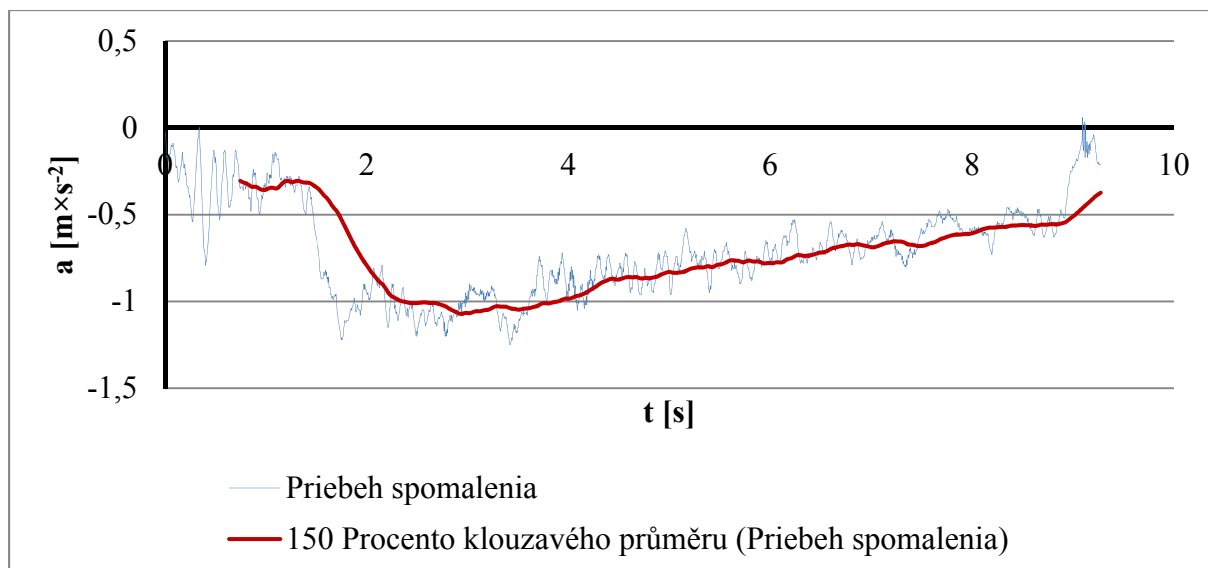
V tab. č. 15 sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas spomalenia 2. stupňom retardéra.

Tab. č. 15 – Hodnoty namerané počas spomalenia 2. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
5	30 → 14	16	48,9	7,93	0,55	1,39
6	45 → 20	25	116,3	12,94	0,54	1,14
6	35 → 13	22	80,6	12,14	0,51	1,09
12	92 → 56	36	379,9	18,52	0,54	1,66

Hodnoty namerané pri spomalení 3. stupňom retardéra

Na obr. č. 59 je uvedený priebeh spomalenia pri 6. prevodovom stupni, ktorý bol dosiahnutý vplyvom zapnutého 3. stupňa retardéra. V priebehu 9 s počiatočná rýchlosť 45 km/h klesla na hodnotu 22 km/h. Dosiahlo sa priemerné spomalenie v hodnote 0,7 m/s². Veľkosť priemerného spomalenia pri 3. stupni retardéra voči 2. stupni retardéra vzrástla v priemere o necelých 29%.



Obr. č. 59 – Spomalenie 3. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni

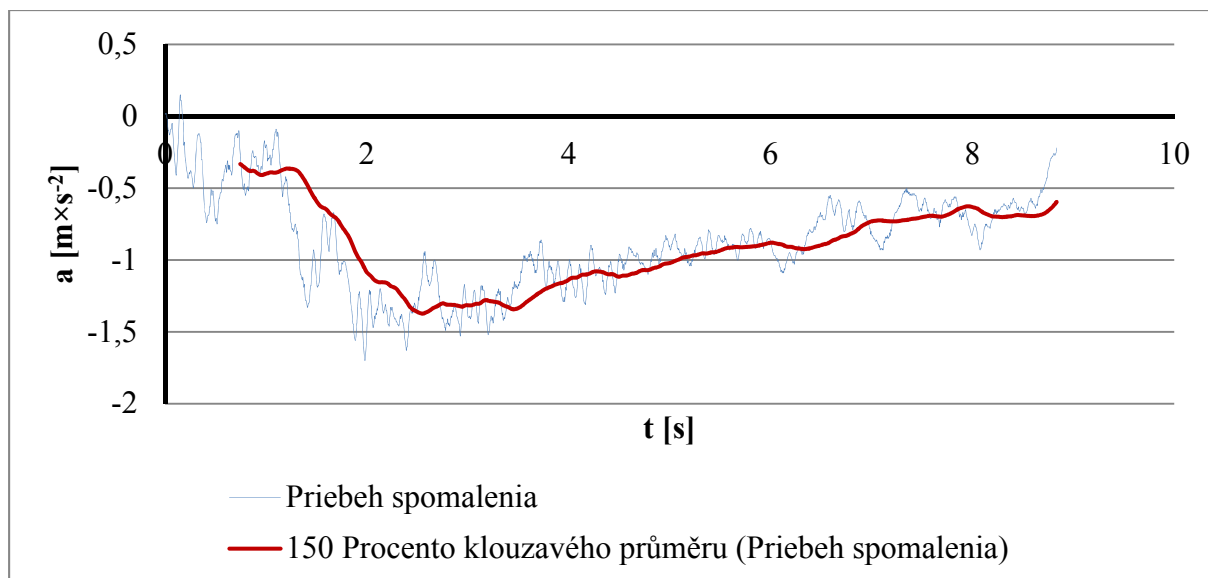
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas spomalenia 3. stupňom retardéra.

Tab. č. 16 – Hodnoty namerané počas spomalenia 3. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
5	30 → 7	23	51,6	10,11	0,64	1,43
6	45 → 22	23	85,9	9,28	0,70	1,25

Hodnoty namerané pri spomalení 4. stupňom retardéra

Pre porovnanie zmeny priebehu spomalenia je na nasledujúcom obrázku uvedené spomalenie pri zapnutom 4. stupni retardéra. Spomalenie sa uskutočnilo pri 6. prevodovom stupni z počiatočnej rýchlosti 45 km/h. Veľkosť priemerného spomalenia pri 4. stupni retardéra voči spomaleniu vplyvom 3. stupňa retardéra vzrástla cca 25% a to na hodnotu 0,87 m/s².



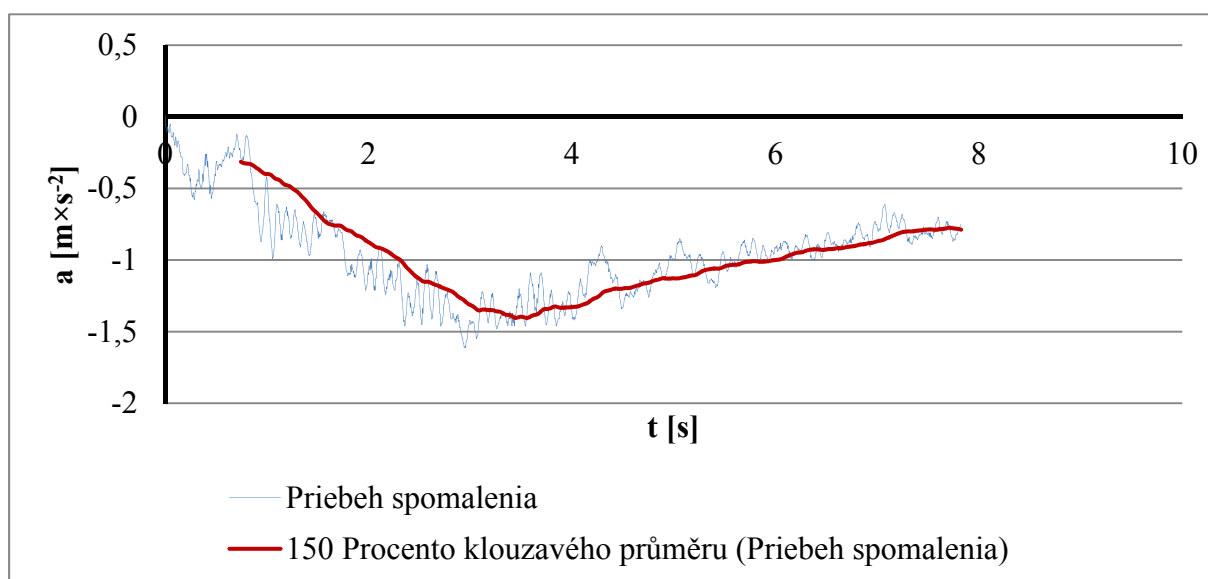
Obr. č. 60 – Spomalenie 4. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni

V tab. č. 17 sú uvedené hodnoty, ktoré boli namerané a následne vypočítané pre spomalenie pri 4. stupňom retardéra.

