

Testování opotřebení běhounových směsí pro výceúčlové pneu

Ondřej Hůsek

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej HŮSEK**

Osobní číslo: **T10278**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Testování opotřebených běhounových směsí pro víceúčelové pneu**

Zásady pro vypracování:

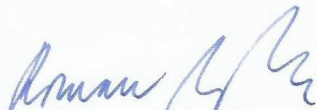
1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

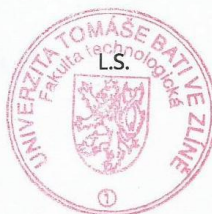


Rozsah bakalářské práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. David Mañas, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **8. února 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Hůselk Andrej

Obor: TZ

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 17 května 2013

Hůselk

²⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

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, § 35 odst. 3:

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

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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá opotřebením mimosilničních pneumatik (Chipping and Chun-kingeffect) a následným porovnáním opotřebení s běžně měřenými mechanickými vlastnostmi (pevnost v tahu, tažnost, tvrdost).

Teoretická část bakalářské práce popisuje hlavní části pneumatik a následně jejich dělení. V druhé části teoretické bakalářské práci jsou popsány hlavní části pneumatiky, charakteristika vzorků včetně jejich parametrů.

V praktické části jsme prováděli mechanické zkoušky zadaných směsí (rychlý test opotřebení, tahová zkouška, zkouška strukturní pevnosti, zkouška tvrdosti). Zkoušené směsi představují reálné vzorky a jsou průmyslově vyráběny. Následně byly všechny výsledky porovnány a zpracovány do tabulek a grafů.

Klíčová slova: pneumatika, běhoun, mechanické vlastnosti, opotřebení;

ABSTRACT

This thesis deals with the wear and tear of off-road tires (Chipping and Chun-king effect) and then comparing the wear of commonly measured mechanical properties (tensile strength, elongation, hardness).

The theoretical part describes the main part of the tire and consequently their division. The main part of the tire, sample characteristics, including their parameters are described in the second part of the theoretical Bachelors.

We performed mechanical tests specified mixtures (rapid wear test, tensile test, test structural strength, hardness) in the practical part. The test mixtures are real samples and are industrially manufactured. All results were then compared and processed into tables and graphs.

Keywords: tire, tread, mechanical properties, wear.

Touto cestou bych chtěl poděkovat především panu doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho ochotu, strávený čas a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat své rodinně, přítelkyni, která mě po celou dobu studia podporovala.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 HISTORIE PNEUMATIK	13
1.1 STRUČNÝ PŘEHLED VÝVOJE PNEUMATIKY	13
1.2 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ PNEUMATIK DLE KONSTRUKCE	14
1.2.1 Diagonální, radiální a semiradiální pneumatiky.....	14
1.2.1.1 Diagonální pneumatiky	14
1.2.1.2 Radiální pneumatiky	15
1.2.1.3 Semiradiální pneumatiky	16
2 PNEUMATIKA	18
2.1 DĚLENÍ PNEUMATIK DLE DRUHU VOZIDEL	18
2.2 PNEUMATIKA S DUŠÍ, BEZDUŠOVÁ PNEUMATIKA	19
2.2.1 Pneumatika s duší.....	19
2.2.2 Bezdušová pneumatika.....	19
2.2.3 Výhody a nevýhody bezdušových pneumatik	20
2.2.3.1 Výhody.....	20
2.2.3.2 Nevýhody	20
2.3 PNEUMATIKA A FUNKCE PNEUMATIKY	21
2.4 HLAVNÍ ČÁSTI PNEUMATIKY	22
2.4.1 Nárazník	23
2.4.2 Kostra	24
2.4.3 Běhoun pneumatiky.....	25
2.4.4 Bočnice.....	25
2.4.5 Vnitřní pryžová vrstva.....	26
2.4.6 Patka	27
2.4.7 Patní lanko.....	27
2.4.8 Výztužný pásek	28
2.5 TVAR VZORKU BĚHOUNU PNEUMATIKY A JEHO VLIV	28
2.5.1 Pásový lamelový vzorek.....	29
2.5.2 Pásový vzorek	29
2.5.3 Šípový vzorek.....	30
2.6 MATERIÁL VZORKU BĚHOUNU A JEHO VLIV	30
2.7 VÝŠKA VZORKU BĚHOUNU A JEHO VLIV	31
2.8 MĚRNÝ TLAK VE STOPĚ NA SOUČINITELE ADHEZE A JEHO VLIV.....	31
3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK	32
3.1 DĚLENÍ ZKOUŠEK.....	32
3.1.1 Statické.....	32
3.1.2 Dynamické.....	32
3.1.3 Únavové	32

3.2	OPOTŘEBENÍ A ODĚR PLÁŠTĚ (PRYŽE) PNEUMATIKY	33
3.2.1	Oděr při vlečném pohybu	33
3.2.1.1	Vlastní oděr	33
3.2.1.2	Oděr provázený vznikem brusných obrazců	35
3.2.1.3	Oděr při valivém pohybu	36
3.3	PLÁŠŤ PNEUMATIKY A JEHO OPOTŘEBENÍ	37
3.4	LABORATORNÍ ZKOUŠKY	40
3.4.1	Metoda Du Pont	40
3.4.2	Metoda Akron-Crodyon	40
3.4.3	Metoda Dunlop-Lambourn	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
4	OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI	43
4.1	MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	43
4.1.1	Tahová zkouška	43
4.1.2	Strukturní pevnost	49
4.1.3	Tvrdost Shore	51
4.2	TEST OPOTŘEBENÍ	52
4.2.1	Zkušební tělesa	53
4.3	ANALÝZA OPOTŘEBENÍ	54
4.3.1	Podmínky experimentu	54
5	DISKUZE VÝSLEDKŮ	56
5.1	POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ A OPOTŘEBENÍ SMĚSÍ	56
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK	68

ÚVOD

Pneumatiky jsou nedílnou součástí našeho života, protože každý se s nimi setkává každodenně. Opotřebení pneumatiky ovlivňuje mnoho faktorů (počasí, povrch, stáří), proto velmi záleží na jejich kvalitě. Svě nezastupitelné místo má gumárenský průmysl i v České Republice, protože se na našem území vyskytují významné firmy tohoto průmyslu jako např. Barum, Continental, Mitas. Firmy zabývající se touto problematikou mají silné postavení v ekonomice dané země, protože roční obraty se pohubují v řádech miliard korun.

Zkušební metody musí mít na zřetely především konečný cíl, kterým je výrobek a účel, k němuž ho má být použito [1]. Z těchto důvodů jsou požadavky na opotřebení co největší a každá společnost do jejich vývoje investuje nemalé částky, zaměstnává skutečné odborníky v daném oboru.

Automobily se prostřednictvím kol s pneumatikou stýkají s vozovkou nebo povrchem, po kterém se pohybují. Kola s pneumatikou (dále jen pneumatiky) mají při tom za úkol přenášet všechny síly vycházející z vozidla na vozovku a naopak přenášet síly vycházející z vozovky na vozidlo[2]. Pneumatika plní tyto funkce:

- zaručuje pohyb vozidla v důsledku valení
- přenášet svislé síly mezi kolem a vozovkou, tečné síly a boční síly
- tvoří součást pérování vozidla svou pružností

Při plnění těchto funkcí musí pneumatika dále zajistit, aby jízdní proces (jízda samotná) byla v jízdních režimech co nejbezpečnější pro řidiče a osádku. Jízdním režimem můžeme nazvat proces, kdy pneumatika má potřebnou akceleraci, brzdění, co nejlepší jízdní vlastnosti v zatáčkách a také v neposlední míře nepozměněné vlastnosti na různých druzích povrchů (asfalt, led, sníh). Za tímto účelem výrobci vyvinuly pneumatiky pro letní a zimní měsíce, kdy jejich vlastnosti se liší zejména v jejich složení směsi. Obecná zásada platí, že pro letní měsíce pneumatika musí být co nejtvrdšího charakteru, kdy naopak v zimních měsících je snaha přizpůsobit směs charakteru měkkého. Dále pneumatiky musí mít potřebný dezén a jeho hloubku, kde hloubka dezénu je dokonce v jednotlivých zemích určena zákonem a jeho nesplnění je trestáno vysokými pokutami.

Reálné chování a schopnosti pneumatik obutých na discích automobilu lze však zjistit pouze při provádění silničních zkoušek pneumatik. Mezi nejčastěji aplikované zkoušky se řadí zkouška brzdných vlastností se systémem ABS (antiblokový systém) a bez použití systému ABS. Tyto zkoušky se provádí na suchu a mokru při použití letních pneumatik a na sněhu a ledu při použití pneumatik zimních. Další hojně prováděné zkoušky jsou: zkouška ovládatelnosti na různých druzích povrchu, zkouška vzniku podélného aquaplaningu, zkouška bočního vedení pláště v zatáčce, zkouška odporu valní, zkouška hlučnosti nebo z ekonomického hlediska velice zajímavá zkouška životnosti pláště. [3]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE PNEUMATIK

Pneumatika, tak jak ji známe z dnešní doby, by nikdy nevypadala tak jak vypadá, kdyby nebylo dvou významných objevů. Prvním základem bylo vynalezení kola a druhým byl objev vulkanizace kaučuku. První zmíněný dochovaný záznam o použití kola v dopravě je datován z doby cca 4000 let př. n. l.

Běhounová vrstva pryže spolu s dezénem je jediné místo, kterým se vozidlo dotýká vozovky. Pneumatika jako taková byla vynalezena v roce 1845 R. W. Thomsonem, kdy se pokoušel zmírnit otřesy vozu na obyčejných kolech. Je nutno podotknout, že v roce 1839 člověk jménem Goodyear vynalezl metodu tepelné vulkanizace kaučuku sírou a na základě tohoto vynálezu následně, již výše zmíněný R. W. Thomson, získal patent „pružný nosný element, sestávající přednostně z dutého železa, zhotoveného z hmoty nepropustné pro vodu a vzduch ze šířeného kaučuku nebo gutaperči – nasazeného na obvod vozového kola, aby se potřebná tažná síla zmenšila, pohyb kol se stal měkčím a zmenšil se hluk, který kola za jízdy vyvozují“ [4]

1.1 Stručný přehled vývoje pneumatiky

- 1493 – 1496 – Kryštof Kolumbus zjistil, že domorodci v Jižní Americe vyrábějí z vysušené šťávy stromů Hevea Brasiliensis pryžové míče;
- 1736 – Charles Marie de la Condamine zaslal z Jižní Ameriky první vzorky kaučuku do Evropy;
- 1827 – T. Hancock vynalezl plastikaci (mastikaci) kaučuku;
- 1839 – Charles Goodyear objevil vulkanizace kaučuku sírou;
- 1845 – R. W. Thompson navrhl výrobu plášťů pneumatik;
- 1893 – J. F. Palmer přihlásil k patentování bezútkový textil pro pláště závodních jízdních kol;
- 1895 – Použití pneumatik pro vybavení automobilů při závodě Bordeaux – Paříž;
- 1914 – Použití kordového textilu na výrobu plášťů místo křížového textilu;
- 1948 – Radiální pneumatiky firmy Mischelin;
- další léta – Dynamický rozvoj výroby plášťů a zdokonalování jejich vlastností [5];

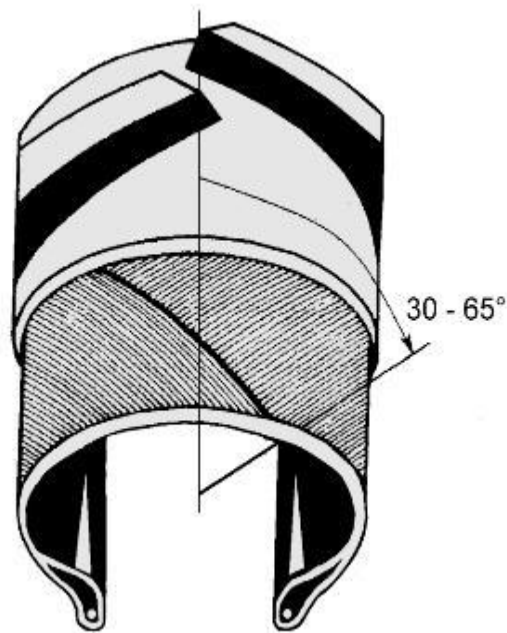
1.2 Základní dělení pneumatik dle konstrukce

Plášť pneumatiky, který je tvořen kostrou z kordových vložek, které jsou opatřeny vnitřním gumovým pláštěm, svrchní stana je opatřena nárazníkem a běhounem a z bočních stran bočnicemi. Dále je opatřen patkami s lanky z ocelových drátů nebo plastů (kevlar). Faktory, které ovlivňují vliv na deformaci pneumatiky: materiál kostry, počet a orientace kordových vložek. Proto dělíme pneumatiky na diagonální, radiální a semiradiální. [6]

1.2.1 Diagonální, radiální a semiradiální pneumatiky

1.2.1.1 Diagonální pneumatiky

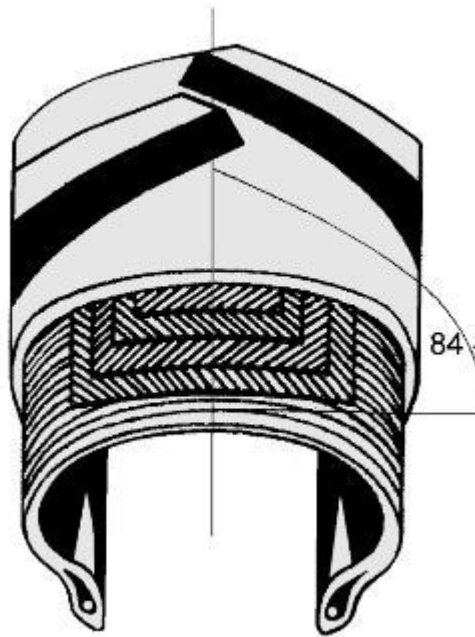
Diagonální pneumatiky jsou dnes považovány za klasickou konstrukci. Kostra vložek (vždy musí být sudý počet) má vlákna orientována pod úhlem menším než 90° vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. Kordová vlákna sousedních vložek se kříží a zasazují pod patková lanka, kolem kterých jsou přehnuta. Dá se říci, že každý bod kostry pláště bývá k patkám ukotven dvěma vlákny, která mají symetrická stoupání. Obvodové i příčné síly, nám přenášejí vlákna, přímo do patky pláště. Při zatížení a deformaci se vlákna neprodlouží, ale posunují a namáhají nám pryž mezi nimi na střih. Důsledkem toho nám vznikne teplo, ale i jeho ztráty. Výhodou diagonální pneumatiky je její pevná struktura a silné bočnice. Ty mívají mnoho výhod, především v náročném terénu. Mezi jejich největší výhody patří odolnost proti proražení. Tento druh pneumatik má maximální přípustnou rychlost 240 km/h a bývají nejčastěji vyrobeny z rzounu nebo nylonu. [6]



Obr.1 Diagonální pneumatika [13]

1.2.1.2 Radiální pneumatiky

Na rozdíl od diagonálních pneumatik nejsou vlákna kordových vložek radiálních pneumatik zkřížena. Jsou uložena pod úhlem okolo 90° vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. Počet vložek nemusí být sudý, jako je tomu u diagonálních pneumatik. Tato část kostry přenáší jak boční, tak i radiální síly v tažné části, avšak schopnost přenášet obvodovou sílu je velmi malá a proto je kostra stabilizována obvodově neroztržitelným pásem (nárazníkem). Ten roznáší obvodové síly po celém obvodu ráfku. Nárazník je tvořen vložkami s vlákny, které jsou pod úhlem $15 - 20^\circ$. Obvodový pás bývá v obvodovém směru relativně tuhý a boční stěna pneumatiky je měkkší. Podélný ohyb kordových vláken a pryže s nimi spojené v obvodovém pásu, který způsobuje vyvinutí tepla respektive valivý odpor, je u radiálních pneumatik nižší nežli u diagonálních. Radiální pneumatiky jsou náročnější na přesnost výroby díky tomu, že při výrobě vyžaduje dvě operace. S těmito operacemi souvisí zejména její cena (bývá dražší). [6]



Obr. 2 Radiální pneumatika [13]

