

Opotřebení pryžových výrobků

Jana Achillesová

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana ACHILLESOVÁ**
Osobní číslo: **T08574**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Opotřebení pryžových výrobků**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část**
- 3. Provedení experimentu**
- 4. Vyhodnocení výsledků měření**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

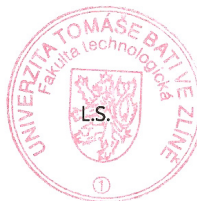
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: ACHILLESOVÁ JANA

Obor: T2

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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, považuji 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 11.5.2011

Achillesová

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

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

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

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

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

ABSTRAKT

Předložená práce se zabývá opotřebením pláštíků pneumatik, které jsou namáhané při velmi náročných terénních podmínkách.

Měření opotřebenění bylo prováděno na pryžových dílech používajících se při výrobě pneumatik určených pro víceúčelové terénní pláště.

Hodnoty opotřebenění pak byly porovnány s mechanickými vlastnostmi.

Klíčová slova: opotřebenění pryžových dílů, pneumatika, běhoun.

ABSTRACT

This work deals with tire wear, which are exposed to very extreme terrain conditions.

The measurement of wear level was analyzed on the rubber parts, which are used in manufacturing process of tires designed for multipurpose terrain tires.

Measured wear values were then compared with mechanical properties.

Keywords: wear of rubber parts, tire, tread.

Na tomto místě bych chtěla co nejsrdečněji poděkovat doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho podporu, trpělivost, inspiraci a především cenné rady.

Rovněž patří mé díky všem, kteří mi při práci pomáhali a podporovali mě.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PNEUMATIKY	13
1.1 DĚJINY PNEUMATIKY	13
1.2 TYPY PNEUMATIK	14
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY	15
1.3.1 Podle konstrukčního uspořádání rozdělujeme typy plášťů pneumatik.....	15
1.4 ZÁKLADNÍ ČÁSTI PLÁŠTĚ PNEUMATIKY	17
1.5 ZNAČENÍ PNEUMATIKY	19
1.6 FUNKCE PNEUMATIKY	20
1.7 PROFIL PNEUMATIKY	20
1.8 ŽIVOTNOST PNEUMATIK.....	21
1.8.1 Tlak vzduchu v pneumatikách.....	21
1.8.2 Stárnutí pneumatik	22
1.8.3 Opravy pneumatik	22
1.9 LIKVIDACE OPOTŘEBOVANÝCH PNEUMATIK	23
2 SUROVINY A MATERIÁLY V PNEUMATIKÁŘSKÉM PRŮMYSLU	24
2.1 PŘÍRODNÍ A SYNTETICKÉ KAUKČUKY	24
2.2 PŘÍSADY DO KAUKČUKOVÝCH SMĚSÍ	26
2.3 VÝZTUŽNÉ MATERIÁLY	27
3 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK	28
3.1 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ PRO VÝROBU PNEUMATIK.....	28
3.2 PŘÍPRAVA A DRUHY POLOTOVARŮ.....	29
3.3 VYTLAČOVÁNÍ PROFILŮ.....	30
3.4 POGUMOVÁNÍ TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ A ŘEZÁNÍ TEXTILŮ	30
3.5 KONFEKCE PLÁŠŤŮ	30
3.5.1 Rozdělení podle profilu konfekce	30
3.5.2 Rozdělení podle způsobu celkové skladby radiálního pláště a počtu pracovišť.....	31
3.6 VULKANIZACE A LISOVÁNÍ PLÁŠŤŮ PNEUMATIK	31
3.7 KONTROLA A OPRAVY PLÁŠŤŮ	32
4 ZKOUŠKY PNEUMATIK	33
4.1 ZKOUŠKY SMĚSÍ A POLOTOVARŮ	33
4.2 ZKOUŠKY NA ZKUŠEBNĚ.....	34
4.2.1 U pneumatik se zejména hodnotí tyto parametry	34

4.2.2	Při měření statických hodnot se zjišťují dále uvedené veličiny	34
4.2.3	V tabulce u otisku jsou uvedeny následující hodnoty zkoušek	34
4.2.4	Při měření dynamických hodnot se zjišťuje	35
4.3	ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ	35
4.3.1	Laboratorní zkoušky	36
4.3.2	Metoda Du Pont s konstantním třením	38
4.3.3	Metoda Skroj – Croydon	38
4.3.4	Metoda Dunlop – Lambourn	39
4.3.5	Dry sand – rubber wheel test (DSRW)	39
4.3.6	Dynamické zkoušky na bubnových stanicích	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
5	OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ	41
5.1	MĚŘENÉ VLASTNOSTI	41
5.1.1	Příprava zkušebních těles	41
5.1.2	Tahová zkouška	41
5.1.3	Strukturní pevnost	47
5.1.4	Odrážová pružnost Luepke	49
5.1.5	Tvrdost Shore	49
5.2	RYCHLÝ TEST OPOTŘEBENÍ	50
5.2.1	Výsledky měření	53
5.2.2	Statistické vyhodnocení výsledků	54
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	55
6.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ	55
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK	74
	SEZNAM PŘÍLOH	75

ÚVOD

Za více než 70-ti letou tradici výroby pneumatik na Zlínsku se původně malá dílna na výrobu pneu proměnila v největší výrobní jednotku osobních pneumatik v Evropě. První český plášť byl vyroben ve Zlíně v roce 1932 v závodech Tomáše Bati pod názvem Baťa. Ochranná známka Barum vznikla v roce 1946 z počátečních písmen Baťa, Rubena, Matador. V roce 1953 byl ze zestátněného Baťova koncernu – Svitlu – vyčleněn samostatný podnik pro výrobu plášťů pod názvem Rudý říjen. V roce 1972 byla otevřena nově postavená pneumatikárna v Otrokovicích o rozloze 13 hektarů. Již v roce 1989 se změnil status podniku- stala se zněj akciová společnost pod názvem Barum, a.s., a prakticky ihned se začalo připravovat spojení se strategickým partnerem. Tím se stal v roce 1992 koncern Continental.

Technologicky je možné výrobu plášťů popsat jako několik vedle sebe probíhajících samostatných operací, které se potkávají až při tzv. konfekci. Je to vlastní příprava kaučukových směsí, pogumovaného kordu, výroba běhounů a bočnic, výroba patních lan a nárazníků. Zmíněná konfekce je potom vlastní zkompletování všech komponent. Jejím produktem je surový plášť, ze kterého se hotový produkt vytvoří zvulkanizováním v lisu.

Složení směsí používaných při výrobě plášťů patří mezi přísně střežená tajemství jednotlivých výrobců. Velice obecně se dá říct, že z materiálového hlediska objemově tvoří pneumatiku:

48% kaučuk

27% technické saze

12% kord

9% chemická aditiva

4% patní lana.

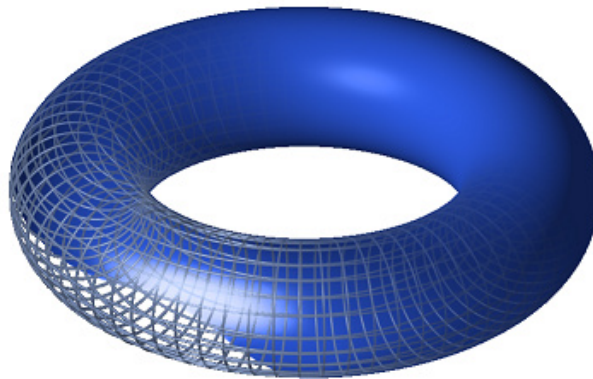
Nejen pro různé typy, ale i pro výrobu jednoho pláště je potřeba několika druhů pryžové směsi. Konkrétní požadavky jsou zadávány na pracoviště přípravy, kde obsluha připravuje jednotlivé dávky tak, že na dopravník do hnětacích strojů nakládá různé typy kaučuku a další aditiva (např. síru) podle potřeby a konkrétních požadavků. V hnětacích strojích se vytvoří homogenní směs požadovaného složení, která potom putuje na jednotlivá dílčí pracoviště.

Jedním z nich je pracoviště gumování kordu. Kord je tkanina, která plní v pneumatice velmi důležitou roli z hlediska pevnosti. Tvoří základ kostry i nárazníku. Uvnitř pláště musejí být jednotlivá vlákna od sebe oddělena pryžovou směsí, aby se vzájemně o sebe netřela. Na pracovišti gumování kordu je tedy tkanina opatřována vrstvou pryže. Podle potřeby se dále zpracovává – pro výrobu radiálních plášťů je třeba změnit orientaci kordových vláken, proto se z cca 1,5m širokého pásu pogumovaného kordu řežou jednotlivé dílce požadované šíře, které se kladou za sebe a spojují. Tím se získá výchozí materiál pro výrobu kostry radiálního pláště. Na dalším samostatném pracovišti se připravují běhouny a bočnice. Běhouny jsou složeny z několika typů pryže: z vrchní části, tedy té, která je ve styku s vozovkou. Její složení je dané požadavky na vlastnosti běhounu. Pod ní se nachází tenká vrstvička základní, tzv. base směsi s podílem sazí. Okrajové části běhounového pásu jsou pak tvořeny bočnicovou směsí. Samotná bočnice je však vyrobena rovněž ze dvou druhů směsi. Zatímco její vnější část, tedy ta blíže k dezénu, je vyrobena z pružnější směsi, oblast blíže u patky je vyrobena z tužší směsi, která patku lépe chrání. V obou uvedených případech – u běhounové i patkové pryže jsou jednotlivé vrstvy skládány tak, aby se vlastnosti pryže v plášti měnily plynule z hlediska pružnosti a tvrdosti. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PNEUMATIKY

Pneumatika je vzduchem plněná pružná součást kol dopravních prostředků. Má obvykle tvar toroidu (Obr. 1) a je nasazena na vnějším obvodu kola. Zajišťuje přenos sil mezi koly a vozovkou a působí také jako primární odpružení. Uvnitř pneumatiky bývá duše, ale často se používají i bezdušové pneumatiky. U cyklistické pneumatiky se vnější díl nazývá plášť. Nejběžnějším materiálem pro výrobu pneumatik je vulkanizovaný kaučuk. [2]



Obr. 1. Toroid. [3]

1.1 Dějiny pneumatiky

V současné době jsou pro nás pneumatiky samozřejmou součástí dopravních prostředků. Vývoj pneu technologií má však již více než dvě stě letou historii.

Skotský chemik Charles McIntosh, vynálezce nepromokavého materiálu, experimentoval již v 18. století s latexem. Materiál získával z mízy stromů, které rostly v povodí Amazonky v Jižní Americe. Výsledná gumová směs sice vykazovala vynikající hydroizolační schopnosti, ale i nežádoucí vlastnosti. V chladném počasí materiál křehnul a v horkém počasí se lepil. Experimenty s gumou se postupně rozšířily do Evropy a Ameriky, kde se další vědci pokoušeli stabilizovat její nežádoucí vlastnosti.

Charles Goodyear objevil v roce 1839, že přidáním síry roztaveného latexu lze získat kvalitní materiál s dostatečnou pružností a pevností. Tento nový vulkanizovaný kaučuk původně sloužil pro pneumatiky kočárků a jízdních kol.

Jako první si nechal patentovat gumové pneumatiky Robert William Thomson, a to v roce 1845. První patent pneumatiky používá řešení pomocí tenkých nafouknutých trubek. Tato pneu konstrukce měla své výhody, neboť odolala i několika defektům pneumatiky a umož-

ňovala jízdu za různých podmínek. Výroba pneumatiky však byla poněkud složitá i nákladná. Thomson svým patentem doslova předběhl dobu, neboť jízdní prostředky nebyly natolik rozšířené, aby jeho vynález získal praktické uplatnění. Proto Thomsonův pneu patent postupně upadl v zapomnění.

Další patent na moderní, vzduchem plněné pneumatiky získal John Boyd Dunlop v roce 1888. V této době se již sériově vyráběla jízdní kola, kde se nový patent pneumatiky výborně uplatnil. Od roku 1906 se vzduchem plněné pneumatiky začaly uplatňovat v letectví.

První odnímatelné pneumatiky vynalezli dva zemědělské inženýři v Clermont-Ferrandu ve střední Francii kolem roku 1891. Byli to průkopníci pneu technologií bratři Michelinové. Jejich řešení bylo velmi úspěšné. Pneumatiky upevněné na vnějším prstenci oddělené trubkové osy se montovaly na masivní příruby.

Nejvýznamnější změny v pneu technologiích samozřejmě nastaly ve 20. Století. K vývojovému posunu přispěly i obě světové války, neboť motorizace vojsk měla své priority. Dnešní pneumatiky se specializují pro různé povrchy, poskytují komfortní a bezpečnou jízdu, dostatečnou odolnost i životnost. [4]

1.2 Typy pneumatik

Standardní typy pneumatik se označují podle druhu vozidel, pro který jsou pneumatiky určeny.

Rozdělení pneumatik:

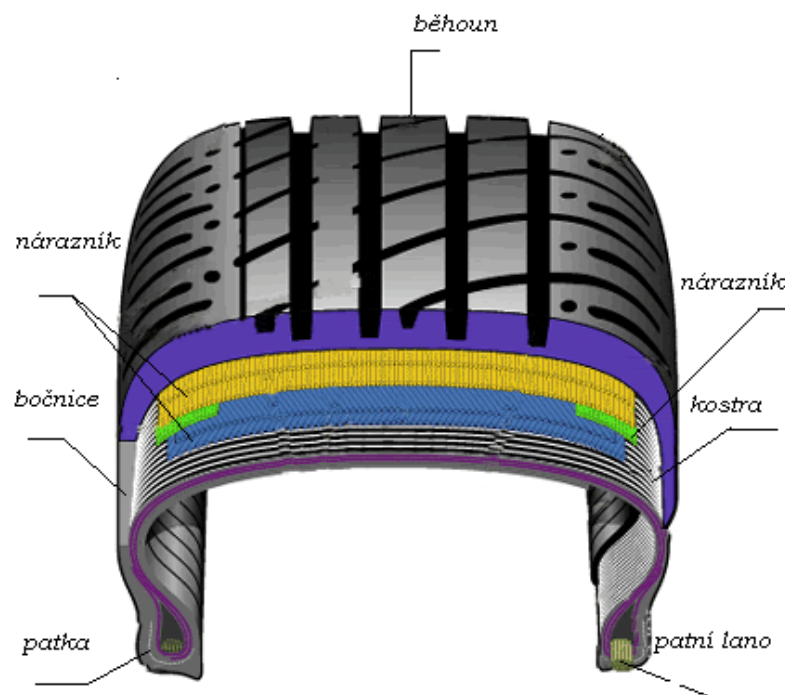
- a) jízdní kola,
- b) skútry, motokola a vozíky,
- c) motocykly,
- d) osobní automobily,
- e) dodávkové automobily,
- f) lehké nákladní automobily,
- g) nákladní automobily, autobusy a přívěsy,
- h) zemědělská vozidla,
- i) traktory a stroje na zemní práce,

j) letadla,

k) závodní a soutěžní vozidla.

1.3 Základní pojmy

Norma ČSN 64 0001 značí složený termín pneumatika. Tím se myslí plášť, popřípadě s duší a vložkou, namontovaný ráfek a naplněný tlakovým médiem (Obr. 2). [5]

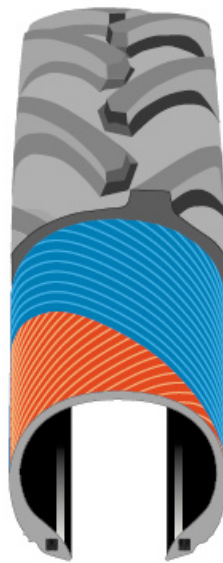


Obr. 2. Pneumatika. [6]

Řešení pneumatiky se konstrukčně odvíjí především od jejího dalšího použití. A to pro osobní nebo nákladní automobily.

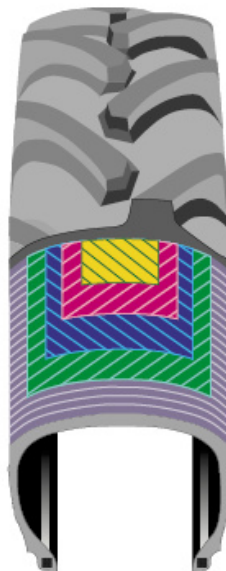
1.3.1 Podle konstrukčního uspořádání rozdělujeme typy plášťů pneumatik

- a) S diagonálním pláštěm s pásem, kde je diagonální vrstva přepásána nárazníkem, který zachycuje značnou část namáhání v obvodovém směru,
- b) s diagonálním pláštěm, v jehož kostře se kordy v jednotlivých vrstvách kříží,



Obr. 3. Konstrukce diagonální zemědělské pneumatiky. [7]

- c) s radiálním pláštěm, v jehož kostře jsou jednotlivé nitě kordových vrstev rovnoběžné vzájemně i s rovinou meridiánu, přepásanou výztužným pásem – nárazníkem. [7]



Obr. 4. Konstrukce radiální zemědělské pneumatiky. [7]

1.4 Základní části pláště pneumatiky

Běhoun – je část pláště opatřená vzorkem a zajišťující styk kola s vozovkou. Jeho tloušťka má vliv na zahřívání pneumatiky, a z toho důvodu by měl být co nejtenčí. V praxi se teda tloušťka běhounu volí tak, že drážka tvoří přibližně 80% a hmota asi 20%. To však neplatí u plášťů pro nákladní vozidla, u nichž je většinou běhoun konstruován pro možnost dalšího prořezání dezénu. U plášťů pro osobní vozy je prořezávání zakázáno.



Obr. 5. Běhoun. [1]

Nárazník – tvoří přechod mezi běhounem a kostrou pláště. Jeho úkolem je stabilizovat běhoun v obvodovém směru a zvyšovat odolnost pláště proti průrazu. U nákladních automobilů se používají v průměru tři až čtyři, u osobních automobilů pak většinou dvě nárazníkové vrstvy.



Obr. 6. Nárazník. [1]

Kostrá – je základní část pláště tvořená kordovými vložkami zakotvených kolem lan. Její stavba a složení určují základní vlastnosti pláště. [1]



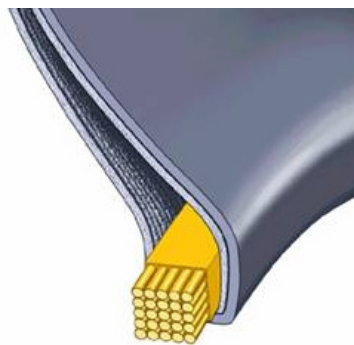
Obr.7. Kostrá. [1]

Bočnice – je vrstva pryže na boku pláště. Účelem bočnice je chránit kostru pláště před mechanickým poškozením a současně před povětrnostními vlivy. [8]



Obr. 8. Bočnice. [1]

Patní lano – je kruhový dílec z vysoko-pevnostního ocelového drátu. Funkce patního lana je zakotvení kordových vložek v patce pláště. Dále ještě vyztužuje patku v obvodovém směru a zaručuje bezpečné usazení pláště na ráfku. [8]



Obr. 9. Patní lano. [1]

1.5 Značení pneumatiky



Obr. 10. Značení pneumatiky na bočnici. [9]

- 1- Název výrobce, 2 – jmenovitá šířka [mm], 3 - profilové číslo, 4 - konstrukce pneu, 5 - průměr ráfku v palcích, 6 – index nosnosti, 7 – rychlostní index, 8 – označení dezénu, 9 – údaje pro USA, 10 – číslo formy, 11 – radiální pneu, 12 – bezdušové provedení, 13 – počet vložek v běhounu a bočnici, 14 – DOT(označení pro USA a Kanadu), 15 – kód výrobce, 16 – kódové označení rozměru pneu, 17 – kódové označení pneu, 18 – týden výroby, 19 – rok výroby, 20 – maximální zatížení, maximální tlak, 21 – číslo výkresu dle předpisu USA, 22 – Označení rozměru pneu pro USA, 23 – údaje o zatížení pro USA, 24 – mezinárodní homologace ECE. [9]

1.6 Funkce pneumatiky

Vedení směru – Pneumatiky vedou vozidlo přesně, bez ohledu na stav povrchu nebo kinematické podmínky. Stabilita vozidla záleží na tom, jak pneumatiky dokážou držet stopu. Pneumatika musí vydržet příčné síly, aniž by vozidlo opustilo svoji trajektorii. Většinou má každý automobil na každé nápravě v pneumatikách jiný tlak. Dodržením rozdílu tlaku na přední a zadní nápravě dosáhneme ideální směrové stability vozidla.

