

Testování opotřebení běhounových směsí s různým obsahem plniv

Bc. Tomáš Hrabal

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Hrabal**
Osobní číslo: **T12433**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Testování opotřebení běhounových směsí s různým obsahem plniv**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. David Maňas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

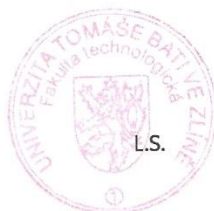
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby 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. 2014

.....


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

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení 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 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 diplomová práce je zaměřena na opotřebení běhounových směsí pneumatik. Tyto pneumatiky jsou určeny pro vozidla, které pracují ve velmi náročných terénních podmínkách, jako jsou například nákladní a stavební vozidla a stroje. Teoretická část diplomové práce se zabývá popisem pneumatiky, jejími hlavními částmi, surovinami pro jejich výrobu a v neposlední řadě procesy opotřebení a metodami testování opotřebení běhounových směsí. Jelikož se tyto pneumatiky pohybují v náročném terénu, jsou vystaveny velkému opotřebení. Mechanismus opotřebení takto namáhaného běhounu je zcela jiný než u pneumatik, které se odvalují na silnicích. Praktická část se tedy zabývá mechanickými vlastnostmi běhounových směsí, které jsou reálně průmyslově vyráběny. Dále byl u těchto směsí proveden rychlý test opotřebení na přístroji Chip – Chunk, který simuluje náročné terénní podmínky. Závěr práce je završen vyhodnocením výsledků a následným srovnáním mechanických vlastností a opotřebení.

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

ABSTRACT

This thesis is aimed at wear of tread tire compounds. These tires are designed for the vehicles which work in very difficult terrain conditions, such as trucks and construction vehicles and equipment. The theoretical part of the thesis deals with the description of the tire, its main parts, raw materials for their production and last but not least wear processes and methods of testing the wear of tread compounds. Since these tires move in the difficult terrain, are exposed to high wear. The mechanism of wear of stressed tread is completely different than the tires, which roll on roads. The practical part also deals with the mechanical properties of tread compounds, which are industrially made. Further in these compounds was made the quick test of wear on the machine Chip-Chunk, which simulates difficult terrain conditions. The end of the thesis is completed by evaluating results and comparing of mechanical properties and wear.

Keywords: Wear, tread, rubber, tire, mechanical properties, testing, Chip – Chunk.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, velkou ochotu, rady a připomínky a v neposlední řadě za důležité informace, které mi poskytl při vypracování jak teoretické, tak i praktické části diplomové práce. Samozřejmě bych chtěl poděkovat i zaměstnancům univerzitní knihovny ve Zlíně za ochotu a zapůjčení odborné literatury, ze které jsem čerpal mnoho informací. Mino jiné děkuji za podporu při celém studiu i své rodině a přítelkyni.

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

Ve Zlíně 5. 5. 2014

.....


OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HISTORICKÝ VÝVOJ PNEUMATIKY	12
2 PNEUMATIKA	16
2.1 FUNKCE PNEUMATIK.	16
2.2 HLAVNÍ ČÁSTI PLÁŠTĚ PNEUMATIK	17
2.2.1 Běhoun	18
2.2.2 Polyamidový (PA) nárazník	20
2.2.3 Nárazník	20
2.2.4 Bočnice.....	21
2.2.5 Kostra pláště.....	22
2.2.5.1 Radiální pneumatika	23
2.2.5.2 Diagonální pneumatika	24
2.2.5.3 Semiradiální pneumatika	25
2.2.6 Vnitřní pryžová vrstva.....	26
2.2.7 Patka	26
2.2.8 Patní lanko.....	27
2.2.9 Výztužný pásek	28
3 MATERIÁLY PRO VÝROBU PNEUMATIK	29
3.1 KAUČUK.....	29
3.1.1 Přírodní kaučuk	29
3.1.2 Syntetický kaučuk	30
3.2 PŘÍSADY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	30
3.2.1 Plniva.....	31
3.2.1.1 Saze	31
3.2.1.2 Minerální plniva.....	31
3.2.2 Vulkanizační činidla.....	32
3.2.3 Urychlovače vulkanizace	32
3.2.4 Retardéry vulkanizace	33
3.2.5 Změkčovadla	33
3.2.6 Antioxidanty a antiozonanty	33
3.2.7 Pigmenty	34
3.2.8 Nadouvadla	34
3.3 VÝSTUŽNÉ MATERIÁLY	35
3.3.1 Přírodní vlákna	35
3.3.1.1 Kordová tkanina.....	35
3.3.1.2 Bavlněná kordová tkanina	35
3.3.1.3 Kordová tkanina z viskózového hedvábí	36
3.3.2 Chemická vlákna	36
3.3.2.1 Kordová tkanina z polyamidových přízí.....	36
3.3.2.2 Polyesterové hedvábí	36
3.3.2.3 Vysokomodulová organická vlákna.....	37
3.3.3 Hutnická vlákna	37
3.3.3.1 Ocelová vlákna- kordy.....	37
4 ZKOUŠKY PNEUMATIK	38

4.1	ROZDĚLENÍ ZKOUŠEK	38
4.2	ODĚR PLÁŠTĚ PNEUMATIK.....	39
4.2.1	Oděr při vlečném pohybu.....	39
4.2.1.1	Vlastní oděr.....	39
4.2.1.2	Oděr provázený vznikem brusných obrazců.....	41
4.2.2	Oděr při valivém pohybu	42
4.3	OPOTŘEBENÍ PLÁŠTĚ PNEUMATIK.....	43
4.3.1	Zkoušky opotřebení.....	43
4.3.1.1	Metoda Bussen-Schlobach.....	45
4.3.1.2	Metoda du Pont-Graselli.....	46
4.3.1.3	Metoda Akron-Crodyon.....	47
4.3.1.4	Metoda Dunlop-Lambourn	47
4.3.1.5	Dry sand – rubber wheel test (DSRW).....	48
II CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE		50
III PRAKTICKÁ ČÁST		52
5	MECHANICKÉ VLASTNOSTI A OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ	53
5.1	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTI.....	53
5.1.1	Tahová zkouška.....	53
5.1.2	Zkouška strukturní pevnosti.....	63
5.1.3	Zkouška tvrdosti.....	66
5.2	ZKOUŠKA OPOTŘEBENÍ.....	68
5.2.1	Rozměry a tvar zkušební tělesa.....	69
5.3	ANALÝZA OPOTŘEBENÍ	70
5.3.1	Podmínky experimentu	70
6	DISKUSE VÝSLEDKŮ	73
6.1	SROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ A OPOTŘEBENÍ	74
6.1.1	Tah a opotřebení 90s	74
6.1.2	Tažnost a opotřebení 90s.....	75
6.1.3	Modul 10 a opotřebení 90s.....	76
6.1.4	Modul 20 a opotřebení 90s.....	77
6.1.5	Modul 50 a opotřebení 90s.....	78
6.1.6	Modul 100 a opotřebení 90s.....	79
6.1.7	Modul 200 a opotřebení 90s.....	80
6.1.8	Modul 300 a opotřebení 90s.....	81
6.1.9	Modul 500 a opotřebení 90s.....	82
6.1.10	Strukturní pevnost KL a opotřebení 90s	83
6.1.11	Strukturní pevnost TR a opotřebení 90s.....	84
6.1.12	Tvrdost Shore A a opotřebení 90s.....	85
6.1.13	Tah a opotřebení 180s	86
6.1.14	Tažnost a opotřebení 180s.....	87
6.1.15	Modul 10 a opotřebení 180s.....	88
6.1.16	Modul 20 a opotřebení 180s.....	89
6.1.17	Modul 50 a opotřebení 180s.....	90
6.1.18	Modul 100 a opotřebení 180s.....	91
6.1.19	Modul 200 a opotřebení 180s.....	92
6.1.20	Modul 300 a opotřebení 180s.....	93

6.1.21	Modul 500 a opotřebenění 180s.....	94
6.1.22	Strukturní pevnost KL a opotřebenění 180 s	95
6.1.23	Strukturní pevnost TR a opotřebenění 180 s.....	96
6.1.24	Tvrdost Shore A a opotřebenění 180s.....	97
6.1.25	Korelační matice	98
ZÁVĚR		99
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		100
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		102
SEZNAM OBRÁZKŮ		103
SEZNAM TABULEK.....		105

ÚVOD

Plastikářský a gumárenský průmysl má v České republice velice dlouholetou tradici a patří mezi průmyslové odvětví, které se stále drží a rozvíjí. [1]

Plastikářský průmysl se člení na velmi vysoký počet sektorů, které zpracovávají polymery pro široké spektrum aplikací. Polymerní výrobky nacházejí stále větší využití a v dnešní době nahrazují mnoho jiných materiálů. Tyto materiály se nepoužívají jen pro předměty běžné potřeby, přístroje pro domácnost, obaloviny pro průmyslové výrobky i potraviny, ale nachází stále širší uplatnění ve stavebnictví, elektrotechnice a elektronice, strojírenství a automobilovém průmyslu a samozřejmě i ve zdravotnictví. [1]

V obou těchto průmyslových oblastech je zaznamenán nárůst, ale větší podíl na celkové produkci má gumárenský průmysl. Gumárenský průmysl jako jeden z mála průmyslových odvětví vykazuje stabilní meziroční nárůst výroby, přičemž vysoce překračuje průměrné hodnoty růstu. Největší zásluhu na tomto rozvoji a růstu má právě výroba pneumatik, protože hlavní roli hraje zejména spotřeba surovin. [1]

Jelikož má pneumatika v automobilovém průmyslu své nezastupitelné místo, tak proto velmi záleží na její kvalitě. O smyslu gumárenského průmyslu pro hospodářství České republiky hovoří i fakt, že mezi největší výrobce pneumatik patří firmy jako např. Barum, Continental, Mitas, Peguform. [2]

Pneumatiky jsou velice významnou součástí běžného života dnešní společnosti. Většina dopravních prostředků by se dnes bez pneumatik neobešla, od jízdních kol, přes motocykly, traktory, osobní a nákladní automobily, trolejbusy, letadla atd. až po různé zemědělské stroje a stroje pracující ve velmi těžkých terénních podmínkách. [2]

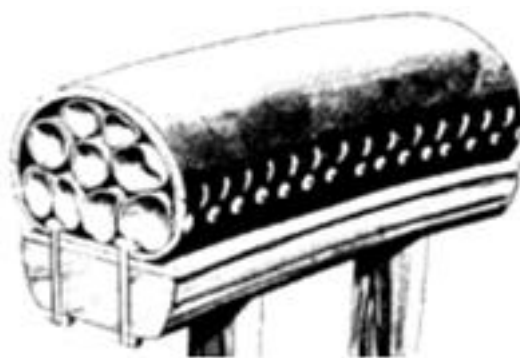
Stupeň technologie výroby i jakost konečných výrobků (pneumatik) bývá do značné míry závislá na zkušebních metodách, kterými se kontrolují jednotliví ukazatelé. Zkušební metody by měly mít na paměti především konečný cíl, kterým je výrobek a účel použití výrobku. Tyto důvody vedly k požadavku, aby pro opotřebení silně namáhaných běhounových směsí pneumatik vozů, pohybujících se v extrémních mimo silničních povrchových podmínkách, byly zavedeny nové zkušební metody pracující s jiným způsobem opotřebení, než jsou běžné silniční a laboratorní zkoušky založené na tření pryže. Metoda prováděná ve světě pod názvem Chip-Chunk, nám simuluje náročné terénní podmínky. Tato metoda je typická tím, že místo obrušování běhounu dochází k postupnému vylamování a vykrajování kousků běhounové části ostrými hranami kamenů a dalšími terénními nerovnostmi. [3]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORICKÝ VÝVOJ PNEUMATIKY

Vývoj pneumatiky sahá do 19. století, přičemž objev kola byl zaznamenán už v roce 3500 př. n. l. a pochází z Mezopotámie. Od této doby prošlo kolo obrovskou přeměnou, od těžkých hliněných kol či tuhých dřevěných kol vozů až po pružná, spolehlivá a lehká kola dnešních dopravních prostředků. V roce 1839 Američan Charles Goodyear objevil vulkanizaci, když mu údajně spadl kousek gumy na rozpálená kamna. Po tomto objevu se začaly používat tvrdé obruče z pryže, které měly zmírnit otřesy tuhého kola. [4,5]

Pneumatika byla vynalezena v roce 1845 a jako první si ji nechal patentovat R.W. Thomson, když se pokoušel zmírnit vibrace vozu na tuhých kolech. R.W. Thomsonův patent na „pružný nosný element“, který se skládal především z dutého železa, z hmoty nepropustné vodu a vzduch a ze sířeného kaučuku, jež byl nasazen na obvod kola dopravního prostředku.



Obr. 1 Konstrukce první pneumatiky [4]

Tři roky na to, tedy v roce 1888 irský zvěrolékař J.B. Dunlop si nechal patentovat původní pneumatiku, jež rozdělil na dvě části: na duši a plášť. Kolem roku 1867 se začaly používat plné pryžové obruče, které v roce 1873 aplikoval Amédée Bolée u parního omnibusu. V roce 1904 byl už použit plochý běhoun, do kterého o rok později byl vyřezán dezén. Od roku 1924 byly již používány kordové vrstvy v kostře pneumatiky. V roce 1936 byl použit ocelový kord do nárazníkové vrstvy pneumatiky. V roce 1949 byla uvedena na trh pneumatika s označením „X-Tire“, což byla první radiální pneumatika, vyráběná firmou Michelin. V roce 1951 byla radiální pneumatika aplikována také na kolech nákladních automobilů. V roce 1950 byl ukončen vývoj bezdušové pneumatiky, v roce 1976 byl použit aramidový kord pro výrobu pneumatik (kevlar). [4,5]

Vývoji pneumatik předchází objev kola. Jak už bylo zmíněno na začátku, objev kola byl datován už v roce 3500 př. n. l., kdy bylo kolo použito jako hrnčířský kruh. Ale až 2000 let poté v Egyptě bylo kolo použito pro dvoukolový vůz. [4,5]

V roce 1459 byl sestrojen pro císaře Maxmiliána vůz s dvojitým dřevěným kolem o průměru 6 metrů. Pohyb vozu byl zprostředkován tak, že po obvodu kol byla umístěna podlaha, po které chodili jeho sloužící. Postupem času se objevovaly čtyřkolové kočáry poháněné lidskou silou pomocí systému pák a ozubených převodů. Po objevu parního stroje zkonstruovaného Denisem Papinem (1698) a následném vylepšením Jamesem Watterem, která umožnila jeho průmyslové využití, byla k pohonu vozů využita pára. K pohonu vozů byla použita dřevěná kola s hladkým běhounem. Jelikož byl běhoun velice tuhý, tvrdý a neměl pružné, tlumící a přilnavé vlastnosti, byla jízda velice nepohodlná dokonce i nebezpečná při nízkých rychlostech. První náznak „vroubkovaného dezénu“ kola se objevil u Cugnotova parního automobilu, který byl veřejně předveden v Paříži roku 1769. [4,5]



Obr. 2 Cugnotův parní vůz [5]

Angličan William Henry James učinil v dopravě velký technický pokrok, když namontoval na každé z kol jeden samostatný parní stroj, dále použil na svůj vůz celoeliptická listová pera, která rapidně zvýšila pohodlí vozu. Takže na světě byl již první vůz, který měl nezávislý pohon jednotlivých kol, což byla výhoda hlavně v zatáčkách. Podle směru zatáčení dodávaly přírodní ventily více páry kolům na protější straně vozu. Ve 30. letech 19. století se začaly objevovat běhouny tvořené silným pásem plsti, která byla připevněna na dřevěnou obruč kola. Tyto běhouny zčásti tlumily rázy, ale hlavní výhodou byl nárůst součinitele tření mezi kolem a povrchem vozovky. V roce 1886 si nechal Karl Benz patentovat jednoválcovou tříkolku, což mělo za následek novou éru v automobilovém průmyslu. [4,5]

Gumárenská směs byla navulkanizována do žlábků kola, tím pádem nedocházelo v takové míře k jejímu oddělování, jako dříve a také byl běhoun v ramenní části zaoblen. Kola byla vyráběná z oceli, jež náboj s ráfkem byl spojen tenkými loukotěmi. V roce 1889 zkonstruoval Gottlieb Daimler velice sofistikovaný vůz, který měl čtyřstupňovou převodovku opatřenou diferencíalem. Celé auto bylo postaveno na ocelovém podvozku svařeném z trubek. Zásluhou diferenciálu nedocházelo k tak velkému oděru běhounů o povrch vozovky a díky tomu životnost kol výrazně stoupla. Tyto kola nebyla stále opatřena dnešními pneumatikami, jednalo se spíše o pryžové obruče. V roce 1891 se v Paříži prosadila firma Dunlop, která představila své pneumatiky. Ve stejnou dobu bratři Michelinové zahájili vlastní vývoj pneumatik. Když testovali plnopryžové obruče, zjistili, že v kolech praskaly dráty. Po zavedení pneumatik tento problém ustál, dokonce se mohly použít dráty o třetinovém průměru, než u kol s plnými obručemi. Automobil francouzské značky Peugeot byl prvním, jež vyjel v Evropě na těchto pneumatikách. Jak je vidět z historických dat, pneumatiky prošly od svého vzniku mnohými změnami. Jedna z nejdůležitějších změn byla v konstrukci pneumatik. Diagonální konstrukce pneumatiky byla vytlačena radiální konstrukcí. Velikou změnou bylo zavedení ocelových kordů v nárazníkové vrstvě a v oblasti patky. Samozřejmě značný pokrok prodělalo i složení směsi pneumatik, resp. směsí v různých částech pneumatiky a v použití materiálu výstužných vláken. Vývoj nových pneumatik probíhá neustále. [4,5]

Michelin, jeden z nejstarších výrobců pneumatik, se již dlouhou dobu zabývá vývojem nových řešení v oblasti pneumatik. Hned několik způsobů nabízí Michelin při řešení rizika defektu, které je od nepaměti problémem klasické pneumatiky. Nejsnazším způsobem je na první pohled eliminace stlačeného média uvnitř pneumatiky (vzduch nebo jiný plyn). Název „Tweel“, který tato pneumatika dostala, je složeninou slov Tire (pneumatika) a Wheel (kolo). Ráfek kola je tvořen pryžovými radiálně uspořádanými lamelami, které spojují pryžový běhoun s diskem. Tyto lamely nahrazují stlačené médium v klasické pneumatice. Michelin předpokládá, že díky této konstrukci dojde k výraznému zlepšení řady vlastností současných pneumatik, protože radiální i boční tuhost přesahují hranice možností klasických plášťů. Boční tuhost, která je pětikrát větší než u běžné pneumatiky, značně zlepšila reakce automobilu na pohyby volantu. [7]

Tato kola jsou stále ve vývoji a do komerčního prodeje pro osobní vozidla se zatím nedostala. [7]



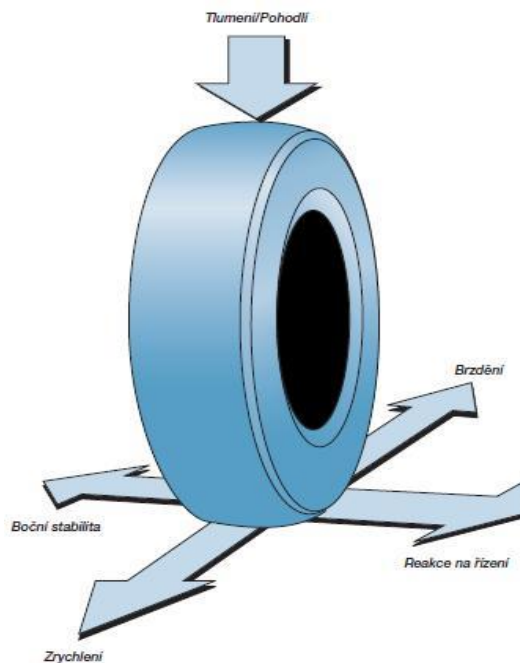
Obr. 3 Kolo Tweel firmy Michelin [7]

2 PNEUMATIKA

Pokud se podíváme na pneumatiku z geometrického hlediska, tak tvoří uzavřený prstenec neboli toroid. Z jiného pohledu se můžeme dívat na pneumatiku jako na tlakovou nádobu, jež stěny této nádoby jsou z pružné membrány. Pneumatika je velice složitý systém a z hlediska výroby ji považujeme za kompozit, tvořený z mnoha makromolekulárních materiálů a oceli. [8]

2.1 Funkce pneumatik.

Jako každý jiný výrobek i pneumatika má nějakou funkci a hraje významnou roli ve správné funkci automobilů. Automobil je složen z mnoha součástek, které mají většinou jen jednu funkci. Pneumatiky, ačkoliv vypadají na první pohled jako jednoduché součásti, se od ostatních součástek liší právě tím, že zastávají hned několik funkcí najednou. Pneumatika v prvé řadě nese váhu auta, snižuje nárazy a k tomu ještě navíc zajišťuje sílu pohonu, brzd a řízení auta a samozřejmě by měla mít dobrou adhezi k vozovce i za různých klimatických podmínek. Aby pneumatika splnila všechny tyto funkce, musí být konstruována jako pružný vzduchový prstenec. K udržení stlačeného vzduchu v pneumatice se někdy používá duše. Samotná duše nevydrží tak vysoký tlak, který by unesl poměrně vysokou váhu automobilu. Dalším problémem je, že by nesnesla sílu jakéhokoliv povrchového poškození a nárazy způsobené řízením. Tyto nedostatky odstraní plášť pneumatiky. [9]

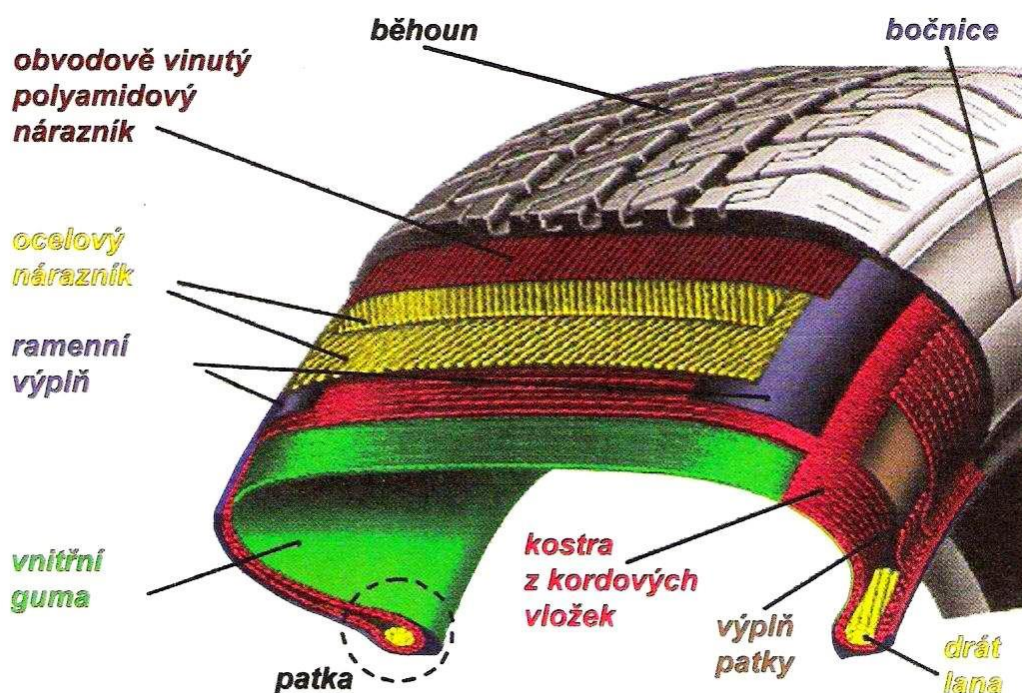


Obr. 4 Síly působící na pneumatiku [9]

Vnitřní vrstva neboli kostra pneumatiky chrání duši, která obsahuje vysoce stlačené médium a nese svislé zatížení. Větší část pryže se nabalí k ploše pneumatiky, jež je ve styku se silnicí, aby tak snášela vnější poškození. Vzorčky dezénu pláště se vybírají v různém provedení a tvaru, záleží na typu vozidla a povrchu vozovky. Bezpečnost nasazení pneumatiky na ráfek vozidla zaručuje konstrukce pneumatiky. V dnešní době je vývoj automobilů na takové úrovni, že vlastnosti a výkony pneumatik musí být stále komplexnější a různorodé.[9]

2.2 Hlavní části pláště pneumatik

Veškeré pneumatiky se skládají ze tří hlavních dílů: 1) pryž (80–85%), 2) různá vlákna (12–15%) a 3) ocelový kord (2–3%) Pneumatika je vyztužený pryžový kompozit, který je složen z mnoha materiálů. Na obrázku (obr. 3) jsou vidět hlavní části pláště pneumatiky, jak pro osobní, tak i pro nákladní automobily. [10]



Obr. 5 Konstrukce pláště pneumatiky [11]

Jak už bylo řečeno, pneumatika se skládá z mnoha komponentů, jež každý z nich má určitou funkci a pro správný chod jsou tyto části velice důležité a nenahraditelné. Nyní se podíváme na jednotlivé části pneumatiky, jež hrají významnou roli při konstrukci a následném používání pneumatiky.

2.2.1 Běhoun

Běhoun je část pláště, který je opatřen vzorkem neboli dezénem, jež je v přímém kontaktu s vozovkou. Zásadní vliv na zahřívání pneumatiky má tloušťka běhounu, proto se volí co nejtenčí. Ale při konstrukci běhounu většinou 80% tvoří vzorek s drážkou a zbylých 20% tvoří zbytek běhounu. Tento poměr platí jen u osobních aut, u nákladních aut je běhoun konstruován s možností dalšího prořezání dezénu. V praxi většinou bývá plášť tvořen dvouvrstevným běhounem. Výhodou dvouvrstevného běhounu je, že vrchní vrstva má velmi vysokou odolnost vůči opotřebení, zatímco spodní vrstva je konstruována z nejmenšími hysterezními ztrátami při dynamickém namáhání. [10]

Hystereze je přímo úměrná teplotě pneumatiky, což znamená, že nízké hysterezní ztráty mají za následek nízké teplotní namáhání pneumatiky. Vnější část musí zajišťovat vysokou životnost s dostatečnou adhezí na vozovce a vnitřní část má za úkol snížit valivý odpor a chránit kostru a nárazník před mechanickým poškozením pneumatiky. Hlavním úkolem běhounu je právě dostatečná adheze na všech druzích povrchů a za různých klimatických podmínek. Tvar drážek a rozmístění segmentů na běhounu má své oprávnění a je výsledkem usilovného zkoumání a dlouholetého vývoje a testování. [10]



Obr. 6 Běhoun [12]

Na obrázku (obr. 6) jsou vidět drážky a segmenty běhounu. Vnější drážky (1) jsou nejvíce namáhány při zatáčení. Jsou tvořeny tuhými, maximálně pevnými bloky, které mají zabezpečit co nejlepší jízdní stabilitu automobilu a přesné a bezpečné ovládání vozidla. Vnitřní zóna (2) díky příčným drážkám (4) má lepší účinek záběru na sněhu a je konstruována tak, aby dokázala zajistit dostačující odvod vody při jízdě na mokrých vozovkách. Čtyři obvodové drážky (3) musí zajistit dobré držení směru jízdy a jsou velmi důležité při odvodu vody ze styčné plochy pneumatiky. Příčné drážky (4) se nachází ve výrazně tangenciálním směru ke směru jízdy vozidla. Technologie různě širokých segmentů ve vnitřní i vnější zóně (5) částečně snižuje hluk, který vzniká při odvalování. Hustý výskyt lamel (6) zvyšuje záběrové a brzdící účinky pneumatiky. [10]



Obr. 7 Zóny a drážky na běhounu [10]

Pokud se vozidlo akceleruje nebo brzdí, dochází v místě s vozovkou k rozevření lamel a vznikne tak spousta záběrových hran, jež mají za následek lepší adhezní schopnosti pneumatiky hlavně na mokré a zledovatělé vozovce. Přítomnost lamel zapříčiňuje, že při jízdě na mokré vozovce se lamely rozevřou a do vzniklých dutin se dostane voda a tím pádem se zmenší objem vody, který je nežádoucí a je nutno ho odvézt ze styčné plochy pneumatiky s vozovkou. Při přenosu bočních sil je situace opačná. Lamely jednoho bloku do sebe zaseknou a nerozevřou se. Takto zaseknuté dva bloky mají daleko vyšší tuhost, která zajišťuje lepší boční stabilitu a nízké opotřebení. Rozhodujícím faktorem vlastností pneumatik je tedy velikost, tvar, počet a rozmístění lamel na pneumatice. [10]

2.2.2 Polyamidový (PA) nárazník

Další důležitou částí, která se nachází pod běhounem, je polyamidový nárazník. Je umístěn nad ocelovým nárazníkem a bývá také označován jako překrývající nárazník. Kordy PA nárazníku jsou uloženy příčně ve směru odvalování. Většinou se pokládá v jedné nebo dvou vrstvách. Jelikož je spodní část běhounu vyztužena, nedochází při velmi vysokých rychlostí k obvodové deformaci pneumatiky. Také snižuje valivý odpor při pohybu pneumatiky. [10]



Obr. 8 PA nárazník [12]

2.2.3 Nárazník

Jelikož samotný PA nárazník nemá dostatečnou pevnost, nachází se pod ním ještě ocelový nárazník. Jedná se o pryží obalený vysoko pevnostní ocelový kord s kordovými vlákny uloženými ve vrstvách ke směru odvalování. Tyto vrstvy jsou na sebe skládány a kordy svírají malý úhel (15° - 20°). U nákladních a mimo silničních vozidel jsou kladeny vyšší požadavky na pevnost pláště, a z tohoto důvodu většinou obsahují tři až čtyři nárazníkové vrstvy. Pneumatiky pro osobní vozidla mívají jen dvě vrstvy. Ocelové kordy drží tkaninu pláště a spolu tak tvoří vyztužené trojúhelníky, které objímají plášť po celém jejím obvodu. Plní složitou funkci, která spočívá ve velké pevnosti obvodu pneumatiky a tím pádem nemůže dojít odstředivou silou k natažení pláště. Takto si zachovává pneumatika svůj průměr, aby dokázala odolávat tlakům a namáhání při změně směru jízdy, musí být kordy pevné i v příčném směru za všech okolností. [10]

Nárazník tedy zajišťuje dostatečnou životnost pneumatiky, stabilizuje běhoun, chrání před hlubokým poškozením kostry pláště a v neposlední řadě má velký vliv na snížení valivého odporu. [10]



Obr. 9 Nárazník [12]

2.2.4 Bočnice

Přenos sil z ráfku kola na pneumatiku zajišťuje bočnice. Je vyrobena z přírodního kaučuku, jež je pevný v tahu, odolný časově i proti vzniku a růstu trhlin. Nepodléhá stárnutí a vydrží mnohonásobný ohyb. Bočnice zajišťují pružící, tlumící funkci a též stabilitu vozidla za jízdy. Spojuje patky pláště s běhounem. V dnešní době jsou moderní nízko profilové pneumatiky, které mají velmi nízké stěny. Nízko profilové pneumatiky tedy dosahují lepší stability vozidla a zlepšují se také jízdní vlastnosti. [10]



Obr. 10 Bočnice [12]

Na bočnici nalezneme všechny údaje identifikující daný plášť, od výrobce až po rozměry pláště. [10]



Obr. 11 Údaje na bočnici [10]

2.2.5 Kostra pláště

Základní část pláště je kostra, která je složená z vložek tvořených kordovými vlákny. Tyto vložky jsou upevněny kolem patních lan. Stavba a složení kostry definuje základní vlastnosti pláště. Kordová vlákna jsou jednou z nejdůležitějších částí kostry, jež jsou kladena napříč směru jízdy a ohnutá kolem bočních výztuh. Během vývoje plášťů se neměnil jen materiál, ale i princip kladení vláken. V počátcích výroby pneumatik se tkanina kladla do kříže, v současnosti se kladou netkaná kordová vlákna paralelně. [10]

