

Opotřebení běhounových směsí silně namáhaných pneumatik

Bc. Jan Komárek

Diplomová práce
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Komárek**
Osobní číslo: **T13489**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Opotřebení běhounových směsí silně namáhaných pneumatik**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. David Maňas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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, považují 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 Zlíně 10. 4. 2015



.....

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 nevdělečně 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, užíje-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).

³⁾ 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). Odpirá-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 užit 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá opotřebením silně namáhaných pneumatik, které jsou určeny pro velmi těžké terénní podmínky.

Teoretická část je zaměřena na popis pneumatik, surovinami a materiály pro výrobu pláštěů pneumatik a poslední kapitola je věnována zkouškám pneumatik s hlavním zaměřením na opotřebením.

V praktické části se určují mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost, tvrdost, odrazovou pružnost, DMA a opotřebením) jednotlivých směsí, které jsou s různým obsahem plniv ve formě sazí. Stanovení opotřebením probíhalo na zařízení určeném pro rychlý test opotřebením zvaném Chip-Chunk, kde docházelo k vyhodnocování pomocí úbytku hmotnosti zkoušeného materiálu. V závěru práce jsou porovnány jednotlivé mechanické vlastnosti s opotřebením a hledány souvislosti mezi danými hodnotami.

Klíčová slova: pneumatika, recyklace, suroviny a materiály pro výrobu pláštěů pneumatik, mechanické vlastnosti, opotřebením, Chip-Chunk.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with wearing of heavy-duty tires that are used (developer) for very heavy terrain.

The theoretical part of the thesis is focused on description of tires and raw materials for production of tires and the last chapter is devoted to testing tires with main focus on wear.

In the practical part of the thesis are determined mechanical properties of tires (tensile strength, elongation, structural strength, hardness, resilience, DMA and wear) of individual mixtures that are in form of soot with different filling. Determination of wearing was carried out on equipment designed for quick wear test called Chip-Chunk and wearing was assessed by loss of the tested material. In conclusion, there are different mechanical properties compared with wearing and it's find a connection between those values.

Keywords: tire, recykling, raw materials for production of tires, mechanical properties, wear, Chip-Chunk.

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Davidu Maňasovi Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi byly poskytnuty v průběhu vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 PNEUMATIKY	13
1.1 HISTORIE PNEUMATIK	14
1.2 HLAVNÍ ČÁSTI PLÁŠTĚ PNEUMATIKY	15
1.3 ZNAČENÍ PNEUMATIK	21
1.4 ŽIVOTNOST PNEUMATIK	24
1.5 RECYKLACE PNEUMATIK	24
2 SUROVINY A MATERIÁLY PRO VÝROBU PLÁŠTĚ PNEUMATIK.....	29
2.1 KAUKČUKY	29
2.1.1 Přírodní kaučuk	29
2.1.2 Syntetický kaučuk	30
2.2 PŘÍSADY DO KAUKČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	31
2.2.1 Vulkanizační přísady.....	32
2.2.2 Antidegradanty	32
2.2.3 Plniva.....	33
2.2.4 Změkčovadla	34
2.2.5 Zvláštní přísady	34
2.3 VÝZTUŽNÉ MATERIÁLY	34
2.3.1 Textilní výztužné materiály.....	34
2.3.2 Ocelové výztužné materiály	35
3 ZKOUŠKY PNEUMATIK	36
3.1 LABORATORNÍ ZKOUŠKY	37
3.1.1 Statické zkoušky.....	37
3.1.2 Dynamické zkoušky	38
3.1.3 Zkoušky opotřebení.....	40
3.1.3.1 Metoda Bussen-Schlobach.....	46
3.1.3.2 Metoda du Pont-Grasseli	46
3.1.3.3 Metoda Akron-Croydon.....	47
3.1.3.4 Metoda Dunlop-Lambourn	48
3.2 ZKOUŠKY NA VOZIDLECH	49
3.2.1 Zkoušky opotřebení (životnost)	49
3.2.2 Speciální zkoušky.....	49
II PRAKTICKÁ ČÁST	50
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	51
4.1 CÍL PRÁCE	51
4.2 MĚŘENÉ VLASTNOSTI.....	51
4.2.1 Tahová zkouška.....	51
4.2.2 Stanovení strukturní pevnosti.....	53
4.2.3 Stanovení tvrdosti Shore	54
4.2.4 Odrazová pružnost	55
4.2.5 DMA (dynamicko-mechanická analýza)	56

4.3	TEST OPOTŘEBENÍ	57
4.3.1	Zkušební tělesa	59
4.3.2	Analýza opotřebení	59
5	DISKUZE VÝSLEDKŮ	63
5.1	POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ S OPOTŘEBENÍM	63
5.1.1	Pevnost v tahu a opotřebení	63
5.1.2	Tažnost a opotřebení	64
5.1.3	Strukturní pevnost a opotřebení	64
5.1.4	Tvrdość a opotřebení	65
5.1.5	Odrazová pružnost a opotřebení.....	66
5.1.6	DMA (dynamicko-mechanická analýza) a opotřebení.....	66
5.1.7	Korelační matice	67
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

ÚVOD

Polymery jsou chemické látky s velkými molekulami, které obsahují většinou atomy C, H, O často N, Cl a jiných prvků. V určitém stavu zpracování se nacházejí ve stavu kapalném, který umožňuje udělit tvar budoucího výrobku za zvýšené teploty a tlaku. Samotný výrobek pak slouží ve stavu tuhém. Polymery se dělí na plasty a elastomery. Plasty se dále dělí na termoplasty, které jsou teplem vratně převeditelné do plastického stavu a po ochlazení zase do stavu tuhého a na reaktoplasty, které jsou po vytvrzení nevratně převeditelné do plastického stavu. Jako druhá skupina polymerů jsou elastomery, do kterých patří kaučuk. Kaučuk se získává hlavně ze stromů kaučukovníku (*Hevea brasiliensis*), ze kterého vytéká bílá mlékovitá kapalina zvaná latex a následným zpracováním se z něj získává kaučuk. Pro výrobu pryže, která se používá na výrobu pláštěů pneumatik, hadic, řemenů, těsnění a dalších prvků je nutné do kaučuku přidat síťovací činidla a jiné látky a následně provést vulkanizaci. Vulkanizace je děj, při kterém působení tepla (140-200 °C) po určitou dobu obvykle 30 min. dojde k přeměně kaučukové směsi v pryž. Pro kvalitní vulkanizát je důležitý tlak při vulkanizaci, aby nevznikali nežádoucí póry ve výrobku.

Pro zlepšení vlastností pryže se přidávají plniva. Pomocí kterých se změní fyzikální vlastnosti vulkanizátu jako je tvrdost, pevnost, tažnost, oděr, tlumení vibrací, el. odpor, barva a další. Jako hlavní prvek se používají saze. Mají příznivý vliv na pevnost a odolnost proti opotřebení. Plniva také snižují cenu pláště, jelikož se jich do směsi přidává kolem 30 % a jsou levnější než kaučuk.

Pneumatiky jsou nedílnou součástí našeho života. Mají své nezastupitelné místo na automobilech, zemědělských strojích, strojích pracujících v těžkém terénu, letadel, na motocyklech, jízdních kolech a dopravních prostředků pohybujících se po cestách a terénu. Z důvodu, že se pneumatiky používají v tak širokém odvětví a je na ně kladen velký požadavek na bezpečnost a kvalitu, tak je důležité u nich provádět zkoušky na opotřebení, aby bylo dosaženo optimální skladby směsi a v daných podmínkách, ve kterých se pneumatiky budou používat, vydržely po stanovenou dobu. Proto například v dolech, kde se nejezdí po normálních silnicích, ale po kamenech, musí být kladen velký důraz na opotřebení, jelikož jsou takové pneumatiky v porovnání s pneumatikami pro běžné automobily mnohonásobně dražší. U takových pláštěů pneumatik je mechanismus opotřebení zcela odlišný, než jsou běžné silniční a laboratorní zkoušky na frikční oděr pryže. Pro takový případ opotřebení se

používá metoda zvaná Chip-Chunk. Tato metoda je charakteristická tím, že místo obrušování běhounu dochází k postupnému vysekávání materiálu.

Výrobu pláštěů je možné popsat jako několik vedle sebe probíhajících operací, které se setkávají při konfekci. Je to příprava kaučukové směsi, pogumování kordů, výroba běhounů, bočnic, patních lan, nárazníků. Konfekcí se rozumí zkompletování jednotlivých částí do konečného výrobku pláště, který se musí následně zvulkanizovat ve formě vulkanizačního lisu, díky které je po vulkanizaci na běhounu vytvořený vzorek.

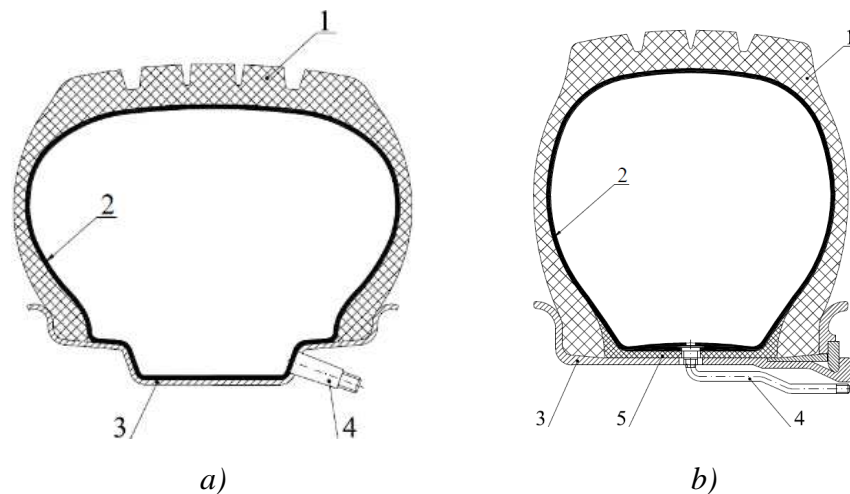
Gumárenský průmysl v České Republice má své nezastupitelné místo. Působí zde významné firmy jako Continental Barum, Mitas, Rubena, Synthos (původně Kaučuk Kralupy), Gumotex Břeclav, Gumárny Zubří a jiné podniky, které se zabývají zkoušením pneumatik, výrobou gumárenských produktů a také jejich recyklací.

Cílem práce bude hodnocení opotřebení běhounových směsí silně namáhaných pneumatik. Toto hodnocení se bude provádět na přístrojích určených pro tuto problematiku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PNEUMATIKY

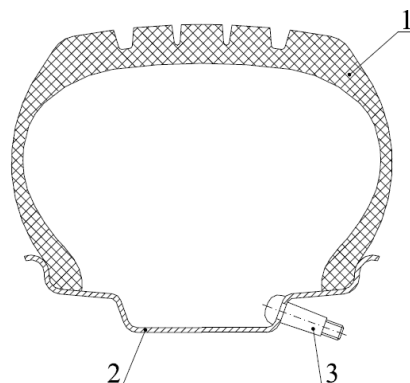
Pneumatika je strukturně složený celek, tvořící uzavřený prstenec toroidního tvaru, který se skládá z pružného pláště a pevného ráfku. Stlačený plyn je do pneumatiky dodáván pomocí ventilku. Z mechanického hlediska se jedná o tlakovou nádobu, jejíž stěny tvoří pružná membrána. Pneumatika se rozděluje podle provedení na s duší a bezduše. Duše je uzavřený tenkostěnný prstenec, který má za úkol udržet potřebný tlak vzduchu v pneumatice. U bezdušové pneumatiky nahrazuje duši na vnitřním povrchu pláště hrubší gumová vrstva vulkanizátu (vnitřní guma), která má malou propustnost plynu a ráfek bezdušové pneumatiky musí být utěsněn proti úniku stlačeného vzduchu. Ochranná vložka je pryžový profilovaný prstenec, který chrání duši před poškozením ráfkem. Ráfek je jednodílný, nebo vícedílný prstenec vhodně tvarovaný pro uchycení pláště. Přenáší hnací nebo brzdící sílu mezi patkou pláště a střední nosnou částí kola. [8,9,11]



Obr. 1. Pneumatika s duší

a) pneumatika pro osobní automobily, b) pneumatika pro nákladní automobily

1 - plášť pneumatiky, 2 - duše, 3 - ráfek, 4 - ventil, 5 - ochranná vložka [11]



Obr. 2. Bezdušová pneumatika

1 - plášť pneumatiky, 2 - ráfek, 3 - ventil [11]

1.1 Historie pneumatik

Historie pneumatik sahá do doby 18 století, kdy skotský chemik Charles McIntosh (1766-1843) vynalezl nepromokavý materiál. Materiál získával z mízy stromů v Jižní Americe v povodí Amazonky. Materiál vykazoval špatné vlastnosti za chladu, kdy křehnul a naopak v horkém počasí se lepil. Experimenty s gumou se postupně rozšířily do Evropy, kde v roce 1839 Charles Goodyear objevil způsob vulkanizace kaučuku a to přidáním síry do roztaveného latexu.

K nejvýznamnějším změnám kola došlo ve druhé polovině 19 století, kdy byl roku 1845 Robertu Williamu Thomsonovi udělen v Anglii patent na vzduchovou hadici, což byl předchůdce moderní pneumatiky. Thomsnův vynález však předběhl dobu, neboť nebyly v té době tak rozšířené jízdní prostředky, aby jeho vynález získal uplatnění. Proto byl jeho vynález nevyužit do konce 19 století, kdy nový patent na vzduchově plněnou pneumatiku pevně spojenou s ráfkem získala v roce 1888 John Boyd Dunlop. Jelikož se v té době už sériově vyráběla jízdní kola tak se jeho patent uplatnil.

V roce 1891 bratři Michelinové z Francie vynalezli odnímatelnou pneumatiku. Pneumatiky upevněné na vnějším prstenci oddělené trubkové osy se montovaly na masivní příruby.

S rostoucími nároky na pneumatiku docházelo k její zdokonalování. Roku 1892 patentoval J. F. Palmer kordovou tkaninu jako náhradu původnímu kříženému výztužnému materiálu. Díky čemuž se prodloužila životnost výztužného systému proti původním, u kterého docházelo k vzájemnému dotyku nosných nití v místě křížení. K všeobecnému zavedení kordové tkaniny jako základního výztužného materiálu došlo v letech 1914 až 1925.

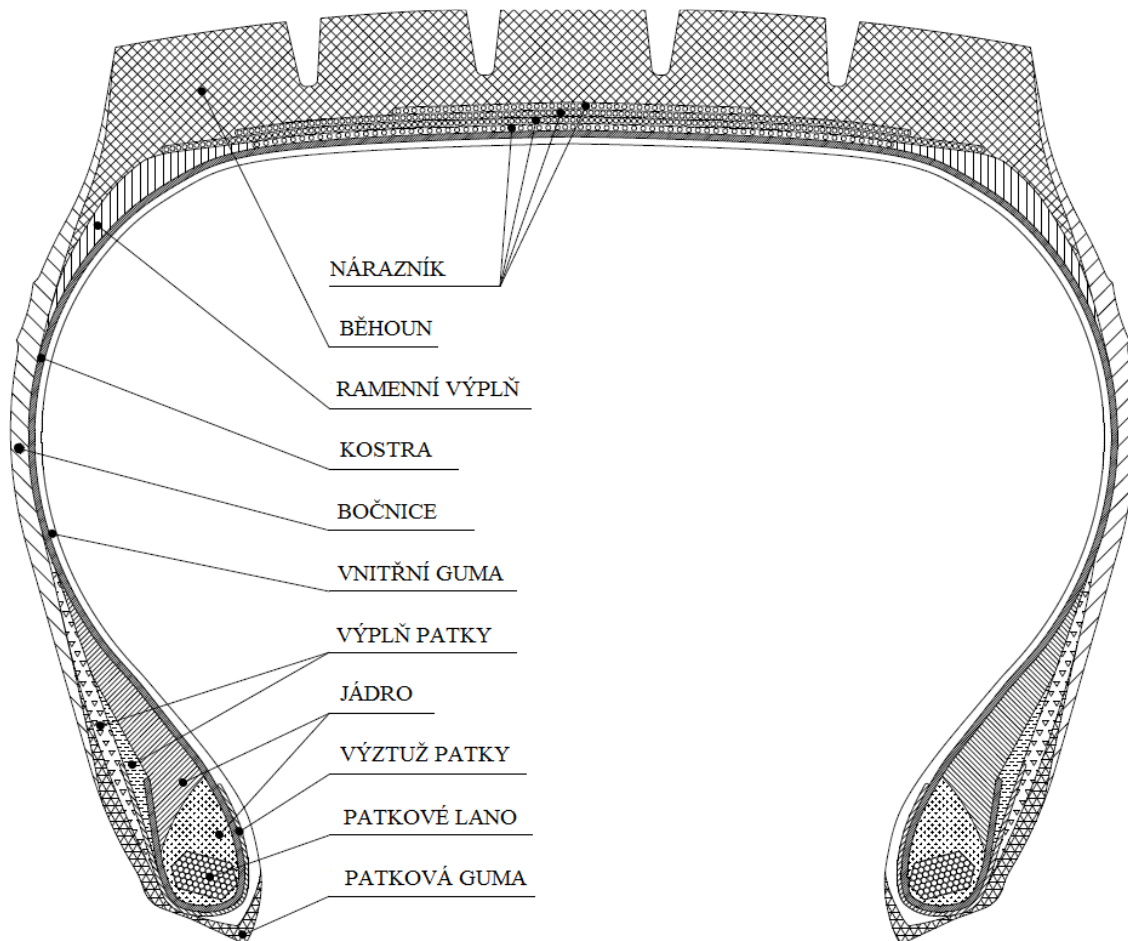
Roku 1895 byla použita první pneumatika na automobilu, roku 1903 na letadlech a roku 1914 na nákladních automobilech.

Roku 1904 jako první na světě vyvíjí Continental pláště s dezénem běhounu.

Velký rozvoj ve vývoji pneumatik nastal ve 20 století. Vliv na to měli obě světové války, vývoj nových materiálů a technologií. V roce 1948 Michelin vyrobil první radiální přilnavé pneumatiky a roku 1972 vynalezl Dunlop první bezdušovou pneumatiku na světě. [9,23,34]

1.2 Hlavní části pláště pneumatiky

Plášť pneumatiky se skládají ze třech hlavních komponentů a je to tedy vyztužený pryžový kompozit: pryž (80-85 %), různá vlákna (12-15 %), ocelového kordu (2-3 %)



Obr. 3. Základní prvky pláště pneumatiky [11]

Běhoun

Je důležitou částí pláště, který je v přímém styku s vozovkou a jeho tloušťka má vliv na zahřívání pneumatiky a proto by měl být co nejtenčí. Nelze se podle toho řídit, ale u nákladních automobilů kde je běhoun většinou konstruován pro možnost dalšího prořezání. Zásadní význam u běhounu má dezén vytvořený na povrchu, který tvoří soustava podélných a příčných drážek specifikované hloubky. Podélné drážky zajišťují přenos bočních sil a ovlivňují tak směrovou stabilitu, příčné drážky zajišťují přenos tažné síly na vozovku. Směs běhounu musí mít dobré adhezní vlastnosti a vysokou odolnost proti opotřebení. Může být složen ze dvou vrstev při čemž vrchní vrstva má vyšší odolnost proti opotřebení a spodní vrstva nižší hysterezní ztráty (nízké teplotní namáhání pneumatiky). [11,18,25,26]



Obr. 4. Běhoun [25]

Bočnice

Chrání boční část pláště před poškozením a povětrnostními vlivy. Je vyrobená ze směsi, která je odolná proti prolamování a vzniku trhlin. Spojuje patky pláště s běhounem. Je tvořena buď přírodní, nebo syntetickou pryží. Výhodou syntetické pryže je menší odskakování pneumatik od vozovky, které je způsobeno větší hysterezí, ale při nízkých teplotách pod -5°C tvrdne a tím se zhoršují adhezivní vlastnosti pneumatiky. Najdeme na ni uvedeny všechny potřebné údaje o plášti. [11,18,26]



Obr. 5. Bočnice [25]

Patka

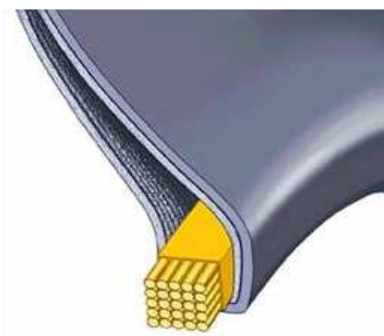
Je zesílená část pláště dosedající na ráfek. Vytváří se ohnutím kordových vložek kolem patních lan. Patka slouží k zakotvení kordových vložek a zajištění bezpečného usazení pláště na ráfku. Musí přenášet síly působící mezi pneumatikou a ráfkem, a pokud se jedná o bezdušovou pneumatiku tak musí zajistit utěsnění vzduchu v pneumatice. Jádro patky je tvořeno patním lanem, které je vyrobeno z vysoko pevnostní oceli. Jádro patky obsahuje přídavné ocelové nebo textilní kordové výztuže, které mají za úkol zvýšit ohybovou tuhost patky v nadpatkové části pláště. [4,18,26]



Obr. 6. Patka [25]

Patní lano

Je složeno z daného počtu vysokopevnostní oceli v jeden svazek a zajišťuje správné dosednutí pláště v ráfku. Vyrobené lano má čtvercový průřez. U osobních automobilů se používá jedno lano, u nákladních automobilů s většími rozměry pneumatik se používají dvě patní lana, čímž se kostra zpevní a patka ztuží. [4,25]



Obr. 7. Patní lano [25]

Nárazník

Je uložen mezi běhounem a kostrou. Nárazník zajišťuje odpovídající životnost pneumatiky, obvodovou pevnost pláště a odolnost proti průrazu. Má velký vliv na snížení valivého odporu. Může být ocelový, textilní nebo jejich kombinací. U osobních automobilů se používají většinou dvě nárazníkové vrstvy u nákladních tři až čtyři vrstvy. [26,38]



Obr. 8. Nárazník [25]

Polyamidový nárazník

Je umístěn nad nárazníkem a slouží k vyztužení spodní části běhounu umožňující dosažení velmi vysoké rychlosti. Má vliv na snížení valivého odporu a zlepšení jízdního komfortu.

