

# Opotřebení běhounových směsí

Jiří Mít

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří MÍT**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Opotřebení běhounových směsí**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních těles pro test opotřebení
3. Provedení testu opotřebení
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení ved. BP**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. David Mañas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**2. června 2010**

Ve Zlíně dne 15. ledna 2010

  
doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



  
doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.  
*vedoucí katedry*

Příjmení a jméno: Mít Jiří

Obor: Procesní inženýrství

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

.....

---

<sup>1)</sup> 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.

<sup>2)</sup> 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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**

V gumárenském průmyslu se velmi často setkáváme s problémem opotřebení pryžových výrobků. Některé formy opotřebení jako je opotřebení běhounů pneumatik, dopravních pásů jsou velmi podobné obrábění. Běhoun je ta část pneumatiky, která zabezpečuje styk vozidla s vozovkou a podílí se na přenosu hnací síly. Opotřebení pneumatik osobních automobilů je realizováno obrusivostí, kdy je běhoun vystaven brousícímu účinku vozovky po které se pohybuje. U pneumatik pohybujících se v náročném terénu je mechanismus opotřebení zcela odlišný. Ostré hrany kamenů a terénních nerovností postupně vykousávají (vytrhávají) části běhounu. Tento proces je podobný frézování, ale za specifických podmínek. Vliv mechanických vlastností na opotřebení silně namáhaných pryžových dílů je popsán v této práci.

**Klíčová slova:** pryž, gumárenská směs, mechanické vlastnosti, opotřebení, Chipping – Chunking test

## **ABSTRACT**

Rubber industry often faces the problem of wear of rubber parts. Some forms of wear, especially the wear of tyre tread or conveyor belts, are very similar to working itself. The tyre tread is the part of tyre which secures contact of vehicle with road and is directly involved in the transfer of driving power. The wear of tyre treads of passenger car and freight vehicles moving on usual roads, is characterised by its abrasion. Tyre tread of a vehicle is exposed to abrasive effect of the road it moves on. However, the mechanism of wear of tyres working in very hard terrain conditions is absolutely different. Sharp stone edges and terrain irregularities gradually cut (tear off) parts of the rubber tread surface, which can be understood as a way of working. There is also some similarity to milling, although under very specific conditions. The influence of mechanical properties on wear of heavily stressed rubber parts is described in this paper.

**Keywords:** rubber, rubber compound, mechanical properties, wear, Chipping – Chunking test

## **Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za poskytnuté rady a připomínky k této práci. Také děkuji zaměstnancům Univerzitní knihovny ve Zlíně za ochotu a zapůjčený knižní materiál, který mi byl zdrojem podnětných informací , dále děkuji svým kolegům z Barum Continental s r.o. za podporu při studiu. Největší dík náleží mojí ženě Lence, která mne po celou dobu maximálně podporovala .

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

Ve Zlíně .....

.....

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 VÝVOJ PNEUMATIKY</b> .....	<b>13</b>
1.1 HISTORIE PNEUMATIKY .....	13
1.2 VÝZNAM PNEUMATIK U VOZIDEL .....	14
1.2.1 Definice pneumatiky .....	14
1.3 DĚLENÍ PNEUMATIK DLE KONSTRUKCE .....	14
1.3.1 Diagonální, semiradiální a radiální pneumatiky .....	15
1.3.2 Hlavní části pláště pneumatiky .....	17
1.4 BĚHOUN PNEUMATIKY .....	22
1.4.1 Vliv tvaru vzorku .....	22
1.4.2 Vliv výšky vzorku běhounu .....	23
1.4.3 Vliv materiálu vzorku běhounu.....	24
1.4.4 Vliv měrného tlaku ve stopě na součinitel adheze .....	25
1.5 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ.....	26
1.5.1 Statické.....	26
1.5.2 Dynamické .....	26
1.5.3 Únavové .....	26
1.5.4 Zkoušky tvrdosti.....	26
1.6 ODĚR A OPOTŘEBENÍ PRYŽE .....	26
1.6.1 Oděr při vlečném pohybu.....	27
Vlastní oděr.....	27
Oděr provázený vznikem brusných obrazců.....	28
<i>Oděr při valivém pohybu</i> .....	30
1.7 OPOTŘEBENÍ PLÁŠŤŮ PNEUMATIK .....	31
1.8 LABORATORNÍ ZKOUŠKY .....	34
1.8.1 Metoda Du Pont .....	34
1.8.2 Metoda Akron – Croydon .....	35
1.8.3 Metoda Dunlop – Lambourn.....	35
1.8.4 Dry sand - rubber wheel test ( DSRW ) .....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>2 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ</b> .....	<b>38</b>
2.1 MĚŘENÉ VLASTNOSTI.....	38
2.1.1 Tahová zkouška.....	38
2.1.2 Zkouška strukturní pevnosti.....	42
2.1.3 Zkouška tvrdosti.....	44
2.2 TEST OPOTŘEBENÍ .....	45
2.2.1 Rozměry zkušebního tělesa.....	46
2.3 ANALÝZA OPOTŘEBENÍ .....	47
2.3.1 Podmínky experimentu .....	48
<b>3 DISKUSE VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>52</b>



3.1	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO STANDARDNÍ ZÁTĚŽ.....	52
3.2	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO NÍZKOU ZÁTĚŽ.....	56
3.3	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO VYSOKOU ZÁTĚŽ.....	61
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>66</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>67</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>69</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>70</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>72</b>

## ÚVOD

Význam pneumatik v automobilovém průmyslu má své nezastupitelné místo, a proto velmi záleží na jejich kvalitě. Úroveň technologie výroby i jakost hotových pláštěů bývá do značné míry závislá na zkušebních metodách, jimiž se kontrolují jednotliví ukazatelé. Zkušební metody musí mít na zřeteli především konečný cíl, kterým je výrobek a účel, k němuž ho má být použito [1]. Z těchto důvodů vznikl i požadavek, aby pro opotřebení silně namáhaných běhounových směsí pneumatik vozů pohybujících se v extrémních mimosilničních povrchových podmínkách byly zvoleny nové zkušební metody operující s jiným způsobem opotřebení, než jsou běžné silniční a laboratorní zkoušky na frikční oděr pryže. Výsledky takovýchto zkoušek odolnosti jsou známé ve světě pod názvem efekt Chip-Chunk. Tato metoda je specifická tím, že namísto obrušování běhounu dochází k postupnému vykusování a vykrajování kousků běhounové pryže ostrými okraji kamenů a dalšími terénními nerovnostmi.

Automobily se prostřednictvím kol s pneumatikou stýkají s vozovkou nebo s 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. Pneumatika proto musí plnit následující funkce:

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

Pneumatika plní na kole automobilu výše zmíněné funkce. Při plnění těchto funkcí musí pneumatika zajistit, aby jízda automobilu byla ve všech jízdých režimech co nejbezpečnější a co nejpříjemnější pro řidiče a posádku. Jízdými režimy rozumíme akceleraci, brzdění a volnou jízdu automobilu po vodorovné, klesající nebo stoupající vozovce při různých klimatických a povětrnostních podmínkách, dále pak jízdu zatáčkou buď v případě, kdy vozidlo projíždí zatáčkou bez brzdění či akcelerace, nebo v případě, že vozidlo zrychluje či zpomaluje. Průjezd zatáčkou musí být co nejbezpečnější také ve všech klimatických podmínkách. Pneumatika na kole automobilu se musí také snažit zajistit co nejstabilnější chování vozidla při náhlém natočení volantů a vybočení rejdových kol automobilu z přímého směru. Pneumatika musí zajistit dobrý tlumicí efekt při přejezdu kol přes nerovnosti, ale nesmí při tom dopustit vznik ztráty nebo nedostatečného kontaktu pneumatiky

s povrchem vozovky. Aby došlo ke splnění těchto požadavků, musí pneumatika: mít schopnost nést určitou zátěž bez výrazné deformace, mít schopnost tlumit nárazy, přenášet hnací a brzdící síly, vyvíjet boční síly, vyznačovat se dobrou adhezí k vozovce za různých podmínek, být rozměrově stabilní, mít určitou životnost, dobře reagovat na řízení, klást minimální valivý odpor, vyvíjet co nejméně hluku a vibrací, mít minimální hmotnost.

Ideální pneumatiky by měly zprostředkovávat perfektní jízdní, brzdící a akcelerační vlastnosti automobilu za všech teplot, v každých povětrnostních podmínkách a na všech druzích povrchů. Měly by zabezpečit ideální jízdní komfort (nízká hlučnost) při minimálním odporu valení (nízká spotřeba pohonných hmot). Všechny jmenované schopnosti by měla ideální pneumatika mít po neomezenou dobu, po co největší počet ujetých kilometrů a to všechno za minimální pořizovací cenu.

Většina z výše uvedených vlastností „ideální pneumatiky“ je z hlediska její výroby a vlastností použitých materiálů navzájem protichůdná. To znamená, že je například složité vyrobit pneumatiku, která se bude pyšnit dlouhou životností (tvrdá směs + malé procento drážek v dezénu) a současně bude vykazovat vynikající chování při brzdění na mokřem povrchu (měkká směs + velké procento drážek v dezénu). Pneumatika s excelentním chováním při brzdění a akceleraci při všech teplotách (nízká tuhost směsi + speciální cenově náročné přísady) nebude zase již vykazovat excelentní chování při jízdě zatáčkou – malá tuhost v axiálním směru pneumatiky a nebude patřit mezi nejlevnější. Výrobci pneumatik se proto snaží najít nejoptimálnější kompromisy dlouholetým vývojem, experimentováním a množstvím výrobních zkoušek pneumatik. Reálné chování a schopnosti pneumatik obutých na discích automobilu lze však zjistit pouze při provádění silničních zkoušek pneumatik. Mezi nejvíce aplikované zkoušky patří například zkouška brzdících vlastností s ABS a bez ABS regulace – zkouška se provádí na suchu a mokru u letních pneumatik a navíc na sněhu a ledu u zimních pneumatik. Další hojně prováděné zkoušky jsou: zkouška ovladatelnosti na různých druzích povrchu, zkouška vzniku podélného aquaplaningu, zkouška bočního vedení pláště v zatáčce, zkouška odporu valení, zkouška hlučnosti nebo z ekonomického hlediska velice zajímavá zkouška životnosti pláště [2].

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VÝVOJ PNEUMATIKY

Současná pneumatika, tak jak ji dnes známe, by se nikdy nezrodila bez dvou objevů. Základním je vynález kola a tím druhým – objevení vulkanizace kaučuku. Kola vozidel fungují jako transformátory otočné a posuvné energie (tzv. jízdní ústrojí). Převedení smykového tření na několikanásobně menší valivý odpor a rozmach kolových vozidel zlevnily přepravu osob i zboží a tím umožnily rozvoj obchodu a výměny informací na velké vzdálenosti. První doklady o používání kola v dopravě pocházejí již z doby cca 4000 let před naším letopočtem ze starého Sumeru. Zajímavé je, že například Incká civilizace kolo nepoužívala, ač využití kola u hraček je u nich archeologicky doloženo [3]. V průběhu dalších tisíciletí bylo kolo postupně vylepšováno až do současné podoby moderních pneumatik. Pneumatiky, respektive svrchní části pláště pneumatik- běhounová vrstva pryže s dezénem, jsou jediným místem, kde se vozidlo dotýká vozovky. V angličtině je slovo „tire“ starší výraz než „tyre“, ale oba byly používány v 15. a 16. Století pro kovové pásy dřevěných kol, používané na kočárech a povozech. Tyto pásy byly ohřívány v kovářské výhni, umístěny okolo kola přibity, což zajišťovalo spojení a pevné usazení na kolo. Vnější kruh, umístěný po obvodu, sloužil jako „oblečení“ povrchu kola pro snížení opotřebení a defektů dřeva [4].

### 1.1 Historie pneumatiky

- 1493 – 1496 - Kryštof Kolumbus zjistil, že domorodci v Jižní Americe vyrábějí z vysušené štávy 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 vulkanizaci kaučuku sírou
- 1845 - R.W.Thompson navrhl výrobu pláště 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 pláště místo křížového textilu
- 1948 - Radiální pneumatiky firmy Michelin
- další léta - Dynamický rozvoj výroby pláště a zdokonalování jejich jakosti [5].

## 1.2 Význam pneumatik u vozidel

Úkolem pneumatiky je zajistit bezprostřední styk vozidla s vozovkou, lze proto bez nadsázky říci, že je jedním z nejdůležitějších konstrukčních prvků vozidla. Musí přenášet zatížení vozidla, zprostředkovat přenos kroutícího momentu a reakce na volant, zajistit uspokojivé vlastnosti při jízdě (adheze, tlumit nerovnosti na vozovce, nepřenášet vibrace na vozidlo). Pneumatiky by měly mít minimální valivý odpor, což se projeví na spotřebě pohonných hmot. Doposud nelze pneumatiky nahradit jiným zařízením anebo mechanismem, který by vykazoval obdobné pružící vlastnosti. Pod pojmem pneumatika rozumíme plášť, duši, popřípadě i s ochrannou vložkou. Správně konstruovaná pneumatika musí v provozu vyhovovat těmto podmínkám:

- a) Musí umožňovat správný záběr hnacích kol, a to za všech provozních podmínek, Svislé síly jsou představovány tíhou vozidla, tečné síly vznikají při akceleraci a brzdění vozidla a boční síly vznikají při jízdě v důsledku nutnosti vedení vozidla.
- b) tlumit otřesy a nárazy způsobené nerovnostmi terénu,
- c) za pomoci vhodného desénu zaručovat bezpečnou jízdu,
- d) vysokou životností pneumatik umožňovat nejvyšší hospodárnost automobilové dopravy [6].

### 1.2.1 Definice pneumatiky

Podle normy ČSN 64 0001 značí souborový termín pneumatika plášť, popř. s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem. V tzv. bezdušovém provedení jde tedy pouze o plášť namontovaný na ráfek a nahuštěný. Plášť je pružná vnější část pneumatiky, která zprostředkovává styk s vozovkou, svou patní částí dosedá na ráfek a má rozhodující podíl na vlastnostech celé funkční soustavy. Z geometrického hlediska tvoří pneumatika uzavřený prstenec - toroid. Z hlediska mechanického je to tlaková nádoba, jejíž stěny tvoří pružná membrána. Strukturálně je pneumatika složitý systém s vysokými parametry. Konečně z chemického hlediska je pneumatika vyrobena především ze zesíťovaných a nezesíťovaných makromolekulárních materiálů a oceli [6].

## 1.3 Dělení pneumatik dle konstrukce

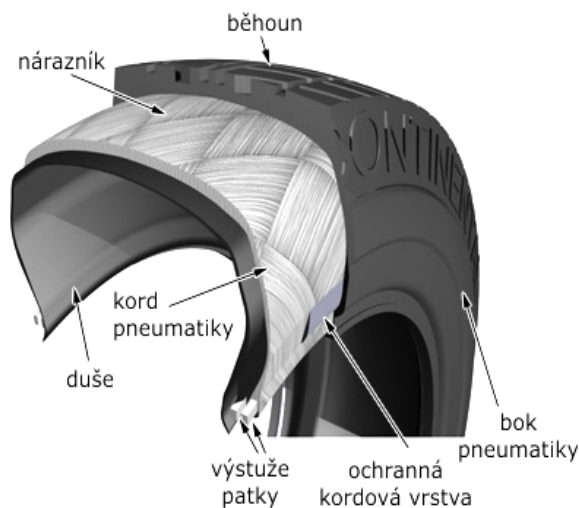
Plášť pneumatiky je tvořen kostrou z kordových vložek opatřenou vnitřním gumovým pláštěm, ze svrchní strany nárazníkem a běhounem a z bočních stran bočnicemi. Dále je

opatřen patkami s lanky z ocelových drátů nebo plastů (kevlar). Hlavní vliv na deformační vlastnosti pneumatiky má, vedle materiálu kostry, počet a orientace jejích kordových vložek. Podle toho dělíme pneumatiky na diagonální, radiální a semiradiální [6].

