

VLIV ZÁTĚŽE NA OPOTŘEBENÍ GUMÁRENSKÝCH SMĚSÍ

Ondřej Polomíček

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ondřej POLOMÍČEK

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Vliv zátěže na opotřebení gumárenských směsí

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Provedte přípravu vzorků pro fyz. mechanické zkoušky a test opotřebení
- 3) Provedte fyz. mechanické zkoušky a test opotřebení
- 4) Vyhodnoďte naměřené výsledky

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

6. června 2008

Ve Zlíně dne 1. února 2008

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá opotřebením plášťů pneumatik pracujících při velmi náročných terénních podmínkách. Hodnoty opotřebení pak byly porovnávány s mechanickými vlastnostmi. Měření bylo prováděno na pryžových zkušebních dílech o rozměrech $\varnothing 55 \times 13$ mm.

Klíčová slova: Opotřebení pryžových dílů, mechanické vlastnosti, pneumatika, běhoun.

ABSTRACT

This diploma paper deals with the wear of tires which is working in a rough ground. The findings were contrasted with mechanical properties. The measurement was testing on rubber parts about $\varnothing 55 \times 13$ mm.

Keywords: Wear of rubber parts, mechanical properties, tyre, tread.

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, jak při teoretické tak i při experimentální části, rady, konzultace a připomínky, které mi pomohli při zpracování mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne

.....

Ondřej Polomíček

OBSAH

ÚVOD	3
I. TEORETICKÁ ČÁST	4
1 HISTORICKÝ VÝVOJ	5
2 KONSTRUKCE PLÁŠŤŮ	8
2.1 Základní pojmy	8
2.1.1 Pneumatika	8
2.1.2 Plášť.....	10
2.2 Základní druhy plášťů podle konstrukce.....	11
2.2.1 Diagonální plášť	11
2.2.2 Radiální plášť	11
2.3 Základní rozměry pneumatik	12
2.4 Označování plášťů.....	13
3 SUROVINY A POLOTOVARY	14
3.1 Kaučuk	14
3.1.1 Přírodní kaučuk	15
3.1.2 Syntetický kaučuk	16
3.2 Přísady do kaučukových směsí	16
3.2.1 Vulkanizační činidla.....	17
3.2.2 Pryskyřice.....	18
3.2.3 Saze	18
3.3 Výztužné materiály	19
3.3.1 Polyesterové kordové tkaniny	20
3.3.2 Ocelové kordy	20
4 KONFEKCE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK	22
4.1 Konfekce diagonálních plášťů.....	23
4.1.1 Technologie výroby diagonálních plášťů z obalů	23
4.1.2 Technologie výroby diagonálních plášťů z kordových vložek	24
4.2 Konfekce radiálních plášťů	25
4.2.1 Dvojstupňová konfekce radiálních plášťů.....	25
4.2.2 Jednostupňová konfekce radiálních plášťů	28
4.2.3 Konfekce plášťů na velkokapacitních vícebubnových konfekčních linkách ...	28

5	ZKUŠEBNICTVÍ PNEUMATIK	30
5.1	Rozdělení zkušebnictví	31
5.2	Hodnocení provozních zkoušek pneumatik	32
5.2.1	Celkové hodnocení kvality pneumatik provozními zkouškami	32
5.2.2	Hodnocení životnosti běhounu pneumatiky	32
5.2.3	Praktické provádění urychlených provozních zkoušek pneumatik	34
II.	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	35
III.	PRAKTICKÁ ČÁST	37
6	OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ	38
6.1	Měřené vlastnosti	38
6.1.1	Tahové zkoušky.....	39
6.1.2	Strukturní pevnost	40
6.1.3	Odrazová pružnost Luepke.....	41
6.1.4	Tvrdost Shore	42
6.2	Test opotřebenění.....	43
6.2.1	Rozměry zkušebního tělesa.....	44
6.2.2	Analýza opotřebenění	45
6.2.3	Statistické vyhodnocení výsledků	47
7	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	53
7.1	Vyhodnocení hodnot pro radiální směr.....	53
7.2	Vyhodnocení hodnot pro tangenciální směr.....	62
7.3	Celkový graf všech sledovaných vlastností	70
	ZÁVĚR.....	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	73
	SEZNAM TABULEK	76

ÚVOD

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

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

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

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

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORICKÝ VÝVOJ

Kolo vynalezli před více než 5000 lety pravděpodobně Sumerové. V průběhu dalších tisíciletí bylo postupně vylepšováno. K zatím nejvýznačnějším změnám kola došlo ve druhé polovině 19. století: roku 1845 byl Robertu Williamu Thomsonovi udělen v Anglii patent na „vzduchovou hadici“, předchůdce moderní pneumatiky. Tento vynález však zůstal nevyužit až do konce 19. století. Pneumatiku podruhé vynalezl v roce 1888 J. B. Dunlop a ta začala pak rychle dobývat pozice. V průběhu dalších téměř 100 let umožnila pneumatika vývoj velice složitého a funkčního transportního systému.



S postupným rozšiřováním aplikací stoupaly nároky na pneumatiku a její vývoj se jim přizpůsoboval. V roce 1892 patentoval J.F. Palmer kordovou tkaninu jako náhradu do té doby užívaného kříženého výstužného materiálu. Vyloučením přímého vzájemného dotyku nosných nití v místě křížení se významně prodloužila životnost výstužného systému, a tím celé pneumatiky. K všeobecnému průmyslovému zavedení kordové tkaniny jako základního výstužného materiálu pneumatik došlo v letech 1914 až 1925.

Základní materiál pro výrobu kordové tkaniny se rovněž měnil. Pro první pneumatiku vyrobenou ve světě byl jako výstužný materiál použit irský len. Později byl nahrazen bavlnou a v roce 1923 se objevil kord na bázi regenerované celulosy, obecně nazývaný rayon. Roku 1937 se poprvé uplatnil jako výstužný materiál ocelový kord. Za druhé světové války byl v roce 1942 zaveden polyamidový kord u pneumatik určených pro vojenské účely a po válce, v roce 1947, též pro civilní sektor. V poválečném období došlo k prudkému rozvoji spotřeby polyamidového a ocelového kordu. V roce 1962 byl zaveden kord polyesterový, v roce 1967 kord na bázi skleněných vláken a v roce 1976 kord aramidový (na bázi aromat. polyamidů).



Paralelně s rozvojem výstužných materiálů se rozvíjely i ostatní části pneumatiky. Jedním z předpokladů pro vynalezení pneumatiky byl objev vulkanizace přírodního kaučuku sírou, k němuž došlo v roce 1839; začátkem 20. století byly do výroby zavedeny urychlovače vulkanizace, v roce 1924 antioxydanty. Do stejného období spadá zavedení gumárenských ztužujících sazí. První ze syntetických kaučuků byl v roce 1931 Neopren, po něm následoval blokově polymerovaný polybutadien (Buna). První plnohodnotné

pneumatiky založené pouze na bázi syntetického kaučuku byly vyrobeny v roce 1943. Byl použit butadien-styrenový kaučuk, první syntetický kaučuk pro obecné použití v pravém smyslu slova. V roce 1954 byl použit do pneumatik syntetický „přírodní kaučuk“.



Dramatický byl vývoj konstrukce pneumatiky. Původní patentovaná pneumatika byla vlastně nahuštěná hadice. V tomto stavu byla na přelomu století poprvé použita na automobilu a letadle. Teprve v roce 1904 byl jako funkční strukturní součást pneumatiky zaveden plochý běhoun, který byl o rok později opatřen vzorkem zlepšujícím přenos sil mezi vozidlem a vozovkou. V roce 1935 se prosazují moderní rozměry pneumatik a zároveň byly zahájeny základní práce na přípravě výroby nízkoprofilových pneumatik.

V období poválečného rozvoje došlo k zatím největší změně v konstrukci pneumatik, totiž k zavedení radiální pneumatiky (začala je vyrábět firma Michelin v roce 1948). Radiální konstrukce optimálně splňuje požadavek funkční specializace jednotlivých strukturních částí pneumatiky – běhounové části, boku a patky. V dalším období (roku 1950) byla zavedena do výroby bezdušová pneumatika. V roce 1967 vyvinuli američtí výrobci pneumatiku v zásadě s diagonální kostrou opásanou výztužným pásem, tzv. pneumatiku bias-belted. Tímto řešením se snažili překlenout období, kdy rostoucí popularitě radiálních pneumatik na americkém trhu ještě nestačil rozvoj výrobních kapacit. V přítomné době výroba pneumatik typu bias-belted stagnuje a i na americkém trhu rychle vzrůstá podíl pneumatik radiálních na úkor diagonálních pneumatik.



Vývojem prošly i ostatní části pneumatiky, jako je patka pláště, duše, ventil a ráfek. Přehled nejdůležitějších stupňů ve vývoji pneumatiky je uveden v tab. 1.

Tab. 1 Základní chronologie pneumatikářské technologie

1839	vulkanizace přírodního kaučuku
1845	patent na hadici plněnou stlačeným vzduchem
1888	první pneumatika
1896	první pneumatika na automobilu
1903	první pneumatika na letadle
1904	zavedení plochého běhounu
1905	zavedení protiskluzového vzorku běhounu (desénu)
1906	urychlovače vulkanizace kaučuku sírou
1912	gumářské saze
1924	vrstvy kordové tkaniny nahrazující křížově tkaný materiál
1929	zavedení bílých bočnic pneumatik
1931	první syntetický kaučuk (Neopren)
1935	moderní rozměry pneumatik
1936	první nízkoprofilová pneumatika (Pilote)
1937	ocelový kord pro pneumatiky
1938	definitivní prosazení rayonového pneumatikářského kordu
1939	adheziva na bázi resorcinformaldehydového latexu
1942	první syntetický pneumatikářský kord
1943	pneumatika na bázi syntetického butadien-styrenového kaučuku
1947	komerční zavedení polyamidového kordu
1948	radiální pneumatika
1949	membránová vulkanizace (Bag-O-matic)
1950	bezdušová pneumatika
1954	syntetický polyisopren
1962	polyesterový pneumatikářský kord
1967	pneumatikářský kord na bázi skleněných vláken
1967	opásané diagonální pneumatiky – bias-belted
1969	pneumatiky plněné polymerní pěnou
1971	měsíční pneumatiky firmy Goodyear
1976	pneumatiky s aramidovým kordem (Kevlarem)
1978	pneumatika TRX firmy Michelin

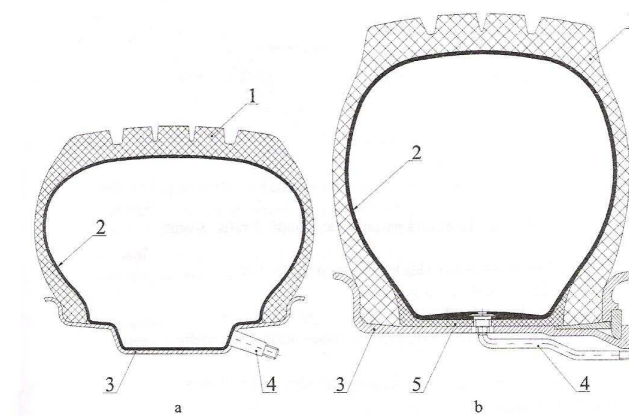
2 KONSTRUKCE PLÁŠŤŮ

2.1 Základní pojmy

2.1.1 Pneumatika

Pneumatika je strukturně složitý celek, tvořící uzavřený prstenec toroidálního tvaru. Pracuje na principu tlakové nádoby, jejíž stěny tvoří pružná membrána.

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



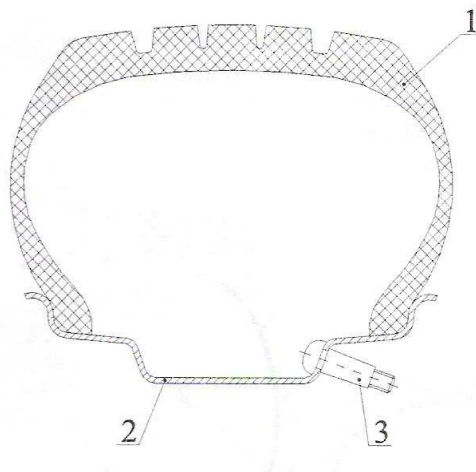
Obr. 1 Pneumatika s duší

a – pro osobní automobily, b – pro nákladní automobily

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

Plášť je pružná venkovní část pneumatiky, která zabezpečuje styk s vozovkou a svojí patní částí dosedá na ráfek. Duše je tenkostěnný gumový uzavřený prstenec, sloužící pro udržení potřebného tlaku vzduchu v pneumatice. Ventil umožňuje nahuštění a vypuštění vzduchu, nebo jiného tlakového média. Ochranná vložka je gumový tvarovaný prstenec, chránící duši před možným poškozením způsobeným ráfkem. Ráfek je jednodílný nebo vícedílný prstenec, vytvarovaný pro uchycení pláště. Přenáší hnací nebo brzdící sílu mezi patkou pláště a střední nosnou částí kola.

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



Obr. 2 Bezdušová pneumatika: 1 – plášť, 2 – ráfek, 3 – ventil

Základní požadavky kladené na pneumatiku:

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

Další důležité požadavky:

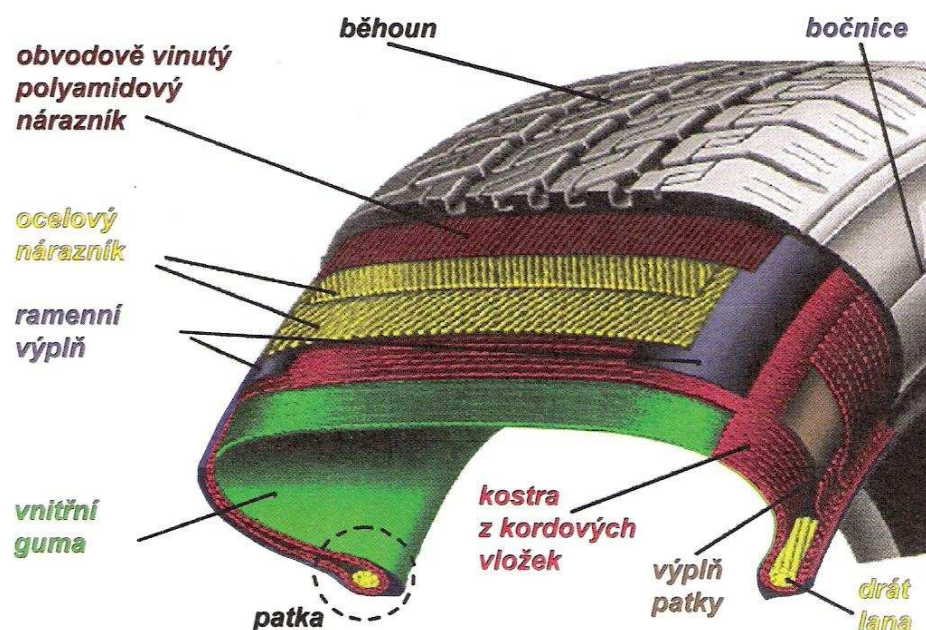
- nízký valivý odpor,
- nízká úroveň hluku a vibrací,
- dlouhá životnost,
- bezpečnost v provozu,
- komfort jízdy,
- minimální hmotnost.

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

2.1.2 Plášť

Struktura pláště se skládá z následujících částí:

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



Obr. 3 Struktura pláště

2.2 Základní druhy pláštíů podle konstrukce

Podle druhu konstrukce se pláště rozdělují na dva základní typy:

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

2.2.1 Diagonální plášť

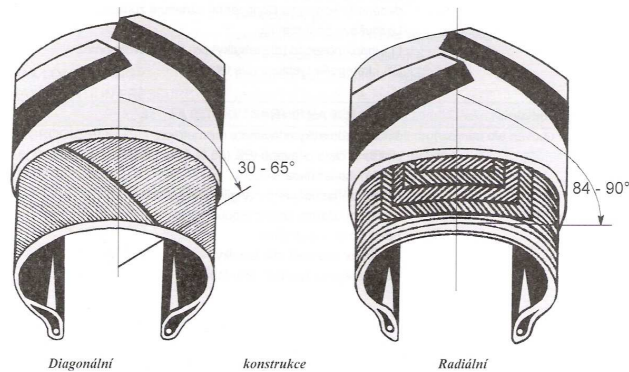
Jeho kostra je tvořena sudým počtem kordových vložek, které se v jednotlivých vrstvách navzájem kříží pod úhlem $30^\circ - 65^\circ$. V případě použití lichého počtu vložek je poslední vložka v šířce koruny pláště a plní funkci nárazníku.

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

2.2.2 Radiální plášť

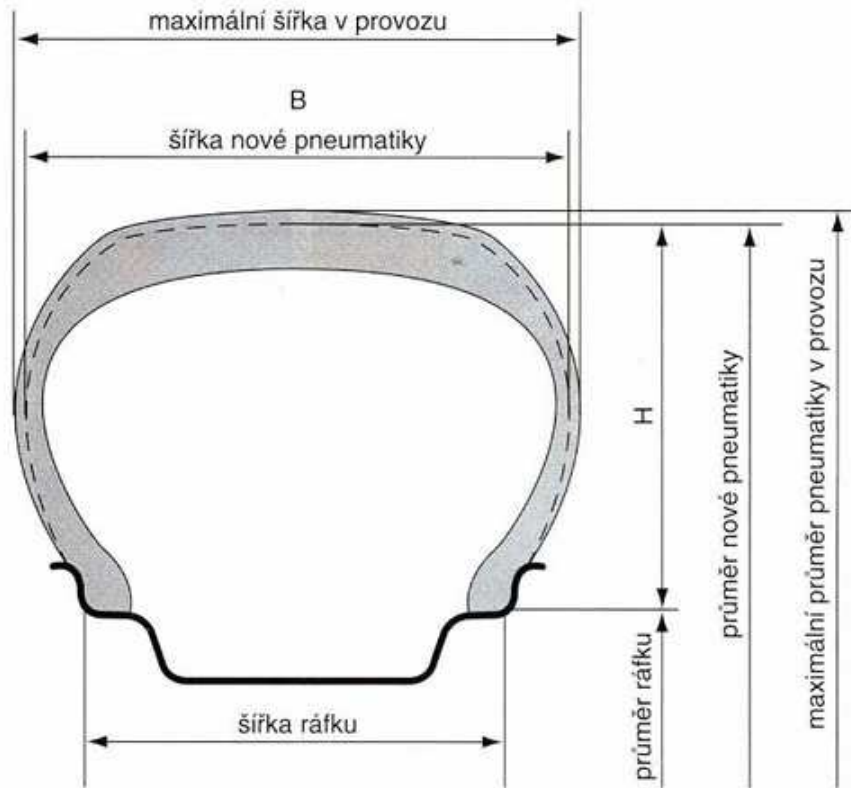
Má kostru tvořenou lichým nebo sudým počtem kordových vložek, které jsou uloženy k střední rovině běhounu pod úhlem $84^\circ - 90^\circ$. U nárazníků je úhel $18^\circ - 28^\circ$, pro nákladní pláště až po 60° .

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



Obr. 4 Konstrukce pláštíů

2.3 Základní rozměry pneumatik



Obr. 5 Základní rozměry pneumatik

185/65 R 14 85 T

185 = jmenovitá šířka pneumatiky (mm)

65 = profilové číslo (%)

R = označení radiální konstrukce pláště

14 = jmenovitý průměr ráfku v palcích

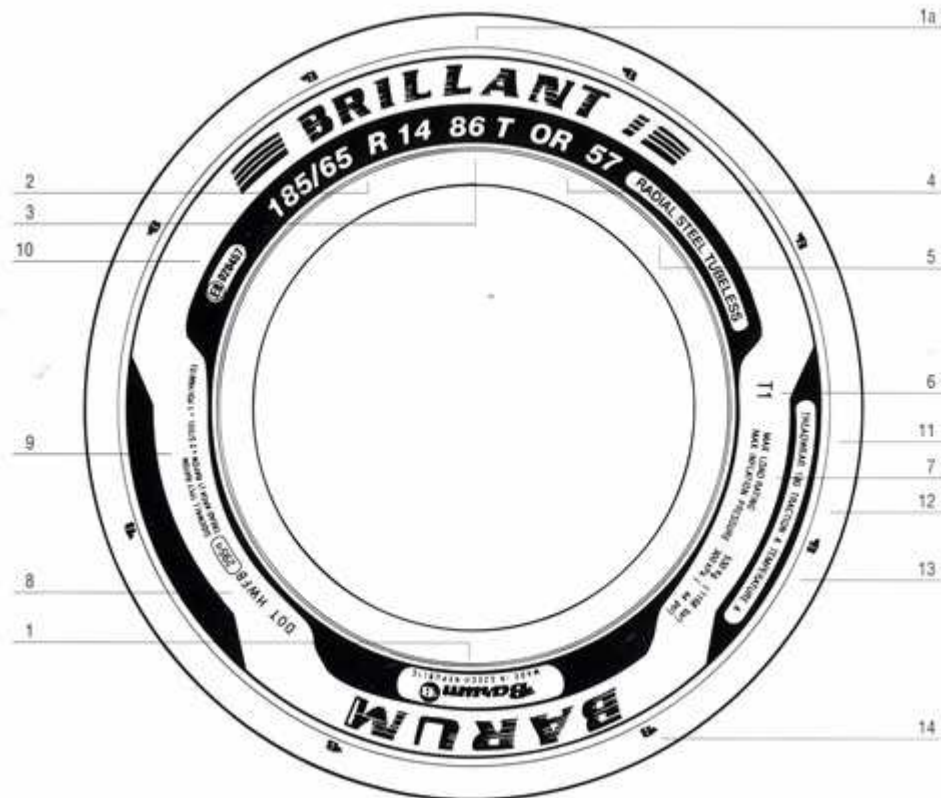
85 = index nosnosti

T = kategorie rychlosti

Tab. 2 Kategorie rychlosti (SS - Speed Symbol)

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

2.4 Označování plášt'ů



Obr. 6 Popis bočnice pláště pro osobní automobily

- 1 - ochranná značka BARUM, název výrobce a jeho sídlo
- 1a - obchodní značení výrobku
- 2 - označení rozměru pláště
- 3 - 86 = index nosnosti, T = kategorie rychlosti
- 4 - označení dezénu pláště
- 5 - RADIAL - plášť s radiální konstrukcí kostry, STEEL - nárazník z ocelového kordu, TUBELESS - bezdušové provedení pláště (TUBE TYPE - provedení pláště s duší)
- 6 - T1 - označení a pořadové číslo formy
- 7 - nejvyšší nosnost pneumatiky v kg (lbs) a nejvyšší dovolené huštění pneumaticky v kPa (psi)
- 8 - DOT - Department of Transportation, HW - kód výrobce (Barum Continental, s.r.o.)
- FB - kód rozměru (185/65 R 14), 295 = 29 –týden, 5 – rok, dekáda 1990-1999
- 9 - materiál kostry pláště a skutečný počet vložek v oblasti boku a běhounu
 - v boku pláště SIDEWALL 1PLY RAYON
 - v koruny pláště TREAD AREA

10 - E8 = homologační znak a číslo země (ČR) podle EHK 30, 020457 = přidělené schvalovací číslo

11 - odolnost běhounu proti opotřebení v procentech

12 - velikost součinitele adheze A, B, C

13 - odolnost proti dynamické únavě A, B, C

14 - indikátory opotřebení (Tread Wear Indicators - TWI)

3 SUROVINY A POLOTOVARY

Suroviny a polotovary významně ovlivňují jakost pneumatiky. Jen z kvalitních surovin a polotovarů lze vyrobit plášť pneumatiky, jehož parametry splňují předpoklady pro bezpečnou a pohodlnou jízdu vozidla a požadovanou životnost pneumatiky. Při výběru surovin a polotovarů je proto třeba vycházet z tohoto základního vztahu, i když ve výrobně technické praxi jde o velmi složitou úlohu.

Základními surovinami a polotovary pro výrobu plášťů pneumatik jsou kaučuk, přísady do kaučukové směsi, kordy a tkaniny z přírodních a chemických vláken, ze skla a z oceli, ocelové dráty a lana.

3.1 Kaučuk

Kaučuk je hlavní složkou kaučukové směsi. V pneumatikářském průmyslu se používá kaučuk přírodní a syntetický.

Odolnost proti opotřebení

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

U přírodního kaučuku se vysoká odolnost proti opotřebení získá aktivními sazemi, kterých se přidává k dosažení optimální odolnosti 22 až 28 objemových dílů, tj. asi 40 – 48 váhových dílů na 100 dílů kaučuku. Při vyšším plnění sice stoupá tvrdost a modul, ale nezlepšuje se již odolnost proti opotřebení. Pro syntetické kaučuky byly vyrobeny

retortové saze s vysokou odolností proti opotřebení. Je to proto, že směsi ze syntetických kaučuků s aktivními sazemi se špatně zpracovávají.

Směsi obsahující vysoké procento sazí vyžadují přidávání změkčovadel k usnadnění zpracovatelnosti, zvláště pro stříkání. Změkčovadla, zejména oleje, snižují odolnost proti opotřebení, takže je nutné, aby se jich používalo co nejméně. Do běhounových směsí z přírodního kaučuku se přidávají 3 až 4 % smrkového dehtu a 2 až 4 % stearinu. Celkem nemá množství změkčovadel ve směsi z přírodního kaučuku překročit 6 %. U syntetických kaučuků je množství použitých změkčovadel větší, asi 10 %, a má se jich používat jenom tolik, kolik jich je nutně zapotřebí.