[26]

Vnitřní guma

Nacházející se na vnitřní straně pláště. U bezdušových pneumatik zabraňuje úniku vzduchu do kostry pláště. Vyrábí se z butylového kaučuku. [11]



Obr. 9. Vnitřní guma [25]

Výplně

Jedná se o tvarové gumové profily, které slouží pro zlepšení plynulosti přechodu mezi jednotlivými konstrukčními prvky pláště. [11]

Kostra pláště

Základní nosný prvek tvořený jednou nebo více vložkami z pogumovaného kordu, které jsou zakotvené kolem patních lan. Kostra pneumatiky je nejčastěji tvořena třemi typy kordových vložek. Jedná se o textilní kord, který slouží k přenosu tažného momentu, zachování tvaru pneumatiky a zabraňuje roztržení pneumatiky při pracovním tlaku. Další kordovou vložkou je nárazník, nejčastěji se jedná o ocelový kord s kordovými vlákny uloženými pod určitým úhlem, podle kterého rozdělujeme pneumatiky na radiální a diagonální a smíšené konstrukce, která se v současnosti už prakticky nepoužívá. Jako poslední kordovou vložkou je bandáž nárazníku (polyamidový nárazník) vyrábí se nejčastěji z pogumovaného nylonového kordu. V dnešní době se nejčastěji k výrobě vložek používá umělé hedvábí, polyesterový kord, ocelový kord, polyamidový kord, kevlarový kord. [4,11]



Obr. 10. Kostra pláště [25]

Radiální

Má kostru tvořenou vložkami, u kterých kordy jsou vloženy vzhledem ke střední rovině pod úhlem blízkým 90° ($+0^\circ/-5^\circ$). Kostra je vyztužená v běhounové části pláště nárazníkem s vlákny kříženými pod úhlem $15^\circ-20^\circ$, který zachytává všechny namáhání v obvodovém směru. Radiální pneumatiky při výrobě vyžadují dvě operace a jsou náročnější na přesnost výroby, a proto jsou i dražší.

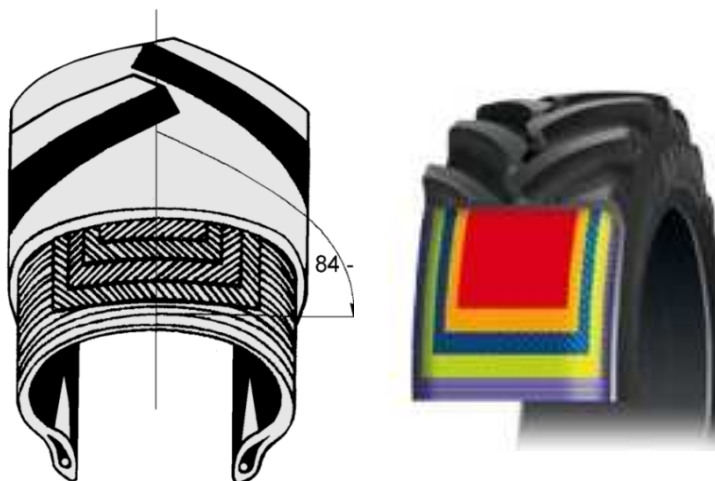
V porovnání s diagonálním pláštěm má tužší běhounovou část a ohebnější bočnicovou část. Používají se zejména u osobních automobilů. [11,14]

Výhody radiálních pneumatik oproti diagonálním:

- větší životnost (méně se opotřebovávají a jsou odolnější proti průrazu)
- větší nosnost při stejném tlaku vzduchu
- výborné boční vedení a lepší přilnavost k vozovce
- menší vnitřní deformace a tedy menší teplotní namáhání
- lepší přenos brzdných sil i při náklonu v zatáčkách
- menší valivý odpor a lepší přilnavost na mokré vozovce
- menší hmotnost
- větší směrová a tvarová stabilita i při velmi vysokých rychlostech. [14]

Nevýhody:

- větší náklady na výrobu
- větší choulostivost na špatné nahuštění
- větší hlučnost při jízdě na nerovnostech. [26]

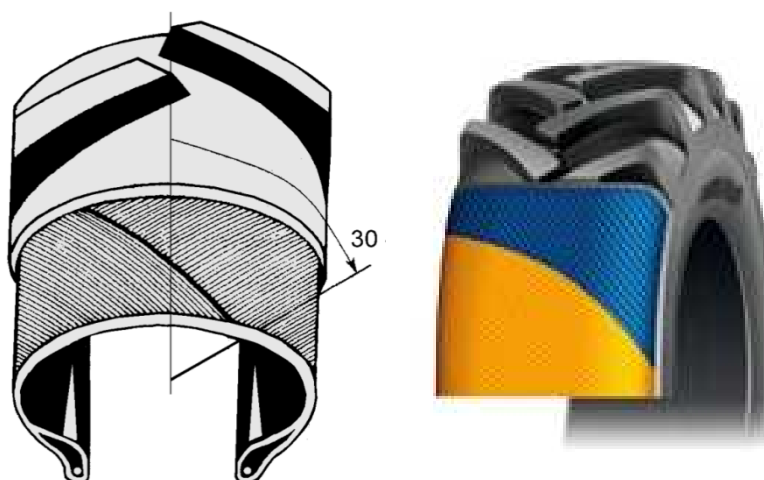


Obr. 11. Radiální plášť [28,38]

Diagonální

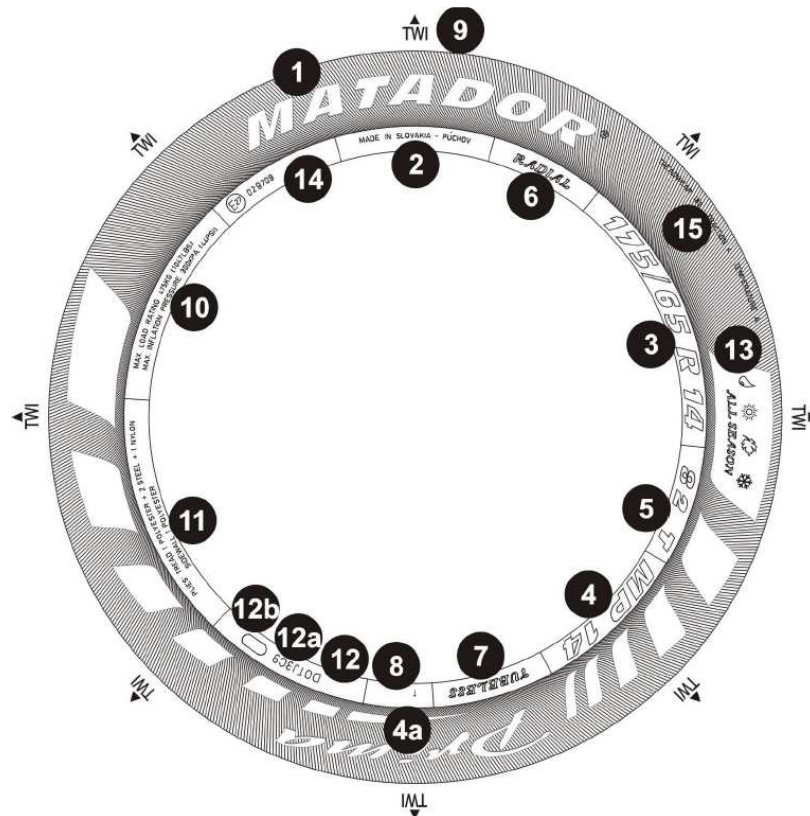
Kostra je tvořená vložkami, u kterých jsou kordy v jednotlivých vrstvách navzájem kříženy pod úhlem menším jak 90° , z pravidla v rozmezí 32° - 40° vůči střední rovině běhounu, Může být doplněn nárazníkem malé pevnosti, který nepřenáší obvodové namáhání, ale jen vyztužuje oblast kostry pláště. Zachytávání obvodových sil zajišťuje diagonální orientace kordových vláken v kostře. Při zatížení pneumatiky a její následné deformaci se vlákna neprodlužují, ale posouvají a namáhají pryž mezi nimi na stříh, čímž vzniká teplo a i ztráty.

Výhody diagonálních plášťů je pevná struktura a silné bočnice, které mají zvláště v terénu výhodu v odolnosti proti proražení. [11,14,18]



Obr. 12. Diagonální plášť [28,38]

1.3 Značení pneumatik



Obr. 13. Popis bočnice pláště pro osobní automobily [11]

- 1 MATADOR - název výrobce, ochranná značka
- 2 MADE IN SLOVAKIA - Púchov - označení lokality výrobce
- 3 175/65 R 14 - označení rozměru pláště
 175 - šířka pláště (mm)
 65 - profilové číslo = poměr výšky profilu k šířce pláště x 100
 (výška průřezu pneumatiky je 65 % její šířky)
 R - radiální konstrukce
 14 - průměr ráfku (v palcích)
- 4 MP 14 - označení dezénu
- 4a PRIMA - obchodní název výrobku
- 5 index nosnosti a index rychlosti
 82 - index nosnosti; příslušná maximální nosnost pláště je 475 kg

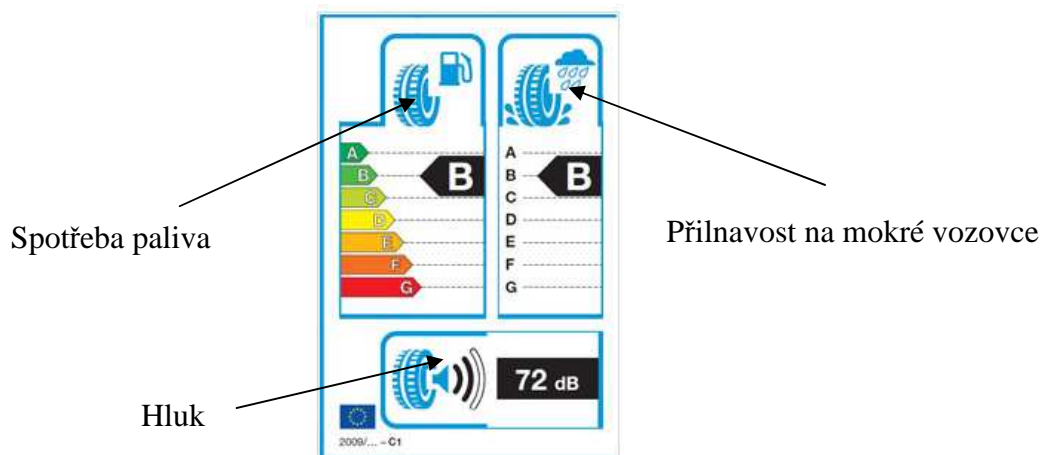
- T - index rychlosti; příslušná maximální rychlost je 190 km/h
- 6 RADIAL - konstrukce pláště
- 7 TUBELESS (bezdušový) - provedení pláště
- 8 T1 - označení pořadového čísla výrobní formy
- 9 TWI - indikátor opotřebení dezénu - na 8 místech po obvodě
- 10 Nejvyšší nosnost pneumatiky (kg a Lbs) a nejvyšší dovolené huštění pneumatiky (kPa a PSI)
- 11 Údaje o počtu vložek a jejich složení: v boku pláště (SIDEWALL), v koruně pláště (TREAD)
- 12 Označení pro vývoz do USA - D.O.T
- 12a J3 - kód výrobce Matador Púchov
C9 - kód rozměru pláště
- 12b Datum výroby (týden/poslední číslo respektive dvojčíslí roku výroby); např. 2114 znamená, že plášť byl vyroben v 21. týdnu roku 2014
- 13 ALL SEASON - označení pro celoroční použití pláště
- 14 E27 - homologační znak (SR) se schváleným číslem podle EHK 30; v tomto případě byl plášť homologován ve Vipoteste (E 27) pod pořadovým číslem 029708
- 15 Označení podle předpisu UTQG
- odolnost opotřebení běhounu v %
 - velikost součinitele adheze A, B, C
 - odolnost proti dynamické únavě A, B, C

Poznámka: M + S (Mud and Snow) bláto a sníh - označení plášťů pro zimní provoz, ROTTATION - označení směru otáčení pláště při směrovém dezénu. [11]

Nové značení pneumatik

Jedná se o značení pneumatik motorových vozidel. Od listopadu 2012 platí celoevropsky jednotná povinnost označování pneumatik pro vozidla štítkem. Označení pneumatik informuje na základě třech kritériích o významných ekologických a bezpečnostních vlastnostech pneumatik, s cílem dosažení vyšší bezpečnosti a nižší spotřeby. Označování pneuma-

ty používá klasifikaci od nejlepší (zelená kategorie A) po nejhorší (červená kategorie G u osobních automobilů a F u nákladních automobilů). Toto značení vychází z akčního plánu EU pro energetickou efektivitu, s cílem snížit spotřebu energie o 20 % do roku 2020.



Obr. 14. Štítek značení pneumatik [27]

Spotřeba paliva

Valivý odpor je síla působící proti směru jízdy při točení pneumatiky. Dosažení nízkých hodnot valivého odporu je důležité, protože pneumatiky přispívají ke spotřebě paliva až o 20 % u osobních a o 35 % u nákladních automobilů. Jelikož je pneumatiky v místě kontaktu s vozovkou deformována a pohlcuje energii ve formě tepla, dochází vlivem deformace k zvýšení valivého odporu a tím k zvýšení spotřeby paliva a dosažení vyšších emisí CO₂. Zlepšení o jednu třídu u osobních automobilů znamená úsporu paliva o cca 0,1 litru na 100 km.

Přilnavost na mokrém povrchu

Přilnavost na mokrém povrchu znamená kratší brzdovou dráhu při jízdě za deštivého počasí a je rozhodující pro bezpečnost jízdy. Z toho důvodu byl vybrán jako nejreprezentativnější prvek s cílem porovnat různé typy pneumatik. U osobních automobilů rozdíl mezi jednotlivými stupni znamená snížení nebo zvýšení brzdové dráhy o zhruba 3 až 6 m při brzdění z 80 km/h.

Hluk

Emise hluku pneumatiky se projevuje na celkové síle hluku vozidla. Naměřená hodnota udává hlasitost vnějšího hluku odvalování. Čím více černých polí, tím je pneumatiky hlučnější. Hlučnost závisí na několika faktorech: hustota dopravy, typ vozidla, styl jízdy, interakce mezi pneumatikou a vozovkou. [27,32]

1.4 Životnost pneumatik

Pneumatiky, které se prodávají, by měly být vyrobené maximálně pět let před jejím prodejem za předpokladů, že byly správně skladovány a nebyly užívány v provozu.

Celková životnost pneumatiky se doporučuje 10 let. Je to technická životnost počítaná datem výroby, které je uvedeno na bočnici pneumatiky následujícím za symbolem DOT. Stáří pneumatiky u všech výrobců pneumatik je dáno posledními čtyřmi číslicemi. První dvě číslice udávají týden výroby a zbylé dvě číslice rok výroby.

Provozní životnost pneumatiky by neměla být starší 6 let. Nelze tuto životnost stanovit přesně, neboť rychlost opotřebení závisí na různých faktorech. Složky běhounových směsí začínají po čase tvrdnout, a proto jsou směsi moderních pneumatik obohaceny o chemické přísady, které pneumatiku chrání před stárnutím a zachovávají její technické vlastnosti po dobu několika let.

Minimální hloubka dezénu je 1,6 mm u letních a 4 mm u zimních pneumatik.

Životnost lze zvýšit:

- pravidelnou kontrolou tlaku
- pravidelnou kontrolou zda pneumatika není fyzicky poškozena
- správné skladování pneumatik
- pneumatiky na hnané ose jsou vystaveni mnohem větším silám a tím u nich dochází k většímu opotřebení. Výrobci vozidel proto doporučují tyto pneumatiky prohazovat, aby se docílilo rovnoměrnějšího opotřebení.
- při výměně pneumatik je nechat vždy vyvážit.

[31,39]

1.5 Recyklace pneumatik

Recyklace znamená znovu využití, znovuvedení do cyklu. Hlavním problémem u recyklace pneumatik je, že se skládají z více materiálů, které je nutné od sebe oddělit.

Pneumatika obsahuje pryže, textil a ocelové dráty.

Protektorování pneumatik

Protektorování by bylo z hlediska ekologie ideální cesta k recyklaci, pokud by nedocházelo ke stárnutí pneumatik. Je to oprava celé oběžné plochy pneumatiky navulkanizováním nového pryžového povlaku. Díky této technologii se dosahuje úspory energie a materiálu, snižuje se množství odpadů a nově vyráběných pneumatik. V současné době se protektorování provádí hlavně u nákladních automobilů, které jsou neustále v provozu a dochází u nich k opotřebení pneumatik v poměrně krátké době. Touto dobou lze rozumět, že v dané pneumatice procesy stárnutí proběhly jen částečně. Protektorování se dělí na dvě metody a to na protektorování za tepla a studena. Studené protektorování je ekonomicky velmi vhodným řešením, protože cena studeného protektoru je vždy zlomkem ceny nové pneumatiky.

Protektorování za tepla - dochází k vulkanizaci nově naneseného materiálu běhounu na odrásanou kostru. Následně je kostra se surovým běhounem vložena do vulkanizační tvárnice s požadovaným dezénem. Vulkanizace probíhá v protektorovacím lisu při tlaku 1,3-1,7 MPa a teplotě cca 140-145 °C.

Protektorování za studena - na odrásanou kostru je aplikován předvulkanizovaný běhoun spolu s vrstvou vulkanizačních činidel a jeho spojení s pláštěm probíhá v autoklávu. V autoklávu dojde vlivem teploty cca 110-115 °C a tlaku cca 450-500 kPa ke spojení jednotlivých částí. [4,16,36]

Mechanické a fyzikální zpracování

Kryogenní metoda

Pneumatika se ochladí podchlazeným vzduchem (max. -130 °C) nebo kapalným dusíkem (-80 °C) anebo jejich kombinací. Při této teplotě se stane velmi křehkou, že ji lze poměrně snadno rozsekat sekacím strojem. Vlivem podchlazení dochází k přeměně většího podílu práce na energii drcení a tím k nárůstu výkonnosti drtícího zařízení. Na rozdíl od drcení při běžné teplotě vznikají hladké lomové hrany částic. Jednou z hlavních výhod je možnost mletí pláštěů s ocelovou výztuží, protože jemnější drcení umožňuje dokonalou separaci drti od zbytku ocelových a textilních výztuží. [17]

Metoda vícenásobného mletí za normální teploty

Pneumatika se nejprve rozseká na kousky cca 60 x 60 mm. Při zpracování velkých pneumatik s nákladních aut je nutné provádět podélné půlení a vytrhávání ocelových lan z pa-

tek, aby nedošlo k rychlému opotřebení sekacího stroje. Ocelová lana spolu s další ocelí z ostatních pneumatik se předávají ke zpracování v hutích. Za sekacím strojem následují vlastní recyklační linky, které se skládají z mlýnů a separátorů. [4]

Výroba regenerátu

V souvislosti s využitím vulkanizace byla snaha o regeneraci staré pryže. Při regeneraci dochází k trhání sítě, zkracování řetězců a vznik nových dvojných vazeb, což umožňuje novou vulkanizaci. Z žádného regeneračního procesu nelze získat původní kaučuk. Regenerátu je možné zužitkovat jen asi 10 % v průmyslu zpracovávajícím kaučuk. [4]

Pyrolýza

Jedná se o tepelný rozklad organických látek, lze jím získat směs uhlovodíků, využitelné saze a kovový šrot. [4]

Ozonový rozklad pneumatiky

Ozon je dodán ve vysokých koncentracích, aby daný proces probíhal rychleji, a dochází k nabourávání dvojných vazeb, což způsobuje její postupný rozklad a rozpad pneumatiky. [16]

Úprava pro energetické využití

Hlavní využití je spalování v cementačních pecích. V některých zemích elektrárny a tepelnárny používají tento odpad jako palivo. Výhřevnost odpadu je velká, ale vzhledem k velké spotřebě energie při výrobě pneumatik nepředstavuje ideální řešení. [16]

Jiné využití

Představuje pouze doplňující variantu využití vyřazených pneumatik v případě, že jiná varianta neexistuje. Jedná se o velké rozměry pneumatik nebo o speciální případ například rekultivace odkališť. [16]

Další využití

Pokud budeme o vyřazených pneumatikách hovořit jako o materiálu vhodného k tvorbě dalších produktů, musíme brát v potaz dvě možnosti využití.