Nesení zátěže – Pneumatiky jsou oporou vozidla nejen při jízdě, ale i když vozidlo stojí na místě. Kromě toho musejí být stále schopny odolat značnému přesunu zátěže při akceleraci a brzdění. Pneumatika osobního automobilu nese více než padesátinásobek vlastní hmotnosti.

Tlumení – Pneumatiky pohlcují nárazy při přejezdu přes překážky a chrání vozidlo před dalšími nerovnostmi na silnici. Tím zajišťují řidiči i cestujícím pohodlí a přispívají k prodloužení životnosti vozidla. Hlavní vlastností pneumatiky je její výjimečná, především vertikální pružnost. Díky skvělé elasticitě vzduchu, jímž je naplněna, se může pneumatika přizpůsobovat překážkám a nerovnostem terénu. Správný tlak v pneumatice potom zaručuje vysokou úroveň komfortu při zachování dobrých řídicích vlastností.

Valivý pohyb – Čím se pneumatiky odvalují rovnoměrněji a s nižším valivým odporem, tím je nižší spotřeba paliva.

Přenos výkonu – Pneumatiky přenášejí výkon. Úroveň přenosu výkonu je dána kvalitou několika čtverečních centimetrů v kontaktu se zemí.

Životnost - Opatření pneumatiky závisí na podmínkách jejího použití (zátěž, rychlost, stav povrchu vozovky, stav vozidla, způsob jízdy, atd.), ale z velké části také na kvalitě kontaktu se zemí. Důležitou roli proto hraje tlak v pneumatice, který má vliv na velikosti a tvaru styčné plochy, rozložení tlaků na různých místech pneumatiky v kontaktu se zemí.
[10]

1.7 Profil pneumatiky

Z hlediska dynamiky pneumatik je prvním problémem stabilní tvar a jeho určení. Stěna pláště pneumatiky je typický kompozitní materiál, vyrobený z pryže a kordu. To umožňuje stanovit tuhost kostry a nárazníku v závislosti na konkrétní konstrukci struktury.

Nástup výpočetní techniky umožnil rozšířit numerické výpočty daleko za meze dané starými ručními výpočetními metodami. [11]

1.8 Životnost pneumatik

1.8.1 Tlak vzduchu v pneumatikách

Na tlaku jsou závislé veškeré funkce pneumatiky: bezpečnost, hospodárnost a komfort. Nesprávný tlak v pneumatikách má negativní vliv nejen na jejich životnost, ale především na jízdní vlastnosti.

Nesprávné nahuštění zmenšuje kontaktní plochu pneumatiky s vozovkou. Větší nebezpečí představují pneumatiky podhuštěné, protože nízký tlak v pneumatikách má vliv na:

Jízdní vlastnosti – Vozidlo je hůře ovladatelné, nereaguje dokonale na pohyby volantu při změně směru.

Bezpečnost – Brzdná dráha na podhuštěné pneumatice je delší. Prodlužuje se cca o 4 m.

Výkon – U podhuštěné pneumatiky roste valivý odpor. Vozidlo ztrácí výkon, zvyšuje se spotřeba paliva.

Životnost – Jízdou na podhuštěné pneumatice dochází k nadměrnému opotřebení krajních partií běhounu, ale výrazně klesá i její celková odolnost proti opotřebení.

Odolnost proti poškození – Pokud není v pneumatice odpovídající tlak, podstatně se zvyšuje možnost poškození kostry (např. průrazem), a to i při předjíždění jindy běžně zvládnutelných překážek. [12]

Aby se tomu zabránilo, je třeba dodržovat následující zásady:

- a) Pravidelně kontrolujte tlak vzduchu, nejméně 2 - 4 týdny – tlak je třeba kontrolovat, když jsou pneumatiky studené (již při malém ohřátí pneumatiky jsou údaje při měření tlaku nepřesné),
- b) pokud ztratíte nebo poškodíte čepičky u ventilků, ihned je nahraďte novými - pevně je dotáhněte a zkontrolujte, zda není dosedací plocha ventilku poškozena,

- c) rovněž pravidelně kontrolujte tlak vzduchu v rezervní pneumatice – platí zásada, že v rezervní pneumatice musí být o cca 0,5 barů vyšší tlak, než je tlak předepsaný. Ten se následně upraví až po montáži na osu. [8]

1.8.2 Stárnutí pneumatik

Stárnutí pneumatik je dlouhodobý proces, ke kterému dochází v důsledku složitých fyzikálně chemických pochodů za přítomnosti kyslíku a ozónu. Negativně ovlivňuje provozní způsobilost pláštěů.

Pneumatiky starší 10 let mohou být proto používány jen v případě, že byly již dříve provozovány normálním způsobem. V žádném případě by neměly být používány nejeté pláště po tuto dobu skladované. Stárnutím trpí zejména pneumatiky používané na karavanech z důvodu déletrvajících provozních přestávek a tím i jednostranného zatížení. Tyto by měly být vyměňovány po šesti, nejpozději osmi letech.

Náhradní pneumatiky speciální konstrukce starší 6 let nelze používat v běžném silničním provozu, ale jen v případě nutnosti na dojetí. [13]

1.8.3 Opravy pneumatik

Oprávenství pneumatik je z hlediska bezpečnosti provozu činnost velmi náročná a zodpovědná, proto by ji měl provádět vždy jen specialista, protože pneumatiku je nutné demontovat z ráfku a kompletně zevnitř prohlédnout, zda není nenávratně poškozena. Často nenávratně bývají poškozeny pneumatiky provozované s defektem. Většinu defektů, prořezů a děr po hřebících do velikosti 6 mm (na běhounu pneumatiky) dokáže kvalifikovaný pracovník s využitím průmyslově schválených postupů úspěšně opravit.

Vyhláška č. 102/95 Sb. Ukládá, že na plášti musí být všechna poškozená místa trvale opravena. Je proto nepřijatelné používat duše do neopraveného bezdušového pláště jako náhradní řešení. Těsnící opravárenské spreje nedoporučujeme používat pro trvalé opravy, ale vždy jen na dojetí, stejně jako opravy bez demontáže pláště a ráfku za použití speciálních přivulkanizovaných ucpávek.

Opravy poškození zasahující nárazník nebo kostru je třeba provést metodou vulkanizace za tepla nebo za studena po předchozí podrobné prohlídce a úpravě poškozeného místa pláště.

Každá oprava y měla být provedena co možná nejdříve po vzniku poškození, jinak může dojít (zejména u plášťů s ocelovým nárazníkem) k rozšíření poškození nebo i zničení pláště v důsledku vnikajících nečistot a vlhkosti. [14], [15]

1.9 Likvidace opotřebovaných pneumatik

Pneumatiky lze recyklovat, v současné době se používají pouze dvě technologie, jejich výsledkem je separovaná ocel z patních lan a kordu, textil a pryžový granulát. Váhový poměr těchto komponentů je zhruba 25:10:25.

Kryogenní technologie je založená na mechanickém rozbití zmrazené pneumatiky. Tato technologie je ale spojena s vysokými náklady na médium pro zmrazení, proto je běžnější mechanické mletí ve speciálních mlýnech.

Ocelová lana z patek a kordu jsou zpracovatelné v hutním průmyslu, textil je asi nejproblematictější produktem recyklace. Separuje se od ostatních složek vyfukováním, proto obsahuje i velké množství prachu. Přesto i textil lze využít, například do izolačních a tlumících desek či jako katalyzátor ke spojení živice s asfaltem.

Samotný pryžový granulát má celou řadu využití, odvíjející se od velikosti frakce, jeho čistoty a základního materiálu tj. druh a konstrukce recyklovaných pneumatik. Z kvalitního granulátu je vyrobena pryžová směs, určena k dalšímu zpracování v gumárenství. Tím se ušetří značná část syntetického i přírodního kaučuku i dalších přísad při výrobě nových výrobků. Z granulátu se též vyrábějí podlahové krytiny, tlumící prvky, dlažba, sportovní hřiště, drážní přejezdy, silnice, nejméně kvalitní díl je pak likvidován ve spalovnách.

Spalování pneumatik je další způsob likvidace, dokonce jsou považovány za ekologičtější palivo pro cementárny než jiné druhy paliv, například topné oleje.

Skládkování pneumatik je zakázáno vyhláškou 383/2001 Sb. S výjimkou pneumatik používaných jako materiál pro technické zabezpečení skládky v souladu s provozním řádem skládky. Pneumatiky jsou na skládce nebezpečné v případě požáru pro svou obtížnou uhasitelnost. Také svým objemem snižují kapacitu skládky. [16]

2 SUROVINY A MATERIÁLY V PNEUMATIKÁŘSKÉM PRŮMYSLU

K hlavním surovinám, z nichž se vyrábějí pneumatiky, patří přírodní guma, syntetická guma, mour a olej. Podíl gumových směsí na celkové hmotnosti pneumatiky činí více než 80%. Zbytek tvoří řada rozličných zpevňovacích materiálů. [17]

2.1 Přírodní a syntetické kaučuky

Kaučuky jsou makromolekulární látky s dlouhými řetězci a molekulovou hmotností až 10^6 , obvykle okolo 200 000. Při působení mechanické síly v jednom směru dochází k orientaci, řetězce se vyrovnají a často se objevuje slabá krystalizace.

Pro výrobu pneumatik se nejvíce používá kaučuků: přírodního, styrenbutadienového, butadienového, izoprenového, butylkaučuku a regenerátu. [8]

Přírodní kaučuk (NR)

Přírodní kaučuk se získává ze stromu kaučukovníku, zejména druhu *Hevea brasiliensis*.

Po naříznutí kůry stromu vytéká bílá, mlékovitá kapalina nazývána latex. Ten se upravuje srážením např. kyselinou mravenčí, pere vodou a suší na materiál zvaný krepa. Jeho dalšími úpravami (přídavkem plniv, dalších aditiv a vulkanizací) se vyrábí „přírodní kaučuk“ čili přírodní pryž. [18], [19]

Styrenbutadienové kaučuky (SBR)

Z hlediska výkonu lze téměř 100% použít do směsí na pláště pneumatik osobních automobilů. Malá lepivost nánosů zhoršuje však výkon při konfekci. Výhodou je, že lze používat kratších vulkanizací při vyšších teplotách.

Připravují se polymerací styrenu a butadienu. Nejčastěji se využívají tzv. studené typy SBR, které mají pravidelnější strukturu a lepší vlastnosti. A protože ve směsích na běhouny pneumatik vykazují nízký valivý odpor a zabezpečují dobrou adhezi za mokra, jejich význam stále roste.

Zpracovává se hůře než přírodní kaučuk, a proto je třeba do směsi přidávat více změkčova-
del.

Butadienový kaučuk (BR)

Je částečně krystalický. Snáší velké dávkování sazí a olejů. Svými dynamickými vlastnostmi a odolností proti oděru předčí přírodní kaučuk, ale oproti němu má nižší pevnost. Vykazuje dobrou mrazuvzdornost a odolnost proti praskání ve vrubu.

Záběrové vlastnosti jsou důležité zvláště u pneumatik pro osobní automobily, zvláště za mokra, kde nepříznivě ovlivňují bezpečnost jízdy.

Butylkaučuk (IIR)

Oproti přírodnímu kaučuku vykazuje nižší odrazovou pružnost, avšak oproti ostatním kaučukům má nejnižší propustnost plynů. Mezi další výhodné vlastnosti butylkaučuku patří tepelná stabilita, odolnost vůči ozónu a vlivům počasí, tlumení vibrací, odolnost proti vlhkosti a chemikáliím.

Z největší části se zpracovává na duše, těsnicí vrstvy bezdušových pneumatik, méně již na pláště pneumatik, kabely a technickou pryž.

Polyizopren (IR)

Je to synteticky připravený produkt polymerace izoprénu. Struktura a vlastnosti vulkanizátu tohoto kaučuku jsou zcela shodné se strukturou a vlastnostmi přírodního kaučuku. Má však nižší modul, odolnost vůči oděru a vyšší tažnost. Má poměrně dobrou lepivost a odrazovou pružnost. Úspěšně nahrazuje přírodní kaučuk v nákladních pneumatikách. Pro běhouny osobních pneumatik však zůstávají vhodnější SBR kaučuky, které mají menší opotřebení a jsou levnější.

Regenerát

Při výrobě pláštíků pneumatik se přidává ve značném množství do směsí na kostry a boční pásy. Pro běhouny první kvality se nehodí, protože zhoršuje v této náročné směsi odolnost proti opotřebení. Setkáváme se s ním však bezpečně ve směsích na protektorování a v běhounech pláštíků jízdních kol.

Neosvědčil se v automobilových duších ani v duších pro jízdní kola.

2.2 Přísady do kaučukových směsí

Vulkanizační činidla, urychlovače vulkanizace, retardéry vulkanizace, aktivátory vulkanizace, ztužovadla, antidegradanty, změkčovadla, ostatní přísady. [20]

Vulkanizační činidla – látky schopné vytvářet chemickou reakci za vzniku příčných vazeb mezi řetězci kaučukového uhlovodíku. Vulkanizace probíhá za neoptimálnějších podmínek při teplotě 140 – 210 °C. Nejznámější vulkanizační činidlo je síra, oxidy kovů, reaktivní pryskyřice.

Urychlovače – podporují činnost vulkanizačních činidel. Dle rychlosti reakce je dělíme na: pomalé, rychlé, velmi rychlé, ultrarychlé a speciální.

Aktivátory – zvyšují účinek vulkanizačních činidel. Nejpoužívanější je zinková běloba a stearin.

Retardéry – zpomalují nástup vulkanizace do 120 °C, umožňují zpracovatelnost směsí, zvyšují produktivitu.

Změkčovadla – usnadňují zpracovatelnost směsí, snižují tuhost, zvyšují lepivost. Nejznámější: parafín, ropné oleje, asfalty, dehty, pryskyřice.

Plniva – ztužující – zlepšují fyzikálně-mechanické vlastnosti, pevnost, pružnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení.

– **neztužující** – zvětšují objem, zlevňují výrobek. Používá se křída, kaolin.

Saze – mají příznivý vliv na fyzikální vlastnosti vulkanizátu, zejména na jeho pevnost a odolnost proti opotřebení. Saze se vyrábí nedokonalým spalováním olejů a plynů ve speciálním zařízení.

Antidegradanty, antioxidanty, antiozonanty – zabraňují předčasnému stárnutí pryže působením kyslíku, ozónu, světla, dynamického namáhání.

Plastikací činidla – zkracují dobu plastikace, odbourávají tuhost kaučuku. [21]

2.3 Vyztužené materiály

Vyztužené materiály jsou součástí kostry a patky pláště pneumatiky. Tvoří nosnou část pneumatiky a ovlivňují vlastnosti budoucího výrobku, především bezpečnost a pohodlnost jízdy a mají také podstatný vliv na výkon a životnost gumárenských výrobků. Ovlivňují tvar výrobku, odolnost proti opakovanému namáhání opotřebení a nosnost. Z vyztužených materiálů se používají zejména:

Kordové tkaniny – osnovní nitě jsou ze silných, pevných materiálů a útek z materiálu slabého. Útek drží osnovní nitě ve formě tkaniny v průběhu gumování. Tkaniny se používají pro kostru pneumatik. Jsou především z chemických vláken. Používá se především:

- Viskóзовého kordového hedvábí
- Polyamidového hedvábí
- Polyesterového hedvábí

Ocelový kord – má vysokou pevnost a vysoký modul. Je důležitým materiálem pro nákladní pneumatiky, nárazník radiálních pneu a pneu pro stavební stroje.

Křížové tkaniny – používají se především jako ochranné a obalové materiály. Jsou převážně z bavlny a používají se pro obalování lanek a jako obalového materiálu pro patky pláštíů.

Ségly – zhotovují se z pevných tkaných přízí. Mají velkou odolnost v obou směrech a velkou hmotnost. Používají se k ochraně patek u těžších pneumatik a při výrobě klínových řemenů a hadic.

Molino – je to jemná tkanina v plátňové vazbě. Slouží k obalování lanek do patek pneumatik.

3 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

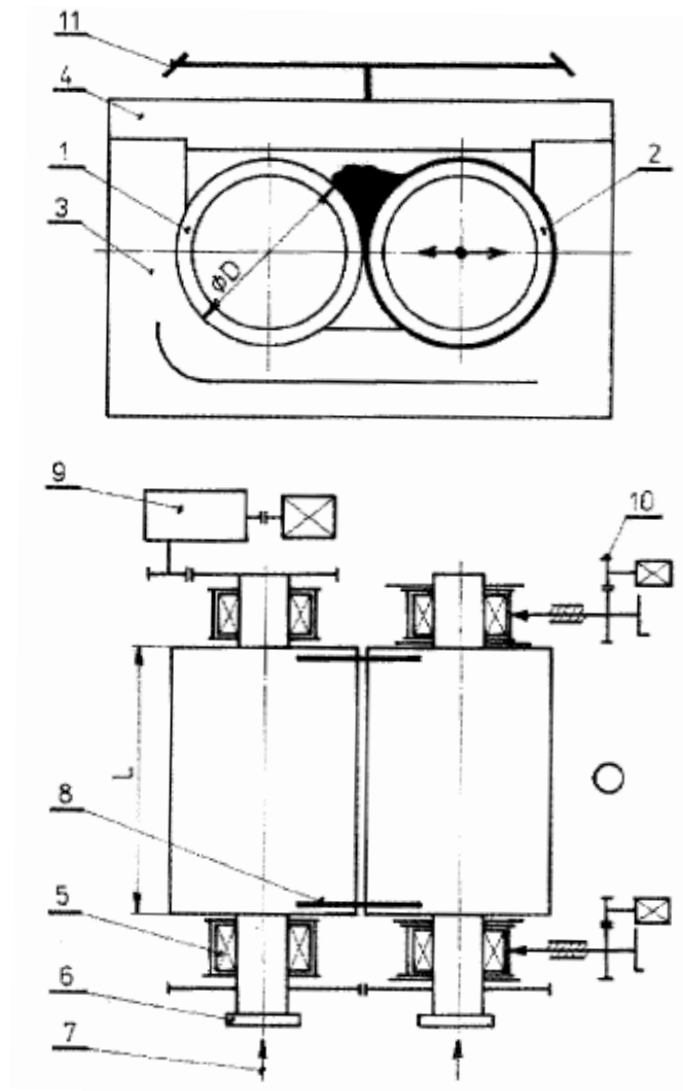
Výroba pláštěů pneumatik představuje velmi složitý výrobní postup zahrnující míchání směsi, přípravu polotovarů, konfekcí, lisování, vulkanizaci a kontrolu. [22]

3.1 Míchání směsí pro výrobu pneumatik

Míchání směsi probíhá v dvouválcových strojích v hnětačích nebo v kontinuálních hnětačích (Obr. 11). Nedílnou součástí intenzifikace míchání směsí je vývoj míchacích postupů. V hnětačích strojích se směs míchá v uzavřené komoře pod tlakem. Podstatou hnětače jsou dva profilované rotory, které se otáčejí rozdílnou rychlostí v hnětací komoře. I při dobrém chlazení vystoupí teplota na 110 – 130 °C. Proto se přidává do hnětače pouze urychlovač, a to na konci míchání, kdežto síra se domíchává po ochlazení směsi na dvouválcích.