Výhody radiálních pneumatik oproti diagonálním:

- větší životnost;
- větší nosnost při stejném tlaku vzduchu;
- výborné boční vedení a lepší přilnavost k vozovce;
- menší vnitřní deformace a z toho plynoucí menší tepelné namáhání;
- lepší přesnost brzdných sil a i při náklonu v zatáčkách;
- menší valivý odpor a lepší přilnavost na mokré vozovce;
- menší hmotnost a díky tomu menší neodpružená hmotnost;
- větší směrová stabilita a větší tvarová stabilita i při velmi vysokých rychlostech. [6]

1.2.1.3 Semiradiální pneumatiky

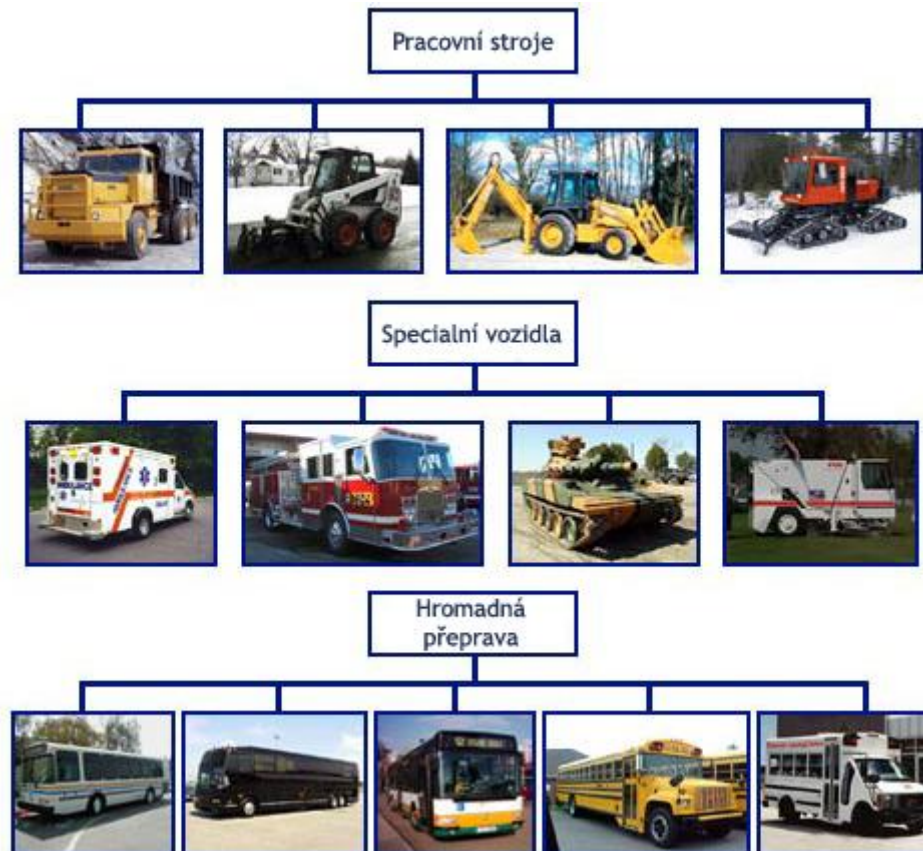
Semiradiální pneumatika, jež je vyvinuta z diagonální pneumatiky, se vyznačuje výrazně zpevněnou konstrukcí pod jejím dezénem, což dodává pneumatice delší životnost zmenšením příčných klouzavých pohybů. Díky tomu je pneumatika odolnější proti poškození. Příčné prokluzování, jež je dáno konstrukcí pneumatiky a které je zaviněno deformacemi

pneumatiky při její rotaci do stran. Opotřebení pneumatiky se nám logicky zvětší při větším prokluzování. Podélné prokluzování, které má za následek vyšší opotřebení je možné podstatně snížit defenzivním stylem jízdy (opatrná akcelerace, úměrné brzdění, nerazantní průjezd zatáčkou). Semiradiální pneumatiky jsou zpravidla vyrobeny z rayounu nebo nylonu, nárazníkový pás s kostrou je rovněž vyroben ze stejného materiálu. Tato pneumatika je považována za předchůdce radiálních plášťů. Zatím co kostra je nadále konstruována diagonálně, pneumatika má nárazníkový pás, který je vyroben z kevlaru. Rychlost semiradiálních pneumatik je omezena na 250 km/h. [6]

2 PNEUMATIKA

2.1 Dělení pneumatik dle druhu vozidel

- Jízdní kola;
- Skútry, motokola, vozíky;
- Motocykly;
- Osobní a dodávkové automobily;
- Lehké nákladní automobily;
- Nákladní automobily, autobusy, přívěsy;
- Zemědělská technika a vozidla;
- Traktory a stroje na zemní práce;
- Letadla;
- Závodní a soutěžní vozidla;



Obr. 3 Typy dopravních prostředků [14]

2.2 Pneumatika s duší, bezdušová pneumatika

2.2.1 Pneumatika s duší

Pneumatika s duší se skládá z pláště, který zprostředkovává styk s vozovkou a svou patní částí dosedá na ráfek. Dále pak z duše, jenž si můžeme představit jako uzavřený pryžový prsteneček sloužící k udržení tlaku vzduchu, který je potřebný uvnitř pneumatiky. Duše je opatřena ventilkem, který nám umožňuje nahuštění a vypuštění vzduchu či jiného média ochranné složky, jež chrání duši před poškozením. [10]

2.2.2 Bezdušová pneumatika

Díky tomu, že se v dnešní době vyrábějí rychlejší automobily, nežli tomu bylo v minulých letech, byly vyvinuty bezdušové pneumatiky. Ty zajišťují vyšší ochranu aut a především řidičů před nebezpečím nehod, způsobených propíchnutím pneumatik během jízdy ve vy-

soké rychlosti. Místo duše je uvnitř pneumatiky použita vrstva speciální gumy, která brání úniku vzduchu z pneumatiky a ráfku. I přes propíchnutí pneumatiky ostrým předmětem, po dobu, kterou je automobil v pohybu se tlak v pneumatice tolik nesníží. Tento druh pneumatiky je nutno stále pečlivě udržovat, protože neexistuje pneumatika, která by nesplaskla. Avšak existují i bezdušové pneumatiky, kterou jsou na vnitřní straně pogumovány a využívají vzduchotěsný a vysoce pojivý tmel, který ještě více zamezuje úniku vzduchu. [11]

2.2.3 Výhody a nevýhody bezdušových pneumatik

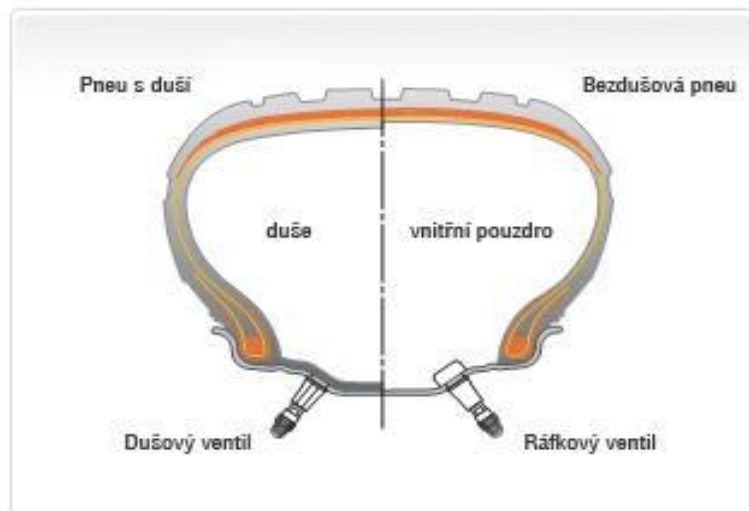
Ve zkratce jsou shrnuty výhody a nevýhody bezdušových pneumatik:

2.2.3.1 Výhody

- Udržují tlak vzduchu;
- Nedochozí k úniku vzduchu, pouze při propíchnutí;
- Lépe odvádějí teplo během řízení auta, protože vzduch uvnitř pneumatiky je v přímém kontaktu s ráfkem;
- Méně oprav a údržby než u pneumatik s duší;
- Zvýšená efektivita výkonu bez montáže duše;

2.2.3.2 Nevýhody

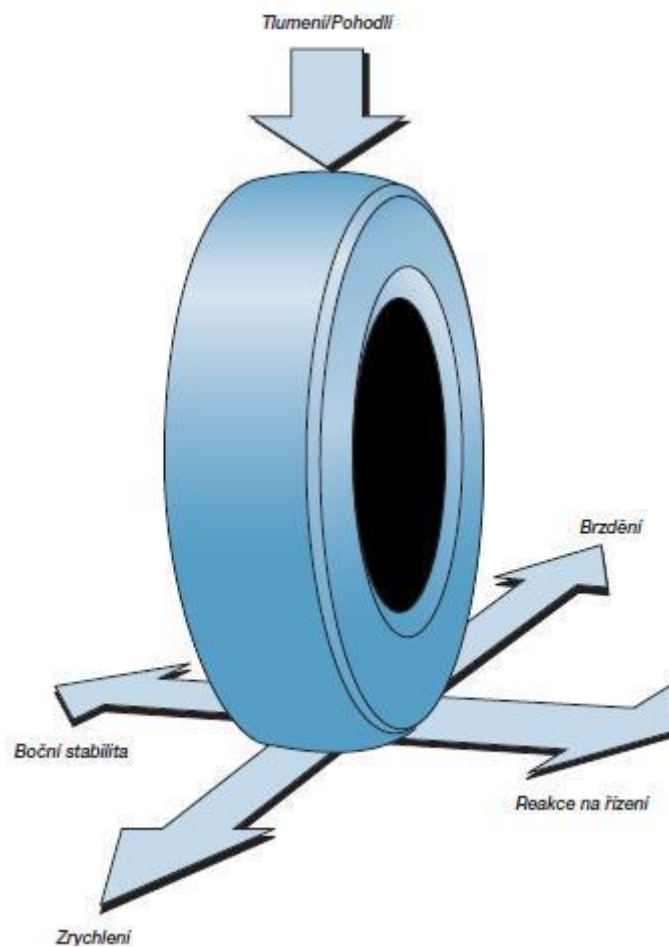
- Dochází k oddělení, když se objeví trhlina v patce pneumatiky;
- Není-li pneumatika dobře nasazena na ráfek, dochází k úniku vzduchu;
- Je nutno dbát zvýšené pozornosti, pokud řídíte auto po nezpevněné vozovce, kamínky a jiné úlomky mohou poškodit okraj ráfku a způsobit tím únik vzduchu.[9]



Obr. 4 Typy dopravních prostředků [11]

2.3 Pneumatika a funkce pneumatiky

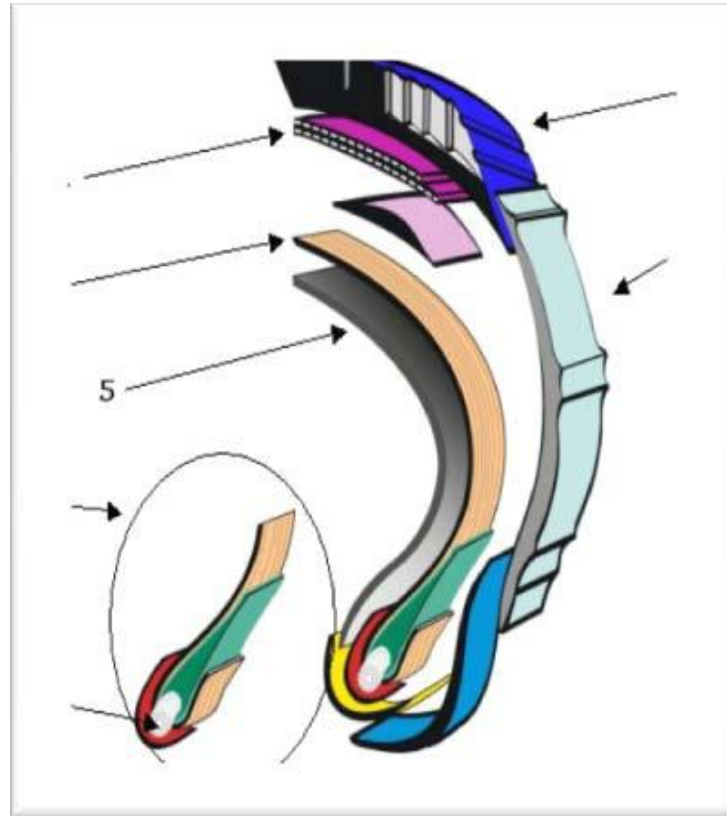
Pneumatiky hrají význačnou roli jako součást automobilu. Automobil se všeobecně skládá ze spousty součástí. Jednotlivé součástky jsou většinou limitovány jen jednou funkcí. Navzdory svému jednoduchému vzhledu, se pneumatika liší od ostatních součástí tím, že plní na automobilu hned několik funkcí najednou. Nese váhu auta, redukuje a tlumí rázy a k tomu zprostředkovává sílu pohonu, brzd a řízení auta. Mezi další funkce patří, aby auto zůstalo v pohybu vzhledem k vozovce. Tyto funkce by nemohly být splněny, kdyby pneumatika nebyla zkonstruována jako pružná vzduchová trubice. Duše pneumatiky se používá k udržení stlačeného vzduchu v pneumatice. Avšak samotná duše nevydrží tak vysoký tlak, který by unesl celou váhu automobilu. Navíc postrádá sílu snést povrchové poškození a nárazy, které jsou způsobeny řízením. To zajišťuje plášť pneumatiky. Kostra pneumatiky je tvořena vnitřní vrstvou, která nám chrání duši obsahující vysoce stlačený vzduch a nese vertikální zatížení. Tlustá pryž je připevněna k ploše pneumatiky, která přichází do styku se silnicí, tak aby snášela vnější poškození. Tvar vzorku dezénu se vyrábí podle stylu jízdy automobilu a samozřejmě dbá na požadavky bezpečnosti. S postupujícím vývojem kvality a taky zvýšením schopnostmi aut, jsou dnes požadavky na výkon pneumatiky stále více komplexní a různorodé. [7]



Obr. 5 Síly působící na pneumatiku[4]

2.4 Hlavní části pneumatiky

Každá pneumatika se skládá ze tří hlavních komponentů: ocelový kord (2-3 %), pryž (80-85%) a různá vlákna (12-15%). Dnešní pneumatika je vlastně vyztužený pryžový kompozit. Základní struktura je znárodněna níže na obrázku 8. Pláště osobních, ale i nákladních automobilů, se skládají ze čtyř hlavních částí: koruny, ramena, boku a patky. [8]



Obr.6 Konstrukce pláště pneumatiky:

1. Nárazník, 2. Běhoun, 3. Kostra, 4. Bočnice,
5. Vnitřní gumová vrstva, 6. Patka, 7. Patní lano [9]

2.4.1 Nárazník

Bývá zpevněn jemnými vysocepevnostními ocelovými lankami mezi dvěma vrstvami pryže. Tyto vrstvy (může jich být i více) jsou přilepeny k sobě, ale i k ploše běhounu a svírají úhel okolo 60° . Ocelová lanka drží tkaninu pláště a tím s nimi tvoří vyztužené trojúhelníky. Nárazníky obsahují vyztužené vrstvy, obemykající pneumatiku po celém jejím obvodu. Tím plní velmi složitou úlohu, které spočívají v dostatečně velké pevnosti obvodu, tak aby bylo zabráněno natažení odstředivou silou. Tímto způsobem je zachován průměr pneumatiky za všech podmínek. Zároveň musí být lanka pevná i v příčném směru, tak aby dokázala odolávat tlakům a namáhání při změně směru jízdy. Ve svislém směru musí být lanka dostatečně ohebná, aby absorbovala deformace způsobené nerovnostmi povrchu a jiným překážkami. Nárazník má za úkol stabilizovat běhoun v obvodovém směru, dále pak snižovat valivý odpor pneumatiky a v neposlední řadě zvyšovat odolnost pneuma-

tiky proti průrazu. U nákladních automobilů jsou kladeny vyšší požadavky, a proto se u nich aplikují většinou tři až čtyři nárazníkové vrstvy. Pro osobní auta většinou dvě vrstvy. [6]



