

# Testování opotřebení běhounové směsi

Tomáš Hrabal

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**akademický rok: 2011/2012**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

**Jméno a příjmení: Tomáš HRABAL**  
**Osobní číslo: T09419**  
**Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství**  
**Studijní obor: Technologická zařízení**

**Téma práce: Testování opotřebení běhounové směsi**

**Zásady pro vypracování:**

- 1) Vypracování literární studie na dané téma**
- 2) Příprava zkušebních tělěs pro experimentální část**
- 3) Provedení experimentu**
- 4) Vyhodnocení naměřených výsledků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. David Mañas, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 10. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek 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 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**

Tato bakalářská práce se zabývá opotřebením běhounových směsí pneumatik, které jsou určeny pro vozidla, jež pracují ve velmi náročných podmínkách (nákladní a stavební vozidla a stroje). Tyto pneumatiky, které se pohybují v náročném terénu, jsou vystaveny velkému opotřebení. Ostré hrany kamenů a různých nerovností postupně vytrhávají části běhounu. Mechanismus opotřebení běhounu je tedy zcela jiný než u pneumatik, které se odvalují na silnicích. Testování takto namáhaného běhounu je prováděno na přístroji Chip – Chunk, který simuluje náročné terénní podmínky. Práce se rovněž zabývá mechanickými vlastnostmi pryže, které jsou určené pro výrobu těchto běhounů.

Klíčová slova: Opotřebení, běhoun, pryž, pneumatika, mechanické vlastnosti, testování.

## **ABSTRACT**

The bachelor work deals with the tread wear tire compounds that are designed for vehicles that operate under very demanding conditions (trucks and construction vehicles and machinery). These tires, which move in difficult terrain, they are exposed to high wear. The sharp edges of stones and various inequalities gradually pulling out of the tread. The mechanism of wear of the tread is completely different than tires that are rolling, on the road. Testing this tread is carried loaded on the unit Chip - Chunk, which simulates the demanding terrain. The work also deals with the mechanical properties of rubber, which are intended for the production of these tread.

Keywords: Wear, tread, rubber, tire, mechanical properties, testing.

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za velkou ochotu, poskytnutí informací, rady a připomínky při vypracování teoretické, tak i praktické části bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat zaměstnancům Univerzitní knihovny ve Zlíně za ochotu a zapůjčení odborné literatury, ze které jsem čerpal mnoho informací.

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>11</b> |
| <b>1 HISTORICKÝ VÝVOJ PNEUMATIKY</b> .....                         | <b>12</b> |
| <b>2 PNEUMATIKA</b> .....  | <b>15</b> |
| 2.1 FUNKCE PNEUMATIK. ....   | 15        |
| 2.2 ČÁSTI PLÁŠTĚ PNEUMATIK .....                                   | 16        |
| 2.2.1 Běhoun .....   | 17        |
| 2.2.2 Polyamidový (PA) nárazník .....                              | 19        |
| 2.2.3 Nárazník .....   | 19        |
| 2.2.4 Bočnice.....   | 20        |
| 2.2.5 Kostra pláště.....   | 20        |
| 2.2.6 Vnitřní pryžová vrstva.....                                  | 21        |
| 2.2.7 Patka.....   | 21        |
| 2.2.8 Patní lanko.....   | 22        |
| 2.2.9 Výztužný pásek .....   | 23        |
| 2.3 DĚLENÍ PNEUMATIK .....   | 23        |
| 2.3.1 Dle konstrukčního uspořádání.....                            | 23        |
| 2.3.2 Dle druhu vozidel.....                                       | 26        |
| 2.3.3 Pneumatika s duší a pneumatika bezdušová .....               | 27        |
| <b>3 ZKOUŠKY PNEUMATIK</b> .....                                   | <b>29</b> |
| 3.1 ROZDĚLENÍ ZKOUŠEK .....  | 29        |
| 3.2 ODĚR PLÁŠTĚ PNEUMATIK.....                                     | 29        |
| 3.2.1 Oděr při vlečném pohybu.....                                 | 30        |
| 3.2.2 Oděr při valivém pohybu .....                                | 33        |
| 3.3 OPOTŘEBENÍ PLÁŠTĚ PNEUMATIK.....                               | 33        |
| 3.3.1 Zkoušky opotřebení.....                                      | 34        |
| <b>II CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> .....                               | <b>37</b> |
| <b>III PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....                                    | <b>39</b> |
| <b>4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI A OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ</b> ..... | <b>40</b> |
| 4.1 MĚŘENÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI .....                             | 40        |
| 4.1.1 Tahová zkouška.....  | 40        |
| 4.1.2 Zkouška strukturní pevnosti .....                            | 46        |
| 4.1.3 Zkouška tvrdosti.....  | 48        |
| 4.2 ZKOUŠKA OPOTŘEBENÍ.....  | 50        |
| 4.2.1 Rozměry a tvar zkušební vzorku.....                          | 51        |
| 4.3 ANALÝZA OPOTŘEBENÍ .....                                       | 52        |
| 4.3.1 Podmínky experimentu .....                                   | 52        |
| <b>5 DISKUSE VÝSLEDKŮ</b> .....                                    | <b>54</b> |
| 5.1 POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTI A OPOTŘEBENÍ SMĚSÍ .....     | 54        |
| <b>ZÁVĚR</b> .....   | <b>61</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....                             | <b>62</b> |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b> | <b>64</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                    | <b>65</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                     | <b>67</b> |

## ÚVOD

Pneumatika má v automobilovém průmyslu své nezastupitelné místo, a proto velmi záleží na jejich kvalitě. Gumárenský průmysl má v České republice dlouholetou tradici. Své postavení si toto průmyslové odvětví stále drží a patří k úspěšným rozvíjejícím se oborům. O významu gumárenského průmyslu pro hospodářství České republiky hovoří i fakt, že mezi stovkou největších výrobců pneumatik patří firmy jako např. Barum, Continental, Mitas, Peguform.

V češtině slovo „kaučuk“ označuje nesíťovaný polymer. Síťováním vzniká „elastomer“, 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.

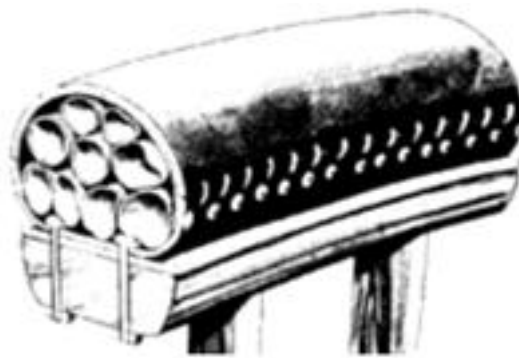
Pneumatiky jsou významnou a sledovanou součástí běžného života dnešní společnosti. Bez pneumatik by se dnes většina dopravních prostředků neobešla, počínaje jízdním kolem, přes motocykly, traktory, osobní a nákladní automobily, trolejbusy, letadla atd. až po různé zemědělské stroje a stroje pracující ve velmi těžkých terénních podmínkách. [15]

Úroveň technologie výroby i jakost hotových pláštů 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. Z těchto důvodů vznikl i požadavek, aby pro opotřebení silně namáhaných běhounových směsí pneumatik vozů pohybujících se v extrémních mimo silničních 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 obušování běhounu dochází k postupnému vykusování a vykrajování kousků běhounové pryže ostrými okraji kamenů a dalšími terénními nerovnostmi. [1]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORICKÝ VÝVOJ PNEUMATIKY

Pneumatika byla vynalezena v roce 1845 R.W. Thomsonem při pokusech o zmírnění otřesů vozu na obyčejných kolech. Je však třeba doplnit, že již v roce 1839 pan Goodyear vynalezl metodu tepelné vulkanizace kaučuku sírou a na základě toho pak získal R.W. Thomson patent na „pružný nosný element, sestávající přednostně z dutého železa, zhotoveného z hmoty nepropustné pro vodu a vzduch ze sířeného kaučuku nebo gutaperči – nasazeného na obvod vozového kola, aby se potřebná tažná síla zmenšila, pohyb kol se stal měkčím a aby se zmenšil hluk, který kola za jízdy vyvozují.“ [2]



Obr. 1 Konstrukce první pneumatiky. [3]

V roce 1888 byla veterinářem J.B. Dunlopem patentována původní pneumatika, kterou rozdělil na duši a plášť. Kolem roku 1867 se objevily plné pryžové obruče, které v roce 1873 použil Amédée Bolée u parního omnibusu. V roce 1904 byl zaveden již plochý běhoun a o rok později byl do běhounu vyřezán dezén. Od roku 1924 jsou používány kordové vrstvy v kostře pneumatiky. Nízkoprofilová pneumatika byla uvedena do provozu v roce 1936. V tomtéž roce byl použit ocelový kord do nárazníkové vrstvy pneumatiky. V roce 1949 uvedl Michelin na trh pneumatiku s označením „X-Tire“, což byla první radiální pneumatika. V roce 1951 byla radiální pneumatika použita na kolech nákladních automobilů. V roce 1950 byl ukončen vývoj bezdušové pneumatiky, v roce 1976 byl použit aramidový kord pro výrobu pneumatik (kevlar). Celý počátek vzniku pneumatiky je třeba hledat mnohem dříve a to vznikem kola, které umožnilo vzniku vozu. Postupným zdokonalováním kola přišla na svět pneumatika. Již 1500 let před před naším letopočtem byl v Egyptě znám dvoukolový vůz. V roce 1459 byl sestrojen pro císaře Maxmiliána vůz s dvojitým

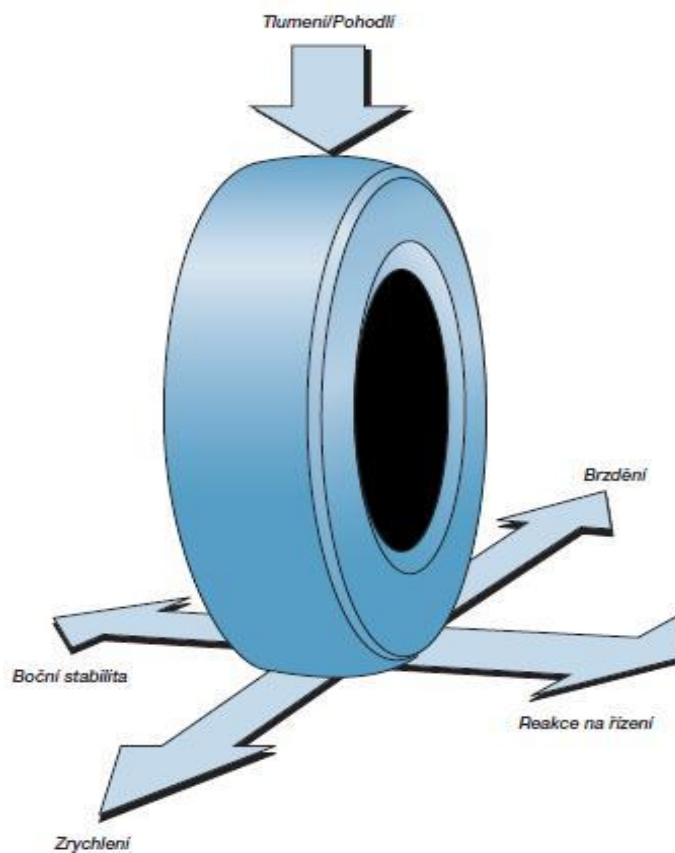
dřevěným kolem o průměru 6 metrů. Pohyb kola byl realizován tak, že po obvodu kol byla umístěna podlaha, po které kráčeli sloužící. Postupně se objevovaly čtyřkolové kočáry poháněné lidskou silou pomocí systému pák a ozubených převodů. Díky Jamesi Wattovi (patent na parní stroj získal až v roce 1784), resp. Denisu Papinovi (1698) byla k pohonu vozů využita pára. Parní stroj sice ještě sám nepracoval, ale člověk, který u něho seděl neustále střídavě otevíral a zavíral ventil. V této době bylo k pohonu použito kolo dřevěné s hladkým běhounem. Vzhledem k pevnému běhounu a neodpruženým hmotám byla jízda s těmito vozidly nepohodlná a nebezpečná i přes nízké maximální rychlosti. První náznak „vroubkovaného dezénu“ kola se objevil u Cugnotova parního automobilu, který byl veřejně předveden v Paříži roku 1769. Velký konstrukční pokrok v pohonu kol učinil Angličan William Henry James, který vyřešil samostatný pohon jednotlivých kol tím, že každé ze čtyř kol jeho dostavníku poháněl samostatný parní stroj. K odpružení použil celoeliptická listová pera. Takže na světě byl již první přenos síly na jednotlivá kola. James vyřešil i nezávislý pohyb kol v zatáčkách. Podle toho, na kterou stranu se točila přední řídicí kola, přírodní ventily dodávaly více páry kolům na protější straně vozu. Kolem roku 1829 se již objevují běhouny tvořené silným pásem plsti, která byla nanýtována na dřevěnou obruč kola. Plst' již částečně tlumila nárazy kola na povrch vozovky a zvýšil se součinitel tření mezi kolem a povrchem vozovky. V roce 1886 přihlásil Karl Benz k patentování jednoválcovou tříkolku, což znamenalo nástup nové éry automobilismu. Pro vývoj pneumatik je důležité to, že se snížila hmotnost vozidel a kola doznala zmenšení rozměrů šířky. Pryž byla vulkanizována do žlábků kola, čímž nedocházelo v takové míře k jejímu separování jako dříve a také běhoun byl v ramenní části zaoblen. Kola se začala vyrábět ocelová s tenkými loukotěmi (tříkolka Karla Benze v roce 1886 byla opatřena koly vypletenými dráty). V roce 1889 postavil Gottlieb Daimler poměrně dokonalý vůz, jehož podvozek z ocelových trubek nesl již čtyřstupňovou převodovku a diferenciál. Zavedením diferenciálu došlo ke zvýšení životnosti pryže, protože nedocházelo k jejímu ulamování a drásání o povrch vozovky. Stále ještě nebyly používány pneumatiky a jednalo se o pryžové obruče. V roce 1891 se v Paříži objevilo zastoupení pneumatik firmy Dunlop a v tuto dobu vstoupili do vývoje pneumatiky bratři Michelinové. Ti začali vyvíjet pneumatiky pro automobil. Stanovili rozměr průřezu na 65 mm. Při zkouškách zjistili, že u plnopryžových obručí praskaly v kolech dráty. Při použití pneumatik se to nikdy nestalo a dokonce se mohly použít dráty o třetinovém průměru, než bylo obvyklé u kol s plnými obručemi. Automobil značky Peugeot byl prvním, který vyjel v Evropě na pneumatikách. V Americe to byl pak lehký auto-

mobil bratrů Ch. a F. Dureyů z Illinoisu a to v roce 1895. Jak je patrné z uvedených historických dat, pneumatiky prodělaly od svého vzniku mnoho změn. Jednou z těch nejdůležitějších byla změna v konstrukci pneumatik. Diagonální konstrukce byla nahrazena radiální konstrukcí. Další změnou bylo používání ocelových kordů v nárazníkové vrstvě a v oblasti patky. Velmi výrazný pokrok byl zaznamenán ve složení směsi pneumatik, resp. směsí v různých částech pneumatiky a v použití materiálu vláken. Změny samozřejmě probíhají neustále. Lze očekávat, že v nejbližší době budou uvedeny na trh kola s pneumatikami s výrazně lepšími vlastnostmi. Nebudou se týkat pouze samotné pneumatiky, ale kolo vozidla bude již konstruováno jako celek a lze se domnívat, že v brzké době bude činnost pneuservisů omezena pouze na výměnu kompletních kol osobních automobilů. [2]