Jedná se o možnost použití celku pneumatiky nebo jeho sekaných či řezaných částí. V druhém případě použití pryžové drti ze sekaných z ojetých pneumatik.

Použití celku nebo částí pneumatiky

Materiál používaný v námořním průmyslu:

Využívá se u pobřeží s bojem proti erozi půdy jako umělé útesy, plovoucí clony, ochranná mola, umělé hráze, zpevňování svahů. Z ekologického hlediska je dopad na životní prostředí velmi malý, ale je měřitelný.

Další možnosti použití:

Konstrukční materiály skládek, ochranné bariéry závoďišť a silnic, bariéry a ohrady v zemědělství, zpevnění vozovek, výplň betonových bloků, provizorní povrch silnic, podklad cyklostezek a zemědělských cest, stavba silážních jam, zátěž krycích fólií stohů a siláží.

Použití pryžové drti z ojetých pneumatik

Povrch sportovišť a dětských hřišť:

Využívá se na povrchu různých sportovišť, dětských hřišť, pěších zón, obložení teras a balkonů, elastické dlažby, obrubníky, retardéry, atd.

Povrch a podklad vozovek a cyklostezek:

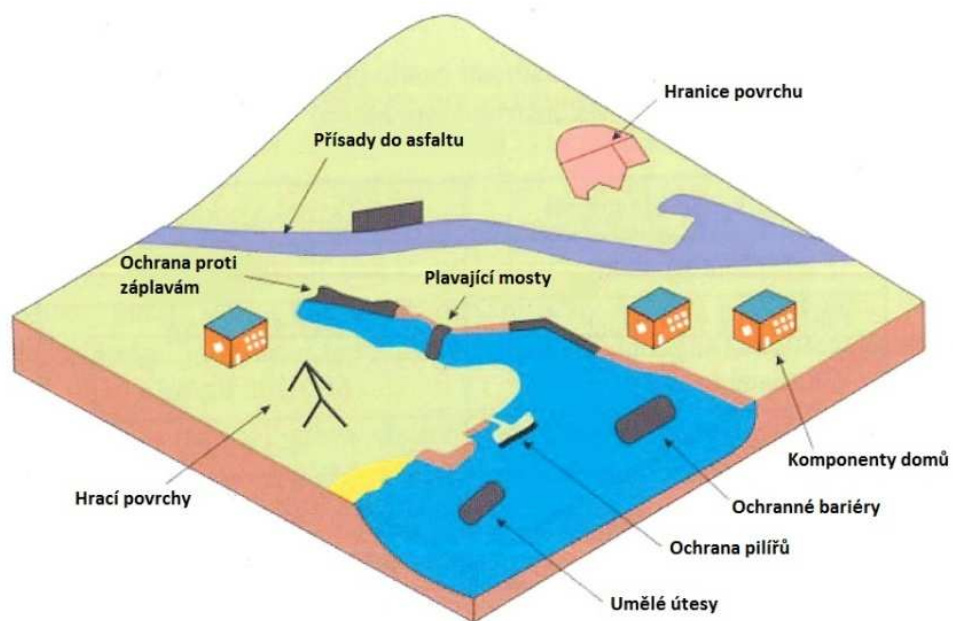
Jedná se o výrobu gumoasfaltových směsí, které zlepšují kvalitu povrchu vozovek. Dané směsi znatelně snižují hladinu akustického hluku při průjezdu a mají pozitivní vliv na menší vytváření vodní clony za vozidlem při dešti. Další předností je podstatná redukce tloušťky při zachování stejné doby životnosti jako u povrchů z běžného asfaltového betonu. Vozovky s tímto povrchem vyžadují výrazně nižší náklady na údržbu a opravy.

Využití výrobků z recyklované pryže v dopravě:

Dobré uplatnění v oblasti železniční, silniční a tramvajové jako tlumiče hluku a vibrací.

Sorbet ropných látek:

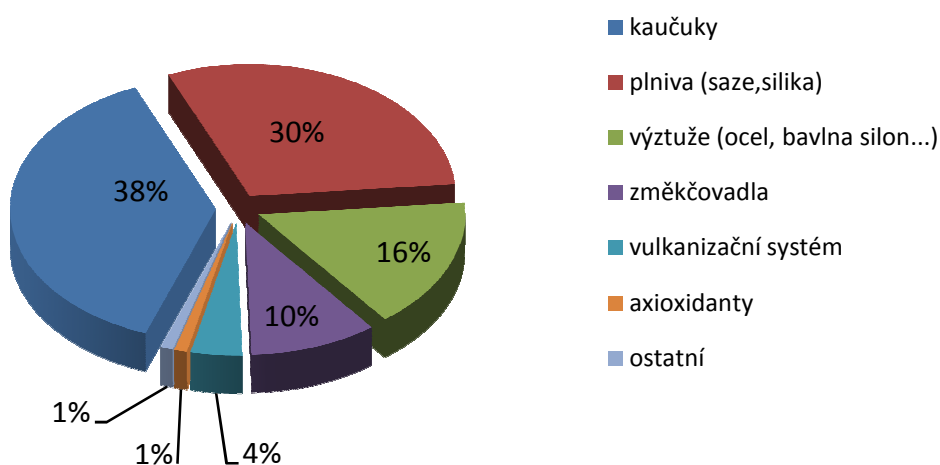
Jedná se o velmi jemný prášek, separovaný od pryžového granulátu během procesu drcení opotřebovaných pneumatik. Tento prášek je schopný velmi dobře nasávat oleje a ostatní ropné látky. [4,16,17]



Obr. 15. Příklady potencionálních aplikací opotřebovaných pláštů pro zemní a jiné aplikace [12]

2 SUROVINY A MATERIÁLY PRO VÝROBU PLÁŠTĚ PNEUMATIK

Kaučukové směsi jsou tvořeny kaučukem a dalšími gumárenskými surovinami. Suroviny a polotovary výrazně ovlivňují jakost pneumatik. Základními surovinami a polotovary pro výrobu pláště pneumatik jsou kaučuk, přísady do kaučukových směsí a výztužné materiály.[4,9]



Obr. 16. Průměrné materiálové složení pláště [35]

2.1 Kaučuky

Kaučuk je hlavní složkou kaučukové směsi. V gumárenském průmyslu se používají kaučuky přírodní i syntetické. Celosvětová spotřeba kaučuku v roce 2013 byla u přírodního 11 355 000 t a u syntetického 15 437 000 t.

Pod pojmem kaučuky se rozumí takové polymery, které mohou být převedeny chemickou (nebo fyzikálním) zesíťováním v elastomer neboli pryž. [4,21]

2.1.1 Přírodní kaučuk

Je obsažen asi ve 200 rostlinách. Hospodářsky významný je ale pouze strom *Hevea brasiliensis*. Hlavními zeměmi produkující přírodní kaučuk jsou Jižní Amerika, jihovýchodní Asie a Afrika. Pod šikmý zářez v kůře stromu se umístí nádoba, do které vytéká bílá, mlé-

kovitá kapalina, které se nazývá latex. Tomuto postupu získání latexu se říká čepování. Průměrné složení přírodního latexu je přibližně 35 % kaučukového uhlovodíku, 60 % vody, zbytek připadá na bílkoviny, pryskyřice, popel a cukry. Během několika hodin stání latex samovolně kolauguluje (sráží se). Aby se mohl v tekutém stavě delší dobu uchovávat, musí se stabilizovat. Nejčastějším způsobem je přidáním amoniaku. Suchý kaučuk lze z latexu získat vysrážením, vymražením nebo odpařením vody. Na plantážích se vyrábí výhradně srážením kyselinou mravenčí nebo octovou. Sražené bloky se pak perou vodou a dále zpracovávají na celou řadu, přírodního kaučuku. Klasický je uzený kaučuk (RSS) a světlá krepa. Starší klasická výroba plantážového kaučuku se nahrazuje novým způsobem označování SMR- Standard Malaysian Rubber. Při novém způsobu výroby se postupuje tak, že koagovaný kaučuk se převede na drobnější částice, ty se perou, rychle suší proudem teplého vzduchu, slisují a balí do polyethylenových obalů. Zásady specifikace převzaly i v jiných zemích (Sri Lanka, Thajsko, Vietnam, atd.). Počet výrobců se stále rozrůstá.

Z důvodu rozvoje automobilového průmyslu a s ním spojené větší spotřeby přírodního kaučuku byly vyvinuty syntetické kaučuky. Přírodní kaučuk se používá stále, jelikož dodává směsi žádané vlastnosti a jeho cena je poměrně příznivá. [1,2,4,10]



Obr. 17. Kaučukový latex a slisovaný kaučuk [29,30]

2.1.2 Syntetický kaučuk

Hlavní rozdíl mezi přírodním a syntetickým kaučukem je v technologii výroby. Výroba syntetického kaučuku potřebuje výrobu monomerů nejčastěji z petrochemických surovin, pak následuje jejich polymerace. Od tohoto bodu je technologie zpracování pro mnohé

syntetické kaučuky podobná se zpracováním přírodního kaučuku. Mají formu vodní suspenze kaučukových částic (latexu). [10]

Syntetické kaučuky pro všeobecné použití

IR- izoprenové kaučuky

Svémi vlastnostmi se přibližuje co nejvíce přírodnímu kaučuku a lze jej ve většině aplikací zaměnit. Vulkanizáty mají nižší moduly v tahu a větší tažnost jako přírodní kaučuk. Odolnost proti opotřebení má o něco horší než přírodní kaučuk. [10,22]

SBR-Butadien-styrenové kaučuky

Jsou nejdůležitějším druhem syntetického kaučuku. Svou spotřebou je na prvním místě mezi syntetickými kaučuky. Má dobrou odolnost proti mechanickému namáhání. Dobré fyzikálně mechanické hodnoty. Používá se pro běhouny pneumatik a technickou pryž. [4,10,37]

BR- Butadienové kaučuky

Používá se prakticky ve všech gumárenských směsích, nejčastěji ve směsi s jinými kaučuky, protože směs ze samotného BR je těžko zpracovatelná. Z hlediska významu je na druhém místě mezi syntetickými kaučuky. Vyznačují se vysokou odolností proti oděru vzniku trhlin a vyšší odrazovou pružností, než přírodní kaučuk. [4,10]

Butylkaučuk IIR

Butylkaučuky se uplatňují v řadě použití, využívá se z důvodu malé propustnosti pro plyny (duše, vnitřní guma plášťů) a odolnosti proti kyslíku, ozonu a chemickému působení. [10,24]

Etylen-propylenové kaučuky (EPM a EPDM)

Používají se například k opláštění kabelů, pro střešní krytiny a podobné aplikace, kde se vyžaduje vysoká odolnost vůči stárnutí. Také se používají k přípravě směsí pro bočnice pneumatik.

Další dělení syntetických kaučuků podle určení je na olejovzdorné a teplovzdorné. [2,9]

2.2 Přířady do kaučukových směsí

Přířady se přidávají do kaučukové směsi za účelem zlepšení jejich zpracovatelnosti, umožňují vulkanizaci a dávají hotovému gumovému výrobku požadované vlastnosti. Do této

skupina patří vulkanizační činidla, aktivátory vulkanizace, urychlovače a retardéry vulkanizace, antidegradanty, plniva, změkčovadla, další přísady. [3]

2.2.1 Vulkanizační přísady

Skládají se z jedné nebo častěji několika složek, přidávaných do kaučuku v poměrně malé koncentraci několika dsk (znamená počet hmotnostních dílků přísady přidávané na sto hmotnostních dílků kaučuku), které způsobí po vhodném zahřátí kaučukové směsi chemickou reakci s kaučukem jeho vulkanizaci, nazýváme vulkanizační systém. Původně se jednalo pouze o síru, ale později k ní přibyly další látky, které vulkanizaci urychlily anebo zlepšily její účinnost a vlastnosti vulkanizátu. [3]

Vulkanizační činidla jsou látky schopné v poměrně krátkém čase chemicky sesítovat kaučukové molekuly (vytváří příčné vazby mezi molekulami kaučuku). Jako vulkanizační činidla se používá nejčastěji elementární síra. Používají se, ale i jiné vulkanizační činidla, jako organické peroxidy, oxidy kovů nebo organická pryskyřice. [8]

Urychlovače vulkanizace jsou látky, které zkracují dobu vulkanizace z hodin na minuty. Lze je třídit podle rychlosti vulkanizace na pomalé, rychlé, velmi rychlé a ultraurychlovače. [4]

Retardéry vulkanizace chrání směs před předčasným navulkanizováním, tím že zpomalují průběh vulkanizace. [3]

Aktivátory vulkanizace jsou anorganické nebo organické chemikálie, které zvyšují účinnost síťování. To znamená, že za stejných podmínek vulkanizace zvyšují koncentraci příčných vazeb mezi molekulami kaučuku ve vulkanizátu. Nejvíce používaný aktivátor vulkanizace je ZnO (méně se používají PbO a MgO). [8]

2.2.2 Antidegradanty

Mají chránit vulkanizovaný kaučuk proti škodlivému vlivu prostředí, ve kterém je používán. Proto se do kaučuku přidávají sloučeniny, které jsou schopny chránit výrobky po dlouhou dobu před degradací. Jejich koncentrace se pohybují do 3 dsk. [3]

Antioxidanty jsou látky, které se přidávají do kaučukových směsí pro ochranu pryže před účinkem kyslíku.

Antiozonanty se používají pro ochranu před degradací ozonem. [3]

2.2.3 Plniva

Plniva tvoří většinu gumárenských směsí cca 30 hmot. %. Plniva proto výrazně ovlivňují jak zpracovatelnost kaučukových směsí, tak i cenu a aplikační vlastnosti výrobků. Jedná se většinou o tuhé látky ve formě prášku nebo krátkých vláken milimetrové délky. Za účelem snížení prašnosti se stále častěji granulují. Plniva vždy výrazně mění téměř všechny vlastnosti pryže. Přidáním plniv do gumárenských směsí se dosáhne úpravy fyzikálních vlastností vulkanizátu (tvrdost, pevnost, tažnost, oděr, tlumení vibrací, elektrický odpor, barva, adheze, odolnost proti stárnutí, propustnost pro plyny a páry aj.), dále se dosáhne úpravy zpracovatelských vlastností směsí a to hlavně snížení elasticity a dosáhne se snížení ceny, protože cena plniva je levnější než cena kaučuku. [2,8]

Plniva lze jednoznačně rozdělit podle barvy na saze a světlá plniva. Podle účinku na vlastnosti kaučukové směsi se plniva nejčastěji dělí na:

Ztužující, která obvykle zvyšují pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti oděru (například jemné saze a sražená silika).

Poloztužující, která obvykle zvyšují pevnost v tahu a strukturní pevnost, ale ne odolnost proti oděru (tvrdý kaolín, hrubé saze, a sražený uhličitan vápenatý).

Neztužující, která vlastnosti vulkanizátu nezlepšují (měkký kaolín, uhličitan vápenatý, mastek). [8]

Plniva můžeme rozdělit na saze a minerální plniva.

Saze jsou nejdůležitějším plnivem kaučukových směsí. Proto je většina gumárenských směsí černá. Mají příznivý vliv na fyzikální vlastnosti vulkanizátu zejména jeho pevnost a odolnost proti opotřebení. [8]

Minerální plniva

Někdy se uvádějí jako světlá plniva. Pro bílé a světle zbarvené výrobky se používají anorganická plniva o různém chemickém složení. Velký ztužující účinek srovnatelný s aktivními sazemi, vykazují speciální typy oxidu křemičitého. Ostatní plniva, která mají menší ztužující účinek, jsou kromě dalších typů oxidu křemičitého, hlavně křemičitany, uhličitanu a sírany. [3]

2.2.4 Změkčovadla

Změkčovadla jsou kapaliny nebo nízkomolekulární pryskyřice, které se rozpouštějí v kaučuku. Zlepšují zpracovatelnost kaučukových směsí (míchání, válcování, vytlačování apod.). Snižují tuhost vulkanizátů a jejich modul a současně také snižují teplotu skelného přechodu. Zlevňují také cenu kaučukové směsi. Nevýhodou je, že změkčovadla snižují mechanické vlastnosti vulkanizátu. [3,4,8]

2.2.5 Zvláštní přísady

Přidávají se do některých kaučukových směsí pro dosažení určitých speciálních vlastností vulkanizátu. Patří k nim zejména nadouvadla, která se při vulkanizaci rozpouštějí na plynné produkty a umožňují tak výrobu lehčené pryže. Dále se používají pigmenty, které zajišťují požadované zabarvení. Faktisy, které zlepšují hladkost povrchu při vytlačování, pro přesné dodržení tvaru profilu a dalších vlastností polotovaru. Prostředky pro spojování pryže s kovy a vlákny, retardéry hoření (zhášedla), antistatické přísady, brusné materiály (pro výrobu brusných kotoučů) nebo výbušniny (výroba plastických trhavin). Existují i mnohé další. [3,8]

2.3 Výztužné materiály

V technologické koncepci moderní pneumatikářské výroby mají významnou úlohu technické vlákna a tkaniny, které slouží jako výztužné materiály jednotlivých částí pláště pneumatiky. Výztužné materiály výrazně ovlivňují tvar výrobku, jeho odolnost proti opakovanému namáhání, životnost, nosnost, odolnost proti oděru, a další řadu vlastností.

Hlavní oblastí využívání výztužných materiálů při konstrukci pláště pneumatiky jsou patní lano, kostra, nárazník a výztuže.

Výztužné materiály se dělí na textilní a kovové. [4,11]

2.3.1 Textilní výztužné materiály

Základní formou textilních výztužných materiálů používaných v gumárenském průmyslu jsou kordové nitě, které mají vysoký zákrut a jsou sdružené z několika nití tak, aby se dosáhlo požadované úrovně odolnosti kordu proti oděru a únavě.

Vlákna používaná ve funkci textilních kordů můžeme rozdělit na vlákna přírodní a chemické. [8,11]

Z přírodních vláken se používá pouze **bavlna** a to zejména pro méně náročné aplikace jako jsou hadice, membrány a pláště jízdních kol.

Z chemických vláken mají největší význam pro gumárenský průmysl vlákna polyesterová, polyamidová, viskózní a aromatické polyamidy (aramidy). [8,11]

Polyamidová vlákna mají vysokou pevnost, dobrou odolnost vůči oděru a ohybu a dobré elastické vlastnosti. Nevýhodou je nízká teplota měknutí, větší smrštění a horší světelná stabilita. Největší význam mají vlákna na bázi PA6 a PA66. [11]

Polyesterová vlákna jsou díky svým téměř univerzálním vlastnostem a použití nejdůležitějším druhem syntetických vláken. Mají poměrně vysokou pevnost v tahu, vysokou tepelnou a rozměrovou stabilitu a také odolnost vůči chemickým vlivům. V současné době jsou používána jak klasická technická vlákna, tak stále častěji vysokomodulové vlákna s nízkým smrštěním (HMLS) není potřebná dodatečná stabilizace pláště po vulkanizaci. Používají se jako výztužný materiál pro kostru pláště. [8,11]

Viskózní vlákna patří mezi základní typy chemických vláken. Z hlediska fyzikálních vlastností mají vysokou odolnost při dynamickém namáhání a výbornou teplotní stabilitu. Jejich význam klesá z důvodu nežádoucích vlastností, jako je například nízká pevnost v porovnání s polyesterem a vysoká náročnost výroby. Používají se v radiálních pláštích pro vysoké rychlosti. [8,11]

Aramidové polyamidy (aramidy) jsou vlákna s vysokou pevností, tepelnou odolností a dobrou rozměrovou stálostí. [8]

2.3.2 Ocelové výztužné materiály

Ocelové výztužné materiály jsou nejčastěji z nerezové oceli. Hlavní požadavky, které se kladou na výztužné materiály, jsou vysoká pevnost a rozměrová stabilita, adheze ke gumové směsi, dokonalé rozložení mezer mezi dráty, odolnost proti korozi, ohybová tuhost, odolnost vůči tlaku, dostatečné pronikání směsi do mezikordového prostoru, hladké okraje nařezaných pogumovaných ocelových kordů. Pro dostatečnou adhezi k pryži je vlákno opatřeno vrstvou mosazi.

Hlavní použití ocelových kordů je v nárazníku radiálních plášťů. Někdy také v kostře.