Bílé a barevné směsi z přírodního kaučuku, které mají mít dobrou odolnost proti opotřebení, se plní zinkovou bělobou. V některých případech se dá použít také uhličitanu hořečnatého, vápenatého, kaolinu a křemičitých přísad.

3.1.1 Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk je produktem kaučukodárných stromů a keřů, rostoucích v tropickém pásmu některých světadílů (Asie, Afriky, Ameriky). Těží se na kaučukových plantážích ve formě latexu. Většina latexu se zpracovává přímo na plantážích na běžné druhy kaučuků, menší část se dopravuje ve formě latexu ke spotřebitelům. Latex je tixotropní dvoufázový systém s povrchovým napětím 0,038 až 0,040 Nm⁻¹. Získává se v přírodě „čepováním“, které se provádí naříznutím kůry kaučukodárných stromů šikmým řezem až ke kambiu. Vytékající latex se sbírá do polyethylenových sáčků a nádobek, z nichž se pak přelévá do nádrží, které slouží k přepravě latexu k dalšímu zpracování. Moderní způsoby pěstování kaučukonosných stromů umožňují roční těžbu latexu, která odpovídá až 2,5 tuny kaučuku z jednoho hektaru plantáže.

Roční výroba přírodního kaučuku činí asi 3,5 miliónu tun. Producenty jsou Malajsie, Indonésie, Thajsko, Srí Lanka, Indie, Libérie, Nigérie, Brazílie, Vietnam a některé další země, kde klimatické podmínky dovolují přírodní kaučuk pěstovat. Nejdůležitější je oblast tropické Asie, která produkuje rozhodující množství přírodního kaučuku.

V pneumatikářenském průmyslu se uplatňují tyto základní druhy přírodního kaučuku: Usazený kaučuk (Smoked sheets), Standard Malaysian Rubber a Standard Indonesian Rubber.

Fyzikální vlastnosti přírodního kaučuku

Přírodní kaučuk se chová jako neneutonská kapalina, krystaluje a má tyto vlastnosti:

hustota při 25 °C	0,92 g · cm ⁻³
index lomu při 20 °C	1,52
objemová roztažnost $\gamma \cdot 10^4$	6,21 K ⁻¹
hustota kohezní energie	0,266 kJ · m ⁻³
měrné spalné teplo	45 MJ · kg ⁻¹
tepelná vodivost	0,134 W · K ⁻¹ · m ⁻¹
relativní permitivita při kmitočtu 1 kHz	2,37

Přírodní kaučuk se rozpouští v alifatických, aromatických a chlorovaných uhlovodících, v diethyletheru a v sirouhlíku. V pneumatikářenském průmyslu jsou jako rozpouštědla používány zejména uhlovodíky alifatické (benzíny).

3.1.2 Syntetický kaučuk

Syntetický kaučuk je nepostradatelnou surovinou pro pneumatikářský průmysl nejen pro omezenost zdrojů přírodního kaučuku a pro jeho strategický význam, ale také pro fyzikálně mechanické vlastnosti, které umožňují jeho dobré uplatnění v jednotlivých částech pláště pneumatiky. S postupem let se syntetický kaučuk stal plnohodnotnou surovinou ve srovnání s kaučukem přírodním. Rozvoj výroby a užití syntetického kaučuku v rozsáhlém sortimentu to jednoznačně potvrzuje.

K výrobě kaučukových směsí se v pneumatikářenském průmyslu nejvíce využívají tyto syntetické kaučuky: butadienstyrenový kaučuk, isoprenový kaučuk, butadienový kaučuk, ethylenpropylenový terpolymer a butylkaučuk.

3.2 Přísady do kaučukových směsí

Do této skupiny patří vulkanizační činidla, urychlovače a retardéry vulkanizace, aktivátory vulkanizace, ztužovala, antidegradanty, změkčovadla a ostatní přísady.

Složení kaučukových směsí pro jednotlivé části pláště pneumatiky se řídí obecnými zásadami pro skladbu kaučukové směsi, vždy s přihlédnutím ke konkrétním podmínkám pneumatikářského závodu.

3.2.1 Vulkanizační činidla

V pneumatikářské výrobě se jako vulkanizační činidlo používá nejčastěji síra. V omezeném rozsahu se vulkanizuje také pomocí pryskyřic, jak tomu je např. při výrobě směsí pro lisovací membrány. Síra se používá mletá v krystalické formě (kosočtverečná S_8) a nebo ve formě polymeru označovaná také jako nerozpustná. Vlastnosti mleté krystalické síry:

barva	žlutá
teplota tání	112 až 119 °C
čistota	99 až 99,8 %
popel	< 0,05 %
hustota	2,05 g · cm ⁻³

Síra je dobře rozpustná v sirouhlíku. Její rozpustnost v kaučuku závisí na teplotě a na struktuře kaučuku. Částečná rozpustnost síry v kaučuku je potom příčinou její difúze k povrchu vulkanizátu, což se označuje jako „vykvétání“ síry. Tento jev je nebezpečný a nežádoucí, neboť snižuje konfekční lepivost polotovarů. Vykvetlá síra může být příčinou snížené soudržnosti polotovarů s následnými poruchami v kvalitě pneumatik. V přírodním kaučuku se síra rozpouští v množství asi 2 % při běžné teplotě, kdežto při vyšší teplotě rozpustnost vzrůstá, až při 100 °C dosahuje hodnoty kolem 7 %. Vykvétání síry lze proto do určité míry ovlivnit chlazením kaučukové směsi. Při pomalém chlazení se síra vylučuje z kaučuku ve formě hrubších krystalků, které difundují k povrchu jen velice pomalu, a tím se vykvétání síry omezuje. Při rychlém chlazení kaučukové směsi je tomu naopak. V pneumatikářské praxi, kde produktivita práce v přípravných kaučukových směsí je závažným činitelem při hodnocení efektivnosti procesu přípravy směsí, je chlazení směsí poměrně rychlé a nebezpečí vykvétání síry běžné. Při sestavování technologického předpisu pro přípravu kaučukových směsí je proto třeba s nebezpečím vykvétání směsí počítat a z tohoto hlediska stanovit teplotní režim celého procesu. Vykvétání síry je také funkcí času, a proto se polotovary musí zpracovávat v takových intervalech, kdy ještě síra

nevykvétá. Tyto intervaly lze stanovit poměrně přesně v konkrétních podmínkách pneumatikářské výroby. Orgány kontroly důsledně dbají, aby se předepsané intervaly pro zpracování polotovarů dodržovaly.

Síra se do ČR importuje. Mezinárodní naleziště síry jsou na Sicílii, v Polsku, v USA (v Texasu a v Luisianě) a v některých dalších zemích.

Síra se mele na jemnost potřebnou pro přípravu směsí, která odpovídá podle Chanela 70 až 80. Mele se za mokra nebo v inertním plynu. Do pneumatikářských závodů se dodává v papírových pytlích nebo v dřevěných sudech. Jelikož je hořlavá, musí se při prosévání důsledně dodržovat požárně bezpečnostní předpisy. V pneumatikářské výrobě se pro některé kaučukové směsi používá tzv. "nerozpustná" síra, která má podobnou relativní molekulovou hmotnost jako použité polymery (100 000 až 300 000) a je nerozpustná v rozpouštědlech i v kaučuku. Do kaučuku se přidává při teplotě kolem 100 °C a její předností je, že nevykvétá na povrch vulkanizátu. Pro svou omezenou dostupnost a vysokou cenu má jen omezené použití.

3.2.2 Pryskyřice

Přidávají se do některých kaučukových směsí ke zlepšení lepivosti směsi. Nejčastěji se používá kumaronová pryskyřice a kalafuna.

3.2.3 Saze

Příznivý vliv sazí na fyzikální vlastnosti vulkanizátu, zejména na jeho pevnost a odolnost proti opotřebení, zajišťuje jejich využití v jednotlivých částech pneumatiky. Dlouhodobý význam a praktická zkušenost umožňují pneumatikářským chemikům přesně určit druh a množství sazí pro receptury běhounových směsí, směsí na bočnice, kostrových a nárazníkových směsí, stejně jako pro směsi ostatní.

Saze se vyrábějí nedokonalým spalováním olejů a plynů ve speciálním zařízení. Jejich klasifikace se během času různě měnila. Dnes se základní znak odvozuje od způsobu výroby.

C – saze kanálové; F – saze retortové; T – saze termické

K základním písmenům se přidávají ještě písmena další, která informují o některých vlastnostech sazí (těžko, středně, snadno zpracovatelné; snadno vytlačovatelné; odolné proti opotřebení; pro všeobecné použití; poloztužující; vysoce modulové; střední, jemné termické...).

Výroba sazí v ČR je rozsáhlá. Zabývá se jí firma CS CABOT spol. s r.o. ve Valašském Meziříčí. Tato firma vyrábí a prodává následující typy sazí pro gumárenský a plastikářský průmysl: Regal®, Sterling®, Spheron®, Vulcan®.

3.3 Výztužné materiály

V technologické koncepci moderní pneumatikářské výroby mají významnou úlohu technická vlákna a tkaniny, které slouží jako výztužné a ochranné materiály pro kostru a patku pláště pneumatiky.

Technická vlákna a tkaniny ovlivňují rozhodujícím způsobem funkční vlastnosti pneumatiky, především bezpečnost a pohodlnost jízdy, a mají také významný vliv na životnost pneumatiky.

V pneumatikářské praxi po roce 1945 jsou používána vlákna přírodní i chemická a ve stále větším množství vlákna hutnická. Významem menší podíl tvoří také vlákna skleněná. Spotřeba technických vláken pro pneumatikářskou výrobu je značná a činí kolem 70 % z celkové spotřeby těchto vláken pro celý gumárenský průmysl.

V jednotlivých druzích plášťů pneumatik se vyskytují tyto tkaniny:

bavlna	pláště pro jízdní kola (tzv. velopláště)
viskóza	pláště pro motocykly (tzv. motopláště), pneumatiky pro dopravní vozíky, pláště pneumatik pro osobní a nákladní vozidla, pláště pneumatik pro traktory a zemědělská vozidla, pláště pneumatik pro speciální vozidla
syntetická vlákna (polyamid 6 a 66, polyester)	velopláště, motopláště, pláště pneumatik pro dopravní vozíky, pláště pneumatik pro osobní a nákladní vozidla, pláště pneumatik pro traktory, zemědělská vozidla a speciální vozidla
skleněná vlákna	pláště pneumatik pro osobní a nákladní vozidla (bias- belted)
hutnická vlákna	radiální pláště pneumatik pro osobní a nákladní vozidla, radiální pláště pneumatik pro traktory, pláště pneumatik pro speciální vozidla

Se zřetelem na konstrukce výztužných a ochranných materiálů jsou v pneumatikářenském průmyslu používány kordy, kordové tkaniny a ségly.

Kordová nit - je hrubá skaná nit, která vznikne spletením dvou nebo více skaných přízí z přírodního nebo syntetického materiálu. Zákrut jednotlivých přízí se volí podle druhu vlákna a podle požadavků na technické vlastnosti kordu. Obecně lze říci, že výsledný zákrut je vždy kompromisem mezi požadavky na jednotlivé vlastnosti kordů.

Kordová tkanina vzniká tkaním osnovních kordových nití s útkem, který je z hlediska pevnostních vlastností bezvýznamný, ale udržuje jednotlivé kordové nitě v určené poloze. Tkanina se vyrábí podle předem stanoveného předpisu, přičemž základní charakteristikou je hustota dostavy, určená počtem kordových nití na 10 cm. Pokud jde o hustotu útkových nití, je v porovnání s osnovou menší, a to 7 až 13 nití na 10 cm.

3.3.1 Polyesterové kordové tkaniny

Základní surovinou je dimethyltereftalát. V pneumatikářenském průmyslu mají tyto tkaniny jen omezené využití (např. pro výrobu klínových řemenů).

3.3.2 Ocelové kordy

Ocelová vlákna ve formě kordu se používají ve výrobě pláštů radiálních pneumatik. Tato koncepce vznikla v Evropě a postupně se rozšířila do celého světa. Využití ocelových kordů v pneumatikách je nesporně efektivním řešením konstrukce pláště pneumatiky především proto, že pneumatiky mohou vlivem kordu dosáhnout vynikajících vlastností a také proto, že základním materiálem na výrobu kordů je ocel, kterou lze zajistit vlastní výrobou. Zavádění ocelových kordů do výroby pláštů pneumatik pro automobily však vyžaduje výměnu strojně technologického zařízení, což vedlo zejména v USA ke snaze nahradit ocelový kord skleněnými kordy ve výztužném pásu při zachování diagonální kostry, a tím také velké části dosavadního výrobního zařízení. Pneumatiky označované jako bias-belted však radiální koncepci nenahradily a ocelové kordy v plášti pneumatiky se prosadily i zde.

Kvalita ocelových kordů závisí především na vlastnostech oceli, z níž jsou vyráběny.

Základním polotovarem k výrobě ocelových kordů je obvykle ocelový drát o průměru kolem 6 mm. Technologie výroby vlákna na výrobu ocelových kordů spočívá v mechanickém ztenčování základního drátu protahováním tryskami z tvrdého kovu a přesně definovaných rozměrů.

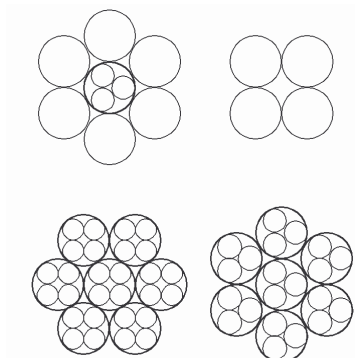
Součástí technologického procesu je také povrchová úprava vlákna, k níž dochází mezi protahováním drátu jednotlivými tryskami. Při posledním protažení se na povrch vlákna nanáší vrstvička mosazi (70 % Cu a 30 % Zn) ve formě modifikace α , která zaručuje zvýšenou adhezi povrchu ocelového kordu k pryži. Pro pneumatikářenský průmysl se vyrábějí ocelová vlákna nejčastěji o průměrech 0,15, 0,175 a 0,22 mm. Přitom platí zásada, že pro stejnou kvalitu základní oceli mají vlákna, menšího průměru lepší dynamické vlastnosti než vlákna tlustší.

Ocelový kord se vyrábí slaňováním ze základních vláken tak, že se, nejprve slaňují svazky vláken, z nichž se zhotovuje ocelový kord. Základní konstrukce ocelového kordu je dvojí - uzavřená a otevřená. Uzavřená konstrukce ocelového kordu má konstrukční prvky velmi blízko u sebe, což brání zatečení směsi mezi jednotlivé dráty. Otevřená konstrukce má konstrukční prvky uspořádané tak, že při nánosování kaučukové směsi zatéká směs mezi kordy, čímž se zlepšuje adheze.

Vrstvené kordy jsou konstruovány z několika vrstev. Příkladem je kord 3 + 9 + 15. Kordy s touto konstrukcí mají stupeň kompaktnosti kolem 75 %, kdežto u standardních kordů se tato hodnota pohybuje kolem 50 až 60 %. Stupněm kompaktnosti se rozumí poměr plochy, kterou zaujímá kov (efektivní průřez) k celkové ploše ohraničené kružnicí opsané okolo kordu. Z toho plyne, že při zachování průměru ocelového kordu má vrstvená konstrukce větší pevnost a také větší délkovou hustotu než standardní konstrukce.

Vysokotažné kordy jsou výhodné pro výstužný pás pneumatik pro nákladní vozidla nebo pro pneumatiky rychlostní.

Označování ocelových kordů určuje počet pramenů, počet vláken, tloušťku základního vlákna, popř. počet a tloušťku vláken opleťových.



Obr. 7 Konstrukce ocelových kordů

Ocelové kordy se dodávají do pneumatikářských závodů na cívkách obalených fólií z plastu a uložených v sudech hermeticky uzavřených. Do sudů se přidává látka, která odstraňuje vzdušnou vlhkost.

4 KONFEKCE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

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

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

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

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

Z hlediska konstrukce pláštěů můžeme konfekci rozdělit na:

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

Z hlediska druhu použití pláště rozeznáváme konfekci pláštěů pro:

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

4.1 Konfekce diagonálních pláštů

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

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



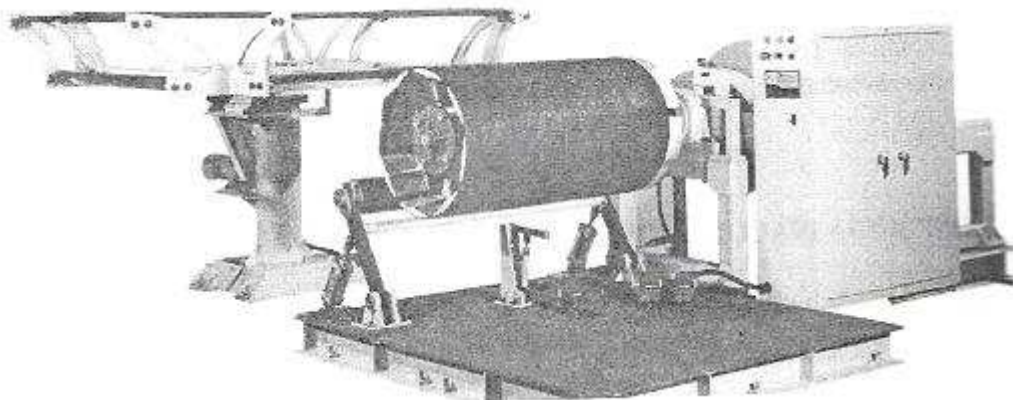
Obr. 8 Surový diagonální plášť

Konfekci diagonálních pláštů můžeme podle technologie výroby rozdělit:

- technologie výroby z obalů
- technologie výroby z kordových vložek

4.1.1 Technologie výroby diagonálních pláštů z obalů

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



Obr. 9 Lepička obalů

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

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

4.1.2 Technologie výroby diagonálních pláštů z kordových vložek

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

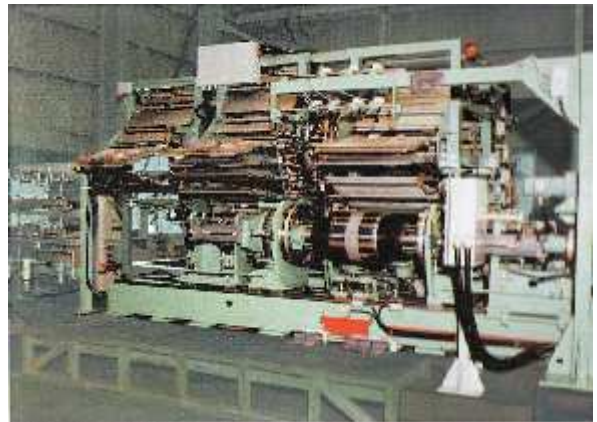
Konfekční stroj pro diagonální konfekci z vložek má tyto hlavní části:

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



Obr. 11 Konfekční stroj fy MITSUBISHI

Obr. 10 Konfekční stroj KLD 20



4.2 Konfekce radiálních pláštů

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

Podle technologické výroby můžeme konfekci radiálních pláštů rozdělit na:

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

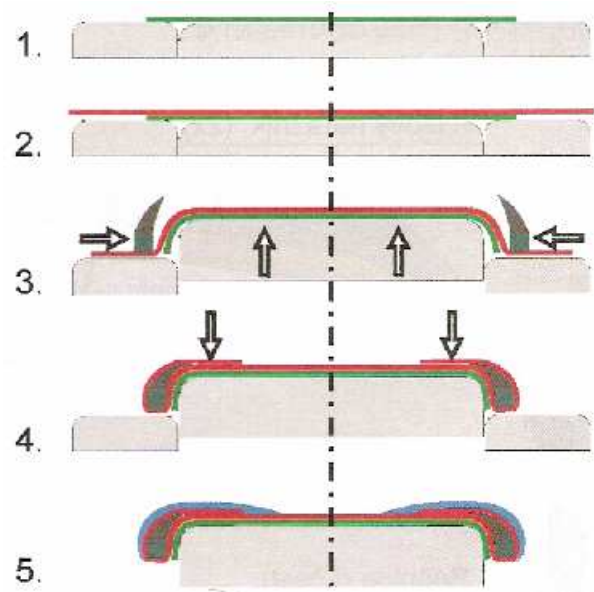
4.2.1 Dvojestupňová konfekce radiálních pláštů

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

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

Konfekce I. stupně zahrnuje tyto operace:

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



Obr. 12 Operace I. stupně

Připravená kostra má válcový tvar (obr. 4.6) a po složení z konfekčního bubnu se převáží ke konfekčnímu stroji 2. stupně.

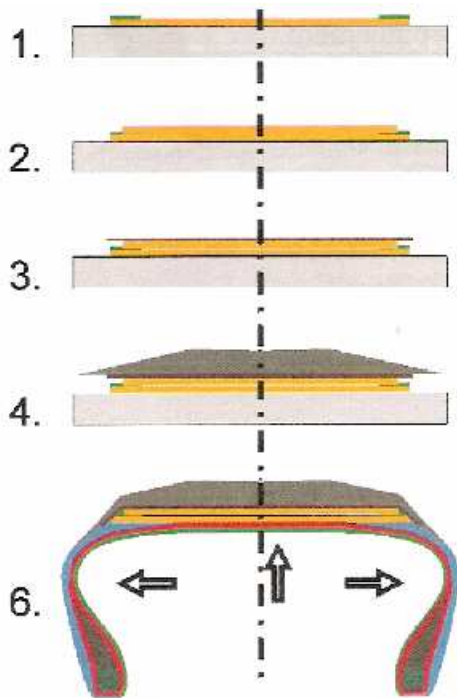


Obr. 13 Kostra nákladního radiálního pláště – 1. stupeň

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

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

Konfekce II. stupně zahrnuje tyto operace:



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

Obr. 14 Operace II. Stupně

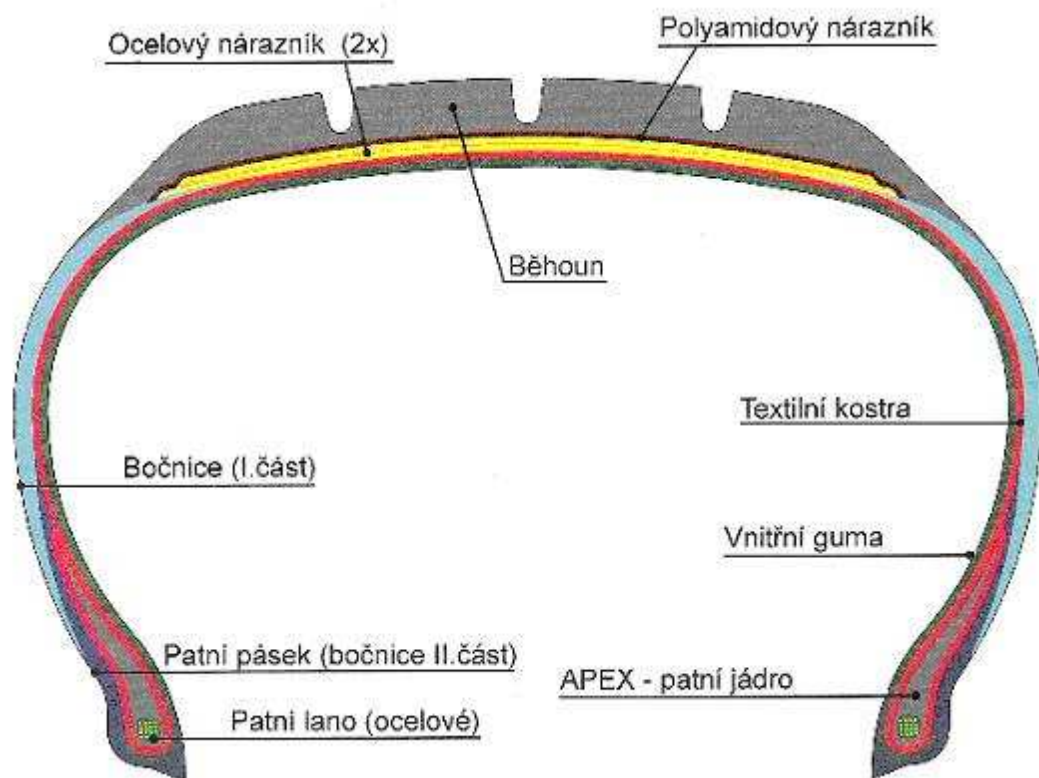
Hotový surový plášť je složený z konfekčního bubnu a uložený do odbíracího místa.



