

Testování opotřebení běhounových směsí pro motocross

Martina Hanáková

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Martina HANÁKOVÁ

Osobní číslo: T10778

Studijní program: B3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Forma studia: prezenční

Téma práce: Testování opotřebení běhounových směsí pro motocross

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

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

Datum zadání bakalářské práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: HANAŘOVÁ MARTINA

Obor: TZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek 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, 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 5.5.2013

Hanařová

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 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.*

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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá opotřebením běhounových směsí mimosilničních pneumatik, pohybujících se v těžkých terénních podmínkách. Měření opotřebení bylo provedeno na pryžových dílech používajících se při výrobě pneumatik.

Mechanické vlastnosti pak byly porovnány s hodnotami opotřebení.

Klíčová slova: opotřebení, pneumatika, běhoun

ABSTRACT

This bachelor work deals with a mixture of tread wear off road tires moving in difficult terrain. The measurement of wear level was analyzed on the rubber parts, which are used in manufacturing process of tires

The mechanical properties were compared with the wear values.

Keywords: wear, tire, tread

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph. D. za konzultace, pomoc se zpracováním dat a za ochotně poskytnuté rady, které mi při vypracování mé práce poskytl.

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

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VÝVOJ PNEUMATIKY	13
1.1 DEFINICE PNEUMATIKY	15
1.2 FUNKCE PNEUMATIK	15
1.3 KONSTRUKČNÍ PRVKY PNEUMATIKY	16
1.3.1 Běhoun	17
1.3.2 Nárazník PA	18
1.3.3 Ocelové nárazníky	19
1.3.4 Bočnice	19
1.3.5 Patní lanko	20
1.3.6 Ochranný pásek patky	20
1.3.7 Výztuž patky	21
1.3.8 Jádro patky	21
1.3.9 Kordová vložka	22
1.4 ROZDĚLENÍ PNEUMATIK	22
1.4.1 Diagonální pneumatiky	22
1.4.2 Radiální pneumatiky	23
1.4.3 Semiradiální pneumatiky	24
1.5 ZNAČENÍ PNEUMATIK	25
1.6 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK	26
1.6.1 Statické zkoušky	26
1.6.2 Dynamické zkoušky	27
1.6.3 Únavové zkoušky	27
1.7 VÝROBNÍ POSTUPY	27
1.7.1 Pogumování kordu	27
1.7.2 Příprava běhounu a bočnic	27
1.7.3 Výroba nárazníku	28
1.7.4 Výroba patních lan	28
1.7.5 Kompletace	28
1.7.6 Vulkanizace	28
1.8 PŘÍSADY DO KAUKČUKOVÝCH SMĚSÍ	29
1.8.1 Saze	29
1.8.2 Silika	29
1.8.3 Antidegradanty	30
1.8.4 Změkčovadla	30
1.8.5 Prskyřice	30
1.8.6 Vulkanizační činidla	30
1.8.7 Ztužovadla	31
1.8.8 Aktivátory vulkanizace	31
1.8.9 Urychlovače a retardéry vulkanizace	31
1.9 POŽADAVKY NA SMĚSI PRO VÝROBU PLÁŠTĚ PNEUMATIKY	31
1.9.1 Běhounové směsi	31
1.9.2 Směsi pro potahování textilních kordů	31

1.9.3	Směsi pro potahování ocelových kordů	31
1.9.4	Směsi pro obštrík patních lan	31
1.9.5	Směsi na výrobu bočnic	32
1.10	VÝSTUŽNÉ MATERIÁLY	32
1.10.1	Ocelové kordy	32
1.10.2	Textilní kordy	32
II PRAKTICKÁ ČÁST		34
2	OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ	35
2.1	MĚŘENÉ VLASTNOSTI	35
2.1.1	Příprava zkušebních těles	35
2.1.2	Tahová zkouška	35
2.1.3	Strukturní pevnost	42
2.1.4	Tvrdost Shore	44
2.2	RYCHLÝ TEST OPOTŘEBENÍ	46
2.2.1	Výsledky měření	48
2.3	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ	49
3	DISKUZE VÝSLEDKŮ	50
3.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ	51
ZÁVĚR		60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		61
SEZNAM OBRÁZKŮ		62
SEZNAM TABULEK		64
SEZNAM PŘÍLOH		65

ÚVOD

V dobách automobilového pravěku vydržely pneumatiky stěží sto nebo dvě stě kilometrů, zatímco nejmodernější pláště vykazují zhruba tisíckrát vyšší životnost. Stejně propastný je i rozdíl mezi vývojem pneumatiky před sto lety a dnes.

Prakticky po celé dvacáté století byli inženýři odkázáni na metodu ”pokus – omyl“. Navrhnutý prototyp byl vyroben ve velkém množství kusů, které byly podrobeny zatěžkávacím testům, poté prozkoumány, upraveny a celý kolotoč začal znova s novou sadou prototypů.

Výkonné procesory a CAD programy umožňují v současné době navrhnout novou pneumatiku takřka na první pokus. Vývoj a konstrukce probíhá přímo v počítači a testovací část, která je nejnákladnější a časově nejdelší, je zkrácena jen na nezbytné minimum.

V první fázi konstruktér navrhne základní model nového pláště a jeho vývoj se poté rozbíhá na třech frontách: design běhounu, stavba pneumatiky a výběr materiálů. Vše se řídí požadovanými vlastnostmi nové pneumatiky, mezi které patří zejména jízdní vlastnosti, životnost, hospodárnost a komfort.

Moderní výpočetní technika umožňuje sestavit virtuální model pláště a podrobit ho detailnímu zkoumání. Vývojáři dostávají z počítače přesná data o chování pneumatiky v různých podmínkách, v extrémních rychlostech nebo při přetížení. Program vypočítá valivý odpor, odolnost proti aquaplaningu nebo třeba hluk navrhnutého pláště a inženýři mají možnost okamžitě sledovat vliv i sebemenší konstrukční změny na chování pneumatiky.

Počítačová simulace sice dovede věrně napodobit reálné podmínky, ale skutečné testy mají stále své pevné místo. Když je počítačové modelování u konce, přijde na řadu výroba prototypů nového pláště a ty putují do laboratoří na testy, čí spíše na mučení. Pneumatiky jsou přehřívány, přetěžovány, obrušovány a nejrůznějšími způsoby poškozovány.

Ve zvukotěsné laboratoři se zkoumá hlučnost pneumatik a speciální přístroje simulují vibrace a zkoumají schopnost pneumatik tyto vibrace pohltit. Po každé fázi testů následuje mimořádně přesná kontrola mimo jiné i pomocí ultrazvuku a laserových paprsků, které umožňují prozkoumat vnitřní strukturu pneumatiky.

Pokud pneumatika uspěje, postoupí do jízdních testů. Testování přímo na voze je důležitým doplňkem vývoje, protože žádný stroj neumí napodobit lidský faktor a skutečné pod-

mínky provozu. Teprve kombinace „pneumatika – auto – člověk“ odhalí subjektivní pocity řidiče a jeho vnímání jízdního komfortu nebo chování vozu.

Každý velký výrobce má k dispozici vlastní testovací středisko kde je možné odzkoušet různé druhy povrchů a reakci pneumatik ve všech možných situacích. Mezi největší patří testovací a vývojové centrum značky Michelin nedaleko Clermont-Ferrand. Není výjimkou, že testovací jezdci zkouší nové prototypy na Sahaře nebo za polárním kruhem.

Po úspěšném završení testů může jít pneumatika na trh, ale tím práce nekončí. Po celý svůj život je nová pneumatika pečlivě sledována na vybraném vzorku vozidel a například značka Michelin takto pravidelně monitoruje 80 000 vozů na všech kontinentech. Shromážděná data pak slouží jako odrazový můstek pro vývoj budoucích pláštěů. [12]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝVOJ PNEUMATIKY

Nejdříve byly „pneumatiky“ pásky ze železa – oceli, umístěné na obvodu dřevěných kol, použité na kočárech a povozech. Tyto pásy byly ohřáty v kovářské výhni, umístěny okolo kola a přibity, což zajišťovalo spojení a upevnění pevně na kolo. Zkušený řemeslník, nazýván „kolář“, tyto práce prováděl.

Pneumatika byla vynalezena roku 1845 R. W. Thomsonem při zkouškách zmírňující otřesy vozu na obyčejných kolech a k většímu užívání ji přivedl až velociped kolem roku 1875. V roce 1888 patentoval původní pneumatiku veterinář J. B. Dunlop, který ji rozdělil na duši a plášť. Je však nutno doplnit, že již v roce 1839 pan Goodyear vynalezl metodu tepelné vulkanizace kaučuku sírou a na základě tohoto objevu získal R. W. Thomson patent na pryžovou hadici plněnou vzduchem. Roku 1867 se objevily plné pryžové obruče, které použil Amédée Bolée v roce 1873 u parního omnibusu. V roce 1904 byl zaveden plochý běhoun a v roce 1905 byl do běhounu vyřezán dezén. Od roku 1924 jsou používány kordové vrstvy v kostře pneumatiky. V roce 1936 byla do provozu uvedena úzkoprofilová pneumatika. 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 1952 byla radiální pneumatika použita na kolech nákladních automobilů. V roce 1950 byl ukončen vývoj bezdušové pneumatiky a v roce 1976 byl použit aramidový kord pro výrobu pneumatik (kevlar).

Celý počátek vzniku pneumatiky je však třeba hledat mnohem dříve a to vznikem kola. Postupným zdokonalováním kola, přišla na svět pneumatika. Jakmile bylo vynalezeno kolo, byl vynalezen vůz. Už 1500 let před našim letopočtem byl v Egyptě znám dvoukolý vůz. Na nizozemském mořském pobřeží v roce 1600 vyzkoušel matematik Simon Stevin dvounápravový vůz poháněný plachtami. Byla to obdoba rybářského člunu, umístěného na čtyřech dřevěných loukoťových kolech. Tento „rybářský vůz“ byl již řízen zadní nápravou. To bylo realizováno kormidlem, které natáčelo celou zadní nápravu. Později byl vůz zvětšen, opatřen několika plachtami a vozil pasažéry průměrnou rychlostí $34 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Kola byla dřevěná s hladkým běhounem. Postupně se objevovaly čtyřkolové kočáry poháněné lidskou silou pomocí systému pák a ozubených převodů. U jejich zrodu byli hodináři (Hautsch, 1649, Farfler, 1685, Šamšurenkov 1741). 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 otvíral 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. Kola se téměř nekontrolovatelně smýkala po dlažbách, prokluzovala, jízda byla velmi hlučná, kola nadskakovala i na malých nerovnostech a bylo tedy pouze otázkou času, kdy budou tyto negativní jevy pevného a hladkého dezénu eliminovány pružnou vrstvou běhounu. První náznak „vroubkovaného dezénu“ kola se objevil u Cugnotova parního automobilu, který byl veřejně předveden v Paříži roku 1769. Cugnot byl totiž prvním, kdo umístil Wattův parní stroj na podvozek a přizpůsobil pohon na kolo. Parní stroj poháněl jedno loukoťové kolo, opatřené masivní vroubkovanou obručí. 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, přívodní ventily dodávaly více páry kolům na protější straně vozu. Sice ještě nedokonalé, ale prospěšné pro životnost kol. První šestikolku začal provozovat v Londýně v roce 1829 Goldsworthy Gurney. Jeho dostavník měl tři páry kol, z nichž přední dvojice sloužila k řízení. V této době se objevily již 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. Její životnost však byla velmi nízká a docházelo k častým opravám. 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 Gotlieb 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. Zpočátku byly obruče bílé nebo světle šedivé. Nebylo to tím, že by se jednalo o zlepšení estetického

vzhledu vozidla tak jak se to děje například v současnosti, ale bylo to tím, že surovina, ze které se obruče vyráběly, měla tuto barvu. V roce 1891 se v Paříži objevilo zastoupení pneumatik firmy Dunlop a v tuto dobu vstoupili do vývoje pneumatiky bratři Michelinové. Michelinové se chopili příležitosti a začali vyvíjet pneumatiky pro automobil. Stanovili rozměr průřezu na 65 mm. Při zkouškách objevili jednu pozoruhodnost. 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. První automobil, který vyjel v Evropě na pneumatikách, byl značky Peugeot. S tímto automobilem se bratři Michelinové zúčastnili v červnu roku 1895 závodu Paříž – Bordeaux – Paříž. Během závodu spotřebovali všech 22 náhradních duší a vyčerpání věčnými opravami proražených duší závod před cílem vzdali. Tenkrát vítěz závodu Emil Levassor posměšně prohlásil, že pneumatika nikdy nebude pro automobil k sebemenšímu užítku.

Od svého vzniku prodělaly pneumatiky mnoho změn jak je patrné z uvedených historických dat. Jednou z nejdůležitějších změn 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. Samozřejmě, že změny probíhají neustále.[1], [2]

1.1 Definice pneumatiky

Z geometrického hlediska tvoří pneumatiky uzavřený prstenec toroid. Z hlediska mechanického to je tlaková nádoba, jejíž stěny tvoří pružná membrána. Strukturálně je pneumatika složitý systém s vysokými parametry a z chemického hlediska je pneumatika vyrobena především z nesítěných a nezesítěných makromolekulárních materiálů a ocelí.

Podle normy ČSN 64 0001 značí souborový termín pneumatika plášť s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a nahuštěný. Plášť je pružná, vnější část pneumatiky, která zprostředkovává styk s vozovkou, svou patní částí dosedá na ráfek a má rozhodující podíl na vlastnostech celé funkční soustavy. [5]

1.2 Funkce pneumatik

Vedení směru – Pneumatiky vedou vozidlo přesně, bez ohledu na stav povrchu nebo klimatické podmínky. Stabilita vozidla je dána tím, jak pneumatiky dokážou držet stopu. Pneumatika musí vydržet příčné síly, aniž by vozidlo opustilo svou trajektorii. Vozidlo má

proto na každé nápravě v pneumatikách jiný tlak. Dodržením správného rozdílu tlaku na přední a zadní nápravě dosáhne řidič ideální směrové stability vozu.

Nesení zátěže – Pneumatiky jsou oporou vozidla nejen při jízdě, ale i když vozidlo stojí na místě. Kromě toho musejí být stále schopny odolávat zátěži při akceleraci a brzdění vozu. 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 pohodlí a přispívají k prodloužení životnosti vozidla. Hlavní vlastností pneumatiky je její vertikální pružnost. Díky elasticitě vzduchu, kterým je naplněna, je pneumatika schopná přizpůsobovat se překážkám a nerovnostem terénu. Správný tlak v pneumatice zaručuje komfort při jízdě.