Pro další zvýšení efektivnosti míchání se používá výkonných hnětačích strojů pracujících větší rychlostí a větším tlakem horního uzávěru. Míchání se tím značně urychluje, ovšem teplota vystoupí až na 150 – 180 °C, proto se směsi připravují ve dvou stupních. V prvním stupni se míchá pouze základ směsi, ten se potom ochladí a po odležení se dávkuje znovu do hnětače, kde se domíchávají vulkanizační přísady, popř. dochází k domíchávání na dvouválcích.

Z každé směsi se ihned po zamíchání odebírají kontrolní vzorky. U směsí zpracovaných na přímě lince se provádí tzv. expresní kontrola, spočívající ve vulkanizaci výrobků při vysoké teplotě a stanovení tvrdosti nebo modulu. Používají se reometry, které během několika málo minut poskytnou množství informací o kvalitě zamíchané směsi. [23]



Obr. 11. Dvouválec.

1 – zadní válec, 2 – přední válec, 3 – postranice, 4 – třmen, 5 – ložisko, 6 – topná hlava, 7 – přívod temperančního média, 8 – hradítko, 9 – pohon, 10 – stavění válce, 11 - bezpečnostní vypínání. [23]

3.2 Příprava a druhy polotovarů

Pro výrobu autoplášťů se používají tyto technologie:

- Vytlačování profilů: běhouny, bočnice, jádra, profily
- Pogumování textilních materiálů: kordy
- Výroba autolanek, fólií a mezigum.

3.3 Vytlačování profilů

Vytlačování je proces, při kterém je materiál tvářen průchodem přes hubici do volného prostoru.

Po ohřátí zamíchané směsi a dalším zpracováním připravíme profilované materiály, potřebné k výrobě autopláště. Vytlačovanými profily jsou běhouny, bočnice a jádra.

Linka na vytlačování profilů je sestavena z několika rozdílných typů strojů a zařízení: ohřívací a zásobovací dvouválce, vytlačovací stroj, dopravníky, chladicí zařízení, kosičky profilů a kontrolní váhy. [8]

3.4 Pogumování textilních materiálů a řezání textilu

Gumování textilu – důvodem gumování textilu je, aby směs spojila základní pevnostní složku pláště v jediný celek, který má za úkol izolovat a chránit příze v jednotlivých vrstvách proti vzájemnému poškození při dynamické únavě.

Řezání textilu – textil se řeže na řezacích strojích. Šíře pásu a sklon osnovních nití jsou dány konfekčním předpisem. Pásky, které jsou nařezané, se spojují a navíjejí do zábalových vložek a přepravují přímo ke konfekčním strojům. [23]

3.5 Konfekce pláštěů

Jednotlivé díly pláště se skládají a navzájem slepují na rotačním sklopném válci zvaném konfekční buben. Podle jeho tvaru mluvíme o konfekčním bubnu pro konfekci kulatou, polokulatou a plochou. [24]

3.5.1 Rozdělení podle profilu konfekce

Plochá konfekce – používá se různých tvarů konfekčních bubnů, na kterých se vytváří kostra s největším průměrem, téměř shodným s průměrem patek.

Polokulatá konfekce – udržuje tvar a polohu patek pláště ve stejném stavu jako budou na hotovém plášti. Největší průměr kostry je na konfekčním bubnu podstatně větší než průměr patek. Surový plášť zhotovený na konfekčním bubnu si zachovává tento tvar po celou dobu, než se založí do vulkanizačního lisu. Teprve zde dosáhne konečný rozměr a tvar.

Kulatá konfekce – celý plášť se skládá na kovovém jádru, jehož tvar a velikost se téměř shoduje s vnitřními rozměry hotového pláště. Dnes se již nepoužívá.

3.5.2 Rozdělení podle způsobu celkové skladby radiálního pláště a počtu pracovišť

Jednostupňová konfekce – surový plášť se vytváří na jednom zařízení. Konfekce je časově náročná.

Jedenapůlstupňová konfekce – skladba pláště je rozdělena do dvou pracovních míst, na kterých se odděleně provádí konfekce kostry a konfekce obalu s následným spojením obou částí. Konfekční stroj obsluhuje jeden pracovník.

Dvoustupňová konfekce – plášť je vytvářen na dvou samostatných strojích. První stupeň představuje konfekci kostry, která se uskutečňuje na plochem konfekčním bubnu. Konfekční stroj druhého stupně je složen z bubnu obalu pro tvorbu pláště (narázníky, běhoun) a vydouvatelného bubnu, na kterém dojde k vytvarování pláště a spojení kostry s obalem.

Vícestepňová konfekce – je vytvořena více pracovišti, které jsou navzájem propojeny přenášecími manipulátory. Cílem je maximálně zjednodušit skladbu pláště a snížit časovou náročnost procesu konfekce. [25]

3.6 Vulkanizace a lisování pláštěů pneumatik

Pláště pneumatik obdrží konečný tvar a požadované fyzikálně- mechanické vlastnosti procesem lisování a vulkanizace. Oba děje probíhají současně za přítomnosti vulkanizačních činitelů teploty, tlaku s časem. Lisování se děje v počátku procesu nástupem lisovacího tlaku při současném prohřevu „surového“ pláště. Působením tlaku a teploty zaplní směs všechny části formy. S dalším prohřevem dochází ke zvyšování teploty a při teplotě nad 120 °C začne probíhat vlastní proces vulkanizace. Teprve vulkanizací vzniká elastická pryž s potřebnými fyzikálními vlastnostmi důležitými pro užitnou hodnotu výrobku. Tyto vlastnosti jsou elasticita, tažnost, tvrdost, odolnost proti otěru, povětrnostním podmínkám a chemickým vlivům.

Lisování je proces závislý na tlaku, vulkanizace je chemicko – fyzikální děj, při kterém dochází ke strukturálním změnám. Makromolekuly kaučuku se vážou molekulami vulkanizačního činidla, vznikají příčné vazby, materiál převážně plastický se mění na elastický.

Pro tento proces je potřeba použít zařízení, které vyvine vysoké teploty a tlaky. Tímto zařízením jsou vulkanizační lis. Dle toho, jakým způsobem dosahujeme uzavírací a lisovací síly, rozdělujeme lis na mechanické a hydraulické. Topným médiem je pára a horká voda. Ohřev surového pláště se děje přes kovovou formu buďto přímo – komorové vytápění, nebo nepřímo přes topnou desku, která ohřívá formu. Vzhledem ke tvaru pláště, které představuje duté těleso, musí být plášť při vulkanizaci přitlačován zevnitř na stěnu formy elastickou membránou, která zároveň zajišťuje vnitřní ohřev pláště. Formy jsou buď pevné dvoudílné – obě poloviny naprosto stejné, nebo segmentové. Celý proces lisování a vulkanizace je plně automatizován. [26]

3.7 Kontrola a opravy pláštěů

Po ukončení vulkanizačního procesu je plášť pneumatiky po provedení estetických úprav, jako je ořezání přetoků popř. postřík černou barvou, podroben důkladné kontrole. Při této kontrole se zjišťují vady porušující estetický vzhled pláště, např. přetoky aj., které příliš nenarušují funkci pláště pneumatik a vady, které funkční způsobilost pláště pneumatiky narušují nebo zcela znemožňují. Tato skupina vad je zvláště nežádoucí a zahrnuje různé druhy separací (v patce, pod běhounem, mezi vložkami apod.), při jejich výskytu je plášť obvykle nepoužitelný nebo má použití velmi omezené. Pro výrobní závod na základě funkčně nevhodných pláštěů vzniká velká finanční ztráta.

Kontrolou vytríděné pláště se předávají do skladu a k expedici. Pláště, které jsou označeny jako závadné, se třídí do kvalitativních skupin, a je-li to technicky možné, dopravují se do opravářské dílny k opravě.

Pláště pneumatik s vadou se opravují v opravářské dílně, jejichž rozsah závisí na podmínkách výrobního závodu. Dílna je vybavena brousícím zařízením a jednoduchými opravářskými lis, ve kterých se opravují povrchové vady a drobné separace.

Broušením se odstraňují povrchové vady, pokud jde o nedolisky nebo jiné podobné malé vady, které nezasahují hluboko do bočnice ani ostatních částí pláště. [8]

4 ZKOUŠKY PNEUMATIK

Nejvhodnějším způsobem zjišťování kvality a životnosti pneumatik je zkouška v podmínkách budoucího využití tohoto výrobku v praxi. Časový interval praktických zkoušek je však dlouhý, protože pneumatiky mají podstatně delší životnost než jiné průmyslové výrobky. Naproti tomu je nutné ověřovat kvalitativní parametry pneumatik v kratších časových intervalech, aby bylo možné provádět technické a technologické úpravy a vyhnout se tak riziku, že bude vyrobeno velké množství výrobků s vadou.

Pneumatický průmysl věnuje zvýšenou pozornost všem technologickým procesům, počínaje přípravou kaučukových směsí a konče vulkanizací pláštěů pneumatik.

Patří zde:

- zkoušky směsí
- kontrola kvality polotovarů
- vizuální kontrola konfekčních prací
- kontrola po vulkanizaci zahrnující: vizuální kontrolu, rentgen, test uniformity
- zkoušky na zkušebně, které obsahují: geometrické měření, statické zkoušky, dynamické zkoušky
- silniční zkoušky

test uniformity – účelem je přesné zhodnocení rovnoměrnosti pneumatiky, která je důležitou podmínkou pro bezpečnou a pohodlnou jízdu, zejména při větších rychlostech.

4.1 Zkoušky směsí a polotovarů

Zkoušky kaučukových směsí mají pevný řád a umožňují pneumatikářským chemikům a technologům hodnotit kvalitu již v úvodní fázi pneumatikářské výroby. Kvalita dalších polotovarů se hodnotí měřením běhounů, bočnic, kordových a ostatních tkanin s nánosem kaučukové směsí, výplňových profilů a patních lan. Vizuální kontrolou se zjišťuje kvalita konfekčních prací a také přípravných prací před lisováním a vulkanizací. Po vulkanizaci se hodnotí zvulkanizovaný plášť pneumatiky kontrolou jeho povrchu, kde se mohou vyskytovat vzhledové vady, např. nedolisky či vady funkční, jako jsou nespojené části pláště pneumatiky a poškozené pláště pneumatiky.

Moderní diagnostické metody dnes s výhodou využívají průmyslový rentgen, který umožňuje přísné zhodnocení kostry pláště pneumatiky, zejména rozložení kordových nití v kostře a nárazníku.

Do komplexu kontrolních metod v rámci výrobního procesu patří také hodnocení rovnoměrnosti v rozložení hmoty po obvodu pláště pneumatiky. U plášťů pneumatik se proto dělá tzv. test uniformity. [20]

4.2 Zkoušky na zkušebně

Všechny laboratorní zkoušky kaučukových směsí, hodnocení polotovarů a hodnocení rovnoměrnosti plášťů pneumatik umožňují zjistit nedostatky. Nedávají však komplexní odpověď na otázku kvality výrobku a jeho funkčních vlastností.

4.2.1 U pneumatik se zejména hodnotí tyto parametry

Základní geometrické veličiny: volný obvod a průměr pláště, šířka a zakřivení běžné plochy, poloměr zakřivení v boku, hloubka drážky dezénu, celkový tvar obrysu nezatíženého pláště, tloušťka pláště v koruně a v boku, tloušťka a průměr patky pláště, vnitřní obvod příčného řezu pláště a vnitřní objem pneumatiky.

Měří se ve zkušebně běžnými měřicími metodami.

4.2.2 Při měření statických hodnot se zjišťují dále uvedené veličiny

Poloměr zatížené pneumatiky (R), poloměr nezatížené pneumatiky (R_0), radiální deformace (s_r), statický poloměr (r_s), statická radiální tuhost a rozbor stopy.

4.2.3 V tabulce u otisku jsou uvedeny následující hodnoty zkoušek

Rozměr pláště pneumatiky, zatížení a huštění pneumatiky, použitý ráfek, doba přitlaku, šířka a délka stopy, zaplnění desénu a střední tlak na styčnou plochu otisku.

Měření dosedacího tlaku – tato zkouška slouží k posouzení velikosti minimálního huštění k dosednutí patek na dosedací plochy ráfku. Používá se převážně jen u pneumatik pro motocykly, osobní automobily a traktory. Při zkoušce se postupuje tak, že namontovaný plášť se opatrně hustí a současně se oboustranně kontroluje vzájemná poloha ramínek ráfku a centrovacích rysek na pneumatice. Po úplném dosednutí se změří manometrem hodnota

potřebného tlaku. Zkouška se dělá celkem třikrát. Výsledkem jsou tři hodnoty minimálního tlaku potřebného k dosednutí patek na dosedací plochy ráfku.

Pevnost pneumatiky – v rámci statických zkoušek se zjišťuje pevnost pneumatiky protlačováním trnu podle normy ČSN 63 1531.

Při zkoušce se pneumatika upevní na hřídel měřícího zařízení a uprostřed běhounu se označí a na bočnici očíslojí zkušební místa. Zkouška se provádí nejméně v pěti bodech přibližně rovnoměrně rozdělených po odvodu pneumatiky.

Trn je zpevněn kolmo k ose rotace pneumatiky tak, aby se zkouška prováděla ve středu výstupku desénu (figury).

Lze provádět zkoušku pevnosti také pomocí tlaku vody tak, že se do pláště pneumatiky napouští tlaková voda. Plášť pneumatiky je při této zkoušce namontován na připraveném ráfku. Pevnost kostry pláště je tlak vody, při kterém dojde k poruše.

Pevnost patních lan – se zjišťuje rovněž vháněním vody do pláště pneumatiky namontovaného na zesílený ráfek, až dojde k přetržení lana. Tlak vody před přetržením lana udává jeho pevnost.

Při zjišťování statických vlastností se obvykle dále měří hmotnost pláště pneumatiky, tečná a torzní deformace a další vlastnosti, které jsou důležité pro výrobce i pro uživatele pneumatik.

4.2.4 Při měření dynamických hodnot se zjišťuje

Odolnost proti dynamickému namáhání, valivý odpor, účinný dynamický poloměr pneumatiky, dynamická pevnost pláště pneumatiky a vývin tepla a narůstání pneumatiky.

Dynamické zkoušky se provádějí na bubnovém zkušebním stroji. Moderní verze zkušebního stroje umožňuje zkoušet několik pneumatik současně. Vyhodnocení zkoušek provádí počítač. Pro jednotlivé druhy zkoušek platí české státní normy a metodiky. Průběh zkoušek se přesně zaznamenává, obvykle do předepsaných tiskopisů. [22]

4.3 Zkoušky opotřebení

Zkoušky opotřebení se provádějí jak v laboratorních tak v provozních podmínkách. Zatímco laboratorní zkoušky jsou zaměřeny téměř výhradně na jeden efekt a pro každý bývá na-

vrženo zvláštní zařízení a vypracována zvláštní metodika, silniční zkoušky umožňují posuzovat kromě opotřebení větší soubor vlastností důležitých pro provoz daného typu vozidla.

4.3.1 Laboratorní zkoušky

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 závislostí 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 však není 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 korundový kotouč. Přístrojů je veliké množství. Liší se tvarem zkušebního vzorku, způsobem přitlačování, drahou, po které se vzorek pohybuje, povahou a tvarem brusného materiálu, specifickým tlakem, rychlostí posunu apod.

Výsledky udávají nejčastěji objemovou ztrátou buď za jednotku času, za jistý počet otáček, nebo za jistou dráhu, kterou vzorek na brusném materiálu vykonal. Aby se některé experimentální chyby vzniklé např. nepravidelností brusného prostředku, 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 pro testování opotřebení běhounů pneumatik pracujících v náročných mimo silničních podmínkách. V těchto případech je mechanismus opotřebení poněkud odlišný. Běhoun není obrušován, ale dochází k postupnému vykusování a vykrajování kousků běhounové pryže ostrými okraji kamenů a dalšími terénními nerovnostmi. Tento efekt bývá v literatuře označován jako Chip - Chunk odolnost.

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 opotřebení je vlastností v praxi velmi důležitou pro běhouny pneumatik, podrážky, podpatky, dopravní pásy atp. V literatuře je nejvíce zpráv o zkoušení běhounů.

Vzhledem k množství faktorů opotřebení, které na ně mají vliv, a vzhledem k povaze této vlastnosti vůbec, neshodují se laboratorní výsledky s praktickými výsledky na silnici a dochází někdy k 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 etylalkoholu a toluenu (70:30), čímž se odstraní látky, které mohou při zkoušce měnit součinitele tření brusného materiálu.

Srovnání laboratorních výsledků s praxí též ukazuje, že žádný zkušební přístroj nelze dosud zvolit jako universální. Některý typ přístroje dává lepší výsledky pro běhouny, jiný pro podrážky apod.

Odolnost proti opotřebení závisí na druhu kaučuku a na přísadách. Velmi dobrou odolnost proti opotřebení má přírodní, nitridový, butadien-styrenový i natriumbutadienový kaučuk.

U přírodního kaučuku se vysoká odolnost proti opotřebení získá aktivními sazemi, kterých se přidává k dosažení optimální odolnosti 22 až 28 objemových dílů, tj. asi 40-48 váhových dílů na 100 dílů kaučuku. Při vyšším plnění sice stoupá tvrdost a modul, ale nezlepšuje se již odolnost proti opotřebení. Pro syntetické kaučuky byly vyrobeny retortové saze s vysokou odolností proti opotřebení. Je to proto, že směsi ze syntetických kaučuků s aktivními sazemi se špatně zpracovávají.

Směsi obsahující vysoké procento sazí vyžadují přidávání změkčovadel k usnadnění zpracovatelnosti, zvláště pro technologii vstřikování. Změkčovadla, zejména oleje, snižují odolnost proti opotřebení, takže je nutné, aby se jich používalo co nejméně. Do běhouno-

vých 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 jich je nutné zapotřebí.

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 butadien-styrenový, přírodní kaučuk a studený kaučuk.

Převulkanizací a stárnutím se odolnost proti opotřebení příliš nemění. Byla vyvinuta řada přístrojů a metod na zkoušení opotřebení. Patří mezi ně např.:

4.3.2 Metoda Du Pont s konstantním třením

Tato zkouška je založena na stejném principu jako metoda Du Pont – Grasselli. Přístroj je vybaven elektrickými spínači, které udržují zvolenou velikost tření na konstantní hodnotě. Zkouška je vhodná pro hodnocení běhounových směsí a dává určité korelace se silničními zkouškami.