Podle kladení kordové vrstvy rozdělujeme pneumatiky na radiální, diagonální a někdy také semiradiální. [10]



Obr. 12 Kostra pláště [12]

2.2.5.1 Radiální pneumatika

Vlákna kordových vložek u radiální kostry nejsou zkřížena, ale jsou kladena pod úhlem zhruba 90° vzhledem k podélné rovině běhounu. Tyto kordové vložky přenášejí boční a radiální síly, ale už nemají tak velkou schopnost přenášet obvodové síly. Přenos obvodových sil zajišťuje neroztažitelný ocelový nárazník (viz. Kap. 2.2.3), který rozprostře obvodové síly po celém obvodu ráfku. Bočnice radiální pneumatiky jsou měkčí, ale nárazník je v bočním směru dostatečně tuhý. U radiálních pneumatik je valivý odpor nižší, než u diagonálních a je to způsobeno tím, že ohyb pryže navulkanizované na podélných kordových vláknech je menší, tím pádem vzniká méně tepla a menší valivý odpor. [13]

Radiální pneumatiky jsou náročnější na výrobu, protože vyžadují více operací a přesnost výroby je vyšší než u diagonálních, tudíž jsou i dražší. [13]

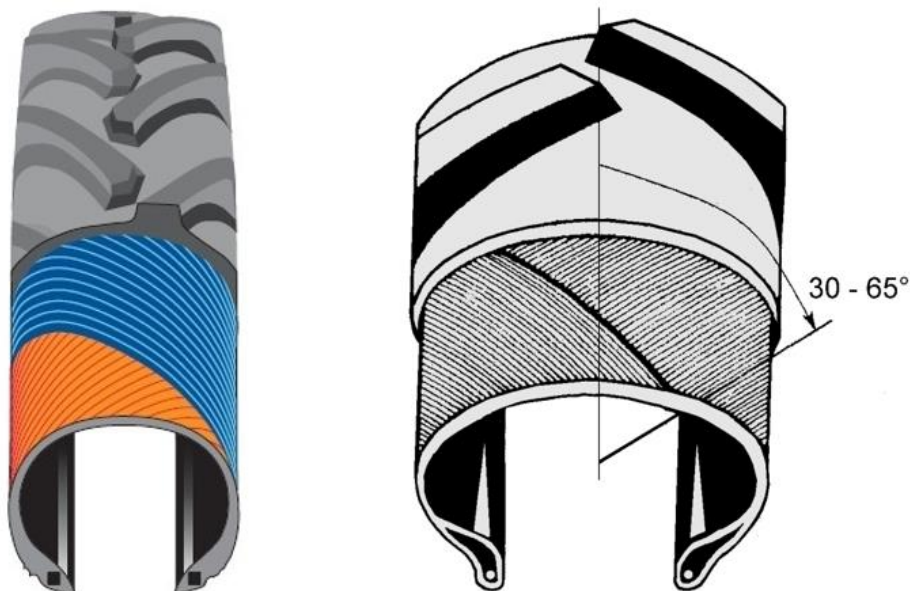


Obr. 13 Radiální pneumatika [11,14]

2.2.5.2 Diagonální pneumatika

Diagonální pneumatiky byly první, které se začaly vyrábět a v dnešní době jsou brány jako předchůdci všech pneumatik. Kostra diagonálního pláště je tvořena páry kordových vložek s orientací vláken, jež je menší než 90° vzhledem k podélné rovině pláště. Kordová vlákna vedlejších vložek se kříží a dotýkají se patkových lan, jež jsou přes ně přehnuta. Tyto vlákna přenášejí do patky pláště obvodové i příčné síly. Pokud zatížíme diagonální pneumatiku, vznikne deformace, která neprodlužuje vlákna, nýbrž je posunuje a namáhá pryž mezi nimi na stříh. Tím vzniká daleko vyšší teplo, než u radiální konstrukce, což má za následek větší ztráty a vyšší valivý odpor. K výhodám diagonálních pneumatik patří pevná struktura a silné bočnice, které zvláště v terénu oceníme. [13]

Diagonální pneumatiky mají omezenou maximální rychlost na 240 km/h a většinou jejich kostry jsou vyrobeny z rayonu nebo nylonu. [13]



Obr. 14 Diagonální pneumatika [11,14]

2.2.5.3 Semiradiální pneumatika

Tyto pneumatiky se odvíjí od diagonálních pneumatik, přičemž mají výrazně zpevněnou konstrukci pod dezénem a tím je životnost a odolnost pneumatiky zvýšena, což je způsobeno zmenšením příčných klouzavých pohybů. Toto prokluzování je zapříčiněno konstrukcí pneumatiky a její deformací do stran při odvalování, jež vede k většímu opotřebení. Opotřebení, které je způsobeno podélným prokluzováním, můžeme snížit stylem jízdy a rovněž opatrnou akcelerací a brzděním, ale nelze ho vyloučit úplně, protože přímo souvisí s přenosem trakčních sil z pneumatiky na vozovku. Opět jako u diagonálních pneumatik jejich kostry jsou vyrobeny z rayonu nebo nylonu. Nárazník i kostra jsou vyrobeny ze stejného materiálu. Semiradiální pneumatiky patří k předchůdcům radiálních plášťů. Kostra sice nese prvky diagonální pneumatiky, ale nárazník bývá zpravidla z kevlaru. Semiradiální pneumatiky jsou konstruovány až do rychlosti 250 km/h. [13]

2.2.6 Vnitřní pryžová vrstva

Jedná se o folii nebo profil, který je vyroben ze speciální plynonepropustné kaučukové směsi (halobutyl - butylkaučuk), jež v první řadě zabraňuje prostupování síry při vulkanizaci a vyrovnává nerovnosti uvnitř pláště. Za druhé zajišťuje vzduchotěsnost, neboli v bezdušových pláštích plní roli duše. [10]



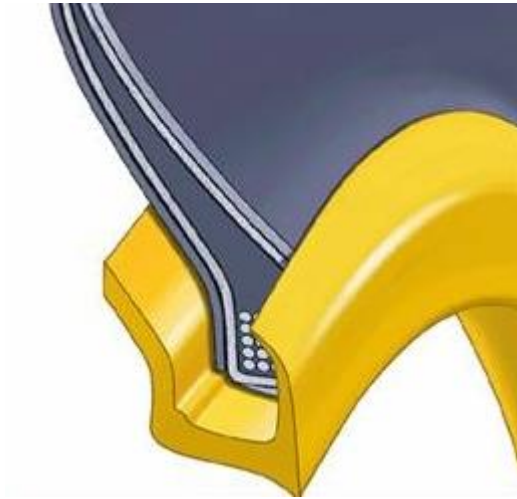
Obr. 15 Vnitřní pryžová vrstva [12]

2.2.7 Patka

Patka pláště má za úkol zpevnit boční část pláště, ta pak v části patních lan dosedá na opěrné plochy ráfku kol. Patka je přitlačována díky tlaku vzduchu v pneumatice na ráfky. Její funkcí je přenášet všechny boční síly, které vznikají mezi ráfkem a pláštěm. V žádném případě nesmí dojít k úniku vzduchu v této oblasti. Patka zajišťuje postupný přechod z této oblasti, která má vysokou tuhost až do elastické oblasti bočnic. [10]

Zabezpečuje tedy vysokou tuhost pláště a dokonalý přenos příčných sil. Jádro patky je vyrobeno ze syntetického kaučuku, který obsahuje přídavné textilní nebo ocelové kordové výztuže, jež zvyšují ohybovou tuhost patky v nadpatkové části. [10]

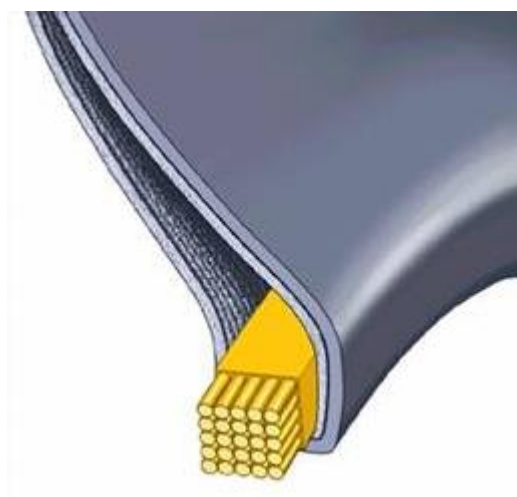
Jelikož je tuhost zvýšena, je eliminováno vydouvání pláště v části dosedacích ploch, tím pádem je zamezeno vyzutí pneumatiky z disku kola při manévrování vozidla. [10]



Obr. 16 Patka [12]

2.2.8 Patní lanko

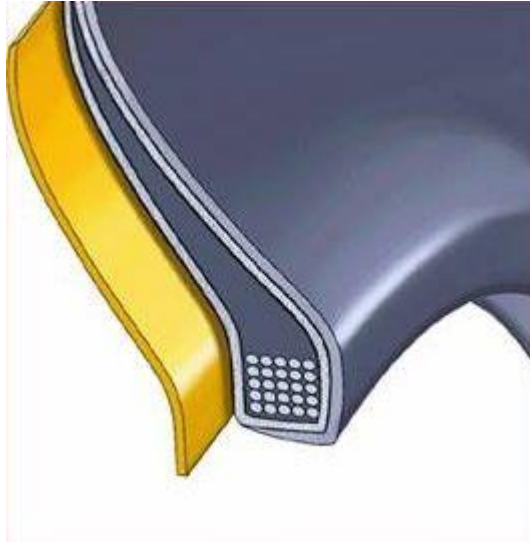
Patní lanko je složeno z daného počtu vysoko pevnostních ocelových drátů v jeden svazek. Díky třecím silám, vznikajícím mezi pryžovými povrchy, vyztužuje patku v obvodovém směru, ve kterém dochází k třecím silám mezi pryžovým povrchem patky a ráfkem kola, čímž zaručuje správné a bezpečné nasazení pneumatiky na disk kola a těsnost spojení pneumatiky s ráfkem. Kordové vložky kostry jsou ukotveny kolem patního lanka. [10]



Obr. 17 Patní lanko [12]

2.2.9 Výztužný pásek

Výztužný pásek je vyroben z nylonových nebo aramidových kordů, na které je nanesen pás pryže. Jeho úkol je zpevnit a stabilizovat v pneumatice přechodovou oblast mezi patkou pláště a bočnicí. [10]



Obr. 18 Výztužný pásek [12]

3 MATERIÁLY PRO VÝROBU PNEUMATIK

V předchozí kapitole jsme si rozdělili pneumatiku na hlavní části, nyní si řekneme z jakých základních materiálů se pneumatika skládá, protože použité materiály ovlivňují výslednou jakost pneumatiky. Každá pneumatika se skládá z kaučukové směsi, jež je tvořena přírodním nebo syntetickým kaučukem, přísad a v neposlední řadě výstužných materiálu.

3.1 Kaučuk

Kaučuk je polymer, který může být převeden chemickou nebo fyzikální cestou (zesíťováním) v elastomer neboli pryž. Kaučuk dává pryži základní charakteristické vlastnosti a je jeho hlavní složkou. Proto existuje široká škála jak přírodních, tak hlavně syntetických kaučuků, které jsou typické svými vlastnosti a každý se hodí pro danou aplikaci. [15,16]

Kaučuk je základní složka gumárenské směsi a někdy se doplňuje regenerátem, popř. jiný polymerem. Také ovlivňuje zpracovatelnost. Zpracovatelnost gumárenské směsi znamená, jak snadno a dobře se tváří, zatéká a vyplňuje formu při lisování. Pokud je regenerát jemný, směs se dobře vytlačuje a při volné vulkanizaci se nedeformuje. Při správném výběru kaučuku pro danou aplikaci, musíme brát v úvahu všechny tyto faktory. [15,16]

3.1.1 Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk (NR) je získáván ze stromu *Hevea brasiliensis*, jež se uměle pěstuje na plantážích v tropických oblastech Jižní Ameriky ale i v Africe a Asii. Ze stromu nedostaneme přímo kaučuk, je potřeba naříznout kůru stromu, ze které vytéká mléčně zbarvená tekutina tzv. **latex**. Latex se musí před vlastní výrobou kaučuku zpracovat, protože obsahuje příliš dlouhé řetězce, tzv. lámáním se tyto řetězce štěpí za pomoci kyslíku v místě dvojných vazeb.

Poté se kaučuk musí vysrážet v kyselině (např. kyselina mravenčí), následně vyprat ve vodě a nakonec se suší. Podle metody sušení rozeznáváme kaučuk na bílou krepu, ten se suší teplým vzduchem, nebo hnědou krepu, zde je použit k sušení dým. [15,16]

Rozvoj v gumárenském průmyslu a následná spotřeba kaučuku prudce roste, proto bylo nutné najít náhradu za přírodní kaučuk. V dnešní době se vyrábí nepřeborné množství syntetických kaučuků, ale vlastnosti přírodního kaučuku tyto syntetické nenahradí, mimo jiné je cena přírodního kaučuku v současné době na přijatelné hranici. [15,16]

3.1.2 Syntetický kaučuk

Syntetický kaučuk se začal poprvé vyrábět v Německu v polovině 20. století a v dnešní době syntetický kaučuk pokrývá většinu poptávky v gumárenském průmyslu. Syntetický kaučuk je vyráběn polymerací nebo kopolymerací některých nenasycených uhlovodíků, mezi ně patří například monomery styrenu a butadienu. Polymerací těchto dvou monomerů se vyrábí styren butadienový kaučuk (SBR), ten je univerzální a představuje asi 60% světové výroby syntetických kaučuků. Používá se pro běhouny pneumatik a pro tzv. technickou pryž. Dále vzniká poly-butadienový kaučuk (BR), jež se vyznačuje vysokou odolností proti oděru, vzniku trhlin a také vyšší odrazovou pružností, než přírodní kaučuk. Snáší velké dávkování sazí a olejů. Používá se pro výrobu běhounů pneumatik, protože má dobré záběrové vlastnosti, zvláště za mokra. [15,16]

Rozvoj v chemickém průmyslu objevil další monomery vhodné pro výrobu syntetického kaučuku, jako jsou například etylén a propylén, které se používají pro výrobu ethylenpropyleno-dienového kaučuku (EPDM). Ostatní druhy syntetického kaučuku obsahují například monomery butylu a následnou polymerací vznikne isobutylen isoprenový kaučuk (IIR). Velice podobné vlastnosti jako přírodní kaučuk má polyisopren. Přírodní kaučuk je skoro sto procentní cis-1,4-polyisopren. Syntetický polyisoprenový kaučuk (IR) je stereospecifický, roztokově polymerovaný cis-1,4-polyisopren, který má tak podobné vlastnosti a strukturu jak přírodní kaučuk, že ho lze ve většině aplikací nahradit. [15,16]

3.2 Přísady kaučukových směsí

Při vývoji kaučukových směsí je nutno v první řadě vybrat správný kaučuk. Jeho vlastnosti se dají dále pozměňovat pomocí přísad a chemikálií, které výslednou směs uvedou do takové podoby, jež bude vyhovovat jak ze zpracovatelského hlediska a funkčnosti pro danou aplikaci, tak i cenově. Jak už bylo řečeno, kaučuková směs obsahuje řadu různých přísad a každá tato přísada plní ve směsi nějakou funkci. Samozřejmě ovlivňují vlastnosti směsi i její zpracování, což se projeví na nákladech výroby směsi. Proto existuje velký počet kombinací kaučuků a přísad. Nyní si řekneme něco o základních přísadách, bez kterých by se žádná kaučuková směs neobešla. [15]

3.2.1 Plniva

Plniva se používají v kaučukových směsích ze dvou důvodů. V první řadě ke zlepšení fyzikálních vlastností a zpracovatelnosti a druhým důvodem je snížení ceny gumárenských výrobků. Přidáním plniva se mění většina vlastnosti směsi: hustota, tvrdost, modul, elasticita, tažnost, strukturní pevnost aj. Plniva také zlepšují odolnost vůči oděru, což má pozitivní vliv při výrobě běhounů pneumatik. Zlepšení vlastností pomocí plniv označujeme jako ztužení. Výraz ztužení znamená změny viskoelastických vlastností vulkanizátu, jež mají pozitivní vliv na budoucí výrobek. Hodnota ztužení se odvíjí od struktury a velikosti částic plniva a na aktivitě jeho povrchu. Plniva můžeme rozdělit na saze a minerální plniva. [15]

3.2.1.1 Saze

Saze patří k nejpoužívanějším plnivům nejen v pneumatikách, ale i ostatních gumárenských výrobcích. Jak už bylo řečeno, zlepšují zpracovatelnost směsí, upravují mechanické vlastnosti a v neposlední řadě snižují cenu výrobku. Čím menší jsou částice sazí, tím mají větší ztužující účinek v kaučukové směsi. [15]

Pokud přidáme plnivo do polymerní matrice, změní se výsledné vlastnosti celé kaučukové směsi. Saze většinou snižují deformaci směsi, také mění disipační energii a strukturní pevnost. Ztužující saze zvyšují strukturní pevnost a snižují tažnost a jsou složeny z kulovitých tvarů, jež se spojují do celků o velikosti nad 0,1 μm . Jsou složeny z uhlíkových krystalů, které mají tvar řetězce nebo trojrozměrně rozvětvených částí, jež dokáží odolávat mechanickému porušení a nemění se během zpracovatelských pochodů včetně míchání. [15]

3.2.1.2 Minerální plniva

Minerální plniva neboli světlá plniva se řadí do velké skupiny plniv, jež jsou vyrobeny synteticky nebo patří do přírodně získaných. Funkce ve vulkanizátu je závislá především na velikosti povrchu a na schopnosti tvořit vzájemný vztah se základní maticí. Minerální plniva můžeme z tohoto pohledu rozdělit na aktivní a neaktivní. [15]

a) Aktivní

Tyto plniva mají ztužující účinek a ten závisí na velikosti tvaru, disperzi aj. Plniva a kaučuková směs jsou spojeny různým druhem vazeb, především jsou to vazby s oxidy kovů. Nejčastěji se používá oxid křemičitý SiO_2 známý pod názvem silika, jež v kaučukové směsi zastává funkci podobnou sazím. Silika je získávána z přírodnin nebo se vyrábí z chloridu křemičitého hydrolýzou. [15]

b) Neaktivní

Neaktivní plniva nemají funkci ztužení, ale jejich účel je spíše ekonomický. Jedná se o minerální plniva, jež jsou získávána z přírodnin, většinou na bázi sloučenin Si, Ca, Na, Al aj. Neaktivní plniva ovlivňují mechanické vlastnosti vulkanizátu v závislosti na tvaru a velikosti plniv. [15]

3.2.2 Vulkanizační činidla

Funkcí vulkanizačního činidla je vytváření příčných vazeb mezi molekulami kaučuku. I malé množství tvorby příčných vazeb rozmístěných podél řetězce razantně změní vlastnosti kaučuku. Tato změna spočívá v tom, že původní plastický kaučuk se mění na elastickou pryž a to má za následek zvýšení pevnost, odrazové pružnosti, dále roste tvrdost a modul, ale snižuje se trvalá deformace a tažnost. K nejpoužívanějším vulkanizačním činidlům patří síra, její donory, selen, telur, diaminy, peroxidy, reaktivní pryskyřice, kovové kysličníky, diaminy apod. Síra se používá jako vulkanizační činidlo nejčastěji, protože se váže na kaučuk a tvoří tak síťovou strukturu. Dávkování síry do kaučukové směsi je přímo úměrné tvrdosti vulkanizátu. [15]

3.2.3 Urychlovače vulkanizace

Tyto látky slouží ke zkrácení doby vulkanizace, přičemž i snižují teplotu vulkanizace a zabraňují stárnutí pryže. Dále upravují stupeň vulkanizace, čímž ovlivní i mechanické vlastnosti vulkanizátu a dokonce zvyšují síťovací funkci. Jelikož se doba a teplota vulkanizace sníží, mají urychlovače kladný vliv i na spotřebu energie při vulkanizaci. [15]

Aktivátor, což je oxid zinečnatý, zvyšuje výrazně účinnost urychlovače. Tento oxid zinečnatý se smísí s kyselinou stearovou a vytvoří tak stearan zinečnatý, jež nemá za úkol jen zrychlení procesu, ale také zvyšuje vázání síry, což má za následek zlepšení užitečných vlastností pryže (tepluvzdornost, odolnost proti opotřebení a stárnutí). Všechny tyto látky spolu se sírou tvoří vulkanizační systém. Urychlovače, které se vyrábí, můžeme rozdělit podle rychlosti vulkanizace na:

- a) pomalé (aminy, guanidiny)
- b) rychlé (tiazoly, sulfonamidy)
- c) velmi rychlé (tiuramy a kombinace urychlovače)
- d) ultraurychlovače (ditiokarbamáty, xantogenáty)

Pro všechny tyto urychlovače platí, že čím mají vyšší aktivitu, tím méně je jich potřeba.

Také klesá spotřeba síry a tím pádem i teplota k dosažení správné vulkanizace. Zvolení správného urychlovače je závislé na mnoha faktorech, především na použitém kaučuku, na technologii vulkanizace, samozřejmě i na požadovaných vlastnostech výrobku. [15]

3.2.4 Retardéry vulkanizace

Pokud směs obsahuje vysoce aktivní vulkanizační přísady, je nutno použít retardéry vulkanizace, jež zabrání směsi vulkanizovat při nízkých teplotách. Retardéry tedy zabraňují směsi předčasně navulkanizovat při míchání a dalším zpracování. Retardéry dělíme na anorganické (MgO, PbO) a organické (octan sodný, kalafuna, kyselina sebaková). [15]

3.2.5 Změkčovadla

Jak už z názvu vyplývá, změkčovadla usnadňují zpracování, protože zvyšují plasticitu směsi. Jedná se většinou o minerální oleje, které se dostanou mezi makromolekuly kaučuku a to způsobí zvětšení jejich vzdálenosti, zmenšení propletení, snížení vnitřního tření mezi molekulami a tím pádem zjednoduší přeskupování hmoty při zpracování. Směs tak lze deformovat menší silou, tudíž jsou méně tuhé, mají nižší teplotu křehnutí. Negativním jevem změkčovadla je zhoršení mechanických vlastností pryže. Pokud dojde vlivem vysokého dávkování plniva k velkému ztužení, je nutno změkčovadla použít, jinak by byla zpracovatelnost velmi obtížná. Na výsledné vlastnosti směsi nemá takový vliv druh změkčovadla, ale zásadní vliv má množství změkčovadla. Jako změkčovadla se používají jak přírodní látky (smrkový dehet, kalafuna, oleje, tuky, vosky aj.) tak i syntetické produkty (estery, kapalné polymery, pryskyřice aj.). [15]

3.2.6 Antioxidanty a antiozonanty

Při vulkanizaci se vytvoří v pryži dvojně vazby zesíťováním. Tyto vazby jsou narušovány kyslíkem a ozonem. I když ve vzduchu není ozonu tolik, je mnohem agresivnější než kyslík. Tím pádem se množí v polymeru nestabilní peroxidy nebo ozonidy, jež se radikálově štěpí a narušují tak strukturu polymeru, u pryže se mluví o tzv. stárnutí. Antioxidanty a antiozonanty toto stárnutí výrazně zpomalují. [15]

3.2.7 Pigmenty

Pigmenty slouží k zabarvení polymerů do různých barev. Dříve se používaly jen pigmenty, které měly omezenou paletu barev. Až po zavedení organických pigmentů, které nebyly citlivé k vulkanizační teplotě a síře, se paleta barev pryže výrazně rozšířila a barvení bylo účinnější. A proto v dnešní době se používají moderní organické pigmenty, i když jsou dražší, než anorganické pigmenty. Pokud používáme světlé pigmenty, je třeba použít elastomery a antioxidanty, které se na světle nezbarví. Nejpoužívanější pigment je litopon, dále pak titanové běloby, zinkové běloby, ale ty jsou drahé a olovo v nich obsažené způsobuje při vulkanizaci zašednutí pryže. [15]

3.2.8 Nadouvadla

Pokud potřebujeme vyrobit lehčenou pryž, použijeme do směsi nadouvadla. Nadouvadla jsou látky, které se v průběhu vulkanizace rozloží díky vysoké teplotě a vzniknou tak plyny, jež zvětší objem výrobku. Teplota, při které se nadouvadlo rozloží na plyn, závisí na jeho druhu. Tato teplota se dá ovlivnit aktivátory, jež pomáhají v rozkladu nadouvadla. Aby proběhlo nadouvání v požadovaném rozsahu, musí mít kaučuková směs vysokou plasticitu a správný průběh vulkanizace. [15]

3.3 Výstužné materiály

Většina gumárenských výrobků by se neobešla bez výstužných materiálů, protože dodávají pryži své specifické vlastnosti, výkon a životnost. Dále výstužné materiály v mnoha případech dodávají výrobku tvar, zvyšují jeho odolnost jak při namáhání tak při oděru, zvyšují nosnost apod. Jak už bylo řečeno, do největšího sortimentu gumárenské výroby spadá výroba pneumatik. V dnešní době jsou nároky na jakost a bezpečnost výroby pneumatik čím dál větší, proto je nutno i zvyšovat nároky na výstužné materiály a hledat celkové řešení výstužných materiálů. Většinu výstužných materiálů, které se používají pro výrobu pneumatik, lze použít i v ostatních výrobcích gumárenského průmyslu. Především se jedná o dopravní pásy, klínové a hnací řemeny, hadice, atd. Výstužné materiály můžeme rozdělit podle původu na přírodní, chemická a hutnická vlákna. [15]

3.3.1 Přírodní vlákna

Jedná se o vlákna získané z přírodních látek rostlinného či živočišného původu a látek minerálních. Tato vlákna se z těchto surovin získávají mechanickou cestou. [15]

3.3.1.1 Kordová tkanina

Kordová tkanina je vyráběna ze skaných osnovních přízí (dlouhá textilie, která je složená ze sprádatelných vláken, jež je zesílena zákrutem) a z tenkého útku (útek je nit, která se proplétá v příčném směru osnovu, tvoří s ní společnou vazbu). Kordy určené pro výrobu pneumatik mají plátňovou vazbu s velmi řídkou dostavou (hustotou tkaniny). Hustota útku bývá 8-16 přízí na 10cm. Většinou útek v kostře pneumatiky není nutný, proto při procesu pogumování kordu je zahrnuta operace, která ho trhá. Osnova kordové tkaniny je vyráběna z jakostních surovin, ke kterým patří např. dlouho vláknité bavlny, viskóзовého hedvábí (rayonu). [15]

3.3.1.2 Bavlněná kordová tkanina

Bavlna je přírodní surovina neboli celulóza až 90%, jež je používána v gumárenském průmyslu jako výstužný materiál. V dnešní době se už nepoužívá pro výstuže do pneumatik, protože nevyhovuje nárokům a požadavkům moderních pneumatik a tím pádem byla nahrazena materiály s mnohem lepšími vlastnosti. Bavlněná kordová tkanina se dnes používá pro méně namáhané výrobky, což jsou např. hadice, membrány apod. Svou cenou, dobrou zpracovatelností a dobrou adhezí ke kaučukové směsi se řadí stále k používaným materiálům v gumárenském průmyslu. [15]

3.3.1.3 Kordová tkanina z viskóзовého hedvábí

Tato kordová tkanina se používá od počátku výroby pneumatik až do dnes, i když má silnou konkurenci v syntetických materiálech. Jedná se regenerovanou celulózu, jež se používá na výrobu viskóзовých kordů. Tato celulóza je velmi jemná a hladká, což má za následek rovnoměrnější rozdělení napětí po celé struktuře, tím pádem lepší odolnost k separacím. Viskóзовé hedvábí má relativně malou pevnost a je navlhavé, přesto pneumatiky vyrobené z tohoto kordu jsou rozměrově stálé a kord je teplotně odolný, proto se používá i u pneumatik do vyšších rychlostí. Tyto kordy se používají po celém světě, ale výroba do budoucna pomalu ustupuje, protože pro některé aplikace se nevyhovují a jsou nahrazována syntetickými vlákny a jeden z hlavních důvodů je, že při výrobě viskóзы se znečišťuje životní prostředí. [15]

3.3.2 Chemická vlákna

Tyto vlákna jsou vyráběna chemickými procesy z přírodních nebo syntetických materiálů. [15]

3.3.2.1 Kordová tkanina z polyamidových přízí

Tento polyamidový kord neboli nylon patří k nejpevnějším kordům, které se vyrábí v ČR. Použití těchto kordů v kostrách pneumatik výrazně zvyšuje jejich životnost, proto se používají výhradně v nákladních, autobusových a leteckých pneumatikách. K výrobě vláken se používá polyamid 6 nebo 66, jež je syntetický termoplast. K výhodám polyamidu patří vysoká pevnost i tažnost, odolnost při dynamickém namáhání a tloušťka příze. Nevýhodou polyamidu k výrobě kordu je špatná adheze přízi k pryži, nízká odolnost vůči teplotě a vysoká cena. [15]

3.3.2.2 Polyesterové hedvábí

Kordy vyráběné z polyesterového hedvábí dosahují vysokého modulu a nízkého protažení, což eliminuje deformaci pneumatik, tím pádem se zvyšuje životnost běhounu a zlepšuje řízení vozidla. I když má polyamidový kord vyšší pevnost, použití polyesterového se čím dál zvyšuje. [15]

3.3.2.3 *Vysokomodulová organická vlákna*

Tyto vlákna mají velice dobré mechanické vlastnosti. Mají vysokou pevnost i za vyšších nebo nižších teplot a také nejsou náchylné na ozáření. Mezi vysokomodulová vlákna patří aramidová, kevlarová a skelná vlákna. Mezi výhody těchto vláken patří jejich vysoká pevnost, nízká váha, spolehlivost atd. Největší nevýhodou je jejich cena, která je ve srovnání s jinými vlákny až 4 vyšší, proto se používají do vysoce namáhaných plášťů, jako jsou součásti, terénní a letecké pneumatiky. [15]

3.3.3 **Hutnická vlákna**

Jsou to vlákna nebo dráty, vyráběné hutnickou cestou z nerostných surovin. [15]

3.3.3.1 *Ocelová vlákna- kordy*

Zpracování a technologie ocelových vláken se výrazně liší od výroby jiných vláken. Jelikož samotné ocelové vlákno nemá dobrou adhezi k pryži, je opatřeno vrstvou mosazi. Ocelová vlákna se zpracovávají v kordy tzv. slaňováním, což je podobné jako skaní u textilních vláken. Existuje řada kombinací kordových nití, které mají pevnost ve všech třídách, záleží na tloušťce základního drátu, množství vláken v pramenci a počtu pramenců v kordové niti. Ocelové kordy jsou navíjeny na cívky o různých hmotnostech a někdy se před zpracováním mění na tkaniny. Ale nejčastěji se kordy pogumovávají přímo z cívek. Jelikož vzrostla výroba radiálních pneumatik a dopravních pásů, poptávka po ocelových kordech je v dnešní době vysoká. [15]

4 ZKOUŠKY PNEUMATIK

4.1 Rozdělení zkoušek

Zkoušky pneumatik můžeme rozdělit na tři základní skupiny.