Obr.7Nárazník[9]

2.4.2 Kostra

Kostra tvoří základní část pláště a udává tvar a také pevnost pneumatiky. Kostra bývá složena z jedné či více vrstev vysokopevnostní umělohmotné tkaniny. Vlákná výše uvedených vrstev jsou kladena napříč směru jízdy a jsou zahnutá okolo bočních výztuh, jež jsou tvořeny kordovými vložkami. Tato skladba a složení ovlivňuje základní vlastnosti pláště. Systém kladení vláken a materiál pláště se měnil postupným vývojem. Podle toho jak je kordová vrstva složena, rozlišujeme pneumatiky diagonální a radiální. [6]



Obr. 8Kostra[9]

2.4.3 Běhoun pneumatiky

Běhoun pneumatiky je vnější vrstva pneumatiky o požadované tloušťce, do které je vlisován dezén neboli vzorek. Běhoun se tvaruje podle určení automobilu. Díky tomu, že zajišťuje přímý kontakt pneumatiky s vozovkou, musí mít maximální adhezi k vozovce za všech klimatických podmínek, maximální možnou životnost a v neposlední řadě taky odolnost proti otěru. Běhoun taky tvoří ochranu kostry před porušením. Dezén je tvořen žebry, zářezy a výstupky. Běhoun se skládá z několika druhů pryže. Složení pryže je dáno požadavky na vlastnosti běhounu. Okrajové části běhounového pásu jsou tvořeny bočnicovou směsí. Tloušťka běhounu má vliv na zahřívání pneumatiky, a proto by měla být co nejtenčí z důvodu energetických ztrát a opotřebení. Avšak tento fakt vyvracejí pneumatiky pro nákladní vozy, protože u nich je běhoun konstruován tak, aby vznikla možnost dalšího přežezání dezénu.[6]



Obr. 9 Běhoun pneumatiky [9]

2.4.4 Bočnice

Bočnice jsou elastickými, ale zároveň i nosnými prvky pneumatik. Boční stěny zajišťují pružící a tlumící funkci a také stabilitu vozidla za jízdy. U moderních, a v dnešní době velmi oblíbených nízko profilových pneumatik, jsou boční stěny velmi nízké. Tento faktor ovlivňuje, že pneumatika získává lepší stabilitu a má také lepší jízdní vlastnosti při úniku vzduchu. Bočnice zajišťuje ochranu kostry před vnějšími vlivy. Vyrábí se z přírodního

kaučuku, protože musí vydržet mnohonásobný ohyb (prolamování, boční průraz a povětrnostní vlivy). Zde se nachází jak popis pneumatiky, tak i její rozměry. [6]



Obr. 10 Bočnice [9]

2.4.5 Vnitřní pryžová vrstva

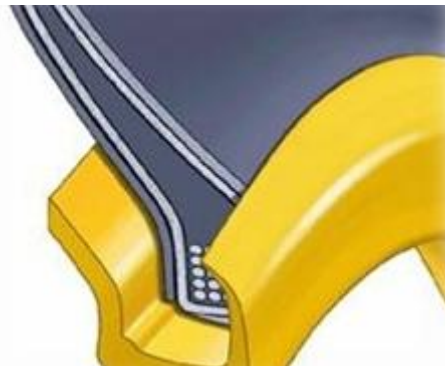
Je folie nebo profil ze speciálních plynonepropustných kaučukových směsí (halobutylbutylkaučuk), která zabraňuje prostupování síry při vulkanizaci. Vyrovnává nerovnosti uvnitř pláště a zajišťuje vzduchotěsnost - v bezdušových pláštích plní roli duše. [6]



Obr. 11 Vnitřní pryžová vrstva [15]

2.4.6 Patka

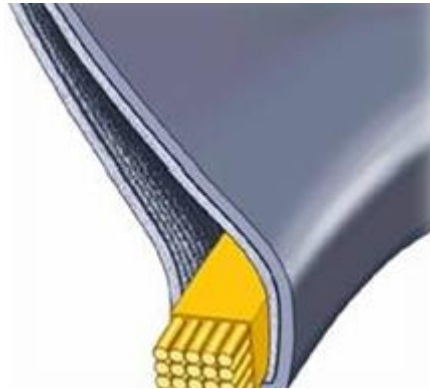
Funkce patky je zesílení boční části pláště, kde v oblasti patních lan dosedá na opěrné plochy ráfku disků kol. Patka pláště je přitlačována na ráfky vlivem tlaku vzduchu, který je uvnitř pneumatiky. Úkolem patky je přenášení všech bočních sil, které vznikají mezi ráfkem a pláštěm. Zároveň nesmí dovést únik vzduchu v oblasti opěrných ploch ráfku. Jádro patky je vyrobeno ze syntetických kaučuků. Patka nám zabezpečuje tuhost pláště a dokonalý přenos příčných sil. Jádro patky je složeno z přídatné textilní či ocelové kordové výztuže. Ta má za úkol zvyšovat ohybovou tuhost patky v nadpatkové části pláště. Díky této zvýšené tuhosti je zmírněno vydouvání pláště v oblasti dosedacích ploch ráfku a tím je zabráněno možnosti sesmyknutí pneumatiky z disku kola při působení bočních sil. [9]



Obr. 12 Patka [15]

2.4.7 Patní lanko

Patní lanko je vyrobeno z ocelových drátů a formuje vnitřní okraje pneumatiky. Dále zajišťuje pevné usazení pneumatik do ráfků kol. Vnitřní okraje, u bezdušových pneumatik, slouží k vytvoření vzduchotěsného spoje s ráfkou pro přenos podélných sil. Ty vznikají díky tření mezi ráfkou a patkou pneumatiky. [6]



Obr. 13 Patní lanko [15]

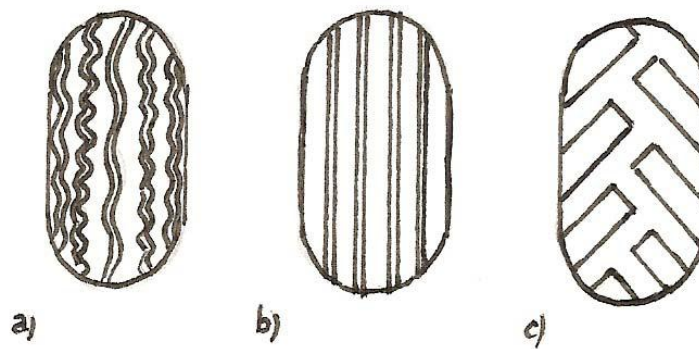
2.4.8 Výztužný pásek

Má za úkol zpevnit a stabilizovat přechodovou oblast mezi patkou pláště a boční stěnou. Bývá vyroben z nylonových nebo aramidových kordů, které jsou potažené pryží. [9]

2.5 Tvar vzorku běhounu pneumatiky a jeho vliv

Nejvýznamnější vliv na adhezní součinitel pneumatiky má tvar pneumatiky spolu se složením směsi, ze které je pneumatika vyrobena. Podle účelu, pro který je pneumatika určena, se rozeznávají tři základní typy vzorků běhounů:

- a) Pásový lamelový vzorek;
- b) Pásový vzorek;
- c) Šípový vzorek;



Obr. 14 Základní typy vzorků [3]

2.5.1 Pásový lamelový vzorek

Je vhodný pro jízdu na silnici. Vzorek je uspořádán tak, aby hrany segmentů vzorku dokázaly zachytávat o mikronerovnosti vozovky, jak v příčném, tak i v podélném směru, přičemž drážky mezi segmenty vzorku jsou poměrně úzké. Klasickým znakem pásového lamelového vzorku je velký počet segmentů dezénu. Počet segmentů roste přímo úměrně k počtu hran, které zachytávají o mikronerovnosti vozovky. Díky tomu se zvyšuje součinitel adheze pneumatiky. Malá rozteč drážek ve vzorku vychází z potřeby, kdy je nutné, aby silniční plášť dosedal co největší plochou hmoty vzorku na vozovku. Tento fakt ovlivňuje, ale zároveň omezuje použití tohoto vzorku v terénu, kde by došlo k zanesení úzkých drážek nečistotami a tím by se následně anuloval jeden z faktorů součinitelů adheze (zachytávání hran o nerovnosti vozovky).

2.5.2 Pásový vzorek

V důsledku vzorku, pouze s obvodovými drážkami, má velikou schopnost přenášet boční síly. Schopnost přenášet hnací nebo brzdě síly je ve srovnání s pásovým lamelovým vzorkem malá, protože postrádá hranky dezénu, které by byly schopny při akceleraci nebo brzdění zachytávat o mikronerovnosti vozovky. Typ tohoto vzorku je z výše uvedených důvodů nejvhodnější pro nepoháněná a nebrzděná kola. [2]

2.5.3 Šípový vzorek

Typickým znakem šípkového vzorku je jeho použití pro jízdu v terénu. Segmenty jsou totiž přizpůsobeny pro přenos hnacích, brzdných i bočních sil. U této pneumatiky je základem přenosu sil boření pneumatiky do určité hloubky a zachytávání segmentů vzorku o segmenty nez hutněného terénu, který vzniká bořením pneumatik. Drážky mezi segmenty vzorku bývají velice široké a navíc jsou umístěny tak, aby pneumatika měla samočisticí efekt. Samočisticí efekt je vlastnost, díky které pneumatiky při jízdě v terénu vytlačuje nečistoty a zbytky nez hutněné vozovky ven ze vzorku pneumatiky a tím nedochází k zanesení drážek dezénu. Tyto pneumatiky je možno využít i při jízdě na zpevněné vozovce, ale pneumatika nebude dosahovat takových adhezních vlastností jako pneumatika s pásovým vzorkem. Důvodem je malý počet hran dezénu, které se zachytávají o mikronerovnosti vozovky. Navíc šípková pneumatika trpí na zpevněné vozovce zvýšenou hlučností a jednotlivé segmenty vzorku podléhají většímu opotřebením. Mezi výhody pneumatik se šípkovým vzorkem na zpevněné vozovce patří vysoká odolnost proti vzniku aquaplaningu. Šípkový vzorek nachází nejčastější uplatnění ve stavebnictví, zemědělství a u manipulační techniky, kde je neustálá potřeba styku pneumatiky s vozovkou, což šípkový vzorek může zajistit. [2]

2.6 Materiál vzorku běhounu a jeho vliv

Vlastnost materiálu, ze kterého je konkrétní vzorek běhounu vyroben nám určuje, jakým způsobem bude povrch pneumatiky reagovat na změny teplot prostředí, kde se pneumatika pohybuje. Platí zásada, že s rostoucí teplotou okolí prostředí se zvyšuje taky teplota pryže, ze které je běhoun vyroben a tím pádem se pryž stává náchylnější k opotřebením. Nevýhodou je, že po nadměrném zahřátí (změkčení) pneumatiky dochází ke zvýšení její pružnosti v axiálním (bočním) směru a to je pro funkčnost pneumatiky nežádoucí. Proto se musí volit pro výrobu běhounu takový druh pryže, aby byl vhodný pro určité teplotní podmínky. Ideálním materiálem pro výrobu běhounu je, aby byl absolutně tuhý v axiálním směru a současně dostatečně pružný při přenosu sil, které působí na pneumatiku v obvodovém směru, kdy dokáže tlumit rázy, přicházející do hnacího a brzděného ústrojí při akceleraci a brzdění, tak aby umožnil zachytávání hran vzorku o mikronerovnosti vozovky. Aby materiál dokázal tlumit rázy vzniklé při jízdě přes nerovnosti na vozovce, musel by být pružný při radiálním směru zatížení pneumatiky. Proto se při výrobě musí technici uchýlit k určitým kompromi-

sům, tak aby vznikla pneumatika se zaměřením na různé povrchy, styl jízdy a taky vlivy okolního prostředí. [2]

2.7 Výška vzorku běhounu a jeho vliv

Součinitel adheze a tím i jízdní stabilitu vozidla na vozovce s určitou vrstvou vodní tříště ovlivňuje výška běhounu. Součinitel adheze na mokré vozovce klesá ze zvyšující se obvodovou rychlostí kola tím prudčeji, čím nižší je vzorek běhounu pneumatiky. [3]

2.8 Měrný tlak ve stopě na součinitele adheze a jeho vliv

Měrný tlak ve stopě vzniká v důsledku působení zatížení kola na styčnou plochu pneumatiky s vozovkou. Lze jej vypočítat z rovnice $p=F/S$ a z toho plyne, že čím větší je styčná plocha pneumatiky s vozovkou, tím bude měrný tlak ve stopě menší. Čím je tlak nahuštěné pneumatiky větší, tím je styčná plocha mezi pneumatikou a vozovkou menší. Standardní pneumatiky jsou huštěny atmosférickým vzduchem. Trendem v 21. století se stává huštění pneumatik pomocí směsí argonu a dusíku. Tato směs má řadu výhodných vlastností, jako je například teplotní objemová stálost. Závislost růstu součinitele adheze na zmenšování tlaku huštění v pneumatikách platí jenom do jeho určité hodnoty. Součinitel adheze pneumatiky začne klesat po poklesu tlaku huštění pod tuto mez. Následně přestává vzorek běhounu plnit svou funkci zachytávání hranek vzorku o mikronerovnosti vozovky, tím se začíná styčná plocha pneumatiky po kontaktu s vozovkou deformovat. Vzorek běhounu je v určitých místech prořezán tak, že vznikají lamely. Ty se při akceleraci a styku pneumatiky s vozovkou od sebe rozevřou a tím obohacují vzorek o další přídatné hrany, které jsou potřebné pro lepší adhezní vlastnosti pneumatiky. Lamely však neplní svou funkci, není-li pneumatika dostatečně nahuštěná. [3]

3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK

Materiálové zkoušky mají za účel kvantitativní stanovení vlastností a na jejich základě poskytují konstrukční podklady technikům. Obecnými požadavky na jejich výrobky je maximální trvanlivost. Z toho důvodu se pomocí krátkodobých zkoušek při zosťřených podmínkách určuje životnost výrobků. Komplexní účinek vlivů se řeší v praxi rozložením zkoušek na dílčí testování, z nichž se následně rekonstruuje celkový vliv. Tyto postupy je z důvodu srovnatelnosti zkouškových hodnot nutno normovat za tímto účelem. V dnešní době jsou průmyslové přístroje pro zkoušení plastických hmot již vyráběny dle platných norem. O mezinárodní platnost zkušebních metod se postarala norma ISO – International Standard Organization. [8]

3.1 Dělení zkoušek

- Statické;
- Dynamické;
- Únavové;
- Zkouška tvrdosti;

3.1.1 Statické

Při statických zkouškách se materiál namáhá pomalu se měnícími silami po relativně krátkou dobu. Můžeme zde zařadit tahové zkoušky, horní a dolní mez kluzu v tahu, mez pevnosti v tahu, mez napětí při přetržení, poměrná změna délky, tažnost, mez pružnosti v tahu, technická mez průtažnosti, poměrné příčné zkrácení při přetržení (kontrakci), modul pružnosti, součinitel protažení, měrná deformace práce a stupeň pevnosti. [8]

3.1.2 Dynamické

Provádí se za působení rychle se měnících sil rázem nebo periodicky se opakujícím zatěžováním po extrémně krátkou dobu. [8]

3.1.3 Únavové

Zkoušky dlouhodobé -statické i dynamické. [8]

3.2 Opotřebení a oděr pláště (pryže) pneumatiky

Při používání jsou pryžové výrobky vystaveny povrchovému namáhání, jež má za důsledek opotřebení – zmenšení objemu pryže. Mezi hlavní problém gumárenské technologie patří velké roční ztráty pryže a to v důsledku opotřebení plášťů pneumatik (jedná se o sjíždění běhounů). Poznatky z dnešní doby o mechanismu opotřebení plášťů pneumatik jsou větším dílem dlouholetého systematického studia Schallmacha, společně s jeho spolupracovníky. Jejich výzkum byl založen na představě, že základním krokem při opotřebovávání musí být mechanický oděr a tedy hlavním faktorem určujícím opotřebení musí být mechanická pevnost běhounového materiálu. Pevnost mohou v průběhu času ovlivňovat chemické změny. Ty však ovlivňují pouze rychlost, nikoliv mechanismus opotřebení. Opotřebení pláště pneumatiky závisí nejen na odolnosti běhounu proti oděru, ale i na elastických vlastnostech pneumatiky. [12]