Zkušební tělesa mají průřez čtverce a jsou opatřena patkami pro upnutí. Upevňují se na páku přístroje a při zkoušce jsou přitlačována na odírající prostředek ve tvaru mezikruží konstantním tlakem. Obroušené částčky 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.

4.3.3 Metoda Skroj – Croydon

Zkušebním tělesem je dutý kotouč vnějšího průměru 64 mm a tloušťky 12,7 mm. Vnitřní průměr je 43,6 mm. Zhotovuje se lisováním. Zkušební těleso, které se nasunuje na hřídel přístroje, se otáčí rychlostí 250 ot/min. Na ně je tlačěn pod úhlem 15° karborundový kotouč tlakem asi 0,28MPa. Částčky vzniklé při odírání se odstraní žiněným kartáčem. Při zkoušení se postupuje tak, že se nejdříve zkouší těleso srovnávacího materiálu, potom dvě tělesa

zkoušeného materiálu a nakonec opět těleso srovnávacího materiálu. Odolnost proti opotřebení se udává jako objemový úbytek za stanovený počet obrátek.

4.3.4 Metoda Dunlop – Lambourn

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

4.3.5 Dry sand – rubber wheel test (DSRW)

Jedná se o zařízení na laboratorní test opotřebení kovů, modifikované pro měření elastomerních vzorků. Autory ke konstrukci tohoto měřícího zařízení vedla potřeba simulovat skutečné podmínky při opotřebování pneumatik v provozu. Jako zkušební vzorek byl vybrán polyuretanový kotouč, který je upnut oproti rotujícímu kolu. Otáčky kola činí 213,5min⁻¹. Autoři vyhodnotili jako optimální přitlačnou sílu vyvozenou protizávažím na 86,7 N. Mezi zkušební vzorek a kolo je odsypáván písek v množství 300 g/min, který slouží jako abrazivo. Zkouškám na tomto zařízení bylo dosaženo výsledků, na jejichž základě se dá říct, že u většiny materiálů na bázi polyuretanů je odolnost proti opotřebení závislá na tvrdosti měřeného vzorku. Největší odolnost proti opotřebení vykazovaly vzorky o tvrdosti Shore 75A až 95A. [27]

4.3.6 Dynamické zkoušky na bubnových stanicích

Jsou to únavové zkoušky, kdy je pneumatika se zvoleným zatížením přitlačována k rotujícímu válci. Povrch válce je buďto s překážkami nebo bez překážek. Zkouší se odolnost kostry a patky pláště (časový limit), valivý odpor, hluk, destrukční rychlost, což je zjištění rychlosti, při níž dojde k destrukci pláště, opotřebení pláště a silové charakteristiky (boční, radiální a tangenciální síla při natočení pneumatiky). [26]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro vlastní experimentální část (rychlý test opotřebení) byla vybrána běhounová směs určená pro silně namáhané mimosilniční pneumatiky. Gumárenská směs byla vyrobena na základě NR, SBR a jako plnicí systém byly použity saze. Směs představuje reálné výrobky a je průmyslově vyráběna a zpracovávána.

Vybraná běhounová směs byla modifikována přidáním polymerního plniva. Plnivo (modifikovaný PE) bylo dávkováno ve třech dávkách 0%, 5 % a 10 %. Následně byl sledován vliv plniva na opotřebení běhounové směsi a její mechanické vlastnosti.

5.1 Měření vlastností

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)
- Strukturní pevnost (trhací stroj T 2000)
- Tvrdost Shore (tvrdoměr HPE – D Bereiss)
- Rychlý test opotřebení (Zařízení Chip – Chunk, Manas 2005))

5.1.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byly připraveny lisováním na laboratorním lisu typ 400x400 v laboratořích UVI FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám. Doba vulkanizace byla výrobcem doporučena 20 min. při teplotě 160°C. [6, 7, 8, 9]

5.1.2 Tahová zkouška

Podstata zkoušky 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.

Zkušební těleso se vloží do trhacího stroje tak, aby bylo zabezpečeno symetrické upnutí rovnoběžných částí lopatek a aby byl tah rozložen rovnoměrně na příčný průřez tělesa.

Spustí se chod stroje a průběžně se zaznamenávají změny pracovní délky zkušební tělesa a síly po celou dobu zkoušky s přesností $\pm 2\%$. Jmenovitá rychlost příčnicku s pohyblivou upínací čelistí je 500 mm/min. Zkušební těleso, u kterého dojde k přetržení mimo pracovní část, musí být z hodnocení vyřazeno a zkouška se opakuje na dalším zkušebním tělese. Po dobu jedné zkoušky nebo při srovnávacích sériích měření musí být stejná teplota.

Napětí v tahu je definováno jako napětí způsobující protažení zkušební tělesa. Vypočítá se jako použitá síla, vztažená na jednotku plochy původního příčného průřezu v pracovní části zkušební tělesa.

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.

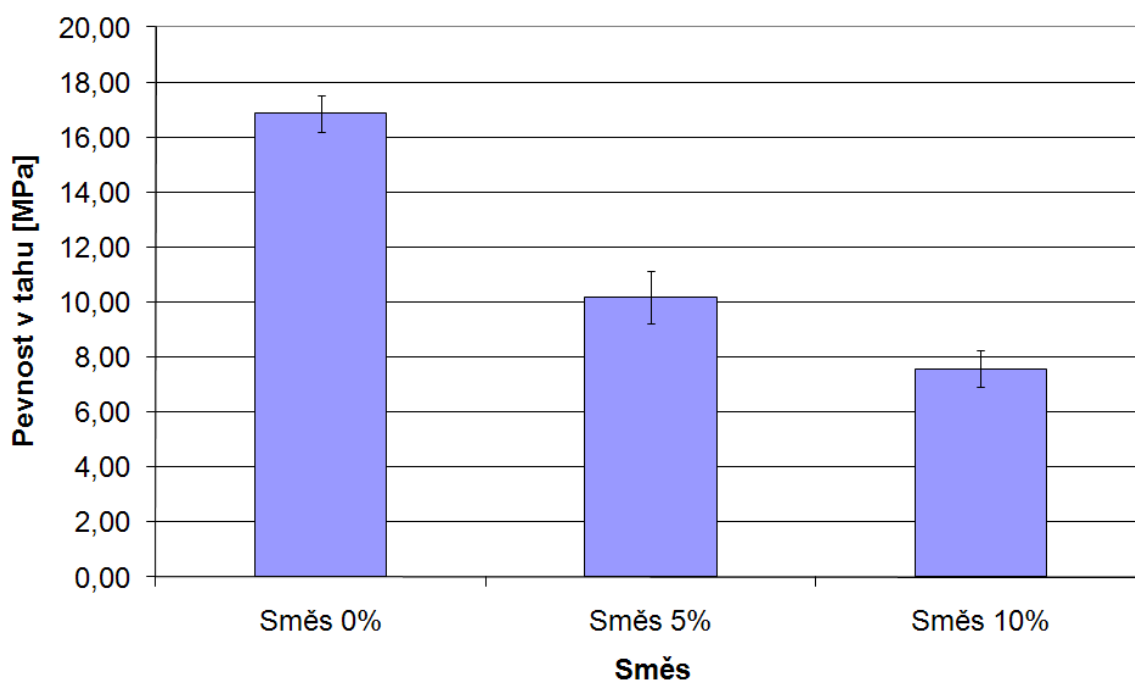
Pevnost v tahu při přetržení je tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení.

Tažnost je definována jako tahová deformace pracovní délky v okamžiku přetržení.

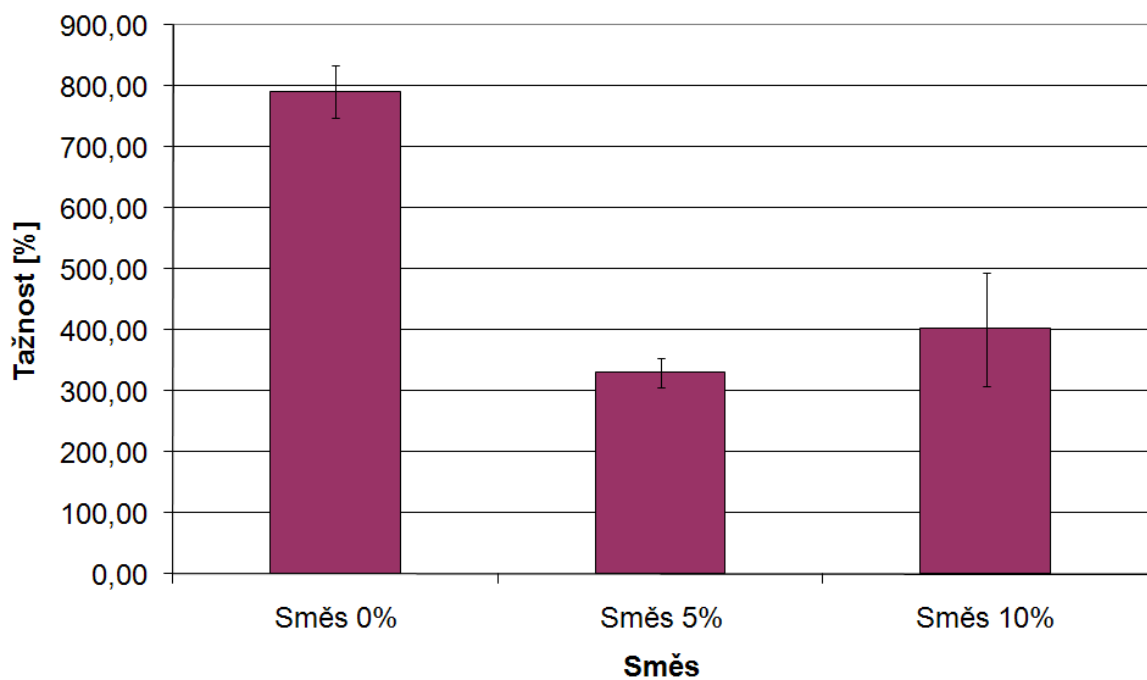
Pro účely přehlednějšího vyhodnocení všech souborů měření je zavedena tzv. bezrozměrná hodnota, definovaná jako podíl příslušné hodnoty k hodnotě maximální. Je označena [-]. Zkušební tělesa byla připravena a zkouška realizována dle normy [6] na trhacím stroji typ T 2000 v laboratoři Demo room ALFA TECHNOLOGIES při teplotě okolí (21 °C). Pro zkoušku bylo použito vždy 10 zkušebních tělísek a naměřené hodnoty byly zpracovány a statisticky vyhodnoceny. [8]

Tab. 1. Tahová zkouška.

Směs	Pevnost v tahu [MPa]	Směrodatná odchylka	Tažnost [%]	Směrodatná odchylka
0%	16,86	0,66	605,98	257,26
5%	10,17	0,96	330,28	24,07
10%	7,56	0,67	401,15	93,82



Obr. 12. Porovnání pevnosti v tahu u jednotlivých směsí.



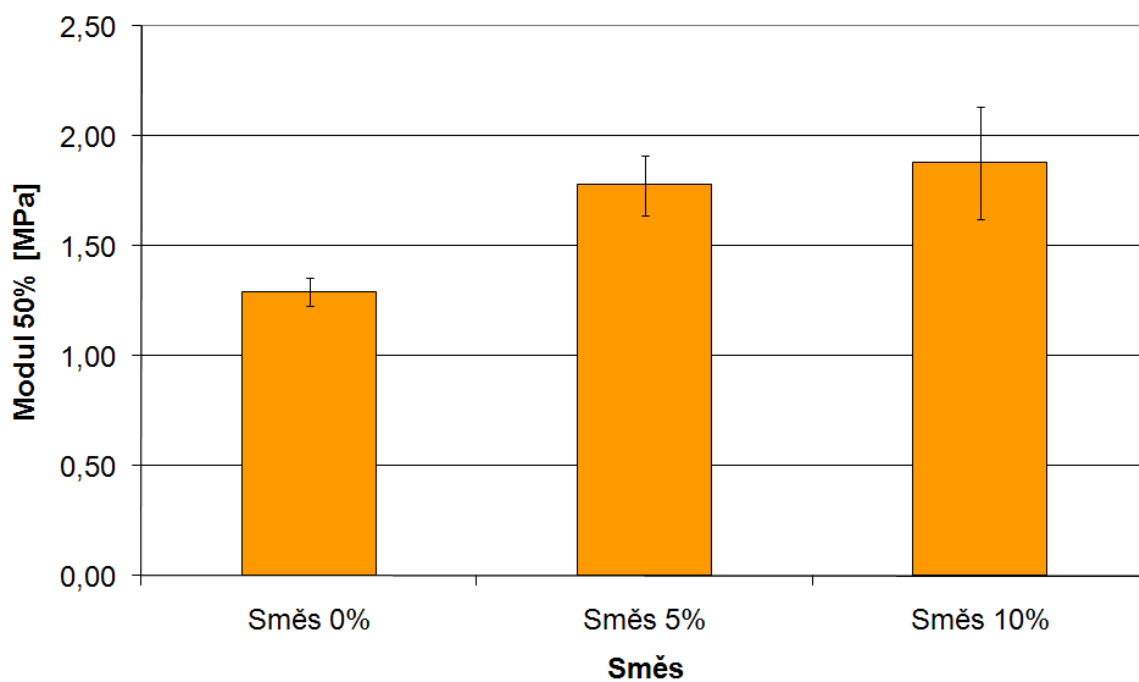
Obr. 13. Porovnání tažností.

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu dosáhla 0% směs. Naopak nejmenší hodnoty dosáhla 10% směs.

U tažnosti nejvyšší hodnoty dosáhla 0% směs. Naopak nejmenší hodnoty dosáhla 5% směs.

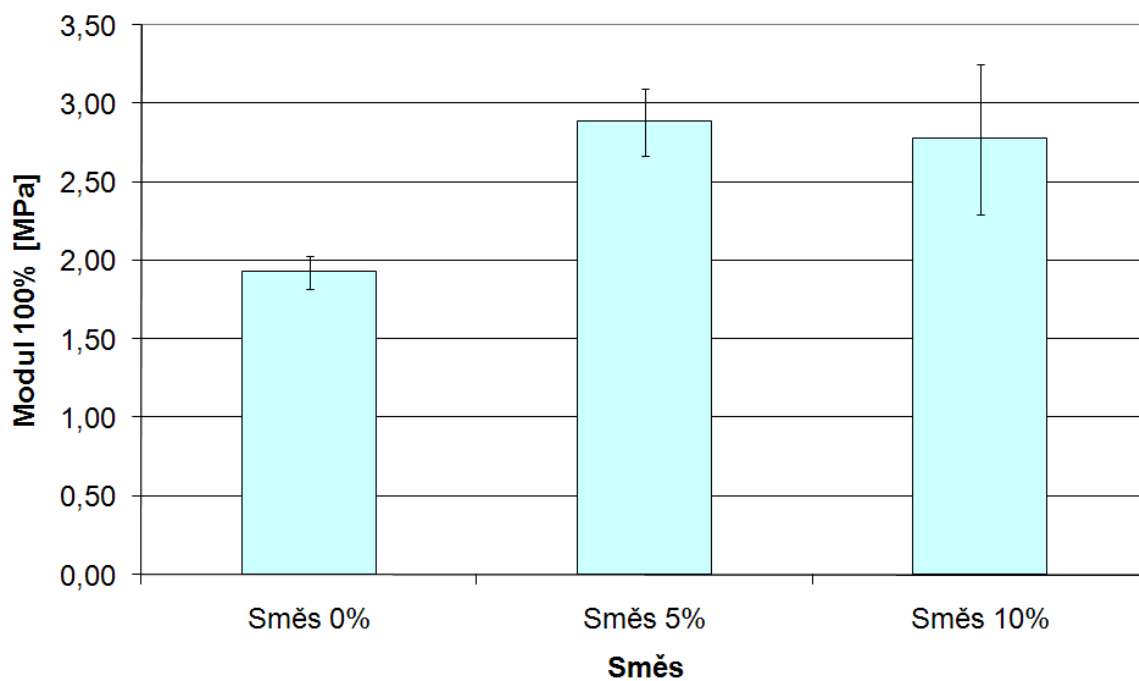
Tab. 2. Moduly 50% a 100%.

Směs	Modul 50%	Směrodatná odchylka	Modul 100%	Směrodatná odchylka
0%	1,27	0,13	1,99	0,4
5%	1,78	0,14	2,88	0,22
10%	1,88	0,26	2,77	0,48



Obr. 14. Modul 50%.

Nejvyšších hodnot modulu 50% bylo dosaženo v 10% směsi. Naopak nejnižších hodnot v 0% směsi.

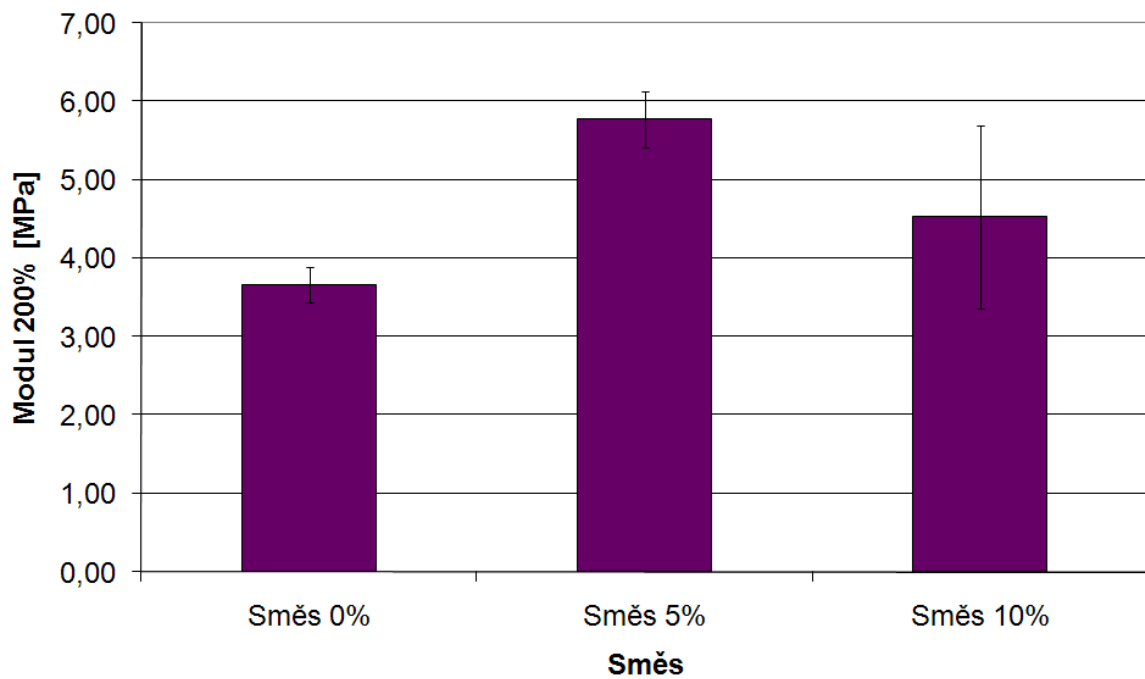


Obr. 15. Modul 100%.

Nejvyšších hodnot modulu 100% bylo dosaženo u 5% směsi. Naopak nejnižších hodnot u 0% směsi.