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

Mezi laboratorní zkoušky lze zařadit jako jednu z nejdůležitějších zkoušku únavy nebo trvanlivosti na bubnové zkušebně, dále pak růst teplot nebo zahřívání, dynamickou a statickou pevnost kostry, patky a lan, stanovení deformačních charakteristik a tlaků ve stopě pneumatiky, měření valivých odporů a určení vlastností stability pneumatik. Zkoušky provozní sledují průběh úbytku drážky dezénu nebo váhy běhounu, životnost kostry pneumatiky a jejich elementů během jízdy pneumatiky na vozovce. Tyto provozní zkoušky lze dále rozdělit na usilovné a na zkoušky v normálním provozu. Usilovné zkoušky probíhají za přesně definovaných podmínek provozu, kdy vozidlo jezdí se stále stejným nákladem a po stejné trati, tedy zkušebním okruhu. Zkoušky v normálním provozu probíhají u různých firem a za nekontrolovatelných podmínek. Při těchto zkouškách je potřeba poměrně velké množství pneumatik, kde se sledují různé vlivy provozních podmínek- dálkový, terénní, těžký a velmi těžký provoz. Oproti tomu usilovné zkoušky jsou prováděny ve výzkumných střediscích a vyžadují tak minimální množství zkušebních pneumatik a poskytují tak přesné a rychlé výsledky. Mezi speciální zkoušky pneumatik, které se provádějí na vozidle, můžeme zařadit zkoušky brzdných a akceleračních vlastností, záběrové a tahové zkoušky terénních a traktorových pneumatik a také pneumatik pro zemní práce (pro provoz např. ve sněhu, písku atd.). Dále zde patří zkoušky skluzových a vodicích vlastností pneumatik, které určují schopnost pneumatiky přenášet příčné síly při jízdě vozidla v zatáčce. Do této skupiny patří také zkoušky měření ztrát pneumatiky při odvalování, vzájemná korelace pneumatiky a spotřeby paliva zkušebního vozidla a vliv pružících vlastností na odpružení vozidla.[17]

4.2 Oděr pláště pneumatik

Opotřebenění pláště pneumatik má za následek velké ztráty pryže, což vede k hlavní problematice gumárenské technologie. Nejvíce se zasloužil o poznatky v oboru mechanismu opotřebenění pláště pneumatik pan Schallmach a jeho spolupracovníci. Přišli na to, že základem opotřebenění je mechanický oděr, protože opotřebenění je zapříčiněno mechanickou pevností běhounové směsi. Pevnost běhounové směsi je v průběhu času ovlivněna chemickými procesy, které však neovlivňují mechanismus opotřebenění, ale pouze její rychlost. Opotřebenění pláště pneumatik je v první řadě závislé na opotřebenění běhounu vlivem oděru, v druhé řadě na elastických vlastnostech celé pneumatiky. [17]

4.2.1 Oděr při vlečném pohybu

Pokud budeme vléct po hrubém povrchu pryže, zmenší se její objem vlivem odírání povrchu. Stává se, že při odírání v některých případech zůstane povrch pryže hladký. Pan Schallmach tento oděr nazval jako vlastní oděr. V ostatních případech se vytvářejí na povrchu pryžového vzorku rýhy, které jsou kolmé ke směru vlečení, tzv. „brusný vzorec“. Spojitosti oděru vlastního a oděru provázeného vznikem obrazců tzv. „obrazcový oděr“ se výrazně liší. [17]

4.2.1.1 Vlastní oděr

Pokud budeme periodicky otáčet zkušební těleso vzhledem ke směru vlečení, zjistíme, že se žádné obrazce nevytvářejí, ale můžeme studovat průběh a zákonitosti vlastního oděru. Styčná plocha mezi drsnou podložkou a pryží je daleko menší, protože kontakt se omezuje na malá místa, kde se stýkají nerovnosti obou povrchů. Při vlečném pohybu ve styčných místech vznikají velká lokální napětí. Nerovnost drsného povrchu před sebou tlačí povrchovou vrstvu pryže, která způsobí deformaci za vzniku tahového napětí. Jakmile se dosáhne takového napětí, které překročí dovolenou pevnost pryže, nastane prasknutí a z povrchu se odtrhne drobná část pryže. Napětí a deformace poklesnou a proces se opakuje na vedlejším výstupku. Výstupek drsného povrchu obrábí povrch pryže, jež za sebou zanechává přerušovanou stopu. Při frikčním namáhání je způsob odtrhávání částí pryže velice podobný jako při průběhu trhání. Z toho vyplývá, že odolnost pryže vůči oděru při vlečném pohybu je závislá na obdobném činiteli, jako je odolnost vůči dalšímu trhání. Hlavními činiteli budou deformační práce E_p , jež je potřebná k přetržení při jednosměrném protahování a velikost zrn brusného materiálu, který zároveň určuje rozměry deformovaných mikrooblastí a odtr-

hávaných částí. Tento jednoduchý děj, kdy se odtrhávají částičky pryže, si můžeme znázornit tahovou zkouškou. Tato rychlost je však mnohem větší než rychlost vlečného pohybu. Schallamach dokázal pokusem, že objemový úbytek dané pryže při vlečení po drsném podkladu je úměrný množství spotřebované frikční práce. Tato práce neboli práce tření je rovna součinu síly tření F a dráhy l . Pro objemový úbytek pryže A (mm^3) pak platí: $A = B \cdot F \cdot l$, kde $B = A / F \cdot l$ je rovna objemovému úbytku pryže na jednotku spotřebované frikční práce. Také je rovna objemovému úbytku pryže při jednotkovém zatížení na jednotkové dráze, lomené koeficientem tření. Veličinu B nazveme jako poměrný oděr. Její reciproká hodnota $1/B$ určuje odolnost pryže proti oděru za podmínek vlečení a současně by měla být přímo úměrná deformační práci E_p , jež je potřebná k přetržení, a to při takových rychlostech, které budou odpovídat rychlosti protahování jednoduchého děje oděru: $1/B = \text{konst. } E_p$. Tyto úvahy byly doloženy rozsáhlými výsledky. V první řadě bylo zjištěno, že poměrný oděr B je závislý na rychlosti vlečení a na teplotě. Tyto teplotně časové závislosti bylo možno v určitých případech objasnit Ferryho superpoziční metodou. Jedná se o typický důsledek viskoelastické povahy vlastního oděru, která je spojovaná s deformační práci E_p . Poměrný oděr je přímo úměrný teplotě a nepřímo úměrný rychlosti vlečení. Grosch a Schallamach naměřili deformační práci, která byla potřebná k přetržení při jednosměrném protahování, rychlost kolem $10^4\%/s$ a při nekonstantních teplotách. Došli k závěru, že teplotní závislosti veličiny $1/B$ při rychlosti vlečení 1cm/s a teplotní závislosti deformační práce E_p jsou velice podobné. Tímto závěrem dokázali platnost rovnice v prvním přiblížení, protože měla racionální podklad. Charakteristické hodnoty poměrného oděru běhounu, jež je vyroben z přírodního kaučuku a závisí na teplotě, jsou: $T = -13^\circ\text{C}$, $B = 2,07 \text{ mm}^3/\text{J}$, při 20°C , $B = 2,29$ a při teplotě 95°C , $B = 3,82$ (rychlost vlečení 1cm/s , brusný papír s oxidem hořečnatým). Bylo zjištěno, že u plněných pryží se poměrný oděr i hodnota deformační práce E_p mění s teplotou pomaleji než u pryží neplněných [17].

4.2.1.2 Oděr provázený vznikem brusných obrazců

Pokud vlečeme pryž po drsném povrchu a neotáčíme vzorkem, vytvoří se na povrchu vzorku brusný obrazec, jež má rovnoběžné rýhy kolmé ke směru pohybu. Když vytvoříme v profilu vzorku řez, tak je brusný obraz podobný vlnění na vodě, přičemž jsou vlny skloněny dopředu, vůči směru pohybu. Při oděru se vlny naklání dozadu a vytvářejí svoji přední stranu oděru. V určitém čase procesu se hřebeny vln odtrhávají a stopa se obnovuje ze spodní vrstvy pryže. Během oděru postupují vlny pomalu ve směru pohybu po povrchu. Rychlost postupu vln vzrůstá se zvyšujícím se zatížením. Čím jsou ostřejší podmínky oděru, (větší zatížení a drsnější brusný prostředek) tím jsou vidět intenzivnější obrazce. Intenzita vzrůstá s menším modulem. Velikost tahové deformace v místních oblastech na povrchu vzorku souvisí se vzdáleností mezi hřebeny vln. I na běhounech pneumatik vznikají velice podobné obrazce. Tyto obrazce sice nejsou kolmé ke směru odvalování, ale jejich sklon je pod určitým úhlem. Z toho vyplývá, že k oděru běhounů pneumatik dochází hlavně vlivem zatáčení. Jak už bylo řečeno, brusné obrazce vznikají jen za určitých podmínek. Jedna z těchto podmínek je, aby byla tuhost povrchové vrstvy nízká, protože jen za těchto předpokladů může dojít k dostatečně velkým tahovým deformacím, které zapříčiňují vznik obrazců. Pokud není pryž deformována, má vysoký modul a tím pádem se nevytvoří brusné obrazce, ale vlivem Mullinsova jevu změkne povrchová vrstva pryže, a tak se můžou tvořit brusné obrazce. Při velice ostrých podmínkách je rychlost odírání tak veliká, že se obrazce nestihnou vytvořit. K nejdůležitějším vlastnostem obrazcového oděru patří objemový úbytek pryže, který je daleko větší než při podmínkách vlastního oděru, kdy se obrazce vůbec nevyvíjí. Je to zapříčiněno tím, že při obrazovém oděru jsou odlamované částičky větší než při vlastním oděru. Bylo zjištěno, že objemový úbytek běhounu z přírodního kaučuku při vlečném pohybu byl na brusném papíru o 50% větší, než když se vzorek periodicky otáčel o 90°. Celkový objemový úbytek pryže při vlečném pohybu A_c se skládá za obecných podmínek z přírůstku vlastního oděru A_1 a z obrazcového oděru A_2 . Schematicky můžeme psát. $A_c = a_1 \cdot A_1 + a_2 \cdot A_2$ [17]

Konstanty a_1 a a_2 udávají relativní přírůstek obou činitelů k celkovému oděru. Tyto konstanty jsou závislé na ostrosti podmínek. Tím je objasněno, proč se poměr objemových úbytků dvou různých pryžových vzorků mění s ostrosti podmínek. Je to způsobeno odlišným uspořádáním různých pryžových vzorků k tvorbě obrazců. Při testu dvou vulkanizátů z přírodního kaučuku obsahující 25 až 46 dsk sazí byl úbytek při vlastním oděru naprosto stejný. Vzorek s menším obsahem sazí byl testován na jemném asfaltu a byl o 14% horší a na hrubém betonu

o 35% horší. Předem se neočekává, že by různé laboratorní zkoušky oděru, které se liší ostrostí podmínek, mohly uspořádat různé pryže za všech okolností ve stejném pořadí kvality, tj. odolnosti proti oděru. [17]

4.2.2 Oděr při valivém pohybu

Určitý počet laboratorních zkoušek používá pryžových kotoučů při odolnosti vůči oděru, které se jak odvalují, tak i prokluzují po brusném prostředku. K prokluzování dochází, když je obvodová rychlost kotouče jiná, než obvodová rychlost brusného prostředku a také pokud rovina kotouče je nakloněna pod nějakým úhlem se směrem pohybu. Stejně podmínky má plášť pneumatiky při akceleraci, brzdění a zatáčení. Obvod zkušebního pryžového kotouče je stále ve styku s podložkou. Na přední plochu působí síla tření, která je větší než napětí tečné, které působí na pryž, proto zde nedochází pohybu vlečnému. Na zadní ploše jsou však napětí tečná větší než třecí síla. K vlečnému pohybu dochází vlastní příčinou oděru při odvalování s prokluzem. Deformační energie, jež se akumuluje v pryži, přechází z přední části plochy do zadní části plochy, kde se spotřebuje ve třecí práci při vlečném pohybu. Vlivem hystereze se část deformační energie ztrácí v pryži. Hysterezní ztráty v pryži jsou nepřímo úměrné s podílem energie, která zbývá jako hnací síla třecích procesů. Ale oděr při vlečení je přímo úměrný s disipovanou energií tření. Díky těmto zákonitostem by měl mít materiál s vyšší hysterezí menší opotřebení při valivém oděru. Na tento zajímavý poznatek přišel Schallamach při teoretickém rozboru, kdy se pryžový kotouč odvaloval a jeho rovina svírala určitý úhel se směrem pohybu. Výsledná rovnice doložila objemový úbytek pryžového kotouče, který je dále rezidencí pryže R , dvojnásobkem prokluzového úhlu a tuhosti kotouče. Schallamach poukázal na to, že spočítané hodnoty opotřebení se liší s naměřenými jen oje-diněle. Při experimentu ověření odvozené rovnice se zjistilo, že opotřebení kotoučů z různých pryží je skutečně úměrné nejen samotné hodnotě vlečného oděru, ale součinu vlečného oděru a rezidence $A \cdot R$. I kvadratická závislost na opotřebení na prokluzovém úhlu byla také ověřena a potvrzena. [17]

4.3 Opotřebení pláště pneumatik

Elastické vlastnosti pneumatik závisí především na konstrukci kostry, přičemž vliv hystereze pryže během běhounu není tak patrný jako u pryžových kotoučů. Prokluzový úhel a jeho vliv byl testován za pomoci dvoukolového přívěsného vozíku. Úhel pneumatik byl stále do kola měněn, jednou byla kola vybočena ven, podruhé zase dovnitř. Tím bylo docíleno rovnoměrného sjíždění pneumatik. Pokud by byla obě kola ve stejné pozici, pracovala by soustava za podmínek konstantního úhlu. Posléze bylo dokázáno, že opotřebení narůstalo rychleji než s dvojmocí prokluzového úhlu. Hlavním důvodem byla tvorba brusných obrazců a vzrůstající teplota povrchu pláště pneumatiky. Když se namontovaly na přívěsný vozík dvě různé pneumatiky, které svíraly stejný úhel, ale lišily se tuhostí, tak pracovala soustava za podmínek konstantní boční síly. Když se při jízdě odklonila podélná osa vozíku ze směru jízdy, bylo zjištěno, že tužší plášť má menší prokluzový úhel než plášť měkčí, tím pádem je pak opotřebení tužšího pláště menší. Při vysokém počtu ostrých zatáček opotřebení plášťů na dráze vzrůstá přibližně s třetí mocninou rychlosti vozidla. Jeli zvýšena průměrná rychlost vozidla 20%, tak se opotřebení zvýší až o 70%. Za mírných podmínek je lepší použít běhoun z přírodního kaučuku, který má lepší odolnost proti opotřebení, než butadienstyrenový, přičemž za ostrých podmínek, je výhodnější použít běhoun z butadienstyrenového kaučuku, protože ostré podmínky vyvolají vzrůst povrchové teploty až na 60-80 °C a butadienstyrenový kaučuk je lépe snáší. Na mokré vozovce je opotřebení menší, protože souvisí se snížením povrchové teploty běhounu [4].

4.3.1 Zkoušky opotřebení

Zkoušky opotřebení lze provádět v laboratorních i v provozních podmínkách, přičemž laboratorní zkoušky bývají zaměřeny většinou jen na jeden efekt. Proto musí být zkonstruováno nové zařízení a vypracována zvláštní metodika. Silniční zkoušky nám dovolují posuzovat nejen opotřebení, ale i více vlastností, které jsou důležité pro provoz daného typu vozidla. Odolnost proti opotřebení se udává v záporných hodnotách a úbytkem pryže při frikčním namáhání. Míra opotřebení není charakteristickou vlastností pryže, poněvadž závisí na způsobu a podmínkách, při kterých byla zajišťována. Opotřebení je velice složitý jev, jež je na mnoha faktorech závislý. Na toto téma bylo vypracováno mnoho úvah, jež by vedly ke zjištění závislosti na jiných vlastnostech, ale bohužel zatím s malým úspěchem. Víme, že mechanické vlastnosti, jako jsou například tvrdost, pevnost a odrazivost aj. mají nějaký vztah k opotřebení, přičemž není přímý a jednoduchý. Jednou z těchto potíží je vysoká teplota při

opotřebení třecím namáháním, protože zmíněné měření mechanických zkoušek se většinou provádí za normální teploty. Laboratorně se stanoví úbytek opotřebení většinou tak, že vzorek o známé ploše je přitlačován určitou silou na normalizovaný brusný materiál, který se pohybuje. Brusný materiál je většinou smirkový papír určité zrnitosti, nebo karborundový kotouč. Zkušebních přístrojů je nepřeberné množství, jež se liší tvarem zkušební vzorku, dráhou, po které se zkušební vzorek pohybuje, vlastnostmi a tvarem brusného materiálu, rychlostí posunu apod. Výsledky měření se udávají v objemovém úbytku pryže většinou za jednotku času nebo za určitý počet otáček, popřípadě za jistou dráhu, jež vzorek vykonal. Pro eliminaci chyb, které vzniknou při experimentálním měření vlivem nepravidelností brusného prostředku, se úbytek přepočítá na úbytek normalizovaného vzorku za stejných podmínek. Úbytek normalizovaného vzorku je 100, přičemž úbytek při zkoušce se vyjadřuje bezrozměrným číslem, jež je poměr úbytku standardu a zkoušeného vzorku. Vyšší číslo než je 100 vypovídá o pryži, jež má větší opotřebení než standard a nižší číslo než je 100, označuje pryž s menším opotřebením. Velká pozornost je také věnována při vývoji metod pro testování opotřebení běhounů pneumatik, které pracují ve velmi náročných podmínkách. Mechanismus opotřebení běhounu je tedy zcela jiný než u pneumatik, které se odvalují na silnicích. Testování takto namáhaného běhounu je prováděno na přístroji Chip – Chunk, který simuluje náročné terénní podmínky. Jelikož k různé konstrukci přístrojů a k jiným zkušebním podmínkám nemůžeme srovnávat přímo výsledky z jednotlivých přístrojů. Výsledky jsou zkresleny i složením pryže, protože pokud pryž obsahuje větší množství změkčovadel, tak ty způsobují zanešení brusného materiálu a tím pádem se sníží frikční součinitel. I když mají laboratorní zkoušky své nedostatky, tak jsou dobrým ukazatelem při vývoji a kontrole směsí. Znalost odolnosti vůči opotřebení je velmi důležitá v praxi pro běhouny pneumatik, podrážky, dopravní pásy apod. Nejvíce se řeší opotřebení běhounů pneumatik. Existuje mnoho faktorů, které mají vliv na opotřebení běhounu, ale vzhledem k povaze této vlastnosti se laboratorní výsledky neshodují s praktickými výsledky na silnici a dochází tak k protichůdným výsledkům. Proto se vždy při vývoji nové směsi laboratorní zkoušky doplňují praktickými zkouškami na silnici. Ke zlepšení shodnosti výsledků můžeme použít do vzorku azeotropickou směs ethylalkoholu a toluenu (70:30), která odstraní látky, jež by mohly při zkoušce měnit frikční součinitele brusného materiálu. Pokud také srovnáme laboratorní výsledky s praxí, zjistíme, že žádný zkušební přístroj nemůžeme zvolit jako univerzální. [4]

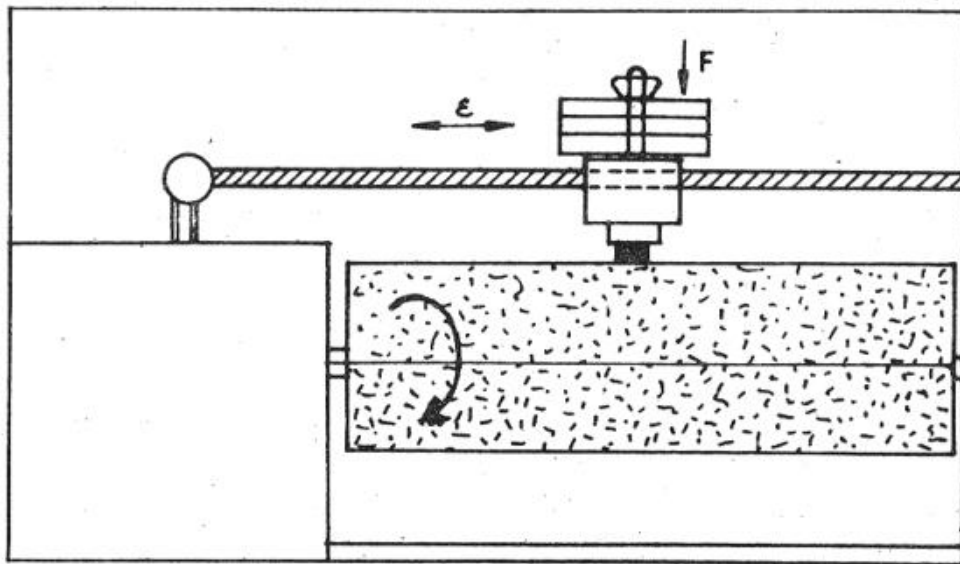
Některý typ přístroje se více hodí pro test běhounů, jiný zase pro podrážky apod. Odolnost vůči opotřebení závisí především na kaučukové směsi a zvoleném kaučuku. Vysokou odolnost vůči opotřebení má přírodní kaučuk, nitridový a butadien-styrenový kaučuk. Směs z přírodního kaučuku získá vysokou odolnost vůči opotřebení přidáním aktivních sazí, optimální je kolem 25 objemových dílů, tj. asi 44 váhových dílů na 100 dílů kaučuku. Pokud přidáme více sazí, zvýšíme sice tvrdost a modul, ale odolnost vůči opotřebení se již nezvýší. Do směsi ze syntetického kaučuku se přidávají retortové saze, které mají vysokou odolnost vůči opotřebení. Syntetický kaučuk se aktivními sazemi velmi špatně zpracovává. Když směs obsahuje moc sazí, musí se použít změkčovadel, která usnadňují zpracovatelnost, především při vstřikování směsí. Změkčovadla snižují odolnost vůči opotřebení, proto je nutné jich používat co nejméně. Existuje mnoho druhů změkčovadel, která se mohou kombinovat, ale celkové množství ve směsi z přírodního kaučuku nesmí překročit 6 %. U směsi ze syntetického kaučuků je množství větší, asi 10 %. Pokud mají mít bílé a barevné směsi dobrou odolnost proti opotřebení, vyrobené z přírodního kaučuku, tak by se měly plnit zinkovou bělobou. Někdy se také používá uhličitán hořečnatý, vápenatý či kaolin nebo křemičité přísady. Jak už bylo řečeno, opotřebení závisí především na složení směsi, respektive na druhu a množství použitých sazí. Odolnost vůči opotřebení se příliš nemění při převulkanizování ani když pryž stárne. Nyní si popíšeme některé přístroje a metody na zkoušení opotřebení. [4]

4.3.1.1 Metoda Bussen-Schlobach

Tato metoda je zobrazena na obrázku (Obr. 19) a je založena na obroušování pryže při proměnlivé velikosti tření. Přístroj je složen z otáčejícího válce, jež je opatřen brusným povlakem a posuvným držákem, ve kterém je uchycen zkušební vzorek. Zkušební vzorek má tvar válce průměru 16 mm a výšce 6 mm až 10 mm. Pryžový vzorek v posuvném držáku se může pohybovat v podélné ose po rotujícím válci, také se může otáčet po vlastní ose. Váha kyvadla je 1 kg, což na plochu zkušební vzorku působí síla zhruba 10 N. [3,18]

Vzorek je uchycen do kyvadla tak, aby plocha vzorku byla kolmá k válci. Vzorek je vysunutý 2 mm až 2,5 mm z kyvadla, který se takto nasadí na rotující válec, po němž se posunuje. Při zkoušce vzorek urazí dráhu 40 m. Válec je opatřen normalizovaným smirkovým papírem, jehož ostrost je nutné kontrolovat před každým použitím standardizovaným vzorkem pryže. Při definovaných podmínkách stanovených normou by se měla ostrost, která je přímo

úměrná s váhovým úbytkem, pohybovat mezi 180 až 220 mg. Zkouška probíhá tak, že se nejprve upevní do přístroje standardizovaný vzorek a následně 3 zkušební vzorky, které se nakonec srovnají se standardizovaným vzorkem. Tato metoda dosahuje průměrného úbytku na 1 m dráhy asi 6 mm^3 pryže. [3,18]



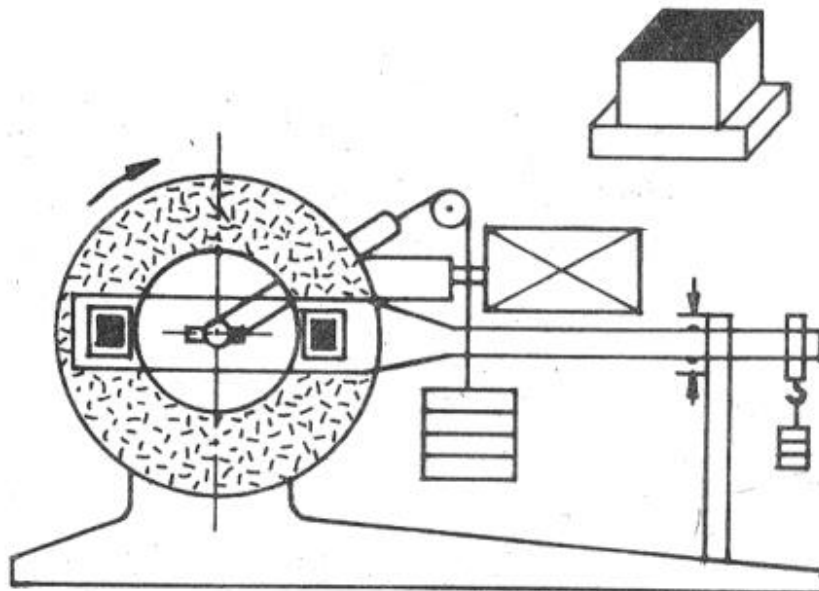
Obr. 19 Princip měření opotřebení metodou Bussen-Schlobach [18]

4.3.1.2 Metoda du Pont-Graselli

Tato zkouška se provádí na zařízení, které je zobrazeno na obrázku (Obr. 20). Zkušební tělesa mají tvar kvádrů o velikosti základny $20 \times 20 \text{ mm}$ a výšky 10 mm , jež jsou opatřena patkami na upnutí. Dva vzorky se připevní na páku přístroje, která vzorky přitlačuje konstantním tlakem $0,045 \text{ MPa}$ na brusný kotouč, jež se otáčí rychlostí 37 ot. /min . Zkoušku můžeme provést také při konstantním tření. Pro zachování ostrosti kotouče se odbroušené části vzorku odstraňují stačeným vzduchem a pro nový vzorek se používá i nový brusný kotouč. [3,18]

Zkouška probíhá tak, že dvojice zkušebních těles srovnávacího materiálu se obrousí jako první a potom dvojice zkoušeného materiálu a nakonec opět dvojice standardu. Podle zkoušeného materiálu se volí i doba odírání. Čím je pryž odolnější, tím je doba zkoušky delší.

Tato metoda má průměrný úbytek neboli obrušivost na 1 m dráhy 10 mm^3 pryže. Při konstantním tření jsou výsledky i vyhodnocení podobná. Tato metoda je především vhodná pro vyhodnocování běhounových směsí, protože simulují silniční zkoušky. [3,18].



Obr. 20 Princip obrušování metodou du Pont-Grasselli s konstantním tlakem [18]

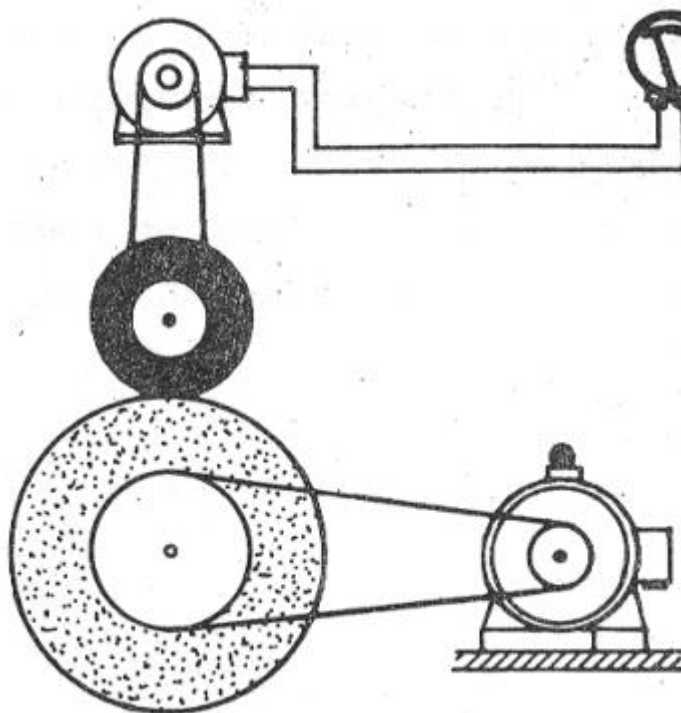
4.3.1.3 Metoda Akron-Crodyon

Jako zkušební tělesa se nejčastěji používají duté lisované kotouče o vnějším průměru 64 mm a tloušťce 12,7 mm. Zkušební těleso se nasadí na hřídel přístroje, jež se otáčí rychlostí 250 ot/min. Na vzorky tlačí karborundový kotouč tlakem 0,28 MPa, který je pod úhlem 15° . Při odírání vznikají částičky, které se odstraňují kartáčem. Princip zkoušky spočívá v tom, že se napřed zkouší těleso srovnávacího materiálu, dále dvě tělesa zkoušeného materiálu a nakonec zase těleso srovnávacího materiálu. Opotřebenění respektive jeho odolnost se vyhodnocuje jako objemový úbytek pryže za 1000 otáček. [3,18]

4.3.1.4 Metoda Dunlop-Lambourn

Tato metoda je velmi podobná předchozí metodě. Zařízení je zobrazeno na obrázku (Obr. 18). Zkušební těleso má tvar dutého kotouče s vnějším průměrem 64 mm, vnitřním průměrem 43,6 mm a tloušťkou 10 mm, které se otáčí rychlostí 600 ot/min. Na něj je přitlačován korundový kotouč, který má rozdílnou rychlost otáčení a samostatný pohon. Vlivem rozdílných otáček dochází v místě dotyku k prokluzu, který má většinou hodnotu kolem 16 %.

Korundový kotouč je při zkoušce zanášen pryží, proto se musí čistit, nejčastěji kartáčem nebo stlačeným vzduchem. Opět se jako první zkouší těleso ze standardizované pryže, potom dvě zkušební tělesa zkoušeného materiálu a na závěr opět ze standardizované pryže. Odolnost vůči opotřebení se zaznamenává v objemovém úbytku v cm^3 na 1 km dráhy. [3,18]

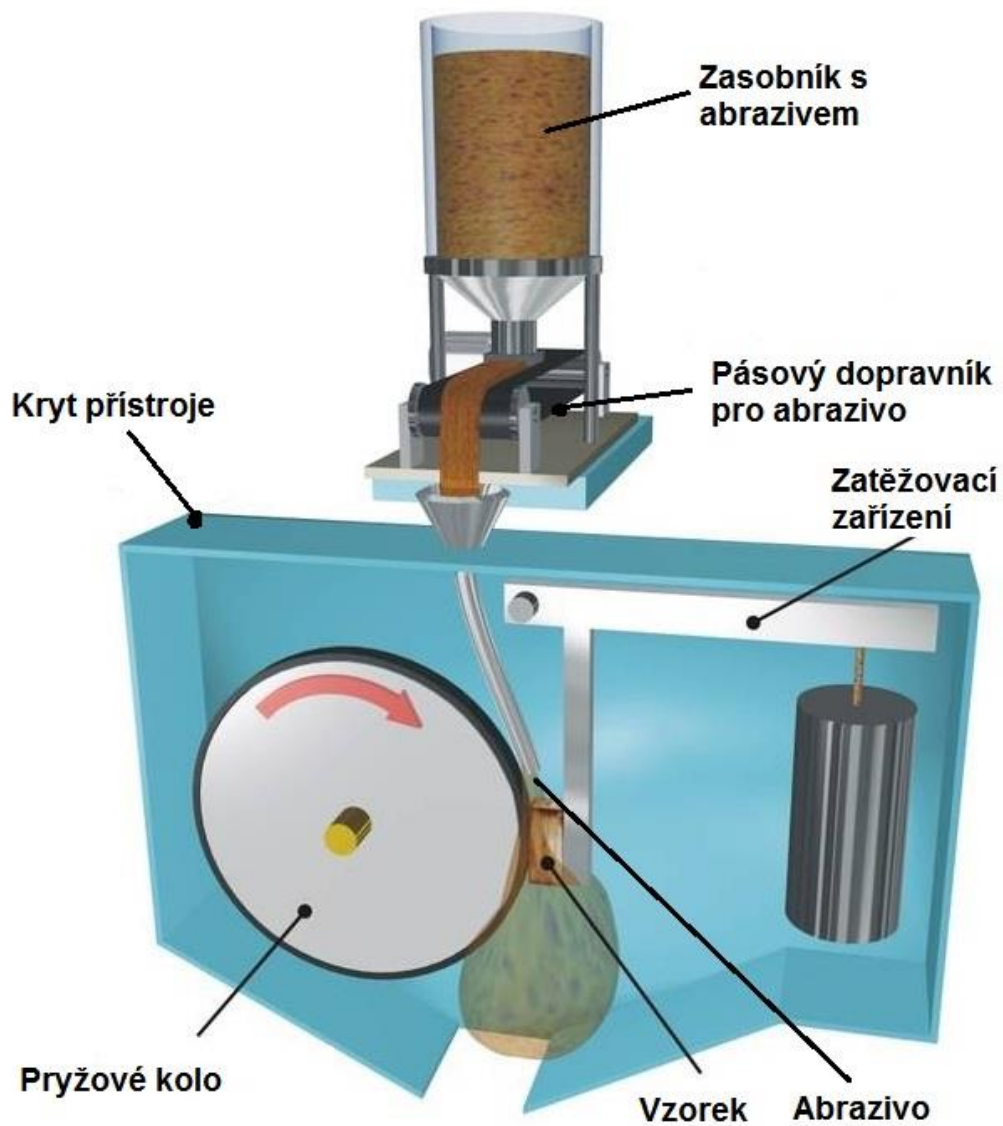


Obr. 21 Příklad přístroje na zkoušení opotřebení metodou Dunlop-Lambourn [18]

4.3.1.5 Dry sand – rubber wheel test (DSRW)

Na obrázku (Obr. 19) je vidět modifikované zařízení, které bylo původně určeno na laboratorní test opotřebení kovů. Tento přístroj simuluje skutečné podmínky při opotřebování pneumatik v provozu. Zkušební vzorek je z polyuretanu, který je upevněn naproti rotujícímu pryžovému kolu. Rychlost otáček kola je 213,5 ot./min. a optimální přítláčná síla, která je vyvozena protizávažím, činí 86,7 N. Mezi vzorek a pryžové kolo je dávkován písek v množství 300 g/min, jež slouží jako abrazivo. Díky výsledkům měření na tomto zařízení, bylo zjištěno u většiny materiálů na bázi polyuretanu, že odolnost vůči opotřebení je závislá na

tvrdosti měřeného vzorku. Závěrem bylo zjištěno, že největší odolnost proti opotřebení vykazují vzorky o tvrdosti Shore 75A až 95A. [12]



Obr. 22 Zařízení pro test opotřebení Dry sand – rubber wheel [19]

II. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je provést měření opotřebení pryžových vzorků s různým obsahem plniva, které se používají pro výrobu velmi namáhaných částí pneumatik (běhounů) pracujících ve velmi náročných terénních podmínkách.

