

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra elektrotechniky a automatizace**



## **Bakalářská práce**

**Analýza rozložení tlaku pod pneumatikou v závislosti na  
jejích fyzikálních a konstrukčních parametrech**

**Vedoucí práce: Ing. Viktor Novák**

**Autor: David Vondráček**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Vondráček

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Analýza rozložení tlaku pod pneumatikou v závislosti na jejich fyzikálních a konstrukčních parametrech**

Název anglicky

**Analysis of pressure distribution under tyres in dependency on physical and construction parameters**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je analyzovat pomocí plošného snímače tlaku Plantograf rozložení kontaktních tlaků pod pneumatikou v závislosti na jejich fyzikálních a konstrukčních parametrech.

### Metodika

Bakalářská práce podává přehled o konstrukčních, technických a fyzikálních vlastnostech pneumatik a také o metodách snímání plošného rozložení tlaku. Dále bude zpracována metodika měření pomocí plošného snímače tlaku Plantograf. Následně bude provedeno měření s cílem analyzovat rozložení tlaku pod pneumatikou. Naměřené výsledky budou prezentovány a diskutovány.

**Doporučený rozsah práce**

30-40

**Klíčová slova**

pneumatika, tlak, rozložení tlaku, snímač tlaku

---

**Doporučené zdroje informací**

- BEJČEK, L. – VACULÍK, J. Snímače tlaku. In: AUTOMA, roč. 17, č. 1. FCC Public, 2011
- DOČKAL, V. – KOVANDA, J. – HRUBEC, F. *Pneumatiky*. Praha: ČVUT, Strojní fakulta, 1998. ISBN 80-01-01882-2.
- KREIDL, M. – ŠMÍD, R. *Technická diagnostika : senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-158-6.
- PACEJKA, H. B. – BESSELINK, I.J.M. *Tire and vehicle dynamics*. Third Edition. Amsterdam: Elsevier, 2012
- PACEJKA, H. B. *Tyre and vehicle dynamics*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.
- VLK, F. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola : zavěšení kol, nápravy : odpružení : řídicí ústrojí : brzdové soustavy*. Brno: VLK, 2000
- VOLF, J. Taktilní senzory pro automatizaci. In: AUTOMA, roč. 14, č. 7. FCC Public, 2008

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/2022 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Viktor Novák

**Garantující pracoviště**

Katedra elektrotechniky a automatizace

---

Elektronicky schváleno dne 21. 1. 2021

**doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 25. 01. 2022

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Analýza rozložení tlaku pod pneumatikou v závislosti na jejích fyzikálních a konstrukčních parametrech" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.3.2022

---

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Viktoru Novákovi za čas, který mi věnoval při konzultacích a za jeho rady a doporučení.

# **Analýza rozložení tlaku pod pneumatikou v závislosti na jejích fyzikálních a konstrukčních parametrech**

## **Abstrakt:**

Cílem této práce je seznámit s vlastnostmi, značením, konstrukcí a opotřebením pneumatik a také metodám měření plošných tlaků. Na základě těchto teoretických poznatků bude pomocí snímače Plantograf provedeno měření rozložení kontaktních tlaků automobilových a motocyklových pneumatik v závislosti na změně huštění, na rozdílných konstrukčních parametrech a v případě motocyklových pneumatik i v závislosti na náklonu motocyklu.

**Klíčová slova:** pneumatika, tlak, rozložení tlaku, snímač tlaku

# **Analysis of pressure distribution under tyres in dependency on physical and construction parameters**

## **Summary:**

The aim of this work is to acquaint with the properties, marking, construction and wear of tyres as well as methods of measuring surface pressures. Based on these theoretical findings, the Plantograf sensor will be used to measure the distribution of contact pressures of car and motorcycle tires depending on the change in inflation, different design parameters and in the case of motorcycle tires also depending on the tilt of the motorcycle.

**Key words:** tyre, pressure, pressure distribution, pressure sensor

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Konstrukce pneumatik.....	2
2.1	Kostra pláště.....	2
2.1.1	Diagonální kostra.....	3
2.1.2	Radiální kostra.....	3
2.1.3	Smíšená kostra.....	3
2.2	Patka pláště.....	4
2.2.1	Patní lano.....	4
2.3	Bočnice.....	4
2.4	Vnitřní vložka.....	5
2.5	Nárazník.....	5
2.6	Běhoun.....	5
2.6.1	Dezén.....	6
2.7	Paprsky.....	7
3	Značení pneumatik.....	8
3.1	Rozměry a indexy.....	8
3.1.1	Osobní automobily.....	8
3.1.2	Nákladní automobily.....	9
3.2	Další údaje.....	9
4	Opotřebení pneumatik.....	11
4.1	Rovnoměrné opotřebení.....	11
4.2	Nerovnoměrné opotřebení.....	11
4.2.1	Nízké huštění.....	11
4.2.2	Vysoké huštění.....	12
4.2.3	Prudké brždění.....	12
4.2.4	Nevyváženost kol.....	12
4.2.5	Nesprávná geometrie kol.....	12
5	Metody snímání tlaku.....	14
5.1	Taktilní snímače.....	14
5.1.1	Snímače s elastomery.....	14
5.1.2	Snímače s tenzometry.....	15
5.1.3	Kapacitní senzory.....	15
5.1.4	Piezelektrické snímače.....	16



5.1.5	Optické snímače .....	16
5.2	Vizuální systémy .....	17
6	Měření rozložení kontaktních tlaků snímačem Plantograf .....	18
6.1	Plantograf .....	18
6.2	Vlastní měření .....	19
6.2.1	Automobilové pneumatiky .....	19
6.2.2	Motocyklové pneumatiky .....	21
6.3	Předpokládané chování pneumatik .....	23
7	Analýza naměřených výsledků .....	24
7.1	Automobilové pneumatiky .....	24
7.2	Motocyklové pneumatiky .....	27
8	Závěr .....	32
9	Zdroje .....	34

# 1 Úvod

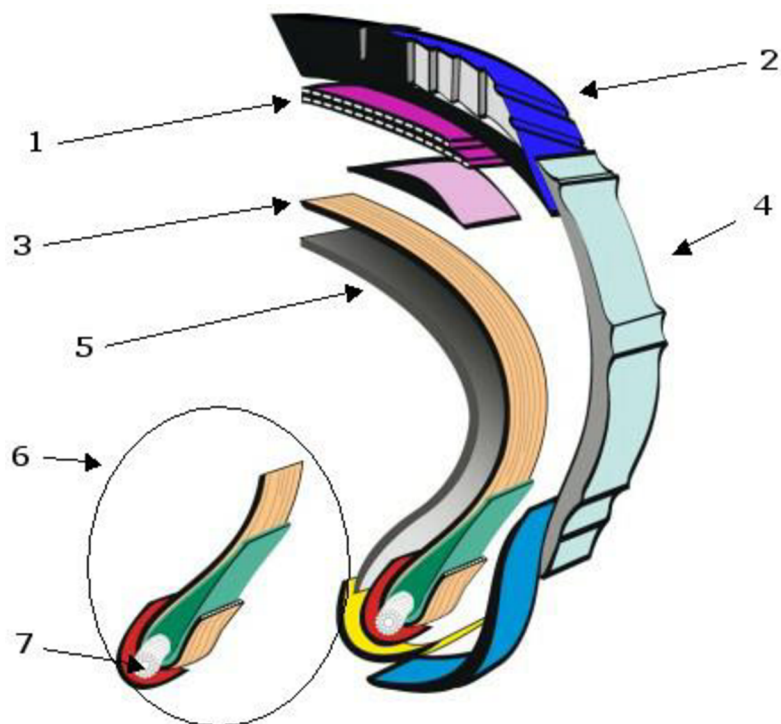
Pneumatikou je část podvozku vozidel, kterou se rozumí plášť, naplněný tlakovým médiem, namontovaný na ráfek kola. Pneumatikami se zabývá ČSN 63 1001 a jejich zkoušením ČSN 63 1511. Pneumatiky mají za úkol zajišťovat kontakt s vozovkou, přenášet hnací a brzdě síly a tlumit nárazy. Je tedy potřeba, aby měly dobrou přilnavost k vozovce za jakýchkoliv podmínek. Dalšími požadavky na pneumatiky jsou nízká hmotnost, nízký valivý odpor a vysoká životnost, čímž snižují náklady na provoz vozidel. Některé z těchto nároků si navzájem odporují, proto existuje řada různých typů pneumatik, kdy se v závislosti na jejich účelu upřednostňují některé požadavky nad ostatními. [1–3]

Vzniku pneumatik předcházela vynález metody vulkanizace kaučuku v r. 1839, výsledkem tohoto procesu je pryž. Před příchodem pneumatik se používala pouze dřevěná kola s kovovou obručí, která měla nízkou adhezi a průjezdnost, což mělo negativní vliv na rozvoj automobilismu. Od roku 1867 se kola začala potahovat pryžovou obručí. Patent na pneumatiku plněnou vzduchem získal v roce 1888 britský veterinář John B. Dunlop a o 6 let později i patent na pneumatiku, která byla doplněna o drát v místě patky. V roce 1904 se začal u automobilových pneumatik používat plochý běhoun a v roce 1905 dezén. S postupem času se pneumatiky dále vyvíjely, došlo např. k přechodu z diagonální na radiální kostru, použití vnitřní vložky namísto duše, vzniku dojezdových pneumatik atd. [2, 3]

Cílem této práce je seznámit s vlastnostmi, značením, konstrukcí a opotřebením pneumatik a také metodám měření plošných tlaků. Na základě těchto teoretických poznatků bude pomocí snímače Plantograf provedeno měření rozložení kontaktních tlaků automobilových a motocyklových pneumatik v závislosti na změně huštění, na rozdílných konstrukčních parametrech a v případě motocyklových pneumatik i v závislosti na náklonu motocyklu.

## 2 Konstrukce pneumatik

Pneumatika se skládá z několika částí vyrobených z různých materiálů. Jednotlivým částem se konkrétně věnují v následujících podkapitolách.



