

Testování opotřebení běhounových směsí pro MOTO

Petr Mičunek

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Mičunek**

Osobní číslo: **T14602**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Testování opotřebených běhounových směsí pro MOTO**

Zásady pro vypracování:

1. vypracování literárních studií na dané téma
2. příprava zkušebních vzorků pro experiment
3. provedení experimentu
4. vyhodnocení naměřených výsledků



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

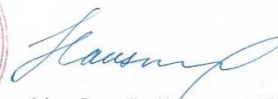
Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 3. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Petr Mičunek

Obor: Technologická zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Vsetíně 5. 5. 2016



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídáne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

Ve Vězeň 2. 2. 2016

Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na testování opotřebení běhounových směsí moto pneumatik. Směsi, na kterých byly prováděny testy, jsou určeny pro průmyslové zpracování a výrobu mimosilničních a moto pneumatik. Tyto pneumatiky se vyznačují vysokou mírou opotřebení v těžkých podmínkách. Teoretická část se zabývá popisem jednotlivých částí pneumatik a popisem testovacích metod, jejichž pomocí se určují vlastnosti pneumatiky. Praktická část je zaměřena na testování vzorků gumárenských směsí, a tím určení mechanických vlastností. Nakonec byly hodnoty opotřebení porovnány s hodnotami mechanických vlastností. Na základě porovnání opotřebení a mechanických vlastností směsí byla hledána souvislost mezi naměřenými hodnotami.

Klíčová slova: běhoun, pneumatika, gumárenská směs, opotřebení, mechanické vlastnosti

ABSTRACT

This thesis focuses on testing the wear of tread compounds moto tyres. The mixtures on which tests were conducted are intended for industrial processing and production of off-road and motorcycle tyres. These tyres are characterized by a high degree of wear in difficult conditions. The theoretical part explains the parts of the tyre and a description of test methods which help determine the characteristics of the tyres. The practical part focuses on the sample testing of rubber compounds and the determination of mechanical properties. Finally the wear values are compared with the values of the mechanical properties. A study was carried out to check whether there is a relationship between the measured values of the wear and mechanical properties of the mixtures.

Keywords: tread, tyre, rubber mixtures, wear and tear, mechanical properties

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Davidu Maňasovi Ph.D. za všechny konzultace, rady, připomínky a informace, které mi během vypracovávání této práce poskytnul. Toto poděkování patří také těm, kteří mě při studiu podporovali.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 PNEUMATIKY | 12 |
| 1.1 HISTORIE..... | 12 |
| 1.2 CHARAKTERISTIKA PNEUMATIKY | 13 |
| 1.2.1 Účel pneumatiky | 14 |
| 1.3 KONSTRUKCE PNEUMATIKY | 15 |
| 1.3.1 Plášť pneumatiky..... | 16 |
| 1.3.2 Diagonální, radiální pneumatiky | 21 |
| 1.4 VZOREK BĚHOUNU PNEUMATIKY | 23 |
| 1.4.1 Tvar vzorku | 23 |
| 1.4.2 Materiál vzorku běhounu | 25 |
| 1.4.3 Výška vzorku běhounu..... | 26 |
| 1.4.4 Povrch vozovky, pneumatiky a součinitel adheze | 26 |
| 1.4.5 Měrný tlak ve stopě a součinitel adheze..... | 27 |
| 2 ZKOUŠENÍ PNEUMATIK | 29 |
| 2.1 ZKOUŠKY LABORATORNÍ..... | 30 |
| 2.1.1 Zkoušky statické..... | 30 |
| 2.1.2 Zkoušky dynamické | 31 |
| 2.1.3 Zkoušky opotřebenění..... | 32 |
| 2.1.3.1 Metoda Bussen-Schlobach..... | 35 |
| 2.1.3.2 Metoda du Pont-Grasselli | 35 |
| 2.1.3.3 Metoda Akron-Croydon..... | 36 |
| 2.1.3.4 Metoda Dunlop-Lambourn | 36 |
| 2.1.4 Zkoušky silniční | 37 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 38 |
| 3 CÍL PRAKTICKÉ PRÁCE | 39 |
| 3.1 VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ | 39 |
| 4 LABORATORNÍ TEST OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK | 41 |
| 4.1 MĚŘENÉ VLASTNOSTI..... | 41 |
| 4.1.1 Tahová zkouška..... | 42 |
| 4.1.2 Zkouška strukturní pevnosti | 42 |
| 4.1.3 Zkouška tvrdosti..... | 42 |
| 4.2 TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO RYCHLÝ TEST OPOTŘEBENÍ..... | 42 |
| 4.2.1 Rozměry keramického bříty | 43 |
| 4.2.2 Rozměry zkušebního tělesa | 44 |
| 4.3 ANALÝZA OPOTŘEBENÍ | 44 |
| 4.3.1 Podmínky experimentu | 45 |
| 4.3.2 Tahová zkouška..... | 45 |
| 4.3.3 Tažnost | 46 |
| 4.3.4 Strukturní pevnost Klasik..... | 46 |
| 4.3.5 Strukturní pevnost Trousers | 47 |
| 4.3.6 Tvrdost Shore A | 47 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.7 | Opotřebení..... | 48 |
| 4.3.8 | Modul (M50)..... | 48 |
| 4.3.9 | Modul (M100)..... | 49 |
| 4.3.10 | Modul (M200)..... | 49 |
| 4.3.11 | Modul (M300)..... | 50 |
| 4.3.12 | Modul (M500)..... | 50 |
| 5 | DISKUZE VÝSLEDKŮ..... | 51 |
| 5.1 | POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ..... | 51 |
| 5.1.1 | Opotřebení a pevnost v tahu..... | 51 |
| 5.1.2 | Opotřebení a tažnost..... | 52 |
| 5.1.3 | Opotřebení a strukturní pevnost Klasik..... | 53 |
| 5.1.4 | Opotřebení a strukturní pevnost Trousers..... | 54 |
| 5.1.5 | Opotřebení a tvrdost Shore A..... | 55 |
| 5.1.6 | Opotřebení a Modul (M50)..... | 56 |
| 5.1.7 | Opotřebení a Modul (M100)..... | 57 |
| 5.1.8 | Opotřebení a Modul (M200)..... | 58 |
| 5.1.9 | Opotřebení a Modul (M300)..... | 59 |
| 5.1.10 | Opotřebení a Modul (M500)..... | 60 |
| | ZÁVĚR..... | 61 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 62 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 64 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 65 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 67 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 68 |

ÚVOD

Ve výrobním podniku jsou pneumatiky testovány sérií zkoušek na kontrolu jejich výroby, pomocí kterých jsou odhaleny případné nepřesnosti a výrobní vady. Nejvhodnějším způsobem pro zjišťování kvalit a schopností pneumatik jsou zkoušky v reálných podmínkách. [14]

Testování pneumatik v reálných podmínkách je značně nákladné a velmi zdlouhavé. Vzhledem k vysokému tlaku ze strany uživatelů silně namáhaných pneumatik a jejich požadavku na vysokou zátěž a dlouhou výdrž, je nutné testovat opotřebení pneumatik i v laboratorních podmínkách. Zkoušky opotřebení musí co nejvíce odpovídat reálným podmínkám v těžkém terénu. Proto se využívá zkoušky odolnosti Chip – Chunk. Tato zkouška je speciální tím, že dochází k pravidelnému zasekávání ostrého nástroje do kotouče pryže, tím je způsobeno vykusování kousků pryže. Tako lze důvěrně nasimulovat jízdu v těžkém terénu po ostrých kamenech, které se zasekávají do běhounu pneumatiky a tím jej poškozují.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PNEUMATIKY

Pneumatika je podstatnou a nepostradatelnou částí motorového vozidla, která přispívá značnou měrou k jeho funkční dokonalosti. Bez pneumatiky by automobil nedosáhl své dnešní všestrannosti a popularity. [1]

Hlavním úkolem pneumatiky je zajistit bezprostřední styk vozidla s vozovkou. Musí přenášet zatížení vozidla, zprostředkovat přenos krouticího momentu, reakce na pohyb volantu a zajistit uspokojivé vlastnosti při jízdě (adheze, tlumit nerovnosti, nepřenášet vibrace). Pneumatiky by měly mít co nejmenší valivý odpor, což se významně projeví na spotřebě pohonných hmot. [4]

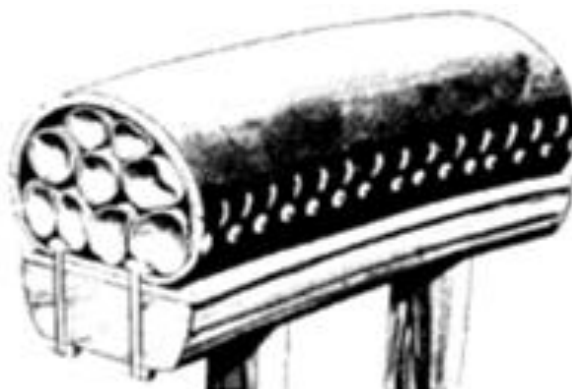
1.1 Historie

Kolo vynalezli před více než 5000 lety pravděpodobně Sumerové. V průběhu dalších tisíciletí bylo postupně vylepšováno. K nejvýznačnějším změnám kola došlo ve druhé polovině 19. století. Roku 1845 byl Robertu Wiliamu Thomsonovi udělen v Anglii patent na vzduchovou hadici, předchůdce moderní pneumatiky. [3]

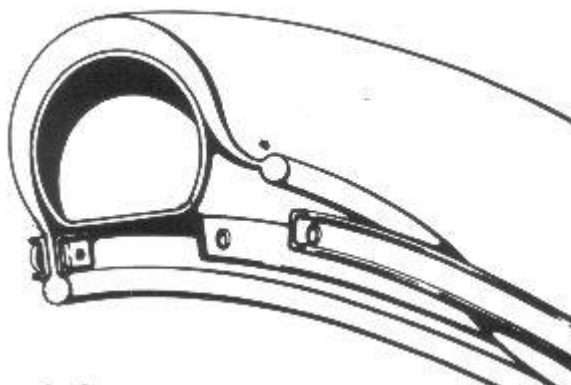
Na začátku výroby automobilů se brzy ukázalo, že dřevěná kola se železnou obručí jsou součástí, která brání vývoji automobilů. Tato dřevěná kola bránila průjezdnosti automobilu a zvýšení jeho rychlosti. Jedním z nejdůležitějších předpokladů k vynálezu pneumatiky byl objev vulkanizace přírodního kaučuku. Vulkanizace byla objevena Charlesem Goodyearem v roce 1839, a to pomocí náhody, když mu na plotnu kamen upadl kousek gumy. Jak gumu seškrabával, všiml si, že určitá část gumy se změnila na tvrdý a pružný materiál. Po řadě dalších pokusů, kde se snažil zjistit jak dlouho a na jakou teplotu je potřeba surovou gumu ohřát, aby dosáhl požadovaných vlastností, dostal roku 1844 patent.

Jako první si nechal v roce 1845 patentovat pneumatiky Robert William Thomson. První patentovaná pneumatika (obr. 1) využívala několik tenkých nafouklých hadic omotaných kolem obruče. Výhodou této pneumatiky byla schopnost odolat více defektům a umožňovala jízdu za různých podmínek. Výroba byla složitá a nákladná. Thomson tímto patentem předběhl dobu, neboť dopravní prostředky ještě nebyly tolik rozšířené, aby Thomsonův vynález našel praktické uplatnění. Další patent na moderní, vzduchem plněné pneumatiky získal John Boyd Dunlop v roce 1888. V této době se již vyráběla jízdní kola, kde se nový patent pneumatiky uplatnil. Od roku 1906 se vzduchem plněné pneumatiky začaly uplatňovat i v letectví. První odnímatelné pneumatiky vynalezli dva zemědělské inženýři v Clermont-Ferrandu ve střední Francii koncem roku 1891. Byli to průkopníci pneu techno-

logií bratři Michelinové. Jejich řešení bylo velmi úspěšné. Pneumatiky upevněné na vnějším prstenci oddělené trubkové osy se montovaly na masivní příruby obr. 2. [5], [9], [17]



Obr. 1. První patentovaná pneumatika. [17]



Obr. 2. První odnímatelná pneumatika. [16]

1.2 Charakteristika pneumatiky

Pneumatika z geometrického hlediska tvoří uzavřený prstenec tzv. teroid. Z mechanického hlediska se jedná o tlakovou nádobu, jejíž stěny jsou tvořeny pružnou membránou. Z chemického hlediska je pneumatika složena především z nesítěných a nezesítěných makromolekulárních materiálů a ocelí. Z hlediska strukturálního je pneumatika složitý systém s vysokými parametry.

Podle normy ČSN 64 0001 značí souborový termín pneumatika plášť s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a nahuštěný. Plášť je pružný, vnější část pneumatiky, která zprostředkovává styk s vozovkou, svou patní částí dosedá na ráfek, a má rozhodující podíl na vlastnostech celé funkční soustavy. [2]

1.2.1 Účel pneumatiky

Pneumatika je jednou z nejdůležitějších částí vozidla. Závisí na ní, zda je doprava rychlá, pohodlná a bezpečná. Pneumatika je souborný název pro plášť, popřípadě duši, a ochrannou vložku namontovanou na ráfek kola. Správná pneumatika musí vyhovovat podmínkám provozu na silnici.

Vedení směru – Pneumatiky vedou vozidlo přesně, bez ohledu na stav vozovky nebo klimatické podmínky. Stabilita vozidla je dána tím, do jaké míry dokáží pneumatiky držet stopu. Pneumatika musí vydržet příčné síly, aniž by vozidlo opustilo svou trajektorii. Z toho důvodu má vozidlo na každé nápravě v pneumatikách jiný tlak. Když uživatel vozu dodrží správný předepsaný tlak na přední a zadní nápravě, dosáhne ideální směrové stability vozidla.

Tlumení – Pneumatiky pohlcují nárazy při přejezdu přes překážky a chrání tak vozidlo před nerovnostmi na silnici. Tímto je zajištěno pohodlí posádky a přispívá to k prodloužení životnosti vozu. Hlavní vlastností pneumatiky je její vertikální pružnost. Díky elasticitě vzduchu, kterým je naplněna, je pneumatika schopná přizpůsobovat se překážkám a nerovnostem terénu. Správný tlak zaručuje komfort při jízdě.

Přenos výkonu – Pneumatika zaručuje přenos výkonu motoru a brzdící síly na vozovku. Přenos je dán kvalitou několika čtverečních centimetrů, které jsou v kontaktu s vozovkou.

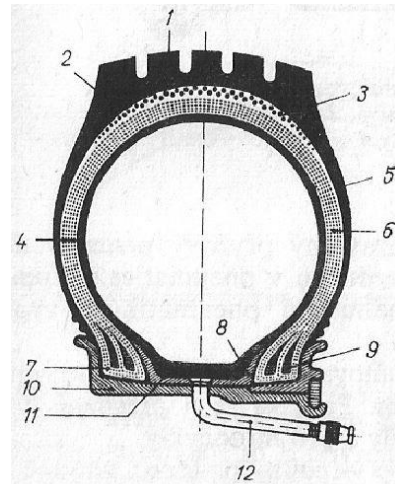
Nesení zátěže – Pneumatiky jsou oporou vozidla nejen při jízdě, ale i v případě, že vozidlo stojí na místě. Kromě toho musí být schopné odolávat zátěži při akceleraci a brzdění vozu. Pneumatika osobního vozidla nese více jak padesátinásobek vlastní hmotnosti.

Valivý pohyb – Čím nižším valivým odporem se pneumatiky odvalují, tím má řidič větší požitek z jízdy, pneumatiky se méně opotřebují a vozidlo má nižší spotřebu pohonných hmot.

Životnost – Pneumatiky mají v zásadě velikou životnost, i po miliónech otáček kola si zachovávají dostatečný výkon. Jejich opotřebení je přímo závislé na podmínkách jejího použití. Opotřebení pneumatik souvisí s jejich zátěží, stavem náprav, způsobem jízdy a stavem povrchu vozovky. [7]

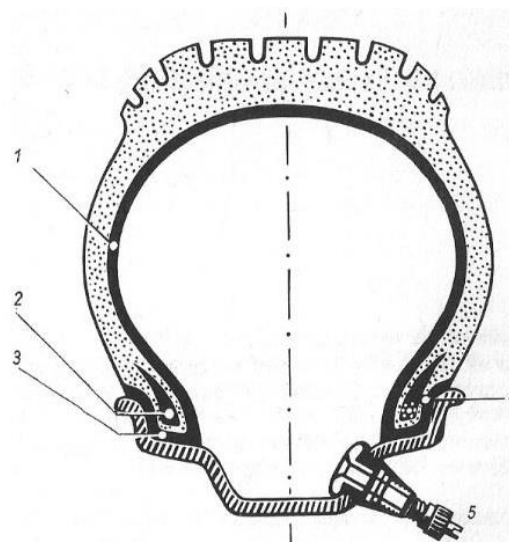
1.3 Konstrukce pneumatiky

Pneumatika je souborný název pro plášť, popř. duši, a ochranou vložku namontovanou na ráfek kola. Plášť (u bezdušové pneumatiky, Obr. 4), popř. duše (u dušové pneumatiky, Obr. 3), je naplněna tlakovým médiem.



