

# VLIV ENERGIE DOPADU NA OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH DÍLŮ

Bc. Ondřej Polomíček

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej POLOMÍČEK**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Vliv energie dopadu na opotřebení pryžových dílů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava vzorků pro test opotřebení**
- 3. Vyhodnocení testu opotřebení**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. David Mañas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**19. února 2010**

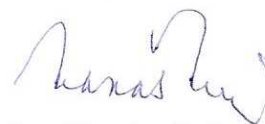
Termín odevzdání diplomové práce:

**19. května 2010**

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010



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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou 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 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 nevýdělečně 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 vzdělávacímu 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**

Diplomová práce se zabývá opotřebením plášťů pneumatik pracujících při velmi náročných terénních podmínkách. Měření opotřebení bylo prováděno na pryžových dílech používajících se při výrobě pneumatik určených pro víceúčelové terénní a motokrosově pláště, pro pláště stavebních strojů. Zkušební pryžové díly měly rozměry  $\text{Ø}55 \times 13 \text{ mm}$ .

Hodnoty opotřebení byly porovnávány s mechanickými vlastnostmi.

Klíčová slova: Diplomová práce, opotřebení pryžových dílů, mechanické vlastnosti, pneumatika, běhoun, zkoušky pneumatik.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the wear of tyres working in a rough ground. The measurement of wear was carried out on the rubber parts used in the manufacture of tyres for multipurpose off-road and motocross tyre, for tyre of construction machinery. Test rubber parts had dimensions  $\text{Ø}55 \times 13 \text{ mm}$ .

The values of wear were compared with mechanical properties.

Keywords: Diploma work, wear of rubber parts, mechanical properties, tyre, tread, tyre tests.

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, jak při teoretické tak i při experimentální části, rady, konzultace a připomínky, které mi pomohly při zpracování mé diplomové práce. Dále mé poděkování patří i všem ostatním, kteří mi při vypracování mé práce pomohli.

Motto

„Zeptáš-li se, budeš 5 minut vypadat jako blbec.

Nezeptáš-li se, budeš blbcem po celý život.“

*Čínské přísloví*

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

Ve Zlíně .....

.....

Bc. Ondřej Polomíček

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 VULKANIZACE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK.....</b>	<b>12</b>
1.1 VULKANIZACE.....	12
1.2 ZPŮSOBY VULKANIZACE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK.....	12
1.3 VULKANIZAČNÍ FORMY .....	15
1.4 TECHNOLOGIE VULKANIZACE PNEUMATIK V LISECH.....	17
<b>2 KONSTRUKCE PLÁŠŤŮ.....</b>	<b>18</b>
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY .....	18
2.1.1 Pneumatika.....	18
2.1.2 Plášť .....	20
2.2 ROZDĚLENÍ PNEUMATIK .....	21
2.3 ZÁKLADNÍ DRUHY PLÁŠŤŮ PODLE KONSTRUKCE.....	22
2.3.1 Diagonální plášť .....	23
2.3.2 Radiální plášť .....	23
2.4 ZÁKLADNÍ ROZMĚRY PNEUMATIK.....	24
2.5 OZNAČOVÁNÍ PLÁŠŤŮ.....	25
<b>3 KONFEKCE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK.....</b>	<b>27</b>
3.1 KONFEKCE DIAGONÁLNÍCH PLÁŠŤŮ.....	28
3.1.1 Technologie výroby diagonálních plášťů z obalů .....	28
3.1.2 Technologie výroby diagonálních plášťů z kordových vložek.....	29
3.2 KONFEKCE RADIÁLNÍCH PLÁŠŤŮ.....	30
3.2.1 Dvojstupňová konfekce radiálních plášťů.....	30
3.2.2 Jednostupňová konfekce radiálních plášťů .....	33
3.2.3 Konfekce plášťů na velkokapacitních vícebubnových konfekčních linkách .....	33
<b>4 ZKOUŠKY PNEUMATIK .....</b>	<b>35</b>
4.1 ROZDĚLENÍ ZKUŠEBNICTVÍ.....	35
4.2 ZKUŠEBNÍ METODY.....	36
4.2.1 Zkouška únavy pneumatik.....	36
4.2.2 Zkoušky na zkušebně .....	36
4.2.3 Tlaková zkouška.....	37
4.2.4 Nárazová zkouška .....	37
4.2.5 Silniční zkoušky .....	38



4.2.6	Zkoušky opotřebení.....	39
4.2.6.1	Metoda Dunlop – Lambourn.....	39
4.2.6.2	Metoda Akron-Croydon.....	40
4.2.6.3	Metoda du Pont s konstantním třením.....	40
<b>II</b>	<b>CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>41</b>
<b>III</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ .....</b>	<b>44</b>
5.1	MĚŘENÉ VLASTNOSTI .....	44
5.1.1	Tahové zkoušky.....	44
5.1.2	Modul 100, 200, 300 .....	46
5.1.3	Strukturní pevnost .....	48
5.1.4	Tvrdost Shore .....	50
5.2	TEST OPOTŘEBENÍ .....	51
5.2.1	Rozměry zkušebního tělesa.....	52
5.2.2	Analýza opotřebení.....	53
<b>6</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>57</b>
6.1	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO STANDARDNÍ ZÁTĚŽ.....	57
6.2	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO NÍZKOU ZÁTĚŽ .....	63
6.3	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO VYSOKOU ZÁTĚŽ .....	69
6.4	CELKOVÝ GRAF VŠECH SLEDOVANÝCH VLASTNOSTÍ .....	74
6.5	MĚŘENÍ HLOUBKY PRŮNIKU KERAMICKÉHO BŘITU PŘI TESTU OPOTŘEBENÍ .....	75
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>79</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>81</b>	
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>82</b>	
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>85</b>	

## ÚVOD

První patent na pneumatiku dostal v roce 1845 Robert William Thomson. Pneumatiku představovala dutá nafukovací hadice, která se připevnila na kolo místo železné obruče. Tento patent však zůstal nevyužit. Teprve v roce 1888 anglický zvěrolékař J. B. Dunlop vynalezl pneumatiku, která rychle dospěla k podobě dnešní pneumatiky. V průběhu dalších téměř 100 let umožnila pneumatika vývoj velice složitého a funkčního transportního systému.

V ČR má gumárenský a pneumatikářský průmysl dlouholetou tradici. Své postavení si tyto průmyslové odvětví stále drží a patří k úspěšným rozvíjejícím se oborům. O významu gumárenského průmyslu pro hospodářství ČR hovoří i fakt, že mezi stovkou největších výrobců (Czech Top 100) jsou i velké gumárenské firmy jako např. Barum Continental, Mitas, Peguform.

V češtině slovo „kaučuk“ označuje nesíťovaný polymer. Síťováním vzniká „elastomer“, „vulkanizát“, nebo „pryž“. K dosažení požadovaných zpracovatelských a aplikačních vlastností je nutno z kaučuků, různých chemikálií a přísad nejprve připravit kaučukovou směs. Pro přípravu kaučukových směsí je k dispozici mnoho různých kaučuků a více než 20 000 chemikálií a přísad.

Pneumatiky jsou významnou a sledovanou součástí běžného života dnešní společnosti. Slouží k dopravě počínaje jízdním kolem, přes motocykly, traktory, osobní a nákladní automobily, přívěsné vozy, trolejbusy, letadla atd. až po různá speciální použití (zemědělské a stavební stroje...). Každoroční spotřeba pneumatik stále stoupá, spolu s výrobou hadic je jejich podíl na trhu více než 65%.

Z hlediska konstrukce dominují na trhu radiální pneumatiky. U osobních pneumatik dochází k opotřebení po ujetí cca 30 000 až 70 000 km. Rychlost opotřebení a tedy i životnost závisí na jejím druhu a materiálovém složení, pravidelné údržbě, způsobu provozování a technickém stavu vozidla.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VULKANIZACE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

## 1.1 Vulkanizace

Vulkanizace je proces, při kterém se mění kaučuková směs na pryž vznikem chemických vazeb, obvykle při zvýšené teplotě. Vulkanizační proces v pneumatikářské výrobě probíhá při teplotách 150 až 170°C, podle druhu vulkanizovaných autoplášťů a technologických podmínek pneumatikářského závodu.

**V průběhu vulkanizace dochází k následujícím změnám:**

- a) dlouhé řetězce molekul kaučuku se síťují reakcemi s vulkanizačním činidlem za vzniku trojrozměrné sítě,
- b) kaučuk ztrácí lepivost, stává se nerozpustným v rozpouštědlech. Je odolnější proti degradačním účinkům tepla, světla a procesu stárnutí. [1]

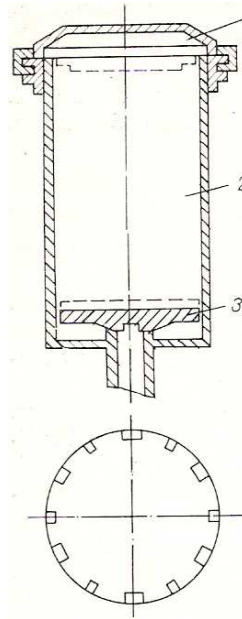
## 1.2 Způsoby vulkanizace plášťů pneumatik

Podle použitého zařízení a technologie lze vulkanizaci plášťů pneumatik rozdělit do těchto skupin:

### 1. Vulkanizace v autoklávech s použitím topné duše

Nevýhodou tohoto způsobu je, že před vlastní vulkanizací v autoklávu musí předcházet řada jiných operací. Je to především vydouvání pláště, vkládání topných duší a jejich vytažení. Také vlastní výroba topných duší je poměrně náročná a neproduktivní. Proto se autoklávová vulkanizace nahrazuje moderní vulkanizací v membránových lisech. V posledních letech slouží hlavně pro lisování a vulkanizaci plášťů nákladních pneumatik a pneumatik pro speciální účely.

Autokláv je svařovaná tlaková nádoba (obr. 1), ve které se vlivem tepla a tlaku ve formě mění nezvulkanizovaný plášť ve zvulkanizovaný. [2]



Obr. 1 Řez autoklávem

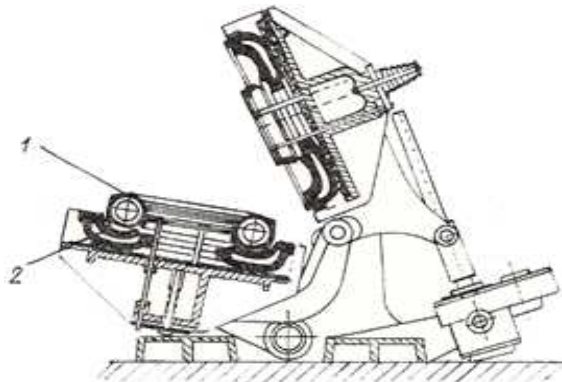
1 - víko, 2 - autokláv,

3 - píst s horní deskou

## 2. Vulkanizace v lisech s použitím topné duše

Tato technologie se liší od autoklávového způsobu lisování jen vlastním lisem. Nevýhody jsou stejné jako u autoklávové technologie, ať jde o vydouvání pláště a vkládání topné duše mimo lis či o vytahování topné duše. Tato technologie patří mezi velmi rozšířené způsoby lisování a vulkanizace plášťů pneumatik.

Vulkanizační lis s topnou duší (obr. 2) se skládá z komory, v níž je uložena vulkanizační forma tak, že její spodní polovina je připevněna k horní pohyblivé části lisu. [2]



Obr. 2 Mechanický lis k vulkanizaci

1 – plášť pneumatiky, 2 - forma

### 3. Vulkanizace v lisech s membránou

Jde o způsob vulkanizace pláštěů pneumatik s vysokou technickou úrovní, ať jde o produkci na jeden lis, produktivitu práce nebo o kulturu práce ve srovnání se staršími technologiemi vulkanizace pláštěů pneumatik.

Lisování a vulkanizace v membránových vulkanizačních lisech (obr. 3) zahrnuje všechny předchozí operace, které se u starších typů vulkanizačních zařízení musí dělat mimo vulkanizační autokláv nebo lis, tedy vydouvání a vkládání topné duše, stejně jako vyjímání duše z pláště po skončení vulkanizace. Všechny operace zajišťuje lisovací membrána, kterou je lis vybaven. Operace probíhají podle předem stanoveného programu automaticky bez fyzické námahy dělníka, který u vulkanizačního lisu pracuje. [2]



*Obr. 3 Membránový vulkanizační lis*

### 4. Ostatní způsoby vulkanizace

Jde v podstatě o lisování ve formách s využitím zařízení obdobného lisovací membráně. Výhodou tohoto zařízení je levnější lisovací zařízení a kontinuální proces.

### 1.3 Vulkanizační formy

Vulkanizační forma je jedním z nejdůležitějších výrobních zařízení při lisování pláštěů, membrán, duší, protektorovaných běhounů, ale i celé řady výrobků z technické pryže. Vulkanizační (lisovací) formy ovlivňují zásadním způsobem nejen výsledné provozní vlastnosti pláštěů, ale i jejich přesnost a vzhled. Z toho pramení jejich nezastupitelnost a vysoká důležitost v celém procesu vývoje a výroby.

Vulkanizační forma je zařízení (nástroj), ve kterém působením tepla a tlaku získává surový plášť výsledný tvar, rozměry a požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti. [3]

#### **Rozdělení vulkanizačních forem:**

1. *Podle skupiny výrobků se používají:*

- plášťové formy,
- membránové formy,
- protektorové formy,
- formy a ochranné vložky,
- formy pro výrobky z technické pryže.

2. *Podle způsobu plnění formy jsou to formy:*

- lisovací,
- vstřikovací.

3. *Podle uspořádání dělicích rovin se používají:*

- dvojdílné (pevné) formy,
- vícedílné formy,
- segmentové formy.

4. *Podle použitých materiálů:*

- hliníkové,
- ocelové,

- kombinované (ocelová forma + hliníková dezénová část)

5. *Podle způsobu výroby dezénové části formy:*

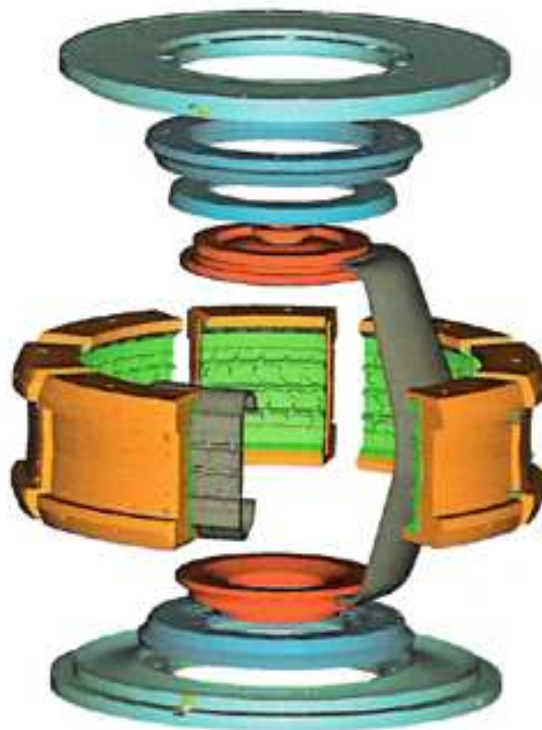
- odlévané,
- frézované,
- kombinované.

6. *Podle způsobu ohřevu:*

- formy s komorovým ohřevem,
- formy bez komorového ohřevu.

7. *Podle způsobu vyvození radiálního pohybu segmentů:*

- radiálně dělené segmentové formy,
- pružinové segmentové formy
- hákové segmentové formy



*Obr. 4 Model řezu pláště, membrány a segmentové plášťové vulkanizační formy*



## 1.4 Technologie vulkanizace pneumatik v lisech

Na průběh vulkanizace mají vliv: vlastnosti použitého kaučuku, vlastnosti gumárenské směsi, teplota tvárnice, teplota prostředí uváděného do topné duše, doba vulkanizace a tloušťka pneumatiky a topné duše.

Pneumatiky se obvykle vulkanizují při teplotách tvárnic 140 až 150 °C podle toho, jaká technologie se používá. Volba vulkanizační teploty závisí hlavně na době, která je pro vulkanizovanou směs optimální. Pro zkrácení doby potřebné k proběhnutí vulkanizace je důležitá teplota topných duší před začátkem vulkanizace. Topné duše se ohřívají tak, že se do nich napouští jako lisovací prostředek ohřátá horká voda. Jestliže voda necirkuluje, bývá její teplota 160 až 180 °C, jestliže cirkuluje, pracuje se s teplotou 143 °C. Místo horké vody se může použít také páry nebo inertního plynu. Méně vhodný je vzduch.

*Celkový průběh vulkanizace lze rozdělit takto:*

- a) dobu potřebnou k odsátí vzduchu vývěvou, napuštění páry do topné duše a naplnění topné duše přehřátou vodou;
- b) dobu potřebnou pro vlastní vulkanizaci;
- c) dobu potřebnou pro vyprázdnění topné duše. [5]



*Obr. 5 Vylisovaná pneumatika*

## 2 KONSTRUKCE PLÁŠŤŮ

### 2.1 Základní pojmy

#### 2.1.1 Pneumatika

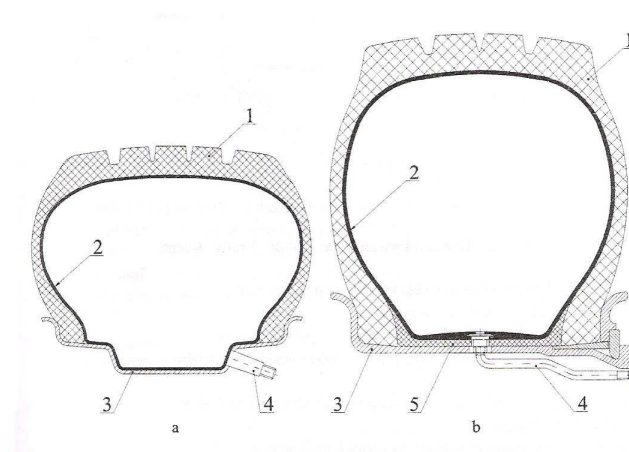
Pneumatika je strukturně složitý celek, tvořící uzavřený prstenec toroidního tvaru.

Pracuje na principu tlakové nádoby, jejíž stěny tvoří pružná membrána.



Obr. 6 Toroid

Pneumatiky se rozdělují podle provedení na pneumatiky s duší a bezdušové pneumatiky.



Obr. 7 Pneumatika s duší

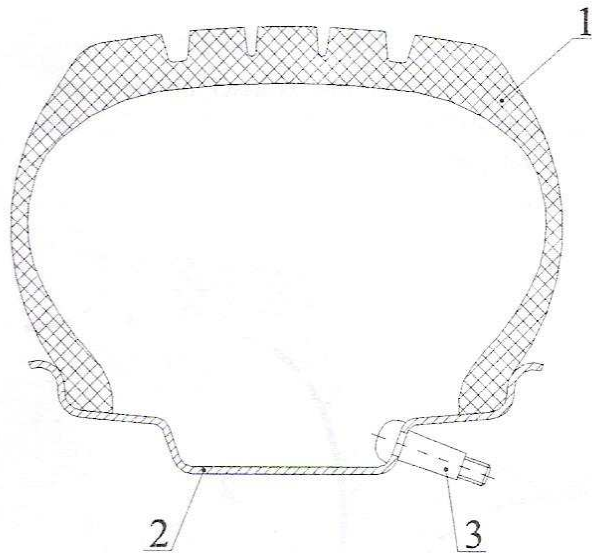
*a – pro osobní automobily, b – pro nákladní automobily*

*1 – plášť, 2 – duše, 3 – ráfek, 4 – ventil, 5 – ochranná vložka*

Plášť je pružná venkovní část pneumatiky, která zabezpečuje styk s vozovkou a svojí patní částí dosedá na ráfek. Duše je tenkostěnný gumový uzavřený prstenec, sloužící pro udržení potřebného tlaku vzduchu v pneumatice. Ventil umožňuje nahuštění a vypuštění vzduchu, nebo jiného tlakového média. Ochranná vložka je gumový tvarovaný prstenec, chránící

duši před možným poškozením způsobeným ráfkem. Ráfek je jednodílný nebo vícedílný prstenec, vytvarovaný pro uchycení pláště. Přenáší hnací nebo brzdící sílu mezi patkou pláště a střední nosnou částí kola.

Funkci duše při bezdušové pneumatice nahrazuje hrubší gumová vrstva na vnitřním povrchu pláště, která má malou propustnost plynů.



Obr. 8 Bezdušová pneumatika

1 – plášť, 2 – ráfek, 3 – ventil

Základní požadavky kladené na pneumatiku:

- přenášení zátěže vozidla na vozovku,
- přenášení hnacích, brzdících a vodících sil na povrch vozovky,
- vyvinutí příčných sil potřebných pro zatáčení a udržování směru,
- tlumení nárazů,
- zabezpečení dostatečné pružnosti a schopnosti obalovat překážky,
- přesné a rychlé reagování na řízení,
- dobrá adheze k povrchu vozovky za různých podmínek.

Další důležité požadavky:

- nízký valivý odpor,

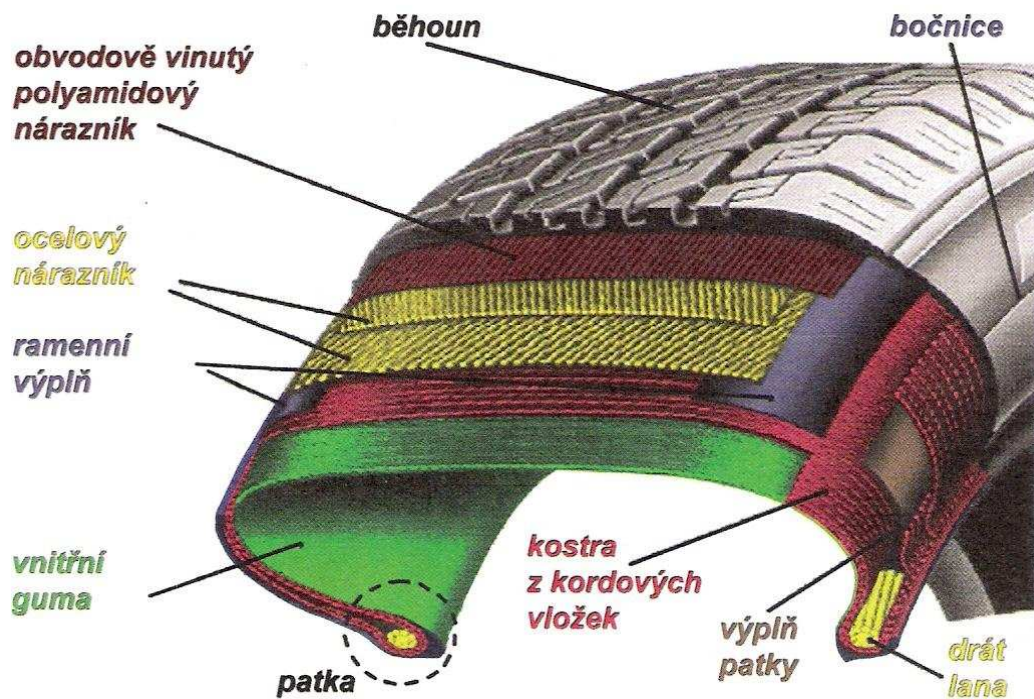
- nízká úroveň hluku a vibrací,
- dlouhá životnost,
- bezpečnost v provozu,
- komfort jízdy,
- minimální hmotnost.