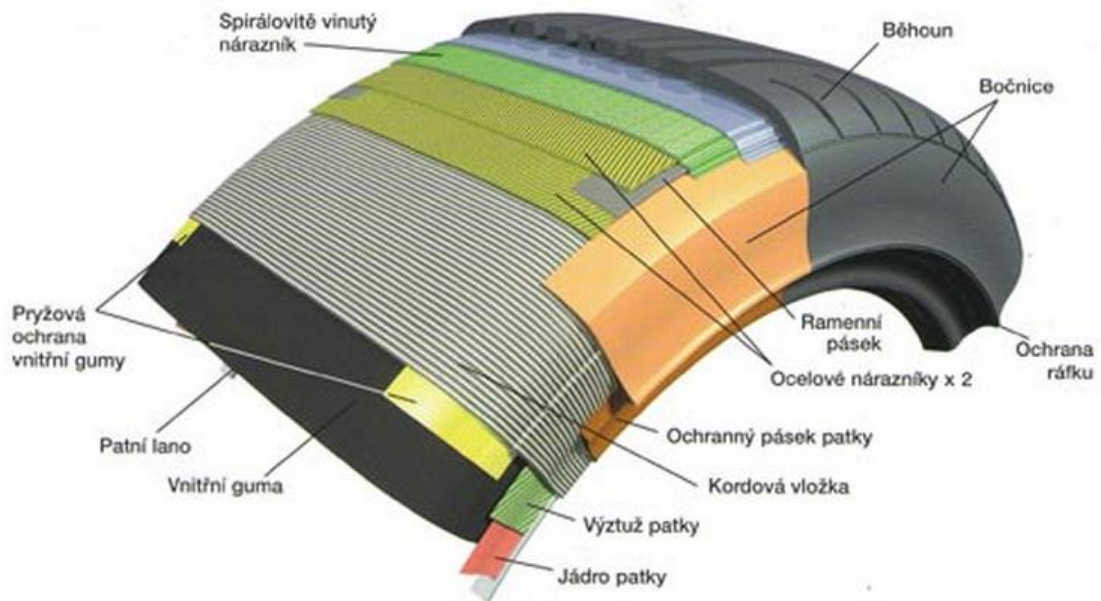
Přenos výkonu – Pneumatiky přenáší výkon motoru a brzdou sílu. Úroveň přenosu výkonu je dána kvalitou několika čtverečních centimetrů v kontaktu se zemí.

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

Životnost – Pneumatiky mají velkou životnost, i po miliónech otáček si kola zachovají dostatečný výkon. Opotřebení pneumatiky je závislé na podmínkách jejího použití (zátěž, stav náprav vozidla, způsob jízdy, stav povrchu vozovky). [11]

1.3 Konstrukční prvky pneumatiky

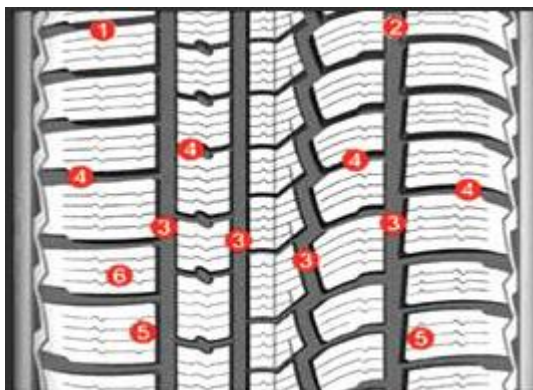
Plášť pneumatiky se skládá z patek s lanky z ocelových drátů nebo plastů, kostrou z korodových vložek, nárazníků a běhounem.



Obr. 1. Konstrukce pláště pneumatiky. [4]

1.3.1 Běhoun

Běhoun je část pláště opatřená vzorkem, která zajišťuje styk kola s vozovkou. Jeho tloušťka má vliv na zahřívání pneumatiky a proto by měla být co nejtenčí. V praxi se tloušťka běhounu u osobních aut volí tak, že vzorek s drážkou tvoří přibližně 80% a hmota 20%. U nákladních vozů je běhoun většinou konstruován pro možnost dalšího prořezání drážek vzorku. U pláštů pro osobní vozy je prořezávání zakázáno. Vzorek běhounu se někdy nazývá dezén. Plášť pneumatiky může být opatřen dvouvrstvým běhounem. Vrchní vrstva běhounu má vysokou odolnost proti opotřebení a spodní vrstva běhounu je vyrobena tak, aby měla co nejmenší hysterezní ztráty při dynamickém namáhání. Nízké hysterezní ztráty znamenají nízké teplotní namáhání pneumatiky. Vnější část musí plnit funkci dlouhé životnosti a dostatečné adheze s vozovkou a vnitřní část funkci snížení valivého odporu a ochranu kostry a nárazníku 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. [3]



Obr. 2. Zóny a drážky běhounu [3]

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 účinek záběru na sněhu a je konstruována 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 z 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. [3]

1.3.2 Nárazník PA

Polyamidový nárazník je umístěný nad ocelovými nárazníky, označuje se taky jako překrývací nárazník. Jeho kordy jsou v pneumatice uloženy ve směru odvalování (úhel 0°). Nad ocelovými nárazníky bývá položen v jedné nebo dvou vrstvách. Je to pogumovaný polyamidový kord. Díky vyztužení spodní části běhounu umožňuje dosažení velmi vysokých rychlostí bez obvodové deformace pneumatiky. Má vliv na snížení valivého odporu a zlepšení jízdního komfortu. [3]



Obr. 3. Polyamidový nárazník [7]

1.3.3 Ocelové nárazníky

Pogumovaný ocelový kord s kordovými vlákny uloženými ve směru odvalování pod malým úhlem (15° - 20°). Zajišťuje odpovídající životnost pneumatiky, stabilizuje běhoun, předchází hlubokému poškození kostry pláště, jeho konstrukce má velký vliv na snížení valivého odporu. [3]



Obr. 4. Nárazník [7]

1.3.4 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 bočnice je způsobeno vlivem kyslíku, obsaženém ve vzduchu. Stárnutí lze zabránit přidáním antioxidantů a antiozonantů do kaučukové směsi bočnice. Tyto přísady na sebe vážou atmosféric-

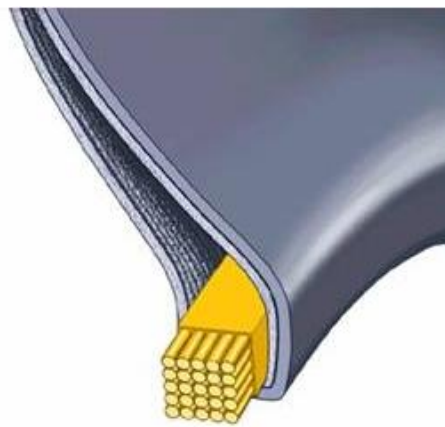
ký kyslík a ozón. Na bočnici jsou vyznačeny všechny údaje potřebné k identifikaci daného pláště. [3]



Obr. 5. Bočnice [7]

1.3.5 Patní lanko

Patkové lanko je vyrobeno z pogumovaného svazku vysokopevnostních ocelových drátů. Díky třecím silám vznikajících 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. [3]



Obr. 6. Patní lanko [7]

1.3.6 Ochranný pásek patky

Ochranný pásek je vyroben ze syntetického kaučuku. Jeho úkolem je předcházet erozi patky pláště v místě styku s ráfkem a zabezpečovat těsnost a pevné spojení s ráfkem. [3]

1.3.7 Výztuž patky

Výztuž patky má za úkol zpevňovat a stabilizovat přechodovou oblast mezi patkou pláště a boční stěnou. Může být vyroben z pogumovaných nylonových nebo aramidových kordů.

[3]



Obr. 7. Výztužný pásek [7]

1.3.8 Jádro patky

Jádro patky je vyrobeno ze syntetického kaučuku. Má za úkol zajišťovat postupný přechod z oblasti patky, která se vyznačuje vysokou tuhostí, do elastické oblasti bočnic pneumatiky. Zabezpečuje velkou boční tuhost pláště a dokonalý přenos příčných sil. Jádro 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 sesmyknutí pneumatiky z disku kola při působení bočních sil. [3]



Obr. 8. Patka [7]

1.3.9 Kordová vložka

Kordová vložka (kostra pláště) je základní část pláště složená z vložek tvořených kordovými vlákny. Vložky jsou zakotveny kolem patních lan. Její stavba a složení určují základní vlastnosti pláště. Velmi důležitou částí kostry jsou vlastní kordová vlákna, která jsou během procesu pogumování pogumována. Hlavním úkolem kostry je zabezpečit přenos tažného momentu a současně nedovolit změnu tvaru pneumatiky a předchází roztržení pneumatiky při pracovním tlaku. [3]



Obr. 9. Kostra pláště [7]

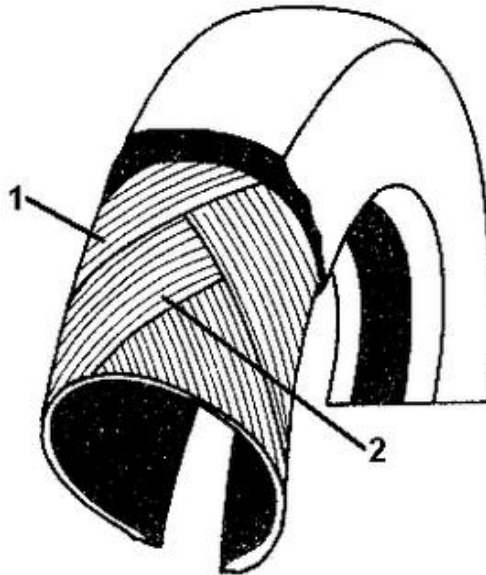
1.4 Rozdělení pneumatik

Hlavní vliv na deformační vlastnosti pneumatiky má, vedle materiálu kostry, počet a orientace jejích kordových vložek. Podle toho dělíme pneumatiky na diagonální, radiální a semiradiální. [6]

1.4.1 Diagonální pneumatiky

Diagonální pneumatiky jsou dnes považovány za „klasickou konstrukci“. Mají kostru tvořenou páry kordových vložek (tj. vždy je jich sudý počet) s orientací vláken pod úhlem menším než 90° vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. Kordová vlákna sousedních vložek se kříží a zasahují pod patková lanka, kolem kterých jsou přehnuta. Lze si představit, že každý bod kostry pláště je k patkám kotven dvěma vlákny se symetrickým stoupáním. Vlákna přenášejí obvodové i příčné síly přímo do patky pláště. Při zatížení pneumati-

ky a její deformaci se vlákna neprodlužují, ale posunují a namáhají pryž mezi nimi na stříh. Tím vzniká teplo a tedy ztráty. Jejimi výhodami jsou pevná struktura a silné bočnice, které mají zvláště v terénu mnoho výhod (odolnost proti proražení). Diagonální pneumatiky mají maximální povolenou rychlost 240 km/h a bývají většinou vyrobeny z rayonu nebo nylonu. [6]

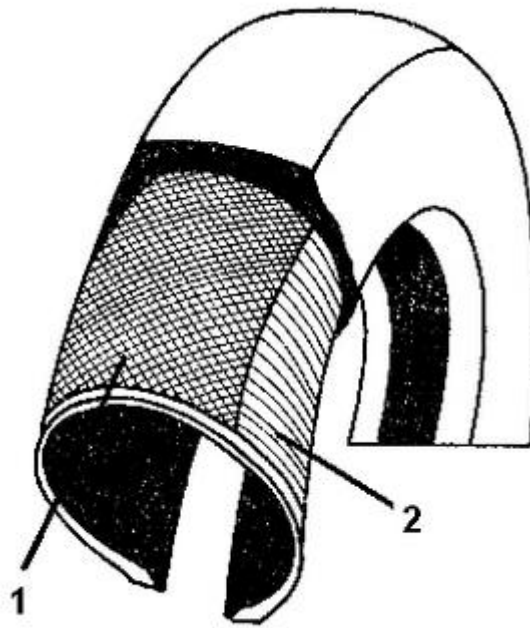


Obr. 10. Diagonální pneumatika [8]

1 – kostra tvořená několika vložkami pod úhlem 65°, 2 – kostra není stabilizovaná

1.4.2 Radiální pneumatiky

Radiální pneumatiky nemají zkřížená vlákna kordových vložek. Jsou uložena pod úhlem blízkým 90° 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°- 20°. Boční stěny pneumatiky jsou měkčí, obvodový pás je v bočním směru relativně ohybově tuhý. Protože vývin tepla a tedy valivý odpor je způsoben 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 cenově dražší. [6]



Obr. 11. Radiální pneumatika [8]

1 – Stabilizace kostry, 2 – uložení kordů v kostře pod úhlem 90°

1.4.3 Semiradiální pneumatiky

Semiradiální pneumatiky jsou vyvinuty z diagonálních pneumatik a vyznačují se výrazně zpevněnou konstrukcí pod dezénem, čímž je dodána delší životnost pneumatice zmenšením příčných klouzavých pohybů, přičemž je pneumatika odolnější vůči poškození. Příčné prokluzování je dáno konstrukcí pneumatiky a je 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 možno podstatně snížit defenzivním stylem jízdy a rovněž opatrnou akcelerací, nelze je vyloučit plně, 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 plášťů. Zatímco kostra je stále konstruována diagonálně, pneumatika má nárazníkový pás zpravidla z kevlaru. Vhodné jsou pro rychlosti do 250 km/h. [6]

1.5 Značení pneumatik

Plášť pneumatiky slouží jako součást umožňující přenos sil mezi vozidlem a vozovkou a jako nosič důležitých údajů obsahující informaci o jeho rozměrech, konstrukci, výrobci a spoustě dalších vlastností. Některé údaje jsou potřebné pro koncového uživatele, jiné ocení prodejce nebo technik, další jsou nepostradatelné v oblasti výroby a skladování. Způsob značení a vysvětlení jednotlivých údajů můžeme vidět na pneumatice Pirelli (Obr. 12). [3]



Obr. 12. Značení na pneumatice [3]

Profilové číslo udává procentuální poměr šířky pláště ku jeho výšce.

Index nosnosti neboli Load Index (LI) je číslo určující maximální nosnost pneumatiky při určité rychlosti dané rychlostním indexem za specifických podmínek. Na pneumatice může být vyznačena i odpovídající nosnost při alternativní vyšší rychlosti. Takový údaj by byl uveden v kroužku.

Počet vložek v běhounu a v bočnici nám udává počet kordových vrstev umístěných v běhounu a bočnici a specifikuje druhy kordu, které byly při výrobě pláště použity.

Index rychlosti neboli Speed symbol (SS) představuje maximální rychlost, při které dokáže pneumatika unést hmotnost určenou indexem nosnosti za specifických podmínek.

Bezdušové provedení je u pneumatiky označeno nápisem TUBELESS nebo písmeny TL. Pneumatiky vyžadující duši jsou označeny nápisem TUBE TYPE nebo písmeny TT.

Datum výroby je značen třemi nebo čtyřmi čísly, z nichž první dvojčíslí označuje, kolikátý týden v roce byla pneumatika vyrobena a zbylá čísla značí rok výroby.

Údaje požadované pro USA jsou **TREADWEAR** (značí odolnost běhounu proti opotřebení v procentech), **TRACTION** (označuje třídu součinitele adheze pneumatiky), **TEMPERATURE** (symbolizuje odolnost pneumatiky proti dynamickému namáhání). Traction i Temperature může nabývat hodnot A, B nebo C.