Obr. 15 Surové pláště uložené ve skladu

Pláště lze dle konstrukce rozdělit do několika skupin:

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



Obr. 16 Řez radiálním pláštěm

4.2.2 Jednostupňová konfekce radiálních pláštů

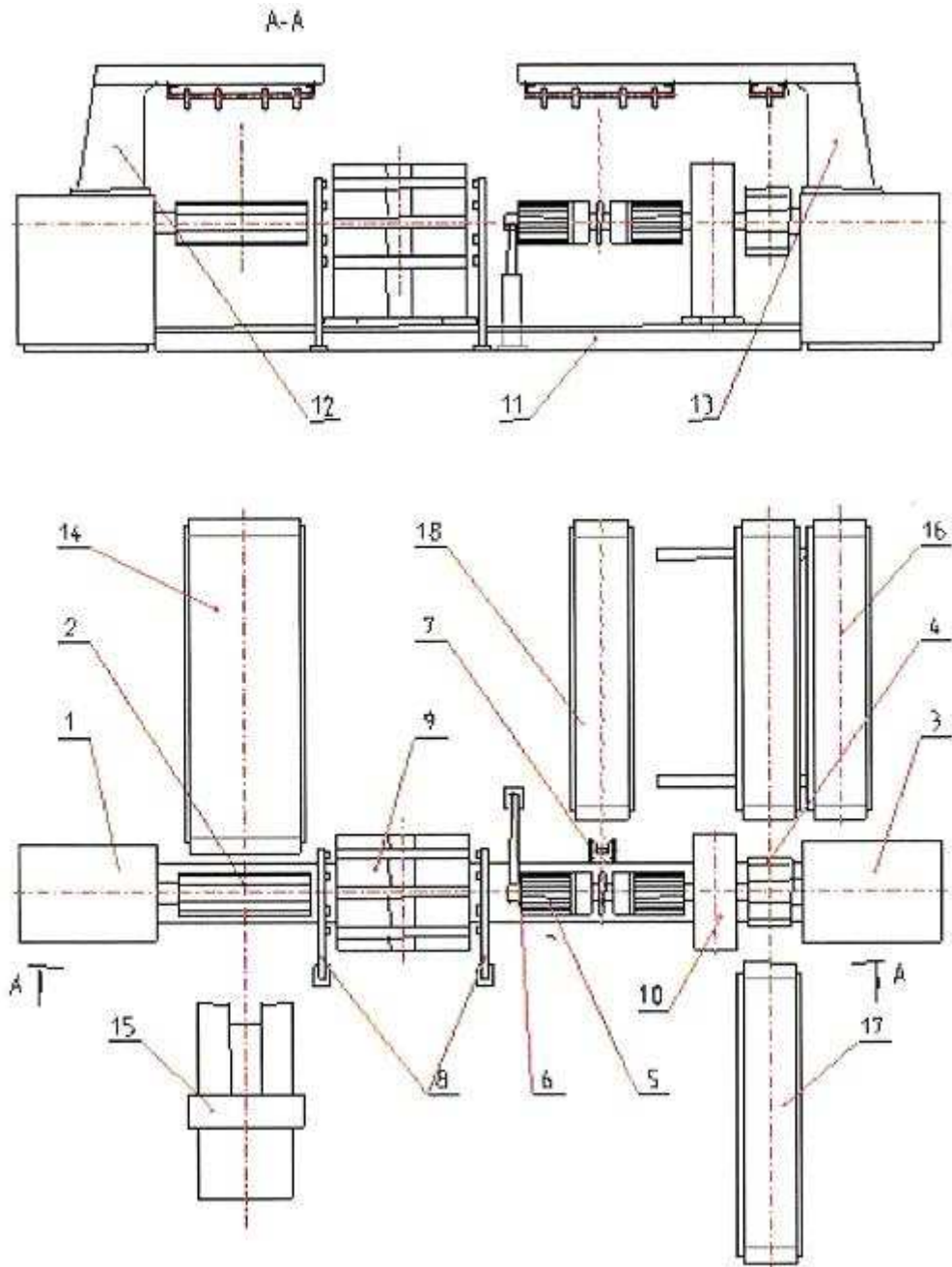
Její princip spočívá v tom, že surový plášť je zhotovený na jednom konfekčním stroji, na jednom konfekčním bubnu, který je pevný, ale dokáže vytvarovat kostru pláště při naložení nárazníků a běhounu.

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

4.2.3 Konfekce pláštů na velkokapacitních vícebubnových konfekčních linkách

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

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



Obr. 17 Schéma trojbubnového konfekčního stroje

Popis trojbubnového konfekčního stroje:

1 – skříň pohonu kostrového bubnu, 2 – kostrový konfekční buben, 3 – skříň pohonu kompletačního a nárazíkového bubnu, 4 – nárazíkový konfekční buben, 5 – kompletační

konfekční buben, 6 – podpěra kompletačního bubnu, 7 – zavalovací zařízení, 8 – zakladač lan, 9 – transfering kostrového obalu, 10 – transfering nárazníkového obalu, 11 – vedení transferingů, 12, 13 – nosiče projektorů, 14 – zásobník kostry, 15 – zásobník bočnic, 16 – zásobník nárazníků, 17 – nakladač běhounu, 18 – zásobník ramenné výplně

5 ZKUŠEBNICTVÍ PNEUMATIK

Zkušebnictví jako v každém odvětví průmyslové výroby má mimořádný význam pro hodnocení kvality a vlastností výrobku. Je důležitou pomůckou konstruktéra a chemika pracujících na vývoji pneumatik a je jedním z kritérií kvality pro hodnocení kvality při přejímání zboží v obchodě s pneumatikami. Proto zejména státy s vyspělým automobilovým a gumárenským průmyslem věnovaly zkušebnictví pneumatik značnou pozornost a vysoké finanční částky na jeho vybudování a provoz.

Požadavky na zkušebnictví pneumatik jsou různého charakteru podle účelu použití. Např. konstruktéra pneumatik zajímá vliv jednotlivých konstrukčních parametrů na pevnost, životnost, nosnost, teplotu, stabilitu pneumatik, chemika zajímá např. životnost z hlediska použití různých druhů kaučuků, sazí a jiných plniv, kordových vláken atd. Konstruktér automobilu sleduje převážně vlastnosti ovlivňující pohodlí a stabilitu jízdy vozidla. U pneumatik pro traktory a speciální vozidla se hodnotí záběrové vlastnosti, průchodivost atd. Je tedy důležité znát, co každá ze zkoušek, kterých je u pneumatik mnoho, vystihuje, na co je schopna dát odpověď pracovníku ve výzkumu a ve vývoji.

Jednou z nejdůležitějších zkoušek pro výrobce pneumatik je stanovení životnosti, tj. maximálního kilometrového výkonu pneumatik. Tato zkouška se provádí na automobilech přímo v provozu.



Obr. 18 Zkoušení těsnosti pneumatik nákladních automobilů

5.1 Rozdělení zkušebnictví

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

Mezi nejdůležitější laboratorní zkoušky patří:

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

Provozní zkoušky představují sledování průběhu úbytku hloubky drážky desénu nebo váhy běhounu, životnosti kostry pneumatiky a jejích elementů při jízdě pneumatiky na vozovce. Dělí se na usilovné, které se konají za přesně kontrolovaných provozních podmínek, kdy vozidlo jezdí samoúčelně s neměnným nákladem (např. je zatíženo pískem) obvykle po stále stejné trati (zkušebním okruhu), a na zkoušky v normálním provozu za nekontrolovatelných podmínek u různých podniků. U těchto zkoušek, které vyžadují poměrně velké množství zkušebních pneumatik, jsou sledovány i vlivy různých provozních podmínek (dálkový, terénní, těžký, velmi těžký provoz apod.). Usilovné zkoušky se provádějí obvykle ve výzkumných střediscích, vyžadují minimální množství zkušebních pneumatik a poskytují velmi rychle přesné výsledky.

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



Obr. 19 Zkouška pneumatiky

5.2 Hodnocení provozních zkoušek pneumatik

5.2.1 Celkové hodnocení kvality pneumatik provozními zkouškami

K hodnocení výsledků provozních zkoušek pneumatik jako celku se používá výhradně metod matematické statistiky. Tento postup dovoluje stanovit pravděpodobnou životnost sledovaného rozměru pneumatiky v jednotlivých druzích provozu i pravděpodobný výskyt závad (ještě před ukončením celé série zkoušek). Všeobecně se udává, že k spolehlivému ověření jednoho typu pneumatiky v jednom druhu provozu (jedna vozovka) v nekontrolovatelných podmínkách je třeba asi 200 kusů pneumatik.

Za podmínek usilovných, přísně kontrolovaných zkoušek pneumatik se tento počet zmenšuje pro jednu sérii pneumatik a jeden provoz asi na 10-18 kusů. Výsledky lze hodnotit již při 30 % pneumatik vyřazených z provozu, kdy lze vypočíst celkový výsledek zkoušek (tj. např. průměrnou životnost).

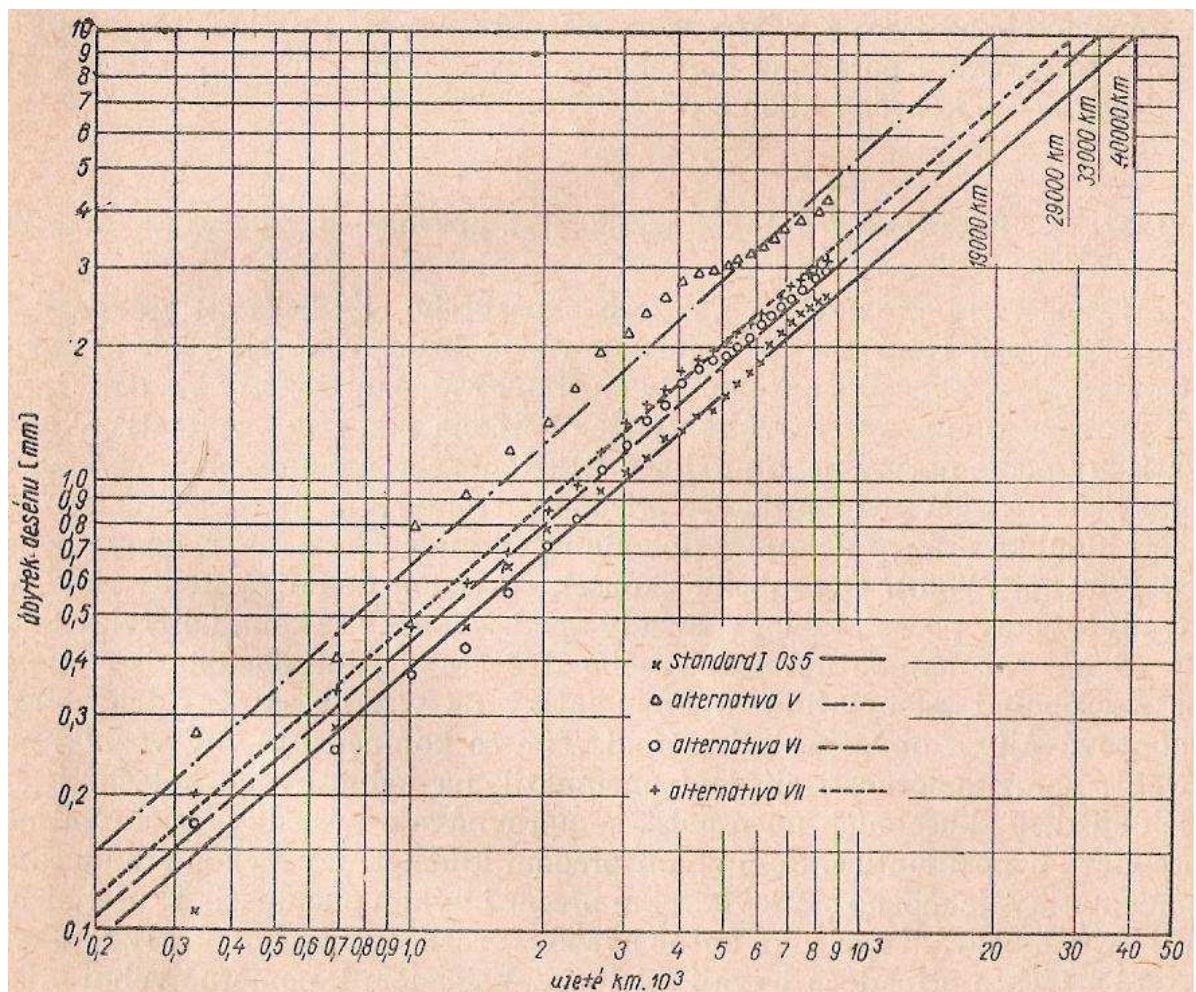
5.2.2 Hodnocení životnosti běhounu pneumatiky

K hodnocení úbytku hloubky drážky desénu, tj. k sledování životnosti desénu a běhounové pryže, se používá nejčastěji Buistovy metody. Na základě sledování řady provozních zkoušek pneumatik a přesných měření úbytků hloubky drážky desénu navrhl Buist funkci úbytku drážky desénu v závislosti na ujeté kilometrové vzdálenosti ve tvaru: $y = ax^b$, kde y je hloubka desénové drážky, x – počet ujetých kilometrů, a a b – konstanty.

Funkce podle rovnice $y = ax^b$ značí parabolu, která ve zvláštním případě, kdy $b = 1$, je přímka. U některých pneumatik bývá úbytek hloubky desénové drážky přibližně přímo úměrný počtu ujetých kilometrů, tj. $b = 1$. Parabolický průběh se projevuje ponejvíce na počátku zkoušky.

Rovnici $y = ax^b$ můžeme s výhodou vyjádřit v logaritmických souřadnicích, pak $\log y = \log a + b \cdot \log x$.

V těchto souřadnicích představuje rovnice přímku. Vyneseme-li zjištěné úbytky hloubek drážky desénu v závislosti na kilometrovém výkonu na logaritmickém papíře, lze získanými body proložit přibližně přímkou. Stačí pak provádět měření i v menším rozsahu kilometrů, např. 10 000 km, a konečný kilometrový výkon stanovit extrapolací. Prodloužíme přímku až do průsečíku s pořadnicí hloubky drážky desénu a můžeme odečíst na vodorovné ose konečný kilometrový výkon.



Obr. 20 Znázornění úbytku hloubky drážky desénu v závislosti na ujeté dráze v logaritmických souřadnicích

5.2.3 Praktické provádění urychlených provozních zkoušek pneumatik

Zkoušky se provádějí na vozech zkušebního střediska na standardní zkušební trati, která obvykle zahrnuje různé druhy vozovek a kde se jezdí dvěma směry. Zkušební automobily musí být řádně udržovány a seřizovány. Za provozu jsou vozy zpravidla vytíženy pískem tak, aby pneumatiky byly zatíženy podle normy nebo předpisu. Huštění se kontroluje před nastoupením jízdy. Každá pneumatika se přísně kontroluje a na 10 až 15 místech se měří hloubka drážky desénu v dohodnutých intervalech (např. denně nebo po 1000 km apod.). O průběhu zkoušek se vedou denní záznamy, kde se uvádí taky stav počasí, teplota, závady apod. Zkoušky se konají obvykle tak, že se na vůz namontuje jedna nebo dvě standardní pneumatiky spolu se zkušebními pneumatikami. Pneumatiky na vozidle se pravidelně přemontovávají – obvykle při měření. Tím se kompenzuje vliv vozidla na eventuální nerovnoměrnosti sjíždění pneumatik na jednotlivých kolech. Průběh sjíždění zkušebních pneumatik se porovnává s výsledky získanými na standardní pneumatice. Je-li znám předem kilometrový výkon standardní pneumatiky, je možno stanovit velmi přesně i výkon pneumatik zkušebních. Při vyhodnocování výsledků nutno uvažovat rozlišovací schopnosti zkoušky, které v těchto případech bývají 10 %. Vzhledem k poměrně velmi přísným podmínkám zkoušek na zkušební trati bývá výkon pneumatik v normálním provozu o 30 až 50 % vyšší, než je stanoveno na okruhu.

II. CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

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

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

Postup řešení:

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

III. PRAKTICKÁ ČÁST

6 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro experimentální ověřování byly vybrány 3 druhy gumárenských směsí určených pro běhouny silně namáhaných pláštíků pracujících v těžkých podmínkách. Všechny směsi představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

Tab. 3 Označení směsí

Směs	Použití
1	Pneumatiky pracující v těžkých podmínkách
2	Pneumatiky pracující v těžkých podmínkách
3	Pneumatiky pracující v těžkých podmínkách

6.1 Měřené vlastnosti

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

- Tahové zkoušky
- Strukturní pevnost
- Odrazová pružnost Luepke
- Tvrdost Shore
- Rychlý test opotřebení

Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byly připraveny lisováním na laboratorním lisu typ 400x400, v laboratořích ÚVI FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám [14,15,16,17]

6.1.1 Tahové zkoušky

Zkouška spočívá v protahování standardních zkušebních těles v trhacím stroji konstantní rychlostí. Odečítají se hodnoty síly a prodloužení potřebné k hodnocení požadovaných charakteristik zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení.

Napětí v tahu - je napětí způsobující protažení zkušebního tělesa. Vypočítá se jako podíl síly a plochy, na kterou síla působí.

Prodloužení - je protažení vzniklé působením napětí v tahu na zkušební těleso, vyjádřené v procentech délky pracovní části.

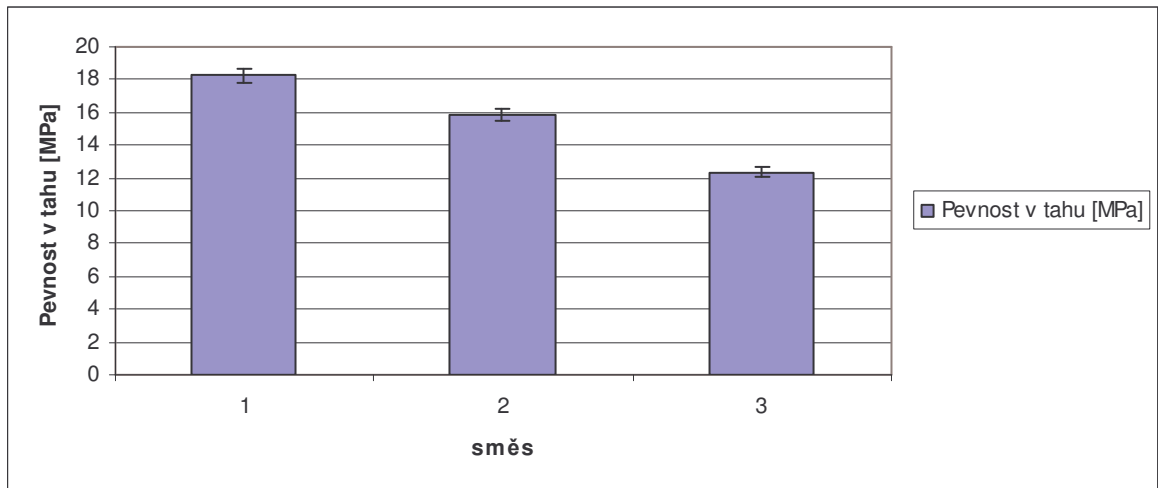
Pevnost v tahu - je definována jako maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování zkušebního tělesa do okamžiku přetržení.

Tažnost - je tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení.

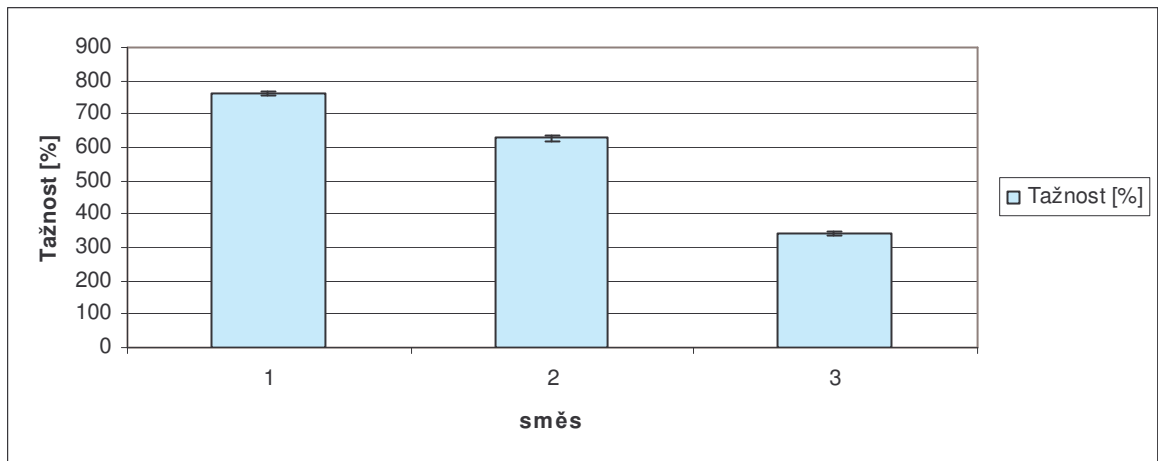
Pro přehlednější vyhodnocení byla zavedena bezrozměrná hodnota (je to podíl příslušné hodnoty k hodnotě maximální).

Tab. 4 Tahové zkoušky

směs	Pevnost v tahu [Mpa]	Pevnost v tahu [-]	SMCH	Tažnost [%]	Tažnost [-]	SMCH
1	18,247	1	0,382	759,9	1	6,842
2	15,843	0,868	0,317	628,225	0,827	7,431
3	12,372	0,678	0,267	341,771	0,450	3,403



Obr. 21 Porovnání pevnosti v tahu



Obr. 22 Porovnání tažnosti

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti dosahovala směs 1, nejmenší směs 3.

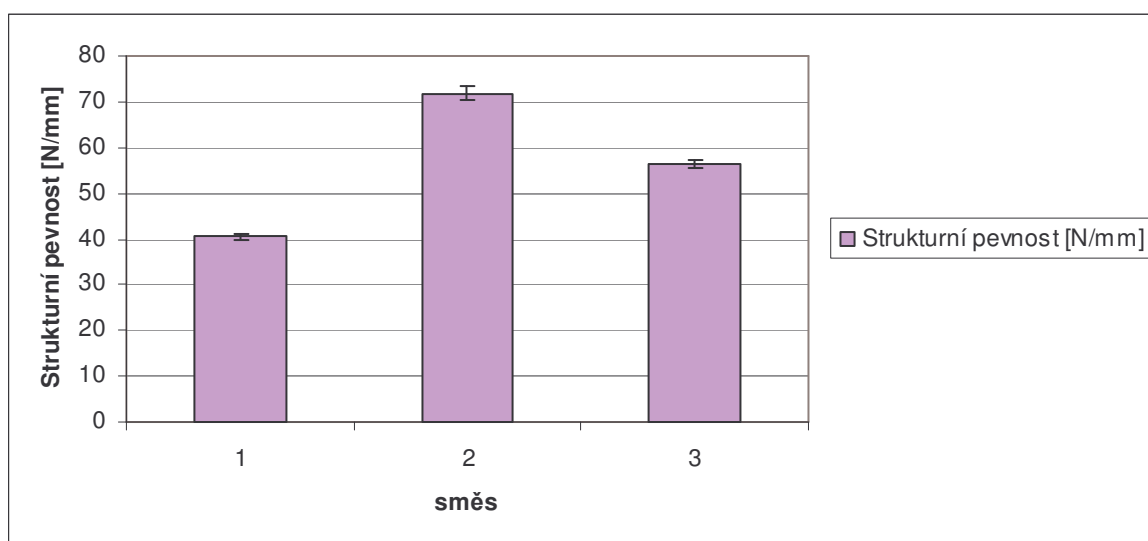
6.1.2 Strukturální pevnost

Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhacího stroje, tahem a v měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles. Zkušební tělesa se namáhají tahem při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti 500 ± 50 mm/min a zaznamenává se nejvyšší síla, která je potřebná k přetržení zkušebního tělesa.

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

Tab. 5 Strukturální pevnost

Směs	Strukturální pevnost [N/mm]	Strukturální pevnost [-]	SMCH
1	40,506	0,564	0,568
2	71,785	1	1,587
3	56,416	0,786	0,798



Obr. 23 Porovnání strukturální pevnosti

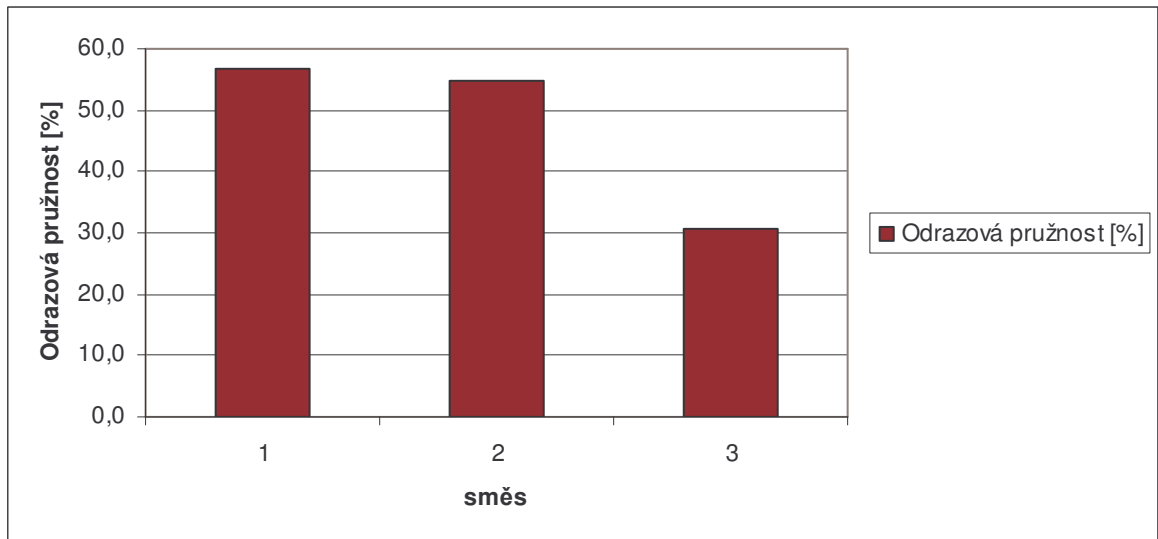
Nejvyšší strukturální pevnosti dosáhla směs 2, nejmenší naopak směs 1.