### 1.3.1 Diagonální, semiradiální a radiální pneumatiky

#### *Diagonální pneumatiky*

Jsou dnes považovány za „klasickou konstrukci“. Mají kostru tvořenou páry kordových vložek (tj. je jich vždy sudý počet) s orientací vláken pod úhlem menším než  $90^\circ$  vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. Kordová vlákna sousedních vložek se kříží a zasahují pod patkovou lanku, kolem kterých jsou přehnuta. Lze si představit, že každý bod kostry pláště je k patkám kotven dvěma vlákny se symetrickým stoupáním. Vlákna přenášejí obvodové i příčné síly přímo do patky pláště. Při zatížení pneumatiky a její deformaci se vlákna neprodlužují, ale posunují a namáhají pryž mezi nimi na sřih. Tím vzniká teplo a tedy ztráty. Jejimi výhodami jsou pevná struktura a silné bočnice, které zvláště v terénu mají mnoho výhod (odolnost proti proražení). Diagonální pneumatiky mají maximální povolenou rychlost 240 km/h a většinou bývají vyrobeny z rayonu nebo nylonu [6].



Obr. 1 Diagonální konstrukce pneumatiky [7]

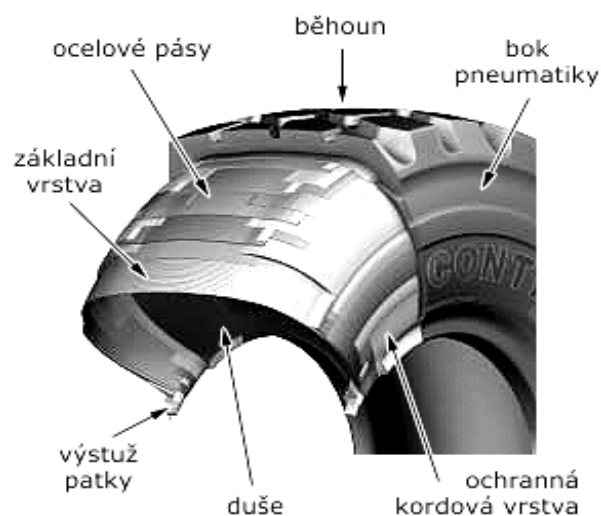
#### *Semiradiální pneumatiky*

Vyvinuté z diagonálních, se vyznačují výrazně zpevněnou konstrukcí pod dezénem, čímž je dodána pneumatice delší životnost zmenšením příčných klouzavých pohybů, přičemž pneumatika je odolnější proti poškození. Příčné prokluzování je dáno konstrukcí pneumatiky a zaviněno deformací pneumatiky do stran při její rotaci. Zvýšené opotřebení je vždy

zaviněno prokluzováním. Čím je větší prokluzování, tím je větší opotřebení. Ačkoliv podélné prokluzování s následným vyšším opotřebením je možné podstatně snížit defenzivním stylem jízdy a rovněž opatrnou akcelerací, nelze je vyloučit úplně, protože je přímou součástí přenosu trakčních sil z pneumatiky na vozovku. Zpravidla jsou tyto pneumatiky vyrobeny z rayonu nebo nylonu. Nárazníkový pás a kostra jsou běžně vyrobeny ze stejného materiálu. Semiradiální pneumatiky jsou předchůdcem radiální pláště. Zatímco kostra je stále konstruována diagonálně, pneumatika má nárazníkový pás, zpravidla z kevlaru. Vhodné pro rychlosti do 250 km/h [6].

### ***Radiální pneumatiky***

Nemají vlákna kordových vložek zkřížena. Jsou uložena pod úhlem blízkým  $90^\circ$  vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. Počet vložek nemusí být nutně sudý. Tato část kostry přenáší boční a radiální síly (v tažné části). Schopnost přenášet obvodové síly je však malá a proto je kostra stabilizována obvodově neroztažitelným pásem, tzv. nárazníkem, který roznáší obvodové síly po celém obvodu ráfku. Nárazník je tvořen vložkami s vlákny kříženými pod úhlem  $15^\circ$  až  $20^\circ$ . Boční stěny pneumatiky jsou měkčí, obvodový pás je v bočním směru relativně ohybově tuhý. Protože vývin tepla a tedy valivý odpor je způsobován zejména podélným ohybem kordových vláken a pryže s nimi spojené v obvodovém pásu, je u radiálních pneumatik nižší než u diagonálních. Radiální pneumatiky při výrobě vyžadují dvě operace a jsou také náročnější na přesnost výroby. Proto jsou i cenově dražší [6].



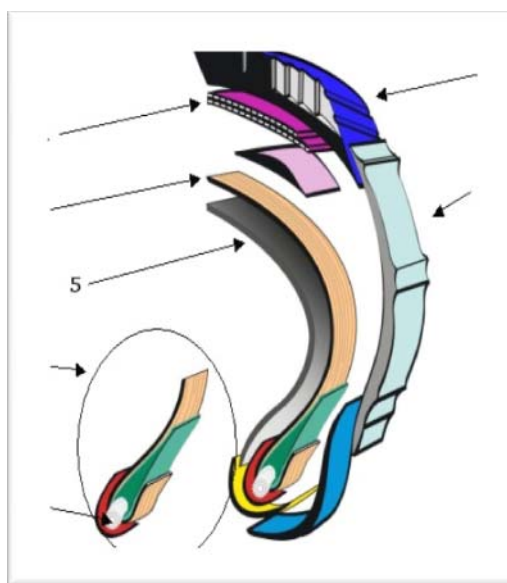
Obr. 2 Radiální konstrukce pneumatiky [7].



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 přenos brzdících sil 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].

### 1.3.2 Hlavní části pláště pneumatiky



Obr. 3 Konstrukce pláště pneumatiky:  
1. nárazník; 2. běhoun; 3. kostra; 4.  
bočnice; 5. vnitřní gumová vrstva; 6.  
patka; 7. patní lano [8].

Každá pneumatika se skládá ze tří hlavních komponentů: pryž (80–85%), různá vlákna (12–15%) a ocelový kord (2–3%). Soudobá pneumatika je vlastně vyztužený pryžový kompozit. Základní struktura je uvedena zde na obrázku. Pláště pro osobní i nákladní automobily se skládají ze čtyř hlavních částí: koruna, rameno, bok a patka [9].

Obr. 4 *Nárazník* [8].

### ***Nárazník***

*korunní kordová vrstva* tvoří přechod mezi běhounem a kostrou pláště. Je zpevněn jemnými vysocepevnostními ocelovými lanky mezi dvěma vrstvami pryže. Tyto dvě vrstvy (někdy i více) jsou přilepené k sobě i k ploše běhounu a svírají spolu úhel asi 60°. Ocelová lanka kříží tkaninu pláště a tvoří s ní výztužné trojúhelníky. Tyto nárazníky výztužné vrstvy obemykají pneumatiku po celém jejím obvodu a mají velmi složitou úlohu: - kolem obvodu pneumatiky musí mít dostatečnou pevnost, aby nebyly nataženy odstředivou silou, a tímto způsobem zachovávají průměr pneumatiky za všech podmínek, rovněž musí být pevné i v příčném směru, aby odolávaly tlakům a namáhání při změně směru jízdy. Zároveň musí být ve svislém směru dostatečně ohebné, aby absorbovaly deformace způsobené nerovnostmi povrchu a jinými překážkami. Úkolem nárazníku je stabilizovat běhoun v obvodovém směru, snižovat valivý odpor pneumatiky a zvyšovat odolnost pláště proti průrazu. U nákladních automobilů se používají v průměru tři až čtyři, u osobních pak většinou dvě nárazníkové vrstvy. Radiální pneumatiky mají dnes již téměř výhradně nárazník z ocelového kordu (pneumatiky Steel) [6].

Obr. 5 *Běhoun* [8].

### ***Běhoun***

je vnější pryžová vrstva pneumatiky o požadované tloušťce, do níž je vlisován dezén (vzorek). Běhoun je tvarovaný podle určení automobilu. Jelikož zajišťuje přímý kontakt pneumatiky s vozovkou, musí mít maximální adhezi k vozovce za všech klimatických podmínek, co nejvyšší životnost a odolnost proti otěru. Další funkcí je ochrana kostry před porušením. Dezén má žebra, zářezy a různé výstupky. Běhouny jsou složeny z několika typů pryže: z vrchní části, tedy té, která je ve styku s vozovkou. Její složení je dané požadavky na vlastnosti běhounu. Pod ní se nachází tenká vrstvička základní, tzv. base směsi s podílem sazí. Okrajové části běhounového pásu jsou pak tvořeny bočnicovou směsí. Běhoun je důležitá část pláště opatřená vzorkem. Tloušťka běhounu má vliv na zahřívání pneumatiky. Z důvodu energetických ztrát a opotřebení by měl být co nejtenčí. To však neplatí u pláštů pro nákladní vozidla, u nichž je většinou běhoun konstruován pro možnost dalšího prořezání dezénu [6].



Obr. 6 *Kostra* [8].

### ***Kostra***

je základní částí pláště, která udává tvar a pevnost pneumatiky. Kostra sestává z jedné nebo více vrstev z vysokopevnostní umělohmotné tkaniny. Vlákna těchto vrstev jsou kladena napříč směru jízdy a jsou zahnutá okolo bočních výztuh, je tvořena kordovými vložkami. Skladba a složení těchto vložek určují základní vlastnosti pláště. V průběhu vývoje pláštů se měnil systém kladení vláken i materiál. Od křížové tkaniny v dávné historii k paralelnímu kladení netkaných kordových vláken v současnosti. Podle složení kordové vrstvy rozlišujeme pneumatiky radiální a diagonální [6].



Obr. 7 Bočnice [8].

### **Bočnice**

jsou elastickými, ale současně i nosnými prvky pneumatik. Boční stěny zajišťují také pružící a tlumící funkci a stabilitu vozidla za jízdy. U moderních nízkoprofilových pneumatik jsou boční stěny velmi nízké. Díky tomu získává pneumatika na stabilitě a má lepší jízdní vlastnosti při úniku vzduchu. Bočnice zajišťuje ochranu kostry před vnějšími vlivy. Je vyrobena z přírodního kaučuku, aby vydržela mnohonásobný ohyb – tedy aby byla odolná proti prolamování, bočnímu průrazu a povětrnostním vlivům. Nese popisy rozměru [6].



Obr. 8 Vnitřní gumová vrstva [8].

### **Vnitřní guma**

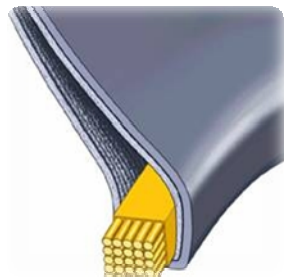
je folie nebo profil ze speciální plynonepropustné kaučukové směsi (halobutyl - butylkaučuk). Zabraňuje prostupování síry při vulkanizaci, vyrovnává nerovnosti uvnitř pláště, zajišťuje vzduchotěsnost – v bezdušových pláštích plní roli duše. Obvykle se používá zkratka VG [6].



Obr. 9 Patka [8].

### ***Patka***

je zesílená část pláště dosedající na ocelový ráfek. Její jádro tvoří neprotržitelné patní lano vyrobené z ocelového drátu o vysoké pevnosti, kolem něhož jsou přehnuty okraje kordových vložek. Její úlohou je přenášet točivý moment motoru a brzdění z ráfku pneumatiky až na styčnou plochu pneumatiky s vozovkou a zajistit bezpečné a těsné usazení pláště na ráfku [6].



Obr. 10 Patní lanko [8].

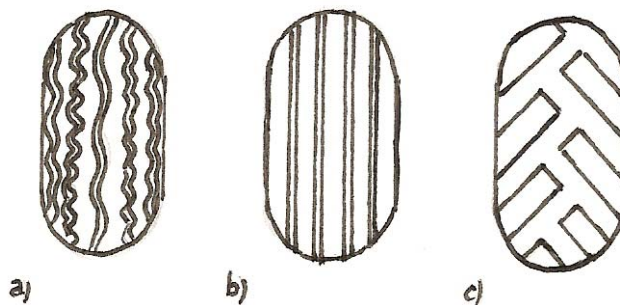
### ***Patní lanko***

vyrobené z ocelových drátů, formuje vnitřní okraje pneumatiky a zajišťuje pevné usazení pneumatik na ráfcích. U bezdušových pneumatik slouží vnitřní okrajek vytvoření vzduchotěsného spojení s ráfkou pro přenos podélných sil (díky tření mezi ráfkem a patkou pneumatiky) [6].

## 1.4 Běhoun Pneumatiky

### 1.4.1 Vliv tvaru vzorku

Tvar vzorku společně se složením směsi, ze které je vzorek vyroben, má z pozice pneumatiky bezpochyby největší vliv na adhezní součinitel pneumatiky. Z hlediska účelu, pro který je pneumatika určena, rozeznáváme tři základní typy vzorků běhounu.



Obr. 11 Základní typy vzorků [2].

#### *Pásový lamelový vzorek (Obr. 11a)*

Je vhodný pro používání při jízdě na silnici. Vzorek je uspořádán tak, aby hrany segmentů vzorku dokázaly zachytávat o mikronerovnosti vozovky jak v podélném, tak i v příčném směru, přičemž drážky mezi segmenty vzorku jsou poměrně úzké. Typickým znakem pásového lamelového vzorku je velký počet segmentů dezénu. Při růstu počtu segmentů přímo úměrně totiž roste počet hran, které zachytávají o mikronerovnosti vozovky, a tím se zvyšuje součinitel adheze pneumatiky. Poměrně malá rozteč drážek ve vzorku vychází z potřeby silničního pláště dosednout co největší plochou hmoty vzorku na vozovku, avšak tento požadavek značně znemožňuje použití silniční pneumatiky v terénu. V terénu by totiž došlo k zanesení úzkých drážek nečistotami, a tím by se anuloval jeden z faktorů součinitele adheze, a to zachytávání hran vzorku o nerovnosti vozovky. Přílnavost pneumatiky by byla odkázána na prosté tření, jehož součinitel v terénu je velice malý [2].

***Pásový vzorek*** (Obr.11 b)

Má v důsledku vzorku pouze s obvodovými drážkami velikou schopnost přenášet boční síly. Jeho schopnost přenášet hnací nebo brzdné síly je ve srovnání s pásovým lamelovým vzorkem malá, jelikož postrádá hranky dezénu, které by byly schopné při akceleraci nebo brzdění zachytávat o mikronerovnosti vozovky. Tento vzorek je z toho důvodu vhodný pro nepoháněná a nebrzděná kola [2].

***Šípový vzorek*** (Obr. 11c)

Je typický vzorek vhodný při jízdě v terénu. Segmenty jeho vzorku jsou přizpůsobeny pro přenos hnacích, brzdných i bočních sil. Základem přenosu sil je u této pneumatiky boření pneumatiky do určité hloubky a zachytávání segmentů vzorku o segmenty nez hutněného terénu vzniklé bořením pneumatiky. Drážky mezi segmenty vzorku jsou velice široké a navíc jsou umístěny tak, že pneumatika má tzv. samočisticí efekt. Samočisticí efekt je vlastnost, díky které pneumatika při jízdě terénem vytlačuje nečistoty a zbytky nez hutněné vozovky ven ze vzorku pneumatiky a nedochází tak k zanesení drážek dezénu. Pneumatiku se šípovým vzorkem je možné použít i při jízdě na zpevněné vozovce, ale pneumatika nebude dosahovat takových adhezních vlastností jako pneumatika s pásovým vzorkem. Důvodem je malý počet hran dezénu schopných zachytávat o mikronerovnosti vozovky. Pneumatika s šípovým vzorkem bude navíc na zpevněné vozovce trpět zvýšenou hlučností a segmenty vzorku budou podléhat rychlejšímu opotřebení. Výhodou pneumatiky s šípovým vzorkem na zpevněné vozovce bude vysoká odolnost proti vzniku aquaplaninku [2].