Ocelové dráty se používají k výrobě patních lan. [4,11]

3 ZKOUŠKY PNEUMATIK

Zkoušky pneumatik pro cestovní 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. Nejvhodnější způsob je zjišťování kvality a životnosti pneumatik v reálných podmínkách. Vzhledem k podstatně delší životnosti pneumatik než jiné průmyslové výrobky je časový interval praktických zkoušek dlouhý. Naproti tomu je 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. [9,11]

V pneumatikářském průmyslu se věnuje zvýšená pozornost všem technologickým procesům od přípravy kaučukové směsi až po konečnou vulkanizaci pláště pneumatik.

Patří zde:

zkoušky směsí - mají pevný řád a umožňují chemikům a technologům hodnotit kvalitu již v úvodní fázi výroby.

kontrola kvality polotovarů - hodnotí se měřením běhounů, bočnic, kordových a ostatních tkanin s nánosem kaučukové směsi, výplňových profilů a patních lan.

vizuální kontrola - zjišťuje se kvalita konfekčních prací a také přípravných prací před lisováním a vulkanizací.

kontrola po vulkanizaci - hodnotí se povrch zvulkanizovaného pláště pneumatiky, kde se mohou vyskytovat vzhledové vady například v podobě nedolisků nebo vady funkční, jako jsou nespojitě části pláště a poškozené pláště pneumatiky.

Moderní diagnostické metody využívají průmyslový rentgen, díky kterému je možné přesné zhodnocení kostry pláště pneumatiky. Zejména se jedná o rozložení kordových nití v kostře pláště a v nárazníku, což je zvláště důležité pro kontrolu pláště pneumatik s ocelovým výztužným pásem a pneumatik celoocelových. Do souhrnu kontrolních metod v rámci výrobního procesu patří také hodnocení rovnoměrnosti v rozložení hmoty po obvodu pláště pneumatiky. U pláště pneumatiky se proto provádí tzv. test uniformity, 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.

zkoušky na zkušebně - Všechny laboratorní zkoušky kaučukových směsí, hodnocení polotovarů a hodnocení rovnoměrnosti pláštěů umožňují zjistit nedostatky. Nedávají však komplexní odpověď na funkční vlastnosti a kvalitu povrchu. Kvalifikovaným kompromisem pro řešení situace je provádění zkoušek na zkušebně. Komplex těchto zkoušek zahrnuje geometrická měření a statické i dynamické zkoušky. [9]

3.1 Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky se provádějí v laboratořích při přesně definovaných a regulovaných podmínkách. Výhodou daných zkoušek je vysoká míra opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, která je dána možností přesné regulace zkušebních podmínek a parametrů. Mezi tyto parametry se zařazuje v závislosti od charakteru zkoušek rychlost, radiální zátěž, hustící tlak, úhel odklonu, úhel směrové odchylky, teplota okolí, relativní vlhkost okolí i čas trvání jednotlivých zkušebních kroků.

3.1.1 Statické zkoušky

Při zkouškách nedochází k odvalování a rotaci pneumatiky a vlastnosti se měří ve statickém stavě.

Hodnocení obvykle začíná zjištěním **hmotnosti pláště, měřením hloubky koruny pláště a určením tvrdosti běhounu**.

Následně se plášť namontuje na zkušební ráfek, nahustí se na požadovaný tlak, zkontroluje se **vzduchotěsnost** a v případě potřeby se plášť na ráfku stabilizuje zaběhnutím na bubnovém zkušebním stroji.

U nahuštěných pneumatik se nejprve měří **základní vnější rozměry** (celková šířka, vnější průměr a obvod pneumatiky), pak se charakterizuje její **tuhost** měřením závislosti síly a deformace na měřícím stole:

- *statická radiální tuhost* je měření deformace nahuštěné pneumatiky v závislosti na velikosti radiální zátěže pneumatiky
- *statická boční tuhost* se získá ze závislosti boční deformace na boční síle
- *statická obvodová tuhost* se měří při pohybu stolu v podélném směru
- *statická torzní tuhost* je založená na měření torzního momentu pneumatiky v závislosti od úhlu natočení měřícího stolu

Statická **stopa pláště** se získá přitlačením nahuštěné pneumatiky s běhounem natřeným barvou na tvrdý papír. Otisk stopy pláště se oskenuje a vyhodnotí se rozměry stopy a plnost dezénu (tj. poměr kontaktní plochy k celkové ploše otisku).

Rozložení kontaktního tlaku ve stopě pláště není rovnoměrné a zjišťuje se elektronicky (pneumatika přitlačuje na speciální desku tvořenou snímači tlaku) nebo opticky (pomocí speciální fólie, která vlivem tlaku mění svou barvu případně intenzitu zbarvení).

Pevnost pláště se zkouší dvěma způsoby:

- při zkoušce *průrazem trnu* se vtlačí zaoblený trn předepsaného tvaru a velikosti do středu koruny pláště nahuštěné a upevněné pneumatiky. Měří se průrazová energie.

- zkouška *vodním tlakem* se provádí tak, že do pláště pneumatiky, který je namontovaný na speciálním ráfku se vpouští tlaková voda až do porušení pláště. Výsledkem zkoušky je mimo tlak a objem vody při porušení pláště i vyhodnocení místa a rozsahu porušení pláště.

Měření **dosedacích sil v patce pláště** bezdušové pneumatiky se provádí pomocí čelistí, které plášť hydraulicky roztahují. Stanový se radiální tuhost patky pláště, která má významný vztah k bezpečnosti a montovatelnosti pláště na ráfek.

Nízká radiální tuhost pláště může mít za následek sklouznutí patky s ráfku při působení bočních sil. Pro posouzení bezpečnosti bezdušových pneumatik se proto **stanový odpor patky pláště proti sklouznutí z ráfku** (s následným únikem vzduchu) působením boční síly.

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

Důležitou charakteristikou nových a obnovených plášťů je hloubka dezénových drážek a výška indikátorů opotřebení, které se měří pomocí hloubkoměrů. Výsledkem je nejmenší naměřená hloubka dezénové drážky.

U pneumatik pro vozidla určených na přepravu hořlavých a výbušných látek má velký význam měření povrchového elektrického odporu pláště. [8,11]

3.1.2 Dynamické zkoušky

Při dynamických zkouškách se prověřují trvanlivostní charakteristiky plášťů odvalováním se na vnějším nebo vnitřním povrchu ocelového zkušebního bubnu při dodržení předepsa-

ných podmínek. Trvání dynamických zkoušek určuje buď předepsaný čas, nebo přerušení struktury a celistvosti pláště.

Rychlostní zkoušky jsou zaměřené na prověření trvanlivosti pláště při vysokých rychlostech, které se přibližují nebo překračují rychlostní kategorii pláště. Jejich trvání je v porovnání s únavovými zkouškami krátké (typický čas trvání 60 až 150 minut).

V průběhu rychlostní zkoušky se otáčky ocelového bubnu v předepsaných časových krocích postupně zvyšují až do dosažení předepsaného času nebo až do destrukce. Vysokorychlostní zkoušky je možné provádět i při nenulovém úhlu mezi dělicí rovinou pneumatiky a zkušebního bubnu. Pro úspěšnou zkoušku se na plášti nesmí objevit žádné známky porušení. Typickým porušením pláště při rychlostních zkouškách je vytrhání gumy z dezénu, vytrhání desénových figur (výstupky desénu) a separace výztužných pásů (nárazníků).

Únavové zkoušky se používají za účelem zjištění trvanlivosti pláště pneumatiky. Trvání těchto zkoušek je mnohem delší než u zkoušek rychlostních (typický čas trvání je 80 až 250 hodin). Zkoušky se provádí při konstantní rychlosti. Únavové zkoušky se nejčastěji zaměřují na patky pláště a oblast kostry, nejméně na výztužné pásy.

Při únavových zkouškách patky se používá nižší rychlost (běžně 60 km/h) a vyšší radiální zatížení. Při únavových zkouškách kostry se používá vyšší rychlost (80 až 120 km/h) a pneumatika je většinou přehuštěná.

Po skončení rychlostních a únavových zkoušek se pláště analyzují a zjišťuje se případná příčina porušení pláště. Při analýze se plášť rozřeže tak, aby z řezu bylo možné příčinu poškození pláště vyhodnotit.

Dynamické vlastnosti

Mezi důležité dynamické měření patří měření valivého odporu, měření dynamických směrových charakteristik, měření vlastností pneumatiky na vysokorychlostním těstě uniformity, měření hluku pneumatiky a měření distribuce teploty na povrchu pláště.

Valivý odpor pneumatiky je práce spotřebovaná při odvalování na jednotku vzdálenosti. Valivý odpor se obvykle měří při třech různých rychlostech. S rostoucí rychlostí valivý odpor pneumatiky roste. Valivý odpor výrazně ovlivňuje spotřebu paliva.

Při *měření dynamických směrových charakteristik* se měří boční síla, vratný moment, radiální síla, obvodová síla a klopivý moment pneumatiky. Ze závislosti boční síly (případně z vratného momentu) na úhlu směrové odchylky se stanoví směrová tuhost.

Měření na vysokorychlostním testu uniformity se měří podobné vlastnosti jako na běžném testu uniformity. V důsledku vysokých rychlostí odvalování se však projevují odstředivé síly působící na pneumatiku a chování pneumatiky je podobné chování v reálných podmínkách.

Rotací zatížené pneumatiky a její neustálé deformace mají za následek *růst teploty* pláště pneumatiky a růst teploty vzduchu uzavřeného v pneumatice. V místě kde při rychlostních a únavových zkouškách dochází k lokálnímu růstu teploty, dochází obvykle k porušení pláště. K měření teploty se používá bezkontaktního optického měření povrchové teploty pláště. [8,11]



Obr. 18. Bubnový zkušební stroj [20]

3.1.3 Zkoušky opotřebení

Zkoušky opotřebení slouží k zjištění odolnosti různých materiálů vůči odírání a rozumí se tím změna povrchu materiálu a jeho úbytek podle podmínek, za kterých jsou zkoušky opotřebení prováděny. Hodnotí se hlavně odolnost pryžových výrobků jako běhounů pneumatik, krycí vrstvy dopravních pásů, ale i podrážky bot, syntetických usní a dalších. Podle stupně odolnosti vůči opotřebení (oděru, otěru a vzájemného tření) je možné předpokládat životnost výrobku. Dosud bylo vyvinuto asi 30 různých druhů laboratorních přístrojů na stanovení odolnosti proti oděru, které se však liší principem odpovídajícím jednotlivým reálným podmínkám. Neexistuje však kritérium pro posouzení vhodnosti daného přístroje. Absolutní shoda mezi laboratorními výsledky obrusivosti a zkouškami opotřebení plášťů na vozidlech prakticky neexistuje. [11,13]

Důležitá je správná volba zkoušky, protože každé opotřebení je důsledkem jiného namáhání. Většinou se zkouší tření materiálu pro různě drsné až brusné povrchy, kde hlavní roly mají síla tření F , kolmá tlaková síla N a součinitel smykového tření μ .

$$F = \mu \cdot N \quad [\text{N}] \quad [1]$$

kde: F - síla tření [N]

N - kolmá tlaková síla [N]

μ - součinitel smykového tření [-]

Koeficient tření, který bývá pro běžné materiály konstantní, je pro vulkanizáty závislý na celkové ploše dotyku vzorku s podložkou, na normálové síle, na rychlosti pohybu vzorku, na teplotě, na stavu podložky (drsnost, přítomnost maziv a nečistot) a mnoha dalších vlivech.

Občas se zjišťuje i statické a dynamické tření, což naznačuje, že existuje jiný koeficienty tření, když pohyb vulkanizátu po podložce začíná a jiný, když se vzorek po podložce nějakou dobu pohybuje.

Podle charakteru uspořádání stavu povrchu lze tření rozdělit na deformační a adhezivní.

$$F = F_d + F_a \quad [\text{N}] \quad [2]$$

kde: F_d - deformační síla tření [N]

F_a - adhezivní síla tření [N]

Deformační tření souvisí s přetvářením nerovností na povrchu měkčí složky tvrdší třecí složkou. Adhezivní tření je většinou menší než deformační a vyskytuje se při každém kontaktu povrchů dvou těles (působení nízkomolekulárních sil). Obecně lze říct, že hladké povrchy a různé hodnoty zatížení podporují adhezivní vlivy. Naopak velké povrchové nerovnosti nebo hrubá třecí síla působící na těleso vyvolávají jeho deformaci.

Při obrušování papírem nebo brusnými kotouči dochází nejprve k odírání hladkého povrchu brusnými hranami a následně vytváření paralelních rýh kolmých na směr obrušování, což simuluje reálné chování pneumatik. Při dalším odírání se vytvářejí výstupky, které se postupně ztenčují, až se odtrhnou a zanechají hladký povrch. Na něm se vytvoří další výstupky, a tak to pokračuje dále. [8,13,19]

Při laboratorních zkouškách je snaha nastavit zkušební podmínka tak, aby příčiny poškození výrobku v aplikaci a při zkoušce v laboratoři byly podobné a mohl se předpokládat v obou případech podobný průběh.

Výsledkem laboratorních zkoušek oděru je obvykle hmotnostní úbytek po dané zkoušce, i když v některých případech se měří jen změna tloušťky. (Obě tyto proměnné jsou přímo měřitelné).

Při srovnání odolnosti proti oděru pro různé materiály se často hmotnostní úbytek přepočítává na úbytek objemový tak, že se vydělí hmotnostní úbytek hustotou. Mírou odolnosti daného vulkanizátu proti oděru je pak objemový úbytek vyjádřený v mm^3 získaný za normovaných podmínek.

Při zkouškách oděru není nikdy rychlost oděru v čase konstantní, především v důsledku postupné změny vlastností brusných nástrojů. Pro zvýšení spolehlivosti výsledků oděru je proto třeba přesně definovat podmínky zkoušky a výsledky na zkušebním vzorku srovnat s výsledky oděru dosaženými za stejných podmínek na standardním vulkanizátu.

Při použití standardního vulkanizátu je možné odolnost proti oděru vyjádřit jako:

$$\text{Index odolnosti proti oděru (\%)} = \frac{V_S}{V_R} \cdot 100 \quad [3]$$

kde: V_S - je objemový úbytek standartu [mm^3]

V_R - je objemový úbytek zkoušeného vulkanizátu [mm^3]

Tření a oděr spolu navzájem souvisí, protože mechanismus oděru zahrnuje i tření. Pro pneumatiky, které jsou nejdůležitějším gumárenským výrobkem, jsou tak tření (odolnost proti skluzu na vozovce) tak oděr (životnost pneumatiky) velmi důležité charakteristiky. [8]

Druhy zkoušek odolnosti proti oděru

Zkoušky oděru mohou být rozděleny do dvou hlavních typů na ty, které využívají volné brusivo a ty, které využívají pevné brusivo.

Volná brusiva ve formě prášku mohou být použita na způsob stroje pro otryskávání, jako způsob simulace působení písku, nebo podobné brusivo dopadající na gumu v provozu. Volné brusivo může být také použito mezi dvěma kluznými plochami. Dopravní pásy například podléhají oděru sypkých látek. Automobilová pneumatika je příkladem, kde je kombinace oděru pevného brusiva v podobě silnice a sypkého brusiva v podobě kamínků.

Pevné brusivo se může skládat téměř z všeho, ale nejčastěji se jedná o brusné kotouče, brusný papír nebo tkanina a kovové nože. [7]

Zkušební zařízení a běžné geometrie zkoušek opotřebení

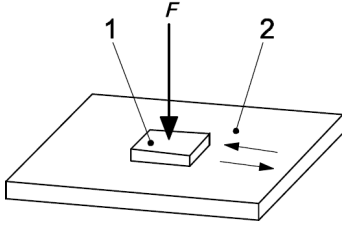
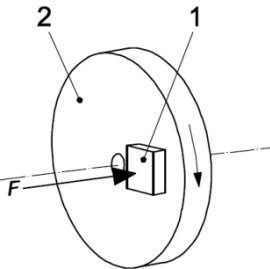
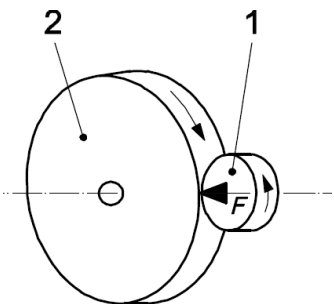
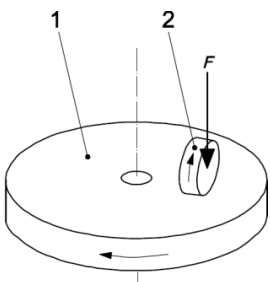
Bylo vyvinuto velké množství testů opotřebení. V následujícím seznamu jsou uvedeny ty, co mají největší význam v gumárenském a plastikářském průmyslu.

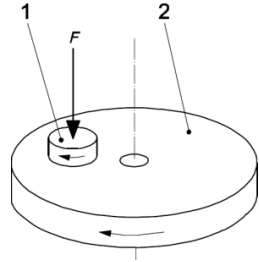
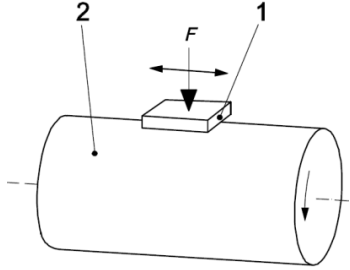
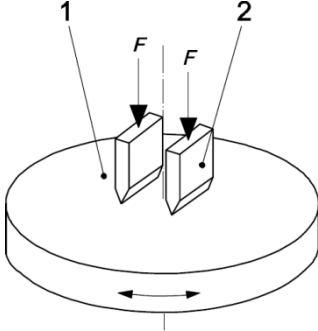
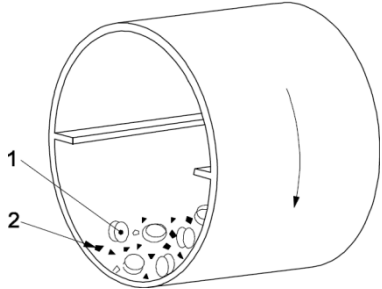
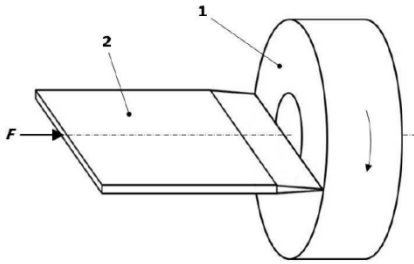
Tab. 1. Zkušební zařízení [7]

Metoda	Popis metody	Geom.
Akron	Geometrie kotouč o kotouč, vyznačuje se schopností měnit míru skluzu změnou relativního úhlu kotoučů.	3
Blade abrader (čepel obrušovače)	Jeden nůž při konstantním normálním zatížení je v kontaktu s plochým povrchem rotujícího zkušebního trubkového kotouče.	9
DuPont (Grasselli)	Pár malých, plochých tvarových zkušebních těles na rotujícím brusném papírovém disku.	2
Frick Taber	Brusný kotouč na disku zkušebního vzorku s dodatečným tokem brusiva ve formě prášku. Významná simulace pro opotřebení podlahy.	4
LA 100	Sofistikovaný počítačem řízený přístroj umožňující změnu několika parametrů. Brusný kotouč na disku zkušebního vzorku.	4
Lambourn (Dunlop)	Jak zkušební těleso, tak i brusný kotouč jsou poháněny. V důsledku rozdílných rychlostí dochází k prokluzu.	3
Zlepšený Lambourn	Výrazně zlepšená konstrukce. Testovací kus a brusný kotouč jsou řízené nezávisle na sobě.	3
Martindale	Kotouč zkušebního vzorku na plátně brusného kotouče. Vzor relativního pohybu tvoří Lissajousovy obrazce dávající vícesměrné opotřebení. Standardní metoda pro povrstvené tkaniny.	Modifikace 1
NBS	Malý čtvercový zkušební vzorek ve styku s otáčivým bubnem pokrytým brusným papírem. Používá se zejména pro směsi obuvi.	6
Pico	Disk zkušebního vzorku se otáčí ve styku s párem wolframových nožů dodávané s jednotným proudem zásypu.	7
Rotační válcový buben (DIN, Conti)	Malý kotouč zkušebního vzorku přejíždí rotující válec pokrytý brusným papírem, který dává velké množství brusiva/zkoušená oblast plochy.	6
Rotační válcový mlýn	Zkušební vzorky obvykle kotouče a brusný materiál jsou spolu uvnitř rotujícího dutého bubnu. Pohyb simuluje činnost volného proudícího brusného materiálu.	8

Schiefer (WIRA)	Zkušební vzorek a brusivo jsou dva kotouče uspořádané, jak je znázorněno na obrázku. Pohyb vytváří vícesměrný oděr. Různé brusivo může být použito, včetně zoubkovaného kovového povrchu.	5
Taber	Pár brusných kotoučů jsou v kontaktu s poháněným plochým kotoučem zkušebního kola. Sílu na kolech a povahu brusiva lze snadno měnit a zkouška může být provedena v přítomnosti kapaliny.	4

Tab. 2. Běžné geometrie zkoušek opotřebení [7]

Geom.	Schéma	Popis
1		Zkušební těleso je vratně lineárně ve styku s tabulí brusiva (případně se pás brusiva může pohybovat kolem stacionárního zkušební vzorku).
2		Brusivo je rotující disk, zkušební těleso je drženo proti němu (nebo naopak).
3		Jak brusivo, tak zkušební těleso jsou ve tvaru kola, z nichž jeden může být řídicí prvek.
4		Brusné kolo je poháněno plochým rotujícím zkušebním tělesem ve tvaru kotouče.