## 2 PNEUMATIKA

### 2.1 Funkce pneumatik.

Pneumatiky jako součást automobilu hrají význačnou roli. Auto je složeno ze spousty součástí a každá tato součástka je většinou limitovaná jen jednou funkcí. Pneumatiky, navzdory svému jednoduchému vzhledu, se od ostatních součástí liší právě tím, že mají hned několik funkcí najednou. Pneumatika tedy nese váhu auta, redukuje nárazy a k tomu ještě navíc zprostředkovává sílu pohonu, brzd a řízení auta. Také zajišťuje, aby auto zůstalo v pohybu. Aby mohla pneumatika všechny tyto funkce splňovat, musí být konstruována jako pružná vzduchová trubice. Duše pneumatiky se používá k udržení stlačeného vzduchu v pneumatice. Samotná duše však nevydrží tak vysoký tlak, který by unesl vysokou váhu auta. Navíc postrádá sílu snést jakékoliv povrchové poškození a nárazy způsobené řízením. To zajišťuje plášť pneumatiky. [4]

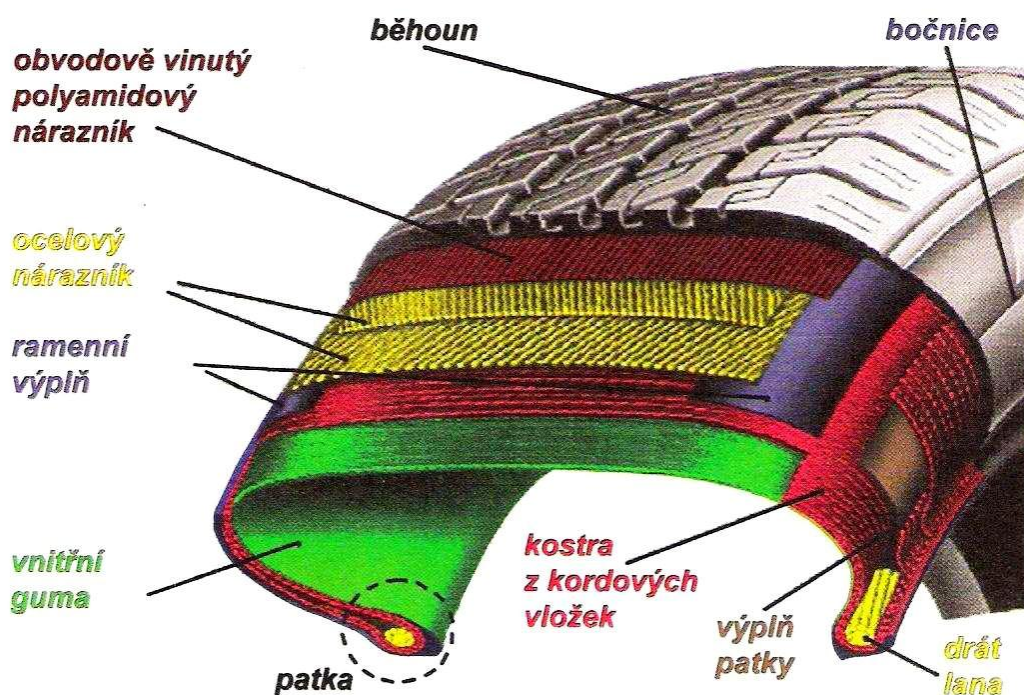


Obr. 2 Síly působící na pneumatiku [4]

Kostra pneumatiky je vnitřní vrstva, která chrání duši obsahující vysoce stlačený vzduch a nese vertikální zatížení. Tlustá pryž se připevní k ploše pneumatiky, které přichází do styku se silnicí, aby tak snesla vnější poškození. Vzorčky dezénu se vybírají podle typu jízdy auta a požadavků na bezpečnost. Abychom měli jistotu, že pneumatiky jsou bezpečně nasazeny na ráfky, je nutné mít pevnou konstrukci pneumatiky. S vývojem kvality a schopností automobilů a také s vývojem různých typů aut, začaly být i vlastnosti a výkony pneumatik stále více komplexní a různorodé. [4]

## 2.2 Části pláště pneumatik

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. Pláště pro osobní i nákladní automobily se skládají z těchto hlavních částí, které jsou zobrazeny na obrázku 3. [5]



Obr. 3 Konstrukce pláště pneumatiky. [8]



### 2.2.1 Běhoun

Běhoun je část pláště opatřena vzorkem, který zajišťuje styk kola vozidla s vozovkou. Tloušťka běhounu by měla být co nejtenčí, protože má zásadní vliv na zahřívání pneumatiky. V praxi se volí tloušťka běhounu tak, že 80% tvoří vzorek s drážkou a zbylých 20% tvoří hmota. Tento poměr platí u osobních aut, u nákladních aut je běhoun konstruován tak, že je zde možnost dalšího prořezání drážek. Pláště pro osobní vozy je zakázáno prořezávat. Vzorek běhounu se také nazývá jako dezén. V praxi může být plášť tvořen dvouvrstvým běhounem. Vrchní vrstva má velmi vysokou odolnost proti opotřebení, zatím co spodní vrstva je vyrobena tak, aby měla co nejmenší hysterezní ztráty při dynamickém namáhání.

Nízké hysterezní ztráty znamenají nízké teplotní namáhání pneumatiky. Vnější část musí mít velkou životnost a dostatečnou adhezi s vozovkou a vnitřní část má funkci snížit valivý odpor a ochránit kostru a nárazník před mechanickým poškozením. Právě dostatečná adheze na všech druzích povrchů a za všech klimatických podmínek je dominantním úkolem běhounu pneumatiky. Rozmístění a tvar drážek a segmentů běhounu má své opodstatnění a je výsledkem pečlivého zkoumání a dlouhodobého vývoje a testování. [5]



Obr. 4 Běhoun. [6]

Vnější zóna (1) je nejvíce namáhána při manévrování. Je tvořena tuhými, maximálně pevnými bloky, které mají za úkol zabezpečit co nejlepší jízdní stabilitu vozidla a přesné a bezpečné ovládání. Vnitřní zóna (2) má díky příčným drážkám (4) výrazně posilující úči-

nek záběru na sněhu a konstruován tak, aby dokázala zajistit dostatečný odvod vody při jízdě na mokrých vozovkách. Čtyři obvodové drážky (3) mají za úkol zajistit dostatečné držení směru jízdy a jsou důležité při odvodu vody ze styčné plochy pneumatiky s vozovky. Příčné drážky (4) jsou umístěny ve výrazně tangenciálním směru ke směru jízdy. Mají za úkol efektivně odvádět vodu při jízdě na mokré vozovce a starat se o co nejlepší záběr na sněhu. Technologie nestejně širokých bloků ve vnitřní i vnější zóně (5) částečně eliminují hluk vznikající při odvalování. Husté lamelování (6) zvyšuje záběrovou a brzdící schopnost pneumatiky. [5]



Obr. 5 Zóny a drážky na běhounu. [5]

Při akceleraci nebo brzdění dojde v místě s vozovkou k rozevření lamel a vznikne tak velké množství záběrových hran, které přispívá k lepším adhezním schopnostem pneumatiky hlavně na mokré a zledovatělé vozovce. Hlavní význam přítomnosti lamel při jízdě na mokré vozovce spočívá v tom, že při rozevření lamel se do vzniklých dutin může dostat voda a tím se zmenšuje množství vody, které je nutno odvézt ze styčné plochy pneumatiky s vozovkou. Při přenosu bočních sil se lamely jednoho bloku do sebe zaseknou a nerozevrou se. Vznikne tak blok s vyšší tuhostí, který je příčinou lepší boční stability a nižšího opotřebení. Množství, tvar a rozmístění lamel má významný vliv na vlastnosti pneumatiky. [5]

### 2.2.2 Polyamidový (PA) nárazník

Polyamidový nárazník je umístěn nad ocelovým nárazníkem. Někdy se také označuje jako překrývací nárazník. Jeho kordy jsou umístěny v pneumatice ve směru odvalování. Nad ocelovým nárazníkem bývá položen v jedné nebo dvou vrstvách. Díky vyztužení spodní části běhounu umožňuje dosažení velmi vysokých rychlostí bez obvodové deformace pneumatiky. Má také vliv na snížení valivého odporu při odvalování pneumatiky. [5]



Obr. 6 PA nárazník. [6]

### 2.2.3 Nárazník

Nárazník je pryží obalený ocelový kord s kordovými vlákny uloženými ke směru odvalování pod malým úhlem ( $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ). Zajišťuje odpovídající životnost pneumatiky, stabilizuje běhoun, předchází hlubokému poškození kostry pláště, jeho konstrukce má veliký vliv na snížení valivého odporu. [5]



Obr. 7 Nárazník. [6]

#### 2.2.4 Bočnice

Bočnice je vyrobena z přírodního kaučuku, který je časově odolný, pevný v tahu a odolný proti vzniku a růstu trhlin. Zajišťuje ochranu kostry před vnějšími vlivy. Nepodléhá stárnutí a vydrží mnohonásobný ohyb. Spojuje patky pláště s běhounem. Stárnutí u bočnic je způsobeno kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Stárnutí můžeme zamezit přidáním antioxidantů nebo antiozonantů do kaučukové směsi bočnice. Tyto přísady na sebe vážou atmosferický kyslík nebo ozón. Na bočnici najdeme všechny údaje identifikující daný plášť. [5]



Obr. 8 Bočnice. [6]

#### 2.2.5 Kostra pláště

Kostra pláště je základní část pláště složená z vložek tvořených kordovými vlákny. Vložky jsou ukotveny kolem patních lan. Její stavba a složení určují základní vlastnosti pláště. Velmi důležitou částí kostry jsou vlastní kordová vlákna. Vlákna těchto vrstev jsou kladena napříč směru jízdy a jsou zahnutá okolo bočních výztuh, je tvořena kordovými vložkami. V průběhu vývoje plášťů se měnil systém kladení vláken i materiál. Od křížové tkaniny v dávné historii k paralelnímu kladení netkaných kordových vláken v současnosti. Podle uspořádání kordové vrstvy rozlišujeme pneumatiky radiální a diagonální. [5]



Obr. 9 Kostra pláště. [6]

### 2.2.6 Vnitřní pryžová vrstva

Vnitřní pryžová vrstva 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. [5]



Obr. 10 Vnitřní pryžová vrstva. [6]

### 2.2.7 Patka

Patka pláště zesiluje boční část pláště, který v oblasti patních lan dosedá na opěrné plochy ráfku disků kol. Vlivem tlaku vzduchu v pneumatice je patka pláště přitlačována na ráfky. Patka má za úkol přenášet všechny boční síly vznikající mezi ráfkem a pláštěm a nesmí dovést únik vzduchu v oblasti opěrných ploch ráfku. Jádrem patky je vyrobeno ze syntetického kaučuku. V pneumatice má za úkol zajišťovat postupný přechod z oblasti patky, která se vyznačuje vysokou tuhostí, do elastické oblasti bočnic pneumatiky.