6.1.3 Odrazová pružnost Luepke

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

Tab. 6 Odrazová pružnost Luepke

Směs	Odrazová pružnost [%]	Odrazová pružnost [-]
1	56,60	1
2	54,88	0,970
3	30,60	0,541



Obr. 24 Porovnání odrazové pružnosti

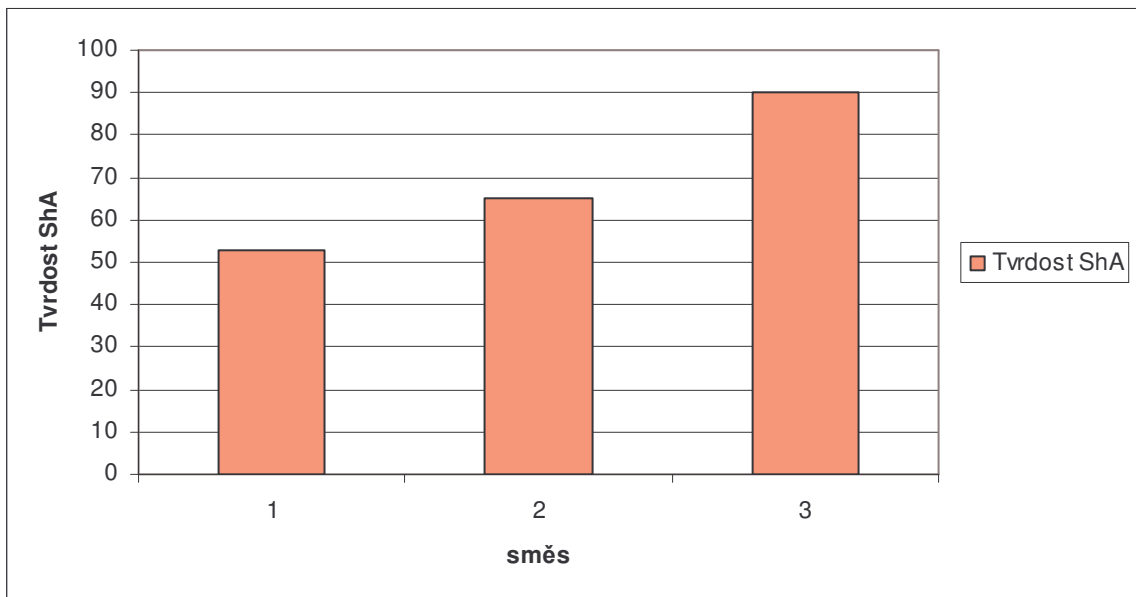
Nejvyšší odrazové pružnosti dosáhla směs 1, naopak nejmenší měla směs 3.

6.1.4 Tvrdość Shore

Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušebního hrotu vlačovaného do materiálu za specifických podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Pro měření byl použit tvrdoměr typu A (Shore A).

Tab. 7 Tvrdość Shore

Směs	Tvrdość ShA	Tvrdość ShA [-]
1	53	0,589
2	65	0,722
3	90	1



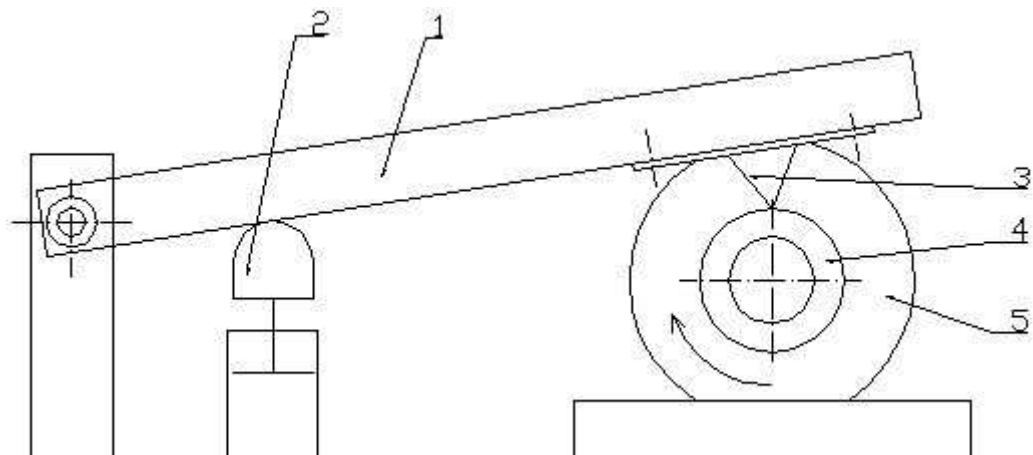
Obr. 25 Porovnání tvrdosti

Nejvyšší tvrdosti dosáhla směs 3, naopak nejmenší tvrdost měla směs 1.

6.2 Test opotřebení

Test byl prováděn na přístroji na měření opotřebení pryžových dílů. Princip přístroje je znázorněn na obr. 27. Technické údaje přístroje jsou:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| - otáčky zkušebního tělesa | 910 min ⁻¹ |
| - frekvence dopadu keramického břitu | 1 Hz |
| - maximální zdvih keramického břitu | 60 mm |



Obr. 26 Schéma zařízení pro testování opotřebení

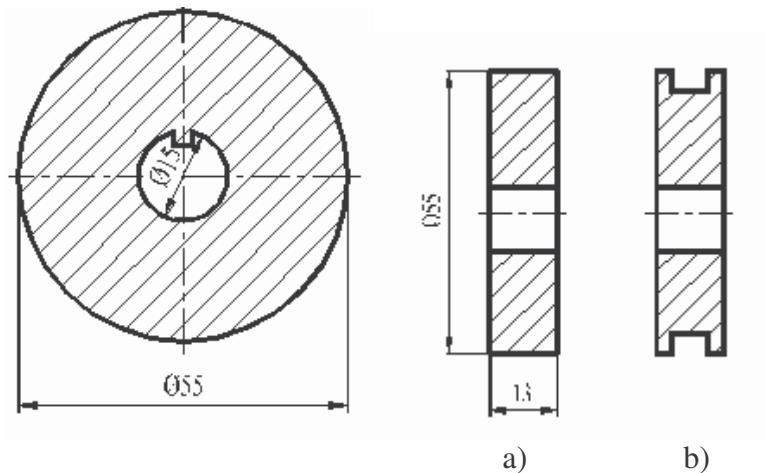
1 - rameno, 2 - pneumatický válec, 3 - keramický břit, 4 - zkušební těleso, 5 - elektromotor

Rameno otočné okolo čepu je zvedáno zvedacím ústrojím (píst). Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn speciální keramický břit, na rotující kotouček (zkušební těleso) poháněné elektromotorem. Při dopadu na rotující kotouč břit postupně vyseká materiál a tvoří v kotoučku drážku. Velikost drážky zhotovena břitem za určitý čas je měřítkem opotřebení. [8]

6.2.1 Rozměry zkušebního tělesa

Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles (vzorků) byl navržen rozměr dle obr. 32.

V průběhu testu byla do zkušebního tělesa vytvořena (vykousána) keramickým nástrojem drážka. Po zkušební s obráběním jiných materiálů zejména kovů, ale i dřeva, plastů aj., by se dalo očekávat, že tvar drážky bude pravidelný. Vzhledem k charakteru obrábění a vlastnostem pryže, u které se výrazně projevil její elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vykousávání materiálu v okamžiku dopadu břitu na rotující kotouč. Z těchto důvodů bylo taky upuštěno od původní představy vyhodnocování opotřebení – měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky. [8]



Obr. 27 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení

a) před zkouškou, b) po zkoušce

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

6.2.2 Analýza opotřebení

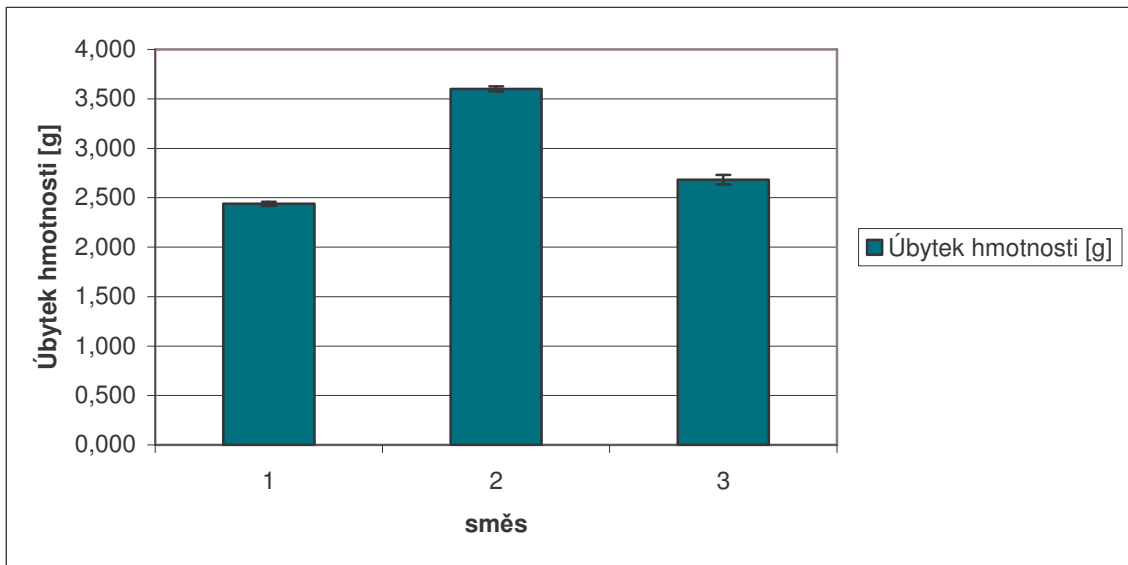
Na opotřebení bude mít rozhodující vliv energie dopadu keramického břitu na povrch zkušební tělesa. Pokud by se jednalo o pevné těleso, bude výpočet účinku dopadové energie poměrně jednoduchý. Elastické vlastnosti zkušební tělesa však způsobují, že dojde po hlavním účinku (prvním dopadu keramického břitu na povrch zkušební tělesa) ještě k sérii dalších účinků s menší intenzitou („poskakování“ po povrchu). Hlavní účinky keramického břitu mají pouze částečný vliv na celkové opotřebení. Ukázalo se, že posuzovat celkovou práci potřebnou k opotřebení (tj. vytvoření drážky ve zkušebním tělese) pouze uvažováním energie hlavního dopadu, by bylo značně zkreslené. Pro první otestování experimentálního zařízení se proto vycházelo s předpokladu, že výsledky v dané sérii měření budou srovnatelné, pokud bude experiment probíhat za stejných podmínek. Konstrukce zkušební tělesa s perem zapadajícím do drážky na hřídeli a upínací podložky s hroty zabraňují prokluzování zkušební tělesa při záběru.

Zkoušky rychlého opotřebení byly prováděny na experimentálním zařízení při teplotě okolí 21 °C, doba trvání experimentu byla 180s.

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

Tab. 8 Úbytek hmotnosti dopad břitu v radiálním směru

Směs	Úbytek hmotnosti RAD [g]	Úbytek hmotnosti RAD [-]	SMCH
1	2,439	0,678	0,021
2	3,600	1	0,027
3	2,681	0,745	0,048

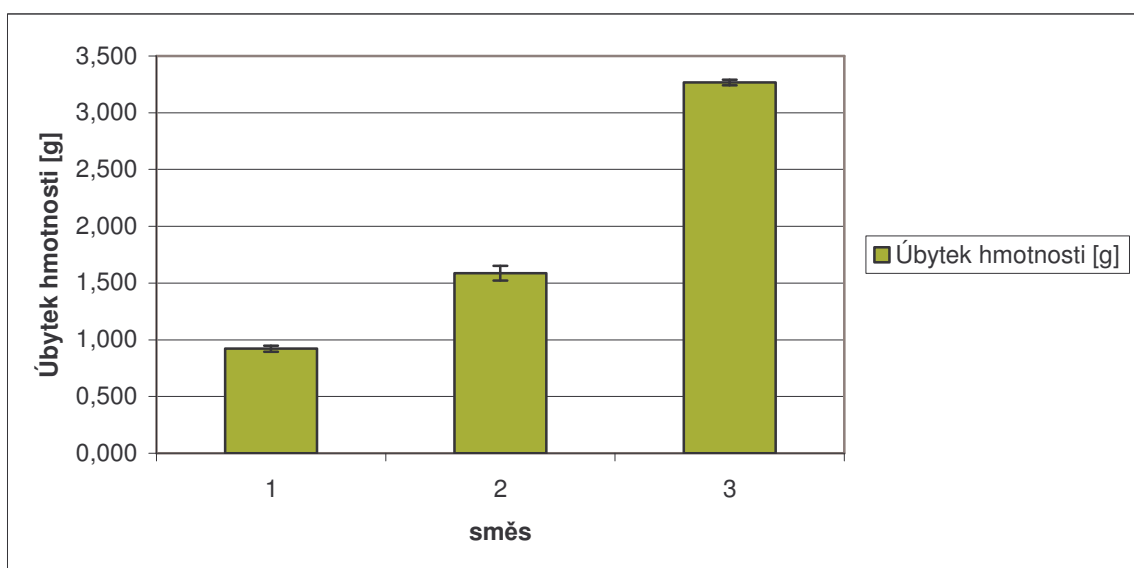


Obr. 28 Porovnání úbytku hmotnosti v radiálním směru

Nejvyššího opotřebení dosáhla směs 2, naopak nejmenšího opotřebení směs 1.

Tab. 9 Úbytek hmotnosti dopad bříty v tangenciálním směru

Směs	Úbytek hmotnosti TAN [g]	Úbytek hmotnosti TAN [-]	SMCH
1	0,921	0,282	0,028
2	1,587	0,486	0,064
3	3,267	1	0,024



Obr. 29 Porovnání úbytku hmotnosti v tangenciálním směru

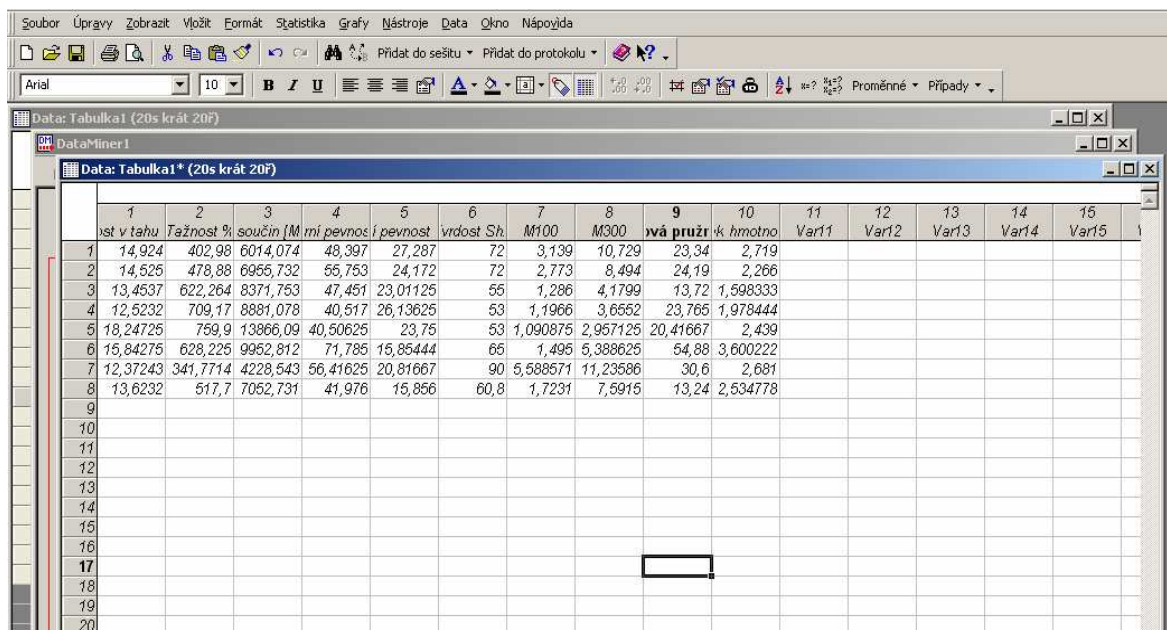
Nejvyššího opotřebení dosáhla směs 3, naopak nejmenšího opotřebení směs 1.

6.2.3 Statistické vyhodnocení výsledků

Naměřené výsledky všech měření byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Pro vyhodnocení výsledků měření byl použit program STATICA (obr. 30). Program umožňuje statisticky vyhodnotit naměřená data v široké škále statistických metod. Pro vyhodnocení provedeného experimentu byly použity testy neparametrické statistiky. Testy byly zvoleny z důvodu že, počet měření nebyl vždy stejný. Testy byly provedeny pro úbytek hmotnosti při radiálním i tangenciálním dopadu keramického břitu na testované zkušební tělísko. Nejdříve bylo provedeno vyhodnocení základní statistiky obr. 34, které bylo provedeno pro každý soubor měření. Poté následoval test normality rovněž provedený pro každý soubor měření, jejichž výsledky jsou uvedeny na obr. 35. Z testu normality vyplývá, že ne všechny soubory vykazují normální rozdělení. Navíc počet měření byl u každého souboru pouze 9. Z toho důvodu byl zvolen test neparametrickou statistikou.

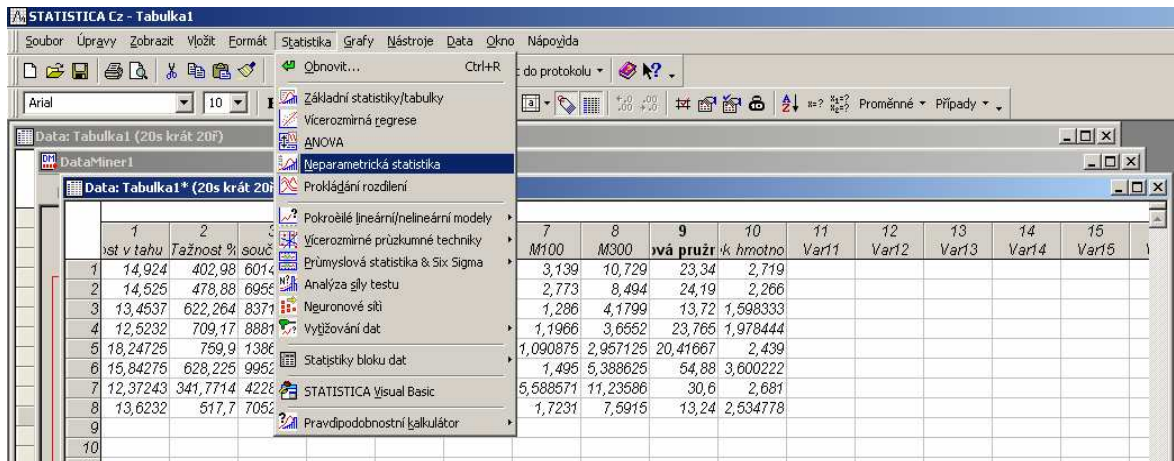
Friedmanův test

Friedmanův test používáme v případě, že výběry jsou závislé. Předpokládejte tedy, že máme k dispozici více než dva závislé výběry. Friedmanův test najdeme v menu Statistika, submenu Neparametrická statistika (obr. 31), v nabídce Porovnání více závislých vzorků. Po potvrzení výběru tlačítkem OK se objeví okno Friedmanova testu viz obr. 33. Je nutné si uvědomit při provádění Friedmanova testu, že jeho hodnoty každého znaku jsou editovány jako zvláštní proměnná.

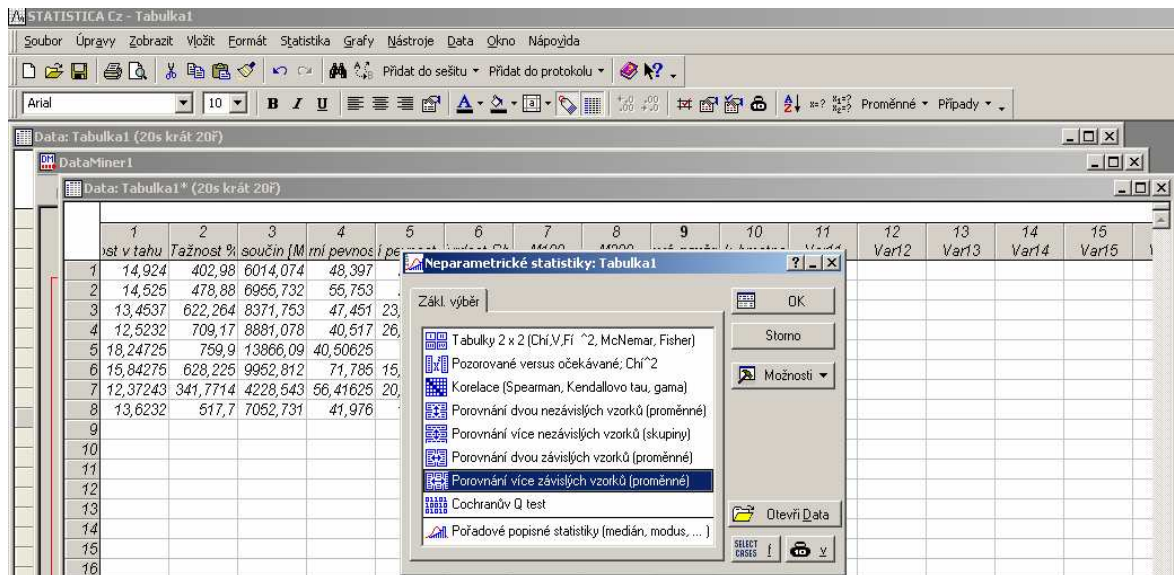


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Úst v tahu	Tažnost %	součin [M]	mi	pevnost	í	pevnost	vrstost Sh	M100	M300	ivá pružn	ík	hmotno	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15
1	14,924	402,98	6014,074	48,397	27,287	72	3,139	10,729	23,34	2,719							
2	14,525	478,88	6955,732	55,753	24,172	72	2,773	8,494	24,19	2,266							
3	13,4537	622,264	8371,753	47,451	23,01125	55	1,286	4,1799	13,72	1,598333							
4	12,5232	709,17	8881,078	40,517	26,13625	53	1,1966	3,6552	23,765	1,978444							
5	18,24725	759,9	13866,09	40,50625	23,75	53	1,090875	2,957125	20,41667	2,439							
6	15,84275	628,225	9952,812	71,785	15,85444	65	1,495	5,388625	54,88	3,600222							
7	12,37243	341,7714	4228,543	56,41625	20,81667	90	5,588571	11,23586	30,6	2,681							
8	13,6232	517,7	7052,731	41,976	15,856	60,8	1,7231	7,5915	13,24	2,534778							
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	

Obr. 30 Program Statistica



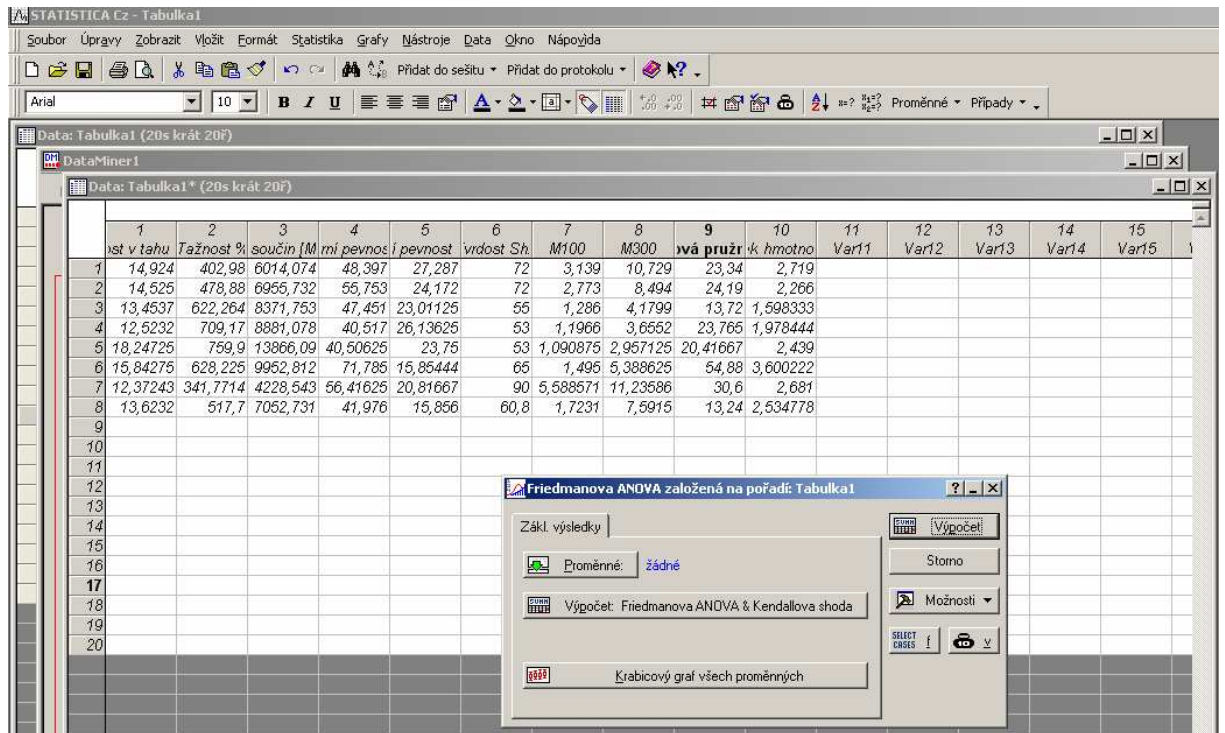
Obr. 31 Neparametrická statistika



Obr. 32 Porovnání závislých vzorků

Nastavíme proměnné a provedeme výpočet kliknutím na tlačítko Výpočet nebo Výpočet: Friedmanova Anova&Kendallova shoda. Výstupní sestava pro radiální dopad je uvedena na obr. 36, pro tangenciální dopad na obr. 39. V sestavě je uvedena kritická hodnota testovacího kritéria (ANOVA chí-kv), počet hodnot každém výběru (N), počet stupňů volnosti ($sv = \text{počet výběrů} - 1$), minimální hladina významnosti, pro nichž lze H_0 pořadí hodnot statistického znaku v každém z výběrů. V posledních dvou sloupcích jsou pak uvedeny průměry a směrodatné odchylky hodnot statistického znaku v každém z výběrů. Friedmanův test ukazuje shodu všem měřených veličin. Z výsledků vyplývá vysoká shoda naměřených dat (obr. 36 a obr. 39).