Tab. č. 17 – Hodnoty namerané počas spomalenia 4. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
5	30 → 11	19	32,4	5,63	0,92	1,51
6	45 → 17	28	76,4	8,84	0,87	1,70

Hodnoty namerané pri spomalení 5. stupňom retardéra



Obr. č. 61 – Spomalenie 5. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni

Z obr. č. 61 je evidentné, že priebeh krivky spomalenia je o niečo „výraznejší“ oproti spomaleniu pri zapnutom 4. stupni retardéra. Maximálna hodnota spomalenia činí $1,61 \text{ m/s}^2$. Spomalenie sa uskutočnilo pri 6. prevodovom stupni z počiatočnej rýchlosti 45 km/h . Veľkosť priemerného spomalenia voči spomaleniu vplyvom 4. stupňa retardéra vzrástla o necelých 10% a to na hodnotu $0,95 \text{ m/s}^2$.

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas spomalenia 5. stupňom retardéra.

Tab. č. 18 – Hodnoty namerané počas spomalenia 5. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
5	30 → 4	26	34,3	7,29	1,00	1,89
6	45 → 18	27	68,6	7,83	0,95	1,61

8.3.2 Meranie prázdneho nákladného vozidla

Pri meraní spomalenia návesovej súpravy Scania R410 sa pohybovala jeho celková hmotnosť na úrovni $16\,000 \text{ kg}$.

V nasledujúcich podkapitolách sú hodnoty jednotlivých meraní uvedené výlučne v tabuľkách. Na grafické priebehy možno nahliadnuť v prílohe 1.

Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Hodnoty, ktoré sú uvedené v tab. č. 19, predstavujú rýchlosť z ktorej sa merania uskutočňovali. Hodnoty tiež uvádzajú prejdenu dráhu, potrebný čas a vypočítané priemerné priečne spomalenie. Tabuľka je tiež rozšírená o hodnoty maximálneho spomalenia.

Tab. č. 19 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
6	45 → 12	23	127,2	16,2	0,57	0,96
8	30 → 10	20	65,1	11,66	0,47	1,07

Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Ak porovnáme hodnoty priemerného spomalenia uvedené v tab. č. 20 s tab. č. 19, nastal zreteľný nárast priemerného spomalenia. K zväčšeniu došlo temer o 100%. Tento nárast je spôsobený funkciou dekompresnej motorovej brzdy.

Tab. č. 20 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
6	45 → 10	25	68,6	8,96	1,08	1,59
8	30 → 22	8	16,8	2,35	1,00	3,06

Hodnoty namerané pri spomalení 1. stupňom retardéra

Hodnoty priemerného spomalenia, ako aj hodnoty, z ktorých sa pri výpočte vychádzalo, sú uvedené v tab. č. 21. Pri porovnaní hodnôt priemerného spomalenia 1. stupňom retardéra s hodnotami pri spomalení motorovou brzdou, je zjavný jeho pokles. Priemerná hodnota spomalenia klesla až o 33%.

Tab. č. 21 – Hodnoty namerané počas spomalenia 1. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
5	30 → 11	19	43,3	7,69	0,70	1,14
6	43 → 15	28	87,6	10,94	0,72	1,34
6	40 → 19	21	65,4	7,98	0,73	1,63
12	80 → 50	30	235,7	13,03	0,64	1,39

Hodnoty namerané pri spomalení 2. stupňom retardéra

V tab. č. 22 sú uvedené hodnoty, ktoré sa docielili pri spomalení 2. stupňom retardéra. V priemere došlo k miernemu vzrastu hodnôt priemerného spomalenia. Oproti spomaleniu 1. stupňom retardéra sa hodnota priečného spomalenia zvýšila o cca 35%. Veľkosť priemerného spomalenia 1. stupňom retardéra je porovnateľná so spomalením, ktoré sa dosiahlo pri použití motorovej brzdy.

Tab. č. 22 – Hodnoty namerané počas spomalenia 2. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
5	30 → 12	18	31,7	5,47	0,92	1,77
6	45 → 13	32	75,7	9,46	0,95	1,56

Hodnoty namerané pri spomalení 3. stupňom retardéra

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty meraní, získané počas spomalenia 3. stupňom retardéra. Hodnoty, ktoré sú v uvedené v tabuľke, sú v priemere o 15% väčšie ako hodnoty uvedené v tab. č. 22.