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

Postup řešení:

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

III. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI A OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro praktické měření mechanických vlastností a hodnoty opotřebení bylo vybráno 5 druhů směsí, ze kterých se vyrábějí běhouny pro vozidla, jež pracují ve velmi náročných podmínkách. Každá z těchto směsí obsahovala různé množství plniva respektive sazí. Testované běhounové směsi jsou průmyslově zpracovány a vyrábí se z nich běhouny plášťů pneumatik pro mimo silniční vozidla, jejichž pneumatiky jsou v terénu velmi namáhány a opotřebovány. Testované směsi jsem si označil písmeny: A, B, C, D, E, u kterých bylo použito jako plnivo saze typ N220. Směs A obsahovala 40 DSK, směs B 60 DSK, směs C 45 DSK, směs D 55 DSK a směs E 50 DSK sazí.

5.1 Zařízení pro měření mechanických vlastností

Abychom mohli analyzovat veškeré vlastnosti, jež by mohly ovlivnit výsledné chování pryžových výrobků, bylo nutné provést u připravených vzorků měření na následujících strojích:

- Trhací stroj T 2000 (Alpha Technology) pro **tahovou zkoušku a strukturní pevnost**
- Tvrdoměr HPE – A (Bereiss) pro **tvrdost Shore A**
- Zařízení Chip – Chunk pro **rychlý test opotřebení**

Zkušební tělesa pro zjištění mechanických vlastností byla připravena lisováním na laboratorním lisu typ 400x400, v laboratořích ÚVI FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám [4].

5.1.1 Tahová zkouška

Princip tahové zkoušky spočívá v deformaci zkušebního tělesa, na které působí tahová síla, jejíž velikost s časem rovnoměrně roste. Zkušební vzorek je při tahové zkoušce zatěžován konstantní silou až do porušení vzorku. V průběhu zkoušky je sledován vztah mezi působící silou a deformací vzorku. Z naměřených hodnot se určí základní mechanické charakteristiky, které se používají k hodnocení jakosti materiálu, pro výpočty konstrukcí i k obecnému posouzení vhodnosti určitých technologických operací. Mezi základní mechanické charakteristiky se řadí mez pevnosti, mez kluzu, tažnost a kontrakce. Při podrobnějším měření, v oblasti pružných deformací, získáme modul pružnosti či mez pružnosti. Nyní si popíšeme základní termíny [4].

Napětí v tahu - je napětí, které způsobí protažení zkušebního tělesa. [4]

Vypočítá se jako podíl síly, jež působí na vzorek a plochy, na kterou síla působí. [4]

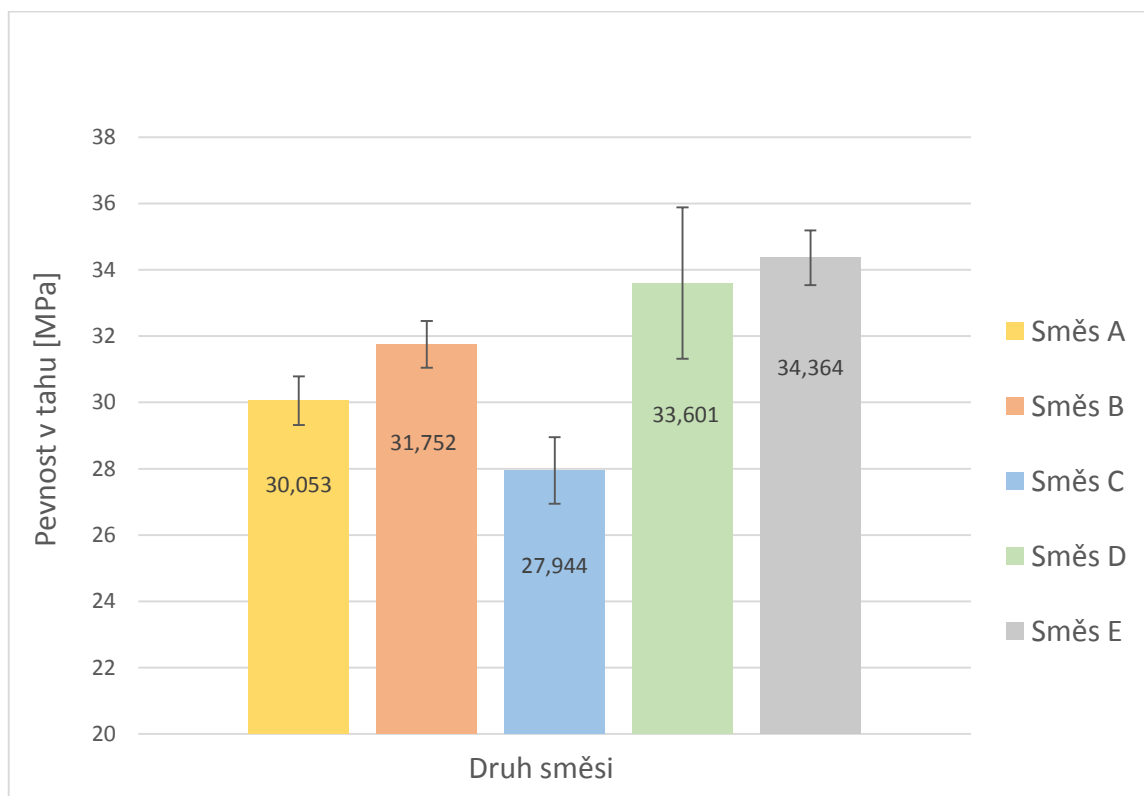
Prodloužení - je protažení vzorku, které vzniklo vlivem působícího napětí na zkušební těleso, jež je vyjádřené v procentech délky pracovní části. [4]

Pevnost v tahu – je definována jako napětí, odpovídající největšímu zatížení, předcházejícímu přetržení zkušební tyče. [4]

Tažnost – je definována jako poměrná podélná trvalá deformace, jež je vyjádřena v procentech. [4]

Tab. 1 Pevnost v tahu

Směs	Pevnost v tahu [MPa]	SMCH
A	30,053	0,731
B	31,752	0,708
C	27,944	1,004
D	33,601	2,281
E	34,364	0,829

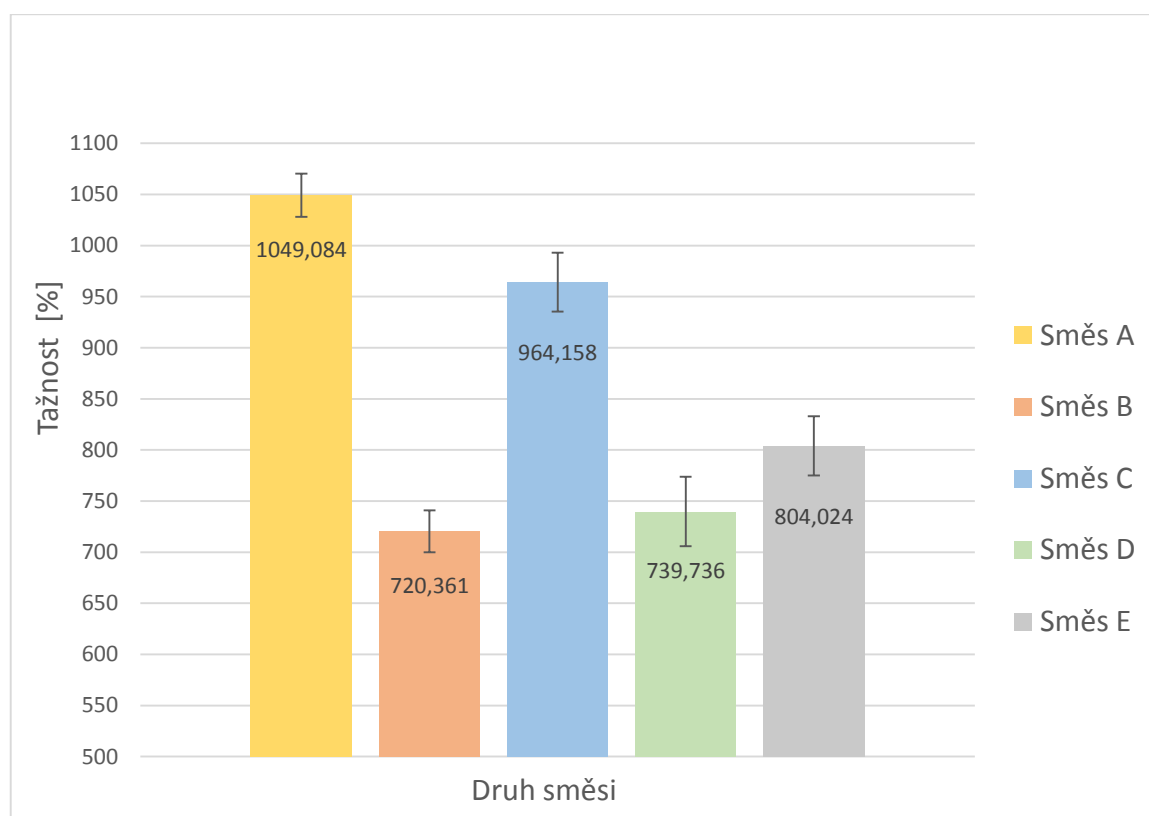


Obr. 23 Srovnání pevnosti v tahu směsí

Z výsledků tahové zkoušky vyplynulo, že nejvyšší hodnota maximální pevnosti, reprezentované mezi pevnosti v tahu, byla dosažena u směsi E. Naopak nejmenší hodnoty maximální pevnosti byla zjištěna u směsi C, jak je patrné z obrázku (Obr. 23).

Tab. 2 Tažnost

Směs	Tažnost [%]	SMCH
A	1049,084	21,123
B	720,361	20,608
C	964,158	28,672
D	739,736	33,918
E	804,024	29,033

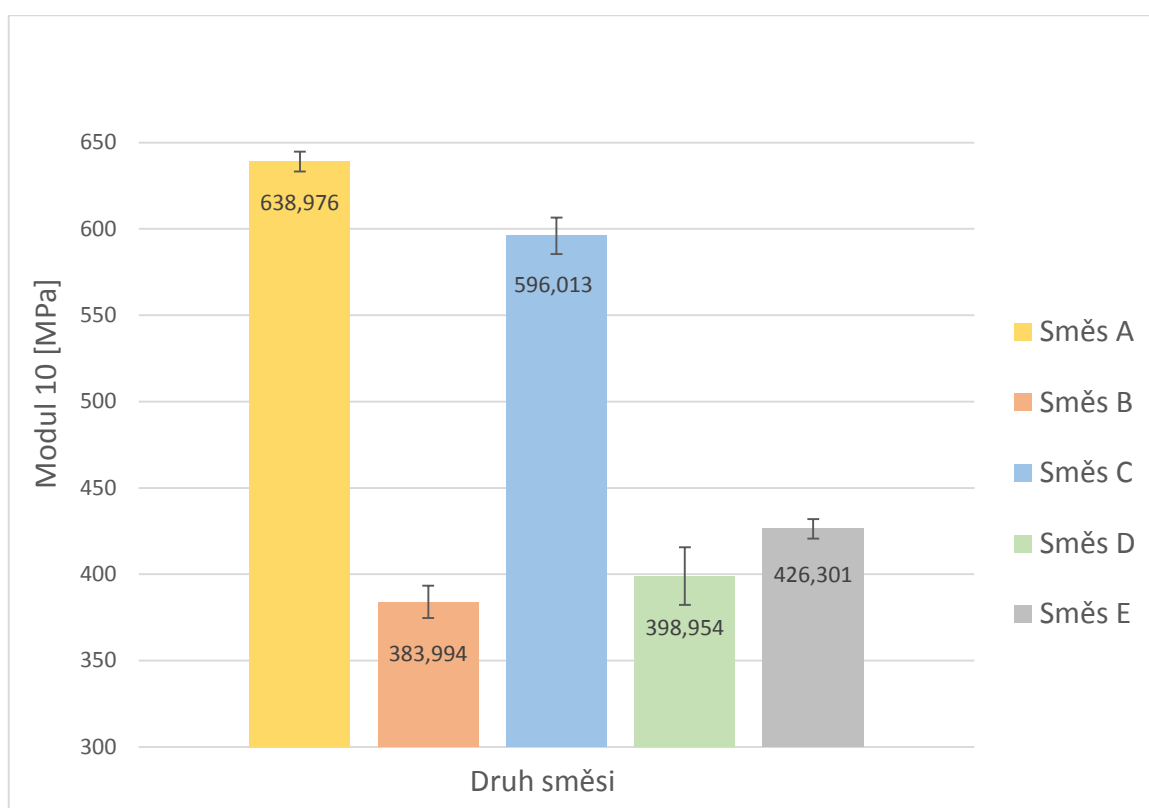


Obr. 24 Srovnání tažnosti směsí

Po provedené tahové zkoušce bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota tažnosti byla naměřena u směsi A. Nejnižší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi B, jak je patrné z obrázku. (Obr. 24).

Tab. 3 Modul pružnosti v tahu při 10% deformaci vzorku

Směs	Modul 10 [MPa]	SMCH
A	638,976	5,691
B	383,994	9,342
C	596,013	10,536
D	398,954	16,723
E	426,301	5,636

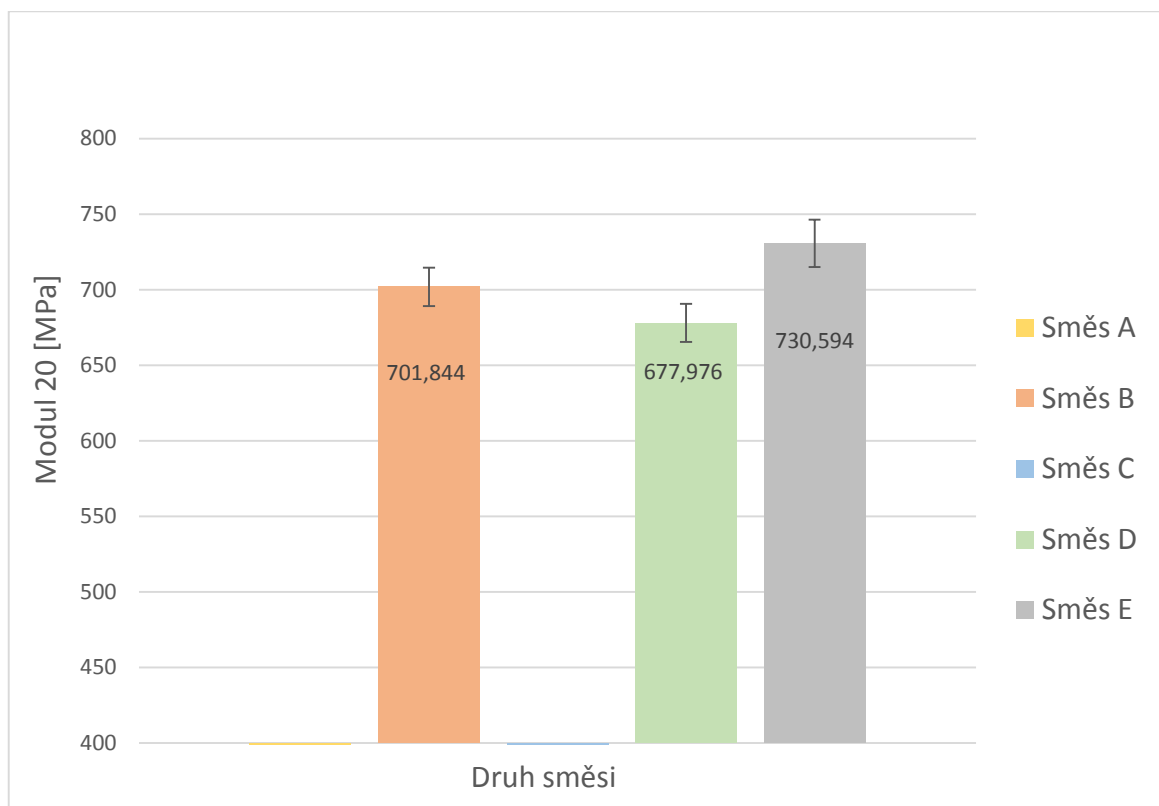


Obr. 25 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 10

Dalším z důležitých výsledků tahové zkoušky je hodnota modulu pružnosti v tahu, která nám reprezentuje tuhost zkušebního tělesa. Z výsledků zkoušky tahem vyplynulo, že nejvyšší hodnota tuhosti při 10% deformaci vzorku, byla zjištěna u směsi A, zatímco nejmenší hodnoty tuhosti bylo dosaženo u směsi B, jak je patrné z obrázku. (Obr. 25).

Tab. 4 Modul pružnosti v tahu při 20% deformaci vzorku

Směs	Modul 20 [MPa]	SMCH
A	0	0,00
B	701,844	12,778
C	0	0
D	677,976	12,537
E	730,594	15,733

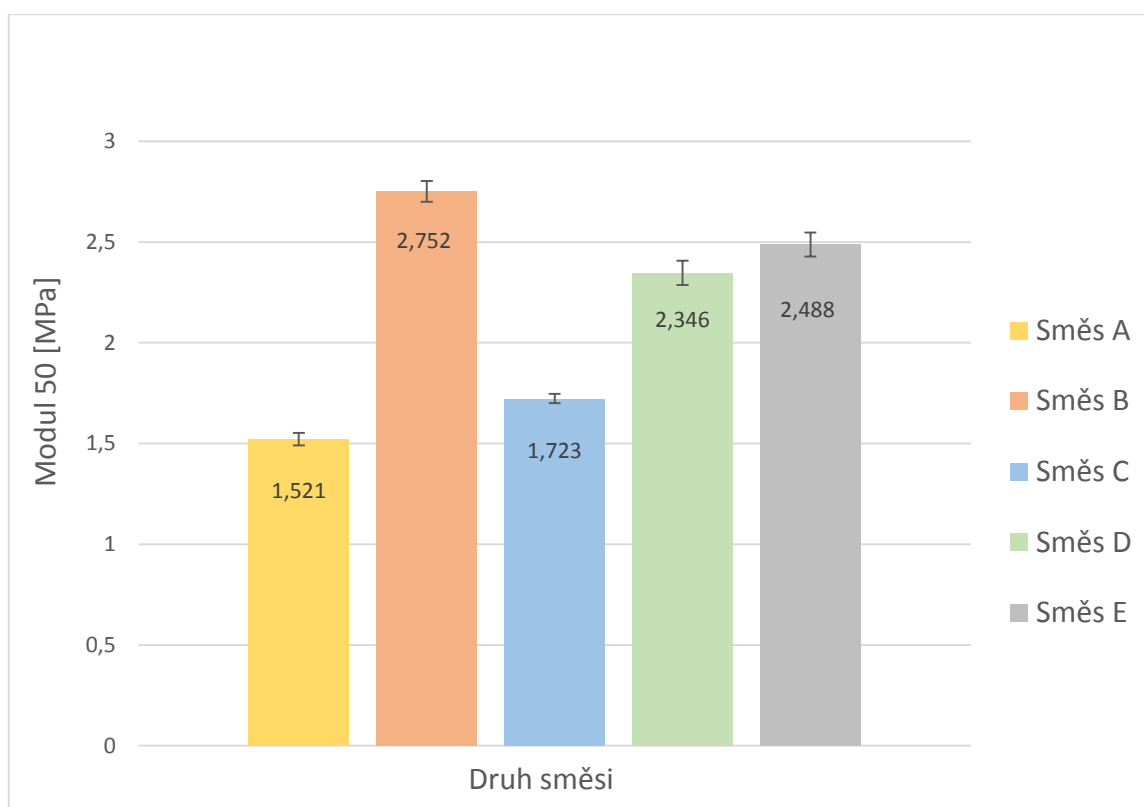


Obr. 26 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 20

Jak je patrné z výsledků (Tab. 4), tak u směsi A a C nebyla hodnota tuhosti při 20% deformaci vzorku naměřena. Nejvyšší hodnota tuhosti byla tedy naměřena u směsi E a naopak nejnižší u směsi D, což můžeme vidět na obrázku (Obr. 26).

Tab. 5 Modul pružnosti v tahu při 50% deformaci vzorku

Směs	Modul 50 [MPa]	SMCH
A	1,521	0,031
B	2,752	0,052
C	1,723	0,023
D	2,346	0,061
E	2,488	0,059

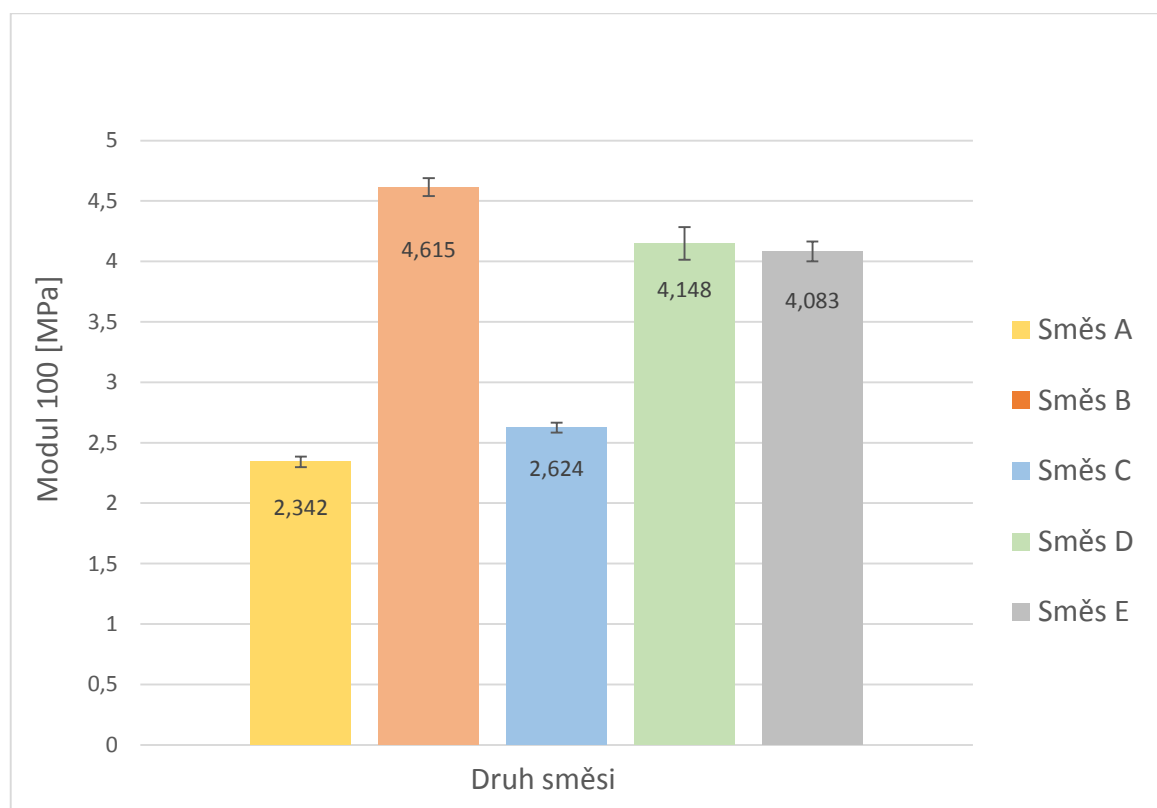


Obr. 27 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 50

Nejvyšší modul pružnosti v tahu, který reprezentuje tuhost zkušebního tělesa při jeho 50% deformaci, dosáhla směs B. Naopak nejnižší tuhost byla naměřena u směsi A, jak je patrné z obrázku (Obr. 26).

Tab. 6 Modul pružnosti v tahu při 100% deformaci vzorku

Směs	Modul 100 [MPa]	SMCH
A	2,342	0,043
B	4,615	0,075
C	2,624	0,041
D	4,148	0,135
E	4,083	0,083

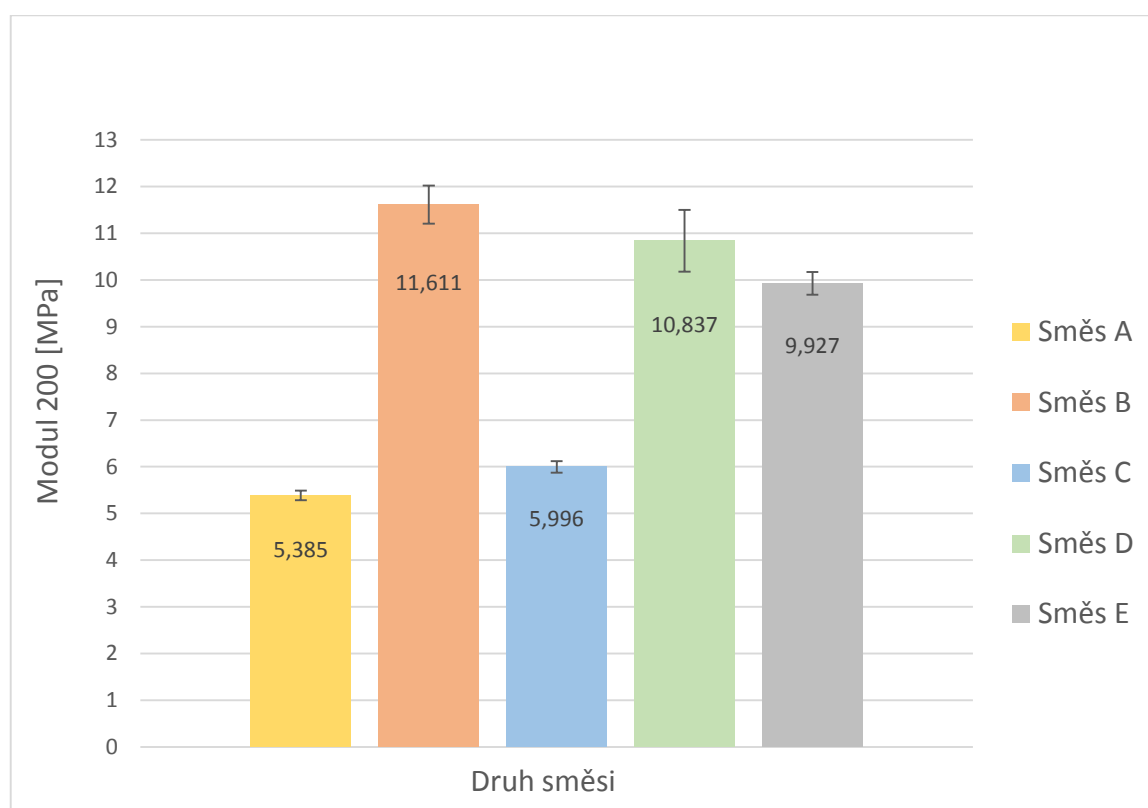


Obr. 28 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 100

Z výsledků zkoušky tahem vyplynulo, že nejvyšší hodnota tuhosti při 100% deformaci vzorku, byla zjištěna u směsi B, zatímco nejmenší hodnoty tuhosti bylo dosaženo u směsi A, jak je patrné z obrázku. (Obr. 28).

Tab. 7 Modul pružnosti v tahu při 200% deformaci vzorku

Směs	Modul 200 [MPa]	SMCH
A	5,385	0,102
B	11,611	0,408
C	5,996	0,125
D	10,837	0,661
E	9,927	0,241

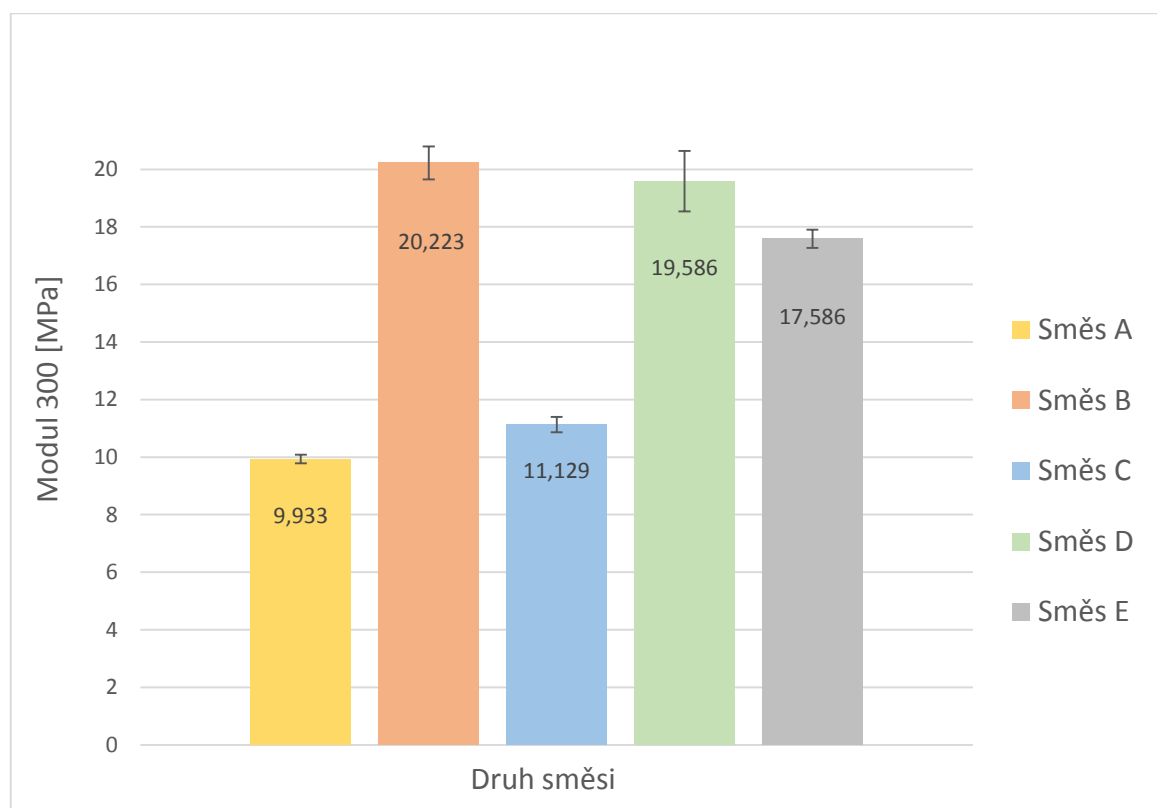


Obr. 29 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 200

Nejvyšší modul pružnosti v tahu, který reprezentuje tuhost zkušebního tělesa při jeho 200% deformaci, dosáhla směs B. Naopak nejnižší tuhost byla naměřena u směsi A, jak je patrné z obrázku (Obr. 29).