1 – běhoun, 2 – rameno,
3 – nárazník, 4, 11 – duše,
5 – bočnice, 6 – kostra pláště,
7 – patka, 8 – ochranná
vložka, 9 – lana, 10 – ráfek,
12 – ventil

Obr. 3. Řez pneumatikou s duší [2]



1 – vnitřní pryžová těsnicí vrstva, 2 – ocelové lano,
3 – pryžová těsnicí vrstva patky, 4 – patka, 5 – ventil
s pryžovým těsněním

Obr. 4. Řez pneumatikou bezdušovou [2]

Plášť – je pružná vnější část pneumatiky, která přichází do styku s vozovkou, a svou patní částí dosedá na ráfek. Je složen z kostry zhotovené z pogumovaných kordových vložek, která je zakončena patkou obsahující ocelová lana, dále z nárazníků tvořících přechod mezi kostrou a běhounem, z běhounu a bočnice. U bezdušové pneumatiky je duše nahrazena vnitřní pryžovou těsnicí vrstvou, která zabraňuje úniku vzduchu.

Duše – je tenkostěnný, uzavřený pryžový prstenec, sloužící k udržení potřebného tlaku vzduchu v pneumatice. Je opatřena ventilem, který slouží k nahuštění i vypuštění vzduchu z pneumatiky.

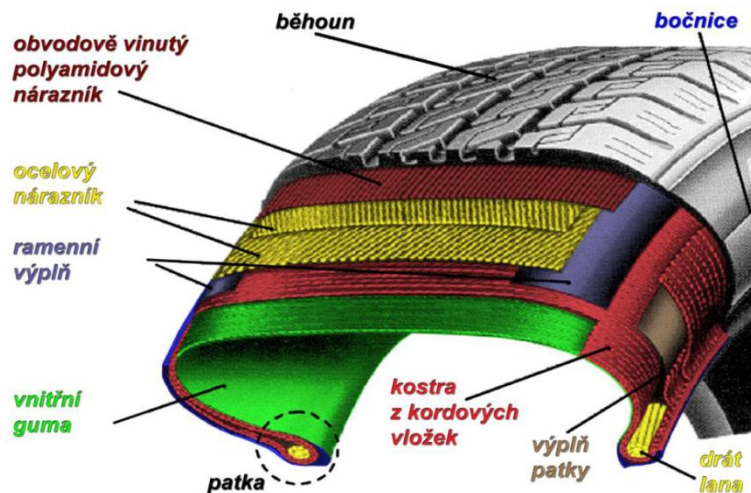
Ochranná vložka – je profilovaný pryžový prstenec chránící duši před poškozením ráfkem. Používá se převážně u pneumatik pro nákladní automobily a pro motocykly.

Ráfek – je jednodílný nebo vícedílný prstenec, vhodně tvarovaný pro uložení pláště, popř. s duší a vložkou, zprostředkující přenos sil mezi patkou pláště a střední nosnou částí kola. [2]

1.3.1 Plášť pneumatiky

Plášť pneumatiky je tvořen kostrou z kordových vložek opatřenou vnitřním gumovým pláštěm, ze svrchní strany nárazníkem a běhounem a z bočních stran bočnicemi. Jednotlivé části pláště mají pro funkci pneumatiky specifickou důležitost. Dále je opatřen patkami s lanky z ocelových drátů nebo plastů (kevlar). Hlavní vliv na deformační vlastnosti pneumatiky má, vedle materiálu kostry, počet a orientace jejich kordových vložek. Podle toho dělíme pneumatiky na diagonální, radiální a semiradiální. Všem částem pláště pneumatiky se věnuje velká pozornost jak z hlediska konstrukce, tak z hlediska složení kaučukových směsí, aby vyhovovaly požadavkům na bezpečnost jízdy motorového vozidla a životnost pneumatiky.

Každá pneumatika se skládá ze tří hlavních komponentů: pryž (80-85%), různá vlákna (12-15%) a ocelový kord (2-3%). Soudobá pneumatika je vlastně vyztužený pryžový kompozit. Základní struktura je zobrazena na *Obr. 5. Hlavní části pneumatiky*. Pláště pro osobní i nákladní automobily se skládají ze čtyř základních částí: koruna, rameno, bok a patka. [8]



Obr. 5. Hlavní části pneumatiky [18]

Běhoun

Běhoun je vrstva pryže na vnějším obvodu pláště, opatřená zpravidla vzorkem (dezénem), která přichází do styku s vozovkou. Hlavní funkcí běhounu je přenášet hnací sílu vozidla na vozovku, dále zlepšovat záběrový moment pneumatiky a její adhezi k vozovce za všech klimatických podmínek a zvyšovat účinnost brzdového systému. Tloušťka běhounu má vliv na tepelný stav pneumatiky, neboť teplo, které vzniká v plášti pneumatiky, je odváděno k povrchu, tj. do běhounu a bočnice. V běhounu také vzniká teplo a tak je důležitá jeho tloušťka. Z důvodu energetických ztrát a opotřebení se konstruktéři snaží, aby tloušťka stěn byla co nejmenší. Tloušťka běhounu je však určována hlavně hloubkou drážky v dezénu, která ovlivňuje životnost pneumatiky a potřebnou tloušťku materiálu pod drážkou, ke zvýšení odolnosti pryže proti praskání. Obvykle se tloušťka běhounu volí tak, že drážka tvoří asi 60%, a hmota pod běhounem asi 40%. To neplatí u plášťů pro nákladní vozidla, u nichž je většinou běhoun konstruován pro možnost dalšího prořezání. Moderní pneumatiky mají běhoun tvořený ze dvou vrstev. Spodní vrstva je z materiálu s velmi dobrými hysterezními vlastnostmi a vrchní z materiálu mimořádně odolného proti oděru. [2]



Obr. 6. Běhoun [15]

Nárazník

Nárazník je část pláště tvořící přechod mezi běhounem a kostrou pláště. K jeho výrobě se používá různých druhů materiálů. U diagonálních plášťů bývá zhotoven z obdobných kordů jako kostra. U plášťů s kostrou z viskóзовých kordů jsou nárazníky s viskóзовými kordy, u plášťů z polyamidových kordů jsou nárazníky s kordy polyamidovými. Nárazník zlepšuje dynamické spojení mezi kostrou a běhounem a současně zvyšuje odolnost kostry pneumatik proti průrazu. U diagonálních pneumatik se obvykle používá nárazníků dvou vložkových, s úhlem křížení asi 60° . Tyto nárazníky obemykají pneumatiku po celém jejím obvodu a musí mít dostatečnou pevnost, aby nebyly nataženy odstředivou silou, a tímto způsobem zachovávají průměr pneumatiky za všech podmínek. Rovněž musí být pevné i v příčném směru, aby odolávaly tlakům a namáhání při změně směru jízdy. Zároveň musí být ve svislém směru dostatečně ohebné, aby absorbovaly deformace způsobené nerovnostmi povrchu. Dnešní radiální pneumatiky mají výhradně nárazník z ocelového kordu. U automobilových pneumatik se používají v průměru dvě nárazníkové vrstvy, u pneumatik pro nákladní automobily se používá v průměru 3 až 5 nárazníků. [2], [8]



Obr. 7. Nárazník [15]

Kostra

Kostra pláště je část pláště tvořená kordovými vložkami zakotvenými kolem lan. Určuje řadu důležitých vlastností pneumatiky, k nimž patří především nosnost pneumatiky, její tvar a jízdní vlastnosti. Vlastnosti kostry pláště závisí na druhu použitých kordů a konstrukci, která byla pro plášť zvolena. Podle složení kordové vrstvy rozlišujeme pneumatiky radiální a diagonální. U diagonálních pneumatik rozhoduje o kvalitě kostry a především o její pevnosti pevnost použitých kordů, hustota počtu nití kordové tkaniny, počet kordových vložek a úhel, který spolu svírají kordové nitě ve dvou kordových vložkách. Počet vložek bývá zpravidla sudý. U radiálních pneumatik jsou pevnostní vlastnosti závislé na kvalitě kordů, na počtu vložek v kostře pláště a na konstrukci nárazníku. Kordové nitě jednotli-

vých vložek v kostře pláště radiální pneumatiky jsou kladeny ve směru kolmém na obvodovou kružnici, tedy nejkratším směrem od patky k patce. [2], [8]



Obr. 8. Kostra [15]

Patka

Patka pláště je zesílená část pláště, která dosedá na ráfek. Vytváří se ohnutím kordových vložek kolem patních lan. Ve zvlukanizovaném plášti pneumatiky tvoří potom pogumované kordy s ocelovým lanem tuhý systém, umožňující pevné ukotvení pláště na ráfek. Počet lan v patce se liší podle toho, zda je plášť určen pro osobní nebo nákladní automobil. Jádrem patky tvoří neprotržitelné patní lanko vyrobené z ocelového drátu o vysoké pevnosti, kolem kterého jsou přehnuty okraje kordových vložek. Konstrukce patky pláště pneumatiky sleduje její montáž na ráfek, správné uchycení pláště pneumatiky na ráfek a zajištění aby nedošlo k jejímu poškození raménkem ráfku. [2]

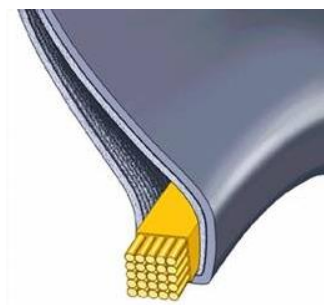


Obr. 9. Patka [15]

Patní lanko

Patní lanko je vyrobeno z velmi kvalitního ocelového drátu, který je pomosazen, aby se zlepšila adheze k pryži. Formuje vnitřní okraje pneumatiky a zajišťuje pevné usazení pneumatiky na ráfku. U bezdušových pneumatik slouží vnitřní okraje k vytvoření vzduchotěs-

ného spojení s ráfkem pro přenos podélných sil (díky tření mezi ráfkem a patkou pneumatiky). [8]



Obr. 10. Patní lanko [15]

Bočnice

Bočnice pláště chrání boční část kostry pláště pneumatiky před mechanickým poškozením a atmosférickými vlivy. Vyrábí se z pásků ze speciální kaučukové směsi, která se při konfekci pláště pokládá na kostru symetricky po obou stranách běhounu. Bočnice je při použití pneumatiky vystavena nebezpečí mechanického i chemického poškození, které se projevuje různými trhlinami, prasklinami, a zvrásněním. Nebezpečí spočívá v tom, že trhliny a praskliny postupují směrem ke kostře, čímž může dojít k úplnému poškození kostry a vyřazení pneumatiky z provozu. Velmi nebezpečným jevem je „stárnutí“ bočnice vlivem vzdušného kyslíku. Tento jev se eliminuje pomocí přísad proti stárnutí označovaných jako antioxidanty a antiozonanty. Na bočnici jsou zobrazeny popisy pneumatiky. [2]



Obr. 11. Bočnice [15]

Vnitřní guma

Vnitřní gumová vrstva je fólie nebo profil ze speciální, plyn nepropustné kaučukové směsi. Zabráňuje prostupování síry při vulkanizaci, vyrovnává nerovnosti uvnitř pláště, zajišťuje vzduchotěsnost a v bezdušových pneumatikách plní funkci duše.

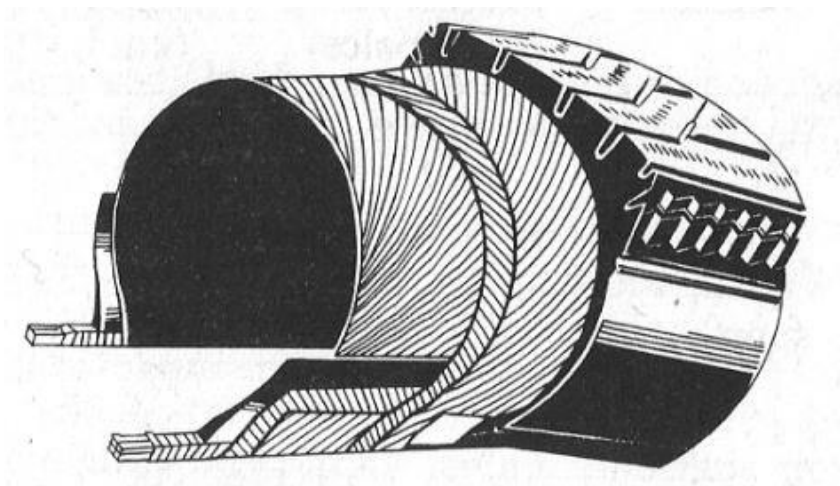


Obr. 12. Vnitřní gumová vrstva [15]

1.3.2 Diagonální, radiální pneumatiky

Diagonální pneumatiky

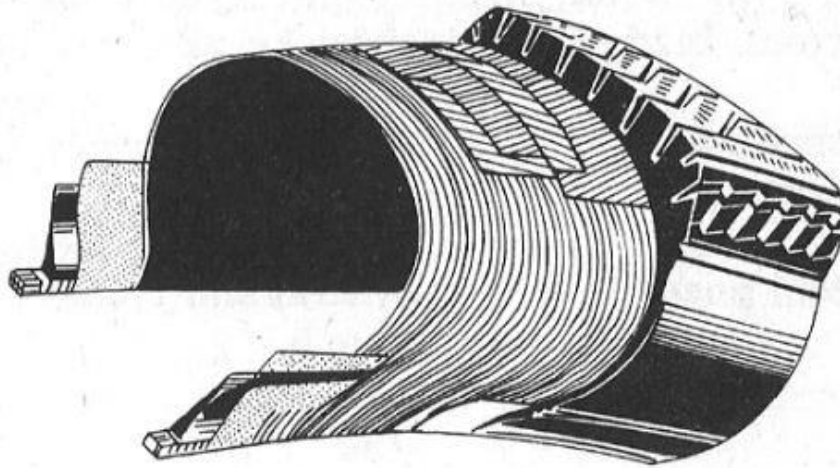
Tyto pneumatiky jsou konstruovány tak, že se kordové nitě v jednotlivých vložkách vzájemně kříží a svírají s obvodovou kružnicí úhel 32 až 40°. Počet vložek je obvykle sudý a vložky jsou přehnuty kolem patního lana. Tím je vytvořena pevná kostra pláště pneumatiky, schopná plnit základní funkce. Kordové vložky jsou opatřeny nánosem kaučukové směsi, která má dvojí význam. Jednak spojuje kordové vložky, jednak vytváří pevný systém pryž-kord, který je základem elastických vlastností pneumatiky. Vlákna přenášejí obvodové i příčné síly přímo do patky pláště. Při zatížení pneumatiky a její deformaci se vlákna neprodlužují, ale posunují a namáhají pryž mezi nimi na stříh. Jejimi výhodami jsou pevná struktura a silné bočnice, které mají zvláště v terénu vysokou odolnost proti proražení. Dnes je tato konstrukce považována za „klasickou“. Diagonální pneumatiky bývají nejčastěji vyrobeny z nylonu a mají maximální povolenou rychlost do 240 km/h. [2], [8]



Obr. 13. Schéma konstrukce diagonálního pláště pneumatiky [2]

Radiální pneumatiky

Tento typ pneumatik představuje v přítomné době nejvyšší kvalitativní stupeň ve výrobě pneumatik. Radiální pneumatiky mají v důsledku své konstrukce velmi dobrou adhezi k vozovce. Přizpůsobivost kostry pláště radiální pneumatiky terénu umožňuje dokonaleji využít běhounové plochy, a tím zvětšit plochu jejího styku s vozovkou. Tím se zvyšuje účinek brzd, čímž dochází ke zkrácení brzdné dráhy vozidla. Při jejich konstrukci se využívá kombinace kostry s radiálně uloženými nitěmi s pásovým nárazníkem, jehož nitě svírají s nitěmi kostry úhel téměř 90° . Pro konstrukci nárazníku se volí materiály s větším modulem, zejména oceli. Počet vložek nemusí být nutně sudý, jako je to u diagonálních pneumatiky. Tato část kostry přenáší boční a radiální síly. Schopnost přenášet obvodové síly je malá, a proto je kostra stabilizována obvodově neroztažitelným pásem, tzv. nárazníkem, který roznáší obvodové síly po celém obvodu ráfku. Radiální pneumatiky vyžadují při výrobě dvě operace a jsou také náročnější na přesnost výroby, i proto jsou cenově dražší. [2], [8]



Obr. 14. Schéma konstrukce radiálního pláště pneumatiky [2]

Výhody radiálních pneumatik

- Pomalejší opotřebení ve srovnání s diagonálními pneumatikami, a dvakrát větší kilometrový nájezd
- Zvýšená bezpečnost jízdy v důsledku větší stability vozidla při zatáčení a brzdění
- Zvýšená provozní rychlost, umožněná menším valivým odporem pneumatik
- Úspora paliva o 5 až 10% v důsledku menšího valivého odporu
- Lepší přilnavost na vozovce za všech klimatických podmínek
- Větší nostnost při stejném tlaku v pneumatice
- Menší hmotnost, což snižuje také hmotnost neodpružených hmot
- Větší směrová a tvarová stabilita i při vysokých rychlostech [2], [8]

1.4 Vzorek běhounu pneumatiky

1.4.1 Tvar vzorku

Tvar vzorku společně se směsí, ze které je vyroben, má z pozice pneumatiky největší vliv na adhezní součinitel pneumatiky. Podle účelu, pro který je pneumatika určena, rozeznáváme tři základní typy vzorků běhounů.