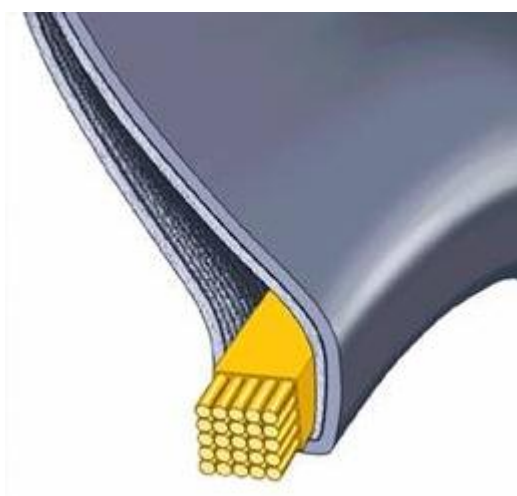
Zabezpečuje velkou tuhost pláště a dokonalý přenos příčných sil. Jádrem patky obsahuje přídavné textilní nebo ocelové kordové výztuže, které mají za úkol zvýšit ohybovou tuhost patky v nadpatkové části pláště. Díky této zvýšené tuhosti je zmírněno vydouvání pláště v oblasti dosedacích ploch ráfku a je tak zabráněno možnosti sesmýknutí pneumatiky z disku kola při působení bočních sil. [5]



Obr. 11 Patka. [6]

### 2.2.8 Patní lanko

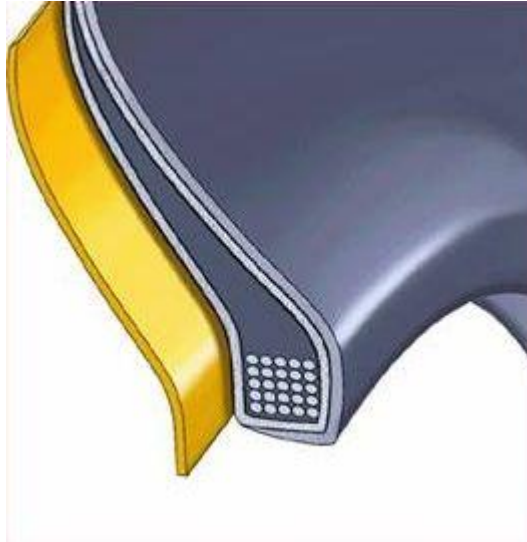
Patní lanko je vyrobeno ze svazku vysoko pevnostních ocelových drátů. Díky třecím silám vznikajícím mezi pryžovými povrchy vyztužuje patku v obvodovém směru, čímž zaručuje správné a bezpečné usazení pláště na ráfku a těsnost spojení pneumatiky s ráfkem. Okolo patního lanka jsou zakotveny kordové vložky kostry. [5]



Obr. 12 Patní lanko. [6]

### 2.2.9 Výztužný pásek

Výztužný pásek má za úkol zpevnit a stabilizovat přechodovou oblast mezi patkou pláště a boční stěnou. Je vyroben z nylonových nebo aramidových kordů, které jsou potažené pryží. [5]



Obr. 13 Výztužný pásek. [6]

## 2.3 Dělení pneumatik

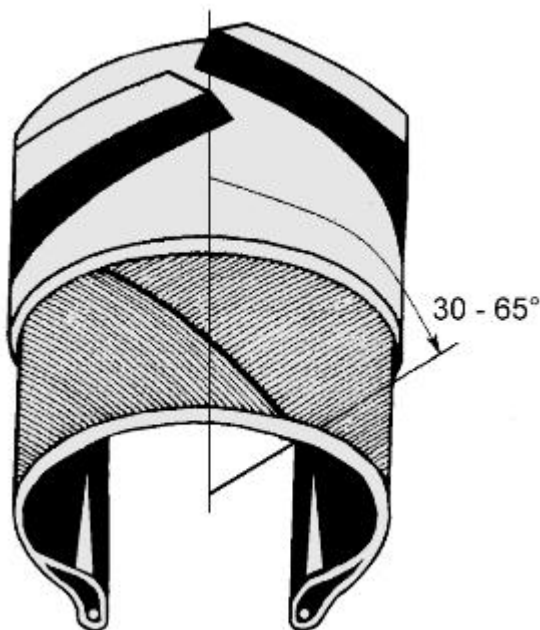
### 2.3.1 Dle konstrukčního uspořádání

Pneumatiky můžeme rozdělit podle konstrukčního uspořádání kordových vložek do tří skupin:

- a) **Diagonální pneumatiky**
- b) **Semiradiální pneumatiky**
- c) **Radiální pneumatiky**

a) **Diagonální pneumatiky** jsou v dnešní době považovány za „klasickou konstrukci“. Jejich kostra je tvořena páry kordových vložek s orientací vláken pod úhlem menším než  $90^\circ$  vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. Kordová vlákna sousedních

vložek se kříží a zasahují pod patková lanka, kolem kterých jsou přehnuta. Lze si teda 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. Po zatížení pneumatiky a její deformaci se vlákna neprodlužují, ale posunují a namáhají pryž mezi nimi na střiž. 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. [7]



Obr. 14 Diagonální pneumatika.[8]

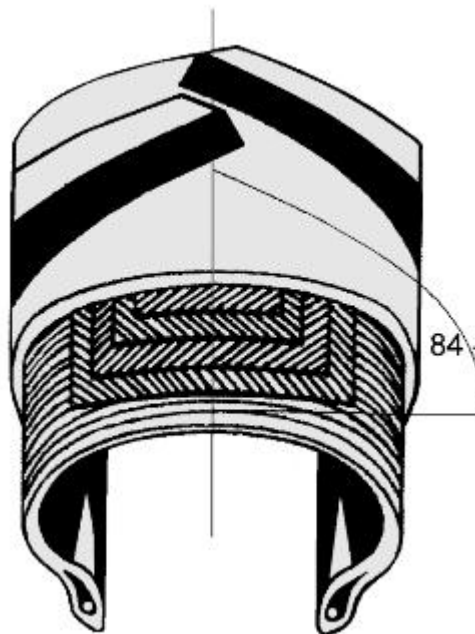
**b) Semiradiální pneumatiky** jsou vyvinuty od diagonálních pneumatik a vyznačují výrazně zpevněnou konstrukcí pod dezénem, čímž je dodána pneumatice delší životnost zmenšením příčných klouzavých pohybů, přičemž pneumatika je odolnější proti poškození. Příčné prokluzování je dáno konstrukcí pneumatiky 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 radiálních pláštíků. Zatímco kostra je stále konstruována diagonálně, pneumatika má nárazníkový pás, zpravidla z kevlaru. Vhodné pro rychlosti do 250 km/h. [7]

c) **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 dražší. [7]



Obr. 15 Radiální pneumatika.[8]

### 2.3.2 Dle druhu vozidel

- a) Jízdní kola
- b) Skútry, motokola a vozíky
- c) Motocykly
- d) Osobní a dodávkové automobily
- e) Lehké nákladní automobily
- f) Nákladní automobily, autobusy a přívěsy
- g) Zemědělská vozidla
- h) Traktory a stroje na zemní práce
- i) Letadla
- j) Závodní a soutěžní vozidla

Zvláštní skupinu pneumatik tvoří pneumatiky s velmi nízkým hustícím tlakem a malým měrným tlakem na vozovku. (50kPa), umožňující průchod vozidlem na málo únosných půdách (např. v bažinách, na sněhu). [9]



Obr. 16 Rozdělení pneumatik dle druhu vozidel. [10]

### 2.3.3 Pneumatika s duší a pneumatika bezdušová

#### Pneumatika s duší

Pneumatika s duší se skládá z pláště, který zprostředkovává styk s vozovkou a svou patní částí dosedá na ráfek, z duše, což je tenkostěnný pryžový uzavřený prstenec, sloužící k udržení potřebného tlaku vzduchu v pneumatice, je opatřen ventilem, který umožňuje nahuštění a vypuštění vzduchu nebo jiného média a ochranné vložky, jež chrání duši před poškozením ráfkem. [11]

#### Bezdušová pneumatika

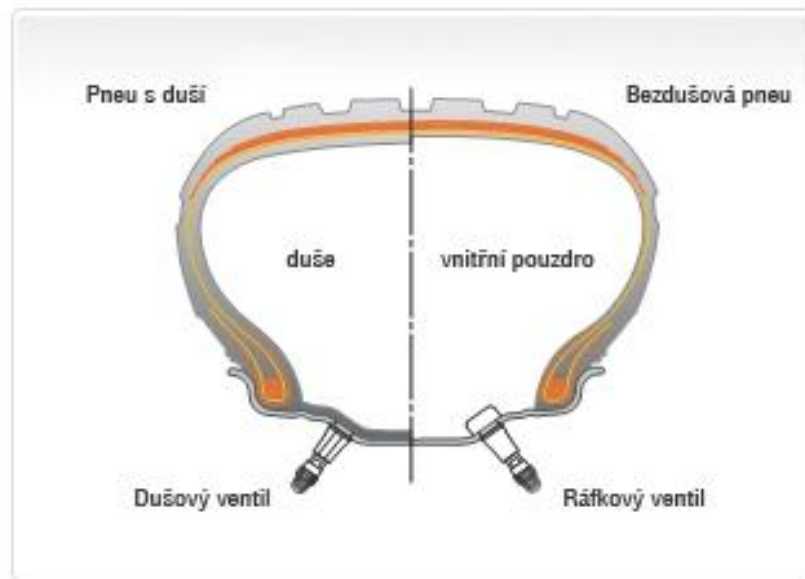
V dnešní době se vyrábí rychlejší auta než dříve, proto byla vyvinuta bezdušová pneumatika, která zajišťuje větší ochranu řidičů a aut před nebezpečím nehod, způsobených propíchnutím pneumatiky během řízení ve vysoké rychlosti, byla vynalezena bezdušová pneumatika. Místo duše se uvnitř pneumatiky použije vrstva speciální gumy (vnitřní pogumování), která brání úniku vzduchu z pneumatiky a ráfku. I kdyby došlo k propíchnutí pneumatiky hřebíkem v době, kdy je auto v pohybu, tlak vzduch v pneumatice se tolik nesníží. I tento druh pneumatik je však stále nutné pečlivě udržovat, protože neexistuje pneumatika, která by nespaskla. Navíc existují bezdušové pneumatiky, které na vnitřní straně pogumování využívají vzduchotěsný a vysoce pojivý tmel, který ještě více zamezuje úniku vzduchu. [10]

#### Výhody bezdušových pneumatik

- udrží tlak vzduchu
- nedochází k úniku vzduchu, pouze při propíchnutí
- lepší odvádění tepla během řízení auta, protože vzduch uvnitř pneumatiky je v přímém kontaktu s ráfkem
- méně oprav a údržby než u pneumatiky s duší
- zvýšená efektivita výkonu bez montáže duše

### Nevýhody bezdušových pneumatik

- dochází k oddělení, když se objeví trhlina v patce pneumatiky
- pokud není pneumatika dobře nasazena na ráfek, dochází k úniku vzduchu
- je třeba dbát zvýšené pozornosti, pokud řídíte auto po nezpevněné vozovce, kamínky a jiné úlomky mohou poškodit okraj ráfku a způsobit tak únik vzduchu. [10]



Obr. 17 Porovnání pneumatiky s duší a bezdušové pneumatiky. [10]

## 3 ZKOUŠKY PNEUMATIK

### 3.1 Rozdělení zkoušek

Zkoušky pneumatik můžeme rozdělit na tři základní skupiny.

- a) **laboratorní**
- b) **provozní**
- c) **speciální**

Do laboratorních zkoušek můžeme zařadit jednu z nejdůležitějších zkoušek a to zkoušku 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. Provozní zkoušky představují sledování průběhu úbytku hloubky drážky dezénu nebo váhy běhounu, životnosti kostry pneumatiky a jejích elementů při jízdě pneumatiky na vozovce. Provozní zkoušky můžeme dále rozdělit na **usilovné**, které se konají za přesně definovaných provozních podmínek, kdy vozidlo jezdí samoučelně s konstantním nákladem a obvykle po stále stejné trati (zkušebním okruhu), a na **zkoušky v normálním provozu** za nekontrolovatelných podmínek u různých firem. Tyto zkoušky 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 nám velmi rychle a přesné výsledky.

Do speciálních zkoušek pneumatik, prováděných na vozidle, je možno zahrnout např. zkoušky brzdných a akceleračních vlastností, záběrové a tahové zkoušky terénních a traktorových pneumatik i pneumatik pro zemní práce (pro provoz v písku, sněhu atd.), zkoušky skluzových a vodících 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. [15]

### 3.2 Oděr pláště pneumatik

Opatřebení plášťů pneumatik 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 Schallmacha a

jeho spolupracovníků. Ti ukázali, že základním krokem při opotřebení musí být mechanický oděr, a že tedy hlavním 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 plášťů pneumatik závisí nejen na odolnosti běhounu proti oděru, ale i na elastických vlastnostech pneumatiky. [12]

### 3.2.1 Oděr při vlečném pohybu

Když budeme pryž vléct po hrubém povrchu, její objem se zmenšuje, díky odírání povrchu. U některých případů zůstává povrch pryže při odírání hladký. Podle Schallmacha se tento oděr nazývá „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]

#### a) 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 částic povrchu pryže při frikčním namáhání je podobný průběhu trhání, tj. postupu trhlin při zkoušce strukturální 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 částic. 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 vle-

čení 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 protahování je tedy řádu 1000% /s. Kdyby rozměry zrn a deformovaných mikrooblastí byly desetkrát menší, byla by rychlost místního protahování už řádu 104%/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 104%/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 kyslíčnickem 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].

#### b) Oděr provázený 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 plášťů pneumatik dochází hlavně při zatáčení. Brusné obrazce se na pryži vyvážejí 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 ostroty podmínek. Způsobuje to odlišná dispozice různých vulkanizátů k tvorbě obrazců. 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 ostroty podmínek, mohly seřadit různé vulkanizáty za všech okolností ve stejném pořadí kvality, tj. odolnosti proti oděru. [12]



### 3.2.2 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 hysterézí ztrácí v pryži. Čím větší jsou hysterézní 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 hysterézí 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, dvojnásobkem prokluzového úhlu a tuhosti kotouče. [12]

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]

### 3.3 Opotřebení pláště pneumatik

Musíme uvážit, že elastické vlastnosti pneumatiky jsou do značné míry určeny kostrou a že tedy vliv hysteréze pryže běhounu se tu projeví méně než u pryžových kotoučů. 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. Z části je to způsobeno vzrůstající teplotou povrchu pláště pneumatiky a z větší části tvorbou brusných obrazců. 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 plášťů na dráze s velkým počtem zatáček vzrůstá přibližně s třetí mocninou rychlosti vozidla. Zvýšení průměrné rychlosti o 20% má za následek zvětšení opotřebení až o 70%. Je zajímavé, že za mírných podmínek má běhoun 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 běhoun z butadienstyrenového kaučuku. Pokles opotřebení na mokré vozovce souvisí hlavně s poklesem povrchové teploty běhounu [14].

### 3.3.1 Zkoušky opotřebení

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 zkušební vzorku, způsobem přitlačování, drahou, po které se vzorek pohybuje, povahou a tvarem brusného materiálu, specifickým tlakem, rychlostí posunu apod. Výsledky udávají nejčastěji obje-

movou 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 opotřebenění běhounů pneumatik pracujících v náročných mimo silničních podmínkách. V těchto případech je mechanismus opotřebenění 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 opotřebenění 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 opotřebenění, 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 výsledkům 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 opotřebenění závisí na druhu kaučuku a na přísadách. Velmi dobrou odolnost proti opotřebenění má přírodní, nitridový, butadien-styrenový i natriumbutadienový kaučuk. U přírodního kaučuku se vysoká odolnost proti opotřebenění 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 opotřebenění.