Uvedené požadavky musí pneumatika splňovat po celou dobu životnosti. Optimálně sladit tyto požadavky, které jsou často protikladné není jednoduché, proto jsou při jejich navrhování některé vlastnosti víc a jiné méně dominantní, v závislosti od účelu použití konkrétní pneumatiky a požadavku odběratele. [4]

### 2.1.2 Plášť

Struktura pláště se skládá z následujících částí:

- **kostra pláště** – základní nosný prvek tvořený jednou, nebo více vložkami z pogumovaného kordu, které jsou zakotvené okolo patních lan,
- **patní lana** – tvořené ocelovými dráty nebo pásky vysoké pevnosti. Spolu s různými gumovými a textilními výplněmi zabezpečují plynulé a bezpečné ukotvení kostrových vložek a usazení pláště na ráfek,
- **vnitřní guma** – vrstva gumy nacházející se na vnitřní straně pláště. Slouží na ochranu kostry a u bezdušových plášťů zabraňuje pronikání vzduchu do kostry pláště,
- **bočnice** – chrání boční část pláště před poškozením a před povětrnostními vlivy. Je vyrobená ze směsi odolné vůči přelamování a vzniku trhlin,
- **běhoun** – důležitá část pláště, která je v přímém styku s povrchem vozovky. Je vyrobený ze směsi, která má dobré adhezní vlastnosti a vysokou odolnost vůči opotřebení,
- **nárazník** – zachytává obvodové namáhání, příčné síly a tlumí nárazy od vozovky. Je tvořený z jednotlivých, navzájem překřížených vrstev pogumovaného kordu,
- **výplně** – jsou tvarované gumové profily, jejichž účelem je zlepšení plynulosti přechodu mezi jednotlivými konstrukčními prvky pláště.[4]



Obr. 9 Struktura pláště

## 2.2 Rozdělení pneumatik

Pneumatiky rozdělujeme podle těchto hlavních hledisek:

### 1. Podle použití:

- pneumatiky pro ruční a průmyslové vozíky
- pneumatiky pro jízdní kola, motokola, skútry a motocykly
- pneumatiky pro osobní a dodávkové automobily
- pneumatiky pro nákladní automobily, autobusy a přívěsy
- pneumatiky pro letadla
- pneumatiky pro traktory, zemědělská vozidla, stroje a mechanismy pro zemní práce
- pneumatiky pro stavební stroje
- pneumatiky pro speciální vozidla

## 2. Podle rozměru

Tento způsob rozdělení pneumatik využívá rozměrového značení pneumatik, které udává základní rozměry pneumatiky, a to: průměr ráfku a šířku pneumatiky.



Obr. 10 Hlavní rozměry pneumatiky

## 3. Podle konstrukce kostry pláště rozlišujeme pneumatiky

- diagonální
- bias-belted
- radiální celotextilní
- radiální kombinované
- radiální celocelové [7]

### 2.3 Základní druhy pláštíů podle konstrukce

Podle druhu konstrukce se pláště rozdělují na dva základní typy:

- [1] diagonální plášť
- [2] radiální plášť

### 2.3.1 Diagonální plášť

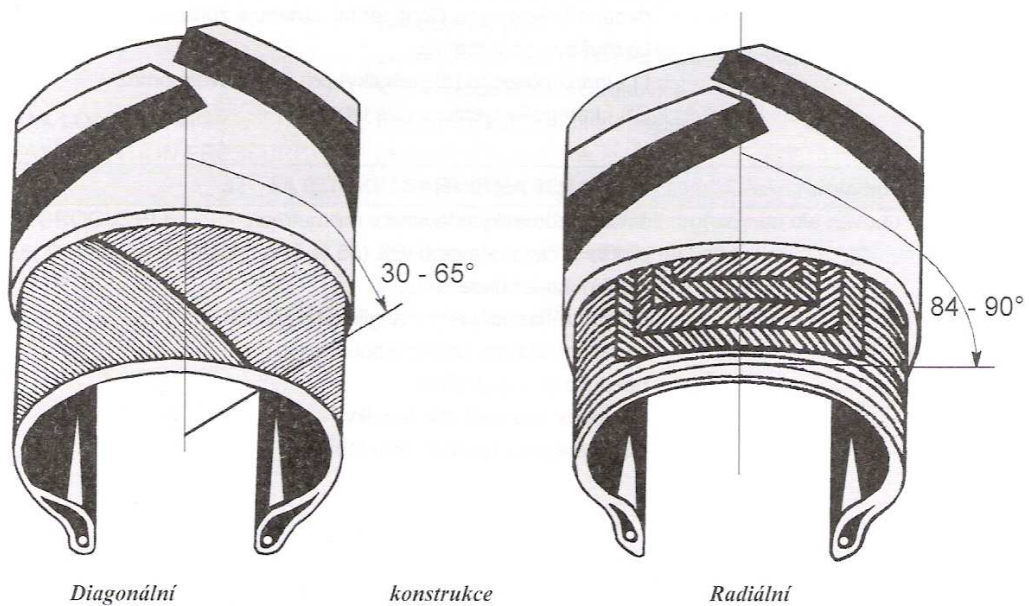
Jeho kostra je tvořena sudým počtem kordových vložek, které se v jednotlivých vrstvách navzájem kříží pod úhlem  $30^\circ - 65^\circ$ . V případě použití lichého počtu vložek je poslední vložka v šířce koruny pláště a plní funkci nárazníku.

**Výhody:** plášť je odolnější proti průrazu a deformaci v boku pláště, nižší výrobní náklady.

### 2.3.2 Radiální plášť

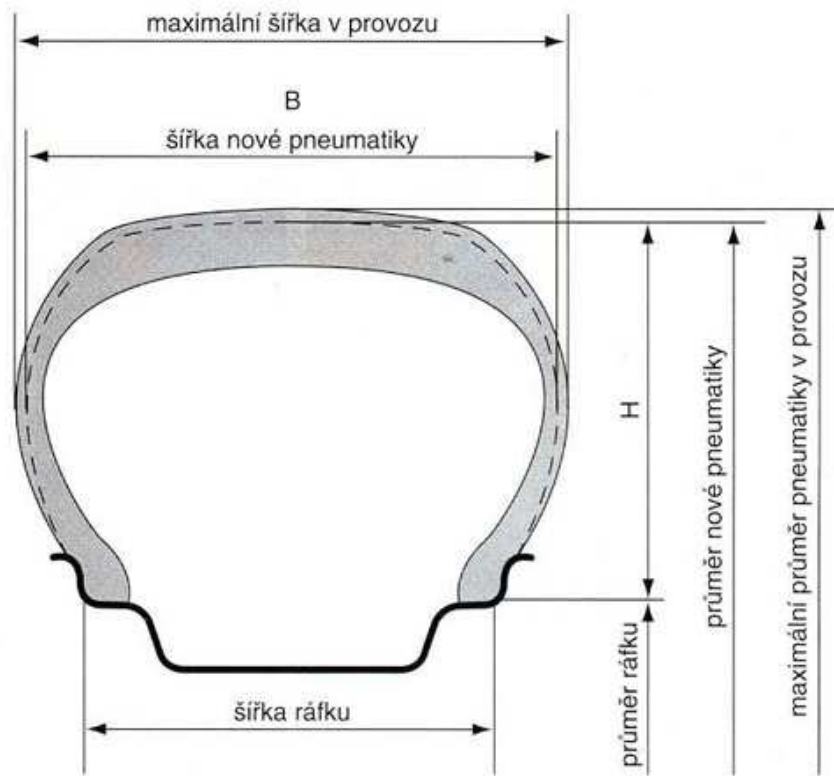
Má kostru tvořenou lichým nebo sudým počtem kordových vložek, které jsou uloženy k střední rovině běhounu pod úhlem  $84^\circ - 90^\circ$ . U nárazníků je úhel  $18^\circ - 28^\circ$ , pro nákladní plášť až po  $60^\circ$ .

**Výhody:** lepší záběr na vozovce, menší spotřeba pohonných hmot, širší plocha styku dezénu s vozovkou, vyšší odolnost proti smyku, pohodlnější jízda, nižší valivý odpor, kratší brzdná dráha.



Obr. 11 Konstrukce plášťů

## 2.4 Základní rozměry pneumatik



Obr. 12 Základní rozměry pneumatik

185/65 R 14 85 T

185 = jmenovitá šířka pneumatiky (mm)

65 = profilové číslo (%)

R = označení radiální konstrukce pláště

14 = jmenovitý průměr ráfku v palcích

85 = index nosnosti

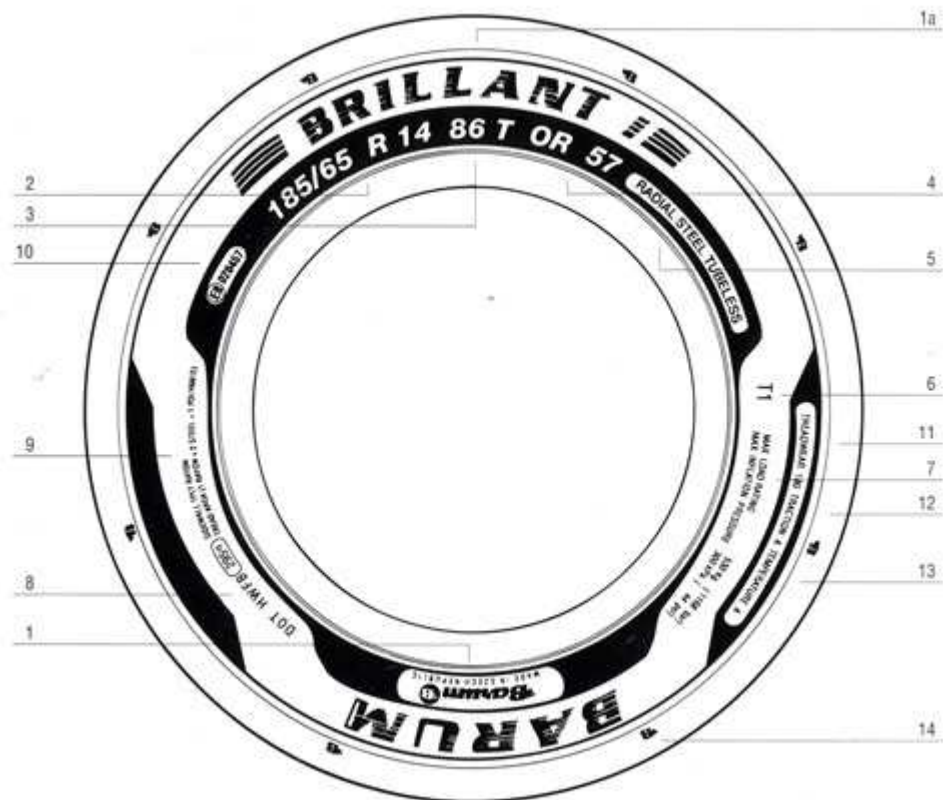
T = kategorie rychlosti

Tab. 1 Kategorie rychlosti (SS - Speed Symbol)

Symbol	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	H	V	W	ZR
Rychlost [km/h]	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	240	270	max.



## 2.5 Označování pláštů



Obr. 13 Popis bočnice pláště pro osobní automobily

- 1 - ochranná značka BARUM, název výrobce a jeho sídlo
- 1a - obchodní značení výrobku
- 2 - označení rozměru pláště
- 3 - 86 = index nosnosti, T = kategorie rychlosti
- 4 - označení dezénu pláště
- 5 - RADIAL - plášť s radiální konstrukcí kostry, STEEL - nárazník z ocelového kordu, TUBELESS - bezdušové provedení pláště (TUBE TYPE - provedení pláště s duší)
- 6 - T1 - označení a pořadové číslo formy
- 7 - nejvyšší nosnost pneumatiky v kg (lbs) a nejvyšší dovolené huštění pneumatiky v kPa (psi)

- 8 - DOT - Department of Transportation, HW - kód výrobce (Barum Continental, s.r.o.) FB  
- kód rozměru (185/65 R 14), 295 = 29 –týden, 5 – rok, dekáda 1990-1999
- 9 - materiál kostry pláště a skutečný počet vložek v oblasti boku a běhounu  
- v boku pláště SIDEWALL 1PLY RAYON  
- v koruny pláště TREAD AREA
- 10 - E8 = homologační znak a číslo země (ČR) podle EHK 30, 020457 = přidělené schvalovací číslo
- 11 - odolnost běhounu proti opotřebení v procentech
- 12 - velikost součinitele adheze A, B, C
- 13 - odolnost proti dynamické únavě A, B, C
- 14 - indikátory opotřebení (Tread Wear Indicators - TWI). [4]

### 3 KONFEKCE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

Konfekce pláštěů je výrobní proces, při kterém kompletováním jednotlivých, přesně specifikovaných polotovarů za přítomnosti médií konfekčního stroje, řádně zaškolené a zapracované obsluhy je zhotovený surový plášť.

Konfekce má velmi velký vliv na výslednou kvalitu pláště. Z toho důvodu je přesně popsána a řízená následujícími předpisy:

- výrobní předpis výrobku – přesně popisuje materiálové složení pláště (šířky, hloubky, délky, výměry jednotlivých polotovarů, konstrukce použitých výstužných materiálů...)
- konfekční a zařadovací předpis – přesně definuje pořadí a polohu pokládání polotovarů na konfekční buben a nastavení konfekčního stroje resp. konfekční linky
- pracovní instrukce – přesně stanovuje jednotný pracovní postup při jednotlivých operacích konfekce pláště
- návod na obsluhu konfekčního stroje a bezpečnostní předpis

Všechny tyto řídicí předpisy musí být přesné, výstižné a srozumitelné.

Z hlediska konstrukce pláštěů můžeme konfekci rozdělit na:

- diagonální – konfekce pláštěů s diagonální konstrukcí
- radiální – konfekce pláštěů s radiální konstrukcí

Z hlediska druhu použití pláště rozeznáváme konfekci pláštěů pro:

- osobní automobily
- nákladní a užitkové automobily
- speciální vozidla
- traktory
- motocykly
- jízdní kola a vozíky

### 3.1 Konfekce diagonálních pláštů

Při konfekci diagonálního pláště jsou jednotlivé kostrové vložky ukládané na konfekční buben tak, že následující vložka má vždy opačný sklon kordových nití, čímž se zvyšuje odolnost pláště proti mechanickému poškození.

Výsledkem konfekce je surový diagonální plášť válcovitého tvaru, který se následně v procesu vulkanizace tvaruje ve vulkanizační formě za působení teploty a tlaku.



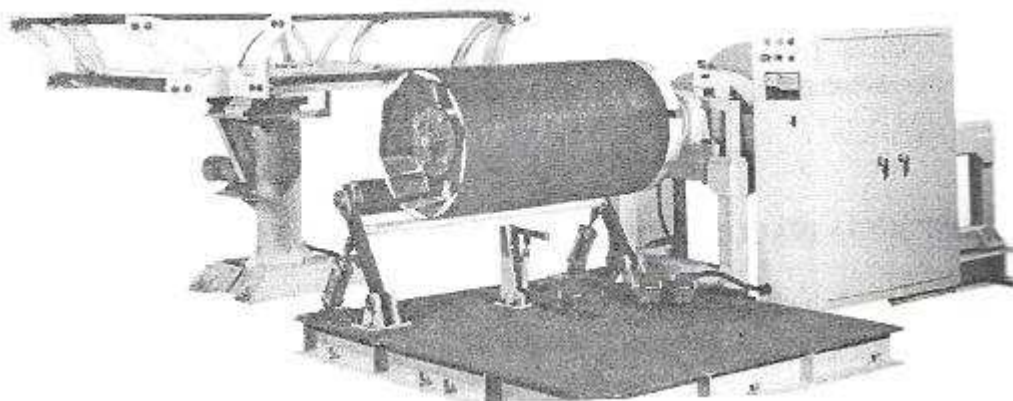
*Obr. 14 Surový diagonální plášť*

Konfekci diagonálních pláštů můžeme podle technologie výroby rozdělit:

- technologie výroby z obalů
- technologie výroby z kordových vložek

#### 3.1.1 Technologie výroby diagonálních pláštů z obalů

Při konfekci z obalů se obaly (skupiny kostrových vložek mezi lany) připravují na speciálních strojích (lepičkách). Jsou to jednoduché stroje s bubnem, zásobníkem a přítlačným válcem.



*Obr. 15 Lepička obalů*

Takto připravené obaly jsou, po složení z lepičky a přenesení, natahované pomocí kovové tyče na buben hlavního konfekčního stroje, přičemž průměr obalu je vždy menší než průměr bubnu. Při tomto procesu je velké riziko a často dochází k nežádoucí deformaci části kordových nití. Počet obalů je stanovený konfekčním předpisem, závisí od počtu vložek a počtu lan v patce. Konfekční stroje pro výrobu pláštíků z obalů nemají zásobník kordových vložek.

V současnosti se obalová technologie už prakticky nepoužívá a je stále víc nahrazována technologií výroby z vložek.

### 3.1.2 Technologie výroby diagonálních pláštíků z kordových vložek

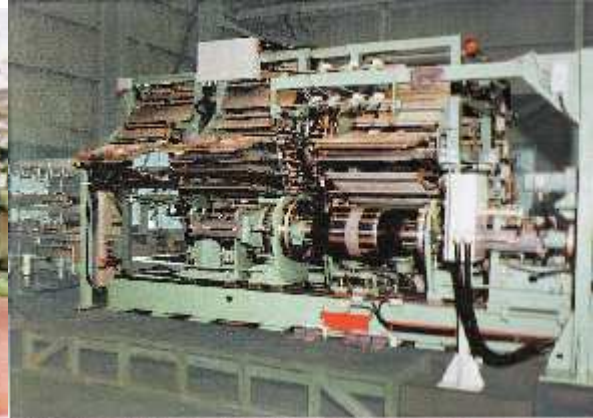
Plášť je konfekčně zhotovený na jednom konfekčním stroji. Jednotlivé kostrové kordové vložky jsou postupně odvíjené ze zásobníku konfekčního stroje a ukládané na konfekční buben. Po položení předepsaného počtu vložek jsou nosiči patkových lan přitlačené patkové lana k patkové části konfekčního bubnu a přehýbací mechanismus přehne volné okraje kostrových vložek okolo patkových lan (u pláštíků se dvěma lany v patce se tato operace opakuje). Takto připravená kostra je za současného otáčivého pohybu konfekčního bubnu okolo svojí osy přitlačována na konfekční buben profilovanými zavalovacími kladkami a je na ni postupně naložený předepsaný počet nárazníkových vložek, běhoun, ochrana patky a bočnice. Takto zkompletovaný plášť je opět zaválený. Po sklopení konfekčního bubnu je plášť odebraný ze stroje a uložený do určeného místa nebo na dopravník pro další zpracování.

Konfekční stroj pro diagonální konfekci z vložek má tyto hlavní části:

- rám konfekčního stroje
- sklopný konfekční buben s brzdou (polokulatý, poloplochý, plochý)
- nosiče lan s pružinovým mechanismem pro jejich narážení, přehýbání a zalisování okrajů kordových kostrových vložek
- zásobník s dvojčívkami pro kordové vložky
- zavalovací zařízení – spodní a zadní
- pohonná jednotka s motorem
- nakládač běhounu
- shazovací zařízení
- časové spínací zařízení



Obr. 16 Konfekční stroj KLD 20



Obr. 17 Konfekční stroj fy MITSUBISHI

### 3.2 Konfekce radiálních pláštů

Tento způsob se používá u většiny druhů pláštů, zejména pro osobní a nákladní automobily. Důvodem je dokonalejší využití konstrukčních materiálů obsahujících ocelové kordy, dosažení lepších jízdních vlastností a vyšší bezpečnosti pneumatik.

Podle technologické výroby můžeme konfekci radiálních pláštů rozdělit na:

- dvojestupňová konfekce
- jednostupňová konfekce
- konfekce na velkokapacitních vícebubnových konfekčních linkách

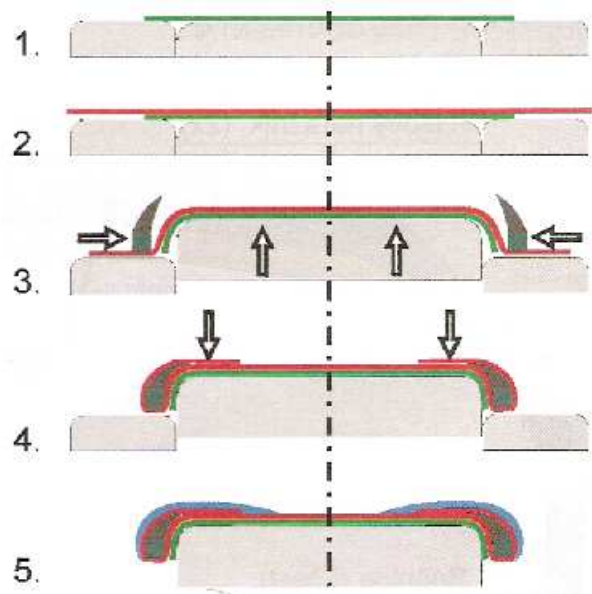
#### 3.2.1 Dvojestupňová konfekce radiálních pláštů

Její princip spočívá v tom, že surový plášť je zhotovený ve dvou stupních na dvou konfekčních strojích:

**1. stupeň konfekce** – zhotovení textilní kostry na konfekčním stroji s pevným, sklopným konfekčním bubnem. Technologie výroby 1. stupně radiálního pláště je téměř shodná s technologií výroby kostry diagonálního pláště, s tím rozdílem, že v patkové oblasti radiálního pláště je použitých víc polotovarů a kostrové vložky jsou ukládány na konfekční buben pod úhlem  $90^\circ \pm 5^\circ$  bez textilních nárazníků.

**Konfekce I. stupně zahrnuje tyto operace:**

0. uložení lan do narážečů
1. navinutí vnitřní gumy
2. navinutí nosných textilních kordů
3. naražení lan
4. přehnutí okrajů kordů přes lana
5. uložení bočnic
6. celkové zaválení polotovaru
7. sejmutí kostry, kontrola



*Obr. 18 Operace I. Stupně*

Připravená kostra má válcový tvar (obr. 19) a po složení z konfekčního bubnu se převáží ke konfekčnímu stroji 2. stupně.

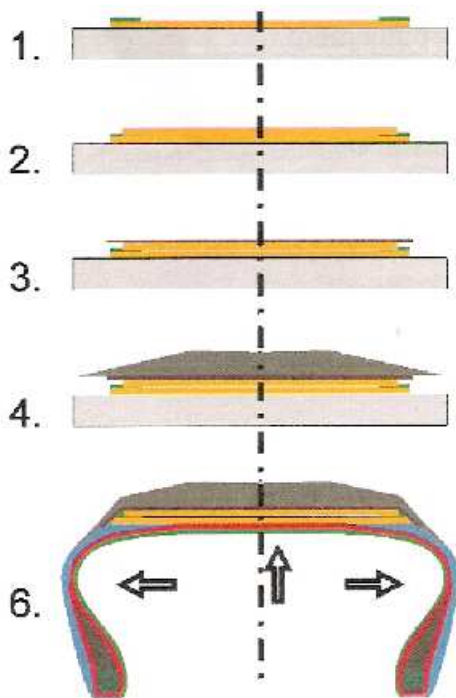


*Obr. 19 Radiální plášť - 1. stupeň*

**2. stupeň konfekce** – kostra je upevněná v patkách na konfekční buben. Přiblížením patek, za současného vydutí do požadovaného průměru, je vytvarovaná pro naložení a zaválení ocelokordových nárazníků a běhounu.