Označení **M+S** značí pneumatiku vhodnou pro užívání v zimním období. U pneumatiky označené nápisem **REGROOVABLE** je možné prořezávat běhoun z důvodu prohloubení drážek ve vzorku. **REGUMERAT** nebo **RETREAD** značí protektorovanou pneumatiku. [3]

1.6 Zkoušky opotřebení pneumatik

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

1.6.1 Statické zkoušky

Materiál je namáhán pomalu se měnícími silami po relativně krátkou dobu. Patří sem zkoušky v tahu, horní a dolní mez kluzu v tahu, mez napětí při přetržení, mez pevnosti v tahu, poměrná změna délky, tažnost, technická mez průtažnosti, mez pružnosti v tahu, poměrné příčné zkrácení při přetržení (kontrakci), součinitel protažení, modul pružnosti, měrná deformační práce. [9]

1.6.2 Dynamické zkoušky

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

1.6.3 Únavové zkoušky

Dlouhodobé zkoušky. Dynamické a statické. [9]

1.7 Výrobní postupy

1.7.1 Pogumování kordu

Kordy jsou vlákna z oceli, polyesteru, hedvábí, polyamidu nebo kevlaru, 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 o sebe navzájem netřela. Vzájemné tření by totiž bylo příčinou narušení struktury vláken a následným přetržením vlákna, což by vedlo ke ztrátě pevnosti materiálu pneumatiky. Na pracovišti gumování kordu je tedy tkanina opatřena vrstvou pryže. Podle potřeby se dále zpracovává. Pro výrobu radiálních plášťů je třeba změnit orientaci kordových vláken, proto se z přibližně 1,5 m 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. [3]

1.7.2 Příprava běhounu a bočnic

Běhouny jsou složeny z několika typů pryže. Část, která je ve styku s vozovkou, má vlastnosti odpovídající požadavkům na schopnosti běhounu. Pod ní se nachází základní tenká vrstvička, tzv. base směsi s podílem sazí, jejíž materiální složení ovlivňuje i některé vlastnosti vrchní části běhounu. Mezi tyto vlastnosti patří zejména tvrdost bloků běhounu vůči ohybu vznikajícím působením třecích sil. Okrajové části běhounového pásu jsou pak tvořeny bočnicovou směsí.

Samotná bočnice je však vyrobena rovněž ze dvou druhů směsi. Vnější část, ta blíže k dezénu, je vyrobena z pružnější směsi a oblast blíže u patky je vyrobena z tužší směsi, která patku lépe chrání.

U běhounové i patkové pryže jsou jednotlivé vrstvy skládány tak, aby se vlastnosti pryže v plášti měnily plynule z hlediska pružnosti a tvrdosti. [3]

1.7.3 Výroba nárazníku

Nárazník je část pláště, která se připravuje taky samostatně. Jeho konkrétní konstrukce se liší podle typu pláště, obecně je tvořen pásem ze vzájemně překřížených pogumovaných ocelových kordů, uložených pod určitým úhlem. U vysokovýkonných plášťů se mezi běhounem a nárazníkovým pásem používá další nárazníková vrstva z polyamidového pogumovaného kordu, který se dříve pokládal jako prstenec z pásu, a tak v jednom místě vznikl spoj po celé šířce pláště. Dnes se nárazníková vrstva tvoří tak, že se na prstenec ocelového kordu navíjí ve spirále pásek polyamidového kordu. Tak vznikne nárazníková vrstva polyamidového kordu bez spoje. [3]

1.7.4 Výroba patních lan

Vytváří se prstenec se čtyřmi pogumovanými ocelovými lanky vedle sebe. Tento prstenec se následně rozdělí na čtyři jednotlivá lana. Naráz se tak vyrábějí patní lanka vždy pro dva pláště. [3]

1.7.5 Kompletace

Výroba surového pláště probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni se na vnitřní gumu nalepí kordová vložka. Z boku se potom narazí patní lana a kordová vložka se přehne přes lano. Následně se položí bočnice.

Ve druhém stupni se připravuje nárazníkový prstenec s běhounem. Na vrstvu pogumovaného ocelového kordu kostry se položí polyamidový nárazník a běhoun.

Při vlastní konfekci se potom obě části spojí dohromady a zaválejí. Tak vznikne surový plášť. [3]

1.7.6 Vulkanizace

Vulkanizace je fyzikálně-chemický proces, při kterém se za působení teploty, tlaku a vulkanizačního činidla mění struktura kaučukové směsi. Kaučuk s lineární strukturou makromolekul se mění v pryž s prostorovou strukturou makromolekul. Během vulkanizace se mezi lineárními řetězci tvoří příčné vazby, které způsobí zesíťování struktury látky.

Hlavním důvodem, proč se kaučuk vulkanizuje je, že se podstatně vylepší jeho mechanické i fyzikálně-chemické vlastnosti. Z mechanických vlastností se zvýší pevnost v tahu, strukturální pevnost (odolnost vůči dalšímu trhání), odolnost v oděru i pružnost, ale zároveň se sníží tažnost. Na rozdíl od nevulkanizovaného kaučuku, který je rozpustný v některých

organických rozpouštědlech, vulkanizovaný kaučuk v nich jen bobtná. Vulkanizovaný kaučuk je také méně citlivý ke změnám teploty a zachovává si ohebnost i tuhost ve značném teplotním rozsahu.

Z hlediska pracovních úkonů probíhá vulkanizace tak, že se surový plášť vloží do lisovací formy (vulkanizačního lisu), která nese podobu budoucího pláště, tedy otisk dezénu a veškerého označení. Působením horké tlakové páry o teplotě v rozmezí 140-180°C se polotovary vytvaruje podle formy a zároveň působením vulkanizačního činidla kaučuk ztvrdne. To znamená, že tváření výrobku a vulkanizace jsou spojeny v jednu operaci. Aby se výrobek nepřilepil na formu, vystřikuje se forma emulzemi separačních činidel. Vulkanizace probíhá po dobu 7-11 minut, podle rozměru pláště. [3]

1.8 Příspěvky do kaučukových směsí

Ke zlepšení fyzikálních, mechanických a chemických vlastností směsí pláštěů pneumatik, k urychlení a zkvalitnění výrobního procesu, se do zpracovávaných kaučukových směsí dodávají přísady. Patří sem vulkanizační činidla, urychlovače a retardéry vulkanizace, aktivátory vulkanizace, antidegradanty, změkčovadla, ztužovadla a další přísady. [3]

1.8.1 Saze

Používají se v pneumatikářské výrobě jako plnivo, ztužovadlo. Ve vyrobeném plášti jich bývá obsaženo okolo 27 objemových procent. Jejich pozitivní efekt spočívá v tom, že částice sazí jsou velmi jemné a v průběhu vulkanizace se dobře vážou s molekulami kaučuku. Po vulkanizaci kaučuku dodávají pryži pevnost a tvrdost, zvyšují odolnost proti opotřebení a zahřívání. Způsobují též tmavé zbarvení. Existuje několik druhů sazí. Pro výrobu pláštěů pneumatik se používají saze retortové, které se získávají nedokonalým hořením par olejů ve speciálních pecích. Retortových sazí se vyrábí několik typů, které se liší svými vlastnostmi a vhodností pro použití na jednotlivé konstrukční části pláště. Množstvím a druhem použitých sazí se pomáhá dosahovat požadovaných vlastností běhounových směsí, směsí na výrobu bočnic, kostrových a nárazníkových směsí a ostatních směsí. [3]

1.8.2 Silika

V současnosti probíhá hlavně u pláštěů určených pro zimní provoz snaha nahrazovat saze sloučeninou na bázi oxidu křemičitého. Tato sloučenina se nazývá silika. Výhodou směsi s vysokým obsahem siliky je, že začíná tvrdnout až při výrazně nízkých teplotách než směs

obsahující jako plnivo výhradně saze. Nahrazením sazí silikou je zabezpečeno zachování požadovaných adhezních schopností pneumatiky v zimních obdobích. Obsah sazí ku obsahu siliky je ve směsi použit v poměru od 3:2 do 1:9. [3]

1.8.3 Antidegradanty

Antioxidanty a antiozonanty mají velký vliv na zvýšení odolnosti pryže proti stárnutí. I po vulkanizaci zůstávají v zesíťovaném polymeru ještě dvojné vazby, které jsou napadány kyslíkem a ozónem. Obsah ozónu ve vzduchu není tak velký, ale ozón je mnohem agresivnější než kyslík. Vznikají nestabilní peroxidy nebo ozonidy, které se radikálně štěpí a tím dochází k narušení struktury, což se na pryži projevuje jako stárnutí. Proces napojování kyslíku a ozónu na dvojné vazby výrazně zpomalují látky antioxidanty a antiozonanty. Mezi antidegradanty můžeme zařadit substituovaný chinolin. Stárnutím ztrácí pryž třecí vlastnosti a následně pneumatika adhezní vlastnosti. Do skupiny antidegradantů můžeme zařadit také ropné výrobky nazývané parafín. Jsou to směsi převážně tuhých parafinických uhlovodíků získávané při odparafinování minerálních olejů. Po vulkanizaci vykvétá na povrchu pryže a vytvářejí jemnou ochranou vrstvičku proti ozónovému stárnutí. Parafín chrání pryž pouze při skladování, jelikož při provozu je vykvetlý parafín z povrchu pneumatiky vlivem tření odstraněn. [3]

1.8.4 Změkčovadla

Změkčovadla zvyšují plasticitu směsi, a usnadňují tak její mechanické zpracování. Po vulkanizaci ovlivňují tvrdost a tažnost vzniklé pryže. Jako změkčovadla se používají různé druhy minerálních olejů. [3]

1.8.5 Pryskyřice

Přidávají se do některých kaučukových směsí pro zlepšení lepivosti směsi. Nejčastěji se používá kumaronová pryskyřice a kalafuna. [3]

1.8.6 Vulkanizační činidla

Nejčastěji používaným činidlem je síra. Je to látka, díky její přítomnosti v kaučuku probíhá proces vulkanizace. V omezeném rozsahu se vulkanizuje také pomocí pryskyřic nebo pomocí organických peroxidů. [3]

1.8.7 Ztužovadla

Tyto látky zvyšují tuhost a pevnost pryže. Patří sem saze, silika, síra. [3]

1.8.8 Aktivátory vulkanizace

Nejčastěji používaným aktivátorem vulkanizace, jejíž vulkanizát obsahuje síru, je oxid zinečnatý označován jako zinková běloba. Má významný vliv na tvorbu sítě. V důsledku jeho působení roste síťovací účinnost vulkanizace. [3]

1.8.9 Urychlovače a retardéry vulkanizace

Dokážou výrazně zkrátit nebo prodloužit vulkanizační dobu směsi v souladu s výrobními požadavky. [3]

1.9 Požadavky na směsi pro výrobu pláště pneumatiky

1.9.1 Běhounové směsi

Vynikající odolnost proti oděru, pevnost v tahu, dobrá hystereze, odolnost proti stárnutí, dobrý koeficient tření s vozovkou. Složení běhounové směsi má rozhodující vliv na charakteristické vlastnosti pneumatiky. [3]

1.9.2 Směsi pro potahování textilních kordů

Vysoká tažnost, dobrý koeficient tření s viskóзовými a polyamidovými kordy, odolnost proti tepelné únavě, odolnost proti stárnutí. [3]

1.9.3 Směsi pro potahování ocelových kordů

Mají shodné vlastnosti jako směsi pro textilní kordy. Nejčastěji se zde používají směsi s velkým množstvím přírodního kaučuku, jehož schopnost pevného spojení s ocelovým kordem je vyšší než u syntetických kaučuků. [3]

1.9.4 Směsi pro obštrik patních lan

Velmi dobré třecí schopnosti s ocelovým lankem a s ostatními částmi patky pláště. [3]

1.9.5 Směsi na výrobu bočnic

Dobrá odolnost proti stárnutí, odolnost proti vzniku a růstu trhlin. V oblasti ochranného patního pásku se musí z vulkanizovaná směs vyznačovat vysokými adhezními schopnostmi k materiálu ráfku kola. [3]

1.10 Výstužné materiály

Vlastnosti materiálu, ze kterého je plášť vyroben, nejsou závislé pouze na vlastnostech pryže vznikající při vulkanizaci, nýbrž i na interakci vlastností pryže a výstužných materiálů. Spojením na první pohled nesourodých složek vzniká při vulkanizaci typ vláknového kompozitu. Vlastnosti vzniklého kompozitu jsou kombinací tuhosti a pevnosti vláken výstužných materiálů a pružnosti matrice (pryže). Směrem uložení vláken je možno zvyšovat pružnost vzniklého materiálu v požadovaném směru. Pro jednotlivé konstrukční části pláště jsou používány rozdílné typy výstužných materiálů v závislosti na požadavcích na jejich mechanicko-fyzikální vlastnosti.

Výstužné materiály se v pneumatikářství nazývají souhrnně kordy.

Aby kompozit vzniklý spojením výstužných materiálů a pryže plnil správně svou funkci, musí být zabezpečena dostatečná soudržnost povrchu kordů a pryže. Pro zlepšení soudržnosti se kordy impregnují speciálními látkami, které zvyšují koeficient tření mezi oběma povrchy, nebo je látka s podobným účinkem přidávána přímo do kaučukové směsi. První možnosti se využívá u textilních kordů (viskózových, polyamidových, polyesterových a skleněných). Druhá metoda je vhodná pro ocelové kordy. [3]

1.10.1 Ocelové kordy

Jsou používány díky jejich vysoké pevnosti a rozměrové stabilitě. Musí být odolné vůči korozi a klást dostatečný odpor proti pohybu. Ocelové kordy sou vyrobeny z drátů, které jsou pomosazené (70% Cu, 30% Zn). Mosazná vrstvička na povrchu drátu má schopnost vytvořit lepší třecí vlastnosti mezi kovem a pryží. [3]

1.10.2 Textilní kordy

Textilní kordy dávají plášti pevnost a rozměrovou stabilitu stejně jako ocelové kordy. Jsou však lehčí a některé z nich jsou snadno deformovatelné ohybovým zatížením. Mezi textilní kordy patří viskózová, skleněná, polyesterová a polyamidová vlákna.

V současnosti se začínají používat aromatická polyamidová vlákna s lepšími materiálovými vlastnostmi a menší hmotností. Tato vlákna jsou známá pod názvem kevlarová vlákna.

[3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro experimentální část byly vybrány běhounové směsi určené pro namáhané mimosilniční pneumatiky. Směsi byly vyrobeny na základě NR a SBR a představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

2.1 Měřené vlastnosti

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

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

2.1.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa byly připraveny pro všechny druhy testů lisováním na laboratorním lisu typu 400x400 v laboratořích UVI FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám. Vulkanizační doba byla výrobcem doporučena na 20 min. při teplotě 160°C.

2.1.2 Tahová zkouška

Podstatou zkoušky je protahování zkušebních těles v trhacím stroji konstantní rychlostí. Odečítá se prodloužení potřebné k hodnocení požadovaných vlastností zkušebních těles v průběhu protahování a v okamžiku přetržení a hodnoty síly.

Do trhacího stroje se vloží těleso tak, aby bylo zabezpečeno symetrické upnutí rovnoběžných částí lopatek a aby byl rovnoměrně rozložen tah na příčný průřez tělesa. Po spuštění stroje se průběžně zaznamenávají změny síly a pracovní délky zkušebního tělesa po celou dobu zkoušky s přesností $\pm 2\%$. Jmenovitá rychlost příčnicku s pohyblivou upínací čelistí je 500 mm/min. Zkušební těleso, které je přetrženo mimo pracovní část, musí být vyřazeno z hodnocení a zkouška se opakuje na dalším zkušebním tělese. Po dobu zkoušky nebo při srovnávacích měření musí být stejná teplota.

Pevnost v tahu

Maximální napětí v tahu naměřeno u tělesa do okamžiku přetržení.