Tab. č. 23 – Hodnoty namerané počas spomalenia 3. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
6	45 → 13	32	68,4	8,49	1,05	1,96
6	45 → 14	31	64	7,83	1,10	1,77

Hodnoty namerané pri spomalení 4. stupňom retardéra

Nákladné vozidlo Scania R410 bolo vytážené, takže sa uskutočnilo len jedno meranie. Meranie bolo realizované pri spomalení 4. stupňom retardéra. Meranie sa uskutočnilo pri 6. prevodovom stupni z počiatočnej rýchlosti 45 km/h. Veľkosť priemerného spomalenia pri 4. stupni retardéra voči spomaleniu vplyvom 3. stupňa retardéra vzrástla o necelých 13% a to na hodnotu 1,21 m/s².

Tab. č. 24 – Hodnoty namerané počas spomalenia 4. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
6	45 → 10	35	61,4	8,01	1,21	2,20

Hodnoty namerané pri spomalení 5. stupňom retardéra

Pri spomalení 5. stupňom retardéra sa opäť z dôvodu vytáženosti nákladného vozidla podarilo uskutočniť len jedno meranie. Pre zachovanie identických podmienok bolo aj toto meranie uskutočnené z počiatočnej rýchlosti 45 km/h. Priemerné spomalenie, ktoré sa pri danom meraní dosiahlo má hodnotu 1,37 m/s². Táto hodnota predstavuje najväčšie priemerné spomalenie, ktoré bolo dosiahnuté počas všetkých cca 100 meraní.

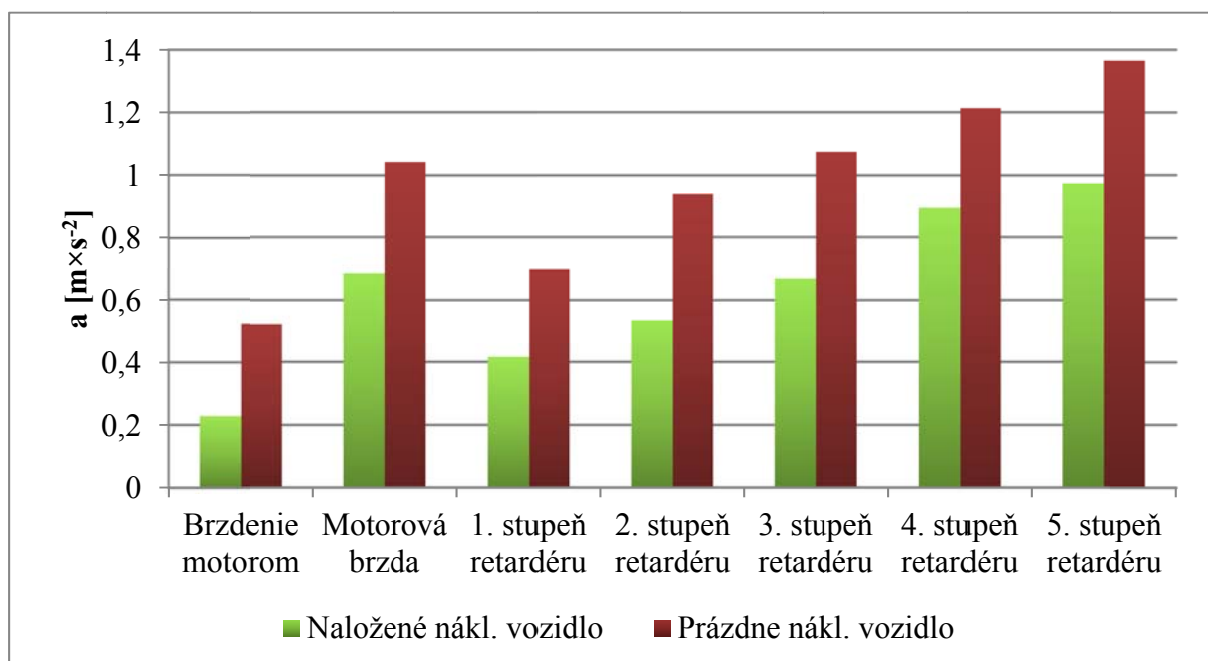
Tab. č. 25 – Hodnoty namerané počas spomalenia 5. stupňom retardéra

