



## **Analýza jízdních odporů osobního automobilu**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*

Ing. Adam Polcar, Ph.D.

*Vypracoval:*

Bc. Ondřej Doležal



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Ondřej Doležal  
Studijní program: Zemědělská specializace  
Obor: Automobilová doprava

Vedoucí práce: Ing. Adam Polcar, Ph.D.  
Konzultant: Ing. Michal Jukl

Název práce: **Analýza jízdních odporů osobního automobilu**

Zásady pro vypracování:

1. V literární rešerši zpracujte analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Navrhněte metodiku měření jízdních odporů vozidel.
3. Proveďte experimentální měření pasivních ztrát automobilu na válcovém dynamometru při různém tlaku huštění pneumatik.
4. Proveďte analýzu naměřených hodnot.
5. Naměřené výsledky statisticky vyhodnoťte.

Rozsah práce: 50-60

Literatura:

1. VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel : výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2005. 576 s. ISBN 80-239-3717-0.
2. VLK, F. *Dynamika motorových vozidel : jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, říditelnost, ovladatelnost, stabilita*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
3. ČUPERA, J. Pasivní ztráty vozidla. *Autoservis*. 2006. č. 5, s. 38--41. ISSN 1210-8243.
4. ČUPERA, J. -- ŠMERDA, T. Vliv huštění pneumatik na pasivní ztráty traktoru. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2010. sv. LVIII, č. 1, s. 43--51. ISSN 1211-8516.
5. ČUPERA, J. -- HAVLÍČEK, M. Pasivní ztráty osobních automobilů. [CD-ROM]. In *Nové trendy v konstrukci a exploataci vozidel "VOZIDLÁ 2007"*. s. 1--5. ISBN 978-80-8069-942-0.

Datum zadání: říjen 2014

Datum odevzdání: duben 2016

**Bc. Ondřej Doležal**  
Autor práce

**Ing. Adam Polcar, Ph.D.**  
Vedoucí práce

**doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.**  
Vedoucí ústavu

**doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.**  
Děkan AF MENDELU

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: Analýza jízdních odporů osobního automobilu vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

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

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

V Brně dne:.....

Podpis studenta:.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Adamu Polcarovi, Ph.D. za pomoc při praktickém měření a za podněty, konzultace a cenné rady, jež mi při psaní poskytl. Mé díky patří i všem ostatním, jejichž poznatky a zkušenosti mi pomohly při zpracování tohoto tématu.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se věnuje analýze jízdních odporů osobního automobilu. První část se zabývá teoreticky jednotlivými jízdnými odpory, které působí proti pohybu automobilu. V kapitolách jsou uvedeny vzorce pro výpočet jednotlivých jízdních odporů a v závěru je zmíněn vztah celkového jízdního odporu.

Druhá část je zaměřena na konstrukci pneumatik, jejich značení a detailní popis rozměrů. V tomto oddíle jsou také pneumatiky popsány podle tvarů dezénů, jejich druhů a jak správně je skladovat.

V další části práce je vysvětlena teorie valení vozidlového kola dle druhu podložky. Předposlední část charakterizuje metodiky měření jednotlivých jízdních odporů v reálném provozu.

V závěru práce je popsáno experimentální měření pasivních ztrát automobilu při různém tlaku huštění uskutečněné na vozidlové zkušebně Ústavu techniky a automobilové dopravy. V této pasáži je také uvedeno grafické a slovní vyhodnocení praktického měření.

**Klíčová slova:** pneumatika, jízdní odpor, ztrátový výkon, tlak huštění

## **ABSTRACT**

The thesis is devoted to the analysis of road resistances of a car. The first part deals with the theory of individual road resistance which counteracts the movement of the car. The chapters are given the formula for calculating individual road resistance and in the end is mentioned relationship of total road resistance.

The second part is focused on the construction of tires, their signs and detailed description dimensions. This section also describes a tire according to the shapes of designs, their type and how to properly store them.

The next part explains the theory of rolling the vehicle wheel according to the type of pads. The penultimate section describes the methodology for measuring the road resistance in real traffic.

The conclusion describes experimental measurements of passive losses car at various inflation pressures made on vehicle testing institute of technology and automobile traffic. In this passage it is also a graphical and verbal evaluation of practical measurement.

**Keywords:** tire, road resistance, power dissipation, inflation pressure

## **OBSAH**

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....	10
3	JÍZDNÍ ODPORY .....	11
3.1	Odpor valivý .....	11
3.2	Odpor aerodynamický (vzdušný) .....	13
3.3	Odpor stoupání .....	16
3.4	Odpor zrychlení .....	17
3.5	Odpor přívěsu .....	18
3.6	Celkový jízdní odpor .....	19
4	PNEUMATIKY .....	20
4.1	Konstrukce pneumatik .....	20
4.1.1	Kostra .....	21
4.1.1.1	Radiální pneumatiky.....	21
4.1.1.2	Diagonální pneumatiky .....	22
4.1.2	Nárazník.....	22
4.1.3	Běhoun.....	23
4.1.4	Bočnice .....	23
4.1.5	Patka a patní lanko.....	23
4.1.6	Vnitřní gumová vrstva .....	23
4.2	Rozměry a značení pneumatik.....	24
4.2.1	Rozměry pneumatik.....	24
4.2.2	Značení pneumatik .....	25
4.2.2.1	Index nosnosti.....	26
4.2.2.2	Index rychlosti .....	27
4.2.2.3	Označení DOT .....	27
4.2.2.4	Indikátor opotřebení .....	28

4.3	Tvary dezénů pneumatik .....	28
4.3.1	Symetrický.....	28
4.3.2	Asymetrický .....	28
4.3.3	Směrový.....	29
4.4	Druhy pneumatik .....	29
4.4.1	Letní.....	29
4.4.2	Zimní .....	29
5	TEORIE VALENÍ VOZIDLOVÉHO KOLA .....	31
5.1	Valení kola po tvrdé podložce .....	31
5.2	Valení kola po měkké podložce.....	31
6	METODIKA MĚŘENÍ JÍZDNÍCH ODPORŮ .....	32
6.1	Odpor valivý .....	32
6.2	Odpor vzdušný (aerodynamický) .....	32
6.3	Odpor stoupání .....	33
6.4	Odpor zrychlení .....	33
6.5	Odpor přívěsu .....	34
7	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ .....	35
7.1	Metodika experimentálního měření.....	35
7.1.1	Měřicí zařízení.....	35
7.1.1.1	Válcový vozidlový dynamometr MEZ 4VDM E120-D.....	36
7.1.1.2	Hustič WONDER Eurodainu s manometrem.....	38
7.1.1.3	Infračervený teploměr VOLTCRAFT IR-1600A.....	38
7.1.2	Měřené vozidlo .....	39
7.1.3	Příprava experimentálního měření .....	41
7.1.4	Popis experimentálního měření .....	42
7.1.5	Průběh experimentálního měření.....	43
8	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ.....	45

8.1	Letní pneumatiky .....	45
8.1.1	Tlak huštění P230 / Z330 kPa .....	45
8.1.2	Tlak huštění P210 / Z210 kPa .....	47
8.1.3	Tlak huštění P150 / Z150 kPa .....	48
8.1.4	Tlak huštění P100 / Z100 kPa .....	49
8.1.5	Porovnání všech tlaků huštění .....	49
8.2	Zimní pneumatiky.....	51
8.2.1	Tlak huštění P230 / Z330 kPa .....	51
8.2.2	Tlak huštění P210 / Z210 kPa .....	52
8.2.3	Tlak huštění P150 / Z150 kPa .....	53
8.2.4	Tlak huštění P100 / Z100 kPa .....	53
8.2.5	Porovnání všech tlaků huštění .....	54
8.3	Porovnání letních a zimních pneumatik .....	56
9	DISKUZE .....	58
10	ZÁVĚR.....	59
11	POUŽITÁ LITERATURA .....	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	63
	SEZNAM TABULEK .....	64
	PŘÍLOHY .....	65



# 1 ÚVOD

V současné době je nejvíce frekventovaným způsobem dopravy silniční doprava. Život bez automobilů si už naše společnost ani nedokáže představit. Tento dopravní prostředek slouží pro přepravu osob, nejrůznějšího materiálu, cestovních zavazadel či sportovního vybavení. Lidé ho ale také využívají pro cestu do zaměstnání nebo na letní či zimní dovolenou.

Je to již téměř 250 let, co byl zhotoven první automobil. Od počátku byla snaha konstruktérů maximálně využít výkon motoru k pohonu automobilu. Z toho vyplynula potřeba zabývat se otázkou jízdních odporů a to ať už odporem valivým, aerodynamickým, stoupání nebo zrychlení. Jedním z hlavních faktorů na snižování jízdních odporů je součinitel odporu vzduchu  $c_x$ , který je závislý na tvaru karoserie vozidla. Všechny automobilky mají snahu dosáhnout co nejmenší hodnoty tohoto součinitele. Pokrok je již vidět, neboť na začátku 20. století se pohybovala jeho hodnota okolo jedné. V dnešní době mají osobní automobily hodnotu součinitele v rozmezí 0,25 – 0,4. Z důvodu nemalého vlivu pneumatik na valivý odpor vozidla se rozvinula zcela nová vývojová éra důležité části automobilu, která trvá od konce 19. století dodnes. Pneumatika umožnila zvýšení rychlosti vozidla a zvýšila také komfort přepravovaných osob.

Tato diplomová práce v úvodní části objasňuje jednotlivé jízdní odpory, působící proti pohybu vozidla. V další části se věnuje konstrukci pneumatik včetně jejich značení, rozměrů a jak správně je skladovat. Závěr teoretické části práce se zabývá teorií valení vozidlového kola podle druhu podložky a metodikou měření jednotlivých odporů.

V druhé polovině práce je popisováno experimentální měření pasivních ztrát automobilu provedené na vozidlové zkušebně. Závěr diplomové práce se zaměřuje na vyhodnocení praktického měření.

## **2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE**

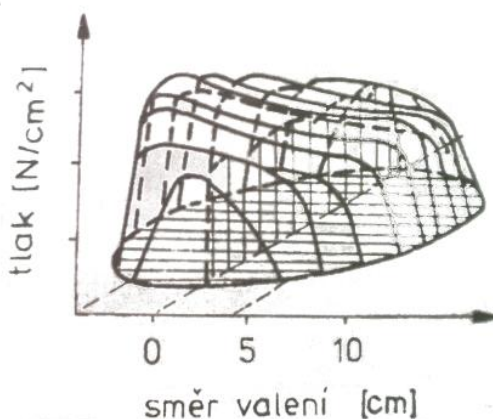
Cílem diplomové práce je popsání současného stavu v oblasti jízdních odporů automobilů. Dále navrhnout metodiku měření jízdních odporů automobilů zejména na vozidlové zkušebně. Z důvodu nezanedbatelného vlivu pneumatik na valivý odpor vozidla provést měření na zjištění pasivních ztrát letních a zimních pneumatik při zvoleném tlaku huštění. Provést analýzu získaných hodnot a statisticky je vyhodnotit. V závěru práce formulovat výsledky.

### 3 JÍZDNÍ ODPORY

Pod pojmem jízdní odpory se rozumí síly působící proti pohybu vozidla. Mezi jízdní odpory, které působí pokaždé proti vozidlu, patří valivý odpor a odpor vzdušný. V určitých situacích musí automobil překonávat i další odpory. Tím je při jízdě do kopce odpor stoupání, při zrychlování vozidla odpor zrychlení. Zapojením přívěsu za vozidlo se musí překonávat také odpor přívěsu. (VLK, 2003)

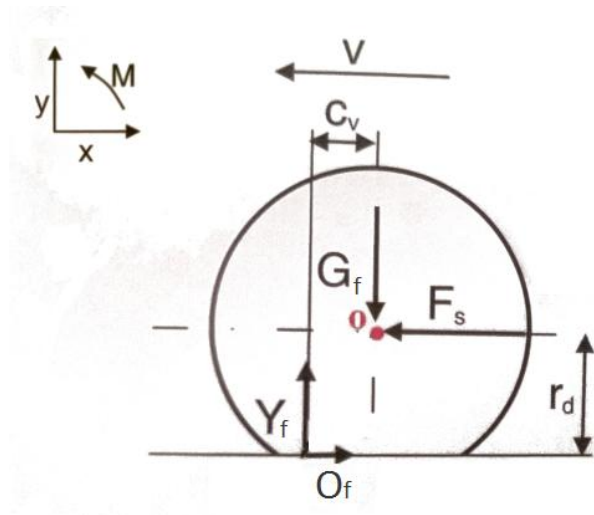
#### 3.1 Odpor valivý

Při deformaci pneumatiky a vozovky vzniká valivý odpor. V případě, že se vozidlo pohybuje po pevné podložce, deformuje se pouze pneumatika. Kontakt pneumatiky s vozovkou je vytvořen za pomoci plochy, které se říká stopa. Ta se rozděluje na přední a zadní část. V první zmíněné části je obvod pneumatiky stlačován do roviny podložky a to ve směru valení. K opětovnému narovnávání obvodu pneumatiky do kruhového tvaru dochází v zadní části stopy pneumatiky. Měrné tlaky působící ve stopě radiální pneumatiky jsou zobrazeny na obr. 1. Tlaky s větší hodnotou se nachází v přední části stopy, proti tomu v zadní části působí menší tlaky. Je to dáno ztrátami v pneumatice, které se přeměňují v teplo. (VLK, 2003)



Obr. 1 Deformace radiální pneumatiky (VLK, 2003)

Pro výpočet valivého odporu se podle obr. 2 sestaví silové rovnováhy (rovnice 1 a 2) a momentová rovnováha (rovnice 3) k předem určenému bodu 0.



Obr. 2 Odvalování pružného kola po tvrdé podložce (BAUER A KOL., 2013)

$$\sum F_x = 0, O_f - F_s = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0, G_f - Y_f = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_O = 0, O_f \cdot r_d - c_v \cdot Y_f = 0 \quad (3)$$

- kde:  $O_f$  - odpor valivý [N]  
 $F_s$  - vodorovná síla [N]  
 $G_f$  - tíha působící na vozidlové kolo [N]  
 $Y_f$  - reakce vozovky [N]  
 $c_v$  - vzdálenost reakce od osy vozidlového kola [m]  
 $r_d$  - dynamický poloměr vozidlového kola [m]

Kde po vyjádření  $O_f$  z momentové rovnováhy (rovnice 3) platí vztah 4.

$$O_f = \frac{c_v}{r_d} \cdot Y_f = \frac{c_v}{r_d} \cdot G_f \quad [N] \quad (4)$$

Výraz vyjadřující poměr vzdálenosti reakce od osy vozidlového kola a dynamický poloměr vozidlového kola byl nazván součinitelem valivého kola ( $f$ ). Potom je odpor valivý vypočten podle vztahu 5, (BAUER A KOL., 2013):

$$O_f = f \cdot Y_f = f \cdot G_f \quad [N] \quad (5)$$

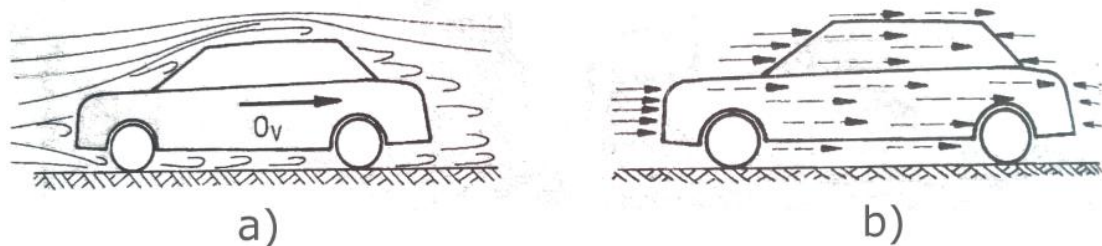
Součinitel valivého odporu  $f$  je ovlivněn několika faktory. Nejdůležitější je povrch vozovky. Dle druhu povrchu se zvolí velikost součinitele (viz tab. 1). Mezi další faktory ovlivňující součinitel valivého odporu patří deformace a rychlost vozidlového kola. U pneumatiky s malou hodnotou tlaku huštění se vytváří deformace ve větším rozsahu, než když je pneumatika nahuštěná na větší hodnotu tlaku. S klesající hodnotou tlaků v pneumatikách tedy vzrůstá valivý odpor. Je to zapříčiněno vyšší hodnotou deformační a tlumící práce. Posledním faktorem je rychlost vozidlového kola. Obvod pneumatiky se ve vyšších rychlostech pomaleji narovnává do původního stavu, a tudíž v zadní části stopy působí menší měrný tlak. Z tohoto důvodu dochází k většímu vysunutí reakce vozovky ( $Y_f$ ) směrem před osu vozidlového kola a zvětšuje se hodnota součinitele valivého odporu dle rovnice 4. (VLK, 2003)

*Tab. 1 Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek (VLK, 2003)*

<b>asfalt</b>	0,01 – 0,02	<b>travnatý terén</b>	0,08 – 0,15
<b>beton</b>	0,015 – 0,025	<b>hluboký písek</b>	0,15 – 0,30
<b>dlažba</b>	0,02 – 0,03	<b>čerstvý sníh</b>	0,20 – 0,30
<b>makadam</b>	0,03 – 0,04	<b>bahnitá půda</b>	0,20 – 0,40
<b>polní cesta - suchá</b>	0,04 – 0,15	<b>náledí</b>	0,01 – 0,025
<b>polní cesta - mokrá</b>	0,08 – 0,20		

### 3.2 Odpor aerodynamický (vzdušný)

Kolem automobilu při jízdě proudí vzduch pod vozidlem mezi vozovkou a podvozkem. Další možností je nad horní částí automobilu. Aerodynamický odpor vzniká z příčiny, že proudnice za vozidlem se neuzavírají a dochází k víření (viz obr. 3a). Velikost odporu se určuje z třecích sil působících v tečném směru okolo karoserie a také z výslednice normálových tlaků vzduchu, které působí na povrch karoserie (viz obr. 3b). Z důvodu různého tlaku, kdy pod automobilem je přetlak a nad automobilem podtlak, vzniká v příčné rovině vozidla víření. Jedná se o indukovaný vzdušný odpor a započítává se do celkového aerodynamického odporu. Odpory vznikající prouděním vzduchu větracím a chladicím systémem vozidla, kromě toho i odpory, které vznikají třením a vířením vzduchu u kol, jenž se otáčejí, jsou také započítávány do celkového aerodynamického odporu.