Tab. 8 Modul pružnosti v tahu při 300% deformaci vzorku

Směs	Modul 300 [MPa]	SMCH
A	9,933	0,146
B	20,223	0,577
C	11,129	0,264
D	19,586	1,053
E	17,586	0,316

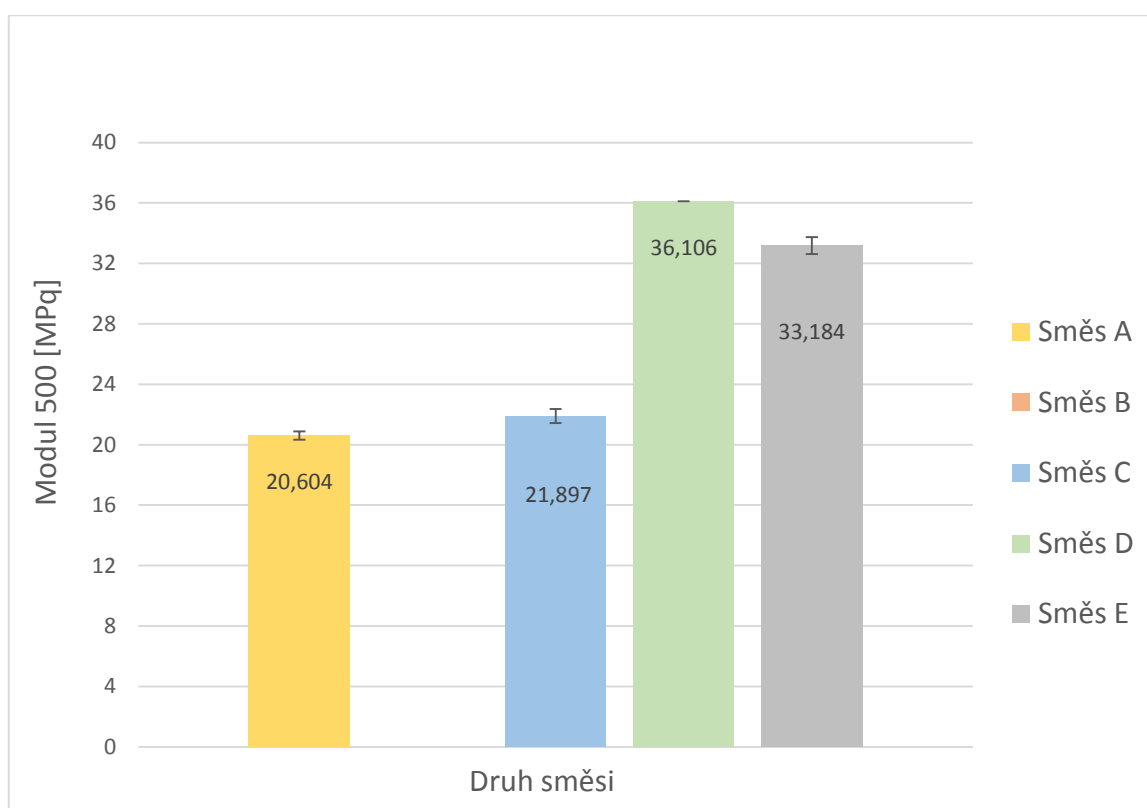


Obr. 30 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 300

Z výsledků zkoušky tahem vyplynulo, že nejvyšší hodnota tuhosti při 300% deformaci vzorku, byla zjištěna u směsi B, zatímco nejmenší hodnoty tuhosti bylo dosaženo u směsi A, jak je patrné z obrázku. (Obr. 30).

Tab. 9 Modul pružnosti v tahu při 500% deformaci vzorku

Směs	Modul 500 [MPa]	SMCH
A	20,604	0,273
B	0	0
C	21,897	0,462
D	36,106	0
E	33,184	0,569



Obr. 31 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 500

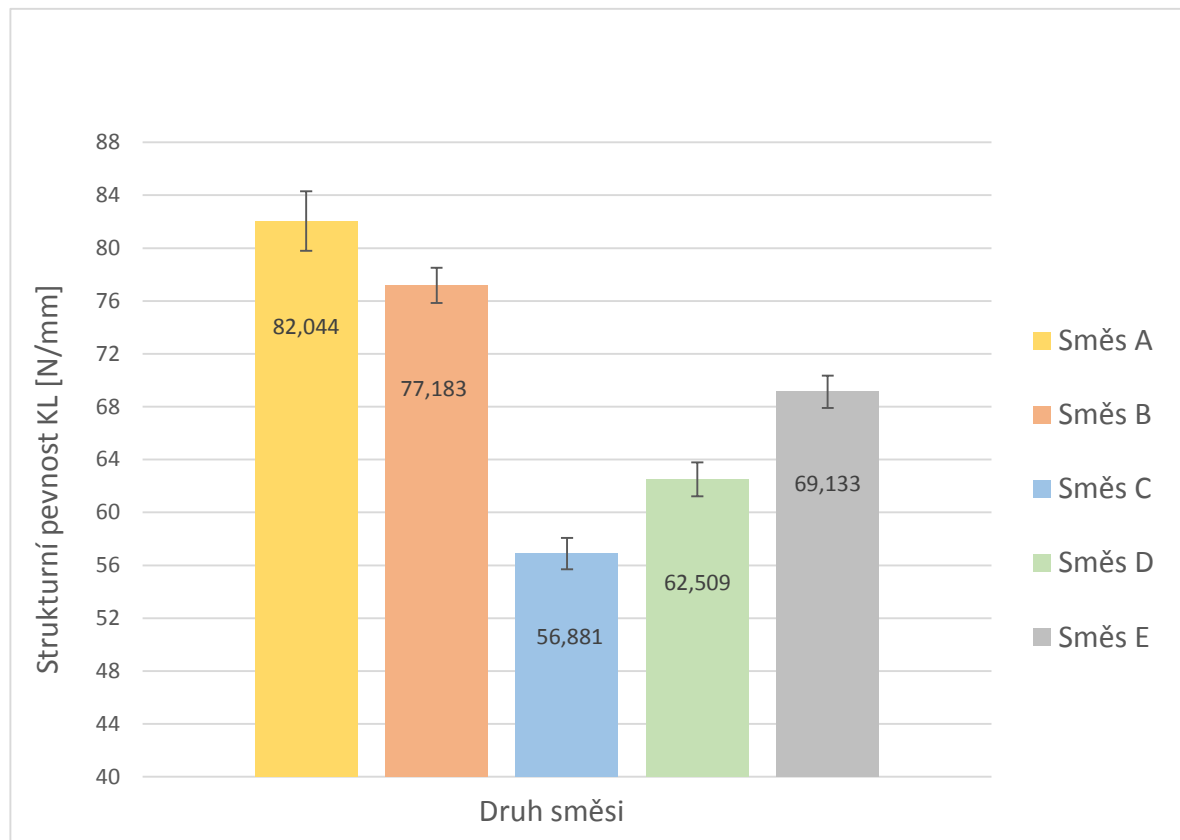
Jak je patrné z výsledků (Tab. 9), tak u směsi B nebyla hodnota tuhosti při 500% deformaci vzorku naměřena. Mohlo to být způsobeno prasknutím vzorku. Nejvyšší hodnotu tuhosti tedy byla naměřena u směsi D a naopak nejnižší u směsi A, což můžeme vidět na obrázku (Obr. 31).

5.1.2 Zkouška strukturní pevnosti

Tato zkouška byla také uskutečněna na trhacím stroji T 2000 od firmy Sloha Technologies. Zkouška strukturní pevnosti byla provedena za konstantní rychlosti protahování 500 mm/min. Principem zkoušky je tahové namáhání zkušebního tělesa, které je upnuté v čelistech trhacího stroje a v následném měření síly, jež je potřebná k přetržení zkušebního tělesa. Zkušební tělesa se tedy namáhají tahem, přičemž posuv čelisti trhacího stroje se volí v rozmezí 500 ± 50 mm/min a zapisuje se nejvyšší síla, jež je nutná k přetržení zkušebního vzorku. Strukturní pevnost [N/mm] je definována jako podíl maximální síly [N] potřebné k přetržení a tloušťky [mm] zkušebního tělesa. [4]

Tab. 10 Strukturální pevnost klasická

Směs	Struk. pevnost KL [N/mm]	SMCH
A	82,044	2,253
B	77,183	1,323
C	56,881	1,186
D	62,509	1,286
E	69,133	1,223

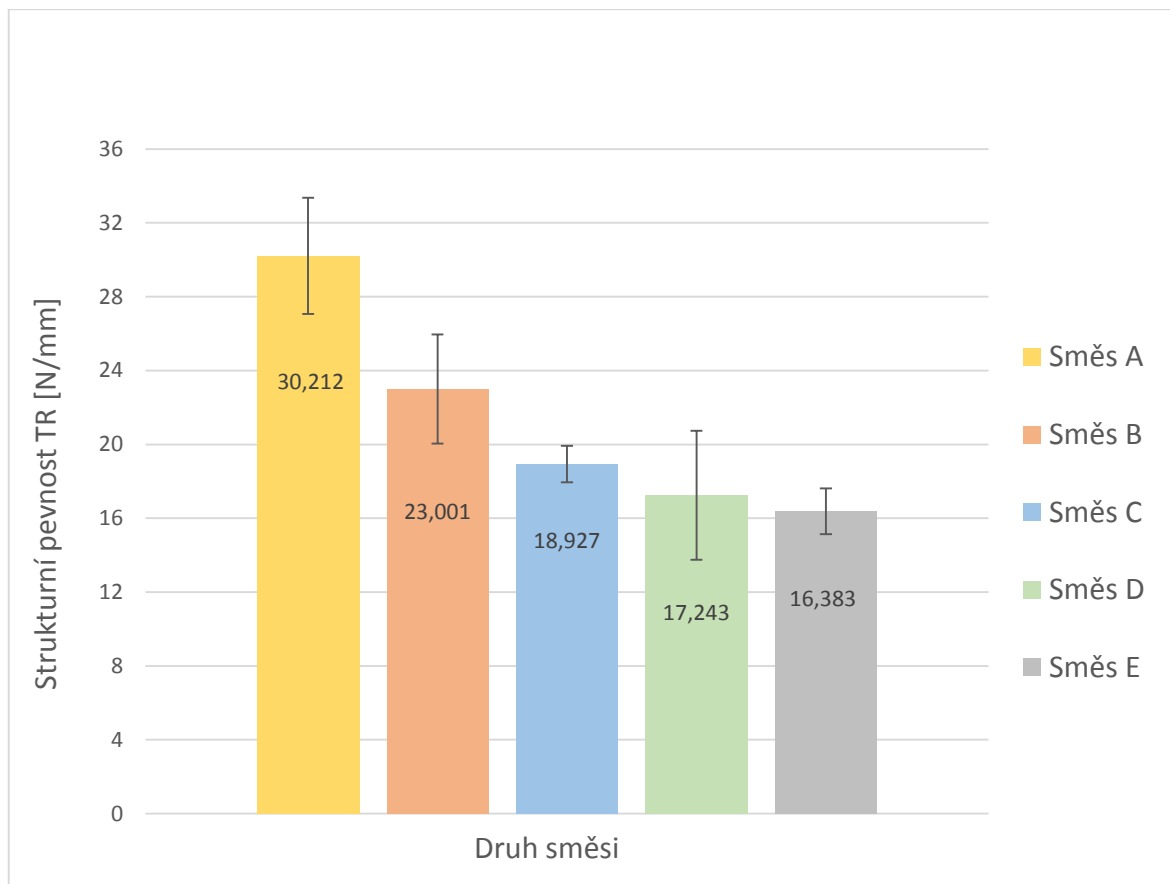


Obr. 32 Srovnání strukturální pevnosti (klasická) směsí

Mezi další důležité výsledky tahové zkoušky patří strukturální pevnost. Nejvyšší strukturální pevnosti klasické dosahuje směs A, naopak nejnižší směs C, což je patrné z obrázku (Obr. 32).

Tab. 11 Strukturální pevnost Trouser

Směs	Struk. pevnost TR [N/mm]	SMCH
A	30,212	3,148
B	23,001	2,959
C	18,927	0,987
D	17,243	3,502
E	16,383	1,241

*Obr. 33 Srovnání strukturální pevnosti (Trouser) směsí*

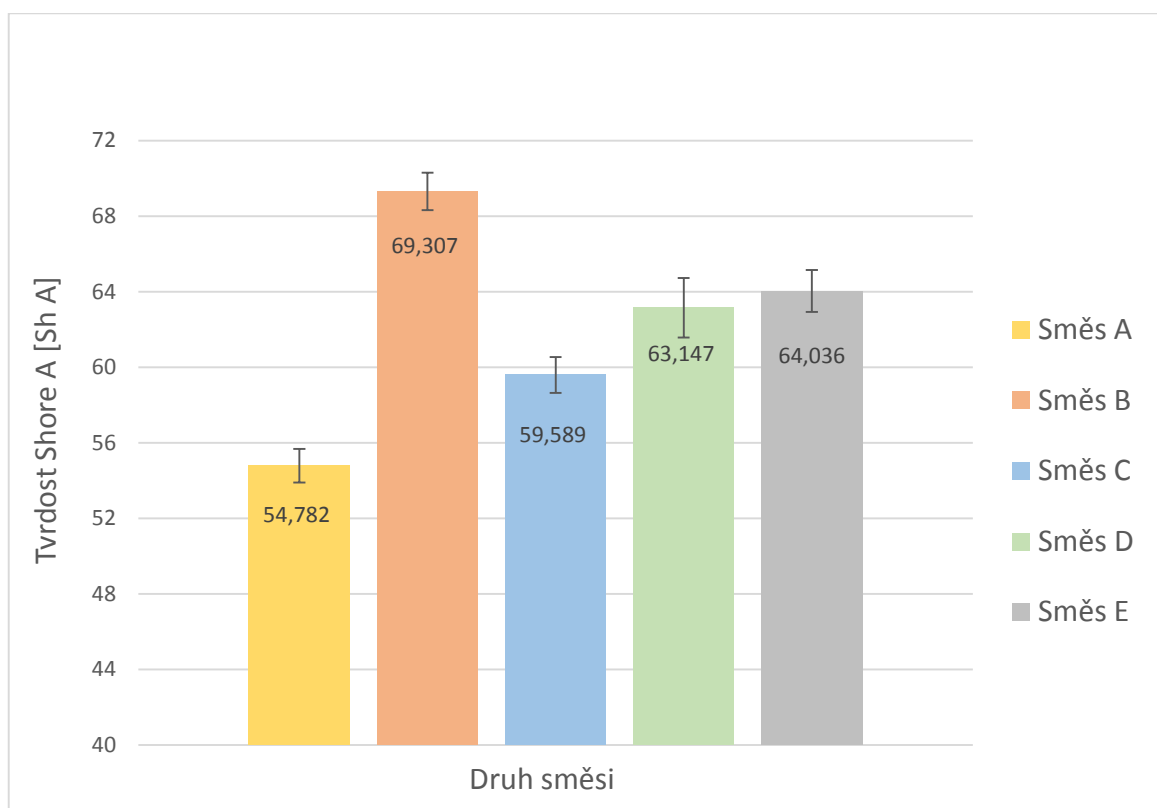
Nejvyšší strukturální pevnost Trouser byla naměřena u směsi A, naopak nejnižší strukturální pevnost měla směs E, naměřené hodnoty jsou uvedené na obrázku (Obr. 33).

5.1.3 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na tvrdoměru typu HPE – A Berreiss, metodou Shore A. Zkušební vzorky byly stejné, jako pro rychlý test opotřebení Chip – Chunk. Při zkoušce tvrdosti Shore A je potřeba, aby měl zkušební vzorek výšku minimálně 6 mm. Po stlačení páky na přístroji a zarytí hrotu do pryže setrváme cca 10s. Po uplynutí této doby zapíšeme hodnotu z číselníku přístroje, jež je v jednotkách Shore A. Tento postup opakujeme alespoň na 5 různých místech a minimálně 12 mm od kraje vzorku. Z naměřených hodnot pak vypočítáme aritmetický průměr. Obecně principem zkoušky tvrdosti je měření hloubky vrypu z hrotu, jež je vtlačen do zkoušeného materiálu za charakteristických podmínek. Hodnota tvrdosti je tedy nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí především na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. [4]

Tab. 12 Tvrđost Shore A

Směs	Tvrđost Shore A [Sh A]	SMCH
A	54,782	0,891
B	69,307	0,995
C	59,589	0,949
D	63,147	1,569
E	64,036	1,111

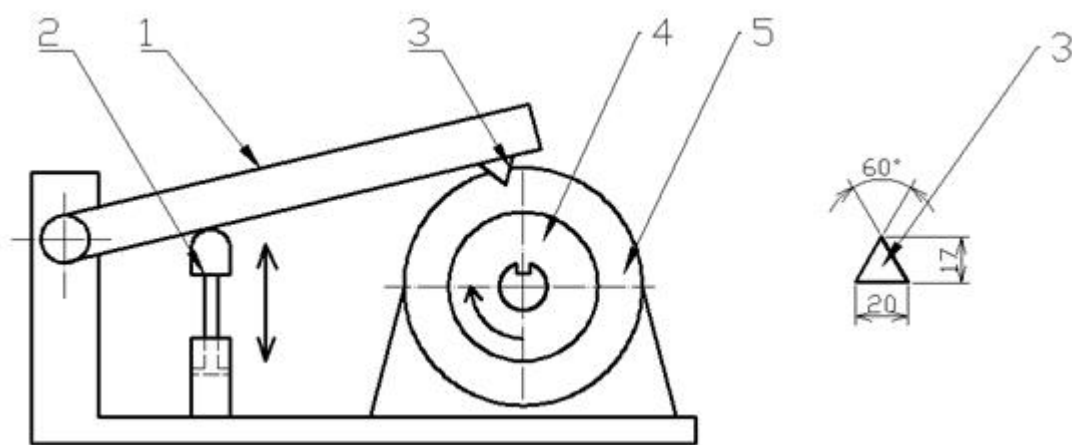


Obr. 34 Srovnání tvrdosti Shore A směsí

Z výsledků měření tvrdosti Shore A, jež nám reprezentuje odpor proti vnikání tělesa do povrchu, vyplynulo že, nejvyšší tvrdost vykazuje směs B, naopak nejnižší tvrdost má směs A, jak je patrné z obrázku (Obr. 34).

5.2 Zkouška opotřebení

Zkoušky opotřebení pneumatik respektive běhounů jsou časově tak i ekonomicky velice náročné. Zkoušky se provádí buď na zkušebnách, nebo přímo v terénu při jízdách zkouškách. Jelikož jsou tyto zkoušky velmi zdlouhavé, byla snaha nalézt takovou zkušební metodu, při které by se dalo testovat opotřebení rychle a na malých vzorcích, přičemž by se daly navzájem porovnávat jednotlivé druhy směsí. Těmto požadavkům vyhovuje zařízení, které bylo navrženo pro rychlý test opotřebení, jehož princip je znázorněn na obrázku (obr. 35). Jako základ bylo zvoleno zařízení pro testování Chip – Chunk opotřebení. [4]



Obr. 35 Schéma zařízení pro rychlý test opotřebení Chip Chunk. [4]

1 – rameno, 2 – pneum. válec, 3 - keramický břit, 4 – zkušební těleso, 5 – elektromotor

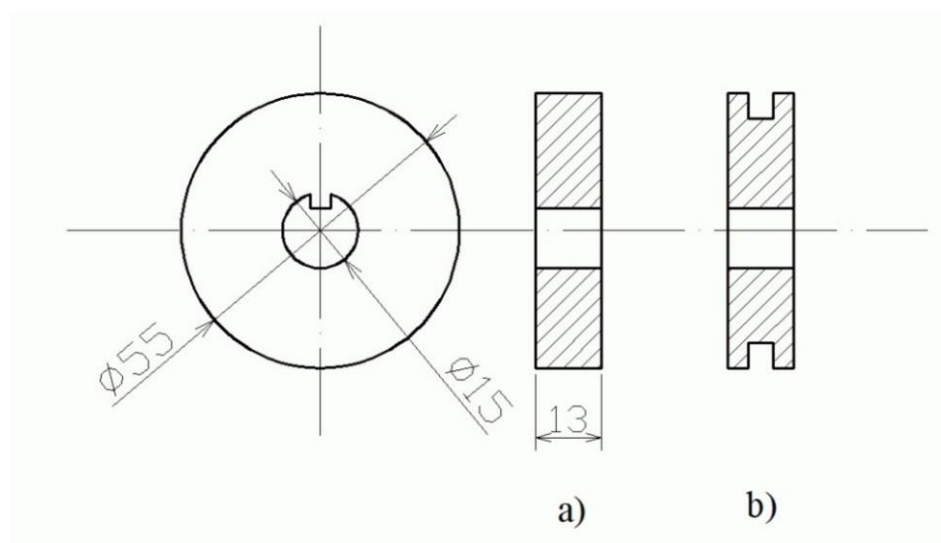
Rameno (1), na jehož konci je připevněn keramický břit (3), je zvedáno pomocí pneumatického válce (2). Po zvednutí rameno padá gravitační silou a keramický břit dopadá na rotující pryžové zkušební těleso (4), jež je poháněné elektromotorem (5). Při dopadu břitu na rotující zkušební těleso je postupně vysekáván materiál, jež vytváří ve zkušebním tělese drážku. Velikost zhotovené drážky břitem za daný čas je úměrná opotřebení. Při návrhu tohoto zařízení musely být zohledněny následující požadavky: [4]

- 1) **Otáčky zkušebního tělesa** musí být libovolně volitelné v širokém spektru. Nejvýhodnější bylo proto použít pohon elektromotorem, jehož otáčky se regulují pomocí statického měniče kmitočtů. Mezi výhody této regulace patří široká volitelnost otáček od 0 až do maximální hodnoty, tím pádem odpadá nutnost regulace otáček převodovkou. Pro námi použitý přístroj byl zvolen elektromotor typ 4AP80 – 6s a statický měnič kmitočtů typ Alitivar 08. [4]

- 2) **Variabilní zdvih ramene.** Požadavek na proměnlivý zdvih ramene byl realizován pneumatickým mechanismem, který je tvořený pracovním pístem, jež má proměnlivý zdvih. Do pracovního válce je přiváděn vzduch přímo z ventilu EVK 3120 firmy SMC a celý pohyb je ovládaný řídicí jednotkou FESTO typ FEC – FC20/10W.
- 3) **Zabezpečit stálé vlastnosti břitu.** Po zahájení přístroje do chodu se používal břit z nástrojové oceli, u něhož docházelo k velmi rychlému opotřebení, což mělo za následek změnu vlastností experimentu. Následným pokusem se začal používat keramický břit, kterým byla upravena břitová destička pro řezné nástroje (typ TNGN 220608, Saint Gobain). Úpravou tohoto keramického řezného nástroje byly zhotoveny tři řezné břity s úhlem 60° . [4]

5.2.1 Rozměry a tvar zkušebního tělesa

Z důvodu snadné výroby zkušebních vzorků byly rozměry zvoleny dle obrázku (obr. 36). Průměr zkušebního vzorku je $\varnothing 55$ mm a šířka 13 mm. Rozměry byly stejné, jako u zkušebních vzorků pro stanovení tvrdosti Shore A. Během experimentu se vytvoří (vytrhá) keramickým břitem ve zkušebním tělesu drážka. Při obrábění jiných materiálů, zejména kovů, ale i dřeva, plastů aj., by byl tvar drážky pravidelný. Jelikož má pryž elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vytrhávání materiálu v okamžiku dopadu břitu na rotující kotouč a tím pádem i nepravidelnému tvaru drážky. Proto se upustilo od vyhodnocování opotřebení měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky. [4]



Obr. 36 Rozměry zkušebního tělesa. [4]

a) před zkouškou, b) po zkoušce

5.3 Analýza opotřebení

Největší vliv na opotřebení má energie dopadu keramického břitu na povrch zkušební tělesa. Jelikož se nejedná o pevné těleso, kde by byl výpočet účinku dopadové energie poměrně jednoduchý, ale o elastické, je situace složitější. Elastické vlastnosti pryže však způsobí, že po prvním dopadu keramického břitu dojde k hlavnímu účinku a zároveň ještě k sérii dalších účinků, jež mají menší intenzitu, což se projeví „poskakováním“ břitu po povrchu. Na celkové opotřebení vzorku mají hlavní účinky keramického břitu jen částečný vliv. Bylo zjištěno, že pokud bychom vzali v úvahu jen energii hlavního dopadu při celkové práci potřebné k opotřebení, byly by výsledky značně zkreslené. Při prvním testování zařízení se vycházelo z předpokladu, že experiment bude probíhat za stejných podmínek, přičemž výsledky v dané sérii měření budou srovnatelné. Experimentální zařízení má proto konstrukci uzpůsobenou tak, že drážka na zkušebním tělese zapadá do pera na hřídeli a upínací podložky, jež jsou opatřeny hroty, zabraňují prokluzování zkušební tělesa při záběru. Test rychlého opotřebení byl proveden na experimentálním zařízení při teplotě okolí 20 °C, doba trvání jednotlivých experimentů byla stanovena na 90s a 180s. Každý vzorek byl zvážěn a poté upnut do čelistí přístroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a byl uveden do rotace. Dále byl spuštěn pneumatický mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Čas byl měřen od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem. K měření bylo vždy použito 10 zkušebních vzorků, jež byly zhotoveny ze směsí A, B, C, D, a E. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Zkoušky byly prováděny při dopadu keramického břitu na obvod zkušební tělesa v radiálním směru při dopadu keramického břitu. [4]

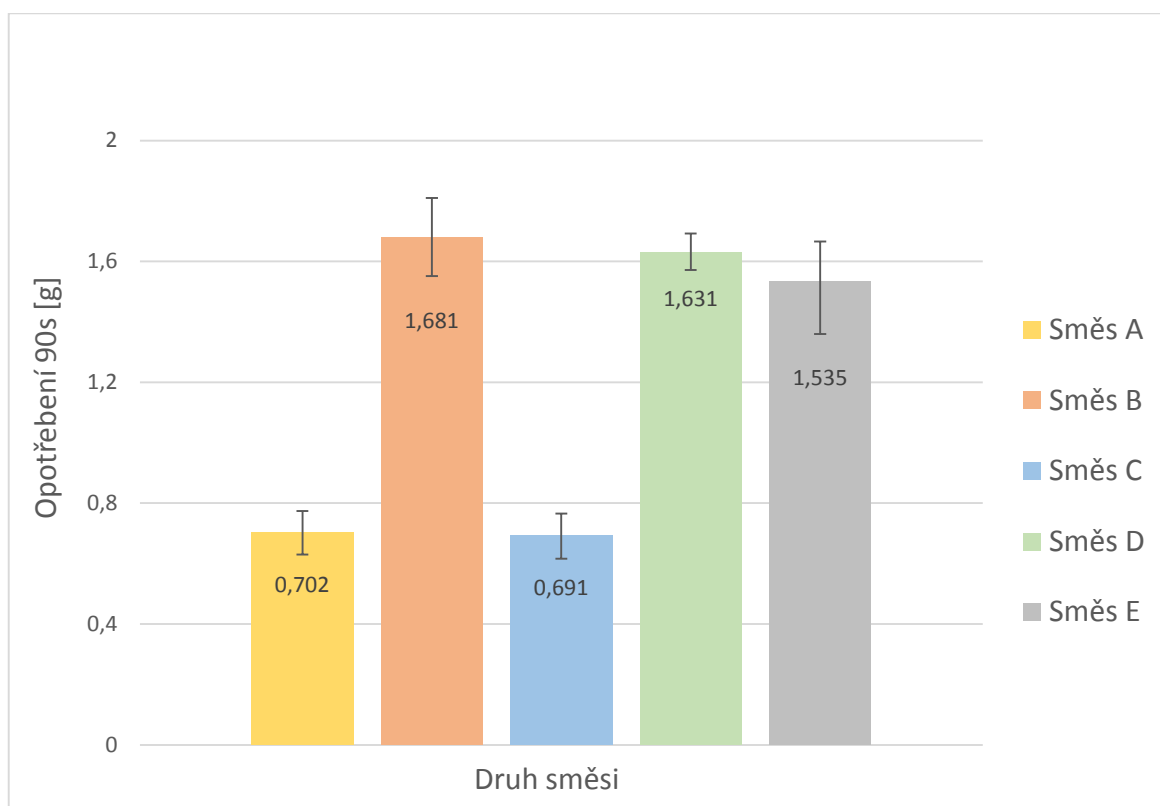
5.3.1 Podmínky experimentu

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

- otáčky zkušební tělesa 0 - 910 min⁻¹
- frekvence dopadu keramického břitu - 1 Hz
- zdvih keramického břitu - 60 mm
- teplota okolí - 21 °C
- doba trvání experimentu - 90s a 180s
- rychlost dopadu - 2.1m/s

Tab. 13 Opotřebení 90s

Směs	Opotřebení 90s [g]	SMCH
A	0,702	0,072
B	1,681	0,129
C	0,691	0,075
D	1,631	0,131
E	1,535	0,175

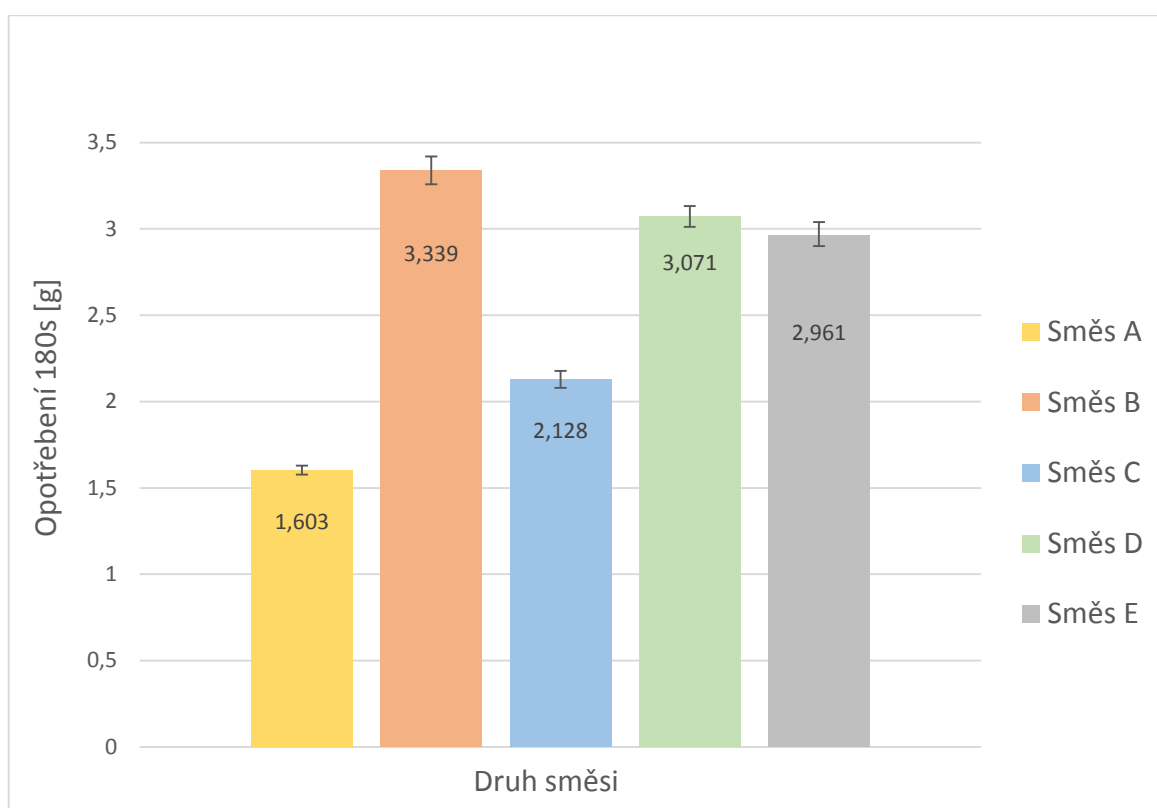


Obr. 37 Srovnání opotřebení směsí 90s

Z výsledků rychlého testu opotřebení, který je reprezentován váhovým úbytkem, vyplynulo, že nejvyšší hodnotu opotřebení dosáhla směs B, naopak nejnižší opotřebení měla směs C, jak je patrné z obrázku (Obr. 37).