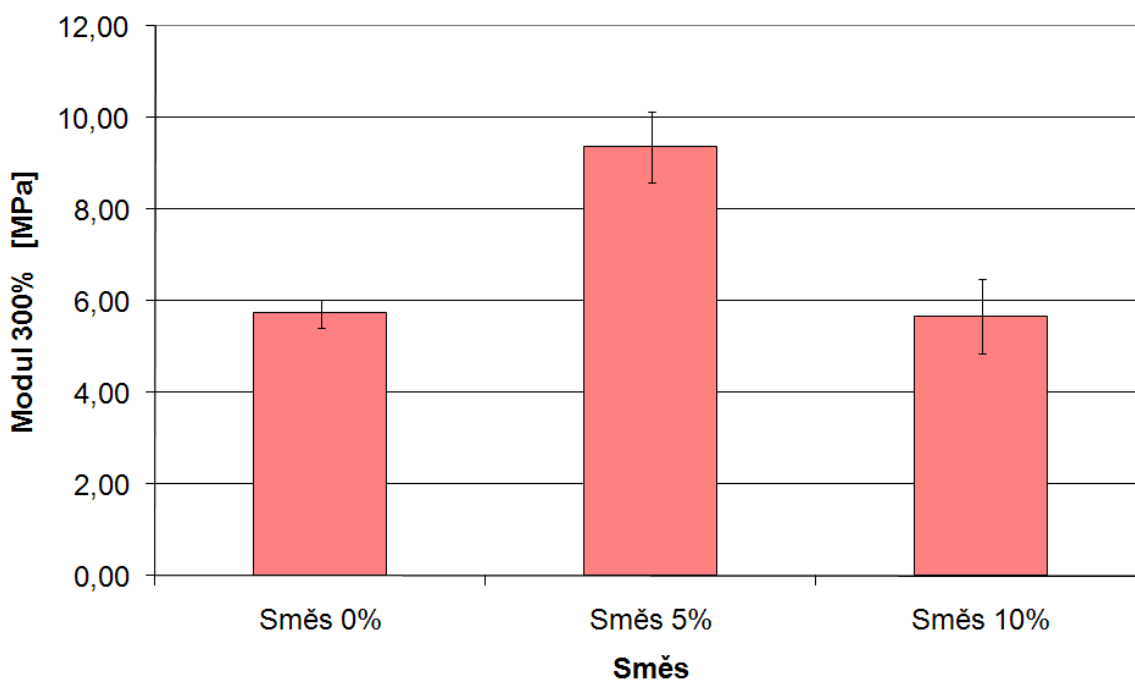
Tab. 3. Moduly 200% a 300%.

Směs	Modul 200%	Směrodatná odchylka	Modul 300%	Směrodatná odchylka
0%	4,18	1,22	7,56	3,06
5%	5,77	0,36	9,36	0,77
10%	4,53	1,17	5,66	0,81



Obr. 16. Modul 200%.

Nejmenších hodnot u modulu 200% bylo dosaženo u 0% směsi. Naopak nejvyšších hodnot bylo dosaženo u 5% směsi.



Obr. 17. Modul 300%.

Nejnižší hodnoty modulu 300% byly naměřeny u 10% směsi. Naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny u 5% směsi.

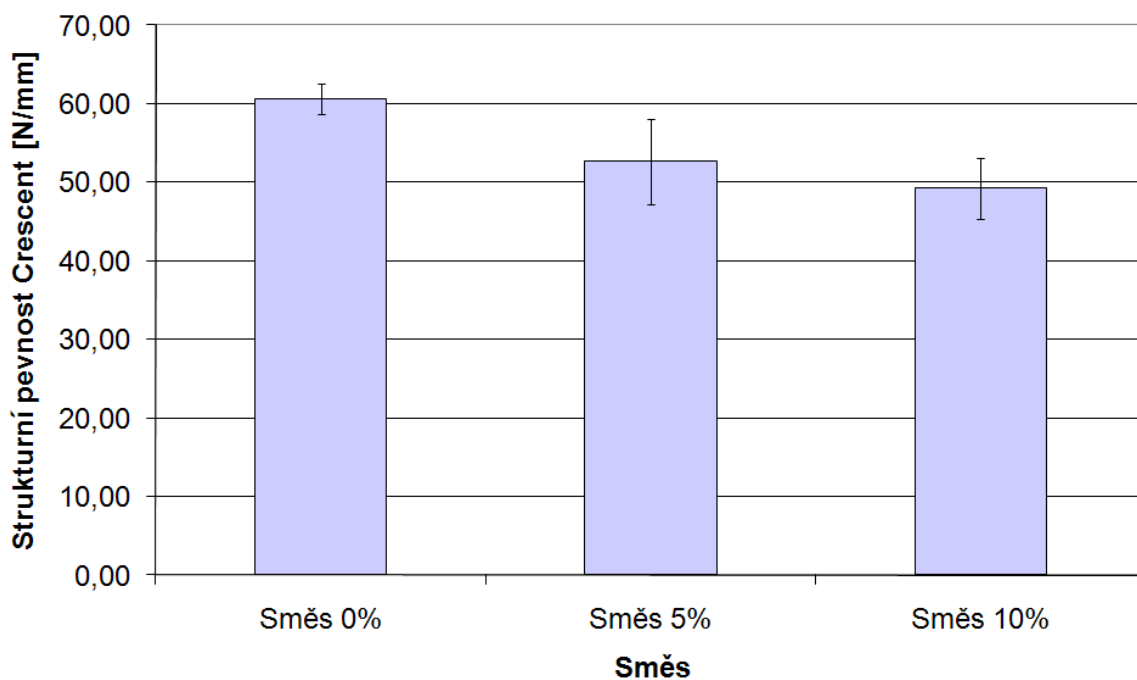
5.1.3 Strukturní pevnost

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 ± 50 mm/min a zaznamenává se nejvyšší síla, která je potřebná k přetržení zkušebního tělesa.

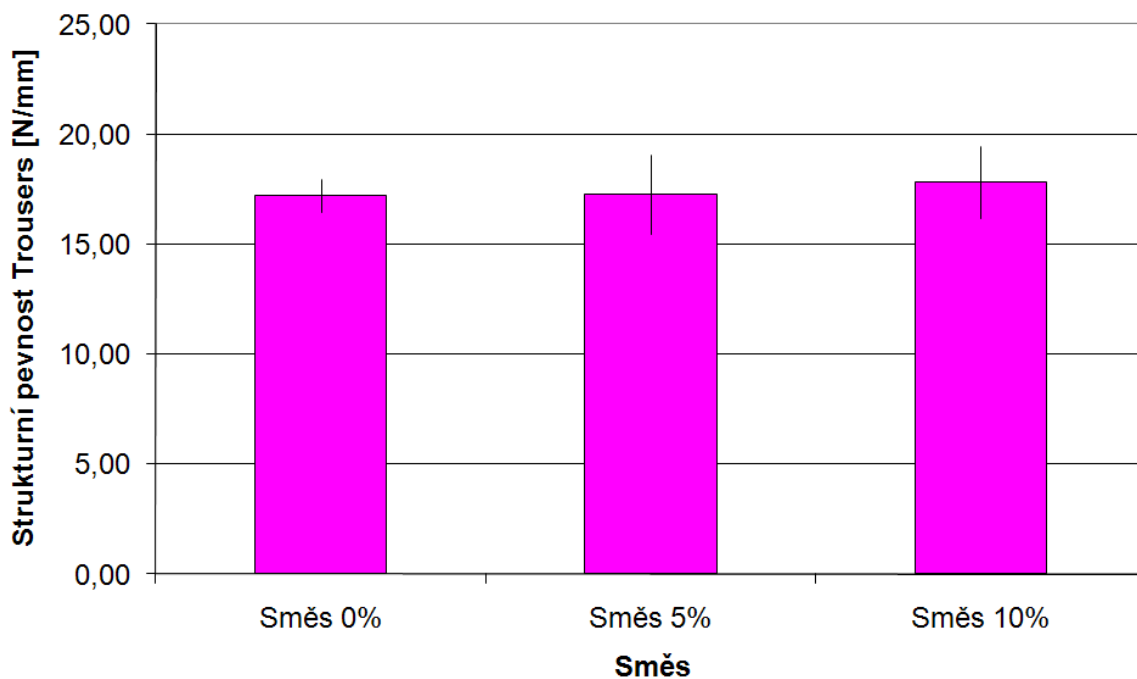
Strukturní pevnost (T_s) v N/mm je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa v mm. [21]

Tab. 4. Strukturní pevnost.

Směs	Strukturní pevnost Crescent [N/mm]	Směrodatná odchylka	Strukturní pevnost Trousers [N/mm]	Směrodatná odchylka
0%	60,55	1,93	17,22	0,73
5%	52,64	5,39	17,29	1,8
10%	49,21	3,94	17,80	1,63



Obr. 18. Strukturní pevnost Crescent.



Obr. 19. Strukturní pevnost Trousers.

Nejvyšší hodnoty strukturní pevnosti Crescent dosáhla 0% směs. Naopak nejmenší hodnoty dosáhla 10% směs.

U strukturní pevnosti Trousers nejvyšší hodnoty dosáhla 10% směs. Naopak nejmenší hodnoty dosáhla 0% směs.

5.1.4 Odrazová pružnost Luepke

Odrazová pružnost Luepke je definována jako poměr energie vrácené k energii dodané při rázu vyjádřená v procentech. Cílem zkoušky je určení schopnosti materiálu absorbovat, případně vracet mechanickou energii při deformaci rázem.

Podstata zkoušky odrazové pružnosti na přístroji Luepke spočívá v tom, že kyvadlo ve tvaru tyče se nechá dopadnout na zkušební těleso za předepsaných podmínek zkoušky a na stupnici přístroje se určí výška, do které se odrazí kyvadlo vlivem pružnosti zkoušeného materiálu a která udává hodnotu odrazové pružnosti. [8]

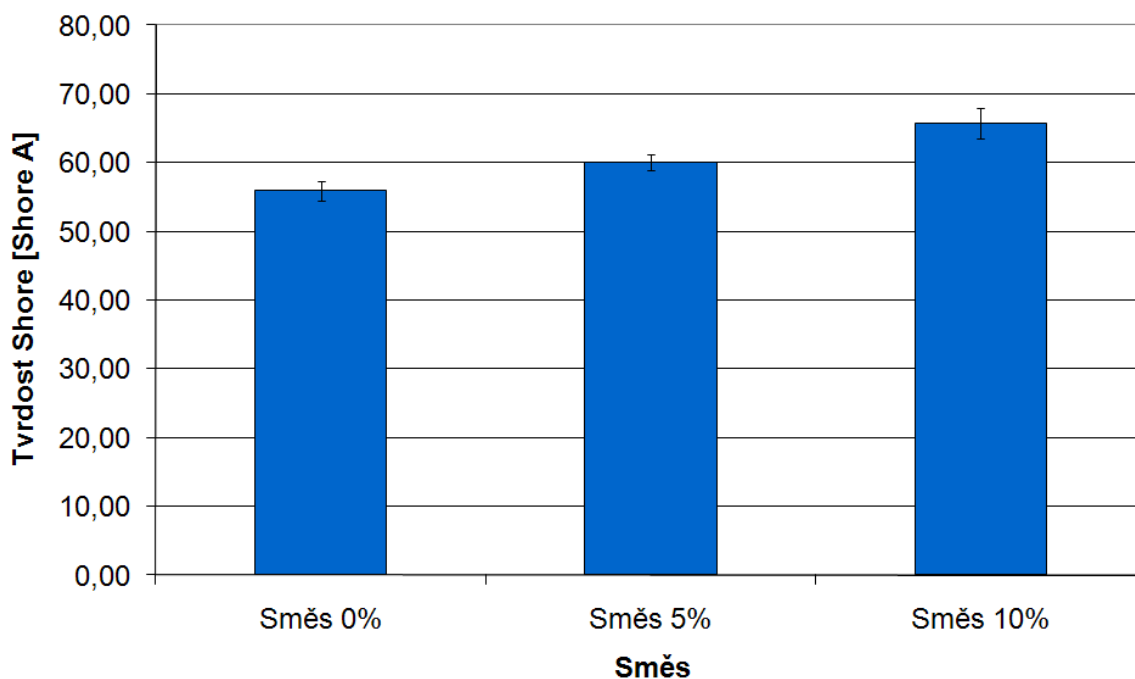
5.1.5 Tvrdość Shore

Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušební hrotu vlačovaného do materiálu za specifických podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Tvar hrotu, přítlačná síla a doba vlačování hrotu do materiálu ovlivňují výsledky měření, takže mezi výsledky získanými na jednom typu tvrdoměru a hodnotami naměřenými na jiném tvrdoměru či jiném přístroji pro měření tvrdosti, není žádný přímý vztah. Pro měření tvrdosti se používají dva typy tvrdoměrů. Tvrdoměr typu A (Shore A) se používá ke stanovení tvrdosti měkkých materiálů a tvrdoměr typu D (Shore D) ke stanovení tvrdosti tvrdších materiálů.

Hrot se vysunuje od 0 do 2,5 mm. Velikosti vysunutí odpovídá tvrdost od 0 do 100. Při měření se tvrdoměr přiloží v kolmém směru na zkušební těleso tak, aby špička zkušební hrotu byla nejméně 12 mm od kteréhokoliv okraje zkušební tělesa. Tvrdost se odečítá na stupnici přístroje po uplynutí tří sekund od dosažení pevného dotyku mezi opěrnou patkou a zkušebním tělesem. Provádí se pět měření tvrdosti na různých místech zkušební tělesa, vzdáleného od sebe nejméně 6 mm. Z takto naměřených hodnot se stanoví střední hodnota. [8]

Tab. 5. Tvrdość Shore A a opotřebení.

Směs	Tvrdość Shore [Shore A]	Směrodatná odchylka	Opotřebení [g]	Směrodatná odchylka
0%	55,88	1,48	0,99	0,06
5%	60,01	1,17	1,52	0,07
10%	65,67	2,19	2,03	0,08



Obr. 20. Tvrdość Shore A.

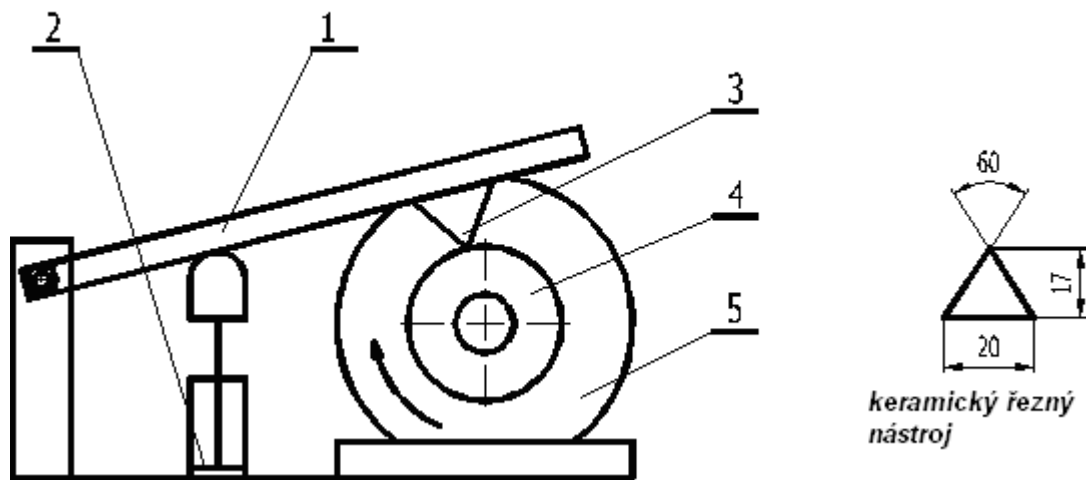
U tvrdosti Shore A dosáhla nejvyšších hodnot 10% směs. Naopak nejmenších hodnot dosáhla 0% směs.

5.2 Rychlý test opotřebení

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

Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení, jehož princip je znázorněn na obr. 21. Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování Chip – Chunk opotřebení.

Bylo navrženo nové zařízení s možností změn parametrů testů, poskytující reálnou simulaci provozních podmínek. Princip zařízení je zřejmý z obr. 21.



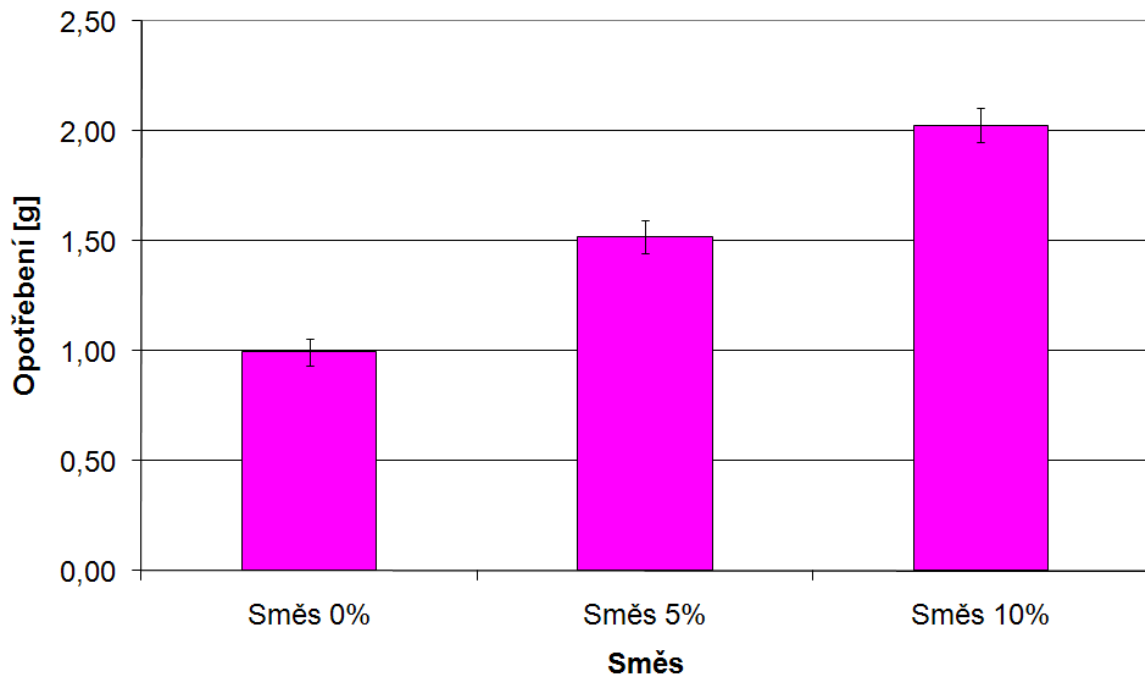
Obr. 21. Schéma zařízení pro testování opotřebení.

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

5 - elektromotor

Princip měřícího zařízení

Rameno 1 otočné okolo čepu 6 je zvedáno pístem 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 zhotovené břitem za určitý čas je měřítkem opotřebení.