Pro závěrečnou statistickou analýzu byla použit Spearmanova korelace, která určuje lineární závislost mechanických vlastností na úbytku hmotnosti (obr.38 a obr. 41).



Obr. 33 Friedmanův test

Proměnná	Popisné statistiky (Tabulka2 v PS 1)										
	N platných	Průměr	Medián	Modus	Četnost modu	Minimum	Maximum	Rozpětí	Rozptyl	Sm. odch.	Směrod. chyba
Pevnost v tahu [MPa]	23	15,6229	15,8100	Vícenás.	1	11,2250	19,3770	8,1520	6,67	2,5821	0,53840
Tažnost [%]	23	586,8435	625,2000	Vícenás.	1	328,8000	792,4000	463,6000	30908,18	175,8072	36,65834
M100 [MPa]	23	2,6003	1,4830	Vícenás.	2	1,0490	5,7610	4,7120	4,12	2,0299	0,42326
M300 [MPa]	23	6,3225	5,4090	Vícenás.	1	2,6180	11,7650	9,1470	12,20	3,4929	0,72832
M500 [MPa]	16	9,2756	9,5220	Vícenás.	1	6,4080	11,7430	5,3350	5,55	2,3566	0,58914
Strukturní pevnost KL [N/mm]	24	56,2358	56,1950	Vícenás.	1	36,8100	77,7900	40,9800	178,63	13,3654	2,72820
Strukturní pevnost TR [N/mm]	29	20,1372	18,7700	Vícenás.	2	13,8700	30,2900	16,4200	20,51	4,5288	0,84098
Tvrdość [ShA]	30	69,3333	65,0000	Vícenás.	10	53,0000	90,0000	37,0000	245,75	15,6763	2,86209
Odrasová pružnosť Luepke [%]	30	46,0100	52,5500	Vícenás.	10	30,6000	54,8800	24,2800	123,76	11,1249	2,03113
Úbytek hmotnosti RD [g]	26	2,9583	2,6610	Vícenás.	2	2,3700	3,7130	1,3430	0,28	0,5304	0,10402
Úbytek hmotnosti TD [g]	26	1,8970	1,5975	Vícenás.	3	0,8070	3,3670	2,5600	0,96	0,9788	0,19196

Obr. 34 Výpočet základní statistiky

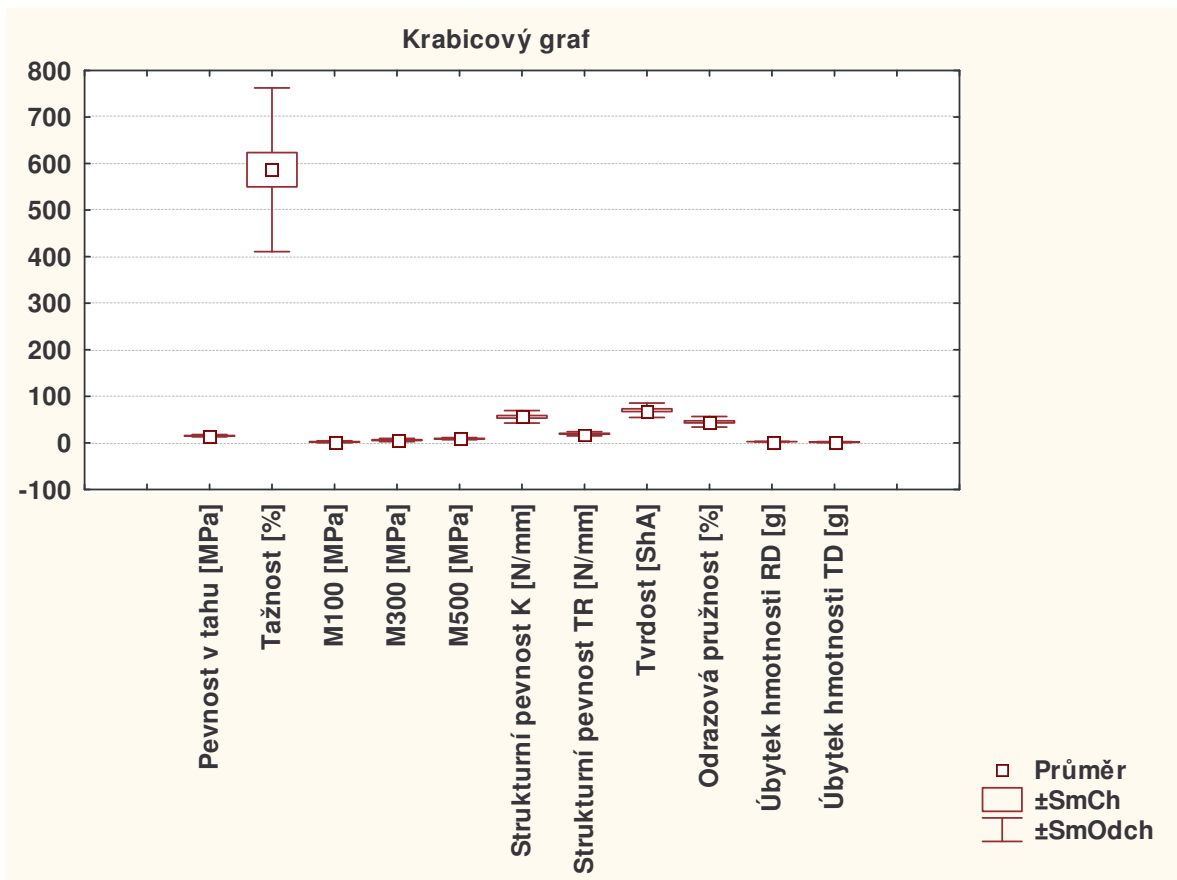
Proměnná	Testy normality (Tabulka2 v PS 1)					
	N	max D	K-S p	Lilliefors p	W	p
Pevnost v tahu [MPa]	23	0,123469	p > ,20	p > ,20	0,940902	0,187903
Tažnost [%]	23	0,233167	p < ,15	p < ,01	0,817986	0,000754
M100 [MPa]	23	0,396993	p < ,01	p < ,01	0,659263	0,000004
M300 [MPa]	23	0,285506	p < ,05	p < ,01	0,803001	0,000428
M500 [MPa]	16	0,290617	p < ,15	p < ,01	0,755292	0,000736
Strukturní pevnost KL [N/mm]	24	0,188906	p > ,20	p < ,05	0,910756	0,036629
Strukturní pevnost TR [N/mm]	29	0,196739	p < ,20	p < ,01	0,870709	0,002091
Tvrdość [ShA]	30	0,275556	p < ,05	p < ,01	0,764062	0,000015
Odrasová pružnosť Luepke [%]	30	0,388356	p < ,01	p < ,01	0,653305	0,000000
Úbytek hmotnosti RD [g]	26	0,250913	p < ,05	p < ,01	0,797611	0,000160
Úbytek hmotnosti TD [g]	26	0,248352	p < ,05	p < ,01	0,809530	0,000257

Obr. 35 Test normality

Radiální dopad

Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody (Tabulka11)					
ANOVA chí-kv. (N = 16, sv = 10) = 156,5909 p < 0,00000					
Koeficient shody = ,97869 prům. pořadí r = ,97727					
Proměnná	Průměrné pořadí	Součet pořadí	Průměr	Sm.Odch.	
Pevnost v tahu [MPa]	6,25000	100,0000	17,0450	1,56928	
Tažnost [%]	11,00000	176,0000	694,0625	70,74240	
M100 [MPa]	1,62500	26,0000	1,2929	0,21058	
M300 [MPa]	4,00000	64,0000	4,1729	1,26965	
M500 [MPa]	5,00000	80,0000	9,2756	2,35657	
Strukturní pevnost K [N/mm]	9,00000	144,0000	56,1456	16,47732	
Strukturní pevnost TR [N/mm]	6,75000	108,0000	19,8488	4,24008	
Tvrdoost [ShA]	9,50000	152,0000	59,0000	6,19677	
Odrázová pružnost [%]	8,50000	136,0000	53,7150	1,20321	
Úbytek hmotnosti RD [g]	3,00000	48,0000	3,0234	0,60705	
Úbytek hmotnosti TD [g]	1,37500	22,0000	1,2435	0,35874	

Obr. 36 Výstupní sestava pro radiální dopad



Obr. 37 Krabicový graf pro radiální dopad

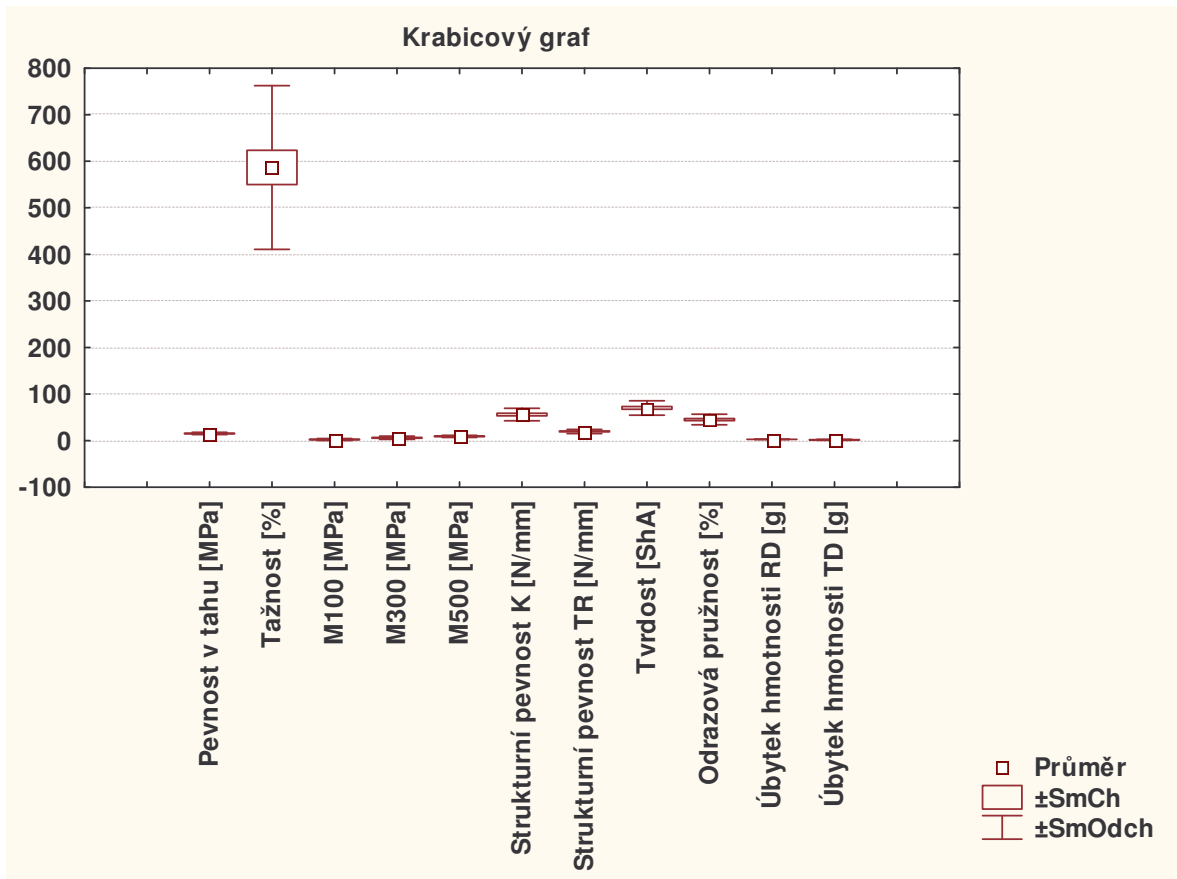
		Spearmanovy korelace (Tabulka11)		
		ChD vynechány párově Označ. korelace jsou významné na hl. $p < ,05000$		
Proměnná	Úbytek hmotnosti RD [g]			
Pevnost v tahu [MPa]	-0,455177			
Tažnost [%]	-0,497277			
M100 [MPa]	0,466800			
M300 [MPa]	0,461616			
M500 [MPa]	0,765716			
Strukturní pevnost K [N/mm]	0,893879			
Strukturní pevnost TR [N/mm]	-0,657526			
Tvrdost [ShA]	0,419314			
Odrazová pružnost [%]	0,570733			

Obr. 38 Spearmanovy korelace pro radiální dopad

Tangenciální dopad

		Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody (Tabulka11)			
		ANOVA chí-kv. ($N = 16$, $sv = 10$) = 156,5909 $p < 0,00000$ Koeficient shody = ,97869 prům. pořadí $r = ,97727$			
Proměnná	Průměrné pořadí	Součet pořadí	Průměr	Sm.Odch.	
Pevnost v tahu [MPa]	6,25000	100,0000	17,0450	1,56928	
Tažnost [%]	11,00000	176,0000	694,0625	70,74240	
M100 [MPa]	1,62500	26,0000	1,2929	0,21058	
M300 [MPa]	4,00000	64,0000	4,1729	1,26965	
M500 [MPa]	5,00000	80,0000	9,2756	2,35657	
Strukturní pevnost K [N/mm]	9,00000	144,0000	56,1456	16,47732	
Strukturní pevnost TR [N/mm]	6,75000	108,0000	19,8488	4,24008	
Tvrdost [ShA]	9,50000	152,0000	59,0000	6,19677	
Odrazová pružnost [%]	8,50000	136,0000	53,7150	1,20321	
Úbytek hmotnosti RD [g]	3,00000	48,0000	3,0234	0,60705	
Úbytek hmotnosti TD [g]	1,37500	22,0000	1,2435	0,35874	

Obr. 39 Výstupní sestava pro tangenciální dopad



Obr. 40 Krabicový graf tangenciální dopad

Spearmanovy korelace (Tabulka11)	
ChD vynechány párově	
Označ. korelace jsou významné na hl. $p < ,05000$	
Proměnná	Úbytek hmotnosti TD [g]
Pevnost v tahu [MPa]	-0,872929
Tažnost [%]	-0,899186
M100 [MPa]	0,948206
M300 [MPa]	0,928416
M500 [MPa]	0,852086
Strukturální pevnost K [N/mm]	0,387098
Strukturální pevnost TR [N/mm]	-0,050266
Tvrdost [ShA]	0,944267
Odrazová pružnost [%]	-0,419674

Obr. 41 Spearmanovy korelace pro tangenciální dopad

7 DISKUZE VÝSLEDKŮ

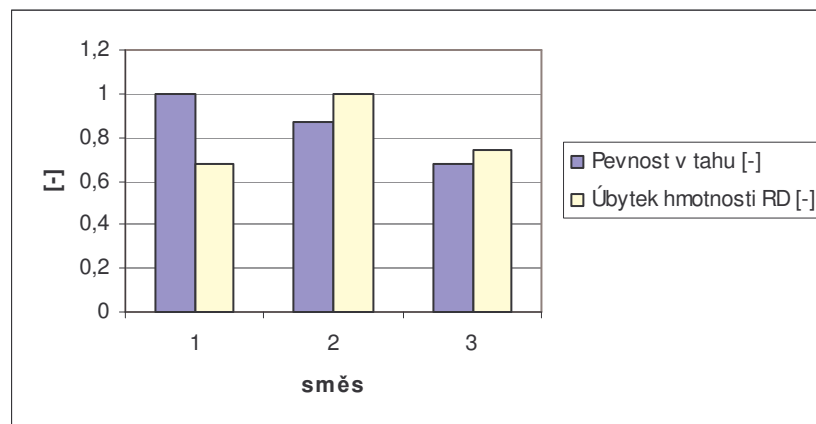
V experimentální části byly použity 3 druhy směsí, používaných pro výrobu běhounů pneumatik u strojů pracujících v těžkých podmínkách.

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

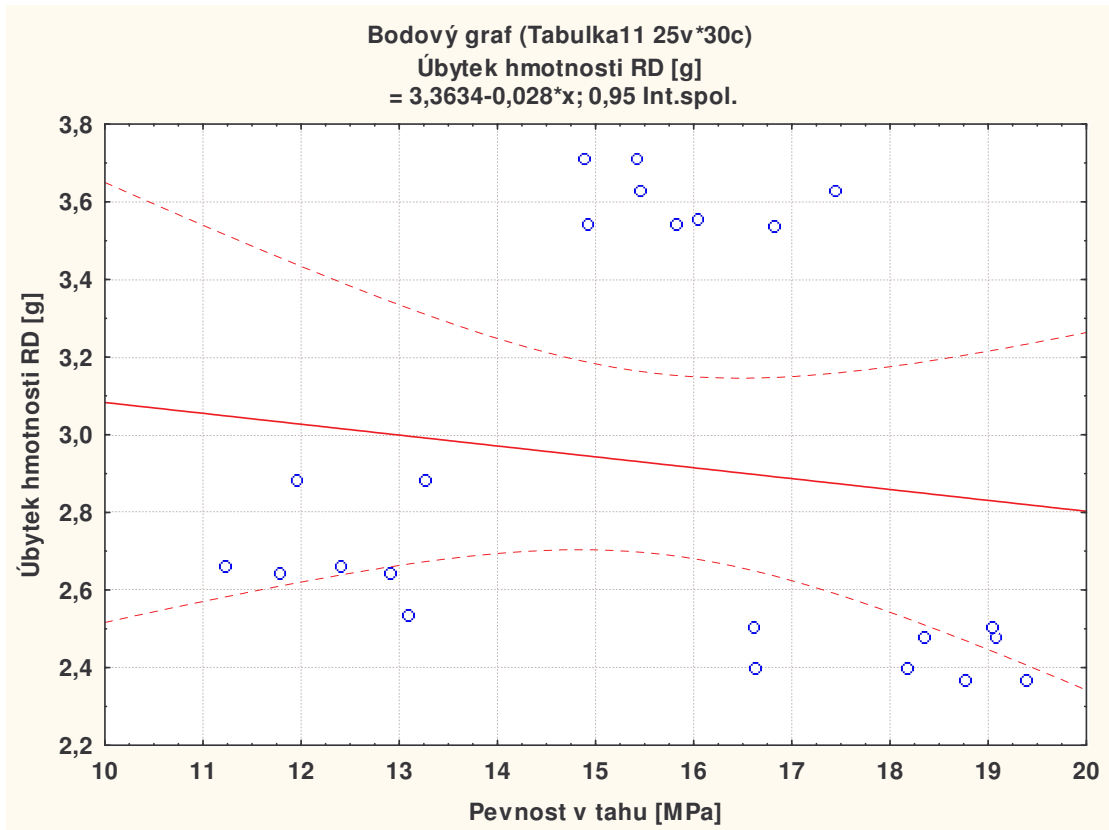
Po zpracování naměřených hodnot byly výsledky zpracovány v grafech. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření. Zároveň byl každý graf doplněn statistickým grafem jenž ukazuje míru korelace sledovaných veličin.

7.1 Vyhodnocení hodnot pro radiální směr

Pevnost v tahu



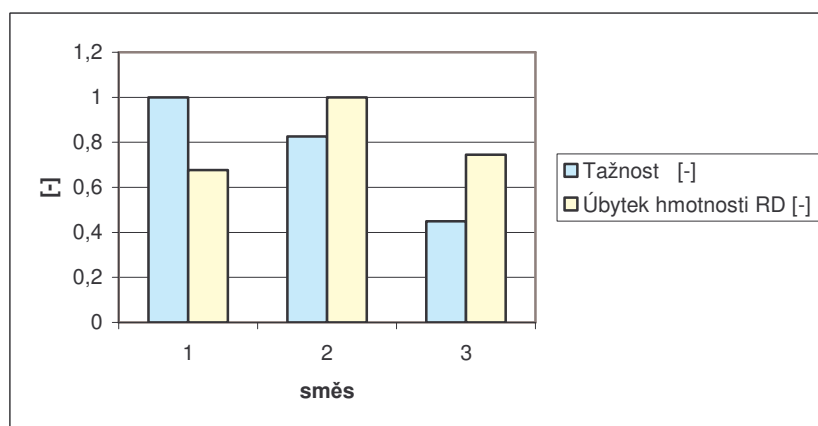
Obr. 42 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení



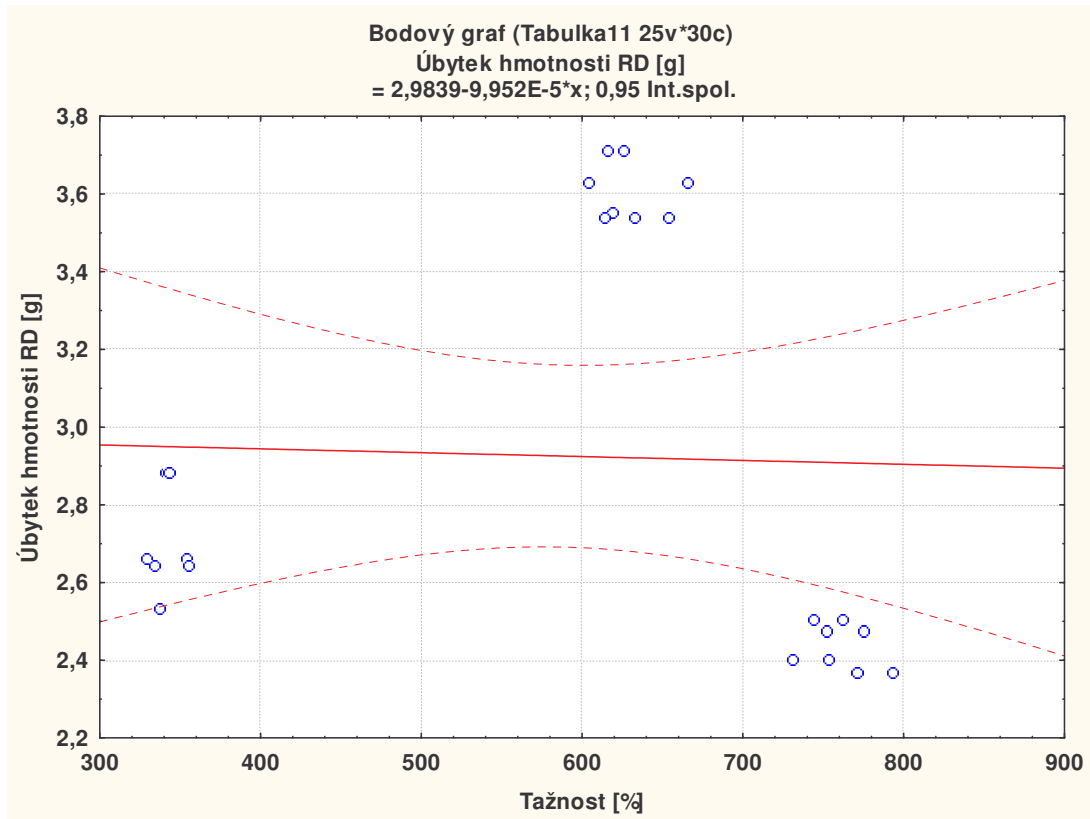
Obr. 43 Statistická závislost pevnosti v tahu a opotřebení

Nejvyšší hodnota pevnosti v tahu obr. 42 byla zjištěna u směsi 1. Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 3 nejmenší pevnosti v tahu. Při statistickém vyhodnocení vyplynulo, že korelace mezi pevností v tahu a opotřebením není významná (obr. 38.), což je patrné i z grafického vyjádření.