Obrázek 1: Konstrukce radiální pneumatiky: 1 - nárazník, 2 - běhoun, 3 - kostra, 4 - bočnice, 5 - vnitřní vložka, 6 - patka, 7 - patní lano

Zdroj: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/konstrukce-pneumatiky/>

### 2.1 Kostra pláště

Kostra pláště je základem celé pneumatiky, jsou k ní přichyceny ostatní části a má vliv na tvar, nosnost a jízdní vlastnosti pneumatiky. Samotná kostra je složena z několika vrstev kordových vložek. Základní stavební jednotkou kordových vložek jsou pak tenká vlákna z textilu nebo oceli. V závislosti na uspořádání vláken jsou kostry rozděleny do následujících kategorií: diagonální, radiální, smíšené. [1, 3]



Obrázek 2: Diagonální kostra vlevo, Radiální vpravo (fialová barva, zbylé vyznačené části jsou jednotlivé vrstvy nárazníku)

Zdroj: <https://mitas-tyres.com/cs/technologie>

### 2.1.1 Diagonální kostra

Vlákna kordových vložek jsou v diagonální kostře odkloněna od obvodové kružnice o úhel nití  $\alpha_K = 30^\circ \div 40^\circ$ . Sousední kordové vložky mají vlákna odkloněna na opačnou stranu. Úhel  $\alpha_K$  se odvíjí podle rychlosti, pro kterou je pneumatika navržena. Obecně lze říct, že čím vyšší rychlost, tím nižší úhel nití. Např. pro pneumatiku s indexem rychlosti H by odpovídal  $\alpha_K = 30^\circ$ , pro pneumatiku s indexem rychlosti P se  $\alpha_K = 40^\circ$ . [1]

### 2.1.2 Radiální kostra

Radiální kostra se vyznačuje vlákny v příčném směru. Všechna vlákna jsou navzájem rovnoběžná. Toto uspořádání vláken však neumožňuje přenos sil v tečném směru rotace kola, proto, na rozdíl od diagonální kostry, obsahuje navíc nárazník. Tento typ kostry může být zhotoven jak z textilních, tak z ocelových vláken. [1, 3]

V dnešní době se jedná o převládající typ kostry pneumatik. Hlavní výhody pneumatik s radiální kostrou jsou lepší kontakt s vozovkou, nižší valivý odpor, méně intenzivní opotřebení. [1]

### 2.1.3 Smíšená kostra

Jedná se v podstatě o diagonální kostru doplněnou o nárazník, což je prvek typický pro pneumatiky s kostrou radiální. [3]

Naopak Vlk takto konstruované kostry nepovažuje za samostatný typ, ale řadí je mezi kostry diagonální. [1]

## **2.2 Patka pláště**

Patka pláště je část pneumatiky nejbližší ose kola, která se dotýká ráfku. Samotná patka je tvořena z několika částí. Jednou z nich je patní lano, kolem kterého je ohnuta kostra pneumatiky. Třetí částí je jádro, které je směrem dále od osy kola a nachází se mezi patním lanem, kostrou pláště a jejím ohnutým koncem. [1]

Patka musí být schopna přenášet sílu v tečném směru kola z ráfku disku na pneumatiku. Je požadována dostatečná pevnost patky, kterou zajistí patní lano. Stejně jako ostatní části pneumatiky bude patka zatížena odstředivou silou způsobenou rotací kola. Zároveň bude na patku působit síla v normálovém směru styčné plochy patky a ráfku způsobená přetlakem vzduchu v pneumatice. V důsledku této síly vznikne i tečná reakce, která bude mít stejný směr jako přenášená síla v tečném směru kola ale opačnou orientaci. [1]

### **2.2.1 Patní lano**

Podobně jako kostra dodává tvar a dostatečnou pevnost celé pneumatice, tak patní lano má stejnou funkci v případě patky pláště. K jeho se používá kvalitní ocelový drát, který je krytý mosazí nebo poměděný, aby se zlepšila jeho přilnavost k pryži. Pláště pneumatik pro osobní automobily mají v patce jedno lanko; u plášťů pneumatik nákladních automobilů se zejména při větších rozměrech pneumatiky používají dvě lanka v patce. [1]

## **2.3 Bočnice**

Na patku pláště navazuje bočnice. V příčném řezu pneumatikou lze vidět, že se jedná o vrstvu pryže na vnější straně. Jejím úkolem je izolovat kostru od vnějšího prostředí, např. od vzdušné vlhkosti, která by mohla způsobit rychlejší degradaci kostry, nebo od mechanického poškození způsobeného např. najetím do obrubníku. Bočnice zároveň nesmí být příliš tuhá, aby nepřenášela rázy do ostatních částí samotné pneumatiky a zbytku vozidla. Tím jednak usnadňuje práci tlumičům a zároveň snižuje namáhání zbytku pneumatiky. [1]

V případě dojezdových pneumatik jsou bočnice zesílené. Zesílené jsou i patky, ovšem oproti běžné pneumatice není rozdíl tak výrazný jako u bočnic. Dojezdové pneumatiky umožní bezpečně pokračovat v jízdě, pokud dojde k defektu. Není tedy potřeba mít ve vozidle rezervu. Vzdálenost a rychlost, kterou je vozidlo schopno bezpečně jet od chvíle, kdy došlo k defektu,

závisí na daném modelu pneumatiky. Většinou to bývá v rozmezí 100 až 200 km při rychlosti cca 80 km/h. [1]

## **2.4 Vnitřní vložka**

Vnitřní vložka je tenký povlak z butylového kaučuku, který pokrývá vnitřní stranu kostry, čímž tvoří pneumatiku vzduchotěsnou. Jedná se vlastně o alternativu duše. Výhody vnitřní vložky oproti duši jsou nižší hmotnost a snadnější montáž pneumatiky. [3, 4]

## **2.5 Nárazník**

Tento prvek umožňuje pneumatice s radiální konstrukcí kostry přenos sil v tečném směru rotace kola. Nárazník je u radiálních pneumatik tvořen většinou 2 vrstvami ocelových lanek, v případě pneumatik smíšené konstrukce jsou lanka ze stejného materiálu jako kostra. Lanka v jedné vrstvě jsou navzájem rovnoběžná, lanka sousedních vrstev jsou vůči sobě pod úhlem (podobné uspořádání jako vlákna diagonální kostry). Hodnota úhlu, o který jsou lanka vůči sobě odkloněna, je pro nárazník o 2 vrstvách zhruba 60°. [1, 3]

## **2.6 Běhoun**

Běhoun je část pneumatiky vyrobená z pryže, která přichází do kontaktu s vozovkou na vnější straně, na vnitřní straně je běhoun spojen s nárazníky. Složení pryže závisí na konkrétních požadavcích kladených na konkrétní model pneumatiky. Obecně lze říct, že hlavní složkou je kaučuk, dále směs obsahuje např. silany, které snižují valivý odpor, nebo saze. Ty pneumatice dodávají nejen její barvu, ale především snižují intenzitu abraze, což prodlužuje její životnost. [1]

Požadavků na vlastnosti běhounu je poměrně hodně, zde jsou příklady některých z nich: pevnost, životnost, pružnost, nízké hysterezní ztráty, adheze, nízký valivý odpor, nízká hlučnost. Některé z nich jsou navzájem protichůdné. Např. na základě poznatků je pokles valivého odporu o 10 % kompenzován zhoršením adheze na mokřém povrchu vozovky o cca 7 až 15 %, v závislosti na rychlosti. Proto je potřeba vytvořit určitý kompromis v závislosti na použití dané pneumatiky, např. pneumatika určená pro sportovní jízdu bude upřednostňovat adhezi na úkor životnosti. [1]

### 2.6.1 Dezén

Dezén dělí činnou plochu pláště (část povrchu pneumatiky, která se dostává do kontaktu s vozovkou) na vícero menších ploch nazývaných figury. Jeho úkolem je zajistit odvod vody, která se nachází mezi kolem a vozovkou, a zlepšit tak adhezi při jízdě na mokré vozovce. [1]

Pro správnou funkci dezénu je zapotřebí jeho dostatečná hloubka. Minimální hloubka dezénu je dle zákona 133/2011 Sb. 4 mm pro zimní a 1,6 mm pro letní pneumatiky (platí pro vozidla do 3,5 t). Aby nebylo nutné tento údaj pracně kontrolovat hloubkoměrem, je pneumatika vybavena indikátorem opotřebení, také známým pod zkratkou TWI vycházející ze slov tread wear indicator. Jedná se o výstupek na dně dezénových drážek předepsané výšky, který prochází napříč běhounem. [1, 5]

Pokud vlivem opotřebení dojde k tomu, že se činná plocha pláště zarovná s indikátorem opotřebení, je nutné pneumatiky vyměnit. Každá pneumatika obsahuje hned několik TWI. Pokud by měla jen jeden, mohlo by se stát, že při zastavení nebude indikátor opotřebení vidět, protože bude na její spodní straně. [1]

#### 2.6.1.1 Druhy dezénu

Dezén lze rozdělit do následujících kategorií: symetrický, směrový, asymetrický a asymetrický směrový.

Symetrický dezén je středově souměrný a tím i nejméně náročný na montáž. Nezávisí totiž na směru rotace kola ani na tom, která strana pneumatiky má být na vnější či na vnitřní straně.

Směrový dezén je souměrný podle obvodové osy. Jeho tvar připomíná písmeno V. Pneumatiky s tímto druhem dezénu mají na bočnici šipku, která udává musí mít stejnou orientaci jako rotace kola při jízdě vpřed.

Asymetrický dezén je podélně rozdělen do několika různých částí, kdy každá část má odlišný vzorek v závislosti na požadovaných vlastnostech. Např. pruh na vnitřní straně připomíná dezén směrový a je optimální pro odvod vody, část uprostřed má podélné drážkování a je uzpůsobena především pro přenos trakce a vnější část může být navržena tak, aby produkovala co nejméně hluku. Toho by se docílilo tím, že na vnější straně by se vyskytovaly

figury o různých rozměrech. Na bočnicích je z důvodu montáže vyznačeno, která část je vnitřní a která vnější. Pokud by se jednalo o pneumatiku s dezénem asymetrickým směrovým, měla by, stejně jako v případě směrového dezénu, na bočnici navíc šipku označující směr rotace. [1]

## 2.7 Paprsky

Paprsky jsou specifický prvek, který lze nalézt u pneumatik, které ke své funkci nepoužívají stlačený vzduch ani jiný plyn. Nachází se v prostoru mezi ráfkem a běhounem. Jejich umístění je jasně patrné při bočním pohledu na pneumatiku, jelikož tento typ obutí kola neobsahuje bočnice. Tento koncept byl poprvé zveřejněn v roce 2005 společností Michelin pod názvem Tweel (od slov „tyre“ a „wheel“).

Jejich výhody oproti běžným pneumatikám by měly spočívat v nižším valivém odporu a vyšší příčné tuhosti. Tím, že neobsahují stlačený vzduch, nemůže dojít k defektu, zároveň odpadá potřeba kontrolovat huštění.

Avšak i přes tyto výhody nabízí Michelin tento typ pneumatik především pro užitkové vozy určené na provoz v terénu. [1, 6, 7]



Obrázek 3: Michelin Tweel

Zdroj: <https://tweel.michelinman.com/golf-cart-products.html>



### 3 Značení pneumatik

Značení je uvedeno nejen v katalogu výrobce ale také na bočnicích pneumatik. Kromě rozměrů udává jak fyzikální vlastnosti pneumatiky, např. nosnost, tak i konstrukční vlastnosti, např. typ kostry, materiál některých částí nebo zda se jedná o dojezdové pneumatiky.

#### 3.1 Rozměry a indexy

##### 3.1.1 Osobní automobily

První dvě čísla v názvu jsou oddělena lomítkem, jedná se o šířku pneumatiky [mm] a poměr výšky profilu k šířce pneumatiky [%]. Dále následuje písmeno R v případě pneumatik s radiální konstrukcí kostry, nebo pomlčka, pokud se jedná o kostru diagonální. Dalším údajem je číslo, které vyjadřuje hodnotu průměru ráfku v palcích. Následuje index nosnosti neboli LI (load index), jedná se o číslo, které udává maximální nosnost pro daný index rychlosti, např. maximální nosnost pneumatiky s LI 60 je 250 kg viz Tabulka 1. Posledním údajem je index rychlosti značený SI (speed index) vyjádřený pomocí písmena, popř. pomocí kombinace písmena a čísla, který udává maximální přípustnou provozní rychlost pneumatiky viz Tabulka 2. [1, 8]

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

Tabulka 1: Indexy nosnosti

Zdroj: <http://www.pneunoviny.cz/rychlostni-a-zatezovy-index-pneumatik/>

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

Tabulka 2: Indexy rychlosti

Zdroj: <https://m.rajpneu.cz/technicky-radce/267>

Např. pneumatika 215/50 R 17 95 V je široká 215 mm o výšce profilu 107,5 mm, má kostru radiální konstrukce, průměr ráfku je 17", maximální nosnost pneumatiky je 690 kg a maximální provozní rychlost 240 kmh<sup>-1</sup>.