Pásový lamelový vzorek (Obr. 15. a)

Tento typ vzorku je vhodný při jízdě na silnici. Vzorek je upořádan tak, aby se hrany jednotlivých segmentů vzorku dokázaly zachytávat o mikro nerovnosti vozovky, jak v podélném, tak v příčném směru, přičemž drážky mezi segmenty vzorku jsou poměrně úzké. Typickým znakem pásového lamelového vzorku je velký počet segmentů dezénu. Při

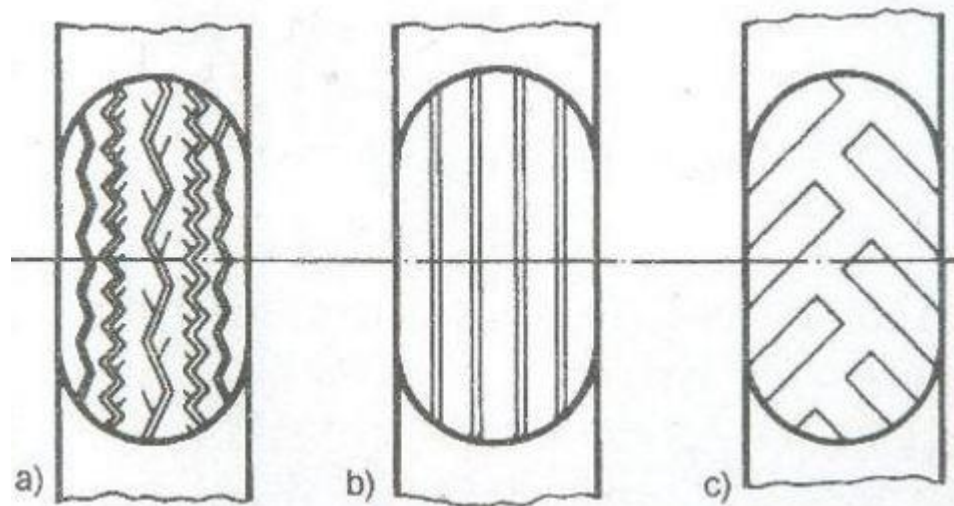
růstu počtu segmentů přímo úměrně roste počet hran, které se zachytávají o mikro nerovnosti vozovky, a tím se zvyšuje součinitel adheze pneumatiky. Poměrně malá rozteč drážek vychází z potřeby silničního pláště dosednout co největší plochou hmoty vzorku na vozovku. Tento požadavek však znemožňuje použití silniční pneumatiky v terénu. V terénu by došlo k zanesení úzkých drážek nečistotami, čímž by se snížila schopnost zachytávání hran vzorku o nerovnosti vozovky, a tím by došlo k výraznému snížení adheze. Přílnavost pneumatiky by byla odkázána pouze na prosté tření, jehož součinitel v terénu je velice malý. [14]

Pásový vzorek (Obr. 15. b)

Vzorek má pouze obvodové drážky, díky kterým má velikou schopnost přenášet boční síly. Jeho schopnost přenášet hnací nebo brzděné síly je ve srovnání s pásovým lamelovým vzorkem malá, jelikož postrádá hrany dezénu, které by byly schopné se zachytávat při akceleraci a brzdění o mikronerovnosti vozovky. Tento vzorek je vhodný pro nepoháněná a nebrzděná kola. [14]

Šípový vzorek (Obr. 15. c)

Tento vzorek je vhodný pro jízdu v terénu. Segmenty vzorku jsou přizpůsobeny pro přenos hnacích, brzděných i bočních sil. Základem přenosu sil je u této pneumatiky boření pneumatiky do určité hloubky a zachytávání segmentů vzorku o segmenty nez hutněné vozovky, vzniklé bořením pneumatiky. Drážky mezi segmenty vzorku jsou velice široké a jsou umístěny tak, že pneumatika má tzv. samočisticí efekt. Samočisticí efekt je vlastnost, díky které pneumatika při jízdě v terénu vytlačuje nečistoty a zbytky nez hutněné vozovky ven ze vzorku pneumatiky, a nedochází tak k zanesení drážek dezénu. Pneumatiku se šípovým vzorkem je možné použít i při jízdě na zpevněné vozovce, avšak pneumatika nebude dosahovat takových adhezních vlastností, jako pneumatika s pásovým nebo pásovým lamelovým vzorkem. Hlavním důvodem je malý počet hran dezénu schopných zachytávat se o mikronerovnosti vozovky. Pneumatika se šípovým vzorkem bude navíc na zpevněné vozovce trpět zvýšenou hlučností a segmenty vzorku budou podléhat většímu opotřebení. Výhodou pneumatiky se šípovým vzorkem na zpevněné vozovce bude vysoká odolnost proti vzniku aquaplaningu. [14]



Obr. 15. Typy vzorků běhounu [14]

1.4.2 Materiál vzorku běhounu

Vlastnosti materiálu, ze kterého je vzorek běhounu vyroben, mimo jiné určují, jaký způsobem bude povrch pneumatiky reagovat na změnu teploty prostředí, ve kterém se pneumatika pohybuje. Obecně se s rostoucí teplotou prostředí zvyšuje teplota pryže, ze které je běhoun vyroben, a pryž se stává náchylnější k opotřebení. Další nevýhodou nadměrně plastického běhounu pneumatiky je skutečnost, že změkčením dojde ke zvýšení pružnosti pneumatiky v axiálním (bočním) směru, jejíž působení je nežádoucí. Z toho důvodu je potřebné volit pro výrobu běhounu pneumatiky druh pryže vhodný pro určité teplotní podmínky. Ideální materiál pro výrobu vzorku běhounu by byl absolutně tuhý v axiálním směru, současně ale dostatečně pružný při přenosu sil působících na pneumatiku v obvodovém směru, aby dokázal tlumit rázy přicházející od hnacího a brzdného ústrojí při akceleraci a brzdění. Také musí umožnit zachytávání hran vzorku o mikronerovnosti vozovky. Materiál by dále musel být pružný při radiálním zatížení pneumatiky, aby dokázal tlumit nárazy vzniklé při jízdě přes nerovnosti na vozovce. Dostatečná pevnost materiálu by zajišťovala nízkou míru opotřebení, současně by materiál musel vykazovat vynikající přilnavost k vozovce (přilepování na vozovku), která je podmíněná dostatečnou plasticitou materiálu. Všechny tyto vlastnosti by si musel ideální materiál zachovat při všech teplotních podmínkách, které se při pohybu vozidla vyskytují. Z uvedených požadavků je zřejmé, že nároky kladené na materiál jsou velmi vysoké, v některých hlediscích protichůdné, a místy i z materiálového hlediska nerealizovatelné. Proto při výrobě běhounu musí docházet k určitým kompromisům a vznikají pneumatiky se specializací na různé povrchy, styly jízdy a teplotní podmínky. [14]

1.4.3 Výška vzorku běhounu

Výška vzorku běhounu ovlivňuje součinitele adheze, a tím i jízdní vlastnosti a stabilitu vozidla hlavně na vozovce s určitou vrstvou vodního filmu. Součinitel adheze na mokré vozovce klesá se zvyšující se obvodovou rychlostí kola tím prudčeji, čím nižší je vzorek běhounu pneumatiky. Na obrázku (Obr. 16.) je graficky znázorněna závislost při jízdě pneumatiky automobilu na vozovce s výškou vodního filmu 2-3mm. Tato závislost je zapříčiněna tím, že při zvětšování obvodové rychlosti pneumatiky se zkracuje čas, který mají drážky vzorku běhounu na to, aby odvedly požadované množství kapaliny z prostoru pod pneumatikou, což je příčinou klesající tendence křivky. Déle také tím, že zmenšování výšky vzorku zmenšuje drážkový prostor vzorku, a tím pádem už menší objem kapaliny na vozovce naplní drážku vzorku a proces vytlačení musí začít dříve, resp. při nižší výšce kapalinového filmu, než u vyššího vzorku. Kapalína, odvedena mimo stykovou plochu pneumatiky s vozovkou, je zdrojem síly, která působí proti tíze vozidla, čímž znemožňuje přenos maximální adhezní síly vozidla. Pneumatika je v podstatě odtlačena tlakovou silou kapaliny od vozovky. Při úplném odtlačení pneumatiky, tzn. v situaci, kdy tlaková síla kapaliny překoná tíhu vozidla, dojde k situaci, při níž se styk kola s vozovkou uskutečňuje pouze přes vrstvu kapaliny. V takové situaci prudce klesne hodnota součinitele adheze. Tento jev se nazývá akvaplanink. Další výhodou běhounu s velkou výškou vzorku je oproti běhounu s malou výškou vtom, že dosahuje většího součinitele adheze na kluzkých vozovkách. Součinitel adheze závisí na součiniteli tření pryže, ale zároveň i na zachytávání hran vzorku o mikronerovnosti vozovky. Čím kratší je pryžový výstupek, tím je potřebná větší tečná síla k tomu, aby jej zdeformovala v obvodovém směru a natočila jeho hranu tak, aby se mohla co nejučinněji zachytávat o mikronerovnosti vozovky. Na kluzkých vozovkách je vznik těchto tečných sil omezený. [14]

1.4.4 Povrch vozovky, pneumatiky a součinitel adheze

Povrch vozovky je v praxi z hlediska bezpečnosti silničního provozu nejvýznamnějším činitelem změny součinitele adheze. Vlastnosti povrchu vozovky se totiž během jízdy automobilu průběžně mění v závislosti na stáří vozovky, materiálu ze kterého je vozovka vyrobena, na jejím znečištění a na klimatických podmínkách. Posoudit součinitele adheze vozovky je z pohledu řidiče automobilu během jízdy mnohdy složitý úkol. Obecně platí, že na pozemních komunikacích je možno dosahovat součinitele adheze v rozmezí od 0,1 na náledí do 1,0 na suchém betonu. Ve výjimečných případech je možné dosahovat součinitele adheze větší než 1. Na suché, čisté vozovce je dosahováno vyššího součinitele adheze

než na vozovce mokré nebo znečištěné blátem. Přehled průměrných hodnot součinitele adheze na různých površích je zobrazen na Obr. 16.

Povrch pneumatiky, zejména pak její běhoun, je jedinou částí pneumatiky, na které přímo závisí součinitel adheze pneumatiky na daném povrchu. Při navrhování a konstrukci běhounu a vzorku běhounu pneumatiky se musí dbát na to, aby pneumatika dosahovala co nejlepších adhezních vlastností na všech typech a druzích povrchů, pro které je pneumatika určena. Úkol navrhnout takovouto univerzální pneumatiku, není úkolem snadným, protože vlastnosti pneumatiky závisí na řadě protichůdných způsobů konstrukčních řešení. [14]

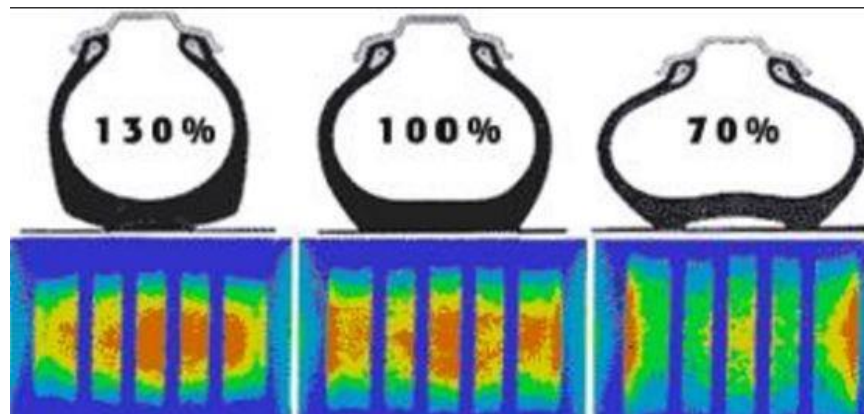
| Druh povrchu | Součinitel adheze |
|-----------------------------|-------------------|
| beton | 0,7 - 1,0 |
| asfalt - suchý | 0,7 - 0,9 |
| - mokrý | 0,3 - 0,5 |
| makadam | 0,5 - 0,7 |
| hlinitá polní cesta - suchá | 0,8 |
| písečná polní cesta - suchá | 0,7 |
| louka - nepokosená | 0,5 |
| - pokosená | 0,7 |
| vlhké strniště | 0,6 |
| ulehlá ornice | 0,5 |
| písek - vlhký | 0,4 |
| - suchý | 0,3 |
| ujetý sníh | 0,2 - 0,3 |
| náledí | 0,1 |

Obr. 16. Součinitel adheze povrchu [14]

1.4.5 Měrný tlak ve stopě a součinitel adheze

Měrný tlak ve stopě vzniká v důsledku působení zatížení kola na styčnou plochu pneumatiky s vozovkou. Z obecné rovnice pro výpočet tlaku, kde $p = \frac{F}{S}$, vyplývá, že čím větší je styčná plocha pneumatiky s vozovkou, tím menší je měrný tlak ve stopě. Velikost styčné plochy je u jednoho typu pneumatiky proměnná veličina, jelikož je ovlivnitelná tlakem huštění pneumatiky. Čím větší je tlak huštěné pneumatiky, tím je styčná plocha mezi pneumatikou a vozovkou menší. Proto můžeme tvrdit, že měrný tlak je funkcí zatížení pneumatiky jejího huštění. Standardně jsou pneumatiky huštěny atmosférickým vzduchem. V současnosti se ale stává populárním huštění pneumatiky směsí dusíku a argonu. Tato směs má řadu vhodných vlastností, jako například teplotní a objemovou stálost. Závislost růstu součinitele adheze na zmenšování tlaku v pneumatikách platí pouze do určité hodnoty tlaku. Po poklesu tlaku huštění pod tuto mezní hodnotu začne součinitel adheze pneumatik klesat, jelikož vzorek pneumatiky přestává plnit svou funkci zachytávání hran vzorku o

mikronerovnosti vozovky, a styčná plocha pneumatiky s vozovkou se začíná deformovat viz. Obr. 17. Vzorek běhounu je v určitých místech nařezán tak, že vznikají lamely. Ty se při akceleraci a styku s vozovkou od sebe rozevřou, a tím obohacují vzorek o další přídavné hrany potřebné pro lepší adhezní vlastnosti pneumatiky. Pokud není pneumatika dostatečně nahuštěná, lamely neplní svoji funkci. [14]



Obr. 17. Měrný tlak ve stopě [14]

2 ZKOUŠENÍ PNEUMATIK

Zkoušení pneumatik pro silniční vozidla se provádí nejen v laboratorních podmínkách na zkušebních zařízeních, ale také v reálných podmínkách, kde jsou zkoušeny na speciálních zkušebních drahách nebo přímo v provozu. Nejvhodnějším způsobem zjišťování kvality a životnosti pneumatiky je testování v reálných podmínkách. Vzhledem k podstatně delší životnosti pneumatik, než jiných průmyslových výrobků, je časový interval praktických zkoušek dlouhý. Je však nutné ověřovat kvalitativní parametry pneumatik v kratších časových intervalech, aby byla možnost provádět technické a technologické úpravy, a vyhnout se tak riziku, že bude vyrobeno velké množství výrobků s vadou.

Při výrobě pneumatik se věnuje zvýšená pozornost všem výrobním procesům od přípravy kaučukové směsi až po vulkanizaci pláště pneumatik.