3.2.1 Oděr při vlečném pohybu

Při vlečném pohybu pryže po drsném povrchu se jejím objem zmenší odíráním povrchu. Některé případy poukazují, že povrch pryže zůstává při odírání hladký. Takový typ oděru pojmenoval Schallmach vlastní oděr. V jiných případech oděru se na povrchu pryžového vzorku vytváří soustava rovnoběžných rýh, které jsou kolmé ke směru vlečení (brusný vzorec). Zákonitost vlastní oděru a oděru vznikem obrazců (obrazcový oděr) se poněkud liší. [12]

3.2.1.1 *Vlastní oděr*

Průběh a zákonitosti vlastní oděru můžeme studovat při periodickém otáčení zkušebního tělesa vzhledem ke směru otáčení, protože za takových okolností se obrazce nevytvářejí. Skutečná plocha kontaktu mezi drsnou podložkou a povrchem pryže se omezuje na velmi malé oblasti a na místa, kde se stýkají výstupky a výčnělky obou povrchů. U těchto míst se vytvářejí velká místní napětí, při vlečném pohybu. Výčnělek drsného povrchu hrne před sebou povrchovou vrstvu pryže a přitom vzniká za čelem deformace. Po stranách vzniklé brázdy vznikají tahová napětí. Přestoupí-li tato napětí mechanickou pevnost pryže, dojde k jejímu prasknutí a odtrhnutí z povrchu. Buď se odtrhne částečně, nebo zcela úplně (drobná částice pryže). V okolí výstupku deformace a napětí poklesnou a děj se opakuje o kousek dál. Výstupek drsného povrchu se tedy frézuje a povrch pryže za sebou zanechává pře-

rušovanou brázdou. Při frikčním namáhání je způsob odtrhávání částeczek povrchu pryže podobný průběhu trhání (tj. postup trhlin při zkoušce strukturní pevnosti). Z těchto důvodů lze očekávat, že odolnost pryže proti oděru, při vlečném pohybu, bude záviset na podobných faktorech jako odolnost proti dalšímu trhání. Mezi hlavní faktory patří deformační práce E_p , která je potřebná k přetržení při jednosměrném protahování a velikost výstupků brusného prostředku (velikost zrn). Velikost zrn zároveň určuje rozměry deformovaných mikrooblastí a odtrhávání částeczek. Při odtrhávání částecčky si můžeme elementární děj představit jako miniaturní tahovou zkoušku. Avšak rychlost protahování je vyšší než rychlost vlečného pohybu. Uveďme příklad, kdy rychlost vlečení je 1 cm/s a rozměr deformovaných mikrooblastí 1mm, pak doba potřebná k protažení dané mikrooblasti (tj. 100%) činí řádově 0,1s. Místní rychlost protahování je tedy v řádech 1000%/s. Schallamachovi se ovšem pokusně podařilo dokázat, že objemová ztráta pryže při vlečení po drsné podložce (podmínka vlastního oděru) je v prvním přiblížení úměrná množství spotřebované frikční práce. Tato práce (tření) je rovna součinu síly tření F a dráhy l . Pro objemovou ztrátu pryže A (mm^3) pak platí: $A = B \cdot F \cdot l$, kde $B = A / (F \cdot l)$ je rovna objemové ztrátě pryže při jednotkovém zatížení na jednotkové dráze, lomené koeficientem tření. Nazvěme veličinu B (poměrný oděr). Její převrácená hodnota $1/B$ je charakterizována jako odolnost pryže proti oděru za daných podmínek vlečení. Z tohoto důvodu by tedy podle výše uvedené úvahy měla být přímo úměrná deformační práci E_p , která je potřebná k přetržení. To platí také při rychlostech protahování odpovídajícím rychlosti elementárního děje oděru: $1/B = \text{konstanta } E_p$. Předně je zjištěno, že poměrný oděr B je závislý na rychlosti vlečení a taky na teplotě a že jeho teplotně časové závislosti se mohou zpracovávat v některých případech Ferryho superpoziční metodou. Toto všechno je přirozený důsledek viskoelastické povahy vlastního oděru a tím naznačuje souvislost s veličinou E_p . S průběhem zvyšování teploty a zmenšování rychlosti vlečení pak poměrný oděr stoupá. Grosch a Schallamach měřili deformační práci potřebnou k přetržení při jednosměrném protahování rychlostí kolem $10^4\%/s$ a při různých teplotách okolí. Oba zjistili, že teplotní závislost veličiny $1/B$ při rychlosti vlečení 1cm/s a teplotní závislosti deformační práce E_p jsou si podobné. Tím dokázali, že rovnice v prvním přiblížení skutečně platí a má tedy racionální podklad. Závislost poměrného oděru běhounu z přírodního kaučuku na teplotě charakterizuje tyto konkrétní hodnoty: -13°C , $B = 2,07 \text{ mm}^3/\text{J}$, při 20°C , $B = 2,29$ a při teplotě 95°C , $B = 3,82$ (rychlost vlečení 1cm/s, brusný papír zaprašovaný kysličníkem hořečnatým). K neméně významným výsledkům patří

s teplotou pomaleji než
u vulkanizátů neplněných. [12]

3.2.1.2 *Oděr provázený vznikem brusných obrazců*

Je-li pryž vlečena po drsném povrchu bez otáčení vzorku, vytváří často na jejím povrchu brusný vzorec. Rovnoběžné rýhy, které vznikly, jsou kolmé ke směru pohybu. Profil řezu pryží s brusným obrazcem je podobný vlnění na vodě, kdy vlny jsou skloněny dopředu, proti směru pohybu. Během oděru se vlny ohýbají dozadu a tím vystavují svou přední stranu oděru. V určité fázi pochodu se hřebeny vln odtrhávají a rýha se obnovuje ze spodní pryžové vrstvy. Vlny pomalu putují během oděru po povrchu pryže a to ve směru pohybu. Se zatížením roste jejich rychlost pohybu. Intenzita obrazců (vzdálenost vlna hloubka rýh) je tím větší, čím ostřejší jsou podmínky oděru. To znamená, že čím větší je zatížení a čím je drsnější brusný prostředek. Za daných podmínek mají intenzivnější obrazce pryže s menším modulem. vzdálenost mezi hřebeny vln souvisí s velikostí tahové deformace v oblasti povrchu vzorku. Také na pláštích pneumatik vznikají podobné brusné obrazce. Avšak nejsou kolmé ke směru odvalování pneumatik, ale vyskytují se skloněny pod určitým úhlem. Z toho lze odvodit, že k oděru pláštů pneumatik dochází především při zatáčení. Jen za určitých podmínek se na pryži vytvářejí brusné obrazce. Tyto podmínky jsou dopředu definovány. Předpoklad jejich vzniku je nízká tuhost povrchové vrstvy, protože jen díky tomu může dojít k dostatečně velkým tahovým deformacím, které určují a podmiňují vznik rýh. Původní modul nedeformované pryže je vysoký a brusné obrazce se vytvoří až tehdy, kdy povrchová vrstvička vlivem opakovaných deformací změkne (Mullinsův jev). Při velmi ostrých podmínkách, je-li však rychlost odírání dostatečně velká, nemá obrazec čas se vyvinout. Jednou z nejdůležitějších vlastností obrazového oděru je, že objemová ztráta pryže je mnohem vyšší než při podmínkách vlastního oděru a obrazce se proto netvoří. Při obrazovém oděru je to způsobené odtrháváním částecek větších než při vlastním oděru. Kupříkladu bylo zjištěno, že objemová ztráta běhounu pneumatiky z přírodního kaučuku je při vlečném pohybu bez otáčení vzorku (obrazce se zřetelně vytvořily) na brusném papíru o 50% větší nežli tomu je v případě, kdy se vzorek otáčí periodicky o 90° (ke vzniku obrazců nedochází). Celková objemová ztráta pryže při vlečném pohybu (A_c) se skládá za obecných podmínek z příspěvku vlastního oděru (A_1) a z obrazcového oděru

(A₂).

Schematicky se píše: $A_C = a_1 \cdot A_1 + a_2 \cdot A_2$.

Konstanty a_1 , a_2 nám udávají relativní příspěvek obou těchto faktorů k celkovému oděru. Jejich hodnota je závislá na ostrosti podmínek, to znamená například zatížení, velikosti zrn brusného prostředku apod. Tím se nám vysvětluje, proč se poměr objemových ztrát dvou různých vulkanizátů mění s ostrostit podmíněk. Způsobuje to odlišná dispozice různých vulkanizátů k tvorbě obrazců. Bylo také zjištěno, že objemová ztráta dvou vulkanizátů přírodního kaučuku obsahující 25 až 46 dsk sazí, HAF byla při vlastním oděru naprosto stejná. Na velmi jemném asfaltu byl vulkanizát s menším obsahem sazí o 14% horší a na hrubém betonu o 35% hroší. Proto můžeme předem vyloučit, že by různé laboratorní zkoušky oděru, lišící se ostrostit podmíněk, mohly seřadit různé vulkanizáty za všech okolností ve stejném pořadí kvality (odolnosti proti oděru). [12]

3.2.1.3 Oděr při valivém pohybu

Při některých laboratorních zkouškách odolnosti proti oděru se používají pryžové kotouče, které se po brusném prostředku odvalují s určitým prokluzem. K prokluzu dochází tehdy, jeli obvodová rychlost kotouče buď to větší, nebo menší nežli rychlost podložky, případně když rovina kotouče svírá určitý úhel se směrem pohybu. Analogické podmínky jsou u pláště pneumatiky určeny pro rozjíždění, zatačení a brzdění. Obvodový element pryžového kotouče přichází periodicky do styku s podložkami. V přední části kontaktní plochy je síla tření větší než tečné napětí působící na pryž. Díky tomu zde nedochází k vlečnému pohybu. Naopak v zadní části kontaktní plochy jsou tečná napětí větší než síla tření. K vlečnému pohybu, ke kterému zde dochází, je příčinou oděru odvalování s prokluzem. Deformační energie se v pryži akumuluje při průchodu přední části kontaktní plochy a tím pádem se v zadní části spotřebuje na frikční práci při vlečném pohybu. Čím větší jsou hysterzní ztráty v pryži, tím menší podíl energie zbývá jako hnací síla frikčních pochodů. Oděr při vlečení je úměrný disipované energii tření. Proto by měl mít materiál, který má větší hysterzii při valivém pohybu s prokluzem menší opotřebenění. Tento poznatek je jedním z mála výsledků Schallamachova teoretického rozboru odvalování pryžových kotoučů, kde rovina svírá určitý úhel se směrem pohybu. Dle výsledné rovnice je objemová ztráta pryžového kotouče na jednotku dráhy. Dále pak na rezidenci pryže, dvojmocí prokluzového úhlu a tuhosti kotouče. Rovnice však neobsahuje žádné nastavitelné parametry a mělo by být

v podstatě možné dopočítat opotřebení pryžového kotouče při odvalování, kdy je znám poměrný oděr pryže při vlečném pohybu. Schallamach dokázal, že hodnoty, které jsou vypočítané opotřebením, jsou skutečně v souladu s hodnotami naměřenými. Z experimentálního ověřování odvozené rovnice se zjistilo, že opotřebení kotoučů různých pryží, lišící se jak hodnotou vlečného oděru A , tak i hodnotou rezidence R , je opotřebení úměrné součinu A , nikoliv hodnotě vlečného oděru. Rovněž se potvrdila kvadratická závislost opotřebení na prokluzovém úhlu. [12]

3.3 Plášť pneumatiky a jeho opotřebení

Při získávání poznatků z analýzy oděru pryžových kotoučů na opotřebení plášťů pneumatiky je nutno vzít v potaz úvahu, že elastické vlastnosti, které má pneumatiky, jsou do jisté míry určovány kostrou samotné pneumatiky a že tedy vliv hysterze pryže běhounu se zde projeví méně, než u pryžových kotoučů. Rozhodujícím faktorem je rezidence pneumatiky jako celku, nejen rezidence pryže běhounu. Pomocí přívěsného vozíku za automobilem byl studován vliv prokluzového úhlu. Úhel pneumatiky je periodicky měněn z postavení, kdy byla kola vytočena ven do postavení, kdy jsou kola vytočena dovnitř. Tím bylo prokázáno rovnoběžné sjíždění pneumatik. Soustava pracuje za podmínky konstantního úhlu, za předpokladu, že jsou obě pneumatiky stejné. To je do značné míry způsobeno vzrůstající teplotou povrchu pláště, částečně i intenzivnější tvorbou brusných obrazců. Zahrnou-li se oba tyto faktory semiempirickou formou do odvozené rovnice, je souhlas vypočítaných hodnot s hodnotami, které byly naměřeny na silnici velmi dobrý. Pokud se na přívěsný vozík automobilu namontují dvě různé pneumatiky lišící se tuhostí pod stejným úhlem, pak soustava pracuje za podmínek konstantní boční síly. Při samotné jízdě se podélná osa vozíku odkloní od směru jízdy a tužší plášť má pak menší prokluzový úhel než plášť měkčí. Logicky je pak opotřebení tužšího pláště menší. Následným měřením bylo zjištěno, že opotřebení plášťů, na dráze s velkým počtem zatáček, vzrůstá přibližně s třetí mocninou rychlosti daného vozidla. Zvýší-li se průměrná rychlost o 20% má to za následek 70% -ní zvětšení opotřebení. Tím je zajímavé, že za mírných podmínek (kde povrchová teplota pneumatiky zůstává nízká) má běhoun z přírodního kaučuku lepší odolnost proti opotřebení, než butadienstyrenový, kde na rozdíl od ostřejších podmínek jízdy, které vyvolávají vzrůst povrchové teploty až na 60-80°C, je výhodnější běhoun z materiálu butadienstyrenového kaučuku. Pokles opotřebení na mokré vozovce souvisí nejvíce s poklesem povrchové

teploty. [12] Zkoušky opotřebení se provádějí jak v laboratorních, tak i za reálných podmínek v provozu. Ty jsou u naměřených hodnot laboratorních zkoušek zaměřeny téměř výhradně na jeden efekt a pro každý bývá navrženo zvláštní zařízení. Dále se pak vypracovává zvláštní metodika. Na rozdíl od silničních zkoušek, které umožňují posuzování kromě opotřebení i větší soubor vlastností, které jsou důležité pro provoz daného typu vozidla. Odolnost proti opotřebení nelze udávat kladnou hodnotou, ale jen zápornou (ztráta při frikčním namáhání pryže). Opotřebení pneumatik je velmi složitý jev, závisející na mnoha faktorech. Proto bylo věnováno velké úsilí, práce a úvah k zjištění závislosti na jiných vlastnostech, avšak s malým úspěchem. Je však jisté, že například tvrdost, pevnost, strukturální pevnost a odrazivost mají určitý vztah k opotřebení. Tento konkrétní vztah však není přímý a jednoduchý. Jednou z mála příčin potíží mohou být okolnosti, že opotřebení frikčních namáháním se děje často za značně vysokých teplot, kdežto zmíněné statické zkoušky se provádějí za normální teploty.

V laboratořích se nejčastěji určuje ztráta opotřebení tak, že se vzorek o známé ploše přitlačuje určitým tlakem na pohybující se standardní brusný materiál. Jako brusný materiál může být použit kupříkladu smirkový papír, který má určité zrnění, nebo karborundový kotouč.

Přístroje se vyskytují ve velkém množství. Liší se tvarem zkoušeného vzorku, způsobem přitlačování dále pak dráhou, po které se vzorek pohybuje, povahou a tvarem brusného materiálu, specifickým tlakem, rychlostí posuvu atd. Nejčastěji nám výsledky udávají ztrátu buď to za jednotku času či při jistém počtu otáček, nebo za jistou dráhu, kterou musel vzorek na brusném materiálu vykonat. Aby se odstranily některé experimentální chyby, které vznikly nepravidelností brusného kotouče, musíme počítat se ztrátou standardní pryže o známých hodnotách, zkoušených za stejných podmínek.