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 vstřikování. 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 směsí – přesněji řečeno na druhu a množství použitých sazí. Podle dosavadních zkušeností stoupá, pokud jde o elastomer, odolnost proti opotřebení v řadě: kaučuk butadienstyrenový, přírodní kaučuk a studený kaučuk. Převulkanizací a stárnutím se odolnost proti opotřebení příliš nemění [14].

## **II. CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je provést měření opotřebení pryžových vzorků, které se používají pro výrobu velmi namáhaných částí pneumatik (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 těles z vybraných typů běhounových směsí
- provedení rychlého testu opotřebení
- vyhodnocení naměřených výsledků

### **III. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI A OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro praktické ověřování mechanických vlastností a míry opotřebení byly vybrány 3 druhy běhounových směsí, které jsou určeny pro vozidla, jež pracují ve velmi náročných podmínkách (každá směs obsahovala různé množství sazí). Tyto směsi se průmyslově zpracovávají a vyrábí se z nich reálné běhouny pláště pneumatik, které jsou v terénu silně namáhány a opotřebovány. Testované směsi budu označovat:

1. Směs A (NR - 75DSK, SKD - 25DSK, ZNO - 5DSK, STEARIN - 2,5 DSK, SAZE - 50DSK)
2. Směs B (NR - 75DSK, SKD - 25DSK, ZNO - 5DSK, STEARIN - 2,5 DSK, SAZE - 55DSK)
3. Směs C (NR - 75DSK, SKD - 25DSK, ZNO - 5DSK, STEARIN - 2,5 DSK, SAZE - 55DSK)

### 4.1 Měřené mechanické 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 Chip – Chunk)

Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byla připravena lisováním na laboratorním lisu typ 400x400, v laboratořích ÚVI FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám [15].

#### 4.1.1 Tahová zkouška

Při tahové zkoušce působí na zkušební vzorek síla, při které dochází ke změně jeho tvaru. Při zkoušce tahem je zkušební vzorek zatěžován klidnou silou zpravidla až do jeho porušení. Během zkoušky se sleduje vztah mezi působící silou a jí odpovídající deformací. Z naměřených hodnot se pak určí mechanické hodnoty. Za základní mechanické hodnoty se považují mez pevnosti, mez kluzu, tažnost a kontrakce. Tyto hodnoty se určují běžně. Méně běžné je podrobnější měření v oblasti pružných deformací, kde se zejména určuje modul pružnosti a mez pružnosti.



**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.

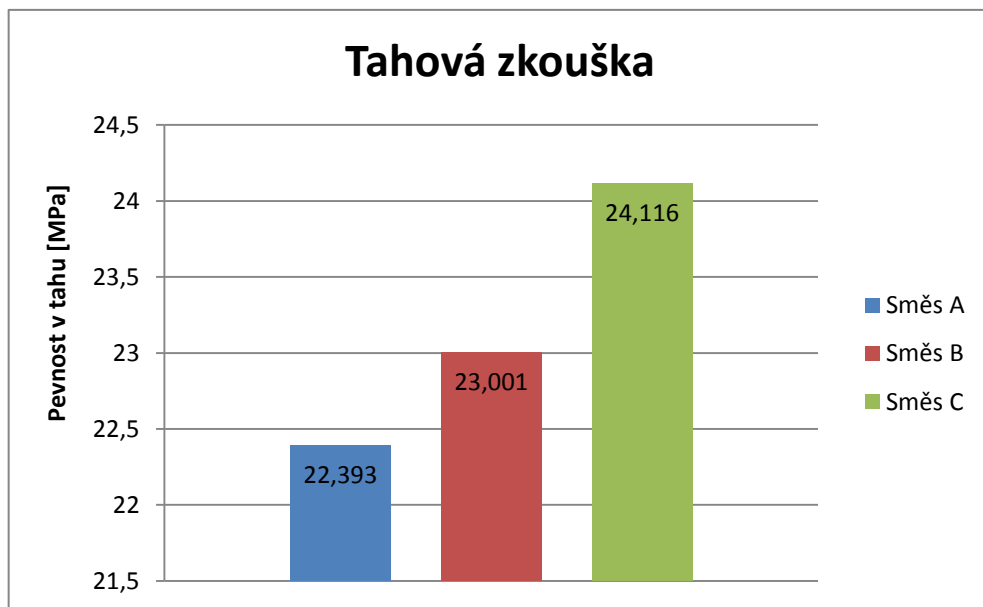
**Pevnost v tahu** - je definována jako maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování zkušební tělesa do okamžiku přetržení.

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

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

Tab. 1 Pevnost v tahu

| Směs | Pevnost v tahu [MPa] | Pevnost v tahu [-] | SMCH  |
|------|----------------------|--------------------|-------|
| A    | 22,393               | 0,929              | 1,658 |
| B    | 23,001               | 0,954              | 1,598 |
| C    | 24,116               | 1,000              | 0,811 |

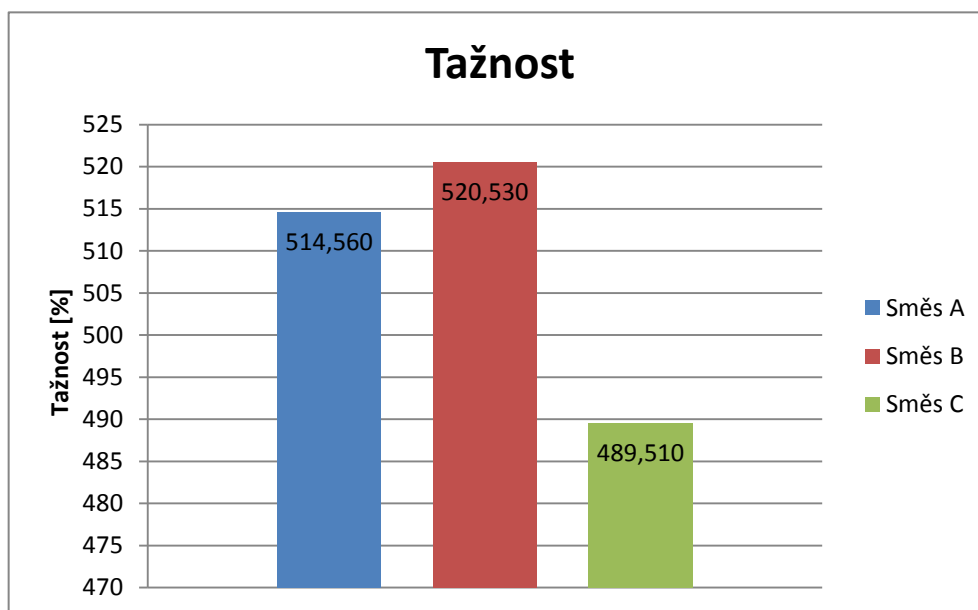


Obr. 18 Porovnání pevnosti v tahu

Nejvyšší pevnosti v tahu bylo dosaženo u směsi C, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u směsi A, jak je patrné z obrázku 18.

Tab. 2 Tažnost

| Směs | Tažnost [%] | Tažnost [-] | SMCH   |
|------|-------------|-------------|--------|
| A    | 514,560     | 0,989       | 28,184 |
| B    | 520,530     | 1,000       | 30,003 |
| C    | 489,510     | 0,940       | 15,026 |

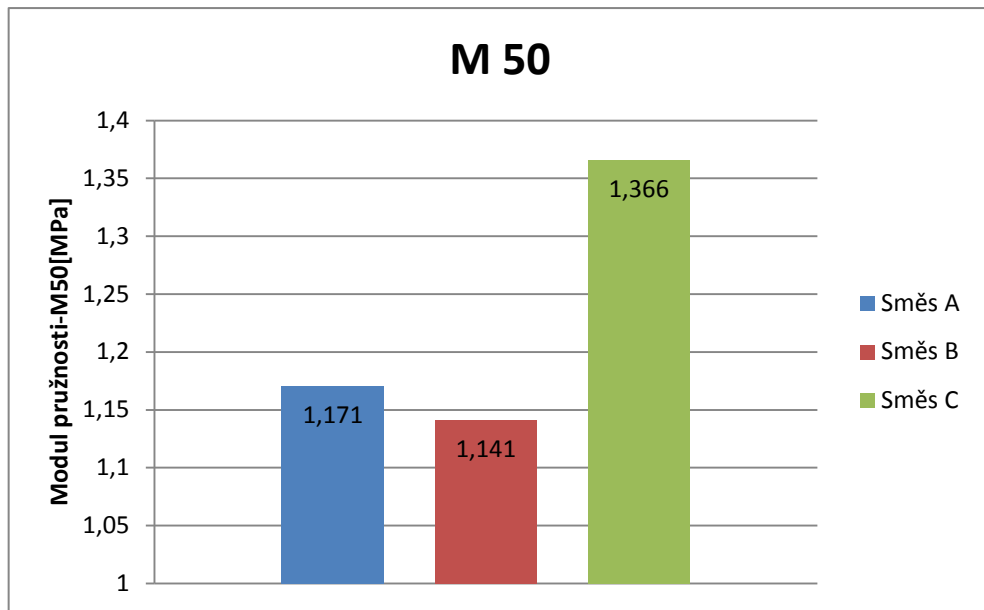


Obr. 19 Porovnání tažnosti

Z tahové zkoušky vyplynulo, že nejvyšší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi B, naopak nejmenší hodnota tažnosti byla naměřena u směsi C. Výsledky měření jsou uvedeny na obrázku 19.

Tab. 3 M 50 - modul pružnosti při 50% deformaci vzorku

| Směs | M 50 [MPa] | M 50 [-] | SMCH  |
|------|------------|----------|-------|
| A    | 1,171      | 0,857    | 0,025 |
| B    | 1,141      | 0,835    | 0,024 |
| C    | 1,366      | 1,000    | 0,070 |

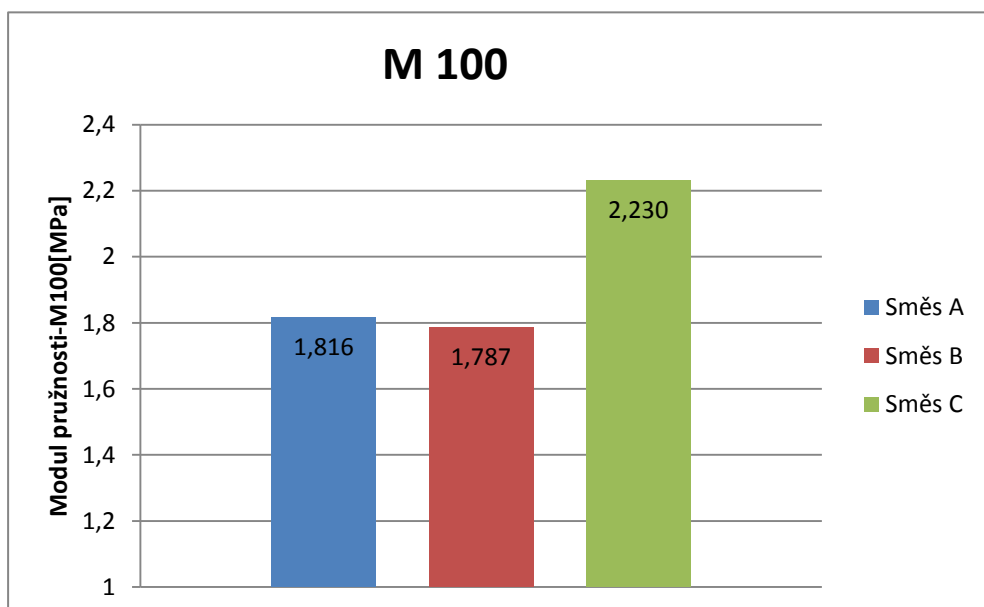


Obr. 20 Porovnání modulu pružnosti – M50

Nejvyššího modulu pružnosti (tuhost materiálu) při 50% deformaci vzorku dosáhla směs C, naopak nejnižší modul pružnosti měla směs B, což je patrné z obrázku 20.

Tab. 4 M 100 - modul pružnosti při 100% deformaci vzorku

| Směs | M 100 [MPa] | M 100 [-] | SMCH  |
|------|-------------|-----------|-------|
| A    | 1,816       | 0,814     | 0,045 |
| B    | 1,787       | 0,801     | 0,051 |
| C    | 2,230       | 1,000     | 0,166 |

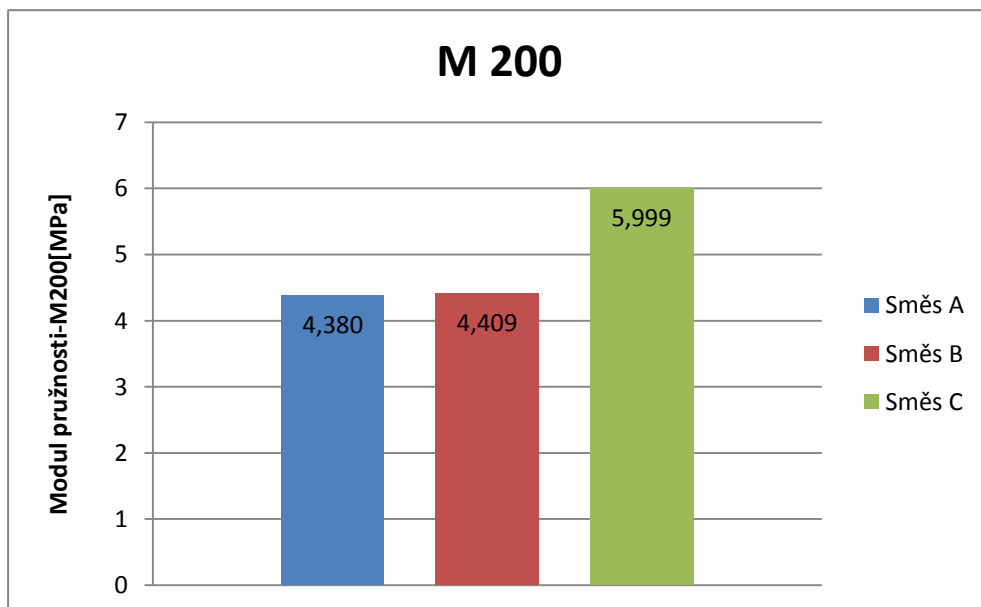


Obr. 21 Porovnání modulu pružnosti – M 100

Nejvyšší modul pružnosti při 100% deformaci vzorku má opět směs C, nejnižší hodnota modulu byla naměřena u směsi B. Naměřené hodnoty jsou uvedené na obrázku 21.