**1.4.2 Vliv výšky vzorku běhounu**

Výška vzorku běhounu ovlivňuje součinitele adheze, a tím i jízdní stabilitu vozidla zejména na vozovce s určitou vrstvou vodního filmu. Součinitel adheze na mokré vozovce klesá se zvyšující se obvodovou rychlostí kola tím prudčeji, čím nižší je vzorek běhounu pneumatiky. Na obrázku je graficky znázorněna tato závislost při jízdě pneumatiky osobního automobilu na vozovce s výškou vodního filmu 2-3mm. Tato závislost je zapříčiněna zpravidla tím, že při zvětšování obvodové rychlosti pneumatiky se zkracuje čas, který mají drážky vzorku běhounu na to, aby odvedly požadované množství kapaliny z prostoru pod pneumatikou, což je příčinou klesající tendence křivky a za druhé tím, že zmenšováním výšky

vzorku zmenšuje drážkový prostor vzorku, a tím pádem už menší objem kapaliny na vozovce naplní drážku vzorku a proces vytlačení kapaliny musí začít dříve, resp. Při nižší výšce kapalinového filmu, než u vzorku vyššího. Kapalina, která není odvedena mimo stykovou plochu pneumatiky s vozovkou, je zdrojem síly, která působí proti tíze vozidla, a tím znemožňuje přenos maximální adhezní síly vozidla. Pneumatika je jakoby odtlačena tlakovou silou kapaliny od vozovky. Při úplném odtlačení pneumatiky, tzn. V situaci, kdy tlaková síla kapaliny překoná tíhu vozidla, dojde k situaci, při které se styk kola s vozovkou uskutečňuje pouze přes vrstvu kapaliny. V takové situaci prudce klesne hodnota součinitele adheze až na 0,001. Tento jev se nazývá aquaplaning. Další výhodou běhounu s velkou výškou vzorku je oproti běhounu s malou výškou v tom, že dosahuje většího součinitele adheze na kluzkých vozovkách. Součinitel adheze závisí na součiniteli tření pryže, ale zároveň na zachytávání hranek vzorku o mikronerovnosti vozovky. Čím kratší je pryžový výstupek vzorku, tím je potřeba větší tečná síla k tomu, aby jej zdeformovala v obvodovém směru a natočila jeho hranku tak, aby mohla co nejúčinněji zachytávat o mikronerovnosti vozovky. Na kluzkých vozovkách je vznik těchto tečných sil omezený [2].

### 1.4.3 Vliv materiálu vzorku běhounu

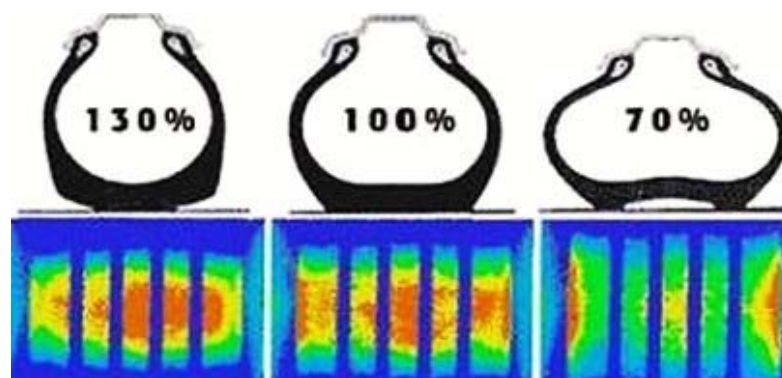
Vlastnosti materiálu, ze kterého je vzorek běhounu vyroben, mimo jiné určují, jakým způsobem bude povrch pneumatiky reagovat na změnu teploty prostředí, ve kterém se pneumatika pohybuje. Obecně se s rostoucí teplotou prostředí zvyšuje teplota pryže, ze které je běhoun vyroben a pryž se stává náchylnější k opotřebení. Další nevýhodou nadměrně plastického běhounu pneumatiky je skutečnost, že změkčením dojde ke zvýšení pružnosti pneumatiky v axiálním (bočním) směru, jejíž působení je nežádoucí. Proto je potřebné volit pro výrobu běhounu pneumatiky druh pryže vhodný pro určité teplotní podmínky. Ideální materiál pro výrobu vzorku běhounu by byl absolutně tuhý a axiálním směru, současně ale dostatečně pružný při přenosu sil působících na pneumatiku v obvodovém směru, aby dokázal tlumit rázy přicházející do hnacího a brzdného ústrojí při akceleraci a brzdění a aby umožnil zachytávání hranek vzorku o mikronerovnosti vozovky. Materiál by musel být pružný při radiálním zatížení pneumatiky, aby dokázal tlumit rázy vzniklé při jízdě přes nerovnosti na vozovce. Dostatečná pevnost materiálu by zajišťovala nízkou míru opotřebení, avšak současně by musel materiál vykazovat vynikající přilnavost k vozovce (přilepování na vozovku), která je podmíněna dostatečnou plasticitou materiálu. Všechny tyto vlastnosti by si musel ideální materiál zachovat při všech teplotních podmínkách, které se



při provozu vozidla vyskytují. Z uvedených požadavků je zřejmé, že nároky kladené na materiál jsou vysoké, v některých hlediscích protichůdné a místy i z materiálového hlediska nerealizovatelné. Proto při výrobě běhounu musí docházet k určitým kompromisům a vznikají pneumatiky se specializací na různé povrchy, styly jízdy a teplotní podmínky [2].

#### 1.4.4 Vliv měrného tlaku ve stopě na součinitel adheze

Měrný tlak ve stopě vzniká v důsledku působení zatížení kola na styčnou plochu pneumatiky s vozovkou. Z obecné rovnice pro výpočet tlaku, kde  $p = F/S$ , vyplývá, že čím větší je styčná plocha pneumatiky s vozovkou, tím je měrný tlak ve stopě menší. Velikost styčné plochy je u jednoho typu pneumatiky proměnná veličina, jelikož je ovlivnitelná tlakem huštění pneumatiky. Čím větší je tlak huštění pneumatiky, tím je styčná plocha mezi pneumatikou a vozovkou menší. Proto můžeme tvrdit, že měrný tlak je funkcí zatížení pneumatiky a jejího huštění. Standardně jsou pneumatiky huštěny atmosférickým vzduchem. V současnosti se ale stává populární huštění pneumatiky směsí dusíku a argonu. Tato směs má řadu vhodných vlastností, jako například teplotní objemovou stálost. Závislost růstu součinitele adheze na zmenšování tlaku huštění v pneumatikách platí pouze do určité hodnoty tlaku. Po poklesu tlaku huštění pod tuto mezní hodnotu začne součinitel adheze pneumatiky klesat, jelikož vzorek běhounu přestává plnit svou funkci zachytávání hranek vzorku o mikronerovnosti vozovky a styčná plocha pneumatiky s vozovkou se začíná deformovat (obrázek 12). Vzorek běhounu je v určitých místech nařezán tak, že vznikají lamely. Ty se při akceleraci a styku s vozovkou od sebe rozevřou, a tím obohacují vzorek o další přídatné hrany potřebné pro lepší adhezní vlastnosti pneumatiky. Pokud není pneumatika dostatečně nahuštěná, lamely nesplní svoji funkci [2].



Obr. 12 Měrný tlak a adheze [2].

## 1.5 Zkoušky opotřebení

Účelem materiálových zkoušek má být jednak kvantitativní stanovení vlastností a na jejich základě poskytnutí konstrukčních podkladů technikům. Obecnými požadavky na výrobky je maximální trvanlivost. Z toho důvodu se pomocí krátkodobých zkoušek při zostřených podmínkách určuje životnost výrobků. Komplexní účinek vlivů se řeší v praxi rozložením zkoušek na dílčí testování, z nichž se poté rekonstruuje celkový vliv. Tyto postupy je z důvodu srovnatelnosti zkouškových hodnot nutné normovat. V současné době jsou obvykle již průmyslové přístroje pro zkoušení plastických hmot vyráběny dle platných norem. O mezinárodní platnost zkušebních metod se stará ISO – International Standard Organisation [9].

### 1.5.1 Statické

Materiál je namáhán pomalu se měnícími silami po relativně krátkou dobu. Patří sem zkoušky v tahu, 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 deformační práce, stupeň plnosti [9].

### 1.5.2 Dynamické

Probíhají za působení rychle se měnících sil rázem nebo periodicky se opakujícím zatěžováním po extrémně krátkou dobu [9].

### 1.5.3 Únavové

Dlouhodobé zkoušky – statické i dynamické [9].

### 1.5.4 Zkoušky tvrdosti

## 1.6 Oděr a opotřebení pryže

Některé pryžové výrobky jsou při použití vystaveny povrchovému namáhání, jehož důsledkem je opotřebení – zmenšení objemu pryže. Opotřebení plášťů pneumatik („sjíždění“, běhounů) vede ročně k velkým ztrátám pryže a patří k hlavním problémům gumárenské technologie. Dnešní poznatky o mechanismu opotřebení plášťů pneumatik jsou větším dílem výsledkem dlouholetého systematického studia Schallamacha a jeho spolupracovníků. Ti ukázali, že základním krokem při opotřebení musí být mechanický oděr, a že tedy hlav-

ním faktorem určujícím opotřebení musí být mechanická pevnost běhounového materiálu. Tato pevnost může být v průběhu času ovlivněna chemickými změnami, ty však ovlivní pouze rychlost, nikoli mechanismus opotřebení. Opotřebení pláště pneumatik závisí nejen na odolnosti běhounu proti oděru, ale i na elastických vlastnostech pneumatiky [12].

### 1.6.1 Oděr při vlečném pohybu

Při vlečném pohybu pryže po drsném povrchu se její objem zmenšuje odíráním povrchu. V některých případech zůstává povrch pryže při odírání hladký. Tento typ oděru pojmenoval Schallmach „vlastní oděr“. V jiných případech se na povrchu pryžového vzorku vytváří soustava rovnoběžných rýh, kolmých ke směru vlečení, tzv. „brusný vzorec“. Zákonitosti vlastního oděru a oděru provázeného vznikem obrazců (tzv. „obrazcový oděr“) se poněkud liší [12].

#### *Vlastní oděr*

Průběh a zákonitosti vlastního oděru je možno studovat při periodickém otáčení zkušebního tělesa vzhledem ke směru vlečení, neboť za takových okolností se obrazce nevytvářejí. Skutečná kontaktní plocha mezi povrchem pryže a drsnou podložkou se omezuje na malé oblasti, na místa, kde se stýkají výstupky a výčnělky obou povrchů. Při vlečném pohybu se v těchto místech vytvářejí velká místní napětí. Výčnělek drsného povrchu hrne před sebou povrchovou vrstvu pryže, při čemž za čelem deformace, po stranách vzniklé brázdy, vznikají tahová napětí. Když tato napětí přestoupí mechanickou pevnost pryže, dojde k prasknutí a z povrchu se odtrhne – buď částečně, nebo úplně – drobná částice pryže. Napětí a deformace v okolí výstupku poklesnou a děj se opakuje o kousek dále. Výstupek drsného povrchu tedy „frézuje“ povrch pryže a zanechává za sebou přerušovanou brázdou. Způsob odtrhávání částeczek povrchu pryže při frikčním namáhání je podobný průběhu trnání, tj. postupu trhlin při zkoušce strukturní pevnosti. Je proto logické očekávat, že odolnost pryže proti oděru při vlečném pohybu bude záviset na podobných faktorech jako odolnost proti dalšímu trhání. Hlavními faktory budou tedy deformační práce  $E_p$  potřebná k přetržení při jednosměrném protahování a velikost výstupků brusného prostředku (velikost zrn), které zároveň určují rozměry deformovaných mikrooblastí a odtrhávaných částeczek. Elementární děj při odtrhávání částice si můžeme představit jako miniaturní tahovou zkoušku. Její rychlost protahování je ovšem větší než rychlost vlečného pohybu. Je-li např. rychlost vlečení 1 cm/s a rozměr deformovaných mikrooblastí 1mm, pak doba potřebná k protažení dané mikrooblasti o 1mm (tj. 100%) činí řádově 0,1s. Místní rychlost protaho-

vání je tedy řádu 1000% /s. Kdyby rozměry zrn a deformovaných mikrooblastí byly desetkrát menší, byla by rychlost místního protahování už řádu 10<sup>4</sup>%/s. Schallamachovi se podařilo pokusně dokázat, že objemová ztráta dané pryže při vlečení po drsné podložce (za podmínek vlastního oděru) je v prvním přiblížení úměrná množství spotřebované frikční práce. Tato práce – práce tření – je rovna součinu síly tření  $F$  a dráhy  $l$ . Pro objemovou ztrátu pryže  $A$  (mm<sup>3</sup>) pak platí:  $A = B \cdot F \cdot l$ , kde  $B = A / F \cdot l$  je rovna objemové ztrátě pryže na jednotku spotřebované frikční práce. Současně je rovna objemové ztrátě pryže při jednotkovém zatížení na jednotkové dráze, lomené koeficientem tření. Nazvěme veličinu  $B$  „poměrný oděr“. Její převrácená hodnota  $1/B$  charakterizuje odolnost pryže proti oděru za daných podmínek vlečení a měla by tedy podle výše uvedené úvahy být přímo úměrná deformační práci  $E_p$  potřebné k přetržení, a to při rychlostech protahování odpovídajících rychlosti elementárního děje oděru:  $1/B = konst. E_p$ . Oprávněnost uvedených představ byla podepřena rozsáhlými výsledky. Předně bylo zjištěno, že poměrný oděr  $B$  závisí na rychlosti vlečení a na teplotě a že jeho teplotně časové závislosti je možno v některých případech zpracovat Ferryho superpoziční metodou. To je přirozený důsledek viskoelastické povahy vlastního oděru a naznačuje souvislost s veličinou  $E_p$ . Se zvyšováním teploty a zmenšováním rychlosti vlečení pak poměrný oděr stoupá. Grosch a Schallamach měřili deformační práci potřebnou k přetržení při jednosměrném protahování rychlostí kolem 10<sup>4</sup>%/s a při různých teplotách. Zjistili, že teplotní závislosti veličiny  $1/B$  při rychlosti vlečení 1cm/s a teplotní závislosti deformační práce  $E_p$  jsou si velmi podobné. Tím dokázali, že rovnice v prvním přiblížení skutečně platí a má racionální podklad. Závislost poměrného oděru běhounu z přírodního kaučuku na teplotě charakterizují tyto hodnoty: - 13 °C,  $B = 2,07$  mm<sup>3</sup>/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 významným výsledkům patří zjištění, že u plněných pryží se jak poměrný oděr, tak hodnota  $E_p$  mění s teplotou pomaleji než u vulkanizátů neplněných [12].