Velká pozornost by měla být taktéž věnována vývoji metod pro testování opotřebení běhounů pneumatik, které pracují v náročných mimosilničních podmínkách. U těchto případů se mechanismus opotřebení poněkud liší. Běhoun pneumatiky sice není obrušován, ale zato dochází k postupnému vykrajování a vykusování kousků pryže ostrými okraji kamenů a dalšími terénními nerovnostmi. Tento efekt je popisován jako Chip – Chunk odolnost.

Díky velké rozmanitosti uspořádání přístrojů a různým podmínkám nemůžeme výsledky získané z jednotlivých přístrojů zpravidla přímo srovnávat. Obsahuje-li pryž větší množství

změkčovadel, která zanášejí brusný materiál a tím dochází ke snižování frikčního součinitele, mohou nám laboratorní zkoušky zkreslovat povahu pryže. I přes tyto nedostatky jsou laboratorní zkoušky užitečnou pomůckou pro kontrolování a vývoj směsi. V praxi je opotřebením velmi důležité pro běhouny pneumatik, podrážky, podpatky, dopravní pásy apod. Vzhledem k velkému množství faktorů opotřebením, které mají na ně vliv, a vzhledem k povaze této vlastnosti vůbec, neshodují se laboratorní výsledky s praktickými výsledky na silnici a tím může dojít k výsledkům protichůdným. Proto je nutno neustále laboratorní zkoušky doplňovat zkouškami na silnici.

Jistého zlepšení vztahu mezi laboratorními a praktickými výsledky se dosáhne pomocí extrahování vzorků před zkouškou azeotropickou směsí etylalkoholu a toulenu (70:30), tím se odstraní látky, které by mohly u zkoušky měnit součinitel tření brusného materiálu.

Porovnáním laboratorních výsledků s výsledky z praxe vycházíme, že žádný zkušební vzorek nelze doposud zvolit za univerzální. Některé typy přístrojů dávají lepší výsledky pro běhouny, jiné zase pro podrážky apod. Odolnost proti opotřebením je závislá na druhu kaučuku a na přísadách použitých ve směsích. Velmi dobrou odolnost proti opotřebením má zejména přírodní, nitridový, butadien-styrenový i natriumbutadienový kaučuk. U přírodních kaučuků se získává vysoká odolnost proti opotřebením pomocí aktivních sazí, které se přidávají, aby bylo dosaženo optimální odolnosti 22 až 28 objemových dílu. To znamená asi okolo 40 – 48 váhových dílu na 100 dílků kaučuku. Při vyšším plnění sice stoupá tvrdost společně s modulem, avšak odolnost proti opotřebením se nezlepšuje.

Pro syntetický kaučuk byly vyrobeny retortové saze, které mají vysokou odolnost proti samotnému opotřebením. Byly vyrobeny proto, že směsice syntetických kaučuků, které obsahují aktivní saze, se špatně zpracovávají. Směsi, které obsahují vysoké procento sazí, vyžadují přidání změkčovadel, aby se usnadnilo zpracovatelnost, zejména při vstřikování. Změkčovadla, jako jsou kupříkladu oleje, snižují odolnost pro opotřebením, proto je nutné, aby byly použity co nejméně. Do běhounových směsí z přírodního kaučuku se přidávají 3 až 4% smrkového dehtu a také 2 až 4% stearinu. Celkové množství změkčovadla ve směsi kaučuku by nemělo překročit 6%. U syntetických kaučuků je použitelnost změkčovadel trochu větší. Okolo 10%, ale mělo by se použít pouze tolik, kolik je nezbytně nutné.

Bílé či barevné směsi z přírodního kaučuku, které mají mít dlouhou odolnost proti opotřebením, se plní zinkovou bělobou.

V některých případech se používá taky uhličitanu hořečnatého, vápenatého, kaolinu a křemičitých přísad. Opotřebení je závislé především na složení směsi- přesněji řečeno na druhu a množství použitých sazí. Dle dosavadních zkušeností a znalostí vyplývá, že pokud se jedná o elastomer, odolnost proti opotřebení stoupá. Odolnost opotřebení se nijak zvlášť nemění při vulkanizace ani při stárnutí. [13]

3.4 Laboratorní zkoušky

Pomocí zkoušky opotřebení zjišťujeme odolnost různých materiálů vůči odírání a tím rozumíme změnu povrchu materiálu a jeho úbytek, který závisí na podmínkách, při kterých se zkoušky tvrdosti provádí. Odolnost zkoušeného vzorku (materiálu) proti odírání se porovnává se standardem a dle norem ČSN, je odstupňována v rozsahu 20-400 %, vezme-li se odolnost standardu jako základ ze 100 %.

Zkoušku opotřebení lze měřit na celé řadě laboratorních přístrojů. Pro zkoušky opotřebení běhounových směsí se využívají metody: Du Pont s konstantním třením, Akron-Crodyon a Dunlop-Lambourn. [14]

3.4.1 Metoda Du Pont

Zkouška je založena na stejném principu jako metoda Du Pont-Grasselli. Přístroj je vybaven elektrickými spínači, které udržují zvolenou velikost tření při konstantní hodnotě. Zkouška je vhodná především pro hodnocení běhounových směsí a udává určité korelace se silničními zkouškami. Zkušební těleso je čtvercového průřezu a je vybaveno patkami pro upnutí. Upevňují se na páku přístroje a při zkoušce jsou přitlačována na odírající prostředek ve tvaru mezikruží s konstantním tlakem. Obroušené částěčky se v průběhu zkoušky plynule odstraňují tlakovým vzduchem. Jakost materiálu nám udává dobu, po kterou se řídí odírání. Odolnější vzorky mají oděr 5 minut, ty méně odolné 3 minuty. Úbytek hmotnosti tělesa zjišťujeme vážním. [1]

3.4.2 Metoda Akron-Crodyon

Zkušebním tělesem je nejčastěji dutý kotouč o vnějším průměru 64 mm a tloušťce 12,7 mm. Pak vnitřní průměr je 43,6 mm. Zhotovují se pomocí lisování. Zkušební těleso se nasazuje na hřídel a otáčí se rychlostí okolo 250 ot/min. Zde je na vzorky tlačena karborundový kotouč pod úhlem 15° a tlakem okolo 0,28 MPa. Částěčky, které vznikají při odírání, se

odstraňují žíněným kartáčem. Při zkoušce postupujeme následovně: nejprve se zkouší těleso srovnávacího materiálu, následně dvě tělesa zkoušeného materiálu a nakonec opět těleso srovnávacího materiálu. Odolnost proti opotřebení se udává jako objemový úbytek za stanovený počet obrátek. [1]

3.4.3 Metoda Dunlop-Lambourn

Jako zkušební těleso se používá dutý kotouč s vnějším průměrem 64 mm, vnitřním průměrem 43,6 mm a tloušťkou 10 mm. Zkušební těleso se otáčí rychlostí okolo 600 ot/min. Na zkušební kotouč se přitlačuje korundový kotouč, který má samostatný pohon. V místě styku vzniká, vlivem rozdílných otáčekprokluz, který má u běžně prováděných zkoušek hodnotu okolo 16 %. Korundový kotouč se při zkoušce čistí žíněným kartáčem a také tlakovým vzduchem. Nejdříve se zkouší těleso ze standardní pryže, potom dvě zkušební tělesa zkoušené pryže a na závěr opět těleso standardní pryže. Vlastnímu zkoušení musí předcházet obrušování. Odolnost proti odírání se udává v objemovém úbytku na jeden kilometr dráhy. [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Pro experimentální část k ověření mechanických vlastností a míry opotřebení byly vybrány 3 vzorky běhounových směsí. Zkoušky byly prováděny na směsích pro pláště motocrossových a silně namáhaných pneumatik. Jako plnicí systém směsi byly použity saze. Každá směs obsahuje jiné množství sazí. Použité směsi jsou reálné výrobky, které jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

4.1 Měření mechanických vlastností

Pro určení analýzy vlastností, které mohou ovlivnit výsledné vlastnosti pryžových výrobků, jsem provedlo pro každý vzorek následující měření:

- Tahovou zkoušku (trhací stroj T 2000, Alpha technology);
- Strukturní pevnost (trhací stroj T 2000);
- Tvrdost Shore (tvrdoměr HPE – A Bereiss);
- Rychlý test opotřebení (Zařízení pro rychlý test opotřebení Chip – Chunk);

4.1.1 Tahová zkouška

Podstatou zkoušky je protahování zkušební tělesa v trhacím stroji při konstantní rychlosti. Jedná se o zkoušku, při které dochází k porušení vzorku a kdy po celou dobu průběhu zkoušky působí na zkoušený vzorek klidná konstantní síla až do jeho porušení. Potom se odečítají hodnoty síly a prodloužení, které jsou potřebné k vyhodnocení požadovaných charakteristik zkušebních vzorků v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení. Z naměřených hodnot se pak určují mechanické vlastnosti.

Napětí v tahu je to napětí, které způsobuje protažení zkušební tělesa. Vypočítá se jako podíl síly a plochy, na kterou síla působí.

Prodloužení je to protažení, které vzniklo napětím v tahu na zkušební těleso. Vyjadřuje se v procentech délky pracovní části.

Pevnost v tahu je definována jako maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování tělesa až do jeho přetržení.

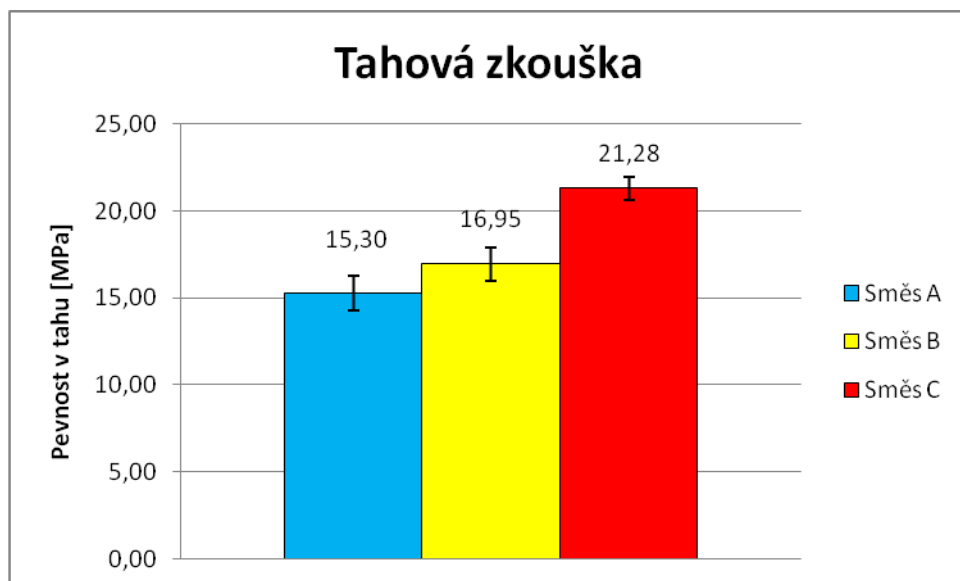
Tažnost je to tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení.

K přehlednějšímu vyhodnocování byla zavedena bezrozměrná hodnota (což je podíl příslušné hodnoty k maximální hodnotě).

Tab. 1 Pevnost v tahu

	Pevnost v Tahu [MPa]	SMCH
Směs A	15,30	1,01
Směs B	16,95	0,93
Směs C	21,28	0,64

Z výsledků bylo zjištěno, že nejvyšší pevnosti v tahu dosahuje směs C s 21,28 MPa, zatímco nejnižší pevnost v tahu má směs A 15,30 MPa (Obr.15).

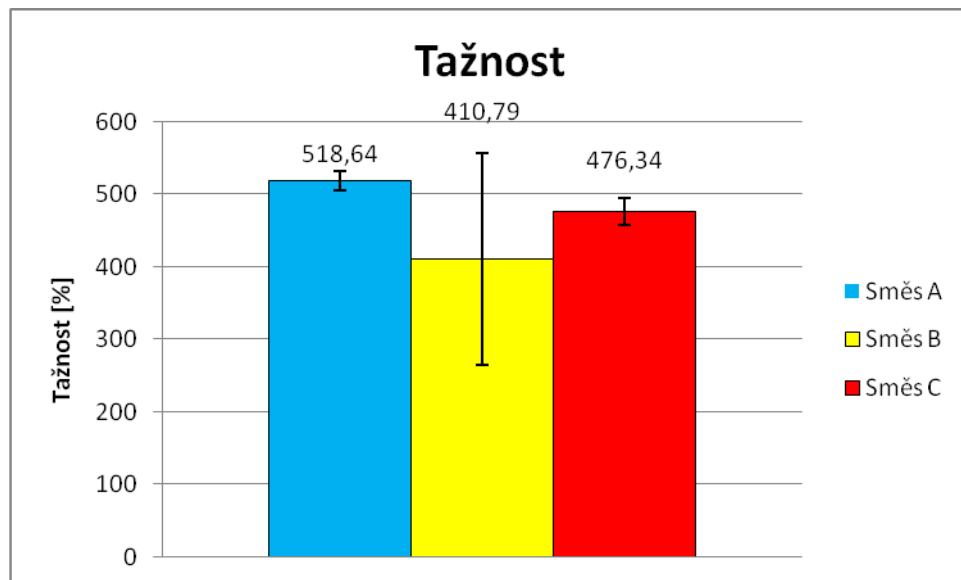


Obr. 15 Porovnání pevnosti v tahu jednotlivých směsí.

Tab. 2 Tažnost

	Tažnost [%]	SMCH
Směs A	518,64	13,73
Směs B	410,79	145,75
Směs C	476,34	19,29

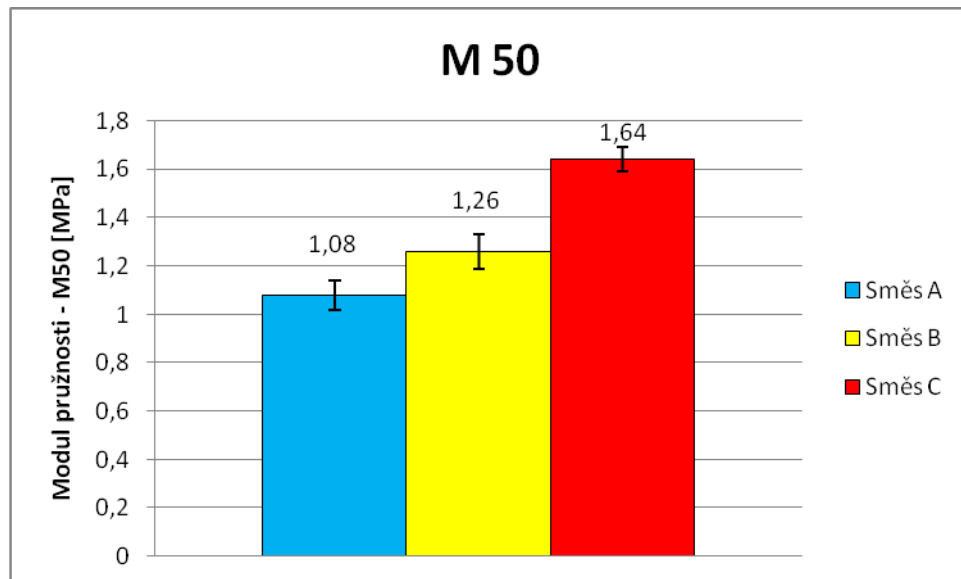
Z výsledků vyplývá, že při tahové zkoušce nejvyšší tažnosti 518,64 % má směs A. Nejnižší tažnost s naměřenou hodnotou 410,79 % má směs B. Jak nám ukazuje obrázek 16.



Obr. 16 Porovnání tažnosti jednotlivých směsí.