Zkoušky kaučukových směsí mají svůj pevný řád a umožňují chemikům a technologům vyhodnotit kvalitu již v úvodní fázi výroby. Kvalita dalších polotovarů se obvykle hodnotí měřeními běhounů, bočnic, kordových a ostatních tkanin, výplňových profilů a patních lan. Vizuální kontrola zjišťuje kvalitu konfekčních prací a také přípravných prací před samotným lisováním a vulkanizací. Po vulkanizaci se hodnotí zvulkanizovaný plášť pneumatiky kontrolou jeho povrchu, kde se mohou vyskytovat vzhledové vady, např. nedolisky nebo funkční vady, jako jsou nespojené části pláště a poškozené pláště pneumatiky. Moderní diagnostické metody dnes využívají průmyslový rentgen, který umožňuje přesné zhodnocení kostry pláště pneumatiky, zejména rozložení kordových nití v kostře a v nárazníku, což je velmi důležité pro kontrolu pláště pneumatik s ocelovým výztužným pásem a pneumatik celooceľových. Do kontrolních metod v rámci výrobního procesu se řadí také hodnocení rovnoměrnosti v rozložení hmoty po obvodu pláště pneumatiky. Proto se pláště dělá tzv. „uniformity test“, jehož účelem je přesné zhodnocení rovnoměrnosti pneumatiky, která je důležitou podmínkou pro bezpečnou a pohodlnou jízdu. Vibrace způsobené nerovnoměrným rozložením hmoty se projeví zejména při vyšších rychlostech, kdy jsou nepříjemné a nebezpečné.

Všechny laboratorní zkoušky kaučukových směsí, hodnocení polotovarů a hodnocení rovnoměrnosti pláště pneumatik umožňuje zjistit nedostatky, nedávají však komplexní odpověď na funkční vlastnosti a kvalitu povrchu. Kvalifikovaným kompromisem pro řešení situace je provádění zkoušek ve zkušebně. Komplex zkoušek obsahuje geometrická měření a statické i dynamické zkoušky. [3]

2.1 Zkoušky laboratorní

Laboratorní zkoušky jsou prováděny v laboratořích za přesně definovaných podmínek. Jistou výhodou těchto zkoušek je jejich vysoká míra opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, která je dána možností přesné regulace zkušebních podmínek a parametrů. Mezi hlavní zkoumané parametry se zařazují v závislosti na charakteru zkoušek rychlost, hustící tlak, úhel odklonu, radiální zátěž, teplota okolí, úhel směrové odchylky, relativní vlhkost a čas trvání jednotlivých zkušebních kroků. [8]

2.1.1 Zkoušky statické

Při těchto zkouškách se měří vlastnosti ve statickém stavu, čili nedochází k žádné rotaci nebo odvalování pneumatiky. Zkoušení jako takové začíná zjištěním hmotnosti pláště, určením tvrdosti běhounu a měřením hloubky koruny pláště. Následně se plášť namontuje na zkušební ráfek, nahustí se na požadovaný tlak, zkontroluje se vzduchotěsnost pláště a v případě potřeby se plášť stabilizuje zaběhnutím na bubnovém zkušebním stroji. Jakmile je pneumatika namontovaná a nahuštěna, měří se její základní vnější rozměry. Mezi základní rozměry patří celková šířka, vnější průměr a obvod pneumatiky.

Tuhost pneumatiky

Při charakterizaci tuhosti pneumatiky se měří závislost síly a deformace na měřicím stole.

Statická radiální tuhost je měření deformace nahuštěné pneumatiky v závislosti na velikosti radiální zátěže pneumatiky.

Statická boční tuhost se získává ze závislosti boční deformace na působící boční síle.

Statická obvodová tuhost se měří pohybem stolu v podélném směru.

Statická torzní tuhost je založená na měření torzního momentu pneumatiky v závislosti na úhlu natočení měřicího stolu.

Stopa pláště

Statická stopa pláště se získá přitlačením nahuštěného pláště s běhounem natřeným barvou na tvrdý papír. Poté se otisk stopy naskenuje a vyhodnotí se rozměry stopy a plnost vzorku.

Pevnost pláště

Pevnost pláště se zkouší dvěma způsoby. První je zkouška průrazem trnu, při které je vtlačován zaoblený trn definovaného tvaru a velikosti do středu koruny pláště nahuštěné a

upevněné pneumatiky. Zde se měří průrazová energie. Druhá je zkouška vodním tlakem, která se provádí tak, že do pláště pneumatiky, který je namontovaný na speciálním ráfku, se vpouští tlaková voda až do porušení pláště. Výsledkem je mimo tlak a objem vody při porušení pláště i vyhodnocení místa a rozsahu porušení pláště pneumatiky.

Dosedací síly v patce

Měření se provádí pomocí čelistí, které plášť hydraulicky roztahují. Takto se stanoví radiální tuhost patky pláště, která má významný vliv na bezpečnost a montáž pneumatiky na ráfek. Nízká radiální tuhost může mít za následek sklouznutí patky z ráfku při působení bočních sil.

Vzduchotěsnost

Vzduchotěsnost bezdušové pneumatiky se hodnotí stanovením úbytku tlaku vzduchu v pneumatice a to ponořením pneumatiky do vody a následným sledováním vzniku vzduchových bublin, nebo měřením poklesu tlaku vzduchu v pneumatice po předem určené době.

Další důležitou charakteristikou nových a obnovených plášťů je hloubka drážek vzorku a výška indikátoru opotřebení, které se měří pomocí hloubkoměrů. Výsledkem je nejmenší naměřená hloubka vzorku. [6]

2.1.2 Zkoušky dynamické

Při těchto zkouškách se prověřují charakteristiky trvanlivosti plášťů odvalováním se na vnějším nebo vnitřním povrchu ocelového zkušebního bubnu při dodržení předepsaných podmínek. Dobu trvání zkoušek určuje předepsaný čas nebo narušení struktury a celistvosti pláště.

Zkoušky rychlostní

Tyto zkoušky jsou zaměřeny na prověření trvanlivosti plášťů při vysokých rychlostech, které se přibližují nebo překračují rychlostní kategorii pláště. Jejich trvání je v porovnání se zkouškami únavovými krátké. Čas trvání je 60 až 150 minut. Během zkoušky se otáčky ocelového bubnu v předepsaných časových krocích postupně zvyšují až do dosažení určitého času nebo až do destrukce. Pro úspěšnou zkoušku se na plášti nesmí objevit žádné známky narušení. Jako typické narušení pláště při rychlostních zkouškách je vytržení gumy ze vzorku nebo separace výstužných pásů.

Zkoušky únavové

Účelem těchto zkoušek je zjištění trvanlivosti pláštěů pneumatiky. Doba trvání je delší než u zkoušek rychlostních. Čas trvání je 80 až 250 hodin. Tyto zkoušky se provádějí při konstantní rychlosti a jsou nejčastěji zaměřené na patky pláště a oblast kostry. Při únavových zkouškách patky se používá nižší rychlost a vyšší radiální zatížení. U únavových zkoušek kostry se používá vyšší rychlost a pneumatika je z pravidla přehuštěná. Po ukončení zkoušky se zjišťuje případná příčina narušení pláště.

2.1.3 Zkoušky opotřebení

Zkoušky odolnosti proti oděru

Zkoušky odolnosti mohou být rozděleny do dvou hlavní typů. První využívají volné brusivo, druhé využívají pevné brusivo. Volná brusiva ve formě prášku mohou být použita na způsob stroje pro tryskání, jako simulace působení písku, nebo podobné brusivo dopadající na gumu v provozu. Volné brusivo může být také použito mezi dvěma kluznými plochami. Například dopravní pásy podléhají oděru sypkých látek. Automobilová pneumatika je příkladem, kde je kombinace pevného brusiva v podobě silnice a sypkého brusiva v podobě kamení. Pevné brusivo se může skládat z různého materiálu, ale nejčastěji jde o brusné kotouče, brusný papír nebo tkanina a kovové nože. [10]

Zkušební zařízení a používané metody zkoušek opotřebení

V následujícím seznamu jsou uvedeny ty testy opotřebení, které mají největší význam v gumárenství a plastikářském průmyslu.

Zkušební zařízení:

Akron: Geometrie kolo na kolo, má schopnost měnit míru skluzu změnou relativního úhlu kol. Příklad použití této metody - obrazec 3.

DuPont (Grasselli): Několik malých, plochých tvarových zkušebních vzorků na rotujícím brusném papírovém disku. Příklad použití této metody - obrazec 2.

Frick Taber: Brusné kolo na disku zkušební vzorku s přidávným proudem brusného prášku. Významná simulace pro opotřebení podlahy. Příklad použití této metody - obrazec 4.

LAT 100: Sofistikovaný počítačem řízený přístroj umožňující změnu několika parametrů. Geometrie kolo na disku. Příklad použití této metody - obrazec 4.

Lambourn (Dunlop): Oba zkušební vzorky jsou poháněny. Ke skluzu dochází brzděním vířivými proudy. Příklad použití této metody - obrazec 3.

Zlepšený Lambourn: Výrazně zdokonalená konstrukce. Zkušební vzorek a brusné kolo jsou poháněné nezávisle na sobě. Příklad použití této metody - obrazec 3.

Martindale: Disk zkušební vzorku na plátně brusného disku. Vzor relativního pohybu tvoří Lissajousovy obrazce dávající více směrné opotřebení. Standardní metoda pro potahované tkaniny. Příklad použití této metody - obrazec 1.

NBS: Malý čtvercový zkušební vzorek ve styku s otáčivým bubnem pokrytým brusným papírem. Používá se zejména pro směsi obuvi. Příklad použití této metody - obrazec 6.

Pico: Disk zkušební vzorku se otáčí s dodávaným jednotným proudem prášku a je ve styku s párem wolframových nožů. Příklad použití této metody - obrazec 7.

Rotační válcový buben: Malý disk zkušební vzorku přejíždí rotující válec pokrytý brusným papírem, který uvolňuje velké množství brusiva/zkoušená oblast. Příklad použití této metody - obrazec 6.

Rotační válcový mlýn: Zkušební vzorky (obvykle kola) a brusné částice jsou spolu uvnitř rotujícího dutého bubnu. Pohyb simuluje činnost volně proudícího brusného materiálu. Příklad použití této metody - obrazec 8.

Schiefer: Zkušební vzorek a brusivo jsou dva disky uspořádané tak, jak je znázorněno na obrázku. Pohyb vytváří více směrný oděr. Může být použito různé brusivo, včetně rýhovaných kovových povrchů. Příklad použití této metody - obrazec 5.

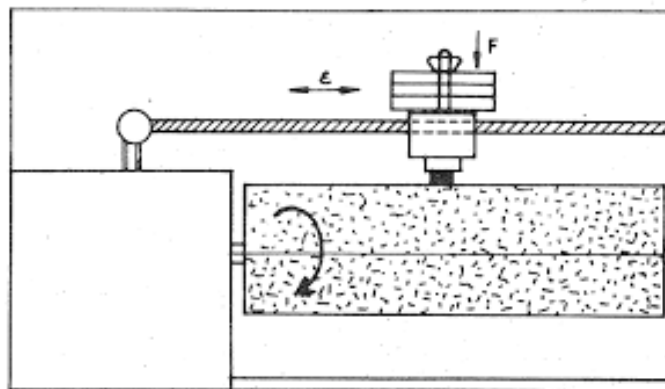
Taber: Pár brusných kol v kontaktu s poháněným plochým diskem zkušební vzorku. Sílu na kolech a povahu brusiva lze snadno měnit a zkouška může být provedena v přítomnosti kapaliny. Příklad použití této metody - obrazec 4. [10]

Tab. 1. Metody zkoušek opotřebení [10]

| 1 – testovaný vzorek, 2 – brusivo, F – přídržná síla | | |
|--|---|--------|
| Obrazec | Zkušební postup | Nákres |
| 1 | Zkušební vzorek je lineárně vratný ve styku s tabulí brusiva. | |
| 2 | Zkušební vzorek je držěn proti rotujícímu kotouči s brusivem. | |
| 3 | Zkušební vzorek i brusivo jsou ve tvaru kola, z nichž jedno může být poháněno. | |
| 4 | Rotující zkušební vzorek pohání brusný disk. | |
| 5 | Rotující zkušební vzorek je držěn proti rotujícímu disku. | |
| 6 | Zkušební vzorek je držěn proti rotujícímu bubnu. | |
| 7 | Brusné kovové nože jsou drženy proti otáčejícímu se zkušebnímu vzorku ve tvaru disku. | |
| 8 | Zkušební vzorky a brusné částice uvnitř rotujícího bubnu. | |

2.1.3.1 Metoda Bussen-Schlobach

Zkušební těleso má tvar válce o průměru 16 mm a výšce od 6 do 16 mm. Čelní plochy zkušebního tělesa mají být kolmé k jeho ose. Těleso se vysekne kruhovým nožem nebo se vyřízne nožem rotačním. Zkušební zařízení se skládá z vodorovného otočného válce poháněného elektromotorem. Válec je opásán odíracím prostředkem. Objímka, do které se vkládá pouzdro se zkušebním tělesem, je upevněna na kyvadlovém jezdcí. Pouzdro je uloženo volně a opatřeno ve vodítku ozubeným kolečkem, které popojížděním po hřebenu uvádí zkušební těleso do plynulého a pravidelného otáčivého pohybu. Váha jezdce a objímky s pouzdem pro zkušební těleso je vyměřena tak, aby odíraná plocha zkušebního tělesa byla přitlačována na odírací prostředek vahou 1 kg. Před zkoušením se očistí odírací prostředek. Zkušební těleso je nutno před vlastním zkoušením předbrousit. Před vlastní zkouškou se předbroušené, očištěné těleso váží s přesností na 1 mg. Nejprve se zkouší těleso standardní pryže, potom zkušební tělesa zkoušené pryže a nakonec opět zkušební těleso standardní směsi. Váhový úbytek standardní směsi se pohybuje v rozmezí 150 až 250 mg na 40 m odírací dráhy při specifickém zatížení $0,5\text{kg/cm}^2$. [11]

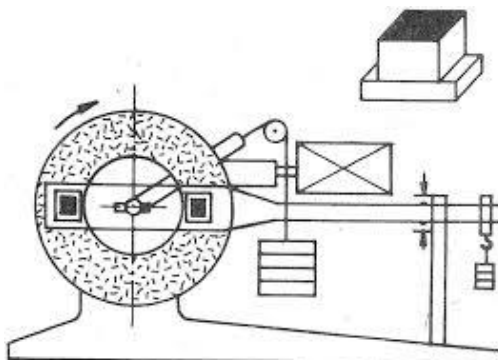


Obr. 18. Zkušební zařízení Bussen-Schlobach [12]

2.1.3.2 Metoda du Pont-Grasselli

Zkušební tělesa mají čtvercový průřez o straně 20 mm a tloušťku 10 mm a jsou opatřena patkami pro upnutí. Upevňují se na páku přístroje a při zkoušce jsou přitlačovány na odírací prostředek ve tvaru mezikruží tlakem $0,425\text{ kg/cm}^2$. Odírací prostředek se otáčí rychlostí 37 otáček za minutu. Na jednom odíracím prostředku se předbrousí nejprve dvojice zkušebních standardních těles, potom dvě dvojice zkušebních těles zkoušené pryže a nakonec opět dvojice zkušebních těles standardní pryže. Doba odírání se řídí, podle jakosti zkoušeného materiálu od 3 min do 5 min. Vážením se poté zjišťuje úbytek zkušebních těles. Tyto

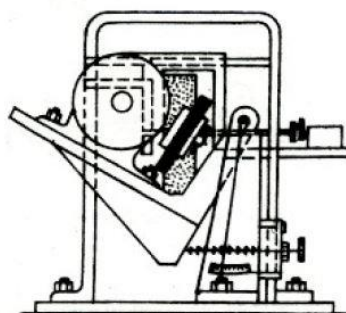
zkoušky se využívají pro hodnocení opotřebení běhounových směsí, neboť jsou velmi podobné silničním zkouškám. [11]



Obr. 19. Zkušební zařízení du Pont-Grasselli [12]

2.1.3.3 Metoda Akron-Croydon

Zkušebním tělesem je dutý kotouč s vnějším průměrem 64 mm a tloušťkou 12,7 mm. Vnitřní průměr je 43,6 mm a připravuje se lisováním. Zkušební těleso, jež se nasune na hřídel přístroje, se otáčí rychlostí 250 otáček za minutu. Na ně je tlačěn pod úhlem 15° karborundový kotouč tlakem asi 2,8 kg/cm². Předbrušuje se při 2000 otáčkách, vlastní odíraná se provádí třikrát po 500 otáčkách. Při zkoušení se postupuje tak, že nejprve se zkouší těleso standardní pryže, potom dvě zkušební tělesa zkoušené pryže, a nakonec opět zkušební těleso standardní pryže. [11]

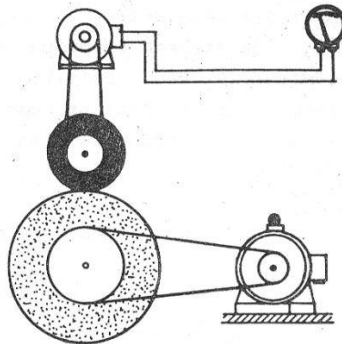


Obr. 20. Zkušební zařízení Akron-Croydon [11]

2.1.3.4 Metoda Dunlop-Lambourn

Zkušebním tělesem je dutý kotouč s vnějším průměrem 64mm, vnitřním průměrem 43,6 mm a tloušťkou 10 mm. Zkušební těleso se otáčí rychlostí 600 otáček za minutu. Na zkušební těleso se přitlačuje korundový kotouč, který má samostatný pohon. V místě styku vzniká vlivem rozdílných otáček prokluz, který má u prováděných zkoušek hodnotu 16%.