Tab.5 M 200 - modul pružnosti při 200% deformaci vzorku

| Směs | M 200 [MPa] | M 200 [-] | SMCH  |
|------|-------------|-----------|-------|
| A    | 4,380       | 0,730     | 0,165 |
| B    | 4,409       | 0,735     | 0,238 |
| C    | 5,999       | 1,000     | 0,530 |

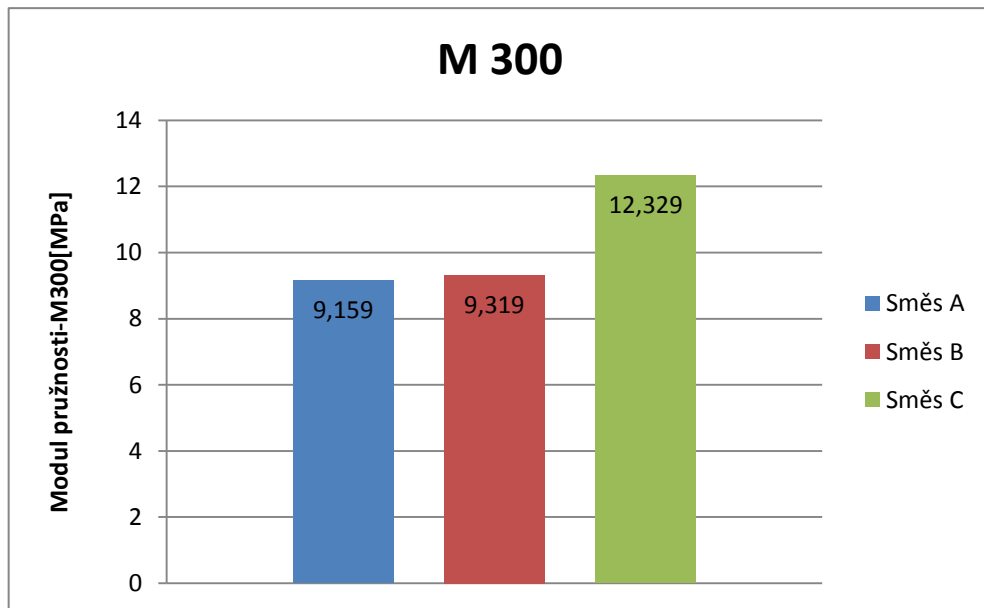


Obr. 22 Porovnání modulu pružnosti – M 200

Nejvyšší modul pružnosti při 200% deformaci vzorku má směs C, nejnižší hodnota modulu byla naměřena u směsi A. Naměřené hodnoty jsou uvedené na obrázku 22.

Tab. 6 M 300 - modul pružnosti při 300% deformaci vzorku

| Směs | M 300 [MPa] | M 300 [-] | SMCH  |
|------|-------------|-----------|-------|
| A    | 9,159       | 0,743     | 0,307 |
| B    | 9,319       | 0,756     | 0,458 |
| C    | 12,329      | 1,000     | 0,851 |

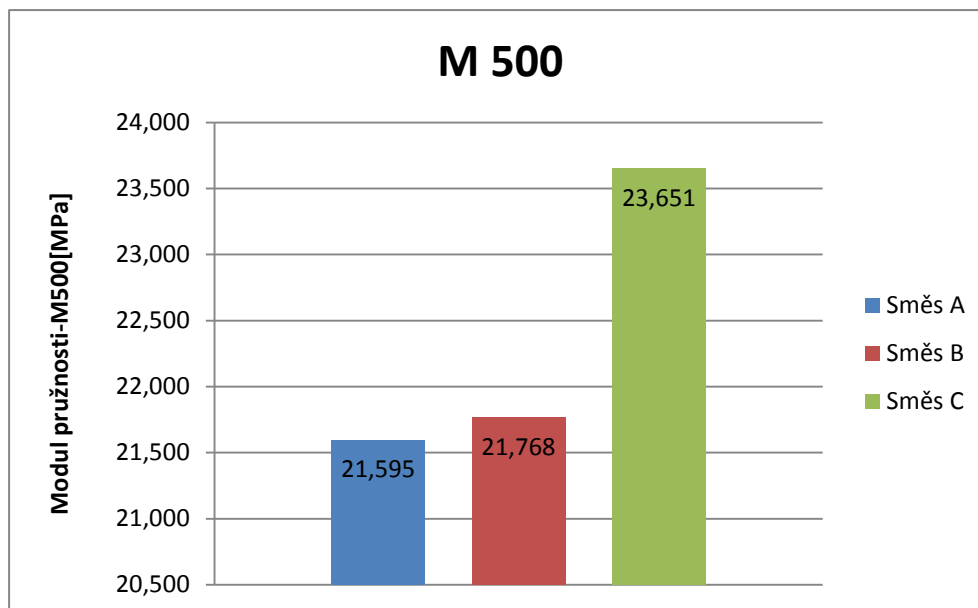


Obr. 23 Porovnání modulu pružnosti – M 300

Nejvyššího modulu pružnosti (tuhost materiálu) při 300% deformaci vzorku dosáhla směs C, naopak nejnižší modul pružnosti měla směs A, což je patrné z obrázku 23.

Tab.7 M 500 - modul pružnosti při 500% deformaci vzorku

| Směs | M 500 [MPa] | M 500 [-] | SMCH  |
|------|-------------|-----------|-------|
| A    | 21,595      | 0,913     | 0,382 |
| B    | 21,768      | 0,920     | 0,546 |
| C    | 23,651      | 1,000     | 0,211 |



Obr. 24 Porovnání modulu pružnosti – M 500

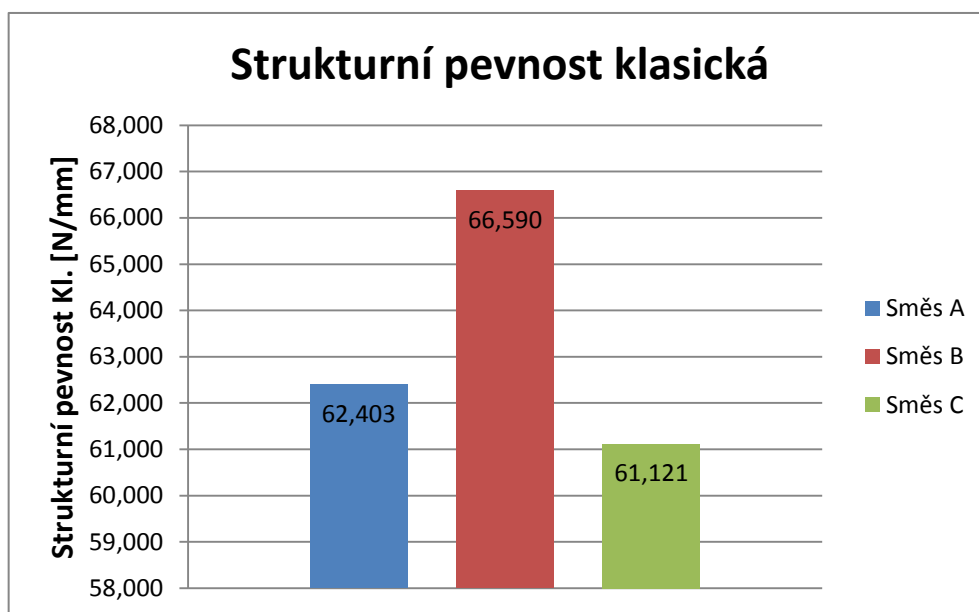
Nejvyšší modul pružnosti při 500% deformaci vzorku má směs C, nejnižší hodnota modulu byla naměřena u směsi A. Naměřené hodnoty jsou uvedené na obrázku 24.

#### 4.1.2 Zkouška strukturální pevnosti

Zkouška strukturální pevnosti byla prováděna na stroji T 2000 od firmy Sloha Technologies. Experiment byl prováděn za konstantní rychlosti protahování 500 mm/min. Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhačického 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. Strukturální pevnost (Ts) v N/mm je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa v mm.

Tab. 8 Strukturální pevnost klasická

| Směs | Strukturální pevnost KI. [N/mm] | Strukturální pevnost KI [-] | SMCH  |
|------|---------------------------------|-----------------------------|-------|
| A    | 62,403                          | 0,937                       | 5,417 |
| B    | 66,590                          | 1,000                       | 3,493 |
| C    | 61,121                          | 0,918                       | 2,117 |

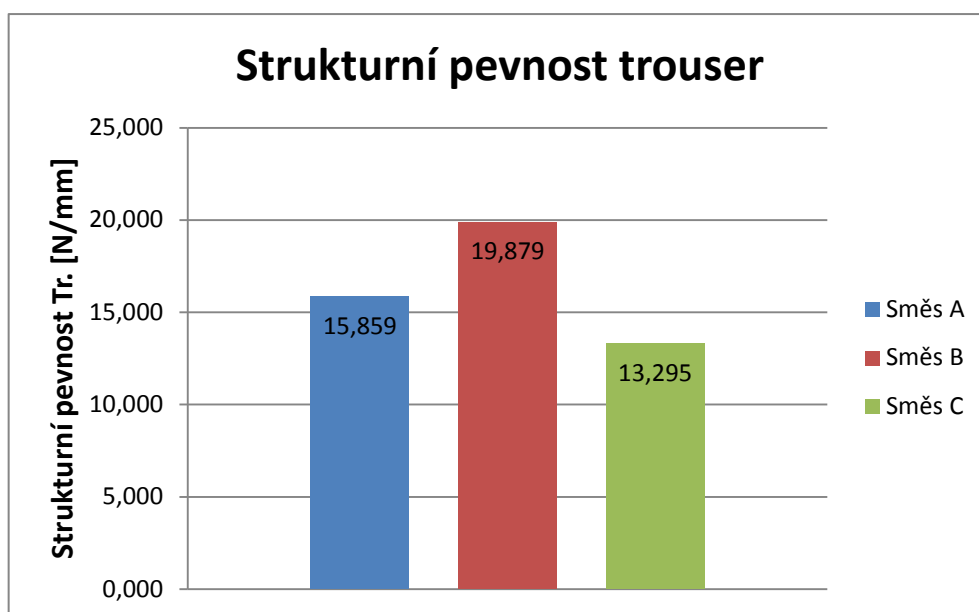


Obr. 25 Porovnání strukturální pevnosti klasické

Nejvyšší strukturální pevnost klasická byla naměřena u směsi B, naopak nejnižší strukturální pevnost měla směs C, naměřené hodnoty jsou uvedené na obrázku 25.

Tab. 9 Strukturální pevnost trouser

| Směs | Strukturální pevnost Tr. [N/mm] | Strukturální pevnost Tr [-] | SMCH  |
|------|---------------------------------|-----------------------------|-------|
| A    | 15,859                          | 0,798                       | 2,829 |
| B    | 19,879                          | 1,000                       | 3,923 |
| C    | 13,295                          | 0,669                       | 0,921 |



Obr. 26 Porovnání strukturní pevnosti trouser

Nejvyšší strukturní pevnost trouser (kalhotový typ) byla naměřena u směsi B, naopak nejnížší strukturní pevnost měla směs C, naměřené hodnoty jsou uvedené na obrázku 26.

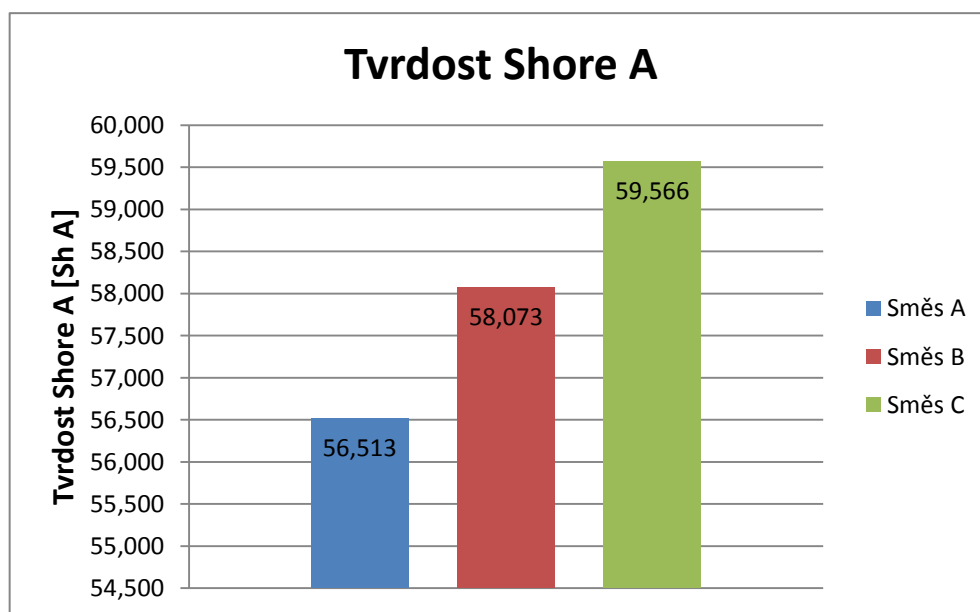
#### 4.1.3 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na tvrdoměru typu HPE – A Berreiss, metodou Shore A. Zkušební vzorky byly stejně, jako pro rychlý test opotřebení Chip – Chunk. Zkouška tvrdosti Shore A vyžaduje výšku zkoušeného materiálu minimálně 6 mm. Po zarytí hrotu do pryže čekáme 10s. Po uplynutí této doby zaznamenáme okamžitou hodnotu z číselníku v jednotkách Shore A. Tvrdost je nutno změřit alespoň na 5 různých místech vzorku. Z těchto hodnot je vypočten aritmetický průměr. Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušební hrotu vtačovaného 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. 10 Tvrdość Shore A

| Směs | Tvrdość Shore A [Sh A] | Tvrdość Shore A [-] | SMCH  |
|------|------------------------|---------------------|-------|
| A    | 56,513                 | 0,949               | 0,924 |
| B    | 58,073                 | 0,975               | 1,023 |
| C    | 59,566                 | 1,000               | 1,108 |