Tab. 3 M 50 – Modul pružnosti při 50 % deformaci vzorku

	M50 [MPa]	SMCH
Směs A	1,08	0,06
Směs B	1,26	0,07
Směs C	1,64	0,05

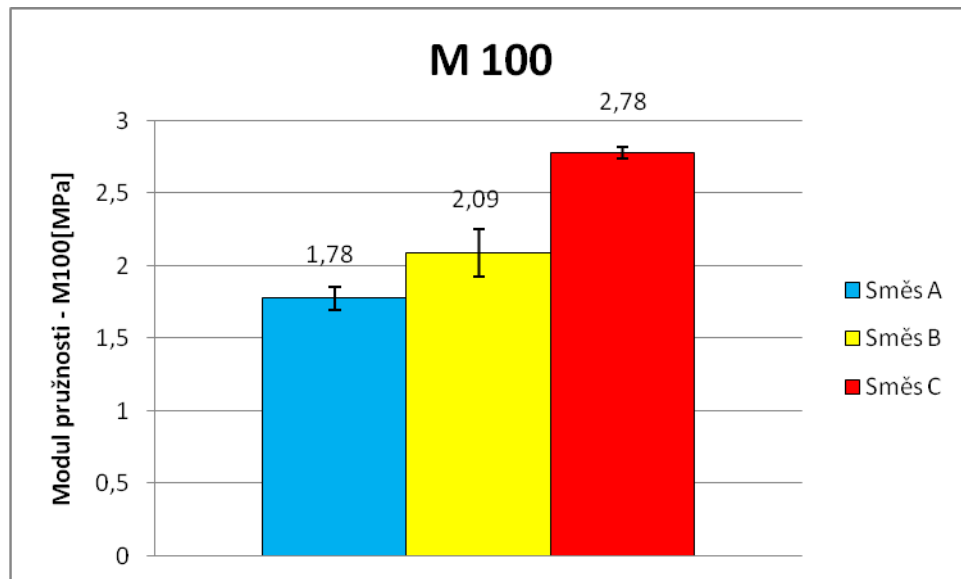


Obr. 17 M 50 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.

Nejvyššího modulu pružnosti (tuhosti materiálu) dosáhla při 50 % deformaci směs C. Nejnížší modul pružnosti má směs A, jak je patrné z obrázku 17.

Tab. 4 M 100 – Modul pružnosti při 100 % deformaci vzorku

	M100 [MPa]	SMCH
Směs A	1,78	0,08
Směs B	2,09	0,16
Směs C	2,78	0,04



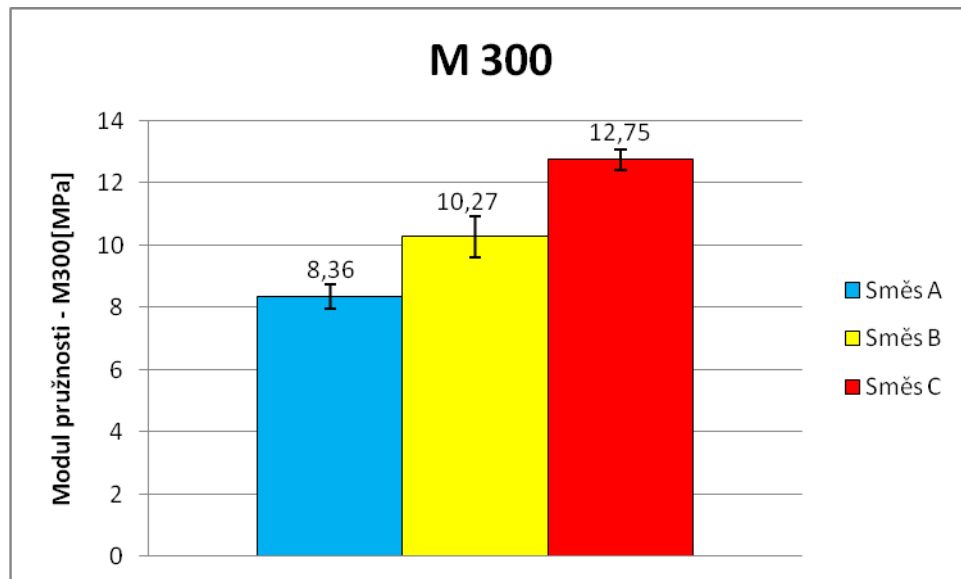
Obr. 18 M 100 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.

Největší modul pružnosti při 100 % deformaci vzorku má taktéž směs C a nejmenší směs A. Porovnání hodnot je na obrázku 18.

Tab. 5 M 300 – Modul pružnost při 300 % deformaci vzorku

	M300 [MPa]	SMCH
Směs A	8,36	0,40
Směs B	10,27	0,66
Směs C	12,75	0,32

Nejvyšší tuhosti materiálu dosáhla směs C, kdežto nejnižší směs A, jak je patrné na obrázku 19.

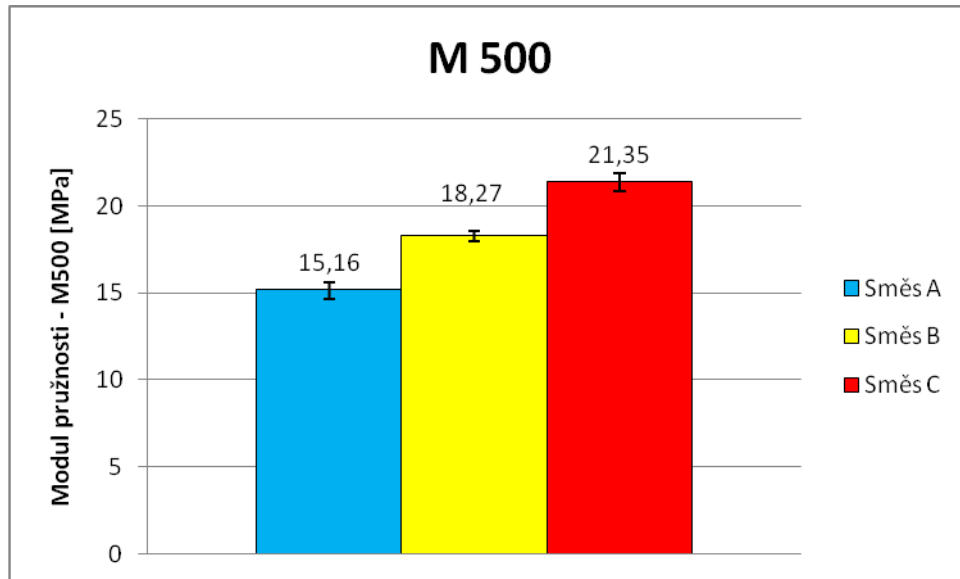


Obr. 19 M 300 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.

Tab. 6 M 500 – Modul pružnosti při 500 % deformaci vzorku

	M500 [MPa]	SMCH
Směs A	15,16	0,47
Směs B	18,27	0,32
Směs C	21,35	0,51

Nejvyšší hodnota modulu pružnosti byla naměřena u směsi A. Nejnižší modul má směs C. Výsledky k porovnání jsou na obrázku 20.



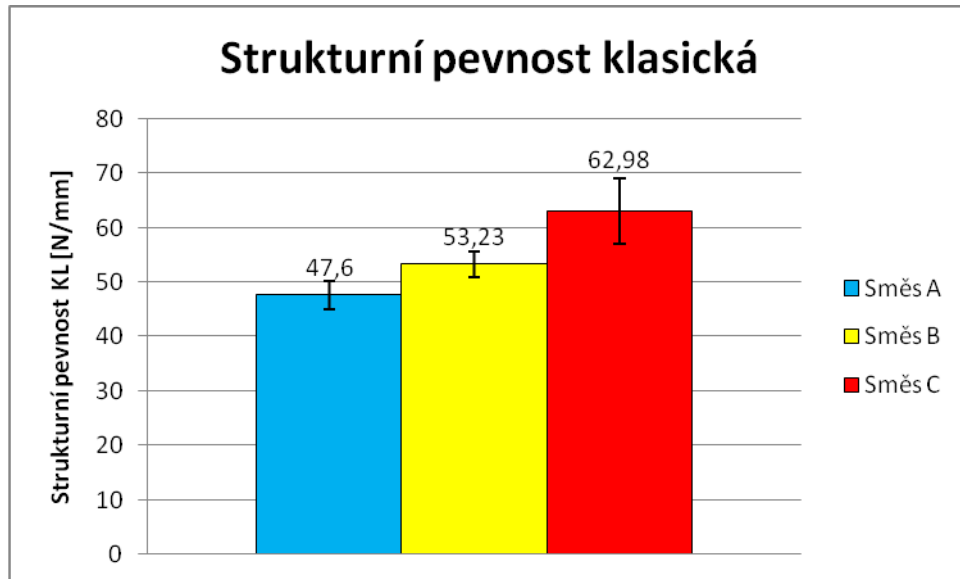
Obr. 20 M 500 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.

4.1.2 Strukturální pevnost

Zkouška strukturální pevnosti spočívá v namáhání zkušebních vzorků v upnutých čelistích trhacího stroje, tahem a v měření síly, která byla potřebná pro přetržení zkoušeného materiálu. Zaznamenává se síla, která je potřebná k přetržení materiálu. Zkušební tělesa se namáhají tahem za konstantní rychlosti protahování. Strukturální pevnost T_s v N/mm je podíl maximální síly, která je potřebná k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa mm.

Tab. 7 Strukturální pevnost klasická

	Strukturální pevnost KL [N/mm]	SMCH
Směs A	47,6	2,60
Směs B	53,23	2,43
Směs C	62,98	6,04



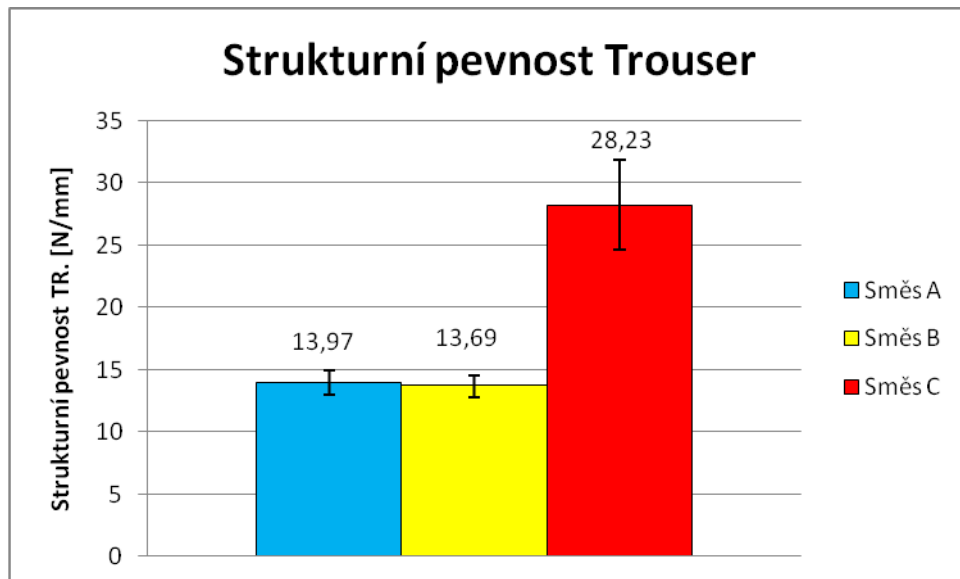
Obr. 21 Strukturní pevnost klasická.

Nejvyšší strukturní pevnost klasická byla naměřena u směsi C, naopak nejmenší u směsi A.

Tab. 8 Strukturní pevnost Trouser

	Strukturní pevnost TR [N/mm]	SMCH
Směs A	13,97	0,98
Směs B	13,69	0,88
Směs C	28,23	3,62

U zkoušky strukturní pevnosti (Trouser) byla nejvyšší hodnota naměřena u vzorku C. Pak nejnižší hodnota u vzorku B (Obr. 22).



Obr. 22 Strukturní pevnost Trouser.

4.1.3 Tvrdość Shore

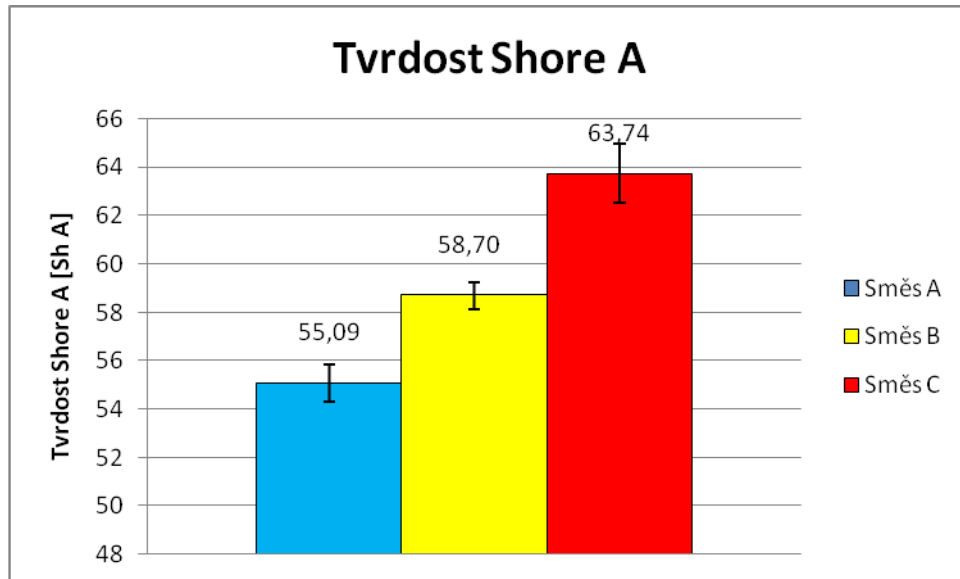
Podstatou zkoušky tvrdosti je vnikání zkušební hrotu do materiálu za specifických podmínek a měření hloubky vniknutí. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Výsledky měření mohou být ovlivněny tvarem hrotu, dobou vlačování hrotu do materiálu nebo přítlačná síla. Pro měření byl použit tvrdoměr typu A (Shore A).[2, 9, 16]

Tvrdość je nutno měřit alespoň na pěti různých místech vzorku. Z výsledných hodnot je vypočten aritmetický průměr.

Tab. 9 Tvrdość Shore A

	Tvrdość Shore A [Sh A]	SMCH
Směs A	55,09	0,77
Směs B	58,70	0,55
Směs C	63,74	1,22

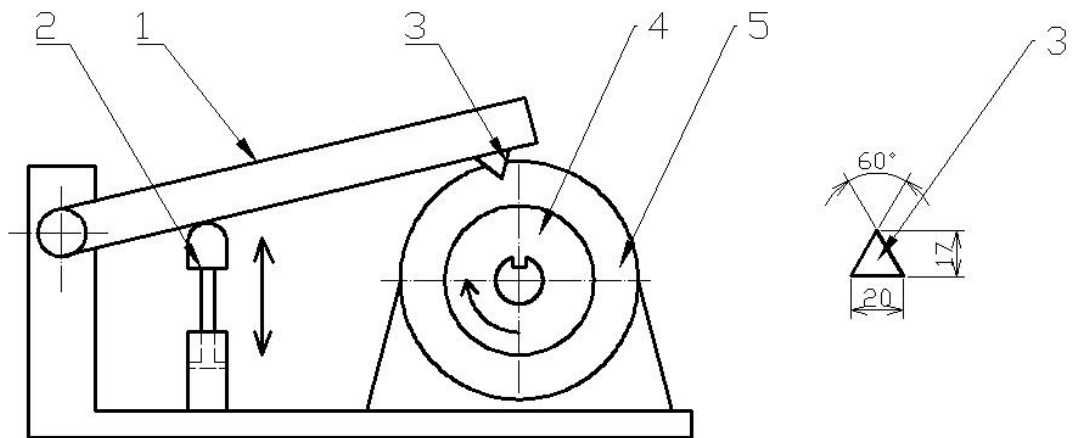
Ze zkoušky tvrdosti vyplývá, že nejvyšší naměřená hodnota 63,74 Shore A byla u směsi C. Nejnižší hodnota 55,09 Shore A byla naměřena u směsi A, což je patrné z obrázku 23.



Obr. 23 Tvrđost Shore A.