### ***Oděr prováděný vznikem brusných obrazců***

Je-li pryž vlečena po drsném povrchu bez otáčení vzorku, vytváří se často na jejím povrchu brusný obrazec. Vzniklé rovnoběžné rýhy jsou kolmé ke směru pohybu. V profilu je řez pryží s brusným obrazcem podobný jako vlnění na vodě, přičemž vlny jsou skloněny dopředu, proti směru pohybu. Během oděru se vlny ohýbají dozadu a vystavují svou přední

stranu oděru. V určité fázi pochodu se hřebeny vln odtrhávají a rýha se obnovuje ze spodní vrstvy pryže. Během oděru putují vlny pomalu po povrchu pryže ve směru pohybu. Rychlost jejich pohybu vzrůstá se zatížením. Intenzita obrazců (tj. vzdálenost vln a hloubka rýh) je tím větší, čím ostřejší jsou podmínky oděru, tj. čím větší je zatížení a čím drsnější je brusný prostředek. Pryže s menším modulem mají za daných podmínek intenzivnější obrazce. Vzdálenost mezi hřebeny vln souvisí s velikostí tahové deformace místních oblastí na povrchu vzorku. Podobné brusné obrazce vznikají i na pláštích pneumatik. Nejsou kolmé ke směru odvalování pneumatiky, ale jsou skloněny pod určitým úhlem. Z toho je patrné, že k oděru pláštů pneumatik dochází hlavně při zatáčení. Brusné obrazce se na pryži vyvábí jen za určitých podmínek. Jedním z předpokladů jejich vzniku je, aby tuhost povrchové vrstvy byla nízká, protože jen tak může dojít k dostatečně velkým tahovým deformacím, které podmiňují vznik rýh. Původní modul nedeformované pryže je vysoký a brusné obrazce se vytvoří teprve tehdy, až povrchová vrstvička vlivem opakovaných deformací změkne (Mullinsův jev). Při velmi ostrých podmínkách je však rychlost odírání tak velká, že obrazec nemá čas se vyvinout. Nejdůležitější vlastností obrazcového oděru je, že objemová ztráta pryže je mnohem větší než při podmínkách vlastního oděru, kdy se obrazce netvoří. Je to způsobeno tím, že při obrazovém oděru jsou odtrhávány částičky větší než při vlastním oděru. Bylo např. zjištěno, že objemová ztráta běhounu z přírodního kaučuku při vlečném pohybu bez otáčení vzorku (kdy se obrazce zřetelně vytvořily) byla na brusném papíru o 50% větší než v případě, kdy se vzorek periodicky otáčel o 90°, takže ke vzniku obrazců nedošlo. Celková objemová ztráta pryže při vlečném pohybu ( $A_c$ ) se tedy skládá za obecných podmínek z příspěvku vlastního oděru ( $A_1$ ) a z obrazcového oděru ( $A_2$ ). Schematicky můžeme psát.

$$A_c = a_1 \cdot A_1 + a_2 \cdot A_2 \quad (1)$$

Konstanty  $a_1$ ,  $a_2$  udávají relativní příspěvek obou faktorů k celkovému oděru. Jejich hodnoty závisí na ostrosti podmínek (např. zatížení, velikosti zrn brusného prostředku apod.). Tím se vysvětluje, proč se poměr objemových ztrát dvou různých vulkanizátů mění s ostrostit podmínkami. Způsobuje to odlišná dispozice různých vulkanizátů k tvorbě obrazců. Např. bylo zjištěno, že objemová ztráta dvou vulkanizátů přírodního kaučuku obsahujících 25 a 46 dsk sazí HAF byla při vlastním oděru stejná. Na jemném asfaltu byl vulkanizát s menším obsahem sazí o 14% horší a na hrubém betonu o 35% horší. Je tedy předem vyloučeno očekávat, že by různé laboratorní zkoušky oděru, lišící se ostrostit podmínkami, moh-

ly seřadit různé vulkanizáty za všech okolností ve stejném pořadí kvality, tj. odolnosti proti oděru [12].

### ***Oděr při valivém pohybu***

Některé laboratorní zkoušky odolnosti proti oděru používají pryžových kotoučů, které se po brusném prostředku odvalují s určitým prokluzem. K prokluzu obecně dochází v těch případech, když obvodová rychlost kotouče je buď větší, nebo menší než rychlost podložky, nebo když rovina kotouče svírá určitý úhel se směrem pohybu. Analogické podmínky jsou u pláště pneumatiky při rozjíždění, brzdění a zatáčení. Obvodový element pryžového kotouče přichází periodicky do styku s podložkou. V přední části kontaktní plochy je síla tření větší než tečná napětí působící na pryž, proto tu nedochází k vlečnému pohybu. V zadní části kontaktní plochy jsou však tečná napětí větší než síla tření. Vlečný pohyb, k němuž tu dochází, je vlastní příčinou oděru při odvalování s prokluzem. Deformační energie, která se v pryži akumuluje při průchodu přední části kontaktní plochy, se v zadní části spotřebuje na frikční práci při vlečném pohybu. Část deformační energie se však též hysterezi ztrácí v pryži. Čím větší jsou hysterezní ztráty v pryži, tím menší podíl energie zbývá jako hnací síla frikčních pochodů. Ježto oděr při vlečení je úměrný disipované energii tření, měl by mít materiál s větší hysterezi při valivém pohybu s prokluzem menší opotřebení. Tento zajímavý poznatek je jedním z výsledků Schallamachova teoretického rozboru odvalování pryžových kotoučů, jejichž rovina svírá určitý úhel se směrem pohybu. Podle výsledné rovnice má být objemová ztráta pryžového kotouče (na jednotku dráhy), dále rezidenci pryže, dvojmocí prokluzového úhlu a tuhosti kotouče.

Rovnice neobsahuje žádné nastavitelné parametry a mělo by tedy být v podstatě možné vypočítat opotřebení pryžového kotouče při odvalování, je-li znám poměrný oděr pryže při vlečném pohybu. Schallamach ukázal, že vypočítané hodnoty opotřebení jsou skutečně v dobrém souhlasu s hodnotami naměřenými. Při experimentálním ověřování odvozené rovnice bylo zjištěno, že opotřebení kotoučů různých pryží (které se lišily jak hodnotou vlečného oděru  $A$ , tak i hodnotou rezidence  $R$ ) je opravdu úměrné nikoli samotné hodnotě vlečného oděru, ale součinu  $A \cdot R$  vlečného oděru a rezidence. Kvadratická závislost opotřebení na prokluzovém úhlu byla rovněž potvrzena [12].

## 1.7 Opotřebení pláště pneumatik

Při aplikaci poznatků získaných při analýze oděru pryžových kotoučů, na opotřebení pláště pneumatik je nutno vzít v úvahu, že elastické vlastnosti pneumatiky jsou do značné míry určeny kostrou a že tedy vliv hystereze pryže během běhounu se tu projeví méně než u pryžových kotoučů (rozhoduje tu rezidence pneumatiky jako celku, ne jen rezidence pryže během běhounu). Vliv prokluzového úhlu byl studován za pomoci dvoukolového přívěsného vozíku. Úhel pneumatik byl periodicky měněn z postavení, kdy byla kola vybočena ven do postavení, kdy byla kola vybočena dovnitř. Tím se zajistilo rovnoměrné sjíždění. Jsou-li obě pneumatiky stejné, pracuje soustava za podmínky konstantního úhlu. Bylo zjištěno, že opotřebení vzrůstalo rychleji než s dvojnásobkem prokluzového úhlu. To je částečně způsobeno vzrůstající teplotou povrchu pláště pneumatiky, částečně intenzivnější tvorbou brusných obrazců. Když se oba tyto faktory zahrnují semiempirickou formou do odvozené rovnice, vyl souhlas vypočítaných hodnot s hodnotami naměřenými na silnici velmi dobrý. Jestliže se na přívěsný vozík namontují pod stejným úhlem dvě různé pneumatiky lišící se tuhostí, pracuje soustava za podmínky konstantní boční síly. Při jízdě se podélná osa vozíku odkloní od směru jízdy a tužší plášť má menší prokluzový úhel než plášť měkkí.

Opotřebení tužšího pláště je pak menší. Dále bylo zjištěno, že opotřebení pláště na dráze s velkým počtem zatáček vzrůstá přibližně s třetí mocninou rychlosti vozidla. Zvýšení průměrné rychlosti o 20% má za následek 70%-ní zvětšení opotřebení. Je zajímavé, že za mírných podmínek (při nichž povrchová teplota pneumatiky zůstává nízká) má během běhounu z přírodního kaučuku lepší odolnost proti opotřebení, než butadienstyrenový, zatímco za ostřejších podmínek jízdy, které vyvolávají vzrůst povrchové teploty až na 60-80 °C, je výhodnější během běhounu z butadienstyrenového kaučuku. Pokles opotřebení na mokré vozovce souvisí hlavně s poklesem povrchové teploty během běhounu [12].

Zkoušky opotřebení se provádějí jak v laboratorních tak provozních podmínkách. Zatímco laboratorní zkoušky jsou zaměřeny téměř výhradně na jeden efekt a pro každý bývá navrženo zvláštní zařízení a vypracována zvláštní metodika, silniční zkoušky umožňují posuzovat kromě opotřebení větší soubor vlastností důležitých pro provoz daného typu vozidla. Odolnost proti opotřebení nelze udávat kladnou, ale pouze hodnotou zápornou, tj. ztrátou při frikčním namáhání pryže. Hodnota opotřebení není specifickou vlastností pryže, protože závisí na způsobu a podmínkách, jimiž byla zajišťována. Opotřebení je jev velmi složitý, závislý na mnoha faktorech. Bylo věnováno mnoho práce a úvah k zjištění závislosti na

jiných vlastnostech, jichž je opotřebení výslednicí, ale prozatím s malým úspěchem. Je jisté, že např. tvrdost, pevnost, strukturní pevnost, odrazivost atp. mají určitý vztah k opotřebení, tento vztah není však přímý a jednoduchý. Jednou z příčin potíží je např. okolnost, že opotřebení frikčním namáháním se děje často za značně vysokých teplot, kdežto zmíněné statické zkoušky se provádějí za normální teploty.

Laboratorně se určuje ztráta opotřebením nejčastěji tak, že vzorek známé plochy je přitlačován určitým tlakem na pohybující se standardní brusný materiál. Brusným materiálem je buď smirkový papír určitého zrnění, nebo karborundový kotouč. Přístrojů je veliké množství. Liší se tvarem zkušebního vzorku, způsobem přitlačování, drahou, po které se vzorek pohybuje, povahou a tvarem brusného materiálu, specifickým tlakem, rychlostí posunu apod. Výsledky udávají nejčastěji objemovou ztrátou buď za jednotku času, za jistý počet otáček, nebo za jistou dráhu, kterou vzorek na brusném materiálu vykonal. Aby se některé experimentální chyby vzniklé např. nepravidelností brusného prostředku odstranily, přepočítává se ztráta na ztrátu standardní pryže známých hodnot, zkoušené za stejných podmínek. Ztráta standardu klade se 100, ztráta zkoušky vyjadřuje se bezrozměrným číslem vyjadřujícím poměr ztráty standardu a zkoušky. Vyšší číslo, např. 125, značí horší pryž než standard, nižší číslo, např. 85, značí pryž s menším opotřebením.

Pozornost byla také věnována vývoji metod pro testování opotřebení běhounů pneumatik pracujících v náročných mimo silničních podmínkách. V těchto případech je mechanismus opotřebení poněkud odlišný. Běhoun není obrušován, ale dochází k postupnému vykusování a vykrajování kousků běhounové pryže ostrými okraji kamenů a dalšími terénními nerovnostmi. Tento efekt bývá v literatuře označován jak Chip – Chunk odolnost. Některé poznatky byly publikovány např. v literatuře.

Vzhledem k rozmanitosti uspořádání přístrojů a k různým zkušebním podmínkám nelze výsledky z jednotlivých přístrojů zpravidla přímo srovnávat. Laboratorní výsledky jsou dále zkreslovány povahou pryže, obsahuje-li pryž větší množství změkčovadel, která zanášejí brusný materiál a tak snižují frikčního součinitele. Přes všechny tyto nedostatky jsou laboratorní zkoušky dobrou pomůckou pro kontrolu a vývoj směsí. Odolnost proti opotřebením je vlastností v praxi velmi důležitou pro běhouny pneumatik, podrážky, podpadky, dopravní pásy atp. V literatuře je nejvíce zpráv o zkoušení běhounů. Vzhledem k množství faktorů opotřebení, které na ně mají vliv, a vzhledem k povaze této vlastnosti vůbec, neshodují se laboratorní výsledky s praktickými výsledky na silnici a dochází někdy k vý-



sledkům protichůdným. Prozatím musí být zásadou doplnit vývojové laboratorní zkoušky vždy praktickými zkouškami na silnici.

Určitého zlepšení vztahu mezi laboratorními a praktickými výsledky se dosahuje extrahováním vzorků před zkouškou azeotropickou směsí ethylalkoholu a toluenu (70:30), čímž se odstraní látky, které mohou při zkoušce měnit součinitele tření brusného materiálu. Srovnání laboratorních výsledků s praxí též ukazuje, že žádný zkušební přístroj nelze dosud zvolit jako universální. Některý typ přístroje dává lepší výsledky pro běhouny, jiný pro podrážky apod. Odolnost proti opotřebení závisí na druhu kaučuku a na přísadách. Velmi dobrou odolnost proti opotřebení má přírodní, nitridový, butadien-styrenový i natriumbutadienový kaučuk. U přírodního kaučuku se vysoká odolnost proti opotřebení získá aktivními sazemi, kterých se přidává k dosažení optimální odolnosti 22 až 28 objemových dílů, tj. asi 40-48 váhových dílů na 100 dílů kaučuku. Při vyšším plnění sice stoupá tvrdost a modul, ale nezlepšuje se již odolnost proti opotřebení.

Pro syntetické kaučuky byly vyrobeny retortové saze s vysokou odolností proti opotřebení. Je to proto, že směsi ze syntetických kaučuků s aktivními sazemi se špatně zpracovávají. Směsi obsahující vysoké procento sazí vyžadují přidávání změkčovadel k usnadnění zpracovatelnosti, zvláště pro technologii vstříkovaní. Změkčovadla, zejména oleje, snižují odolnost proti opotřebení, takže je nutné, aby se jich používalo co nejméně. Do běhounových směsí z přírodního kaučuku se přidávají 3 až 4 % smrkového dehtu a 2 až 4 % stearinu. Celkem nemá množství změkčovadel ve směsi z přírodního kaučuku překročit 6 %. U syntetických kaučuků je množství použitých změkčovadel větší, asi 10 %, a má se jich používat jenom tolik, kolik je nezbytně nutné.

Bílé a barevné směsi z přírodního kaučuku, které mají mít dobrou odolnost proti opotřebení, se plní zinkovou bělobou. V některých případech se dá použít také uhličitanu hořečnatého, vápenatého, kaolinu a křemičitých přísad. Opotřebení závisí především na složení směsi – přesněji řečeno na druhu a množství použitých sazí. Podle dosavadních zkušeností stoupá, pokud jde o elastomer, odolnost proti opotřebení v řadě: kaučuk butadien-styrenový, přírodní kaučuk a studený kaučuk. Převulkanizací a stárnutím se odolnost proti opotřebení příliš nemění [14].

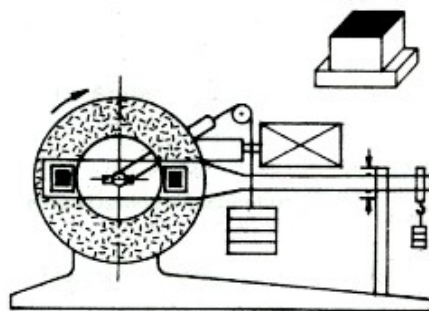
## 1.8 Laboratorní zkoušky

Zkouškami opotřebení se zjišťuje odolnost různých materiálů vůči odírání a rozumí se tím změna povrchu materiálu a jeho úbytek v závislosti na podmínkách, při kterých jsou zkoušky opotřebení prováděny. Odolnost vzorku zkoušeného materiálu proti odírání se porovnává se standardem a dle ČSN je odstupňována v rozsahu 20–400 %, vezme-li se odolnost standardu jako základ se 100 %.

Pro zkoušky opotřebení byla vyvinuta celá řada laboratorních přístrojů a každý pracuje na určitém principu, který má napodobovat praktické podmínky výrobků. Pro zkoušky opotřebení běhounových materiálů se používá metoda Du Pont s konstantním třením, Akron-Croydon a Dunlop-Lambourn [14].

### 1.8.1 Metoda Du Pont

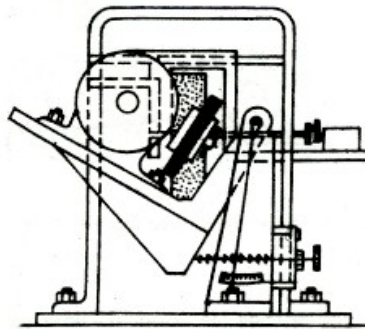
Tato zkouška je založena na stejném principu jako metoda Du Pont – Grasselli. Přístroj je vybaven elektrickými spínači, které udržují zvolenou velikost tření na konstantní hodnotě. Zkouška je vhodná pro hodnocení běhounových směsí a dává určité korelace se silničními zkouškami. Zkušební tělesa mají průřez čtverce a jsou opatřena patkami pro upnutí. Upevňují se na páku přístroje a při zkoušce jsou přitlačována na odírající prostředek ve tvaru mezikruží konstantním tlakem. Obroušené částičky se při zkoušce plynule odstraňují tlakovým vzduchem. Doba odírání se řídí podle jakosti zkoušeného materiálu. Odolnější se odírají 5 minut, méně odolné 3 minuty. Hmotnostní úbytek zkušebních těles se zjišťuje vážením[1].