Zaradený prevodový stupeň	v [km/h]	Δv [km/h]	s [m]	t [s]	a_{pr} [m/s ²]	a_{max} [m/s ²]
6	45 → 13	32	52,7	6,59	1,37	2,16

8.3.3 Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia

Z tabuliek, ktoré sú uvedené v kap. 8.3.1 a v kap. 8.3.2, boli hodnoty priemerného spomalenia v závislosti od typu zaťaženia a spôsobu spomalenia, spriemerované. Výsledok je znázornený na obr. č. 62, v podobe stĺpcového grafu. Z grafu je zreteľný nárast hodnoty spomalenia s postupným zapínaním jednotlivých stupňov retardéra. Hodnota spomalenia pri

motorovej brzde sa pohybuje v rozmedzí 2. a 3. stupňa retardéra. Najväčšie spomalenie sa dosahuje so zapnutým 5. stupňom retardéra. Vo všeobecnosti sa dá konštatovať, že s klesajúcou hmotnosťou návesovej súpravy rastie hodnota spomalenia.



Obr. č. 62 – Porovnanie hodnôt priemerných spomalení v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia

ZÁVER

Celou mojou diplomovou prácou s názvom „Meranie spomalenia nákladných automobilov nad 12 ton pri brzdení motorom“ sa prelína snaha o vytvorenie a vyhodnotenie relevantných výsledkov, ktoré som získal meraním pomocou meracích prístrojov *Inventure XL meter Pro* a *Racelogic PerformanceBox* na troch rôznych nákladných vozidlách. Pracoval som v teréne, pri meraniach som venoval pozornosť presnému zaznamenávaniu údajov. Tie sa týkali predovšetkým priebehu spomalenia naloženého nákladného vozidla a prázdneho nákladného vozidla.

Vo všetkých mojich meraniach som pripisoval dôležitosť tomu, aby boli podmienky meraní identické, aby prebiehali za rovnakých podmienok. Chcel som doceliť dostatočnú validitu nameraných výsledkov. Uskutočnil som viac ako 100 meraní, pri ktorých som použil rôzne konfigurácie typu: rýchlosť – rýchlostný stupeň – typ brzdenia.

Výsledkom meraní, sú hodnoty priemerných spomalení, ktoré sú znázornené v stĺpcových grafoch. Z grafov možno postrehnúť priamy dopad hmotnosti na veľkosť spomalenia. Čím je hmotnosť vozidla väčšia, tým je spomalenie pozvoľnejšie.

V diplomovej práci som dospel k záverom, že brzdenie motorom, brzdenie pomocou motorovej brzdy ako aj brzdenie prostredníctvom retardéra skrýva v sebe rozdiely. Najúčinnnejším sa javí brzdenie prostredníctvom retardéra. Jednotlivé odstupňované nastavenia retardéra prispievajú k vyššiemu brzdnému momentu. Dospel som tiež k záverom, že s narastajúcimi otáčkami motora dochádza k väčšiemu brzdnému účinku pri brzdení motorom. Môžem konštatovať, že pri zaradení nižšieho prevodového stupňa vzniká väčší brzdný účinok.

Využitie brzdenia motorom disponuje dôležitým úsporným ekonomickým a hospodárnym momentom.

Dúfam, že moja diplomová práca a v nej uvedené výsledky meraní, sa stanú prínosom pre znaleckú prax v odbore analýzy nehôd. Mnou uvedené výsledky sa môžu stať vstupnými veličinami napr. pri riešení predstretového pohybu.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 3., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [2] VÉMOLA, Aleš. *Diagnostika automobilů*. Brno: Littera, 2006. ISBN 80-857-6331-1.
- [3] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
- [4] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 392 s. ISBN 80-239-0026-9.
- [5] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 312 s. ISBN 80-239-0025-0.
- [6] VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 499 s. ISBN 80-238-8757-2.
- [7] ŽDÁNSKÝ, Bronislav, Zdeněk JAN a Jiří ČUPERA. *Automobily I - Podvozky*. Brno: AVID, 2007. 228 s. ISBN 978-80-87143-03-2.
- [8] Drag coefficient. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient
- [9] Exkurs: Der tote Winkel. *ADFC Berlin*. [online]. 3.05.2015 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://adfc-berlin.de/radverkehr/sicherheit/information-und-analyse/121-fahrradunfaelle-in-berlin-unfallstatistik/222-exkurs-der-tote-winkel.html>
- [10] Jízdní odpory . *STŘEDNÍ ŠKOLA STAVEBNÍ A TECHNICKÁ*. [online]. [2014] [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahUahUK_lvGkwuXKAhWCeA8KHQXtC6AQFghAMAY&url=http%3A%2F%2Fdumy.cz%2Fstahnout%2F118273&usg=AFQjCNH-cGfySjYajdRAnzrrDFXLbLn-Rg&sig2=wmjl6IdCuQniTjPFfClisQ
- [11] Kompresní poměr. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kompresn%C3%AD_pom%C4%9Br
- [12] Marcel Janco. Čo je to motorová brzda?. *Autorubrik.sk*. [online]. 14.3.2014 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/co-je-to-motorova-brzda>
- [13] Marcel Janco. K čomu slúži v motore preplňovanie? Čo je to turbodúchadlo a ako funguje mechanický kompresor?. *Autorubrik.sk*. [online]. 9.3.2013 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/k-comu-sluzi-v-motore-preplnovanie-co-je-to-turboduchadlo-a-ako-funguje-mechanicky-kompresor>