Tento postup je nutný proto, že tvar podobný diagonální konfekci by nebylo možné použít, neboť tuhý výstužný pás by neumožnil další vydutí pláště při lisování a došlo by k destrukci kostry, případně pásu, a tím k poškození nebo zničení pláště.

Konfekce II. stupně zahrnuje tyto operace:



0. usazení kostry do disků konfekčního bubnu
1. položení 1. nárazníku na pomocný konfekční buben
2. položení 2. nárazníku
3. navinutí (položení) PAD nárazníku
4. položení běhounu na nárazníkový prstenec
5. přenesení prstence na přetvarovanou kostru
6. dotvarování kostry a celkové zaválení
7. sejmutí zhotoveného pláště, důkladná kontrola

Obr. 20 Operace II. Stupně

Hotový surový plášť je složený z konfekčního bubnu a uložený do odbíracího místa.

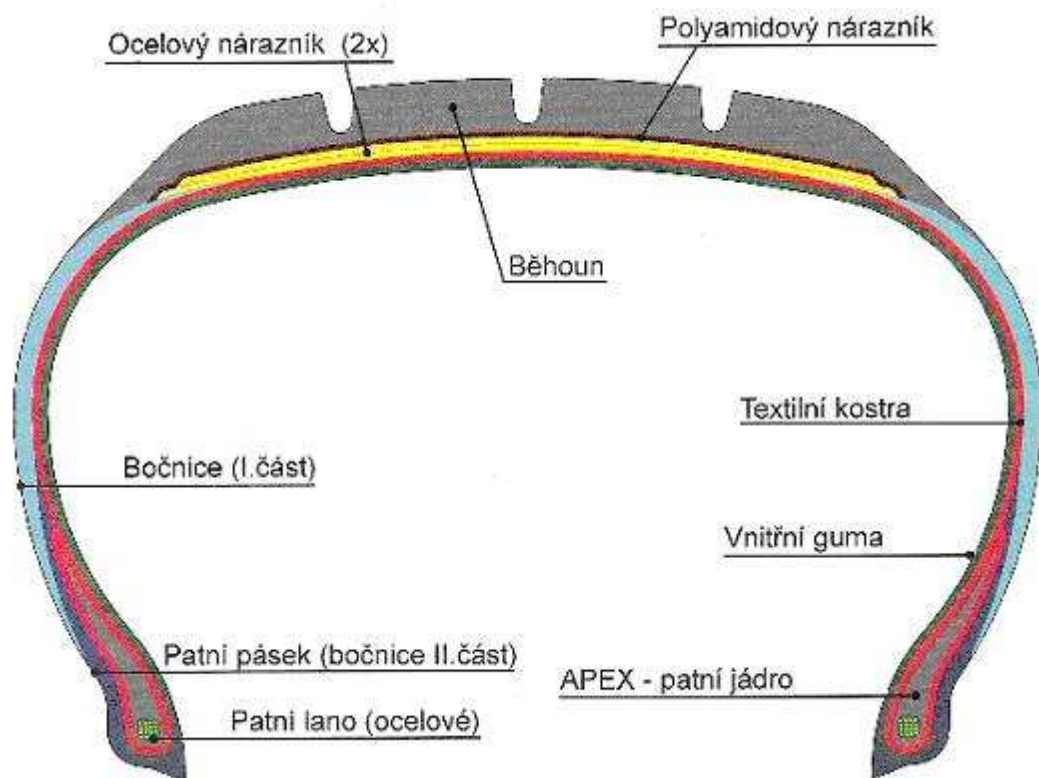


Obr. 21 Surové pláště uložené ve skladu

Pláště lze dle konstrukce rozdělit do několika skupin:

- dle počtu textilních kordových vložek – jednosložkové, dvousložkové
- dle dezénu a použité běhounové směsi – zimní, letní, speciální
- dle profilového čísla – poměr výšky profilu pláště k šířce profilu násobeným 100x
- dle kategorie rychlosti – L, M, N, P, Q, R, S, T, H, V, W, ZR, Y
- dle nosnosti – běžné provedení, zesílené provedení





Obr. 22 Řez radiálním pláštěm

### 3.2.2 Jednostupňová konfekce radiálních pláštů

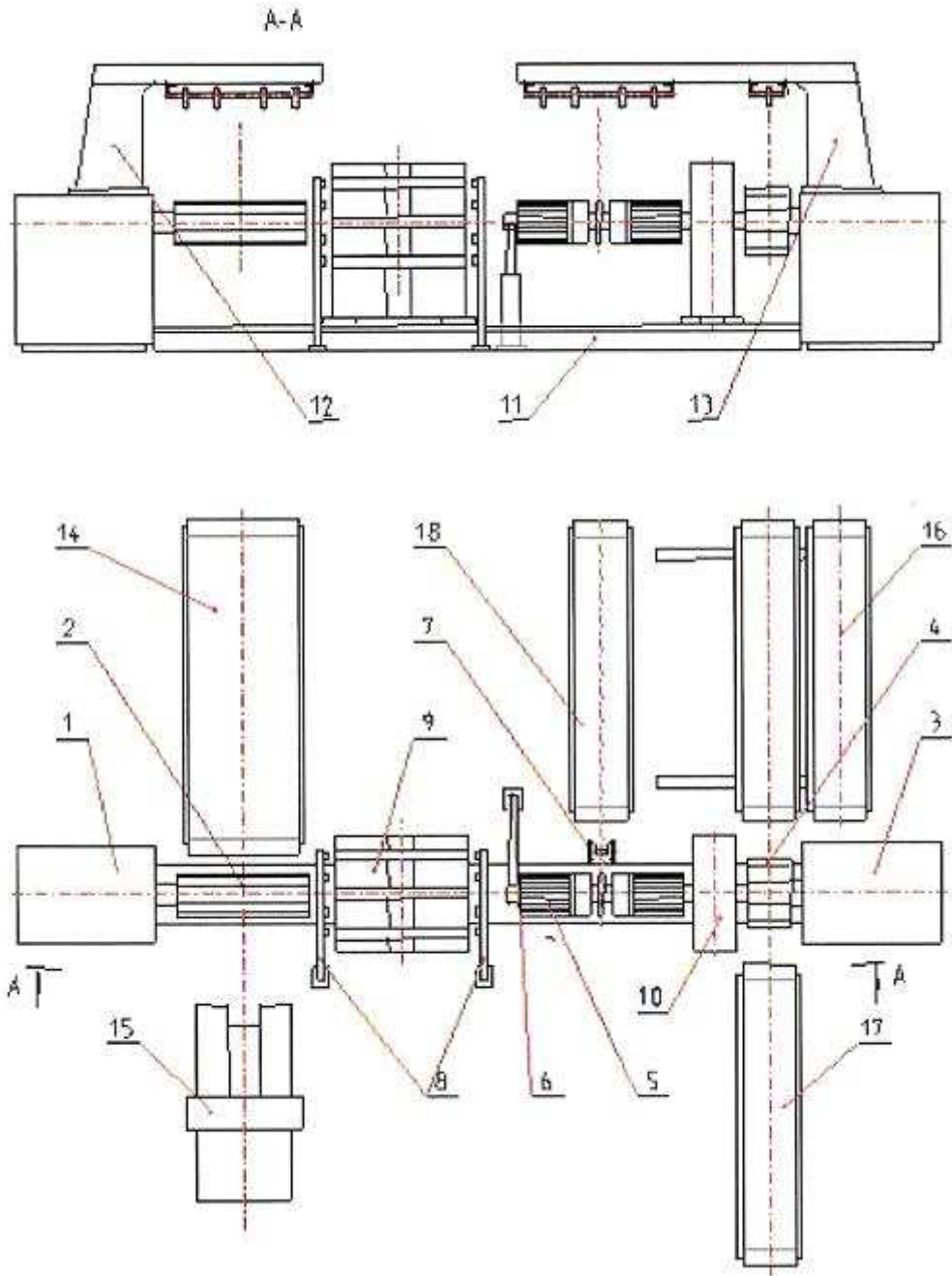
Její princip spočívá v tom, že surový plášť je zhotovený na jednom konfekčním stroji, na jednom konfekčním bubnu, který je pevný, ale dokáže vytvarovat kostru pláště při naložení nárazníků a běhounu.

Zhotovení surového radiálního pláště při jednostupňové konfekci představuje postup stejných hlavních operací jako při dvoustupňové konfekci, ale vykonává se na jednom stroji.

### 3.2.3 Konfekce pláštů na velkokapacitních vícebubnových konfekčních linkách

V současnosti se velmi často využívá technologie výroby radiálních pláštů na velkokapacitních, vícepozičních konfekčních linkách.

Konfekční linky jsou vybavené vícerymi konfekčními bubny, na kterých se v tom též čase vykonávají vícere operace v poloautomatickém nebo v automatickém režimu. Mezi jednotlivými operacemi se zhotovují části pláště přepravované transferringami. V linkách je víc pláštů rozpracovaných souběžně.



Obr. 23 Schéma trojbubnového konfekčního stroje

Popis trojbubnového konfekčního stroje:

1 – skříň pohonu kostrového bubnu, 2 – kostrový konfekční buben, 3 – skříň pohonu kompletačního a nárazníkového bubnu, 4 – nárazníkový konfekční buben, 5 – kompletační konfekční buben, 6 – podpěra kompletačního bubnu, 7 – zavalovací zařízení, 8 – zakladač lan, 9 – transferring kostrového obalu, 10 – transferring nárazníkového obalu, 11 – vedení transferringů, 12, 13 – nosiče projektorů, 14 – zásobník kostry, 15 – zásobník bočnic, 16 – zásobník nárazníků, 17 – nakladač běhounu, 18 – zásobník ramenné výplně [4]

## 4 ZKOUŠKY PNEUMATIK

Zkušebnictví jako v každém odvětví průmyslové výroby má mimořádný význam pro hodnocení kvality a vlastností výrobku. Je důležitou pomůckou konstruktéra a chemika pracujících na vývoji pneumatik a je jedním z kritérií kvality pro hodnocení kvality při přejímání zboží v obchodě s pneumatikami. [4]

Zkoušky pneumatik se provádějí u nově konstruovaných pneumatik, u pneumatik, u nichž byly provedeny různé změny nutné z hlediska výroby (změna některé suroviny), u sériově vyráběných pneumatik pro ověření jejich jakosti. Zkouškami se ověřuje, zda pneumatika vyhovuje požadavkům, které se na ní kladou v praktickém provozu. Z těchto zkoušek jsou nejvýznamnější zkoušky silniční, které však mají nevýhodu, že poměrně dlouho trvají a jsou značně nákladné. Proto se pevnost a soudržnost kostry zjišťuje dalšími zkouškami, podle kterých je možno si učinit obraz o jakosti pneumatiky. [5]

### 4.1 Rozdělení zkušebnictví

Požadavky na zkušebnictví pneumatik jsou různého charakteru podle účelu použití. Např. konstruktéra pneumatik zajímá vliv jednotlivých konstrukčních parametrů na pevnost, životnost, nosnost, teplotu, stabilitu pneumatik, chemika zajímá např. životnost z hlediska použití různých druhů kaučuků, sazí a jiných plniv, kordových vláken atd.

Zkoušky pneumatik je možno rozdělit na tři skupiny: laboratorní, provozní a speciální, zahrnující vztahy mezi pneumatikou a vozidlem.

Mezi nejdůležitější laboratorní zkoušky patří:

Zkouška únavy nebo trvanlivosti na bubnové zkušebně, růst teplot nebo zahřívání, statická a dynamická pevnost kostry, patky a lan, stanovení deformačních charakteristik a tlaků ve stopě pneumatiky, měření valivých odporů a určení charakteristik stability pneumatik. Do zvláštních druhů laboratorních zkoušek je možno zahrnout studie práce desénu pneumatiky nebo zkoušky silové vazby pneumatiky s vozovkou a zkoušky pneumatik za vysokých rychlostí.

Provozní zkoušky představují sledování průběhu úbytku hloubky drážky desénu nebo váhy běhounu, životnosti kostry pneumatiky a jejích elementů při jízdě pneumatiky na vozovce.

Dělí se na usilovné, které se konají za přesně kontrolovaných provozních podmínek, kdy vozidlo jezdí samoúčelně s neměnným nákladem (např. je zatíženo pískem) obvykle po stále stejné trati (zkušební okruhu), a na zkoušky v normálním provozu za nekontrolovatelných podmínek u různých podniků. U těchto zkoušek, které vyžadují poměrně velké množství zkušebních pneumatik, jsou sledovány i vlivy různých provozních podmínek (dálkový, terénní, těžký, velmi těžký provoz apod.). Usilovné zkoušky se provádějí obvykle ve výzkumných střediscích, vyžadují minimální množství zkušebních pneumatik a poskytují velmi rychle přesné výsledky.

Do speciálních zkoušek pneumatik, prováděných na vozidle, je možno zahrnout např. zkoušky brzdných a akceleračních vlastností (zjišťuje se obvykle na mokřích nebo zledovatělých vozovkách), záběrové a tahové zkoušky terénních a traktorových pneumatik i pneumatik pro zemní práce (pro provoz v písku, sněhu atd.), zkoušky skluzových a vodičích vlastností pneumatik, určujících schopnost pneumatiky přenášet příčné síly při jízdě vozidla zatáčkou. Do této skupiny je možno zahrnout i zkoušky měření ztrát pneumatiky při odvalování, vliv pneumatiky na spotřebu paliva zkušebního vozidla, zkoušky pružících vlastností pneumatiky ve vztahu k vypružení vozidla (např. přejezd překážky), apod. Některé z těchto zkoušek provádějí též výrobci automobilů a vozidel. [4]

## 4.2 Zkušební metody

### 4.2.1 Zkouška únavy pneumatik

Při této zkoušce je otočně uložená pneumatika přitlačována zvoleným zatížením k poháněnému rotujícímu válci obvykle o obvodu 5 m. Povrch válce je opatřen nejčastěji třemi smontovatelnými překážkami vysokými 20 mm, z nichž dvě jsou skloněny po úhlem 45° a jedna je umístěna příčně. Někdy se používá i hladkého povrchu válce. Pneumatika musí absolvovat předepsaný kilometrový výkon. Dále se zjišťuje odolnost pláště proti separacím, prolamování kordů a dynamická pevnost patky pláště. [6]

### 4.2.2 Zkoušky na zkušebně

Zkoušky ve zkušebně mají proti silničním zkouškám výhodu, že probíhají pod přímým a neustálým dohledem. Pro posouzení automobilového pláště se používají tyto jednotlivé zkoušky:

- zkouška vyvážení (statická),
- zkouška rozměrů,
- zkouška tvrdosti,
- zkouška trvanlivosti,
- zkouška trnem,
- zkouška odírání,
- zkouška soudržnosti,
- zkouška kostry,
- zkouška tahem,
- zkouška stárnutí.

Pneumatika jako celek se zkouší pouze ve čtyřech případech (zkouška vyvážení, rozměrů, trvanlivosti a zkouška trnem). Ostatní zkoušky mají spíše význam pro posouzení dokonalosti výrobního postupu. [8]

#### **4.2.3 Tlaková zkouška**

Pevnost kostry se zjišťuje zkouškou pneumatiky na roztržení hydraulickým tlakem. Pneumatika se umístí do vhodného zařízení, jehož součástí je zesílený ráfek, jenž musí být pevnější než zkoušená pneumatika. Jinak se ráfek rozletí dříve než pneumatika. Na ventil duše se připojí tlaková hadice a pumpou se v pneumatice zvyšuje tlak vody. Na manometru se sleduje počet atmosfér potřebných k roztržení pneumatiky. Tlak se zvyšuje tak dlouho, dokud pneumatika nepraskne. Výsledná hodnota charakterizuje pevnost kostry. Tlak na roztržení vždy závisí na rozměru pneumatiky a velikosti ráfku.

#### **4.2.4 Nárazová zkouška**

Odolnost kostry proti průrazům se zjišťuje na zvláštním zkušebním zařízení. Pneumatika se namontuje na ráfek kola upevněného v náboji pohyblivého vozíku, klouže shora dolů po vedení frémy.

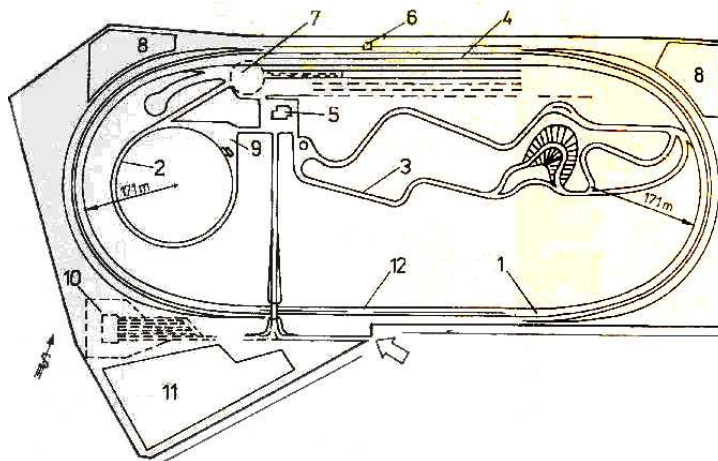
Vozík s pláštěm se zvedne do určité výšky a nechá se volně spadnout, při čemž při dopadu narazí na kovový trn. Váha vozíku se může podle potřeby zvětšovat přidavným závažím.

Tímto způsobem při známé váze padající soustavy dostaneme sílu potřebnou k proražení pneumatiky. Při zkoušení se pneumatika otáčí, aby údery zasáhly různé části jejího povrchu.

Podle rozměru a konstrukce pneumatiky se tak může určit energie úderu, kterou musí pneumatika vydržet. [5]

#### 4.2.5 Silniční zkoušky

Nejvhodnějším způsobem pro zjišťování kvalit a schopností pneumatiky jsou zkoušky v podmínkách jejího budoucího využití. Tyto zkoušky nazýváme souhrnně silniční zkoušky. Existuje řada metod pro provádění silničních zkoušek. Každou z nich ovlivňuje řada faktorů, jejichž změna může negativně ovlivnit přesnost naměřených výsledků. Mezi takovéto faktory patří např. vliv lidského faktoru, teplota vzduchu a vozovky, stav povrchu vozovky, působení povětrnostních podmínek, typ zkušebního vozidla, zatížení pneumatik nebo geografický tvar povrchu zkušebního úseku. Aby došlo k eliminaci působení většiny faktorů na výsledky zkoušek, provádí se tzv. porovnávací zkoušky, které jsou prováděny na speciálně vybudovaných zkušebních drahách (polygonech), nebo v běžném provozu za použití jednoho typu zkušebního vozidla řízeného vyškolenými řidiči.



Obr. 24 Testovací polygon pneumatik (Continental Hannover)

Části zkušebního polygonu: 1 - rychlostní okruh v délce asi 3000 metrů, 2 - kruhová plocha o průměru 200 metrů, 3 - zatáčkový okruh o délce asi 2000 metrů, 4 - speciální vozovky s různými druhy povrchů (asfalt, beton, dlažba, velké nerovnosti, mokrá dráha), 5 - měřicí laboratoř, 6 - podzemní laboratoř pro zkoušky pasivní bezpečnosti, 7 - kruhová plocha sloužící k provádění zkoušek na sesmeknutí bezdušových pneumatik při extrémní jízdě, 8 - bažinaté úseky, 9 - úsek s tekoucí vodou s výškou vodní vrstvy 6 mm a vodní nádrž s výškou vodní vrstvy 15 až 30 mm pro zkoušky akvaplaningu, 10 - úseky s velkým stoupáním, 11 - hluboká vodní nádrž, 12 - úsek pro měření jízdního pohodlí

Mezi nejpoužívanější silniční zkoušky patří zkouška životnosti pneumatiky; jízdní zkoušky na suchých, mokřích, zasněžených a zledovatělých vozovkách, při kterých se pneumatiky zkouší na ovladatelnost, brzdění, akvaplaning a průjezd zatačkou; zkouška vnějšího hluku; zkouška valivého odporu a zkouška komfortu valení pneumatiky. [19]

#### 4.2.6 Zkoušky opotřebení

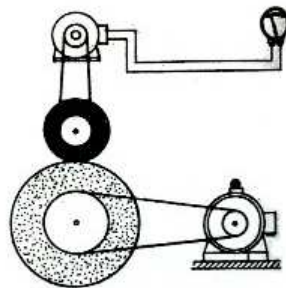
Zkouškami opotřebení se zjišťuje odolnost různých materiálů vůči odírání a rozumí se tím změna povrchu materiálu a jeho úbytek v závislosti na podmínkách, při kterých jsou zkoušky opotřebení prováděny. Odolnost vzorku zkoušeného materiálu proti odírání se porovnává se standardem a dle ČSN je odstupňována 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 duPont s konstantním třením, Akron-Croydon a Dunlop-Lambourn. [18]

##### 4.2.6.1 Metoda Dunlop – Lambourn

Zkušební těleso (dutý kotouč) má rozměry: vnější průměr 64 mm, vnitřní průměr 43,6 mm a tloušťku 10 mm. Těleso se otáčí rychlostí 600 ot/min. Na zkušební těleso je přitlačován korundový kotouč se samostatným pohonem. V místě styku vzniká vlivem rozdílných otáček prokluz (u běžných zkoušek 16%). Korundový kotouč se při zkoušce čistí žíněným kartáčem a tlakovým vzduchem.

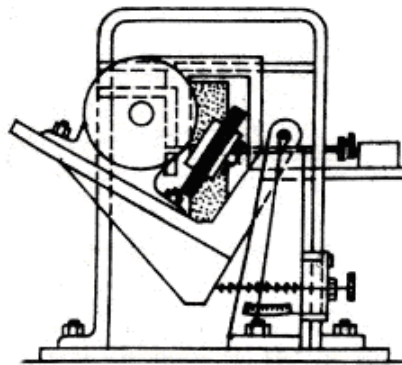
Postup zkoušky: 1. zkouška tělesa ze standardní pryže, 2. dvě zkušební tělesa zkoušené pryže a 3. opět těleso standardní pryže. Vlastnímu zkoušení předchází přebrušování. Odolnost proti odírání se udává v objemovém úbytku na jeden kilometr dráhy.



Obr. 25 Dunlop-Lambourn

#### 4.2.6.2 Metoda Akron-Croydon

Zkušebním tělesem je dutý kotouč vnějšího průměru 64 mm a tloušťky 12,7 mm. Vnitřní průměr je 43,6 mm. Přípravuje se lisováním. Zkušební těleso, které se nasune na hřídel přístroje, se otáčí rychlostí 250 otáček za minutu. Na ně je tlačěn pod úhlem  $15^\circ$  karborundový kotouč tlakem asi 0,28 MPa. Částičky pryže, vzniklé při odírání, se odstraňují žíněným kartáčkem. Při zkoušení se postupuje tak, že nejprve se zkouší těleso standardní pryže, potom dvě tělesa zkoušené pryže a nakonec opět těleso ze standardní pryže. Odolnost proti opotřebení se udává jako objemový úbytek za stanovený počet obrátek. [23]

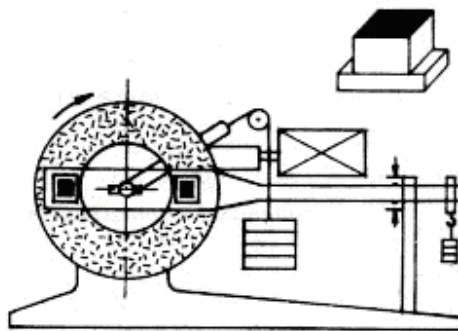


Obr. 26 Příklad přístroje – Akron-Croydon

#### 4.2.6.3 Metoda du Pont s konstantním třením

Tato zkouška je založena na stejném principu jako metoda du Pont - Grasselli.