Obr. 13 Přístroj metody Du Pont [1]

### 1.8.2 Metoda Akron – Croydon

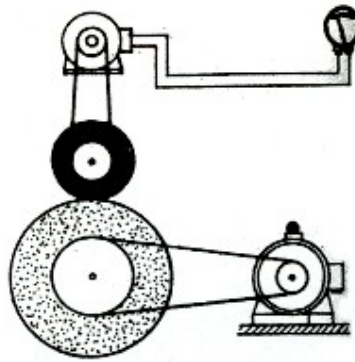
Zkušebním tělesem je dutý kotouč vnějšího průměru 64 mm a tloušťky 12,7 mm. Vnitřní průměr je 43,6 mm. Zhotovuje se lisováním. Zkušební těleso, které se nasunuje na hřídel přístroje, se otáčí rychlostí 250 ot/min. Na ně je tlačen pod úhlem 15° karborundový kotouč tlakem asi 0,28MPa. Částečky vzniklé při odírání se odstraní žiněným kartáčem. Při zkoušení se postupuje tak, že se nejdříve zkouší těleso srovnávacího materiálu, potom dvě tělesa zkoušeného materiálu a nakonec opět těleso srovnávacího materiálu. Odolnost proti opotřebení se udává jako objemový úbytek za stanovený počet obrátek [1].



Obr. 14 Akron – Croydon [1]

### 1.8.3 Metoda Dunlop – Lambourn

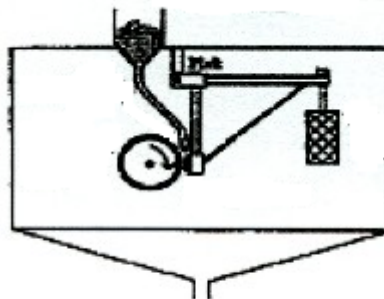
Zkušebním tělesem je dutý kotouč s vnějším průměrem 64 mm, vnitřním průměrem 43,6 mm a tloušťkou 10 mm. Zkušební těleso se otáčí rychlostí 600 ot/min. Na zkušební těleso se přitlačuje korundový kotouč, který má samostatný pohon. V místě styku vzniká vlivem rozdílných otáček prokluz, který má u běžně prováděných zkoušek hodnotu 16 %. Korundový kotouč se při zkoušce čistí žiněným kartáčem a tlakovým vzduchem. Nejprve se zkouší těleso ze standardní pryže, potom dvě zkušební tělesa zkoušené pryže a nakonec opět těleso standardní pryže. Vlastnímu zkoušení předchází přebroušování. Odolnost proti odírání se udává v objemovém úbytku na jeden kilometr dráhy [1].



Obr. 15 Dunlop Lambourn [1]

#### 1.8.4 Dry sand - rubber wheel test ( DSRW )

Jedná se o zařízení na laboratorní test opotřebení kovů, modifikované pro měření elastomerních vzorků. Autory ke konstrukci tohoto měřicího zařízení vedla potřeba simulovat skutečné podmínky při opotřebování pneumatik v provozu. Jako zkušební vzorek byl vybrán polyuretanový kotouč, který je upnut oproti rotujícímu kolu. Otáčky kola činí  $213,5 \text{ min}^{-1}$ . Autoři vyhodnotili jako optimální přítlačnou sílu vyvozenou protizávažím na  $86,7 \text{ N}$ . Mezi zkušební vzorek a kolo je odsypáván písek v množství  $300 \text{ g/min}$ , který slouží jako abrazivo. Zkouškám na tomto zařízení bylo dosaženo výsledků, na jejichž základě se dá říct, že u většiny materiálů na bázi polyuretanů je odolnost proti opotřebení závislá na tvrdosti měřeného vzorku. Největší odolnost proti opotřebení vykazovaly vzorky o tvrdosti Shore 75A až 95A. [1]



Obr. 16 Zařízení pro DSRW test [1]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 2 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro experimentální ověřování dva druhy běhounových směsí určených pro běhouny silně namáhaných motocyklových pláštů a pro víceúčelová vozidla. Směsi byly vyrobeny na základě NR, SBR, BR a jako plnicí systém byly použity saze. Všechny směsi představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány:

- MPT/R (Směs A) – víceúčelové pneu
- Motocyklové pláště enduro (Směs B)

Tab. 1 Použité směsi

Směs	Použití
A	Víceúčelové pneu
B	Motocross

### 2.1 Měřené vlastnosti

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

- Tahové zkoušky (trhací stroj T 2000, Alpha Technology)
- Strukturální pevnost (trhací stroj T 2000)
- Tvrdost Shore (tvrdoměr HPE – A Bereiss)
- Rychlý test opotřebení (Zařízení pro rychlý test opotřebení Chip – Chunk)

Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byly připraveny pracovníky gumárenské firmy ve Zlíně lisováním na laboratorním lisu typ 400x400. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám [13,14,15].

#### 2.1.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla realizována na trhacím stroji T 2000 od firmy Alpha Technologies. Test byl prováděn za konstantní rychlosti protahování 500 mm/min. Použité zkušební vzorky byly ve tvaru lopatek a jejich rozměry odpovídaly normě ČSN ISO 37. Zkouška spočívá v protahování standardních zkušebních těles v trhacím stroji konstantní rychlostí. Odečítají se hodnoty síly a prodloužení potřebné k hodnocení požadovaných charakteristik zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení.

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

Prodloužení - je protažení vzniklé působením napětí v tahu na zkušební těleso, vyjádřené v procentech délky pracovní části.

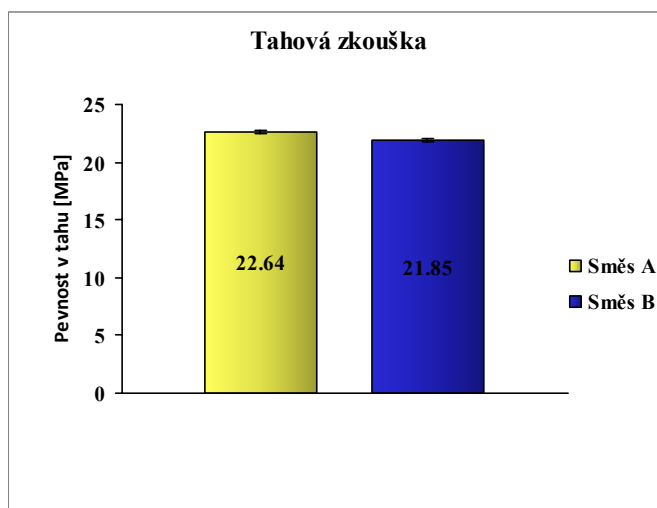
Pevnost v tahu - je definována jako maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování zkušební tělesa do okamžiku přetržení.

Tažnost - je tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení.

Pro přehlednější vyhodnocení byla zavedena bezrozměrná hodnota (je to podíl příslušné hodnoty k hodnotě maximální).

Tab. 2 Tahové zkoušky

Směs	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tahu [-]	SMCH
A	22,64	1	0,69
B	21,85	0,97	0,15

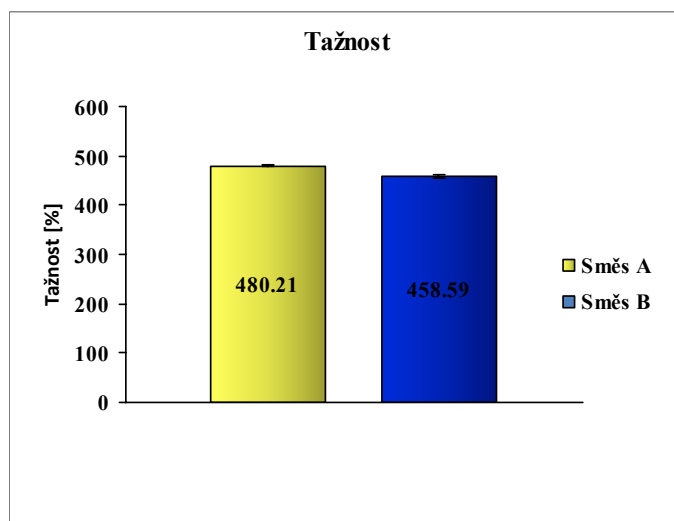


Obr. 17 Porovnání pevnosti v tahu

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu byly zjištěny u směsi A. Hodnota pevnosti v tahu byla naměřena 21,64 MPa. Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u směsi B, jejíž velikost dosáhla hodnoty 21,85 MPa (Obr. 17).

Tab. 3 Tahové zkoušky

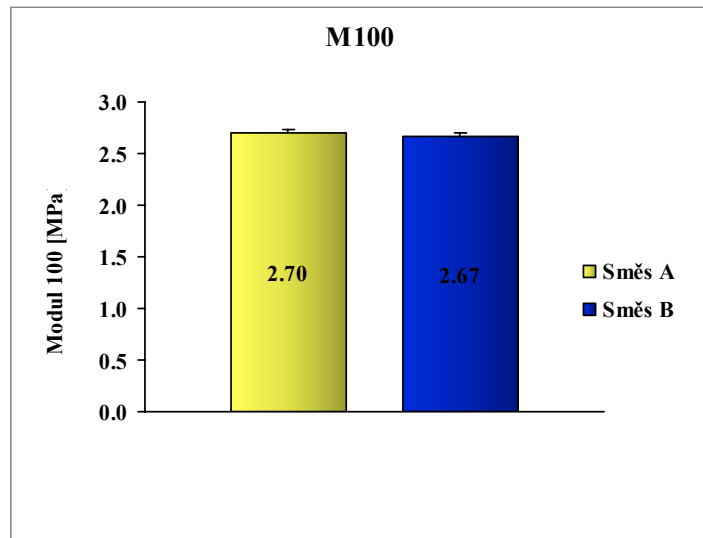
Směs	Tažnost [%]	Tažnost [-]	SMCH
A	480,21	1	16,17
B	458,59	0,95	17,96



Obr. 18 Porovnání tažnosti

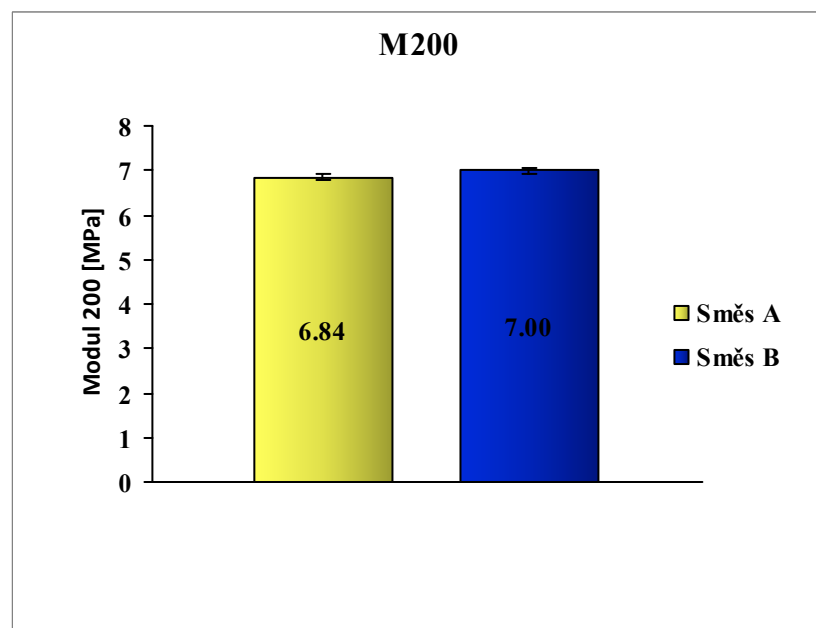
Při tahové zkoušce byla naměřena nejvyšší hodnota tažnosti 480,21 % u směsi A. Nejmenší hodnoty bylo dosaženo u směsi B. Hodnota tažnosti u směsi B byla naměřena 458,59 % (Obr. 18).





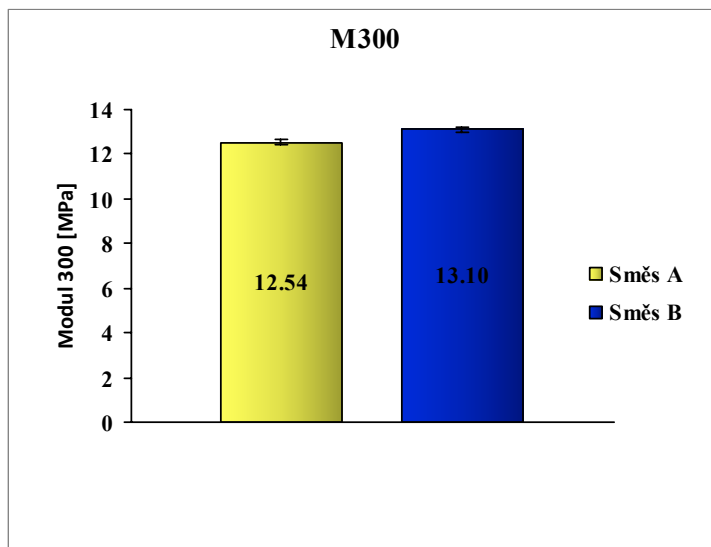
Obr.19 Porovnání M 100

Při zkoušce M100 byla naměřena nejvyšší hodnota modulu u směsi A o velikosti 2,7 MPa, zatímco u směsi B byla naměřena hodnota M100 nejnižší 2,67 MPa (Obr.19).



Obr. 20 Porovnání M200

Při zkoušce M200 byla naměřena nejvyšší hodnota modulu u směsi B o velikosti 7,00 MPa, zatímco u směsi A byla naměřena hodnota M200 nejnižší 6,84 MPa (Obr. 20).



Obr.21 Porovnání M 300

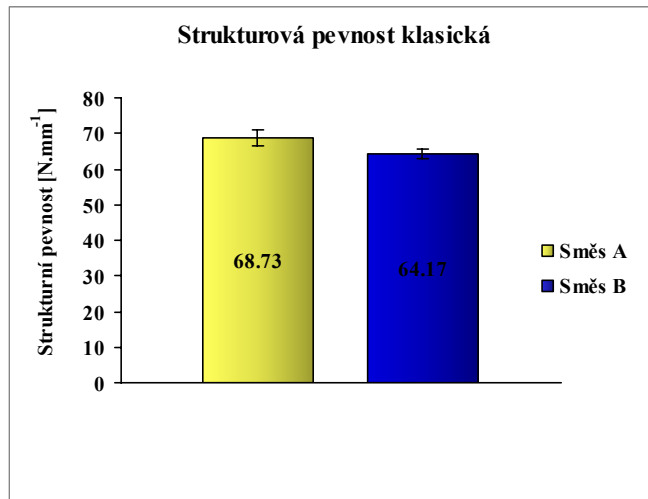
Při zkoušce M300 byla naměřena nejvyšší hodnota modulu u směsi B o velikosti 13,10 MPa, zatímco u směsi A byla naměřena hodnota M300 nejnižší 12,54 MPa (Obr.21).

### 2.1.2 Zkouška strukturní pevnosti

Zkouška strukturní pevnosti byla měřena na stroji T 2000 od firmy Sloha Technologies. Test byl prováděn za konstantní rychlosti protahování 500 mm/min. Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhacího stroje, tahem a v měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles. Zkušební tělesa se namáhají tahem při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti  $500 \pm 50$  mm/min a zaznamenává se nejvyšší síla, která je potřebná k přetržení zkušebního tělesa. Strukturní pevnost ( $T_s$ ) v N/mm je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa v mm.