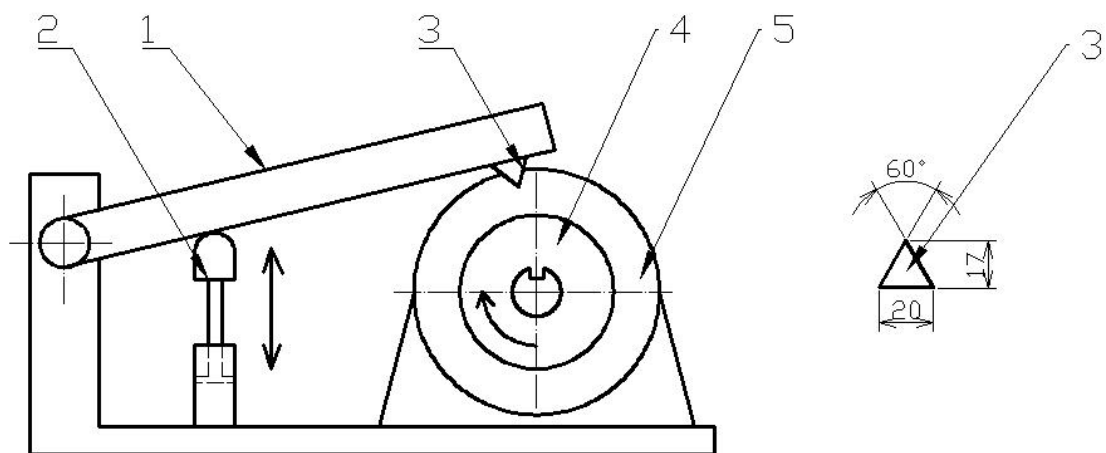


Obr. 27 Porovnání tvrdosti Shore A

Ze zkoušky tvrdosti vyplynulo, že nejvyšší tvrdost byla naměřena u směsi C, naopak nejnížší tvrdost měla směs A, což je patrné z obrázku 27.

## 4.2 Zkouška opotřebení

Zkoušky opotřebení pneumatik (běhounů) jsou časově i ekonomicky velmi náročné. Provádí se s hotovými pneumatikami na zkušebnách nebo přímo v terénu při jízdách zkouškách. 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 obrázku 28. Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování Chip – Chunk opotřebení.



Obr. 28 Schéma zařízení pro testování opotřebení Chip – Chunk

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

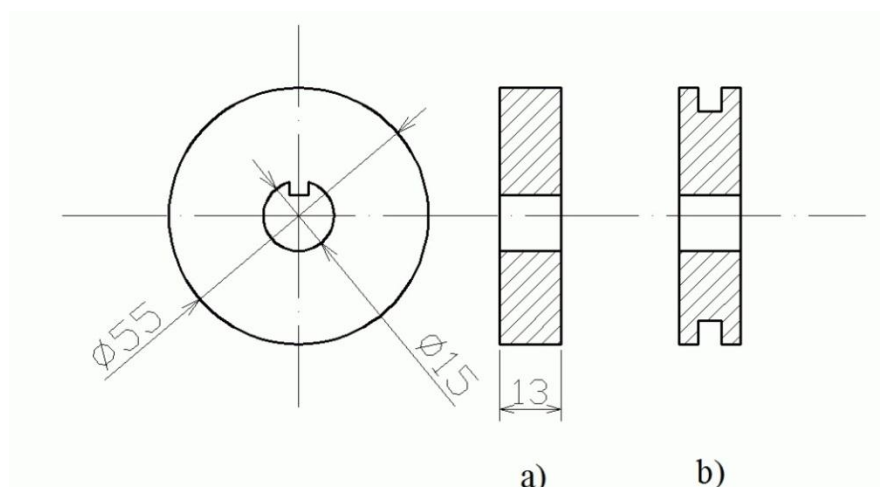
Rameno 1 je zvedáno zvedacím ustrojím (píst pneumatického válce) 2. Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn speciální keramický břit 3, na rotující kotouček 4 (zkušební těleso) poháněné elektromotorem 5. Při dopadu na rotující kotouč břit postupně vysekává materiál a tvoří v kotoučku drážku.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

- **Otáčky kotouče** (zkušebního vzorku) 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 břítu.** 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 zbrúšením vytvořeny tři řezné břity s úhlem 60°. [15]

#### 4.2.1 Rozměry a tvar zkušebního vzorku

Rozměry zkušebních vzorků byly z důvodu snadné přípravy navrženy dle obrázku 29. Průměr zkušebního vzorku byl zvolen  $\varnothing 55$  mm a šířka 13 mm stejně, jako je tomu u zkušebních vzorků pro stanovení tvrdosti Shore A. 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 vlastnostem obráběné pryže, u které se výrazně projevil její elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vytrhávání (vykusování) materiálu v okamžiku dopadu břítu na rotující kotouč. Z těchto důvodů bylo taky upuštěno od původní představy vyhodnocování opotřebení – měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky. [15]



Obr. 29 Tvar a rozměry zkušebního vzorku

a) před zkouškou, b) po zkoušce

### 4.3 Analýza opotřebení

Na opotřebení má rozhodující vliv energie dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa. Pokud by se jednalo o pevné těleso, bude výpočet účinku dopadové energie poměrně jednoduchý. Elastické vlastnosti zkušebního tělesa však způsobují, že dojde po hlavním účinku dopadu keramického břitu (prvním dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa) ještě k sérii dalších účinků s menší intenzitou („poskakování“ po povrchu). Hlavní účinky keramického břitu mají pouze částečný vliv na celkové opotřebení. Ukázalo se, že posuzovat celkovou práci potřebnou k opotřebení (tj. vytvoření drážky ve zkušebním tělese) pouze uvažováním energie hlavního dopadu, by bylo značně zkreslené. Pro první otestování experimentálního zařízení se proto vycházelo z předpokladu, že výsledky v dané sérii měření budou srovnatelné, pokud bude experiment probíhat za stejných podmínek. Konstrukce zkušebního tělesa s perem zapadajícího do drážky na hřídeli a upínací podložky s hroty zabraňují prokluzování zkušebního 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 břitem. Od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito 9 zkušebních těles zhotovených ze směsi A, B a C. 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 zkušebního tělesa v radiálním směru při dopadu keramického břitu, ze tří různých výšek (energie dopadu – normální, vysoká a nízká zátěž). [15]

#### 4.3.1 Podmínky experimentu

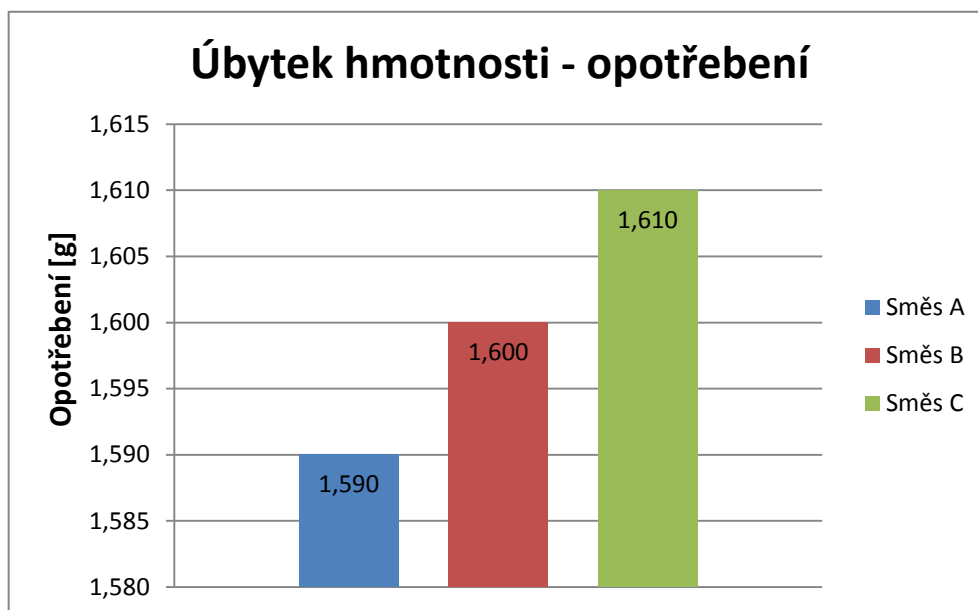
Zkoušky rychlého opotřebení byly prováděny na experimentálním zařízení při následujících podmínkách:

- otáčky zkušebního tělesa 0 - 910 min<sup>-1</sup>
- frekvence dopadu keramického břitu - 1 Hz
- zdvih keramického břitu - 60 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 břitem. Od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito 9 zkušebních těles zhotovených ze tří směsí A, B a C. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

Tab. 11 Úbytek hmotnosti - opotřebení

| Směs | Opotřebení [g] | Opotřebení [-] | SMCH  |
|------|----------------|----------------|-------|
| A    | 1,590          | 0,988          | 0,070 |
| B    | 1,600          | 0,994          | 0,110 |
| C    | 1,610          | 1,000          | 0,390 |



Obr. 30 Porovnání úbytku hmotnosti – opotřebení

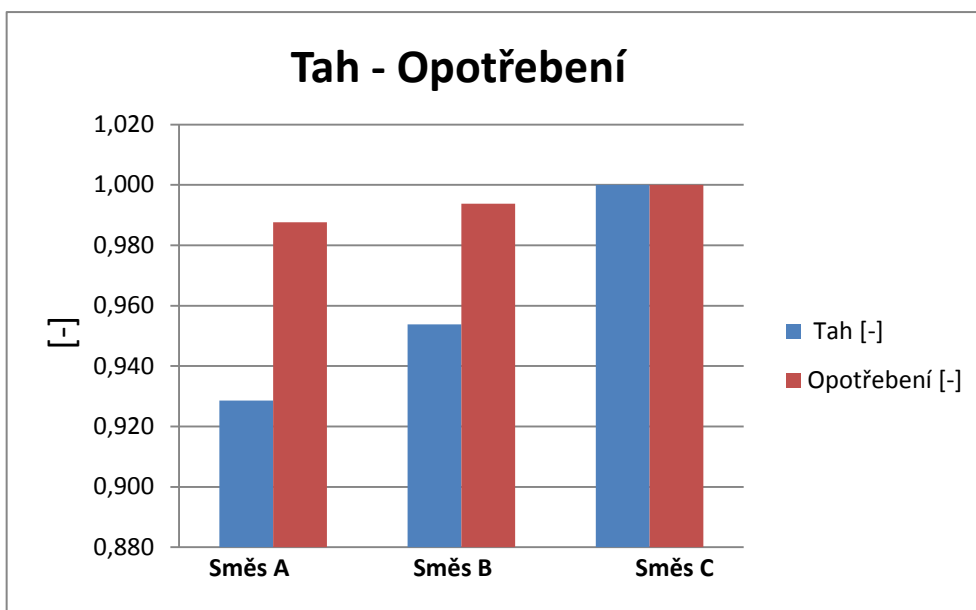
Při testu opotřebení vykazovala směs C nejvyšší úbytek hmotnosti, naopak směs A měla nejmenší úbytek hmotnosti, což je patrné z obrázku 30.

## 5 DISKUSE VÝSLEDKŮ

V experimentální části byly použity tři 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 9 ks zkušebních vzorků. 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.

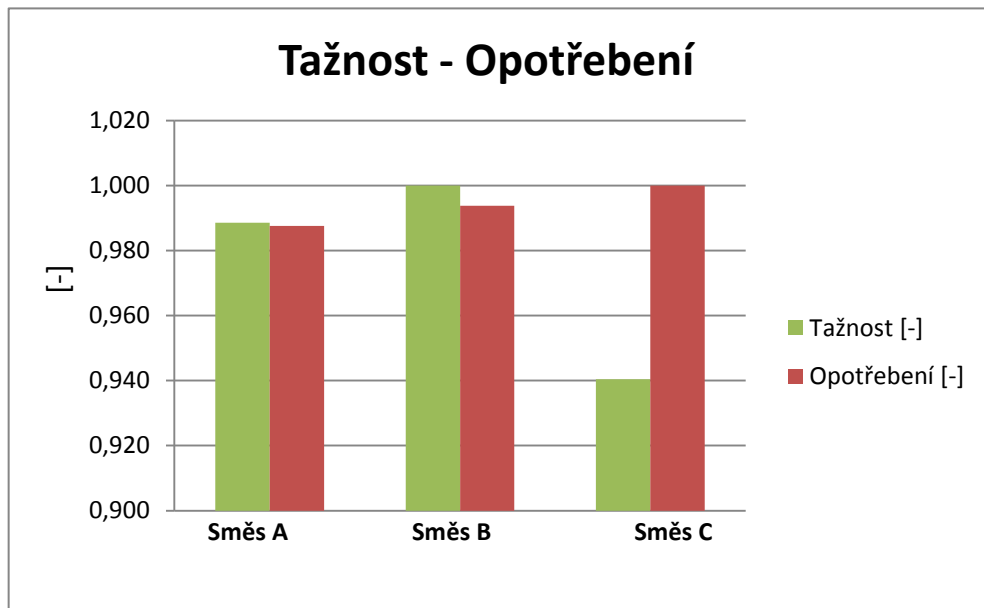
### 5.1 Porovnání mechanických vlastností a opotřebení směsí

#### *Pevnost v tahu*



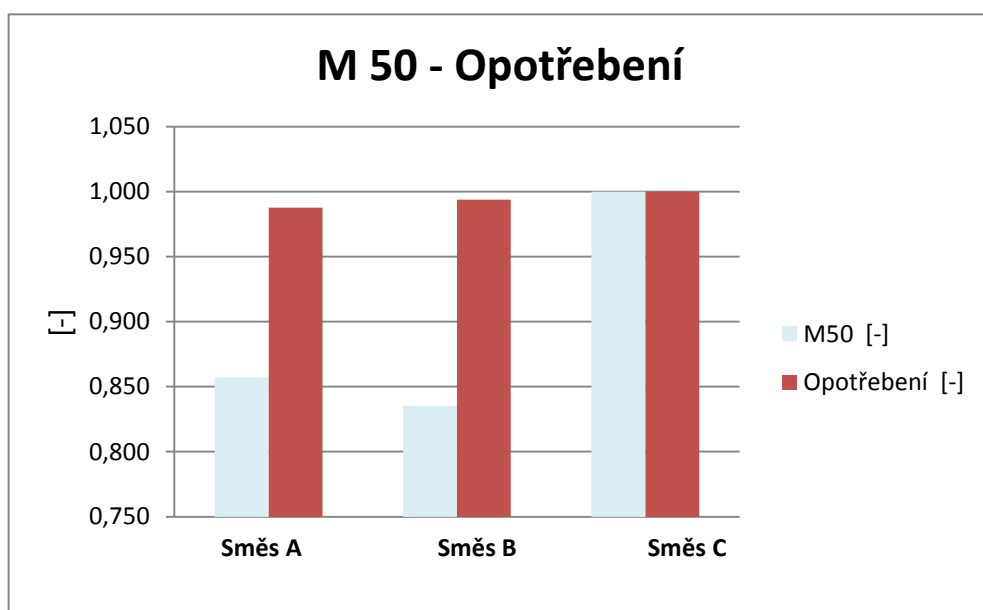
Obr. 31 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení

Když porovnáme pevnost v tahu s mírou opotřebení, tak nejvyšší pevnost v tahu měla směs C, která také měla nejvyšší úbytek hmotností při zkoušce opotřebení, naopak nejmenší pevnost v tahu, zároveň nejmenší opotřebení vykazovala směs A, což je patrné z obrázku 31.