Nejprve se zkouší těleso ze standardní pryže, potom dvě zkušební tělesa zkoušené pryže, a nakonec opět těleso standardní pryže.



Obr. 21. Zkušební zařízení Dunlop-Lambourn [12]

2.1.4 Zkoušky silniční

Tyto zkoušky se provádějí na speciálně vybudovaných drahách nebo v běžné silniční síti. Zkušební dráha je až několik desítek kilometrů dlouhá a obsahuje všechny druhy vozovek a terénů, v nichž jsou v praxi pneumatiky používány. Zkoušení pneumatik na zkušební dráze je velmi nákladné, zejména z hlediska investičních prostředků, které je nutné k vybudování této dráhy. Umožňuje však rychlé provádění praktických zkoušek, zjišťování všech jízdních vlastností pneumatik, zejména stabilitu, brzdící vlastnosti, akvaplanink, pohodlnosti jízdy a další zkoušky na různých vozovkách a v různých terénech. Zkoušky na zkušební dráze nebo na silnicích se musí konat podle předepsané metodiky, která musí být důsledně dodržena. [3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍL PRAKTICKÉ PRÁCE

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část
3. Provedení experimentu
4. Vyhodnocení naměřených hodnot

3.1 Vyhodnocování výsledků měření

Při statistickém vyhodnocování výsledků měření byly použity následující vztahy:

Aritmetický průměr: „ \bar{x} “ (výběrový) s n jednotlivých výsledků x_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) je suma výsledků dělena jejich počtem n:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Rozptyl: „ s^2 “ Je vhodný pro zjišťování řady n hodnot náhodného výběru se suma čtverců odchylek jednotlivých hodnot od aritmetického průměru dělí tzv. počtem stupňů volnosti $f = n - 1$.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Směrodatná odchylka: „s“ Absolutní hodnota druhé mocniny

$$s = \left| \sqrt{s^2} \right| \quad (3)$$

Variační koeficient: „v“ Relativní rozptýlení náhodného výběru, jenž je charakterizován hodnotou směrodatné odchylky podělené aritmetickým průměrem, vyjádřenou v procentech

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (4)$$

Střední kvadratická chyba aritmetického průměru: „ $\bar{\sigma}$ “ Využití pro hodnocení přesnosti měření se vychází ze střední kvadratické chyby „ σ “ podělenou mocninou z „ n “ měření.

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

Střední pravděpodobná chyba: „ \bar{g} “ udává takovou hodnotu chyby, při které je 50% pravděpodobnost, že se hodnota přesná neliší od aritmetického průměru více, než o tuto hodnotu a uvádí se za aritmetickým průměrem ve tvaru: $x \pm \bar{g}$

$$\bar{g} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (6)$$

Průměrná chyba:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\sqrt{n-1}} \quad (7)$$

4 LABORATORNÍ TEST OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK

U pneumatik pohybujících se v těžkých terénních podmínkách (Obr. 22) je mechanismus opotřebení zcela odlišný. Ostré hrany kamínků, kamenů a terénních nerovností postupně vyřezávají (vytrhávají) části běhounu, což je možné chápat jako určitý mechanismus obrábění. Je zde určitá podobnost např. s frézováním, i když za zcela specifických podmínek. Mechanismus opotřebení běhounů pneumatik pracujících v těžkých terénních podmínkách se odborně nazývá Chip – Chunk efekt a lze jej s určitým zjednodušením považovat za obrábění pryžového povrchu.



Obr. 22. Mimosilniční pneumatika [13]

Pro testy opotřebení bylo vybráno pět druhů běhounových směsí (A, B, C, D, E), které jsou určeny pro výrobu mimosilničních pneumatik a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány. Směsi byly vyrobeny na základě NR a BR a jako plnivo byly použity saze. Zvolené běhounové směsi představují reálné výrobky používané na výrobu moto pneumatik.

4.1 Měřené vlastnosti

Na základě analýzy vlastností, které mohou ovlivnit výsledné chování pryžových výrobků, bylo rozhodnuto provést u připravených vzorků následující měření:

- Tahové zkoušky (trhací stroj T 2000, Alfa Technologies FT UTB Zlín)
- Strukturní pevnost (trhací stroj T 2000)
- Tvrdost Shore (tvrdoměr HPE – D Bereiss, ÚVI FT UTB Zlín)
- Rychlý test opotřebení (ÚVI FT UTB Zlín)

Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byla připravena lisováním na laboratorním lisu typ 400x400, v laboratořích ÚVI FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám. [13]

4.1.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla realizována na trhacím stroji T 2000 od firmy Alpha Technologies. Test byl prováděn za konstantní rychlosti protahování 500 mm/min. Použité zkušební vzorky byly ve tvaru lopatek a jejich rozměry odpovídaly normě ČSN ISO EN 37 (621436).

4.1.2 Zkouška strukturní pevnosti

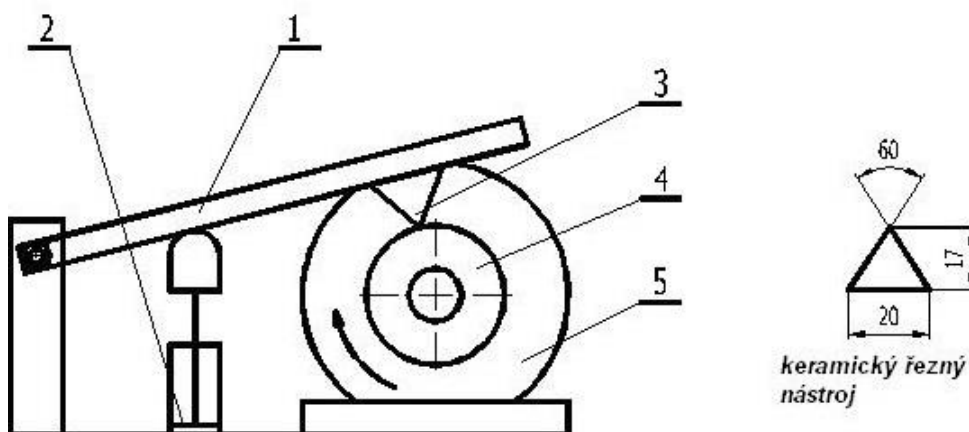
Zkouška strukturní tvrdosti byla měřena na stroji T 2000 od firmy Alpha Technologies. Test byl prováděn za konstantní rychlosti protahování 500 mm/min. Zkušební tělíska byla ve tvaru příslušných lopatek odpovídajících normě ČSN 621459.

4.1.3 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla měřena na tvrdoměru typu HPE – A Berreiss, metodou Shore A. Tvar a rozměr zkušebních tělísek byl zvolen dle normy ČSN EN ISO 868 (621431). Aplikované zatížení bylo 822 g.

4.2 Testovací zařízení pro rychlý test opotřebení

Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení, jehož princip je znázorněn na Obr. 23. Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování Chip – Chunk opotřebení (J. R. Beatty and B. J. Miksch in RCHT, vol. 55, p. 1531.). Bylo navrženo nové zařízení s možností změn parametrů testů, poskytující reálnou simulaci provozních podmínek. [13]



Obr. 23. Schéma zařízení pro testování opotřebení [13]

1 – rameno, 2 – pneumatický válec, 3 – keramický břit, 4 – zkušební těleso, 5 - elektromotor

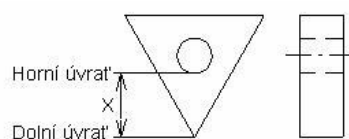
Rameno 1 otočné kolo čepu je zvedáno zvedacím ústrojím (píst pneumatického válce) 2. Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn speciální keramický břit 3, na rotující kotouč 4 (zkušební těleso) poháněné elektromotorem 5. Při dopadu na rotující kotouč břit postupně vysekává materiál a tvoří v kotouči drážku. Velikost drážky, utvořené břitem za určitý čas, je měřítkem opotřebení. Při návrhu museli být zohledněny následující požadavky:

- Otáčky kotouče (zkušebního tělesa) musí být nastavitelné v širokém rozmezí. Aby byl tento požadavek splněn, byl zvolen pohon elektromotorem s regulací otáček pomocí statického měniče kmitočtů. Tímto řešením odpadla nutnost redukce otáček převodovkou a byla zabezpečena regulace otáček prakticky od 0 do max. hodnoty. Pro pohon byl použit elektromotor typ 4AP80 – 6s a statický měnič kmitočtů typ Alitivar 08.
- Proměnlivý zdvih ramene. Aby bylo možné realizovat tento požadavek, byl navržen a realizován pneumatický mechanismus tvořený pracovním pístem s možností proměnlivého zdvihu. Pracovní válec je zásobován a řízen přímo ovládaným ventilem EVK 3120 firmy SMC. Tento proces je řízen řídicí jednotkou FESTO typ FEC-FC20/10W.
- Zabezpečit konstantní parametry břitu. Nejdříve byl pro tyto účely navržen břit z nástrojové oceli. Docházelo však k velmi rychlému opotřebení a tím ke změnám podmínek experimentu. Z toho důvodu byl odzkoušen keramický břit – upravená břitová destička pro řezné nástroje (typ TNGN 220308). Při úpravě byly zbroušením vytvořeny tři řezné břity s úhlem 60° . [13]

Keramické břity vykazovaly vynikající odolnost proti opotřebení. Pokud nedošlo k poškození břitu neopatrným zacházením, nebyl znatelný rozdíl mezi originální a opotřebovanou destičkou.

4.2.1 Rozměry keramického břitu

Zkušebním břitem je keramická destička TNGN 220608, jež slouží k vytvoření drážky ve zkoušeném pryžovém tělese (Obr. 24).



Obr. 24. Keramická destička [13]

4.2.2 Rozměry zkušebního tělesa

Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles (vzorků) byl navržen rozměr dle Obr. 25. Průměr zkušební vzorku byl zvolen 55 mm a šířka 13 mm, stejně jako je tomu u zkušebních těles pro stanovení odrazové pružnosti Luepke Obr. 25.

V průběhu testu byla do zkušebního tělesa vytvořena keramickým nástrojem drážka. Po zkušenosti s obráběním jiných materiálů zejména kovů, ale i dřeva, plastů aj., by se dalo očekávat, že tvar drážky bude pravidelný. Vzhledem k vlastnostem obráběné pryže, u které se výrazně projevil její elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vytrhávání materiálu v okamžiku dopadu břitu na rotující kotouč. Z těchto důvodů bylo taky upuštěno od představy vyhodnocování opotřebení – měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky. [13]



Obr. 25. Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení [13]

4.3 Analýza opotřebení

Na opotřebení má rozhodující vliv energie dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa. Pokud by se jednalo o pevné těleso, bude výpočet účinku dopadové energie poměrně jednoduchý. Elastické vlastnosti zkušebního tělesa však způsobují, že dojde po hlavním účinku (prvním dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa) ještě k sérii dalších účinků s menší intenzitou (poskakování po povrchu). Hlavní účinky keramického břitu mají pouze částečný vliv na celkové opotřebení. Ukázalo se, že posuzovat celkovou práci potřebnou k opotřebení (tj. vytvoření drážky ve zkušebním tělese) pouze uvažováním energie hlavního dopadu, by bylo značně zkreslené. Pro první otestování experimentálního zařízení se proto vycházelo z předpokladu, že výsledky v dané sérii měření budou srovnatelné, pokud bude experiment probíhat za stejných podmínek. Proto byla navržena konstrukce zkušebního tělesa s perem zapadajícím do drážky na hřídeli a upínací podložkou s hroty zabraňující prokluzování zkušebního tělesa při záběru.

4.3.1 Podmínky experimentu

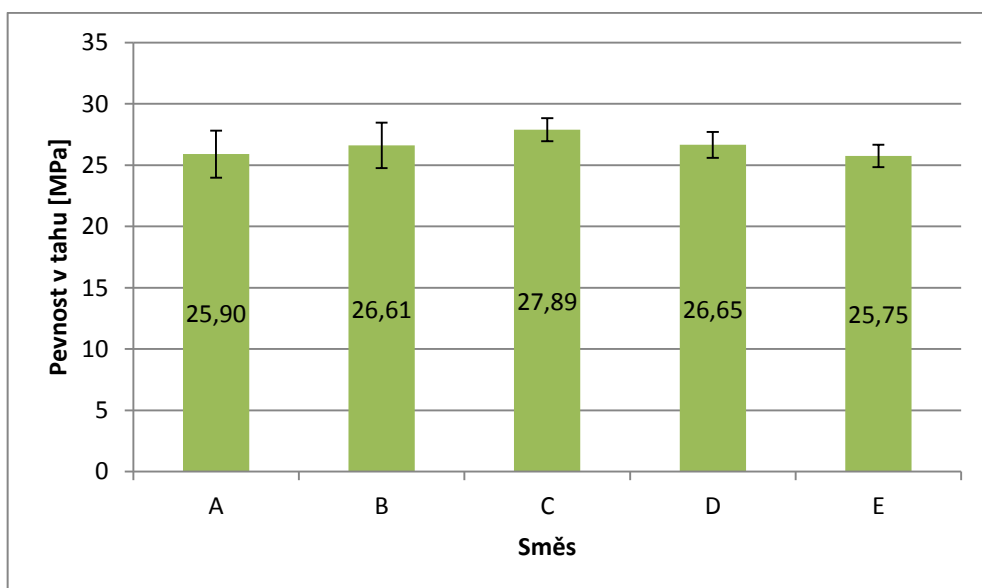
Zkoušky rychlého opotřebení byly prováděny na experimentálním zařízení při následujících podmínkách:

- Otáčky zkušebního tělesa 910 min^{-1}
- Frekvence dopadu keramického břitu 1 Hz
- Zdvih keramického břitu 60 mm
- Teplota okolí $21 \text{ }^\circ\text{C}$
- Doba trvání experimentu 90 s

Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí stroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a bylo uvedeno do rotace. Poté byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito deset zkušebních těles zhotovených z jednotlivých směsí. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly graficky zpracovány a vyhodnoceny. [13]

4.3.2 Tahová zkouška

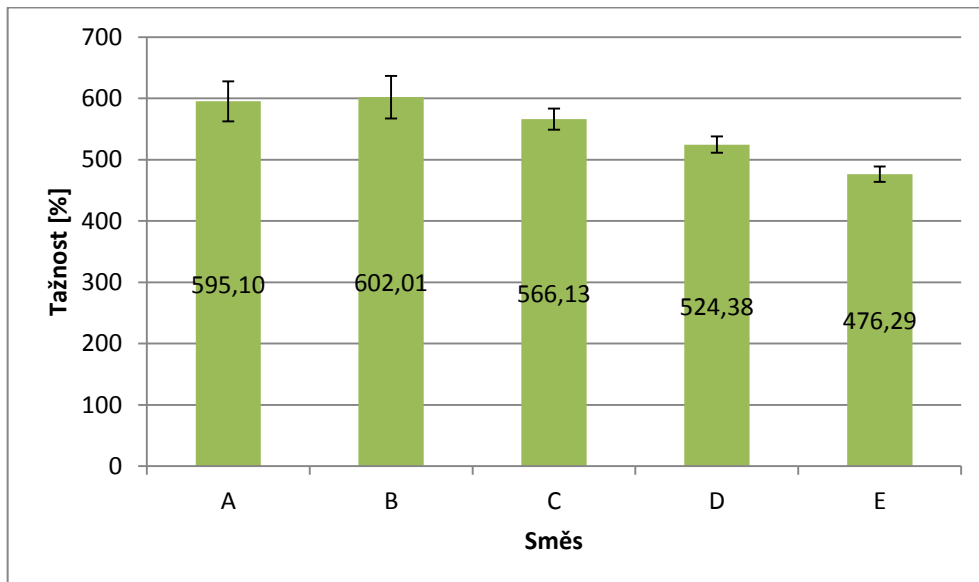
Při zkoušce tahem bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota pevnosti v tahu byla naměřena u směsi C, naopak nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u směsi E, jak je patrné z Obr. 26.