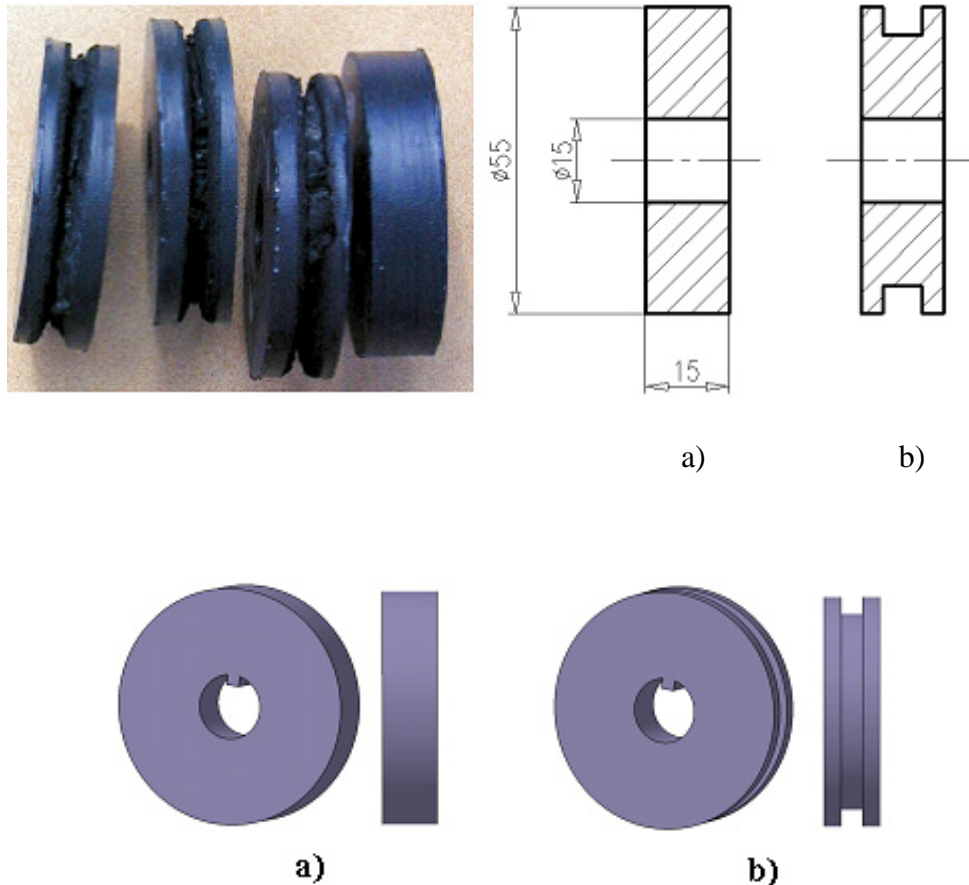
Obr. 22. Opotřebení.

Při srovnání opotřebení zkušebních vzorků, bylo nejvyšších hodnot opotřebení dosaženo u směsi s 10% plněním, naopak nejmenších hodnot u směsi neplněné.

Zkušební tělesa

Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles (vzorků) byl navržen rozměr dle obr. 23.

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 břitů na rotující kotouč. Z těchto důvodů bylo taky upuštěno od původní představy vyhodnocování opotřebení – měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky.



Obr. 23. Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení.

a) před zkouškou

b) po zkoušce

5.2.1 Výsledky měření

Analýza opotřebení

Na opotřebení má rozhodující vliv energie dopadu keramického břítu 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 (prvním dopadu keramického břítu na povrch zkušebního tělesa) ještě k sérii dalších účinků s menší intenzitou („poskakování“ po povrchu). Hlavní účinky keramického břítu mají pouze částečný vliv na celkové opotřebení. Ukázalo se, že posuzovat celkovou práci potřebnou k opotřebení (tj. vytvoření drážky ve zkušebním tělese) pouze uvažováním energie hlavního dopadu, by bylo značně zkreslené. Pro první otestování experimentálního zařízení se proto vycházelo z předpokladu, že výsledky v dané sérii měření

budou srovnatelné, pokud bude experiment probíhat za stejných podmínek. Konstrukce zkušební tělesa s perem zapadajícího do drážky na hřídeli a upínací podložky s hroty zabraňují prokluzování zkušební tělesa při záběru.

Podmínky experimentu

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

- otáčky zkušební tělesa	910 min ⁻¹
- frekvence dopadu keramického břítu	1 Hz
- zdvih keramického břítu	60 mm
- doba trvání experimentu	90 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 břítu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito deset zkušebních těles zhotovených z jednotlivých směsí. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

5.2.2 Statistické vyhodnocení výsledků

Statistické vyhodnocení bylo vyhodnoceno v programu STATISTICA. Byl hledán koeficient korelace (r), který ukazuje míru lineární závislosti mezi opotřebením a mechanickými vlastnosti silně namáhané běhounové směsi. Zároveň byla vyhodnocována hladina významnosti pro každou lineární závislost p – faktorem. Výsledkem bylo vytvoření korelační matice, udávající hodnotu koeficientu korelace (r) a p – hodnotu pro všechny měřené vlastnosti silně namáhaných běhounové směsi.

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Experimentální část zahrnuje soubor měření, k nimž byla použita gumárenská směs, jenž byla modifikována přidáním plniva v hmotnostním množství 5% a 10% speciálně upraveného polymeru. Použitá běhounová gumárenská směs je používána pro výrobu běhounů pneumatik zemědělských strojů a mimosilničních vozidel.

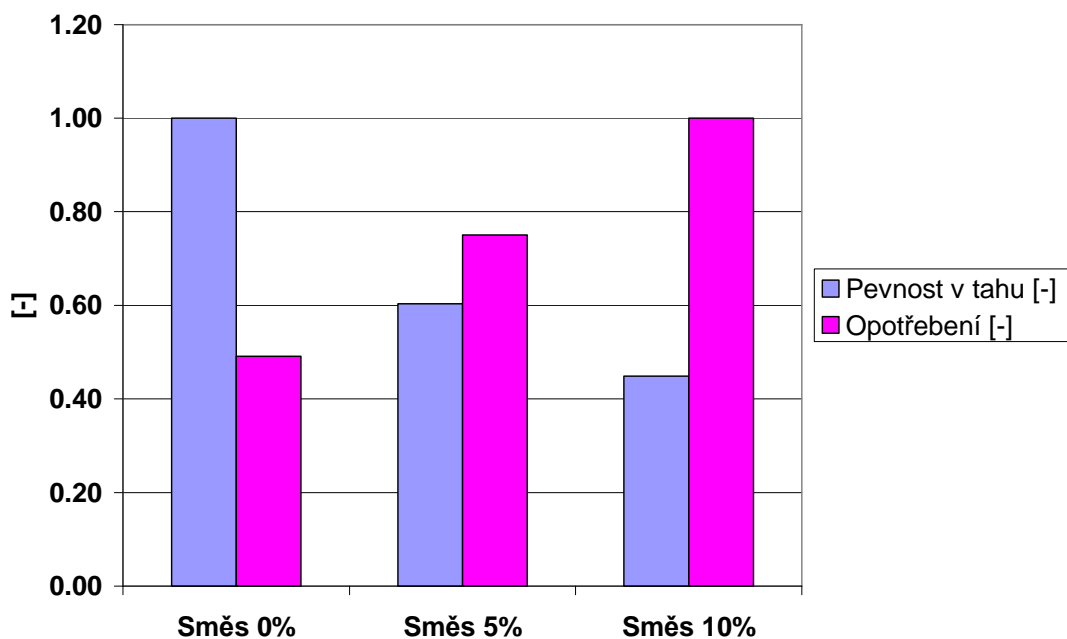
Byly provedeny 3 soubory standardních testů (tahová zkouška, strukturní pevnost a tvrdost).

Soubory naměřených hodnot byly 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 dosažené v průběhu příslušného měření.

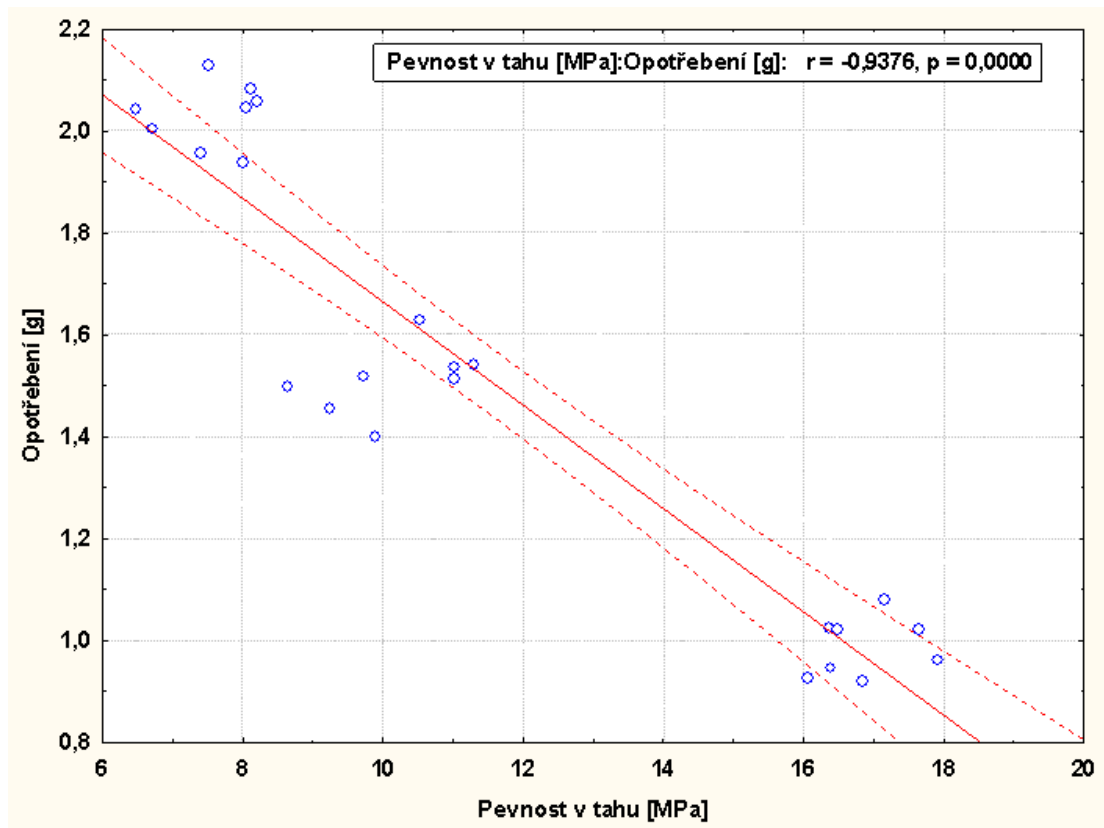
Byl hledán vliv mechanických vlastností na opotřebení silně namáhaných pryžových výrobků (běhounových směsí).

6.1 Vyhodnocení výsledků měření opotřebení

Pevnost v tahu



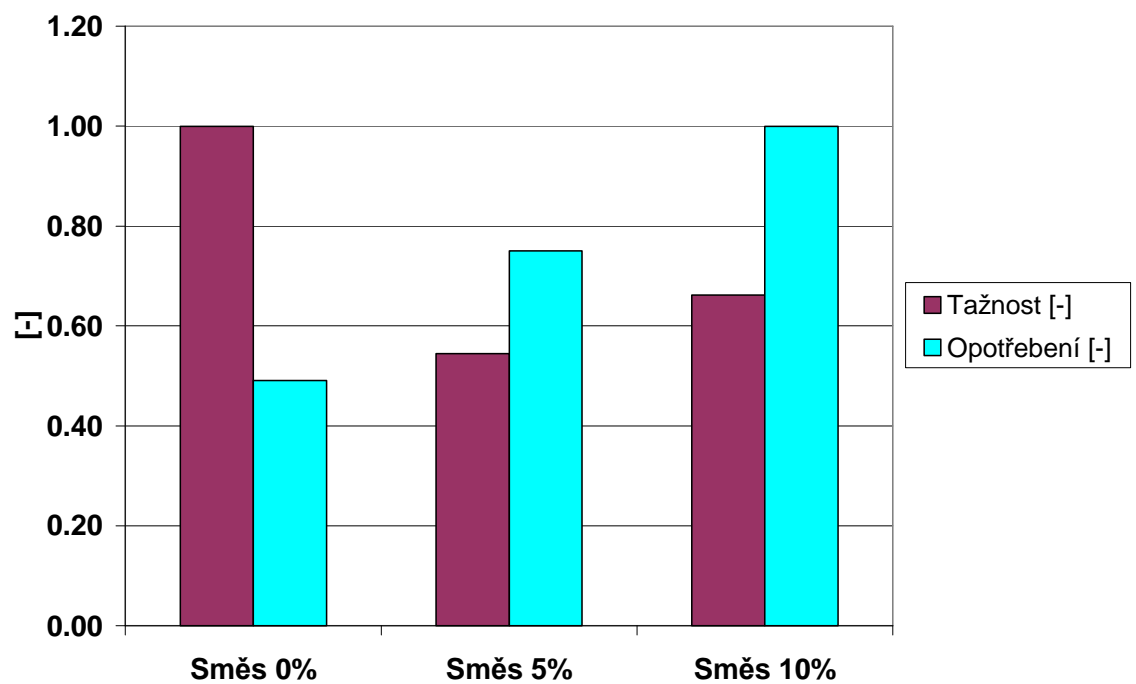
Obr. 24. Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.



Obr. 25. Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (statistika).

Při porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (obr. 24) se ukázalo, že nejvyšších hodnot pevnosti v tahu dosáhla neplněná směs, která zároveň vykazala nejmenší míru opotřebení. Naopak nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla naměřena u směsi plněné 10%, u které bylo navíc naměřeno největší opotřebení. Z uvedeného grafu vyplývá, že čím vyšší hodnoty pevnosti v tahu bude dané gumárenská směs mít, tím více bude odolávat opotřebení. Naopak čím menší bude pevnost v tahu dané směsi, tím může být opotřebení směsi výraznější. To bylo potvrzeno vytvořením korelační matice, které ukázala vysokou lineární závislost mezi pevností v tahu a opotřebením ($r = 0,93$; Tab. 6).

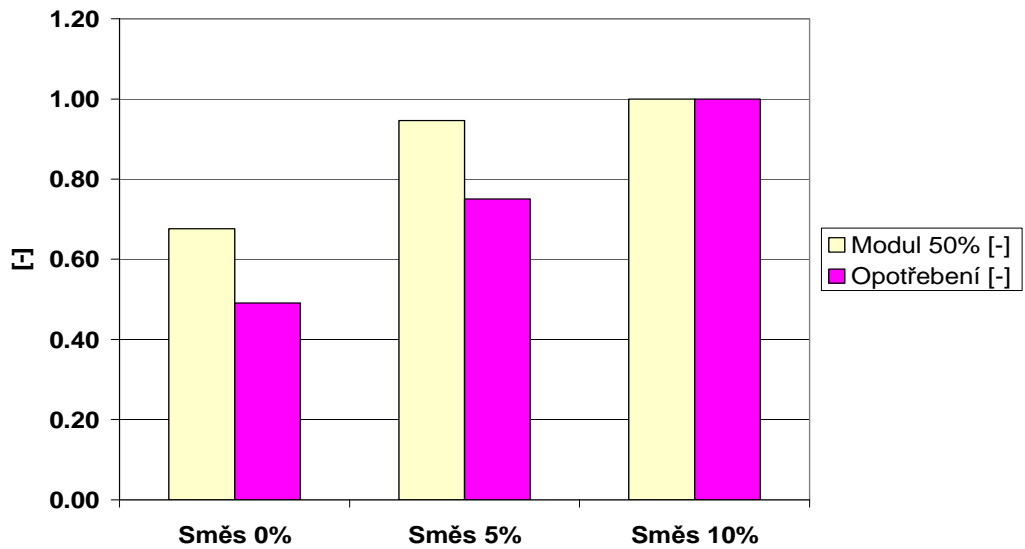
Tažnost a opotřebení



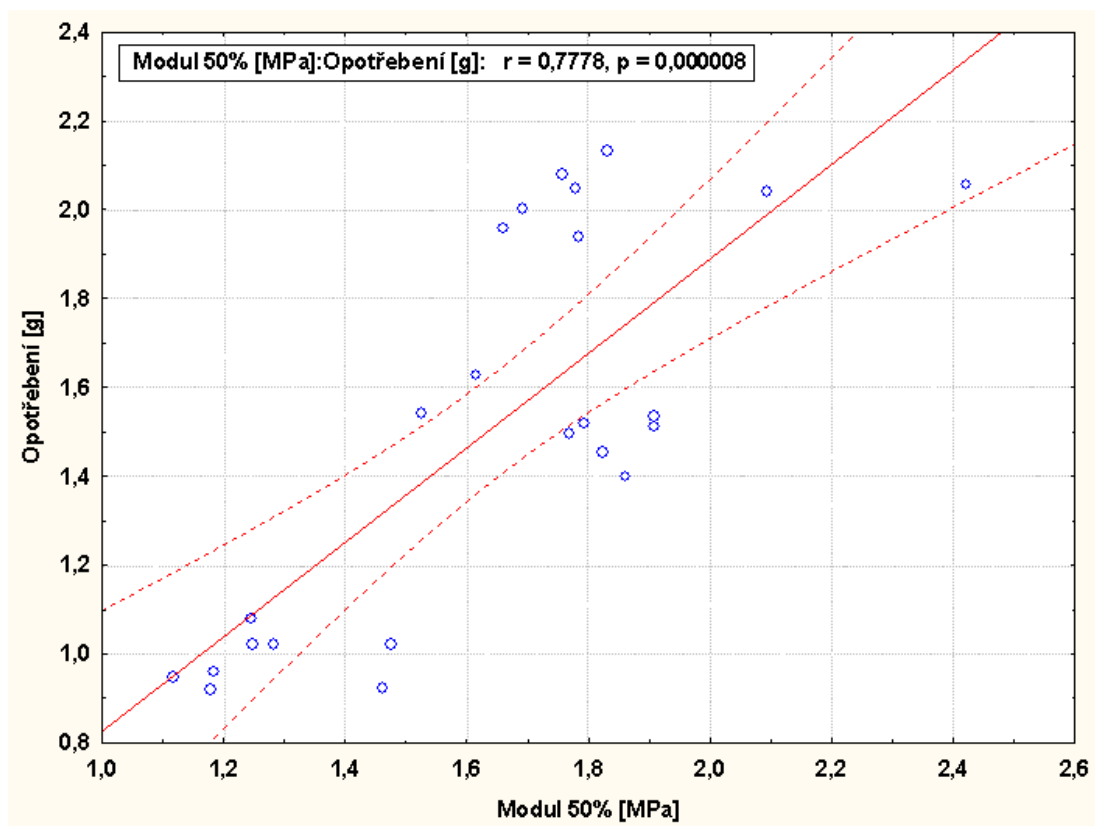
Obr. 26. Porovnání tažnosti a opotřebení.

Porovnání tažnosti a opotřebení ukázalo (obr. 26), že nejvyšší hodnoty tažnosti byly naměřeny u neplněné směsi. Zde bylo rovněž zjištěno nejmenší opotřebení. Nejvyšší hodnota opotřebení byla naměřena u směsi plněné 10%, ale hodnoty tažnosti zde nebyly naměřeny nejmenší. Rovněž korelační matice nepotvrdila přímou lineární závislost mezi tažností a opotřebením.