**Tažnost**

Obr. 32 Porovnání tažnosti a opotřebení

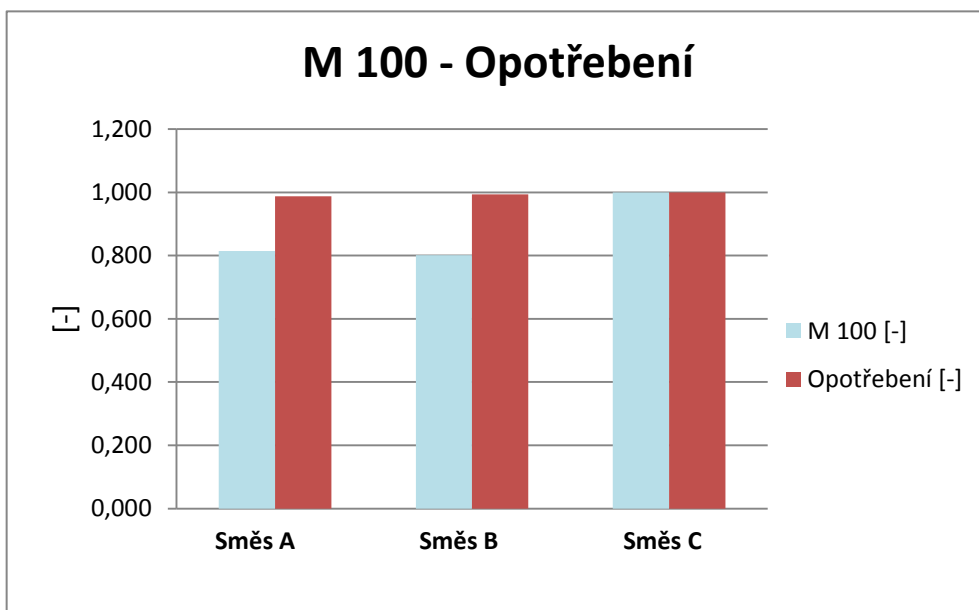
Při porovnání tažnosti a opotřebení měla směs C nejvyšší opotřebení, ale nejmenší tažnost, zatímco směs B vykazovala nejvyšší tažnost, nejmenší opotřebení měla směs A. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku 32.

**M 50**

Obr. 33 Porovnání M 50 a opotřebení

Při porovnání modulu pružnosti M 50 a opotřebení, vyšlo najevo, že nejvyšší modul pružnosti M 50 měla směs C a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší modul pružnosti M 50 vykazovala směs B, ale nejnižší opotřebení měla směs A. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku 33.

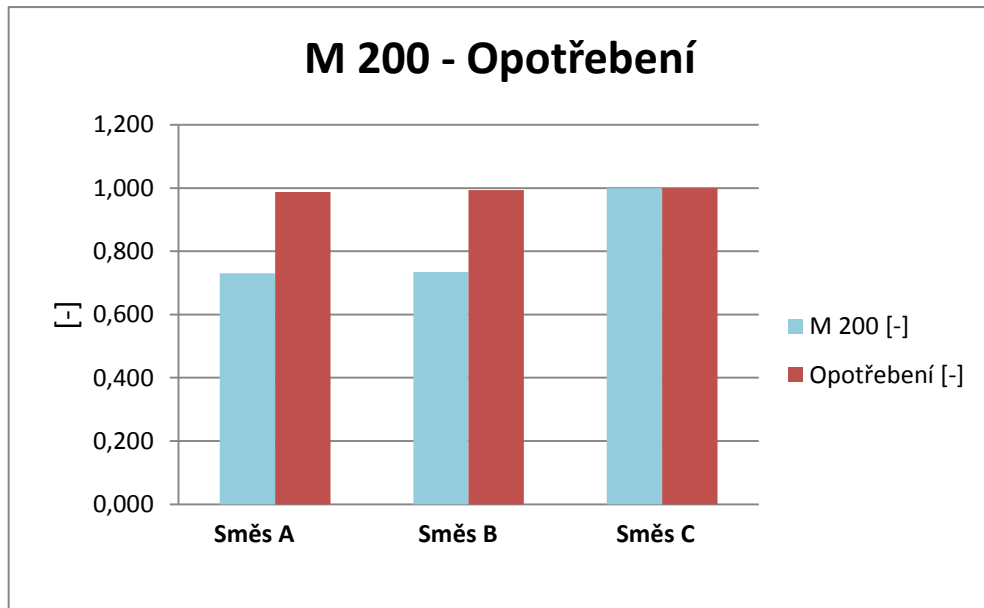
### *M 100*



Obr. 34 Porovnání M 100 a opotřebení

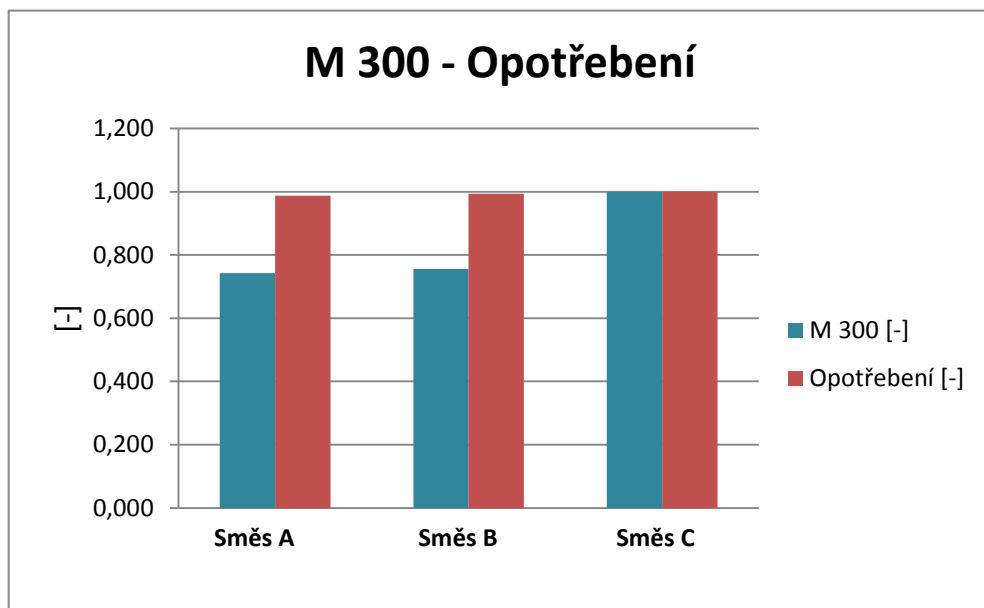
Nejvyšší hodnoty při porovnání modulu pružnosti M 100 a opotřebení vykazovala směs C, nejnižší modul pružnosti M 100 měla směs B, zatímco směs A měla nejnižší úbytek hmotnosti při testu opotřebení, což je patrné z obrázku 34.



*M 200*

Obr. 35 Porovnání M 200 a opotřebení

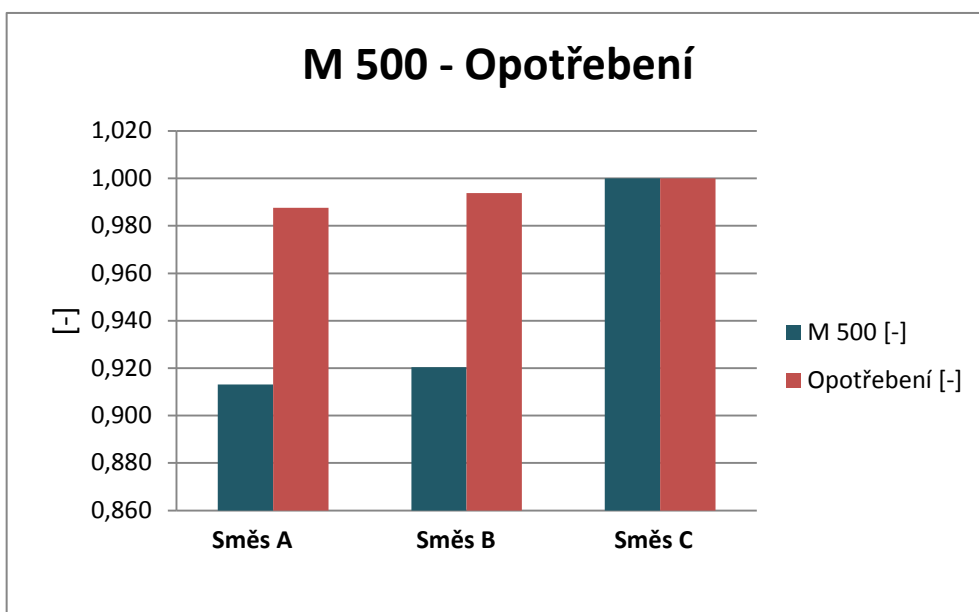
Při porovnání modulu pružnosti M 200 a opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší míru opotřebení a zároveň nejvyšší modul pružnosti M 200 měla směs C, nejnižší modul pružnosti M 200 i nejnižší míru opotřebení vykazovala směs A. Porovnané hodnoty jsou uvedeny na obrázku 35.

*M 300*

Obr. 36 Porovnání M 300 a opotřebení

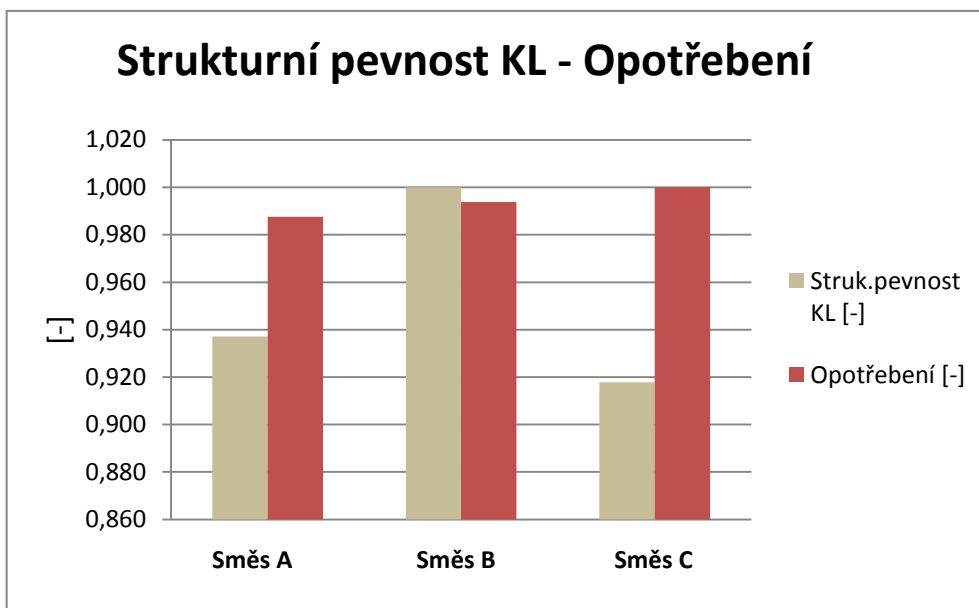
Při porovnání modulu pružnosti M 300 a opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší míru opotřebení a zároveň nejvyšší modul pružnosti M 300 měla směs C, nejnižší modul pružnosti M 300 i nejnižší míru opotřebení vykazovala směs A. Což je patrné z obrázku 36.