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. [23]



Obr. 27 Příklad přístroje ke zkoušení oděru du Pont



## **II. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Cílem diplomové práce je provést měření opotřebení pryžových dílů, zejména velmi namáhaných částí pneumatiky (běhounů) pracujících ve velmi náročných terénních podmínkách.

Výsledky testů je nutné porovnat s mechanickými vlastnostmi směsí a nalézt souvislosti využitelné pro praktické posuzování opotřebitelnosti pneumatik.

Postup řešení:

- vypracovat literární studii na dané téma
- příprava zkušebních vzorků z vybraných typů běhounových směsí
- provedení rychlého testu opotřebení
- vyhodnocení naměřených výsledků

### **III. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro experimentální ověřování bylo vybráno 5 druhů gumárenských směsí určených pro běhouny silně namáhaných pláštů pracujících v těžkých podmínkách. Všechny směsi představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

Tab. 2 Označení směsí

Směs	Použití
A	Víceúčelové pneu
B	Motocross
C	Důlní stroje
D	Stavební stroje
E	Stavební stroje

### 5.1 Měřené vlastnosti

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

- Tahové zkoušky
- Modul 100, 200, 300
- Strukturní pevnost
- Tvrdost Shore
- Rychlý test opotřebení

Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byly připraveny lisováním na laboratorním lisu typ 400x400, pracovníky firmy Mitas ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám [20, 21, 22]

#### 5.1.1 Tahové zkoušky

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.

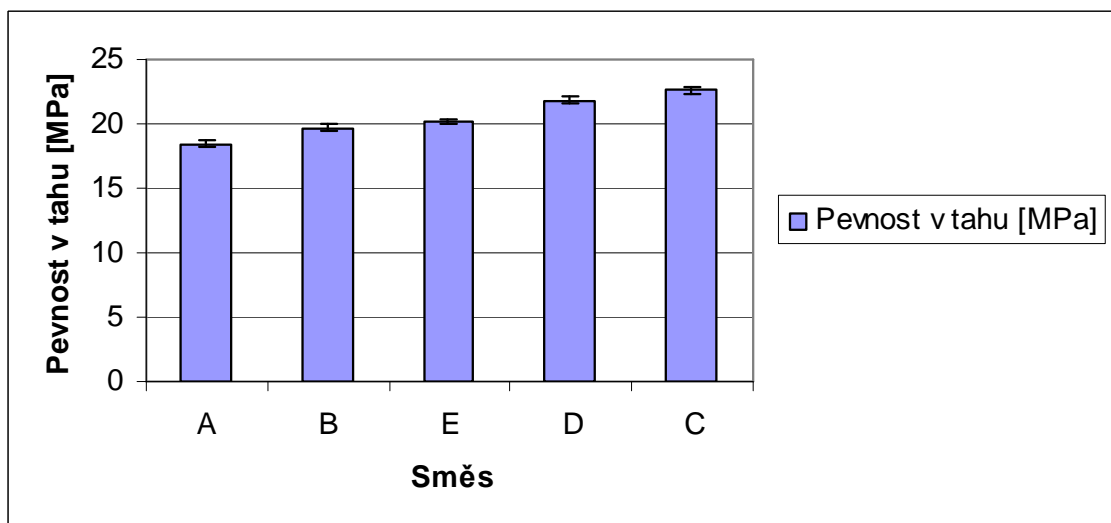
**Pevnost v tahu** - je definována jako maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování zkušební tělesa do okamžiku přetržení.

**Tažnost** - je tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení.

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

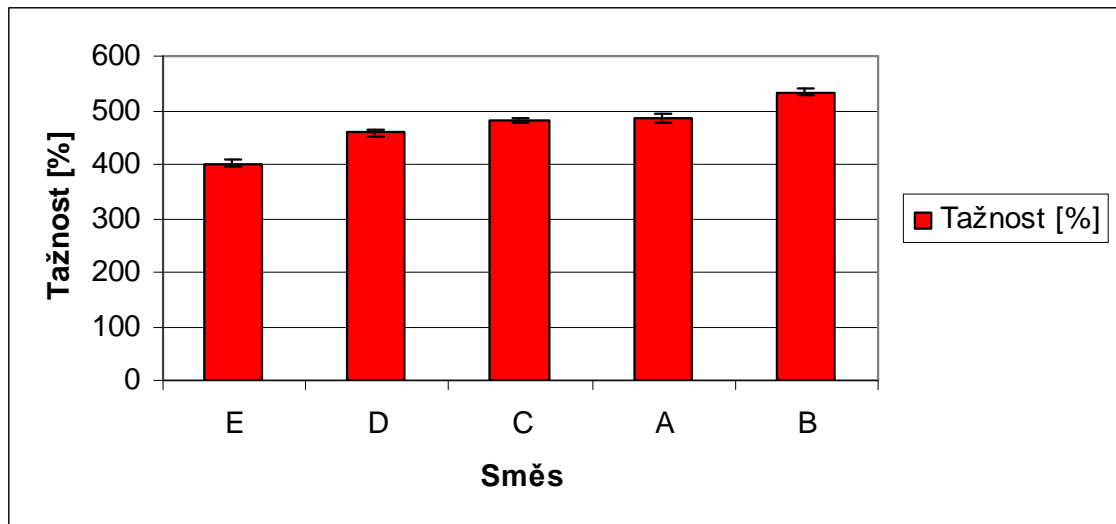
Tab. 3 Tahové zkoušky

Směs	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tahu [-]	SMCH	Tažnost [%]	Tažnost [-]	SMCH
A	18,476	0,816	0,242	485,690	0,912	8,299
B	19,673	0,869	0,275	532,841	1	7,285
C	22,637	1	0,246	480,210	0,901	5,717
D	21,848	0,965	0,285	458,586	0,861	6,351
E	20,237	0,894	0,183	401,407	0,753	5,038



Obr. 28 Porovnání pevnosti v tahu

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu byly zjištěny u směsi C. Hodnota pevnosti v tahu byla naměřena 22,64 MPa. Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u směsi A, jejichž velikost dosáhla hodnoty 18,48 MPa (obr. 28).



Obr. 29 Porovnání tažnosti

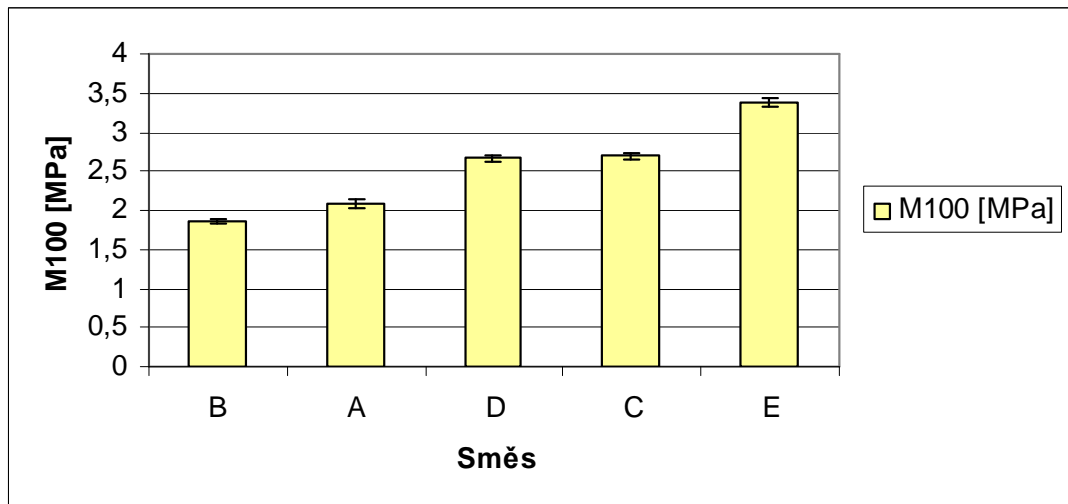
Při tahové zkoušce byla naměřena nejvyšší hodnota tažnosti 532,84 % u směsi B. Nejmenší hodnoty bylo dosaženo u směsi E. Hodnota tažnosti u směsi E byla naměřena 401,41 % (obr. 29).

### 5.1.2 Modul 100, 200, 300

*Modul* je poměrné napětí, při kterém se dosáhne určitého předem zvoleného prodloužení pracovní části zkušebního tělesa.

Tab. 4 M100

Směs	M100 [MPa]	M100 [-]	SMCH
A	2,086	0,615	0,052
B	1,851	0,545	0,024
C	2,691	0,793	0,040
D	2,673	0,788	0,044
E	3,394	1	0,057

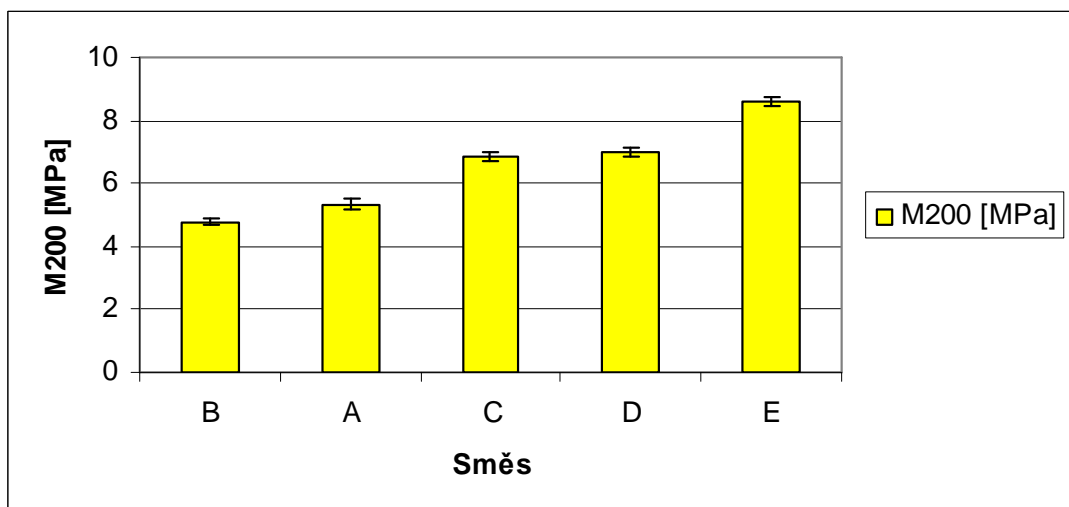


Obr. 30 Porovnání M100

Největší hodnota M100 byla naměřena u směsi E a to 3,39 MPa. Naopak nejmenší hodnota byla naměřena u směsi B. Hodnota M100 u směsi B je 1,85 MPa (obr. 30).

Tab. 5 M200

Směs	M200 [MPa]	M200 [-]	SMCH
A	5,348	0,621	0,157
B	4,772	0,554	0,096
C	6,844	0,794	0,123
D	6,998	0,812	0,127
E	8,616	1	0,146

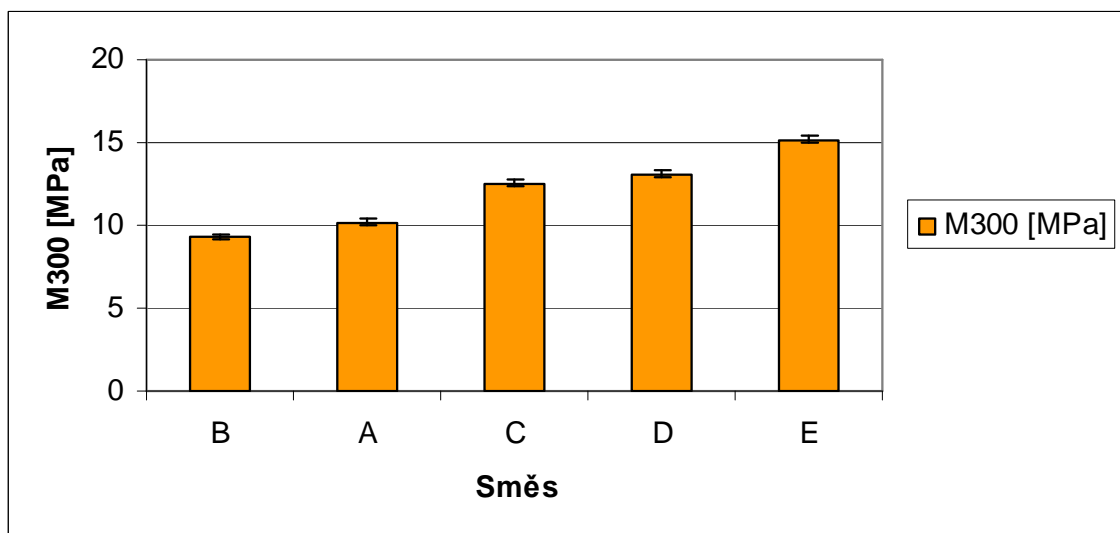


Obr. 31 Porovnání M200

Z obr. 31 je patrné, že při tahové zkoušce byla zjištěna nejvyšší hodnota M200 u směsi E a to 8,62 MPa. Naopak nejnižší zjištěná hodnota byla 4,77 MPa u směsi B.

Tab. 6 M300

Směs	M300 [MPa]	M300 [-]	SMCH
A	10,177	0,671	0,238
B	9,290	0,613	0,124
C	12,543	0,827	0,170
D	13,104	0,865	0,176
E	15,158	1	0,194



Obr. 32 Porovnání M300

Největší hodnota M300 byla naměřena u směsi E. Hodnota M300 byla naměřena 15,16 MPa. Naopak nejmenší hodnota byla naměřena u směsi B. Hodnota M300 u směsi B je 9,29 MPa (obr. 32).

### 5.1.3 Strukturní pevnost

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

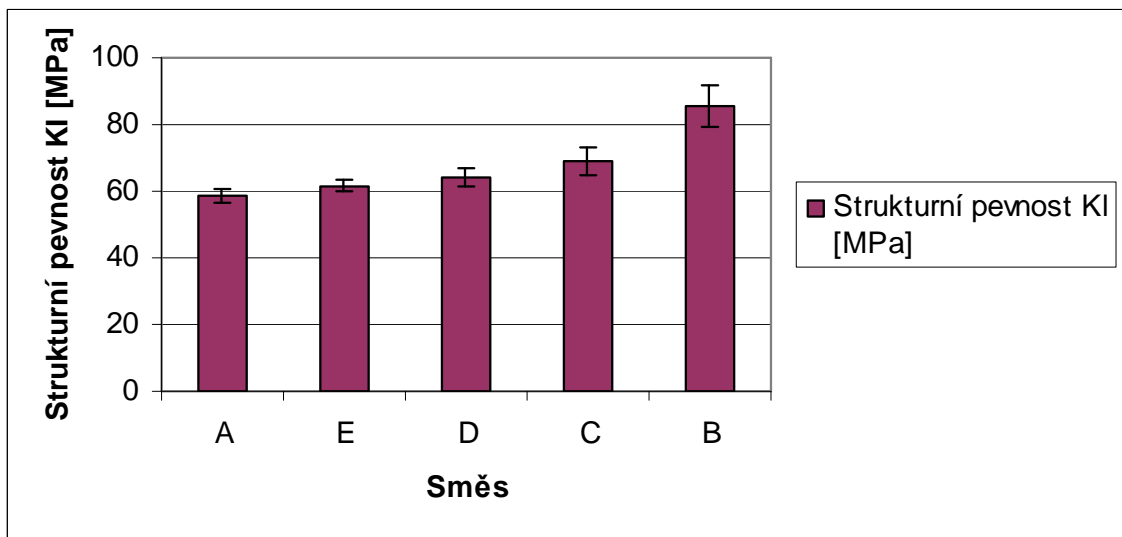


při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti  $500 \pm 50$  mm/min a zaznamenává se nejvyšší síla, která je potřebná k přetržení zkušebního tělesa.

Strukturní pevnost (Trouser) v N/mm je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa v mm .

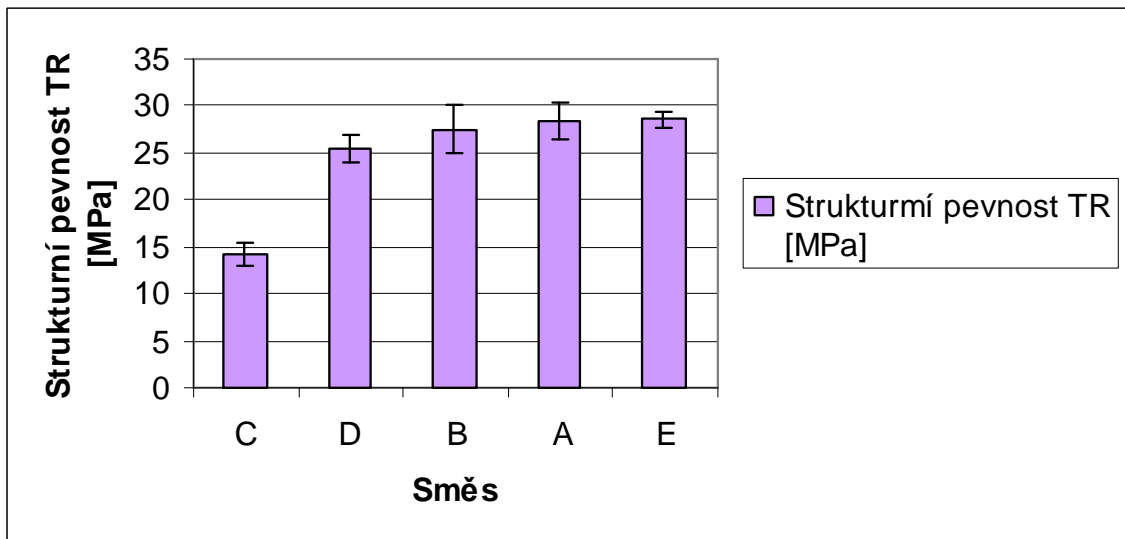
Tab. 7 Strukturní pevnost

Směs	Strukturní pevnost Kl [N/mm]	Strukturní pevnost Kl [-]	SMCH	Strukturní pevnost TR [N/mm]	Strukturní pevnost TR [-]	SMCH
A	58,584	0,685	1,989	28,413	0,996	2,045
B	85,535	1	6,000	27,509	0,964	2,534
C	68,731	0,804	4,087	14,223	0,499	1,226
D	64,173	0,750	2,494	25,532	0,895	1,506
E	61,611	0,720	1,939	28,531	1	0,838



Obr. 33 Porovnání strukturní pevnosti Kl

Z obr. 33 je patrné, že při zkoušce strukturní pevnosti (klasika) byla zjištěna nejvyšší hodnota u směsi B a to 85,54 N/mm. Naopak nejnižší zjištěná hodnota byla 58,58 N/mm u směsi A.



Obr. 34 Porovnání strukturální pevnosti TR

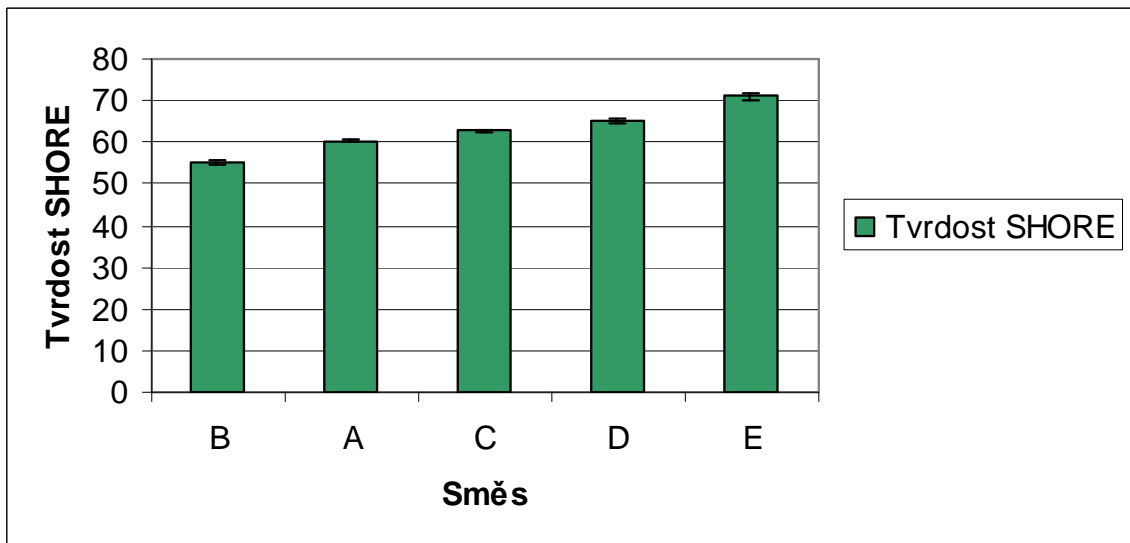
U zkoušky strukturální pevnosti (trouser) byla naměřena nejvyšší hodnota u směsi E. Hodnota strukturální pevnosti (trouser) byla 28,53 MPa. Nejmenší hodnota byla naopak naměřena u směsi C, kdy její hodnota dosáhla 14,22 MPa (obr. 34).

#### 5.1.4 Tvrdost Shore

Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušební hrotu vtlačovaného 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. 8 Tvrdost Shore

Směs	Tvrdost SHORE	Tvrdost SHORE [-]	SMCH
A	60,321	0,851	0,360
B	55,203	0,779	0,361
C	62,647	0,883	0,218
D	65,157	0,919	0,535
E	70,910	1	0,667



Obr. 35 Porovnání tvrdosti

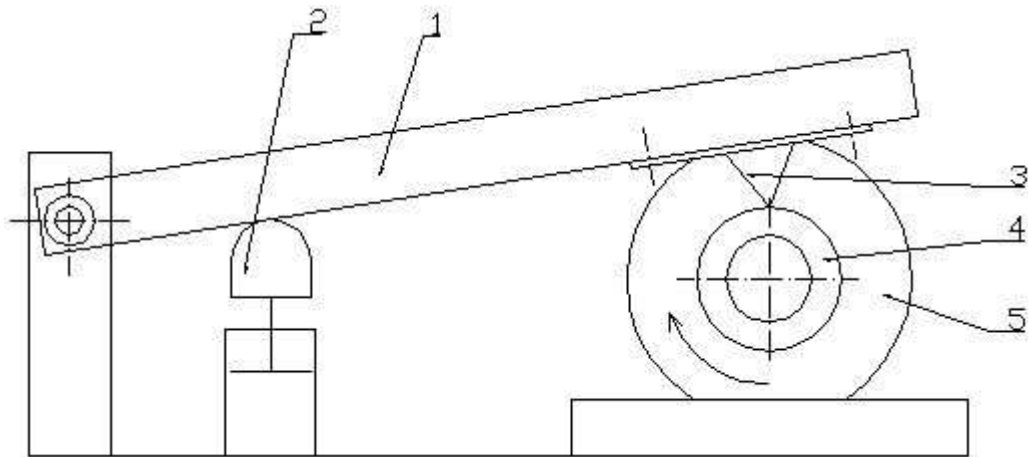
Při zkoušce tvrdosti byla naměřena nejvyšší hodnota tvrdosti u směsi E – 70,91 Shore A. Nejmenší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi B, kde její velikost byla naměřena 55,20 Shore A (obr. 35).

## 5.2 Test opotřebení

Test byl prováděn na přístroji na měření opotřebení pryžových dílů. Princip přístroje je znázorněn na obr. 36 .