Modul 50% a opotřebení



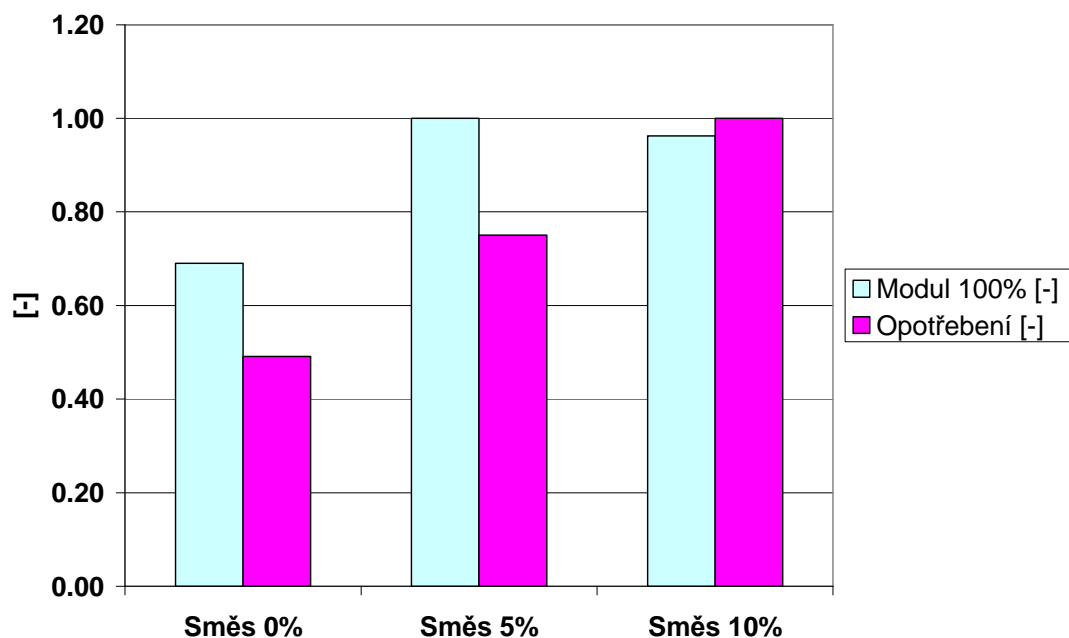
Obr. 27. Porovnání modulu 50% a opotřebení.



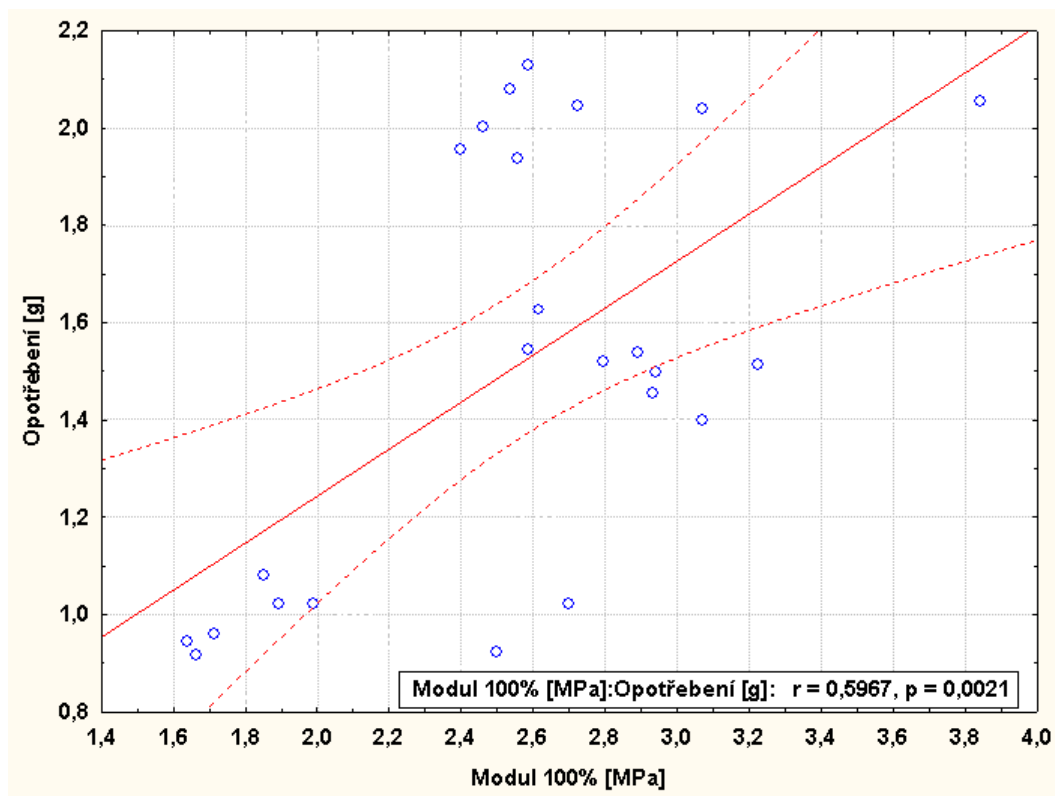
Obr. 28. Porovnání modulu 50% a opotřebení (statistika).

Porovnáním modulu 50 a opotřebením bylo zjištěno (obr. 27), že nejmenší hodnoty modulu 50 vykazuje směs neplněná, která zároveň vykazuje nejmenší opotřebení. Naopak největší hodnoty modulu 50 dosáhla směs plněná 10%, která vykazovala největší míru opotřebením. Z grafu je patrné, že čím vyšší budou hodnoty modulu 50, tím větší opotřebení bude daná směs vykazovat. Vysokou lineární závislost modulu 50 a opotřebením prokázala rovněž korelační matrice, kde byl zjištěn koeficient korelace $r = 0,75$ (Tab. 6).

Modul 100% a opotřebením



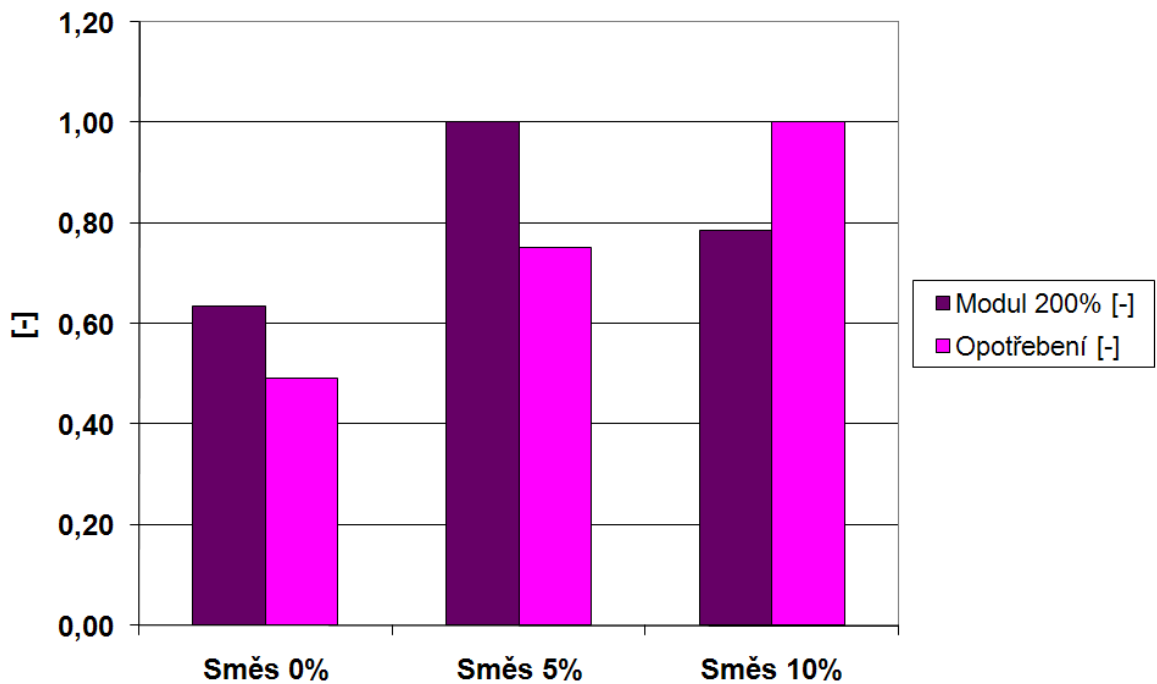
Obr. 29. Porovnání modulu 100% a opotřebením.



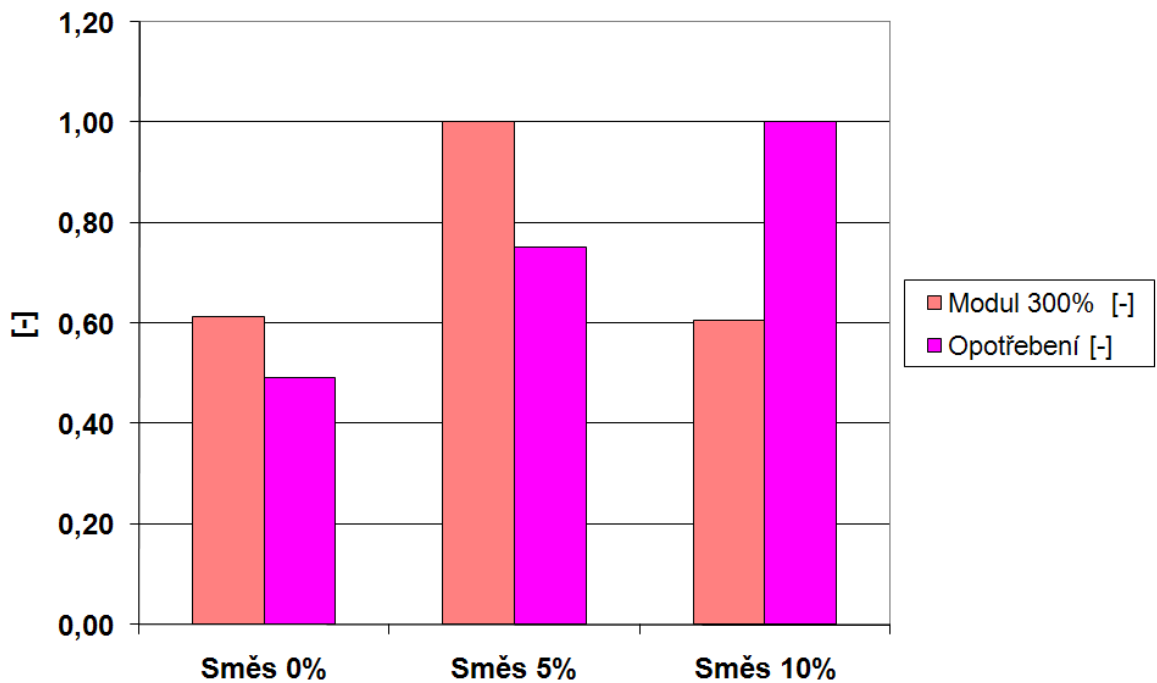
Obr. 30. Porovnání modulu 100% a opotřebení (statistika).

Při srovnání modulu 100 a opotřebení vyšlo najevo (obr. 29), že nejmenší hodnota modulu 100 byla naměřena u neplněné směsi, u které byla naměřena i nejmenší hodnota opotřebení. Nejvyšší hodnota modulu 100, která popisuje tuhost směsi, byla zjištěna u směsi plněné 5% polymeru a dosáhla druhé nejmenší hodnoty opotřebení.

Modul 200%, modul 300% a opotřebení



Obr. 31. Porovnání modulu 200 s opotřebením.

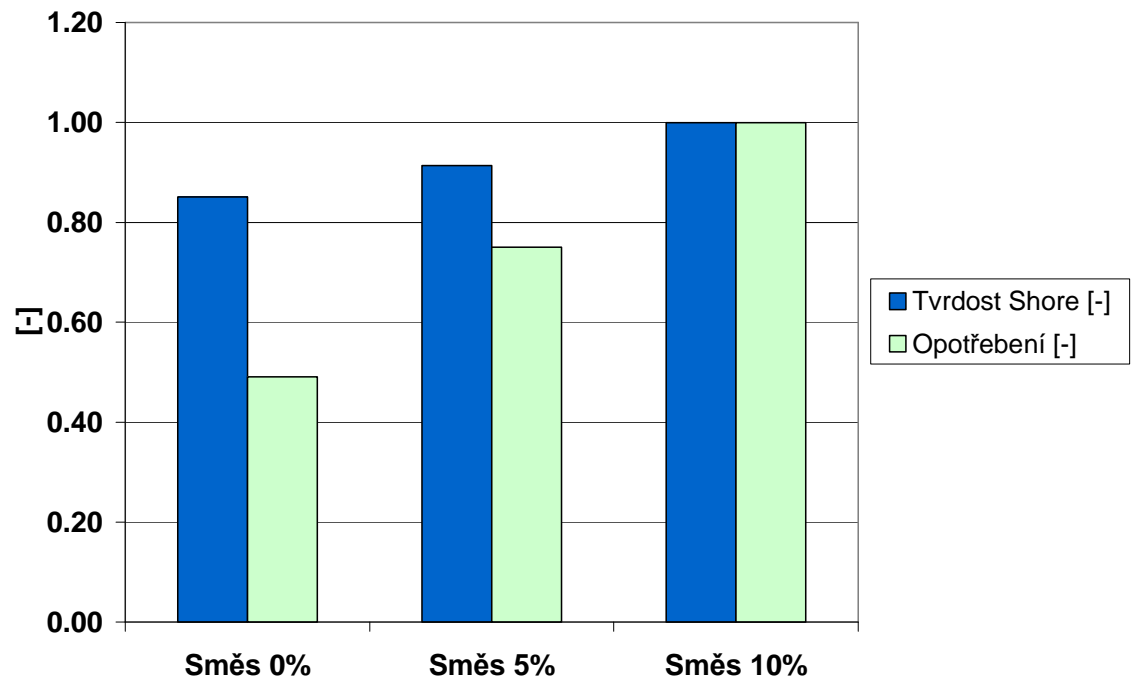


Obr. 32. Porovnání modulu 300 s opotřebením.

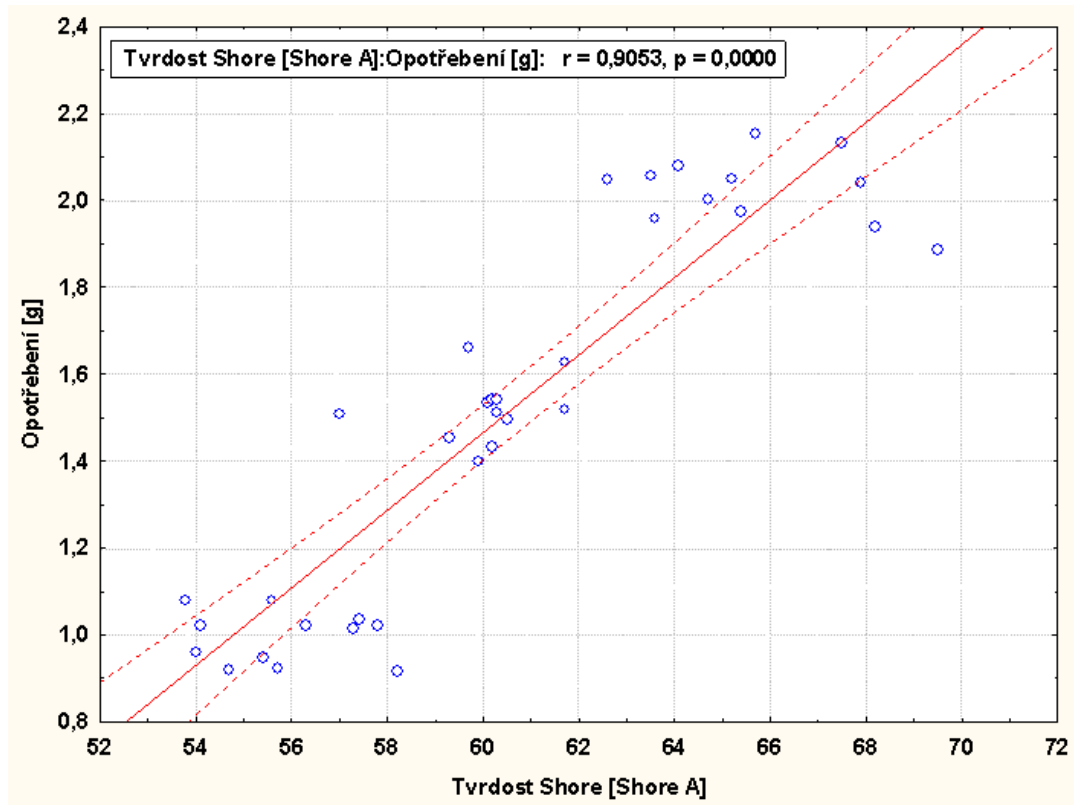
Pokud byl porovnáván modul 200 a 300 s opotřebením (obr. 31 a obr. 32), tak se ukázalo, že nejmenší hodnoty modulů a opotřebení byly zjištěny u neplněné běhounové směsi. Nejvyšší hodnota modulů byla pro oba případy zjištěna u směsi plněné 5% plnivem polymeru,

avšak ta nevykazovala nejvyšší míru opotřebení. Zde nebyla potvrzena přímá korelace mezi moduly 200, 300 a opotřebením.

Tvrдост a opotřebení



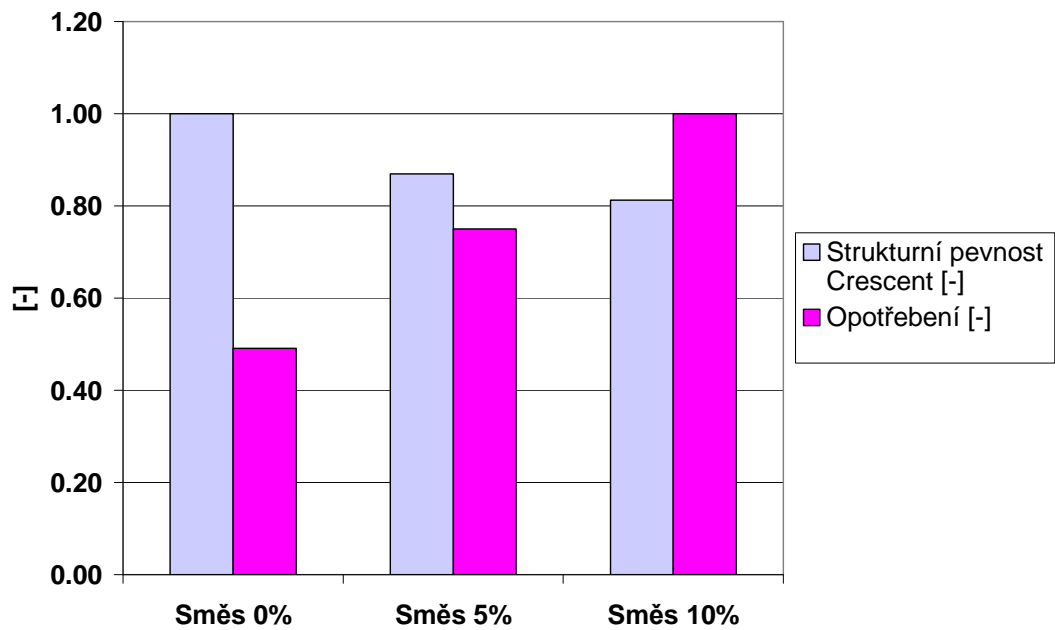
Obr. 33. Porovnání tvrdosti s opotřebením.