4.2 Test opotřebení

Provádí se pomocí zkoušky opotřebení pneumatik (běhounů). Tyto zkoušky jsou jak časově, tak i ekonomicky velmi náročné. Provádí se na hotových pneumatikách a to buď přímo v terénu, nebo ve zkušebnách. Pro její náročnost je snaha najít takovou metodu, při které zjistíme opotřebení velmi rychle (v minutách) a na malých vzorcích, kde výsledné naměřené hodnoty navzájem porovnáváme. Dle těchto požadavků bylo navrženo zařízení, jehož princip je znázorněn na obrázku 24. Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování Chip – Chunk opotřebení.[9]



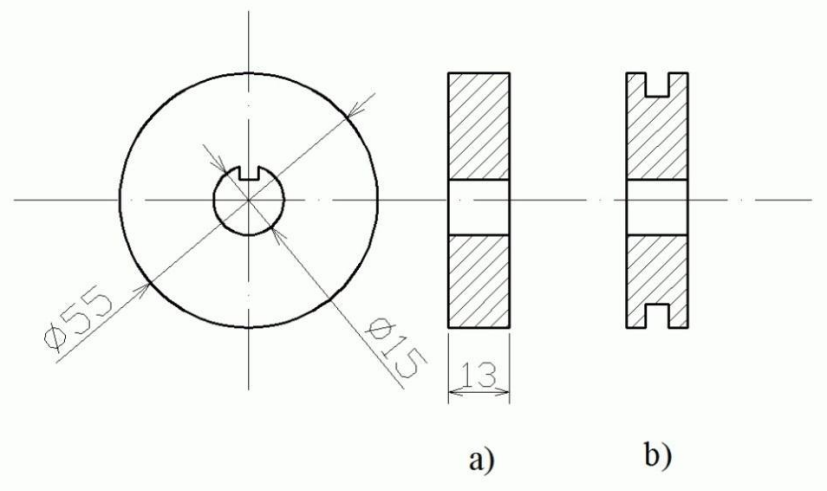
Obr. 24 Schéma zařízení pro testování opotřebení Chip – Chunk[9].

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

Rameno 1 je zvedáno zvedacím ústrojím (píst pneumatického válce) 2. Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn speciální keramický břit 3, na rotující kotouč 4 (zkušební těleso) poháněné elektromotorem 5. Při dopadu na rotující kotouč břit postupně vysekává materiál a tvoří v kotoučku drážku. Velikost drážky zhotovené břitem za určitý čas je měřítkem opotřebení. [2]

4.2.1 Zkušební tělesa

Z důvodu snadné přípravy byly rozměry vzorku zvoleny dle obrázku 26. Vzorek měl průměr 55 mm a šířku 13 mm, stejně jako u zkoušky tvrdosti Shore A. V průběhu zkoušky byla do zkušebního vzorku vykousnuta drážka od keramického nástroje (hrotu). Díky vlastnostem pryže, se při zkoušce projevil elastický charakter pryže a došlo k nerovnoměrnému vytrhávání (vykousávání) materiálu při dopadu břitu na zkoušený vzorek.



Obr. 25 Tvar a rozměry zkušební vzorku[9]

a) před zkouškou b) po zkoušce

4.3 Analýza opotřebení

Rozhodující vliv na opotřebení má energie dopadu keramického hrotu na povrch zkušebního vzorku. Elastické vlastnosti zkušebního způsobují, že dochází po hlavním účinku dopadu keramického břitu (prvním dopadu břitu na povrch) ještě k dalším účinkům, avšak s malou účinností („poskakování“ po povrchu). Ukázalo se, že posuzování celkové práce potřebné k vytvoření drážky (k opotřebení) pouze uvažováním energie hlavního dopadu, by bylo zkreslené.

Zkoušky rychlého opotřebení byly prováděny při teplotě 20°C a doba trvání jednoho experimentu byla 90s. Zkušební těleso se upnulo do čelistí stroje tak, aby bylo zamezeno jeho prokluzování a následně bylo uvedeno do rotace. Byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Od prvního kontaktu břitu se vzorkem byl čas měřen. K experimentu bylo použito vždy 10 vzorků od každé směsi. Po konci zkoušky byl na analytických vahách měřen hmotnostní úbytek vzorku. Naměřené hodnoty byly zpracovány a vyhodnoceny. Zkoušky byly prováděny při dopadu keramického hrotu na obvod zkušebního vzorku v radiálním směru ze tří různých výšek.[2, 9]

4.3.1 Podmínky experimentu

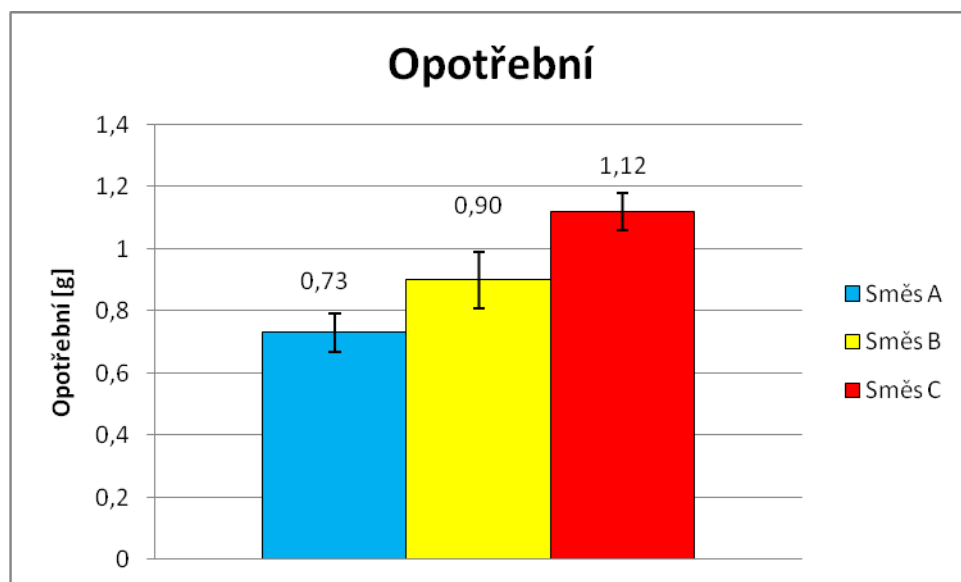
- otáčky zkušebního tělesa $0 - 910 \text{ min}^{-1}$
- frekvence dopadu keramického břitu 1 Hz

- zdvih keramického břitu 30, 60, 90 mm
- teplota okolí 20 °C
- doba trvání experimentu 90s
- rychlost dopadu 2,1 m/s

Tab. 10 Opotřebení

	Opotřebení [g]	SMCH
Směs A	0,73	0,06
Směs B	0,90	0,09
Směs C	1,12	0,06

Při srovnání naměřených hodnot, vyplynulo, že nejvyšší hodnoty opotřebení bylo dosaženo u vzorku C, naopak nejnižší u směsi A.



Obr. 26 Opotřebení.

5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

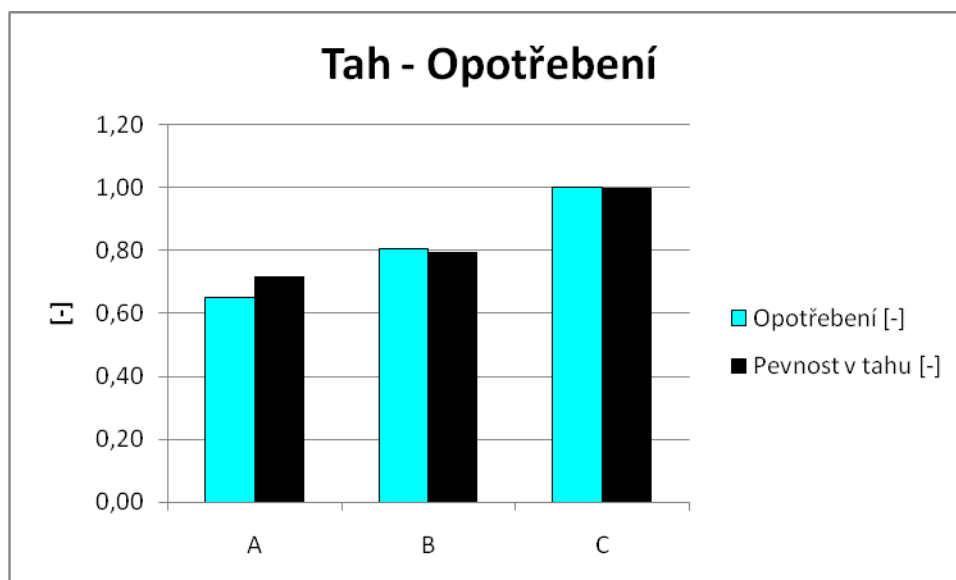
Pro experimentální část byly použity tři vzorky různých směsí, používaných pro výrobu pneumatik pro motocross.

Pro lepší orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, které jsou vyjádřeny jako poměr jednotlivých měření k maximální dosažené hodnotě v průběhu daného měření.

Pro každou zkoušku bylo použito 10 vzorků od každé směsi. Soubor naměřených hodnot byl zpracován do tabulek a výsledky znázorněny do grafů.

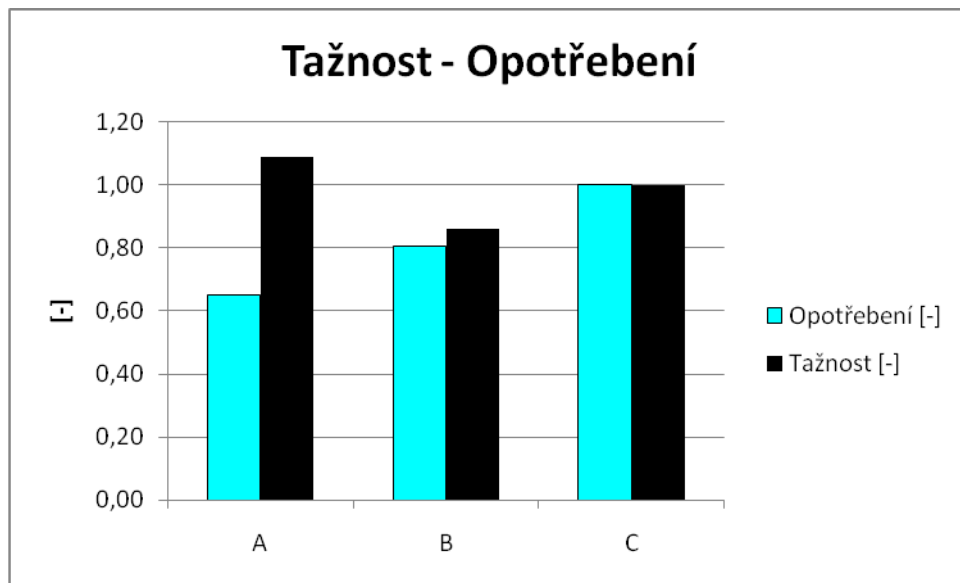
5.1 Porovnání mechanických vlastností a opotřebení směsí

Pevnost v tahu



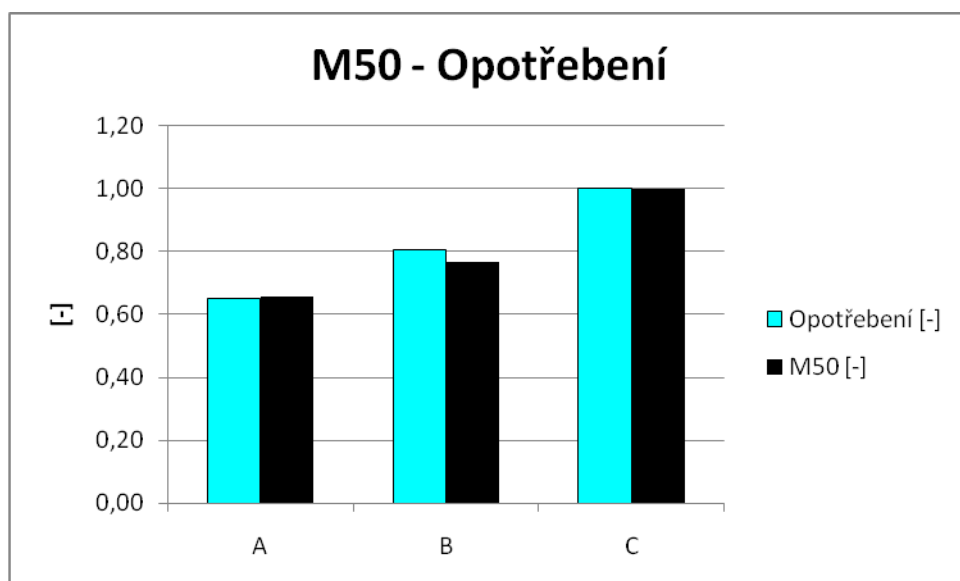
Obr. 27 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.

Porovnáním pevnosti v tahu s opotřebením dojdeme k výsledku, že nejvyšší pevnost a zároveň i opotřebení měla směs C. Naopak nejmenší pevnost v tahu a zároveň nejmenší opotřebení vykazovala směs A. Směs B měla druhou nejvyšší pevnost v tahu a druhou nejvyšší hodnotu opotřebení, jak je patrné z obrázku 27.

Tažnost

Obr. 28 Porovnání tažnosti a opotřebení.

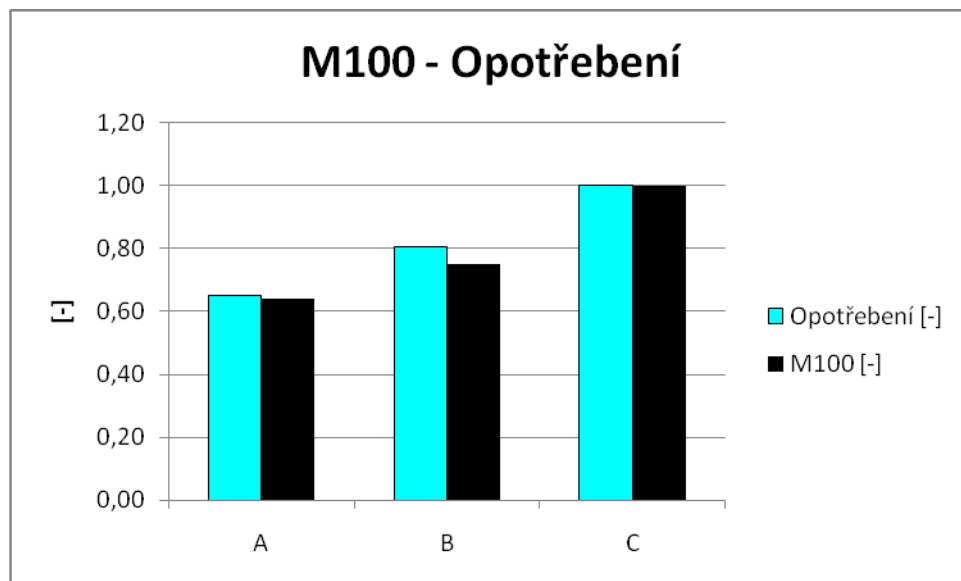
Při srovnání výsledků tažnosti a opotřebení (obr. 28) jsme zjistili, že nejvyšší tažnost měla směs A, která měla zároveň nejnižší opotřebení. U směsi C byly hodnoty tažnosti a opotřebení totožné. Směs B měla druhou nejvyšší tažnost, tak i druhou nejvyšší opotřebení.

M 50

Obr. 29 Porovnání M 50 a opotřebení.

Při porovnání modulu pružnosti M 50 a opotřebení jsme zjistili, že nejvyšší modul pružnosti M 50 a zároveň i nejvyšší opotřebení měla směs C. Nejnižší modul pružnosti i opotřebení vykazovala dle obrázku 29 jednoznačně směs A.

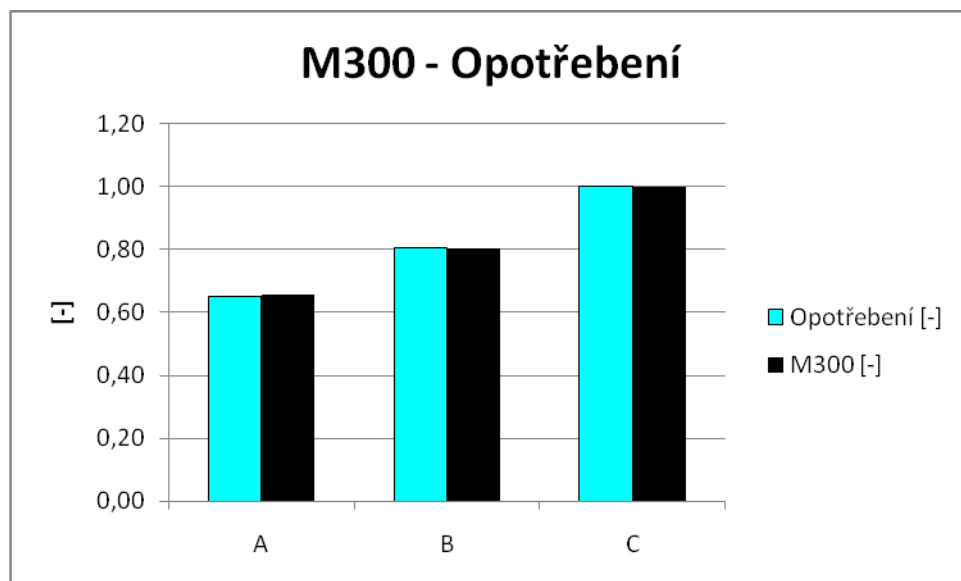
M 100



Obr. 30 Porovnání M 100 a opotřebení.