Obr. 3 Odpor vzdušný (VLK, 2003);

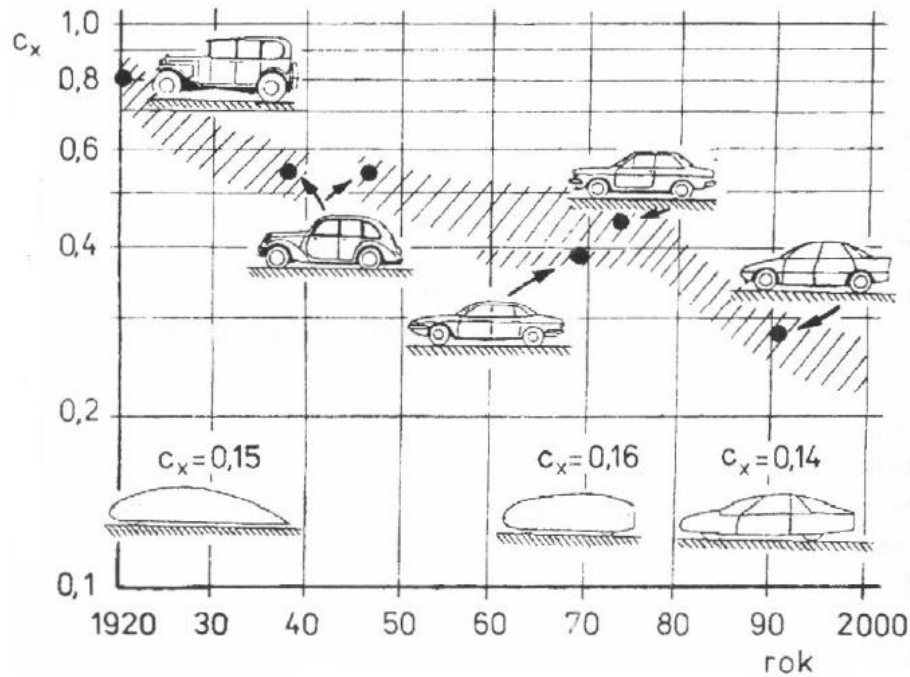
a) průběh proudnic vozidla obtékaného vzduchem, b) vznik vzdušného odporu z tlakových a třecích sil

Celkového aerodynamický (vzdušný) odpor je stanoven ze vztahu 6.

$$O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 [N] \quad (6)$$

kde:  $c_x$  - součinitel odporu vzduchu [-]  
 $\rho$  - měrná hmotnost vzduchu [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]  
 $S_x$  - čelní plocha vozidla [ $\text{m}^2$ ]  
 $v_r$  - výsledná (náporová) rychlost proudění kolem vozidla [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Součinitel odporu vzduchu  $c_x$  je závislý zejména na tvaru karoserie automobilu. Jeho velikost se měří v aerodynamickém tunelu. Může se stanovovat na automobilu skutečné velikosti nebo na menších modelech. Přesnějších výsledků se dosáhne na automobilu odpovídajícím skutečným rozměrům a to za předpokladu že při měřeních je umístěn na válcích a realizuje se reálná situace. U vozidel je snaha dosáhnout co nejmenších hodnot součinitele odporu vzduchu. Čím jsou hodnoty vyšší, tím stoupá i spotřeba paliva. Osobní automobily mají v současné době hodnotu  $c_x$  v rozmezí 0,25 – 0,4. Na obr. 4 je uveden historický vývoj součinitele odporu vzduchu podle karoserie.



Obr. 4 Součinitel odporu vzduchu podle karoserie (VLK, 2003)

Na tlaku a teplotě vzduchu je závislá veličina zvaná měrná hmotnost vzduchu ( $\rho$ ). Ve výpočtech volíme  $\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$ . Tato hodnota odpovídá teplotě vzduchu  $15^\circ\text{C}$  a tlaku  $101,3 \text{ kPa}$  ( $1,013 \text{ bar}$ ).

Výsledná náporová rychlost je určena vztahem 7.

$$\vec{v}_r = \vec{v} + v_v [\text{m.s}^{-1}] \quad (7)$$

kde:  $v$  - záporná rychlost pohybu vozidla, se kterou automobil projíždí klidným vzduchem [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$v_v$  - rychlost větru [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

Úhel náběhu vzduchu ( $\tau$ ) je určen podélnou osou automobilu a vektorem rychlosti proudění vzduchu  $v_r$ . Na úhlu náběhu je součinitel odporu vzduchu velmi málo závislý. (VLK, 2003)

### 3.3 Odpor stoupání

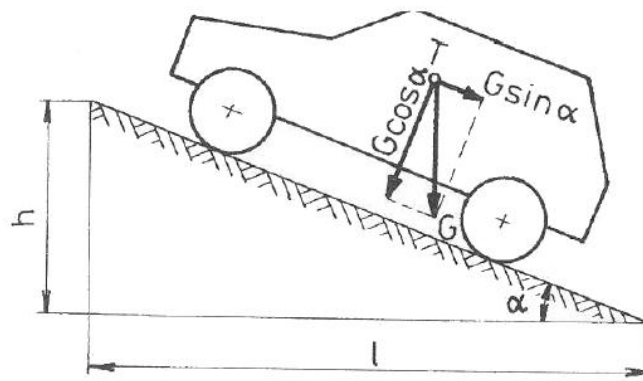
Odpor stoupání je stanoven tíhou vozidla rovnoběžnou s povrchem vozovky podle rovnice 8.

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha \text{ [N]} \quad (8)$$

kde:  $G$  - celková tíha automobilu [N]

$\alpha$  - úhel stoupání [°]

Úhlem stoupání je míněn úhel svírající rovinu vozovky s vodorovnou rovinou. V rovnici 8 uvedené kladné znaménko platí při jízdě do svahu. Při jízdě ze svahu je užíváno záporné znaménko. Je to dáno sinovou složkou tíhy automobilu, která v tomto případě není odporem, ale naopak hnacím prvkem vozidla. V těžišti automobilu působí odpor stoupání.



Obr. 5 Určení odporu stoupání (VLK, 2003)

Sklonem svahu (stoupání) je v praktických podmínkách nahrazován úhel stoupání. Podle obr. 5 je sklon svahu vypočten pomocí vztahu 9.

$$s = \frac{h}{l} = \operatorname{tg} \alpha \text{ [-]} \quad (9)$$

kde:  $s$  - sklon svahu (stoupání) [-]

$h$  - převýšení [m]

$l$  - základna [m]

Do hodnoty úhlu stoupání  $\alpha = 17^\circ$  a sklonu svahu  $s = 0,3 = 30 \%$  lze uvažovat  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ , neboť rozdíl mezi úhly činí přibližně 5% a následně platí vztah 10.



$$O_s = \pm G \cdot s [-] \quad (10)$$

V současné době se běžně setkáváme s maximálním stoupáním silnic 10 až 12 % a s 6 % stoupáním na dálnici. Výjimkou jsou pouze vysokohorské silnice, u nichž se výpočet odporu stoupání řídí podle rovnice 8. (VLK, 2003)

### 3.4 Odpor zrychlení

Proti automobilu, který zrychluje, působí setrvačná síla. Této síle se říká odpor zrychlení. Skládá se z odporu zrychlení posuvné části a odporu zrychlení otáčejících se částí, kterými jsou např. kola a hřídele.

$$O_z = O_{zp} + O_{zr} [N] \quad (11)$$

kde:  $O_{zp}$  - odpor zrychlení posuvné části [N]

$O_{zr}$  - odpor zrychlení otáčejících se částí [N]

Výpočet odporu zrychlení posuvné části je znázorněn vztahem 12.

$$O_{zp} = m \cdot a [N] \quad (12)$$

kde:  $m$  - hmotnost automobilu [kg]

$a$  - zrychlení automobilu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

Podle rovnice 13 je stanoven odpor zrychlení otáčejících se částí.

$$O_{zr} = \frac{M_r}{r_d} [N] \quad (13)$$

kde:  $M_r$  - točivý moment [N.m]

$r_d$  - dynamický poloměr součásti [m]

Celkový kroutící moment přenesený na kola vozidla je složen z dílčích momentů podle rovnice 14.

$$M_r = M_{rm} + M_{rp} + M_{rk} [N] \quad (14)$$

kde:  $M_{rm}$  - točivý moment, který je potřebný pro zrychlení rotujících částí motoru [N.m]

$M_{rp}$  - točivý moment, který je potřebný ke zrychlení rotujících částí převodovky  
[N.m]

$M_{rk}$  - točivý moment, který je potřebný ke zrychlení vozidlových kol [N.m]

Po dosazení a následné úpravě je velikost odporu zrychlení výpočtena pomocí vztahu 15.

$$O_z = \left[ 1 + \frac{(J_m \cdot i_c^2 + J_p \cdot i_r^2) \cdot \eta + \sum J_{ki}}{m \cdot r_d^2} \right] \cdot m \cdot a \quad [N] \quad (15)$$

kde:  $J_m$  - hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí motoru [kg.m<sup>2</sup>]

$J_p$  - hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí převodovky [kg.m<sup>2</sup>]

$J_{ki}$  - hmotnostní moment setrvačnosti vozidlových kol [kg.m<sup>2</sup>]

$i_c$  - převod celkový (mezi motorem a hnacími koly) [m]

$i_r$  - převod rozvodovky [-]

$\eta$  - mechanická účinnost [-]

$\vartheta$  - součinitel vlivu rotačních částí [-]

Výraz v hranaté závorce se nazývá součinitel vlivu rotačních částí. Následně je odpor zrychlení určen dle rovnice 16, (JAN A KOL., 2009); (VLK, 2003):

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a \quad [N] \quad (16)$$

### 3.5 Odpor přívěsu

Tento odpor je charakterizován jako součet jízdních odporů přívěsu. Stejně jako u jízdních odporů vozidla je složen z odporu valivého, aerodynamického, stoupání a zrychlení. Uvedený odpor (sílu) musí automobil, který táhne přívěs překonat.

Rozdílnost je u aerodynamického odporu přívěsu. Tento odpor se stanovuje pro celou jízdní soupravu. Z toho plyne, že součinitel odporu vzduchu ( $c_x$ ) se odměřuje pro automobil s přívěsem anebo také tahač s návěsem.

Stanovení daného odporu je podstatné a to z důvodu zvolení odpovídající tažného vozidla. (VLK, 2003)

### 3.6 Celkový jízdní odpor

Sečtením všech zde uvedených jízdních odporů, se vypočte celkový jízdní odpor. K překonání těchto odporů, které působí proti vozidlu je zapotřebí hnací síly automobilu, která je rovna celkovému jízdnímu odporu dle rovnice 17. (VLK, 2003)

$$O_c = F_H = O_f + O_v + O_s + O_z + O_p \text{ [N]} \quad (17)$$

- kde:  $O_c$  - celkový jízdní odpor [N]  
 $F_H$  - hnací síla automobilu [N]  
 $O_f$  - odpor valivý [N]  
 $O_v$  - odpor aerodynamický (vzdušný) [N]  
 $O_s$  - odpor stoupání [N]  
 $O_z$  – odpor zrychlení [N]  
 $O_p$  - odpor přivěsu [N]

## 4 PNEUMATIKY

Jak již bylo zmíněno, pneumatika tvoří nezanedbatelný prvek ovlivňující pasivní ztráty, resp. valivý odpor automobilu. První automobil byl zkonstruován roku 1769, avšak první pneumatika byla patentovaná až v roce 1888.

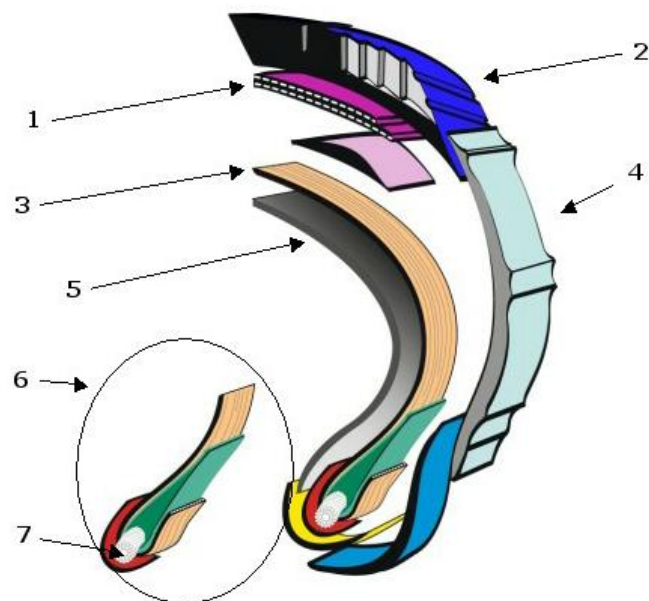
Celek, který spojuje automobil s vozovkou, se nazývá vozidlové kolo. Je složeno z pneumatiky a disku spojeného s ráfkem. Pojem pneumatika je popisován jako plášť, eventuálně doplněný o ochrannou vložku a duši. Plášť je namontovaný na ráfek a naplněný stlačeným vzduchem. U pneumatik bez duše není zapotřebí ochranné vložky, a jak již z názvu plyne i duše. V ráfku vozidlového kola je rovnou umístěn ventil.

Je složena ze tří důležitých složek. Jedná se o pryž (80 – 85 %), různá vlákna (12 – 16 %) a ocelový drát (2 – 3 %). Mezi materiály, které se používají na výrobu plášťů pneumatik patří: kaučuky, přísady do kaučukové směsi, kordové vložky vytvářené z ocelových, chemických a přírodních vláken a na patní lanko ocelový drát. Nejdůležitějším materiálem do kaučukové směsi je samotný kaučuk, který rozlišujeme na přírodní a syntetický. Druhý zmíněný má oproti přírodnímu některé lepší vlastnosti, např. vyšší odolnost proti vysokým a nízkým teplotám.

Chemická reakce, při které se přeměňuje plastická kaučuková směs na elastickou pryž, se nazývá vulkanizace. Při této činnosti se do kaučuku dodávají v daných poměrech vulkanizační plniva, činidla, změkčovadla a ztužovadla. Přidávají se z důvodu požadovaných vlastností, kterými jsou strukturní pevnost, odolnost proti opotřebení či pevnost v tahu. Vulkanizace se provádí se při lisování pláště pneumatiky ve formě. (DOČKAL A KOL., 1998); (VLK, 2003)

### 4.1 Konstrukce pneumatik

Plášť pneumatiky je charakterizován jako pružná vnější část, zabezpečující styk se silnicí. Skládá se ze sedmi částí, které jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách. Jedná se o kostru, nárazník, běhoun s dezénem, bočnici, patku s patním lankem a vnitřní gumovou vrstvu. Tyto části jsou při výrobě spojeny v jeden celek. Znázornění konstrukce pláště pneumatiky je na obr. 6. (VLK, 2003)



Obr. 6 Konstrukce pláště pneumatiky (SAJDL, 2011);

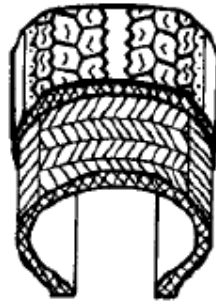
1 – nárazník, 2 – běhoun, 3 – kostra, 4 – bočnice, 5 – vnitřní gumová vrstva,  
6 – patka, 7 – patní lano

#### 4.1.1 Kostra

Je označována za hlavní část pláště. Stanovuje svým složením a skladbou nejpodstatnější vlastnosti pláště pneumatiky, např. jízdní vlastnosti, nosnost a deformační vlastnosti. Pneumatiky se člení dle konstrukce kostry na radiální a diagonální. (SAJDL, 2011); (VLK, 2003)

##### 4.1.1.1 Radiální pneumatiky

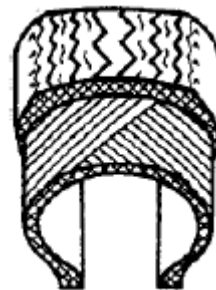
V dnešní době jsou nejpoužívanějším typem pneumatik u osobních automobilů. Kostra je tvořena z kordových vložek, jejichž vlákna procházejí od jedné patky pláště k druhé. Vlákna jsou navzájem spojena pryží. Nárazníkem, který se nachází nad kostrou, dochází ke zpevnění vložky. Podle materiálu kordu a nárazníku rozeznáváme dva typy těchto pneumatik. Obě dvě části vyrobené z oceli se označují jako „all steel“. Ocelový nárazník a textilní kordová vložka nesou označení „steel“. Radiální pneumatiky jsou složitější na výrobu a z toho plyne i cena, jsou dražší. Ukázka radiální pneumatiky je obr. 7. (DOČKAL A KOL., 1998); (VLK, 2003)



*Obr. 7 Radiální pneumatika (VLK, 2003)*

#### **4.1.1.2 Diagonální pneumatiky**

Kostra je obdobně jako u diagonálních pneumatik vytvořena z kordových vložek. Odlišnost je v tom, že u tohoto typu pneumatiky vytvářejí vložky páry, tzn., musí jich být pokaždé sudý počet. Vlákná vložek zpravidla svírají úhel o velikosti  $30^\circ - 40^\circ$  od podélné osy běhounu. Vložky jsou přehnuty kolem patního lanka a upevněny. Z toho je zřejmé, že v každém bodě patky je kostra uchycena dvěma vlákny. V současnosti nacházejí uplatnění převážně u zemědělských a průmyslových vozidel a také u motocyklů. Diagonální pneumatika je vyobrazena na obr. 8. (DOČKAL A KOL., 1998); (POST, 2004)



*Obr. 8 Diagonální pneumatika (VLK, 2003)*

#### **4.1.2 Nárazník**

Nad horní částí kostry se nachází nárazník. Většinou se vyrábí z ocelových vložek, u nichž jsou jejich vlákna opět spojena pryží jako u kostry. Nárazník je složen z několika na sobě položených nárazníkových vrstev tak, že vlákna jednotlivých úrovní se navzájem kříží. U osobních vozidel bývá sestaven ze dvou vrstev. Jeho úkolem je zvyšovat odolnosti pláště pneumatiky vůči průrazům. Stabilizace běhounu v obvodovém směru je další úlohou nárazníku. (JAN A KOL., 2009); (SAJDL, 2011)

#### **4.1.3 Běhoun**

Jedná se o část pláště, jehož součástí je dezén. Zabezpečuje styk vozidlového kola s vozovkou. Dezén pneumatiky je zhotoven z příčných a podélných drážek, které mají danou hloubku. Příčné přenáší tažné síly na silnici. Přenášení bočních sil zabezpečují podélné drážky, které mají vliv i na směrovou stabilitu automobilu. Rozhodujícím faktorem pro vznik adheze mezi pneumatikou a vozovkou je dostatečná výška dezénu. Při nedostačující hloubce může dojít k aquaplaningu a to z důvodu pomalého odvádění vody. Výškou dezénu je ovlivněna také hlučnost pneumatik. Běhoun se vyrábí ze syntetických kaučuků a siliky. (JAN A KOL., 2009); (VLK, 2003)

#### **4.1.4 Bočnice**

Někdy se označuje jako bok pláště. Zajišťuje spojení mezi běhounem a patkami. Dále chrání kostru pneumatiky před vnějšími vlivy. Při výrobě bočnice se využívá přírodního kaučuku z důvodu větší odolnosti proti mnohonásobným ohybům. (JAN A KOL., 2003); (SAJDL, 2011)

#### **4.1.5 Patka a patní lanko**

Ve spodní části pláště pneumatiky se nachází patka, která dosedá na ráfek vozidlového kola. Je zpevněná patním lankem, které je vytvořeno z několika ocelových drátů. Ty jsou následně spojeny ve svazek. Kolem lanka jsou přehnuty a upevněny vložky, z nichž je zhotovena kostra. Za pomoci tlaku vzduchu v pneumatice je patka dotlačována na ráfek. Účelem patky je přenášení všech sil mezi ráfkem a pneumatikou jak při brzdění, tak i při jízdě. Navíc zabezpečuje utěsnění vzduchu v pneumatice bez duše. (JAN A KOL., 2009); (MICHELIN, 2015)

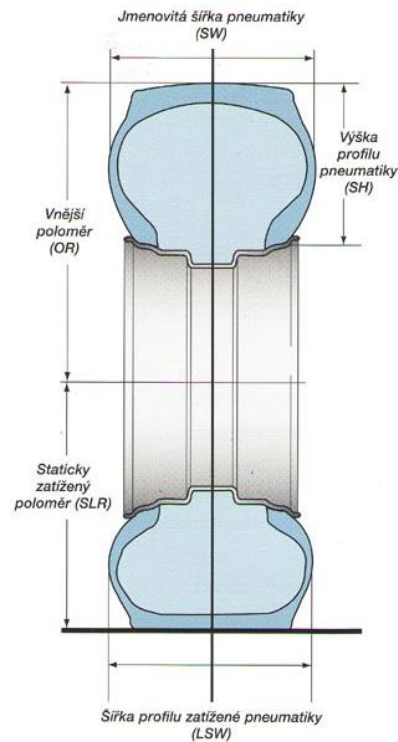
#### **4.1.6 Vnitřní gumová vrstva**

Slouží k zamezení úniku vzduchu z vnitřku pneumatiky. Vrstva je zhotovena z bytylového kaučuku. Důležitá je u bezdušových pneumatik, kde plní roli duše. (SAJDL, 2011)

## 4.2 Rozměry a značení pneumatik

### 4.2.1 Rozměry pneumatik

Na obr. 9 je zobrazen řez pneumatikou s ráfkem a na ní vyznačeny základní rozměry.