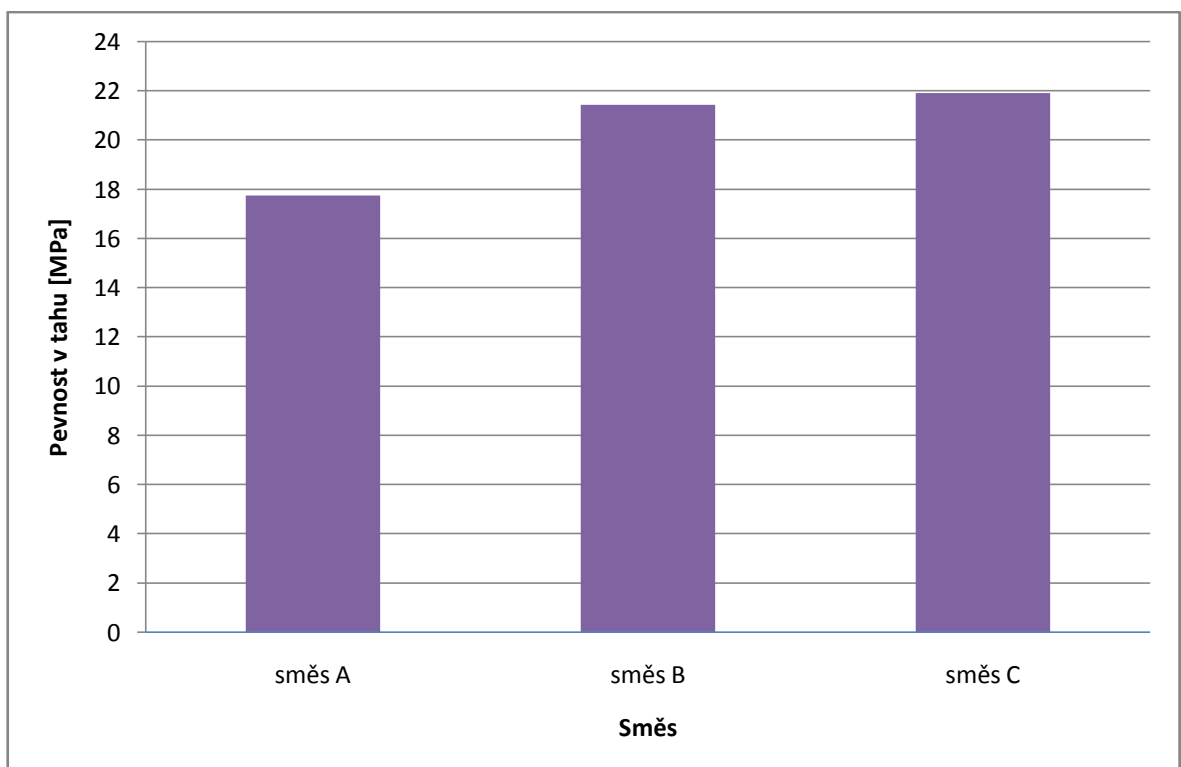
Tažnost

Tažnost je tahová deformace pracovní délky v okamžiku přetržení.

Pro přehlednější vyhodnocení souborů měření je zavedena bezrozměrná hodnota, která je definovaná jako podíl příslušné hodnoty k hodnotě maximální, je označena [-]. V laboratoři Demo room ALFA TECHNOLOGIES byla připravena zkušební tělesa a zkouška realizována na trhacím stroji typu T 2000 při teplotě okolí (21°C). Pro zkoušku bylo použito 10 zkušebních tělísek a naměřené hodnoty byly zpracovány a staticky vyhodnoceny. [10]

Tab. 1. Tahová zkouška

Směs	Pevnost v tahu [MPa]	Směrodatná odchylka
A	17,7666	0,66852
B	21,451	1,65856
C	21,9195	0,5762

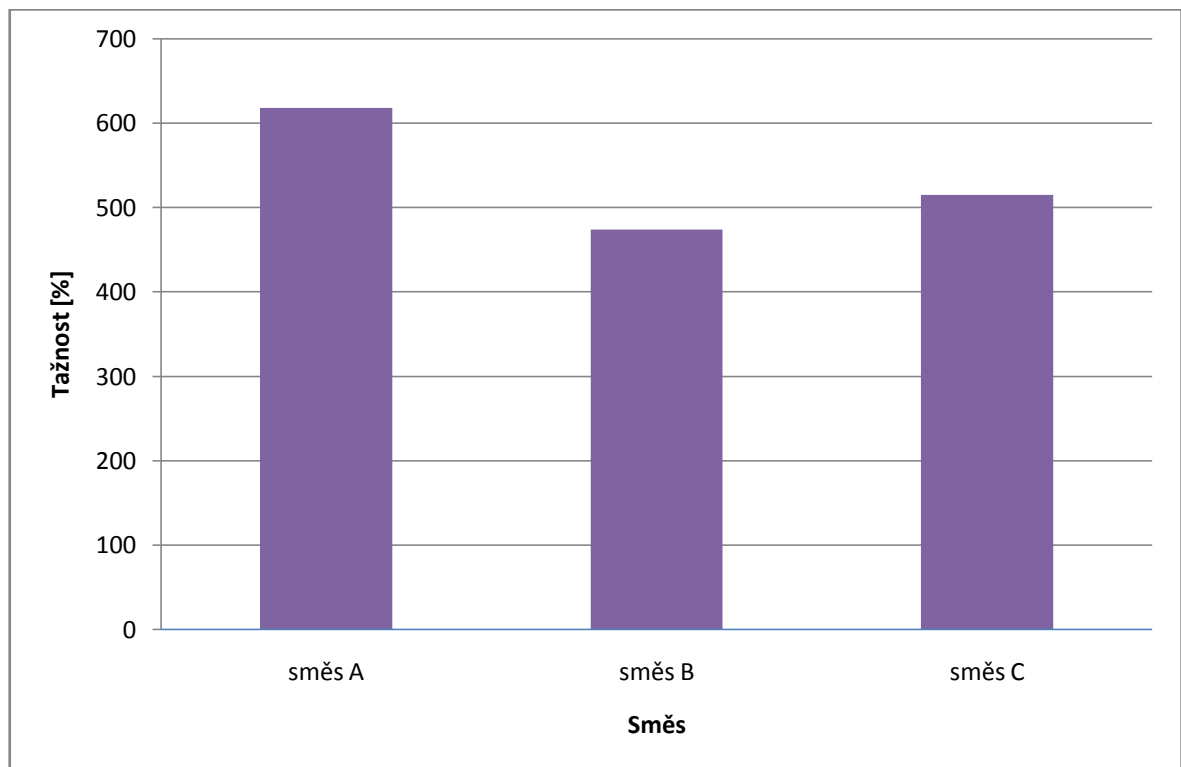


Obr. 13. Porovnání pevností v tahu u jednotlivých směsí

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu, jak je vidět z grafu (Obr. 13) a tabulky (Tab. 1), dosáhla směs C. Nejmenší hodnoty dosáhla směs A.

Tab. 2. Tažnost

Směs	Tažnost [%]	Směrodatná odchylka
A	618,16	18,42463
B	474,23	21,67533
C	515,51	18,63094

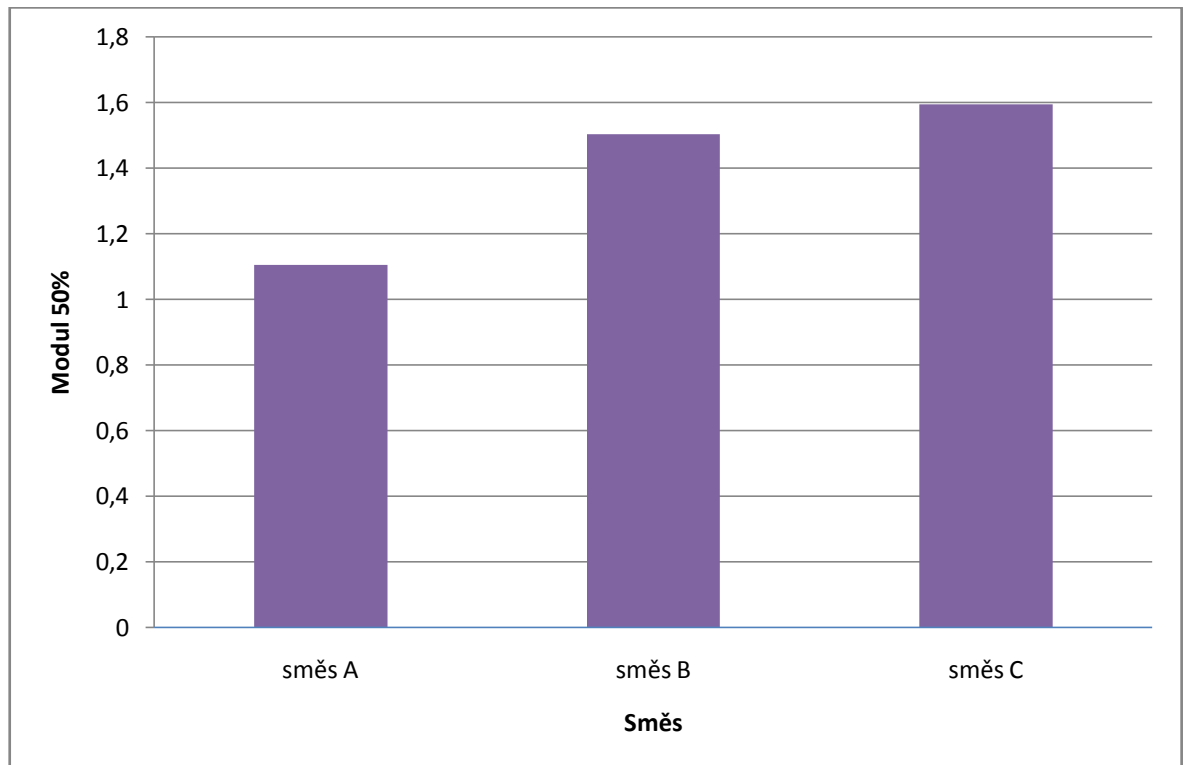


Obr. 14. Porovnání tažností

Nevyšší hodnoty u tažnosti, jak je vidět z grafu (Obr. 14) a tabulky (Tab. 2), dosáhla směs A. Nejnižší hodnoty dosáhla směs B.

Tab. 3. Modul 50%

Směs	Modul 50%	Směrodatná odchylka
A	1,1049	0,01449
B	1,504	0,03933
C	1,5953	0,03805

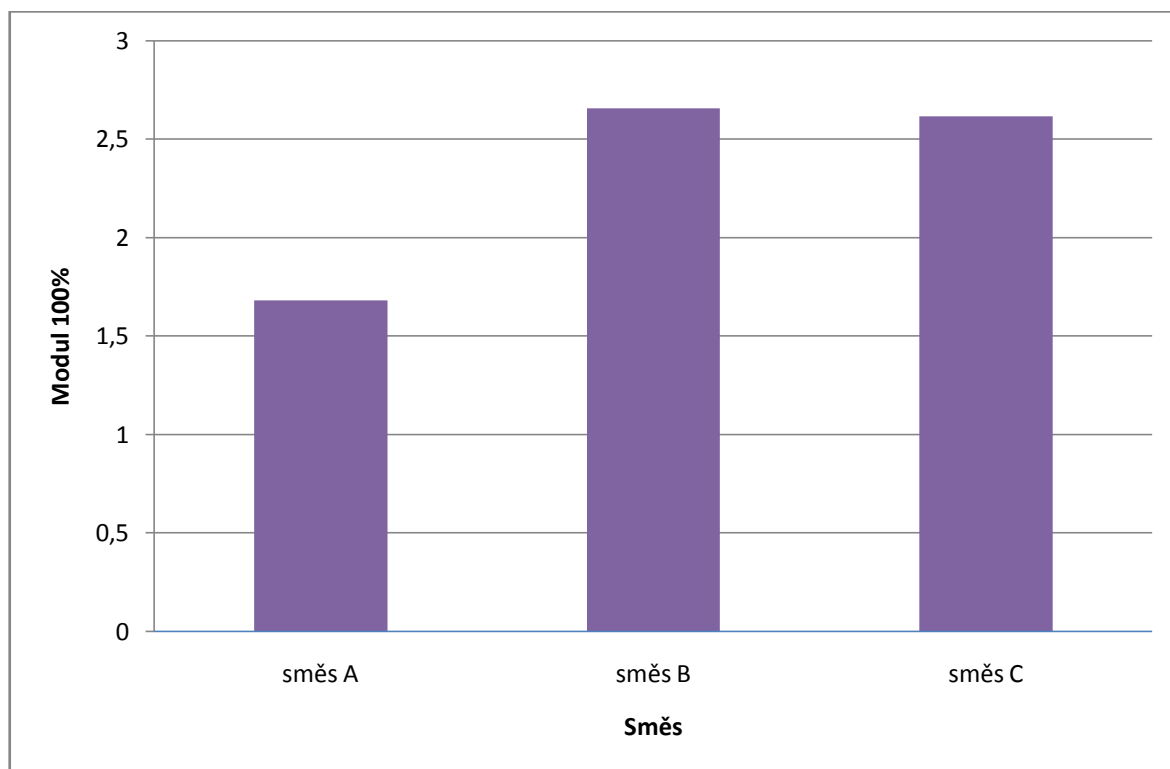


Obr. 15. Porovnání modulů 50%

Nejvyšší hodnoty modulu 50%, jak je vidět z grafu (Obr. 15) a tabulky (Tab. 3), dosáhla směs C. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

Tab. 4. Modul 100%

Směs	Modul 100%	Směrodatná odchylka
A	1,6821	0,02651
B	2,659	0,08693
C	2,6176	0,05342

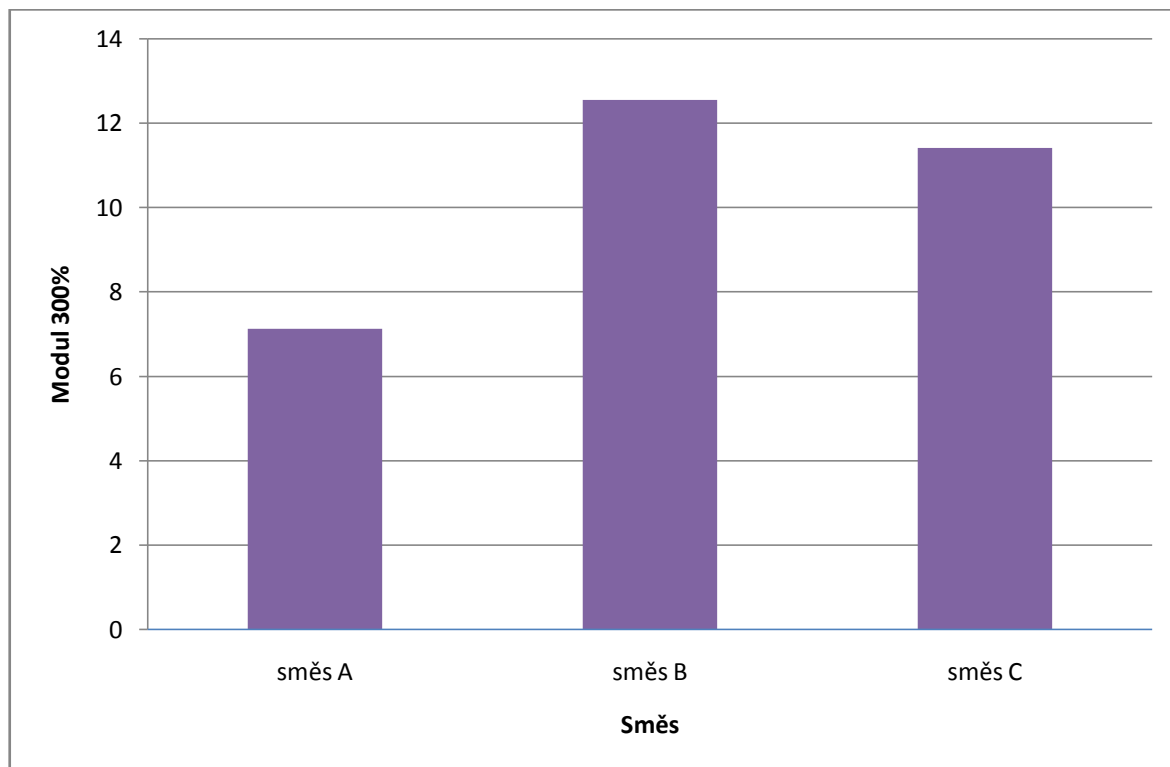


Obr. 16. Porovnání modulů 100%

Nejvyšší hodnoty u modulu 100%, jak je vidět z grafu (Obr. 16) a tabulky (Tab. 4), dosáhla směs B. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