Tab. 4 Strukturní pevnost KL

Směs	Strukturní pevnost KL [N/mm]	Strukturní pevnost KL [-]	SMCH
A	68,73	1	11,56
B	64,14	0,93	0,28

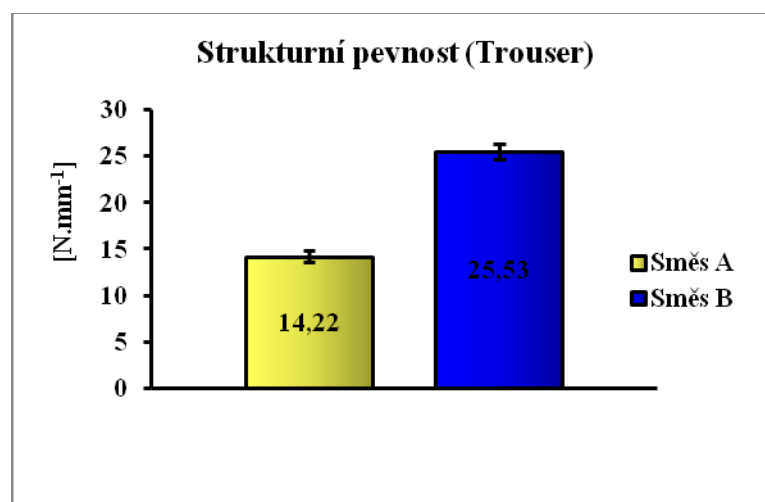


Obr. 22 Porovnání strukturální pevnosti KI

Při zkoušce strukturální pevnosti (klasic) byla zjištěna nejvyšší hodnota u směsi A a to 68,73 N/mm. Naopak nejnižší zjištěná hodnota byla 64,37 N/mm u směsi B (Obr. 22).

Tab. 5 Strukturální pevnost TR

Směs	Strukturální pevnost TR [N/mm]	Strukturální pevnost TR [-]	SMCH
A	14,22	0,56	3,47
B	25,53	1	0,01



Obr. 23 Porovnání strukturální pevnosti TR

U zkoušky strukturní pevnosti (trouser) byla naměřena nejvyšší hodnota u směsi B. Hodnota strukturní pevnosti (trouser) byla 25,53 MPa. Nejmenší hodnota byla naopak naměřena u směsi A, kdy její hodnota dosáhla 14,22 MPa (Obr. 23).

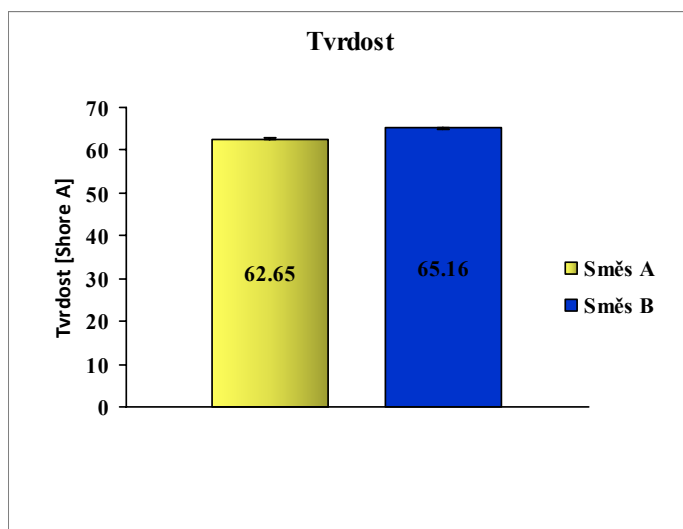
### 2.1.3 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla měřena na tvrdoměru typu HPE – A Berreiss, metodou Shore A. Tvar a rozměr zkušních tělísek byl zvolen dle normy ČSN 621431.

Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušebního hrotu vlačovaného do materiálu za specifických podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Pro měření byl použit tvrdoměr typu A (Shore A).

Tab. 6 Tvrdost Shore

Směs	Tvrdost Shore A [Sh A]	Tvrdost Shore A [-]	SMCH
A	62,65	0,96	0,62
B	65,16	1	0,01



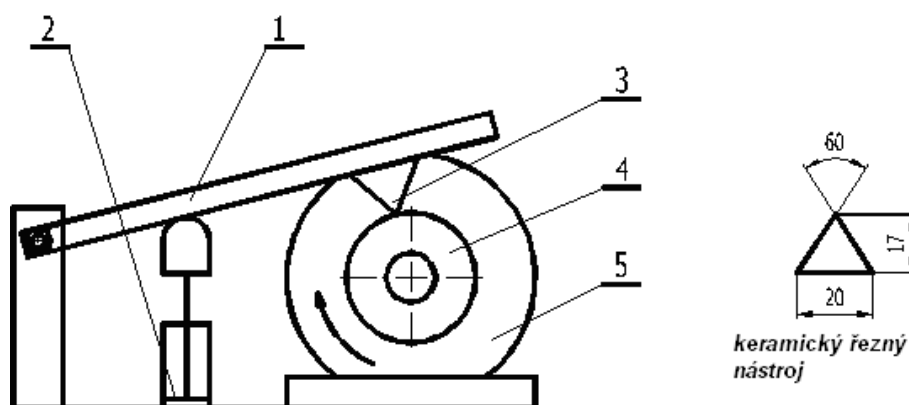
Obr. 24 Porovnání tvrdosti

Při zkoušce tvrdosti byla naměřena nejvyšší hodnota tvrdosti u směsi B – 65,16 Shore A. Nejmenší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi A, kde její velikost byla naměřena 62,65 Shore A (Obr. 24).

## 2.2 Test opotřebení

Zkoušky opotřebení pneumatik (běhounů) jsou časově i ekonomicky velmi náročné. Provádí se s hotovými pneumatikami na zkušebnách nebo přímo v terénu při jízdách. Proto je snaha nalézt takovou metodu, při níž by bylo možné velmi rychle (v minutách), na malých vzorcích testovat opotřebení a tak navzájem porovnávat jednotlivé druhy směsí.

Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení, jehož princip je znázorněn na obr. 25. Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování Chip – Chunk opotřebení ( J. R. Beatty and B. J. Miksch in RCHT, vol. 55, p. 1531.). Bylo navrženo dokonalejší zařízení s možností změn parametrů testů, poskytující reálnou simulaci provozních podmínek.[13]



Obr. 25 Schéma zařízení pro testování opotřebení [16]

1 – rameno, 2 – pneumtický válec, 3 – keramický břit, 4 – zkušební těleso,

5 - elektromotor

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

- Otáčky kotoučku (zkušební tělesa) musí být nastavitelné v širokém rozmezí. Aby byl tento požadavek splněn, byl zvolen pohon elektromotorem s regulací otáček pomocí statického měniče kmitočtů. Tímto řešením odpadla nutnost redukce otáček převodovkou a byla zabezpečena regulace otáček prakticky od 0 do max hodnoty. Pro pohon byl použit elektromotor typ 4AP80 – 6s a statický měnič kmitočtů typ Alitivar 08.
- Proměnlivý zdvih ramene. Aby bylo možné realizovat tento požadavek, byl navržen a realizován pneumatický mechanismus tvořený pracovním pístem s možností proměnlivého zdvihu. Pracovní válec je zásobovaný přímo ovládaným ventilem EVK 3120 firmy SMC a proces je řízen řídicí jednotkou FESTO typ FEC – FC20/10W.
- Zabezpečit konstantní parametry břitu. Nejdříve byl pro tyto účely navržen břit z nástrojové oceli. Docházelo však k velmi rychlému opotřebení a tím ke změnám podmínek experimentu. Z toho důvodu byl odzkoušen keramický břit – upravená břitová destička pro řezné nástroje (typ TNGN 220608, Saint Gobain). Při úpravě byly zbroušením vytvořeny tři řezné břity s úhlem 60°. Keramické břity vykazovaly vynikající odolnost proti opotřebení. Pokud nedošlo k poškození břitu neopatrným zacházením, nebyl znatelný rozdíl mezi originální a „opotrebovanou“ destičkou.[13]

### 2.2.1 Rozměry zkušební tělesa

Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles (vzorků) byl navržen rozměr dle obr. 3. průměr zkušební vzorku byl zvolen 55 mm a šířka 13 mm stejně, jako je tomu u zkušebních tělísek pro stanovení odrazové pružnosti Luepke (obr.25).

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



Obr. 26 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení [16]

a) před zkouškou

b) po zkoušce

### 2.3 Analýza opotřebení

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

rychlého opotřebení byly prováděny na experimentálním zařízení při teplotě okolí 21 °C, doba trvání jednotlivého experimentu byla 90s. Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí stroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a uvedeno do rotace. Byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břittem. Od prvního kontaktu břítu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito 30 zkušebních těles zhotovených ze směsi A a ze směsi B. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Zkoušky byly prováděny při dopadu keramického břítu na obvod zkušebního tělesa v radiálním směru při dopadu keramického břítu, ze tří různých výšek (energie dopadu – normální, vysoká a nízká zátěž).[16]

### 2.3.1 Podmínky experimentu

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

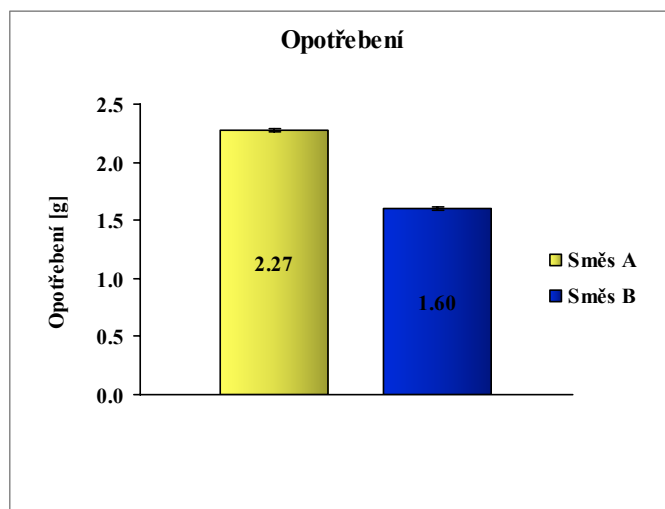
- otáčky zkušebního tělesa 0 - 910 min<sup>-1</sup>
- frekvence dopadu keramického břítu 1 Hz
- zdvih keramického břítu 30, 60, 90 mm
- teplota okolí 21 °C
- doba trvání experimentu 90s
- rychlost dopadu 2.1m/s

Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí stroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a uvedeno do rotace. Byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břittem. Od prvního kontaktu břítu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito 30 zkušebních těles zhotovených ze dvou směsí A, B. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

Tab. 7 Úbytek hmotnosti

Směs	Opotřebení [g]	Opotřebení [-]	SMCH
A	2,27	1	0,1
B	1,6	0,7	0,08



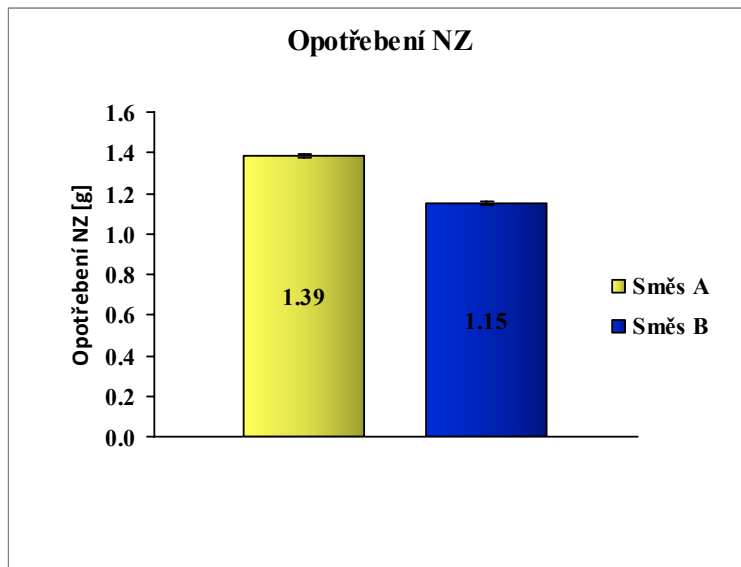


Obr. 27 Porovnání úbytku hmotnosti

Při rychlém testu opotřebení byla naměřena největší míra opotřebení u směsi A, kdy byl úbytek hmotnosti zjištěn 2,27 g. Naopak nejmenší úbytek hmotnosti a tím i míra opotřebení byla zjištěna u směsi B, kdy úbytek hmotnosti dosáhl hodnoty 1,60 g (Obr. 27).

Tab. 8 Úbytek hmotnosti – nízká zátěž

Směs	Opotřebení NZ [g]	Opotřebení NZ [-]	SMCH
A	1,39	1	0,05
B	1,15	0,83	0,05

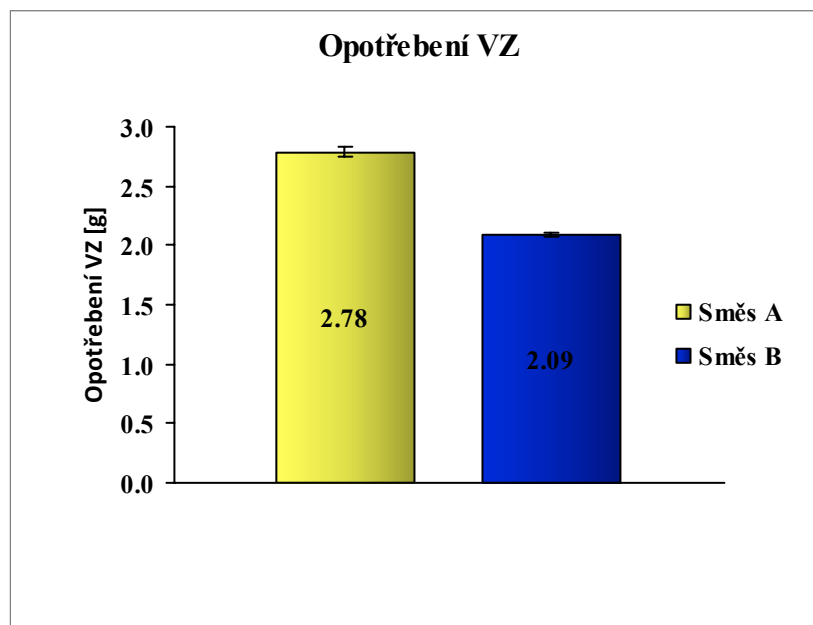


Obr. 28 Porovnání úbytku hmotnosti při nízké zátěži

Při rychlém testu opotřebení, kdy byla aplikována nižší zátěž (pohyb nejméně zatíženého vozidla) byla naměřena největší míra opotřebení u směsi A, kdy byl úbytek hmotnosti zjištěn 1,39 g. Naopak nejmenší úbytek hmotnosti a tím míra opotřebení byla zjištěna u směsi B, kdy úbytek hmotnosti dosáhl hodnoty 1,15 g (Obr. 28).

Tab. 9 Úbytek hmotnosti – vysoká zátěž

Směs	Opotřebení VZ [g]	Opotřebení VZ [-]	SMCH
A	2,78	1	0,25
B	2,09	0,75	0,78



Obr. 29 Porovnání úbytku hmotnosti při vysoké zátěži

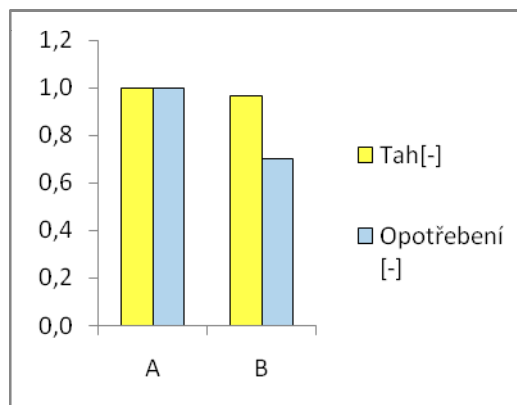
Při nejvyšší zátěži aplikované pro rychlý test opotřebení byla naměřena nejvyšší míra opotřebené realizovaná nejvyšším úbytkem hmotnosti u směsi A. Hodnota úbytku hmotnosti zde dosáhla hodnoty 2,78 g. Naopak nejnižší míra opotřebení byla zjištěna u směsi B a to s hodnotou úbytku hmotnosti 2,09 g. Nejvyšší zatížení zde reprezentuje pohyb naloženého vozidla (Obr. 29).