### 3.1.2 Nákladní automobily

Značení je téměř stejné jako v případě pneumatik pro osobní automobily, jediným rozdílem je pouze index nosnosti. U pneumatik nákladních automobilů se udává dvojice čísel oddělených lomítkem. První číslo udává nosnost pneumatiky v jednomontáži, druhé v dvojmontáži. Nosnost dvojmontáže totiž není rovna dvojnásobku nosnosti jednomontáže, ale odpovídá pouze zhruba 185% nosnosti jednomontáže. Důvodem je, aby nedošlo k případnému přetížení jedné z pneumatik, pokud by zatížení nebylo rovnoměrně rozložené. [1]

### 3.2 Další údaje

Označení „regroovable“ znamená, že je možné prohloubit dezénové drážky, pokud je jejich hloubka menší než cca 3 mm. Tento proces se nazývá prořezávání. Maximálně lze dezén prohloubit o 4 mm, mezi dnem dezénové drážky a vnějším povrchem nárazníku však musí zůstat vrstva pryže o minimální tloušťce 2 mm.

Že je pneumatika bezdušového provedení, lze zjistit z označení „tubeless“ (někdy zkratka tl). Naopak pneumatiky s duší jsou označovány „tube type“ (tt).

Pneumatiky se zesílenou kostrou jsou označovány zkratkou Rf (ze slova reinforced) nebo zkratkou XL (ze slov extra load).

Maximální nosnost (max. load) je na pneumatice uvedena v kg i lb. Na pneumatikách určených pro nákladní automobily bývají uvedeny 2 různé hodnoty maximální nosnosti, druhá z nich totiž představuje nosnost jedné pneumatiky ve dvojmontáži.

Zimní pneumatiky jsou označeny zkratkou M + S vycházející ze slov mud and snow (česky bláto a sníh).

Další informací, kterou lze nalézt na bočnici, je, kdy byla pneumatika vyrobena. Udává to čtyřčíslí, kde první dvě číslice označují týden v roce a druhé dvě číslice rok. Např. 3519 znamená, že pneumatika byla vyrobena 35. týden roku 2019. Jako obecné doporučení se udává, že by se neměly používat pneumatiky starší než 5 let.

Další údaje, které bývají uvedené na bočnici, jsou název výrobce a modelu pneumatiky, homologační znak, zda se jedná o dojezdové pneumatiky (označení dojezdových pneumatik se může v závislosti na jejich výrobci značně lišit) atd. [1, 8, 9]

## 4 Opotřebení pneumatik

Nejintenzivnějším opotřebením na pneumatice podléhá běhoun. Opotřebení lze rozdělit dle rovnoměrnosti a podle příčin jeho vzniku. Jednotlivé příčiny se projevují specifickým opotřebením. To umožňuje do jisté míry provést diagnostiku vozidla v závislosti na typu opotřebení jeho pneumatik.[1]

Intenzita opotřebení roste nejvíce s rychlostí jízdy a teplotou, dále záleží na pozici kola (např. pneumatiky na hnané nápravě se opotřebují rychleji, vyšší intenzitě opotřebení při zatáčení podléhají pneumatiky na vnější straně), stavu vozovky atd. [1]

Opotřebení pneumatiky může představovat riziko nejen kvůli snížení hloubky dezénu a následnému zhoršení přilnavosti na mokré vozovce, ale také celkovým zhoršením jízdních vlastností. Složení pryže se totiž může s hloubkou měnit, čímž by došlo i ke změnám jejích vlastností. [1]

Pneumatiky kromě mechanického opotřebení podléhají i opotřebení chemickému, např. působením UV záření, O<sub>3</sub> nebo organických rozpouštědel. [1]

### 4.1 Rovnoměrné opotřebení

Rovnoměrné opotřebení vzniká při běžném provozu a správném zacházení. Při rovnoměrném opotřebením dochází k úbytku materiálu na celém povrchu běhounu téměř stejně. Jedná se o ideální případ, a to jak z hlediska životnosti pneumatiky, tak z hlediska bezpečnosti. [1]

### 4.2 Nerovnoměrné opotřebení

#### 4.2.1 Nízké huštění

Pokud jsou pneumatiky nedostatečně nahuštěny, dojde k zvýšení zatížení na krajích běhounu, ty pak podléhají intenzivnější abrazi. Naopak střední část běhounu je zatížena méně. [1]

K nízkému huštění může dojít několika způsoby. Jednak tím, že nedochází k pravidelné kontrole huštění. Pneumatika totiž netěsní dokonale (kvůli pórovitosti pryže nebo nedokonalé těsnosti spoje patky a ráfku) a časem uniká určité množství vzduchu. Dalším důvodem může

být huštění zahřátých pneumatik (doporučený přetlak uváděný výrobcem platí pro jízdu nezahřáté pneumatiky) nebo náhlé zvýšení hmotnosti vozidla (např. naložením nákladu), jehož pneumatiky jsou huštěny na přetlak odpovídající provozní hmotnosti. [1]

#### **4.2.2 Vysoké huštění**

Při příliš vysokém huštění dochází k intenzivnímu opotřebení uprostřed činné plochy. Ke stejnému typu opotřebení může dojít i kvůli prokluzu hnaných kol při prudkém rozjezdu. [1]

Jak vysoké, tak nízké huštění negativně ovlivňují jízdní vlastnosti vozidla a mají přímý dopad na valivý odpor a tím i na spotřebu. [1]

#### **4.2.3 Prudké brždění**

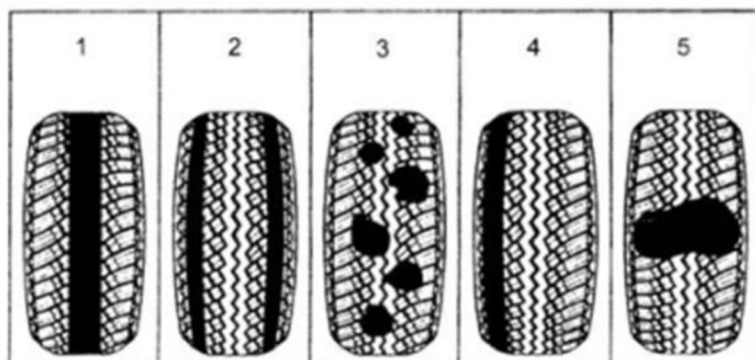
Pokud při prudkém brždění dojde ke smyku, vytvoří se na čele pneumatiky ploška. To může dále vyvolat kmitání kola, což může vést až k dalšímu typu opotřebení pneumatiky, stejnému jako v případě nesprávně vyvážených kol, viz dále. Tomuto typu opotřebení lze ve větší míře předejít, pokud vozidlo disponuje ABS. Naopak riziko zablokování kol při brždění se zvyšuje v případě nesprávně nahuštěných pneumatik. [1]

#### **4.2.4 Nevyváženost kol**

Nevyváženost kol, stejně jako radiální i boční házení, způsobuje místní nerovnoměrné opotřebení běhounu pláště. Nevyváženost kol může být způsobena nesprávným umístěním vyvažovacích tělísek, jejich ztrátou nebo poškozením kola. Obdobné opotřebení může být způsobeno i vadnou funkcí tlumičů. [1]

#### **4.2.5 Nesprávná geometrie kol**

Pro vozidla s nesprávně seřízenou geometrií kol je typické, že běhoun je na jedné straně výrazně více opotřeбенý oproti zbytku. [1]



Obrázek 4: Nerovnoměrné opotřebení pneumatiky: 1 - vysoké huštění, 2 - nízké huštění, 3 - nevyváženost kol, 4 - nesprávná geometrie, 5 - prudké brždění

Zdroj: [1]

## 5 Metody snímání tlaku

### 5.1 Taktilní snímače

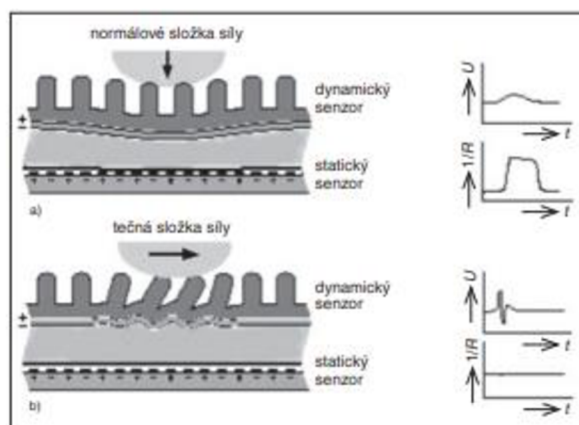
Taktilní snímač je soubor uspořádaných taktilních senzorů. Taktilní senzory mění dotykový podnět na elektrický signál. Tento signál lze vyhodnotit pomocí příslušného programu a získat tak požadovanou informaci např. ve formě barevného obrázku.[10, 11]

Mezi jejich výhody oproti vizuálním systémům patří možnost přímého číslicového zpracování výstupu a vyhodnocování informací v reálném čase, vyšší nezávislost na vlivech okolního prostředí, možnost provedení v malých rozměrech. Naopak nevýhodou je, že vyžadují určitou minimální reakční sílu. [10]

#### 5.1.1 Snímače s elastomery

Elastomery mění svůj elektrický odpor v závislosti na jejich deformaci. Většinou bývají tvořeny z pružné směsi elektricky vodivých a nevodivých materiálů, při jejich stlačení se k sobě přibližují částice vodivého materiálu, což se projeví ve zvýšení vodivosti, tedy snížení odporu. Lze je rozdělit na následující typy: [10, 12]

- Snímače s vodivým elastomerem – jedná se např. o Plantograf viz 6.1.
- Senzory typu FSR (Force Sensitive Resistor)
- Senzory s odporovou vrstvou – jsou tvořeny kromě statického navíc dynamickým senzorem (odporovou vrstvou), což umožňuje snímat síly jak v normálovém, tak v tečném směru viz Obrázek 5.
- Detekční fólie – lze s nimi snímat zakřivené povrchy [10]



Obrázek 5: Senzor s odporovou vrstvou

Zdroj: [10] [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/taktilni-senzory-pro-automatizaci-2008\\_07\\_37544\\_4863/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/taktilni-senzory-pro-automatizaci-2008_07_37544_4863/)

### 5.1.2 Snímače s tenzometry

Tenzometry taktéž fungují na principu změny elektrického odporu vlivem deformace. Jsou tvořeny vodičem (tzv. tenzometrická známka) umístěným na těle snímače. Pokud dojde k namáhání tahem, tenzometr se prodlouží a s rostoucí délkou vodiče vzroste i odpor. V důsledku namáhání tahem může dojít i ke zmenšení plochy průřezu vodiče, což bude mít taktéž za následek zvýšení odporu. Naopak při namáhání tlakem bude docházet ke snížení odporu. [10, 13]