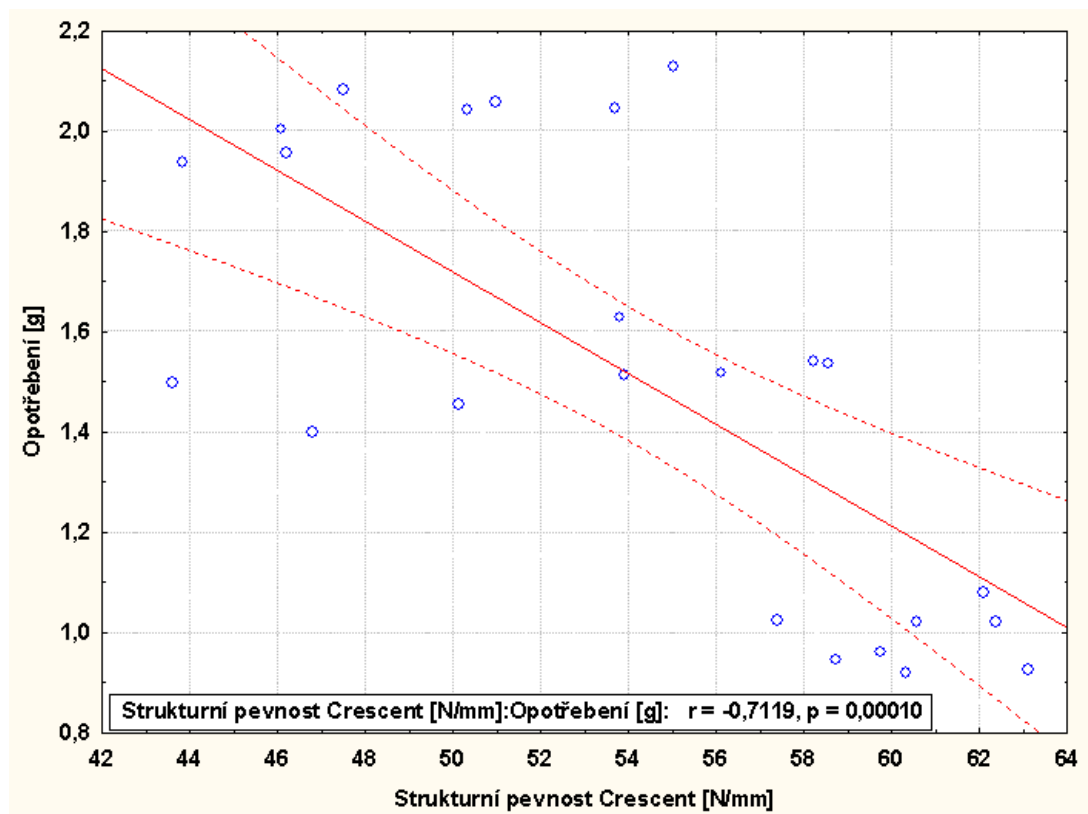
Obr. 34. Porovnání tvrdosti a opotřebení (statistika).

Jako velmi zajímavé se projevilo srovnání tvrdosti s opotřebením (obr. 33). Z naměřených výsledků vyplývá, že nejmenší hodnota tvrdosti byla zjištěna u neplněné směsi, která zároveň vykazovala nejmenší hodnotu opotřebením. U směsi plněné 10% polymeru byla zjištěna skutečnost, že směs vykazovala nejen nejvyšší hodnotu tvrdosti, ale také největší míru opotřebením. Z výsledku měření a statické analýzy naměřených dat vyplynula výrazná korelace mezi tvrdostí a opotřebením. V praxi to znamená, čím tvrdší bude směs, tím snadněji bude docházet jejímu opotřebením v náročných terénních podmínkách. To potvrdily výsledky korelační matice, kde byl zjištěn koeficient korelace mezi tvrdostí a opotřebením $r = 0,94$ (Tab. 6).

Strukturní pevnost Crescent a opotřebení



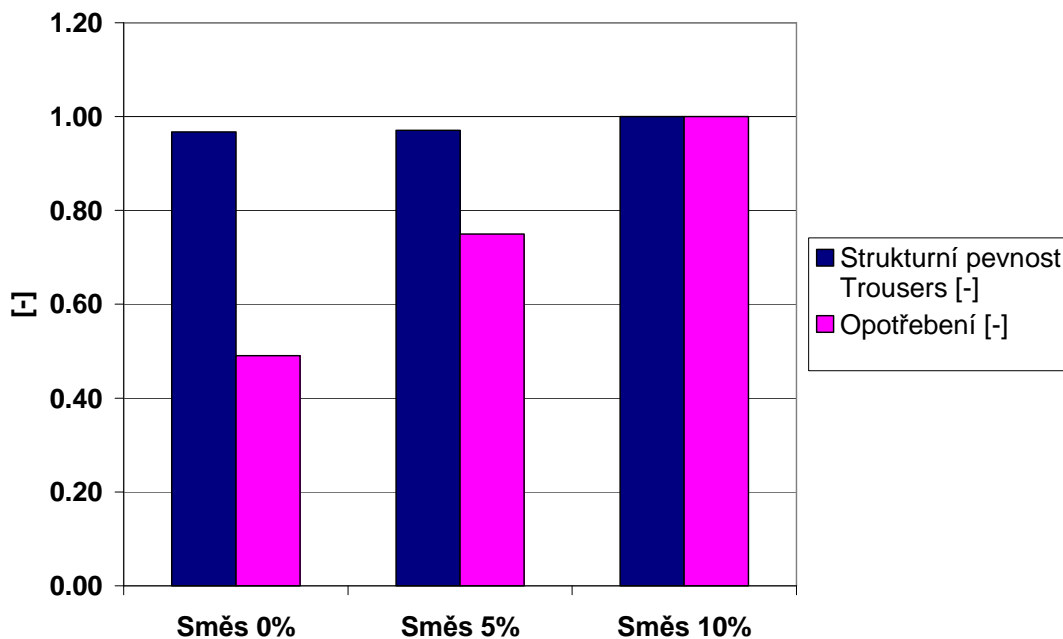
Obr. 35. Porovnání strukturní pevnosti Crescent a opotřebení.



Obr. 36. Porovnání strukturní pevnosti Crescent a opotřebení (statistika).

Srovnáním naměřených hodnot strukturální pevnosti Crescent as opotřebením bylo zjištěno (obr. 35), že nejvyšší hodnoty strukturální pevnosti byly naměřeny u neplněné směsi, která zároveň vykazala nejmenší hodnotu opotřebením. Nejmenší hodnota strukturální pevnosti společně s nejvyšší hodnotou opotřebením byly zjištěny u směsi plněné 10% plnivem polymeru. Z uvedených výsledků vyplývá určitý vztah mezi strukturální pevností Crescent a opotřebením. Vysoké hodnoty strukturální pevnosti mohou znamenat vyšší odolnost testované směsi vůči opotřebením. Naopak vysoká hodnota opotřebením může být zapříčiněna nízkou hodnotou strukturální pevnosti Crescent. Vysoká míra korelace mezi strukturální pevností Crescent a opotřebením byla rovněž potvrzena statistickou analýzou, kdy koeficient korelace dosáhl hodnoty $r = 0,71$ (Tab. 6).

Strukturální pevnost Trouser a opotřebením



Obr. 37. Porovnání strukturální pevnosti Trouser a opotřebením.

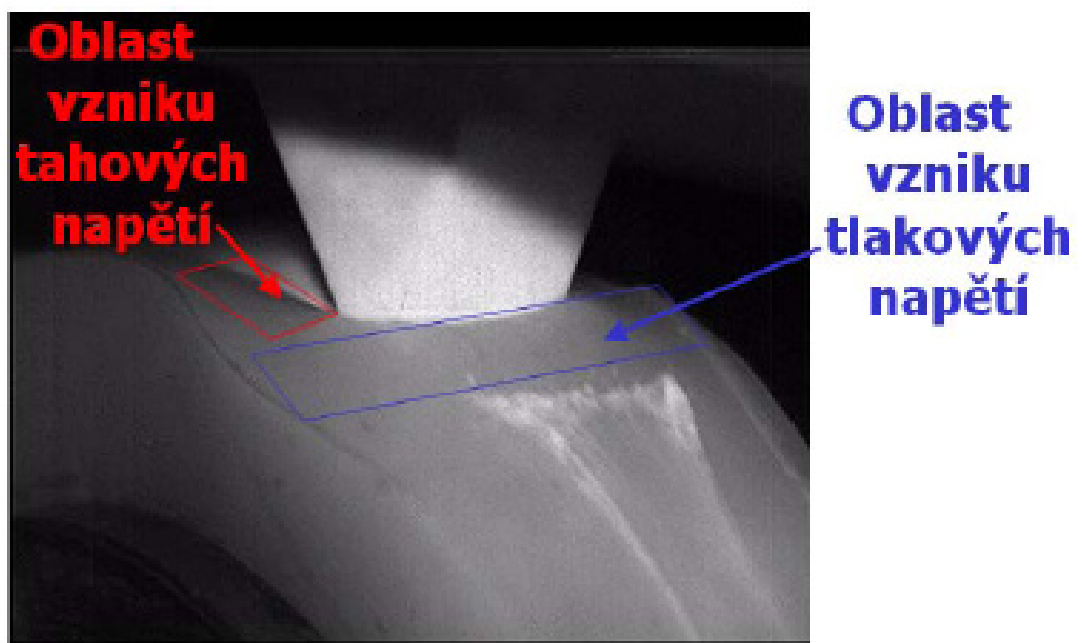
Porovnání strukturální pevnosti Trouser s opotřebením ukázalo (obr. 37), že hodnoty strukturální pevnosti jsou u všech tří směsí téměř identické. Z grafu a statistické analýzy dat vyšlo najevo, že žádná přímá závislost v tomto případě nebyla nalezena.

Tab.6. Korelační matice.

		Korelace (Tabulka2 v PS 2) Označ. korelace jsou významné na hlad. $p < ,05000$ $N=22$ (Celé případy vynechány u ChD)			
Proměnná	Opotřebení [g]				
Pevnost v tahu [MPa]	-0,93				
Tažnost [%]	-0,39				
Modul 50% [MPa]	0,75				
Modul 100% [MPa]	0,52				
Modul 200% [MPa]	0,00				
Modul 300% [MPa]	-0,26				
Tvrdość Shore [Shore A]	0,94				
Strukturní pevnost Crescent [N/mm]	-0,71				
Strukturní pevnost Trousers [N/mm]	0,10				
Opotřebení [g]	1,00				



Obr. 38. Vzorok zkušebních tělísek.



Obr. 39. Vývoj napětí v oblasti dopadu keramického břítu.

ZÁVĚR

Předložená práce řeší problém opotřebení silně namáhané běhounové směsi, určené k výrobě mimosilničních pneumatik. Modifikací této směsi plnivem (vlákna PP) v množství 5% a 10% byl sledován vliv na změnu odolnosti proti opotřebení a některých mechanických vlastností.

Z naměřených výsledků vyplynulo, že největší vliv na opotřebení testované běhounové směsi plněné PP vlákny měly pevnost v tahu, tvrdost, modul 50 a strukturní pevnost Crescent.

Z těchto výsledků vyplynulo doporučení pro vývojové pracovníky zabývající se vývojem běhounových gumárenských směsí používaných při výrobě mimosilničních pneumatik, věnovat zvýšenou pozornost právě pevnosti v tahu, modulu, tvrdosti a strukturní pevnosti.

Při dopadu keramického břítu na obvod rotujícího zkušební tělesa bylo zjištěno, že před břítem nástroje je směs stačována a za břítem (terénní nerovností, ostrou hranou kamene) vzniká brázda. Na okraji této brázdy se vytvářejí značná tahová napětí. Pokud tyto tahová napětí přestoupí mez pevnost směsi, nastává odtržení většího či menšího kousku směsi a tím poškození povrchu tetovaného tělesa.

Při pohledu na prezentované výsledky je patrné, že pokud bude směs mít dostatečnou pevnost v tahu, menší tvrdost a modul bude směs mnohem lépe reagovat na vzniklé překážky tím, že je jakoby obteče (vykáže výraznou elastickou deformaci) a překážky nezanechají na jejím povrchu výrazné defekty. V případě tvrdé směsi tomu bude naopak a směs bude vykazovat poškození již při prvním styku terénní nerovnost s povrchem běhounové směsi (bude náchylnější k vyštípování). Tento defekt může následně spustit lavinovité opotřebení běhounové směsi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Vossost* [online]. 2010 [cit. 2011-02-1]. Technologie výroby pneumatik. Dostupné z WWW: <<http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/vyrobpneu.htm>>.
- [2] Pneumatika. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3. 4. 2006, last modified on 30. 1. 2011 [cit. 2011-01-31]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pneumatika>>.
- [3] Toroid. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24. 4. 2006, last modified on 8. 12. 2010 [cit. 2011-01-31]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Toroid>>.
- [4] *AUTO-JENDA* [online]. 2009 [cit. 2011-02-01]. Historie pneumatiky, dějiny a vývoj pneu technologií. Dostupné z WWW: <<http://www.pneu-jenda.cz/historie-pneumatiky>>.
- [5] *Cerm* [online]. 2008 [cit. 2008-05-01]. Cerm. Dostupné z WWW: <www.cerm.cz/odpady/info/info.cz>.
- [6] Pneumatika. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 14. december 2009, last modified on 26. január 2011 [cit. 2011-01-31]. Dostupné z WWW: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Pneumatika>>.
- [7] *ContiTrade : Technický rádce zemědělských pneumatik - Barum* [online]. 2008 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www2.contitrade.cz/download/11_barum_zemstr.pdf>.
- [8] NOVÁK, Bc. Jan. *Opotřebení pryžových dílů*. Zlín, 2008. 96 s. Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- [9] *Profi-pneu : Značení pneu* [online]. 2010 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.profi-pneu.cz/znaceni-pneu/>>.
- [10] *MICHELIN : Funkce pneumatiky* [online]. 2004 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.michelin.cz/cz/auto/auto_cons_bib_fon_pne.jsp#guider>.
- [11] MARCÍN, J.; ZÍTEK, P. *Pneumatiky*. Praha : SNTL, 1945. 490 s.

- [12] VŠEUMĚL.CZ : *hobby magazín pro kutily a kutilství* [online]. 2005 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.vseumel.cz/view.php?cisloclanku=2005052401>>.
- [13] *Pneu360.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.pneu360.cz/prakticke-informace>>.
- [14] *FULDA-pneumatiky* [online]. 2010 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.fulda.com/fulda_cz_cz/test_and_tips/maintenance/tyre_repair/>.
- [15] *ContiTrade : pneuservis, autoservis* [online]. 2009 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.contitrade.cz/podpora/technicky-radce/opravy-pneumatik.html>>.
- [16] *Ekolist.cz* [online]. 2002 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/dotazy-a-odpovedi/recyklace-pneumatik>>
- [17] *NokianTYRES : Výrobní proces pneumatiky* [online]. 2010 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.nokiantyres.cz/Produktionsprozess_copy>.
- [18] *Referáty-seminárky.cz : Výroba kaučuku* [online]. 2008 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://referaty-seminarky.cz/vyroba-kaucuku/>>.
- [19] *Kau% C4% 8Duk*. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6. 9. 2006, last modified on 6. 5. 2010 [cit. 2011-01-31]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kau%C4%8Duk>>.
- [20] SURÁ, S. *Opotřebení běhounů pneumatik*. Zlín, 2004. 96 s. Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- [21] MÁLEK, Martin. *Opotřebení pneumatik pro plochou dráhu*. Zlín, 2008. 84 s. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně.
- [22] MAŇAS, David. *Hodnocení opotřebení pneumatik*. Zlín, 2002. 90 s. Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- [23] MAŇAS, M.; MAŇAS, D.; STANĚK, M. *Výrobní stroje a zařízení I. : Stroje gumárenské a plastikářské*. UTB Zlín : I.E.S , 2007. 264 s.
- [24] MAŇAS, M. *Výrobní stroje a zařízení : Gumárenské a plastikářské stroje II*. VUT Brno : I.I.E.S , 1990. 199 s.

[25] ŠPAČEK, J. *Technologie gumárenské a plastikářské II.* Brno : VUT Brno, 1980.

[26] Učební texty. *Gumárenská technologie.* Zlín : Barum Continental spol. s.r.o., 2004.

[27] SCHÄTZ, M.; VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů.* Praha : SNTL Praha, 1979. 539

s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Toroid. [3]</i>	13
<i>Obr. 2. Pneumatika. [6]</i>	15
<i>Obr. 3. Konstrukce diagonální zemědělské pneumatiky. [7]</i>	16
<i>Obr. 4. Konstrukce radiální zemědělské pneumatiky. [7]</i>	16
<i>Obr. 5. Běhoun. [1]</i>	17
<i>Obr. 6. Nárazník. [1]</i>	17
<i>Obr. 7. Kostra. [1]</i>	18
<i>Obr. 8. Bočnice. [1]</i>	18
<i>Obr. 9. Patní lano. [1]</i>	18
<i>Obr. 10. Značení pneumatiky na bočnici. [9]</i>	19
<i>Obr. 11. Dvouválec.</i>	29
<i>Obr. 12. Porovnání pevnosti v tahu u jednotlivých směsí.</i>	43
<i>Obr. 13. Porovnání tažností.</i>	44
<i>Obr. 14. Modul 50%.</i>	45
<i>Obr. 15. Modul 100%.</i>	45
<i>Obr. 16. Modul 200%.</i>	46
<i>Obr. 17. Modul 300%.</i>	47
<i>Obr. 18. Strukturní pevnost Crescent.</i>	48
<i>Obr. 19. Strukturní pevnost Trousers.</i>	48
<i>Obr. 20. Tvrdost Shore A.</i>	50
<i>Obr. 21. Schéma zařízení pro testování opotřebení.</i>	51
<i>Obr. 22. Opotřebení.</i>	52
<i>Obr. 23. Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení.</i>	53
<i>Obr. 24. Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.</i>	55
<i>Obr. 25. Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (statistika).</i>	56
<i>Obr. 26. Porovnání tažnosti a opotřebení.</i>	57
<i>Obr. 27. Porovnání modulu 50% a opotřebení.</i>	58
<i>Obr. 28. Porovnání modulu 50% a opotřebení (statistika).</i>	58
<i>Obr. 29. Porovnání modulu 100% a opotřebení.</i>	59
<i>Obr. 30. Porovnání modulu 100% a opotřebení (statistika).</i>	60
<i>Obr. 31. Porovnání modulu 200 s opotřebením.</i>	61

<i>Obr. 32. Porovnání modulu 300 s opotřebením.</i>	61
<i>Obr. 33. Porovnání tvrdosti s opotřebením.</i>	62
<i>Obr. 34. Porovnání tvrdosti a opotřebení (statistika).....</i>	63
<i>Obr. 35. Porovnání strukturní pevnosti Crescent a opotřebení.</i>	64
<i>Obr. 36. Porovnání strukturní pevnosti Crescent a opotřebení (statistika).</i>	64
<i>Obr. 37. Porovnání strukturní pevnosti Trouser a opotřebení.</i>	65
<i>Obr. 38. Vzorky zkušebních tělísek.</i>	67
<i>Obr. 39. Vývoj napětí v oblasti dopadu keramického břítu.</i>	67

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Tahová zkouška.....</i>	43
<i>Tab. 2. Moduly 50% a 100%.</i>	44
<i>Tab. 3. Moduly 200% a 300%.</i>	46
<i>Tab. 4. Strukturální pevnost.....</i>	47
<i>Tab. 5. Tvrdost Shore A a opotřebení.....</i>	50
<i>Tab.6. Korelační matice.....</i>	66

SEZNAM PŘÍLOH

P I CD-ROM obsahující plný text práce.