Tab. 14 Opotřebení 180s

Směs	Opotřebení 180s [g]	SMCH
A	1,603	0,026
B	3,339	0,081
C	2,128	0,049
D	3,071	0,078
E	2,961	0,061



Obr. 38 Srovnání opotřebení směsí 180s

Z výsledků rychlého testu opotřebení vyplynulo, že nejvyšší hodnotu opotřebení měla opět směs B, avšak nejnižší opotřebení měla nyní směs A, jak je patrné z obrázku (Obr. 37).

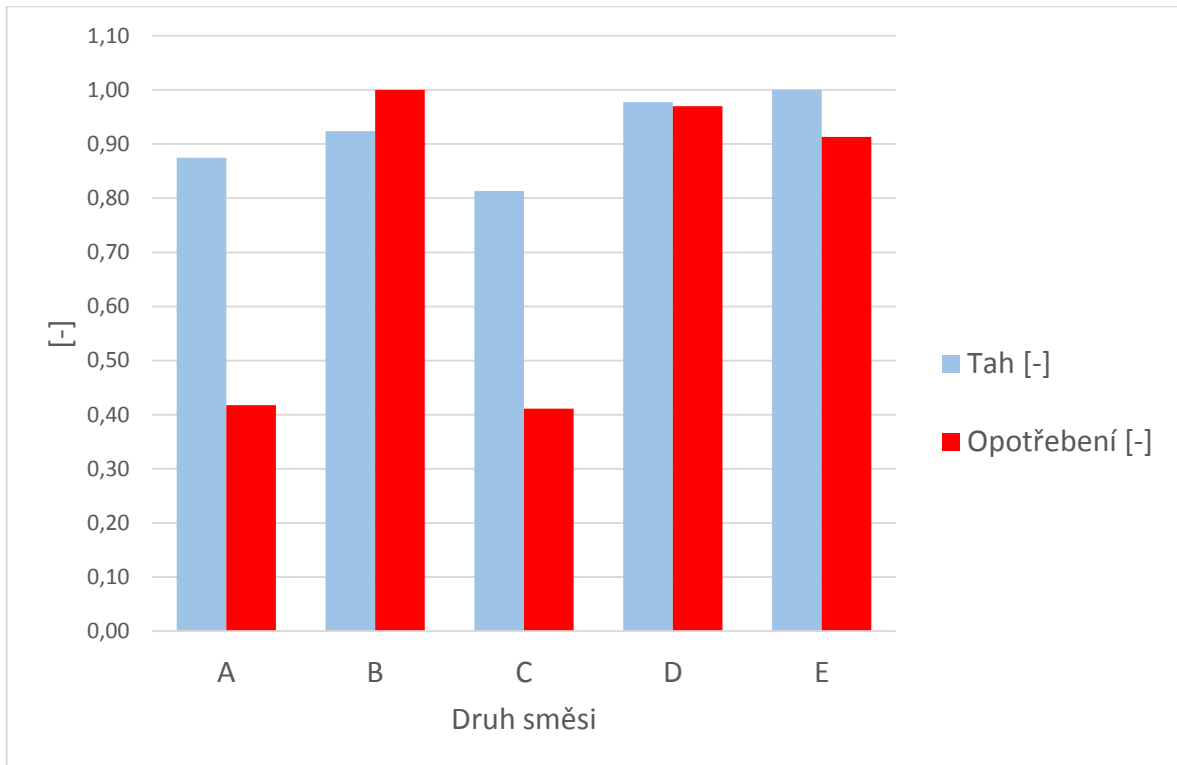
6 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Pro experimentální část bylo vybráno 5 druhů běhounových směsí, které byly určeny pro velmi namáhané pláště pneumatik, pracující v náročných terénních podmínkách (lesní terén, stavby, lomy). Směsi byly vyrobeny na základě NR, SBR, BR a jako plnicí systém byly použity saze. Všechny testované běhounové směsi představují reálné produkty, které jsou průmyslově vyráběny a zpracovány.

V experimentální části byl proveden soubor testů, zahrnující testy mechanických vlastností (pevnost v tahu, tažnost, zkouška strukturní pevnosti, modulů pružnosti a tvrdosti) a rychlého testu opotřebení. Pro rychlý test opotřebení byly použity dvě časové periody 90s a 180 s. Pro každý test byl použit soubor 10 zkušebních vzorků. Naměřené výsledky byly graficky zpracovány a vyhodnoceny. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření.

6.1 Srovnání mechanických vlastností a opotřebení

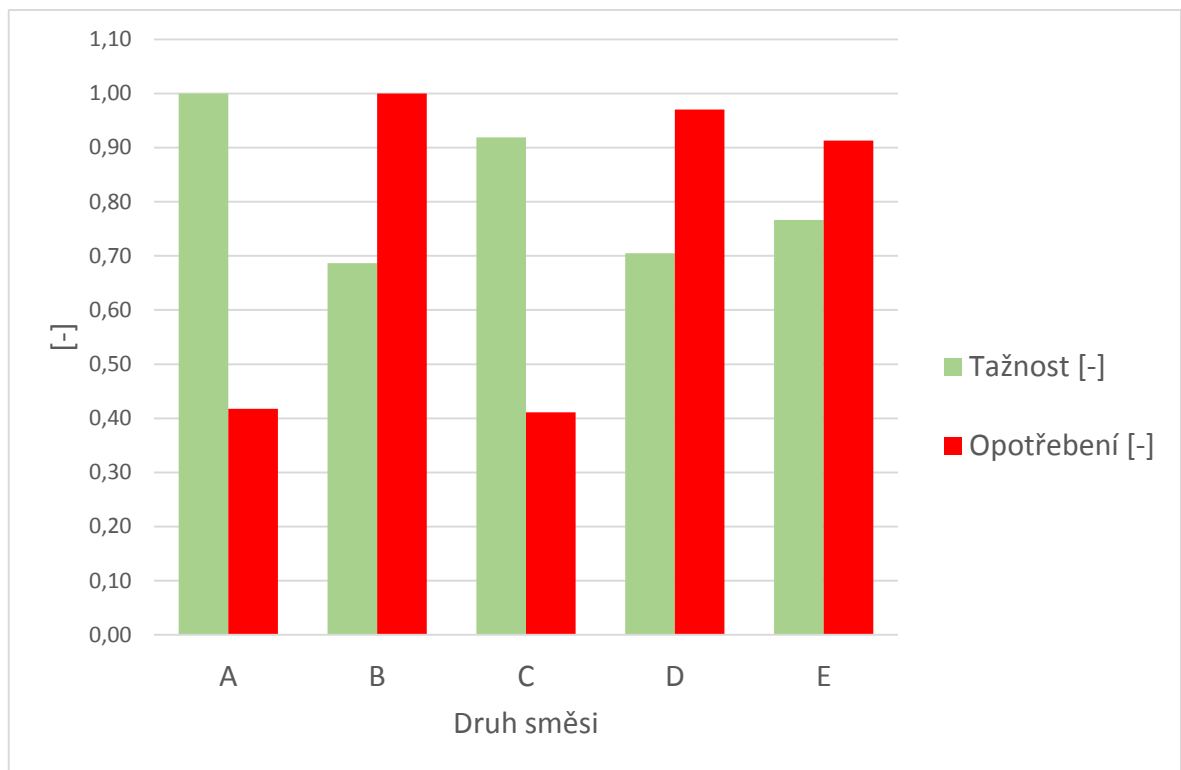
6.1.1 Tah a opotřebení 90s



Obr. 39 Srovnání pevnosti v tahu a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení zjistíme, že nejvyšší pevnost vykazuje směs E, naopak nejvyšší opotřebení pozorujeme u směsi B. Směs C má nejnižší pevnost v tahu a zároveň i nejnižší míru opotřebení, jak je vidět z obrázku (Obr. 38).

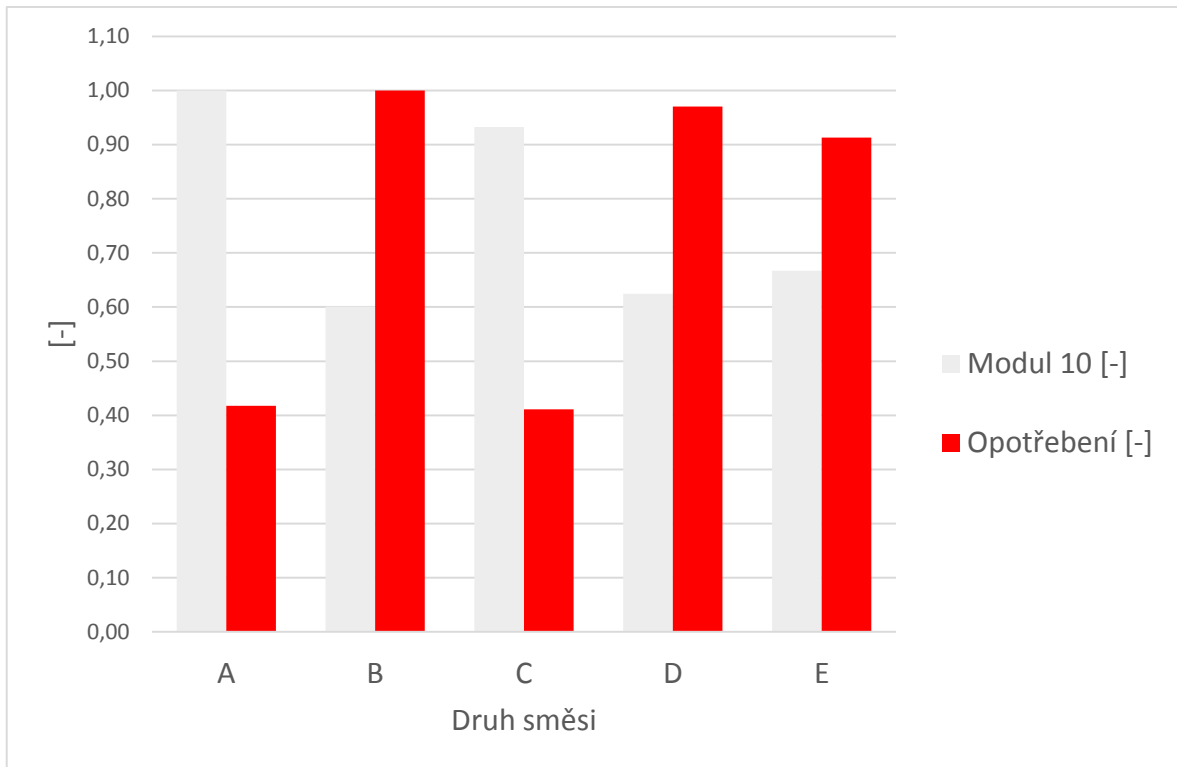
6.1.2 Tažnost a opotřebení 90s



Obr. 40 Srovnání tažnosti a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyplynulo, že nejvyšší tažnost má směs A, ale nejvyšší opotřebení vykazuje směs B. Naopak nejnižší tažnost byla zjištěna u směsi B a nejnižší opotřebení pozorujeme u směsi C, jak je vidět na obrázku (Obr. 40).

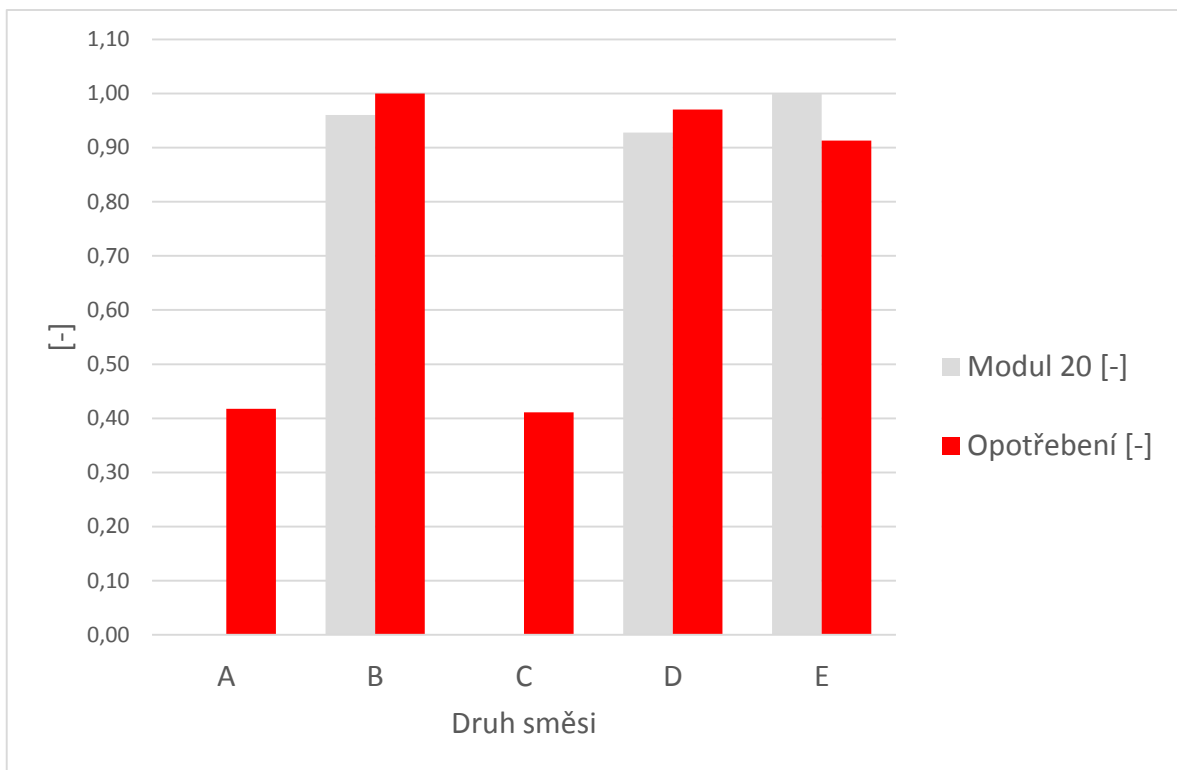
6.1.3 Modul 10 a opotřebení 90s



Obr. 41 Srovnání modulu pružnosti M_{10} a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení je patrné, že nejvyšší hodnoty modulu 10 byly naměřeny u směsi A, která zároveň vykazovala jednu z nejnižších hodnot opotřebení. Naopak nejmenší hodnoty modulu 10 byly zjištěny u směsi B, u které byly naměřeny největší hodnoty opotřebení. (Obr. 41).

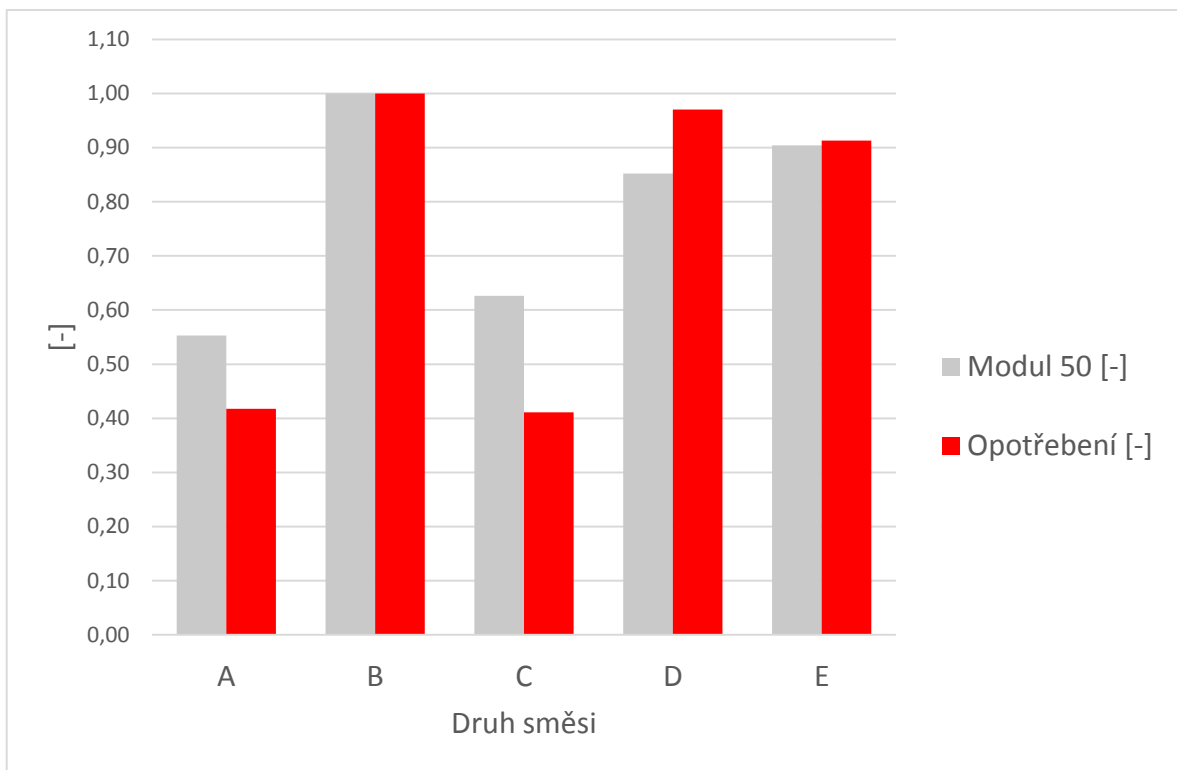
6.1.4 Modul 20 a opotřebení 90s



Obr. 42 Srovnání modulu pružnosti M 20 a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení je patrné, že nejvyšší hodnoty modulu 20 dosáhla směs E a nejvyššího opotřebení směs B. Nejnižší modul 20 vykazuje směs D, přičemž nejnižší opotřebení bylo zjištěno u směsí A a C, u kterých nebyl modul pružnosti naměřen, jak je patrné z obrázku (Obr.42).

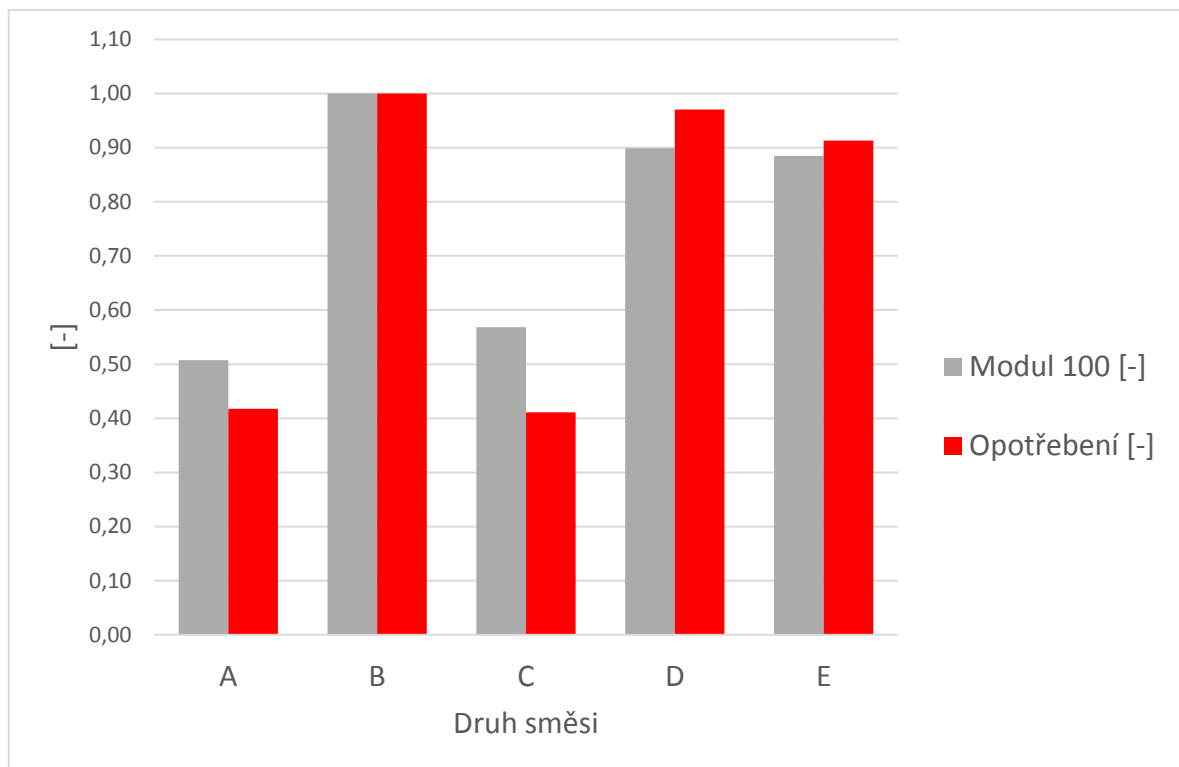
6.1.5 Modul 50 a opotřebení 90s



Obr. 43 Srovnání modulu pružnosti M_{50} a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 50 měla směs B a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší modul 50 vykazovala směs A, ale nejnižší opotřebení měla směs C. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku (Obr. 43)

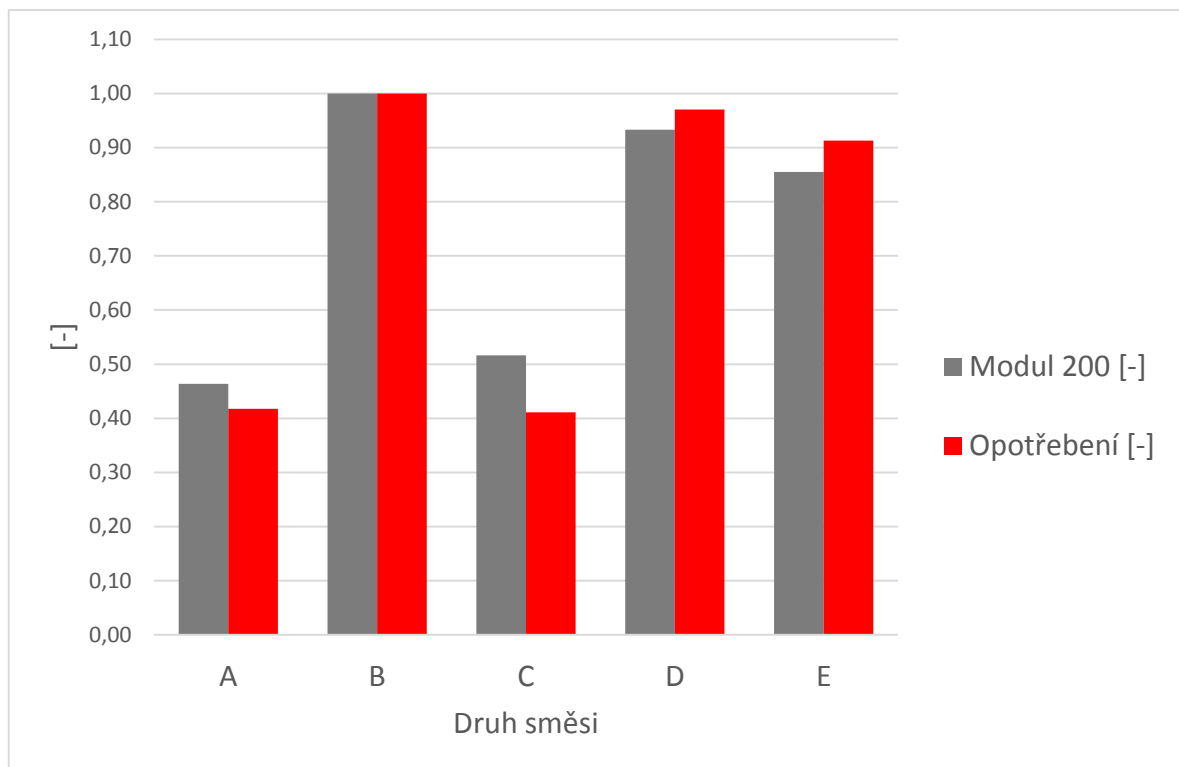
6.1.6 Modul 100 a opotřebení 90s



Obr. 44 Srovnání modulu pružnosti $M 100$ a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 100 měla směs B a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší modul 100 měla směs A, zatímco směs C měla nejnižší opotřebení, což je patrné z obrázku (Obr. 44).

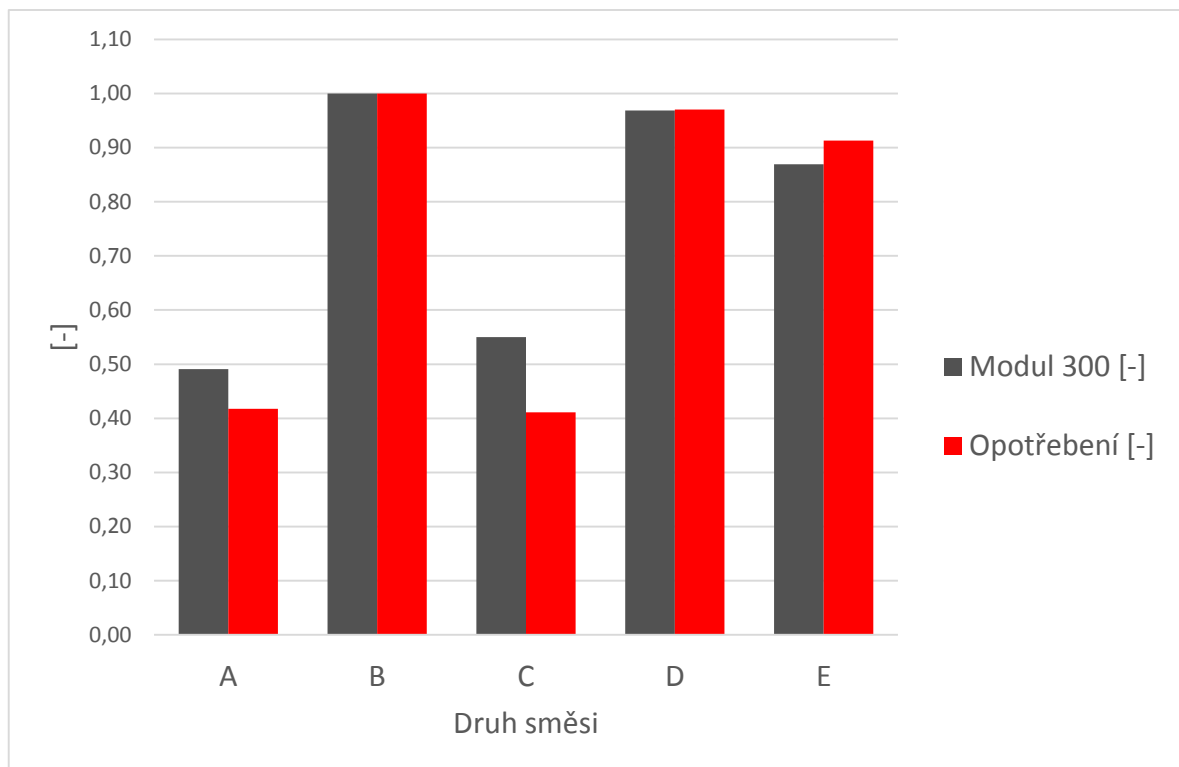
6.1.7 Modul 200 a opotřebení 90s



Obr. 45 Srovnání modulu pružnosti M 200 a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo opět najevo, že nejvyšší modul 200 měla směs B a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší hodnotu modulu 200 vykazovala směs A, ale nejnižší opotřebení měla směs C. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku (Obr. 45).

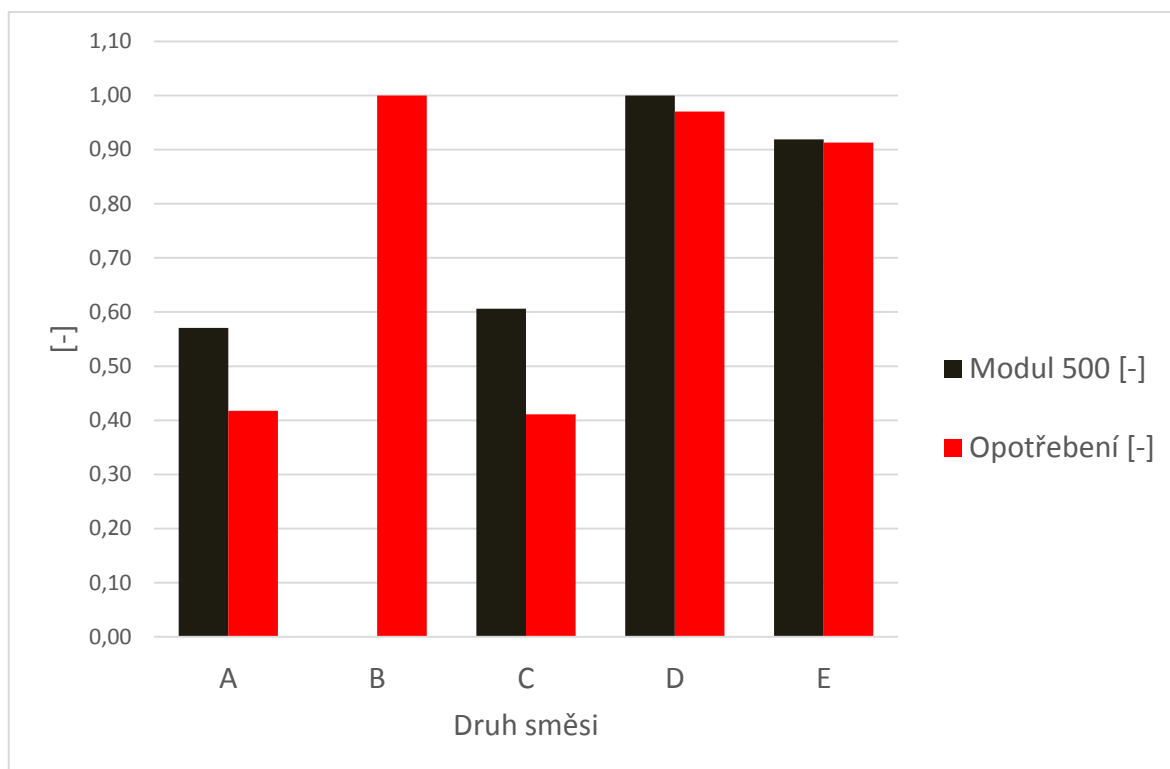
6.1.8 Modul 300 a opotřebení 90s



Obr. 46 Srovnání modulu pružnosti M 300 a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 300 měla směs B a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší hodnotu modulu 300 měla směs A, ovšem směs B měla nejnižší opotřebení, což je patrné z obrázku (Obr. 46).