Tažnost



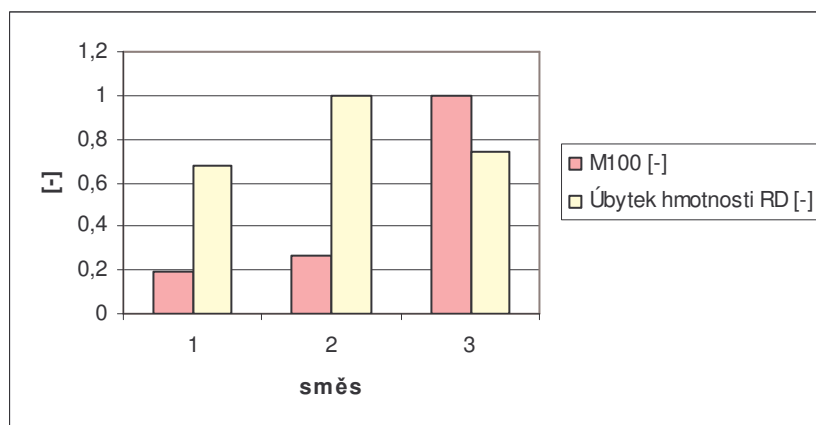
Obr. 44 Porovnání tažnosti a opotřebení



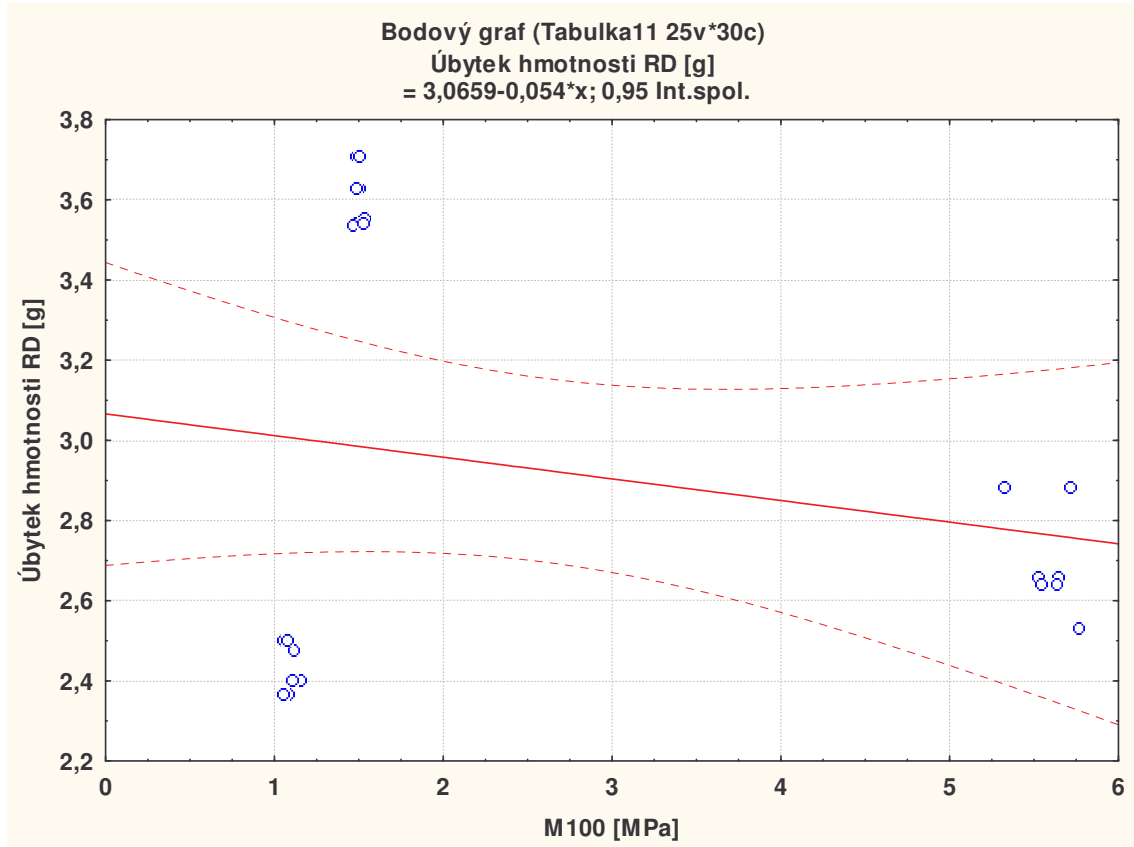
Obr. 45 Statistická závislost tažnosti a opotřebení

Nejvyšší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi 1 (obr. 44) Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 3 nejmenší tažnosti. Vztah mezi tažností a opotřebováním nebyl významně prokázán jak vyplývá z obr. 44 a 45. Rovněž statistické vyhodnocení neprokázalo významnou korelaci jak je patrné z obr. 38.

M100



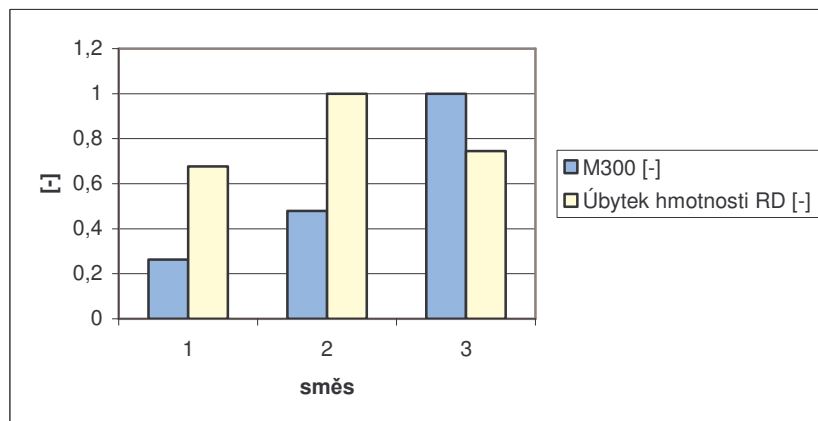
Obr. 46 Porovnání M100 a opotřebení



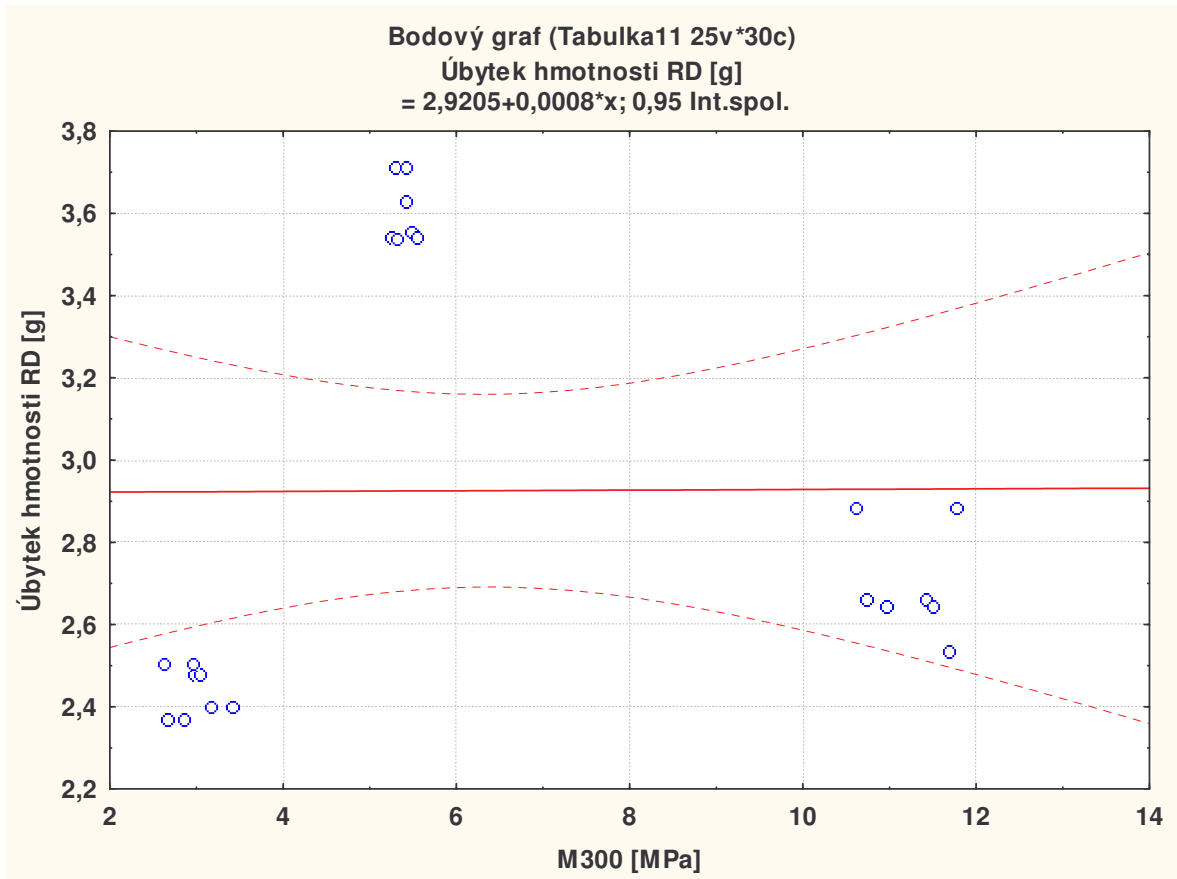
Obr. 47 Statistická závislost M100 a opotřebení

Z obr. 46 vyplývá, že nejvyšší hodnota M100 byla zjištěna u směsi 3. Nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení vykazovala směs 1. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 1 nejmenší hodnoty M100. Z obr. 46 a 47 je zřejmé, že korelace mezi M100 a opotřebením není nijak významná. Tuto hypotézu potvrdilo také statistické vyhodnocení jak je patrné na obr. 38.

M300



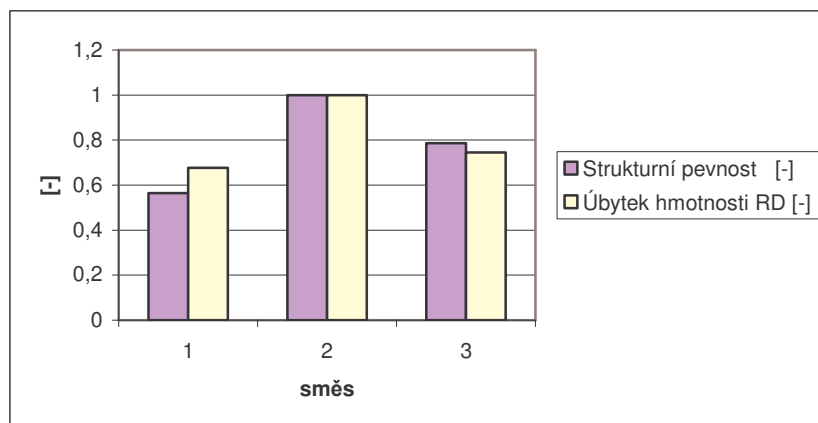
Obr. 48 Porovnání M300 a opotřebení



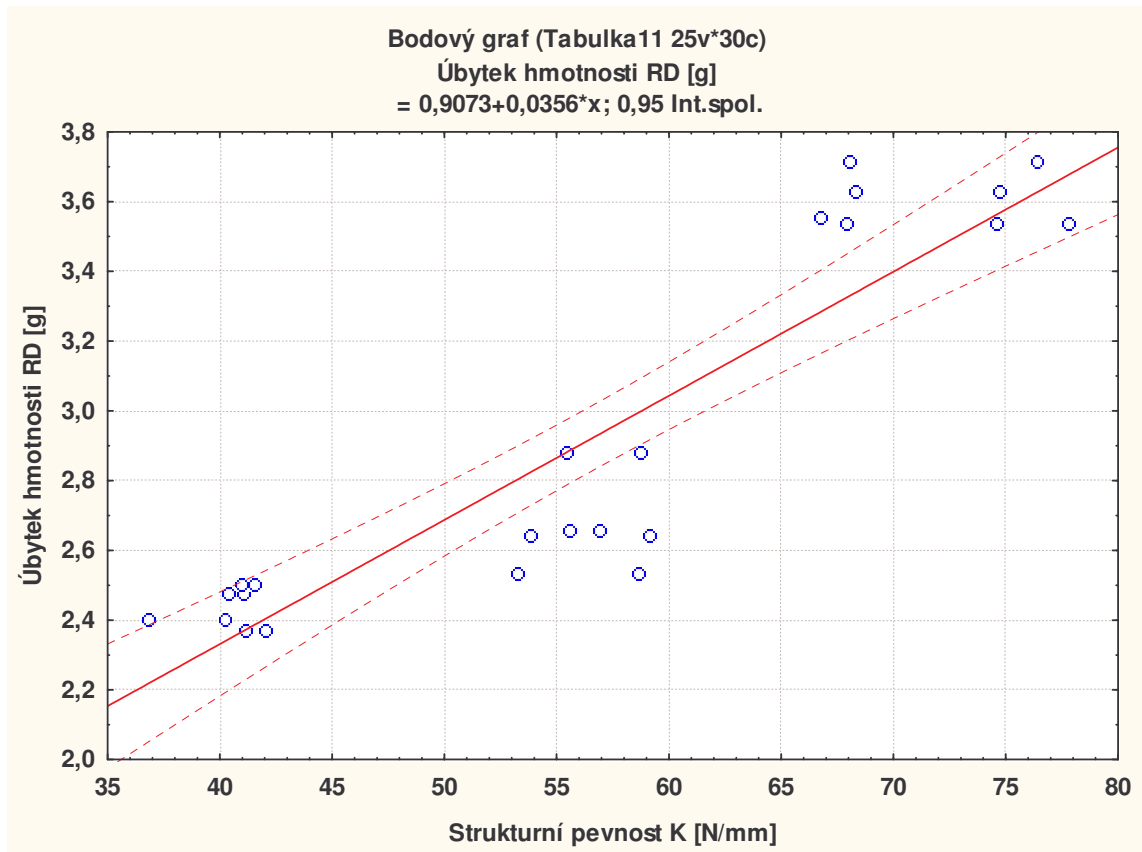
Obr. 49 Statistická závislost M300 a opotřebení

Nejvyšší hodnota M300 byla zjištěna u směsi 3 (obr. 48). Nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení vykazovala směs 1. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 1 nejmenší hodnoty M300. Z obr. 48 a 49 je zřejmé, že korelace mezi M300 a opotřebením není nijak významná. To potvrdilo také statistické vyhodnocení (obr. 38).

Strukturní pevnost



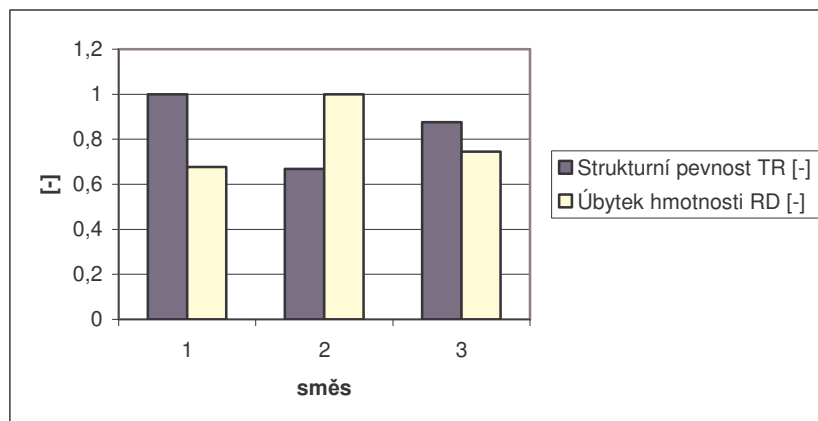
Obr. 50 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení



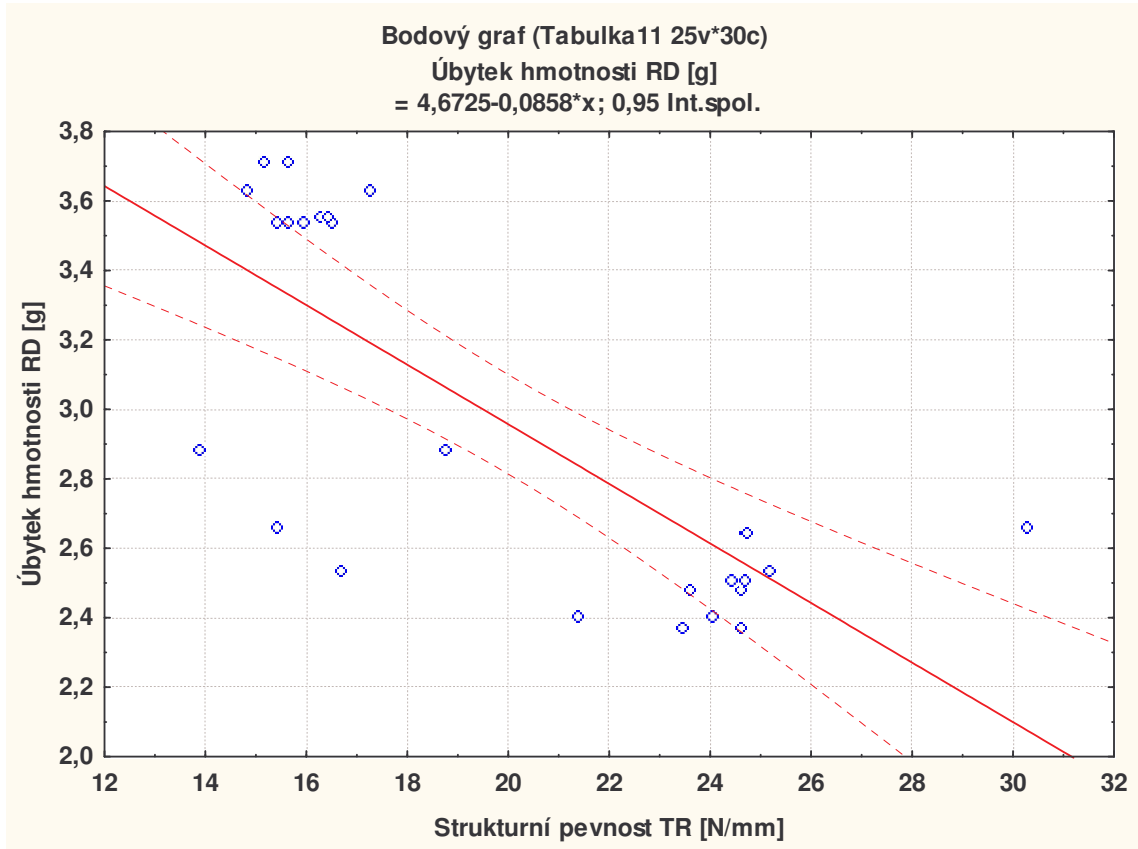
Obr. 51 Statistická závislost strukturální pevnosti a opotřebení

Z obr. 50 vyplývá, že nejvyšší hodnotu strukturální pevnosti měla směs 2. Tato směs také vykazovala nejhorší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 1 dosáhla nejmenšího opotřebení a také nejmenší strukturální pevnosti. Z obr. 50 a 51 plyne, že čím je větší strukturální pevnost, tím větší je úbytek hmotnosti. To potvrdilo i statické vyhodnocení (obr. 38), kde byla zjištěna velmi vysoká korelace.

Strukturální pevnost TR



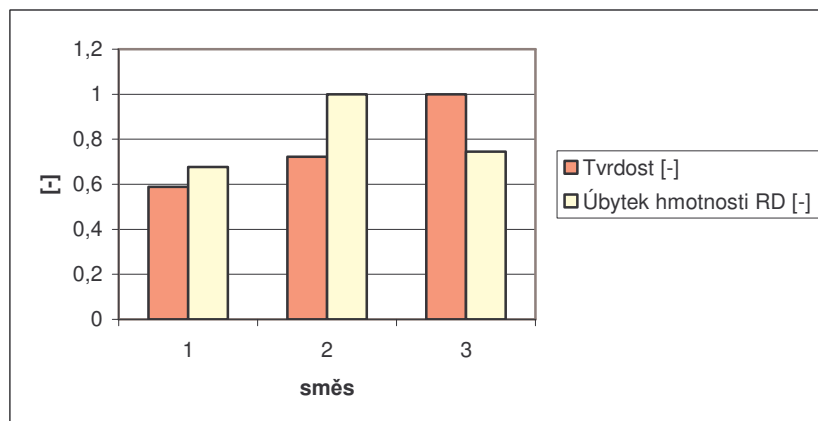
Obr. 52 Porovnání strukturální pevnosti TR a opotřebení



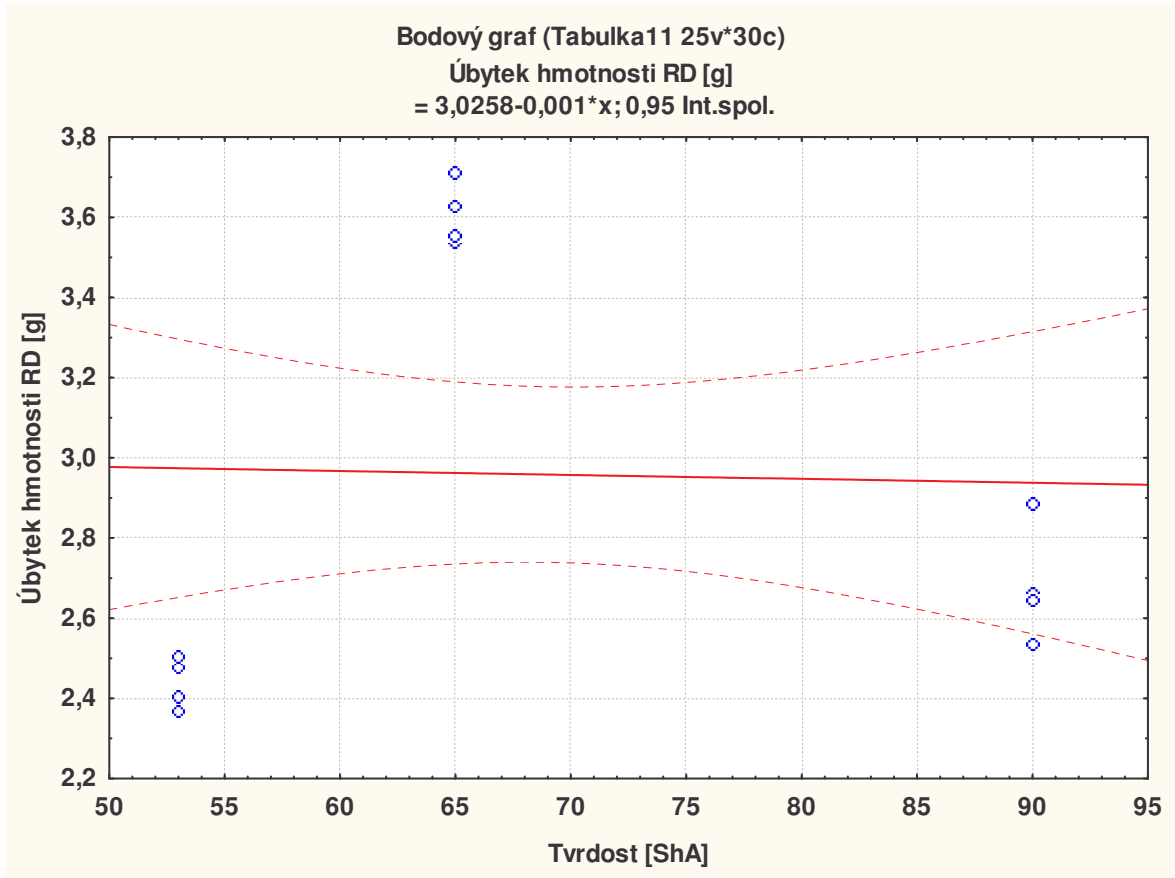
Obr. 53 Statistická závislost strukturální pevnosti TR a opotřebení

Nejvyšší hodnota strukturální pevnosti TR byla zjištěna u směsi 1 (obr. 52). Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a nejmenší strukturální pevnosti TR. Jak je patrné z obr. 52 není nijak prokázána závislost strukturální pevnosti TR na opotřebení. Statistické vyhodnocení rovněž potvrdilo pouze mírnou korelaci jak je uvedeno na obr. 38.

Tvrдость



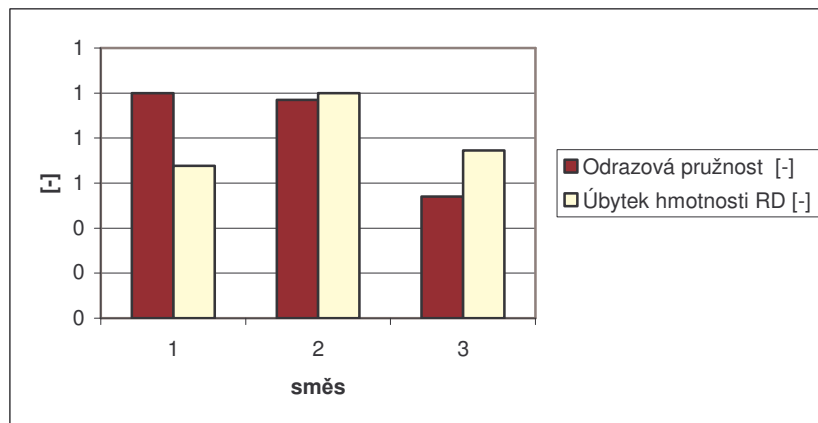
Obr. 54 Porovnání tvrdosti a opotřebení



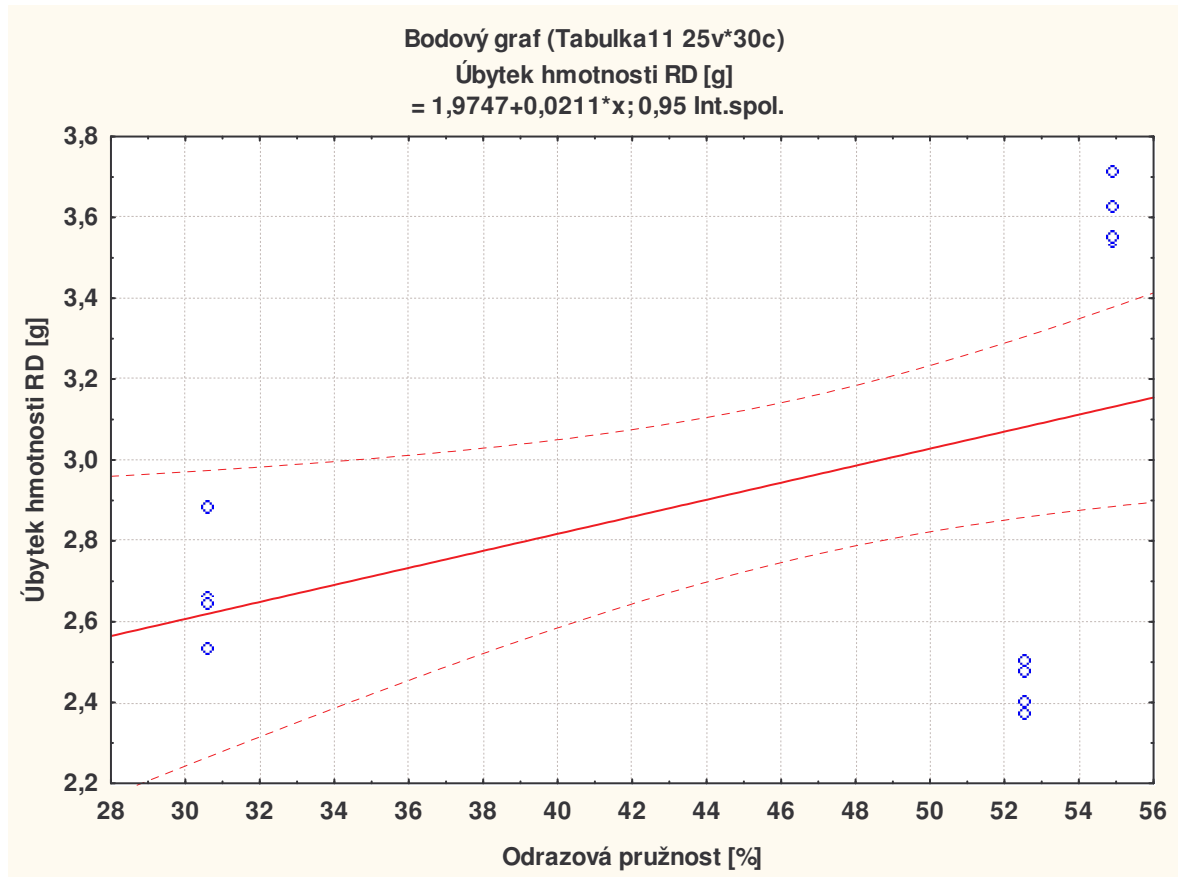
Obr. 55 Statistická závislost tvrdosti a opotřebení

Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi 3. Nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení vykazovala směs 1. Tato směs měla nejmenší tvrdosti. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení. Z naměřených hodnot vyplývá, že vztah mezi tvrdostí a úbytkem hmotnosti není významný (obr. 54). To rovněž potvrdilo statistické vyhodnocení (obr. 38).