Technické údaje přístroje jsou:

- |                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| - otáčky zkušebního tělesa           | 910 min <sup>-1</sup> |
| - frekvence dopadu keramického břitu | 1 Hz                  |
| - maximální zdvih keramického břitu  | 60 mm                 |
| - doba trvání experimentu            | 90 s                  |
| - způsob dopadu keramického břitu    | radiální              |



*Obr. 36 Schéma zařízení pro testování opotřebení*

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

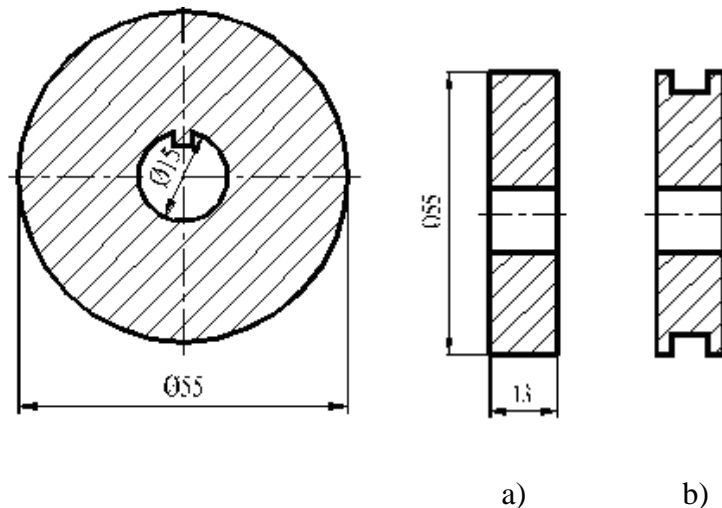
Rameno otočné okolo čepu je zvedáno zvedacím ústrojím (píst). Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn speciální keramický břit, na rotující kotouček (zkušební těleso) poháněné elektromotorem. Při dopadu na rotující kotouč břit postupně vyseká materiál a tvoří v kotoučku drážku. Velikost drážky zhotovena břitem za určitý čas je měřítkem opotřebení. [10]

### 5.2.1 Rozměry zkušebního tělesa

Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles (vzorků) byl navržen rozměr dle obr. 37.

V průběhu testu byla do zkušebního 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 charakteru obrábění a vlastnostem pryže, u které se výrazně projevil její elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vykousávání 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. [10]

**Rozměry zkušebního tělesa -  $\varnothing 55 \times 13$  mm**



Obr. 37 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení  
a) před zkouškou, b) po zkoušce

### 5.2.2 Analýza opotřebení

Na opotřebení bude mít 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 (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 s 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 experimentu byla 90s.

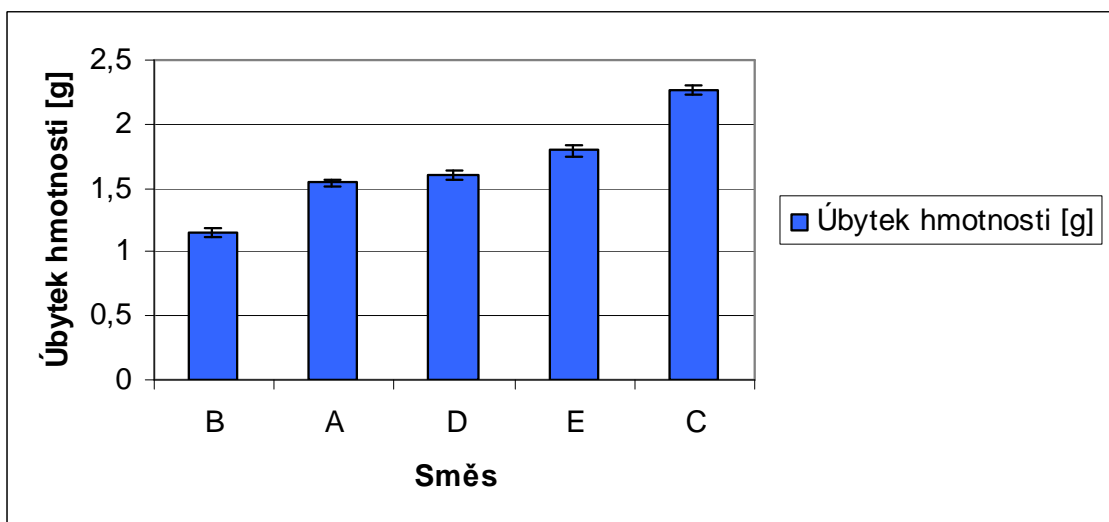
Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí stroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a uvedeno do rotace. Byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo použito třicet zkušebních těles zhotovených z jednotlivých směsí. Test byl

prováděn při třech různých zátěžích (standardní, nízká a vysoká). Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Zkoušky byly prováděny při dopadu keramického břitu na obvod zkušební tělesa v radiálním směru při dopadu keramického břitu, ze tří různých výšek (energie dopadu – standardní, vysoká a nízká zátěž). [4]

### Úbytek hmotnosti při standardní zátěži

Tab. 9 Úbytek hmotnosti

Směs	Úbytek hmotnosti [g]	Úbytek hmotnosti [-]	SMCH
A	1,540	0,677	0,034
B	1,151	0,506	0,031
C	2,274	1	0,036
D	1,602	0,705	0,029
E	1,790	0,787	0,048



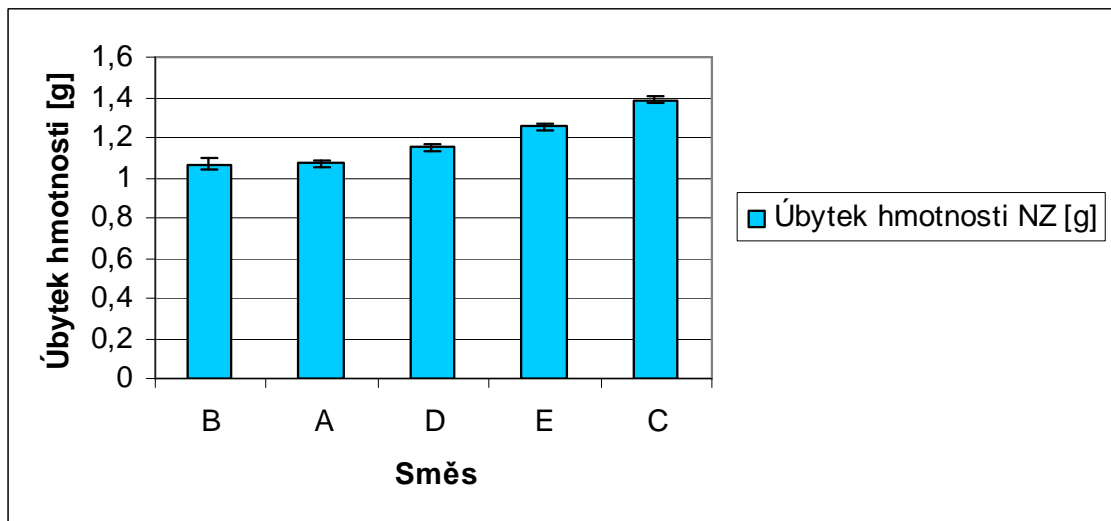
Obr. 38 Porovnání úbytku hmotnosti

Při rychlém testu opotřebení byla naměřena největší míra opotřebení u směsi C, kdy byl úbytek hmotnosti zjištěn 2,27 g. Naopak nejmenší úbytek hmotnosti a tím míra opotřebení byla zjištěna u směsi B, kdy úbytek hmotnosti dosáhl hodnoty 1,15 g (obr. 38).

## Úbytek hmotnosti při nízké zátěži

Tab. 10 Úbytek hmotnosti – nízká zátěž

Směs	Úbytek hmotnosti NZ [g]	Úbytek hmotnosti NZ [-]	SMCH
A	1,069	0,771	0,017
B	1,065	0,768	0,027
C	1,387	1	0,019
D	1,153	0,832	0,018
E	1,255	0,905	0,020



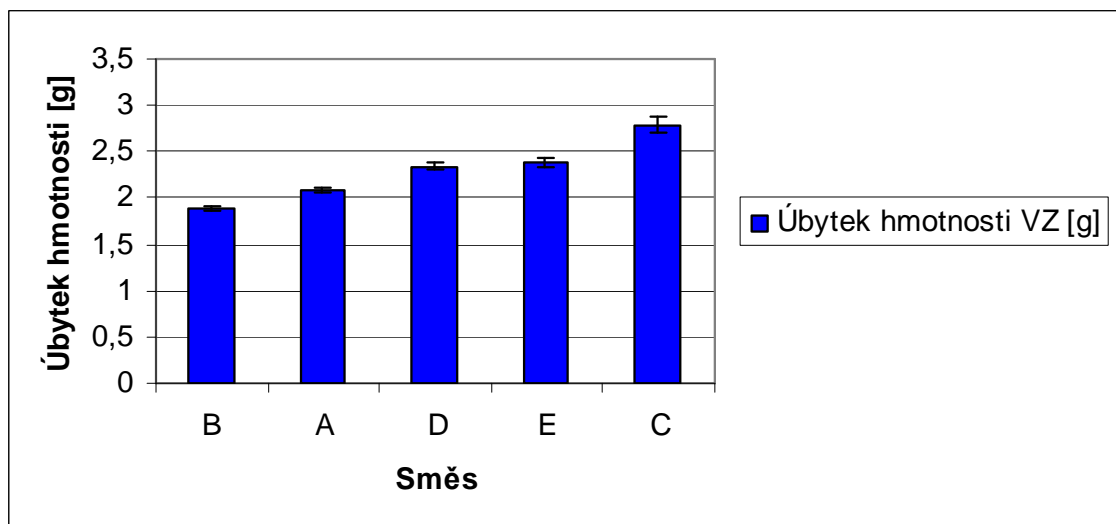
Obr. 39 Porovnání úbytku hmotnosti při nízké zátěži

Z obr. 39 je patrné, že při rychlém testu opotřebení, kdy byla aplikována nižší zátěž (pohyb nejméně zatíženého vozidla) byla naměřena největší míra opotřebení u směsi C, 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 1,07 g.

## Úbytek hmotnosti při vysoké zátěži

Tab. 11 Úbytek hmotnosti – vysoká zátěž

Směs	Úbytek hmotnosti VZ [g]	Úbytek hmotnosti VZ [-]	SMCH
A	2,090	0,751	0,037
B	1,896	0,681	0,023
C	2,784	1	0,088
D	2,336	0,839	0,026
E	2,382	0,856	0,052



Obr. 40 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 C. hodnota úbytku hmotnosti zde dosáhla hodnoty 2,78 g. Naopak nejnižší míra opotřebení byla zjištěna u směsi B a to s hodnotou úbytku hmotnosti 1,90 g (obr. 40). Nejvyšší zatížení zde reprezentuje pohyb plně naloženého vozidla.



## 6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V experimentální části bylo použito 5 druhů směsí, používaných pro výrobu běhounů pneumatik u strojů pracujících v těžkých podmínkách.

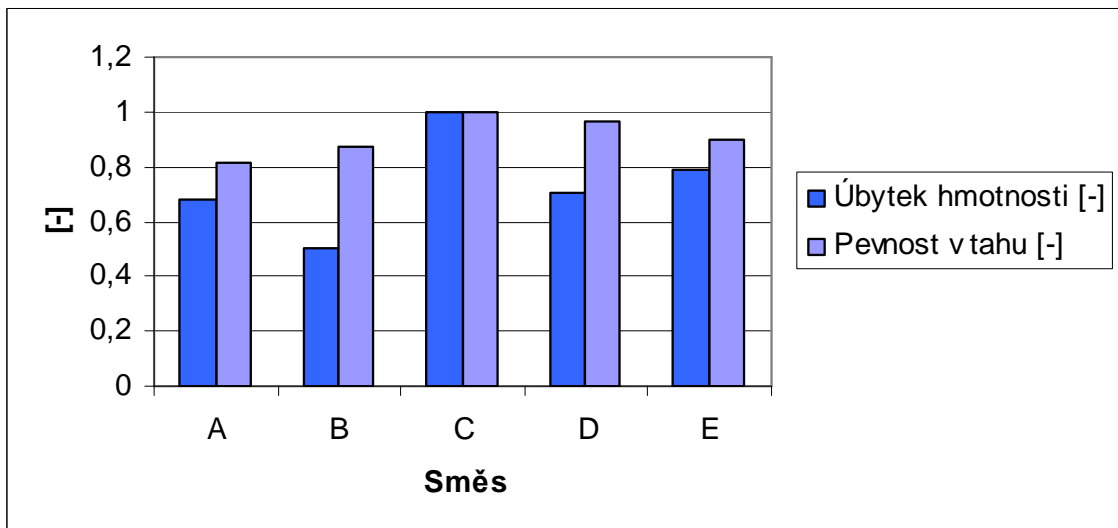
Výsledky získané z rychlého testu opotřebení byly zpracovány a poté porovnány s mechanickými vlastnostmi směsí. Charakteristikou pro rychlý test opotřebení byl úbytek hmotnosti zkušebního tělesa.

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.

### 6.1 Vyhodnocení hodnot pro standardní zátěž

Hodnoty opotřebení byly porovnány s: pevností v tahu, tažností, M100, M200, M300, strukturální pevností (klasika), strukturální pevností (trouser) a tvrdostí Shore A.

#### Pevnost v tahu

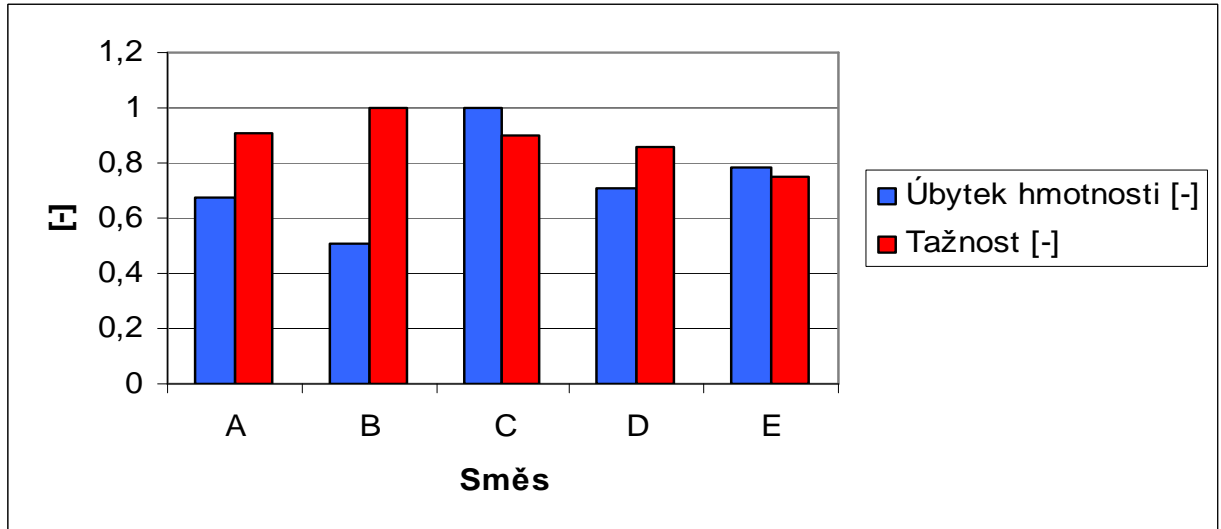


Obr. 41 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení

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

v tahu byla zjištěna u směsi A, u které byl zjištěna druhý nejmenší hodnota úbytku hmotnosti (obr. 41).

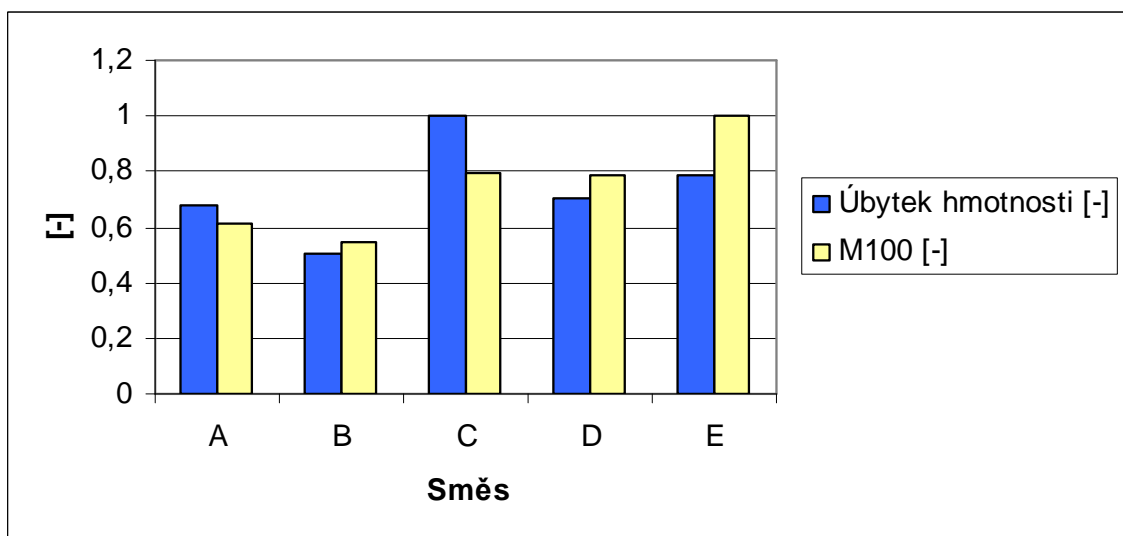
### Tažnost



Obr. 42 Porovnání tažnosti a opotřebení

Na obr. 42 bylo při porovnání tažnosti s opotřebením zjištěno, že nejvyšší hodnoty tažnosti bylo dosaženo u směsi B, kde byla naměřena nejmenší míra opotřebení. Nejmenší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi E, která vykazuje druhou největší míru opotřebení realizovanou úbytkem hmotnosti. U směsi C bylo naměřeno největší opotřebení.

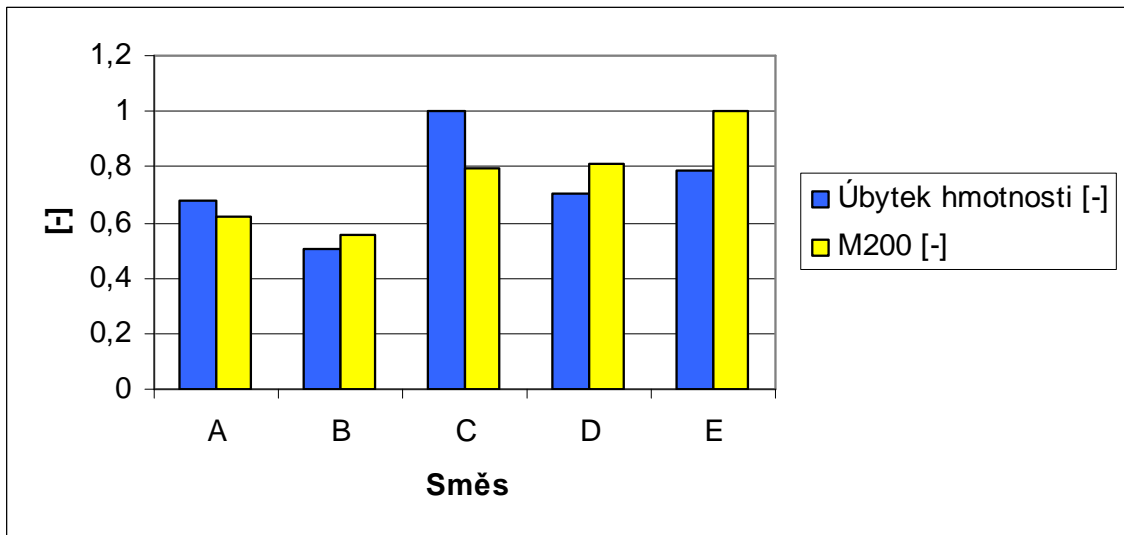
### M100



Obr. 43 Porovnání M100 a opotřebení

Při porovnání M100 s opotřebením bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazala druhou největší hodnotu M100. Největší hodnota M100 byla naměřena u směsi E, kde byla zjištěna druhá největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti (obr. 43).

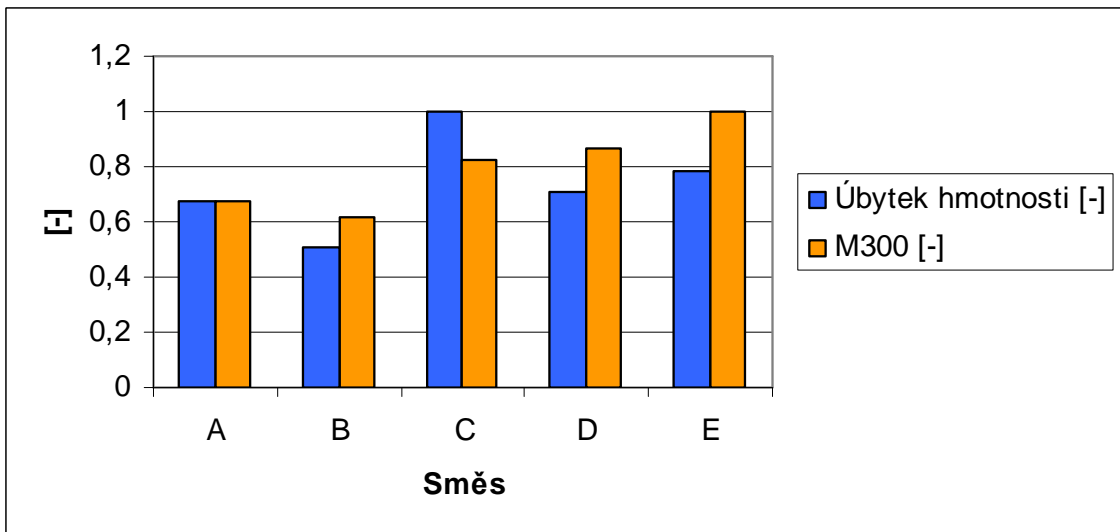
## M200



Obr. 44 Porovnání M200 a opotřebení

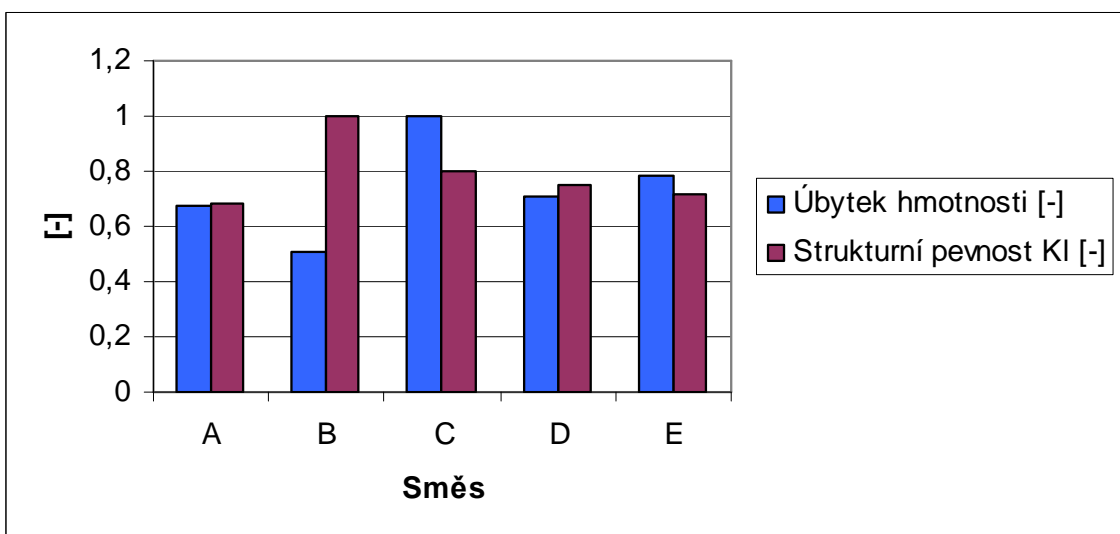
Obr. 44 znázorňuje porovnání M200 s opotřebením. Bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazala třetí největší hodnotu M200. Největší hodnota M200 byla naměřena u směsi E, kde byla zjištěna druhá největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti.