Obr. 9 Rozměry pneumatik (ČESKÉ PNEU, 2016)

Jmenovitou šířkou pneumatiky se rozumí šířka pneumatiky, která je nahuštěná a namontovaná na ráfku. Dalším rozměrem je výška profilu pneumatiky. Značí vzdálenost od vnějšího obrysu k dosedací ploše patky pneumatiky. Podílem výšky k šířce získáme profilové číslo. Na obrázku jsou také zakótovány dva poloměry. První z nich je vnější poloměr vyjadřující poloměr pneumatiky, jenž není pod zatížením a je nazutá na ráfku. Rozměr od středu ráfku k povrchu silnice je nazýván staticky zatíženým poloměrem. Posledním pojmem je šířka profilu zatížené pneumatiky, která nám určuje šířku zatíženého průřezu pneumatiky. (ČESKÉ PNEU, 2016)

U osobních automobilů se rozměry na pneumatikách označují dvěma způsoby podle konstrukce kostry (radiální, diagonální).



## Radiální pneumatiky

**185/60 R 14 82 H**

kde: 185 - jmenovitá šířka pneumatiky [mm]

60 - profilové číslo [%]

R - radiální pneumatika

14 - průměr ráfku ["]

82 - index nosnosti

H - index rychlosti

## Diagonální pneumatiky

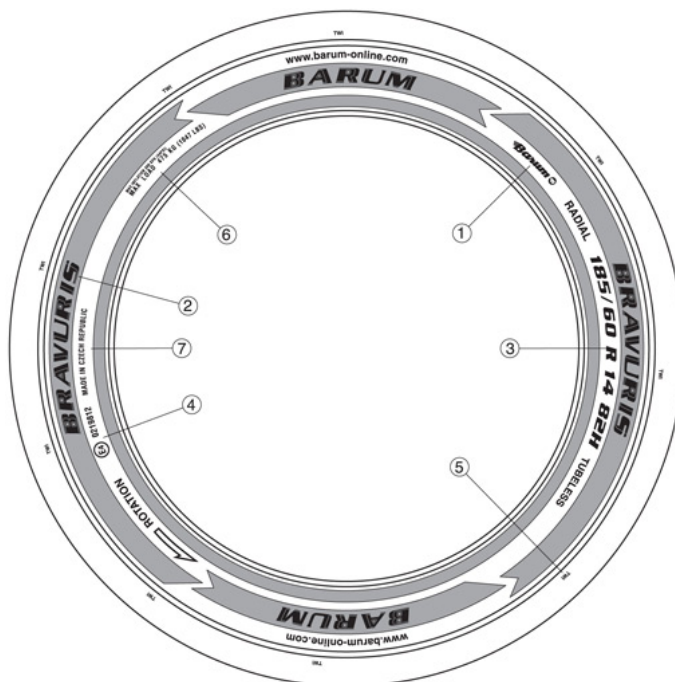
V podstatě se značí totožně jako radiální pneumatiky. Jedinou změnou je, že se místo písmene R značí symbolem „-“.

**185/60 – 14 82H**

(JAN A KOL., 2009)

### 4.2.2 Značení pneumatik

Při výrobě je pneumatika na bočnici označena kombinací písmen, číslic a popřípadě i slovním označením. Příklad značení pneumatik je uveden na obr. 10.



Obr. 10 Značení pneumatik (BESTDRIVE, 2016)

**Legenda:**

- 1 **BARUM** - značka výrobce
- 2 **BRAVIUS** - značka výrobku
- 3 **185/60 R 14 82 H** - rozměry pneumatiky
- 4 **E4** - znak homologace a číslo země podle dle směrnice ECE 30  
(4 = Nizozemsko)  
**0219812** - číslo schválení v souladu dle směrnice ECE 30
- 5 **TWI** - indikátor opotřebení
- 6 **MAX LOAD 475 kg** - maximální nosnost pneumatiky  
**MAX INFLATION 350 kPa** - maximální dovolené huštění pneumatiky
- 7 **MADE IN CZECH REPUBLIC** - země výroby

(BESTDRIVE, 2016)

**Další značení:**

- **TT** - pneumatika bez duše (Tubeless)
- **TL** - pneumatika s duší (Tubetype)
- **XL, RF** - pneumatiky s vyšší hodnotou indexu nosnosti
- **MFS, FR** - ochrana ráfku
- **M+S** - zimní pneumatiky
- **C** - pneumatika určená pro užitkové vozy
- **A/S** - celoroční pneumatiky
- **A/T** - pneumatiky vhodné na každý terén
- **M/T** - pneumatiky do terénu
- **HP** - výkonné pneumatiky
- **UHP** - vysoce výkonné pneumatiky

(VALSKÝ, 2009)

**4.2.2.1 Index nosnosti**

Známý také jako hmotnostní index nebo load index – LI. Jedná se o symbolové číslo, které udává maximální nosnost pneumatiky při rychlosti stanovené kategorií rychlosti za daných specifických podmínek. V technickém průkazu je uváděna hodnota indexu nosnosti. V praxi je možné využít pneumatiku s vyšším hmotnostním indexem. Z důvodu tvrdší bočnice se zvýší její odolnost proti proražení. Používání pneumatik

s nižší hodnotou indexu než je uvedeno v technickém průkazu, je zakázáno. V tab. 2 jsou uvedeny jednotlivé nosnostní indexy. (VALSKÝ, 2009); (VLK, 2003)

Tab. 2 Tabulka nosnostních indexů (VALSKÝ, 2009)

LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg
50	190	65	290	80	450	95	690	110	1060
51	195	66	300	81	462	96	710	111	1090
52	200	67	307	82	475	97	730	112	1120
53	206	68	315	83	487	98	750	113	1150
54	212	69	325	84	500	99	775	114	1180
55	218	70	335	85	515	100	800	115	1215
56	224	71	345	86	530	101	825	116	1250
57	230	72	355	87	545	102	850	117	1285
58	236	73	365	88	560	103	875	118	1320
59	243	74	375	89	580	104	900	119	1360
60	250	75	387	90	600	105	925	120	1400
61	257	76	400	91	615	106	950	121	1450
62	265	77	412	92	630	107	975	122	1500
63	272	78	425	93	650	108	1000	123	1550
64	280	79	437	94	670	109	1030	124	1600

#### 4.2.2.2 Index rychlosti

Označovaný též jako kategorie rychlosti nebo speed index – SI. Je to symbolem stanovená nejvyšší rychlost, při níž dokáže pneumatika nést tíhu danou hmotnostním indexem při určených specifických podmínkách. Z písmene a čísla nebo jen písmene je zhotoven symbol. Rychlostní indexy jsou uvedeny v tab. 3. (DOČKAL A KOL., 1998)

Tab. 3 Tabulka rychlostních indexů (MIKONA, 2016)

SI	km.h <sup>-1</sup>	SI	km.h <sup>-1</sup>	SI	km.h <sup>-1</sup>	SI	km.h <sup>-1</sup>
A1	5	B	50	L	120	U	200
A2	10	C	60	M	130	H	210
A3	15	D	65	N	140	V	240
A4	20	E	70	P	150	ZR	>240
A5	25	F	80	Q	160	W	270
A6	30	G	90	R	170	Y	300
A7	35	J	100	S	180	(Y)	>300
A8	40	K	110	T	190		

#### 4.2.2.3 Označení DOT

Pojem DOT je z anglického spojení „Department of Transport“. Jde o dvanáctimístný písemný a číselný kód, který je při výrobě vyznačen na bočnici pneumatiky. Prvních osm znaků udává kódové označení rozměrů a kód továrny kde

byla pneumatika vyrobena. Pro spotřebitele je nejdůležitější poslední čtyřčíslí označující datum výroby, např. 3614. První dvojčíslí nám udává, že pneumatika byla vyrobena ve 36. týdnu kalendářního roku. Druhé dvojčíslí vyjadřuje rok výroby. V tomto příkladu se jednalo o rok 2014. (RAŠ, 2015)

#### **4.2.2.4 Indikátor opotřebení**

Na rameni pláště je označován trojúhelníkem a zkratkou TWI z anglického „Tread Wide Indicator“. Jedná se výstupky o výšce 1,6 mm umístěné na dně dezénových drážek. Indikátory pro kontrolu hloubky dezénu jsou rozmístěné po obvodu pláště. V případě ojetí dezénu až na tento výstupek je potřebné vyměnit pneumatiku. U zimních pneumatik je výrobcí doporučená minimální výška dezénu 4 mm. (JAN A KOL., 2003)

### **4.3 Tvary dezénů pneumatik**

#### **4.3.1 Symetrický**

Základním znakem je symetrický tvar dezénu v podélné ose běhounu. Využívají se u automobilů jezdících v městském provozu s pneumatikami nižších a středních tříd. Pneumatiky se symetrickým dezénem se v současné době vyrábějí pouze do průměru R18. Jejich plusem jsou výborné jízdní vlastnosti na suché vozovce. Špatné jízdní vlastnosti na mokré vozovce a horší stabilita pneumatik v zatáčkách se řadí mezi nevýhody. Při montáži na vozidlo je možné kolo umístit na jakoukoli stranu a nápravu. (VALSKÝ, 2014); (WAGNER, 2016)

#### **4.3.2 Asymetrický**

Uspořádání tohoto dezénu je nesymetrické. Vnější část tvoří velké tuhé bloky z důvodu lepšího odvalování pneumatiky a navýšení pevnosti bočnice. Vnitřní část je na rozdíl od vnější více prořezána a má vodící drážky. Ty slouží k odvodu vody a sněhu. Pneumatiky s tímto dezénem jsou vhodné pro automobily střední a vyšší třídy, ale i pro sportovní vozy. Vyrábí se od průměru R16. Mezi hlavní výhody se řadí dlouhá životnost a nízká hlučnost. Nevýhoda spočívá v neuspokojivých jízdních vlastnostech na sněhu oproti pneumatikám se směrovým dezénem. Dalším záporem je vyšší cena. Velmi důležité je při obouvání pneumatiky na ráfek dodržení stranové orientace. Označení je na bočnicích „outside“ (vnější strana) a „inside“ (vnitřní strana). (VALSKÝ, 2014)

### 4.3.3 Směrový

Charakteristickým rysem daného dezénu je šípový design. Jedná se zvláštní tvar symetrického dezénu. Největší uplatnění nachází u zimních pneumatik a na přední nápravě sportovních vozů. Kladnou stránkou je velmi dobrý odvod vody z povrchu dezénu. Díky tomu dochází ve větší míře k zamezení vzniku aquaplaningu. Dezén se vyznačuje ideálním záběrem na měkké podložce a znamenitými jízdními vlastnostmi v přímém směru. Zápornou stránkou je hlučnost. Na bočnici je uveden směr otáčení pneumatiky, který jsme při montáži povinni respektovat. (VALSKÝ, 2014)

Tvary zde zmíněných dezénů jsou zobrazeny na obr. 11.



Obr. 11 Tvary dezénů (WAGNER, 2016)

## 4.4 Druhy pneumatik

### 4.4.1 Letní

Pneumatiky jsou vhodné k provozu při teplotě vzduchu větší jak 7 °C. Vyznačují se tvrdší směsí, která při chladnějším počasí ještě více tvrdne a hůře přilíná k vozovce. Z toho plyne, že i značně klouže. Dezén pneumatiky je sice vytvářen menším počtem lamel než je tomu u zimních, ale i tak má za povinnost dokonale odvádět vodu. S odtávajícím sněhem si už poradí hůře. Minimální hloubka dezénu je dle zákona u letních pneumatik 1,6 mm. (BESIP, 2012); (FAJMON, 2016)

### 4.4.2 Zimní

Tento druh se charakterizuje měkčí směsí pneumatik. Je to způsobeno odlišným složením směsi materiálu, která se používá na výrobu běhounu. U zimních pneumatik je použito větší množství siliky. Jedná se o specificky upravený oxid křemičitý. Z tohoto důvodu pneumatiky na mokré vozovce při nižších teplotách (menší jak 7 °C) mají lepší přilnavost. Vyšším počtem lamel v dezénu je zaručen lepší odvod odtávajícího sněhu.

Zimní pneumatika má zákonem stanovenou minimální hloubku dezénu 4 mm. Tento druh pneumatik se značí značkou M + S (muld + snow) a symbolem hory se třemi vrcholy a sněhovou vločkou. (BESIP, 2012); (FAJMON, 2016)

## 5 TEORIE VALENÍ VOZIDLOVÉHO KOLA

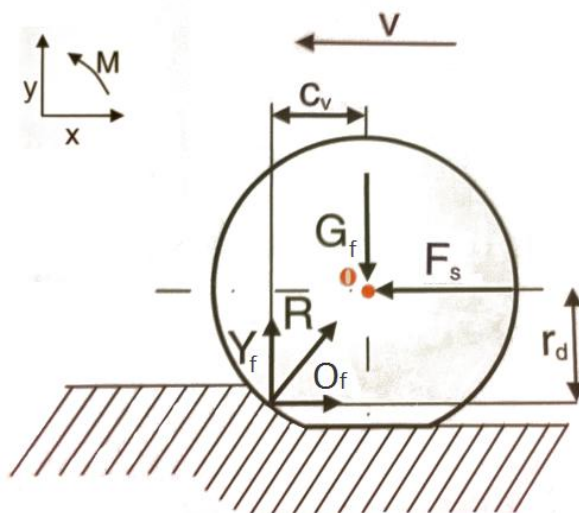
Vozidlové kolo je nepostradatelnou složkou pro zrealizování pohybu silničního vozidla. Jak již bylo řečeno v předešlé kapitole popisující pneumatiky, je pomocí tohoto celku spojen automobil s vozovkou. Ve stopě pneumatiky se uskutečňuje přenos veškerých silových účinků. Zmíněné účinky stanovují pohyb automobilu. Vozidlová kola lze po mechanické stránce rozlišit na hnací a hnaná, tzn. vedená. (ŠVÍGLER, 2013)

### 5.1 Valení kola po tvrdé podložce

Teorie valení kola pro tento typ terénu je detailněji popsán v kapitole 3.1, zabývající se odporem valivým.

### 5.2 Valení kola po měkké podložce

Automobil má při jízdě po měkké podložce proti jízdě po tvrdém terénu větší úhel odporu valení. Úhlem odporu valení se myslí úhel svírající výslednici reakce vozovky a odporu valení s reakcí vozovky. Je to za stavu, kdy se uchová totožná velikost reakce podložky  $Y_f$ . Při valení je tato reakce odsunuta od osy vozidlového kola. Dále se zmenší dynamický poloměr kola. Z důvodu tohoto snížení se musí zvětšovat odpor valení, aby byla dodržena momentová rovnováha podle rovnice 3 v kapitole 3.1. Odvalování kola po měkké podložce je zobrazeno na obr. 12. (BAUER A KOL., 2013)



Obr. 12 Odvalování pružného kola po měkké podložce (BAUER A KOL., 2013)

kde:  $R$  - výslednici reakce vozovky a odporu valení [N]

## 6 METODIKA MĚŘENÍ JÍZDNÍCH ODPORŮ

Jízdní odpory, tj. valivý, aerodynamický, stoupání a zrychlení se teoreticky určují výpočtem (viz. kapitola 3) při konstrukčním návrhu nového vozidla. Následně jsou hodnoceny při praktických zkouškách v laboratořích či na zkušebních drahách.

### 6.1 Odpor valivý

Zde zmíněný odpor patří do celku zvaného pasivní ztráty. Součástí tohoto celku jsou i ztráty způsobené v důsledku tření, mezi ně patří například tření v uložení kola. (DITTRICH, 2007); (DOČKAL A KOL., 1998)

Měření pasivních ztrát se nejčastěji realizuje na vozidlových zkušebnách, přesněji na vozidlovém dynamometru (viz obr. 13). Přesnější a podrobnější popis tohoto měření je uvedeno v následující kapitole 7, kde je popsána příprava, popis a průběh měření.



*Obr. 13 Automobil na vozidlovém dynamometru (VLASTNÍ ARCHIV)*

### 6.2 Odpor vzdušný (aerodynamický)

O měření tohoto jízdního odporu bylo krátce pojednáno již v kapitole 3.2. Jeho velikost se měří v aerodynamických tunelech, který je uveden na obr. 14. Stanovuje se na vozidlech skutečné velikosti či na modelech v menším měřítku. K výsledkům s větší přesností se dospěje při realizaci jízdy po vozovce, tzn. automobil skutečné velikosti je



umístěn na válcích či oběžných pásech. U menších modelů lze zkoušet i dva modely najednou a tedy měřit tento odpor při různých situacích, např. při předjíždění.