- [14] Mootorpidur. *Hitsa Innovatsioonikeskus*. [online]. [2013] [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: http://www.eope.ee/_download/euni_repository/file/2929/Elektropneumaatile%20piduriseade.zip/mootorpidur.html
- [15] Operating Principle. *Telma*. [online]. 22.2.2015 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.telmausa.com/products/operating-principle>
- [16] PerformanceBox. *Racelogic USA*. [online]. 1.5.2015 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: http://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/RLPB_Data.pdf
- [17] Převodovky nákladních automobilů. *Dobrávní noviny*. [online]. 17.3.2005 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.dnoviny.cz/silnicni-doprava/prevodovky-nakladnich-automobilu2101>
- [18] Spaľovací motor. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Spa%C4%BEovac%C3%AD_motor
- [19] Toter Winkel. *Institut für Lebenskunde*. [online]. 2015 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://www.iflebenskunde.de/toter-winkel/>
- [20] XL Meter™ Pro. *Inventure: Automotive Electronics*. [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.inventure.hu/xl_meter_en

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. č. 1 – Základné druhy nákladných vozidiel	13
Obr. č. 2 – Druhy pohonu a podvozkov pre nákladné vozidlá MAN	14
Obr. č. 3 – Predný a zadný nájazdový uhol pre rôzne vozidlové koncepcie.....	15
Obr. č. 4 – Konštrukčné prevedenie rebrinového rámu	16
Obr. č. 5 – Vľavo: nedelená tuhá hnacia náprava „banjo“. Vpravo: delená tuhá hnacia náprava	16
Obr. č. 6 – Hnacie ústrojenstvo nákladného vozidla so zdvojenou zadnou nápravou	17
Obr. č. 7 – Usporiadanie motora u nákladných vozidiel	17
Obr. č. 8 – Odpruženie nápravy listovými a parabolickými pružinami	18
Obr. č. 9 – Schéma usporiadania zdvíhateľnej nápravy: vľavo – vlečná náprava	18
Obr. č. 10 – Druhy kabín vodiča u nákladných vozidiel.....	19
Obr. č. 11 – Oblasti mŕtveho uhlu	19
Obr. č. 12 – Použitie viacerých zrkadiel na minimalizovanie mŕtveho uhlu	20
Obr. č. 13 – Porovnanie nadstavby s malou torznou tuhosťou (vľavo) a s veľkou torznou tuhosťou (vpravo)	20
Obr. č. 14 – Hlavné časti štvordobého vznetového motora	22
Obr. č. 15 – Indikátorový diagram štvordobého vznetového motora.....	23
Obr. č. 16 – Priebeh indikovaného tlaku vo valci	24
Obr. č. 17– Princíp funkcie preplňovania motora turbodúchadlom	25
Obr. č. 18 – Deformácia diagonálnej (a) a radiálnej (b) pneumatiky.....	26
Obr. č. 19 – Vplyv hustenia pneumatiky na odpor valenia	27
Obr. č. 20 – Vplyv rýchlosti vozidla na odpor valenia	28
Obr. č. 21 – Vzduchové pomery za vozidlom.....	29
Obr. č. 22 – a) priebeh prúdnic vozidla obtekaného vzduchom, b) vznik vzdušného odporu z tlakových síl (vytiahnuté šípky) a trecích síl (čiarkované šípky).....	29
Obr. č. 23 – Hodnoty súčiniteľa odporu vzduchu v závislosti od tvaru telies	30