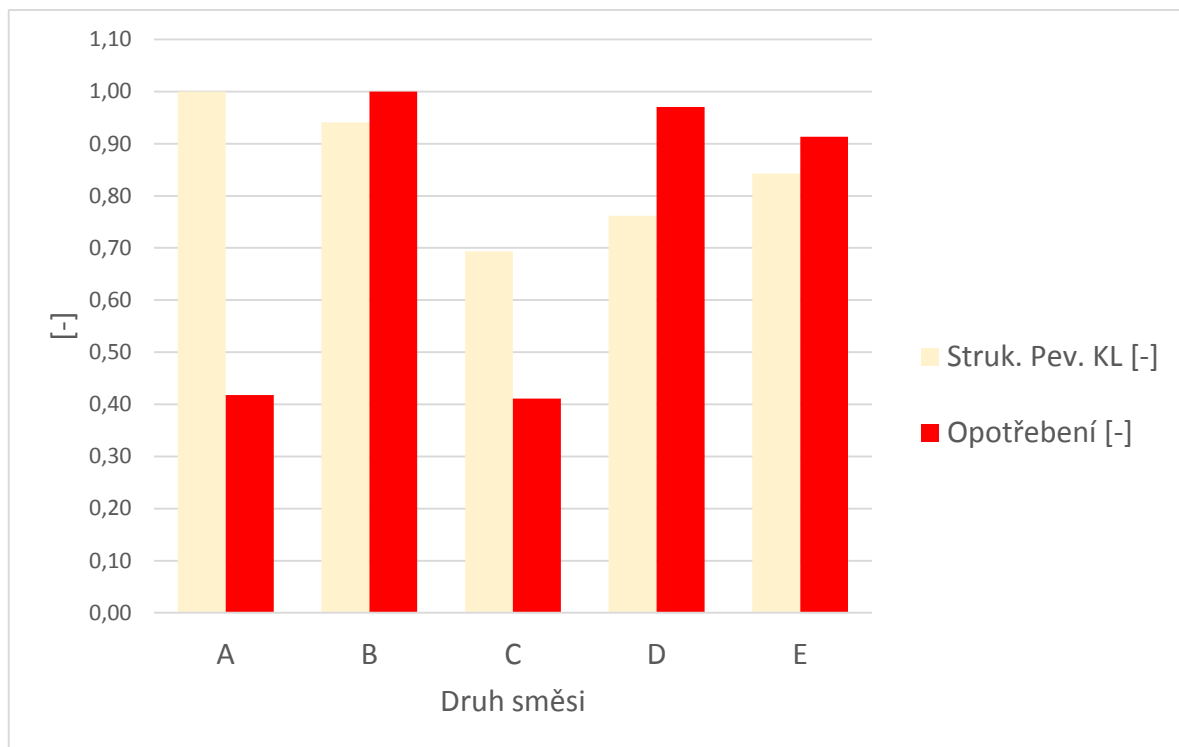
6.1.9 Modul 500 a opotřebení 90s



Obr. 47 Srovnání modulu pružnosti M 500 a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 500 měla směs D. Avšak nejvyšší opotřebení dosahovala směs B, nejnižší hodnotu modulu 500 vykazovala směs A, ale nejnižší opotřebení měla směs C, jak je patrné na obrázku (Obr. 47).

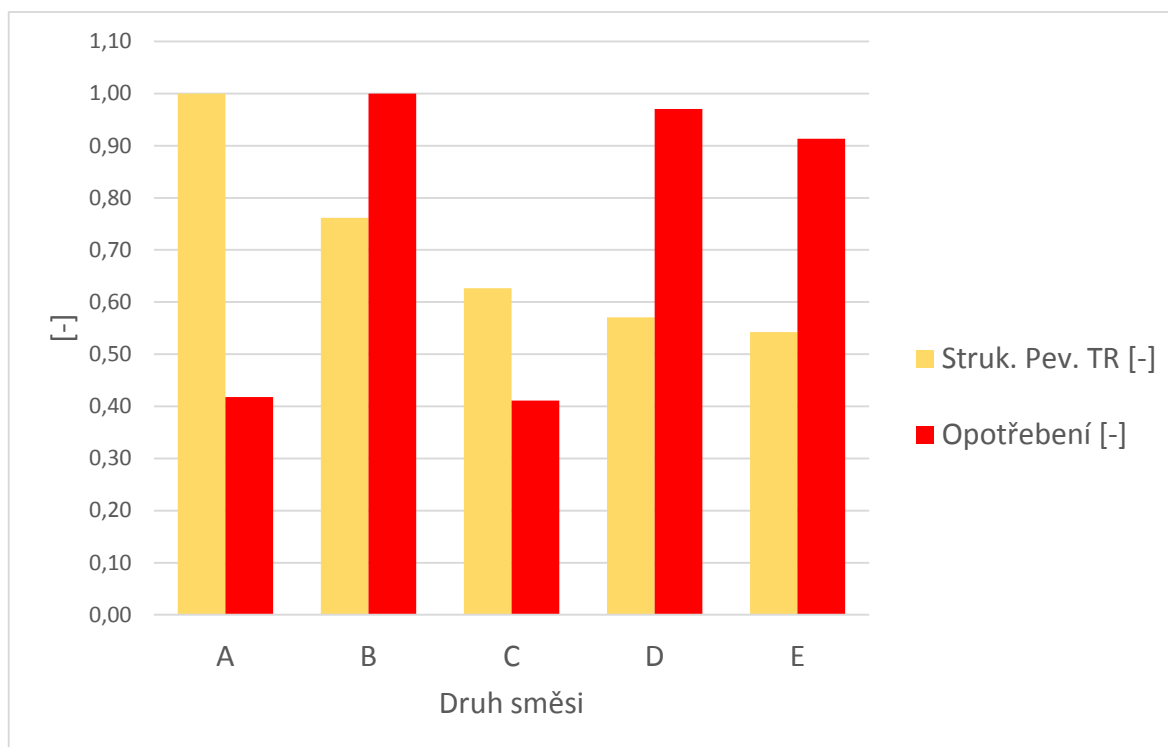
6.1.10 Strukturální pevnost KL a opotřebení 90s



Obr. 48 Srovnání strukturální pevnosti KL a opotřebení 90s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší strukturální pevnost klasickou vykazovala směs A, přičemž měla druhé nejmenší opotřebení. Zatímco směs B měla nejvyšší opotřebení, měla i druhou nejvyšší strukturální pevnost. Nejmenší strukturální pevnost klasická byla naměřena u směsi C, jež vykazovala i nejmenší opotřebení, což je patrné z obrázku (Obr. 48).

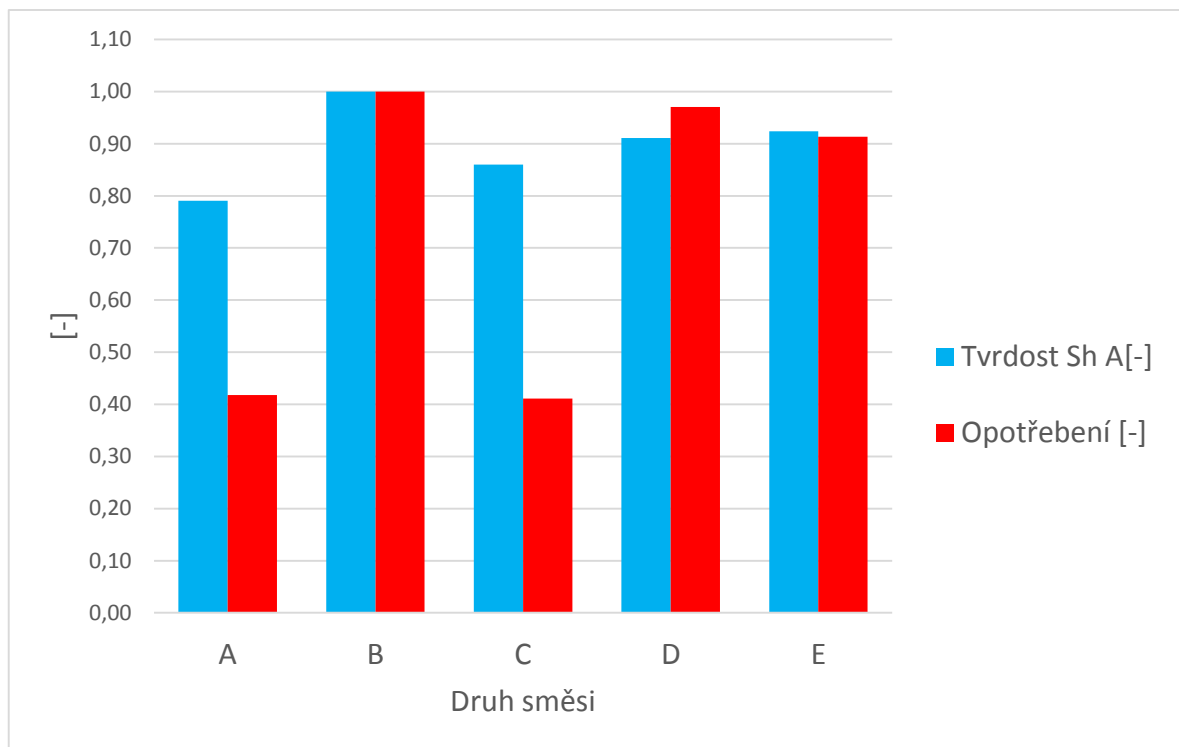
6.1.11 Strukturální pevnost TR a opotřebení 90s



Obr. 49 Srovnání strukturální pevnosti TR a opotřebení 90s.

Při porovnání strukturální pevnosti Trouser a rychlého testu opotřebení je situace odlišná, než u strukturální pevnosti klasické. Je to dané jiným tvarem zkušebního tělesa. Nejvyšší strukturální pevnost Trouser sice vykazovala směs A, ale nejnižší byla naměřena u směsi E. Opotřebení bylo samozřejmě stejné, jako u strukturální pevnosti klasické. Mezi strukturální pevností klasické i Trouser a opotřebení nebyla shledána vysoká korelace, což je i patrné z obrázku (Obr. 49).

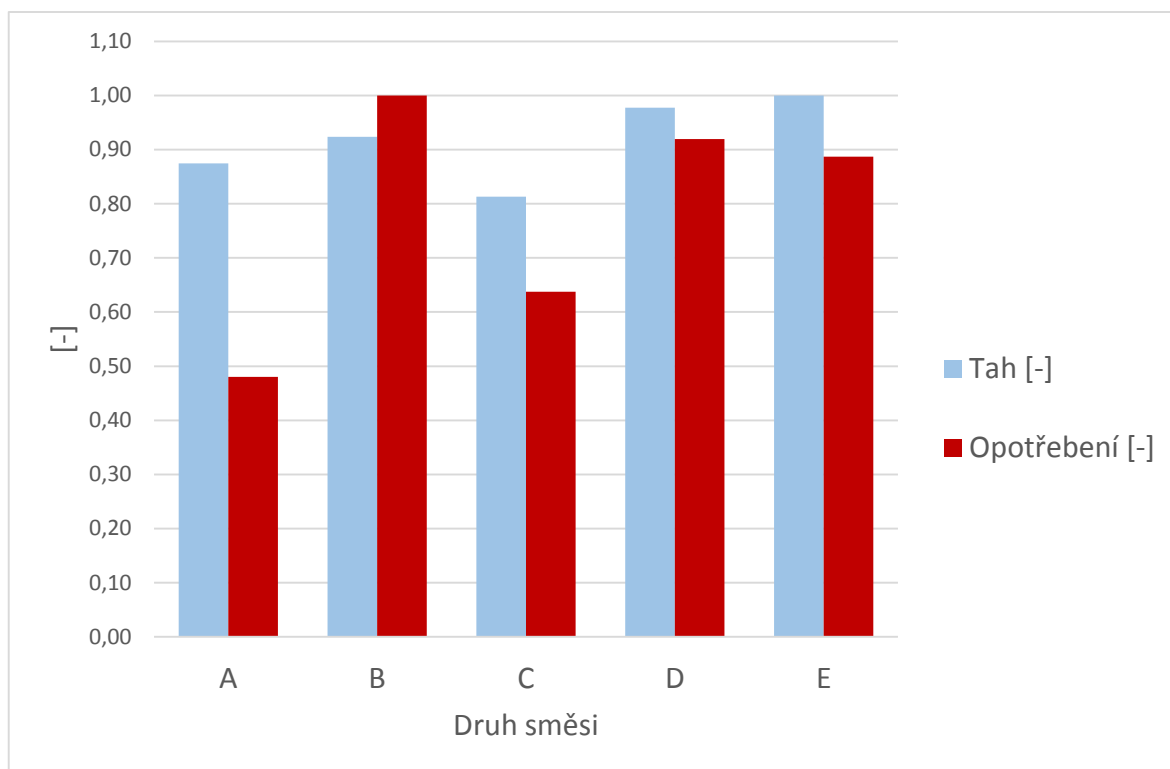
6.1.12 Tvrdość Shore A a opotřebení 90s



Obr. 50 Srovnání tvrdosti Shore A a opotřebení 90s.

Při porovnání tvrdosti Shore A a rychlého testu opotřebení, dojdeme k závěru, že je tvrdost velmi závislá na opotřebení. Nejvyšší tvrdost Shore A i opotřebení má jednoznačně směs B, zatímco nejnižší tvrdost pozorujeme u směsi A, jež má druhé nejmenší opotřebení. Vidíme zde velmi vysokou korelaci, čím je tvrdost směsi vyšší, tím je i opotřebení větší a naopak, jak je patrné z obrázku (Obr. 50).

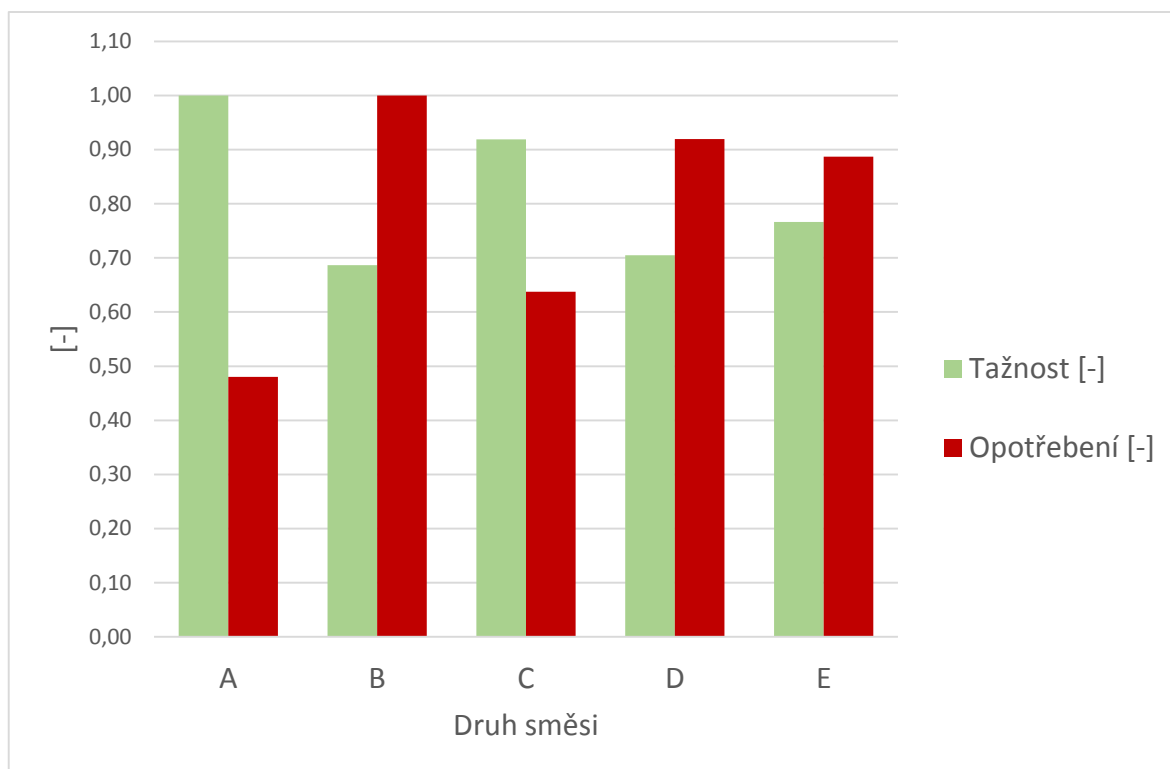
6.1.13 Tah a opotřebení 180s



Obr. 51 Srovnání pevnosti v tahu a opotřebení 180s

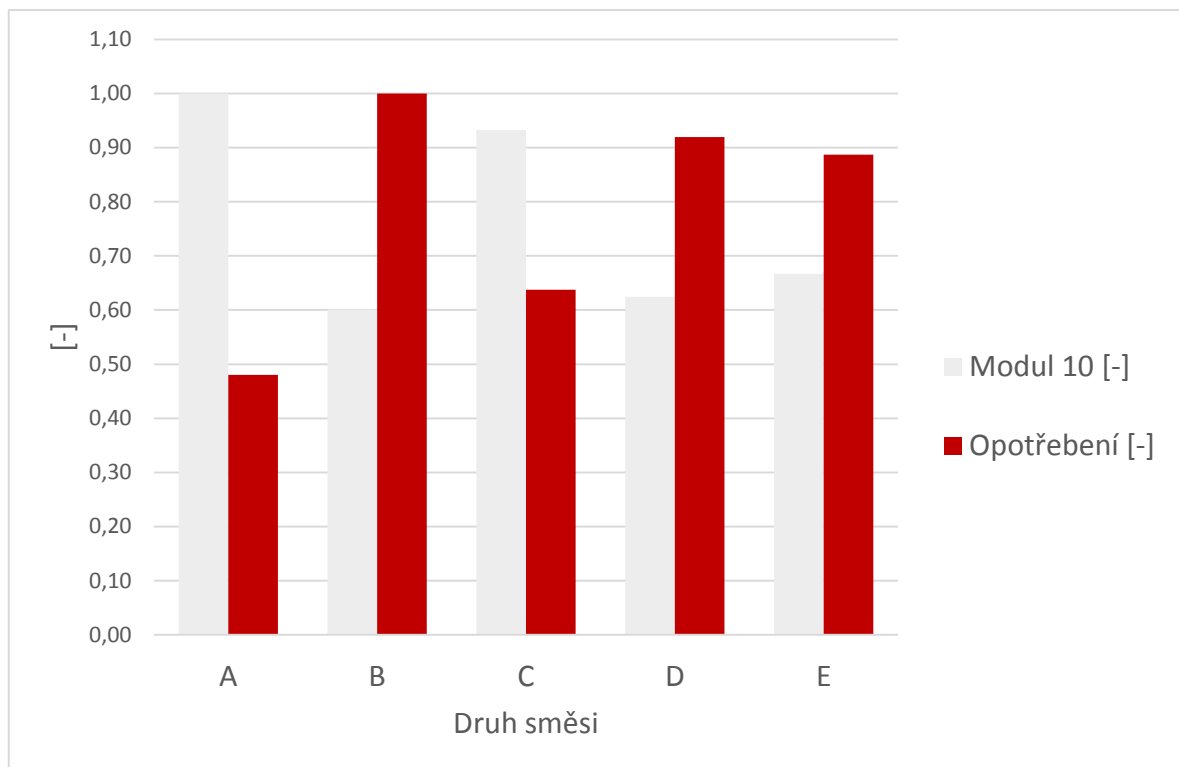
Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší pevnost vykazuje směs E, ovšem nevyšší úbytek hmotnosti pozorujeme u směsi B. Směs C má nejnižší pevnost v tahu, přičemž nejnižší míru opotřebení má směs A, jak je vidět z obrázku (obr. 51). Nejvyššího opotřebení dosahuje opět směs, která měla i nejvyšší úbytek hmotnosti při experimentu, který trval 90s, zatímco nejnižší míru opotřebení za 90 s vyhazovala směs C, nyní při opotřebení 180s ji dosahuje směs A.

6.1.14 Tažnost a opotřebení 180s



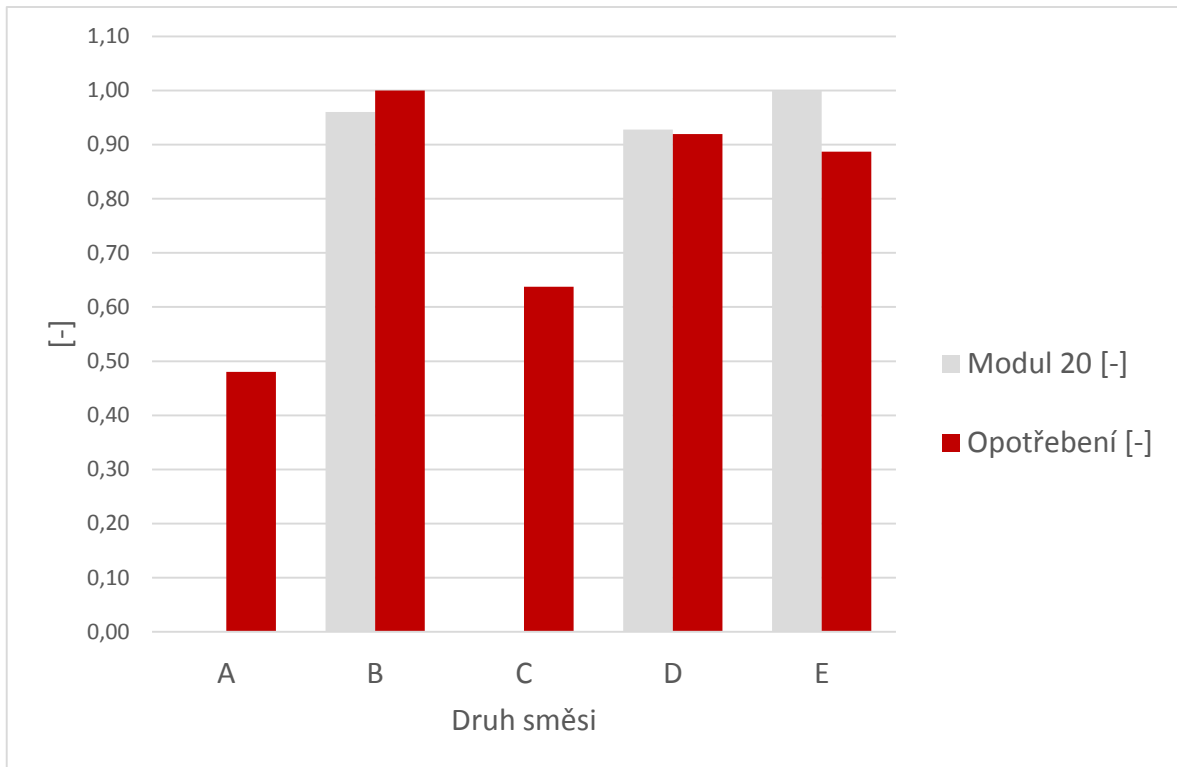
Obr. 52 Srovnání tažnosti a opotřebení 180s

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší tažnost má směs A, ale nejvyšší míru opotřebení vykazuje směs B. Naopak nejnižší tažnost byla zjištěna u směsi B a nejnižší úbytek hmotnosti pozorujeme u směsi A, jak je vidět na obrázku (Obr. 52).

6.1.15 Modul 10 a opotřebení 180s

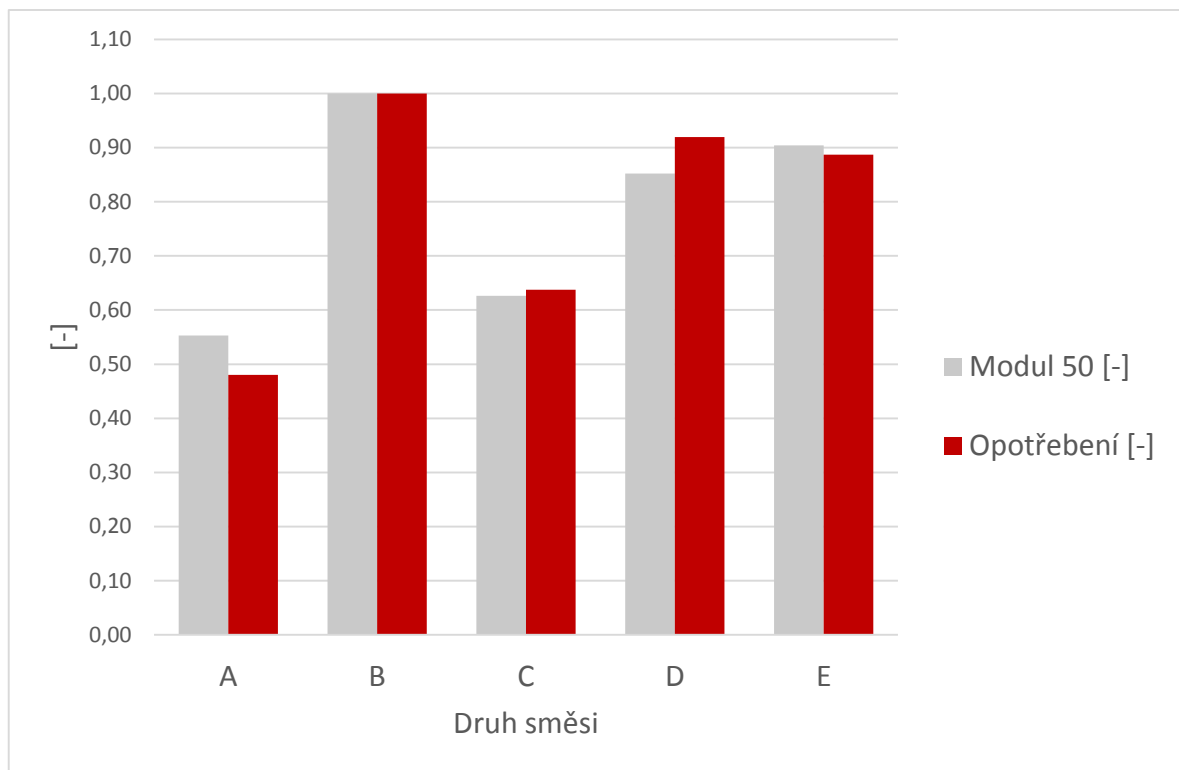
Obr. 53 Srovnání modulu pružnosti M 10 a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 10 měla směs A, přičemž nejvyšší úbytek hmotnosti pozorujeme u směsi B. Nejnižších hodnot modulu 10 dosáhla směs B, ale směs A má nejnižší úbytek hmotnosti, což je patrné z obrázku (Obr. 53).

6.1.16 Modul 20 a opotřebení 180s

Obr. 54 Srovnání modulu pružnosti M 20 a opotřebení 180s.

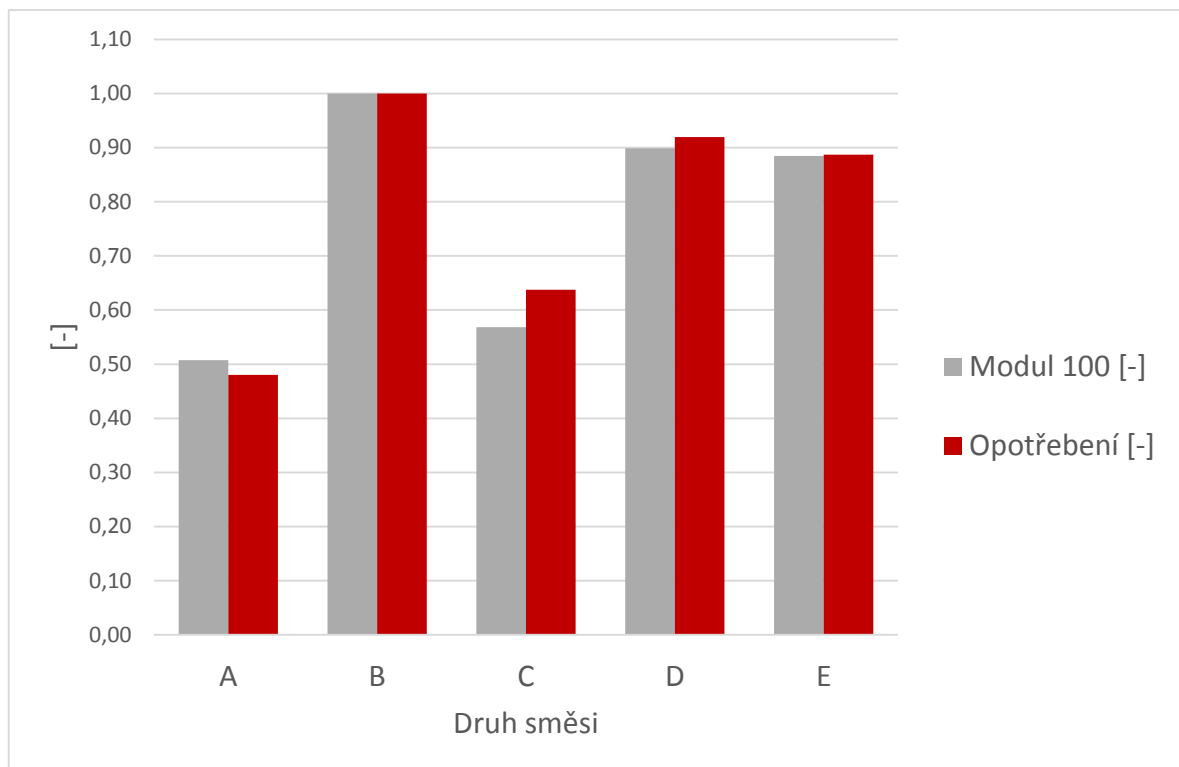
Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší hodnoty modulu 20 dosáhla směs E a nejvyššího opotřebení směs B. Nejnižší modul 20 vykazuje směs D, přičemž nejnižší opotřebení bylo zjištěno u směsi A, u které nebyl modul 20 naměřen, což je patrné z obrázku (Obr.54).

6.1.17 Modul 50 a opotřebení 180s

Obr. 55 Srovnání modulu pružnosti M 50 a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 50 měla směs B a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší modul 50 vykazovala směs A i nejnižší opotřebení. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku (Obr. 55).

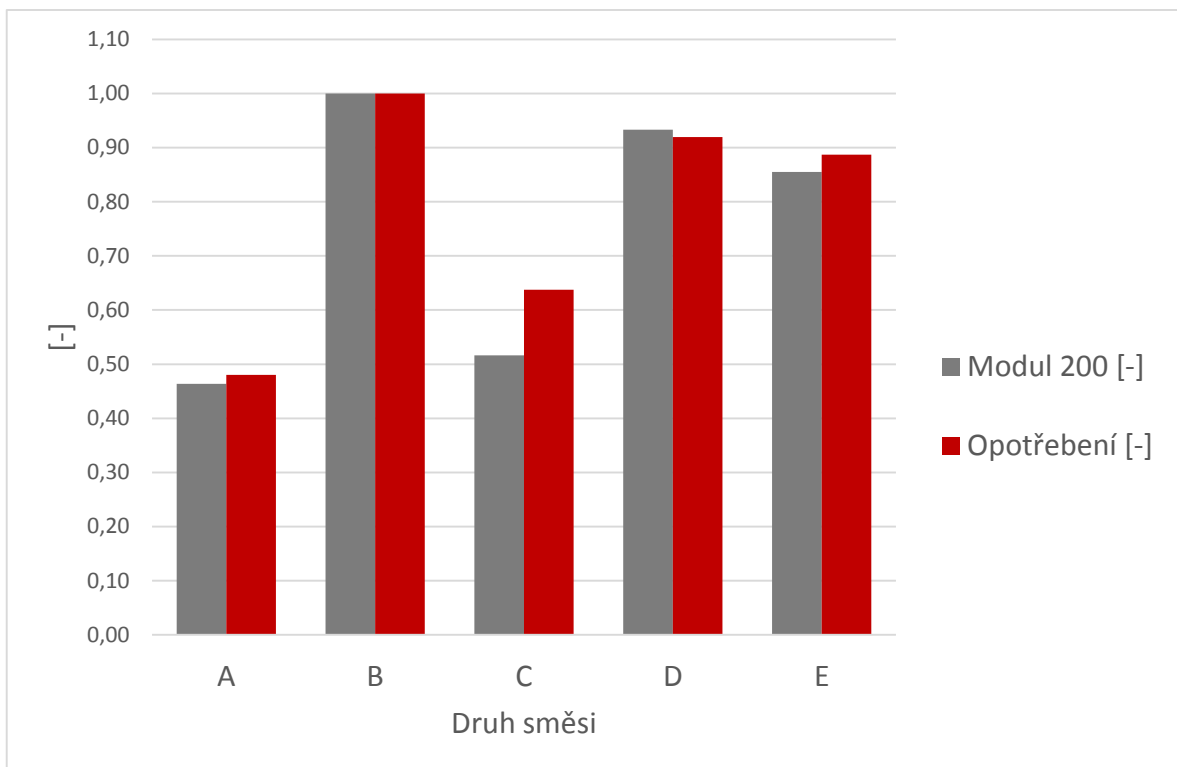
6.1.18 Modul 100 a opotřebení 180s



Obr. 56 Srovnání modulu pružnosti M_{100} a opotřebení 180s.