Vzduch v aerodynamickém tunelu proudí rychlostí až  $300 \text{ km.h}^{-1}$  za pomoci ventilátoru, který může mít průměr dokonce i 8 metrů. Dle normy se aerodynamický odpor určuje při rychlosti proudění vzduchu  $140 \text{ km.h}^{-1}$ . U zmenšených modelů (1 : 2) se měření uskutečňuje za rychlosti  $280 \text{ km.h}^{-1}$ , tudíž se modely měří za vhodných fyzikálních podmínek. Měření v aerodynamických tunelech jsou energeticky a tedy i cenově velmi náročná.

V aerodynamických tunelech se stanovuje jak velikost aerodynamického odporu, tak i součinitel odporu vzduchu. (OLIVÍK, 2014)



*Obr. 14 Aerodynamický tunel (CARICOS, 2016)*

### **6.3 Odpor stoupání**

Tento odpor automobilu se stanovuje výhradně výpočtem, proto se nemusí provádět zkoušky. Odlišnost můžeme zaznamenat u terénních vozidel. U těchto automobilů je stoupavost důležitým parametrem. Tato veličina je vyjadřována úhlem sklonu svahu, který je schopno vozidlo ještě překonat. (VLK, 2003)

### **6.4 Odpor zrychlení**

Měřením zrychlení vozidla na zkušební dráze se určuje odpor zrychlení. Měří se z nulové rychlosti do předem určené rychlosti. Druhým druhem měření je například od rychlosti  $80 \text{ km.h}^{-1}$  do  $120 \text{ km.h}^{-1}$  na určitých rychlostních stupních. Tomuto zrychlení se říká pružné. Využívají se k tomu měřicí přístroje, kterými jsou GPS,

snímače zrychlení a vlečné kolo. Poslední zmíněné zařízení se v dnešní době používá jen zřídka. (LANGEROVÁ, 2008); (VLK, 2001)

## **6.5 Odpor přívěsu**

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.5, měří se přívěs totožně jako automobil. Znamená to, že odpor valivý, stoupání, zrychlení se měří pro samostatné přípojné vozidlo, tj. přívěs. Odlišnost je u odporu aerodynamického přívěsu, který se měří s celou jízdni soupravou. (VLK, 2003)

## 7 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Praktické měření pasivních ztrát automobilu se uskutečnilo na vozidlové zkušebně v laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy (viz obr. 15). Měření zahrnovalo zjištění pasivních ztrát při různém nahuštění letních a zimních pneumatik. Experimentální měření bylo prováděno na automobilu Škoda Octavia II 1,9 TDI-PD s karosérií liftback.



Obr. 15 Vozidlová zkušebna pro osobní automobily (VLASTNÍ ARCHIV)

### 7.1 Metodika experimentálního měření

#### 7.1.1 Měřicí zařízení

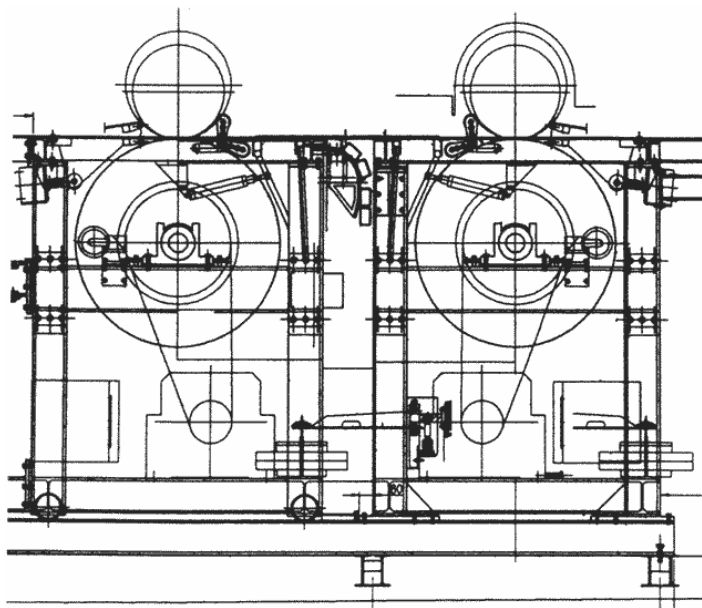
Součástí vozidlové zkušebny pro osobní automobily je vozidlový dynamometr, emisní analýza. Dále také zařízení pro měření spotřeby, osm čidel tlaku a stejný počet senzorů teploty. Zapisování dat na počítač je uskutečnitelné ze 140 kanálů. Protokol z provedeného měření se ukládá a posléze je možnost exportovat data do tabulkového procesoru.

Na vozidlovém dynamometru je možno provádět měření výkonu (statickou nebo dynamickou metodou), zkoušky brzdové soustavy. Dále také kalibrační testy pro určení pasivních ztrát a doplňkové zkoušky (zkouška rychloměru, tachometru, otáčkoměru). (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY, 2016)

### 7.1.1.1 Válcový vozidlový dynamometr MEZ 4VDM E120-D

Ze základních tuhých ráků, na nichž jsou upevněny ložiska válců o průměru 1,2 m, základních ráků s elektrickými dynamometry a stojin je vytvořena konstrukce válcového dynamometru. Hlavní bloky jednotlivých os představují zde zmíněné základní ráky a stojiny.

Usazení bloků os je u vozidlového dynamometru odlišné. Přední je usazen pevně, ale zadní je umístěn posuvně dle rozvoru automobilu, který je zkoušen. Pomocí elektricky ovládané frikční spojky je zabezpečeno vzájemné spojení pravého a levého válce. Při dynamických zkouškách, kdy se měří brzděné síly z vysokých rychlostí, nejsou válce propojeny. Na ocelové profilové konstrukci jsou nainstalovány obě osy. Konstrukce je připevněna k základnímu ráku, který je ve spodní části montážní jámy zalit do betonu. K ráku jsou připevněny i podpěry posuvného a pevného krytí dynamometru. Schéma vozidlového dynamometru je znázorněno na obr. 16. (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY, 2016)



Obr. 16 Konstrukční schéma vozidlového dynamometru (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY, 2016)

Za použití ozubených řemenů je uskutečňováno propojení elektrického dynamometru typu SDS 225 5604 s válcovými jednotkami. Z důvodu možného najetí automobilu na válce a bezpečnostního zabrzdění je každý z válců opatřen pneumaticky ovládanými brzdami. Všechny čtyři válcové jednotky obsahují středící a nájezdová

zařízení, která jsou ovládaná pneumaticky. Složkou každé jednotky je i měřící rolna s výsuvným krytem.

Z ocelových krycích plechů je složena podlaha kolem vozidlového válcového dynamometru. V podlaze se nachází drážky pro upevnění sloupků s měchy, sloužící k bezpečnému upevnění automobilu na dynamometru. Chladicí vzduch, který je přiveden do montážní jámy, odchází z tohoto prostoru v prostření části přední a zadní osy válců. Při zkouškách mohou být před automobil nainstalovány ventilátory, které ovládá přímo osoba ze zkoušeného automobilu. (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY, 2016)

V tab. 4 jsou uvedeny základní technické parametry vozidlového dynamometru.

*Tab. 4 Základní technické parametry vozidlového dynamometru MEZ 4VDM E120-D (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY, 2016)*

<b>Max. zkušební rychlost [km.h<sup>-1</sup>]</b>	200
<b>Max. výkon na nápravu [kW]</b>	240
<b>Max. hmotnost na nápravu [kg]</b>	2000
<b>Průměr válců [m]</b>	1,2
<b>Šířka válců [mm]</b>	600
<b>Mezera mezi válci [mm]</b>	900
<b>Povrch válců</b>	zdrsnění RAA 1,6
<b>Setrvačná hmotnost válců (každá náprava) [kg]</b>	1130
<b>Mín. rozvor [mm]</b>	2000
<b>Max. rozvor [mm]</b>	3500
<b>Zatížitelnost krytí:</b>	
- v místě jízdy [kg]	2000
- v místě chůze [kg]	500
<b>Tlakový vzduch [bar]</b>	min. 4
<b>Rozsah měření rychlosti [km.h<sup>-1</sup>]</b>	0 - 200
<b>Rozsah měření sil [kN]</b>	4krát ± 5
<b>Přesnost měření rychlosti [km.h<sup>-1</sup>]</b>	± 0,01
<b>Přesnost měření sil [%]</b>	± 0,25
<b>Přesnost regulace rychlosti [%]</b>	± 0, 1
<b>Přesnost regulace síly [%]</b>	± 0,5

### 7.1.1.2 *Hustič WONDER Eurodainu s manometrem*

Pro měření, případné huštění nebo upouštění tlaku v pneumatikách byl použit hustič WONDER Eurodainu s manometrem (viz obr. 17). Jedná se kalibrované měřidlo, které je sloučené do jednoho celku s rukojetí. Manometr má průměr 80 mm s rozsahem do 12 barů.



*Obr. 17 Hustič WONDER Eurodainu s manometrem (VLASTNÍ ARCHIV)*

### 7.1.1.3 *Infračervený teploměr VOLTcraft IR-1600A*

Dalším měřicím zařízením, které bylo použito při měření, byl infračervený teploměr VOLTcraft IR-1600A (viz obr. 18). Jde o kalibrovaný teploměr s rozsahem měřících teplot od -50 °C do 1600 °C. Zařízení s optikou 50 : 1 měří teploty s přesností na 0,1 °C.



*Obr. 18 Infračervený teploměr VOLTcraft IR-1600A (VLASTNÍ ARCHIV)*

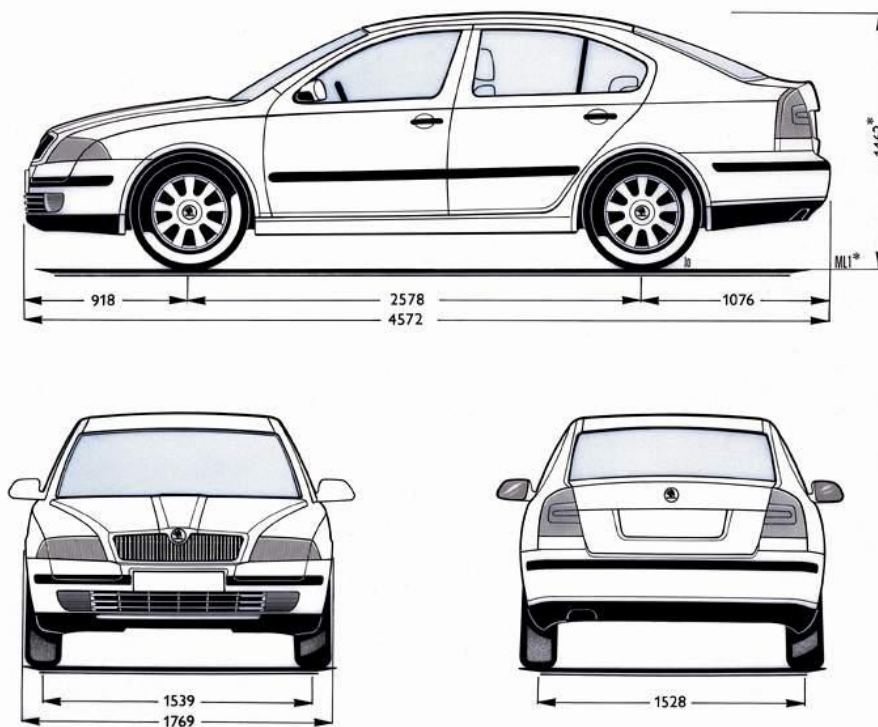


### 7.1.2 Měřené vozidlo

Experimentální měření bylo uskutečněno na vozidlu Škoda Octavia II 1,9 TDI-PD (viz obr. 19). Rozměry automobilu a technická data jsou uvedeny na obr. 20 a tab. 5.



Obr. 19 Škoda Octavia II 1,9 TDI-PD (VLASTNÍ ARCHIV)



Obr. 20 Rozměry Škoda Octavia 1,9 TDI-PD (AUTO, 2004)

Tab. 5 Technická data měřeného vozidla

<b>Tovární značka</b>	Škoda
<b>Obchodní označení</b>	Octavia II
<b>Označení motoru</b>	1,9 TDI-PD
<b>Karoserie</b>	liftback
<b>Poháněná náprava</b>	přední
<b>Charakteristika motoru</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- přeplňovaný vznětový motor</li> <li>- nastavitelná geometrie lopatek turbodmychadla</li> <li>- řadový</li> <li>- chlazen kapalinou</li> <li>- přímé vstřikování paliva (vysokotlaké)</li> <li>- rozvody OHC</li> <li>- uložen vpředu napříč</li> </ul>
<b>Zdvihový objem motoru [cm<sup>3</sup>]</b>	1896
<b>Počet válců</b>	4
<b>Počet ventilů</b>	8
<b>Maximální výkon motoru / při otáčkách [kW/min<sup>-1</sup>]</b>	77 / 4000
<b>Maximální výkon motoru / při otáčkách [N.m/min<sup>-1</sup>]</b>	250 / 1900
<b>Vrtání x zdvih [mm]</b>	79,5 x 95,5
<b>Kompresní poměr</b>	19 : 1
<b>Rozvor náprav [mm]</b>	2578
<b>Palivo</b>	nafta motorová
<b>Rok výroby</b>	2005
<b>Rozměr pneumatik</b>	195/65 R15
<b>Stav tachometru [km]</b>	205 415
<b>Maximální rychlost [km.h<sup>-1</sup>]</b>	192
<b>Zrychlení 0-100 km.h<sup>-1</sup> [s]</b>	11,8



### 7.1.3 Příprava experimentálního měření

K prvním úkonům před měřením patřilo očištění dezénu pneumatik. Poté byla zkontrolována kola, zda jsou na vozidle namontovány rozměrově správné pneumatiky. Byl ověřen tlak v pneumatikách (v tomto případě tlak huštění udávaný výrobcem pro plné zatížení) a také proběhla kontrola uchycení vyvažovacích závaží. Následně byly do měřicího systému vozidlové zkušebny zavedeny všechny potřebné údaje o zkoušeném automobilu, např. identifikační číslo vozidla (VIN), převodové poměry, dynamický poloměr vozidlového kola a některé další hodnoty uvedené v tabulce 4.

Následovalo najetí vozidla na válce vozidlové dynamometru. Automobil byl zajištěn za pomoci dvou rámových konstrukcí, které jsou připevněny šrouby k podlaze zkušebny. První rámová konstrukce se nacházela před přední částí vozidla, druhá za zadní částí. Tyto rámové konstrukce jsou opatřeny dorazy z pryže, které dosedají na nárazníky automobilu. Pomocí dorazů docházelo k zachycování dynamických sil, které vznikají při zkouškách. Zajištění vozidla během zkoušky je zobrazeno na obr. 21 a obr. 22. Poslední činností před zahájením zkoušky bylo přivedení odsávacího zařízení k výfukovému potrubí pro odvod výfukových plynů.



*Obr. 21 Ukotvení zkoušeného vozidla - přední (VLASTNÍ ARCHIV)*



Obr. 22 Ukotvení zkoušeného vozidla - zadní (VLASTNÍ ARCHIV)

Před experimentálním měřením byly odečteny a zapsány barometrické podmínky v laboratoři (viz. tab. 6) a automobil byl zvážen (viz. tab. 7).

Tab. 6 Barometrické podmínky v laboratoři

Teplota [°C]	Tlak [kPa]	Vlhkost [%]
24,8	98,39	60

Tab. 7 Rozložení hmotnosti automobilu

<b>Přední náprava [kg]</b>	<b>850</b>
Levé přední kolo [kg]	440
Pravé přední kolo [kg]	410
<b>Zadní náprava [kg]</b>	<b>640</b>
Levé zadní kolo [kg]	320
Pravé zadní kolo [kg]	320

#### 7.1.4 Popis experimentálního měření

Praktické měření bylo prováděno za pomoci kalibračního testu, který určuje pasivní ztráty pro zkoušky brzd. Tímto testem se zjišťují pasivní ztráty jednotlivých kol vozidla.

Před samotným měřením bylo do měřícího systému zkušebny zaneseno rozpětí rychlostí, ve kterém se měření uskutečňovalo a hodnota kroku rychlosti. V případě diplomové práce bylo zvoleno rozpětí rychlostí od 10 km.h<sup>-1</sup> do 160 km.h<sup>-1</sup> s krokem 10 km.h<sup>-1</sup>. Test se prováděl při nastartovaném motoru vozidla a nezařazeném

rychlostním stupni. Za pomoci válců vozidlové zkušebny byla roztáčena všechna čtyři kola automobilu. Poté byly odečítány síly na jednotlivých kolech, které jsou k zapotřebí k udržení určité předem zadané rychlosti. Odečítání jednotlivých sil probíhalo při dané rychlosti 20 sekund, kde během počátečních 10 sekund došlo k ustálení hodnot, a v následných 10 sekundách probíhal záznam hodnot. Změřená síla je rovna valivému odporu. Poté byla rychlost zvýšena o hodnotu předem zadaného kroku a postup se opakoval až do rychlosti určené před měřením. Po dosažení maximální zvolené rychlosti byl hnací moment na válcích přerušen a celá soustava doběhla setrvačnou silou. Řízení vozidlové zkušebny se provádělo elektronicky za pomoci klávesnice, kterou měla obsluha v automobilu. Protokoly z praktického měření jsou uvedeny v přílohách této práce. Především ztrátovým výkonem valivého odporu jsou vyjádřeny pasivní ztráty. Vzorec pro výpočet ztrátového výkonu je uveden v rovnici 18.

$$P_z = F \cdot v \text{ [W]} \quad (18)$$

kde:  $P_z$  - ztrátový výkon valivého odporu [W]

$F$  - síla k udržení rychlosti [N]

$v$  - rychlost vozidla [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

### 7.1.5 Průběh experimentálního měření

Praktické měření se skládalo ze dvou identických částí, které se od sebe lišily jen druhem použitých pneumatik. Následně byla každá z částí rozdělena na čtyři měření podle zvolených tlaků huštění pneumatik, která jsou uvedena v tab. 8. Celé experimentální měření se uskutečňovalo na jedné sadě ocelových diskových kol.

*Tab. 8 Zvolené tlaky huštění pneumatik*

Měření	Přední pneumatiky [kPa]	Zadní pneumatiky [kPa]	Poznámka
1	230	330	Výrobce udávané huštění pro plné zatížení
2	210	210	Výrobce udávané huštění pro poloviční zatížení
3	150	150	
4	100	100	

První část měření se realizovala na letních pneumatikách. Bylo využito bezdušových radiálních pneumatik se symetrickým tvarem dezénu a hloubkou dezénů 5 mm. Při prvním měření byly pneumatiky nahuštěny na hodnotu, která je výrobcem udávaná pro plné zatížení. Byl proveden kalibrační test, který je podrobně popsán v předešlé kapitole. Po dosažení maximální zvolené rychlosti byla změřena teplota pláštěů na všech čtyřech kolech. Zkouška se uskutečňovala z důvodu průkaznosti výsledků celkem třikrát. Následně byly pneumatiky za pomoci hustiče upuštěny na další námi zvolenou hodnotu tlaku. Opět byl proveden tentýž postup jako u předešlého nahuštění. Stejným principem se pokračovalo i u dalších dvou tlaků huštění.