Tenzometry se dělí podle tloušťky vodiče na tlustovrstvé, které mají tloušťku tenzometrické známky v řádech setin milimetru, a tenkovrstvé o tloušťce známky cca  $10^{-4}$  mm. Tenkovrstvé tenzometry jsou vhodnější při měření vysokých tlaků, kvůli složitějšímu výrobnímu procesu jsou však dražší než tlustovrstvé. [12]

### 5.1.3 Kapacitní senzory

Kapacitní senzory jsou tvořeny dvojicemi elektrod, které jsou odděleny dielektrikem a pružným členem se známou závislostí deformace na velikosti působící síly. V závislosti na směru působících sil může dojít buď ke změně vzdálenosti elektrod nebo ke změně společných ploch (častější provedení). To se projeví na změně kapacity, z které lze spočítat o jakou vzdálenost se elektrody vychýlily. Tato vzdálenost se rovná deformaci pružného členu, z které je následně možné zjistit velikost působící síly. [10, 12]



#### 5.1.4 Piezoelektrické snímače

Tyto senzory fungují na principu piezoelektrického jevu, kdy při deformaci krystalu z piezoelektrického materiálu, jako je např.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ , polyvinylidenfluorid atd., vzniká elektrický náboj. [10]

Ve snímačích jsou tyto krystaly umístěny ve dvojicích za sebou ve směru působící síly, v elektrickém obvodu snímače mají paralelní zapojení. Tato konfigurace krystalů se nazývá piezoelektrické dvojče. Jejich výhodou jsou malé rozměry, nevýhodou vysoké vnitřní odpory. Jsou vhodné pro snímání dynamických zatížení o vysokých frekvencích, používají se např. ve snímačích klepání. [10, 12]

#### 5.1.5 Optické snímače

Mezi základní komponenty optických snímačů patří zdroj světla (např. LED nebo laser), optické vlákno a detektor. Při silovém působení na optické vlákno dochází ke změně vlastností procházejícího světla (v případě taktilních sensorů se sleduje především změna amplitudy), kterou zaznamená detektor. Jakým způsobem mění vnější síla vlastnosti světla závisí na typu konstrukce snímače. [10, 12]

V případě sensorů s mikroohybem vlákna je optické vlákno umístěno mezi pár čelistí, které jsou silou stlačovány k sobě, čímž dochází k několika násobnému ohybu optického vlákna. Část světla unikne kvůli ohybu vlákna do okolního prostředí. Tato změna je zaregistrována detektorem na opačném konci optického vlákna vůči zdroji světla. [10]

Senzory s optickými vlákny se vzájemnou optickou vazbou mají optická vlákna v páru, vlákna se navzájem kříží. Jedno vlákno je připojeno pouze ke zdroji světla, zatímco druhé k detektoru. Při stlačení vláken k sobě přechází více světla z vlákna se zdrojem do vlákna s detektorem. Je potřeba, aby se vlákna dotýkala přímo svými jádry, nikoliv pláští. [10]

Senzory se změnou útlumu mají v optickém vlákne zabudovaný člen, který je v případě taktilních sensorů vystaven působení zkoumaných sil. Ten reaguje na působení síly změnou svých optických vlastností. Dalším typem sensorů jsou např. Senzory se změnou přechodu a odrazu světla. [10]

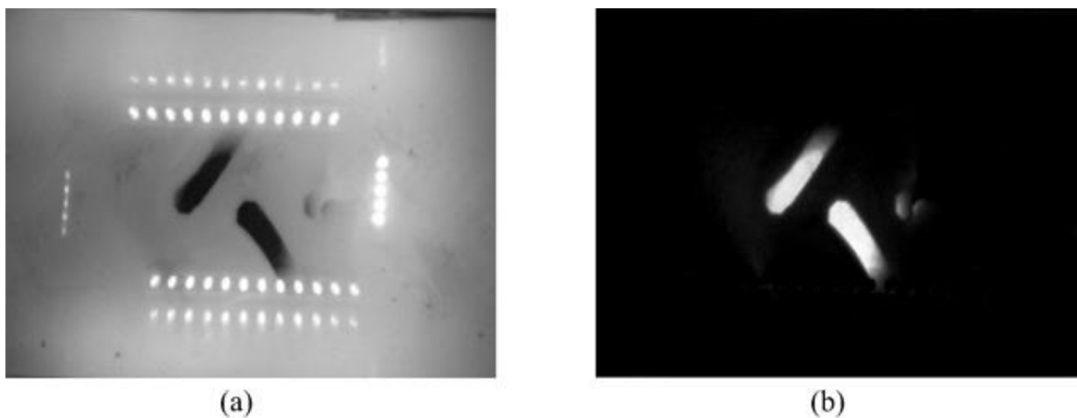
## 5.2 Vizuální systémy

Vizuální systémy jsou tvořeny skleněnou deskou, fotoaparátem a případně externím osvětlením. Skleněná deska je pokryta vrstvou obarvené kapaliny, pod deskou je umístěn fotoaparát a osvětlení. Při dotyku kontaktní plochy, tedy skleněné desky, je zespod jasně viditelná jen ta část, v tomto případě, pneumatiky, která se přímo dotýká. Zbytek je zakrýván kapalinou na povrchu skleněné desky. Fotoaparát pořídí snímek, který je dále zpracován v příslušném počítačovém programu. Výstupem může být např. stanovení velikosti kontaktní plochy. [14]



Obrázek 6: Vizuální metoda snímání tlaku

Zdroj: [14] <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.074>; upraveno



Obrázek 7: Snímky pořízené vizuální metodou

Zdroj: [14] <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.074>; upraveno

## 6 Měření rozložení kontaktních tlaků snímačem Plantograf

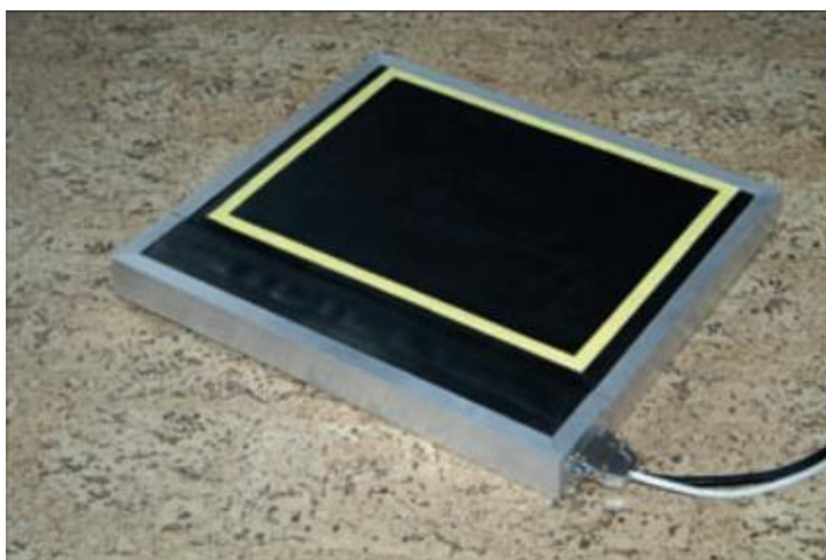
### 6.1 Plantograf

Při testování pneumatik byl využit měřicí systém Plantograf.

Plantograf je taktilní snímač, jehož senzory jsou založeny na principu vodivých elastomerů. Vodivé elastomery mění svůj elektrický odpor podle velikosti působící síly. Vyrobeny jsou ze směsi pryže a vodivé látky ve formě prachu, konkrétně se může jednat např. o grafit nebo železo. Při použití velkého množství senzorů, lze tedy získat přehled o rozložení velikosti působících sil na určité ploše. Čím menší senzory jsou použity, tím detailnější zobrazení. Pokud všechny senzory mají zároveň stejně velkou styčnou plochu, pak je poměr rozložení sil roven poměru rozložení tlaků. [10]

Např. Plantograf V16 (verze z roku 2016) je schopný pořídit až 1000 snímků za sekundu, má aktivní plochu o rozměrech 500 x 500 mm, na které je 16 400 maticově uspořádaných senzorů o průměru 2,5 mm, a vydrží trvalé přetížení 14 MPa. Maximální nosnost se liší podle měřeného objektu, v případě měření pneumatik je přípustné zatížení až 3 000 kg. [11]

Původní použití Plantografu je především při biomechanickém vyšetřování stavu tlaku mezi ploskou nohy. Další využití má např. při návrhu dezénu pneumatik, návrhu anatomických sedaček, v crash-testech nebo také v oboru robotiky pro stabilitu a vyvažování robotů. [11]



Obrázek 8: Plantograf

Zdroj: [10] [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/taktilni-senzory-pro-automatizaci-2008\\_07\\_37544\\_4863/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/taktilni-senzory-pro-automatizaci-2008_07_37544_4863/)

## 6.2 Vlastní měření

Měření jsem provedl na Plantografu V09. Měřil jsem rozložení kontaktních tlaků u 2 různých automobilových a 2 motocyklových pneumatik. Cílem bylo porovnat, jak se projeví změna huštění automobilových pneumatik na rozložení kontaktních tlaků v závislosti na jejich rozměrech při konstantním zatížení. V případě motocyklových pneumatik jsem se navíc snažil zjistit, jak se rozložení tlaků změní, když je motocykl v náklonu.

Mimochodem, celkem podobným měřením lze určit radiální tuhost pneumatiky  $S$  [N/mm] podle vzorce (1). Při této zkoušce se podle ČSN 63 1511 za konstantního huštění měří deformace pneumatiky  $X$  [mm] při zatížení  $F$  [N] odpovídající 75 % a 125 % maximální nosnosti. [15–17]

$$S = \frac{F_{125} - F_{75}}{X_{125} - X_{75}} \quad (1)$$

Radiální tuhost může být např. použita jako jedna z několika vstupních hodnot pro výpočtové modelování pláště pneumatik. [16]

### 6.2.1 Automobilové pneumatiky

Měření jsem provedl na pneumatikách přední nápravy, kdy pravé přední kolo bylo umístěno na snímací desce a levé přední na nájezdu o obdobné výšce jako deska (výška desky = 48 mm, výška nájezdu = 50 mm), aby byla náprava zhruba ve vodorovné poloze a nedocházelo tak k vyššímu zatížení na vnitřním ramenu pneumatiky viz Obrázek 9. (Zatížení vnitřní ku vnější straně pneumatiky není ani přesto rovnoměrné kvůli odklonům kol.) Přední náprava je tedy o cca 50 mm výše než zadní, přední náprava je tak zatížena méně, než pokud by vozidlo stálo na vodorovné vozovce. Tento rozdíl zatížení považuji za zanedbatelný. Dalším faktorem, který stojí za zmínku je, že při jízdě dojde k zahřátí pneumatik, čímž se zvýší přetlak vzduchu v pneumatice. Zvýšení huštění se projeví podobně jako, kdyby při optimálním huštění došlo ke snížení zatížení. Je tedy možné spekulovat, že při zvednutí přední nápravy o 50 mm a optimálním huštění pneumatik, jsem se mohl dostat k rozložení tlaku, který více odpovídá rozložení tlaku při reálnému provozu, než pokud by přední i zadní náprava byly ve stejné výšce. Tento předpoklad ovšem nejsem schopný ověřit, jelikož neznám polohu těžiště vozidla.

Za úvahu také stojí, zda by se zvýšení teploty pneumatiky výrazně projevilo ve změně např. tuhosti pláště pneumatiky a tím i ve výsledcích rozložení kontaktních tlaků.