Obr. 26. Pevnosti v tahu

4.3.3 Tažnost

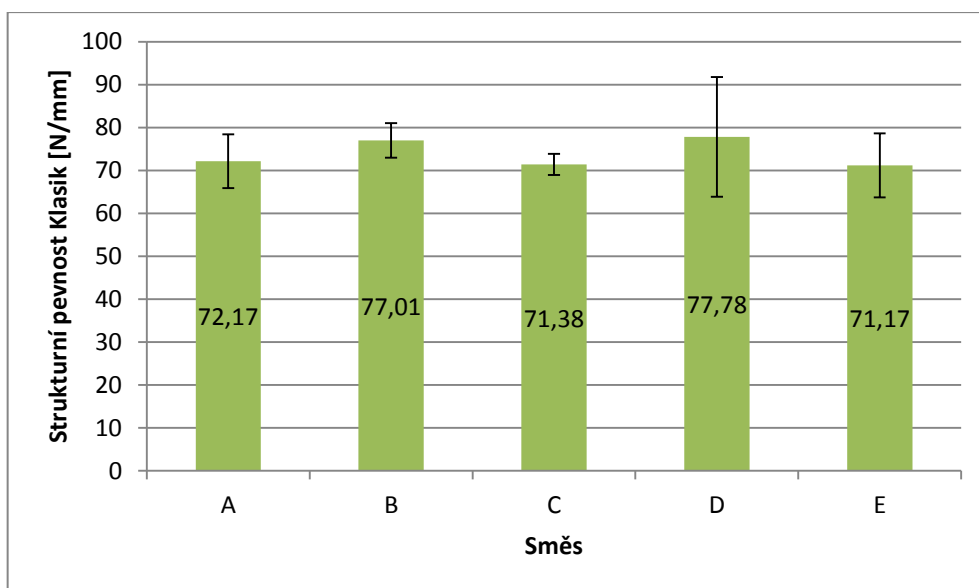
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi B, nejmenší hodnotu tažnosti vykázala směs E, jak je patrné z Obr. 27.



Obr. 27. Tažnost

4.3.4 Strukturní pevnost Klasik

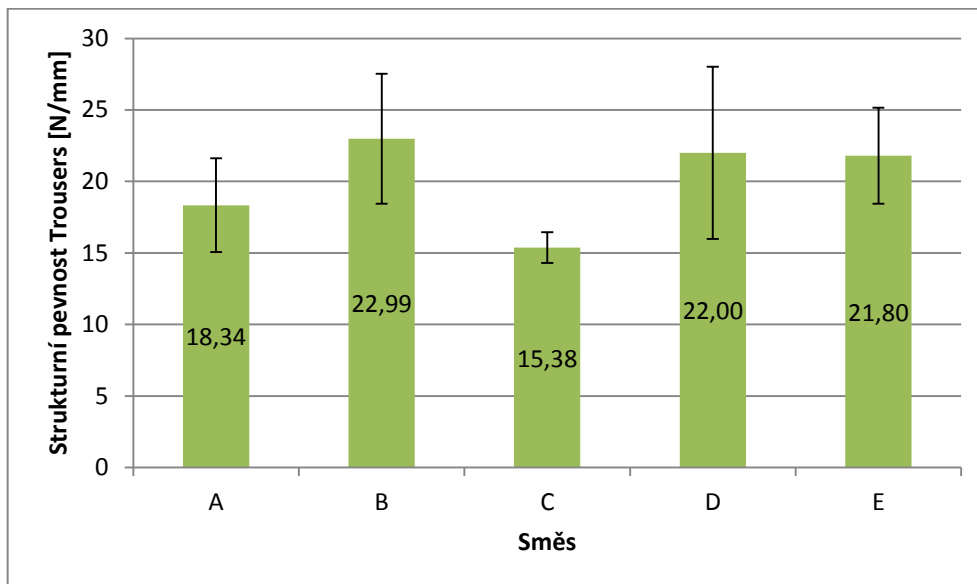
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota Strukturní pevnosti Klasik byla zjištěna u směsi D, nejmenší hodnotu Strukturní pevnosti Klasik vykázala směs C, jak je patrné z Obr. 28.



Obr. 28. Strukturní pevnosti Klasik

4.3.5 Strukturní pevnost Trousers

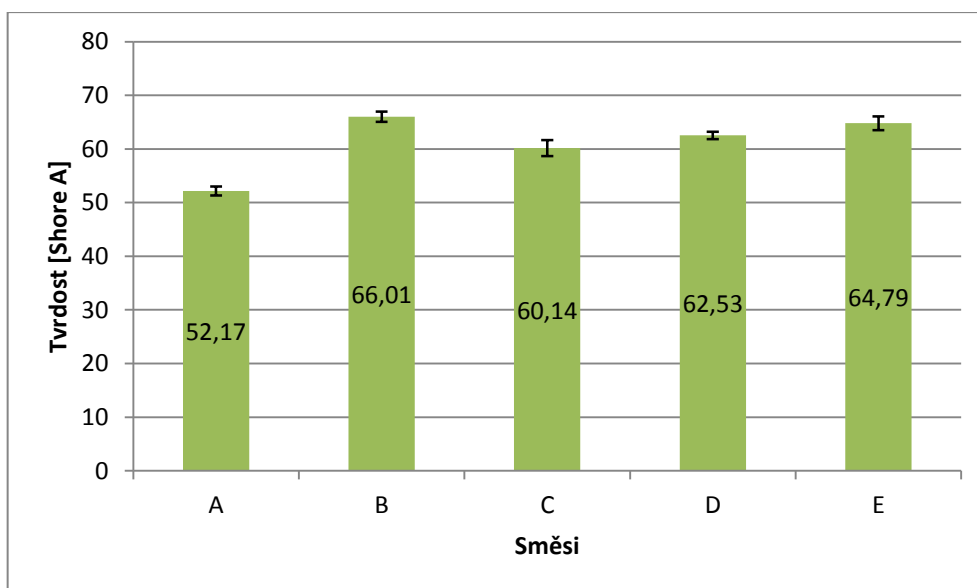
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota Strukturní pevnosti Trousers byla zjištěna u směsi B, nejmenší hodnotu Strukturní pevnosti Trousers vykázala směs C, jak je patrné z Obr. 29.



Obr. 29. Strukturní pevnosti Trousers

4.3.6 Tvrdość Shore A

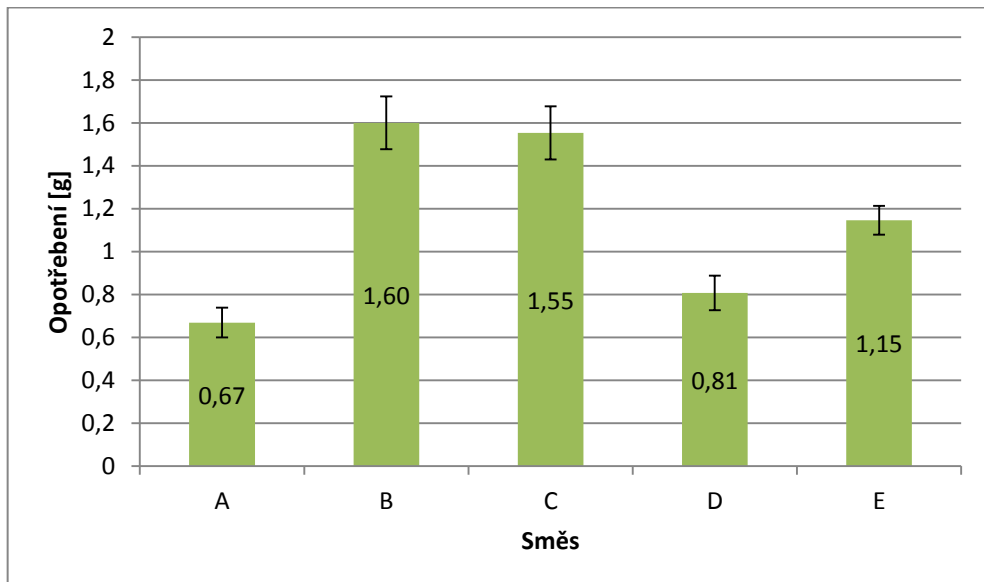
Zkouška tvrdosti Shore A ukázala, že nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi B, nejmenší hodnotu tvrdosti vykázala směs A, jak je patrné z Obr. 30.



Obr. 30. Tvrdości Shore

4.3.7 Opotřebení

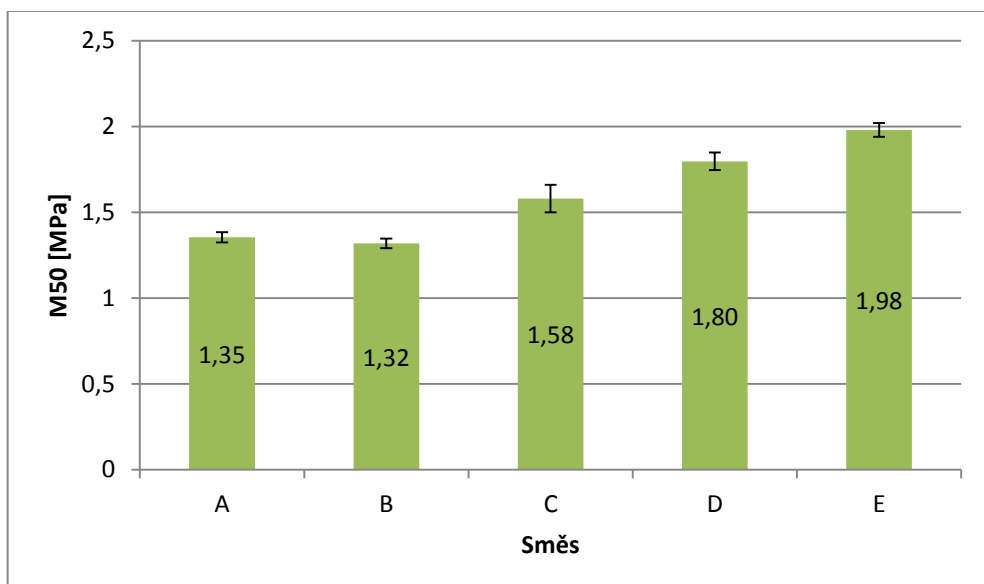
Zkouška opotřebení ukázala, že nejvyšší hodnota opotřebení byla zjištěna u směsi B, nejmenší hodnotu opotřebení vykazala směs A, jak je patrné z Obr. 31.



Obr. 31. Opotřebení

4.3.8 Modul (M50)

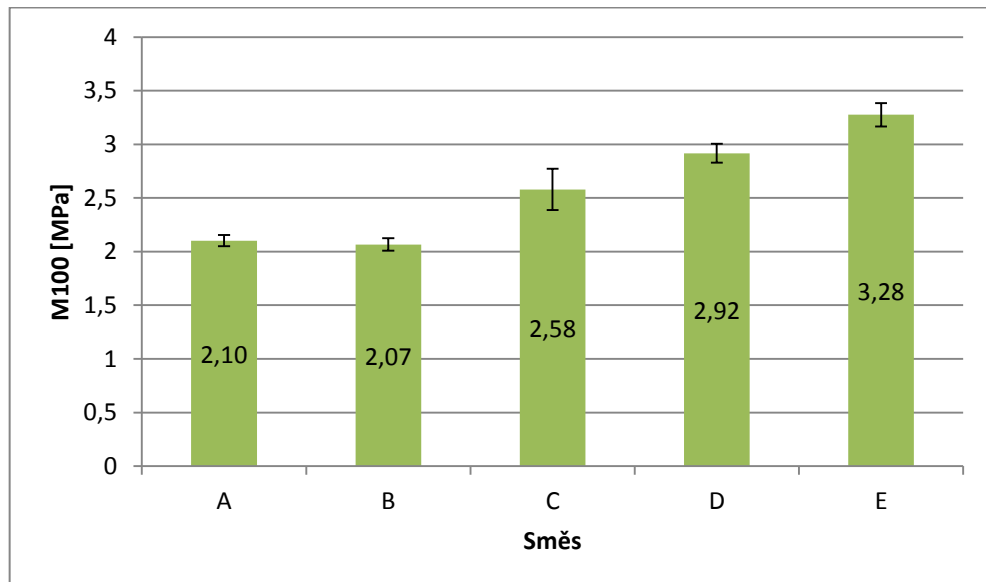
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota M50 byla zjištěna u směsi E, nejmenší hodnotu M50 vykazala směs B, jak je patrné z Obr. 32.



Obr. 32. Modul (M50)

4.3.9 Modul (M100)

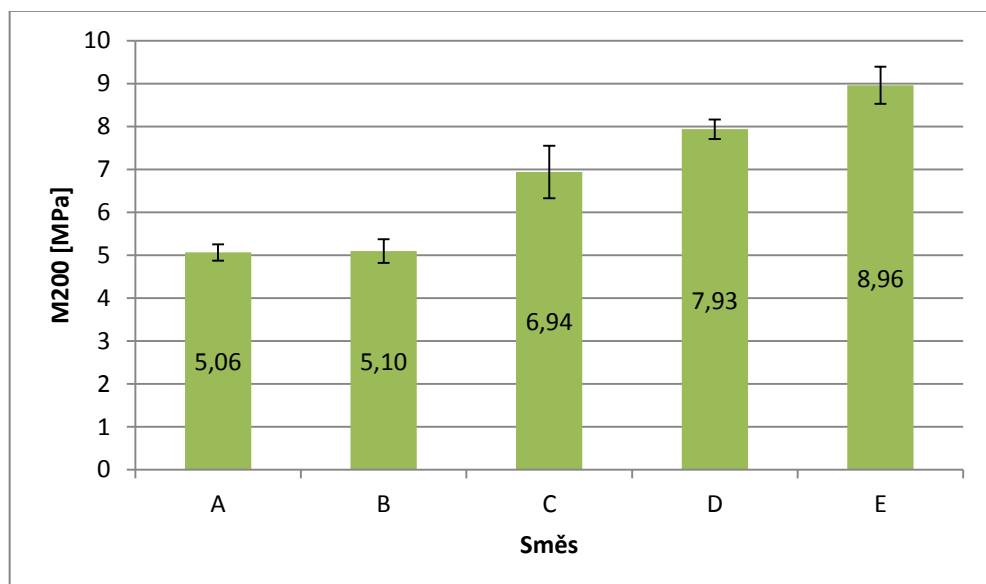
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota M100 byla zjištěna u směsi E, nejmenší hodnotu M100 vykazala směs B, jak je patrné z Obr. 33.



Obr. 33. Modul (M100)

4.3.10 Modul (M200)

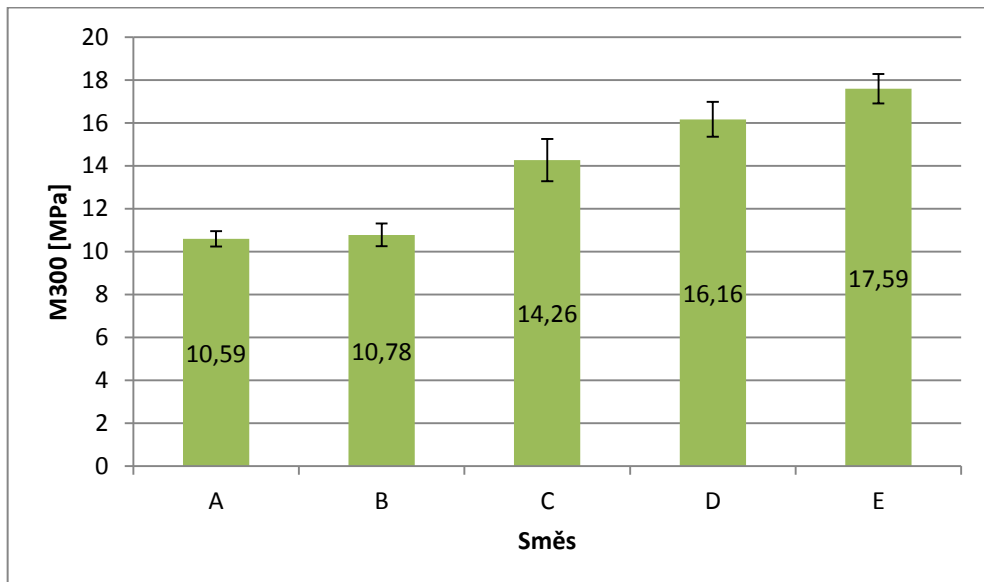
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota M200 byla zjištěna u směsi E, nejmenší hodnotu M200 vykazala směs A, jak je patrné z Obr. 34.



Obr. 34. Modul (M200)

4.3.11 Modul (M300)

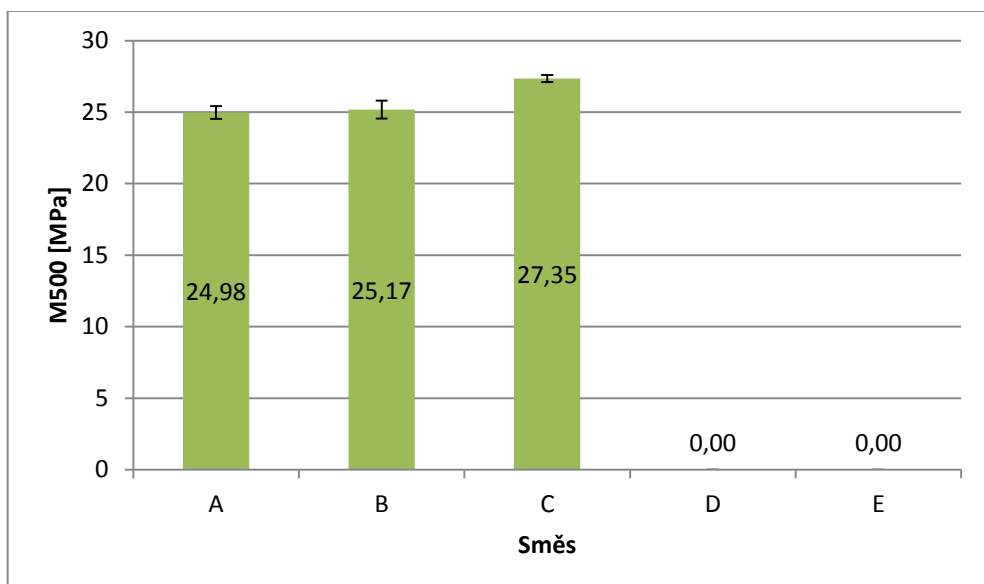
Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota M300 byla zjištěna u směsi E, nejmenší hodnotu M300 vykázala směs A, jak je patrné z Obr. 35.