Na zimních pneumatikách byla uskutečněna druhá část praktického měření. Za pomoci zouvačky bylo provedeno přezutí letních pneumatik na zimní. Následně byly zimní pneumatiky vyváženy na vyvažovače. Oba stroje jsou součástí laboratoří Ústavu techniky a automobilové dopravy. V této části se použily bezdušové radiální pneumatiky se směrovým tvarem dezénu. Výšky dezénů měly hodnotu 5 mm. Postup měření pasivních ztrát byl identický jako u letních pneumatik.

Na obr. 23 je zobrazeno zkoušené vozidlo v průběhu experimentálního měření.



*Obr. 23 Zkoušené vozidlo v průběhu experimentálního měření (VLASTNÍ ARCHIV)*

## 8 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Jak již bylo řečeno v kapitole 7, každé měření pasivních ztrát při různém tlaku huštění pneumatik bylo prováděno třikrát. V průběhu každého měření byla data zapisována do počítače a následně byl vytisknut protokol kalibrace jednotlivých kol (viz přílohy). Ze získaných dat, tzn. ze tří hodnot pro danou rychlost, byla následně vypočítána průměrná hodnota. Pomocí programu Statistica byly poté vytvořeny grafy závislosti ztrátového výkonu na rychlosti pro různé tlaky huštění pneumatik. Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení jednotlivých tlaků huštění. K parametrům, které byly hodnoceny, patřil celkový ztrátový výkon při maximální rychlosti  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , dále ztrátový výkon jednotlivých vozidlových kol a také stran automobilu. Doplňkovým parametrem byla teplota pláštěů pneumatik po dosažení maximální zvolené rychlosti. Pasivní ztráty jsou vyjádřeny především ztrátovým výkonem valivého odporu.

### 8.1 Letní pneumatiky

Vyhodnocení pasivních ztrát probíhalo pro předem zvolené čtyři různé tlaky letních pneumatik.

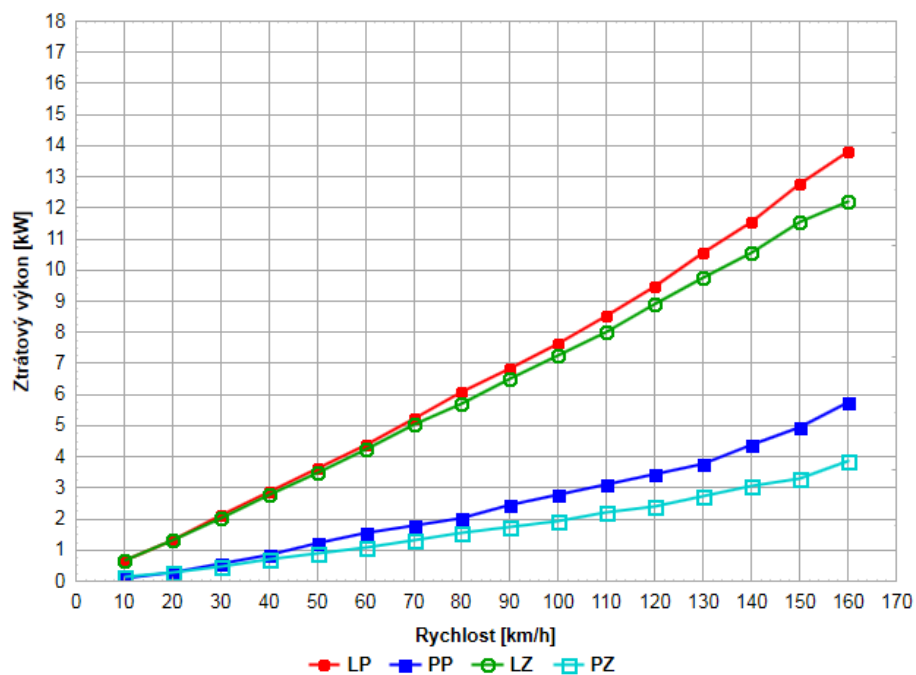
#### 8.1.1 Tlak huštění P230 / Z330 kPa

Závislost ztrátového výkonu na rychlosti při maximálním tlaku huštění letních pneumatik je znázorněna na obr. 24. Od ostatních zkoušených tlaků huštění se liší tím, že nemá na všech čtyřech kolech shodnou hodnotu tlaku. Na předních kolech je tlak 230 kPa, na zadních 330 kPa. Jedná se o výrobcem udávané huštění pro plné zatížení vozidla. Můžeme říci, že všechny křivky kol mají přibližně lineární charakter.

Při zvolené maximální zvolené rychlosti  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  byl vypočten celkový ztrátový výkon, jehož hodnota byla 35,68 kW. Celkový ztrátový výkon byl vypočten sečtením ztrátových výkonů na jednotlivých kolech. Po dosažení této rychlosti byla při každém měření pro tento tlak huštění (tj. 3krát) změřena pomocí infračerveného teploměru teplota pláštěů u všech čtyř kol. Následně byla z těchto tří hodnot vypočtena průměrná hodnota a výsledkem je, že nejvyšší byla na předním pravém kole a to  $35,5^\circ\text{C}$ .

Na levé přední pneumatice byla průměrná hodnota ztrátového výkonu 6,71 kW. V případě pravé zadní 1,73 kW. Rozdíl byl 4,98 kW. Průměrná hodnota ztrátového výkonu pneumatiky byla vypočtena ze šestnácti bodů, které se zaznamenávaly každých  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Konkrétněji v rozmezí od  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  do  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Při statistickém vyhodnocení ztrátového výkonu jednotlivých stran vozidla se využilo párového t-testu. Je ho možné aplikovat pro porovnání dvou skupin jednoho výběrového souboru. Ověřuje nám, jestli rozdíl středních hodnot veličin, např.  $y_1$  a  $y_2$ , je roven určitému číslu (nejčastěji nule). Při provádění testu byla rozhodujícím kritériem vypočtená p-hodnota. Jestliže vyšla p-hodnota menší než předem zvolená hladina významnosti 5% (0,05), pak se zamítá nulová hypotéza ( $H_0$ : pasivní ztráty jsou na všech kolech stejné). Pak můžeme říci, že jde o statisticky významný rozdíl. V případě, že  $p < 0,01$  je možno konstatovat, že se jedná o statisticky vysoce významný rozdíl. Je-li ale p-hodnota větší jak zvolená 5 % hladina významnosti, pak nulová hypotéza platí. Proto když platí, že  $p > 0,05$ , jde o statisticky nevýznamný rozdíl. U tohoto huštění byl zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl ( $p < 0,01$ ) na levé i pravé straně mezi předním a zadním kolem.



Obr. 24 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa



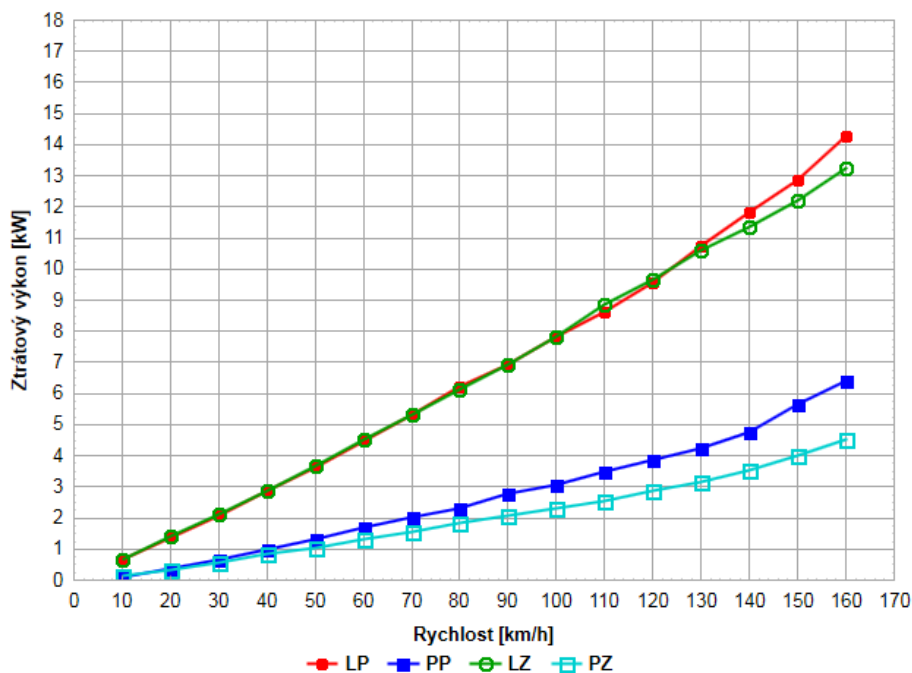
### 8.1.2 Tlak huštění P210 / Z210 kPa

Na obr. 25 je rovněž uvedena závislost ztrátového výkonu na rychlosti, tentokrát při huštění letních pneumatik udávaná výrobcem pro poloviční zatížení vozidla. Jedná se o tlak 210 kPa na všech kolech. Stejně jako u předchozího nahuštění bylo i toto nahuštění vyhodnoceno. Křivky této závislosti mají taktéž spíše lineární průběh, ale od rychlosti 130 km.h<sup>-1</sup> začínají mít přední vozidlová kola exponenciální charakter.

Opět byly sečteny všechny čtyři hodnoty ztrátového výkonu při rychlosti 160 km.h<sup>-1</sup>. Jejich hodnota po sečtení byla 38,47 kW. Při zkoumání teploty se zjistilo, že i když docházelo k upouštění tlaků v pneumatikách, tak nejvyšší teplota byla znovu dopočtena na pravém předním kole. Teplota ale stoupla o zanedbatelnou jednu desetinu stupně Celsia.

Rozdíl s největší hodnotou byl stejně jako v předchozím případě mezi levou přední a pravou zadní pneumatikou. U první zmíněné pneumatiky byl průměr hodnot 6,83 kW, u druhé 2,04 kW. Rozdíl průměrných hodnot ztrátového výkonu činí 4,79 kW.

Statistickým vyhodnocením bylo vypočítáno, že mezi koly pravé strany vozidla byl nalezen statisticky vysoce významný rozdíl. To znamená, že p-hodnota byla menší než 0,01. Avšak na levé straně nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl ( $p > 0,05$ ).



Obr. 25 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa

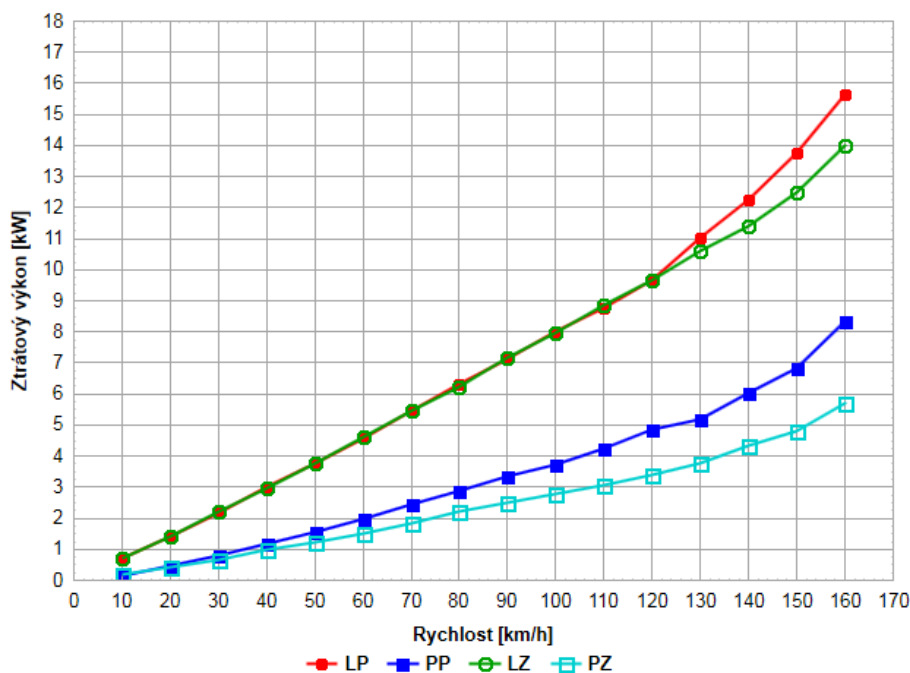
### 8.1.3 Tlak huštění P150 / Z150 kPa

Závislost pro tento tlak huštění je zobrazena na obr. 26. Jedná se o menší tlak huštění, tj. 150 kPa na všech čtyřech kolech. V tomto případě můžeme říci, že křivky mají stejný charakter jako u předešlého huštění, až na rozdíl v průběhu křivek, kdy exponenciální charakter mají přední kola již od rychlosti 120 km.h<sup>-1</sup>.

Celkový ztrátový výkon při 160 km.h<sup>-1</sup> byl 43,68 kW. Jeho velikost postupným uvolněním tlaků pneumatik roste. Z pohledu zkoumaných teplot plášťů pneumatik docházelo ke shodě průměrných teplot na předních kolech. Teplota se zvýšila oproti předcházejícím huštěním na 38,4°C.

Největší rozdíl průměrů ztrátových výkonů byl opětovně mezi levou přední a pravou zadní pneumatikou. Diference mezi těmito pneumatikami činila 4,64 kW a jedná se o menší hodnotu než při tlaku huštění 210 kPa.

Při statistickém vyhodnocení ztrátového výkonu jednotlivých stran vozidla byl znovu zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl na pravé straně automobilu a na levé opět nebyl.



Obr. 26 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa



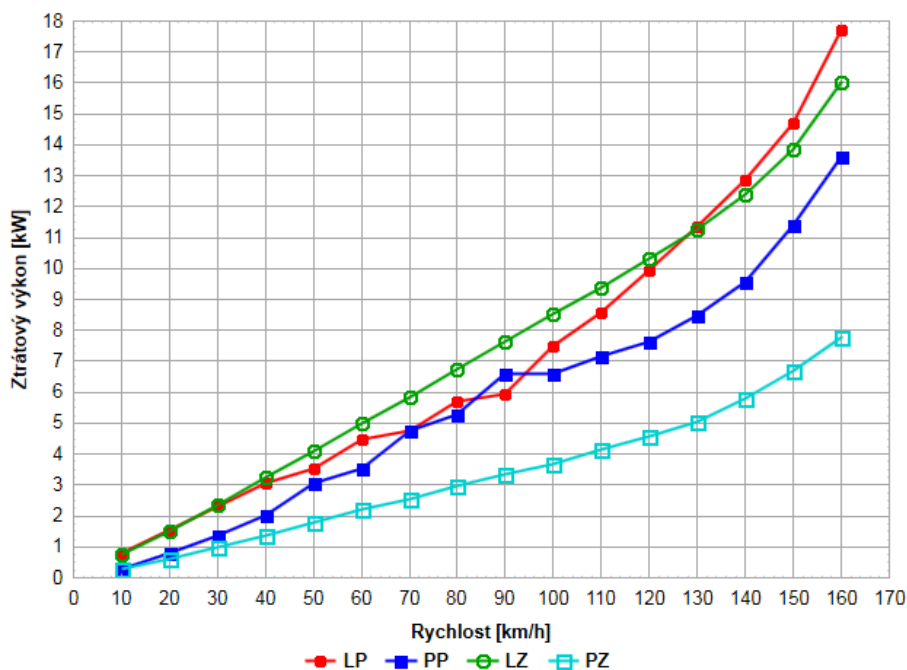
### 8.1.4 Tlak huštění P100 / Z100 kPa

Pro minimální zvolený tlak jsou výsledky uvedeny na obr. 27. Křivky jednotlivých kol mají rovněž od určité rychlosti všechny exponenciální charakter. Přední kola tento průběh začínají mít už od rychlosti 90 km.h<sup>-1</sup> a zadní až od 140 km.h<sup>-1</sup>.

Při rychlosti 160 km.h<sup>-1</sup> má automobil celkový ztrátový výkon 55,13 kW. Proti předešlým huštěním docházelo ke značnému nárůstu. I teplota pláště byla opět větší na předních pneumatikách. Její hodnota činila 42,9°C.

Největší diference průměrů byla tentokrát mezi pravou přední a zadní pneumatikou. Rozdíl ztrátového výkonu byl 4,06 kW.

Jako v předešlých dvou případech byl statisticky vysoce významný rozdíl zjištěn na pravé straně vozidla ( $p < 0,01$ ), na levé byl statistický nevýznamný rozdíl ( $p > 0,05$ ).



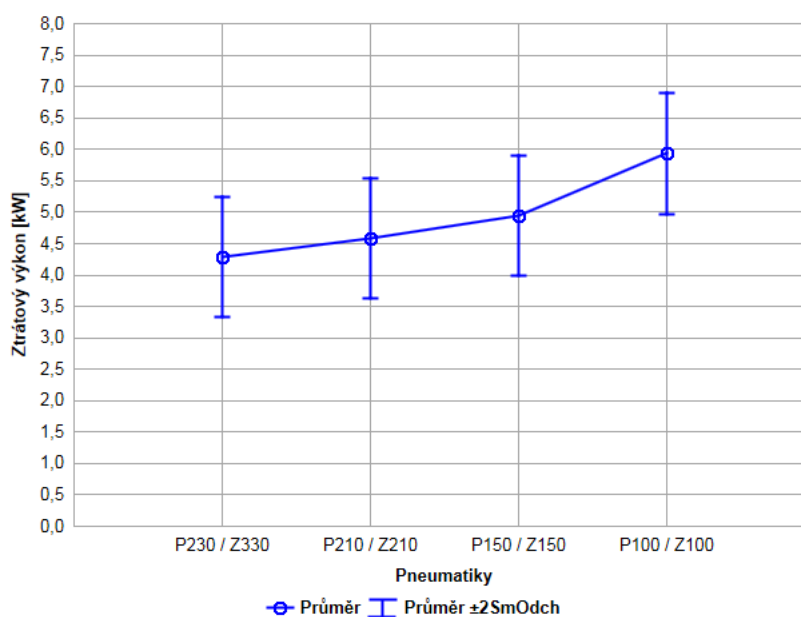
Obr. 27 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa

### 8.1.5 Porovnání všech tlaků huštění

Z grafů letních pneumatik je patrné, že při postupném snižování tlaků v pneumatikách vzrůstal ztrátový výkon a to zejména při vyšších rychlostech automobilu. Při porovnávání celkových ztrátových výkonů při maximální zvolené rychlosti (160 km.h<sup>-1</sup>) jsme dospěli k závěru, že postupným upouštěním tlaku v pneumatikách se zvýšila jeho hodnota asi o 35 %. Největší rozdíl průměrných hodnot ztrátového výkonu mezi jednotlivými koly byl u maximálního tlaku huštění

(téměř 5 kW). Na základě výsledků byl zjištěn na levé straně vozidla mezi předním a zadním kolem statisticky významný rozdíl. Z měření teplot plášťů lze říci, že se zahřívaly více přední pneumatiky. Zvýšené hodnoty ztrátového výkonu na levé straně mohou být způsobeny několika faktory. Prvním je hmotnost řidiče, která ovlivňuje levé přední kolo. U zadního kola bylo odhaleno zvýšené tření, které mohlo být způsobeno třením mezi brzdovým obložením (destičkami) a brzdovým kotoučem či dokonce poškození ložiska kola. Při statistickém vyhodnocení ztrátového výkonu mezi pravou a levou stranou vozidla byl zjištěn při všech tlacích huštění statisticky významný rozdíl.