### *M 500*



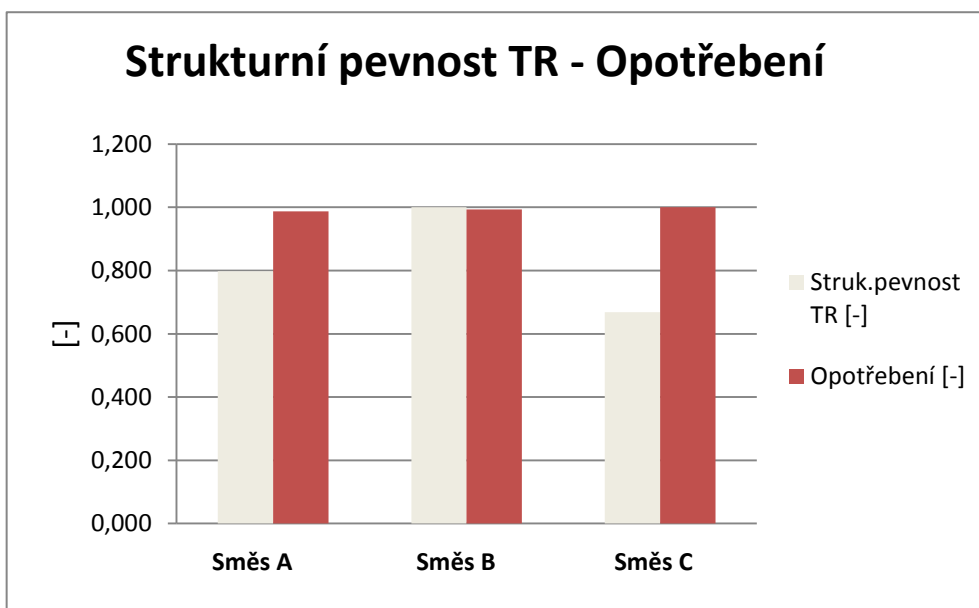
Obr. 37 Porovnání M 500 a opotřebení

Při porovnání modulu pružnosti M 500 a opotřebení opět vyšlo najevo, že nejvyšší míru opotřebení a zároveň nejvyšší modul pružnosti M 500 měla směs C, nejnižší modul pružnosti M 500 i nejnižší míru opotřebení vykazovala směs A. Porovnané hodnoty jsou uvedeny na obrázku 37. Podobně jako je tomu u všech ostatních změřených modulů, čím menší bude míra opotřebení, tím méně tuhé budou hodnoty tuhosti. Naopak u směsí, které vykazují vysokou míru tuhosti, bude opotřebení dle výsledků experimentu vyšší.

*Strukturní pevnost klasická*

Obr. 38 Porovnání strukturní pevnosti klasické a opotřebení

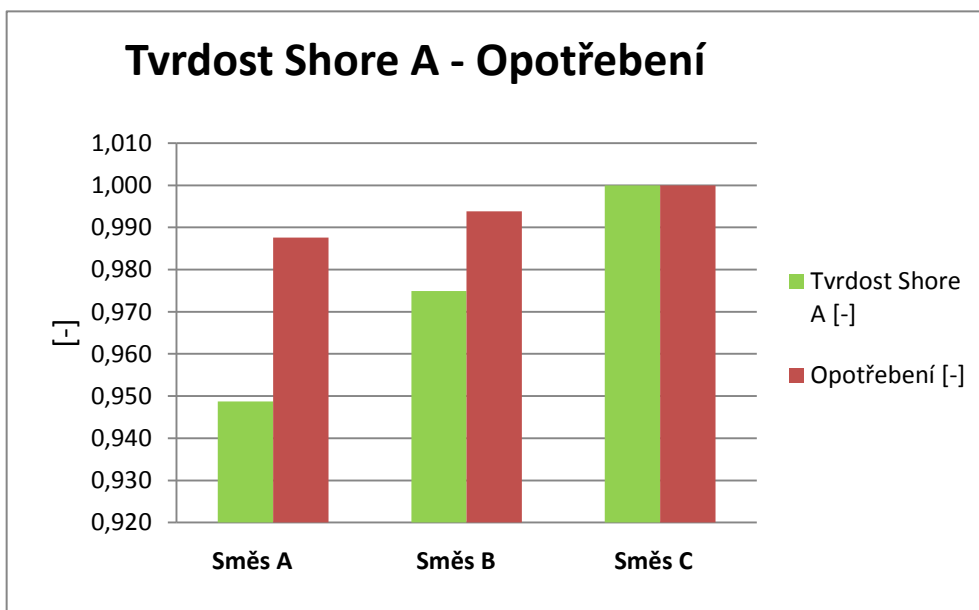
Při porovnání strukturní pevnosti klasické a opotřebení měla nejvyšší strukturní pevnost klasickou směs B, zatímco nejvyšší míru opotřebení vykazovala směs C, která měla naopak nejnižší strukturní pevnost. U směsi A byla zjištěna nejnižší míra opotřebení. Porovnané hodnoty jsou na obrázku 38.

*Strukturní pevnost Trouser*

Obr. 39 Porovnání strukturní pevnosti trouser a opotřebení

Při porovnání strukturní pevnosti trouser a opotřebení měla nejvyšší strukturní pevnost trouser směs B, zatímco nejvyšší míru opotřebení vykazovala směs C, která měla naopak nejnižší strukturní pevnost. U směsi A byla zjištěna nejnižší míra opotřebení. Což je patrné z obrázku 39.

### *Tvrđost Shore A*



Obr. 40 Porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení

Při porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení bylo zjištěno, že nejvyšší tvrdost a zároveň nejvyšší opotřebení vykazovala směs C, zatímco nejnižší tvrdost a nejnižší míru opotřebení měla směs A. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku 40. To vede k závěru, že tvrdší směsi budou daleko více náchylnější k opotřebení, než tomu bude u směsi měkčích.

## ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývá testováním opotřebením běhounových směsí (A, B, C) určených pro výrobu mimo silničních pneumatik, pracujících v těžkých terénních podmínkách (stavby, doly apod.). Na vybraných běhounových směsích byl proveden rychlý test opotřebení (CCCT), tahová zkouška, zkouška strukturní pevnosti a vše bylo završeno zkouškou tvrdosti. Naměřené výsledky byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Z naměřených výsledků vyplynul vztah mezi opotřebením a mechanickými vlastnostmi. Při klesající míře opotřebení dochází také k poklesu všech měřených modulů (M50, M100, M200, M300, M500). Také hodnoty tvrdosti jsou v úzké korelaci s mírou opotřebení. U směsí vykazující vyšší hodnoty tvrdosti a modulů bude míra opotřebení daleko vyšší. Směs nebude schopna elegantně obtékat překážky v podobě terénních nerovností a ostrých hran kamenů. Naopak u směsí, které bude reprezentovat nízká hodnota tvrdosti a modulů bude míra opotřebení nižší. Tyto směsi budou moci daleko snáze odolávat působení terénních nerovností.

**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] KULOVANÁ, E. *Agroweb: internetový zemědělský portál* [online]. 19.9.2001 [cit. 2012-02-17]. Z historie vývoje pneumatik. Dostupné z: [http://www.agroweb.cz/Z-historie-vyvoje-pneumatik\\_\\_s46x9380.html](http://www.agroweb.cz/Z-historie-vyvoje-pneumatik__s46x9380.html)
- [3] *Auto-Jenda.cz*. [online]. 2012 [cit. 2012-02-17]. Vše o pneumatikách: Historie pneumatiky, dějiny a vývoj pneu technologií. Dostupné z: <http://www.pneu-jenda.cz/historie-pneumatiky>
- [4] *GPD České Budějovice s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2012-02-17]. Funkce pneumatik. Dostupné z: <http://www.gpdcb.cz/funkce-pneumatik/>
- [5] *Pneuservis v Rokytnici, Porádce při výběru pneumatik, OMV dealer* [online]. 5.12.2011 [cit. 2012-02-17]. Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. Dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>
- [6] *Barum Continental Zlín* [online]. [cit. 2012-02-17]. Technologie výroby pneumatik. Dostupné z: <http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/vyrobapneu.htm>
- [7] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů 1*. Brno: František Vlk nakladatelství a vydavatelství, 2004. 355 s. ISBN 80-239-1601-7.
- [8] *Besip: Bezpečně na silnicích* [online]. 2010 [cit. 2012-02-17]. Zimní pneumatiky, letní pneumatiky, rozdíly a to nejdůležitější co je nutné vědět. Dostupné z: [http://bezpecnenasilnicich.cz/page/115/zimni\\_pneu\\_a\\_hlavni\\_rozdili.html](http://bezpecnenasilnicich.cz/page/115/zimni_pneu_a_hlavni_rozdili.html)
- [9] FISCHER, M. *Konstrukce pneumatik*. Spálená 51, Praha 1: SNTL, 1962, 116 s. L 16 – C2-IV-31/6463.
- [10] *Hankook* [online]. 2008 [cit. 2012-02-17]. Vše o pneumatikách: Typy pneumatik. Dostupné z: <http://www.hankookpneu.cz/web/?p=clanky/typy-pneumatik>
- [11] MARCÍN, J. *Pneumatiky: Výroba, použití, údržba*. SNTL, 1976, 272 s. L 16 - B2-IV-41f/61881.
- [12] SCHÄTZ M., VONDRÁČEK P. *Zkoušení polymerů*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1988, 276 s.
- [13] MAŇAS, D. *Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků*. Brno: Nakladatelství VUT, 2005.

[14] MÍT, J. *Opotřebení běhounových směsí*. Zlín, 2010. 72s. Bakalářská práce. Fakulta technologická UTB Zlín.

[15] POLOMÍČEK, O. *Vliv zátěže na opotřebení gumárenských směsí*. Zlín, 2008. 76 s. Bakalářská práce. Fakulta technologická UTB Zlín.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|                    |  |
|--------------------|--|
| Ep                 | Deformační práce.  |
| Kl                 | Klasická – Strukturní pevnost  |
| Tr                 | Trouser (kalhotový typ) – Strukturní pevnost   |
| VG                 | Vnitřní pryžová vrstva   |
| SMCH               | Směrodatná odchylka  |
| ČSN                | Česká technická norma  |
| ISO                | International Standard Organisation (mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem) |
| Pevnost v tahu     | [MPa]  |
| Tažnost            | [%]  |
| M 50               | Modul pružnosti při 50% deformaci vzorku [MPa]   |
| M 100              | Modul pružnosti při 100% deformaci vzorku [MPa]  |
| M 200              | Modul pružnosti při 200% deformaci vzorku [MPa]  |
| M 300              | Modul pružnosti při 300% deformaci vzorku [MPa]  |
| M 500              | Modul pružnosti při 500% deformaci vzorku [MPa]  |
| Strukturní pevnost | [N/mm]   |
| Tvrdość Shore A    | [Sh A]   |
| Opotřebení         | [g]  |



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 Konstrukce první pneumatiky .....                           | 12 |
| Obr. 2 Síly působící na pneumatiku.....                            | 15 |
| Obr. 3 Konstrukce pláště pneumatiky.....                           | 16 |
| Obr. 4 Běhoun.....   | 17 |
| Obr. 5 Zóny a drážky na běhounu.....                               | 18 |
| Obr. 6 PA nárazník .....   | 19 |
| Obr. 7 Nárazník.....   | 19 |
| Obr. 8 Bočnice .....   | 20 |
| Obr. 9 Kostra pláště .....   | 21 |
| Obr. 10 Vnitřní pryžová vrstva .....                               | 21 |
| Obr. 11 Patka. ....  | 22 |
| Obr. 12 Patní lanko. ....  | 22 |
| Obr. 13 Výztužný pásek.....  | 23 |
| Obr. 14 Diagonální pneumatika.....                                 | 24 |
| Obr. 15 Radiální pneumatika .....                                  | 25 |
| Obr. 16 Rozdělení pneumatik dle druhu vozidel. ....                | 26 |
| Obr. 17 Porovnání pneumatiky s duší a bezdušové .....              | 28 |
| Obr. 18 Porovnání pevnosti v tahu .....                            | 41 |
| Obr. 19 Porovnání tažnosti .....                                   | 42 |
| Obr. 20 Porovnání modulu pružnosti – M 50 .....                    | 43 |
| Obr. 21 Porovnání modulu pružnosti – M 100 .....                   | 43 |
| Obr. 22 Porovnání modulu pružnosti – M 200 .....                   | 44 |
| Obr. 23 Porovnání modulu pružnosti – M 300 .....                   | 45 |
| Obr. 24 Porovnání modulu pružnosti – M 500 .....                   | 46 |
| Obr. 25 Porovnání strukturní pevnosti klasické.....                | 47 |
| Obr. 26 Porovnání strukturní pevnosti trouser.....                 | 48 |
| Obr. 27 Porovnání tvrdosti Shore A .....                           | 49 |
| Obr. 28 Schéma zařízení pro testování opotřebení Chip – Chunk..... | 50 |
| Obr. 29 Tvar a rozměry zkušební vzorku .....                       | 51 |
| Obr. 30 Porovnání úbytku hmotnosti – opotřebení.....               | 53 |
| Obr. 31 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení .....               | 54 |
| Obr. 32 Porovnání tažnosti a opotřebení .....                      | 55 |

---

|  |    |
|--|----|
| Obr. 33 Porovnání M 50 a opotřebení .....                        | 55 |
| Obr. 34 Porovnání M 100 a opotřebení .....                       | 56 |
| Obr. 35 Porovnání M 200 a opotřebení .....                       | 57 |
| Obr. 36 Porovnání M 300 a opotřebení .....                       | 57 |
| Obr. 37 Porovnání M 500 a opotřebení .....                       | 58 |
| Obr. 38 Porovnání strukturní pevnosti klasické a opotřebení..... | 59 |
| Obr. 39 Porovnání strukturní pevnosti trouser a opotřebení.....  | 59 |
| Obr. 40 Porovnání tvrdosti Shore A a opotřebení .....            | 60 |

**SEZNAM TABULEK**

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1 Pevnost v tahu.....                                     | 41 |
| Tab. 2 Tažnost.....  | 42 |
| Tab. 3 M 50 - modul pružnosti při 50% deformaci vzorku .....   | 42 |
| Tab. 4 M 100 - modul pružnosti při 100% deformaci vzorku ..... | 43 |
| Tab. 5 M 200 - modul pružnosti při 200% deformaci vzorku ..... | 44 |
| Tab. 6 M 300 - modul pružnosti při 300% deformaci vzorku ..... | 45 |
| Tab. 7 M 500 - modul pružnosti při 500% deformaci vzorku ..... | 45 |
| Tab. 8 Strukturální pevnost klasická .....                     | 47 |
| Tab. 9 Strukturální pevnost trouser .....                      | 47 |
| Tab. 10 Tvrdost Shore A.....                                   | 49 |
| Tab. 11 Úbytek hmotnosti - opotřebení .....                    | 53 |