Odrazová pružnost



Obr. 56 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení



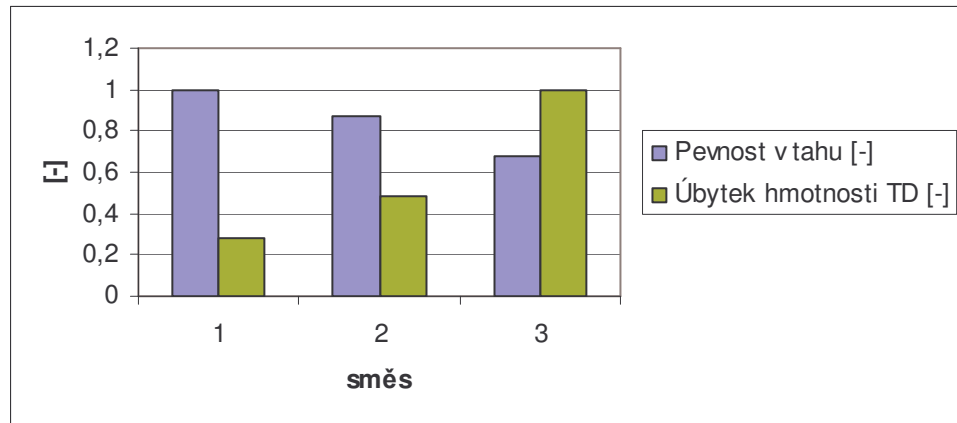
Obr. 57 Statistická odrazové pružnosti a opotřebení

Nejvyšší hodnota odrazové pružnosti byla zjištěna u směsi 1. Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 3 nejmenší odrazové pružnosti. Z obr. 56 je patrné, že vztah mezi odrazovou pružností a opotřebením není významný. Tuto skutečnost potvrdilo také statistické vyhodnocení jak ukazuje obr. 38.

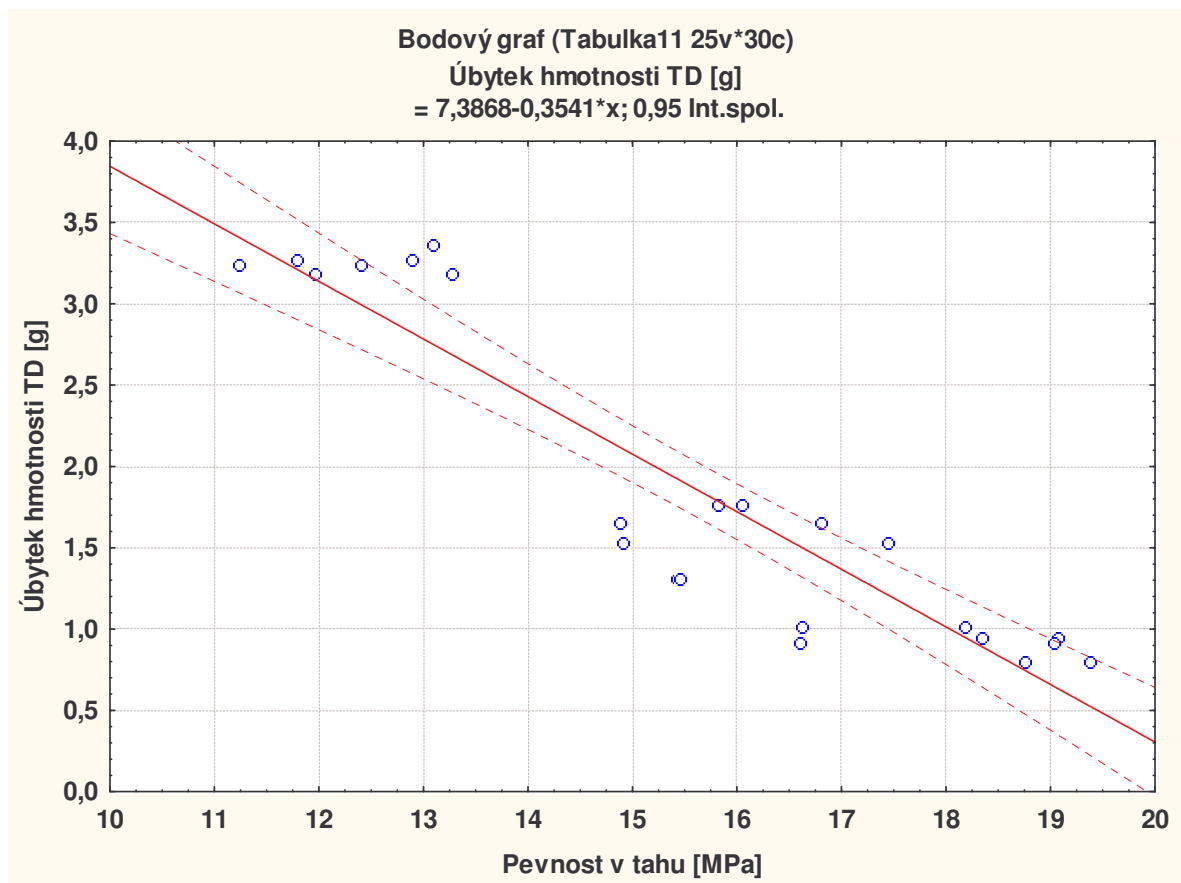
Z uvedených výsledků vyplývá určitá lineární závislost opotřebení na mechanických vlastnostech při radiálním dopadu keramického břitu. Radiální dopad keramického břitu sebou nese však určitá specifika. Břit dopadá na zkušební tělísko v místě, kde se část zkušebního tělíska opírá o kovovou část hřídele. Mechanismus dopadu a tudíž i mechanismus opotřebení je zde odlišný než u tangenciálního dopadu. Proto míra korelace opotřebení s mechanickými vlastnostmi zkušebního tělíska bude odlišná. Nejvyšší míry korelace bylo dosaženo u strukturní pevnosti, sehraje při opotřebení směsi významnou roli.

7.2 Vyhodnocení hodnot pro tangenciální směr

Pevnost v tahu



Obr. 58 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení

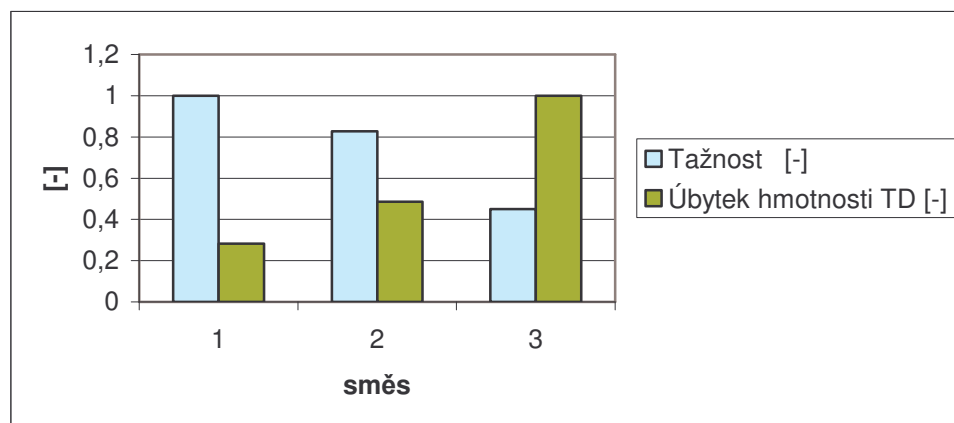


Obr. 59 Statistická závislost pevnosti v tahu a opotřebení

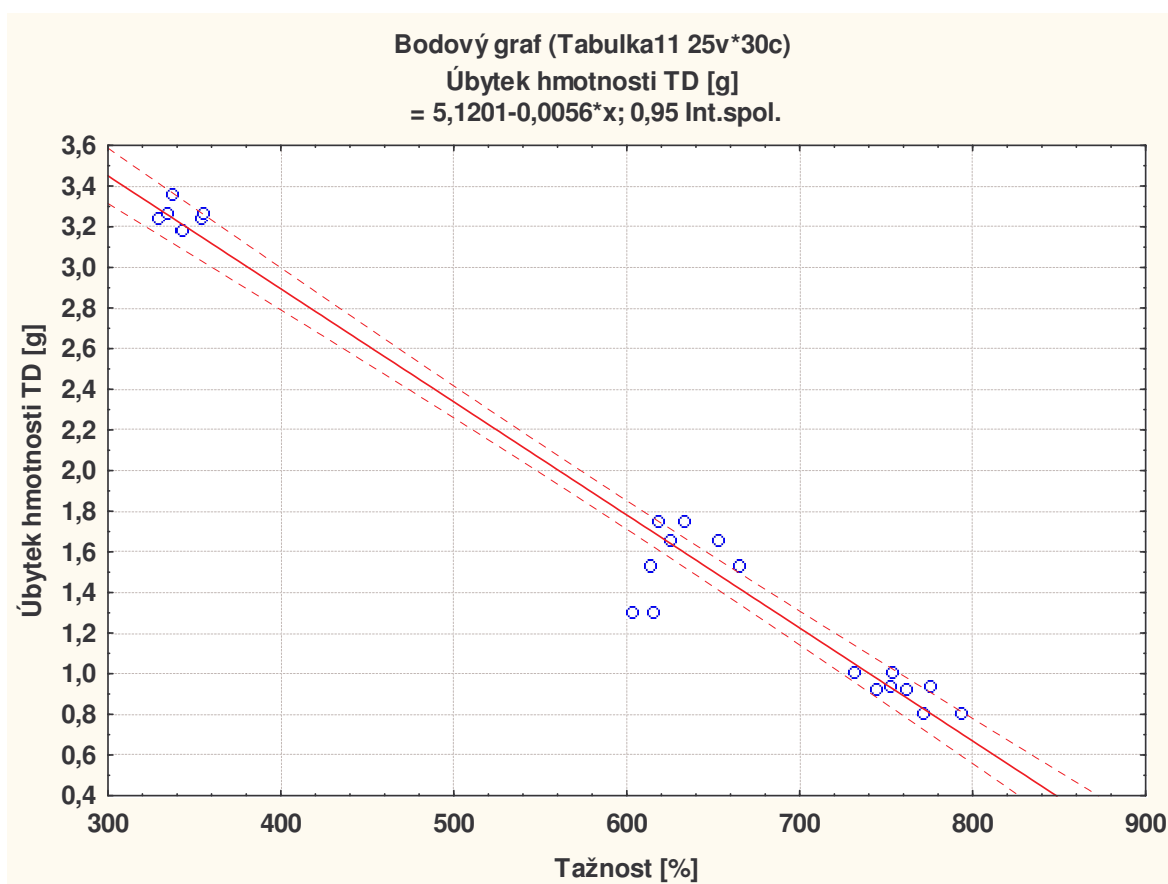
Nejvyšší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u směsi 1. Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 3 dosáhla nejvyššího opotřebení a nejmenší pevnosti v tahu. Z obr. 58 vyplývá vysoká závislost mezi pevností

v tahu a opotřebením. Čím menší je velikost opotřebením, tím větší je hodnota pevnosti v tahu. Vysokou korelaci mezi pevností v tahu a opotřebením prokázalo rovněž statistické vyhodnocení (obr. 41)

Tažnost



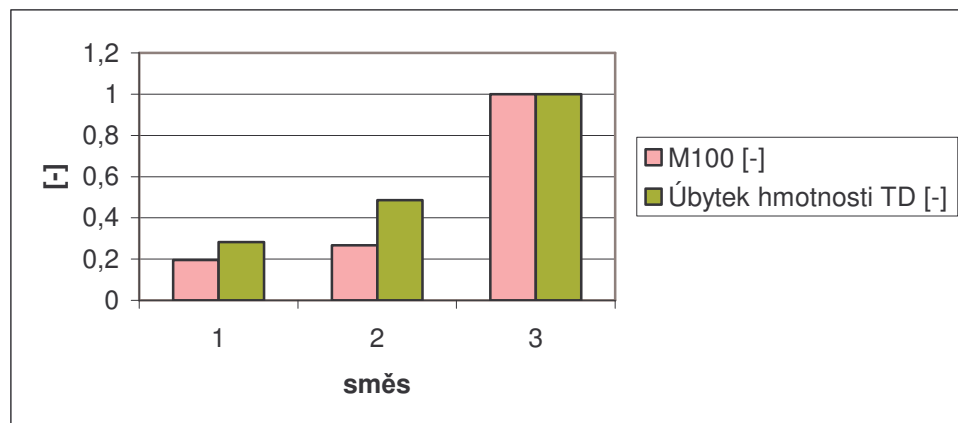
Obr. 60 Porovnání tažnosti a opotřebením



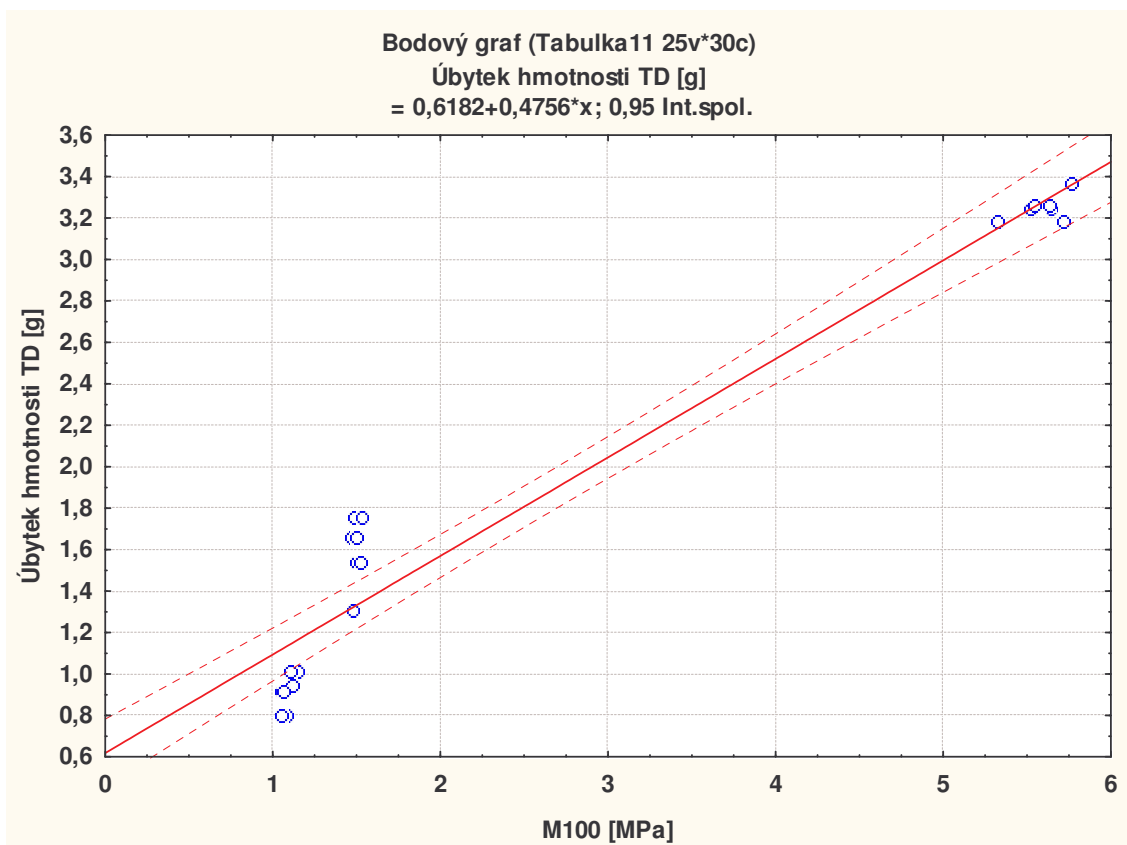
Obr. 61 Statistická závislost tažnosti a opotřebením

Nejvyšší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsi 1. Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 2 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 3 nejmenší tažnosti. Z obr. 60 vyplývá, že čím menší je opotřebení, tím vyšší je hodnota tažnosti. Naopak čím vyšší je opotřebení, tím menší je hodnota tažnosti. Vztah mezi tažností a opotřebením vykazuje vysokou závislost. To rovněž potvrdilo statistické vyhodnocení naměřených dat (obr. 41).

M100



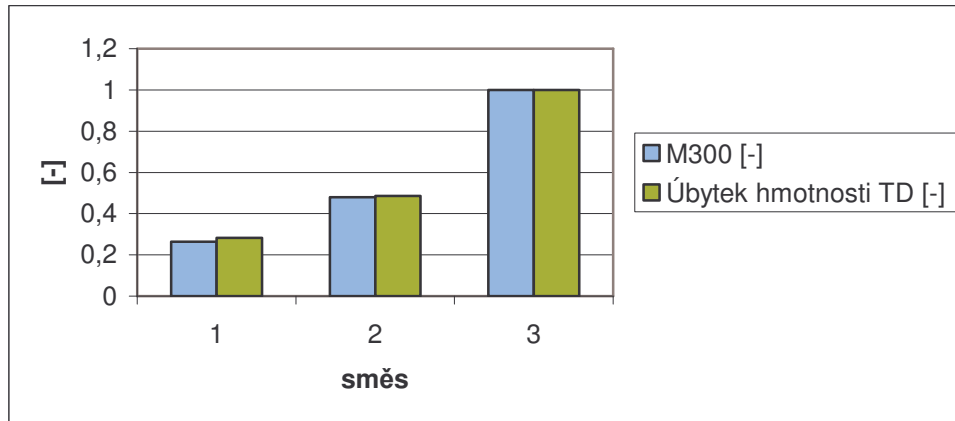
Obr. 62 Porovnání M100 a opotřebení



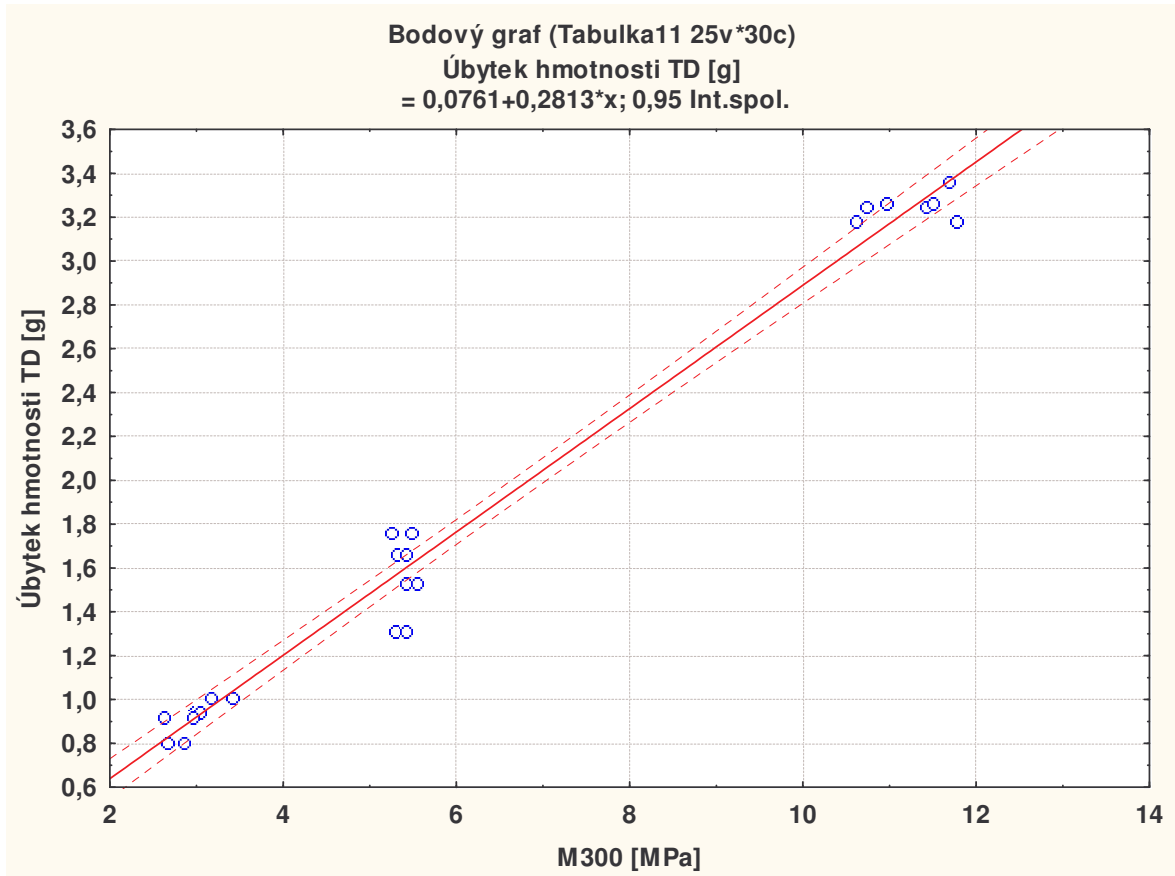
Obr. 63 Statistická závislost M100 a opotřebení

Nejvyšší hodnota M100 byla zjištěna u směsi 3. Tato směs také vykazovala nejvyšší úbytek hmotnosti. Naopak směs 1 dosáhla nejmenšího opotřebení a nejmenší hodnoty M100. Z obr. 62 plyne, že čím menší je míra opotřebení, tím menších hodnot nabývá M100. Čím větší je opotřebení, tím vyšších hodnot dosahuje M100. Tuto hypotézu rovněž potvrdilo statistické vyhodnocení (obr. 41).

M300



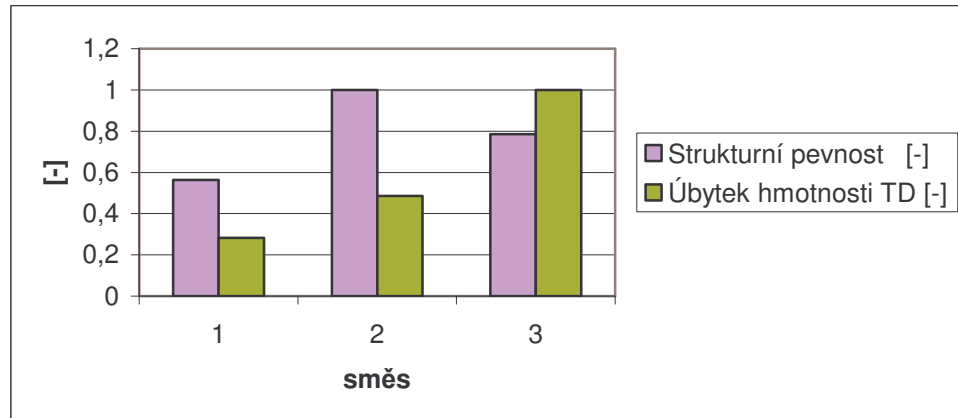
Obr. 64 Porovnání M300 a opotřebení



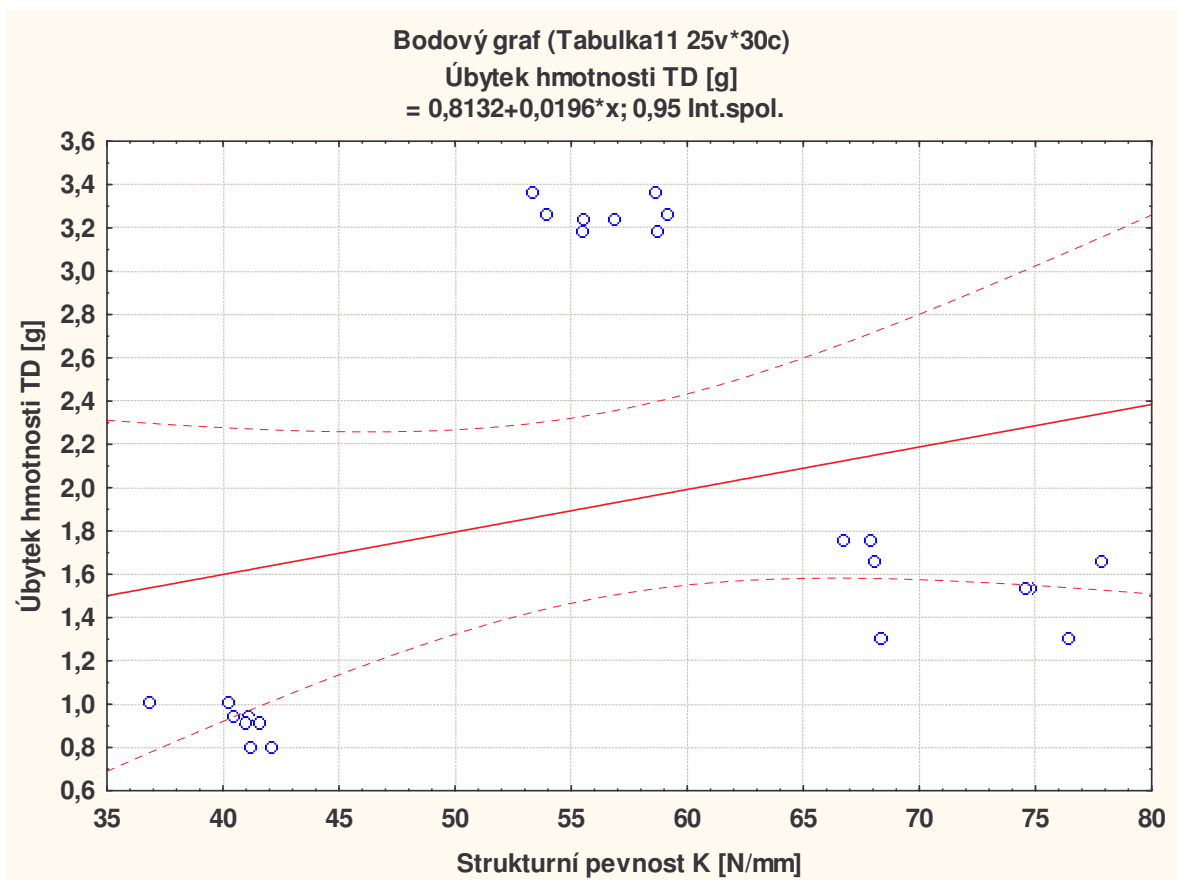
Obr. 65 Statistická závislost M300 a opotřebení

Nejvyšší hodnota M300 byla zjištěna u směsi 3. Tato směs také vykazovala nejvyšší úbytek hmotnosti. Naopak směs 1 dosáhla nejmenšího opotřebení a nejmenší hodnoty M300. Z obr. 64 plyne, že čím menší je míra opotřebení, tím menších hodnot nabývá M300. Čím větší je opotřebení, tím vyšších hodnot dosahuje M300. Tuto hypotézu rovněž potvrdilo statistické vyhodnocení (obr. 41).