Na obr. 28 je zobrazeno srovnání ztrátových výkonů letních pneumatik při všech tlacích huštění, které byly při měření nastaveny. Porovnání bylo vytvořeno za pomoci jednofaktorové ANOVY. Jak je z grafického vyjádření výsledků ANOVY patrné, největší rozdíl průměrných hodnot ztrátových výkonů (při různých tlacích huštění) byl mezi minimálním a maximálním nahuštěním (1,65 kW). Graf tvoří průměrné hodnoty s 95 % intervalem spolehlivosti a 5 % hladinou významnosti. Průměrné hodnoty ztrátového výkonu byly vypočteny ze všech naměřených bodů při daném huštění. Při podrobnějším statistickém zkoumání bylo použito Tukeyova testu, který je charakteristický tím, že slouží k mnohonásobnému porovnání všech dvojic skupin v pokusu. Tímto testem bylo zjištěno, že mezi jednotlivými průměry ztrátových výkonů jednotlivých tlaků není statisticky významný rozdíl ( $p > 0,05$ ). Průměrné hodnoty ztrátového výkonu byly vypočteny ze všech naměřených bodů při daném huštění.



Obr. 28 Porovnání ztrátových výkonů automobilu při použití letních pneumatik při všech tlacích huštění

## 8.2 Zimní pneumatiky

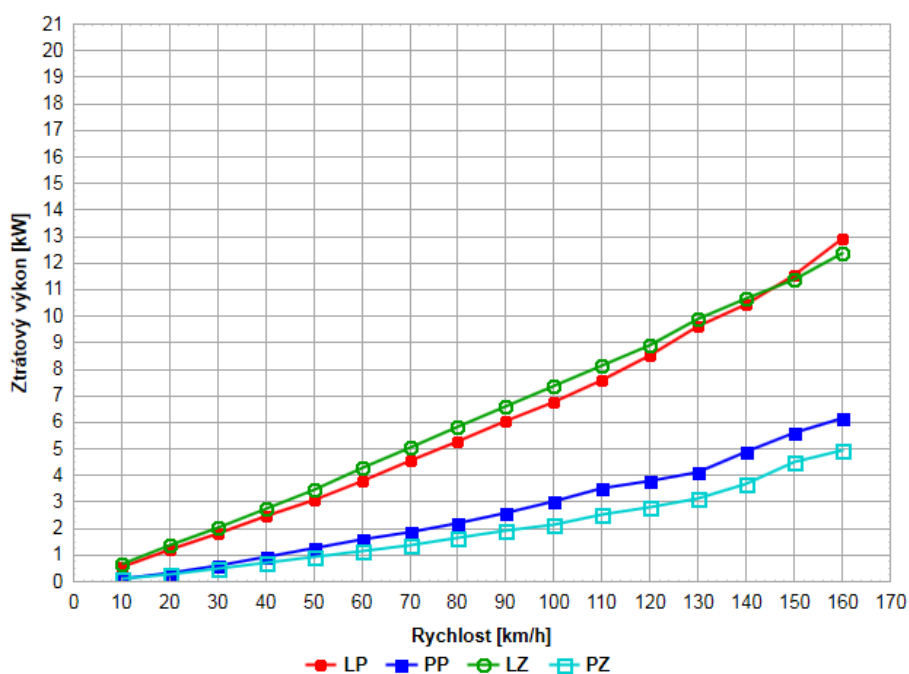
### 8.2.1 Tlak huštění P230 / Z330 kPa

Stejně jako u letních pneumatik byl vytvořen graf závislosti ztrátového výkonu na rychlosti při maximálním tlaku huštění pro zimní pneumatiky. Graf je znázorněn na obr. 29. Z grafu je patrné, že opět jako u letních pneumatik stejného tlaku huštění mají křivky charakter podobající se téměř lineárnímu průběhu.

U zimních pneumatik byly vyhodnocovány stejné parametry, jako tomu bylo u letních. Velikost celkového ztrátového výkonu byla při rychlosti  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$   $36,43 \text{ kW}$ . Při porovnání s letními pneumatikami se hodnota nepatrně zvýšila. Docházelo k výraznému zvýšení hodnoty u měřených teplot pláštěů, kdy stoupla nejvyšší teplota pneumatik o  $5^\circ\text{C}$  na  $40,7^\circ\text{C}$  (jednalo se o levé přední kolo).

Na rozdíl od letních byl největší rozdíl mezi levou a pravou zadní pneumatikou. Rozdíl těchto průměrných hodnot byl  $4,27 \text{ kW}$  a oproti letní sadě měla difference menší hodnotu.

Statistickým vyhodnocením ztrátového výkonu jednotlivých stran vozidla byl opět zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl na levé i pravé straně. To znamená, že p-hodnota byla menší než  $0,01$ .



Obr. 29 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa

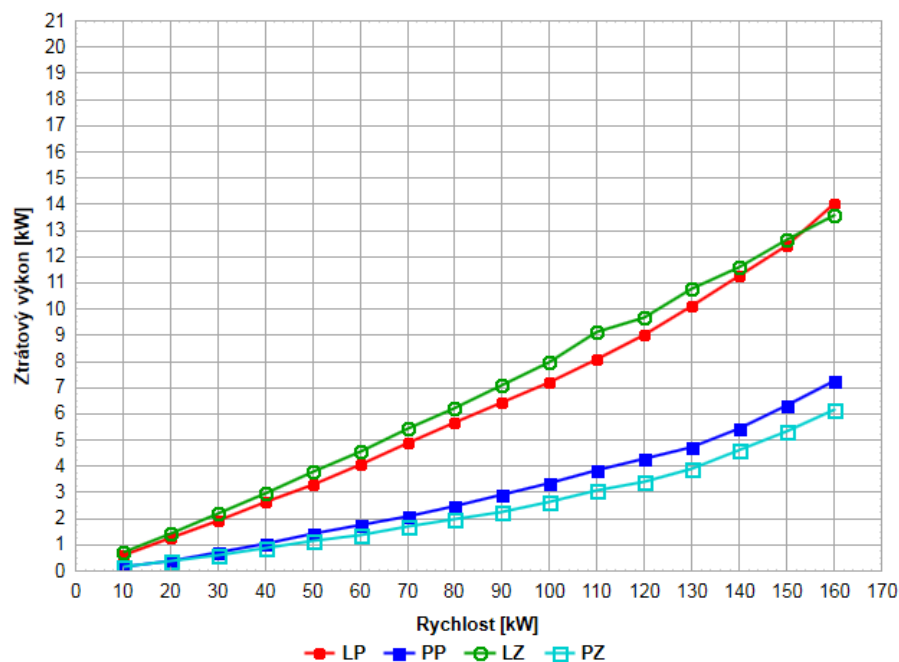
### 8.2.2 Tlak huštění P210 / Z210 kPa

Závislost ztrátového výkonu na rychlosti při tlaku huštění 210 kPa u zimních pneumatik na všech kolech je uvedena na obr. 30. Vzhledem k letním pneumatikám mají křivky zimních pneumatik stále spíše lineární charakter.

Při sečtení jednotlivých ztrátových výkonů při rychlosti 160 km.h<sup>-1</sup> (tzn. celkový ztrátový výkon) byla hodnota 40,96 kW. V porovnání s letními byl celkový ztrátový výkon vyšší. Nejvyšší teplota pláště byla znovu na levém předním kole. Byla ale nižší proti předešlému nahuštění (42,3°C).

Diference s největší hodnotou byla podobně jako u předcházejícího tlaku huštění mezi levou a pravou zadní pneumatikou. U levé uvedené pneumatiky byla průměrná hodnota ztrátového výkonu 6,86 kW, u pravé 2,48 kW. Hodnota rozdílu byla 4,38 kW, což je menší než u letních pneumatik shodného huštění.

Na obou stranách automobilu byl vypočten statisticky vysoce významný rozdíl. Zde je možné vidět rozdílnost oproti letním pneumatikám, kde byl pouze na pravé straně.



Obr. 30 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa

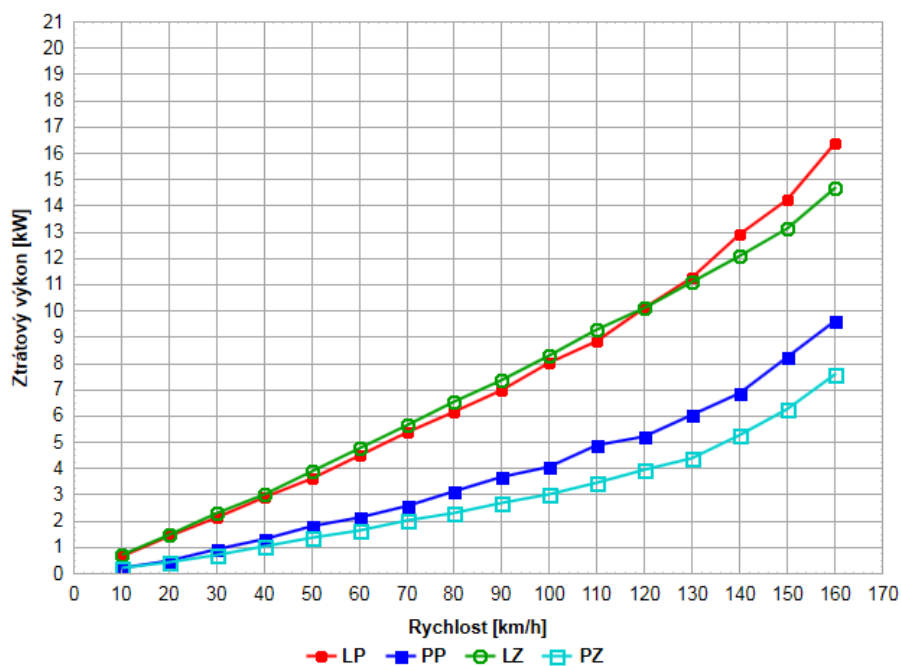
### 8.2.3 Tlak huštění P150 / Z150 kPa

Pro tuto variantu huštění bylo také vytvořeno grafické znázornění závislosti ztrátového výkonu na rychlosti, která je zobrazena na obr. 31. Jedná se o nižší tlak huštění, tj. 150 kPa. Charakter křivek je do rychlosti 120 km.h<sup>-1</sup> téměř lineární, od této rychlosti nabývají všechna kola, až na levé zadní, exponenciální charakter.

Výsledná hodnota celkového ztrátového výkonu byla 48,29 kW. Tato hodnota je součtem dílčích ztrátových výkonů na jednotlivých kolech při rychlosti 160 km.h<sup>-1</sup>. Z předchozích měření vyplývá, že s klesajícím tlakem v pneumatikách celkový ztrátový výkon neustále roste. Vzrůstající charakter měla i měřená teplota pláštěů, která byla stále nejvyšší na levé přední pneumatice. Její hodnota činila 43,9°C.

Rozdíl průměrných hodnot ztrátových výkonů mezi koly byl pouze nepatrně nižší. Jeho hodnota byla mezi pravým zadním a levým předním kolem 4,32 kW.

Statistickým vyhodnocením bylo zjištěno, že vysoce významný rozdíl ( $p < 0,01$ ) byl stejně jako u letních pneumatik stejného huštění pouze na pravé straně vozidla.



Obr. 31 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa

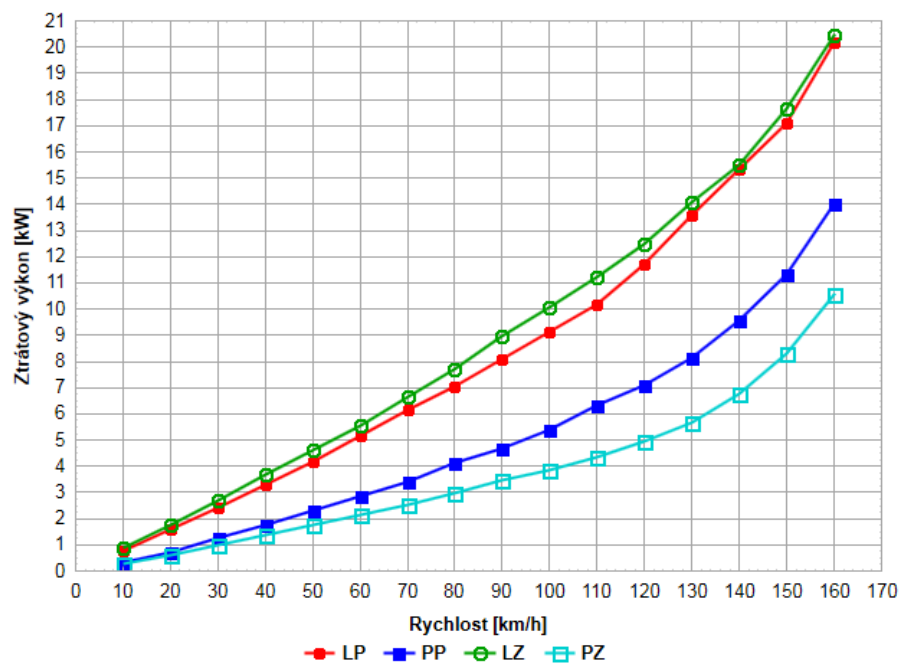
### 8.2.4 Tlak huštění P100 / Z100 kPa

Závislost pro nejmenší tlak huštění zimních pneumatik je zobrazena na obr. 32. Z grafu je zřejmé, že do rychlosti 110 km.h<sup>-1</sup> jsou všechny křivky přibližně lineární. Od této hodnoty mají všechny křivky kol exponenciální charakter.

K velice významnému navýšení docházelo u celkového ztrátového výkonu při rychlosti  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Od předcházejícího nahuštění se hodnota navýšila o necelých 17 kW a to na 65,15 kW. Měřená teplota pláště měla zase nejvyšší hodnotu na levém předním vozidlovém kole a to  $46,8^\circ\text{C}$ .

Rozdíl s největší hodnotou ztrátového výkonu byl mezi pravou a levou zadní pneumatikou. To je obdobné jako u tlaků huštění pro poloviční a plné zatížení vozidla u zde zmiňovaných zimních pneumatik. Diference průměrů ztrátového výkonu byla 5,21 kW. Ve všech zkoumaných parametrech bylo zjištěno, že za všech zkoumaných tlaků huštění letních a zimních pneumatik byly právě u tohoto tlaku vypočteny největší hodnoty.

Při statistickém vyhodnocení byl zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl na levé i pravé straně vozidla.



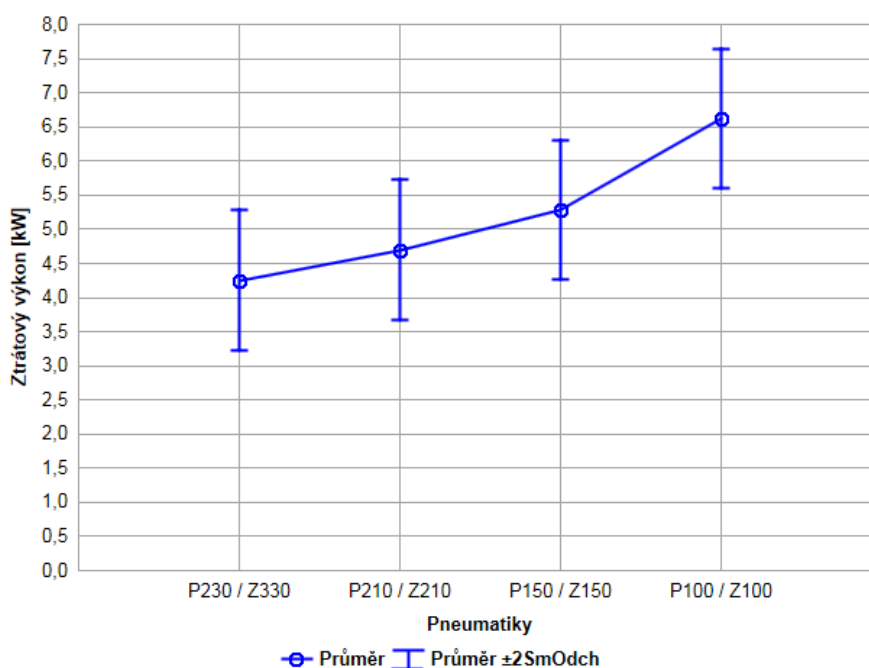
Obr. 32 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění  $P100 / Z100 \text{ kPa}$

### 8.2.5 Porovnání všech tlaků huštění

U grafů zimních pneumatik byly naměřeny podobné výsledky jako u letních pneumatik. Srovnáním celkových ztrátových výkonů při maximální zvolené rychlosti se zjistilo, že u minimálního tlaku huštění je výkon přibližně o 44 % větší, než u maximálního tlaku. Největší diference průměrných hodnot ztrátového výkonu byla zjištěna u minimálního tlaku huštění. Její hodnota měla hodnotu víc jak 5 kW.

Kontrolou teploty pláště bylo změřeno, že přední pneumatiky se opět více zahřívaly. Docházelo k opětovnému zaznamenání zvýšených hodnot ztrátového výkonu na levé straně vozidla, což mohlo být opět zapříčiněno identickými faktory jako u letních pneumatik. Při statistickém vyhodnocení ztrátového výkonu mezi pravou a levou stranou vozidla byl opět zjištěn při všech tlacích huštění statisticky významný rozdíl.

Pro hodnocení, resp. pro zjištění statisticky významného rozdílu valivého odporu při různém tlaku huštění byla použita ANOVA. Grafické výsledky ANOVY jsou uvedeny na obr. 33. Největší rozdíl průměrů ztrátových výkonů při různém nahuštění byl zase mezi minimálním a maximálním huštěním. Detailnějším statistickým zkoumáním, tzn. Tukeyovým testem, byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými ztrátovými výkony. Přesněji mezi podhuštěnými pneumatikami (100 kPa) a pneumatikami huštěnými, jak pro plné zatížení vozidla, tak i pro poloviční zatížení vozidla. V prvním případě jde o statisticky vysoce významný rozdíl ( $p < 0,01$ ) a v druhém jen o statisticky významný rozdíl ( $p < 0,05$ ).