Obr. 35. Modul (M300)

4.3.12 Modul (M500)

Zkouška tahem ukázala, že nejvyšší hodnota M500 byla zjištěna u směsi C, nejmenší hodnotu M500 vykázala směs A, jak je patrné z Obr. 36. U směsí D a E nebyl M500 naměřen.



Obr. 36. Modul (M500)

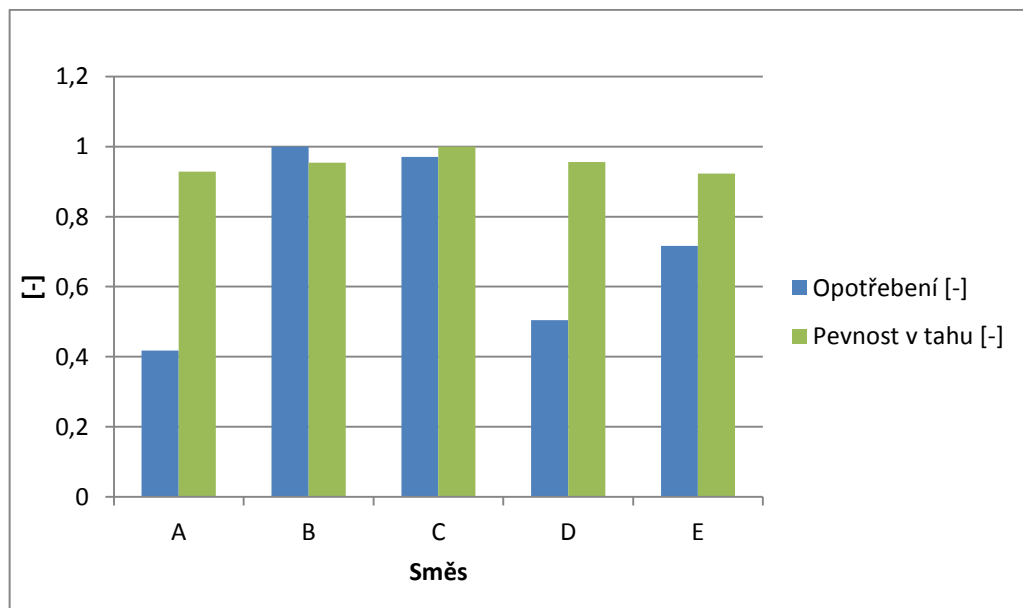
5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Úkolem praktické části bakalářské práce bylo testování mechanických vlastností běhounových směsí. Na testování bylo připraveno celkem 5 zkušebních vzorků (A, B, C, D, E). Tyto vzorky byly podrobeny rychlému testu opotřebení. Naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými při testování mechanických vlastností, jako jsou pevnost v tahu, tažnost, modul, strukturní pevnost a tvrdost. Hodnoty jednotlivých měření na vzorcích byly vyhodnoceny a graficky zobrazeny. Pro snadné porovnání hodnot opotřebení s hodnotami mechanických vlastností byly použity bezrozměrné hodnoty. Tyto hodnoty vyjadřují poměr mezi největší dosaženou hodnotou a jednotlivými hodnotami daného měření. Pro zobrazení závislosti jednotlivých parametrů na sobě byla vytvořena korelační matice.

5.1 Porovnání výsledků měření opotřebení

5.1.1 Opotřebení a pevnost v tahu

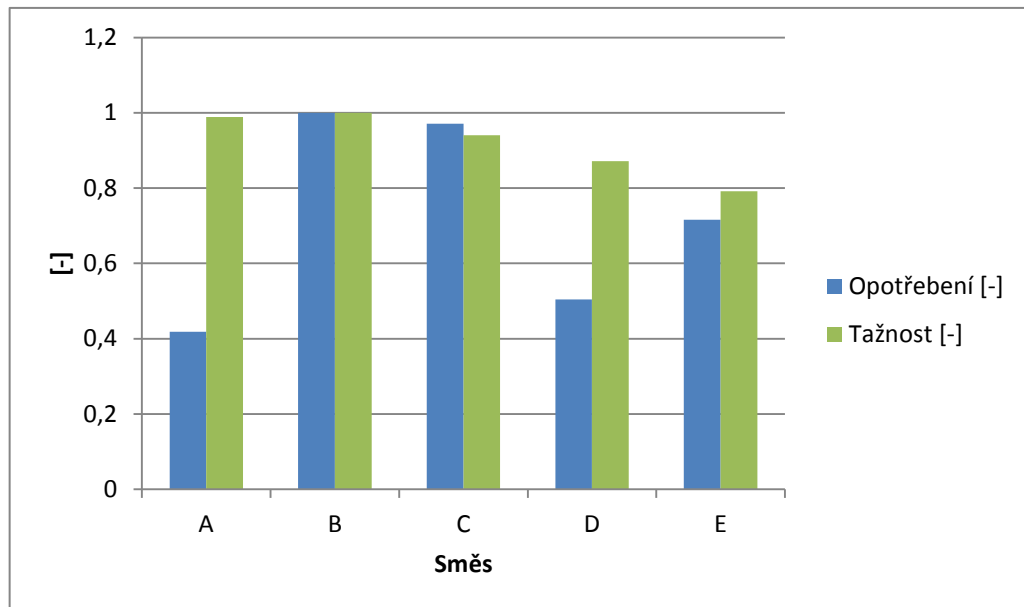
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a pevnosti v tahu, které jsou zobrazeny v Obr. 37, je zřejmé, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla druhé nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejnižší hodnotu pevnosti v tahu.



Obr. 37. Opotřebení a pevnosti v tahu

5.1.2 Opotřebení a tažnost

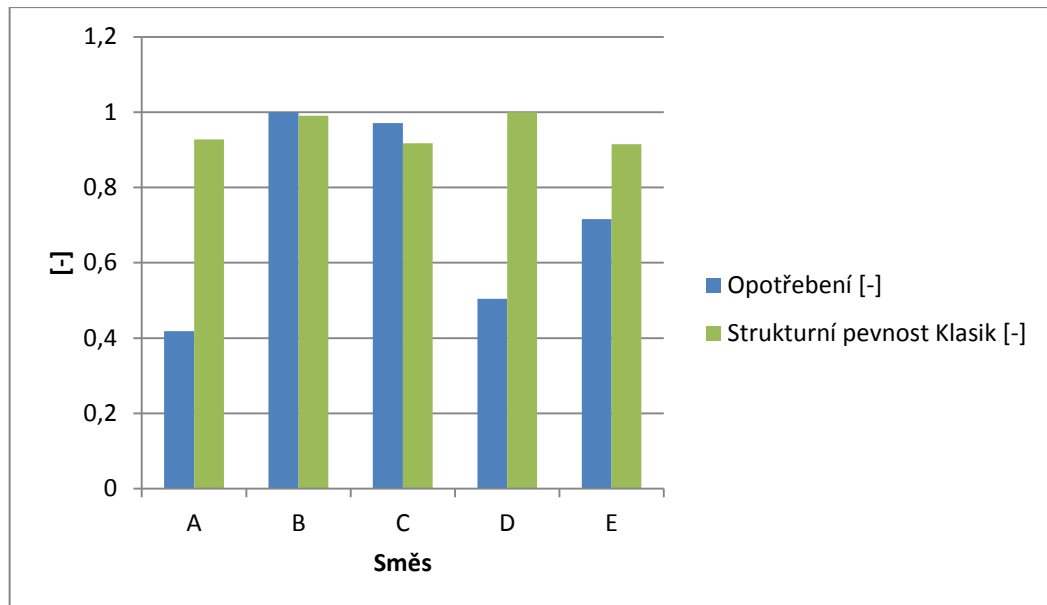
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a tažnosti, které jsou zobrazeny v Obr. 38, je zřejmé, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla nejvyšší hodnoty tažnosti. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejvyšší hodnotu tažnosti.



Obr. 38. Opotřebení a tažnost

5.1.3 Opotřebení a strukturní pevnost Klasik

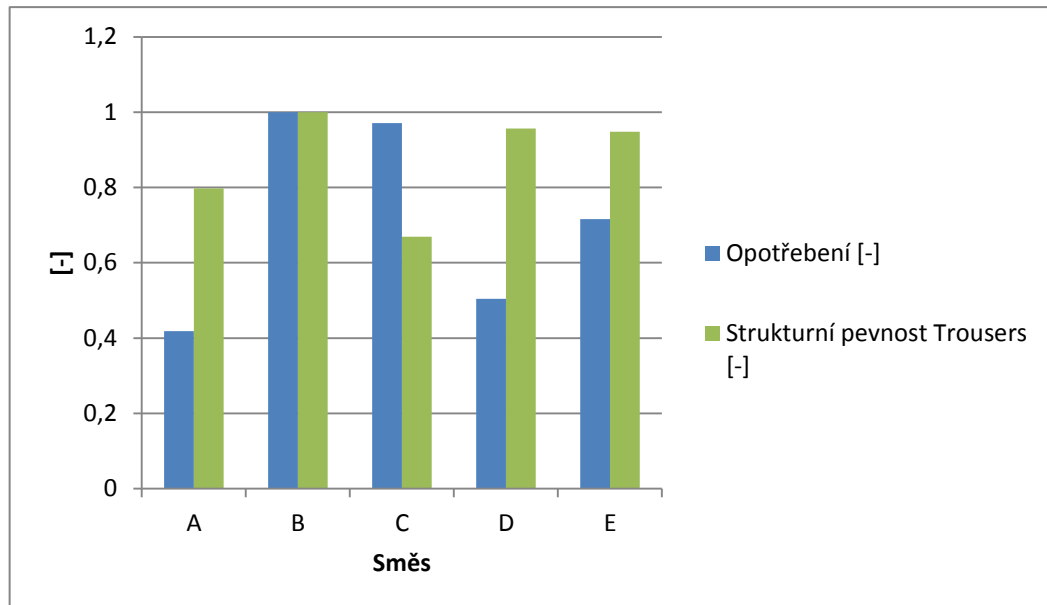
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a strukturní pevnosti Klasik, které jsou zobrazeny v Obr. 39, je patrné, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla druhé nejvyšší hodnoty strukturní pevnosti Klasik. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejvyšší hodnotu strukturní pevnosti Klasik.



Obr. 39. Opotřebení a strukturní pevnost Klasik

5.1.4 Opotřebení a strukturní pevnost Trousers

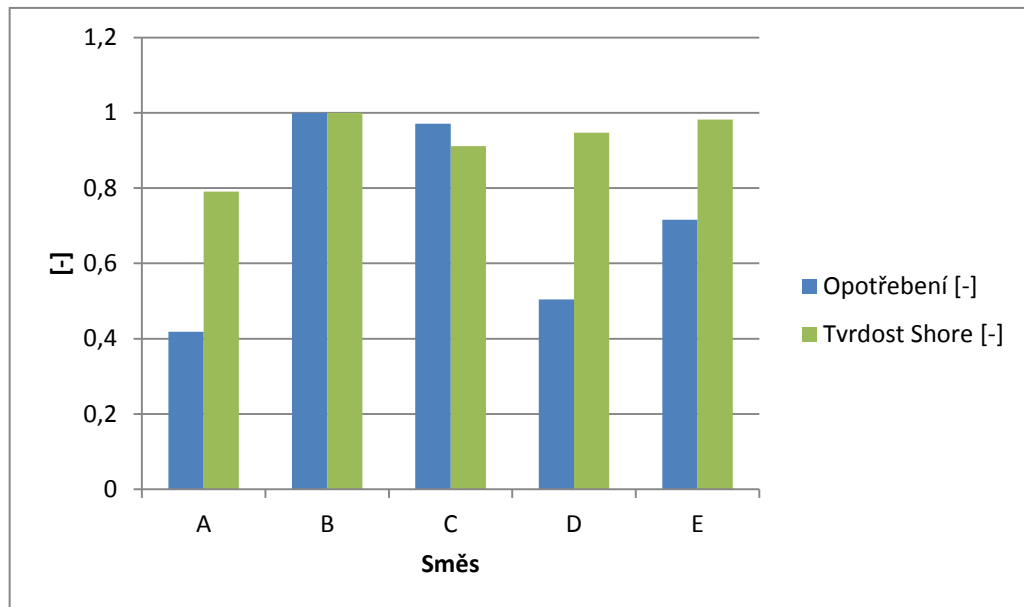
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a strukturní pevnosti Trousers, které jsou zobrazeny v Obr. 40, bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla nejvyšší hodnoty strukturní pevnosti Trousers. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejnižší hodnotu strukturní pevnosti Trousers.



Obr. 40. Opotřebení a strukturní pevnost Trousers

5.1.5 Opotřebení a tvrdost Shore A

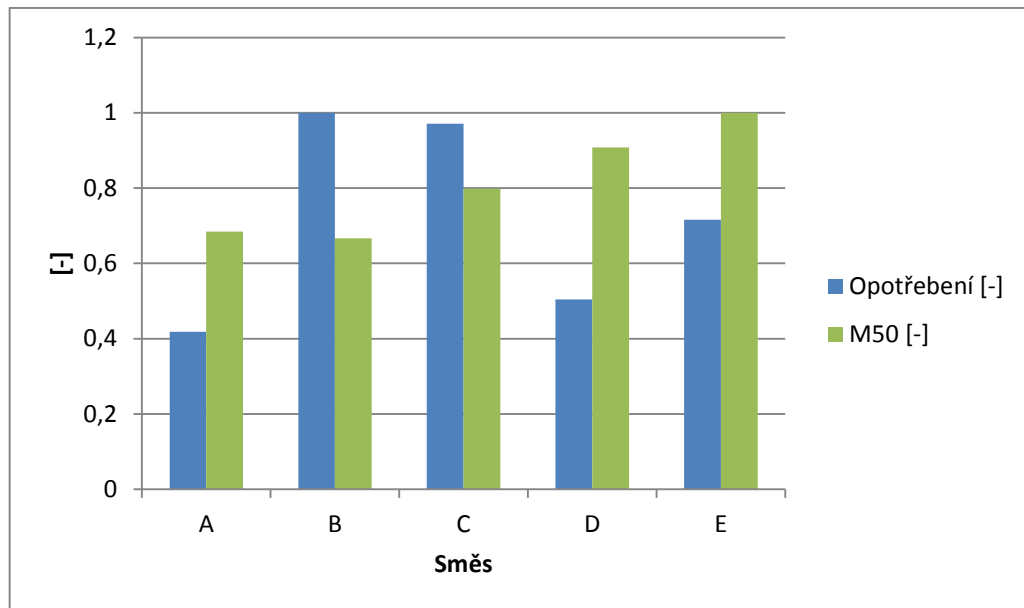
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a Tvrdosti Shore A, které jsou zobrazeny v Obr. 41, bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla nejvyšší hodnoty tvrdosti Shore A. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň nejnižší hodnotu tvrdosti Shore A.



Obr. 41. Opotřebení a tvrdost

5.1.6 Opotřebení a Modul (M50)

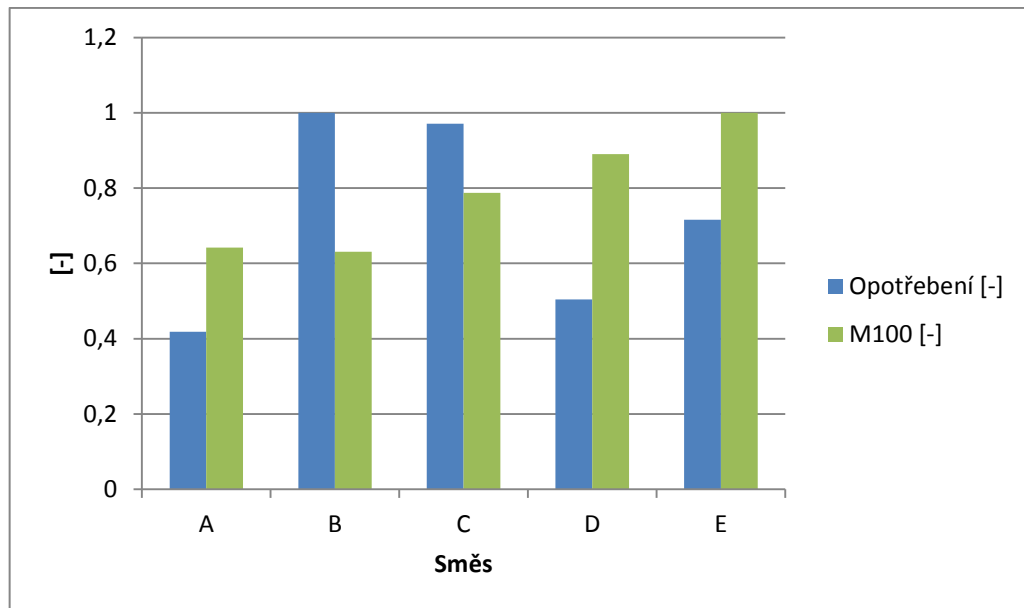
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a M50, které jsou zobrazeny v Obr. 42, je patrné, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla nejnižší hodnoty M50. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejnižší hodnotu M50.