Tab. 5. Modul 300%

Směs	Modul 300%	Směrodatná odchylka
A	7,1346	0,16907
B	12,5555	0,67487
C	11,4174	0,20237

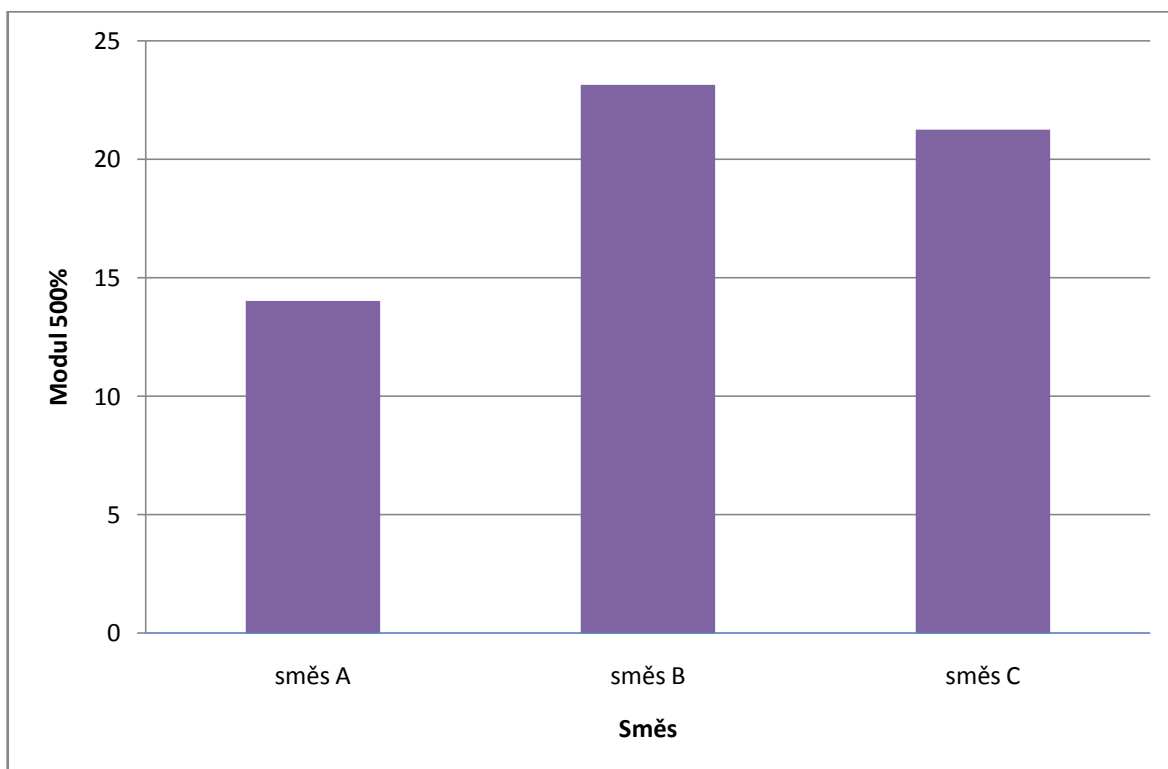


Obr. 17. Porovnání modulů 300%

Nejvyšší hodnoty u modulu 300%, jak je vidět z grafu (Obr. 17) a tabulky (Tab. 5), dosáhla směs B. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

Tab. 6. Modul 500%

Směs	Modul 500%	Směrodatná odchylka
A	14,037	0,29793
B	23,145	
C	21,272	0,36514



Obr. 18. Porovnání modulů 500%

Nevyšší hodnoty u modulu 500%, jak je vidět z grafu (Obr. 18) a tabulky (Tab. 6), dosáhla směs B. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

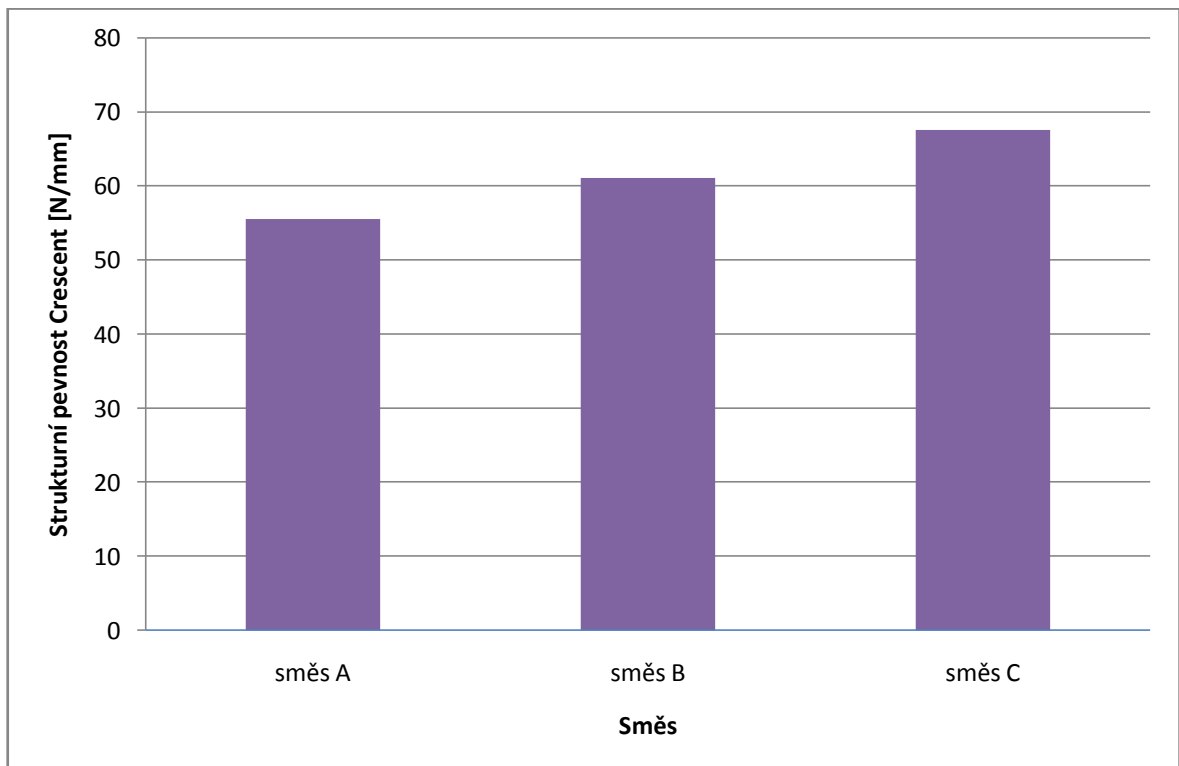
2.1.3 Strukturální pevnost

Podstatou zkoušky je namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhacího stroje, tahem a v měření síly potřebné k přetržení těles. Tělesa jsou namáhána tahem a zaznamenává se nejvyšší síla, potřebná k přetržení tělesa při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti 500 ± 50 mm/min.

Strukturální pevnost je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa.

Tab. 7. Strukturální pevnost Crescent

Směs	Strukturální pevnost Crescent [N/mm]	Směrodatná odchylka
A	55,597	2,88001
B	61,098	3,28439
C	67,573	0,36514

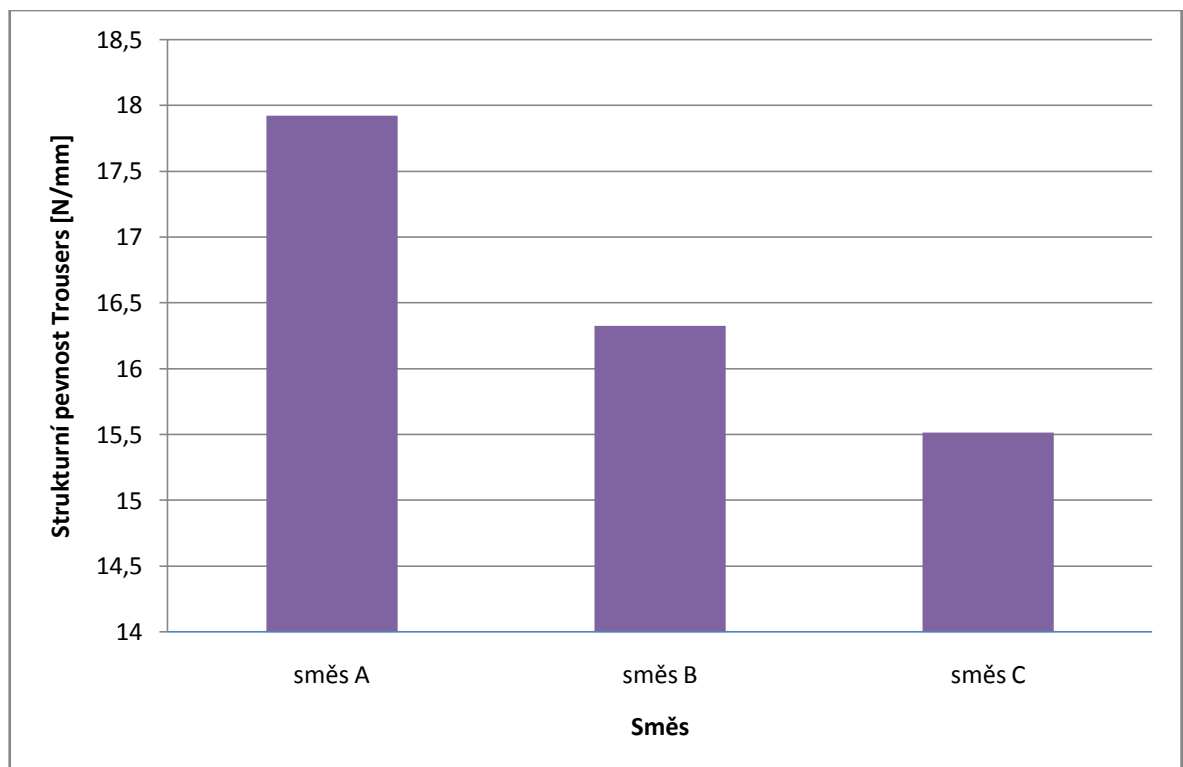


Obr. 19. Porovnání strukturálních pevností Crescent

Nejvyšší hodnoty u strukturální pevnosti Crescent, jak je vidět z grafu (Obr. 19) a tabulky (Tab. 7), dosáhla směs C. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

Tab. 8. Strukturální pevnost Trousers

Směs	Strukturální pevnost Trousers [N/mm]	Směrodatná odchylka
A	17,924	0,93481
B	16,329	3,31654
C	15,515	1,18011



Obr. 20. Porovnání strukturálních pevností Trousers

Nevyšší hodnoty u strukturální pevnosti Trousers, jak je vidět z grafu (Obr. 20) a tabulky (Tab. 8), dosáhla směs A. Nejnižší hodnoty dosáhla směs C.

2.1.4 Tvrdost Shore

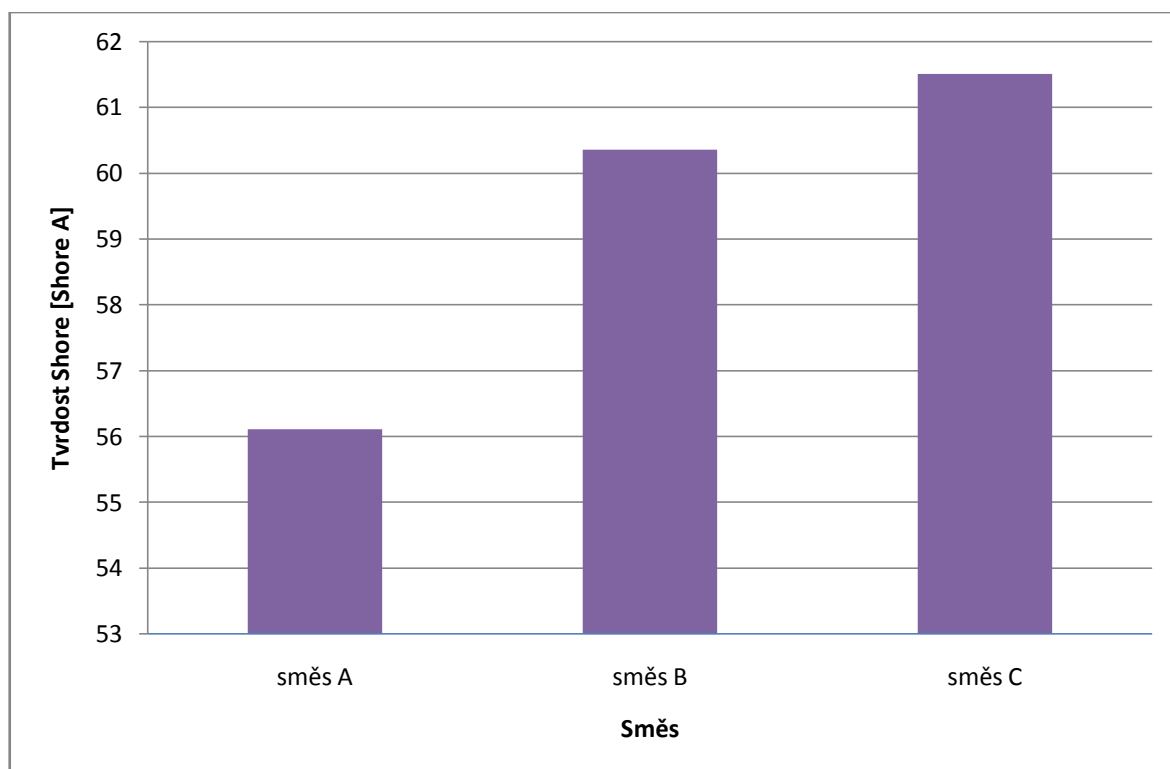
Podstata zkoušky je v měření hloubky vniknutí zkušební hrotu vtlačovaného do materiálu za specifických podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Tvar hrotu, přítláčná síla a doba vtlačování 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 měkčích 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.