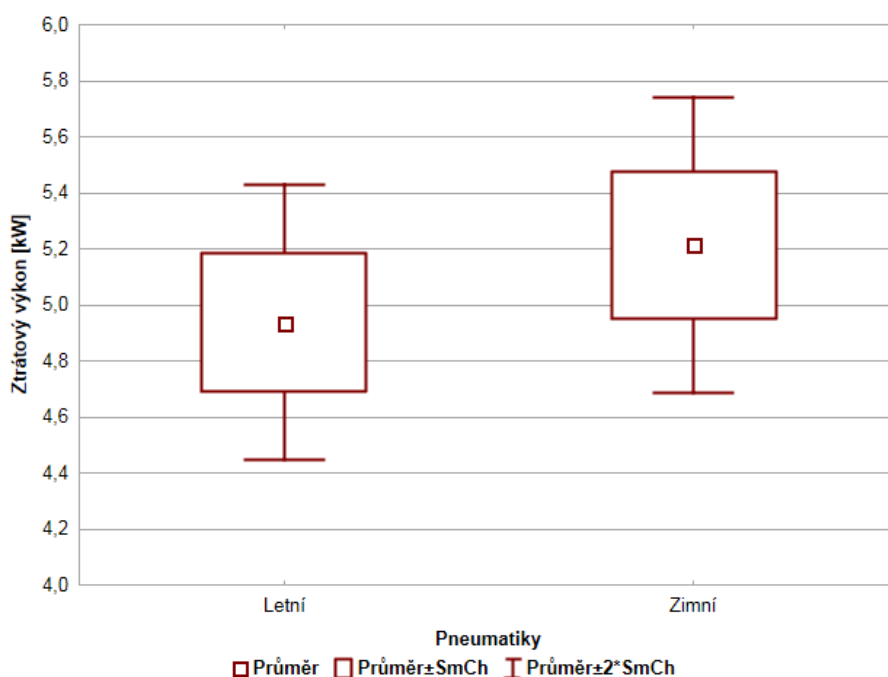


Obr. 33 Porovnání ztrátových výkonů automobilu při použití zimních pneumatik při všech tlacích huštění

### 8.3 Porovnání letních a zimních pneumatik

Na obr. 34 je zobrazeno srovnání ztrátových výkonů letních pneumatik a zimních pneumatik pomocí krabicového grafu. Patrné je, že zimní pneumatiky mají větší průměrnou hodnotu ztrátového výkonu než letní při všech tlacích huštění. U zimních činí hodnota 5,21 kW, proti tomu u letních je hodnota 4,94 kW. Diference je 0,27 kW. Z čehož plyne, že se jedná o velmi zanedbatelnou hodnotu.

V provedeném statistickém vyhodnocení ztrátových výkonů bylo využito opět t-testu. Kritéria byla zvolená stejná jako u vyhodnocení ztrátového výkonu jednotlivých stran vozidla, tzn. hladina významnosti (5%) a interval spolehlivosti (95%). Testem nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl.



Obr. 34 Porovnání ztrátových výkonů automobilu letních a zimních pneumatik

Při teplotě kolem 7 °C mají letní i zimní pneumatiky shodné jízdní vlastnosti. V případě, že teplota klesne pod zde zmíněnou teplotu, se lépe chovají zimní pneumatiky. Nad teplotou vzduchu 7 °C mají lepší vlastnosti letní pneumatiky. (BESIP, 2012); (FAJMON, 2016)

Při experimentálním měření byla teplota v laboratoři 24,8 °C. Z toho je zřejmé, že zimní pneumatiky nemohly plně využít svých vlastností a chovaly se odlišněji než v nízkých teplotách. Důkazem je měřená teplota pneumatik v průběhu měření. U zimních pneumatik byly naměřeny hodnoty v rozmezí od 40 °C do 50 °C, tudíž



docházelo k měknutí pneumatik. Teplota u letních byla v rozpětí od 30 °C do 40 °C.

Jak je z výsledků patrné tlak huštění pneumatik má vliv na pasivní ztráty vozidla. Nárůst pasivních ztrát je výraznější při nižším tlaku huštění. Detailnějším zkoumáním totožně nahuštěných zimních a letních pneumatik docházíme k závěru, že zimní pneumatiky měly vždy vyšší hodnoty ztrátového výkonu než letní.

## 9 DISKUZE

Problematikou jízdnicích odporů osobního automobilu se zabývalo již několik autorů, např. Dittrich v roce 2007. K měření využil dva rozdílné automobily. Prvním z nich byl Fiat Panda 100HP, který se charakterizuje zážehovým motorem o objemu  $1368 \text{ cm}^3$  a provozní hmotností 1125 kg. Druhým vozidlem, na kterém se provádělo měření, bylo Audi Q7. Toto SUV se vyznačuje přeplňovaným vznětovým motorem o objemu  $2967 \text{ cm}^3$ . Provozní hmotnost tohoto automobilu je 2420 kg. Analýza pasivních ztrát byla u zde zmíněných automobilů prováděna na letních pneumatikách, které byly nahuštěny na hodnotu výrobcem udávané pro plné zatížení vozidla. Při zkoušce porovnával autor pasivní ztráty celkovým ztrátovým výkonem při rychlosti  $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  u obou automobilů. U zmíněného Fiatu Panda byl ztrátový výkon 14,84 kW. Proti tomu byl u automobilu Audi Q7 vypočten celkový ztrátový výkon 32,92 kW. Je to dáno tím, že měření pasivních ztrát závisí rovněž na hmotnosti automobilu a povrchu, po kterém se vozidlo pohybuje. Automobil Audi Q7 je o více jak 1000 kg těžší než Fiat Panda a tudíž musí mít tedy i větší pasivní ztráty. V tomto případě byl rozdíl mezi pasivními ztrátami vozidel 55 %.

V diplomové práci bylo testováno vozidlo Škoda Octavia II s přeplňovaným vznětovým motorem o objemu  $1896 \text{ cm}^3$ . Automobil měl provozní hmotnost 1490 kg. Celkový ztrátový výkon byl při rychlosti  $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  26,80 kW (platí pro letní pneumatiky nahuštěné na hodnotu výrobcem udávanou pro plné zatížení vozidla, tzn. přední pneumatiky (230 kPa) a zadní pneumatiky (330 kPa)).

Při srovnání výsledků diplomové práce s výsledky Dittricha je patrné, že provozní hmotnost měřené Škody Octavie II se pohybuje mezi Fiatem Pandou a Audi Q7 a tudíž by se i hodnoty pasivních ztrát měly pohybovat mezi zde zmíněnými automobily. Hodnota celkového ztrátového výkonu Octavie byla 26,80 kW, což přímo koreluje s hmotností vozidel. Byl tedy potvrzen i fakt, že čím těžší automobil, tím větší pasivní ztráty jsou.

## 10 ZÁVĚR

Při návrhu konstrukce nového automobilu představuje velikost celkového jízdního odporu v současnosti velice významnou roli. Dosažení co nejmenších hodnot celkového jízdního odporu není úplně v souladu s dnešním trendem mohutných automobilů typu SUV, MPV, apod.

Podle experimentálního měření pasivních ztrát a následně z analýzy získaných hodnot bylo zjištěno, že postupným upouštěním tlaku v pneumatikách vzrostla hodnota celkového ztrátového výkonu u letních pneumatik, při maximální zkoušené rychlosti přibližně o 35 %. U zimních pneumatik dokonce o 44 %. U letních i zimních pneumatik při postupném snižování tlaku v pneumatikách vzrůstal ztrátový výkon a to převážně ve vyšších rychlostech. Výsledky dále poukázaly na zvýšené hodnoty ztrátového výkonu na levé straně vozidla při použití jak letních tak i zimních pneumatik. Může to být způsobeno několika faktory. Hmotnost řidiče ovlivňuje levé přední kolo. U zadního kola může být zvýšené tření způsobeno např. třením mezi brzdovým kotoučem a brzdovým obložením nebo poškozením ložiska vozidlového kola. Dalším porovnáním, které bylo provedeno, je srovnání ztrátových výkonů letních a zimních pneumatik. Bylo jím zjištěno, že zimní pneumatiky mají ztrátový výkon o 0,27 kW větší a jedná se tedy o velmi zanedbatelnou hodnotu. Je pravděpodobné, že větší hodnoty ztrátového výkonu zimních pneumatik jsou zapříčiněny teplotou v laboratoři (24,8 °C). Při této teplotě nemohou zimní pneumatiky naplno využít své vlastnosti a chovají se odlišněji než při nízkých teplotách.

Z porovnání výsledků měření s výsledky jiných autorů publikovaných prací zabývajících se stejnou problematikou jsou pasivní ztráty závislé na hmotnosti automobilu a povrchu vozovky.

Otázka jízdních odporů je stále neuzavřené téma a v budoucnu lze očekávat další vývoj. V dnešní době se vývoj automobilů rozvíjí v oblastech alternativních pohonů automobilů a s tímto trendem lze očekávat také snahu o snižování jízdních odporů. V protichůdném postavení se nachází otázka hmotnosti vozidla při řešení pasivních ztrát a pasivní bezpečnosti. Nezanedbatelným faktorem je také snižování součinitele odporu vzduchu  $c_x$ .

## 11 POUŽITÁ LITERATURA

- BAUER F., SEDLÁK P., ČUPERA J., POLCAR A., FAJMAN M., ŠMERDA T. & KATRENČÍK J., 2013: *Traktory a jejich využití*. Profi Press s. r. o., Praha, 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6
- DOČKAL V., KOVANDA J. & HRUBEC F., 1998: *Pneumatiky*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 71 s. ISBN 80-01-01882-2
- JAN Z., ŽDÁNSKÝ B. & ČUPERA J., 2009: *Automobily. I., Podvozky*. Avid, Brno, 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7
- JAN Z., VÉMOLA A. & ŽDÁNSKÝ B., 2003: *Automobily. I., Podvozek a převodná ústrojí*. CERM, Brno, 266 s. ISBN 80-7204-262-9
- POST W., HANÁK S. & KAMPÁN T., 2004: *Konvenční a elektronické brzdové soustavy*. Robert Bosch GmbH, Praha, 134 s. ISBN 80-903132-6-4
- VLK F., 2003: *Dynamika motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 432 s. ISBN 80-239-0024-2
- VLK F., 2003: *Podvozky motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 392 s. ISBN 80-239-0026-9
- VLK F., 2001: *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 576 s. ISBN 80-238-6573-0

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- AUTO, 2004: Kompletní technická data nove Octavie, online [cit. 2016-03-06]. Dostupné na: <http://www.auto.cz/kompletni-technicka-data-nove-octavie-17169>
- BESIP, 2012: Zimní pneumatiky v zimě, letní jen v létě, online [cit. 2016-03-19]. Dostupné na: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/zasady-bezpecne-jizdy/zimni-pneumatiky-v-zime-letni-jen-v-lete>
- BESTDRIVE, 2016: Značení plášťů na bočnici, online [cit. 2016-03-16]. Dostupné na: <https://www.bestdrive.cz/poradime-vam/technicky-radce/znaceni-plastu-na-bocnici.html>
- CARICOS, 2016: Pininfarina Cambiano, online [cit. 2016-03-31]. Dostupné na: [http://www.caricos.com/cars/p/pininfarina/2012\\_pininfarina\\_cambiano/1600x1200/20.html](http://www.caricos.com/cars/p/pininfarina/2012_pininfarina_cambiano/1600x1200/20.html)

ČESKÉ PNEU, 2016: Technické informace a značení pneumatik, online [cit. 2016-03-14]. Dostupné na: <http://www.ceskepneu.cz/index.php?page=technicke-informace>

DITTRICH L., 2007: Jízdní odpory: sedm statečných, kteří se obrátili proti nám, online [cit. 2016-04-12]. Dostupné na: <http://www.zavolantem.cz/jizdni-odpory-sedm-statecnych-kteri-se-obratili-proti-nam>

FAJMON D., 2016: Letní nebo univerzální pneu?, online [cit. 2016-03-19]. Dostupné na: <http://magazin.tomikup.cz/2016/01/letni-vs-univerzalni-pneumatiky/>

LANGEROVÁ K., 2008: Škoda, online [cit. 2016-04-07]. Dostupné na: <http://www.autohit.cz/testy/37069-skoda>

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY, 2015: Vozidlová zkušebna pro osobní automobily, online [cit. 2016-02-28]. Dostupné na: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/dynamos.htm#dyn>

MICHELIN, 2015: Michelin Tire Glossary, online [cit. 2016-03-20]. Dostupné na: <http://www.michelinman.com/US/en/help/glossary.html>

MIKONA, 2016: Technické informácie pneumatik, diskov kolies, online [cit. 2016-03-10]. Dostupné na: <http://www.mikona.sk/clanky/technicke-informacie/>

OLIVÍK P., 2014: Aerodynamický tunel - Hrátky s větrem, online [cit. 2016-04-07]. Dostupné na: <http://www.bmwrevue.cz/clanek.php?id=448>

RAŠ J., 2015: Rok výroby pneumatiky aneb stáří pneumatik, online [cit. 2016-03-15]. Dostupné na: <http://www.pneuporadna.cz/vse-o-pneu/rok-vyroby-pneumatiky-aneb-stari-pneumatik>

RAŠ J., 2015: Správné uskladnění pneumatik krok za krokem, online [cit. 2016-03-15]. Dostupné na: <http://www.pneuporadna.cz/vse-o-pneu/spravne-uskladneni-pneumatik-krok-za-krokem>

SAJDL J., 2011: Konstrukce pneumatiky, online [cit. 2016-03-08]. Dostupné na: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/konstrukce-pneumatiky/>

ŠVÍGLER J., 2013: Mechanika vozidel, online [cit. 2016-04-04]. Dostupné na: <http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/468-mechanika-vozidel.pdf>

VALSKÝ T., 2009: Nosnostní index, online [cit. 2016-03-04]. Dostupné na: <http://www.pneumatiky.cz/info/nosnostni-index.html>

VALSKÝ T., 2014: Jaký je v nich rozdíl? Asymetrické, symetrické nebo směrové pneumatiky, online [cit. 2016-03-12]. Dostupné na: <http://www.pneumatiky.cz/info/jaky-je-v-nich-rozdil-asymetricke.symetricke-nebo-smerove-pneumatiky.html>

WAGNER J., 2016: Technické informace, online [cit. 2016-03-12]. Dostupné na: <http://www.pneubazarunas.cz/index.php?nid=6907&lid=cs&oid=2848641>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Deformace radiální pneumatiky .....	11
Obr. 2 Odvalování pružného kola po tvrdé podložce .....	12
Obr. 3 Odpor vzdušný.....	14
Obr. 4 Součinitel odporu vzduchu podle karoserie.....	15
Obr. 5 Určení odporu stoupání .....	16
Obr. 6 Konstrukce pláště pneumatiky.....	21
Obr. 7 Radiální pneumatika .....	22
Obr. 8 Diagonální pneumatika.....	22
Obr. 9 Rozměry pneumatik.....	24
Obr. 10 Značení pneumatik .....	25
Obr. 11 Tvary dezénů .....	29
Obr. 12 Odvalování pružného kola po měkké podložce.....	31
Obr. 13 Automobil na vozidlovém dynamometru .....	32
Obr. 14 Aerodynamický tunel .....	33
Obr. 15 Vozidlová zkušebna pro osobní automobily .....	35
Obr. 16 Konstrukční schéma vozidlového dynamometru .....	36
Obr. 17 Hustič WONDER Eurodainu s manometrem.....	38
Obr. 18 Infračervený teploměr VOLTCRAFT IR-1600A.....	38
Obr. 19 Škoda Octavia II 1,9 TDI-PD .....	39
Obr. 20 Rozměry Škoda Octavia 1,9 TDI-PD .....	39
Obr. 21 Ukotvení zkoušeného vozidla - přední .....	41
Obr. 22 Ukotvení zkoušeného vozidla - zadní.....	42
Obr. 23 Zkoušené vozidlo v průběhu experimentálního měření .....	44
Obr. 24 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa.....	46
Obr. 25 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa.....	47
Obr. 26 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa.....	48
Obr. 27 Ztrátový výkon automobilu při použití letních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa.....	49

Obr. 28 Porovnání ztrátových výkonů automobilu při použití letních pneumatik při všech tlacích huštění .....	50
Obr. 29 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa.....	51
Obr. 30 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa.....	52
Obr. 31 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa.....	53
Obr. 32 Ztrátový výkon automobilu při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa.....	54
Obr. 33 Porovnání ztrátových výkonů automobilu při použití zimních pneumatik při všech tlacích huštění .....	55
Obr. 34 Porovnání ztrátových výkonů automobilu letních a zimních pneumatik .....	56

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek .....	13
Tab. 2 Tabulka nosnostních indexů .....	27
Tab. 3 Tabulka rychlostních indexů .....	27
Tab. 4 Základní technické parametry vozidlového dynamometru MEZ 4VDM E120-D .....	37
Tab. 5 Technická data měřeného vozidla .....	40
Tab. 6 Barometrické podmínky v laboratoři.....	42
Tab. 7 Rozložení hmotnosti automobilu.....	42
Tab. 8 Zvolené tlaky huštění pneumatik.....	43



# PŘÍLOHY

## Seznam příloh

Příloha 1 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa .....	66
Příloha 2 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa .....	67
Příloha 3 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa .....	68
Příloha 4 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa .....	69
Příloha 5 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa .....	70
Příloha 6 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa .....	71
Příloha 7 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa .....	72
Příloha 8 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa .....	73



## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 01

Vozidlo: Octávie SPZ: Operátor: Ing.Podlipný  
Datum: 09:56:05 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP - Tlak P230/Z330

### LP kolo

A 5.374419E-2 kN  
B 1.343521E-4 kN/(km/hod)  
C -4.360471E-8 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 21.580 kg

### LZ kolo

A 5.454353E-2 kN  
B 8.905942E-5 kN/(km/hod)  
C -1.196125E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 7.004 kg

### PP kolo

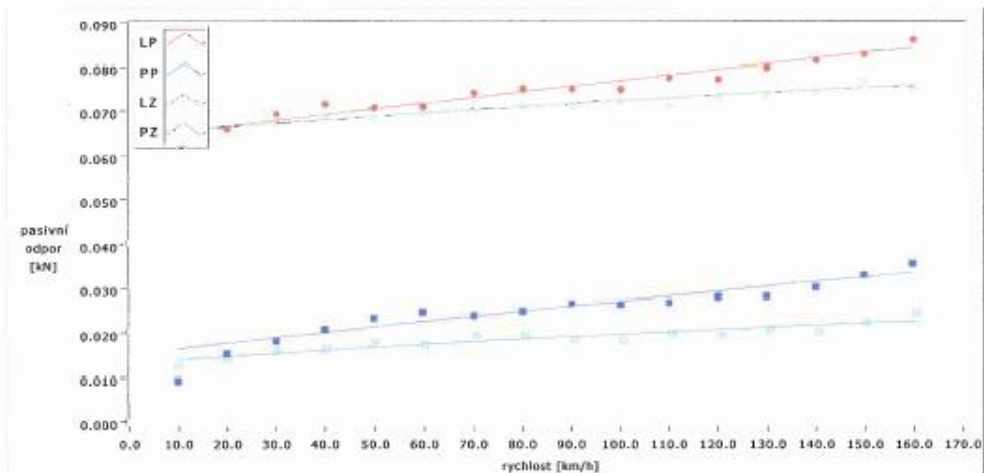
A 1.503958E-2 kN  
B 1.323554E-4 kN/(km/hod)  
C -1.058861E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 21.580 kg