Obr. č. 24 – Vplyv tvarovania návesovej kontajnerovej súpravy na veľkosť súčiniteľa vzdušného odporu	30
Obr. č. 25 – Zistenie čelnej plochy metódou projekcie.....	31
Obr. č. 26 – Určenie odporu stúpania.....	32
Obr. č. 27 – Hnacia sila potrebná na prekonanie jazdných odporov	34
Obr. č. 28 – Výfuková brzda	36
Obr. č. 29 – Činnosť motorovej brzdy pri uzavretom výfukovom ventile.....	37
Obr. č. 30 – Činnosť motorovej brzdy pri otvorenom výfukovom ventile	38
Obr. č. 31 – Motorová brzda	38
Obr. č. 32 – Princíp elektromagnetickej vírivej brzdy	39
Obr. č. 33 – Elektromagnetická vírivá brzda Telma umiestnená na spojovacom kĺbovom hriadeli	39
Obr. č. 34 – Charakteristika elektrodynamickkej brzdy s vírivými prúdmi.....	39
Obr. č. 35 – Hydrodynamická brzda	40
Obr. č. 36 – Charakteristika hydrodynamickkej brzdy	40
Obr. č. 37 – Charakteristiky rôznych odľahčovacích bŕzd.....	41
Obr. č. 38 – Určenie maximálnej rýchlosti a rýchlosti do svahu u vozidiel so vznetovým motorom	43
Obr. č. 39 – F–v diagram vozidla s päťstupňovou prevodovkou	44
Obr. č. 40 – Trasa na ktorej sa uskutočnilo meranie vozidla Mercedes-Benz Actros 2546.....	46
Obr. č. 41 – Jazdná súprava Mercedes-Benz Actros 2546.....	46
Obr. č. 42 – Trasa na ktorej sa uskutočnilo meranie vozidla DAF XF105.460 SC	48
Obr. č. 43 – Jazdná súprava DAF XF105.460 SC.....	48
Obr. č. 44 – Trasa na ktorej sa uskutočnilo meranie vozidla Scania R410	50
Obr. č. 45 – Jazdná súprava Scania R410	50
Obr. č. 46 – Inventure XL MeterTM Pro	52
Obr. č. 47 – Racelogic PerformanceBox.....	53

Obr. č. 48 – Spomalenie brzdením motora pri zaradenom 4 normálnom prevodovom stupni	56
Obr. č. 49 – Spomalenie 1. stupňom motorovej brzdi pri zaradenom 3 redukčnom prevode..	57
Obr. č. 50 – Porovnanie hodnôt priemerného spomalenia pri brzdení motorom, 1. a 2. stupni motorovej brzdy	59
Obr. č. 51 – Spomalenie brzdením motora pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady..	60
Obr. č. 52 – Spomalenie motorovou brzdou pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady	61
Obr. č. 53 – Spomalenie brzdením motora pri zaradenom 3 prevodovom stupni malej rady..	63
Obr. č. 54 – Porovnanie hodnôt priemerných spomalení v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia.....	64
Obr. č. 55 – Spomalenie brzdením motora pri zaradenom 6 prevodovom stupni.....	66
Obr. č. 56 – Spomalenie motorovou brzdou pri zaradenom 6 prevodovom stupni	67
Obr. č. 57 – Spomalenie 1. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni	68
Obr. č. 58 – Spomalenie 2. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni	69
Obr. č. 59 – Spomalenie 3. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni	70
Obr. č. 60 – Spomalenie 4. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni	71
Obr. č. 61 – Spomalenie 5. stupňom retardéra pri zaradenom 6 prevodovom stupni	71
Obr. č. 62 – Porovnanie hodnôt priemerných spomalení v závislosti od zaťaženia a spôsobu brzdenia.....	75