### 3 DISKUSE VÝSLEDKŮ

V experimentální části byly použity dva druhy směsí, používaných pro výrobu běhounů pneumatik u strojů pracujících v těžkých podmínkách. Výsledky získané z rychlého testu opotřebení byly zpracovány a poté porovnány s mechanickými vlastnostmi směsí. Charakteristikou pro rychlý test opotřebení byl úbytek hmotnosti zkušebního tělesa. Pro každé měření ( zkoušku) bylo použito 30ks zkušebních těles. Po zpracování naměřených hodnot byly výsledky zpracovány v grafech. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření.

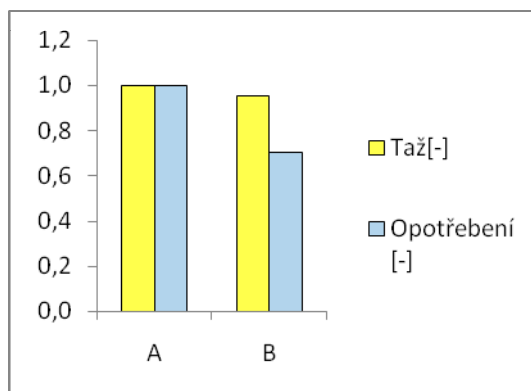
#### 3.1 Vyhodnocení hodnot pro standardní zátěž

##### *Pevnost v tahu*



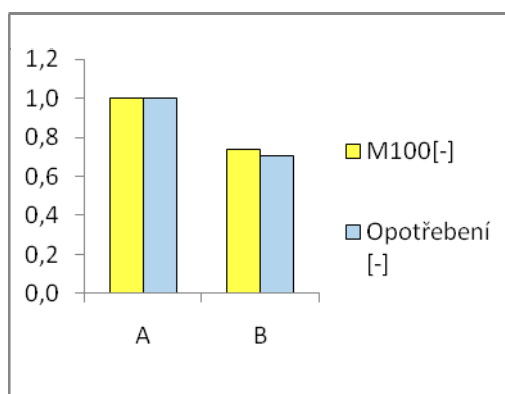
Obr.30 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení

Při porovnání pevnosti v tahu s opotřebením vyšlo najevo, že nejvyšší hodnoty opotřebení a pevnosti v tahu byly naměřeny u směsi A. Nejmenší hodnota opotřebení byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykazovala druhou nejmenší pevnost v tahu (Obr. 30).

***Tažnost***

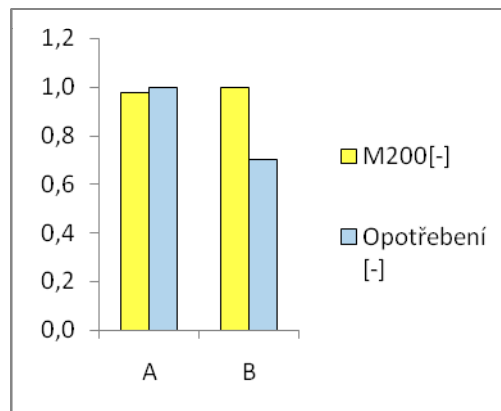
Obr.31 Porovnání tažnosti a opotřebení

Při porovnání tažnosti s opotřeбенím bylo zjištěно, že nejvyšší hodnoty tažnosti bylo dosaženo u směsi A, kde byla také naměřena největší míra opotřebení. Menší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi B, která vykazuje i menší míru opotřebení realizovanou úbytkem hmotnosti (Obr. 31).

***M100***

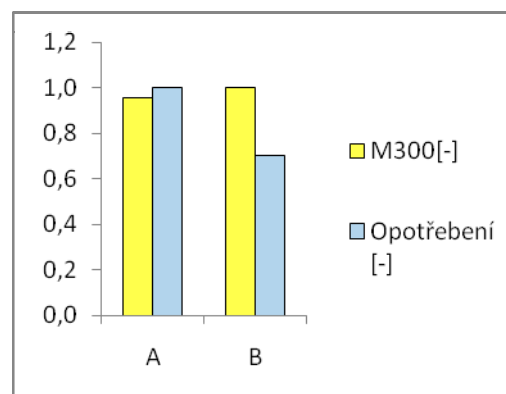
Obr. 32 Porovnání M100 a opotřebení

Při porovnání M100 s opotřeбенím bylo zjištěно, že největší míra opotřebení realizovaná úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala největší hodnotu M100. Nejmenší hodnota M100 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebení realizovaná úbytkem hmotnosti (Obr. 32).

**M200**

Obr.33 Porovnání M200 a opotřebení

Při porovnání M200 s opotřebením bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu M200. Největší hodnota M200 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna druhá nejmenší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti (Obr. 33).

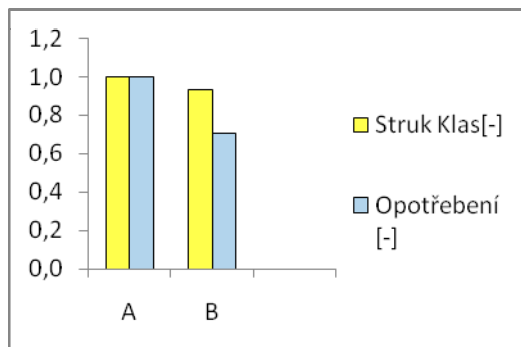
**M300**

Obr.34 Porovnání M300 a opotřebení

Při porovnání M300 s opotřebením bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu

M300. Největší hodnota M300 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti (Obr.34).

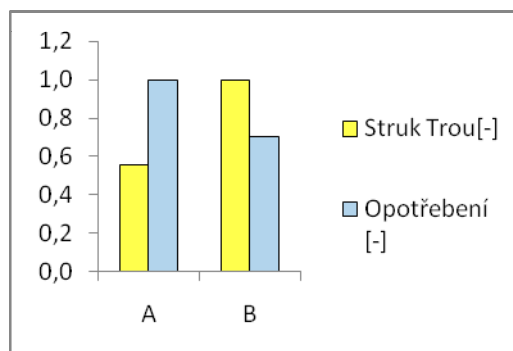
### *Strukturní pevnost Klasic*



Obr. 35 Porovnání strukturní pevnosti KL a opotřebení

Při porovnání strukturní pevnosti (klasická) s opotřebením byla zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykazala nejvyšší hodnotu strukturní pevnosti. Nejnižší hodnota strukturní pevnosti byla zjištěna u směsi B, která vykazala nejmenší míru opotřebení (Obr.35).

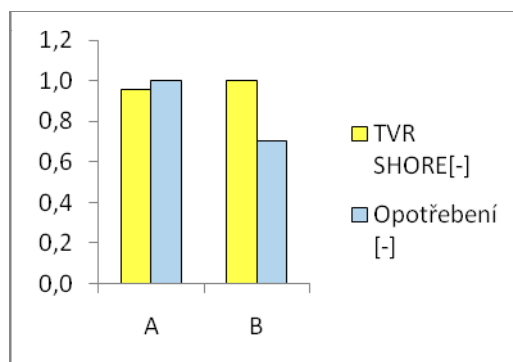
### *Strukturní pevnost Trouser*



Obr. 36 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení

Při porovnání strukturní pevnosti (Trouser) s opotřebením bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu strukturní pevnosti. Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 36).

### *Tvrdość Shore*

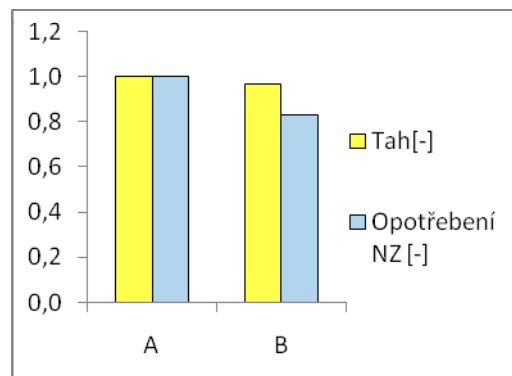


Obr. 37 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení

Při porovnání tvrdosti Shore s opotřebením bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která vykázala nejnižší hodnotu tvrdosti Shore. Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi B, která vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 37).

## 3.2 Vyhodnocení hodnot pro nízkou zátěž

### *Pevnosť v tahu*

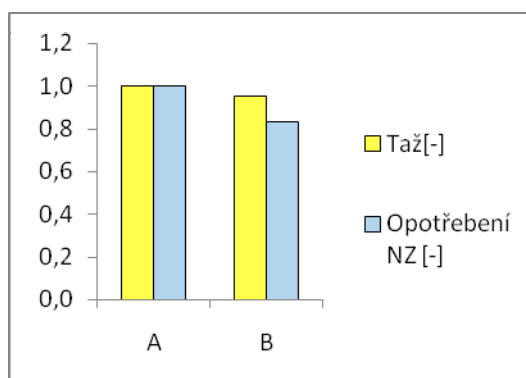


Obr. 38 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení NZ



Při porovnání pevnosti v tahu s opotřebením vyšlo najevo, že nejvyšší hodnoty opotřebení a pevnosti v tahu byly naměřeny u směsi A. Nejmenší hodnota opotřebení byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykazovala nejmenší pevnost v tahu (Obr. 38).

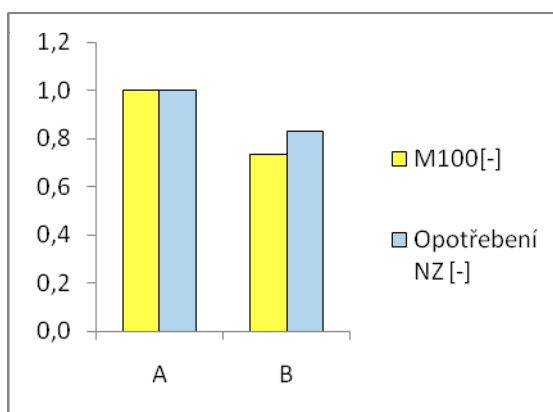
### *Tažnost*



Obr. 39 Porovnání tažnosti a opotřebení NZ

Při porovnání tažnosti s opotřebením bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty tažnosti bylo dosaženo u směsi A, kde byla také naměřena největší míra opotřebení. Nejmenší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi B, která vykazuje i nejmenší míru opotřebení realizovanou úbytkem hmotnosti (Obr. 39).

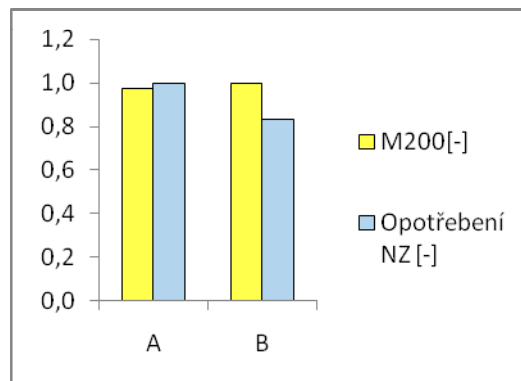
### *M100*



Obr. 40 Porovnání M100 a opotřebení NZ

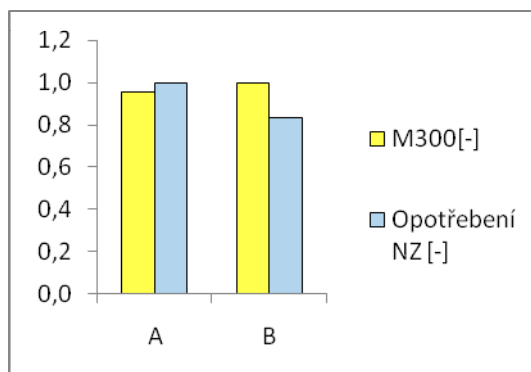
Při porovnání M100 s opotřebením NZ bylo zjištěno, že největší míra opotřebenění realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejvyšší hodnotu M100. Nejmenší hodnota M100 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebenění realizována úbytkem hmotnosti (Obr. 40).

### **M200**



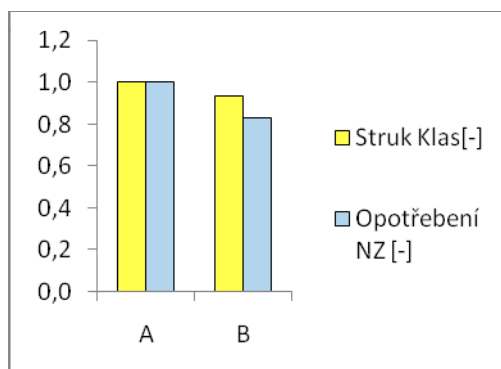
Obr.41 Porovnání M200 a opotřebenění NZ

Při porovnání M200 s opotřebením NZ bylo zjištěno, že největší míra opotřebenění realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu M200. Největší hodnota M200 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebenění realizována úbytkem hmotnosti (Obr.41).

**M300**

Obr. 42 Porovnání M300 a opotřebení NZ

Při porovnání M300 s opotřebením NZ bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu M300. Největší hodnota M300 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti (Obr. 42).

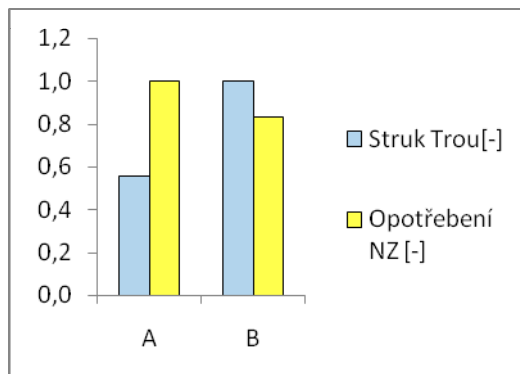
**Strukturní pevnost Kl**

Obr. 43 Porovnání strukturní pevnosti KL a opotřebení NZ

Při porovnání strukturní pevnosti (klasická) s opotřebením NZ bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejvyšší hodnotu struk-

turní pevnosti. Nejnižší hodnota strukturní pevnosti byla zjištěna u směsi B, která vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 43).

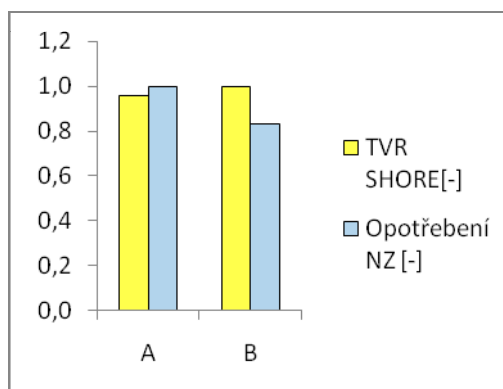
### **Strukturní pevnost TR**



Obr. 44 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení NZ

Při porovnání strukturní pevnosti (Trouser) s opotřebením NZ bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu strukturní pevnosti. Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr.44).

### **Tvrdość Shore**

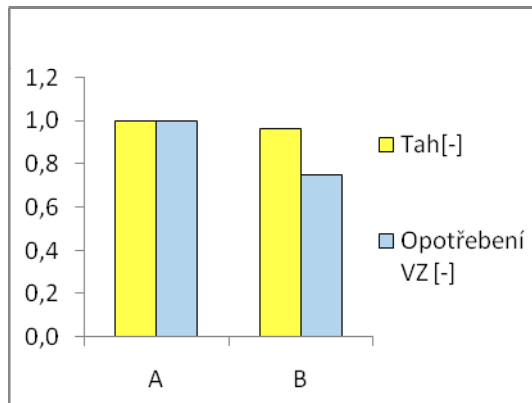


Obr. 45 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení NZ

Při porovnání tvrdosti Shore s opotřebením NZ bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejvyšší hodnotu tvrdosti Shore. Nejnižší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi B, která vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 45).