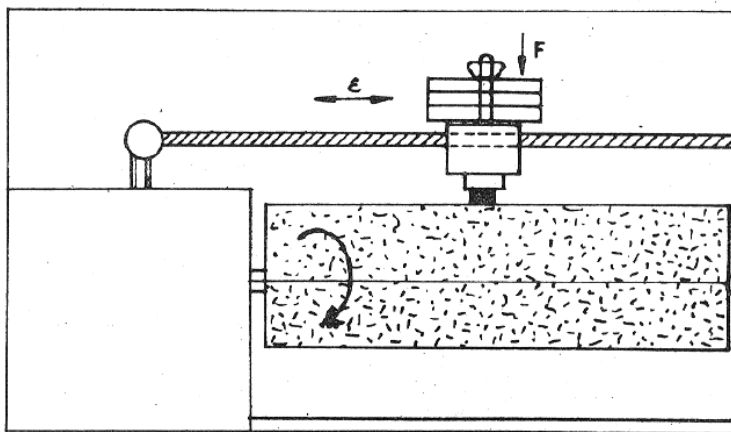
<p>5</p>		<p>Zkušební vzorek a brusný kotouč se otáčí.</p>
<p>6</p>		<p>Zkušební vzorek se posouvá na rotačním bubnu.</p>
<p>7</p>		<p>Zkušební vzorek se otáčí v kontaktu s dvojicí kovových nůžů.</p>
<p>8</p>		<p>Zkušební vzorky spolu s brusným materiálem se odvalují uvnitř dutého rotačního bubnu.</p>
<p>9</p>		<p>Jeden kovový nůž je držěn proti rotujícímu zkušebnímu trubkovému vzorku.</p>
<p>1 - testovaný vzorek, 2 - brusivo</p>		

3.1.3.1 Metoda Bussen-Schlobach

Postup metody spočívá v tom, že zkušební tělísko tvaru válce s průměrem 16 mm a výškou 6 - 10 mm se odírá na válci, kterého povrch je pokryt brusným povlakem. Zkušební tělísko se vkládá do pouzdra, které je upnuto v objímce na kyvadlovém jezdcí. Jezdec připevněný na kyvadle umožňuje podélný pohyb vzorku po rotujícím válci a také se vzorek otáčí kolem své vlastní osy. Váha jezdcce a objímky s pouzdrem je uzpůsobena tak, aby na zkoušenou plochu zkušebního vzorku působila síla 10 N což je zatížení 1 kg.

Zkušební vzorek s pouzdrem se uchytlí do jezdcce tak, aby jeho plocha byla kolmá na povrch válce a vyčníval 2 - 2,5 mm z kyvadla. Spustí se otáčky válce s odírajícím povrchem a zkušební těleso se pohybuje po válci. Jako brusný prvek se používá standardní brusný papír s korundovými zrnky definované velikosti, jehož ostrost je nezbytné kontrolovat před každým použitím standardizovaného vzorku pryže. Standardní směs na takovém povrchu po absolvování celkové dráhy 40 m (400 mm při jedné otáčce vzorku, která proběhne 100x) a zmiňované síle přitlaku 10 N má mít úbytek hmotnosti 180 - 220 mg. Zkouší se nejprve standardní vzorek, pak tři zkušební vzorky a nakonec opět standardní vzorek.

Pomocí této metody se dosahuje průměrných hodnot opotřebení na 1 m dráhy 6 mm^3 pryže. [13,19]



Obr. 19. Schéma zařízení dle metody Bussen-Schlobach [19]

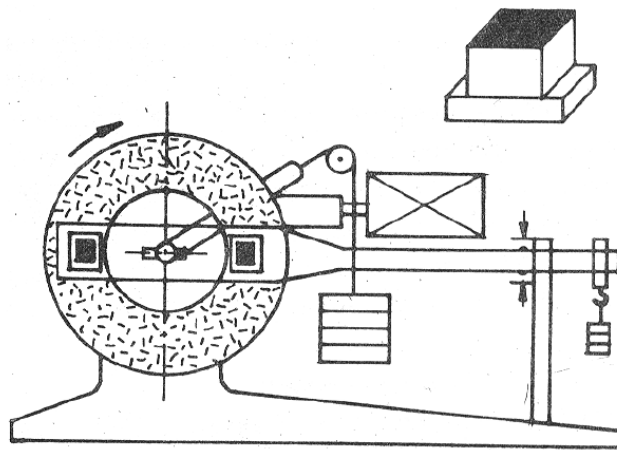
3.1.3.2 Metoda du Pont-Grasseli

Pro tuto metodu se používají zkušební tělesa, které mají čtvercový průřez o straně 20 mm a výšce 10 mm a jsou opatřeny patkami pro upnutí. Dva vzorky se upevňují na patku přístroje, pomocí které jsou přitlačována konstantním tlakem 0,045 MPa na brusný kotouč tvaru mezikruží. Brusný kotouč se otáčí rychlostí 37 ot/min. Zkoušku můžeme měřit také při

konstantním tření. Obroušené částičky vzorku se při zkoušce odstraňují stlačeným vzduchem a pro každou sadu zkušebních těles se používá nový brusný kotouč, čímž se zachovává ostrost kotouče.

Zkouška probíhá tak, že se nejprve přebrousí dvojice zkušebních těles srovnávacího materiálu, potom dvě dvojice zkušebních těles zkoušeného materiálu a nakonec dvojice těles srovnávacího materiálu. Podle zkoušeného materiálu se volí doba odírání. Čím odolnější typ, tím je doba odírání delší (3 min nebo 5 min). Pomocí této metody se dosahuje průměrné hodnoty opotřebení na 1 m dráhy 10 mm^3 pryže.

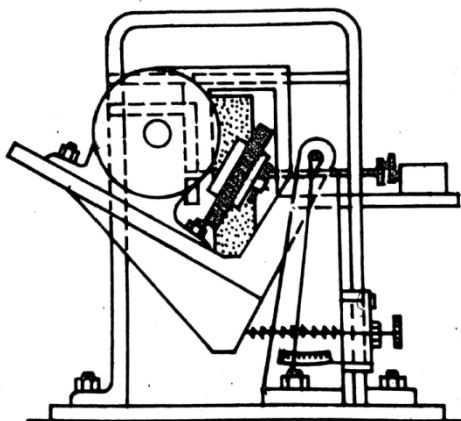
Pokud měření probíhá při konstantním tření je vyhodnocení podobné a tyto zkoušky jsou vhodné zejména pro měření běhounových směsí, protože se podobají silničním zkouškám. [13,19]



Obr. 20. Příklad přístroje na obroušování du Pont-Grasselli s konstantním tlakem [19]

3.1.3.3 Metoda Akron-Croydon

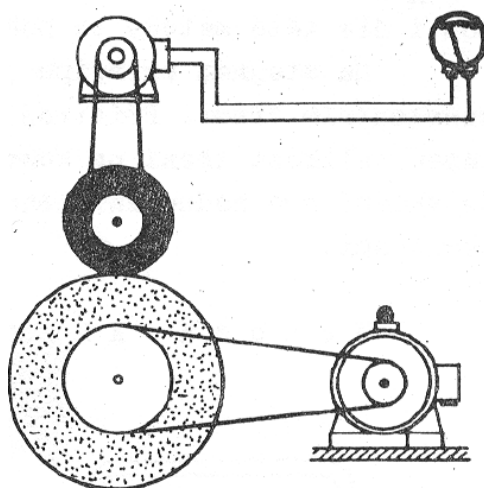
Jako zkušební těleso se používá dutý lisovaný kotouč (vnější průměr 64 mm, vnitřní průměr 43,6 mm a tloušťky 12,7 mm). Zkušební těleso se nasazuje na hřídel a rotuje rychlostí 250 ot/min. Na vzorek je pod úhlem 15° přitlačován tlakem 0,28 MPa karborundový kotouč. Částičky vzniklé při odírání se odstraňují zíněným kartáčem. Při zkoušení se postupuje tak, že se nejdříve zkouší těleso srovnávacího materiálu, potom dvě zkušební tělesa zkoušeného materiálu a nakonec opět zkušební těleso srovnávacího materiálu. Odolnost proti odírání se stanoví jako objemový úbytek materiálu za 1000 otáček nebo pomocí vzorce. [13,19]



Obr. 21. Schéma zařízení podle metody Akron-Croydon [13]

3.1.3.4 Metoda Dunlop-Lambourn

Metoda i tvar zkušebního tělesa jsou podobná jako u předchozí metody Akron-Croydon. Zkušební těleso je dutý kotouč (vnější průměr 64 mm, vnitřní průměr 43,6 mm a tloušťky 10 mm), které se otáčí rychlostí 600 ot/min. Na zkušební těleso je přitlačován korundový kotouč, který je opatřen samostatným pohonem. V místě styku dochází v důsledku rozdílných rychlostí k prokluzu, který má u běžně prováděných zkoušek hodnotu 16 %. Korundový kotouč se během zkoušky čistí zíněným kartáčem a stlačeným vzduchem. Při zkoušce se postupuje tak, že se nejprve zkouší těleso ze standardní pryže, potom dvě tělesa zkušebního materiálu a nakonec zase těleso standardní pryže. Odolnost proti odírání se udává jako objemový úbytek v cm^3 na 1 km dráhy. [13,19]



Obr. 22. Přístroj na zkoušení opotřebení metodou Dunlop-Lambourn [19]

3.2 Zkoušky na vozidlech

Zkoušky na vozidlech se provádějí jak v běžném provozu, tak i na speciálně vybudovaných zkušebních drahách. Výhodou těchto zkoušek je co největší přiblížení se k reálným podmínkám v provozu případně potřebám zákazníka. Nevýhodou těchto zkoušek je působení řady faktorů, které nelze nastavit.

Významný vliv na výsledky zkoušek mají především povětrnostní podmínky, se kterými je nutné počítat (např. teplota vzduchu, vozovky, síla a směr větru, vlhkost vozovky). Jejich vliv není možné eliminovat.

Pneumatiky se zkouší na vozidlech, která jsou pro daný typ pláště určeny a nejsou nijak podstatně konstrukčně upravené. Z hlediska hodnocení pneumatik se rozlišuje především suchá a mokrá vozovka, uježděný sníh a led. Podle zkušebních metod se vozidlové zkoušky rozdělují na zkoušky opotřebení (životnost) a zkoušky speciální.

3.2.1 Zkoušky opotřebení (životnost)

Před první jízdou se změří počáteční hloubka dezénových drážek. Vozidlo pak jezdí po stanoveném okruhu a vždy po ujetí určité dráhy se opětovně změří hloubka drážek na všech pláštích vozidla. Zkouška končí, když hloubka drážek dezénu kteréhokoliv pláště dosáhne minimální hodnoty stanovenou zákonem. K výsledku zkoušky se obvykle přidává fotodokumentace plášťů před a po zkoušce a také subjektivní hodnocení vlastností zkoušených pneumatik řidičem vozidla.

3.2.2 Speciální zkoušky

V rámci speciálních zkoušek se dělí podle charakteru na subjektivní a objektivní zkoušky. **Při subjektivních zkouškách** se hodnotí jízdní vlastnosti, hluk při odvalování pneumatik a komfort jízdy (míra příjemnosti ovládání vozidla s danými pneumatikami).

Při objektivních zkouškách se konkrétní vlastnosti měří pomocí měřících přístrojů umístěných na vozidle nebo mimo něj. Kvůli nekontrolovatelným vlivům při testování na vozovce se hodnocení provádí na základě porovnání s referenčními pneumatikami. Při objektivních zkouškách se hodnotí brzdná dráha, ovladatelnost, slalomový test, předjíždějící manévr, volný dojezd, měření hlučnosti na vozidle a účinný odvalený obvod. [8,11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo měření opotřebení běhounových směsí silně namáhaných pneumatik. Měření probíhalo na 7 různých vzorcích, které byly vyrobeny ze směsí z přírodního kaučuku (NB) a syntetických kaučuků (SBR, BR). Jednotlivé směsi se lišili v odlišném množství plniv ve formě sazí. Výsledky opotřebení byly porovnány s mechanickými vlastnostmi směsí a byly hledány souvislosti mezi dosaženými parametry pro praktické posouzení.

4.2 Měřené vlastnosti

Pro analyzování vlastností, které by mohly ovlivnit výsledné chování pryžových výrobků, bylo provedeno několik měření:

- Tahová zkouška (trhací stroj T 2000, Alpha Technology)
- Strukturální pevnost (trhací stroj T 2000, Alpha Technology)
- Tvrdost Shore (tvrdoměr HPE-A Bareiss)
- Odrazová pružnost Lüpke
- DMA (dynamicko-mechanický analyzátor DMA DX04T)
- Rychlý test opotřebení (zařízení Chip-Chunk)

Všechny měření byly prováděny při teplotě 21 °C na zkušebních tělesech určených pro dané měření.

4.2.1 Tahová zkouška

Princip zkoušky:

Zkušební těleso tvaru oboustranné lopatky se upne do upínacích čelistí tahového zkušebního stroje tak, aby bylo zabezpečeno symetrické upnutí koncových částí lopatek a aby byl tah rozložený rovnoměrně na příčný průřez tělesa. Zpustí se chod stroje, při čemž dochází k pohybu horní části stroje konstantní rychlostí a průběžně se zaznamenávají změny pracovní délky zkušebního tělesa a síly po celou dobu zkoušky až do okamžiku přetržení s přesností ± 2 %. Jmenovitá rychlost příčnicku s pohyblivou čelistí je 500 mm/min. Zku-

šební těleso, u kterého dojde k přetržení mimo pracovní část, se z měření vyřazuje a musí být provedeno nové měření.

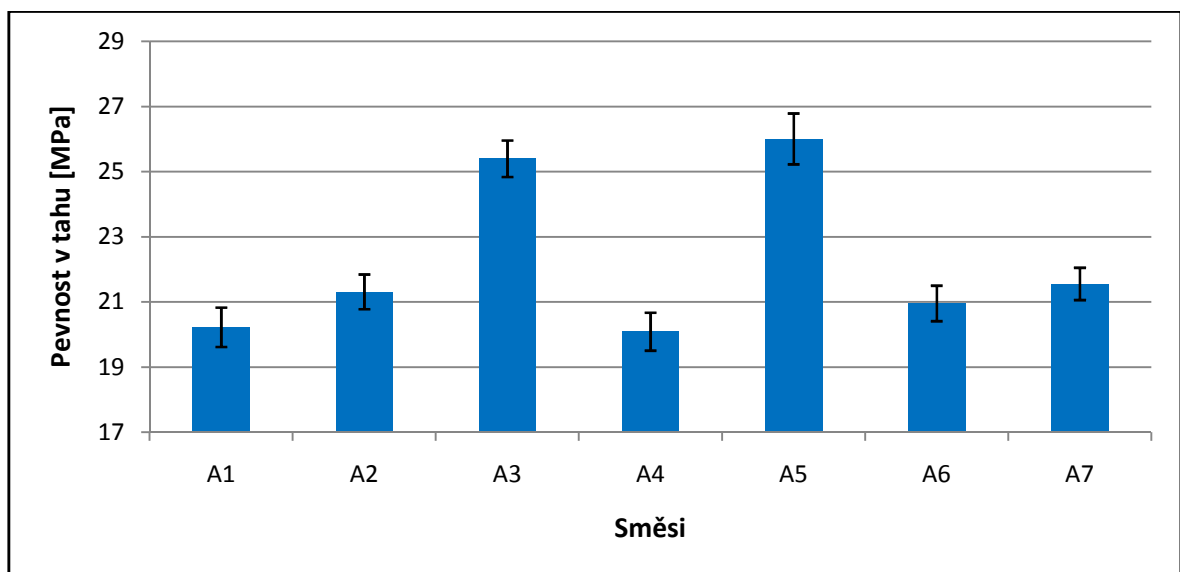
Z naměřených hodno se následně určují:

Pevnost v tahu – je definováno jako maximální napětí v tahu zaznamenané při protahování zkušební tělesa do okamžiku přetržení. Počítá se jako podíl maximální síly na původní plochu průřezu.

Napětí v tahu – je to napětí použité k protažení zkušební tělesa. Vypočítá se jako použitá síla na jednotku plochy původního průřezu délky pracovní části.

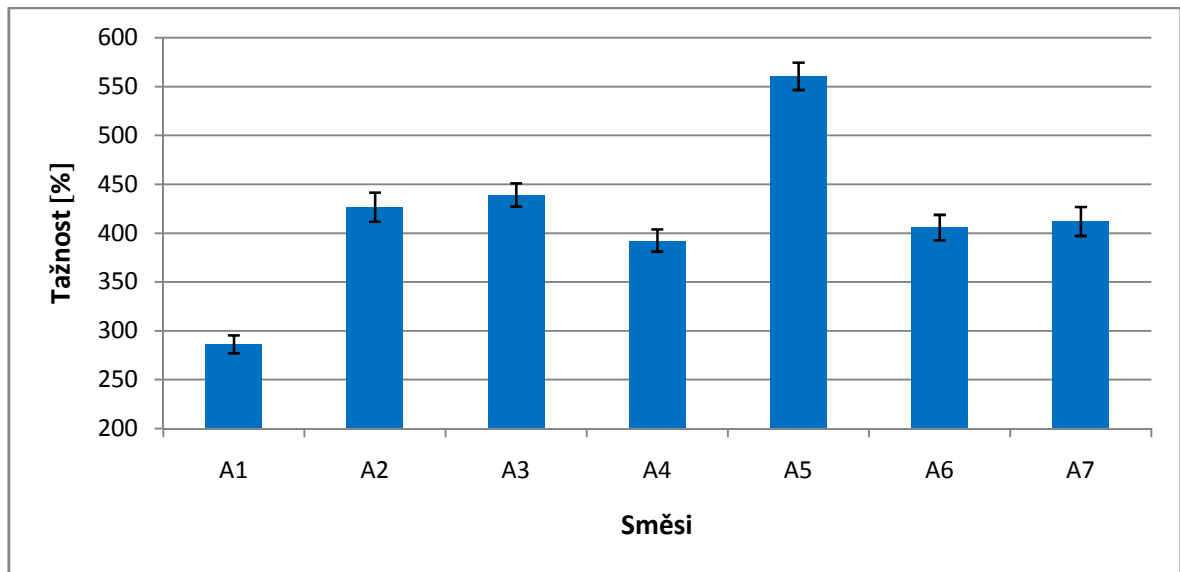
Poměrné prodloužení – přírůstek počáteční délky L_0 v každém okamžiku během zkoušky vztahovaný na počáteční měřenou délku L_0 .

Tažnost – jedná se o tahovou deformaci pracovní délky zkušební tělesa v okamžiku přetržení. [6]



Obr. 23. Porovnání pevnosti v tahu u jednotlivých směsí

Z výsledků měření bylo zjištěno, že největší hodnotu pevnosti v tahu měla směs A5 ($R_m = 26$ MPa) a tato pevnost v tahu se jen málo lišila od směsi A3 ($R_m = 25,39$ MPa). Nejmenší pevnost v tahu vykazovala směs A4 ($R_m = 20,08$ MPa), která se lišila od směsi A1 ($R_m = 20,22$ MPa) pouze v desetínách (Obr. 23).



Obr. 24. Porovnání tažnosti u jednotlivých směsí

Z tahové zkoušky bylo dále zjištěno, že nejvyšší hodnota tažnosti byla dosažena u směsi A5 s naměřenou hodnotou 560,35 %. Nejmenší hodnotu tažnosti vykazovala směs A1 kde byla naměřena hodnota 286,13 % (Obr. 24).

4.2.2 Stanovení strukturní pevnosti

Princip stanovení strukturní pevnosti spočívá v tahovém namáhání vhodného zkušebního tělíska. Zkouška se provádí na trhacím stroji, těleso vhodného tvaru se upne do čelistí a plynulou rychlostí 500 mm/min se deformuje až do přetržení.