Strukturní pevnost



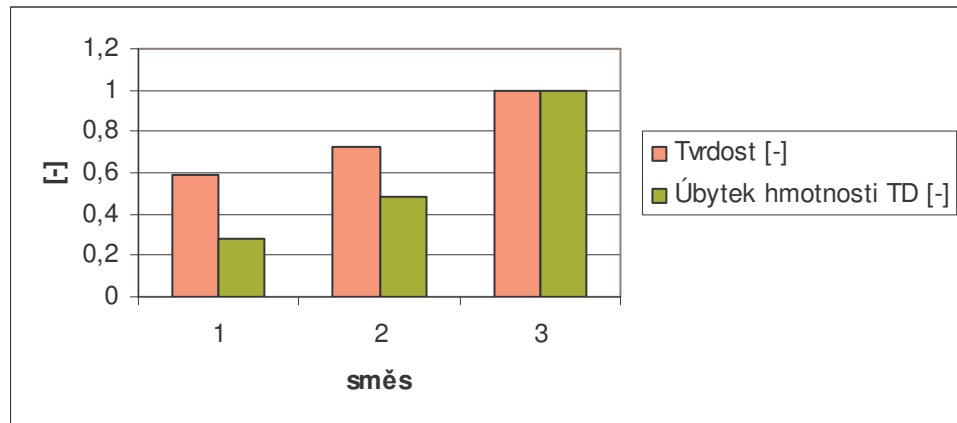
Obr. 66 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení



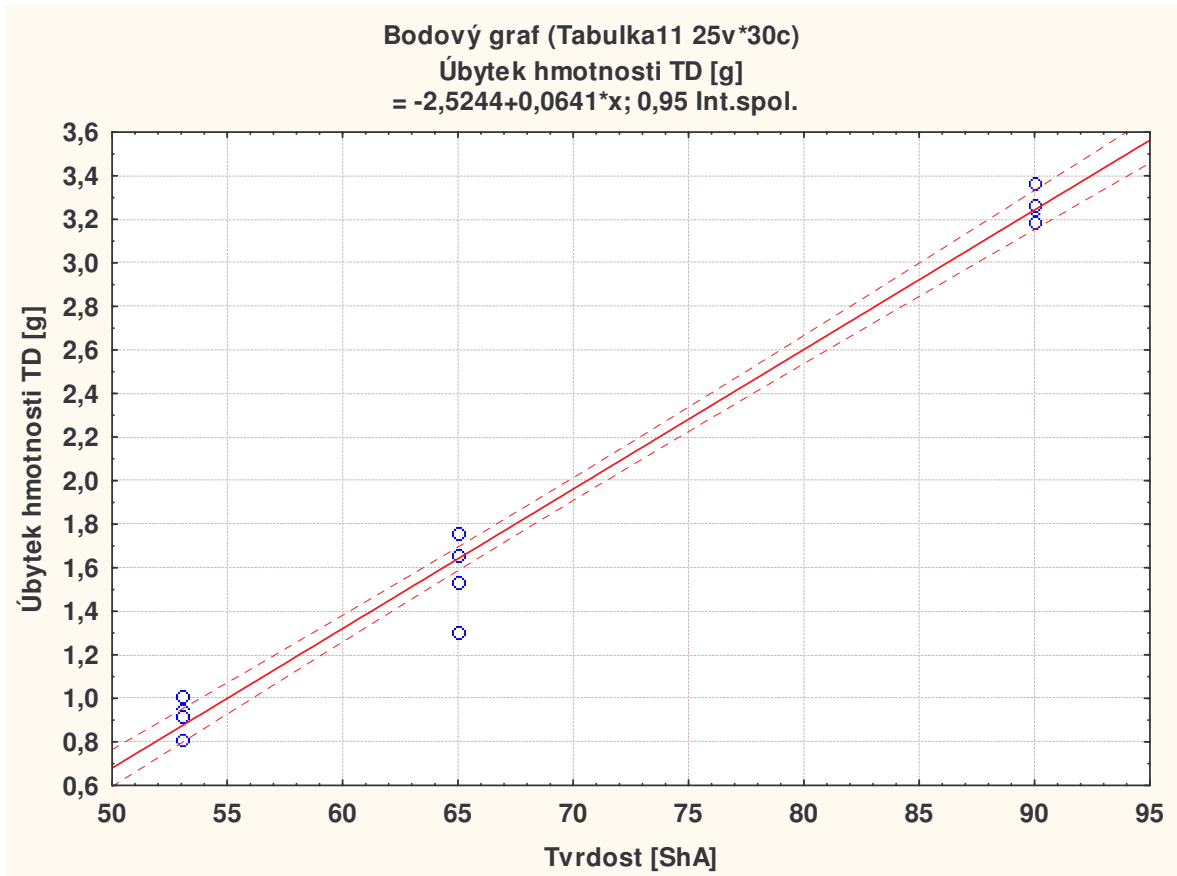
Obr. 67 Statistická závislost strukturní pevnosti a opotřebení

Nejvyšší hodnota strukturální pevnosti TR byla zjištěna u směsi 1. Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 3 dosáhla nejvyššího opotřebení a směs 2 nejmenší strukturální pevnosti TR. Z obr. 68 je patrné, že závislost mezi strukturální pevností TR a opotřebením není nikterak významná. Tuto skutečnost také potvrdilo statistické vyhodnocení (obr. 41).

Tvrdość



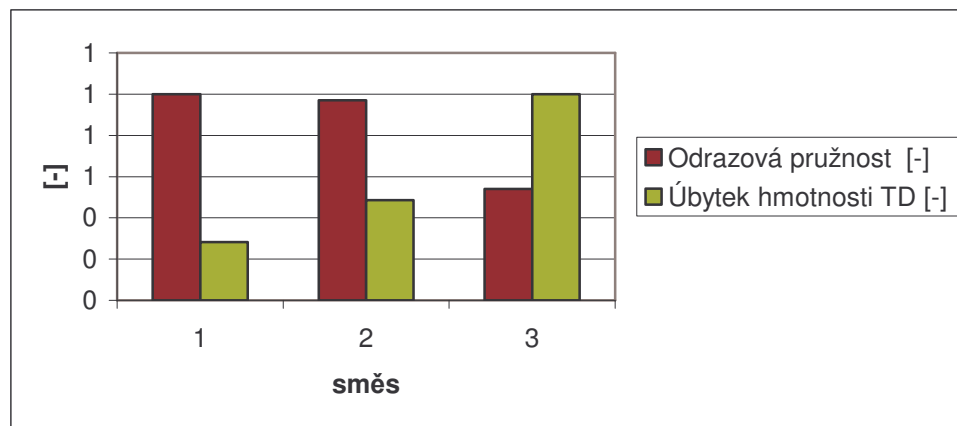
Obr. 70 Porovnání tvrdosti a opotřebení



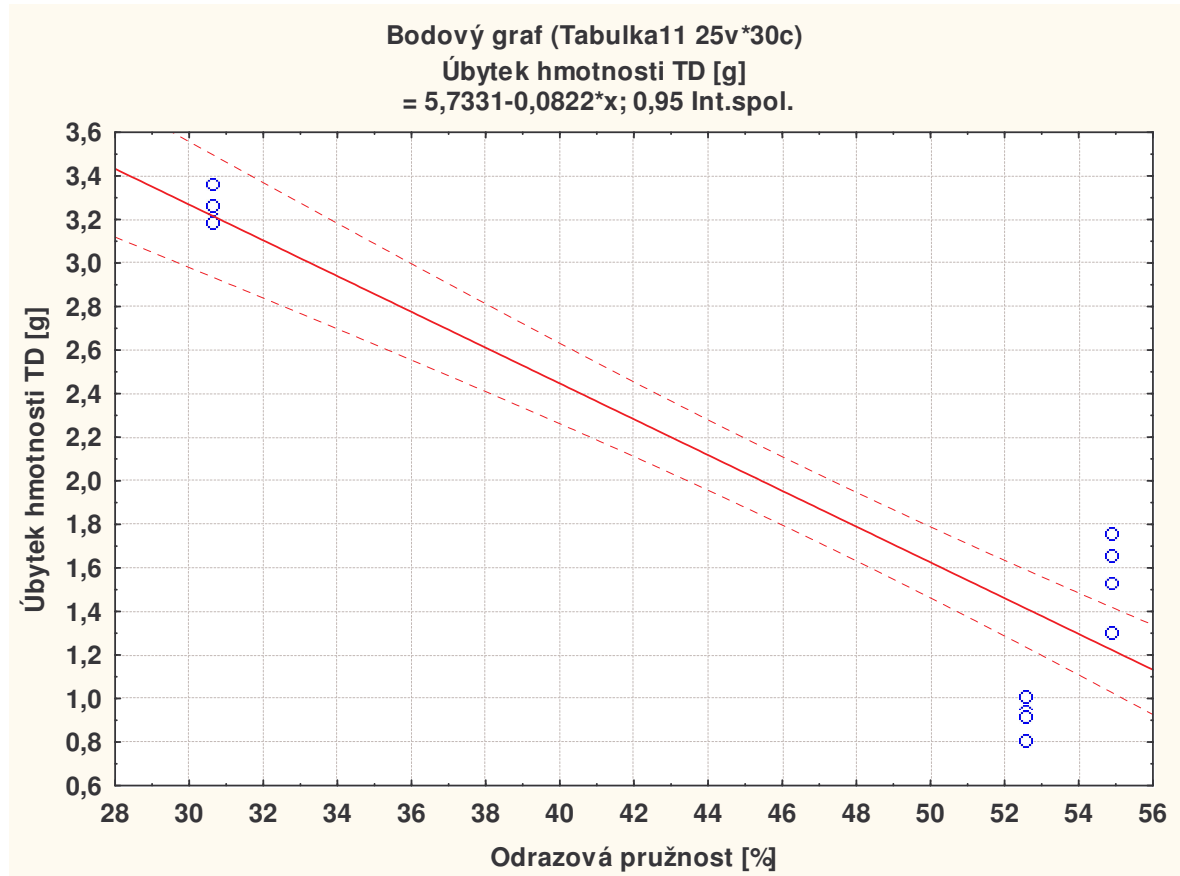
Obr. 71 Statistická závislost tvrdosti a opotřebení

Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u směsi 3. Tato směs také vykazovala nejhorší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 1 dosáhla nejlepších vlastností z hlediska opotřebení a měla nejmenší tvrdosti. Z obr. 70 je patrné, že čím menší je opotřebení, tím menší je hodnota tvrdosti. Naopak čím vyšší je hodnota tvrdosti, tím vyšší opotřebení nastává. Ze statistické vyhodnocení naměřených hodnot (obr. 41) vyplývá vysoká korelace mezi tvrdostí a pevností v tahu.

Odrazová pružnost



Obr. 72 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení

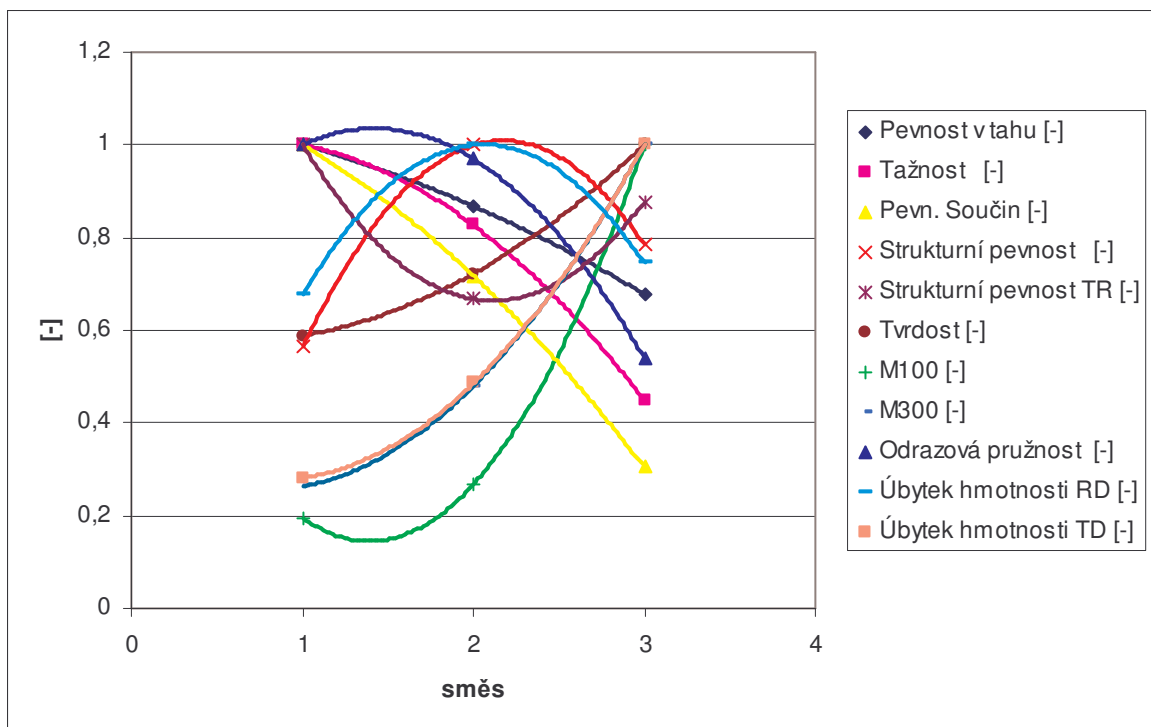


Obr. 73 Statistická závislost odrazové pružnosti a opotřebení

Nejvyšší hodnotu odrazové pružnosti měla směs 1. Tato směs také vykazovala nejlepší vlastnosti z hlediska opotřebení. Naopak směs 3 dosáhla nejvyššího opotřebení a nejmenší hodnoty odrazové pružnosti. Z obr. 72 je patrné, že závislost mezi odrazovou pružností a opotřebením není nikterak významná. Tuto skutečnost také potvrdilo statistické vyhodnocení (obr. 41).

Z uvedených výsledků vyplývá vysoká lineární závislost opotřebení na mechanických vlastnostech při tangenciálním dopadu keramického břitu. Při tangenciálním dopadu keramického břitu dopadá keramický břit do těla zkušební tělíska, kde není brzděn kovovou částí hřídele. Mechanismus opotřebení zde probíhá za specifických podmínek, kdy keramický břit doslova proniká tělem zkušební tělíska. Zde je patrná velmi vysoká míra opotřebení v počáteční fázi měření. Při prvních dopadech dochází ihned k narušení povrchové vrstvy a tím ke spuštění lavinového efektu opotřebení. Tangenciální dopad keramického břitu má za následek velmi rychlou destrukci zkušební tělíska. Byla zde prokázána vysoká korelace mezi pevností v tahu, tažností, tvrdostí a opotřebením. To vede k vyslovení domněnky, že čím bude zkušební tělíska tvrdší, tím bude opotřebení větší.

7.3 Celkový graf všech sledovaných vlastností



Obr. 74 Porovnání všech sledovaných vlastností

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zbývá opotřebením silně namáhaných pryžových dílů. Byl proveden soubor měření zahrnující tahové zkoušky, zkoušky strukturní pevnosti, tvrdosti a odrazové pružnosti.

Na zařízení pro rychlý test opotřebením byl proveden soubor měření na zkušebních tělesech zhotovených ze tří druhů gumárenských směsí určených na výrobu pásů pro dopravu kamenů a běhounových směsí velmi namáhaných mimosilničních pneumatik.

Naměřené hodnoty byly zpracovány a statisticky vyhodnoceny. Z naměřených výsledků vyplývá určitý vztah mezi tvrdostí a pevností v tahu. Vysoká lineární závislost byla rovněž prokázána mezi tažností, M100 a M300 u tangenciálního dopadu keramického břítu. U radiálního dopadu byla závislost rovněž vysoká, ovšem nedosahovala takových hodnot. Nízká lineární závislost byla v obou případech prokázána u odrazové pružnosti a strukturní pevnosti TR.

Při rychlém testu opotřebením bylo prokázáno, že směsi s vyššími hodnotami tvrdosti budou podléhat opotřebením snadněji, než směsi s nízkými hodnotami tvrdosti. Rovněž energie dopadu keramického břítu sehraje důležitou roli při tvorbě prvních trhlinek a tím spuštění lavinového efektu. Právě hodnoty pevnostního součinu ukazují míru energie potřebné pro vytvoření těchto trhlinek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: Pneumatiky. SNTL Praha, 1985, ISBN (Váz.)
- [2] PREKOP, Š. a kolektiv: Gumárska technologia II. GC TECH Trenčín, 2003, ISBN: 808891485X (váz.)
- [3] FISCHER, M.: Konstrukce pneumatik. SNTL Praha, 1962
- [4] MARCÍN, J.: Pneumatiky – výroba, použití, údržba. SNTL Praha, 1976
- [5] MARCÍN, J.: Nové směry ve výrobě pneumatik. SNTL Praha, 1963
- [6] MAREŠ, A.: Konstrukce pneumatik. SNTL Praha, 1958
- [7] FRANTA, I. a kolektiv: Gumárenská technologie II - Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. SNTL Praha, 1969
- [8] MAŇAS, D.: Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků. Nakladatelství VUT, Brno, 2005
- [9] Učební texty: Gumárenská technologie. Barum Continental spol. s r.o., 2004
- [10] LICHOROBIEC, K.: Protektorování a opravy pneumatik. SNTL Praha, 1967
- [11] ČERVENÝ, J.: Výroba automobilových pneumatik. SNTL Praha, 1957
- [12] MALKINOVÁ, CH. E.: Všeobecná technologia gumárskej výroby. ŠNTL Bratislava, 1953
- [13] RŮŽIČKA, B., KOLEČEK, P.: Pneumatiky pro váš automobil. CP Books, 2005, ISBN: 80-251-0561-X
- [14] ČSN 621431 Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (Tvrdost Shore)
- [15] ČSN ISO 37 Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků – stanovení tahových vlastností
- [16] ČSN 621459 Stanovení strukturní pevnosti
- [17] ČSN 621481 Odrazová pevnost Luebke
- [18] Internet - <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pneumatika>
- [19] Internet - http://cs.wikipedia.org/wiki/Pneumatikov%C3%BD_kord
- [20] Internet - http://www2.contitrade.cz/download/10_barum_nakl_pneu.pdf
- [21] Internet - http://www2.contitrade.cz/download/11_barum_zemstr.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Pneumatika s duší	8
Obr. 2	Bezdušová pneumatika	9
Obr. 3	Struktura pláště	10
Obr. 4	Konstrukce plášťů	11
Obr. 5	Základní rozměry pneumatik	12
Obr. 6	Popis bočnice pláště pro osobní automobily.....	13
Obr. 7	Konstrukce ocelových kordů	21
Obr. 8	Surový diagonální plášť	23
Obr. 9	Lepička obalů.....	23
Obr. 10	Konfekční stroj KLD 20	25
Obr. 11	Konfekční stroj fy MITSUBISHI	25
Obr. 12	Operace I. stupně	26
Obr. 13	Kostra nákladního radiálního pláště – 1. stupeň.....	26
Obr. 14	Operace II. Stupně	27
Obr. 15	Surové pláště uložené ve skladu	27
Obr. 16	Řez radiálním pláštěm	28
Obr. 17	Schéma trojbubnového konfekčního stroje.....	29
Obr. 18	Zkoušení těsnosti pneumatik nákladních automobilů.....	30
Obr. 19	Zkouška pneumatiky	32
Obr. 20	Znázornění úbytku hloubky drážky desénu v závislosti na ujeté dráze v logaritmických souřadnicích.....	33
Obr. 21	Porovnání pevnosti v tahu.....	40
Obr. 22	Porovnání tažnosti.....	40
Obr. 23	Porovnání strukturní pevnosti	41
Obr. 24	Porovnání odrazové pružnosti	42
Obr. 25	Porovnání tvrdosti.....	43
Obr. 26	Schéma zařízení pro testování opotřebení	43
Obr. 27	Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení	44
Obr. 28	Porovnání úbytku hmotnosti v radiálním směru	46
Obr. 29	Porovnání úbytku hmotnosti v tangenciálním směru	46
Obr. 30	Program Statistica	47

Obr. 31	Neparametrická statistika.....	48
Obr. 32	Porovnání závislých vzorků.....	48
Obr. 33	Friedmanův test.....	49
Obr. 34	Výpočet základní statistiky	49
Obr. 35	Test normality	49
Obr. 36	Výstupní sestava pro radiální dopad	50
Obr. 37	Krabicový graf pro radiální dopad.....	50
Obr. 38	Spearmanovy korelace pro radiální dopad.....	51
Obr. 39	Výstupní sestava pro tangenciální dopad.....	51
Obr. 40	Krabicový graf tangenciální dopad.....	52
Obr. 41	Spearmanovy korelace pro tangenciální dopad	52
Obr. 42	Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....	53
Obr. 43	Statistická závislost pevnosti v tahu a opotřebení	54
Obr. 44	Porovnání tažnosti a opotřebení.....	54
Obr. 45	Statistická závislost tažnosti a opotřebení	55
Obr. 46	Porovnání M100 a opotřebení.....	55
Obr. 47	Statistická závislost M100 a opotřebení	56
Obr. 48	Porovnání M300 a opotřebení.....	56
Obr. 49	Statistická závislost M300 a opotřebení	57
Obr. 50	Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení	57
Obr. 51	Statistická závislost strukturní pevnosti a opotřebení.....	58
Obr. 52	Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	58
Obr. 53	Statistická závislost strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	59
Obr. 54	Porovnání tvrdosti a opotřebení.....	59
Obr. 55	Statistická závislost tvrdosti a opotřebení.....	60
Obr. 56	Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení.....	60
Obr. 57	Statistická odrazové pružnosti a opotřebení	61
Obr. 58	Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....	62
Obr. 59	Statistická závislost pevnosti v tahu a opotřebení	62
Obr. 60	Porovnání tažnosti a opotřebení.....	63
Obr. 61	Statistická závislost tažnosti a opotřebení	63
Obr. 62	Porovnání M100 a opotřebení.....	64
Obr. 63	Statistická závislost M100 a opotřebení	64
Obr. 64	Porovnání M300 a opotřebení.....	65

Obr. 65	Statistická závislost M300 a opotřebení	65
Obr. 66	Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení	66
Obr. 67	Statistická závislost strukturní pevnosti a opotřebení.....	66
Obr. 68	Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	67
Obr. 69	Statistická závislost strukturní pevnosti a opotřebení.....	67
Obr. 70	Porovnání tvrdosti a opotřebení.....	68
Obr. 71	Statistická závislost tvrdosti a opotřebení.....	68
Obr. 72	Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení.....	69
Obr. 73	Statistická závislost odrazové pružnosti a opotřebení	69
Obr. 74	Porovnání všech sledovaných vlastností.....	70

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Základní chronologie pneumatikářenské technologie	7
Tab. 2	Kategorie rychlosti (SS - Speed Symbol).....	12
Tab. 3	Označení směsí	38
Tab. 4	Tahové zkoušky	39
Tab. 5	Strukturní pevnost.....	41
Tab. 6	Odrazová pružnost Luepke	41
Tab. 7	Tvrдость Shore	42
Tab. 9	Úbytek hmotnosti dopad bříty v tangenciálním směru.....	46