ZOZNAM TABULIEK

Tab. č. 1 – Súčiniteľ valivého odporu pre rôzne povrchy vozoviek	27
Tab. č. 2 – Technické údaje nákl. vozidla Mercedes-Benz Actros 2546 a prípojného vozidla Hangler	47
Tab. č. 3 – Technické údaje nákl. vozidla DAF XF105.460 SC a návesu Schmitz CARGOBULL AG SCS 24/L – 13.62 MB	49
Tab. č. 4 – Technické údaje nákl. vozidla Scania R410	51
Tab. č. 5 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom	56
Tab. č. 6 – Hodnoty namerané pri spomalení 1. stupňom motorovej brzdy	58
Tab. č. 7 – Hodnoty namerané pri spomalení 2. stupňom motorovej brzdy	58
Tab. č. 8 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom	61
Tab. č. 9 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou	62
Tab. č. 10 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom	63
Tab. č. 11 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou	64
Tab. č. 12 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom	66
Tab. č. 13 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou	67
Tab. č. 14 – Hodnoty namerané počas spomalenia 1. stupňom retardéra	68
Tab. č. 15 – Hodnoty namerané počas spomalenia 2. stupňom retardéra	69
Tab. č. 16 – Hodnoty namerané počas spomalenia 3. stupňom retardéra	70
Tab. č. 17 – Hodnoty namerané počas spomalenia 4. stupňom retardéra	71
Tab. č. 18 – Hodnoty namerané počas spomalenia 5. stupňom retardéra	72
Tab. č. 19 – Hodnoty namerané počas brzdenia motorom	72
Tab. č. 20 – Hodnoty namerané pri spomalení motorovou brzdou	73
Tab. č. 21 – Hodnoty namerané počas spomalenia 1. stupňom retardéra	73
Tab. č. 22 – Hodnoty namerané počas spomalenia 2. stupňom retardéra	73
Tab. č. 23 – Hodnoty namerané počas spomalenia 3. stupňom retardéra	74

Tab. č. 24 – Hodnoty namerané počas spomalenia 4. stupňom retardéra	74
Tab. č. 25 – Hodnoty namerané počas spomalenia 5. stupňom retardéra	74

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

a	$[m/s^2]$	zrýchlenie
a_{max}	$[m/s^2]$	maximálne spomalenie
a_{pr}	$[m/s^2]$	priemerné spomalenie
B	$[m]$	rozchod kolies vozidla
c_x	$[-]$	súčiniteľ odporu vzduchu
$D_{1,2}$	$[m]$	priemery jednotlivých ozubených kolies
$DÚ$	$[-]$	dolná úvrat'
f	$[-]$	súčiniteľ valivého odporu
f_K	$[-]$	súčiniteľ valivého odporu kolesa
F_K	$[N]$	hnacia sila potrebná na kolesách vozidla
G	$[N]$	tiaž vozidla kolmej k vozovke
H	$[m]$	celková výška vozidla
$HÚ$	$[-]$	horná úvrat'
i	$[-]$	prevodový pomer
J_{Ki}	$[kg \times m^2]$	celkový moment zotrvačnosti rotačných častí
m	$[kg]$	hmotnosť vozidla
$n_{1,2}$	$[ot. \times min^{-1}]$	otáčky jednotlivých ozubených kolies
n_{reg}	$[s^{-1}]$	sú otáčky motora, pri ktorých zasahuje regulátor motora
O_C	$[N]$	celkový jazdný odpor
O_f	$[N]$	valivý odpor vozidla
O_S	$[N]$	odpor stúpania
O_V	$[N]$	celkový vzdušný odpor
O_Z	$[N]$	odpor zrýchlenia
O_{Zp}	$[N]$	odpor zrýchlenia o určitej hmotnosti
O_{Zr}	$[N]$	odpor zrýchlenia otáčajúcich sa častí
p	$[bar]$	tlak vzduchu
P	$[kW]$	výkon
R_0	$[-]$	rozsah rýchlostných stupňov
r_{di}	$[m]$	dynamický polomer kolesa
r_{Ki}	$[m]$	valivý polomer kolesa
s	$[m]$	dráha
S_x	$[m^2]$	čelná plocha vozidla

t	[°C]	teplota vzduchu
t	[s]	čas
v	[km/h]	rýchlosť
v_0	[m/s]	počiatočná rýchlosť
v_r	[m/s]	výsledná (náporová) rýchlosť vozidla
v_s	[m/s]	rýchlosť pri stúpaní
$z_{1,2}$	[–]	počet zubov jednotlivých ozubených kolies
Z_k	[N]	radiálna reakcia vozovky
α	[°]	uhol medzi vodorovnou a naklonenou vozovkou
Δv	[km/h]	rozdiel rýchlostí
ρ	[kg/m ³]	merná hmotnosť vzduchu
υ	[–]	súčiniteľ vplyvu rotačných častí

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – výpočty a grafické priebehy všetkých meraní (71 listov)

Príloha 2 – CD obsahuje výstupné dáta z meracieho prístroja Inventure XL meter Pro
a metodiku tvorby grafov