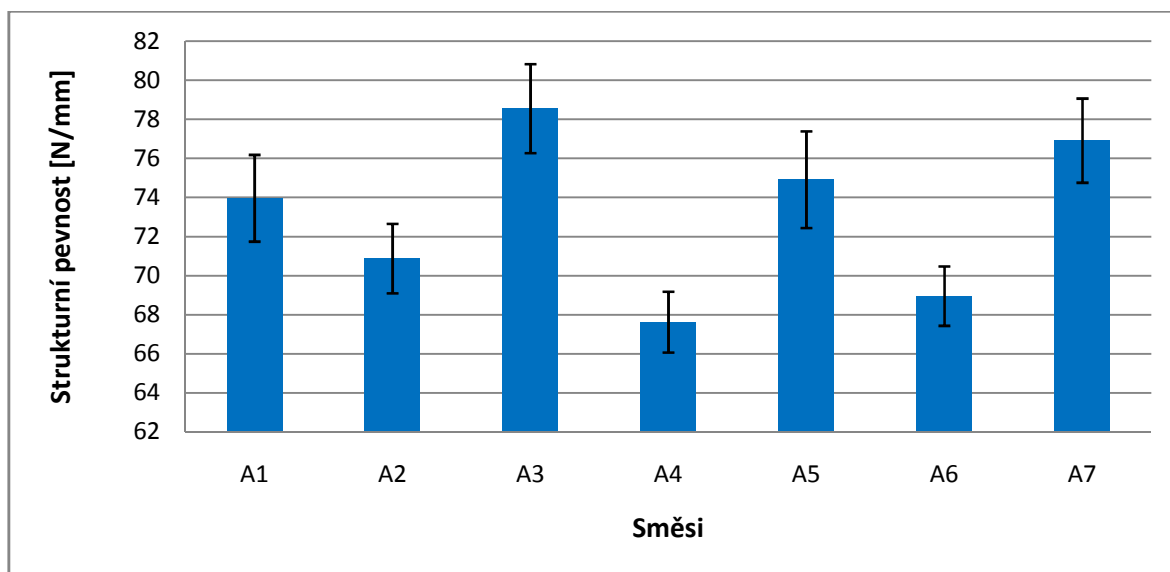
Hodnota strukturní pevnosti se vyjadřuje jako poměr síly potřebné na přetržení vzorku k dané tloušťce vzorku.

Jedná se tedy o odpor, který zkušební těleso klade proti roztržení při tahové deformaci.

Pro stanovení strukturní pevnosti se používají tahové zkoušky zkušebních těles různých tvarů, které usměrňují a koncentrují napětí do místa, ve kterém dochází ke strukturnímu trhání. Rozložení pnutí musí být protikladem s tělisky určenými pro tahovou zkoušku, kde jsou síly rozloženy pravidelně po celé šíři a objemu. V ideálním případě strukturní pevnosti by všechny síly měly být koncentrovány do jednoho bodu a způsobovat trhání přímo přes šířku tělesa.

Hodnoty strukturní pevnosti jsou silně závislé na teplotě, rychlosti deformace, tloušťce vzorku a hlavně na směrovém efektu (strukturní pevnost je jiná ve směru válcování než kolmo na něj). Zkušební tělesa mají tloušťku 2 mm a vysekávají se noži ve tvaru vzorků.

Zářez na zkušební tělese je proveden nožem při vyseknutí nebo se provádí dodatečně nařezávacím zařízením do hloubky 1 mm. [11,13]



Obr. 25. Porovnání strukturní pevnosti u jednotlivých směsí

Z výsledků měření bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota strukturní pevnosti byla dosažena u směsi A3 s naměřenou hodnotou 78,54 N/mm. Nejmenší hodnotu strukturní pevnosti vykazovala směs A4 s naměřenou hodnotou 67,62 N/mm (Obr. 25).

4.2.3 Stanovení tvrdosti Shore

Princip spočívá v měření hloubky vniknutí měřicího tělesa s definovanými rozměry do vzorku materiálu. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vtláčení hrotu, závisí na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech materiálu. Tvrdost se počítá jako poměr zatížení a plochy vtláčení. Rozdíly mezi jednotlivými tvrdoměry jsou především ve tvaru a rozměrech zkušební hrotu, velikosti zatížení a charakteru působení, a také ve způsobě vyjadřování výsledků.

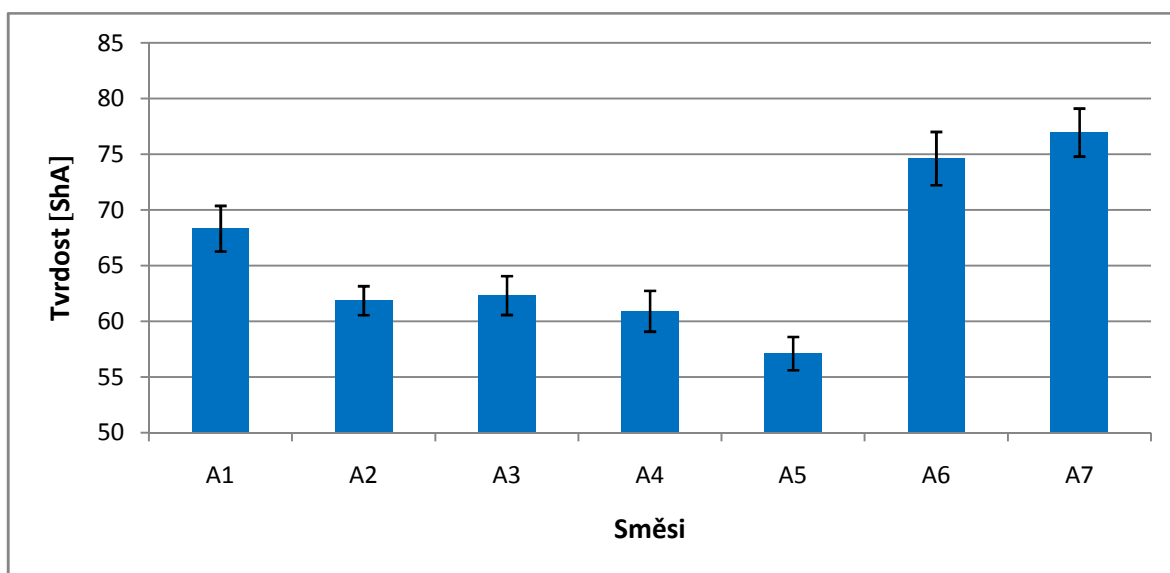
Pro měření tvrdosti se používají dva typy tvrdoměrů. Tvrdoměr Shore A se používá pro měření měkčích materiálů. Zkušební hrot tvrdoměru Shore A je vyroben z tvrzené oceli o průměru 1,25 mm. Má tvar komolého kuželu s průměrem zřezaného konce 0,79 mm a s vrcholovým úhlem 35°. Tvrdoměr Shore D se používá pro tvrdší materiály. Zkušební hrot tvrdoměru Shore D se oproti tvrdoměru Shore A liší tvarem hrotu, který je ve tvaru kužele s vrcholovým úhlem 38° a zaoblenou špičkou R0,1 mm.

Tloušťka tělesa musí být minimálně 6 mm a mohou být použity i vrstevnaté tělesa.

Zkušební těleso musí být dostatečně velké, aby bylo možné měření provádět ve vzdálenosti větší než je 12 mm od okraje a při více měřeních minimálně 5 mm od sebe tak, aby patka pevně přisedla po celé ploše.

Výsledná hodnota tvrdosti Shore D je aritmetický průměr z pěti měření, povolená odchylka od průměru nesmí být větší než $\pm 5\%$. Hodnota tvrdosti se odečítá za 15 s po přiložení tvrdoměru. U tvrdoměru Shore A se tvrdost odečítá za 3 s od okamžiku dotknutí, mění-li se hodnoty na stupnici i nadále, je nutné měření provádět až po 15 s.

Tento tvrdoměr může být upevněn na stojanu pro získání přesnějších hodnot nebo je s ním možno měřit i ručně. [5,11,13]



Obr. 26. Porovnání tvrdosti ShA u jednotlivých směsí

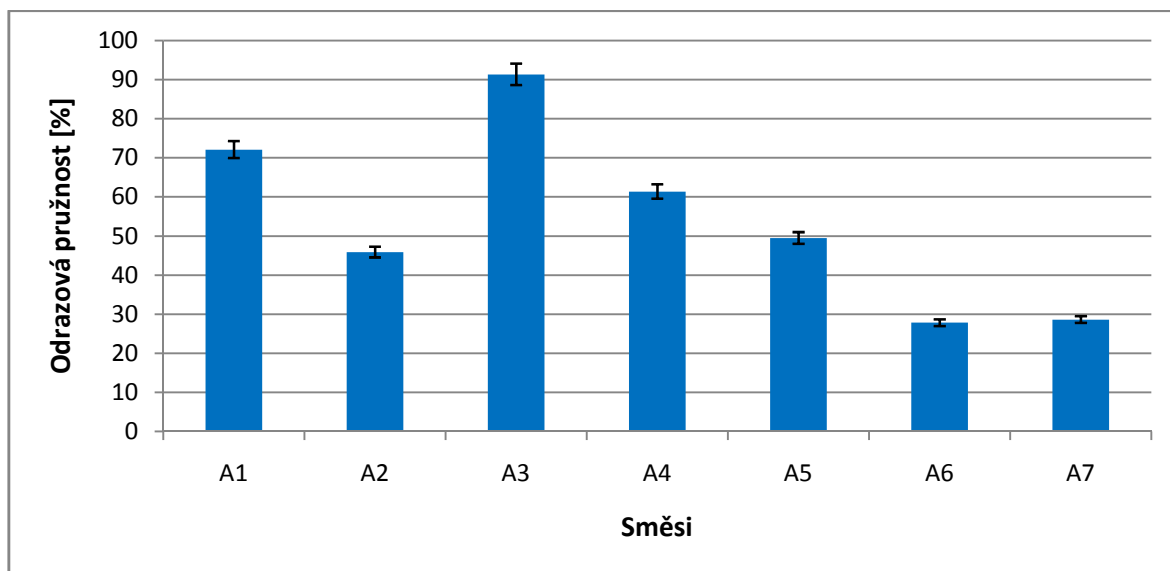
Při porovnání jednotlivých výsledků bylo zjištěno, že nejvyšší tvrdosti zjištěné metodou Shore A bylo dosaženo u směsi A7 (76,96 ShA). Nejnižší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u směsi A5 (57,13 ShA) (Obr. 26).

4.2.4 Odrazová pružnost

Stanovení odrazové pružnosti patří mezi nejznámější metody na určování schopnosti pryže absorbovat při nárazu mechanickou energii.

Princip zkoušky odrazové pružnosti podle Lüpkeho spočívá v tom, že kyvadlo ve tvaru tyče o hmotnosti 350 g se nechá dopadnout na zkušební těleso a na stupnici se určí výška, od které se odrazí kovové kyvadlo vlivem pružnosti zkoušeného materiálu. Stupnice, na

keré se odečítá výška, udává odrazovou pružnost v procentech. Podle poměru výšky odrazu k výšce před dopadem se vyhodnocuje odrazová pružnost. Požadované rozměry zkušebních těles pro zkoušku odrazové pružnosti odpovídají rozměrům těles pro rychlý test opotřebení. [13]



Obr. 27. Porovnání odrazové pružnosti u jednotlivých směsí

Z výsledků měření bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota odrazové pružnosti 91,35 % získaná metodou Lüpke byla dosažena u směsi A3. Nejmenší hodnota 27,81 % byla dosažena u směsi A6 (Obr. 27).

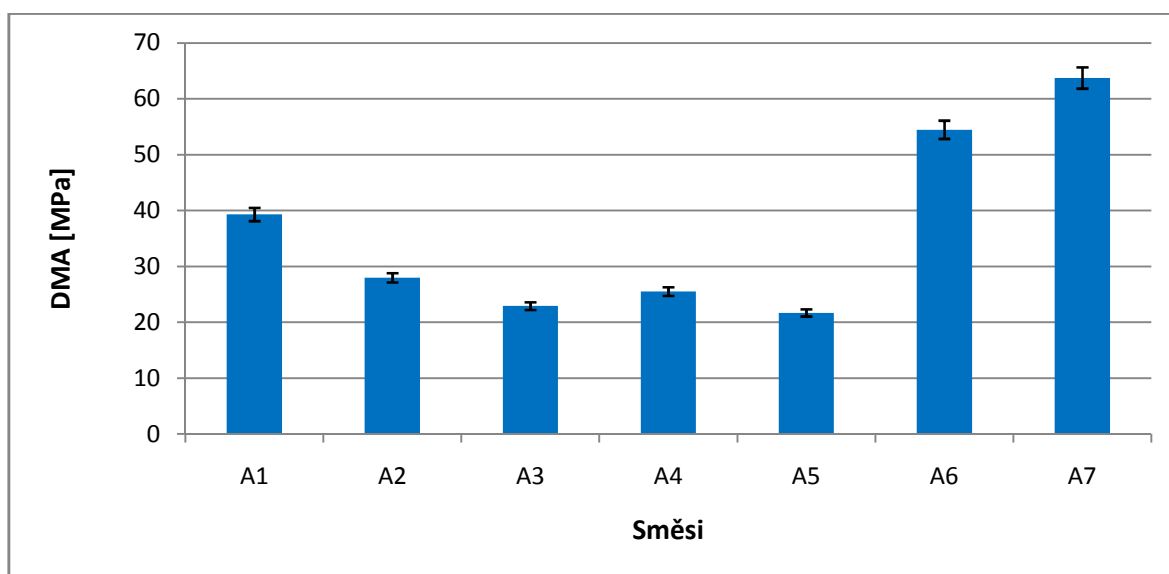
4.2.5 DMA (dynamicko-mechanická analýza)

DMA patří do skupiny termických metod (metody, které sledují teplotní chování polymeru). Patří k nejcitlivějším technikám, které jsou schopné charakterizovat a interpretovat mechanické chování materiálu. DMA je založena na sledování viskoelastické odezvy materiálu podrobené malému oscilačnímu napětí, kdy dokáže rozdělit viskoelastickou odezvu materiálu na dvě komponenty komplexního modulu (E^*). Reálná část je reprezentována elastickým modulem E' a imaginární část představující útlumovou (viskozitní) složku E'' . Celkový modul je pak součet obou složek. Toto rozdělení modulu do dvou komponent popisuje dva nezávislé procesy uvnitř materiálu - elasticitu (vratná složka) a viskozitu (ztrátová disipační energie).

Základem zkušebního zařízení jsou dvě vyvážená rovnoběžná ramena, uložená na speciálních torzních pružinách. Mezi ramena se do speciálního držáku upíná zkoušený vzorek,

který vytváří rezonanční systém. Rezonančním systémem se myslí rezonanční frekvence závislá na modulu a geometrii vzorku. Celé měřicí zařízení je umístěno v temperovaném prostředí, které umožňuje měřit při v širokém rozsahu teplot (obvykle v rozmezí od -150 do 500 °C), ale také při konstantní teplotě. Deformace vzorku je způsobena dvěma protichůdnými momenty stejné velikosti, které působí na protilehlé konce vzorku upnutého do svorek. [33]

Testovaný vzorek je konstantně deformován 0,1 mm při frekvenci 1 Hz.

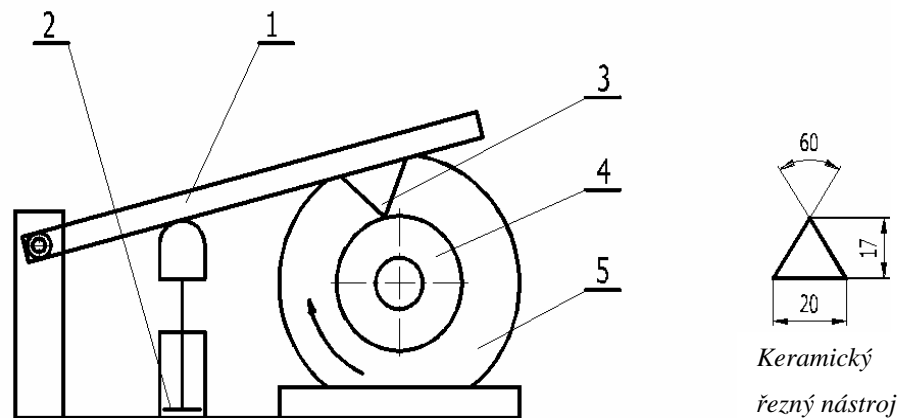


Obr. 28. Porovnání DMA u jednotlivých směsí

Z naměřených výsledků bylo dosaženo nejvyšší hodnoty DMA 63,76 MPa u směsi A7. Nejnižší hodnota DMA 21,7 MPa byla naměřena u směsi A5 (Obr. 28).

4.3 Test opotřebení

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, zkoušky opotřebení pneumatik se provádějí s hotovými pneumatikami jak v laboratorních tak v silničních podmínkách. Nejvhodnější způsob testování je přímo v silničním provozu, ale vzhledem k dlouhé životnosti pneumatiky je časový interval dlouhý a ekonomicky náročný. Proto byla snaha nalézt takovou zkušební metodu, při které by se dalo testovat opotřebení na malých vzorcích řádově v minutách, a byla by možnost porovnávat navzájem jednotlivé druhy směsí. Těmto požadavkům vyhovuje přístroj navržený na rychlé měření opotřebení pryžových dílů (Obr. 29). [15]

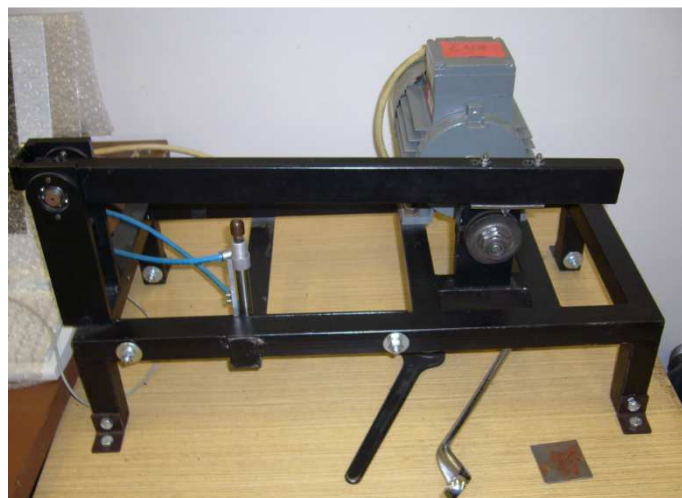


Obr. 29. Schéma přístroje na měření opotřebení pryžových dílů [15]

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

Princip:

Zkušební těleso s perem 4 se upne do drážky hřídele pomocí matic a upínacích podložek s hroty, které zabraňují proklouzávání. Hřídel je poháněná elektromotorem 5. Po zapnutí stroje se těleso roztočí na námi zvolené hodnoty otáček 500, 750, 910 ot/min. Následně byl uveden do chodu zdvihadcí mechanismus 2 pro zvedání ramene 1 s keramickým břitem 3. Od prvního kontaktu břitu se zkoušeným tělesem byl měřen čas. Díky dopadům ramene s břitem na měřený vzorek docházelo k postupnému opotřebení. Po ukončení zkoušky byl zjišťován úbytek hmotnosti na analytických vahách. Úbytek hmotnosti od původního vzorku dává míru opotřebení. [15]

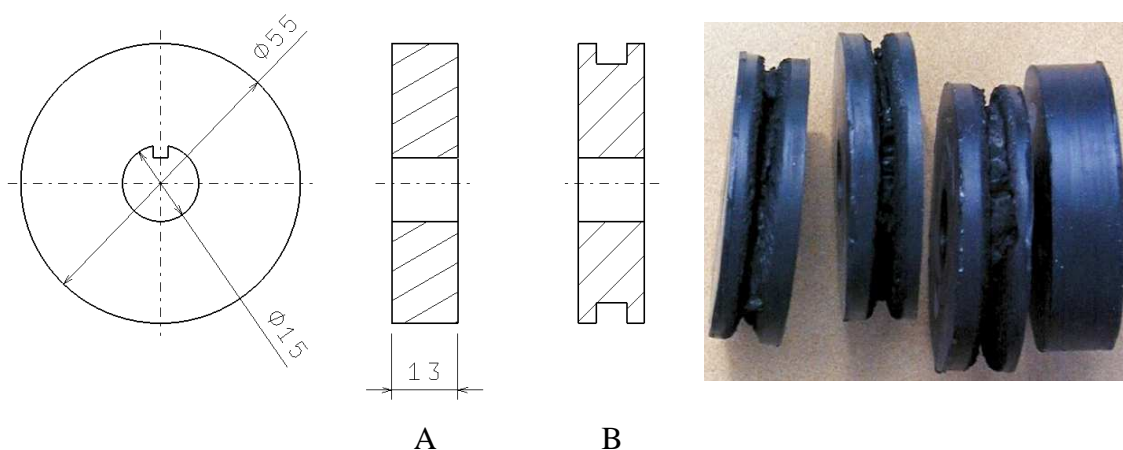


Obr. 30. Přístroj na měření opotřebení pryžových dílů

4.3.1 Zkušební tělesa

Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles byly zvoleny rozměry vzorku dle obr. 31. Jedná se o kotouč s perem. Tělesa byly zhotoveny při vulkanizaci v lise za teploty 160 °C po dobu 20 min. V průběhu testu opotřebení, docházelo vlivem dopadu keramického břítu k postupnému vykousávání drážky. Vzhledem k elastickým vlastnostem pryže docházelo k nerovnoměrnému vykousávání pryže.