### PZ kolo

A 1.318908E-2 kN  
B 7.55250E-5 kN/(km/hod)  
C -1.003467E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 7.004 kg

### Kalibrace Rolny

LP	0.0000	1.0000
PP	0.0000	1.0000
LZ	0.0000	1.0000
PZ	0.0000	1.0000



Příloha 1 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa



## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 07

Vozidlo: Octavia SPZ: Operátor: Ing. Podlipný  
Datum: 10:27:18 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP -Tiak P210/Z210

### LP kolo

A	6.244843E-2	kN
B	1.443578E-4	kN/(km/hod)
C	1.769533E-8	kN/(km/hod)^2
D	21.880	kg

### PP kolo

A	2.138525E-2	kN
B	5.500275E-5	kN/(km/hod)
C	2.854240E-7	kN/(km/hod)^2
D	21.880	kg

### Kalibrace Rolny

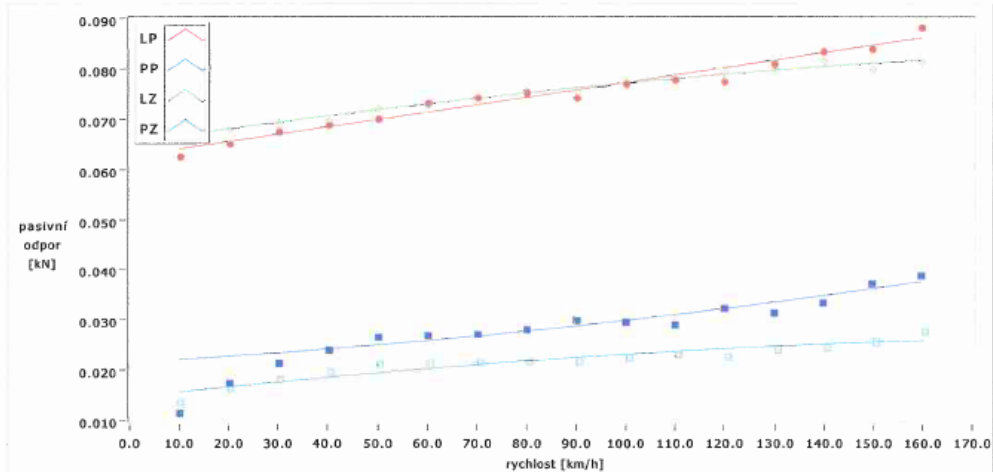
LP	-0.0001	1.0000
PP	0.0001	1.0000
LZ	0.0000	1.0000
PZ	-0.0001	1.0000

### LZ kolo

A	6.511545E-2	kN
B	1.450243E-4	kN/(km/hod)
C	-2.622686E-7	kN/(km/hod)^2
D	9.142	kg

### PZ kolo

A	1.439598E-2	kN
B	1.106243E-4	kN/(km/hod)
C	-2.482141E-7	kN/(km/hod)^2
D	9.142	kg



Příloha 2 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa



## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 10

Vozidlo: Octavia SPZ: Operátor: Ing. Podlipný  
Datum: 10:54:57 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP -Tlak P150/Z150

### LP kolo

A	6.990621E-2	kN
B	7.541711E-6	kN/(km/hod)
C	8.321627E-7	kN/(km/hod)^2
D	23.334	kg

### PP kolo

A	1.537414E-2	kN
B	3.449036E-4	kN/(km/hod)
C	-1.046181E-6	kN/(km/hod)^2
D	23.334	kg

### Kalibrace Rolny

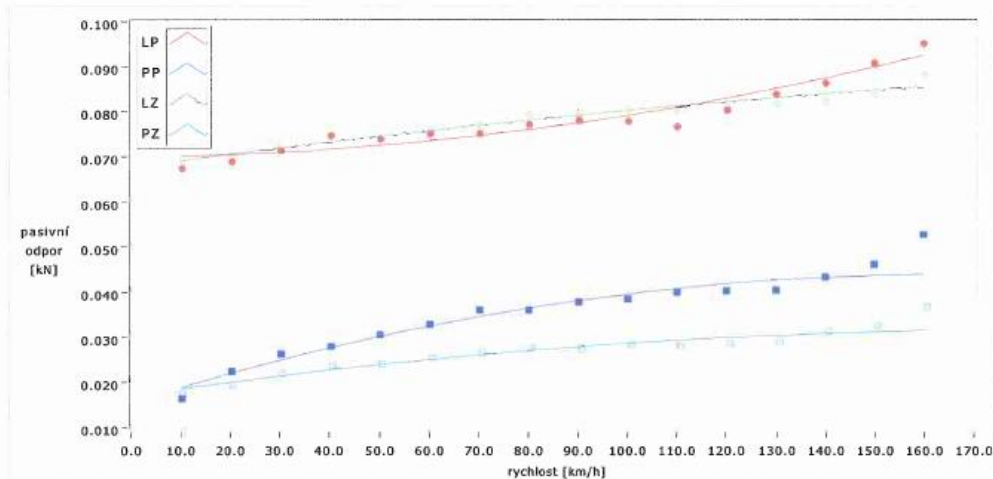
LP	0.0000	1.0000
PP	0.0000	1.0000
LZ	0.0000	1.0000
PZ	0.0000	1.0000

### LZ kolo

A	6.763652E-2	kN
B	1.470945E-4	kN/(km/hod)
C	-2.232838E-7	kN/(km/hod)^2
D	12.602	kg

### PZ kolo

A	1.686595E-2	kN
B	1.598556E-4	kN/(km/hod)
C	-4.350068E-7	kN/(km/hod)^2
D	12.602	kg



Příloha 3 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa



## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 13

Vozidlo: Octavia SPZ: Operátor: Ing. Podlipný

Datum: 11:26:22 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP - Tlak P100/Z100

### LP kolo

A 8.810938E-2 kN  
B -6.113772E-4 kN/(km/hod)  
C 4.456105E-6 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 26.220 kg

### PP kolo

A 1.685018E-2 kN  
B 9.422167E-4 kN/(km/hod)  
C -4.494792E-6 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 26.220 kg

### Kalibrace Rolny

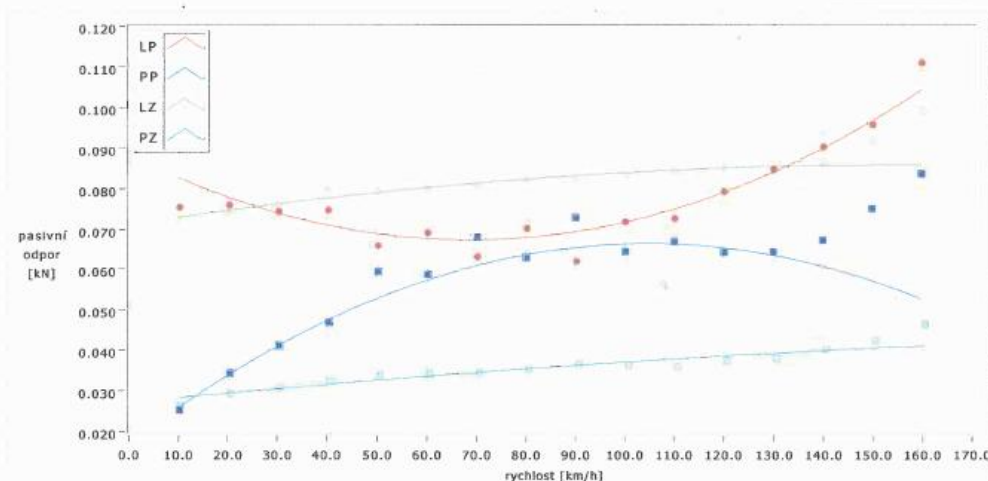
LP	0.0000	1.0000
PP	-0.0001	1.0000
LZ	0.0000	1.0000
PZ	0.0000	1.0000

### LZ kolo

A 7.095177E-2 kN  
B 1.887651E-4 kN/(km/hod)  
C -5.990294E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 16.936 kg

### PZ kolo

A 2.705962E-2 kN  
B 1.195552E-4 kN/(km/hod)  
C -1.976763E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 16.936 kg



Příloha 4 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití letních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa

## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 19

Vozidlo: Octavia      SPZ:      Operátor: Ing.Podlipný  
Datum: 13:21:33 / 19.11.2015      Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h      Poznámka: DP- Tlak P230/Z330 zimní

### LP kolo

A 5.807103E-2 kN  
B 6.795433E-5 kN/(km/hod)  
C 4.183896E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 19.607 kg

### PP kolo

A 1.379029E-2 kN  
B 1.979560E-4 kN/(km/hod)  
C -3.088538E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 19.607 kg

### Kalibrace Rolny

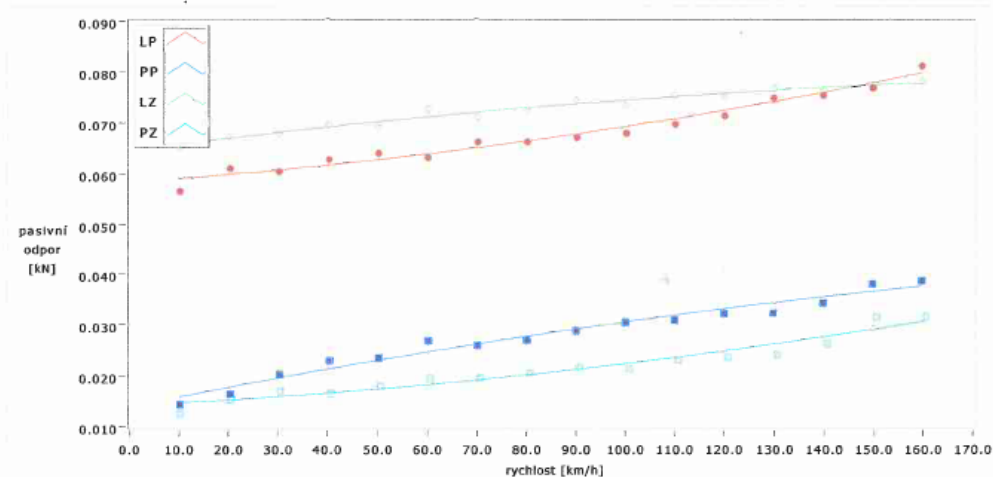
LP	0.0000	1.0000
PP	0.0000	1.0000
LZ	0.0001	1.0000
PZ	0.0003	1.0000

### LZ kolo

A 6.442459E-2 kN  
B 1.260694E-4 kN/(km/hod)  
C -2.704563E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 10.585 kg

### PZ kolo

A 1.405244E-2 kN  
B 4.584661E-5 kN/(km/hod)  
C 3.614813E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 10.585 kg



Příloha 5 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P230 / Z330 kPa



## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 22

Vozidlo: Octavia SPZ: Operátor: Ing.Podlipný  
Datum: 13:49:20 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP- Tlak P210/Z210 zimní

### LP kolo

A 6.537279E-2 kN  
B -1.120917E-5 kN/(km/hod)  
C 8.781631E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 20.895 kg

### PP kolo

A 1.634559E-2 kN  
B 2.015265E-4 kN/(km/hod)  
C -2.135037E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 20.895 kg

### Kalibrace Rolny

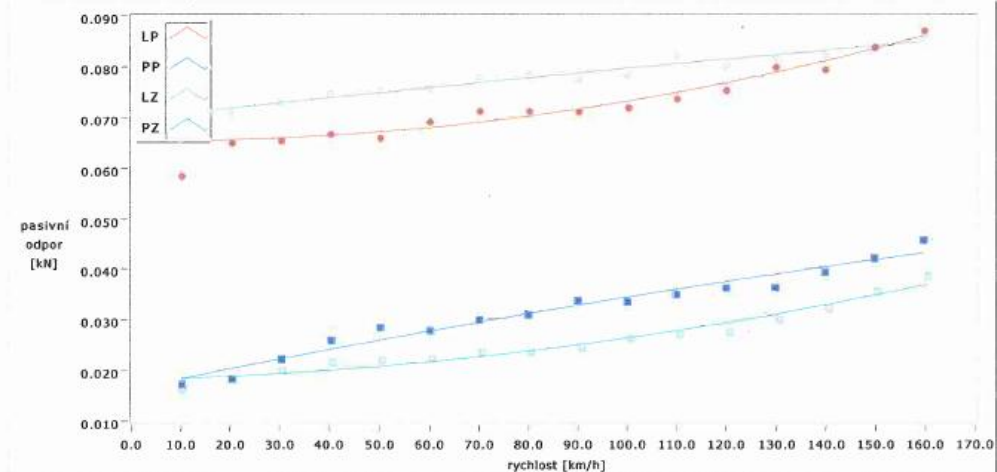
LP	0.0000	1.0000
PP	0.0000	1.0000
LZ	0.0000	1.0000
PZ	0.0000	1.0000

### LZ kolo

A 6.959541E-2 kN  
B 1.081654E-4 kN/(km/hod)  
C -7.938177E-8 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 13.179 kg

### PZ kolo

A 1.810096E-2 kN  
B 2.345453E-5 kN/(km/hod)  
C 5.852781E-7 kN/(km/hod)<sup>2</sup>  
D 13.179 kg



Příloha 6 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P210 / Z210 kPa



## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 25

Vozidlo: Octavia SPZ: Operátor: Ing. Podlipný  
Datum: 14:15:14 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP- Tlak P150/Z150 zimní

### LP kolo

A	7.155121E-2	kN
B	-4.294408E-5	kN/(km/hod)
C	1.298667E-6	kN/(km/hod) <sup>2</sup>
D	22.162	kg

### LZ kolo

A	7.170533E-2	kN
B	1.236854E-4	kN/(km/hod)
C	-7.203910E-8	kN/(km/hod) <sup>2</sup>
D	15.296	kg

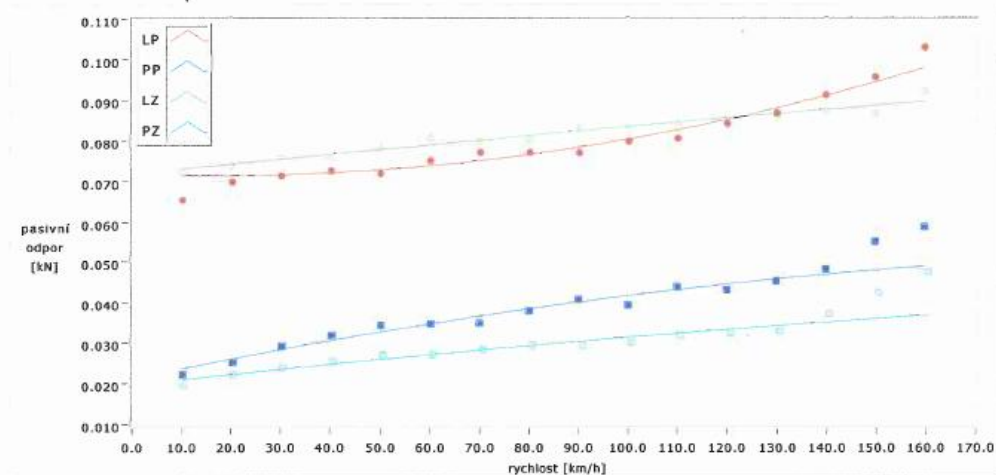
### PP kolo

A	2.105796E-2	kN
B	2.581333E-4	kN/(km/hod)
C	-5.246205E-7	kN/(km/hod) <sup>2</sup>
D	22.162	kg

### PZ kolo

A	1.955804E-2	kN
B	1.351133E-4	kN/(km/hod)
C	-1.728431E-7	kN/(km/hod) <sup>2</sup>
D	15.296	kg

LP	0.0000	1.0000
PP	0.0000	1.0000
LZ	0.0001	1.0000
PZ	-0.0002	1.0000



Příloha 7 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P150 / Z150 kPa





## Protokol kalibrace jednotlivých kol

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

# 28

Vozidlo: Octavia SPZ: Operátor: Ing.Podlipný  
Datum: 14:42:36 / 19.11.2015 Rozsah: 10.0 + 160.0 km/h Poznámka: DP- Tlak P100/Z100 zimní

### LP kolo

A 7.758484E-2 kN  
B -3.348452E-5 kN/(km/hod)  
C 1.688244E-6 kN/(km/hod)^2  
D 25.150 kg

### PP kolo

A 3.279208E-2 kN  
B 1.333362E-4 kN/(km/hod)  
C 6.452574E-7 kN/(km/hod)^2  
D 25.150 kg

### LZ kolo

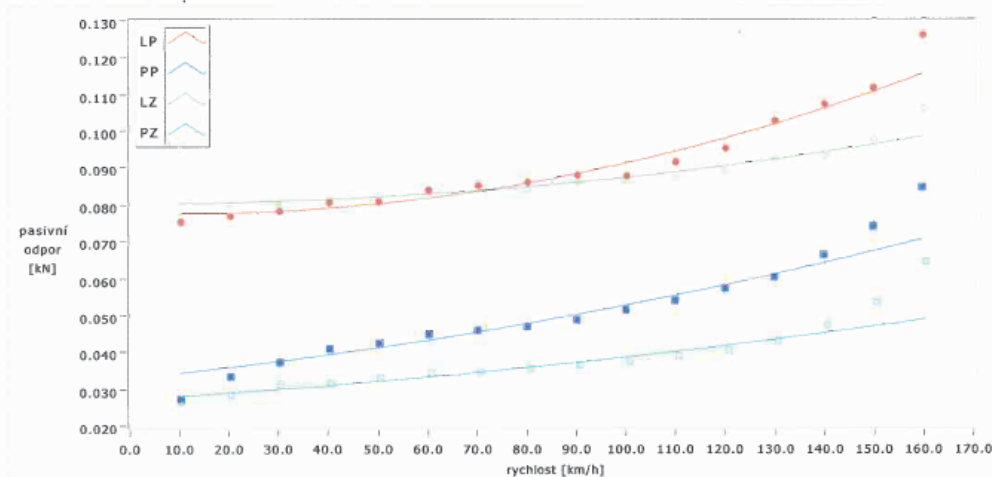
A 8.024476E-2 kN  
B -5.270752E-7 kN/(km/hod)  
C 7.147851E-7 kN/(km/hod)^2  
D 17.896 kg

### PZ kolo

A 2.714286E-2 kN  
B 7.740772E-5 kN/(km/hod)  
C 3.607508E-7 kN/(km/hod)^2  
D 17.896 kg

### Kalibrace Rolny

LP	-0.0000	1.0000
PP	-0.0001	1.0000
LZ	0.0000	1.0000
PZ	0.0000	1.0000



Příloha 8 Protokol z kalibrace jednotlivých kol při použití zimních pneumatik při tlaku huštění P100 / Z100 kPa