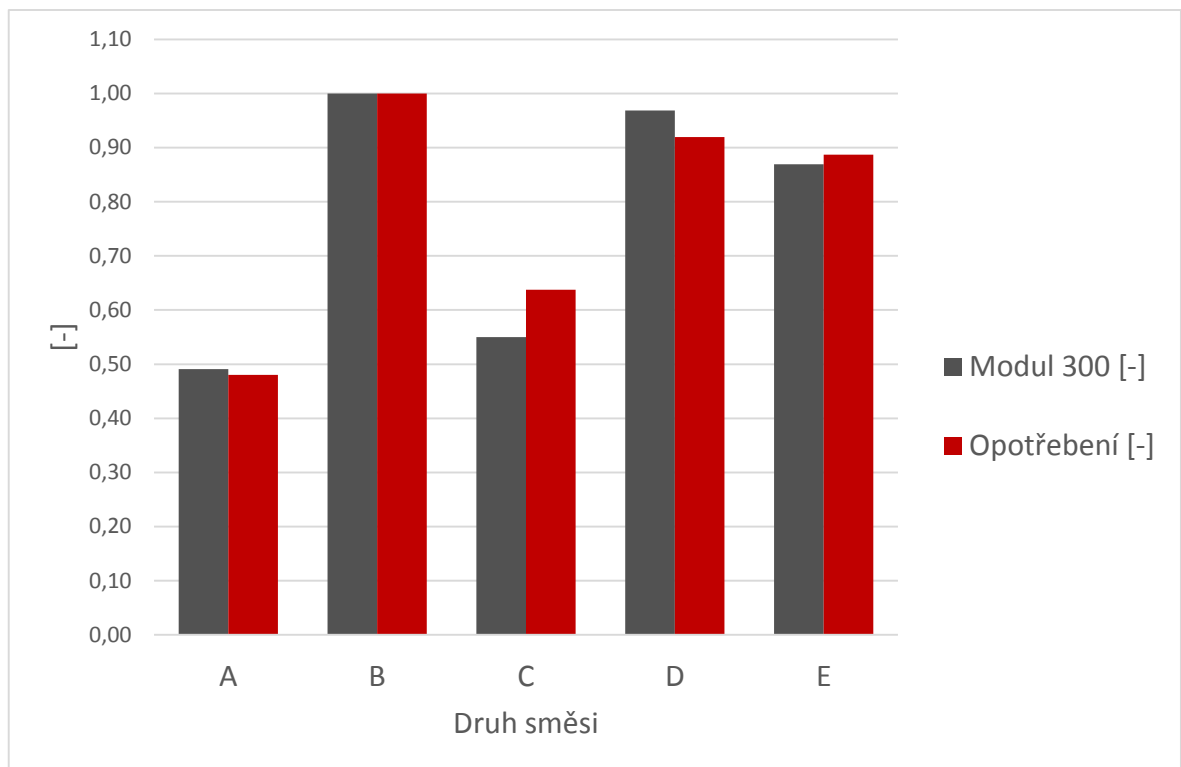
Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 100 má směs B, nejnižší modul 100 měla směs A, která měla i nejnižší úbytek hmotnosti při rychlém testu opotřebení, což je patrné z obrázku (Obr. 56).

6.1.19 Modul 200 a opotřebení 180s



Obr. 57 Srovnání modulu pružnosti M_{200} a opotřebení 180s.

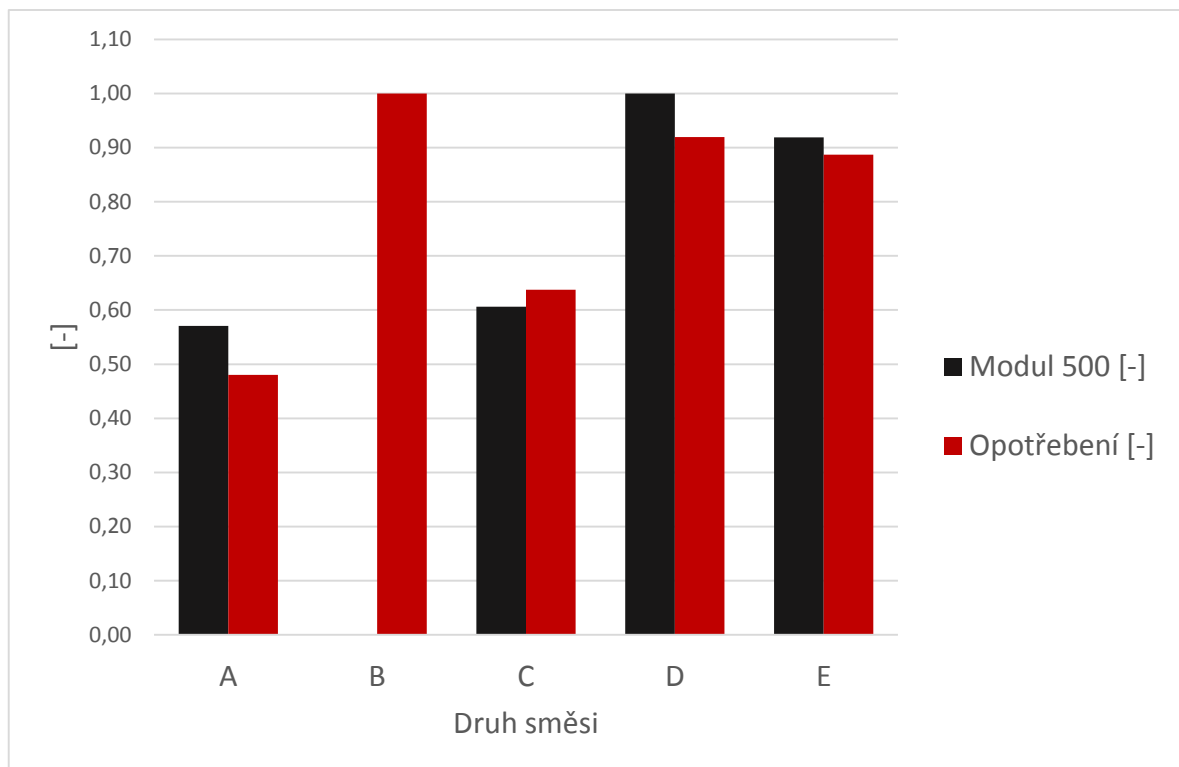
Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 200 měla směs B a zároveň měla i nejvyšší opotřebení, nejnižší hodnotu modulu 200 vykazovala směs A i nejnižší opotřebení. Porovnané hodnoty jsou uvedené na obrázku (Obr. 57).

6.1.20 Modul 300 a opotřebení 180s

Obr. 58 Srovnání modulu pružnosti M 300 a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 300 vykazovala směs B, nejnižší hodnotu modulu 300 směs i nejnižší úbytek hmotnosti při testu opotřebení měla směs A, což je patrné z obrázku (Obr. 58).

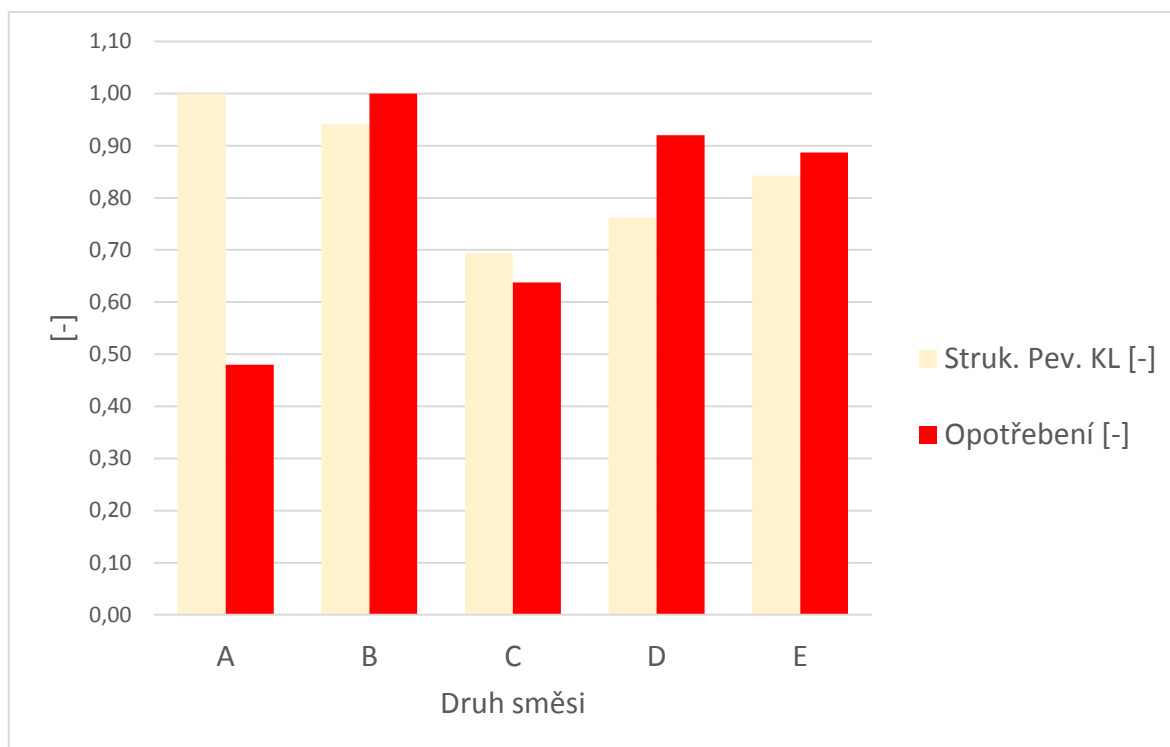
6.1.21 Modul 500 a opotřebení 180s



Obr. 59 Srovnání modulu pružnosti M 500 a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší modul 500 měla směs D. Nejvyšší hodnoty opotřebení byly zjištěny u směsi B, nejnižší hodnotu modulu 500 vykazovala směs A i nejnižší opotřebení, jak je patrné na obrázku (Obr. 59). Po změření a srovnání všech modulů pružnosti v tahu a opotřebení, můžeme říct, že čím je vyšší tuhost vzorku, tím bude i míra opotřebení vyšší. Naopak u směsí, které vykazují nízkou hodnotu tuhosti, bude opotřebení dle výsledků experimentu nižší. Tento jev může být způsobem chování směsí s nízkými hodnotami modulu pružnosti v tahu, který nám reprezentuje tuhost. Pokud bude běhounová směs poddajnější a bude snadněji kopírovat terénní nerovnosti, bude průběh opotřebení velmi pomalý. Právě obtékaní jednotlivých hran kamenů, kamínků a jiných překážek bude pro běhounovou směs šetrnější. Naopak směs, která vykazuje vysoké hodnoty tuhosti, bude náchylnější k poškození již při prvním kontaktu s terénní nerovností.

6.1.22 Strukturální pevnost KL a opotřebení 180 s

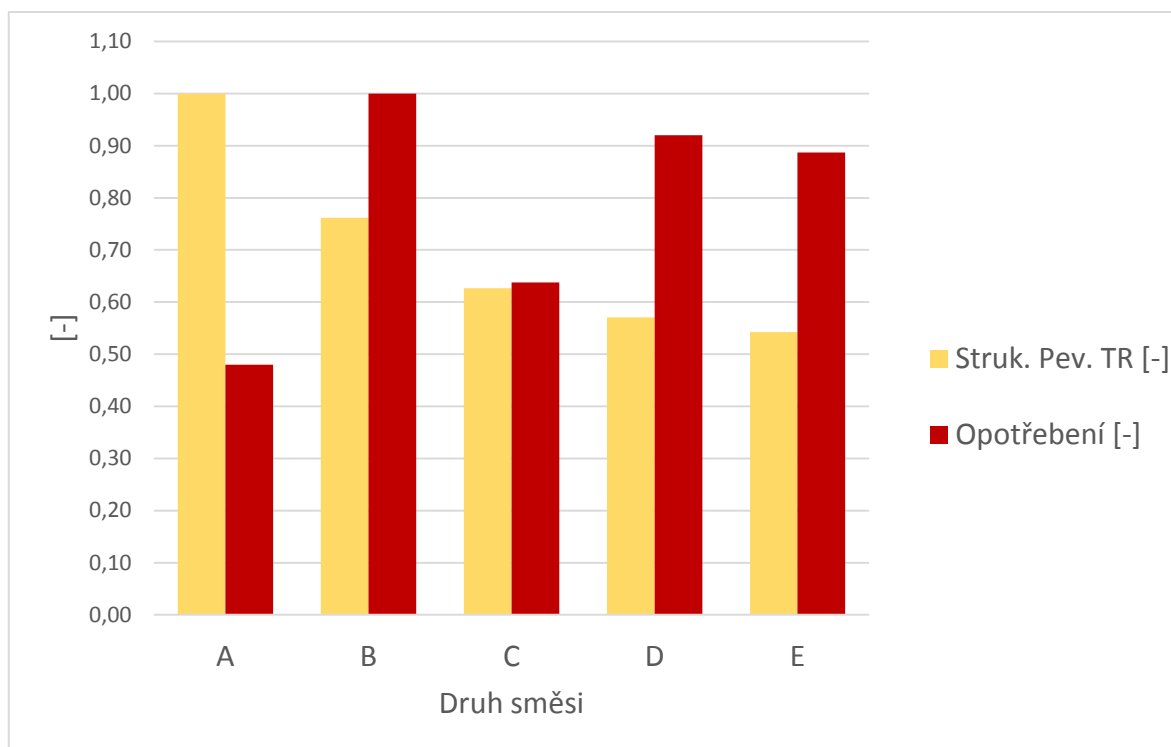


Obr. 60 Srovnání strukturální pevnosti KL a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků tahové zkoušky a rychlého testu opotřebení vyšlo najevo, že nejvyšší strukturální pevnost klasickou vykazovala směs A, přičemž měla nejmenší opotřebení. Zatímco směs B měla nejvyšší opotřebení, měla i druhou nejvyšší strukturální pevnost. Nejmenší strukturální pevnost klasická byla naměřena u směsi C, jež vykazovala i druhé nejmenší opotřebení, což je patrné z obrázku (Obr. 60).

Výsledky strukturální pevnosti nepotvrdily lineární závislost na opotřebení běhounových směsí, jak je patrné na obrázku (Obr. 63).

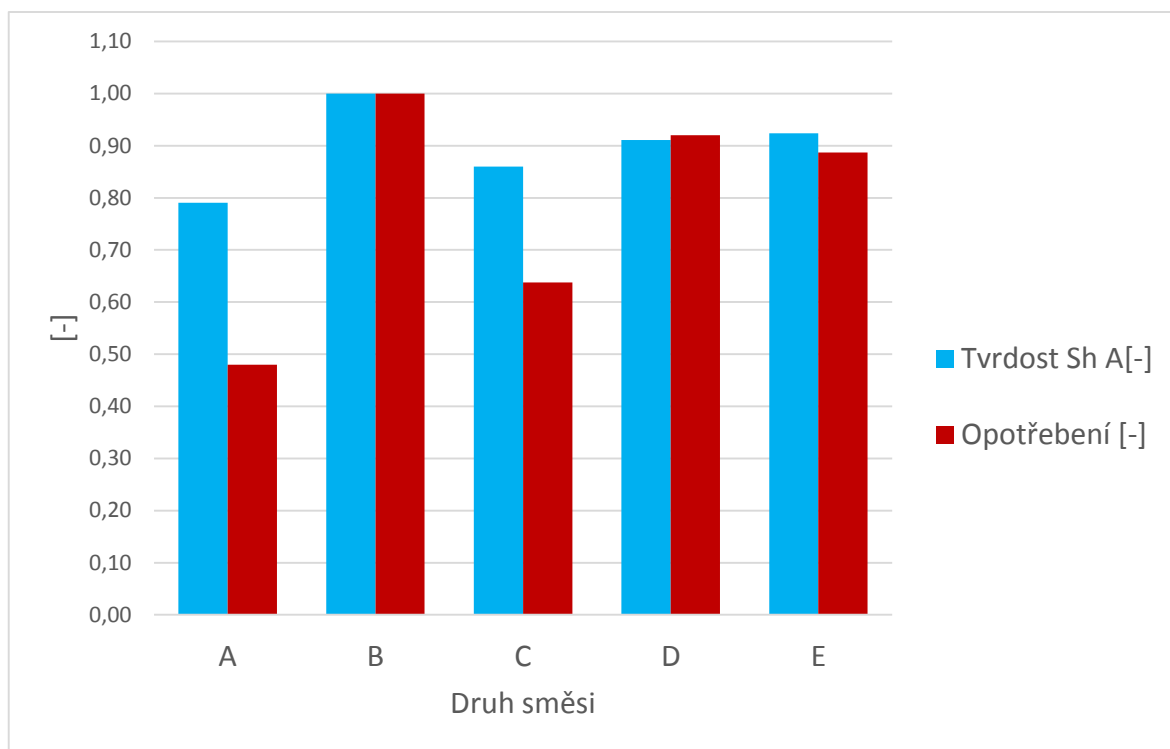
6.1.23 Strukturální pevnost TR a opotřebení 180 s



Obr. 61 Srovnání strukturální pevnosti TR a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků strukturální pevnosti Trouser a testu rychlého opotřebení je situace opět odlišná, než u strukturální pevnosti klasické. Je to dané jiným tvarem zkušebního tělesa. Nejvyšší strukturální pevnost Trouser sice vykazovala směs A, ale nejnižší byla naměřena u směsi E. Opotřebení bylo samozřejmě stejné, jako u strukturální pevnosti klasické. Mezi strukturální pevností klasické i Trouser a opotřebení nebyla shledána vysoká korelace, což je i patrné z obrázku (Obr. 61). Výsledky strukturální pevnosti nepotvrdily lineární závislost na opotřebení běhounových směsí, jak je patrné na obrázku (Obr. 63).

6.1.24 Tvrđost Shore A a opotřebení 180s



Obr. 62 Srovnání tvrdosti Shore A a opotřebení 180s.

Při porovnání výsledků tvrdosti Shore A a rychlého testu opotřebení, dojdeme k závěru, že je tvrdost velmi závislá na opotřebení. Nejvyšší tvrdost Shore A i opotřebení má jednoznačně směs B, zatímco nejnižší tvrdost pozorujeme u směsi A, jež má i nejmenší opotřebení. Vidíme zde velmi vysokou korelaci, čím je tvrdost směsi vyšší, tím je i opotřebení větší a naopak, jak je patrné z obrázku (Obr. 62).

Hodnoty tvrdosti budou mít podobně jako hodnoty tuhosti (modulu pružnosti v tahu) zásadní vliv na míru opotřebení testovaných běhounových směsí. Pokud bude běhounová směs vykazovat nízké hodnoty tvrdosti (nízká hodnota tuhosti), bude lépe odolávat mechanickému poškození od terénních nerovnosti nebo ostrých hran kamenů či kamínků. Naopak směsi vykazující vysoké hodnoty tvrdosti a tuhosti budou od samého počátku poškozovány, což se v průběhu času může projevit až jejich destrukcí.

6.1.25 Korelační matice

Proměnná	Korelace (Tabulka1) Označ. korelace jsou významné na hlad. $p < ,05000$ N=5 (Celé případy vynechány u ChD)	
	opotřebení 90 s	opotřebení 180 s
tah	0,85	0,70
tažnost	-0,97	-0,99
M10	-0,99	-0,99
M20	0,99	0,94
M50	0,96	0,98
M100	0,99	0,99
M200	0,99	0,98
M300	0,99	0,98
M500	-0,00	-0,10
KL	0,03	-0,14
TR	-0,50	-0,62
tvrdost	0,87	0,96

Obr. 63 Korelační matice

Pro vyhodnocení výsledků měření byl použit i program Statistica, který nám slouží k statistickému vyhodnocení naměřených dat v široké škále statistických metod. Pro vyhodnocení provedeného experimentu byla použita korelační matice.

Korelační matice (Obr. 63) udává lineární závislost mechanických vlastností na opotřebení silně namáhaných běhounových směsí. Je z ní možno vypočítat nejen silnou závislost opotřebení na tvrdosti a modulu pružnosti v tahu, ale také vzájemná korelaci mechanických vlastností navzájem.

Z korelační matice je patrná vysoká lineární závislost mezi opotřebením a některými mechanickými vlastnostmi, zejména závislost mezi moduly pružnosti v tahu, reprezentující tuhost testované běhounové směsi a tvrdostí je významná, jak je patrné z obrázku (Obr. 63).

ZÁVĚR

Předložená diplomová práce se zabývá množstvím plniva na opotřebení běhounové směsi. Práce zahrnuje testování 5 druhů běhounových směsí s různým obsahem plniva (saze), které byly testovány na mechanické vlastnosti a opotřebení. Každý test zahrnoval soubor 10 zkušebních těles. Z naměřených výsledků vyplynuly následující závěry.

Mechanické vlastnosti testovaných běhounových směsí mají zásadní vliv na velikost opotřebení. Rovněž množství plniva, které testované běhounové směsi obsahují, výrazně ovlivňuje jejich mechanické chování.

Bylo zjištěno, že pokud testovaná běhounová směs vykazovala menší hodnoty některých mechanických vlastností (pevnost v tahu, modul pružnosti v tahu, tvrdost), vykazovala rovněž menší míru opotřebení. Pokles mechanických vlastností souvisí s obsahem plniv v testované běhounové směsi. Právě schopnost běhounové směsi přizpůsobit se (kopírovat) terén, po kterém se právě pohybuje, umožňuje pneumatikám lépe odolávat jejich poškození. Poškození zde nastává až při určitém čase. Naopak běhounové směsi vykazující vysoké hodnoty tuhosti reprezentované modulem pružnosti v tahu a tvrdosti budou od samého počátku pohybu po terénních nerovnostech vytrhávány a poškozovány. To povede k jejich rychlé destrukci. Zvyšováním obsahu plniv nemusíme docílit snížení opotřebení u pneumatik.

Byla prokázána lineární závislost mezi naměřenými některými mechanickými vlastnosti a mírou opotřebení. Vysoká lineární závislost byla zjištěna mezi opotřebením tvrdosti a modulem pružnosti v tahu, reprezentujícím tuhost testované běhounové směsi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŇAS, D. *Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků*. Brno: Nakladatelství VUT, 2005.
- [2] POLOMÍČEK, O. *Vliv zátěže na opotřebení gumárenských směsí*. Zlín, 2008. 76 s. Bakalářská práce. Fakulta technologická UTB Zlín.
- [3] KUBÍK, J; ZYTKA, A. *Zkušební metody v gumárenství*. 1.vyd. . Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 1-300 s. L 16 -B2-IV-31/6352.
- [4] HRABAL, T. *Testování opotřebení běhounové směsi*. Zlín, 2012. 67 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] RAK, M. *Zanechali jsme stopu: 20-40-80 let výroby pneu*. Otrokovice: Barum Continental, 2012, 69 s.
- [6] ČURDA, J. *Nesmělý nástup motorů* [online]. 16.4.2012 [cit. 2014-2-17]. Dostupné z: <http://www.historieweb.cz/nesmely-nastup-motoru>
- [7] LÁNÍK, O. *Auto.cz* [online]. 3.2.2005 [cit. 2014-2-17]. Michelin Tweel: pneu bez duše i bez vzduchu. Dostupné z: <http://www.auto.cz/michelin-tweel-pneu-bez-duse-i-bez-vzduchu-16179>
- [8] MARCÍN, J. *Pneumatiky: Výroba, použití, údržba*. SNTL, 1976, 272 s. L 16 -B2-IV-41f/61881.
- [9] *GPD České Budějovice s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2014-2-22]. Funkce pneumatik. Dostupné z: <http://www.gpdcb.cz/funkce-pneumatik/>
- [10] *Pneuservis v Rokytnici, Porádce při výběru pneumatik, OMV dealer* [online]. 5.12.2011 [cit. 2014-02-26]. Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. Dostupné z: <http://www.pneuasistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>
- [11] *Besip: Bezpečně na silnicích* [online]. 2010 [cit. 2013-2-27]. Zimní pneumatiky, letní pneumatiky, rozdíl a to nejdůležitější co je nutné vědět. Dostupné z: http://bezpecnenasilnicich.cz/page/115/zimni_pneu_a_hlavni_rozdili.html
- [12] *Barum Continental Zlín* [online]. [cit. 2013-2-27]. Technologie výroby pneumatik. Dostupné z: <http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/vyrobapneu.htm>
- [13] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů 1*. Brno: František Vlk nakladatelství a vydavatelství, 2004. 355 s. ISBN 80-239-1601-7.

- [14] *MD Line: Pneumatiky levně* [online]. [cit. 2014-3-2]. Technické parametry- katalogy. Dostupné z: <http://www.mdline.cz/technicke-parametry/>
- [15] DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské*. UTB Zlín. 2011. 182 s. [online]. [cit. 2014-3-5]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/41195/>
- [16] *Resinex: Kaučuk* [online]. [cit. 2014-3-2]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymero-rove-typy/natural-rubber.html>
- [17] SCHÄTZ M., VONDRÁČEK P. *Zkoušení polymerů*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1988, 276 s.
- [18] *Ústav fyziky a materiálového inženýrství: Kontrolní a zkušební metody- 13. Elektrické vlastnosti*. UTB Zlín, [online]. [cit. 2014-3-5]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
- [19] *TU Clausthal: Institute of Welding and Machining, Friction wheel test ASTM G65-04*. [online]. [cit. 2014-3-6]. Dostupné z: <http://www.isaf.tu-clausthal.de/en/departments/wear-testing/friction-wheel-test-astm-g65-04-dry-sandrubber-wheel-test/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ep	Deformační práce [J]
Kl	Klasická
Tr	Trouser (kalhotový typ)
ČR	Česká Republika
SMCH	Směrodatná odchylka
ČSN	Česká technická norma
ISO	International Standard Organisation (mezinárodní organizaci zabývající se tvorbou norem)
M 10	Modul pružnosti při 10% deformaci vzorku [MPa]
M 20	Modul pružnosti při 20% deformaci vzorku [MPa]
M 50	Modul pružnosti při 50% deformaci vzorku [MPa]
M 100	Modul pružnosti při 100% deformaci vzorku [MPa]
M 200	Modul pružnosti při 200% deformaci vzorku [MPa]
M 300	Modul pružnosti při 300% deformaci vzorku [MPa]
M 500	Modul pružnosti při 500% deformaci vzorku [MPa]
Strukturní pevnost	[N/mm]
Tvrdość Shore A	[Sh A]
Opotřebení	[g]
Pevnost v tahu	[Mpa]
Tažnost	[Mpa]
Síla	[N]
T	Teplota [°C]
A	Objemový úbytek pryže [mm ³]
A _c	Celkový objemový úbytek pryže [mm ³]
DSK	Označuje množství dílů přísad na sto dílů kaučuku

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Konstrukce první pneumatik</i>	12
<i>Obr. 2 Cugnotův parní vůz</i>	13
<i>Obr. 3 Kolo Tweel firmy Michelin</i>	15
<i>Obr. 4 Síly působící na pneumatiku</i>	16
<i>Obr. 5 Konstrukce pláště pneumatiky</i>	17
<i>Obr. 6 Běhoun</i>	18
<i>Obr. 7 Zóny a drážky na běhounu</i>	19
<i>Obr. 8 PA nárazník</i>	20
<i>Obr. 9 Nárazník</i>	21
<i>Obr. 10 Bočnice</i>	21
<i>Obr. 11 Údaje na bočnici</i>	22
<i>Obr. 12 Kostra pláště</i>	23
<i>Obr. 13 Radiální pneumatika</i>	24
<i>Obr. 14 Diagonální pneumatika</i>	25
<i>Obr. 15 Vnitřní pryžová vrstva</i>	26
<i>Obr. 16 Patka</i>	27
<i>Obr. 17 Patní lanko</i>	27
<i>Obr. 18 Výztužný pásek</i>	28
<i>Obr. 19 Princip měření opotřebení metodou Bussen-Schlobach</i>	46
<i>Obr. 20 Princip obrušování metodou du Pont-Grasselli s konstantním tlakem</i>	47
<i>Obr. 21 Přístroj na zkoušení opotřebení metodou Dunlop-Lambourn</i>	48
<i>Obr. 22 Zařízení pro test opotřebení Dry sand – rubber wheel</i>	49
<i>Obr. 23 Srovnání pevnosti v tahu směsí</i>	54
<i>Obr. 24 Srovnání tažnosti směsí</i>	55
<i>Obr. 25 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 10</i>	56
<i>Obr. 26 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 20</i>	57
<i>Obr. 27 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 50</i>	58
<i>Obr. 28 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 100</i>	59
<i>Obr. 29 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 200</i>	60
<i>Obr. 30 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 300</i>	61
<i>Obr. 31 Srovnání modulu pružnosti směsí – M 500</i>	62
<i>Obr. 32 Srovnání strukturální pevnosti (klasická) směsí</i>	64

<i>Obr. 33 Srovnání strukturální pevnosti (Trouser) směsí</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 34 Srovnání tvrdosti Shore A směsí</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 35 Schéma zařízení pro rychlý test opotřebení Chip Chunk</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 36 Rozměry zkušebního tělesa.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 37 Srovnání opotřebení směsí 90s</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 38 Srovnání opotřebení směsí 180s</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 39 Srovnání pevnosti v tahu a opotřebení 90s.</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 40 Srovnání tažnosti a opotřebení 90s.</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 41 Srovnání modulu pružnosti M 10 a opotřebení 90s.</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 42 Srovnání modulu pružnosti M 20 a opotřebení 90s.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 43 Srovnání modulu pružnosti M 50 a opotřebení 90s.</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 44 Srovnání modulu pružnosti M 100 a opotřebení 90s.</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 45 Srovnání modulu pružnosti M 200 a opotřebení 90s.</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 46 Srovnání modulu pružnosti M 300 a opotřebení 90s.</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 47 Srovnání modulu pružnosti M 500 a opotřebení 90s.</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 48 Srovnání strukturální pevnosti KL a opotřebení 90s.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 49 Srovnání strukturální pevnosti TR a opotřebení 90s.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 50 Srovnání tvrdosti Shore A a opotřebení 90s.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 51 Srovnání pevnosti v tahu a opotřebení 180s</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 52 Srovnání tažnosti a opotřebení 180s</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 53 Srovnání modulu pružnosti M 10 a opotřebení 180s.</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 54 Srovnání modulu pružnosti M 20 a opotřebení 180s.</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 55 Srovnání modulu pružnosti M 50 a opotřebení 180s.</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 56 Srovnání modulu pružnosti M 100 a opotřebení 180s.</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 57 Srovnání modulu pružnosti M 200 a opotřebení 180s.</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 58 Srovnání modulu pružnosti M 300 a opotřebení 180s.</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 59 Srovnání modulu pružnosti M 500 a opotřebení 180s.</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 60 Srovnání strukturální pevnosti KL a opotřebení 180s.....</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 61 Srovnání strukturální pevnosti TR a opotřebení 180s.....</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 62 Srovnání tvrdosti Shore A a opotřebení 180s.....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 63 Korelační matice</i>	<i>98</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Pevnost v tahu.....	54
Tab. 2 Tažnost.....	55
Tab. 3 Modul pružnosti v tahu při 10% deformaci vzorku.....	56
Tab. 4 Modul pružnosti v tahu při 20% deformaci vzorku.....	57
Tab. 5 Modul pružnosti v tahu při 50% deformaci vzorku.....	58
Tab. 6 Modul pružnosti v tahu při 100% deformaci vzorku.....	59
Tab. 7 Modul pružnosti v tahu při 200% deformaci vzorku.....	60
Tab. 8 Modul pružnosti v tahu při 300% deformaci vzorku.....	61
Tab. 9 Modul pružnosti v tahu při 500% deformaci vzorku.....	62
Tab. 10 Strukturální pevnost klasická	64
Tab. 11 Strukturální pevnost trouser	65
Tab. 12 Tvrdost Shore A.....	67
Tab. 13 Opotřebení 90s.....	71
Tab. 14 Opotřebení 180s.....	72