Postup vulkanizace zkušebního tělesa: Lisovací stroj byl vytemperován na teplotu 160 °C, ze kterého byly vyjmuté desky s formou, do které se vložila kaučuková směs, a následně se přikryl druhou deskou a vložil do lisu. Po vložení do lisu a dotažení následovalo uvolnění pro odvod vzduchu a pak byl lis uzavřen na dobu 20 min. Po uzavření formy se směs rychle ohřála na teplotu vulkanizace, přičemž se ve formě vytvoří určitý přetlak, který zaručuje dokonalé vyplnění formy a potřebný tlak, aby se zabránilo tvorbě pórů. Po vyjmutí měl vzorek hladký, rovný povrch bez výše uvedených pórů. [15]



Obr. 31. Zkušební těleso pro test opotřebení Chip-Chunk [15]

A- vzorek před testem, B- vzorek po testu

4.3.2 Analýza opotřebení

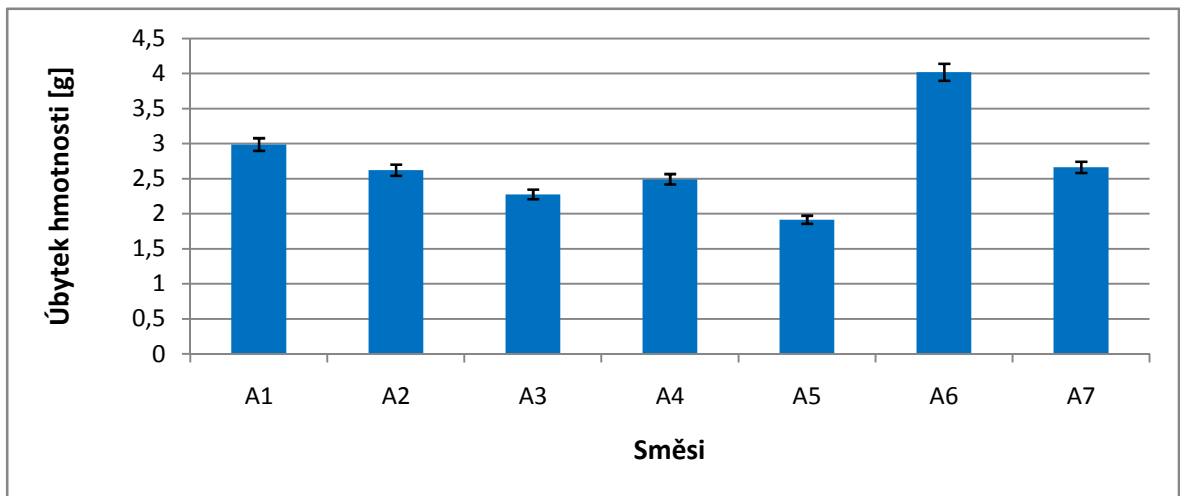
Rozhodující vliv na opotřebení bude mít energie dopadu břítu na povrch zkušebního tělesa. Vzhledem k tomu, že se jednalo o vzorky s elastickými vlastnostmi a ne pevné těleso, docházelo při hlavním účinku (první dopad břítu na povrch vzorku) k sérii dalších účinků, avšak s menší účinností (poskakování po povrchu). Z těchto poznatků se ukázalo, že posuzovat celkovou práci potřebnou k opotřebení vzorku vytvořením drážky pouze z energie hlavního dopadu by bylo značně zkreslené. Při prvním testování zařízení se vycházelo

z předpokladu, že výsledky v dané sérii měření budou srovnatelné, pokud měření bude probíhat za stejných podmínek. Konstrukce zkušebního tělesa s perem zapadajícím do drážky na hřídeli pojištěného proti proklouznutí upínacími podložkami s hroty. [15]

K měření bylo použito 15 zkušebních vzorků, které byly zhotoveny ze směsí A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7.

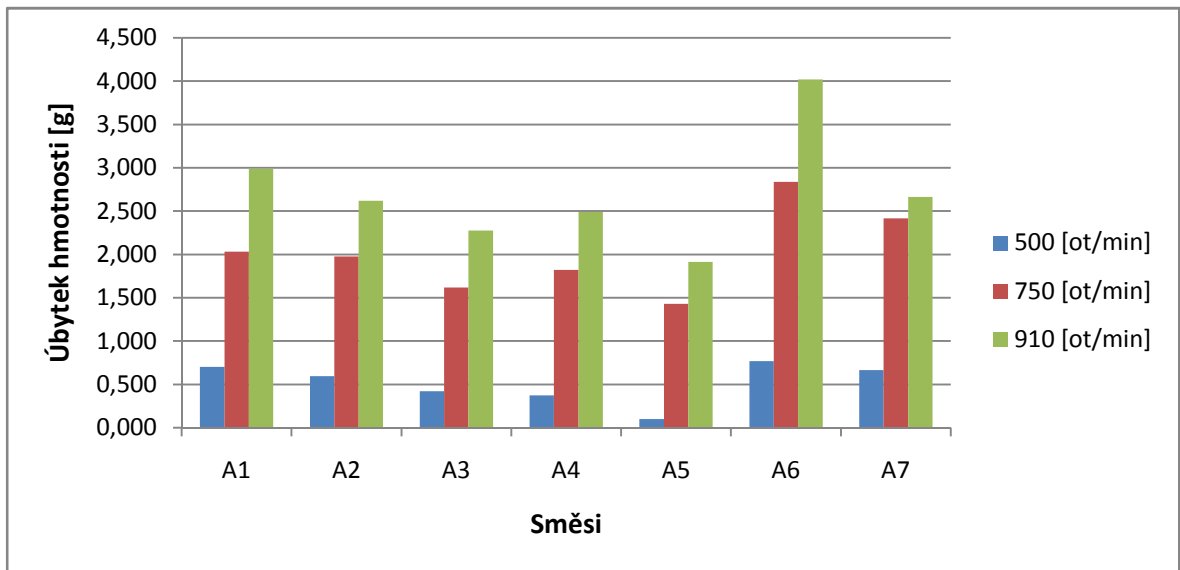
Podmínky experimentu:

Otáčky zkušebního tělesa:	500, 750, 910 ot/min
Frekvence dopadu keramického břitu:	1 Hz
Maximální zdvih keramického břitu:	60 mm
Teplota okolí:	21 °C
Doba trvání experimentu:	270 s
Rychlost dopadu:	2,1 m/s



Obr. 32. Porovnání úbytku hmotnosti u jednotlivých směsí

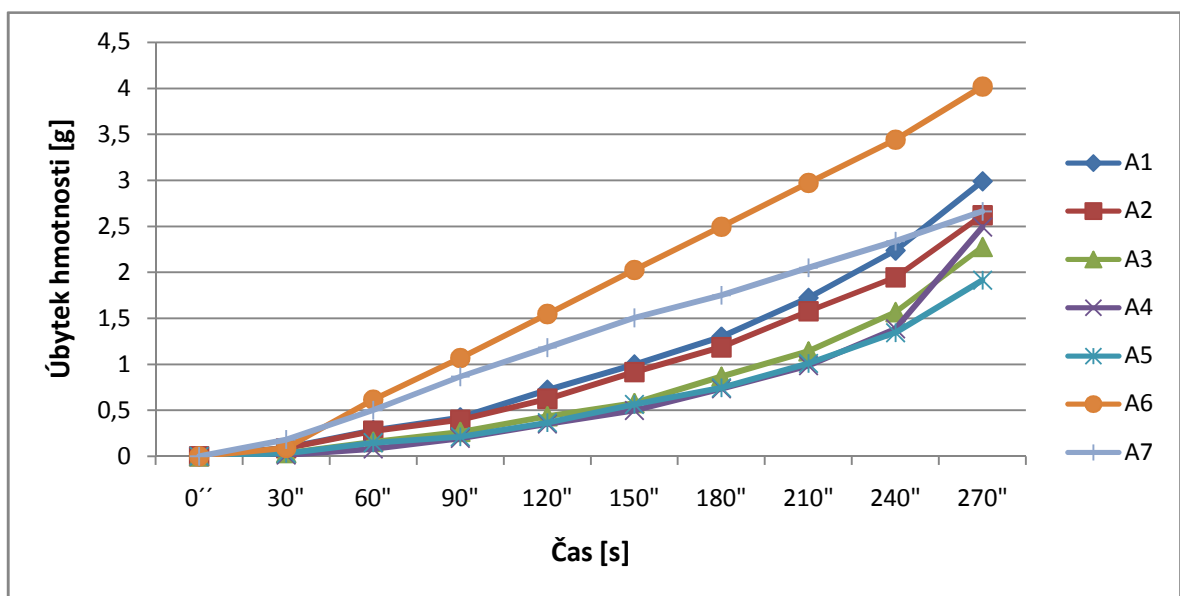
Nejvyšších hodnot opotřebení 4,02 g bylo dosaženo u směsi A6. Nejnižšího opotřebení 1,91 g bylo dosaženo u těles zhotoveného ze směsi A5 (Obr. 32).



Obr. 33. Porovnání úbytku hmotností směsí v závislosti na různých otáčkách

V daném experimentu byl zjišťován úbytek hmotnosti (opotřebení) zkoušených vzorků při třech variantách otáček (500, 750, 910 ot/min). Tato metoda byla zvolena z důvodu, že při provozu dochází u pneumatik k různým rychlostem pohybu, kterou lze charakterizovat obvodovou rychlostí pláště pneumatiky.

Z daných hodnot vyplynulo, že největší opotřebení bylo dosaženo u směsi A6. Nejmenšího opotřebení dosahoval vzorek směsi A5 (Obr. 33).



Obr. 34. Porovnání úbytku hmotnosti směsí v čase 0-270s

V daném experimentu byl porovnán úbytek hmotnosti jednotlivých zkušebních vzorků. Úbytek hmotnosti byl zaznamenáván po 30 s od počátku měření až do konce trvání experimentu tedy do 270 s. Z porovnaných vzorků je možné pozorovat v počáteční fázi měření pozvolný nárůst opotřebení, který trval až do vzniku prvních trhlin. Jakmile vznikly první trhliny, docházelo k postupnému vrypování keramického břitu hlouběji do vzorku a vylamování kousků směsi, což mělo za následek zvýšení úbytku hmotnosti, a tedy zvýšení opotřebení. U vzorku vykazující velké opotřebení A6 byl nárůst opotřebení výraznější (Obr. 34).

Z tohoto experimentu vyplývá, že dokud nedojde k prvnímu porušení povrchu tak je opotřebení minimální. Jakmile se vytvoří zmíněné první porušení, spustí to vznik dalšího poškozování povrchu a bude to mít za následek urychlení celkového opotřebení.

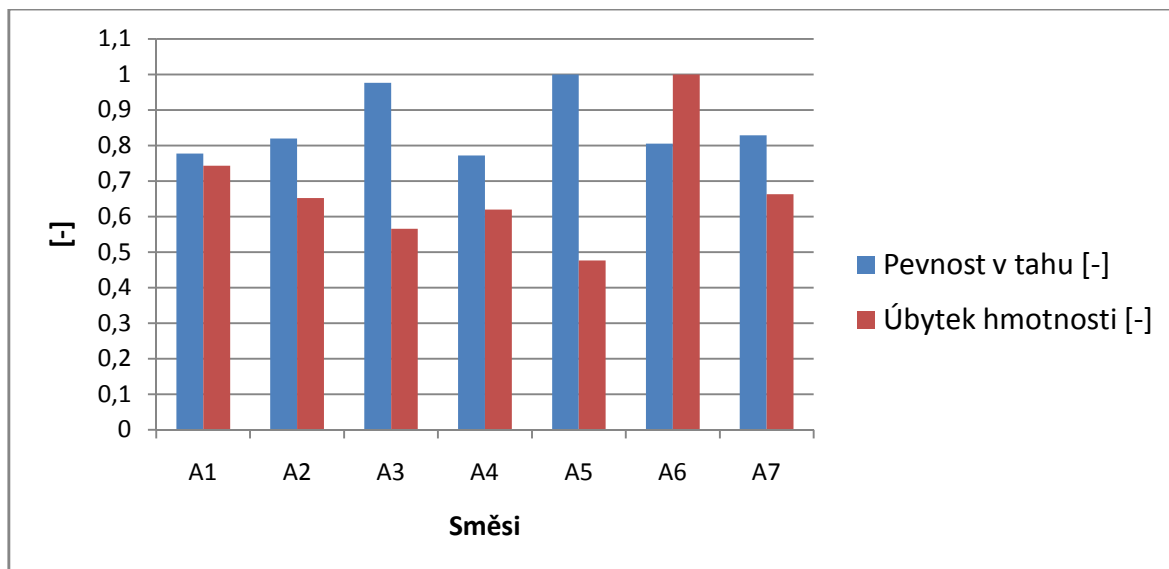
5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro měření opotřebení silně namáhaných pneumatik bylo připraveno sedm druhů zkušebních těles.

Na zvolených tělesech byl proveden rychlý test opotřebení a jednotlivé výsledky byly porovnány s mechanickými vlastnostmi směsí jako je pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost, tvrdost, odrazovou pružnost, DMA. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny. Pro lepší orientaci bylo použito u grafického znázornění místo hodnot v naměřených jednotkách zobrazení pomocí bezrozměrných hodnot, které se vyjadřují jako poměr jednotlivých hodnot měření k maximální hodnotě v průběhu daného měření. Také byla provedena statistická měření pomocí korelační matice, která měla zobrazit závislost jednotlivých parametru na sobě.

5.1 Porovnání mechanických vlastností s opotřebením

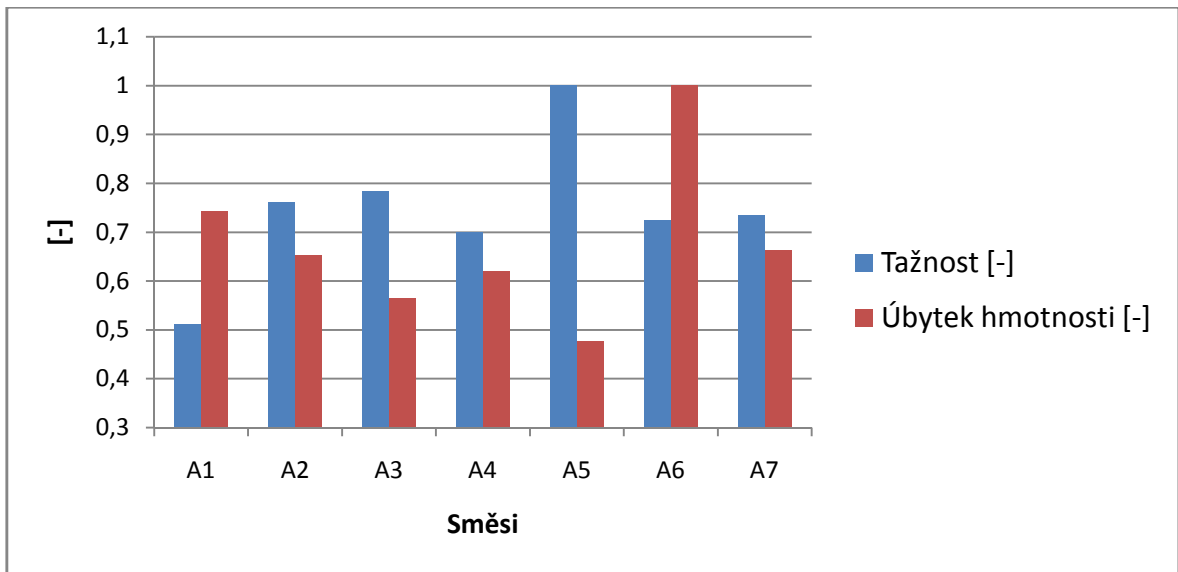
5.1.1 Pevnost v tahu a opotřebení



Obr. 35. Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení

Porovnáním pevnosti v tahu a opotřebení se ukázalo, že největší hodnotu pevnosti v tahu vykazovala směs A5, která naopak vykazovala nejmenší hodnotu opotřebení. Nejnížší hodnota pevnosti v tahu byla u směsi A4, ale hodnota opotřebení byla nejvyšší u směsi A6. Z uvedeného grafu vyplývá, že u porovnaných hodnot není patrná významnější závislost (Obr. 35). Výsledky měření byly potvrzeny vytvořenou korelační maticí, kde koeficient korelace dosáhl hodnoty 57,14 % (Obr. 41).

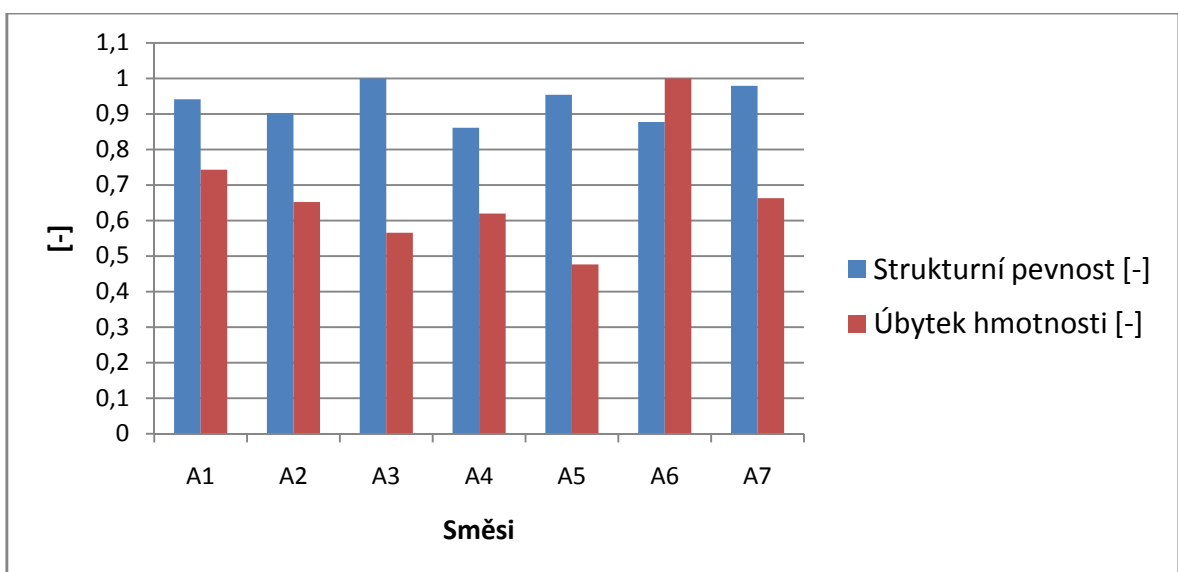
5.1.2 Tažnost a opotřebení



Obr. 36. Porovnání tažnosti a opotřebení

Porovnáním tažnosti a opotřebení se ukázalo, že největší hodnotu tažnosti vykazovala směs A5, u které bylo dosaženo nejmenšího opotřebení. Nejmenší hodnotu tažnosti vykazovala směs A1, kde ale nebyla hodnota opotřebení největší. Hodnota opotřebení byla největší u směsi A6 (Obr. 36). Výsledky měření byly potvrzeny vytvořenou korelační maticí, kde koeficient korelace dosáhl hodnot 71,43 % (Obr. 41).

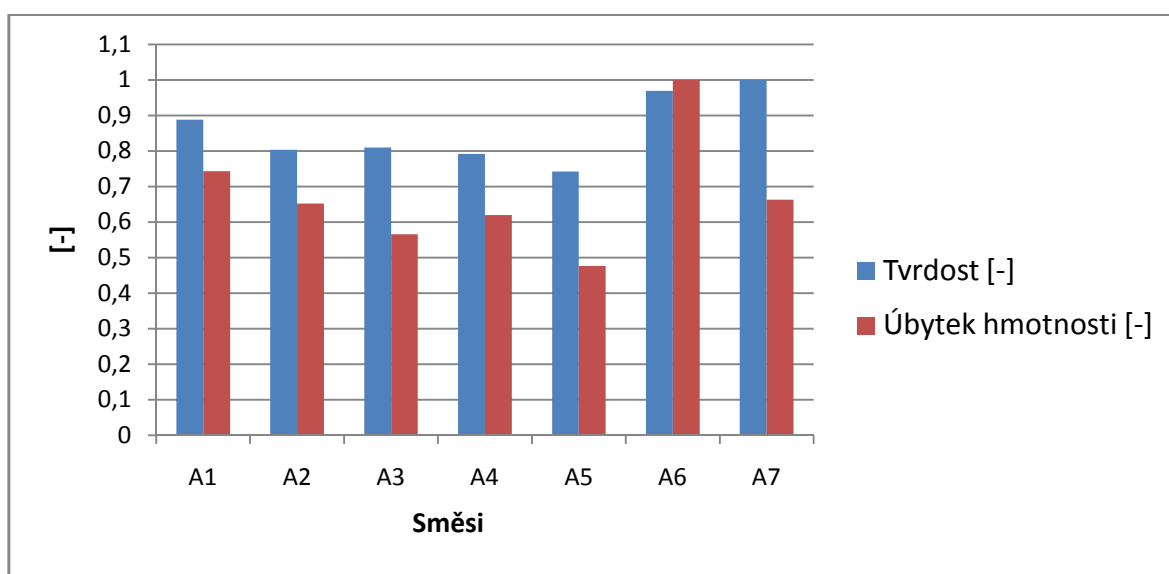
5.1.3 Strukturální pevnost a opotřebení



Obr. 37. Porovnání strukturální pevnosti a opotřebení

Porovnáním strukturní pevnosti a opotřebením se ukázalo, že nejvyšší hodnota strukturní pevnosti byla dosažena u směsi A3, ale hodnota opotřebení byla nejnižší u směsi A5. Nejnižší hodnota strukturní pevnosti byla naměřena u směsi A4, ale hodnota opotřebení zde nebyla největší. Největší hodnotu opotřebení dosahovala směs A6. Z grafu je patrné, že mezi porovnanými hodnotami není zjištěna významná závislost (Obr. 37). Výsledky měření byly potvrzeny vytvořenou korelační maticí, kde koeficient korelace dosáhl hodnoty 35,71 % (Obr. 41).