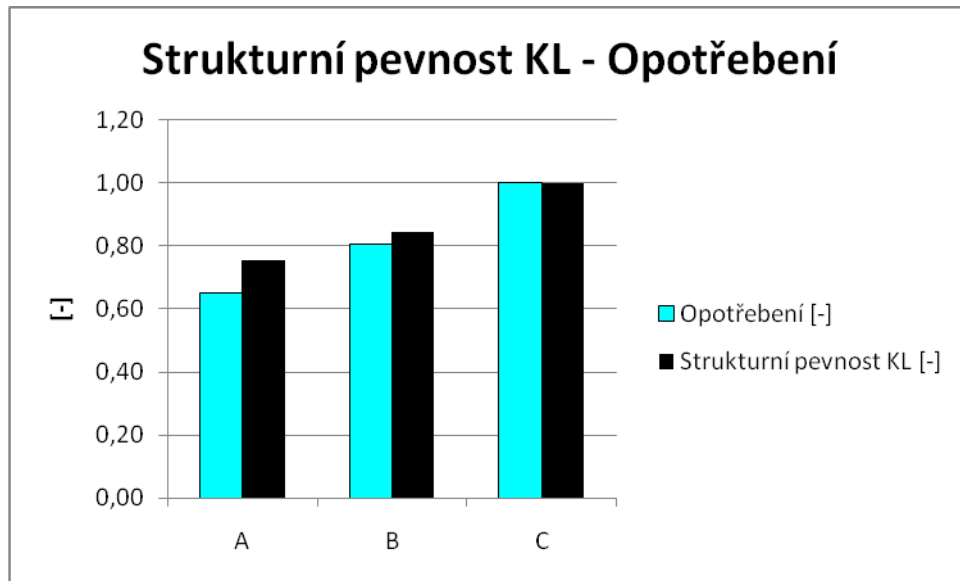
Nejvyšší modul pružnosti M 100 má rovněž jako pro modul pružnosti M 50, směs C a nejnižší směs A (obrázek 30). Druhé nejnižší opotřebení i modul pružnosti M 100 vykazoval vzorek B.

M 300



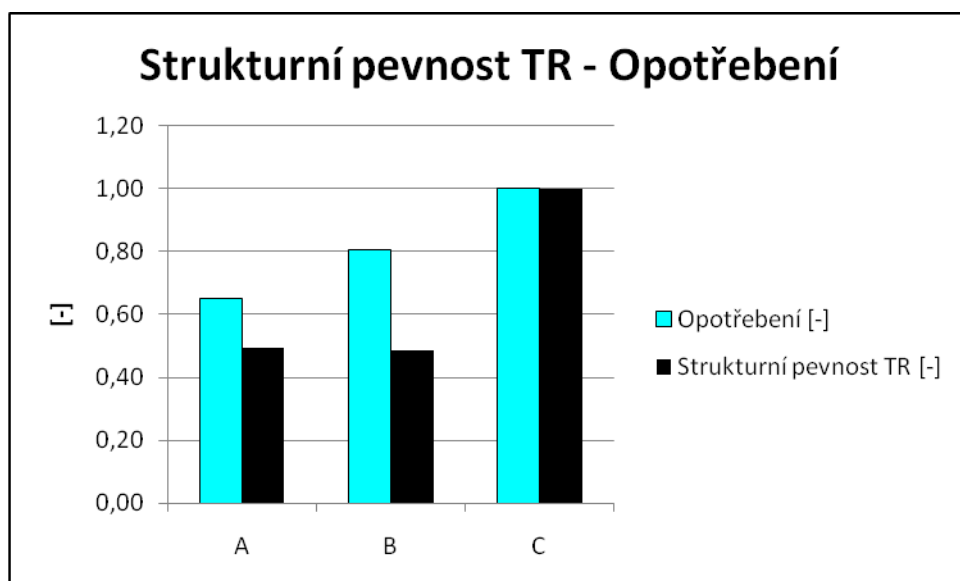
Obr. 31 Porovnání M 300 a opotřebení.

Při srovnání modulu 300 a opotřebení vyšlo najevo (obr. 31), že nejmenší hodnota modulu 300 byla naměřena u směsi A, u které byla naměřena i nejmenší hodnota opotřebení. Nejvyšší hodnota modulu 300, která popisuje tuhost směsi, byla zjištěna u směsi C, u které byla rovněž nejvyšší hodnota opotřebení.

Strukturní pevnost klasická

Obr. 32 Porovnání strukturní pevnosti KL a opotřebení.

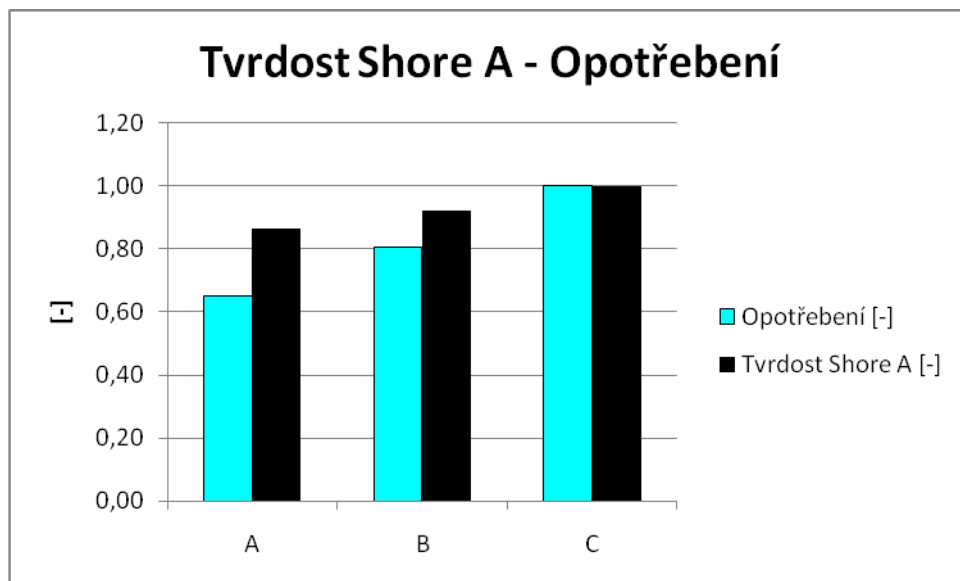
Nejmenší strukturní pevnost, ale zároveň nejmenší opotřebení vykazovala po zpracování naměřených výsledků směs A. U směsi B byla zjištěna druhá nejvyšší pevnost a druhé nejmenší opotřebení. Grafické znázornění porovnaných výsledků lze vidět na obrázku 32.

Strukturní pevnost Trouser

Obr.33 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.

Při srovnání strukturní pevnosti Trouser a opotřebení jsme došli k závěru, že nejvyšší strukturní pevnost vykazoval vzorek C, který měl zároveň nejvyšší opotřebení. Naopak nejnižší opotřebení měl vzorek B, který měl druhou nejvyšší pevnost (obr. 33).

Tvrдост Shore A



Obr.34 Porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení.

Při porovnání výsledných hodnot pevnosti Shore A a opotřebení bylo zjištěno, že nejnižší tvrdost Shore A měla směs A, která taktéž vykazovala nejnižší hodnotu opotřebení. Za to směs C měla nejvyšší tvrdost Shore A a nejvyšší hodnotu opotřebení, což je patrné z obrázku 34.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá opotřebením běhounových směsí, které jsou určeny pro motocrossové a silně namáhané pneumatiky. V experimentální části byly porovnávány vzorky A, B a C, které představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány. Na vzorcích byly provedeny zkoušky: rychlý test opotřebením, tahová zkouška, zkouška strukturální pevnosti a zkouška tvrdosti. Všechny naměřené výsledky byly zpracovány do tabulek a graficky znázorněny. Pro jednodušší orientaci ve výsledcích byly použity bezrozměrné hodnoty, které jsou vyjádřeny jako poměr jednotlivých měření k maximální naměřené hodnotě v průběhu příslušného měření.

Z naměřených hodnot vyplývá vztah mezi úbytkem hmotnosti (opotřebením) a některými mechanickými vlastnostmi. Při pohledu na výsledky běžně měřených mechanických vlastností a opotřebením je patrné, že nejmenší hodnoty opotřebením vykazuje směs, která dosahuje nejmenších hodnot jak pevnosti v tahu tak strukturální pevnosti. Také hodnoty modulů při jednotlivých délkách protažení jsou u směsi se zjištěnou nejmenší mírou opotřebením nejnižší. Naopak směs vykazující nejvyšší hodnoty jak modulů, tvrdosti a pevnosti v tahu vykazovala nejvyšší míru opotřebením. Z těchto výsledků můžeme usuzovat, že směs, která bude vykazovat nejmenší hodnoty tvrdosti a bude poddajná, se bude daleko lépe přizpůsobovat terénním nerovnostem, po kterých se právě pohybuje. Bude schopna, je snadno obtékat a na vznik první porušení bude třeba dlouhé doby. Naopak směs vykazující vysoké hodnoty jak modulů, tak tvrdosti nebude snadno poddajná a bude vykazovat první porušení (trhlinky) již při prvních kontaktech s terénní nerovností. Tyto zárodky pak v konečném důsledku mohou způsobit lavinovitý proces opotřebením.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KUBÍK, J; ZYTKA, A. *Zkušební metody v gumárenství*. 1.vyd. . Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 1-300 s. L 16 -B2-IV-31/6352.
- [2] MÍT, J. *Opotřebení běhounových směsí*. Zlín, 2010. 72s. Bakalářská práce. Fakulta technologická UTB Zlín.
- [3] *Pneuservis v Rokytnici, Poradce při výběru pneumatik, OMV dealer* [online]. 2007, 2010-05-20 [cit. 2010-05-21]. Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. Dostupné z WWW: <<http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyrobapneumatiky.html#valeni/>>.
- [4] KULOVANÁ, E. *Agroweb: internetový zemědělský portál* [online]. 19.9.2001 [cit. 2012-02-17]. Z historie vývoje pneumatik. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/Z-historie-vyvoje-pneumatik__s46x9380.html
- [5] MARCÍN, J. *Pneumatiky – výroba, použití, údržba*. Spálená 51, Praha 1 : SNTL – Nakladatelství technické lit., v roce 1976. 272 s. L 16 -B2-IV-41f/61881.
- [6] GREPLOVÁ, K. *Pneumatika jako rozhodující prvek podvozku závodního automobilu*. Brno, 2006. 37 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakultastrojního inženýrství.
- [7] *GPD České Budějovice s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2012-02-17]. Funkce pneumatik. Dostupné z: <http://www.gpdcb.cz/funkce-pneumatik/>
- [8] HOLZMULLER, W. *Fyzika polymerů*. 1.vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 625 s.
- [9] HRABAL, Tomáš. *Testování opotřebení běhounové směsi*. Zlín, 2012. 67 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [10] MARCÍN, J. *Pneumatiky: Výroba, použití, údržba*. SNTL, 1976, 272 s. L 16 -B2-IV-41f/61881.
- [11] *Hankook*[online]. 2008 [cit. 2012-02-17]. Vše o pneumatikách: Typy pneumatik. Dostupné z: <http://www.hankookpneu.cz/web/?p=clanky/typy-pneumatik>
- [12] SCHÄTZ, M; VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů*. 2. dopl. přeprac. vyd. Praha : Vydavatelství VŠCHT, 1988. 276 s.
- [13] *Besip: Bezpečně na silnicích* [online]. 2010 [cit. 2012-02-17]. Zimní pneumatiky, letní pneumatiky, rozdíly a to nejdůležitější co je nutné vědět. Dostupné z: http://bezpecnenasilnicich.cz/page/115/zimni_pneu_a_hlavni_rozdili.html

- [14] *MCC-UWE* [online]. ©2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.nordexagentur.cz/products/mcc-uwe>
- [15] *Barum Continental Zlín* [online]. [cit. 2012-02-17]. Technologie výroby pneumatik. Dostupné z: <http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/vyrobapneu.htm>
- [16] ACHILLESOVÁ, Jana. *Opotřebení pryžových výrobků*. Zlín, 2011. 75 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ep	Deformační práce.
KL	Klasická.
TR	Trousers.
Pevnost v tahu	[MPa]
Tažnost	[%]
M 50	Modul pružnosti při 50 % protažení [MPa]
M 100	Modul pružnosti při 100 % protažení [MPa]
M 300	Modul pružnosti při 300 % protažení [MPa]
M 500	Modul pružnosti při 500 % protažení [MPa]
Strukturní pevnost	[N.mm ⁻¹]
Tvrдость	[Sh A]
Úbytek hmotnosti	[g]
ABS	Antiblokový systém.
SMCH	Směrodatná odchylka.
ISO	International Standard Organisation.
ČSN	Česká technická norma.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1Diagonální pneumatika [13]	15
Obr. 2Radiální pneumatika [13]	16
Obr. 3Typy dopravních prostředků [14]	19
Obr. 4Typy dopravních prostředků [11]	21
Obr. 5Síly působící na pneumatiku[4]	22
Obr.6Konstrukce pláště pneumatiky:.....	23
Obr.7Nárazník[9].....	24
Obr. 8Kostra[9].....	24
Obr. 9Běhoun pneumatiky [9]	25
Obr. 10Bočnice [9]	26
Obr. 11Vnitřní pryžová vrstva [15]	26
Obr. 12Patka [15].....	27
Obr. 13Patní lanko [15]	28
Obr. 14Základní typy vzorků [3]	29
Obr. 15 Porovnání pevnosti v tahu jednotlivých směsí.	44
Obr. 16 Porovnání tažnosti jednotlivých směsí.	45
Obr. 17 M 50 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.	46
Obr. 18 M 100 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.	47
Obr. 19 M 300 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.	48
Obr. 20 M 500 – Porovnání modulu pružnosti vzorků.	49
Obr. 21 Strukturální pevnost klasická.	50
Obr. 22 Strukturální pevnost Trouser.	51
Obr. 23 Tvrdost Shore A.....	52
Obr. 24 Schéma zařízení pro testování opotřebení Chip – Chunk[9].....	53
Obr. 25 Tvar a rozměry zkušební vzorku[9] a) před zkouškou b) po zkoušce.....	54
Obr. 26 Opotřebení.	55
Obr. 27 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....	56
Obr. 28 Porovnání tažnosti a opotřebení.	57
Obr. 29 Porovnání M 50 a opotřebení.	57
Obr. 30 Porovnání M 100 a opotřebení.	58
Obr. 31 Porovnání M 300 a opotřebení.	59

Obr. 32 Porovnání strukturní pevnosti KL a opotřebení.....	60
Obr.33 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	60
Obr.34 Porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení.....	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Pevnost v tahu.....	44
Tab. 2 Tažnost.....	45
Tab. 3 M 50 – Modul pružnosti při 50 % deformaci vzorku	45
Tab. 4 M 100 – Modul pružnosti při 100 % deformaci vzorku	46
Tab. 5 M 300 – Modul pružnosti při 300 % deformaci vzorku	47
Tab. 6 M 500 – Modul pružnosti při 500 % deformaci vzorku	48
Tab. 7 Strukturální pevnost klasická	49
Tab. 8 Strukturální pevnost Trouser	50
Tab. 9 Tvrdost Shore A.....	51
Tab. 10 Opatření	55

PŘÍLOHA P I: CD ROM