## M300

*Obr. 45 Porovnání M300 a opotřebení*

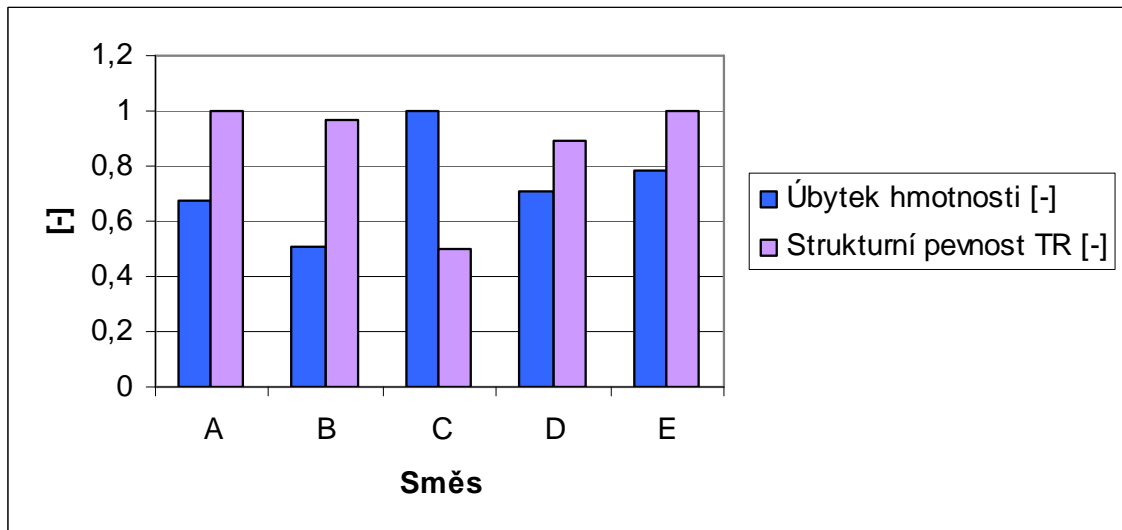
Při porovnání M300 s opotřebením bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazovala třetí největší hodnotu M300. Největší hodnota M300 byla naměřena u směsi E, kde byla zjištěna druhá největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti (obr. 45).

## Strukturní pevnost Klasická

*Obr. 46 Porovnání strukturní pevnosti Kl a opotřebení*

Na obrázku 46 je porovnání strukturní pevnosti (klasika) s opotřebením. Při tomto porovnání bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebenění byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazala druhou nejvyšší hodnotu strukturní pevnosti (klasika). Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti (klasika) byla zjištěna u směsi B, která vykazala nejmenší míru opotřebenění.

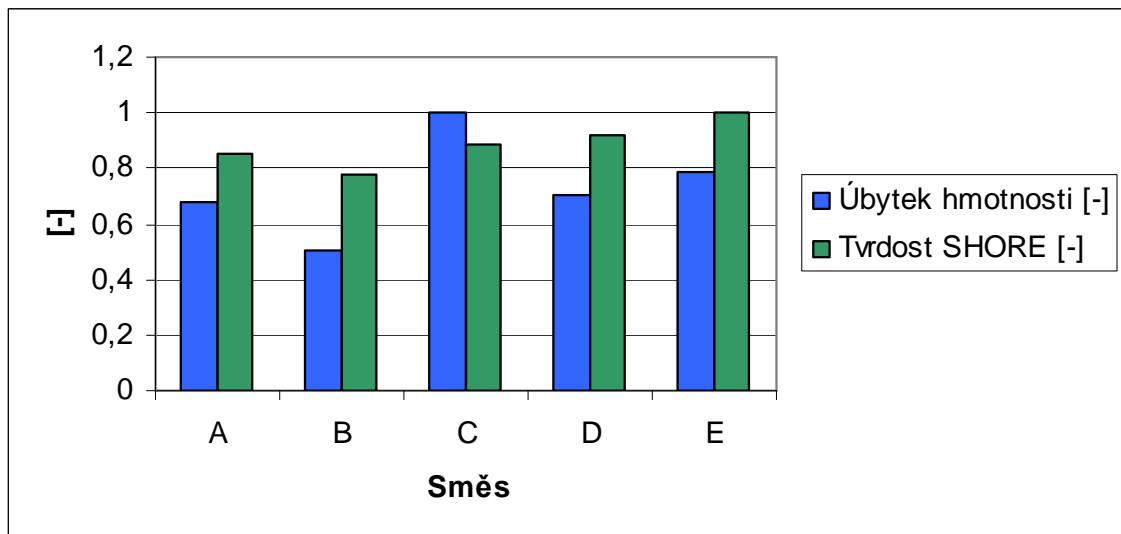
### Strukturní pevnost Trouser



Obr. 47 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebenění

Obr. 47 znázorňuje porovnání strukturní pevnosti (trouser) s opotřebením. Bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebenění byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazala nejmenší hodnotu strukturní pevnosti (trouser). Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti (trouser) byla zjištěna u směsi E, která vykazala druhou největší míru opotřebenění.

## Tvrdość Shore



Obr. 48 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení

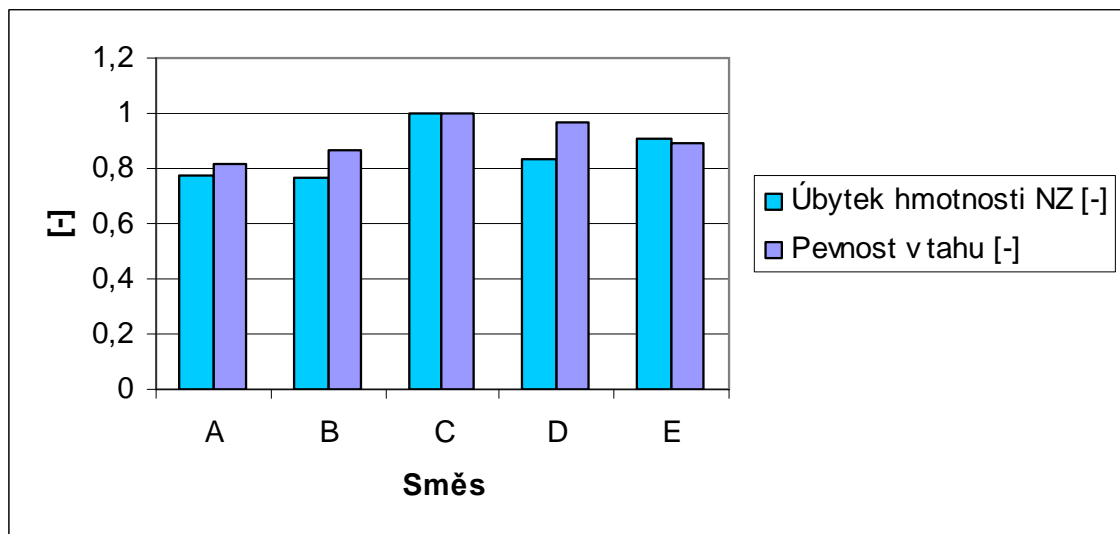
Při porovnání tvrdosti Shore A s opotřebením bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazala třetí nejvyšší hodnotu tvrdosti. Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi E, která vykazala druhou největší míru opotřebení (obr. 48).

## 6.2 Vyhodnocení hodnot pro nízkou zátěž

Nízkou zátěž zde reprezentuje pohyb nejméně naloženého vozidla.

Hodnoty opotřebení při nízké zátěži byly porovnány s: pevností v tahu, tažností, M100, M200, M300, strukturální pevností (klasika), strukturální pevností (trouser) a tvrdostí Shore A.

### Pevnost v tahu

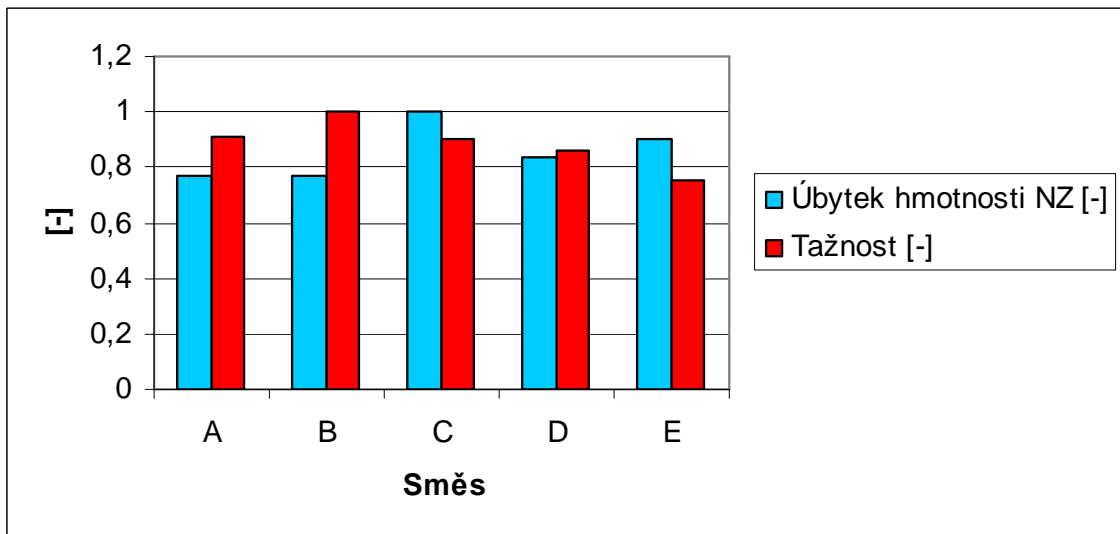


Obr. 49 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení NZ

Z obr. 49 je patrné, že při porovnání pevnosti v tahu s opotřebením nízkou zátěží bylo nejvyšších hodnot dosaženo u směsi C. Nejmenší hodnota opotřebení byla zjištěna u směsi B, která zároveň vykazala druhou nejmenší pevnost v tahu. Nejmenší pevnost v tahu byla u směsi A, která měla druhou nejmenší hodnotu úbytku hmotnosti.

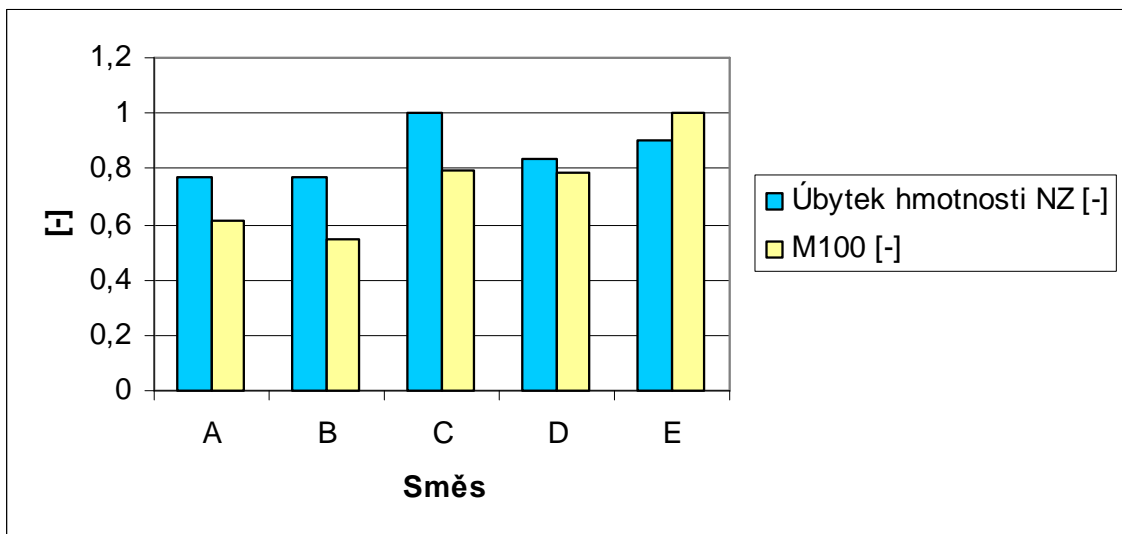
### Tažnost

Při porovnání tažnosti s opotřebením (nízká zátěž) bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty tažnosti bylo dosaženo u směsi B, která měla nejmenší míru opotřebení. Nejmenší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi E, které byla naměřena druhá největší míra opotřebení realizovaná úbytkem hmotnosti. U směsi C bylo zjištěno největší opotřebení (obr. 50).



Obr. 50 Porovnání tažnosti a opotřebení NZ

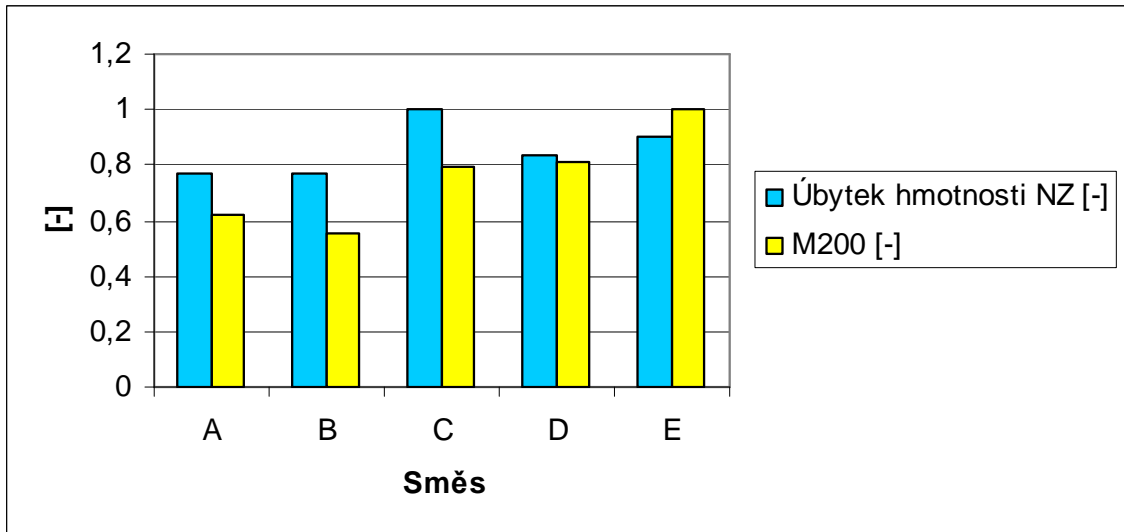
### M100



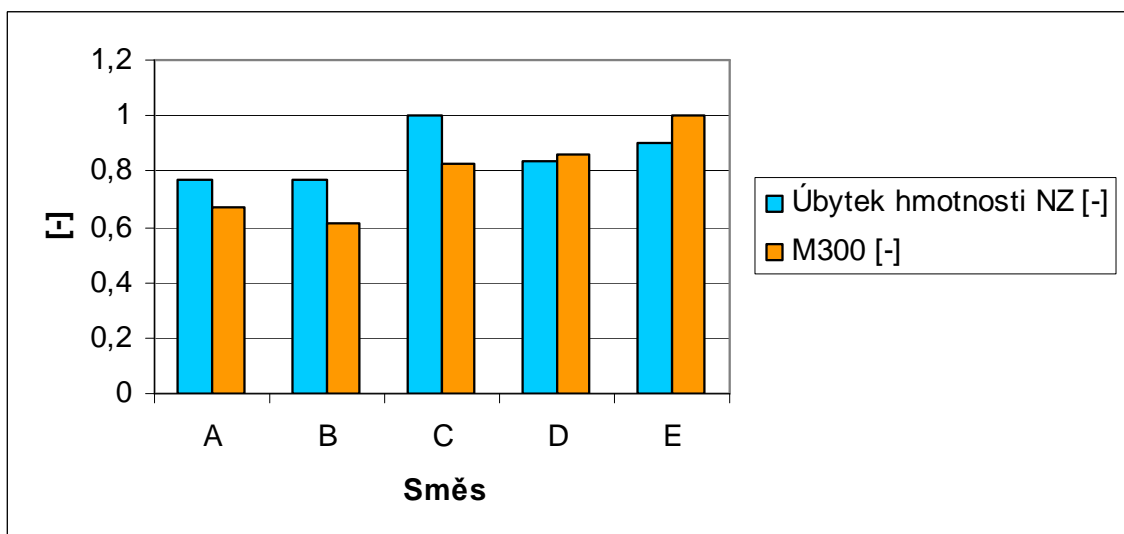
Obr. 51 Porovnání M100 a opotřebení NZ

Z obr. 51 je patrné, že při porovnání M100 s opotřebením nízkou zátěží má největší míru opotřebení realizovanou úbytkem hmotnosti směs C, která zároveň vykázala druhou největší hodnotu M100. Největší hodnota M100 byla naměřena u směsi E. U této směsi byl naměřen druhý největší úbytek hmotnosti.



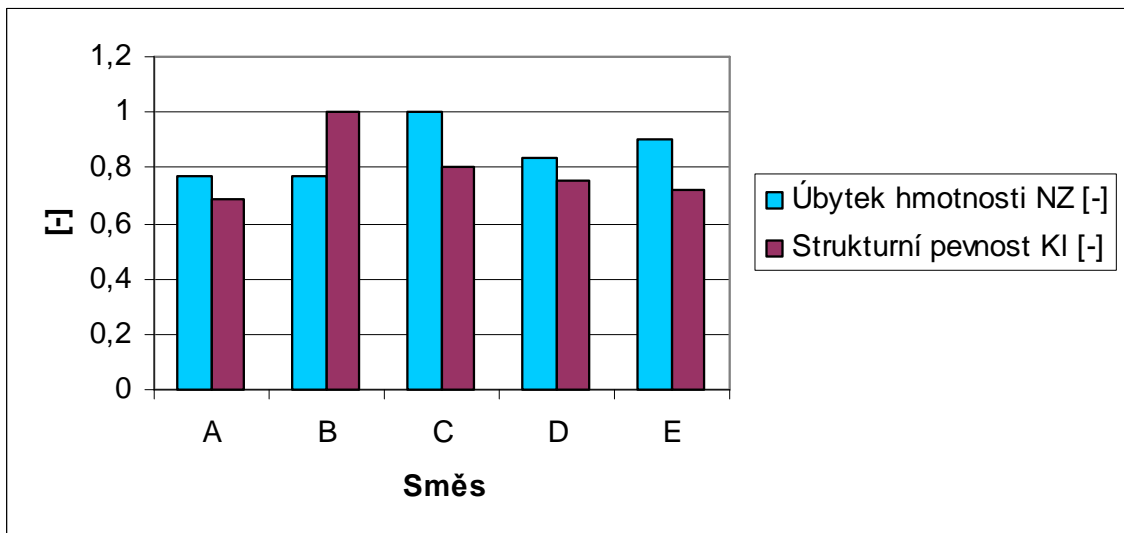
**M200***Obr. 52 Porovnání M200 a opotřebení NZ*

Při porovnání M200 s opotřebením při nízké zátěži bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi C, která zároveň vykázala třetí největší hodnotu M200. Největší hodnota M200 byla naměřena u směsi E, kde byla zjištěna druhá největší míra opotřebení realizována úbytkem hmotnosti (obr. 52).

**M300***Obr. 53 Porovnání M300 a opotřebení NZ*

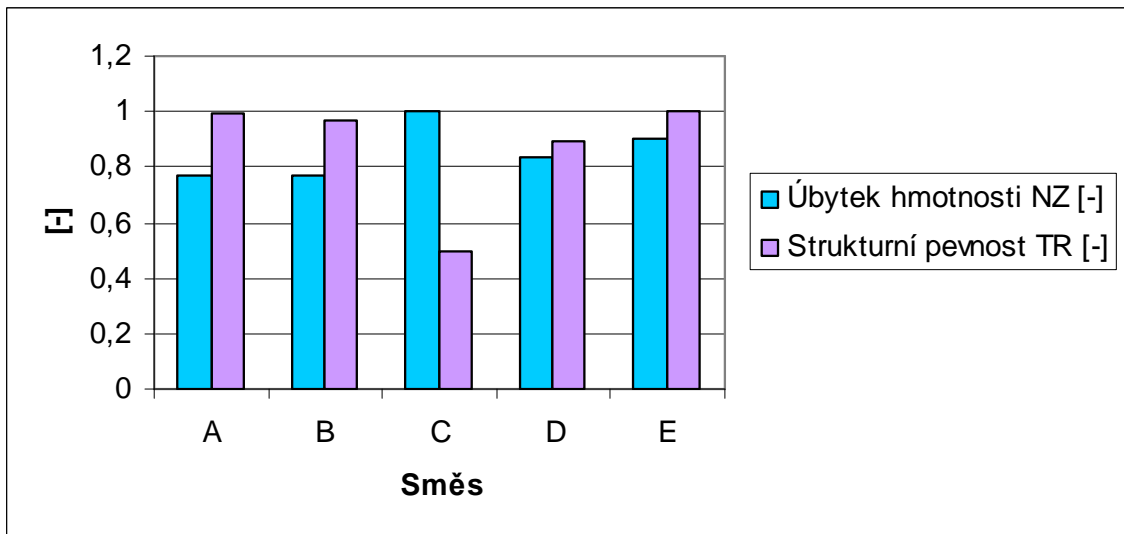
Na obr. 53 je zřejmé, že při porovnání M300 s opotřebením (nízká zátěž) je největší úbytek hmotnosti u směsi C, která má zároveň třetí největší hodnotu M300. Největší hodnota M300 byla zjištěna u směsi E. U směsi E byl naměřen druhý největší úbytek hmotnosti.

### Strukturní pevnost Klasika



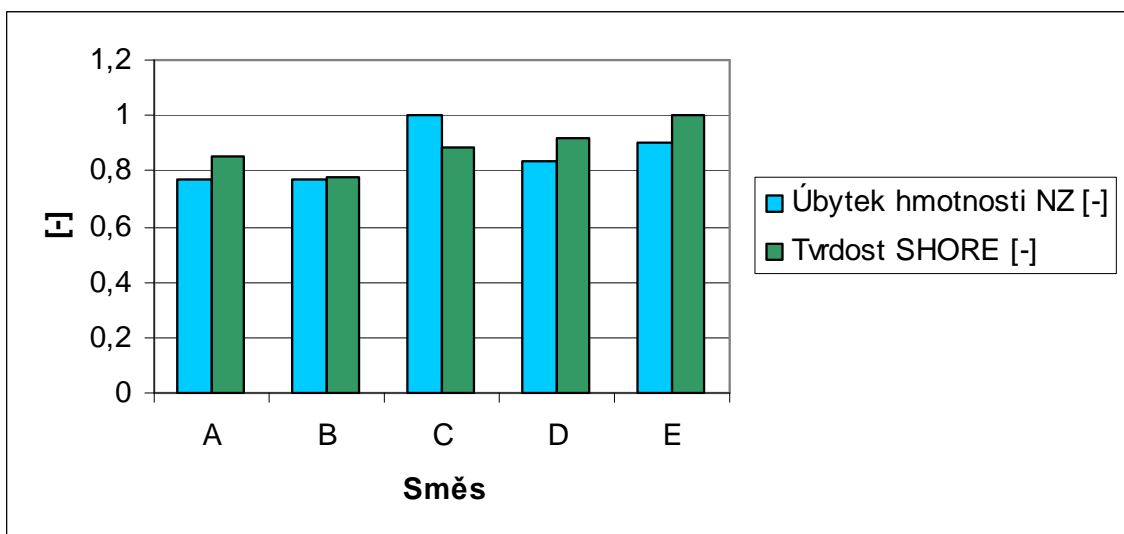
Obr. 54 Porovnání strukturní pevnosti Kl a opotřebení NZ

Na obr. 54 je porovnání strukturní pevnosti (klasika) s opotřebením při nízké zátěži. Při tomto porovnání bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazovala druhou nejvyšší hodnotu strukturní pevnosti (klasika). Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti (klasika) byla zjištěna u směsi B, která měla nejmenší míru opotřebení.