[10]

Tab. 9. Tvrđost Shore

Směs	Tvrđost Shore [Shore A]	Směrodatná odchylka
A	56,11	0,95737
B	60,36	1,75322
C	61,51	0,67239



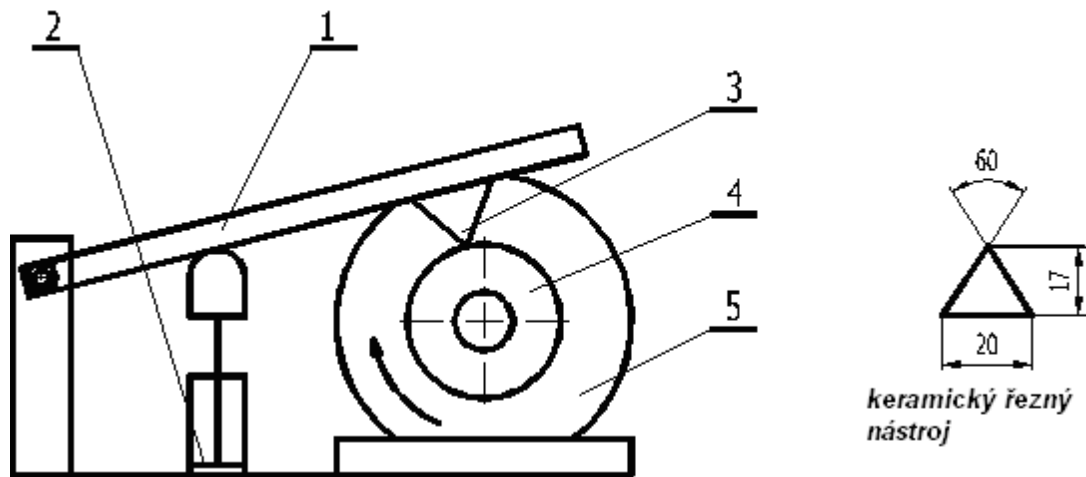
Obr. 21. Porovnání tvrđostí Shore

Nejvyšší hodnoty u tvrđosti Shore A, jak je vidět z grafu (Obr. 21) a tabulky (Tab. 9), dosáhla směs C. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

2.2 Rychlý test opotřebení

Zkouška opotřebení pneumatik je časově i ekonomicky velmi náročná. Provádí se s hotovými pneumatikami ve zkušebnách nebo v terénu při jízdě zkoušce. Snahou je nalézt takovou metodu, při které by bylo možné velmi rychle (v minutách) testovat opotřebení na malých vzorcích a tak navzájem porovnávat jednotlivé druhy směsí.

Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení s možností změn parametrů testů, poskytující reálnou simulaci provozních podmínek, jehož princip je znázorněn na Obr. 22. Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování opotřebení Chip – Chunk.



Obr. 22. Schéma zařízení pro testování opotřebení.

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

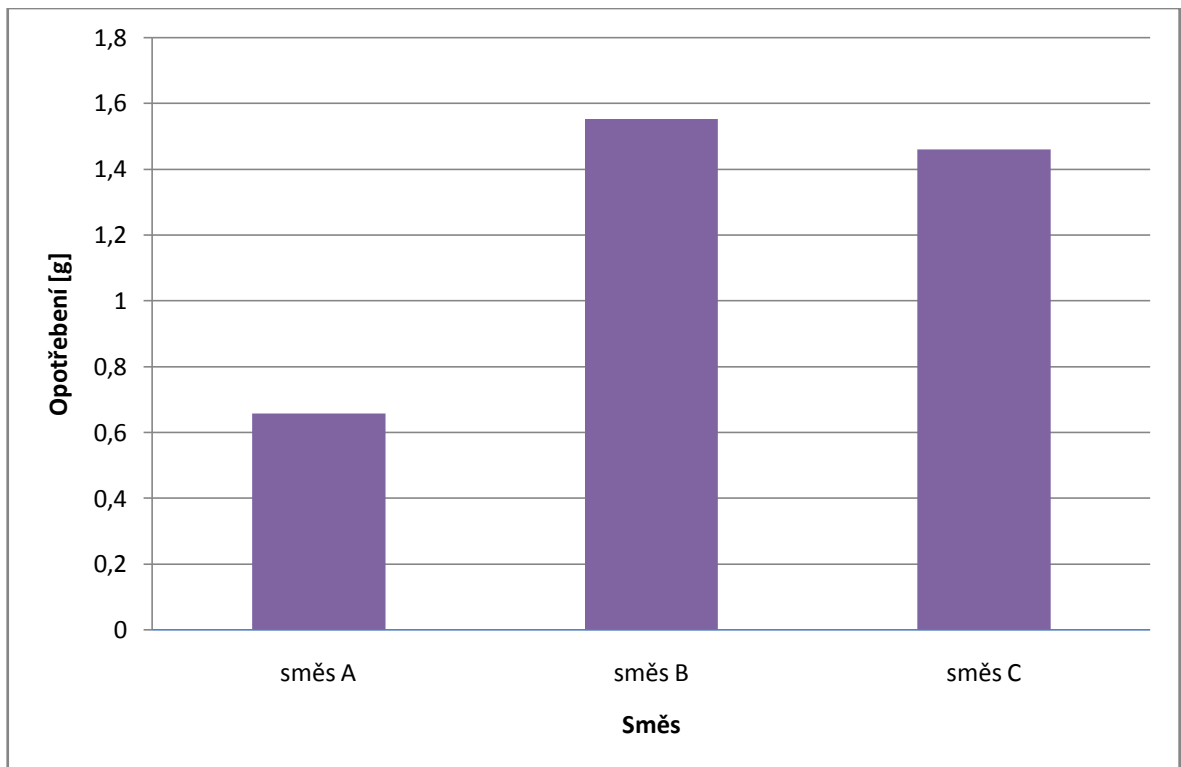
5 - elektromotor

Princip měřícího zařízení

Rameno 1 otočné okolo čepu je zvedáno pístem pneumatického válce 2. Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn keramický břit 3, na rotující kotouč 4 (zkušební těleso) poháněný elektromotorem 5. Při dopadu břitu na rotující kotouč se postupně vysekává materiál a tvoří v kotouči drážku. Velikost drážky zhotovené břitem za čas je měřítkem opotřebení.

Tab. 10. Opotřebení

Směs	Opotřebení [g]	Směrodatná odchylka
A	0,658	0,07133
B	1,5532	0,12437
C	1,4618	0,16714

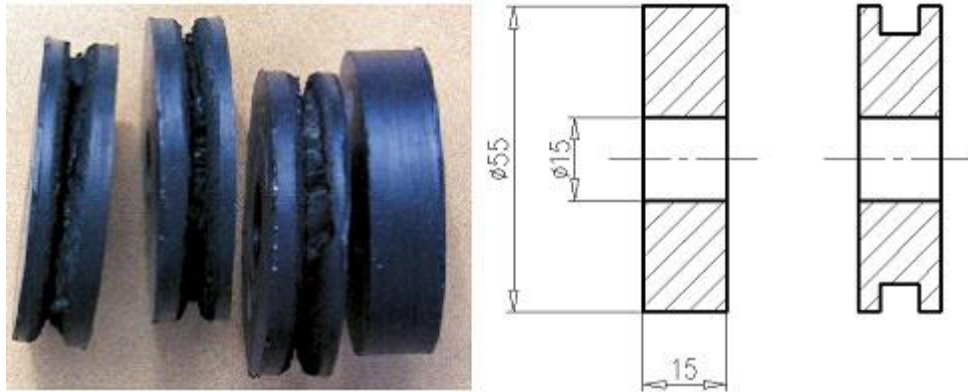


Obr. 23. Porovnání opotřebení

Nejvyšší hodnoty u opotřebení, jak je vidět z grafu (Obr. 23) a tabulky (Tab. 10), dosáhla směs B. Nejnižší hodnoty dosáhla směs A.

Zkušební tělesa

Zkušební tělesa byla navržena dle Obr. 24 z důvodu snadné přípravy. V průběhu testu byla do zkušebních těles vytvořena drážka keramickým nástrojem. U obráběné pryže došlo, v okamžiku dopadu břitů na rotující kotouč, k nerovnoměrnému vytrhávání materiálu, proto bylo upuštěno od původní představy vyhodnocování opotřebení – měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky.



Obr. 24. Zkušební tělesa pro zkoušku rychlého opotřebení.

2.2.1 Výsledky měření

Analýza opotřebení

Na opotřebení má zásadní vliv energie dopadu břitu na povrch zkušebního tělesa. Elastické vlastnosti zkušebního tělesa způsobují, že po hlavním účinku (prvním dopadu břitu na těleso) dojde k dalším účinkům (poskakování po povrchu) s menší intenzitou. Hlavní účinek břitu má na celkové opotřebení jen částečný vliv. Uvažováním energie pouze hlavního dopadu pro posuzování celkové práce potřebné k opotřebení by bylo značně zkreslené. Pokud bude experiment probíhat za stejných podmínek, tak budou výsledky v dané sérii srovnatelné.

Podmínky experimentu

Zkoušky opotřebení byly provedeny na experimentálním zařízení při následujících podmínkách:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| - Otáčky zkušebního tělesa | 910 min ⁻¹ |
| - Frekvence dopadu keramického břitu | 1 Hz |
| - Zdvih keramického břitu | 60 mm |
| - Doba trvání experimentu | 90 s |

Do čelistí bylo vloženo zkušební těleso tak, aby bylo zabráněno prokluzování a bylo uvedeno do rotace. Do chodu byl uveden zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Od prvního kontaktu zkušebního tělesa s břitem byl měřen čas. K měření bylo použito deset zkušebních těles zhotovených z jednotlivých směsí. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

2.3 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení naměřených dat bylo provedeno v programu STATISTICA. Byla vytvořena korelační matice z naměřených hodnot, která hledá vliv (korelace) mechanických vlastností na míru opotřebení testovaných běhounových směsí. Výsledky byly prezentovány koeficientem korelace – r (vyjadřuje lineární závislost mezi opotřebením a mechanickými vlastnostmi) a hladinou významnosti – p .

3 DISKUZE VÝSLEDKŮ

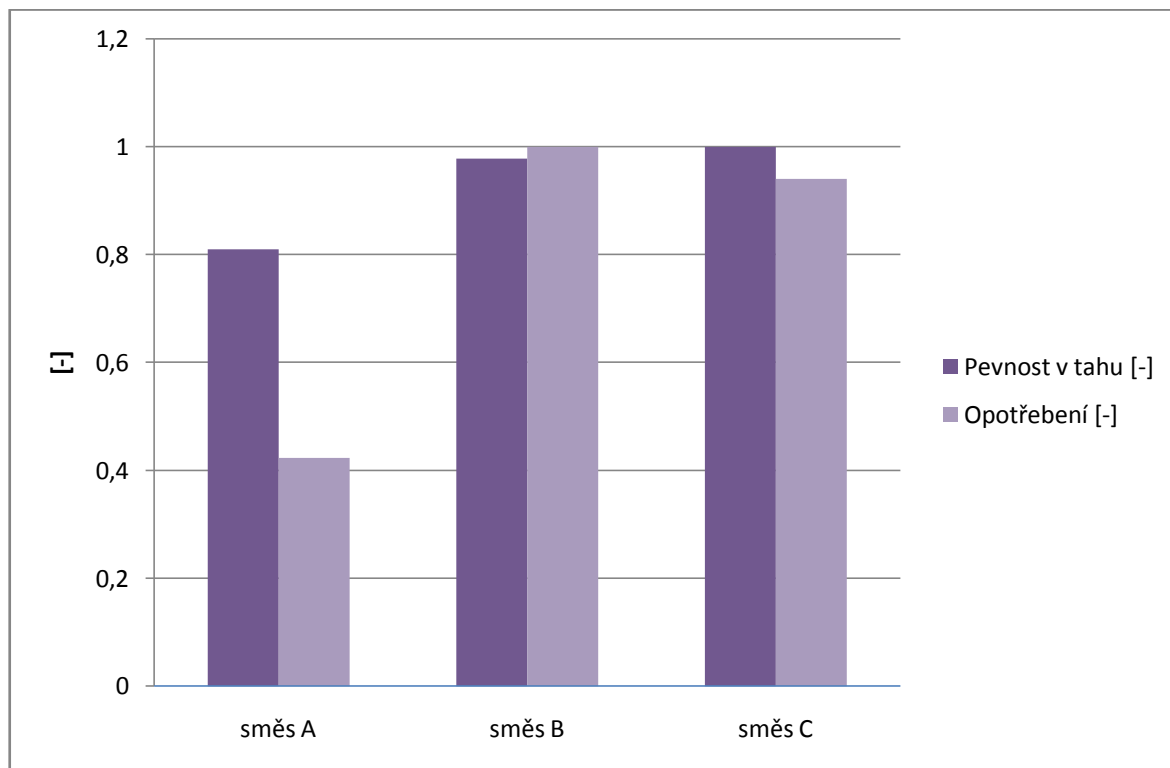
Cílem bakalářské práce bylo měření opotřebení (Chipping nad Chunking effect) u vybraných typů běhounových směsí určených pro silně namáhané mimosilniční pneumatiky. Byl proveden široký soubor měření standardních mechanických vlastností (tahové zkoušky, zkoušky strukturní pevnosti, zkoušky tvrdosti), které se běžně měří v laboratořích v průmyslové sféře. Byl hledán vliv (korelace) mezi opotřebením a mechanickými vlastnostmi, které ovlivňují chování běhounové směsi v reálných provozních podmínkách.

Soubory naměřených hodnot byly zpracovány a výsledky graficky znázorněny. Pro přehled a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, které jsou vyjádřeny jako poměr jednotlivých měření k maximální hodnotě dosažené v průběhu konkrétního měření.

Byl hledán vliv mechanických vlastností na opotřebení namáhaných pryžových směsí.