### 3.3 Vyhodnocení hodnot pro vysokou zátěž

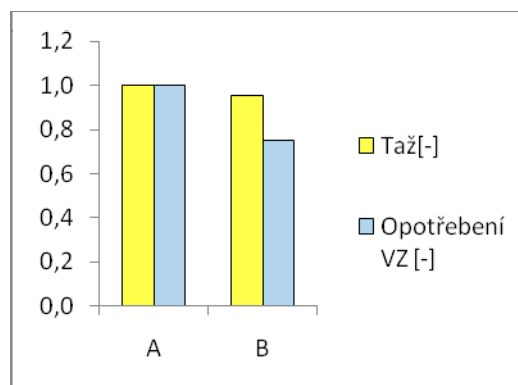
#### *Pevnost v tahu*



Obr. 46 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení VZ

Při porovnání pevnosti v tahu s opotřebením VZ vyšlo najevo, že nejvyšší hodnoty opotřebení a pevnosti v tahu byly naměřeny u směsi A. Nejmenší hodnota opotřebení byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykazovala nejmenší pevnost v tahu (Obr. 46).

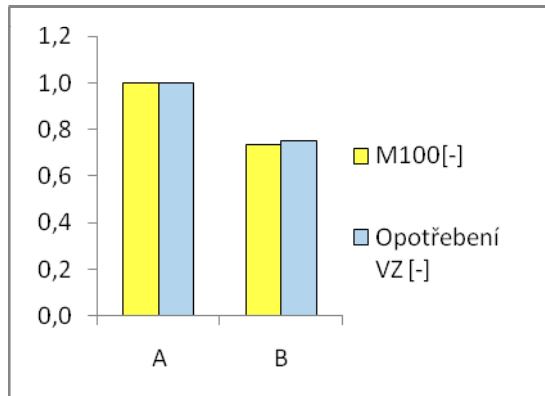
#### *Tažnost*



Obr. 47 Porovnání tažnosti a opotřebení VZ

Při porovnání tažnosti s opotřebením VZ bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty tažnosti bylo dosaženo u směsi A, kde byla také naměřena největší míra opotřebením. Nejmenší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi B, která vykazuje i nejmenší míru opotřebením realizovanou úbytkem hmotnosti (Obr. 47).

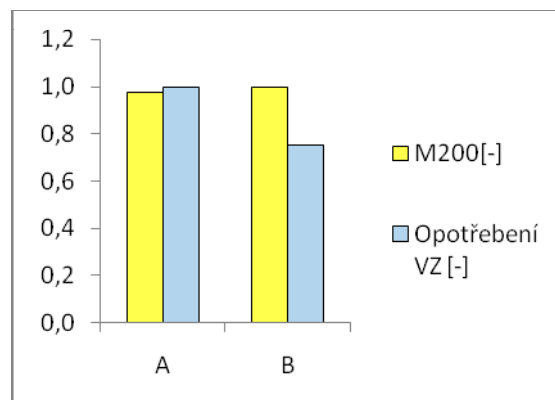
### *M100*



Obr. 48 Porovnání M100 a opotřebením VZ

Při porovnání M100 s opotřebením VZ bylo zjištěno, že největší míra opotřebením realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykazovala největší hodnotu M100. Nejmenší hodnota M100 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebením realizována úbytkem hmotnosti (Obr. 48).

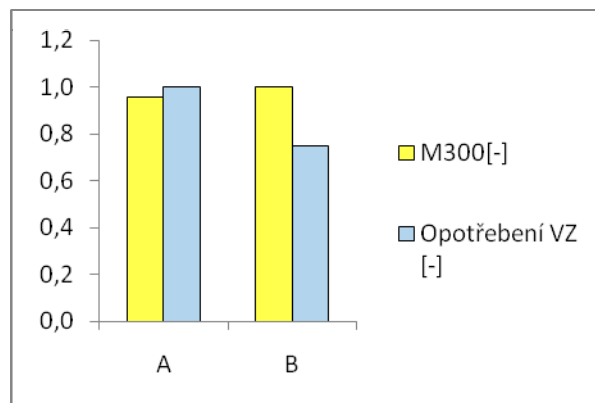
### *M200*



Obr. 49 Porovnání M200 a opotřebením VZ

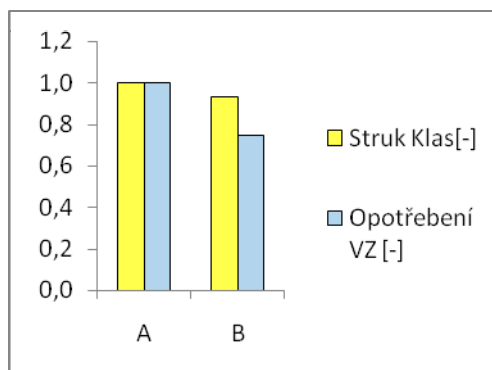
Při porovnání M200 s opotřebením VZ bylo zjištěno, že největší míra opotřebenění realizovaná úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu M200. Největší hodnota M200 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebenění realizovaná úbytkem hmotnosti (Obr. 49).

### **M300**



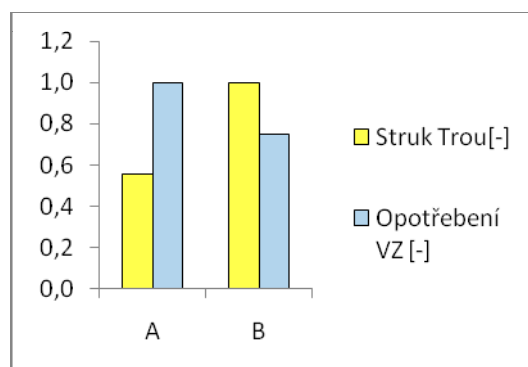
Obr. 50 Porovnání M300 a opotřebenění VZ

Při porovnání M300 s opotřebením VZ bylo zjištěno, že největší míra opotřebenění realizovaná úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu M300. Největší hodnota M300 byla naměřena u směsi B, kde byla zjištěna nejmenší míra opotřebenění realizovaná úbytkem hmotnosti (Obr. 50).

**Strukturní pevnost KI**

Obr. 16 Porovnání strukturní pevnosti KL a opotřebení VZ

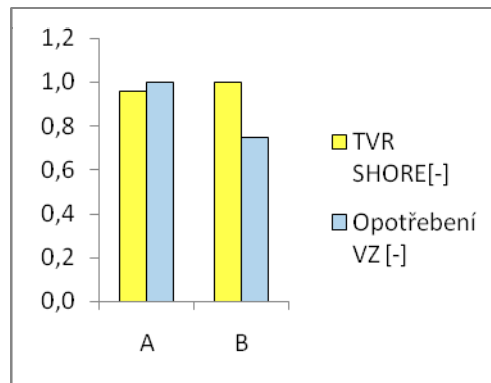
Při porovnání strukturní pevnosti (klasická) s opotřebením VZ bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejvyšší hodnotu strukturní pevnosti. Nejnižší hodnota strukturní pevnosti byla zjištěna u směsi B, která vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 51).

**Strukturní pevnost TR**

Obr. 52 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení VZ

Při porovnání strukturní pevnosti (Trouser) s opotřebením VZ bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu strukturní pevnosti. Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 52).



*Tvrdość Shore*

Obr. 53 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení VZ

Při porovnání tvrdosti Shore s opotřebením VZ bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi A, která zároveň vykázala nejnižší hodnotu tvrdosti Shore. Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi B, která vykázala nejmenší míru opotřebení (Obr. 53).

## ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problematiku opotřebení silně namáhaných běhounových směsí. Běhounové směsi jsou určeny pro mimosilniční vozidla (víceúčelové stroje, motocross) a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

Pro praktickou část byly zvoleny dva typy silně namáhaných běhounových směsí (víceúčelové stroje, motocross). Byly provedeny standardní zkoušky mechanických vlastností běžně prováděných v průmyslových podnicích (pevnost v tahu, strukturní pevnost, tažnost, tvrdost). Následně byl proveden rychlý test opotřebení určený pro silně namáhané pryžové výrobky. Výsledky testů mechanických vlastností byly následně graficky znázorněny a vyhodnoceny. Po zpracování naměřených hodnot byly výsledky zpracovány v grafech. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření.

Z naměřených výsledků vyplynul vztah mezi opotřebením (úbytkem hmotnosti) a některými mechanickými vlastnostmi. Byly zjištěny vztahy mezi opotřebením (úbytkem hmotnosti), tvrdostí a strukturní pevností (trousers). V případě, že testovaná běhounová směs vykazuje vyšší tvrdost a vysokou hodnotu strukturní pevnosti (trouser) jsou opotřebení velmi malá. Naopak je tomu v případě směsi s nízkou tvrdostí a nízkou hodnotou strukturní pevnost. V tomto případě je opotřebení testované běhounové směsi vysoké. Výrazný vliv na míru opotřebení budou mít hodnoty tažnosti a modulu 300. Ty budou určovat houževnatost směsi a tím odolnost proti opotřebení.

Použitím různého zatížení v průběhu rychlého testu opotřebení se potvrdil předpoklad, že čím vyšší bude zatížení keramického břitu (vyšší energie dopadu), tím vyšší bude míra opotřebení. Pokud byla zátěž malá (nákladní automobil bez nákladu), bylo opotřebení v porovnání s naloženým automobilem (vysoká energie dopadu břitu) výrazně menší.

## 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] *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-vyroba-pneumatiky.html#valeni/>>.
- [3] Kolo. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 28. 6. 2007, last modified on 29. 4. 2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kolo>>.
- [4] HORÁK, Pavel. *Historie pneumatiky, pneu, pneumatiky, informace, odkazy* [online]. 2005 [cit. 2010-05-21]. Historie pneumatiky, pneu informace. Dostupné z WWW: <<http://pneumatiky-historie.cz/>>.
- [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, Fakulta strojního inženýrství.
- [7] *Wheels and Tyres* [online]. 2007 [cit. 2010-05-21]. Tire constructions . Dostupné z WWW: <<http://wheelstyres.com/tire-constructions>>.
- [8] *Autolexicon. net* [online]. 2. březen 2009 [cit. 2010-05-21]. Konstrukce pneumatiky. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/konstrukce-pneumatiky>>. ISSN 1804-2554.
- [9] HOLZMULLER, W. *Fyzika polymerů*. 1.vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 625 s.
- [10] FRANTA , I., et al. *Gumárenská technologie : Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. 2.vyd. . Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1969. 536 s.
- [11] MAŇAS, D. *Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků : Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. Brno : Nakladatelství VUT, 2005. 33 s.

- [12] SCHÄTZ, M; VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů*. 2. dopl. přeprac. vyd. Praha :Vydavatelství VŠCHT, 1988. 276 s.
- [13] ČSN ISO 868. *Plasty a ebonit - Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 12 s.
- [14] ČSN ISO 37 . *Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických elastomerů – stanovení tahových vlastností*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 22 s.
- [15] ČSN ISO 621459. *Stanovení strukturní pevnosti*. [s.l.] : [s.n.], 1986. 16 s.
- [16] POLOMÍČEK, O. *Vliv zátěže na opotřebení gumárenských směsí*. Zlín, 2008. 76 s. Bakalářská práce. Fakulta technologická UTB Zlín.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

KL	klasická
TR	Trousers, kalhotový typ
Pevnost v tahu	[MPa]
Tažnost	[%]
M100	Modul pružnosti při 100% protažení [MPa]
M200	Modul pružnosti při 200% protažení [MPa]
M300	Modul pružnosti při 300% protažení [MPa]
Strukturní pevnost	[N.mm <sup>-1</sup> ]
Tvrдост	[Sh A]
Úbytek hmotnosti	[g]
ABS	Antiblockiersystem (Anti-lock Brake System)
ČSN	Česká technická norma
<i>VG</i>	vnitřní guma
MPT/R	víceúčelové pneu
SMCH	směrodatná odchylka
ISO	International Standard Organisation

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Diagonální konstrukce pneumatiky .....	15
Obr. 2 Radiální konstrukce pneumatiky .....	16
Obr. 3 <i>Konstrukce pláště pneumatiky:</i> .....	17
Obr. 4 <i>Nárazník (korunní kordová vrstva)</i> .....	18
Obr. 5 <i>Běhoun</i> .....	18
Obr. 6 <i>Kostrá (radiální kordová vrstva)</i> .....	19
Obr. 7 <i>Bočnice</i> .....	20
Obr. 8 <i>Vnitřní gumová vrstva</i> .....	20
Obr. 9 <i>Patka</i> .....	21
Obr. 10 <i>Patní lanko</i> .....	21
Obr. 11 Základní typy vzorků .....	22
Obr. 12 Měrný tlak a adheze .....	25
Obr. 13 Přístroj Du Pont .....	34
Obr. 14 Zařízení Akron – Croydon .....	35
Obr. 15 Přístroj Dunlop – Lambourn metody .....	36
Obr. 16 Zařízení pro DSRW test .....	36
Obr. 17 Porovnání pevnosti v tahu .....	39
Obr. 18 Porovnání tažnosti .....	40
Obr. 19 Porovnání M 100 .....	41
Obr. 20 Porovnání M200 .....	41
Obr. 21 Porovnání M 300 .....	42
Obr. 22 Porovnání strukturální pevnosti KL .....	43
Obr. 23 Porovnání strukturální pevnosti TR .....	43
Obr. 24 Porovnání tvrdosti .....	44
Obr. 25 Schéma zařízení pro testování opotřebení .....	45
Obr. 26 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení .....	47
Obr. 27 Porovnání úbytku hmotnosti .....	49
Obr. 28 Porovnání úbytku hmotnosti při nízké zátěži .....	50
Obr. 29 Porovnání úbytku hmotnosti při vysoké zátěži .....	51
Obr. 30 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení .....	52
Obr. 31 Porovnání tažnosti a opotřebení .....	53
Obr. 32 Porovnání M100 a opotřebení .....	53

---

Obr. 33 Porovnání M200 a opotřebení .....	54
Obr. 34 Porovnání M300 a opotřebení .....	54
Obr. 35 Porovnání strukturní pevnosti KI a opotřebení.....	55
Obr. 36 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	55
Obr. 37 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení .....	56
Obr. 38 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení NZ .....	56
Obr. 39 Porovnání tažnosti a opotřebení NZ .....	57
Obr. 40 Porovnání M100 a opotřebení NZ .....	57
Obr. 41 Porovnání M200 a opotřebení NZ .....	58
Obr. 42 Porovnání M300 a opotřebení NZ .....	59
Obr. 43 Porovnání strukturní pevnosti KI a opotřebení NZ .....	59
Obr. 44 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení NZ .....	60
Obr. 45 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení NZ .....	60
Obr. 46 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení VZ .....	61
Obr. 47 Porovnání tažnosti a opotřebení VZ .....	61
Obr. 48 Porovnání M100 a opotřebení VZ .....	62
Obr. 49 Porovnání M200 a opotřebení VZ .....	62
Obr. 50 Porovnání M300 a opotřebení VZ .....	63
Obr. 51 Porovnání strukturní pevnosti KI a opotřebení VZ .....	64
Obr. 52 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení VZ .....	64
Obr. 53 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení VZ .....	65

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Použité směsi .....	38
Tab. 2 Tahové zkoušky .....	39
Tab. 3 Tahové zkoušky .....	40
Tab. 4 Strukturální pevnost KL .....	42
Tab. 5 Strukturální pevnost TR .....	43
Tab. 6 Tvrdost Shore .....	44
Tab. 7 Úbytek hmotnosti .....	48
Tab. 8 Úbytek hmotnosti – nízká zátěž.....	49
Tab. 9 Úbytek hmotnosti – vysoká zátěž.....	50