**Strukturní pevnost Trouser**

Obr. 55 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení NZ

Při porovnání strukturní pevnosti (trouser) a opotřebení (nízká zátěž), bylo naměřeno nejvyššího úbytku hmotnosti u směsi C. Tato směs má podle měření nejnižší hodnotu strukturní pevnosti (trouser). Směs E má naopak nejvyšší hodnotu strukturní pevnosti (trouser) a dosáhla druhého nejvyššího opotřebení realizovaného úbytkem hmotnosti (obr. 55).

**Tvrдост Shore A**

Obr. 56 Porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení NZ

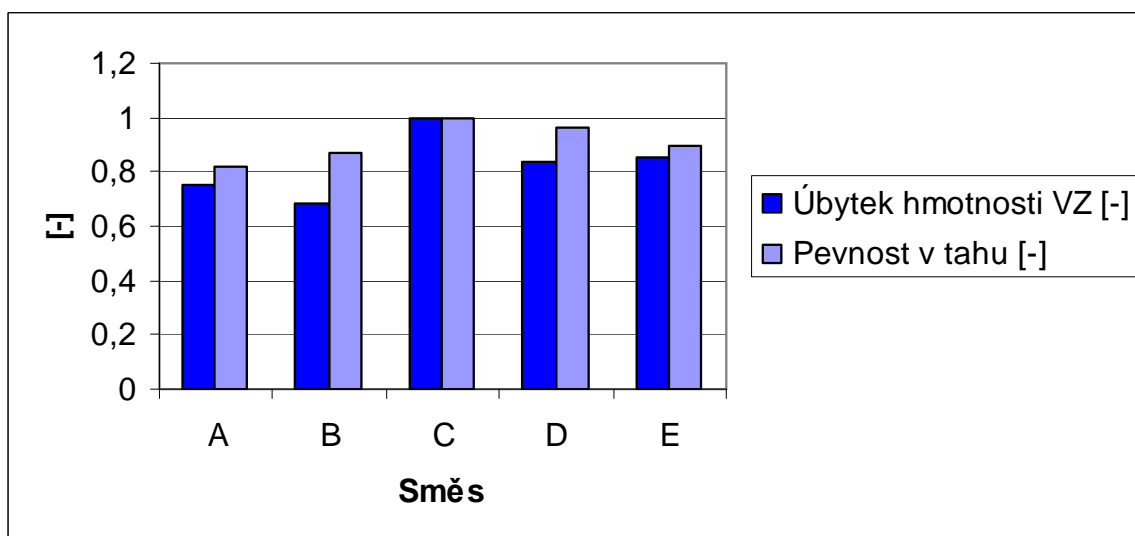
Na obrázku 56 je znázorněno porovnání tvrdosti Shore A s opotřebením nízkou zátěží. Nejvyššího úbytku hmotnosti (opotřebení) dosáhla směs C, která má třetí největší tvrdost. U směsi E byla změřena největší tvrdost a tato směs dosáhla druhého největšího úbytku hmotnosti (opotřebení)

### 6.3 Vyhodnocení hodnot pro vysokou zátěž

Vysokou zátěž zde reprezentuje pohyb plně naloženého vozidla.

Hodnoty opotřebení při vysoké zátěži byly porovnány s: pevností v tahu, tažností, M100, M200, M300, strukturní pevností (klasika), strukturní pevností (trouser) a tvrdostí Shore A.

#### Pevnost v tahu

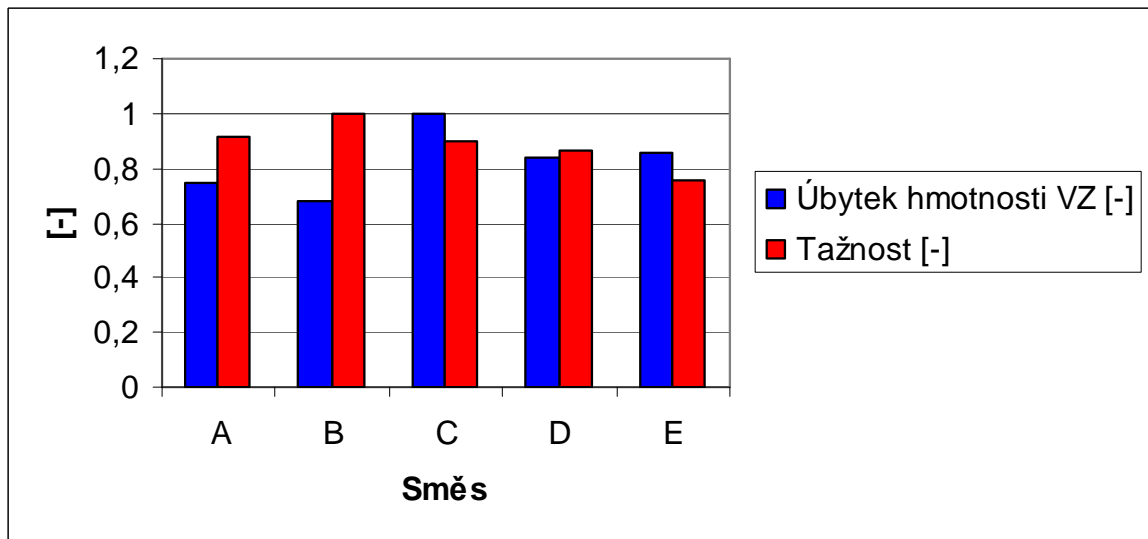


Obr. 57 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení VZ

Při porovnání pevnosti v tahu a opotřebení vysokou zátěží dosáhla směs C jak nejvyššího úbytku hmotnosti, tak i nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu. Směs B má nejmenší hodnotu opotřebení a druhou nejmenší pevnost v tahu. Úplně nejmenší pevnost v tahu má směs A, u které bylo zjištěno druhé nejmenší opotřebení (obr. 57).

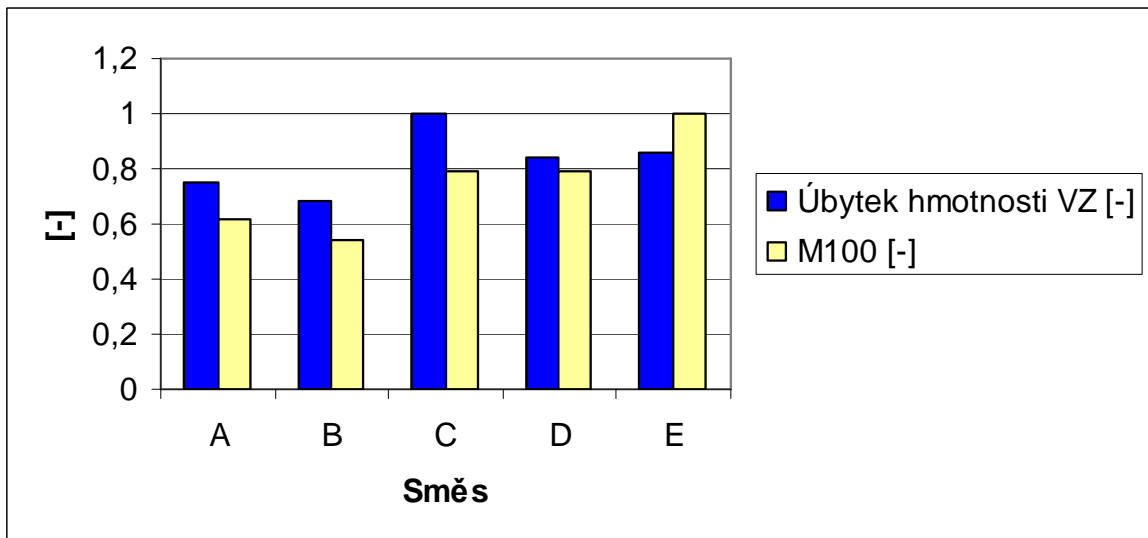
#### Tažnost

Na obrázku 58 bylo při porovnání tažnosti s opotřebením (vysoká zátěž) bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty tažnosti bylo dosaženo u směsi B, kde byla naměřena nejmenší míra opotřebení. Nejmenší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi E, která vykazuje druhou největší míru opotřebení realizovanou úbytkem hmotnosti. U směsi C bylo naměřeno největší opotřebení.



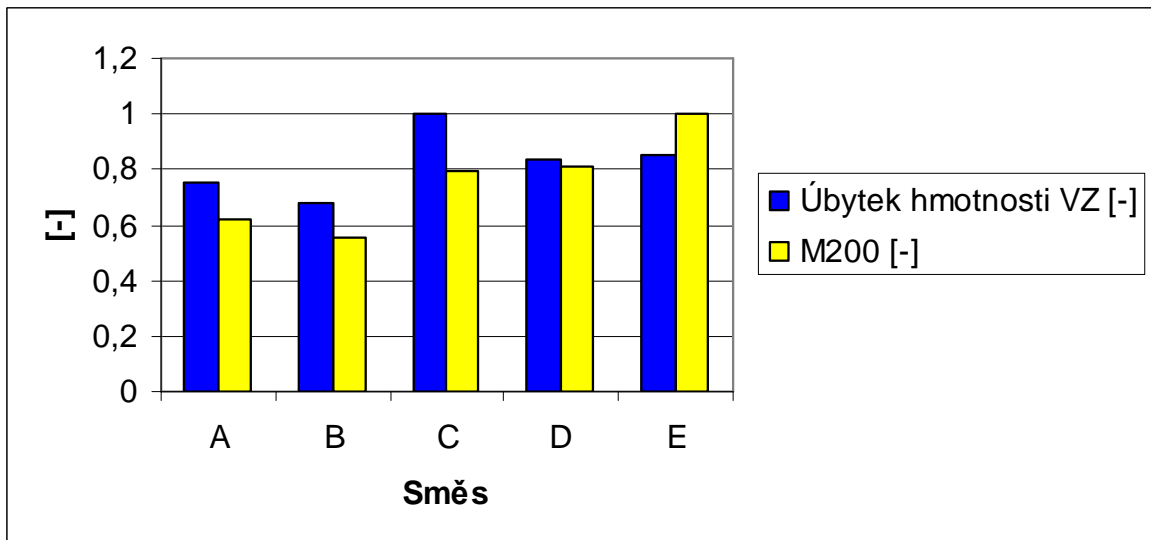
Obr. 58 Porovnání tažnosti a opotřebení VZ

### M100

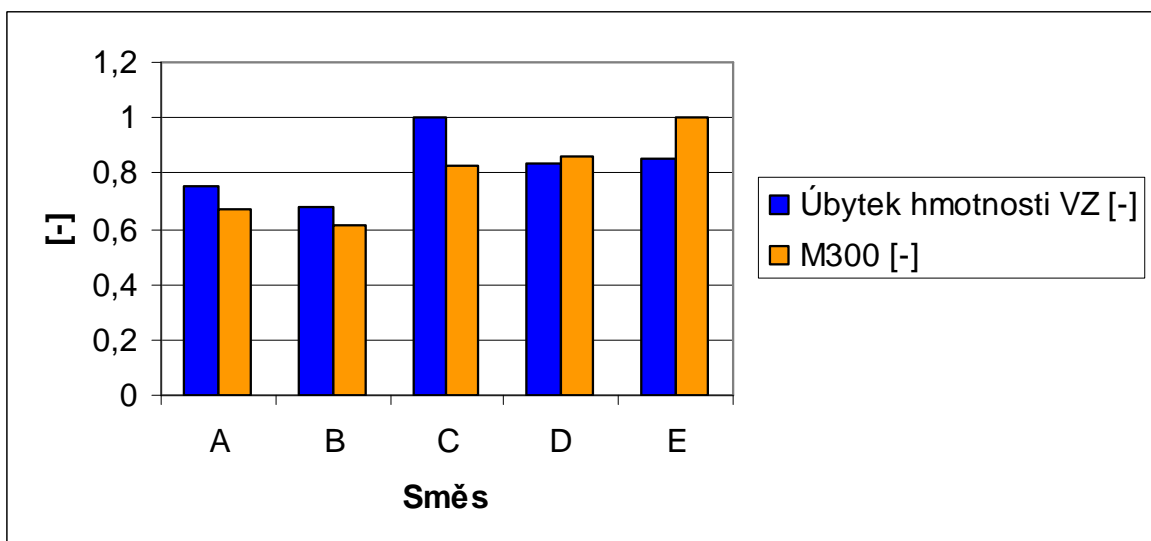


Obr. 59 Porovnání M100 a opotřebení VZ

Na obrázku 59 je porovnání M100 a opotřebení (vysoká zátěž). Nejvyšší opotřebení je opět u směsi C, která má druhou nejvyšší hodnotu M100. Nejvyšší hodnoty M100 dosáhla směs E, která má druhou nejvyšší hodnotu úbytku hmotnosti (opotřebení). Nejnížší hodnoty M100 dosáhla směs B, která má zároveň nejnížší hodnotu opotřebení.

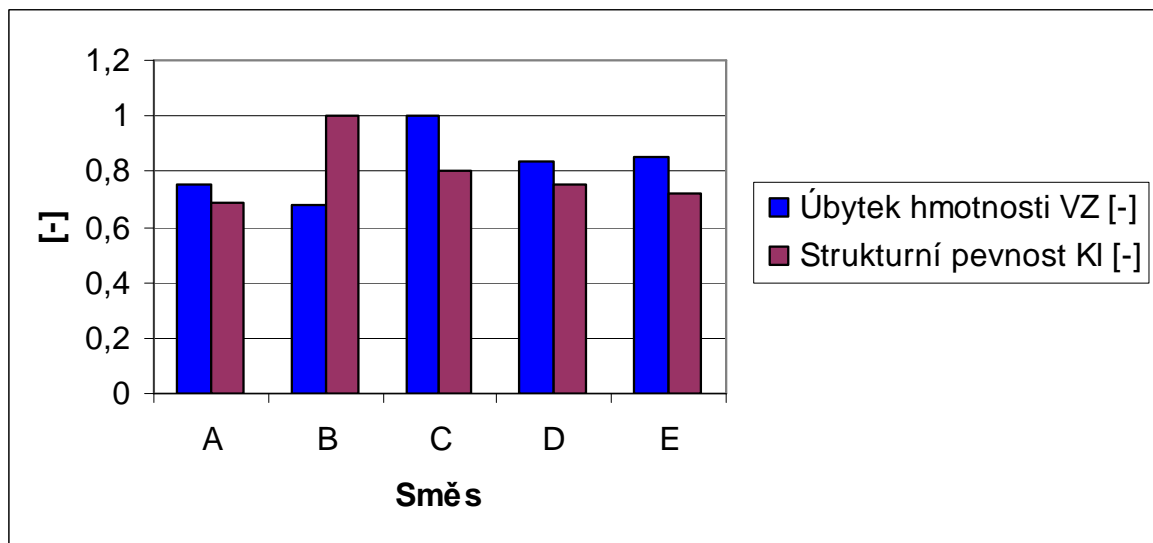
**M200***Obr. 60 Porovnání M200 a opotřebení VZ*

Porovnáním M200 a opotřebením vysokou zátěží je patrné, že největší úbytek hmotnosti je u směsi C, která má třetí nejvyšší hodnotu M200. Nejvyšší hodnoty M200 bylo dosaženo u směsi E, u které je druhý nejvyšší úbytek hmotnosti. Nejmenší úbytek hmotnosti a také nejmenší hodnota M200 je u směsi B (obr.60).

**M300***Obr. 61 Porovnání M300 a opotřebení VZ*

Při porovnání M300 s opotřebením vysokou zátěží bylo zjištěno, že největší míra opotřebení realizovaná úbytkem hmotnosti byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazala třetí největší hodnotu M300. Největší hodnota M300 byla naměřena u směsi E, kde byla zjištěna druhá největší míra opotřebení realizovaná úbytkem hmotnosti. Nejmenší hodnoty M300 dosáhla směs B, která má také nejmenší úbytek hmotnosti (obr. 61).

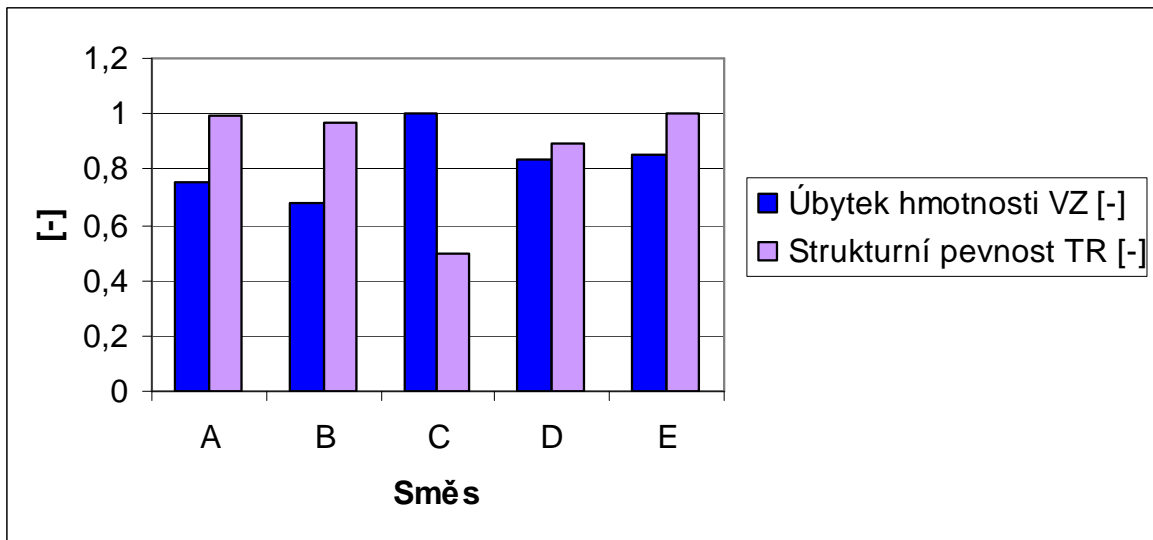
### Strukturní pevnost Klasika



Obr. 62 Porovnání strukturní pevnosti Kl a opotřebení VZ

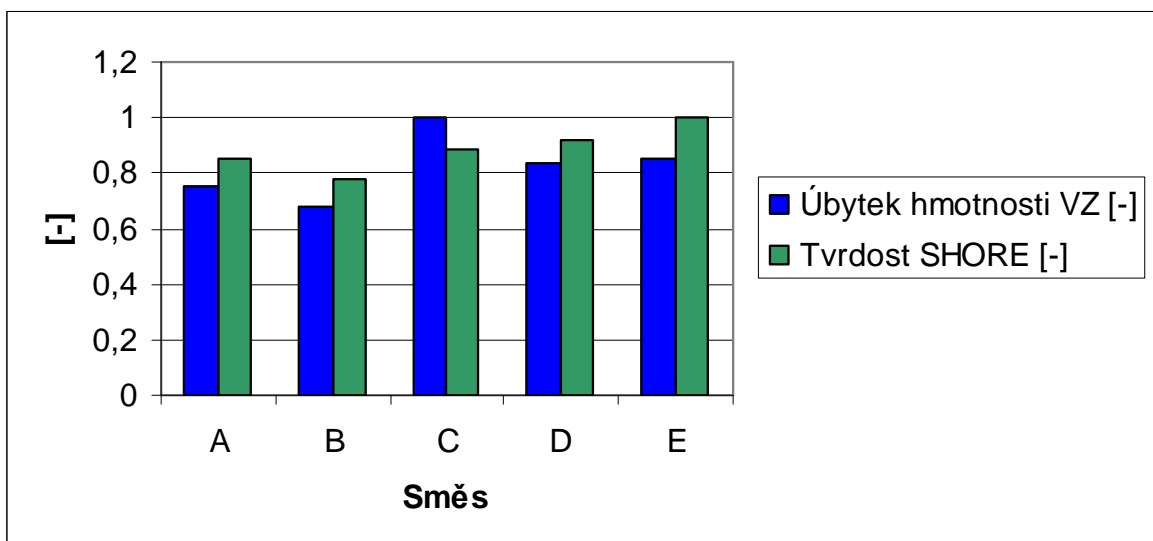
Na obrázku 62 je porovnání strukturní pevnosti (klasika) a opotřebení (vysoká zátěž). Z obrázku je patrné, že největší míra opotřebení je u směsi C. Tato směs má druhou největší hodnotu strukturní pevnosti (klasika). Největší strukturní pevnosti (klasika) bylo dosaženo u směsi B, která vykazuje nejlepší hodnotu opotřebení. Směs A má nejmenší strukturní pevnost (klasika) a druhou nejmenší míru opotřebení realizovanou úbytkem hmotnosti.



**Strukturní pevnost Trouser**

Obr. 63 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení VZ

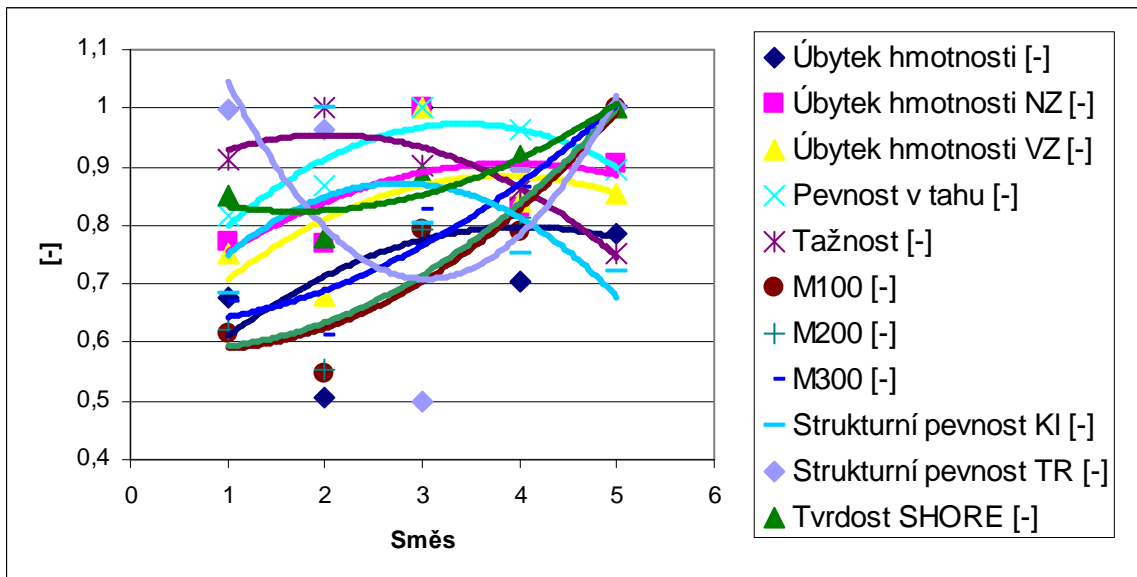
Obr. 63 znázorňuje porovnání strukturní pevnosti (trouser) s opotřebením. Bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebení byla naměřena u směsi C, která zároveň vykázala nejmenší hodnotu strukturní pevnosti (trouser). Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti (trouser) byla zjištěna u směsi E, která vykázala druhou největší míru opotřebení.