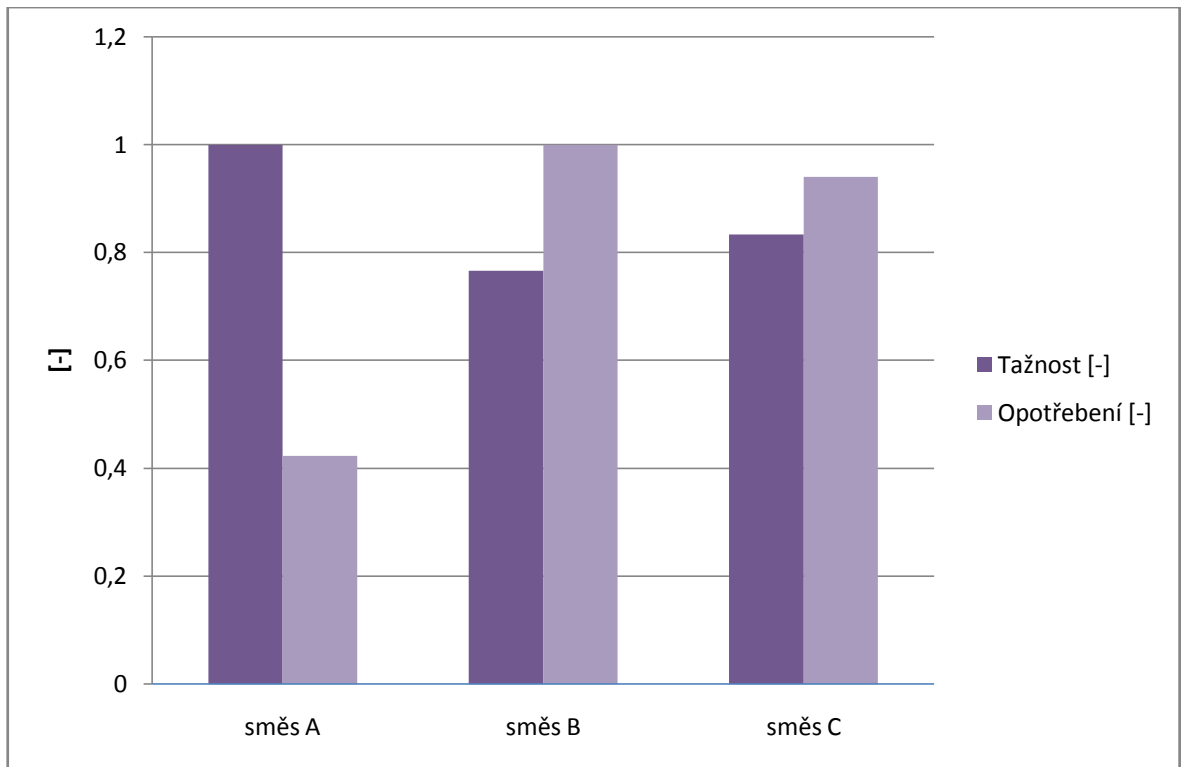
3.1 Vyhodnocení výsledků měření opotřebení

Pevnost v tahu



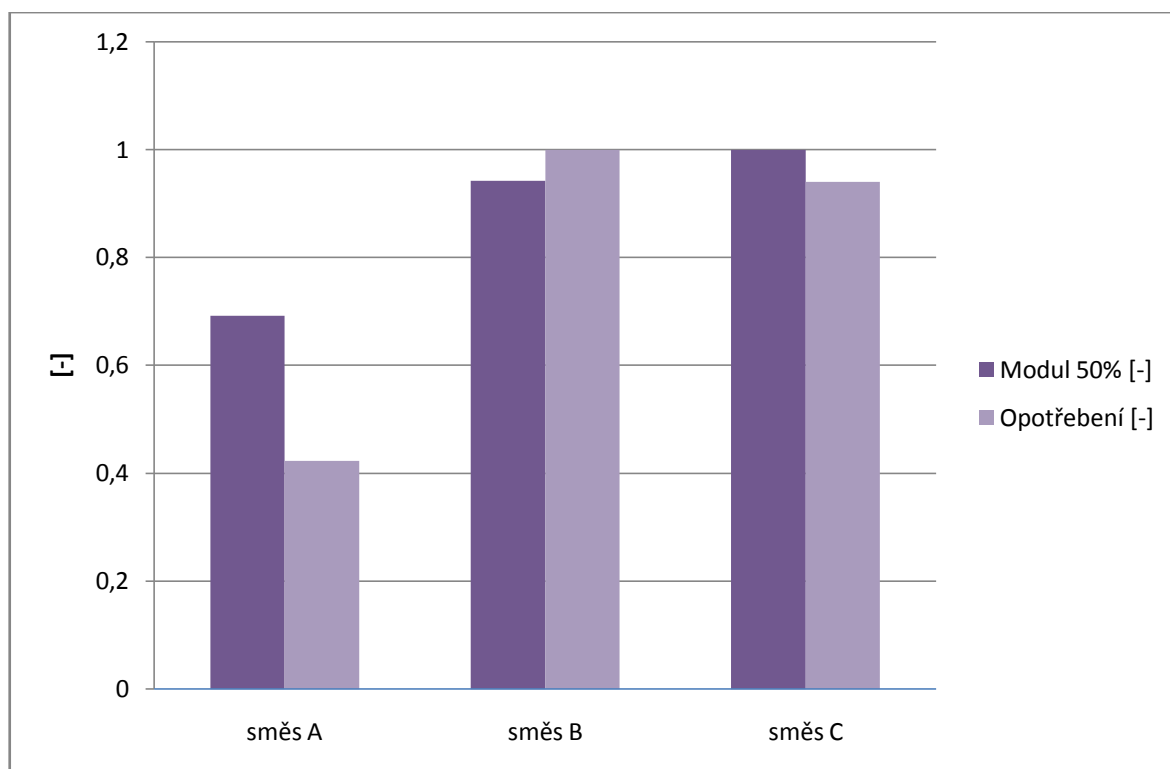
Obr. 25. Porovnání pevnosti tahu a opotřebení.

Porovnáním pevnosti v tahu s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 25), se ukázalo, že nejvyšších hodnot pevnosti v tahu dosáhla směs C a zároveň dosáhla druhé nejnižší hodnoty opotřebení. Nejnižších hodnot pevnosti v tahu dosáhla směs A, která má zároveň nejmenší míru opotřebení.

Tažnost a opotřebení

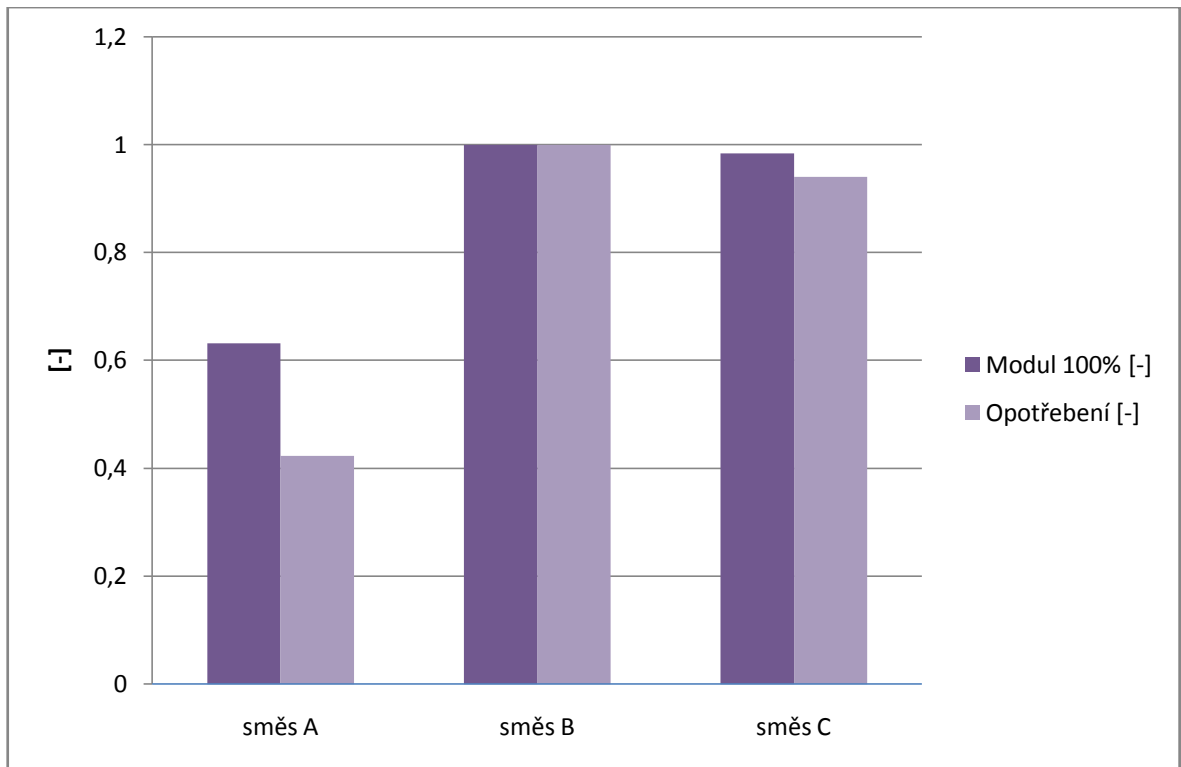
Obr. 26. Porovnání tažnosti a opotřebení.

Porovnáním tažnosti s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 26), bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot tažnosti dosáhla směs A, která má zároveň nejmenší opotřebení. Nejnižších hodnot tažnosti dosáhla směs B, která má zároveň největší opotřebení. Z uvedeného grafu vyplývá, že čím vyšší hodnoty tažnosti bude daná směs mít, tím více bude odolávat opotřebením. Naopak čím menší bude tažnost dané směsi, tím větší může být opotřebení.

Modul 50% a opotřebení

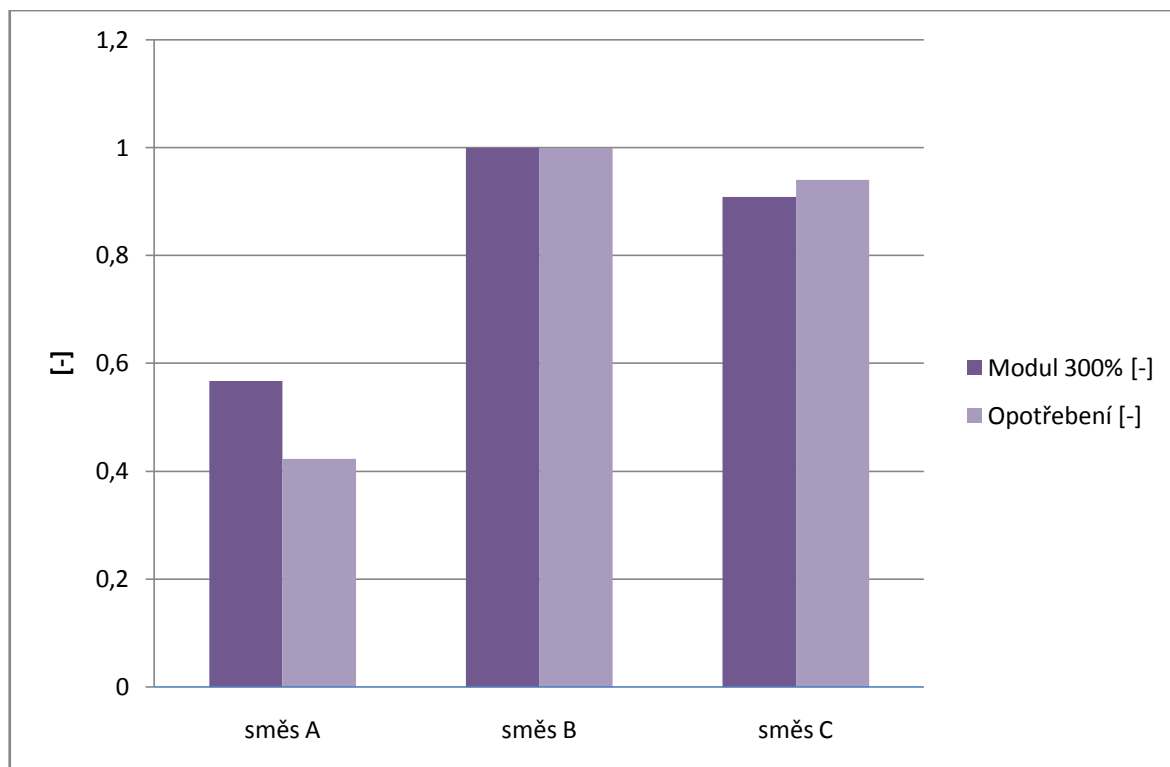
Obr. 27. Porovnání modulu 50% a opotřebení.

Porovnáním modulu 50% s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 27), bylo zjištěno, že nejmenších hodnot modulu 50% dosáhla směs A, která má zároveň i nejmenší opotřebení. Naopak nejvyšších hodnot modulu 50% dosáhla směs C s druhým nejmenším opotřebením.

Modul 100% a opotřebení

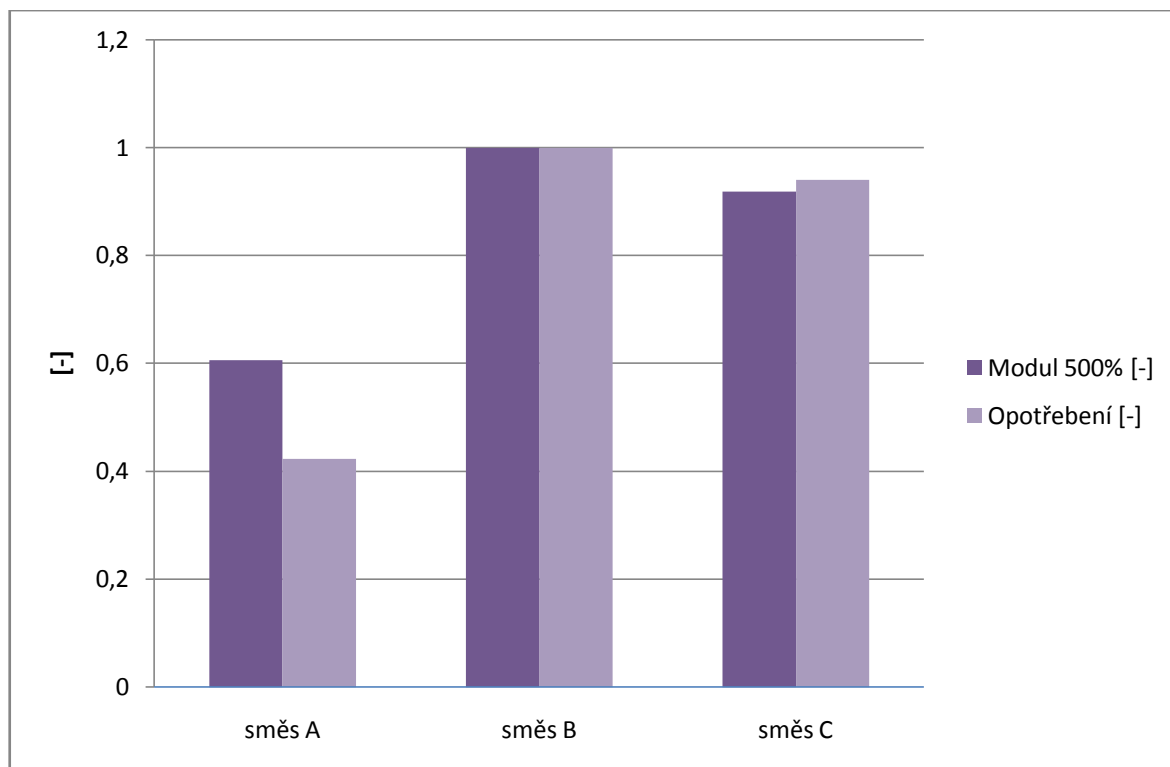
Obr. 28. Porovnání modulu 100% a opotřebení.

Porovnáním modulu 100% s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 28), bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot dosáhla směs B jak u modulu 100%, tak i u opotřebení. Nejmenších hodnot u opotřebení i u modulu 100% dosáhla směs A.

Modul 300% a opotřebení

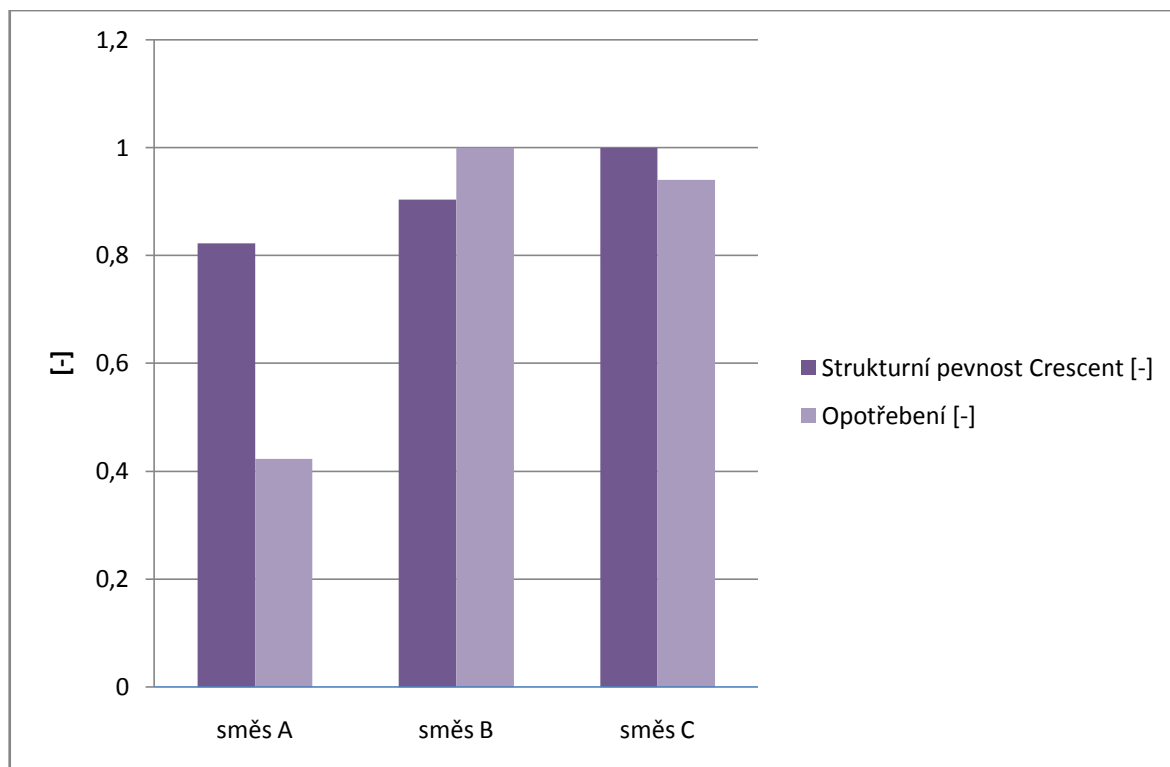
Obr. 29. Porovnání modulu 300% a opotřebení.