Obr. 42. Opotřebení a Modul (M50)

5.1.7 Opotřebení a Modul (M100)

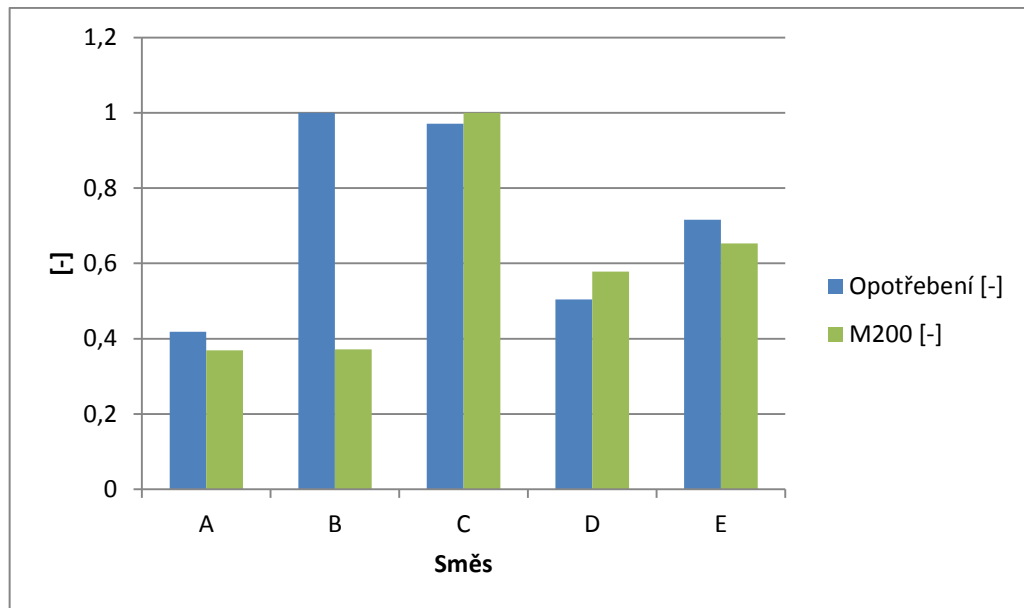
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a M100, které jsou zobrazeny v Obr. 43, je zřejmé, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla nejnižší hodnoty M100. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejnižší hodnotu M100.



Obr. 43. Opotřebení a Modul (M100)

5.1.8 Opotřebení a Modul (M200)

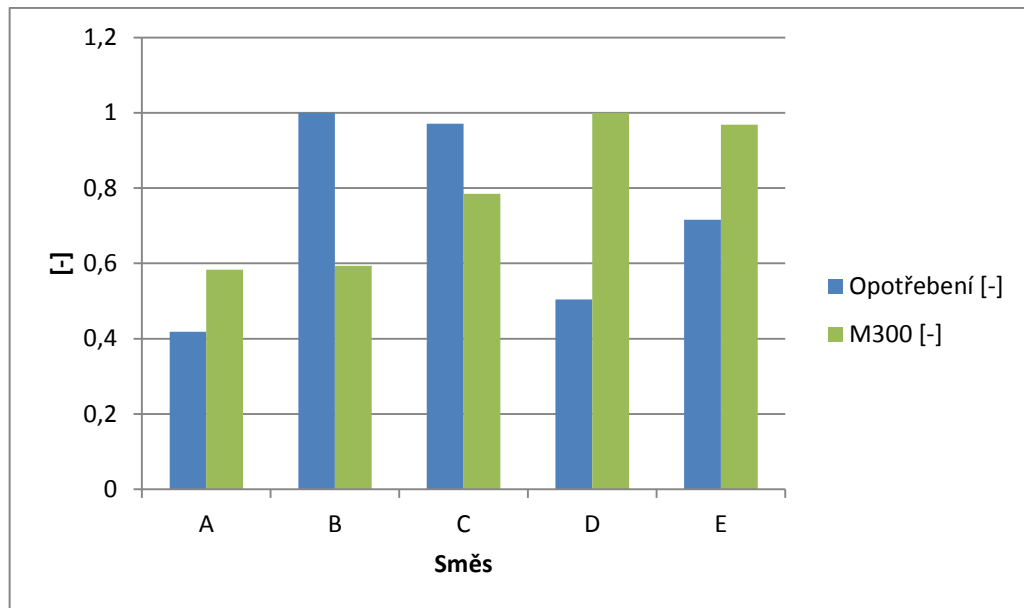
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a M200, které jsou zobrazeny v Obr. 44, je zřejmé, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla druhé nejnížší hodnoty M200. Naopak nejnížší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň druhou nejnížší hodnotu M200.



Obr. 44. Opotřebení a Modul (M200)

5.1.9 Opotřebení a Modul (M300)

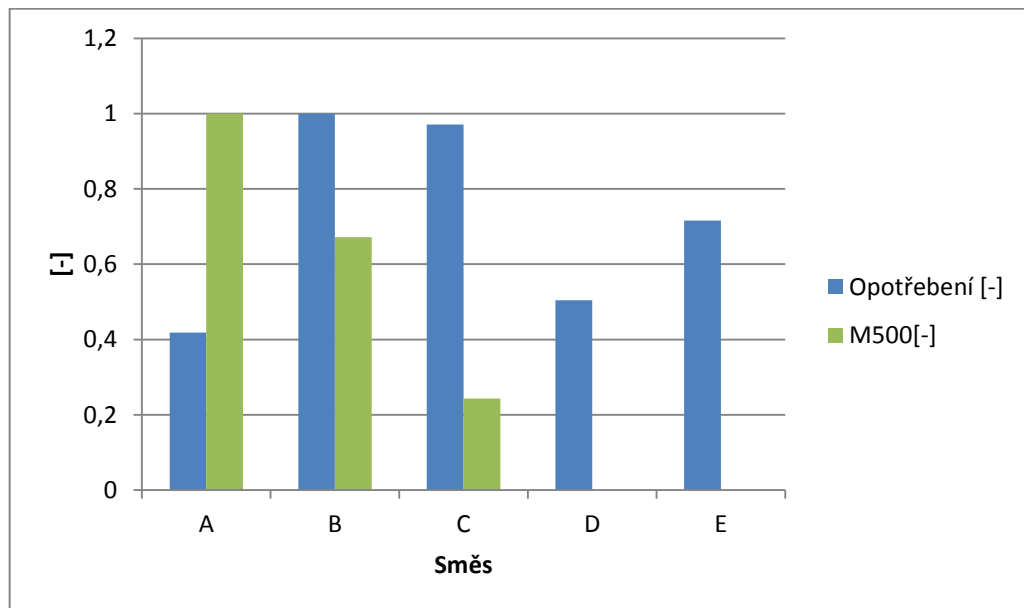
Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a M300, které jsou zobrazeny v Obr. 45, je patrné, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla druhé nejnížší hodnoty M300. Naopak nejnížší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň nejnížší hodnotu M300.



Obr. 45. Opotřebení a Modul (M300)

5.1.10 Opotřebení a Modul (M500)

Na základě porovnání výsledků měření opotřebení a M500, které jsou zobrazeny v Obr. 46, bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty opotřebení dosáhla směs B a zároveň dosáhla druhé nejvyšší hodnoty M500. Naopak nejnižší naměřená hodnota opotřebení byla zaznamenána u směsi A, která měla zároveň nejvyšší hodnotu M500. U směsí D a E nebyl M500 naměřen.



Obr. 46. Opotřebení a Modul (M500)

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá opotřebením běhounů pneumatik pro moto. Pro laboratorní testování bylo vybráno pět směsí, které byly podrobeny měřením standardních mechanických vlastností. Vlastnosti, které byly měřeny, jsou tahová zkouška, zkouška strukturní pevnosti, zkouška tvrdosti a zkouška opotřebení. Zkouška opotřebení byla provedena tzv. rychlým testem opotřebení. Po vyhodnocení všech naměřených dat byly vytvořeny grafy jednotlivých měřených mechanických vlastností.

Z výsledků měření vyplynulo, že nejvyšší vliv na opotřebení běhounových směsí mají pevnost v tahu a tvrdost. Při pohledu na deformaci pneumatiky je patrné, že na přední části pneumatiky dochází k tlakovému namáhání při najetí na ostrou hranu nebo terénní nerovnost. Za ostrou hranou a nerovností vznikají na pneumatice drážky. Za jejich okraji se generují tahová napětí. Pokud pevnost v tahu přesáhne pevnost napětí generovaného v drážce, dochází ke vzniku trhlin na povrchu drážky. Tvrdost a houževnatost budou ovlivňovat vlastnosti běhounových směsí pneumatik při pohybu v těžkých podmínkách. Při pohybu tvrdé směsi dojde při kontaktu s nerovností k jejímu poškození. Naopak měkká poddajná směs dokáže do jisté míry kopírovat terénní nerovnost a tím oddálit vznik poškození na jejím povrchu.

Ze vzorků směsí, které byly otestovány, byla nejvhodnější pro výrobu běhounu moto pneumatiky směs A. Tento vzorek směsi vykázal nejvyšší odolnosti proti opotřebení a zároveň byla u této směsi naměřena nejnižší hodnota tvrdosti Shore A. Z toho důvodu je směs houževnatá a tak schopna kopírovat terénní nerovnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAREŠ. *Konstrukce pneumatik*, Nakladatelství technické literatury, Praha 1958. 152s.
- [2] MARCÍN, J. *Pneumatiky – výroba, použití, údržba*. Nakladatelství technické literatury, Praha 1976, 272s. L 16-B2-IV-41f/61881.
- [3] MARCÍN, J., ZÍTEK. *Pneumatiky*, Nakladatelství technické literatury, Praha 1985. 496s.
- [4] MECHL, MUŠÍNSKÝ a kol.. *Gumárenská technologie v Barum Continental spol. s.r.o.*, COP Zlín, Zlín 2011. 97s. ISBN 978-80-905002-2-8
- [5] DOČKAL, KOVANDA, HRUBEC. *Pneumatiky*, Vydavatelství ČVUT, Praha 1998. 71s. ISBN: 80-01-01882-2
- [6] MALÁČ, J. *Gumárenská technologie* [online]. 2005 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>
- [7] HANÁKOVÁ, M. *Testování opotřebení běhounových směsí pro motocross*. Zlín, 2013. 64 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
- [8] MÍT, J. *Opotřebení běhounových směsí*. Zlín, 2010. 71 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
- [9] BERÁNEK, L. *Výroba pneumatik*. Brno, 2013. 44 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [10] ISO 23794. *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Abrasion testing – Guidance*. ©2010. Dostupné z: <http://standardsproposals.bsigroup.com/Home/getPDF/2229>
- [11] KUBÍK, J., ZYTKA, A. *Zkušební metody v gumárenství*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 300s. L 16-B2-IV-31/6352.
- [12] Elektrické vlastnosti. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. 2011 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
- [13] MAŇAS, D. *Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků: Zpracování kaučukových směsí a vlastností pryže*. Brno: Nakladatelství VUT, 2005. 33s
- [14] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. *Pneuservis v Rokytnici, poradce při výběru pneumatik, OMV dealer* [online]. 2015 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>

- [15] Konstrukce pneumatiky. *Autolexinoc.net* [online]. ©2015 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/konstrukce-pneumatiky/>
- [16] Historie pneumatik. *Michelin* [online] ©2016 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.michelin.com/fre/groupe-michelin/profil/histoire-groupe-michelin>
- [17] Historie pneumatiky, dějiny a vývoj pneu technologií. *AutoJenda.cz* [online] ©2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.pneu-jenda.cz/historie-pneumatiky>
- [18] Zimní pneumatiky, letní pneumatiky, rozdíly a to nejdůležitější co je nutné vědět. *Bezpečně na silnicích* [online] [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.bezpecnenasilnicich.cz/page/115/zimni_pneu_a_hlavni_rozdili.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-----|-------------------------------------|
| ČSN | Česká technická norma |
| ISO | International Standard Organisation |
| p | Měrný tlak |
| F | Působící síla |
| S | Plocha |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 1. První patentovaná pneumatika. [17]</i> | 13 |
| <i>Obr. 2. První odnímatelná pneumatika. [16]</i> | 13 |
| <i>Obr. 3. Řez pneumatikou s duší [2]</i> | 15 |
| <i>Obr. 4. Řez pneumatikou bezdušovou [2]</i> | 15 |
| <i>Obr. 5. Hlavní části pneumatiky [18]</i> | 17 |
| <i>Obr. 6. Běhoun [15]</i> | 17 |
| <i>Obr. 7. Nárazník [15]</i> | 18 |
| <i>Obr. 8. Kostra [15]</i> | 19 |
| <i>Obr. 9. Patka [15]</i> | 19 |
| <i>Obr. 10. Patní lanko [15]</i> | 20 |
| <i>Obr. 11. Bočnice [15]</i> | 20 |
| <i>Obr. 12. Vnitřní gumová vrstva [15]</i> | 21 |
| <i>Obr. 13. Schéma konstrukce diagonálního pláště pneumatiky [2]</i> | 22 |
| <i>Obr. 14. Schéma konstrukce radiálního pláště pneumatiky [2]</i> | 23 |
| <i>Obr. 15. Typy vzorků běhounu [14]</i> | 25 |
| <i>Obr. 16. Součinitel adheze povrchu [14]</i> | 27 |
| <i>Obr. 17. Měrný tlak ve stopě [14]</i> | 28 |
| <i>Obr. 18. Zkušební zařízení Bussen-Schlobach [12]</i> | 35 |
| <i>Obr. 19. Zkušební zařízení du Pont-Grasselli [12]</i> | 36 |
| <i>Obr. 20. Zkušební zařízení Akron-Croydon [11]</i> | 36 |
| <i>Obr. 21. Zkušební zařízení Dunlop-Lambourn [12]</i> | 37 |
| <i>Obr. 22. Mimosilniční pneumatika [13]</i> | 41 |
| <i>Obr. 23. Schéma zařízení pro testování opotřebení [13]</i> | 42 |
| <i>Obr. 24. Keramická destička [13]</i> | 43 |
| <i>Obr. 25. Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení [13]</i> | 44 |
| <i>Obr. 26. Pevnosti v tahu</i> | 45 |
| <i>Obr. 27. Tažnost</i> | 46 |
| <i>Obr. 28. Strukturní pevnosti Klasik</i> | 46 |
| <i>Obr. 29. Strukturní pevností Trousers</i> | 47 |
| <i>Obr. 30. Tvrdosti Shore</i> | 47 |
| <i>Obr. 31. Opotřebení</i> | 48 |
| <i>Obr. 32. Modul (M50)</i> | 48 |

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 33. Modul (M100)</i> | 49 |
| <i>Obr. 34. Modul (M200)</i> | 49 |
| <i>Obr. 35. Modul (M300)</i> | 50 |
| <i>Obr. 36. Modul (M500)</i> | 50 |
| <i>Obr. 37. Opotřebení a pevnosti v tahu</i> | 51 |
| <i>Obr. 38. Opotřebení a tažnost</i> | 52 |
| <i>Obr. 39. Opotřebení a strukturní pevnost Klasik</i> | 53 |
| <i>Obr. 40. Opotřebení a strukturní pevnost Trousers</i> | 54 |
| <i>Obr. 41. Opotřebení a tvrdost</i> | 55 |
| <i>Obr. 42. Opotřebení a Modul (M50)</i> | 56 |
| <i>Obr. 43. Opotřebení a Modul (M100)</i> | 57 |
| <i>Obr. 44. Opotřebení a Modul (M200)</i> | 58 |
| <i>Obr. 45. Opotřebení a Modul (M300)</i> | 59 |
| <i>Obr. 46. Opotřebení a Modul (M500)</i> | 60 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| <i>Tab. 1. Metody zkoušek opotřebení [10]</i> | 34 |
|---|----|

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P1: CD-ROM obsahující plný text bakalářské práce.