**Tvrdość Shore**

Obr. 64 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení VZ

Při porovnání tvrdosti Shore s opotřebením bylo zjištěno, že nejvyšší míra opotřebením byla naměřena u směsi C, která zároveň vykazovala třetí nejvyšší hodnotu tvrdosti. Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi E, která vykazovala druhou největší míru opotřebením. Nejmenší hodnotu tvrdosti má směs B, u které je i nejmenší úbytek hmotnosti realizovaný opotřebením (obr. 64).

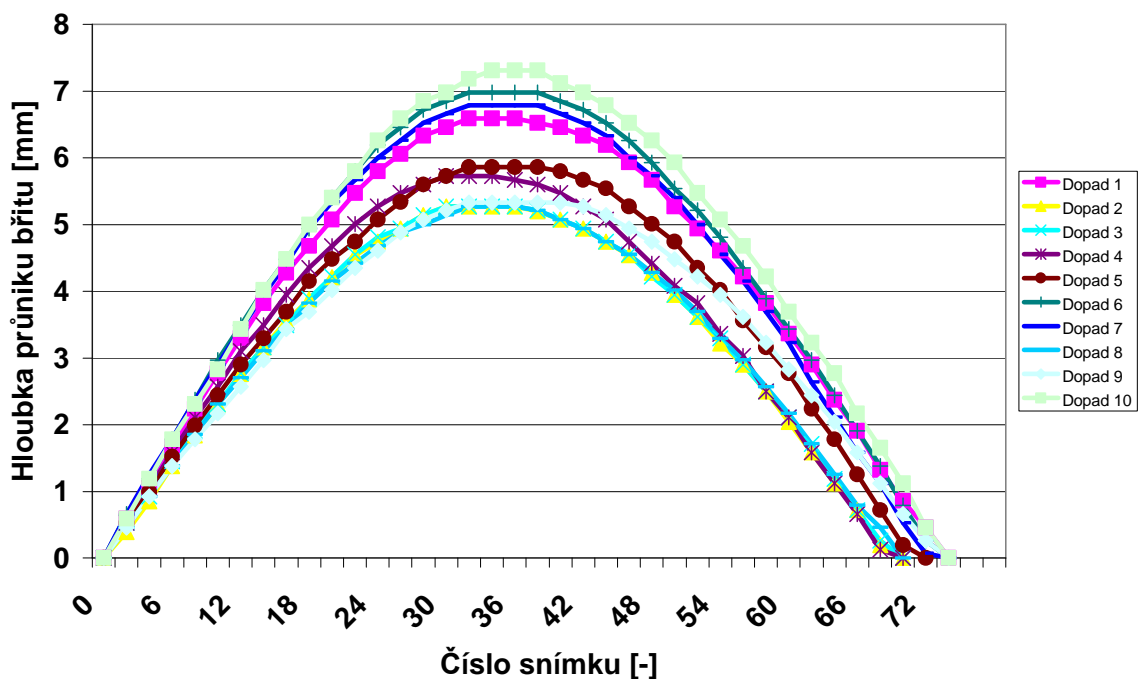
#### 6.4 Celkový graf všech sledovaných vlastností



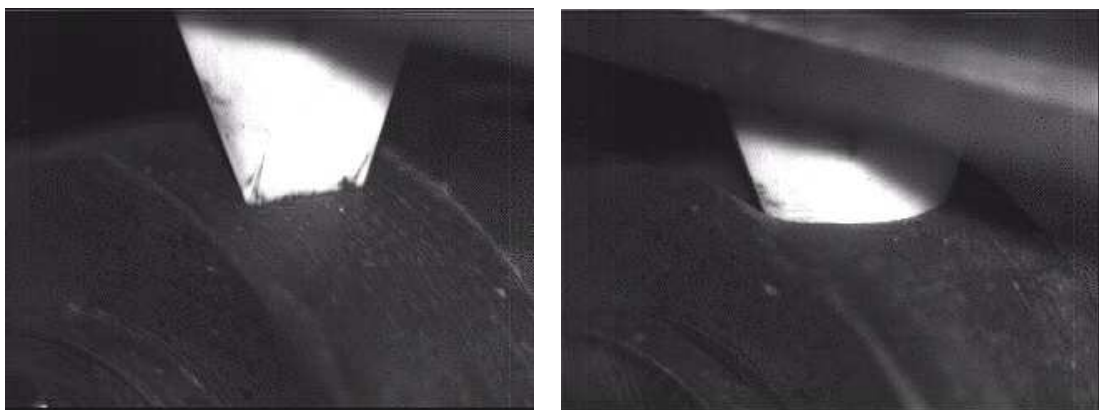
Obr. 65 Porovnání všech sledovaných vlastností

## 6.5 Měření hloubky průniku keramického břitu při testu opotřebení

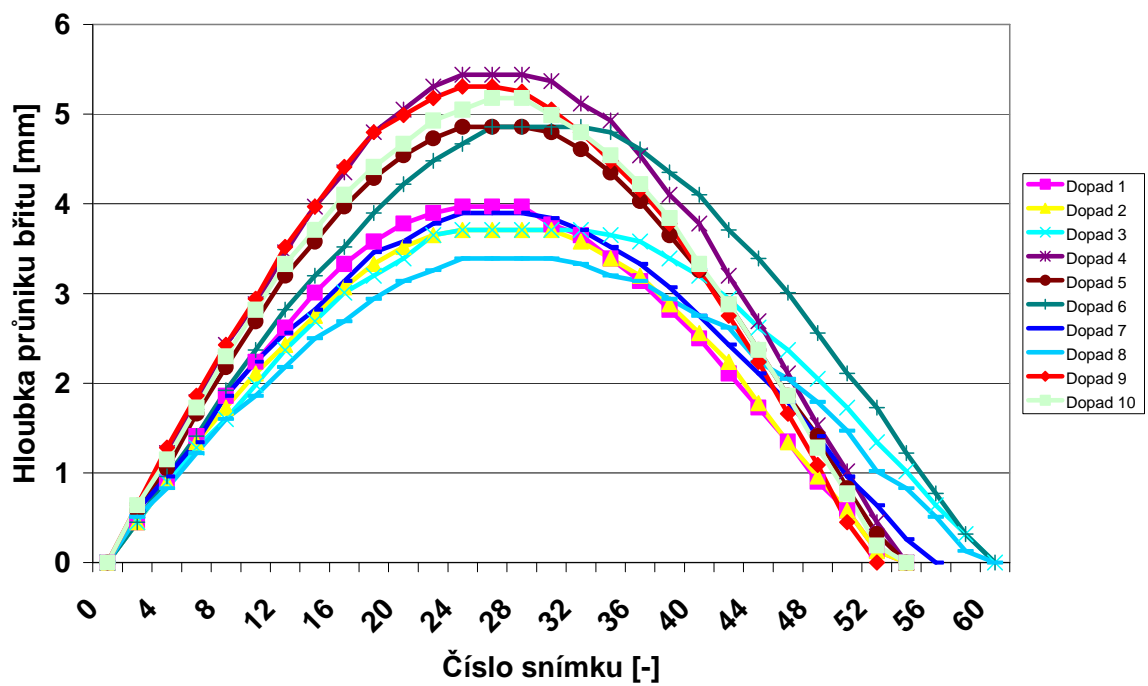
Jako velmi zajímavá se jeví rozdílná hloubka průniku keramického břitu do měkké a tvrdé směsi. Z obrázku 67 je patrná výrazná elastická deformace měkké běhounové směsi (černá směs). Naopak na obrázku 69 je vidět mnohem menší hloubku průniku břitu do tvrdé běhounové směsi (bílá směs). Rozdílné hloubky průniku keramického břitu (terénních nerovnosti) do běhounové směsi (obr. 70) mají výrazný vliv na opotřebení a velmi úzce souvisejí s mechanickými vlastnostmi běhounové směsi.



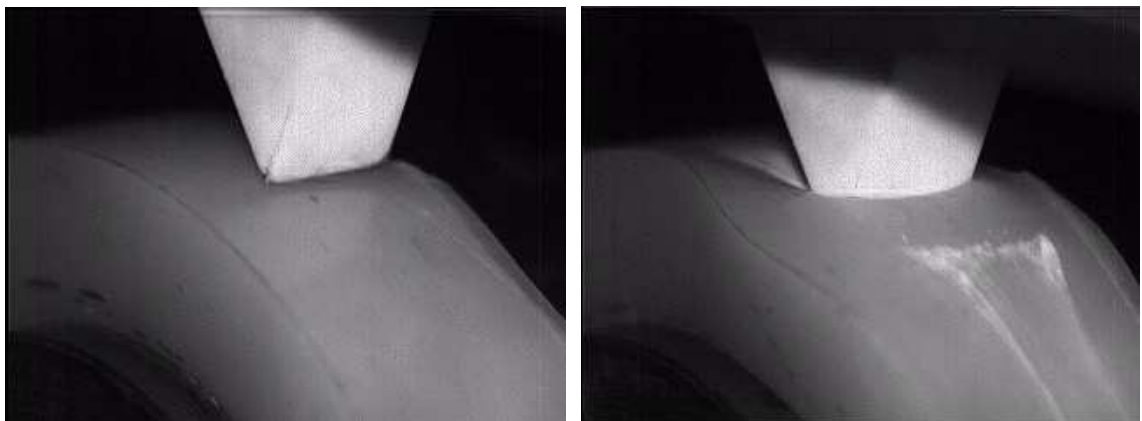
Obr. 66 Hloubka průniku prvních deseti dopadů keramického břitu při dopadu na měkkou pryž



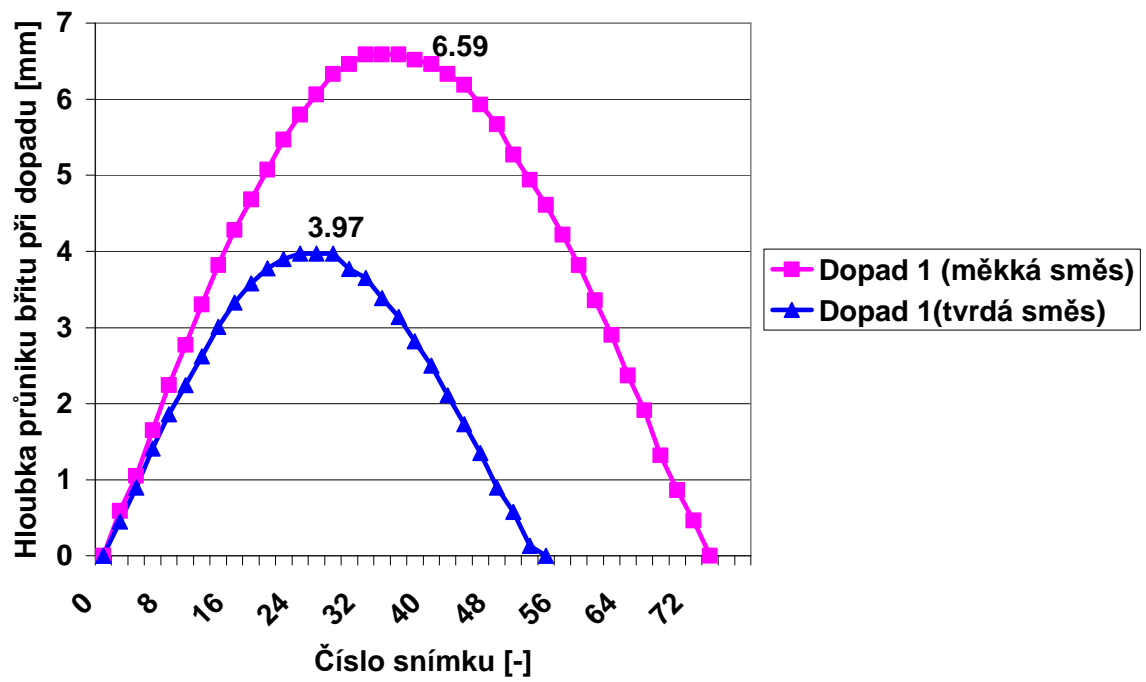
Obr. 67 Dopad keramického břitu na měkkou pryž



Obr. 68 Hloubka průniku prvních deseti dopadů keramického břitu při dopadu na tvrdou pryž



Obr. 69 Dopad keramického břitu na tvrdou pryž



Obr. 70 Porovnání průniku keramického bříty při prvním dopadu na tvrdou a měkkou pryž

## ZÁVĚR

Diplomová práce řeší problém opotřebení silně namáhaných běhounových směsí určených pro mimosilniční pneumatiky, pro pneumatiky stavebních a důlních strojů. Pro experimentální část bylo vybráno 5 druhů běhounových směsí, které jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

V gumárenském průmyslu jsou běžně testovány mechanické vlastnosti jako jsou pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost, odrazová pružnost. Mezi další měřené mechanické vlastnosti patří také komplexní dynamický modul. Snahou výrobců je najít souvislost (korelaci) mezi běžně měřenými mechanickými vlastnostmi a opotřebením. Právě mechanické vlastnosti hrají nejdůležitější roli při opotřebení pneumatik.

Z provedených experimentů byly soubory naměřených hodnot zpracovány a výsledky graficky znázorněny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření, k maximální hodnotě v průběhu příslušného měření.

Z naměřených výsledků vyplynuly vztahy mezi opotřebením a měřenými mechanickými vlastnostmi. Ukázalo se, že významný vliv na opotřebení budou mít pevnost v tahu a tažnost.

Při srovnání pevnosti v tahu a opotřebením se ukázalo, že čím větší pevnost v tahu bude dosahovat daná běhounová směs tím větší opotřebení bude nastávat. Podobným způsobem se chovají také ostatní mechanické vlastnosti jako tvrdost. Je velmi zajímavé, že jako u pevnosti v tahu tak i u tvrdosti platí, čím tvrdší směs tím vyšší je míra opotřebení. Uvedené zjištění vedou k závěru, že pro pneumatiky pracující v těžkých terénních podmínkách bude rozhodující schopnost dokonale obtékat terénní nerovnosti v podobě drobných hran kamínků a kamenů. Velmi důležitou vlastností běhounových směsí bude také tuhost (houževnatost), která může významně přispět k vyšší odolnosti proti opotřebení.

Důležitý vliv má energie dopadu při rychlém testu opotřebení. Při experimentu byly aplikovány tři různé velikosti energie dopadu. Energie dopadu byla měněna posunutím pneumatického pístu (zvedacího zařízení) a tím změnou výšky dopadu ramene s keramickým břitem. Čím větší bude energie dopadu, tím bude míra opotřebení testovaných běhounových směsí větší.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠPAČEK, J.: Technologie gumárenské a plastikářské II, VUT Brno, 1980
- [2] MARCÍN, J.: Vulkanizace. SNTL Praha, 1972, 160 s.
- [3] PREKOP, Š. a kolektiv: Gumárska technologia II. GC TECH Trenčín, 2003, ISBN: 808891485X (váz.), 374 s.
- [4] POLOMÍČEK, O.: Vliv zátěže na opotřebení gumárenských směsí. (Bakalářská práce), Zlín 2008, Fakulta technologická UTB Zlín
- [5] ŠTĚPÁN, M.: Gumárenská technologie – Výroba pneumatických obručí. SNTL Praha, 1956, 412 s.
- [6] FISCHER, M.: Konstrukce pneumatik. SNTL Praha, 1962, 115 s.
- [7] MARCÍN, J.: Pneumatiky – výroba, použití, údržba. SNTL Praha, 1976, 272 s.
- [8] MAREŠ, A.: Konstrukce pneumatik. SNTL Praha, 1958, 150 s.
- [9] LICHOROBIEC, K.: Protektorování a opravy pneumatik. SNTL Praha, 1967, 134s.
- [10] MAŇAS, D.: Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků. Nakladatelství VUT, Brno, 2005
- [11] Učební texty: Gumárenská technologie. Barum Continental spol. s r.o., 2004
- [12] MARCÍN, J.: Nové směry ve výrobě pneumatik. SNTL Praha, 1963
- [13] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: Pneumatiky. SNTL Praha, 1985, 490 s.
- [14] FRENCH, T.: Tyre Technology. IOP Publishing Ltd Bristol and New York, 1989, ISBN 0-85274-360-2, 170s
- [15] ČERVENÝ, J.: Výroba automobilových pneumatik. SNTL Praha, 1957, 268 s.
- [16] SCHINDLER J., KOMÁREK Z., DROBNÝ J.: Základy gumárenskej technológie. SVTL Bratislava, 1966, 296 s.
- [17] WILLHAW H.: Calenders for rubber processing. Lakeman London, 1956, 61 s.
- [18] SCHÄTZ, M., VONDRÁČEK, P.: Zkoušení polymerů. 2. dopl. přeprac. vyd., Vydavatelství VŠCHT, Praha, 1988. 276 s.
- [19] Testování pneumatik. Dostupné z WWW: <http://www.pneu-asistent.cz/Testovani-pneumatik.html>
- [20] ČSN 621431 Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (Tvrdost Shore)
- [21] ČSN ISO 37 Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků – stanovení tahových vlastností
- [22] ČSN 621459 Stanovení strukturální pevnosti

- 
- [23] KUBÍK, J., ZYTKA, A.: Gumárenská technologie V – Zkušební metody v gumárenství. SNTL Praha, 1962, 300 s.
- [24] Pneumatika. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pneumatika>
- [25] Technický rádce-Pneumatiky pro nákladní automobily, autobusy a přípojná vozidla. Dostupné z WWW: [http://www2.contitrade.cz/download/10\\_barum\\_nakl\\_pneu.pdf](http://www2.contitrade.cz/download/10_barum_nakl_pneu.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

SMCH [-] Směrodatná odchylka

M100 [MPa] Modul 100

M200 [MPa] Modul 200

M300 [MPa] Modul 300

Kl Strukturní pevnost klasická

Tr Strukturní pevnost trouser

m [g] Hmotnostní úbytek

m<sub>0</sub> [g] Hmotnost tělesa před testem rychlého opotřebení

m<sub>1</sub> [g] Hmotnost tělesa po testu rychlého opotřebení

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Řez autoklávem .....	13
Obr. 2 Mechanický lis k vulkanizaci .....	13
Obr. 3 Membránový vulkanizační lis.....	14
Obr. 4 Model řezu pláště, membrány a segmentové plášťové vulkanizační formy.....	16
Obr. 5 Vylisovaná pneumatika.....	17
Obr. 6 Toroid .....	18
Obr. 7 Pneumatika s duší .....	18
Obr. 8 Bezdušová pneumatika .....	19
Obr. 9 Struktura pláště .....	21
Obr. 10 Hlavní rozměry pneumatiky .....	22
Obr. 11 Konstrukce plášťů.....	23
Obr. 12 Základní rozměry pneumatik .....	24
Obr. 13 Popis bočnice pláště pro osobní automobily .....	25
Obr. 14 Surový diagonální plášť .....	28
Obr. 15 Lepička obalů.....	28
Obr. 16 Konfekční stroj KLD 20 .....	30
Obr. 17 Konfekční stroj fy MITSUBISHI .....	30
Obr. 18 Operace I. Stupně.....	31
Obr. 19 Radiální plášť - 1. stupeň.....	31
Obr. 20 Operace II. Stupně .....	32
Obr. 21 Surové pláště uložené ve skladu .....	32
Obr. 22 Řez radiálním pláštěm .....	33
Obr. 23 Schéma trojbubnového konfekčního stroje .....	34
Obr. 24 Testovací polygon pneumatik (Continental Hannover).....	38
Obr. 25 Dunlop-Lambourn .....	39
Obr. 26 Přístroj – Akron-Croydon .....	40
Obr. 27 Přístroj ke zkoušení oděru du Pont.....	40
Obr. 28 Porovnání pevnosti v tahu .....	45
Obr. 29 Porovnání tažnosti .....	46
Obr. 30 Porovnání M100 .....	47
Obr. 31 Porovnání M200 .....	47

Obr. 32 Porovnání M300 .....	48
Obr. 33 Porovnání strukturní pevnosti KI.....	49
Obr. 34 Porovnání strukturní pevnosti TR.....	50
Obr. 35 Porovnání tvrdosti.....	51
Obr. 36 Schéma zařízení pro testování opotřebení .....	52
Obr. 37 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení .....	53
Obr. 38 Porovnání úbytku hmotnosti.....	54
Obr. 39 Porovnání úbytku hmotnosti při nízké zátěži .....	55
Obr. 40 Porovnání úbytku hmotnosti při vysoké zátěži.....	56
Obr. 41 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....	57
Obr. 42 Porovnání tažnosti a opotřebení .....	58
Obr. 43 Porovnání M100 a opotřebení .....	58
Obr. 44 Porovnání M200 a opotřebení .....	59
Obr. 45 Porovnání M300 a opotřebení .....	60
Obr. 46 Porovnání strukturní pevnosti KI a opotřebení.....	60
Obr. 47 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	61
Obr. 48 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení .....	62
Obr. 49 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení NZ .....	63
Obr. 50 Porovnání tažnosti a opotřebení NZ .....	64
Obr. 51 Porovnání M100 a opotřebení NZ .....	64
Obr. 52 Porovnání M200 a opotřebení NZ.....	65
Obr. 53 Porovnání M300 a opotřebení NZ.....	65
Obr. 54 Porovnání strukturní pevnosti KI a opotřebení NZ.....	66
Obr. 55 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení NZ .....	67
Obr. 56 Porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení NZ .....	67
Obr. 57 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení VZ .....	69
Obr. 58 Porovnání tažnosti a opotřebení VZ .....	70
Obr. 59 Porovnání M100 a opotřebení VZ.....	70
Obr. 60 Porovnání M200 a opotřebení VZ.....	71
Obr. 61 Porovnání M300 a opotřebení VZ.....	71
Obr. 62 Porovnání strukturní pevnosti KI a opotřebení VZ.....	72
Obr. 63 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení VZ .....	73
Obr. 64 Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení VZ.....	73

---

Obr. 65 Porovnání všech sledovaných vlastností.....	74
Obr. 66 Hloubka průniku prvních deseti dopadů keramického břitu při dopadu na měkkou pryž .....	75
Obr. 67 Dopad keramického břitu na měkkou pryž.....	75
Obr. 68 Hloubka průniku prvních deseti dopadů keramického břitu při dopadu na tvrdou pryž.....	76
Obr. 69 Dopad keramického břitu na tvrdou pryž .....	76
Obr. 70 Porovnání průniku keramického břitu při prvním dopadu na tvrdou a měkkou pryž .....	77

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Kategorie rychlosti (SS - Speed Symbol) .....	24
Tab. 2 Označení směsí .....	44
Tab. 3 Tahové zkoušky .....	45
Tab. 4 M100.....	46
Tab. 5 M200.....	47
Tab. 6 M300.....	48
Tab. 7 Strukturální pevnost.....	49
Tab. 8 Tvrdost Shore .....	50
Tab. 9 Úbytek hmotnosti.....	54
Tab. 10 Úbytek hmotnosti – nízká zátěž.....	55
Tab. 11 Úbytek hmotnosti – vysoká zátěž .....	56