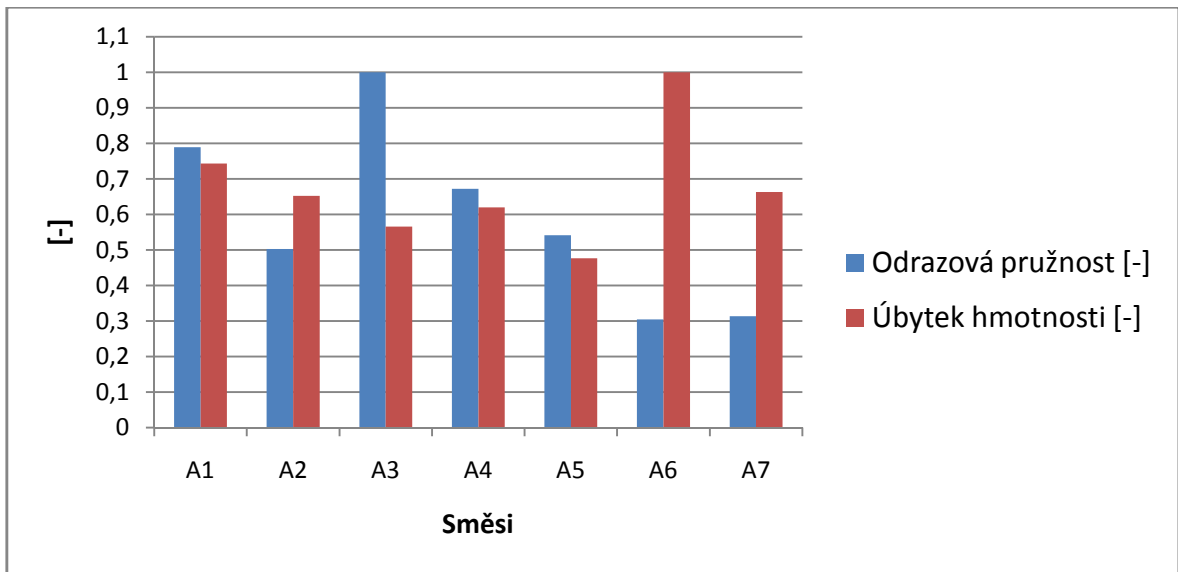
5.1.4 Tvrdost a opotřebení



Obr. 38. Porovnání tvrdosti a opotřebení

Porovnáním tvrdosti a úbytku hmotnosti se ukázalo, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u směsi A7, u které nebyla míra opotřebení nejvyšší. Pokud se zaměříme na zkušební vzorky A1-A6 tak hodnotu nejvyšší tvrdosti vykazuje směs A6 a zároveň také vykazuje největší opotřebení. Nejmenší tvrdost byla dosažena u směsi A5, kde bylo dosaženo i nejmenšího opotřebení (Obr. 38). Výsledky měření byly potvrzeny vytvořenou korelační maticí, kde koeficient korelace dosáhl hodnoty 78,57 %. Toto porovnání dokázalo, že při vyšší tvrdosti bude docházet k rychlejšímu opotřebení materiálu v těžkých provozních podmínkách, zatímco u měkčího materiálu, který bude vykazovat větší houževnatost, bude opotřebení nižší (Obr. 41).

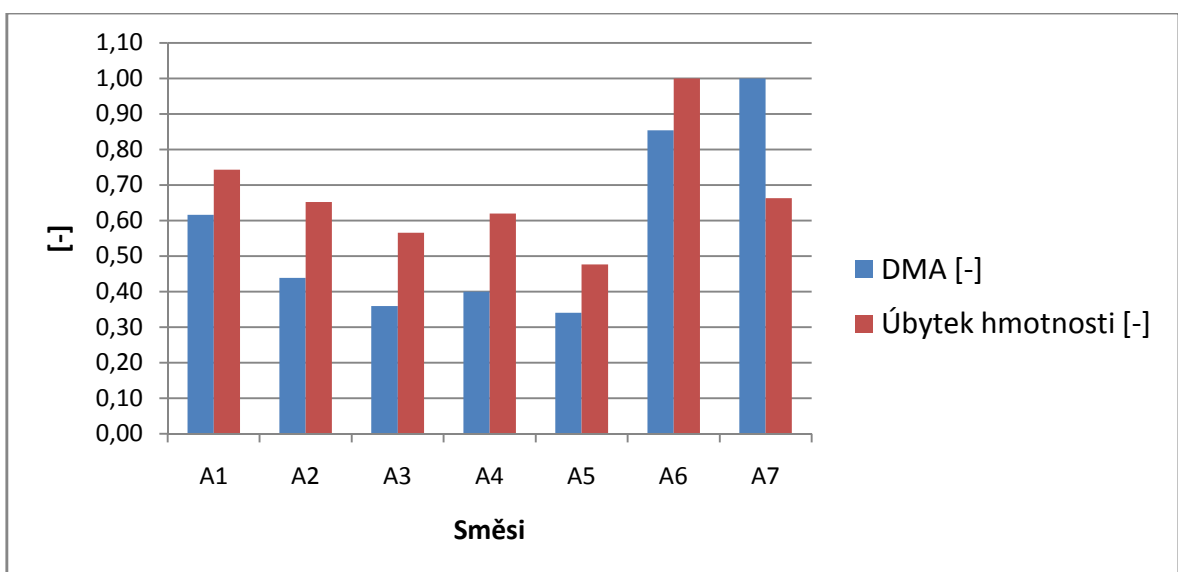
5.1.5 Odrazová pružnost a opotřebení



Obr. 39. Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení

Z porovnaných výsledků odrazové pružnosti a opotřebení byla hodnota nejvyšší odrazové pružnosti dosažena u směsi A3. Nejnižší hodnoty odrazové pružnosti bylo dosaženo u směsi A6, která vykazovala největší míru opotřebení. Nejmenší opotřebení vykazovala směs A5 (Obr. 39). Výsledky měření byly potvrzeny vytvořenou korelační maticí, kde koeficient korelace dosáhl hodnoty 50 % (Obr. 41).

5.1.6 DMA (dynamicko-mechanická analýza) a opotřebení



Obr. 40. Porovnání DMA a opotřebení

Porovnáním hodnot DMA a opotřebení, byla zjištěna největší hodnota DMA u směsi A7, která se jen málo lišila od směsi A6. Nejvyšší hodnotu opotřebení dosahovala směs A6. Nejnižší hodnotu DMA dosahovala směs A5 a zároveň u ní docházelo k nejnižšímu opotřebení. Při porovnání jednotlivých hodnot je patrné že kromě směsi A7 jsou na sobě jednotlivé směsi A1-A6 závislé (Obr. 40). Výsledky měření byly potvrzeny vytvořenou korelační maticí, kde koeficient korelace dosáhl hodnoty 89,29 % (Obr. 41).

5.1.7 Korelační matice

Proměnná	Spearmanovy korelace (Tabulka22) ChD vynechány párově Označ. korelace jsou významné na hl. $p < ,05000$			
	Úbytek hmotnosti			
Pevnost v tahu	-0,57			
Tažnost	-0,71			
Strukturní pevnost	-0,36			
Tvrдост	0,79			
Odrázová pružnost	-0,50			
DMA	0,89			
Úbytek hmotnosti	1,00			

Obr. 41. Korelační matice

Pro porovnání hodnot ze statistického hlediska byl použit program Statistika. V daném programu byla z naměřených mechanických vlastností (pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost, tvrdost, odrazová pružnost, DMA) a úbytku hmotnosti (opotřebení) stanoven vzájemný vztah. Jelikož se jednalo o soubor měření, kde nebyl počet měření ve všech případech stejný, byly pro vyhodnocení experimentu použity neparametrické statistiky se Spearmanovou korelací, díky které získáme představu o velikosti korelace.

ZÁVĚR

Předložená diplomová práce řeší problém opotřebení běhounových směsí silně namáhaných pneumatik, které jsou používány v terénních provozech. V práci je zkoumáno sedm druhů směsí, které byly vyrobeny ze směsí NR, SBR, BR a lišili se od sebe v odlišném obsahu plniv ve formě sazí. Jednotlivé směsi byly testovány na mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost, odrazivou pružnost, tvrdost, DMA) a opotřebení. Všechny měření probíhaly při teplotě 21 °C. V každém testu bylo prováděno měření na 15 zkušebních tělesech.

Z naměřených výsledků vyplynulo, že mechanické vlastnosti jako je tvrdost a DMA mají určitý vliv na opotřebení běhounových směsí. Další mechanická vlastnost jako tažnost, u které sice nebyla dokázána korelace tak velká jako u zmíněných dvou vlastností (tvrdost, DMA), ale bude s rostoucí hodnotou vykazovat nižší opotřebení.

Vztah mezi pevností v tahu, strukturní pevností a odrazovou pružností při porovnání s opotřebením nebyl prokázán.

Se snižující se tvrdostí a hodnotami z DMA, dochází u jednotlivých směsí k zvýšení odolnosti proti opotřebení. Hodnota tvrdosti bude mít významný vliv na schopnost běhounové směsi přizpůsobit se terénu, po kterém se pohybuje, umožňuje totiž z důvodu nižší tvrdosti dané směsi být poddajnější a tak danou nerovnost jakoby obteče. V případě tvrdého materiálu tomu bude naopak a bude docházet k opotřebení již při prvním styku s nerovnostmi. Nedojde k elastické deformaci pláště, ale z důvodu velké tvrdosti tedy nízké poddajnosti materiálu bude docházet k opotřebení již při prvním styku s nerovnostmi.

Z daných vzorků tedy nejlepší odolnost proti opotřebení vykazuje směs A5, u které byla dosažena nejnižší tvrdost a DMA, naopak dosahovala hodnoty největší tažnosti a pevnost v tahu.

U většiny testovaných vzorků je tendence k rychlejšímu opotřebení s rostoucím časem. Dokud nedojde k prvnímu porušení povrchu běhounu je opotřebení minimální, ale po prvním poškození povrchu odstartuje lavinu opotřebení a celkové opotřebení pláště se bude urychlovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2006, 158 s. ISBN 80-02-01784-6.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk HRDLIČKA. *Gumárenské suroviny a jejich zpracovávání*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 203 s. ISBN 978-80-7080-713-2. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-713-2/
- [4] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské* [online]. UTB Zlín, 2011, 182 s. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/41195/>
- [5] ČSN EN ISO 868 (64 0624). *Plasty a ebonit - Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. 2003.
- [6] ČSN ISO 37 (621436). *Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Stanovení tahových vlastností*. 2012.
- [7] ISO 23794. *Rubber, vulcanized or thermoplastic — Abrasion testing — Guidance*. © 2010. Dostupné z: <http://standardsproposals.bsigroup.com/Home/getPDF/2229>
- [8] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie* [online]. 2005 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>
- [9] MARCÍN, Jiří a Petr ZÍTEK. *Pneumatiky*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1985, 496 s.
- [10] PREKOP, Štefan. *Gumárenská technológia I*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 1998, 282 s. ISBN 8071004839.
- [11] PREKOP, Štefan. *Gumárenská technológia II*. 1. vyd. Trenčín: GC TECH Ing. Pa-ter Gerši, 2003, 374 s. ISBN 80-88914-85-x.
- [12] ROSINA, Štefan. *Gumárenská technológia III*. Vyd. 1. Trenčín: GC TECH, 2005, 221 s. ISBN 8096918915.
- [13] SCHÄTZ, Miroslav a Petr VONDRÁČEK. *Zkoušení polymerů*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 1988, 276 s.
- [14] GREPLOVÁ, Kristýna. *Pneumatiky jako rozhodující prvek podvozku závodního automobilu*. Brno, 2007. Dostupné z:

- http://old.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_souborace9.pdf?id=245. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování.
- [15] MAŇAS, David. *Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků: Rubber Workability and Wear of Rubber Parts*. Brno: [VUTIUM], 2005. 33 s. ISBN 80-214-3026-5.
- [16] POUL, Ondřej. *Ukončení životnosti pneumatik*. Brno, 2008. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5224. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování.konstruování.
- [17] ZMÍTKO, Michal a Rostislav LAKOMÝ. *Recyklace pneumatik*. Pardubice, 2003. Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/29_SP_05.PDF. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [18] *Bezpečnost vozidel silničního provozu: Pneumatiky vozidel* [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/03-pneumatiky-p70451>
- [19] Elektrické vlastnosti. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. 2011 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
- [20] Endurance testing. *VMI TIRE* [online]. © 2013 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.vmi-group.com/tire/products/tire-and-compound-testing/endurance-testing/>
- [21] Celosvětová spotřeba přírodního a syntetického kaučuku. *Statista* [online]. 2014 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.statista.com/statistics/275399/world-consumption-of-natural-and-synthetic-caoutchouc/>
- [22] HAJNÝ, Ladislav. *Pneumatiky. Střední škola stavební a technická* [online]. Ústí nad Labem, 2010 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://dumy.cz/stahnout/132267>
- [23] Historie pneumatiky, dějiny a vývoj pneu technologií. *Auto-pneu-servis Jenda* [online]. © 2014 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.pneu-jenda.cz/historie-pneumatiky>
- [24] Kaučuk. *Resinex* [online]. © 2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/natural-rubber.html>
- [25] Konstrukce pneumatik. *Autolexicon.net* [online]. ©2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/konstrukce-pneumatiky/>

- [26] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. *Pneuservis v Rokytnici, Poradce při výběru pneumatik, OMV dealer* [online]. 2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html#valeni/>
- [27] Nové značení pneumatik. *BestDrive* [online]. © 2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.bestdrive.cz/poradime-vam/technicky-radce/nove-znacenipneumatik.html>
- [28] Radiální pneumatiky. *Mitas* [online]. © 2014 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.mitas-tyres.com/cz/technologie/radialni-pneumatiky/>
- [29] Rubber Tree (*Hevea brasiliensis*). *Rainforest Alliance* [online]. © 1987-2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.rainforest-alliance.org/kids/species-profiles/rubber-tree>
- [30] SMR 20/TSR 20. *Ecplaza* [online]. © 1996 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://a1rubber.en.ecplaza.net/1.asp>
- [31] Stáří a životnost pneumatik. *Pneumatiky* [online]. © 2007-2014 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.pneumatiky.cz/info/stari-a-zivotnost-pneumatik.html>,
- [32] Technické informace. *Pro-pneu* [online]. © 2009 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.pro-pneu.cz/technicke-info.html>
- [33] Termické analýzy. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. 2011 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_06.pdf
- [34] VAŠÍČEK, Emil. Konstrukce pneumatiky a pláště. *Střední odborná škola Otrokovice* [online]. 2013 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2283028/>
- [35] VAŠÍČEK, Emil. Složení pláště a označování. *Střední odborná škola Otrokovice* [online]. 2013 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2283052/>
- [36] Výrobní metody. *Continental* [online]. © 2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: http://www.conti-online.com/www/transport_cz_cz/temata/contilifecycle/runderneuerung/produktionsverfahren_cz.html
- [37] Základní informace o použití kaučuku. *Gumex* [online]. 2013 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.gumex.cz/files/catalog/TECHNICK%C3%89%20INFORMACE%20%20MATERI%C3%81LECH%20-%20PRY%C5%BDE%20A%20PLASTY.pdf>

[38] Zimní pneumatiky, letní pneumatiky, rozdíly a to nejdůležitější co je nutné vědět.

Bezpečnost na silnicích [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:

http://www.bezpecnenasilnicich.cz/page/115/zimni_pneu_a_hlavni_rozdili.html

[39] Životnost pneumatik. *Continental* [online]. © 2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:

http://www.continental.cz/www/pneumatiky_cz_cz/temata/vyber_pneumatiky/mileage_performance_cz.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F	síla tření [N]
μ	součinitel smykového tření [-]
N	kolmá tlaková síla [N]
F_d	deformační síla tření [N]
F_a	adhezivní síla tření [N]
V_s	objemový úbytek standartu [mm ³]
V_R	objemový úbytek zkoušeného vulkanizátu [mm ³]
dsk	počet hmotnostních dílků přísady přidávané na <u>sto</u> hmotnostních dílů <u>kaučuku</u> [-]
Rm	pevnost v tahu [MPa]
DMA	dynamicko-mechanická analýza
E^*	komplexní modul [MPa]
E'	elastický modul [MPa]
E''	útlumová nebo viskozitní složka [MPa]
NR	přírodní kaučuk
SBR	butadien-styrenový kaučuk
BR	butadienový kaučuk
IR	izoprenový kaučuk
IIR	butalkaučuk
EPM a EPDM	etylen-propylenové kaučuky
ISO	International Standard Organisation (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
ČSN	Česká technická norma

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Pneumatika s duší</i>	13
<i>Obr. 2. Bezdušová pneumatika</i>	13
<i>Obr. 3. Základní prvky pláště pneumatiky [11]</i>	15
<i>Obr. 4. Běhoun [25]</i>	16
<i>Obr. 5. Bočnice [25]</i>	16
<i>Obr. 6. Patka [25]</i>	17
<i>Obr. 7. Patní lano [25]</i>	17
<i>Obr. 8. Nárazník [25]</i>	17
<i>Obr. 9. Vnitřní guma [25]</i>	18
<i>Obr. 10. Kostra pláště [25]</i>	19
<i>Obr. 11. Radiální plášť [28,38]</i>	20
<i>Obr. 12. Diagonální plášť [28,38]</i>	20
<i>Obr. 13. Popis bočnice pláště pro osobní automobily [11]</i>	21
<i>Obr. 14. Štítek značení pneumatik [27]</i>	23
<i>Obr. 15. Příklady potencionálních aplikací opotřebovaných plášťů pro zemní a jiné aplikace [12]</i>	28
<i>Obr. 16. Průměrné materiálové složení pláště [35]</i>	29
<i>Obr. 17. Kaučukový latex a slisovaný kaučuk [29,30]</i>	30
<i>Obr. 18. Bubnový zkušební stroj [20]</i>	40
<i>Obr. 19. Schéma zařízení dle metody Bussen-Schlobach [19]</i>	46
<i>Obr. 20. Přístroj na obrušování du Pont-Grasselli s konstantním tlakem [19]</i>	47
<i>Obr. 21. Schéma zařízení podle metody Akron-Croydon [13]</i>	48
<i>Obr. 22. Přístroj na zkoušení opotřebení metodou Dunlop-Lambourn [19]</i>	48
<i>Obr. 23. Porovnání pevnosti v tahu u jednotlivých směsí</i>	52
<i>Obr. 24. Porovnání tažnosti u jednotlivých směsí</i>	53
<i>Obr. 25. Porovnání strukturální pevnosti u jednotlivých směsí</i>	54
<i>Obr. 26. Porovnání tvrdosti ShA u jednotlivých směsí</i>	55
<i>Obr. 27. Porovnání odrazové pružnosti u jednotlivých směsí</i>	56
<i>Obr. 28. Porovnání DMA u jednotlivých směsí</i>	57
<i>Obr. 29. Schéma přístroje na měření opotřebení pryžových dílů [15]</i>	58
<i>Obr. 30. Přístroj na měření opotřebení pryžových dílů</i>	58
<i>Obr. 31. Zkušební těleso pro test opotřebení Chip-Chunk [15]</i>	59

<i>Obr. 32. Porovnání úbytku hmotnosti u jednotlivých směsí</i>	60
<i>Obr. 33. Porovnání úbytku hmotností směsí v závislosti na zúzných otáčkách</i>	61
<i>Obr. 34. Porovnání úbytku hmotnosti směsí v čase 0-270s</i>	61
<i>Obr. 35. Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....</i>	63
<i>Obr. 36. Porovnání tažnosti a opotřebení</i>	64
<i>Obr. 37. Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení.....</i>	64
<i>Obr. 38. Porovnání tvrdosti a opotřebení.....</i>	65
<i>Obr. 39. Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení</i>	66
<i>Obr. 40. Porovnání DMA a opotřebení</i>	66
<i>Obr. 41. Korelační matice</i>	67

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Zkušební zařízení [7]</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 2. Běžné geometrie zkoušek opotřebení [7]</i>	<i>44</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: CD-ROM obsahující plný text diplomové práce