Před měřením jsem nejprve pneumatiku nahustil na přetlak = 285 kPa a poté přetlak postupně snižoval, vždy o 15 kPa, až na hodnotu 75 kPa a pro každou hodnotu zaznamenal snímek rozložení tlaku.

Použil jsem pneumatiky Continental Wintercontact 215/50 R17 na vozidle Ford Focus 1.5 EcoBoost o provozní hmotnosti 1325 kg a pneumatiky Continental ContiWintercontact TS 830 P 205/55 R16 na vozidle Mercedes-Benz C220 CDI o provozní hmotnosti 1650 kg. Obě vozidla mají shodnou hodnotu doporučeného huštění a to 210 kPa.



*Obrázek 9: Měření rozložení kontaktních tlaků pneumatiky 205/55 R16*

*Zdroj: Vlastní*



Obrázek 10: Měření rozložení kontaktních tlaků

Zdroj: Vlastní

## 6.2.2 Motocyklové pneumatiky

Měření jsem provedl na pneumatikách značky předního a zadního kola motocyklu Honda NC 700 S o provozní hmotností 215 kg. Použité jsou pneumatiky Metzeler Tourance next 120/70 R17 pro přední kolo a 160/60 R17 pro zadní kolo. Doporučené huštění přední pneumatiky je 250 kPa, zadní 290 kPa.

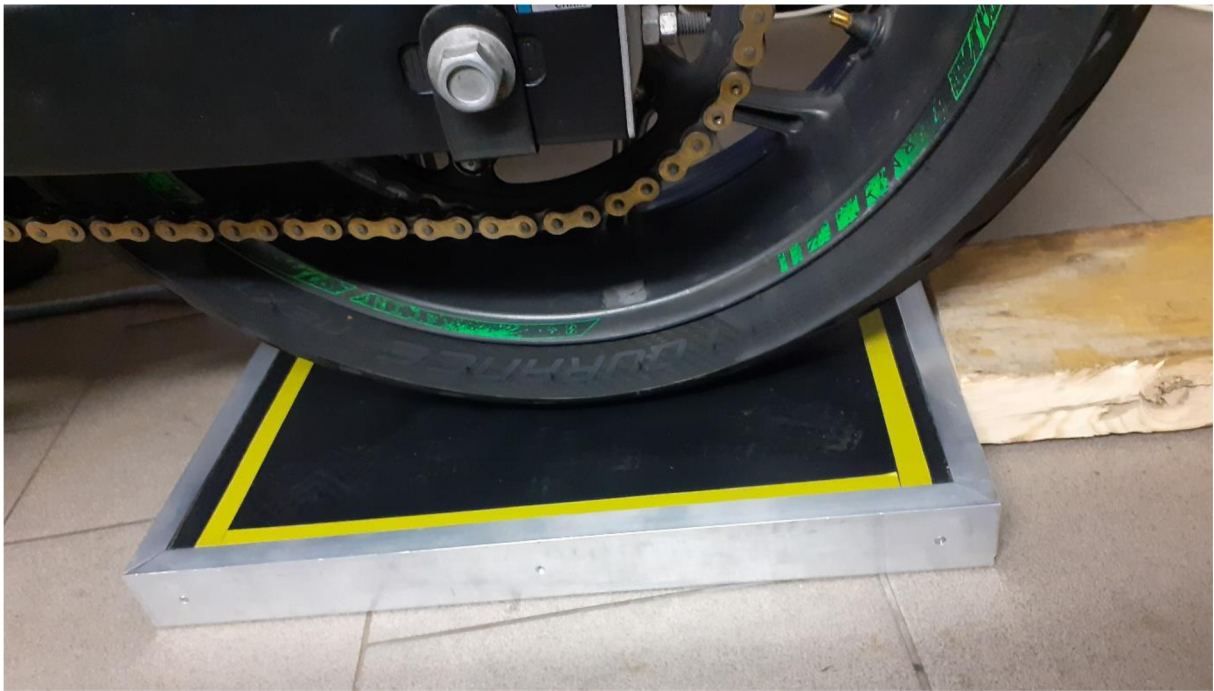
Měření začalo při huštění 310 kPa a následně jsem přetlak v pneumatikách snižoval vždy o 20 kPa až na hodnotu 90 kPa. U každé hodnoty jsem provedl 2 snímky – jeden, když byl motocykl ve svislé poloze, a druhý, když byl motocykl opřený o boční stojánek (toto řešení se mi jevilo jako nejsnazší způsob, jak dosáhnout konstantní hodnoty náklonu), čímž jsem se pokusil simulovat průjezd zatáčkou. Boční stojánek bylo potřeba podepřít, jinak by mohlo hrozit, že motocykl přepadne kvůli tomu, že kola jsou cca 50 mm nad zemí, úhel náklonu by tedy byl větší, než pokud by kola a stojánek byly ve stejné výšce.

Měření rozložení tlaku pneumatik motocyklu bylo o poznání více složitější než v případě automobilu. Prvním problémem, na který jsem narazil, byl vliv tíhy řidiče, respektive její

absence. Při měření na motocyklu totiž neseděl řidič, protože především při měření v náklonu by řidič pohybem těla mohl způsobit, že při každém měření bude těžiště v jiném místě. Měření by pak nebylo konzistentní. Potíž je v tom, že hmotnost řidiče je relativně vůči hmotnosti motocyklu poměrně značná. Proto jsem na závěr pořídil snímek, když na motocyklu seděl řidič (o hmotnosti cca 80 kg) a pneumatiky byly nahuštěny na optimální přetlak, abych získal přehled o rozložení kontaktních tlaků při optimálních podmínkách. Tento snímek tak můžu porovnat s předchozími snímky při svislé poloze motocyklu a odvodit, která hodnota huštění pneumatik v momentě, kdy na motocyklu nesedí řidič, se mu blíží nejvíce.

Největší potíže jsou při měření v náklonu. Konkrétně je to tím, že se motocykl vůči podložce nepohybuje. Nevzniká tak odstředivá síla, která by ovlivnila směr i velikost výsledné síly. Rozložení kontaktního tlaku by mělo ovšem záviset na reakci podložky, pokud je tedy vozovka vodorovná, součet reakcí podložky v místech dotyku pneumatik by měl být roven tíze motocyklu a řidiče a měl by působit ve stejném směru a mít opačnou orientaci. Problém s absencí odstředivé síly spočívá především v tom, že není možné měřit, když na motocyklu sedí řidič, protože pozice jeho těla, a tedy i rozložení hmotnosti bude jiné, než pokud by se motocykl pohyboval. Navíc je potřeba motocykl z vnitřní strany podepřít (v mém případě bočním stojánkem, jelikož se mi toto řešení jevilo jako nejsnazší způsob, jak dosáhnout konstantní hodnoty náklonu), část tíhy motocyklu tedy působí v místě dotyku stojánku.

Alternativní řešení by bylo použít lis, pod který by se umístila snímací deska pod požadovaným úhlem, a dopočítat výslednou sílu, kterou bude lis působit, jako výslednici vektorů tíhy a odstředivé síly.



Obrázek 11: Měření rozložení kontaktních tlaků pod zadní pneumatikou motocyklu

Zdroj: Vlastní

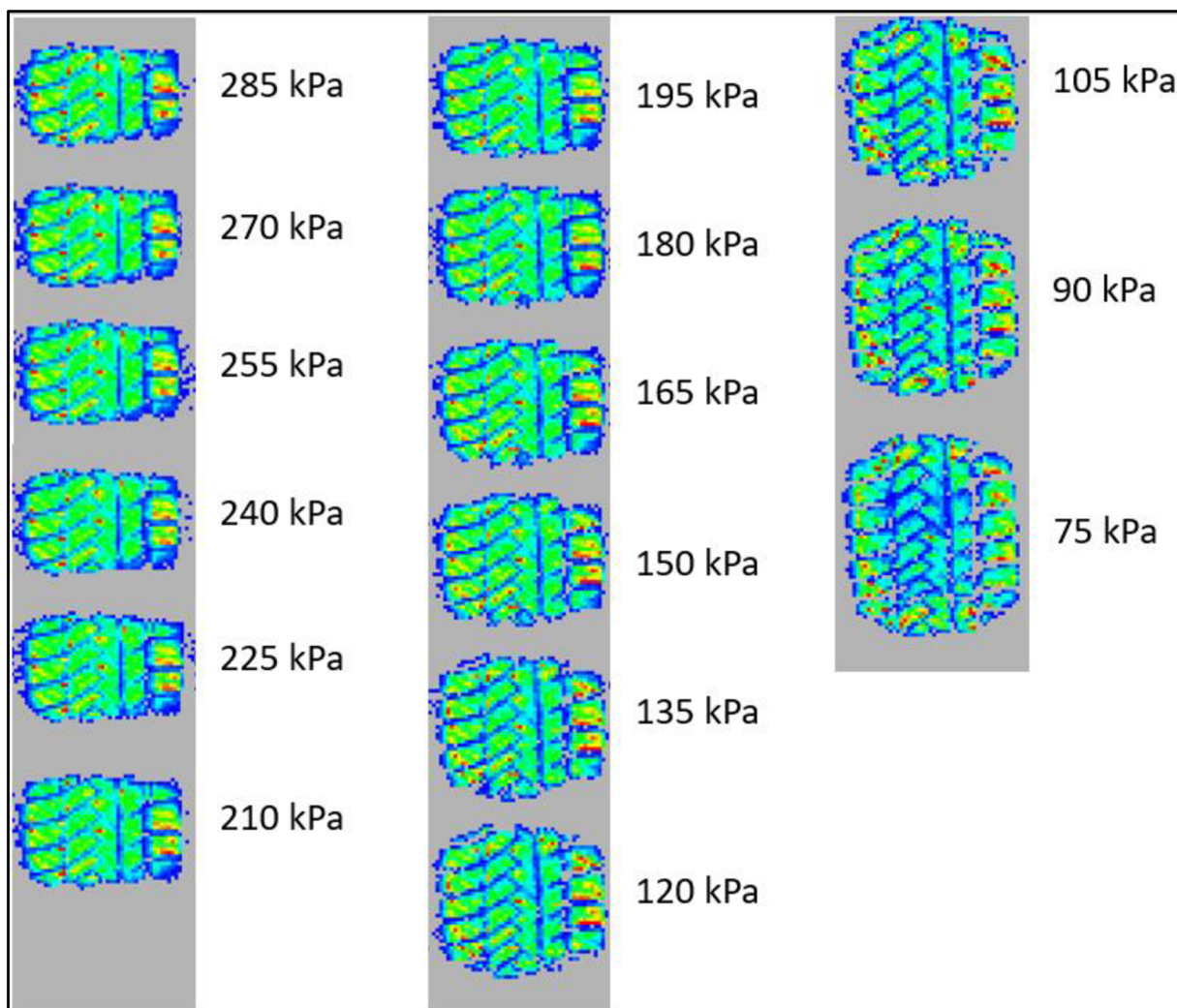
### 6.3 Předpokládané chování pneumatik

Jelikož povrch a objem pneumatiky nerostou vůči sobě úměrně (zjednodušeně povrch s druhou mocninou rozměru, objem se třetí mocninou), lze očekávat odlišný vliv změny huštění na kontaktní tlaky pro pneumatiky s různými rozměry. Zároveň předpokládám, že by se změna huštění mohla projevit na rozložení kontaktních tlaků výrazněji u pneumatik s menšími rozměry. Zároveň předpokládám, že podhuštěné pneumatiky budou mít větší kontaktní plochu oproti doporučenému huštění a nejvyšší tlak bude po bočních stranách stykové plochy. Naopak u přehuštěných pneumatik dojde ke zmenšení kontaktní plochy a nevyšší tlak bude uprostřed stykové plochy. Zároveň očekávám, že optimální rozložení tlaku nezahřáté pneumatiky bude při huštění, které je vyšší než doporučené. Jelikož se hodnota doporučeného huštění udává pro jízdu nezahřáté pneumatiky, ale navržena je tak, aby měla nejlepší vlastnosti za jízdy, kdy je pneumatika zahřátá. Přetlak v pneumatice tedy vlivem zvýšení teploty vzroste. Otázkou však je, jestli při měření po 0,15 bar nebude optimální přetlak někde v rozmezí od 2,1 do 2,25 bar.



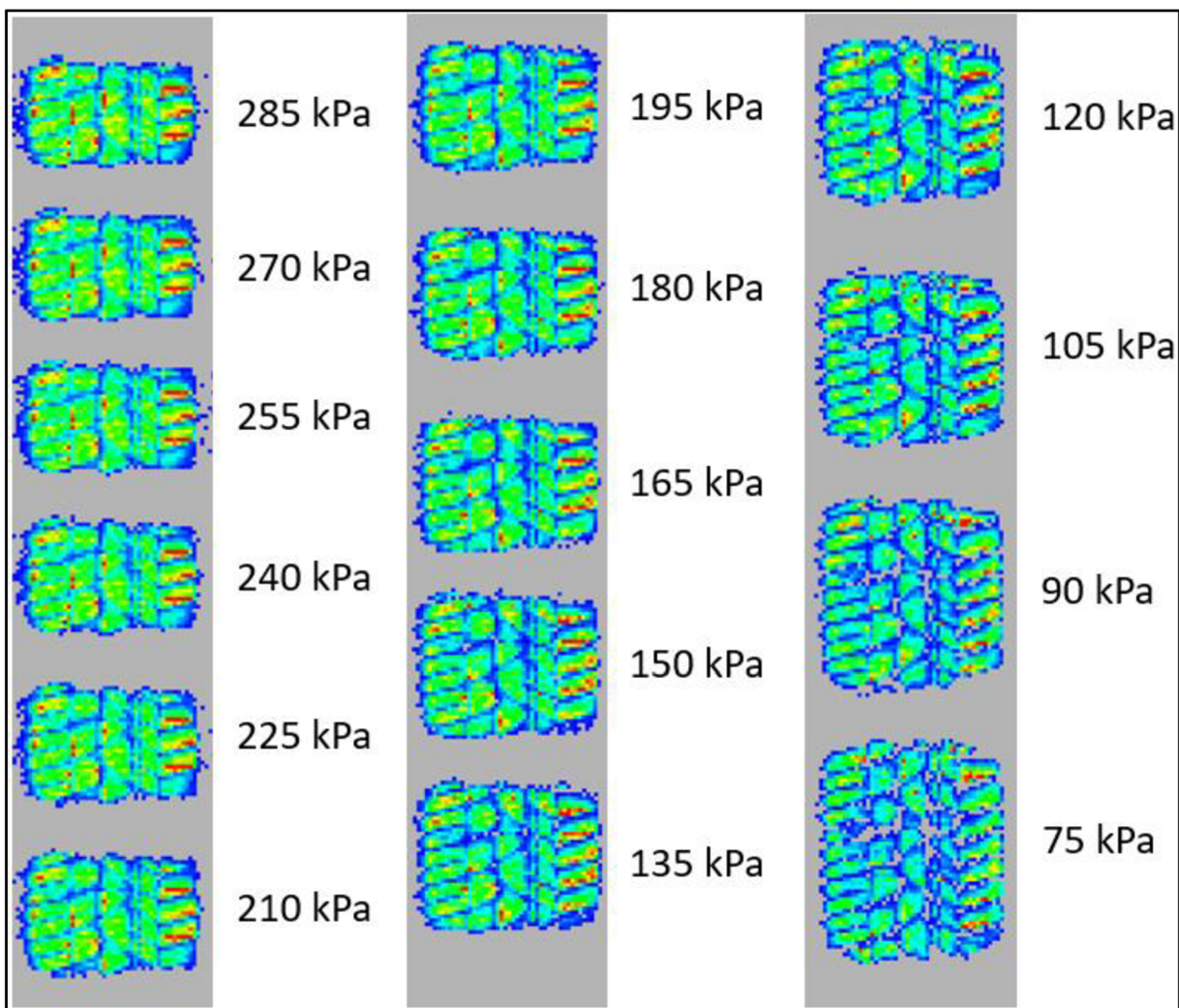
## 7 Analýza naměřených výsledků

### 7.1 Automobilové pneumatiky



Obrázek 12: Rozložení kontaktních tlaků pneumatiky 215/50 R17

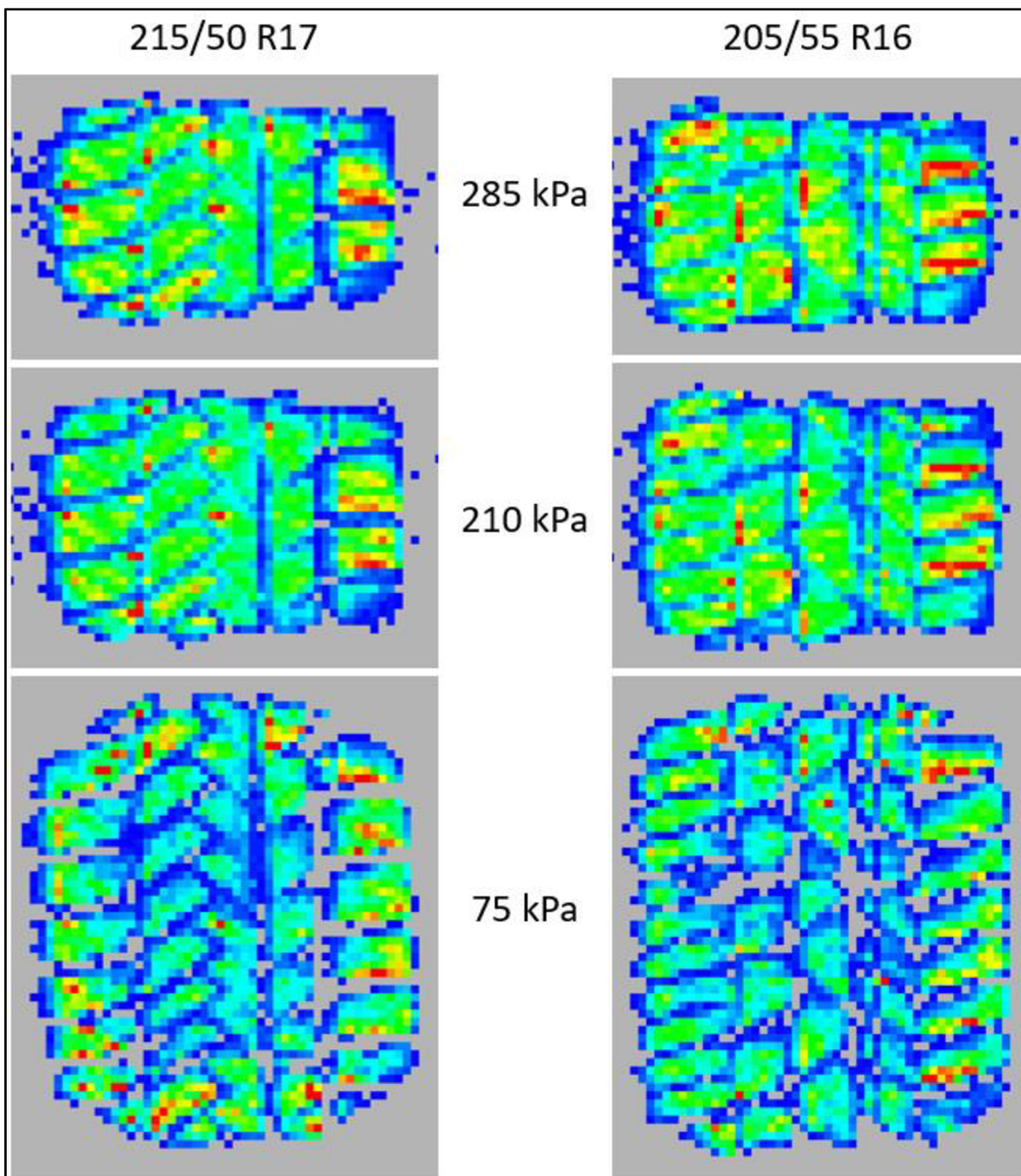
Zdroj: Vlastní



Obrázek 13: Rozložení kontaktních tlaků pneumatiky 205/55 R16

Zdroj: Vlastní

Část mého předpokladu se potvrdila, a to, že s klesajícím huštěním se zvětšovala kontaktní plocha. Také při tom došlo k přemístění oblastí s vyšším tlakem dále od středu styčné plochy. Na rozložení tlaků měl ovšem daleko větší vliv odklon kol, než jsem očekával, kdy na vnější straně působí vyšší tlak. Předpoklad ohledně optimálního rozložení tlaku při huštění vyšším, než je doporučená hodnota výrobcem vozidla (210 kPa), jsem nebyl schopný ověřit ani vyvrátit, jelikož rozložení kontaktních tlaků je, i při pohledu na obrázek v maximální velikosti a rozlišení, pro hodnoty huštění v rozmezí 210 až 240 kPa prakticky shodné. Rozdíl v rozložení tlaku a velikosti kontaktní plochy je vidět až při výrazném přehuštění. Naopak při podhuštění je v případě obou zkoumaných pneumatik rozdíl, především velikosti kontaktních ploch, znatelný daleko dříve. Z toho lze vyvodit, že mírné přehuštění má menší negativní vliv na jízdní vlastnosti pneumatik a jejich opotřebení, než pokud by došlo k podhuštění.



Obrázek 14: Srovnání rozložení kontaktních tlaků pro dané pneumatiky v závislosti na huštění

Zdroj: Vlastní

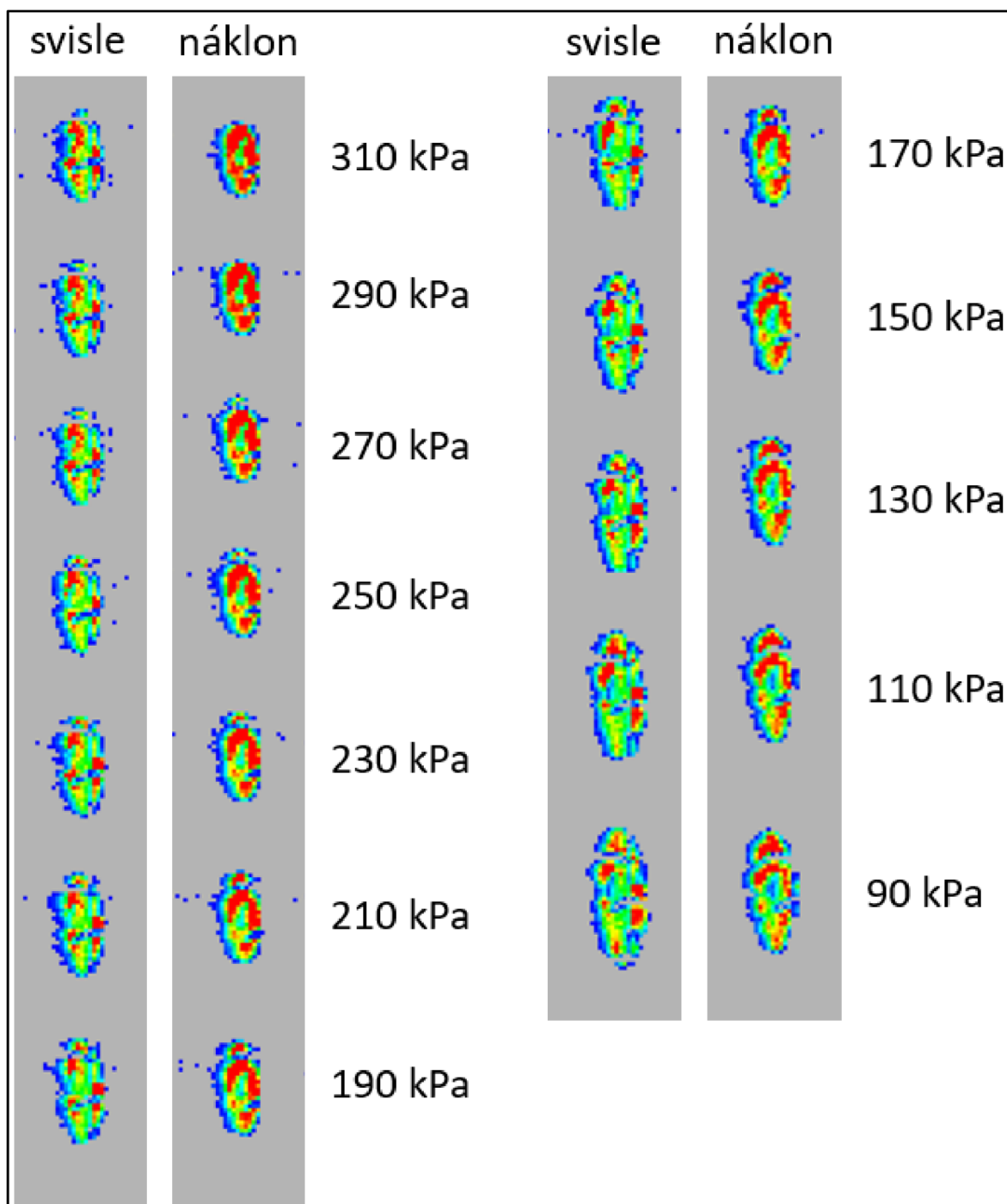
Při vzájemném porovnání rozložení kontaktních tlaků obou pneumatik při nejvyšším, doporučeném a nejnižším huštění je patrné, že výraznějším změnám jak v rozložení tlaku, tak změně tvaru podléhají pneumatiky o menších rozměrech. Jelikož je tato změna tím více patrná, čím více klesá huštění, mohla by být z menší či větší části způsobena vyšší hmotností vozidla, na kterém byly pneumatiky 205/55 R16.

Za zmínku stojí tvar kontaktní plochy, kdy u pneumatiky 215/50 R17 mají hrany větší poloměr zakřivení než u pneumatiky 205/55 R16. Dle mého názoru je to způsobeno hlavně větším vnějším obvodem první zmíněné pneumatiky.

V ideálním případě by bylo vhodné sehnat 3 páry pneumatik, kdy by se každý pár lišil pouze jedním rozměrem – první dvojice pneumatik by měla stejnou šířku a výšku a lišila by se pouze rozměrem ráfku, druhá pouze šířkou a třetí výškou. Zároveň by všechny byly stejný model od stejného výrobce a měly stejný index nosnosti. Zatížení by bylo provedeno lisem a vždy by odpovídalo stejnému procentu z maximální nosnosti dané pneumatiky. Pak by bylo možné určit, který rozměr se podílí na změně rozložení kontaktních tlaků v závislosti na huštění největší mírou.

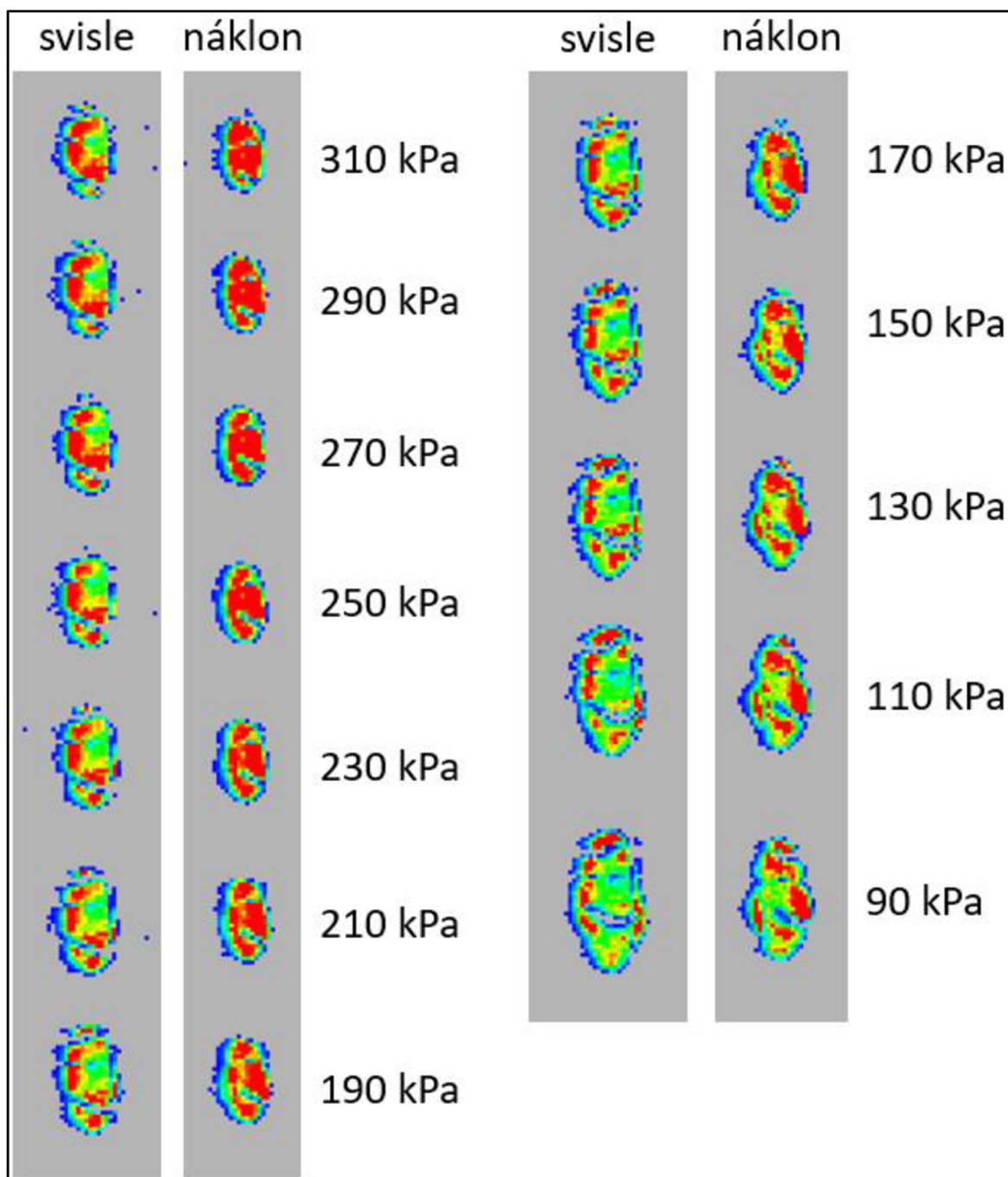
## **7.2 Motocyklové pneumatiky**

Při zhlédnutí snímků z měření motocyklových pneumatik bylo zjištěno, že kontaktní plocha, když je motocykl v náklonu (opřený o boční stojánek), je přeci jen menší, ale rozdíl není tak velký jako jsem očekával. Proto jsem se rozhodl zjistit, jaká je reakční síla podložky pod stojánkem pro daný náklon. Pod stojánek jsem umístil klasickou osobní váhu a motocyklem najel na nájezdy tak, aby kola byla zhruba stejně vysoko nad zemí jako byla plocha dotyku stojánku a váhy. Změřená hmotnost byla 34,1 kg, což při hmotnosti motocyklu 215 kg odpovídá cca 15,9 %. Snímky rozložení kontaktních tlaků pro motocykl v náklonu na následujících 2 obrázcích je tedy nutné brát s rezervou, ale nedošlo k výraznému zkreslení.



Obrázek 15: Rozložení kontaktních tlaků pod pneumatikou 120/70 R17, když je motocykl svisle a když v náklonu

Zdroj: Vlastní



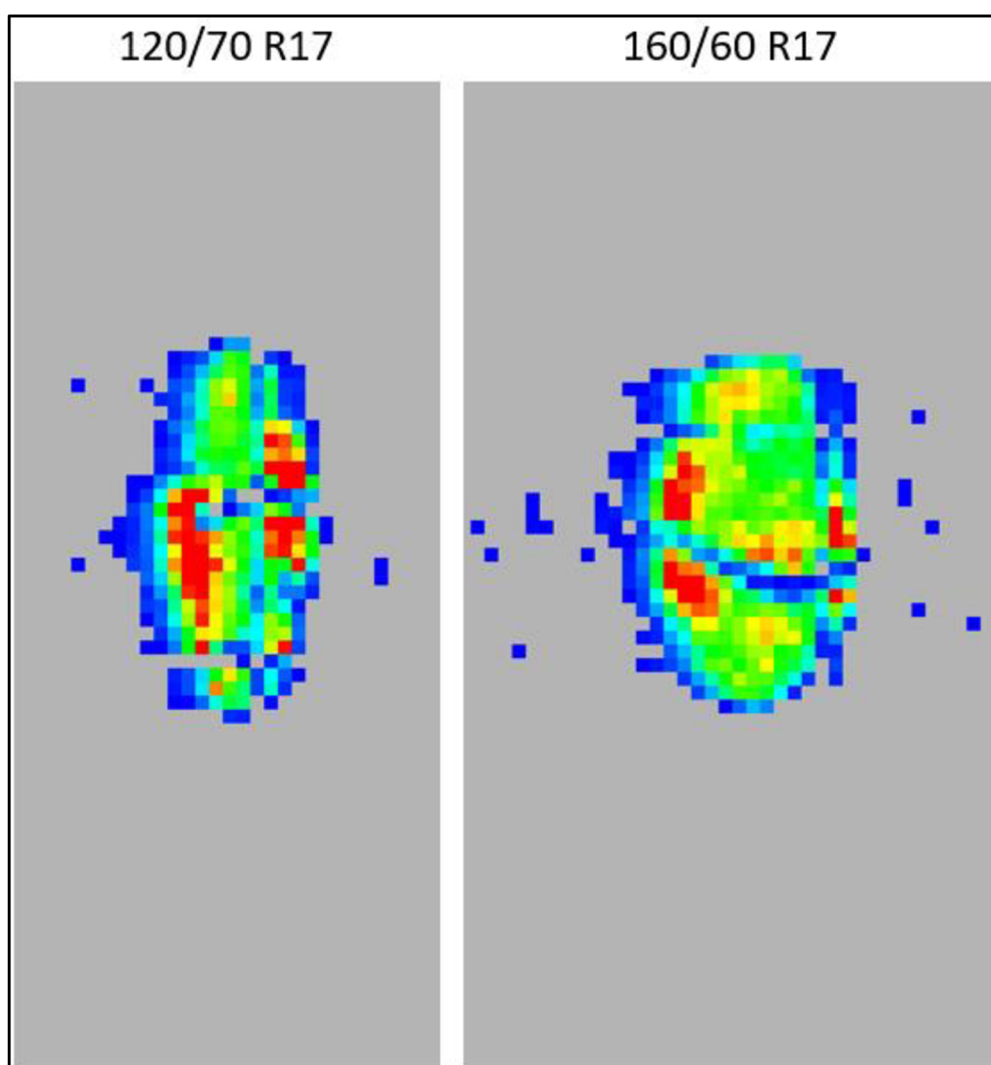
Obrázek 16: Rozložení kontaktních tlaků pod pneumatikou 160/60 R17, když je motocykl svisle a když v náklonu

Zdroj: Vlastní

Jak jsem již zmínil v 6.2.2, hmotnost řidiče nelze zanedbat. Proto jsem provedl dva kontrolní snímky, kde jsou pneumatiky nahuštěné na doporučenou hodnotu (přední: 250 kPa, zadní: 290 kPa) a na motocyklu sedí řidič viz Obrázek 17. Toto rozložení kontaktních tlaků tak můžu považovat za optimální a můžu ho porovnat s rozložením tlaku naměřeným ve chvíli, kdy na motocyklu neseděl řidič. Dalším důvodem pro pořízení kontrolních snímků bylo, že oproti

rozložení tlaku automobilových pneumatik jsem nenašel zdroj, který by se zabýval rozložením kontaktních tlaků pod pneumatikou motocyklu a netušil tak, jak vypadá optimální rozložení tlaku v případě motocyklových pneumatik.

Čistě vizuálním srovnáním jsem došel k závěru, že v případě, kdy na daném motocyklu nesedí řidič, se optimálnímu rozložení kontaktních tlaků blíží nejvíce rozložení tlaku při huštění 170 kPa v případě přední pneumatiky a 210 kPa v případě zadní pneumatiky. V tomto odhadu mě utvrzuje i to, že se rozdíl výše zmíněných hodnot huštění ( $210 - 170 = 40$  kPa) rovná rozdílu doporučených huštění ( $290 - 250 = 40$  kPa). Díky tomuto odhadu předpokládám, že snímky z měření zachycují rozložení kontaktních tlaků jak pro vysoké, tak nízké huštění v případě motocyklu, který není zatížen tíhou řidiče.



Obrázek 17: Rozložení tlaku pod pneumatikou za doporučeného huštění a ve chvíli, kdy na motocyklu sedí řidič

Zdroj: Vlastní

Podobně jako v případě automobilových pneumatik se změny kontaktních tlaků a ploch projevovaly výrazněji, pokud byly pneumatiky podhuštěné. Především na snímcích rozložení kontaktních tlaků pneumatiky 160/60 R17 v náklonu a za nižšího huštění je vidět, že kontaktní plocha přestává mít tvar oválu, viz Obrázek 16, a místo toho začíná její obrys připomínat spíše číslo 8. Příčinou jsou tvar a poměrně velké rozměry dezénu viz Obrázek 18. Vlivu dezénu na tvar kontaktní plochy si lze všimnout i na ostatních snímcích, jen není tak výrazný. Předpokládám, že pokud bych měření provedl na pneumatikách bez dezénu, nedošlo by k tak výrazné změně tvaru a více by vynikla oblast s nejvyšším kontaktním tlakem, která svým tvarem připomíná elipsu, jejíž průměry se s klesajícím huštěním zvětšují.



*Obrázek 18: Detailní pohled na dezén měřené pneumatiky*

*Zdroj: Vlastní*



## 8 Závěr

Cílem této práce bylo seznámit s vlastnostmi, značením, konstrukcí a opotřebením pneumatik a také metodám měření plošných tlaků. Na základě těchto teoretických poznatků bylo provedeno měření rozložení kontaktních tlaků automobilových a motocyklových pneumatik v závislosti na změně huštění a na rozdílných konstrukčních parametrech. V případě motocyklových pneumatik bylo zároveň sledováno, jak se při daných hodnotách huštění projeví na rozložení kontaktních tlaků náklon motocyklu. Pro tyto účely byla použita dvojice automobilových pneumatik (215/50 R17 a 205/55 R16) značky Continental a dvojice motocyklových pneumatik (120/70 R17 a 160/60 R17) značky Metzeler. Měření rozložení kontaktních tlaků bylo provedeno na snímači Plantograf.

V případě automobilových pneumatik se rozdíl v rozložení tlaku a velikosti kontaktní plochy projeví až při výrazném přehuštění. Kontaktní plocha se zmenší a na rozložení kontaktních tlaků má výrazný vliv odklon kol. Naopak při podhuštění se oblasti s nejvyšším kontaktním tlakem vyskytují po obvodu kontaktní plochy. Vliv odklonu je se snižujícím se huštěním čím dál méně výrazný. Velikost kontaktní plochy se s klesajícím huštěním zvětšuje. Z naměřených výsledků jsem dospěl k závěru, že mírné přehuštění by mělo mít minimální vliv na jízdní vlastnosti, protože rozložení kontaktních tlaků a velikost kontaktní plochy je při porovnání s doporučeným huštěním prakticky shodná. Dále z měření vyplývá, že užší pneumatika s vyšším profilem a menším rozměrem ráfku podléhala výraznějším změnám rozložení kontaktních tlaků a velikosti kontaktních ploch v závislosti na změně huštění.

V případě motocyklových pneumatik jsem zjistil, jak zhruba vypadá optimální rozložení kontaktních tlaků. U motocyklových pneumatik, podobně jako u automobilových pneumatik, byly změny rozložení kontaktních tlaků a velikosti kontaktních ploch více znatelné při podhuštění než přehuštění. Dále se tyto změny projeví více, pokud byl motocykl nakloněn. V kombinaci velmi nízkého huštění a náklonu dokonce docházelo k výrazné změně tvaru kontaktní plochy v závislosti na tvaru a rozměrech dezénu. Tato deformace byla výraznější u širší pneumatiky s vyšším profilem. Stejně jako v případě automobilových pneumatik se při klesajícím huštění zvětšuje kontaktní plocha. Oblast s nejvyšším kontaktním tlakem připomíná tvarem elipsu a s klesajícím huštěním se její průměry zvětšují.

Jako možnost navázání na tuto práci se nabízí práce zabývající se výpočtovým modelováním pláště pneumatik. Vstupní hodnoty lze získat experimentálně jako je to z části nastíněno v kapitole 6.2. V takovém případě by ovšem bylo potřeba použít hydraulický lis kvůli dosažení přesné hodnoty zatížení. Zároveň by byl potřeba speciální nástavec, pomocí kterého by bylo možné připevnit kolo s pneumatikou k lisu. Z důvodu, že tento nástavec nebyl v době, kdy jsem prováděl měření, k dispozici, padlo rozhodnutí měřit rozložení kontaktních tlaků, když je kolo přímo na vozidle.

## 9 Zdroje

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-x.
- [2] MARCÍN, Jiří and Petr ZÍTEK. *Pneumatiky. Gumárenské výroby*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [3] DOČKAL, Vladimír, Jan KOVANDA and František HRUBEC. *Pneumatiky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01882-2.
- [4] LEISTER, Günter. *Passenger Car Tires and Wheels* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-50117-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-50118-5
- [5] *Zákon 133/2011 Sb. kterým se mění zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích* [online]. 2011 [cit: 06-10-2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-133>
- [6] *Michelin Tweel* [online]. [cit: 2021-09-20]. Dostupné z: <https://tweel.michelinman.com/>
- [7] *Michelin Media* [online]. 10. April 2014 [cit: 20-09-2021]. Dostupné z: <https://michelinmedia.com/co-inventor-michelins-airless-tire-named-top-25-newsmakers-engineering-news-record/>
- [8] *Pneumatiky.cz. Značení pneumatik* [online]. [cit: 22-10-2021]. Dostupné z: [https://www.pneumatiky.cz/znaceni-pneumatik-t4?gclid=CjwKCAjwwsmLBhACEiwANq-tXBtSz1ZikJqLDK2ACD4cDdNaqveqUaGbxzUcnkwz93Qb63iQRabjshoC0pMQAvD\\_BwE](https://www.pneumatiky.cz/znaceni-pneumatik-t4?gclid=CjwKCAjwwsmLBhACEiwANq-tXBtSz1ZikJqLDK2ACD4cDdNaqveqUaGbxzUcnkwz93Qb63iQRabjshoC0pMQAvD_BwE)
- [9] *Barum. Prořezávání pneumatik* [online]. [cit: 22-10-2021]. Dostupné z: <https://www.barum.cz/nakladni/sluzby/prorezavani>

- [10] VOLF, Jaromír. Taktilní senzory pro automatizaci [online]. 2008 [cit: 06-01-2022]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/taktilni-senzory-pro-automatizaci-2008\\_07\\_37544\\_4863/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/taktilni-senzory-pro-automatizaci-2008_07_37544_4863/)
- [11] VOLF, Jaromír. *Dokumentace k snímači Plantograf V16*. 2016
- [12] BEJČEK, Ludvík and Jan VACULÍK. Snímače tlaku [online]. 2011 [cit: 22-10-2021]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-tlaku-2011\\_01\\_42719\\_4920/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-tlaku-2011_01_42719_4920/)
- [13] *Tenzometrické snímače* [online]. [cit: 08-01-2022]. Dostupné z: [https://www.tenzometricke-snimace.cz/Princip-cinnosti-snimacu-c11\\_0\\_1.htm?gclid=Cj0KCQiAieWOBhCYARIsANcOw0wtkV6n6GZyM8SoTjaaN1DXHHG6fgdYZkZnCl5HGNJipd3PXiqTnqgaAkYpEALw\\_wcB](https://www.tenzometricke-snimace.cz/Princip-cinnosti-snimacu-c11_0_1.htm?gclid=Cj0KCQiAieWOBhCYARIsANcOw0wtkV6n6GZyM8SoTjaaN1DXHHG6fgdYZkZnCl5HGNJipd3PXiqTnqgaAkYpEALw_wcB)
- [14] DERAESHPOUR, Sajjad, Morteza VALIZADEH, Aref MARDANI and Masoud TAMADDONI SARAY. A novel system developed based on image processing techniques for dynamical measurement of tire-surface contact area. *Measurement* [online]. 2019, 139, 270–276. ISSN 02632241. Dostupné z: doi:10.1016/j.measurement.2019.02.074
- [15] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN 63 1511*. 1983
- [16] KRMELA, Jan. *Pláště pneumatik a jejich materiálové charakteristiky pro výpočtové modelování*. Zábřeh: Jan Krmela, Zborov 32, 789 01 Zábřeh, 2017. ISBN ISBN 978-80-270-2893-1.
- [17] PACEJKA, Hans B. and Ignatius Jozef Maria BESSELINK. *Tire and Vehicle Dynamics* [online]. B.m.: Elsevier, 2012. ISBN 9780080970165. Dostupné z: doi:10.1016/C2010-0-68548-8