Porovnáním modulu 300% s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 29), bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot dosáhla směs B u modulu 300% a zároveň i u opotřebení. Nejnižších hodnot u opotřebení i modulu 300% dosáhla směs A.

Modul 500% a opotřebení

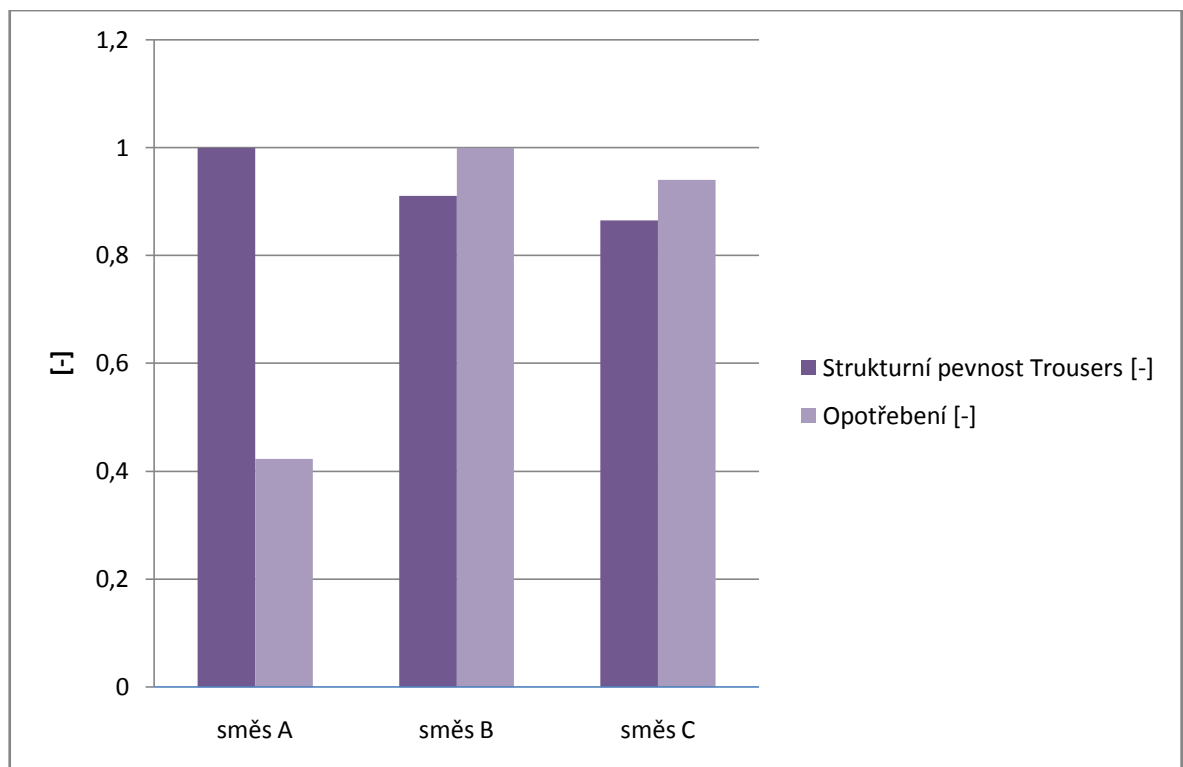
Obr. 30. Porovnání modulu 500% a opotřebení.

Porovnáním modulu 500% s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 30), bylo zjištěno, že stejně tak jako u modulu 300% nejvyšších hodnot v obou případech dosáhla směs B a nejnižších hodnot dosáhla směs A.

Strukturální pevnost Crescent a opotřebení

Obr. 31. Porovnání strukturální pevnosti Crescent a opotřebení.

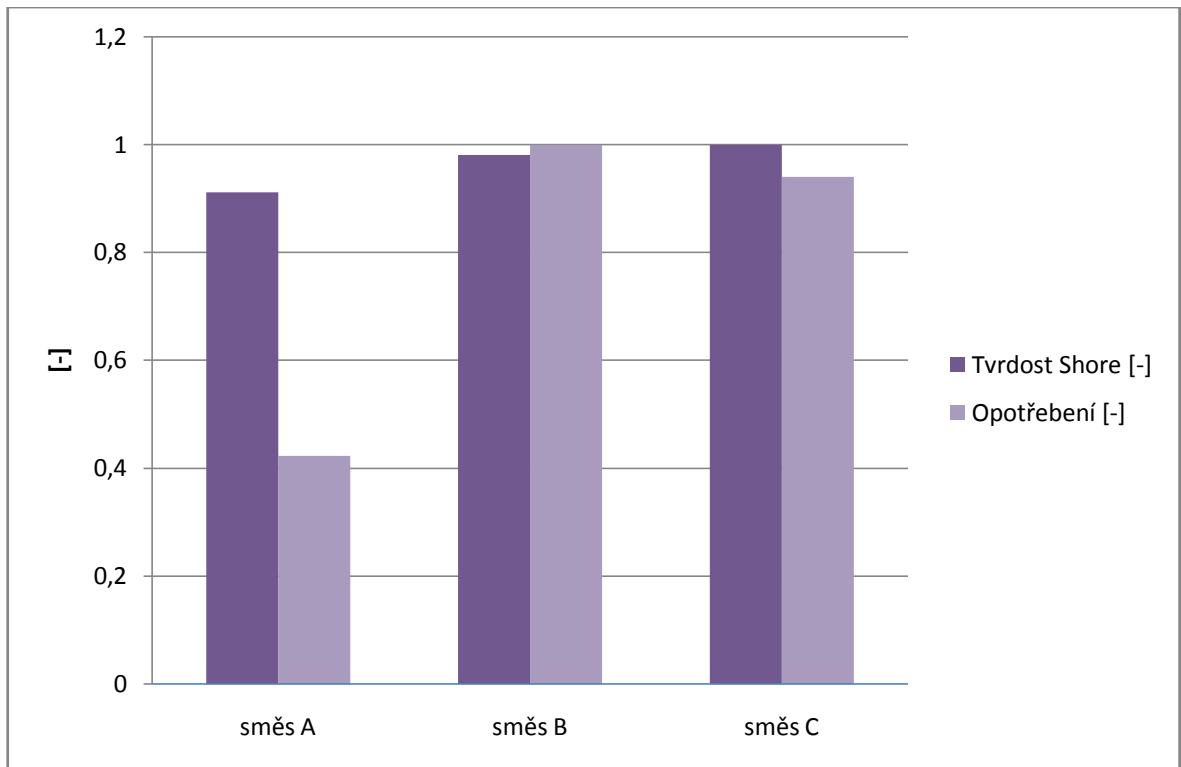
Porovnáním strukturální pevnosti Crescent s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 31), bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot strukturální pevnosti dosáhla směs C s druhým nejmenším opotřebením. Zatím co nejmenších hodnot u strukturální pevnosti i u opotřebením dosáhla směs A.

Strukturní pevnost Trousers a opotřebení

Obr. 32. Porovnání strukturní pevnosti Trousers a opotřebení.

Porovnáním strukturní pevnosti Trousers s opotřebováním, jak je vidět z grafu (Obr. 32), bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot strukturní pevnosti Trousers a nejmenšího opotřebení dosáhla směs A. Nejmenších hodnot u strukturní pevnosti dosáhla směs C s druhým nejmenším opotřebováním.

Tvrдост a opotřebenі



Obr. 33. Porovnání tvrdosti Shore a opotřebenі.

Porovnáním tvrdosti Shore A s opotřebením, jak je vidět z grafu (Obr. 33), bylo zjištěno, že nejnižších hodnot u tvrdosti Shore A i u opotřebení dosáhla směs A. Nejvyšších hodnot tvrdosti Shore A dosáhla směs C s druhým nejmenším opotřebením.

Proměnná	Korelace (Tabulka1)			
	Označ. korelace jsou významné na hlad. $p < ,05000$ N=15 (Celé případy vynechány u ChD)			
	Opotřebenі [g]			
Tah	0,92			
Taž	-0,89			
M50	0,93			
M100	0,96			
M300	0,95			
M500	0,61			
Strukklas	0,54			
Srktrou	-0,25			
Tvrđost SHORE	0,78			

Obr. 34. Korelační matice

ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývá hodnocením opotřebení běhounových směsí (A, B, C) mimosilničních pneumatik (Chipping and Chunking effect), pohybujících se v těžkých terénních podmínkách. Byl proveden soubor měření standardních mechanických vlastností (tahová zkouška, zkouška strukturní pevnosti, zkouška tvrdosti). Byl hledán vliv (korelace) mezi opotřebením a mechanickými vlastnostmi.

Z naměřených výsledků vyplynulo, že největší míra opotřebení byla naměřena u směsi B, zatímco nejmenšího opotřebení dosáhla směs A. Pokud se podíváme na vliv mechanických vlastností na míru opotřebení tak zjistíme, že největší korelace mezi opotřebením a standardně měřenými mechanickými vlastnostmi byla zjištěna u pevnosti v tahu, tažnosti, tvrdosti a jednotlivými moduly. Zde byl vypočten nejvyšší koeficient korelace.

V případě, že budeme navrhovat běhounovou směs, je nutné dbát na to, aby směs byla velmi pružná (poddajná), s nízkými hodnotami tvrdosti a modulů při jednotlivých procentech protažení. Taková směs bude velmi lehce kopírovat a obtékat nerovnosti jako jsou ostré hrany kamenů a kusů půdy. Naopak směs vykazující vysoké hodnoty pevnosti v tahu, nízké hodnoty tažnosti, vysoké hodnoty tvrdosti a modulů bude snadno náchylná k poškození při pohybu po nerovnostech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Pneu pneumatika pneumatiky: Historie pneumatik* [online]. 2007 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://pneu-pneumatika-pneumatiky.cz/?p=11>>.
- [2] *Agroweb: Internetový zemědělský portál: Z historie vývoje pneumatik* [online]. 2001 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z WWW: <http://www.agroweb.cz/Z-historie-vyvoje-pneumatik__s46x9380.html>.
- [3] *Pneuservis v Rokytnici, Poradce při výběru pneumatik, OMV dealer: Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky* [online]. 2012 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html#valeni/>>.
- [4] *České PNEU.cz: Technické informace* [online]. 2013 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.ceskepneu.cz/index.php?page=technicke-informace>>.
- [5] MARCÍN, Jiří. *Pneumatiky: Výroba, použití, údržba*. SNTL, 1976, 272 s. L 16 -B2-IV-41f/61881.
- [6] GREPLOVÁ, Kristýna. *Pneumatika jako rozhodující prvek podvozku závodního automobilu*. Brno, 2006. 37 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [7] *Autolexicon.net: Konstrukce pneumatik* [online]. 2009 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/konstrukce-pneumatiky>>. ISSN 1804-2554.
- [8] *Auta ve škole: Chemie v automobilu* [online]. 2010 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.autaveskole.cz/chemie>>.
- [9] MÍT, Jiří. *Opotřebení běhounových směsí*. Zlín, 2010. 72s. Bakalářská práce. Fakulta technologická UTB Zlín.
- [10] NOVÁK, Bc. Jan. *Opotřebení pryžových dílů*. Zlín, 2008. 96 s. Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- [11] *REAL PNEU s. r. o: Funkce pneumatiky* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.ralpneu.cz/13961/funkce-pneumatiky/>>.
- [12] *auto.iDNES.cz: Vývoj pneumatik je v režii počítačů* [online]. 2003 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z WWW: <http://auto.idnes.cz/automoto.aspx?c=A030704_162812_pneu_jim>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Konstrukce pláště pneumatiky. [4]	17
Obr. 2. Zóny a drážky běhounu [3].....	18
Obr. 3. Polyamidový nárazník [7]	19
Obr. 4. Nárazník [7].....	19
Obr. 5. Bočnice [7]	20
Obr. 6. Patní lanko [7]	20
Obr. 7. Výstužný pásek [7]	21
Obr. 8. Patka [7].....	21
Obr. 9. Kostra pláště [7].....	22
Obr. 10. Diagonální pneumatika [8]	23
Obr. 11. Radiální pneumatika [8]	24
Obr. 12. Značení na pneumatice [3]	25
Obr. 13. Porovnání pevností v tahu u jednotlivých směsí	36
Obr. 14. Porovnání tažností	37
Obr. 15. Porovnání modulů 50%	38
Obr. 16. Porovnání modulů 100%	39
Obr. 17. Porovnání modulů 300%	40
Obr. 18. Porovnání modulů 500%	41
Obr. 19. Porovnání strukturních pevností Crescent	42
Obr. 20. Porovnání strukturních pevností Trousers	43
Obr. 21. Porovnání tvrdostí Shore	45
Obr. 22. Schéma zařízení pro testování opotřebení.	46
Obr. 23. Porovnání opotřebení.....	47
Obr. 24. Zkušební tělesa pro zkoušku rychlého opotřebení.	48
Obr. 25. Porovnání pevnosti tahu a opotřebení.....	51
Obr. 26. Porovnání tažnosti a opotřebení.	52
Obr. 27. Porovnání modulu 50% a opotřebení.	53
Obr. 28. Porovnání modulu 100% a opotřebení.	54
Obr. 29. Porovnání modulu 300% a opotřebení.	55
Obr. 30. Porovnání modulu 500% a opotřebení.	56
Obr. 31. Porovnání strukturní pevnosti Crescent a opotřebení	57
Obr. 32. Porovnání strukturní pevnosti Trousers a opotřebení	58

Obr. 33. Porovnání tvrdosti Shore a opotřebení.	59
Obr. 34. Korelační matice.....	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Tahová zkouška	36
Tab. 2. Tažnost.....	37
Tab. 3. Modul 50%	38
Tab. 4. Modul 100%	39
Tab. 5. Modul 300%	40
Tab. 6. Modul 500%	41
Tab. 7. Strukturální pevnost Crescent.....	42
Tab. 8. Strukturální pevnost Trousers.....	43
Tab. 9. Tvrdost Shore	45
Tab. 10. Opatření	47

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD-ROM obsahující plný text práce

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY