

Opotřebení pryžových dílů

Bc. Jan Novák

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan NOVÁK**

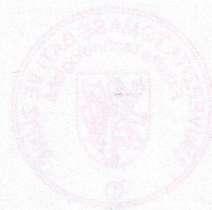
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Opotřebení pryžových dílů**

Zásady pro vypracování:

- 1.) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2.) Připravte zkušební tělesa z vybraných typů běhounových směsí
- 3.) Proveďte test rychlého opotřebení
- 4.) Vyhodněte výsledky měření



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Mañas, M. : Výrobní stroje a zařízení. Gumárenské a plastikářské stroje I , ES VUT Brno,1987, 253 s

Mañas, M. : Výrobní stroje a zařízení. Gumárenské a plastikářské stroje II , ES VUT Brno,1990, 199 s

Balty, J.R., Miksch, B.J. : A laboratory cutting and chipping tester for Evaluation off-the-duty tires treads. Rubber Chemistry and Technology. Vol 55, 1983, s.1531

Vedoucí diplomové práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2008

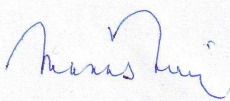
Termín odevzdání diplomové práce:

23. května 2008

Ve Zlíně dne 29. ledna 2008

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá opotřebením pláštíů pneumatik pracujících při velmi náročných terénních podmínkách. Měření opotřebení bylo prováděno na pryžových dílech používajících se při výrobě pneu určených pro víceúčelové terénní a motokrosově pláště.

Diplomová práce se rovněž zabývá problematikou mechanických vlastností těchto pryžových dílů.

Klíčová slova: Diplomová práce, opotřebení pryžových dílů, běhoun.

ABSTRACT

This Diploma work deals problem the wear of tires working in very heavy duty terrain. The measurement of wear was carried out on the rubber parts use for production tires designed for multipurpose terrain and motocross tires.

This Diploma work deals problem of mechanical properties this rubber parts.

Keywords: Diploma work, wear of rubber parts, tread.

Tímto děkuji vedoucímu diplomové 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 diplomové práce. Dále mé poděkování patří i všem ostatním, kteří mi při vypracování mé práce pomohli.

Prohlašuji, že jsem na diplomové 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 20. 5. 2008

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PNEUMATIKY	11
1.1 TYPY PNEUMATIK	11
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY	12
1.2.1 Podle konstrukčního uspořádání rozdělujeme typy pláštěů pneumatik.....	12
1.3 PLÁŠŤ PNEUMATIKY	13
1.4 ZNAČENÍ PNEUMATIKY	15
1.5 FUNKCE PNEUMATIKY	16
1.6 PROFIL PNEUMATIKY	16
1.7 POŽADAVKY KLADENÉ NA PNEUMATIKY	16
1.7.1 Požadavky na jízdní komfort.....	16
1.7.2 Požadavky spojené s pohyblivostí vozidla.....	16
1.7.3 Požadované vlastnosti	16
1.8 ŽIVOTNOST PNEUMATIK.....	17
1.8.1 Tlak vzduchu v pneumatikách.....	17
1.8.2 Stárnutí pneumatik	17
1.8.3 Opravy pneumatik	18
1.9 LIKVIDACE OPOTŘEBOVANÝCH PNEUMATIK	18
2 SUROVINY A MATERIÁLY V PNEUMATIKÁŘSKÉM PRŮMYSLU	21
2.1 PŘÍRODNÍ A SYNTETICKÉ KAUČUKY.....	21
2.2 PŘÍSADY DO KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	23
2.3 VÝZTUŽNÉ MATERIÁLY	24
3 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK	26
3.1 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ PRO VÝROBU PNEUMATIK.....	26
3.2 PŘÍPRAVA A DRUHY POLOTOVARŮ.....	27
3.3 VYTLAČOVÁNÍ PROFILŮ.....	28
3.4 POGUMOVÁNÍ TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ A ŘEZÁNÍ TEXTILŮ	28
3.5 KONFEKCE PLÁŠŤŮ	28
3.5.1 Rozdělení podle profilu konfekce	28
3.5.2 Rozdělení podle způsobu celkové skladby radiálního pláště a počtu pracovišť.....	30
3.6 VULKANIZACE.....	31
3.7 KONTROLA A OPRAVY PLÁŠŤŮ	31
4 ZKOUŠKY PNEUMATIK	33

4.1	ZKOUŠKY SMĚSÍ A POLOTOVARŮ	33
4.2	ZKOUŠKY NA ZKUŠEBNĚ	34
4.2.1	U pneumatik se zejména hodnotí tyto parametry	34
4.2.2	Při měření statických hodnot se zjišťují déle uvedené veličiny	34
4.2.3	V tabulce u otisku jsou uvedeny následující hodnoty zkoušek	34
4.2.4	Při měření dynamických hodnot se zjišťuje	35
4.3	ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ	36
4.3.1	Metoda du Pont s konstantním třením	38
4.3.2	Metoda Skroj – Croydon	39
4.3.3	Metoda Dunlop – Lambourn	40
4.3.4	Dry sand – rubber wheel test (DSRW).....	41
4.4	SILNIČNÍ ZKOUŠKY	41
II	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
III	PRAKTICKÁ ČÁST	45
5	OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ	46
5.1	MĚŘENÉ VLASTNOSTI	46
5.1.1	Příprava zkušebních těles	47
5.1.2	Tahová zkouška.....	47
5.1.3	Strukturní pevnost	50
5.1.4	Odrazová pružnost Luepke.....	51
5.1.5	Tvrdost Shore	52
5.2	RYCHLÝ TEST OPOTŘEBENÍ.....	54
5.2.1	Výsledky měření.....	57
5.2.2	Statistické vyhodnocení výsledků	60
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	67
6.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRO RADIÁLNÍ SMĚR	67
6.2	VYHODNOCENÍ HODNOT PRO TANGENCIÁLNÍ SMĚR	77
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	89
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	91
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92
	SEZNAM TABULEK.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Průmysl výroby a zpracování polymerů byl vždy poměrně významným průmyslovým odvětvím a má v ČR dlouholetou tradici. Své postavení si toto průmyslové odvětví zahrnující gumárenský a plastikářský průmysl stále drží a dnes patří jak gumárenství, tak i zpracování plastů k úspěšným a rozvíjejícím se oborům.

Sektor zpracování polymerů je velmi členitý, protože představuje výrobu obrovského množství výrobků pro nejrůznější aplikace. Výrobky z polymerů a kompozitů s polymerní matricí nacházejí stále širší uplatnění. Z polymerů jsou vyráběny předměty běžné potřeby, předměty pro sport a volný čas, přístroje pro domácnost, obaloviny pro průmyslové výrobky i potraviny a stále více se uplatňují ve stavebnictví, elektrotechnice a elektronice, strojírenství a automobilovém průmyslu. Velmi specifické je uplatnění ve zdravotnictví. Nárůst výroby je zaznamenáván téměř ve všech sledovaných skupinách výrobků. Ještě názorněji tuto situaci zahrnuje celkový vývoj produkce v gumárenském průmyslu. Jako jedna z mála průmyslových odvětví, vykazuje gumárenský průmysl stabilní meziroční nárůst výroby, vysoce překračující hodnoty průměrného růstu. Tento trend si zachoval i v roce 1998 a 1999, kdy v ČR došlo k výraznému poklesu průmyslové výroby a své místo mezi velmi prosperujícími průmyslovými odvětvími si udržuje i v roce letošním. Za období 1995 – 1998 došlo ke zdvojnásobení výroby [4].

Z uvedeného vyplývá, že gumárenský průmysl si ve druhé polovině devadesátých let své postavení mezi ostatními průmyslovými obory výrazně upevnil. Spektrum gumárenských výrobků je velmi široké a zahrnuje hadice, těsnění, klínové řemeny, pogumovaný textil, pryžové díly pro medicínské aplikace, technické výrobky z pryží a pneumatiky všech typů a druhů. 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. Mimo tyto velké firmy je však řada dalších, které umožňují vyrábět široký sortiment gumárenských výrobků [4].

Z hlediska rozvoje průmyslového odvětví hraje právě výroba pneumatik dominantní roli zejména z pohledu spotřeby suroviny. Spolu s výrobou hadic je jejich podíl na trhu více než 65%. Udržet vysoké tempo rozvoje vyžaduje mimo investice do technologií taky investice do vývoje a výzkumu. Tyto investice jsou většinou dlouhodobějšího charakteru, ale dávají záruku dalšího rozvoje oboru a udržení konkurenceschopnosti. Malým přispěv-

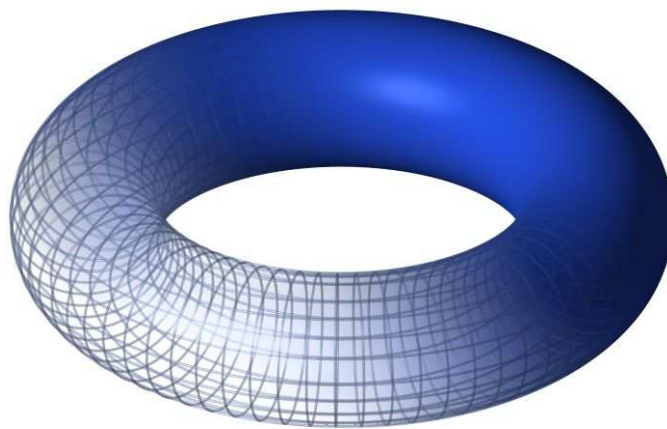
kem do této oblasti mohou být i diplomové a doktorské práce reagující na problémy, které se vyskytují v průmyslové praxi. Mezi nimi je také problematika opotřebování pryžových dílů, zejména pneumatik.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PNEUMATIKY

Pneumatika tvoří z geometrického hlediska uzavřený prstenec tzv. toroid (Obr. 1). Z hlediska mechanického je to tlaková nádoba, jejíž stěny tvoří pružná membrána. Pneumatika je strukturálně složitý kompozitní systém s vysokými parametry. Z hlediska chemického je vyrobena především ze zesíťovaných a nezasíťovaných makromolekulárních materiálů a oceli [6,11].

Pneumatiky se tedy vyrábějí především z vulkanizovaných nebo nevulkanizovaných kaučuků a z ocelí.



Obr. 1 Toroid

1.1 Typy pneumatik

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

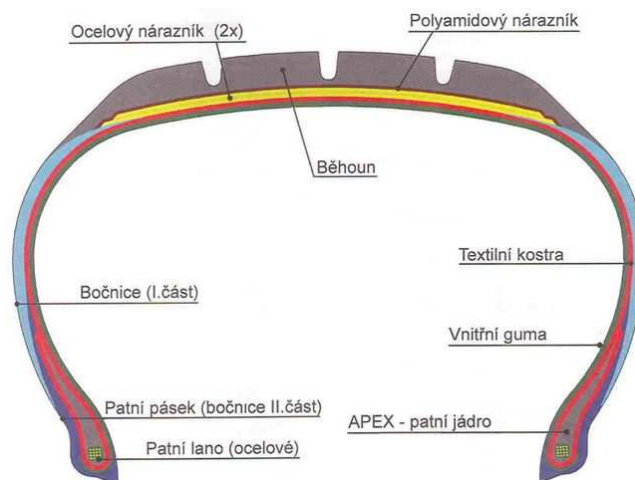
Rozdělení pneumatik:

- a) jízdní kola,
- b) skútry, motokola a vozíky,
- c) motocykly,
- d) osobní automobily
- e) dodávkové automobily,

- f) lehké nákladní automobily,
- g) nákladní automobily, autobusy a přívěsy,
- h) zemědělská vozidla,
- i) traktory a stroje na zemní práce,
- j) letadla,
- k) závodní a soutěžní vozidla.

1.2 Základní pojmy

Norma ČSN 64 0001 značí složený termín pneumatika. Tím se myslí plášť, popřípadě s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem (obr. 2) [8].

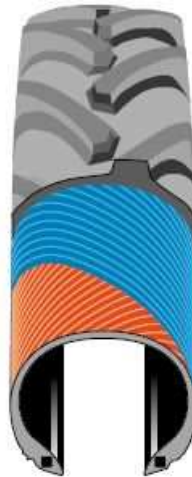


Obr. 2 Pneumatika pro osobní automobil

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

1.2.1 Podle konstrukčního uspořádání rozdělujeme typy plášťů pneumatik

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



Obr. 3 Konstrukce diagonální zemědělské pneumatiky

- c) s radiálním pláštěm, v jehož kostře jsou jednotlivé nitě kordových vrstev rovnoběžné vzájemně i s rovinou meridiánu, přepásanou výztužným pásem – nárazníkem [9].



Obr. 4 Konstrukce radiální zemědělské pneumatiky

1.3 Plášť pneumatiky

Plášť pneumatiky je složen s těchto základních prvků (obr. 5) [10]:

Běhoun - je vrstva pryže, na které je na vnějším obvodu obvykle vzorek tzv. desén. Ten přichází do styku s vozovkou. Jestliže se skládá ze dvou vrstev pryže rozdílné kvality, jedná se o dvojitý (spodní a horní) běhoun.

Bočnice - je vrstva pryže na boku pláště. Účelem bočnice je chránit kostru pláště před mechanickým poškozením a současně před povětrnostními vlivy.

Protektor - je nový běhoun navulkanizovaný na ojetý (použitý) plášť.

Kostra - to je část pláště, která je tvořená vložkami zakotvenými kolem patních lanek.

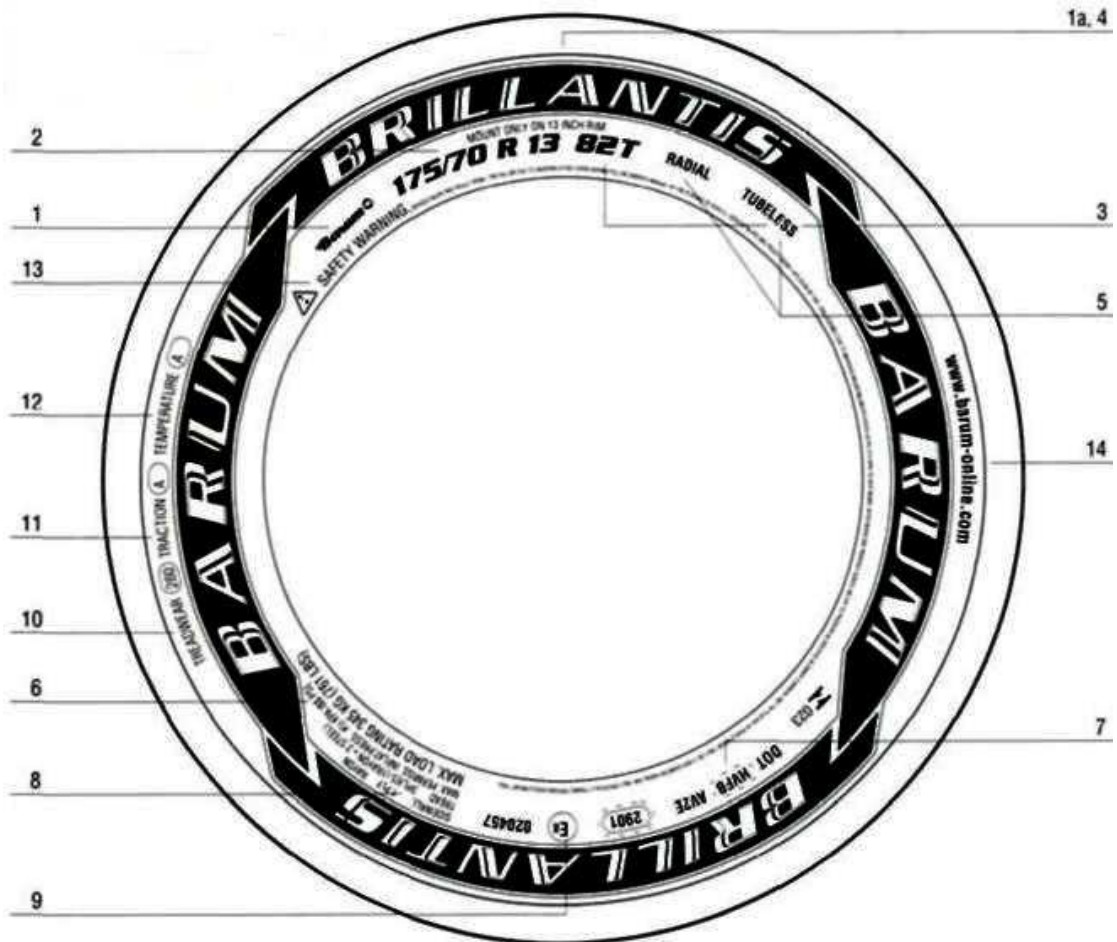
Patní lano - je kruhový dílec z vysoko-pevnostního ocelového drátu. Funkce patního lana je zakotvení kordových vložek v patce pláště. Dále ještě vyztužuje patku v obvodovém směru a zaručuje bezpečné usazení pláště na ráfku.



Obr. 5 Základní prvky struktury pláště pneumatiky

1 – vnitřní guma, 2 – kostrový materiál, 3 – patní lano, 4 – jádro, 5 – výstužný pásek, 6 – patní pásek, 7 – bočnice, 8 – nárazník, 9 – PA nárazník, 10 - běhoun

1.4 Značení pneumatiky



Obr. 6 Značení pneumatiky na bočnici

1 – ochranná značka, 1a – obchodní značka výrobku, 2 – označení rozměru pláště, 3 – index nosnosti a kategorie rychlosti, 4 – označení dezénu, 5 – RADIAL (radiální konstrukce), TUBELESS (bezdušové provedení), 6 – nosnost pneumatiky [kg] a nejvyšší dovolené huštění pneumatiky [kPa], 7 – informace o pneumatice (datum výroby, týden, rok, kód výrobce a rozměru), 8 – materiál kostry pláště a skutečný počet vložek v oblasti boku a běhounu, 9 – homologační znak a číslo země, 10 – odolnost běhounu proti opotřebení [%], 11 – velikost součinitele adheze (A, B, C), 12 – odolnost proti dynamické únavě (A, B, C), 13 – bezpečnostní varování, 14 – internetová stránka [12].

1.5 Funkce pneumatiky

Schopnost nést zátěž a tlumit nárazy, přenášet hnací a brzdné síly, vyznačovat se dobrou adhezí k vozovce za různých podmínek, klást minimální valivý odpor, vytvářet co nejméně hluku, mít dlouhou životnost, vyvíjet boční síly, musí být rozměrově stabilní, reagovat na řízení, přispívat k bezpečnosti provozu a mít minimální hmotnost [5].

1.6 Profil pneumatiky

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

Nástup výpočetní techniky umožnil rozšířit numerické výpočty daleko za meze dané starými ručními výpočetními metodami [6].

1.7 Požadavky kladené na pneumatiky

1.7.1 Požadavky na jízdní komfort

drnčení, házení, hlučnost, kmitání, kvičení, obalování, otřesy, pлавnost jízdy, první harmonická pružení, radiální tuhost, rovnoměrnost, tlučení, tuhost, vibrační analýza, vyváženost.

1.7.2 Požadavky spojené s pohyblivostí vozidla

adheze (odolnost prokluzu, brzdná dráha), boční tah, boční síla, kroutící moment, náběhová tuhost, ovladatelnost, prokluz, řídicí účinek, skluz, směrová kontrola, úhel směrové úchylny, vedení, zpoždění odezvy, vratný moment, ztrátová práce.

1.7.3 Požadované vlastnosti

spotřeba paliva, jízdní teplota, integrita, vzrůst rozměrů, vzrůst tlaku, odolnost proti propíchnutí, odolnost proti separaci, odolnost proti prořezání, odolnost proti průrazu, odolnost proti vlivu ozónu, odolnost proti vlhkosti, odolnost proti únavě, odolnost proti

valení, opotřebení běhounů, účinný obvod, poruchový přetlak, povětrnostní odolnost, praskání, profilový poměr, provozní životnost, radiální deformace, rovnoměrný oděr, rozměry, sražení patky, statický rádius, střední tlak, styčná plocha, tlak na styčné ploše, intenzita zatížení, tlak huštění, nosnost, valivý odpor, vydření o ráfek, vysokorychlostní odolnost, vytrhávání, vývin tepla, zachytávání kamenů, zbytková hloubka, životnost, životnost patky [4].

1.8 Životnost pneumatik

1.8.1 Tlak vzduchu v pneumatikách

Tlak vzduchu v pneumatikách je velmi důležitým faktorem ovlivňující životnost pneumatik. Pokud je v pneumatice příliš vysoký nebo příliš nízký tlak, není zajištěn optimální kontakt s vozovkou. Zvyšuje se spotřeba pohonných hmot a pneumatiky se více a rychleji opotřebovávají. Aby se tomu zabránilo, je třeba dodržovat následující zásady:

- a) pravidelně kontrolujte tlak vzduchu, nejméně každé 2-4 týdny - tlak je třeba kontrolovat, když jsou pneumatiky studené (již při malém ohřátí pneumatiky jsou údaje při měření tlaku nepřesné),
- b) pokud ztratíte nebo poškodíte čepičky u ventilků, ihned je nahraďte novými - pevně je dotáhněte a zkontrolujte, zda není dosedací plocha ventilku poškozena,
- c) rovněž pravidelně kontrolujte tlak vzduchu v rezervní pneumatice - platí zásada, že v rezervní pneumatice musí být o cca 0,5 barů vyšší tlak, než je předepsaný tlak. Ten se následně upraví až po montáži na osu [12,13].

1.8.2 Stárnutí pneumatik

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

Pneumatiky starší 10 let mohou být proto používány jen v případě, že byly již dříve provozovány normálním způsobem. V žádném případě by neměly být používány nejeté pláště po tuto dobu skladované. Stárnutím trpí zejména pneumatiky používané na karavanech z důvodu déle trvajících provozních přestávek a tím i jednostranného zatížení. Tyto by měly být vyměňovány po 6, nejpozději 8 letech.

Náhradní pneumatiky speciální konstrukce starší 6 let nelze používat v běžném silničním provozu, ale jen v případě nutnosti na dojetí [14].

1.8.3 Opravy pneumatik

Opravárenství pneumatik je z hlediska bezpečnosti provozu činnost velmi náročná a zodpovědná, proto by ji měl provádět vždy jen specialista. Vyhláška č. 102/95 Sb. ukládá, že na plášti musí být všechna poškozená místa trvale opravena. Je proto nepřípustné používat duše do neopraveného bezdušového pláště jako náhradní řešení. Těsnicí opravárenské spreje nedoporučujeme používat pro trvalé opravy, ale vždy jen na dojetí stejně jako opravy bez demontáže pláště z ráfku za použití speciálních předvulkanizovaných ucpávek.

Opravy poškození zasahující nárazník nebo kostru je třeba provést metodou vulkanizace za tepla nebo za studena po předchozí podrobné prohlídce a úpravě poškozeného místa pláště. Každá oprava by měla být provedena co možná nejdříve po vzniku poškození, jinak může dojít (zejména u plášťů s ocelovým nárazníkem) k rozšíření poškození nebo i zničení pláště v důsledku vnikajících nečistot a vlhkostí.

Prořezávání plášťů pro osobní automobily je zakázáno [14].

1.9 Likvidace opotřebovaných pneumatik

Hlavní způsob jak bojovat s tímto odpadem je prevence. Jedná se hlavně o prodloužení životnosti pneumatik, což představuje ušetření surovinových zdrojů a snížení produkce odpadů. Toho se dosahuje jednak podporou uvádění pneumatik s vyšší životností na trh, zabezpečováním informační kampaně na správné užívání, podporou protektorování, podpořením vhodné sítě sběrného systému a jiné.

Jsou to metody, kdy pneumatice navracíme částečnou životnost, nebo způsoby zpracování pneumatik jako odpadu (popř. pryže):

Prořezávání

Je to nejlevnější způsob obnovování částečně opotřebovaných pneumatik. Provádí se tak, že do zbylého základu běhounu se vyřezává nový vzorek. To je užíváno hlavně u nákladních automobilů s dostatečnou tloušťkou běhounu [15].

Protektorování

Spočívá ve znovuobnovení běhounu, kdy se opotřebovaný zřeže, a nová běhounová část se buď nataví (horké protektorování) nebo nalepí (studené protektorování). To přispívá hlavně k prodloužení životnosti pneumatiky. Navíc je možno ušetřit až 80% surovin a energie potřebných k výrobě nové pneumatiky. Pro protektorování jsou nevhodné pneumatiky starší 6-7 let, bez ohledu na jejich užívání. Dochází totiž ke stárnutí pneumatiky, pneumatika se stává samovolně křehčí, méně odolnou a tím méně bezpečnou. Proto se hlavně protektorují pneumatiky nákladních aut a autobusů, kde při relativně krátké době dochází k rychlému opotřebování [15,16].

Energetické využití

Hlavní způsob energetického využití vyřazených pneumatik je jejich spalování v cementářských pecích. Výhřevnost pneumatik je poměrně vysoká (asi 30 MJ/kg), což odpovídá výhřevnosti černému uhlí. Obsah oceli přispívá ke zvýšení kvality cementu. Vzniklá síra se váže alkalickými složkami cementu. Nevýhodou je, že jde o kompletní likvidaci, bez jakéhokoliv využití materiálových vlastností pneumatik. Spalování jinde než v cementárnách bude zakázáno.

Výroba regenerátu

Výroba regenerátu je termická metoda za velkého tlaku, kdy se ze staré rozsekané pryže stává pryž znovu zpracovatelná a vulkanizovatelná. Nezávislým však surový kaučuk. Mechanické vlastnosti jsou horší, než u surového kaučuku. Používá se tedy jako přísada do kaučukových směsí a to jen asi v objemu 10% [16,17].

Mechanické a fyzikální zpracování (granulování)

Užívá buď kryogenní metoda, kdy se pneumatiky chladí tekutým dusíkem na -80°C a pak se rozsekají sekacími stroji, nebo metoda vícenásobného mletí, kdy je pneumatika nejdříve nasekána, poté skrz separátory rozdělena na pryž, textil a kov, a pryž je dále mleta. V obou případech vzniká granulát [18].

Pyrolýzní zpracování pneumatik

Pyrolýzní zpracování pneumatik zahrnuje termickou metodu využívající prostor bez přístupu vzduchu, kde krom hořlavých plynů vzniká využitelné palivo v podobě parafinových vosků. Tato metoda má však vysoké pořizovací náklady [16].

2 SUROVINY A MATERIÁLY V PNEUMATIKÁŘSKÉM PRŮMYSLU

Jakost pneumatiky výrazně ovlivňují suroviny a polotovary. Plášť pneumatiky lze vyrobit jen z kvalitních surovin a polotovarů. Plášť pneumatiky musí splňovat předpoklady pro bezpečnou a pohodlnou jízdu vozidla a požadovanou životnost pneumatiky.

2.1 Přírodní a syntetické kaučuky

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

Pro výrobu pneumatik se nejvíce používá kaučuků: přírodního, styrenbutadienového, butadienového, izoprenového, butylkaučuku a regenerátu [3].

Přírodní kaučuk (NR)

Nařezáním kůry kaučukovníku se získává syrový kaučuk (latex). Ten se dále upravuje a získává se z něj přírodní kaučuk [19].



Obr. 7 Srový kaučuk odkapávající z kaučukovníku

Lze jej použít ve všech případech, kde se nepožaduje odolnost proti bobtnání, odolnost proti některým chemickým činidlům, odolnost proti teplotě a odolnost vůči povětrnosti a ozónu.

Jeho předností jsou výborné dynamické vlastnosti, dobrá odolnost proti nízkým teplotám, pevnost při vyšších teplotách, dobrá strukturní pevnost.

Styrenbutadienové kaučuky (SBR)

Styrenbutadienového kaučuku lze téměř 100% použít do směsí na pláště pneumatik na osobních automobilech. Malá lepivost nánosů zhoršuje výkon při konfekci. Výhodou je použití kratších vulkanizací při vyšších teplotách.

Připravují se polymerací styrenu a butadienu. Nejčastěji se využívají tzv. studené typy SBR, které mají pravidelnější strukturu a lepší vlastnosti.

Zpracovává se hůře než přírodní kaučuk, a proto je třeba do směsí přidávat více změkčovadel.

Butadienový kaučuk (BR)

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

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

Butylkaučuk (IIR)

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

Používá se na duše, těsnící vrstvy bezdušových pneumatik, méně již na pláště pneumatik, kabely a technickou pryž.

Polyizopren (IR)

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

Regenerát

Přidává se při výrobě pláštěů pneumatik ve značném množství do směsí na kostry a boční pásy. Nehodí se pro běhouny první kvality, protože zhoršuje v této náročné směsi odolnost proti opotřebení. Setkáváme se s ním však běžně ve směsích na protektorování a v běhounech pláštěů jízdních kol.

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

2.2 Přísady do kaučukových směsí

Vulkanizační činidla, urychlovače vulkanizace, retardéry vulkanizace, aktivátory vulkanizace, ztužovadla, antidegradanty, změkčovadla, ostatní přísady [5].

Vulkanizační činidla – v pneumatikářské výrobě se jako vulkanizační činidlo používá nejčastěji síra. Její rozpustnost v kaučuku závisí na struktuře kaučuku a na teplotě. Síra se mele za mokra nebo v inertním plynu. Musí se dodržovat bezpečnostní předpisy z důvodu hořlavosti síry.

Urychlovače vulkanizace – zkracují vulkanizační dobu. Dělíme je na pomalé, rychlé, velmi rychlé a ultra rychlé.

Retardéry vulkanizace – retardéry s inhibitory navulkanizování prodlužují dobu zpracovatelské bezpečnosti. To je důvod, proč je důležitou přísadou do kaučukové směsi. Retardéry vulkanizace zvětšují zpracovatelskou bezpečnost zpomalením vulkanizace.

Aktivátory vulkanizace – jsou látky, které podporují účinek urychlovačů vulkanizace. Má významný vliv na tvorbu sítě. Oxid zinečnatý je nejčastěji užívaným aktivátorem.

Antidegradanty (antioxidanty, antiozonanty) – mají vliv na životnost pneumatik. Část antioxidantů způsobuje barvení, proto se jich nepoužívá pro směsi světlé.

Saze – mají příznivý vliv na fyzikální vlastnosti vulkanizátu, zejména na jeho pevnost a odolnost proti opotřebení. Zajišťuje jejich využití v jednotlivých částech pneumatiky. Saze se vyrábějí nedokonalým spalováním olejů a plynů ve speciálním zařízení.

Ztužovadla – mění téměř všechny vlastnosti, jako jsou měrná hmotnost, modul pružnosti, tvrdost, pevnost a odolnost proti odírání.

Změkčovadla – jsou přísady upravující zpracovatelnost směsí a ovlivňují vlastnosti směsí i hotových výrobků.

2.3 Výztužné materiály

Výztužné materiály patří k základním faktorům, které určují vlastnosti, výkon a životnost většiny gumárenských výrobků. Výztužný materiál výrazně ovlivňuje tvar výrobku a jeho odolnost proti opakovanému namáhání, určuje jeho životnost, nosnost, odolnost proti oděru a řadu dalších vlastností [4].

Používají se:

- a) kordové tkaniny (polyamidové, polyesterové, viskózní) – tkaniny se používají pro kostru pneumatik. Především jsou z chemických vláken.
- b) křížové tkaniny – používají se především jako ochranné a obalové materiály. Jsou především z bavlny.
- c) ocelové kordy – jsou důležitým materiálem pro nákladní pneumatiky. Má vysokou pevnost a vysoký modul.

3 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

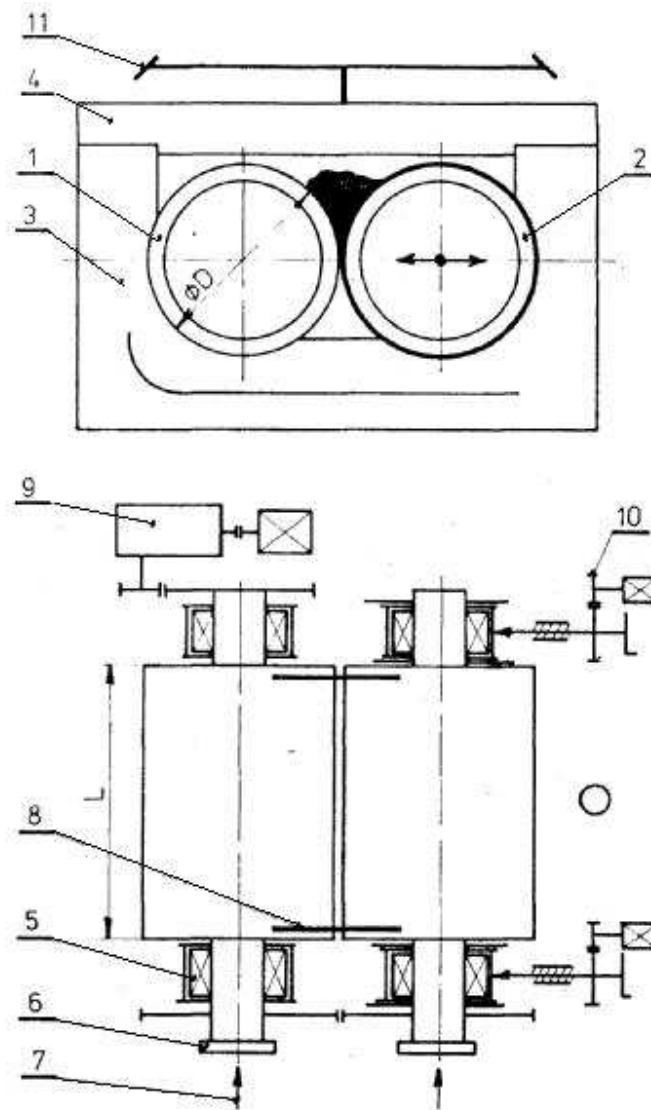
Výroba plášťů pneumatik je velmi složitý výrobní postup zahrnující míchání směsi, polotovarů, konfekci pláště, lisování, vulkanizaci a kontrolu.

3.1 Míchání směsí pro výrobu pneumatik

Míchání směsi probíhá v dvouválcových strojích v hnětičích nebo v kontinuálních hnětačích (Obr. 8). Nedílnou součástí intenzifikace míchání směsí je vývoj míchacích postupů. V hnětačích strojích se směs míchá v uzavřené komoře pod tlakem. Podstatou hnětiče jsou dva profilované rotory, které se otáčejí rozdílnou rychlostí v hnětací komoře. I při dobrém chlazení vystoupí teplota na 110 - 130°C. Proto se přidává do hnětiče pouze urychlovač, a to na konci míchání, kdežto síra se domíchává po ochlazení směsi na dvouválcích.

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

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



Obr. 8 Dvouválec

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

3.2 Příprava a druhy polotovarů

Pro výrobu autoplášťů se používají tyto technologie:

- a.) vytlačování profilů: běhouny, bočnice, jádra, profily.
- b.) pogumování textilních materiálů: kordy.
- c.) výroba autolanek, folií a mezigum.

3.3 Vytlačování profilů

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

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

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

3.4 Pogumování textilních materiálů a řezání textilu

Gumování textilu – důvodem gumování textilu je, aby směs spojila základní pevnostní složku pláště v jediný celek, který má za úkol izolovat a chránit příze v jednotlivých vrstvách proti vzájemnému poškození při dynamické únavě [1].

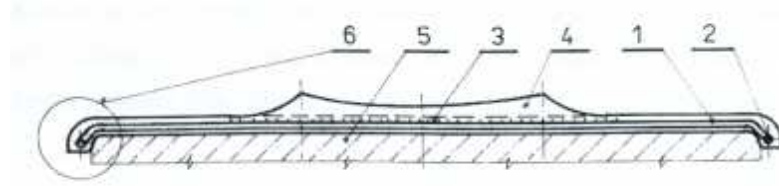
Řezání textilu – textil se řeže na řezacích strojích. Šíře pásu a sklon osnovních nití jsou dány konfekčním předpisem. Pásky, které jsou nařezané, se spojují a navíjejí do zábalových vložek a přepravují přímo ke konfekčním strojům [1].

3.5 Konfekce pláště

Jednotlivé díly pláště se skládají a navzájem slepují na rotačním sklopném válci zvaném konfekční buben. Podle jeho tvaru mluvíme o konfekčním bubnu pro konfekci kulatou, polokulatou a plochou [2].

3.5.1 Rozdělení podle profilu konfekce

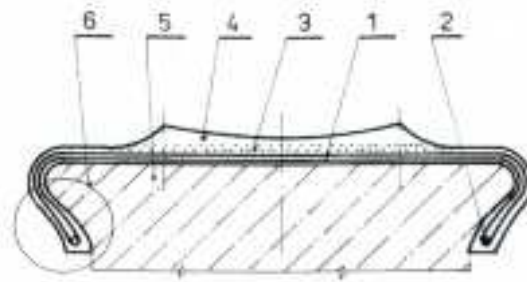
Plochá konfekce - používá různých tvarů konfekčních bubnů, na kterých se vytváří kostra s největším průměrem téměř shodným s průměrem patek (obr. 9).



Obr. 9 Plochá konfekce

1 – kostra, 2 – patní lano, 3 – nárazník, 4 – běhoun, 5 – konfekční buben, 6 – patka

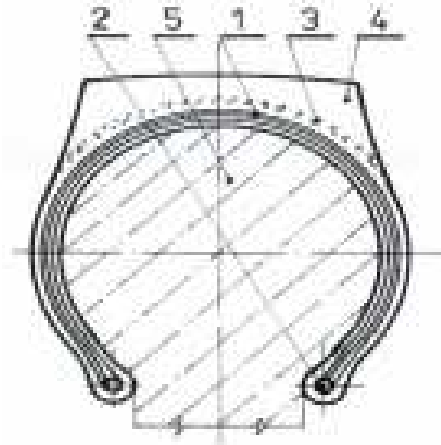
Polokulatá konfekce - udržuje tvar a polohu patek pláště ve stejném stavu jako budou na hotovém plášti. Největší průměr kostry je na konfekčním bubnu podstatně větší než průměr patek. Surový plášť zhotovený na konfekčním bubnu si zachovává tento tvar po celou dobu, než se založí do vulkanizačního lisu. Teprve zde dosáhne konečný rozměr a tvar (obr. 10).



Obr. 10 Polokulatá konfekce

1 – kostra, 2 – patní lano, 3 – nárazník, 4 – běhoun, 5 – konfekční buben, 6 – patka

Kulatá konfekce – celý plášť se skládá na kovovém jádru, jehož tvar a velikost se téměř shoduje s vnitřními rozměry hotového pláště. Dnes se již nepoužívá (obr. 11).



Obr. 11 Kulatá konfekce

1 – kostra, 2 – patní lano, 3 – nárazník, 4 – běhoun, 5 – konfekční jádro

3.5.2 Rozdělení podle způsobu celkové skladby radiálního pláště a počtu pracovišť

Konfekce je rozdělena:

- a) jednostupňová konfekce
- b) jedenapůlstupňová konfekce
- c) dvoustupňová konfekce
- d) vícestupňová konfekce

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

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

Dvoustupňová konfekce – plášť je vytvářen na dvou samostatných strojích. První stupeň představuje konfekci kostry, která se uskutečňuje na plochem konfekčním bubnu. Konfekční stroj druhého stupně je složen z bubnu obalu pro tvorbu obalu pláště (nárazníky,

běhoun) a vydouvatelného bubnu, na kterém dojde k vytvarování pláště a spojení kostry s obalem.

Vícestupňová konfekce - je vytvořena více pracovišti, které jsou navzájem propojeny přenašecími manipulátory. Cílem je maximálně zjednodušit skladbu pláště a snížit časovou náročnost procesu konfekce.

3.6 Vulkanizace

Vulkanizace je proces, při kterém se mění kaučuková směs na pryž vznikem chemických vazeb, obvykle při zvýšené teplotě. Vulkanizační proces v pneumatikářské výrobě probíhá při teplotách 150 až 170°C, podle druhu vulkanizovaných autoplášťů a technologických podmínek pneumatikářského závodu.

V průběhu vulkanizace dochází k následujícím změnám:

- a) dlouhé řetězce molekul kaučuku se síťují reakcemi s vulkanizačním činidlem za vzniku trojrozměrné sítě,
- b) kaučuk ztrácí lepivost, stává se nerozpustným v rozpouštědlech. Je odolnější proti degradačním účinkům tepla, světla a procesu stárnutí [7].

3.7 Kontrola a opravy plášťů

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

Při kontrole zvulkanizovaných pláštů se používají tyto druhy metod:

- a) objektivní metody, schopné objevit i skryté vady (rentgeny, testory),
- b) subjektivní (vizuální) metody, schopné objevit všechny viditelné vady.

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

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

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

4 ZKOUŠKY PNEUMATIK

Zjišťování kvality a životnosti pneumatiky je nejvhodnějším způsobem zkouška v podmínkách budoucího využití tohoto výrobku v praxi. Časový interval praktických zkoušek je dlouhý, protože pneumatiky mají podstatně delší životnost než jiné průmyslové výrobky. Navzdory tomu je nutností ověřovat kvalitativní parametry pneumatik v kratších časových intervalech, aby bylo možné provádět technické a technologické úpravy a vyhnout se tak riziku výroby vadných výrobků.

Pneumatický průmysl věnuje zvýšenou pozornost všem technologickým procesům (přípravou kaučukových směsí až po vulkanizaci pláštěů pneumatik).

Patří sem:

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

Test uniformity – účelem je přesně zhodnotit rovnoměrnosti pneumatiky, která je důležitou podmínkou pro bezpečnou a pohodlnou jízdu, zejména při větších rychlostech, při kterých jsou vibrace způsobené nerovnoměrným rozložením hmoty v pneumatice nepříjemné a nebezpečné [4].

4.1 Zkoušky směsí a polotovarů

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

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

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

4.2 Zkoušky na zkušebně

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

4.2.1 U pneumatik se zejména hodnotí tyto parametry

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

Výše uvedené termíny se měří ve zkušebně běžnými měřicími metodami.

4.2.2 Při měření statických hodnot se zjišťují dále uvedené veličiny

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

4.2.3 V tabulce u otisku jsou uvedeny následující hodnoty zkoušek

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

Měření dosedacího tlaku – je to zkouška sloužící k posouzení velikosti minimálního huštění k dosednutí patek na dosedací plochy ráfku. Používá se převážně jen u pneu-

matik pro motocykly, osobní automobily a traktory. Při zkoušce se postupuje tak, že namontovaný plášť se opatrně hustí a současně se oboustranně kontroluje vzájemná poloha rámeček ráfku a centrovacích rysek na pneumatice. Po úplném dosednutí se změří manometrem hodnota potřebného tlaku. Zkouška se dělá celkem třikrát. Výsledkem jsou tři hodnoty minimálního tlaku potřebného k dosednutí patek na dosedací plochy ráfku.

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

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

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

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

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

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

4.2.4 Při měření dynamických hodnot se zjišťuje

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

Dynamické zkoušky se provádějí na bubnovém zkušebním stroji. Moderní verze zkušebního stroje umožňuje zkoušet několik pneumatik současně. Vyhodnocení zkoušek

provádí počítač. Pro jednotlivé druhy zkoušek platí české státní normy a metodiky. Průběh zkoušek se přesně zaznamenává, obvykle do předepsaných tiskopisů.

Důležitá je zkouška „destrukční“ rychlosti osobních pneumatik, která má význam pro hodnocení bezpečnosti pneumatiky, zejména při rychlé jízdě. Závěrem zkoušky se vyhodnocuje rychlost, při níž došlo k poruše.

4.3 Zkoušky opotřebení

Zkoušky opotřebení se provádějí jak v laboratorních tak v provozních podmínkách. Zatímco laboratorní zkoušky jsou zaměřeny téměř výhradně na jeden efekt a pro každý bývá navrženo zvláštní zařízení a vypracována zvláštní metodika, silniční zkoušky umožňují posuzovat kromě opotřebení větší soubor vlastností důležitých pro provoz daného typu vozidla.

Odolnost proti opotřebení nelze udávat kladnou, ale pouze hodnotou zápornou, tj. ztrátou při frikčním namáhání pryže. Hodnota opotřebení není specifickou vlastností pryže, protože závisí na způsobu a podmínkách, jimiž byla zajišťována. Opotřebení je jev velmi složitý, závislý na mnoha faktorech. Bylo věnováno mnoho práce a úvah k zjištění závislosti na jiných vlastnostech, jichž je opotřebení výslednicí, ale prozatím s malým úspěchem. Je jisté, že např. tvrdost, pevnost, strukturní pevnost, odrazivost atp. mají určitý vztah k opotřebení, tento vztah není však přímý a jednoduchý. Jednou z příčin potíží je např. okolnost, že opotřebení frikčním namáháním se děje často za značně vysokých teplot, kdežto zmíněné statické zkoušky se provádějí za normální teploty.

Laboratorně se určuje ztráta opotřebením nejčastěji tak, že vzorek známé plochy je přitlačován určitým tlakem na pohybující se standardní brusný materiál. Brusným materiálem je buď smirkový papír určitého zrnění, nebo karborundový kotouč. Přístrojů je veliké množství. Liší se tvarem zkušební vzorku, způsobem přitlačování, drahou, po které se vzorek pohybuje, povahou a tvarem brusného materiálu, specifickým tlakem, rychlostí posunu apod.

Výsledky udávají nejčastěji objemovou ztrátou buď za jednotku času, za jistý počet otáček, nebo za jistou dráhu, kterou vzorek na brusném materiálu vykonal. Aby se některé experimentální chyby vzniklé např. nepravidelností brusného prostředku, přepočítává se

ztráta na ztrátu standardní pryže známých hodnot, zkoušené za stejných podmínek. Ztráta standardu klade se 100, ztráta zkoušky vyjadřuje se bezrozměrným číslem vyjadřujícím poměr ztráty standardu a zkoušky. Vyšší číslo, např. 125, značí horší pryž než standard, nižší číslo, např. 85, značí pryž s menším opotřebením.

Pozornost byla také věnována vývoji metod pro testování opotřebenění běhounů pneumatik pracujících v náročných mimo silničních podmínkách. V těchto případech je mechanismus opotřebenění poněkud odlišný. Běhoun není obrušován, ale dochází k postupnému vykusování a vykrajování kousků běhounové pryže ostrými okraji kamenů a dalšími terénními nerovnostmi. Tento efekt bývá v literatuře označován jak Chip – Chunk odolnost. Některé poznatky byly publikovány např. v literatuře.

Vzhledem k rozmanitosti uspořádání přístrojů a k různým zkušebním podmínkám nelze výsledky z jednotlivých přístrojů zpravidla přímo srovnávat.

Laboratorní výsledky jsou dále zkreslovány povahou pryže, obsahuje-li pryž větší množství změkčovadel, která zanášejí brusný materiál a tak snižují frikčního součinitele.

Přes všechny tyto nedostatky jsou laboratorní zkoušky dobrou pomůckou pro kontrolu a vývoj směsí.

Odolnost proti opotřebenění je vlastností v praxi velmi důležitou pro běhouny pneumatik, podrážky, podpadky, dopravní pásy atp. V literatuře je nejvíce zpráv o zkoušení běhounů.

Vzhledem k množství faktorů opotřebenění, které na ně mají vliv, a vzhledem k povaze této vlastnosti vůbec, neshodují se laboratorní výsledky s praktickými výsledky na silnici a dochází někdy k výsledkům protichůdným.

Prozatím musí být zásadou doplnit vývojové laboratorní zkoušky vždy praktickými zkouškami na silnici. Určitého zlepšení vztahu mezi laboratorními a praktickými výsledky se dosahuje extrahováním vzorků před zkouškou azeotropickou směsí ethylalkoholu a toluenu (70:30), čímž se odstraní látky, které mohou při zkoušce měnit součinitele tření brusného materiálu.

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

Odolnost proti 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 díků na 100 dílů kaučuku. Při vyšším plnění sice stoupá tvrdost a modul, ale nezlepšuje se již odolnost proti opotřebení. Pro syntetické kaučuky byly vyrobeny retortové saze s vysokou odolností proti opotřebení. Je to proto, že směsi ze syntetických kaučuků s aktivními sazemi se špatně zpracovávají.

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

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

Opotřebení závisí především na složení směsí – přesněji řečeno na druhu a množství použitých sazí. Podle dosavadních zkušeností stoupá, pokud jde o elastomer, odolnost proti opotřebení v řadě: kaučuk butadien-styrenový, přírodní kaučuk a studený kaučuk.

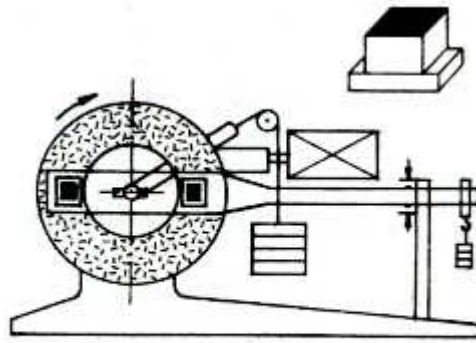
Převulkanizací a stárnutím se odolnost proti opotřebení příliš nemění.

Byla vyvinuta řada přístrojů a metod na zkoušení opotřebení. Patří mezi ně např.:

4.3.1 Metoda du Pont s konstantním třením

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

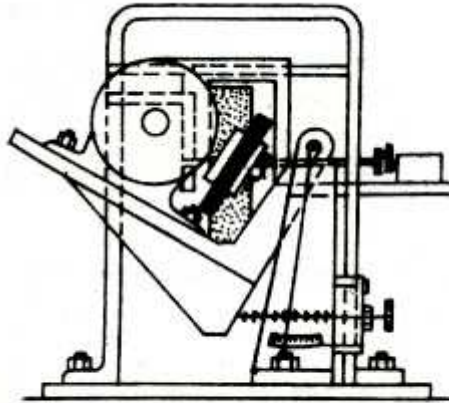
Zkušební tělesa mají průřez čtverce a jsou opatřena patkami pro upnutí. Upevňují se na páku přístroje a při zkoušce jsou přitlačována na odírající prostředek ve tvaru mezikruží konstantním tlakem. Obroušené částičky se při zkoušce plynule odstraňují tlakovým vzduchem. Doba odírání se řídí podle jakosti zkoušeného materiálu. Odolnější se odírají 5 minut, méně odolné 3 minuty. Hmotnostní úbytek zkušebních těles se zjišťuje vážením.



Obr. 12 Přístroj Du pont

4.3.2 Metoda Skroj – Croydon

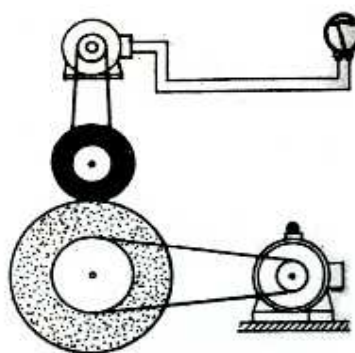
Zkušebním tělesem je dutý kotouč vnějšího průměru 64 mm a tloušťky 12,7 mm. Vnitřní průměr je 43,6 mm. Zhotovuje se lisováním. Zkušební těleso, které se nasunuje na hřídel přístroje, se otáčí rychlostí 250 ot/min. Na ně je tlačěn pod úhlem 15° karborundový kotouč tlakem asi 0,28MPa. Částičky vzniklé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



Obr. 13 Schéma zařízení metody Akron – Croydon

4.3.3 Metoda Dunlop – Lambourn

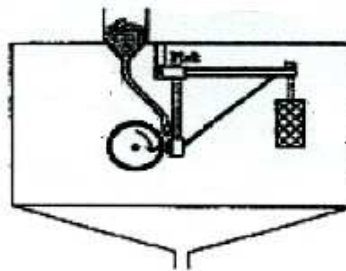
Zkušebním tělesem je dutý kotouč s vnějším průměrem 64 mm, vnitřním průměrem 43,6 mm a tloušťkou 10 mm. Zkušební těleso se otáčí rychlostí 600 ot/min. Na zkušební těleso se přitlačuje korundový kotouč, který má samostatný pohon. V místě styku vzniká vlivem rozdílných otáček prokluz, který má u běžně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



Obr. 14 Příklad na zkoušení opotřebení metodou Dunlop – Lambourn

4.3.4 Dry sand – rubber wheel test (DSRW)

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



Obr. 15 Schéma zařízení pro modifikovaný DSRW test

4.4 Silniční zkoušky

Tyto zkoušky se provádějí na speciálních drahách (polygonech) nebo v běžné silniční komunikaci. Dráha pro zkoušení je až několik desítek kilometrů dlouhá a obsahuje všechny druhy vozovek a terénů, v nichž jsou v praxi pneumatiky užívány. Zkoušení pneumatik na zkušební dráze je finančně nákladné, zejména z hlediska investičních prostředků, které jsou nutné k vybudování této dráhy. Umožňuje však rychlé provádění praktických zkoušek, zjišťování všech jízdních vlastností pneumatik, zejména stability, brzdící vlastnosti, akvaplaning, pohodlnost jízdy a další zkoušky na různých vozovkách a v terénech.

Zkoušení pneumatik v silniční síti je komplikované z hlediska běžného provozu na silniční síti, a provádí se proto zejména v případech, kdy není zkušební dráha k dispozici pro přípravu velkosériové výroby plášťů pneumatik.

Zkoušky na zkušební dráze nebo na silnicích se musí konat podle předepsané metodiky, která musí být důsledně dodržena.

II. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové 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

5 OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pro experimentální ověřování bylo vybráno 8 druhů gumárenských směsí určených pro běhouny silně namáhaných motocyklových plášťů, plášťů pro technická vozidla, zemědělská vozidla a víceúčelová vozidla. Všechny směsi představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány.

Tab. 1 Označení směsí

Směs	Použití
A	Pneumatiky pracující v těžkých p.
B	Pneumatiky pracující v těžkých p.
C	Mimosilniční pneumatiky
D	Mimosilniční pneumatiky
1	Moto/Cross
2	Mimosilniční pneumatiky
3	Pneumatiky pracující v těžkých p.
275	Moto/Cross

5.1 Měření vlastností

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

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

5.1.1 Příprava zkušebních těles

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 [16, 17, 18, 19].

5.1.2 Tahová zkouška

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

Zkušební těleso se vloží do trhacího stroje tak, aby bylo zabezpečeno symetrické upnutí rovnoběžných částí lopatek a aby byl tah rozložen rovnoměrně na příčný průřez tělesa. Spustí se chod stroje a průběžně se zaznamenávají změny pracovní délky zkušebního tělesa a síly po celou dobu zkoušky s přesností +/- 2%. Jmenovitá rychlost příčnicku s pohyblivou upínací čelistí je 500 mm/min. Zkušební těleso, u kterého dojde k přetržení mimo pracovní část, musí být z hodnocení vyřazeno a zkouška se opakuje na dalším zkušebním tělese. Po dobu jedné zkoušky nebo při srovnávacích sériích měření musí být stejná teplota.

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

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

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

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

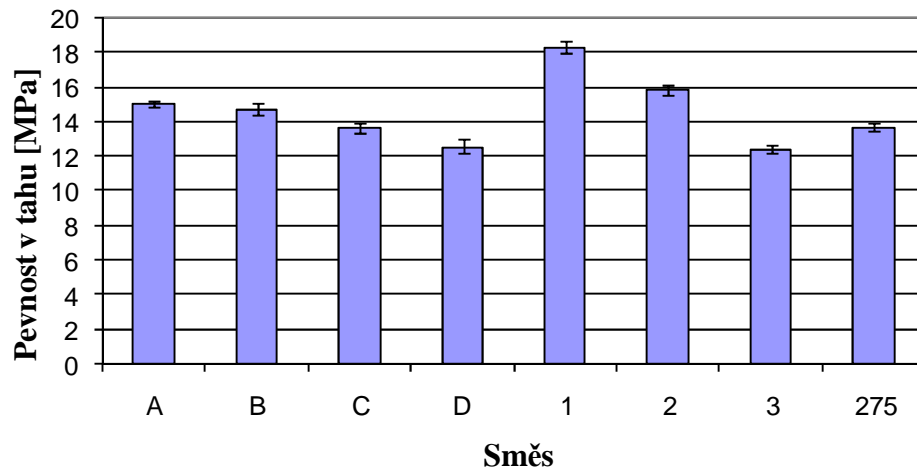
Tažnost je definována jako tahová deformace pracovní délky v okamžiku přetržení

Pro účely přehlednějšího vyhodnocení všech souborů měření je zavedena tzv. bezrozměrná hodnota, definovaná jako podíl příslušné hodnoty k hodnotě maximální. Je označena [-].

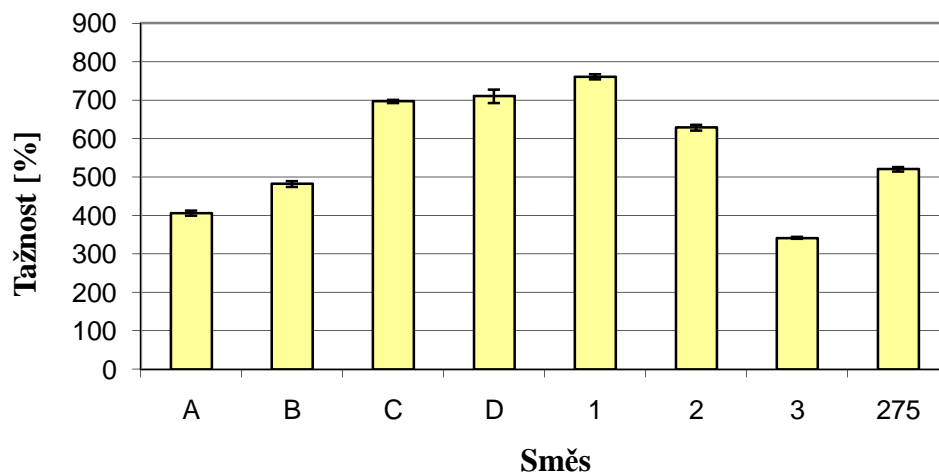
Zkušební tělesa byla připravena a zkouška realizována dle normy [6] na trhacím stroji typ T 2000 v laboratoři Demo room ALFA TECHNOLOGIES při teplotě okolí (21 °C). Pro zkoušku bylo použito vždy 10 zkušebních tělísek a naměřené hodnoty byly zpracovány a statisticky vyhodnoceny. Výsledky zkoušek a protokol z měření jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Tahová zkouška

Směs	Pevnost v tahu [Mpa]	Pevnost v tahu [-]	Tažnost [%]	Tažnost [-]
A	15,012	0,823	405,156	0,533
B	14,663	0,804	481,633	0,634
C	13,600	0,745	696,644	0,917
D	12,506	0,685	709,789	0,934
1	18,247	1,000	759,900	1,000
2	15,843	0,868	628,225	0,827
3	12,372	0,678	341,771	0,450
275	13,683	0,750	520,511	0,685



Obr. 16 Porovnání pevnosti v tahu u jednotlivých směsí



Obr. 17 Porovnání tažností

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu dosahovaly směsi A, 1 a směs 2. Naopak nejmenší hodnoty dosáhly směsi C, D a směs 3.

U tažnosti dosáhly nejvyšší hodnoty směsi C, D a směs 1. Naopak nejmenší hodnoty dosáhly směsi A, B a 3.

5.1.3 Strukturní pevnost

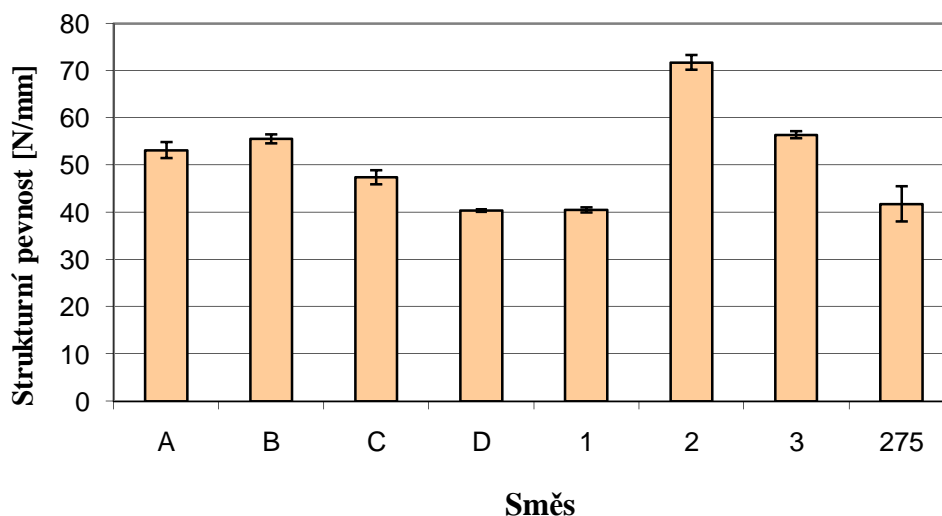
Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhacího stroje, tahem a v měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles. Zkušební tělesa se upevní v čelistech trhacího stroje, rovnoměrně se namáhají tahem při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti 500 +/- 50 mm/min a zaznamenává se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

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

Zkouška byla provedena na trhacím stroji T 2000 v laboratořích Demo room ALFA TECHNOLOGIES na Fakultě technologické. Pro zkoušku bylo použito deseti zkušebních těles, výsledky zkoušek byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Podmínky zkoušky byly stanoveny dle ČSN 621459. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Strukturní pevnost

Směs	Strukturní pevnost [N/mm]	Strukturní pevnost [-]
A	53,182	0,741
B	55,626	0,775
C	47,401	0,660
D	40,373	0,562
1	40,506	0,564
2	71,785	1,000
3	56,416	0,786
275	41,796	0,582



Obr. 18 Porovnání strukturní pevnosti

U strukturní pevnosti dosáhly nejvyšší hodnoty směsi B, 2, a směs 275. Naopak nejmenší hodnoty dosáhly směsi D, 1 a směs 275.

5.1.4 Odrazová pružnost Luepke

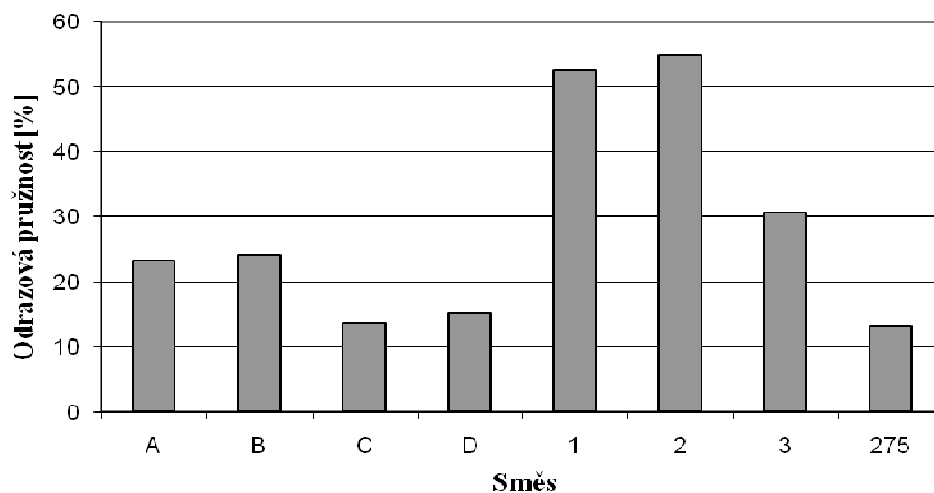
Odrazová pružnost Luepke je definovaná jako poměr energie vrácené k energii dodané při rázu vyjádřená v procentech. Cílem zkoušky je určení schopnosti materiálu absorbovat, případně vracet mechanickou energii při deformaci rázem.

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

Zkouška byla provedena na zařízení typ Luepke v laboratořích firmy Mitas a.s.. U každého vzorku (směsi) bylo provedeno měření vždy desetkrát a to ve třech místech zkušební tělesa byly provedeny tři měření. Naměřené hodnoty byly zpracovány a statisticky vyhodnoceny.

Tab. 4 Odrazová pružnost Luepke

Směs	Odrazová pružnost [%]	Odrazová pružnost [-]
A	23,340	0,425
B	24,190	0,441
C	13,720	0,250
D	15,210	0,277
1	52,550	0,958
2	54,880	1,000
3	30,600	0,558
275	13,240	0,241



Obr. 19 Porovnání odrazové pružnosti Luepke

U odrazové pružnosti Luepke dosáhly nejvyšší hodnoty směsi 1, 2 a směs 3. Naopak nejmenší hodnoty dosáhly směsi C, D a směs 275.

5.1.5 Tvrdość Shore

Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušebního hrotu vtlačovaného do materiálu za specifických podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Tvar hrotu, přítlačná síla a doba vtlačování hrotu do materiálu ovlivňují výsled-

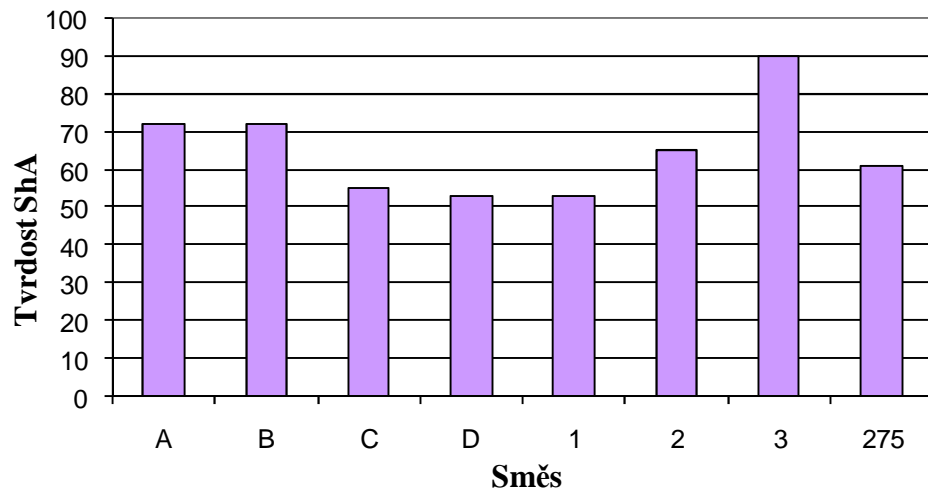
ky měření, takže mezi výsledky získanými na jednom typu tvrdoměru a hodnotami naměřenými na jiném tvrdoměru či jiném přístroji pro měření tvrdosti, není žádný přímý vztah. Pro měření tvrdosti se používají dva typy tvrdoměrů. Tvrdoměr typu A (Shore A) se používá ke stanovení tvrdosti měkčích materiálů a tvrdoměr typu D (Shore D) ke stanovení tvrdosti tvrdších materiálů.

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

Zkouška tvrdosti byla provedena digitálním tvrdoměrem typ HPE – A firmy Ber-iss. U každého vzorku bylo provedeno deset měření. Výsledky byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Měření bylo prováděno při teplotě okolí.

Tab. 5 Tvrdost Shore

Směs	Tvrdost ShA	Tvrdost ShA [-]
A	72,000	0,800
B	72,000	0,800
C	55,000	0,611
D	53,000	0,589
1	53,000	0,589
2	65,000	0,722
3	90,000	1,000
275	60,800	0,676



Obr. 20 Porovnání tvrdosti

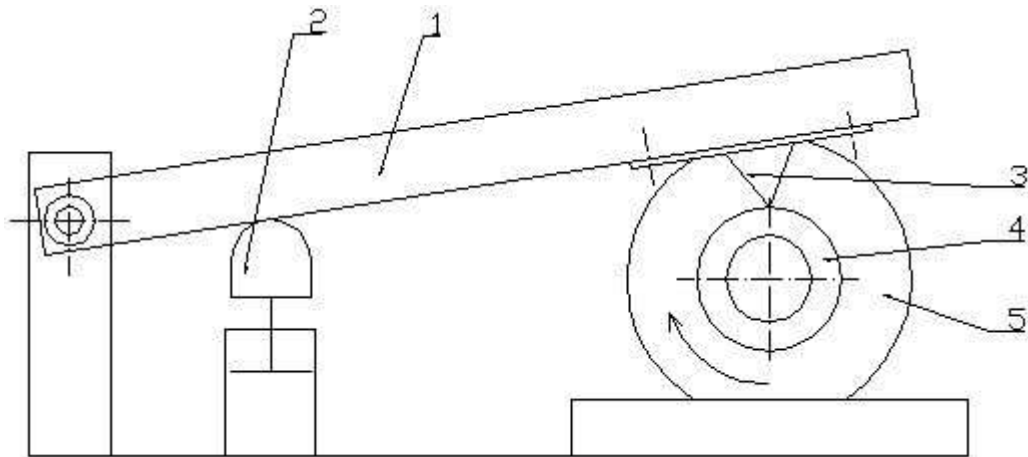
Nejvyšší hodnoty tvrdosti dosáhly směsi A, B a směs 3. Naopak nejmenší hodnoty dosáhly směsi C, D a směs 1.

5.2 Rychlý test opotřebení

Návrh zařízení

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

Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení, jehož princip je znázorněn na obr. 21.



Obr. 21 Schéma měřícího zařízení pro testování opotřebení

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

Princip měřícího zařízení

Rameno otočné okolo čepu je zvedáno pístem pneumatického válce. Na konci ramena je upevněn keramický břit. Po zvednutí rameno padá na rotující zkušební těleso, které je poháněno elektromotorem. Při dopadu ramena na rotující zkušební těleso břit vysekává materiál a tím vytváří ve vzorku drážku. Velikost drážky zhotovené břitem za určitý čas je měřítkem opotřebení. Při návrhu musely být zohledněny následující požadavky:

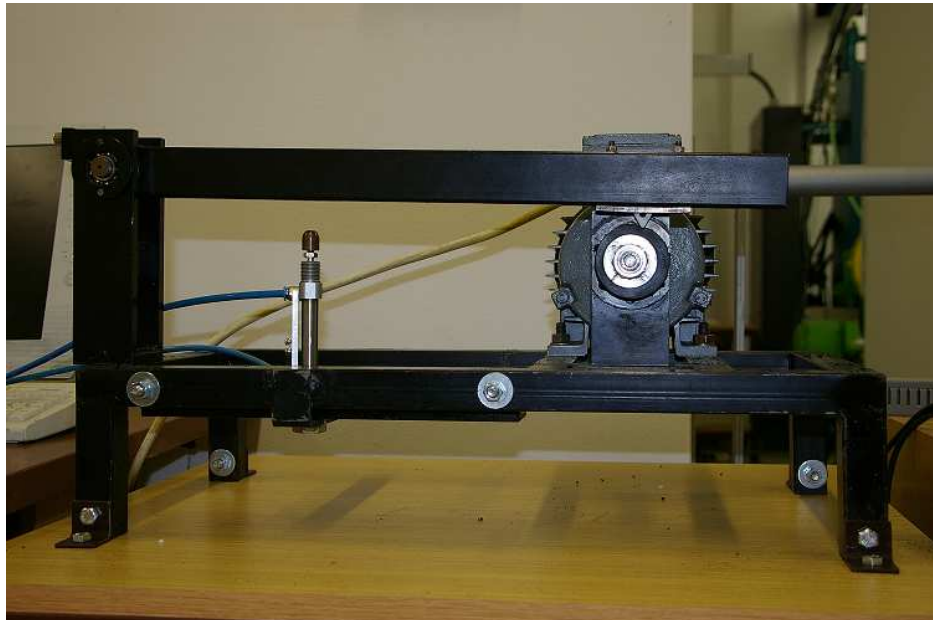
- Otáčky kotoučku (zkušebního tělesa) musí být nastavitelné v širokém rozmezí. Aby byl tento požadavek splněn, byl zvolen pohon elektromotorem s regulací otáček pomocí statického měniče kmitočtů. Tímto řešením odpadla nutnost redukce otáček převodovkou a byla zabezpečena regulace otáček prakticky od 0 do max.otáček. Pro pohon byl použit elektromotor typ 4AP80 – 6s a statický měnič kmitočtů typ Alitivar 08.
- Proměnlivý zdvih ramene. Aby bylo možné realizovat tento požadavek, byl navržen a realizován pneumatický mechanismus tvořený pracovním pístem CD 85N 10 – 50 – B, typ E firmy SMC s možností proměnlivého zdvihu. Pracovní válec je zásobovaný přímo ovládaným ventilem EVK 3120 firmy SMC a proces je řízen řídicí jednotkou FESTO typ FEC – FC20/10W. Proměnlivý zdvih ramene by měl zabezpe-

čovat rozdílnou dopadovou energii, s níž působí břit na testovaný vzorek. Tento způsob regulace dopadové energie se ukázal jako zbytečně komplikovaný. Snadnější způsob řešení představuje regulace výšky zdvihu posuvem pístu.

- Zabezpečit konstantní parametry břitu. Nejdříve byl pro tyto účely navržen břit z nástrojové oceli. Vlivem malé tepelné vodivosti a relativně vysokému abrazivnímu účinku pryží, docházelo k zahřívání a tím velmi rychlému opotřebení a tím ke změnám podmínek experimentu. Z toho důvodu byl odzkoušen keramický břit – upravená břitová destička pro řezné nástroje. Při úpravě byly zbrúšením vytvořeny tři řezné břity s úhlem 60° .

Keramické břity vykazovaly vynikající odolnost proti opotřebení. Pokud nedošlo k poškození břitu neopatrným zacházením, nebyl znatelný rozdíl mezi originální a „opotřebovanou“ destičkou.

Návrh zkušebního zařízení splnil všechny předpokládané požadavky. V průběhu zkoušek se však ukázalo, že některé požadavky by bylo možné řešit snadněji jiným uspořádáním některých částí zkušebního zařízení.

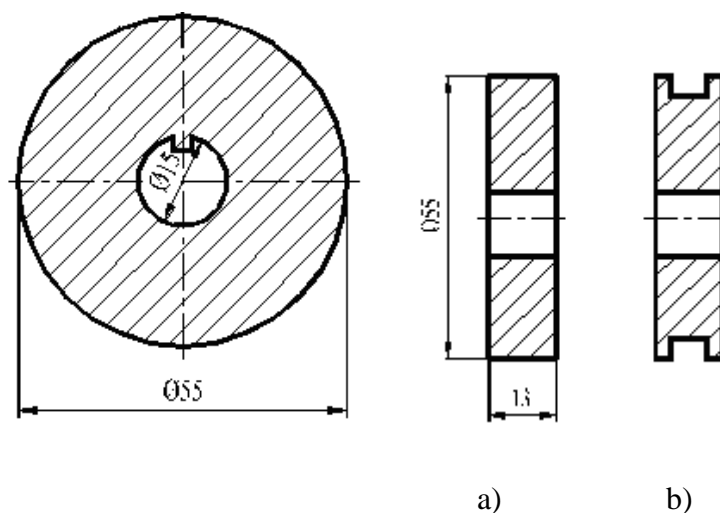


Obr. 22 Zkušební zařízení

Zkušební tělesa

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

V průběhu testu byla do zkušebního tělesa vytvořena (vykousána) keramickým nástrojem drážka. Po zkušenosti s obráběním jiných materiálů zejména kovů, ale i dřeva, plastů aj., by se dalo očekávat, že tvar drážky bude pravidelný. Vzhledem k charakteru obrábění a vlastnostem pryže, u které se výrazně projevil její elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vykusování 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.



Obr. 23 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení

a) před zkouškou, b) po zkoušce

5.2.1 Výsledky měření

- Analýza opotřebení

Na opotřebení bude mít rozhodující vliv energie dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa. Pokud by se jednalo o pevné těleso, bude výpočet účinku dopadové

energie poměrně jednoduchý. Elastické vlastnosti 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.

- **Podmínky experimentu:**

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

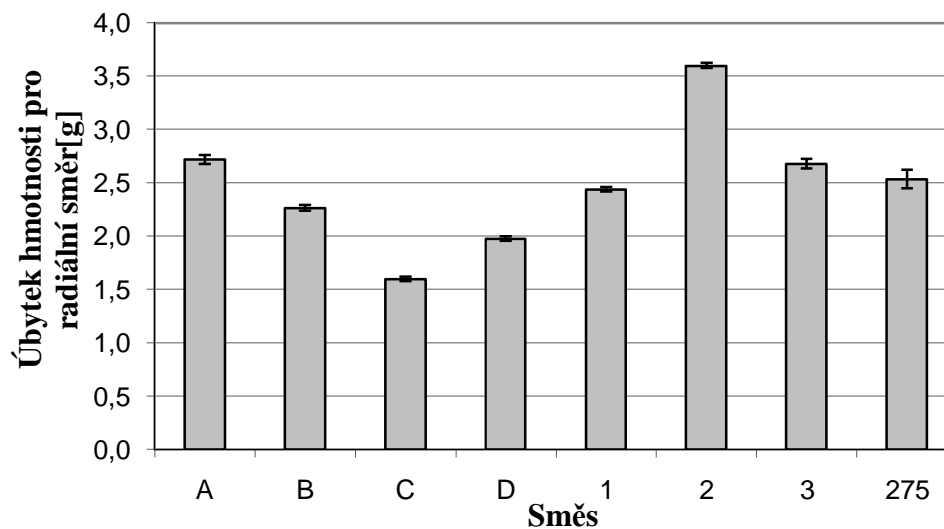
- otáčky zkušební tělesa	910 min ⁻¹
- frekvence dopadu keramického břitu	1 Hz
- zdvih keramického břitu	60 mm
- teplota okolí	21°C
- doba trvání experimentu	180s nebo 90s

Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí stroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a uvedeno do rotace. Byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito 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. Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny v naměřených hodnotách. Zkoušky byly prováděny při dopadu keramického břitu na obvod zkušební tělesa v radiálním a tangenciálním směru.

- Naměřené hodnoty:

Tab. 6 Úbytek hmotnosti dopad bříty v radiálním směru

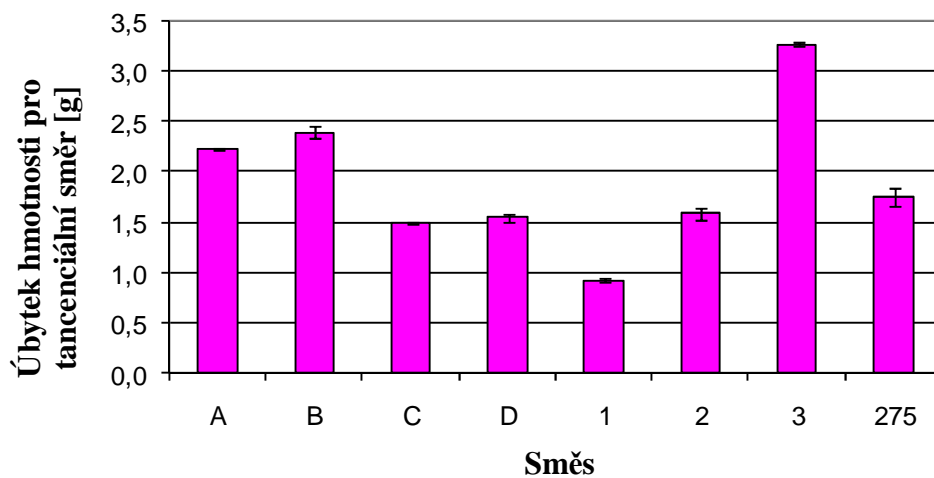
Směs	Úbytek hmotnosti RAD [g]	Úbytek hmotnosti RAD [-]	s
A	2,719	0,755	0,043
B	2,266	0,629	0,026
C	1,598	0,444	0,024
D	1,978	0,550	0,020
1	2,439	0,677	0,020
2	3,600	1,000	0,025
3	2,681	0,745	0,045
275	2,535	0,704	0,089



Obr. 24 Úbytek hmotnosti v radiálním směru

Tab. 7 Úbytek hmotnosti dopad bříty v tangenciálním směru

Směs	Úbytek hmotnosti TAN [g]	Úbytek hmotnosti TAN [-]	s
A	2,226	0,681	0,009
B	2,394	0,733	0,056
C	1,492	0,457	0,015
D	1,546	0,473	0,042
1	0,921	0,282	0,026
2	1,587	0,486	0,060
3	3,267	1,000	0,023
275	1,748	0,535	0,098



Obr. 25 Úbytek hmotnosti v tangenciálním směru

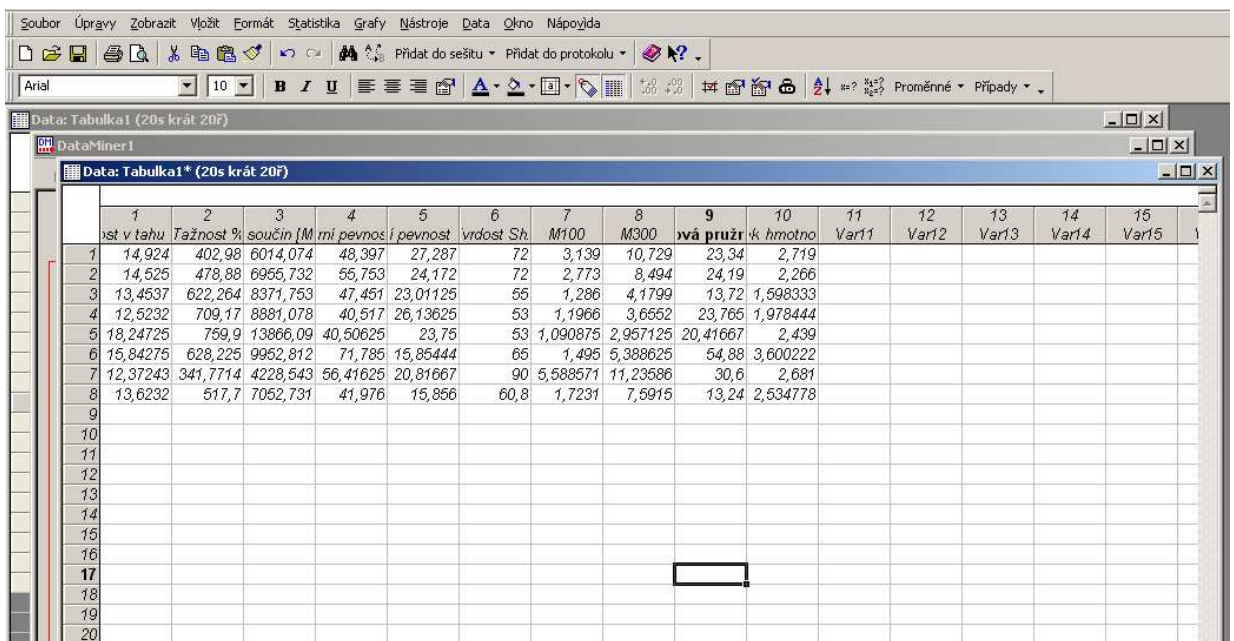
5.2.2 Statistické vyhodnocení výsledků

Naměřené výsledky všech měření byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny. Pro vyhodnocení výsledků měření byl použit program STASTICA (obr. 26). Program umožňuje statisticky vyhodnotit naměřená data v široké škále statistických metod. Vzhledem k tomu, že počet měření nebyl ve všech případech stejný, byly pro vyhodnocování experi-

mentu použity testy neparametrické statistiky. Testy byly provedeny pro naměřený úbytek hmotnosti při radiálním i tangenciálním dopadu keramického břitů na testovanou gumárenskou směs.

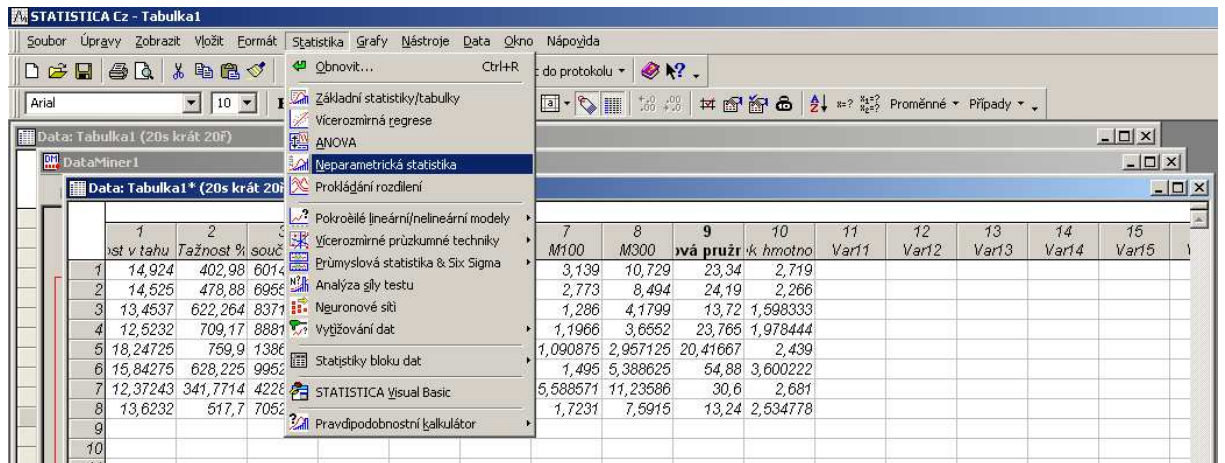
Friedmanův test

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. 27), v nabídce Porovnání více závislých vzorků. Po potvrzení výběru tlačítkem OK se objeví okno Friedmanova testu viz obr.29. Je nutné si uvědomit při provádění Friedmanova testu, že jeho hodnoty každého znaku jsou editovány jako zvláštní proměnná.

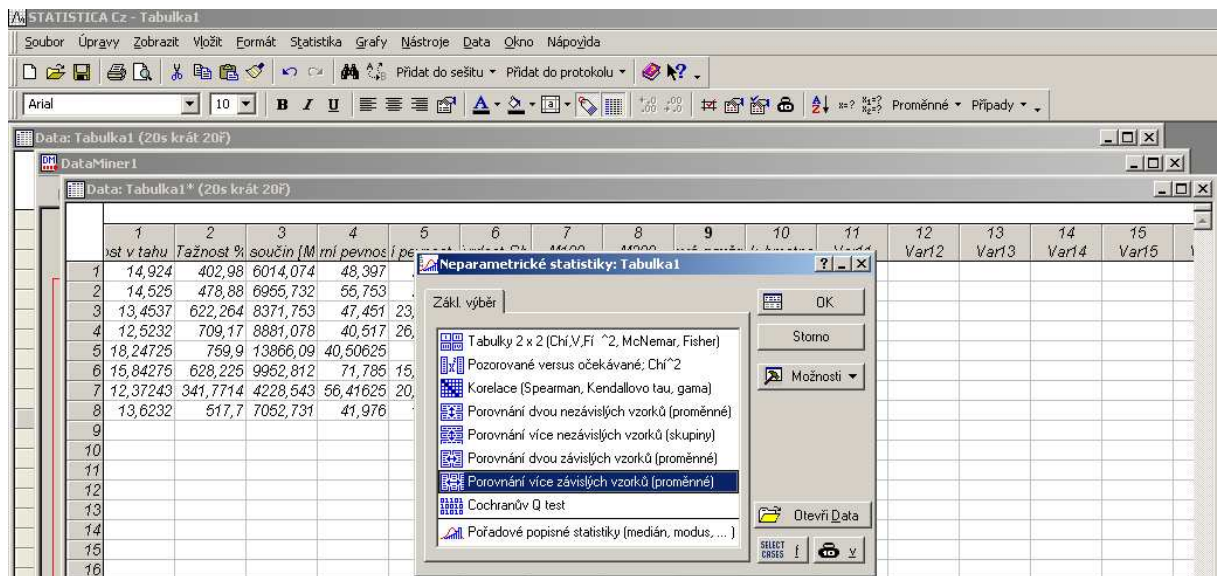


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Úst v tahu	Tažnost %	součin (M	mi pevnos	i pevnost	vrstost Sh	M100	M300	tvá pružn	č hmotno	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15
1	14,924	402,98	6014,074	48,397	27,287	72	3,139	10,729	23,34	2,719					
2	14,525	478,88	6955,732	55,753	24,172	72	2,773	8,494	24,19	2,266					
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. 26 Program Statistica



Obr. 27 Neparametrická statistika



Obr. 28 Porovnání závislých vzorků

The screenshot shows the STATISTICA software interface. The main window displays a data table with 15 columns and 20 rows. The columns are labeled: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. The rows are labeled: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20. A dialog box titled 'Friedmanova ANOVA založená na pořadí: Tabulka1' is open, showing the 'Zákl. výsledky' tab. The 'Proměnné:' field is set to 'žádné'. The 'Výpočet:' field is set to 'Friedmanova ANOVA & Kendallova shoda'. There are buttons for 'Výpočet', 'Storno', and 'Možnosti'.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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	1,588333					
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. 29 Friedmanův test

Nastavíme proměnné a provedeme výpočet kliknutím na tlačítko Výpočet nebo Výpočet: Friedmanova Anova&Kendallova shoda. Výstupní sestava je uvedena na obr.30. 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 nich lze H_0 zamítnout (p). V prvních dvou sloupcích jsou uvedeny hodnoty průměrných pořadí a součtu pořadí hodnot statistického znaku v každém výběru. 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. 30). Pro určení vlivu mechanických vlastností na úbytek hmotnosti testovaných směsí bylo nutno provést Wilcoxonův test (obr. 31). Z jeho výsledků vyplývá výrazný vliv u všech sledovaných mechanických vlastností kromě modulu 100 (M 100).

Pro závěrečnou statistickou analýzu byla použita Spearmanova korelace, která určuje lineární závislost mechanických vlastností na úbytku hmotnosti (obr. 32).

Radiální dopad

STATISTICA Cz - Friedmana CHIP - [Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody (Tabulka1)]

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Statistika Grafy Nástroje Data Pracovní sešit Okno Nápověda

Průměr Sm. Odch.

Data: Tabulka1 (20s krát 20F)

Friedmana CHIP

Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody (Tabulka1)

ANOVA chi-kv. (N = 8, sv = 9) = 70,71818 p < ,00000
 Koeficient shody = ,98220 prům. pořadí r = ,97965

Proměnná	Průměrné pořadí	Součet pořadí	Průměr	Sm. Odch.
Pevnost v tahu [MPa]	4,12500	33,00000	14,439	1,938
Tažnost %	9,00000	72,00000	557,611	147,040
Pevn. součin [MPa*%]	10,00000	80,00000	8165,351	2905,065
Strukturální pevnost N/mm	7,12500	57,00000	50,350	10,700
Strukturální pevnost TR N/mm	5,62500	45,00000	22,110	4,321
Tvrdoost ShA	7,87500	63,00000	65,100	12,697
M100	1,37500	11,00000	2,287	1,532
M300	3,00000	24,00000	6,779	3,210
Odrázová pružnost [%]	5,25000	42,00000	25,519	13,167
Úbytek hmotnosti [g]	1,62500	13,00000	2,477	0,589

Obr. 30 Výstupní sestava Friedmanova testu (radiální dopad)

STATISTICA Cz - Wilcoxon.CHIP - [Wilcoxonův párový test (Tabulka1)]

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Statistika Grafy Nástroje Data Pracovní sešit Okno Nápověda

Průměr Sm. Odch.

Data: Tabulka1 (20s krát 20F)

Wilcoxon.CHIP

Wilcoxonův párový test (Tabulka1)

Označené testy jsou významné na hladině p < ,05000

Dvojice proměnných	Počet platných	T	Z	Úroveň p
Pevnost v tahu [MPa] & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Tažnost % & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Pevn. součin [MPa*%] & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Strukturální pevnost N/mm & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Strukturální pevnost TR N/mm & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Tvrdoost Sha & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
M100 & Úbytek hmotnosti [g]	8	13,00000	0,700140	0,483840
M300 & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Odrázová pružnost [%] & Úbytek hmotnosti [g]	8	0,00000	2,520504	0,011719

Obr. 31 Wilcoxonův test (radiální dopad)

STATISTICA Cz - PS 6* - [Spearmanovy korelace (Tabulka1)]

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Statistika Grafy Nástroje Data Pracovní sešit Okno Nápověda

Data: Tabulka1 (20s krát 20F)

DataMiner1

Data: Tabulka1* (20s krát 20F)

PS 6* - Spearmanovy korelace (Tabulka1)

Spearmanovy korelace (Tabulka1)
ChD vynechány párově
Označ. korelace jsou významné na hl. p <,05000

Proměnná	Úbytek hmotnosti [g]
Pevnost v tahu [MPa]	0,380952
Tažnost %	-0,333333
Pevn. součin [MPa*%]	-0,190476
Strukturální pevnost N/mm	0,571429
Strukturální pevnost TR N/mm	-0,333333
Tvrdost ShA	0,554257
M100	0,500000
M300	0,500000
Odrážová pružnost [%]	0,452381

Obr. 32 Spearmanova korelace (radiální dopad)

Tangenciální dopad

STATISTICA Cz - PS 1* - [Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody (Tabulka1)] - [PS 1* - Friedm

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Statistika Grafy Nástroje Data Pracovní sešit Okno Nápověda

PS 1*

Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody (Tabulka1)
ANOVA chí-kv. (N = 8, sv = 9) = 70,71818 p <,00000
Koeficient shody = ,98220 prům. pořadí r = ,97965

Proměnná	Průměrné pořadí	Součet pořadí	Průměr	Sm. Odch.
Pevnost v tahu [MPa]	4,12500	33,00000	14,439	1,938
Tažnost %	9,00000	72,00000	557,611	147,040
Pevn. součin [MPa*%]	10,00000	80,00000	8165,351	2905,065
Strukturální pevnost N/mm	7,12500	57,00000	50,350	10,700
Strukturální pevnost TR N/mm	5,62500	45,00000	22,110	4,321
Tvrdost ShA	7,87500	63,00000	65,100	12,697
M100	1,62500	13,00000	2,287	1,532
M300	3,00000	24,00000	6,779	3,210
Odrážová pružnost [%]	5,25000	42,00000	25,519	13,167
Úbytek hmotnosti TD[g]	1,37500	11,00000	1,883	0,721

Obr. 33 Výstupní sestava Friedmanova testu (tangenciální dopad)

STATISTICA Cz - [PS 1* - Wilcoxonův párový test (Tabulka1)]

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Statistika Grafy Nástroje Data Pracovní sešit Okno Nápověda

Arial 10 B I U

PS 1*
Neparametrická
Dialog Friedm
Friedma
Dialog nepar
Wilcoxo

Wilcoxonův párový test (Tabulka1)
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$

Dvojice proměnných	Počet platných	T	Z	Úroveň p
Pevnost v tahu [MPa] & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Tažnost % & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Pevn. součin [MPa*%] & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Strukturní pevnost N/mm & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Strukturní pevnost TR N/mm & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Tvrdoost ShA & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
M100 & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	10,00000	1,120224	0,262619
M300 & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719
Odrážová pružnost [%] & Úbytek hmotnosti TD[g]	8	0,00000	2,520504	0,011719

Obr. 34 Wilcoxonův test (tangenciální dopad)

STATISTICA Cz - [PS 2* - Spearmanovy korelace (Tabulka1)]

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Statistika Grafy Nástroje Data Pracovní sešit Okno Nápověd.

Arial 10 B I U

PS 2*
Neparametrická
Dialog nepa
Spearm.
Spearm.

Spearmanovy korelace (Tabulka1)
ChD vynechány párově
Označ. korelace jsou významné na hl. $p < ,05000$

Proměnná	Úbytek hmotnosti TD[g]
Pevnost v tahu [MPa]	-0,357143
Tažnost %	-0,904762
Pevn. součin [MPa*%]	-0,880952
Strukturní pevnost N/mm	0,666667
Strukturní pevnost TR N/mm	0,000000
Tvrdoost ShA	0,927778
M100	0,952381
M300	0,952381
Odrážová pružnost [%]	0,452381

Obr. 35 Spearmanova korelace (tangenciální dopad)

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

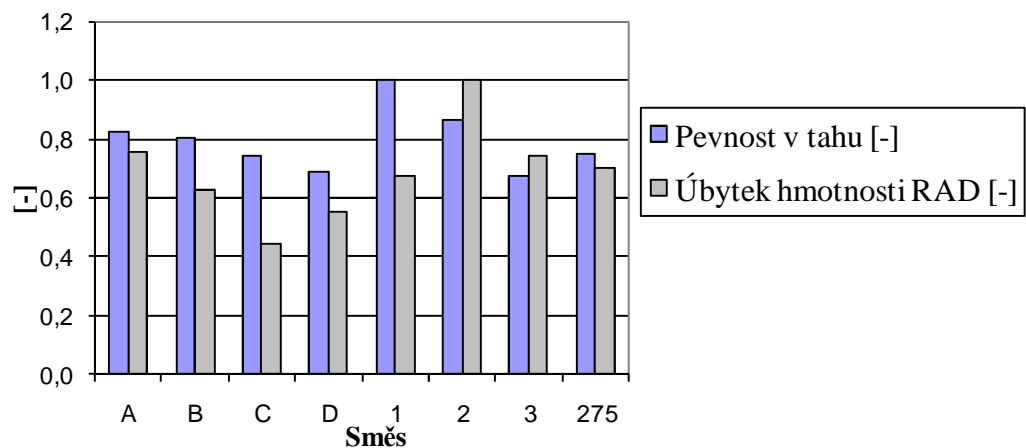
V experimentální části bylo použito osm druhů pryžových dílů. U těchto osmi druhů bylo provedeno měření opotřebení. Ve všech případech se jednalo o pryžové díly, které se používají při výrobě reálných pneu.

Výsledky získané z rychlého testu opotřebení byly zpracovány a poté jsme je porovnávali s mechanickými vlastnostmi směsí a zkoumali jsme souvislosti využitelné pro praktické posuzování opotřebení pneumatik. Charakteristikou pro rychlý test opotřebení byl úbytek hmotnosti zkušebního tělesa.

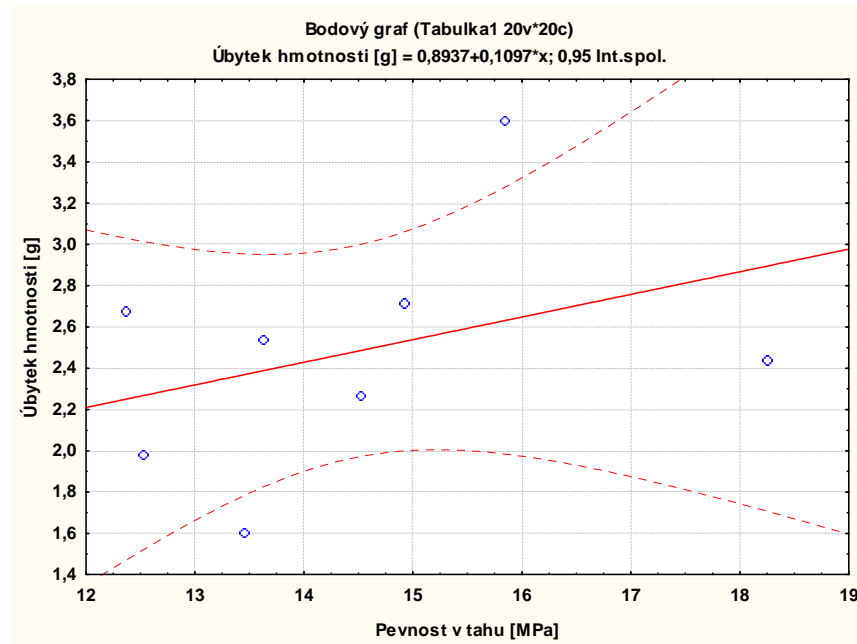
Po zpracování naměřených hodnot byly výsledky zpracovány v grafech. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření. Zároveň byl každý graf doplněn statistickým grafem, jenž ukazuje míru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

6.1 Vyhodnocení výsledků pro radiální směr

Pevnost v tahu



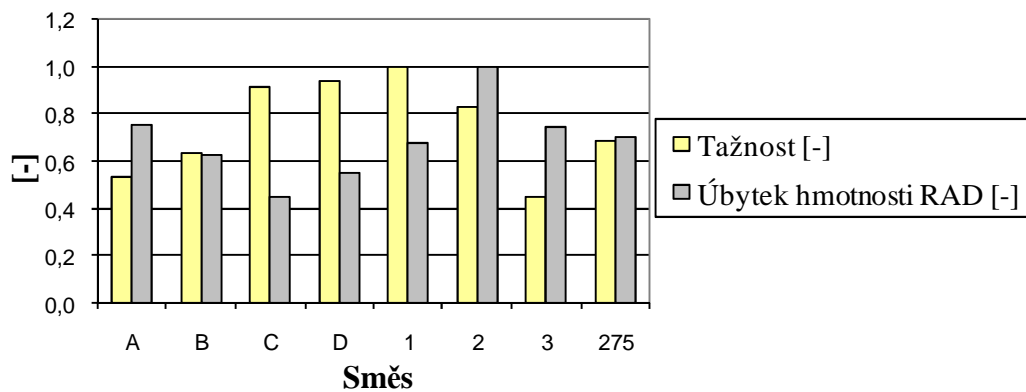
Obr. 36 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení



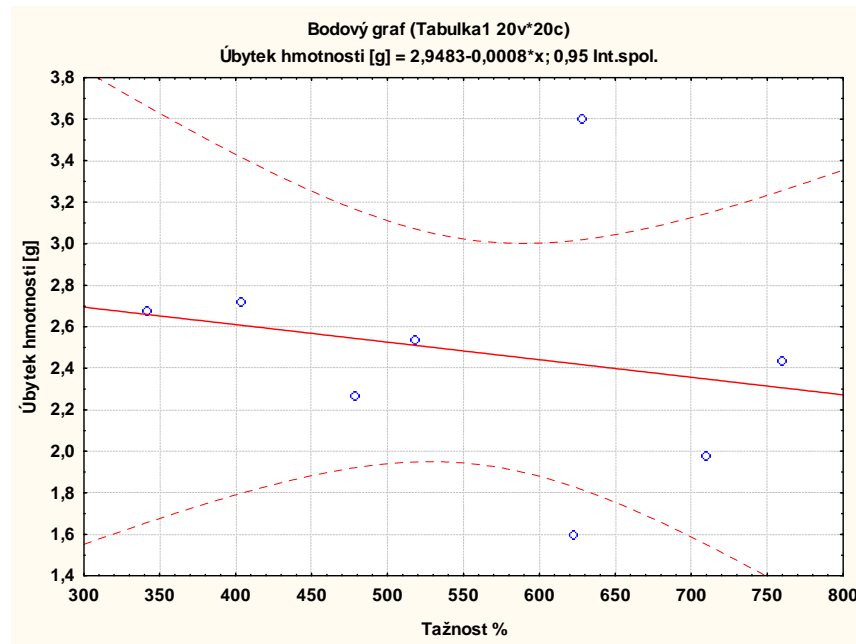
Obr. 37 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot pevnosti v tahu bylo dosaženo u směsi 1 a směsi 2. Nejmenších hodnot pevnosti v tahu bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 3. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Z grafu není patrná významnější závislost mezi pevností v tahu a opotřebením. To potvrdil graf statistické závislosti (obr. 37) i Spearmanovy korelace (obr. 32), kde při analýze vyšel koeficient korelace 38%.

Tažnost



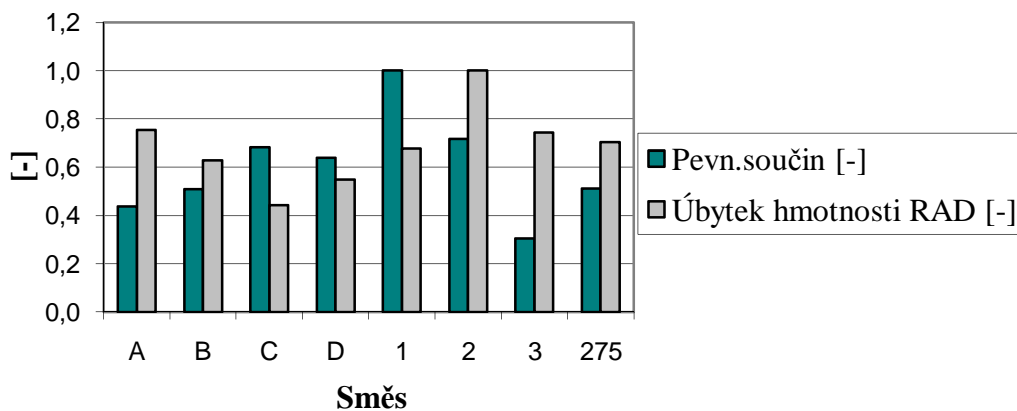
Obr. 38 Porovnání tažnosti a opotřebení



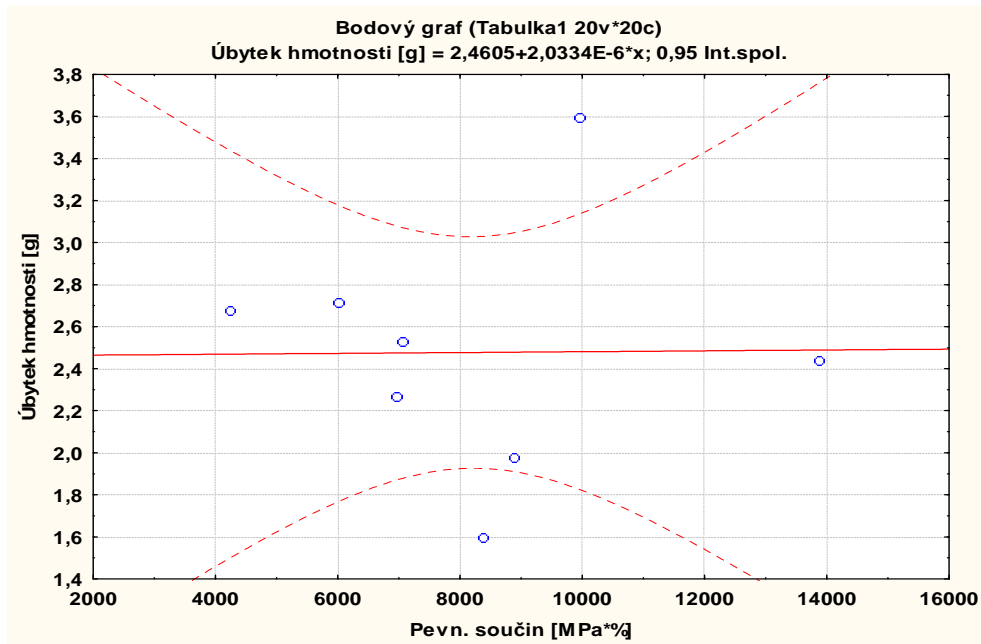
Obr. 39 Porovnání tažnosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot tažnosti bylo dosaženo u směsi D a směsi 1. Nejmenších hodnot tažnosti bylo zaznamenáno u směsi A a směsi 3. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Závislost mezi opotřebením reprezentovaným úbytkem hmotnosti a tažností není prokázána. Při pohledu na graf statistického vyhodnocení (obr. 39) je rovněž patrné, že závislost není významná. To potvrdila také Spearmanova korelace (obr. 32), kde při analýze vyšel koeficient korelace 33,3%.

Pevnostní součín



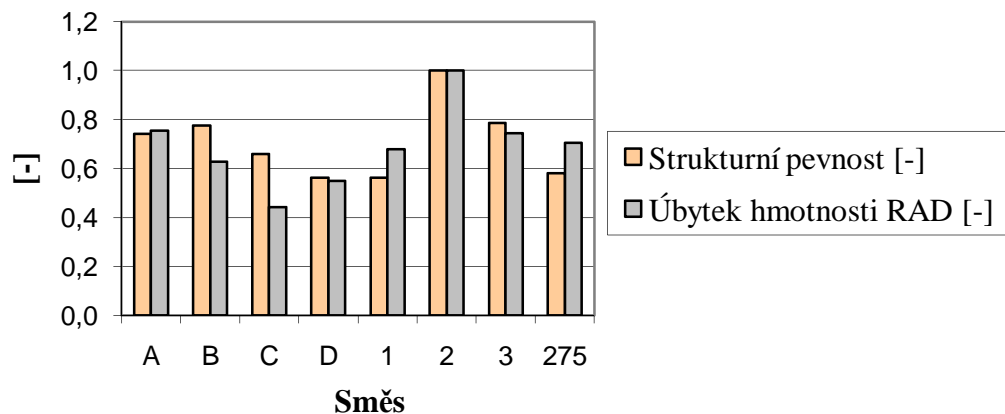
Obr. 40 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení



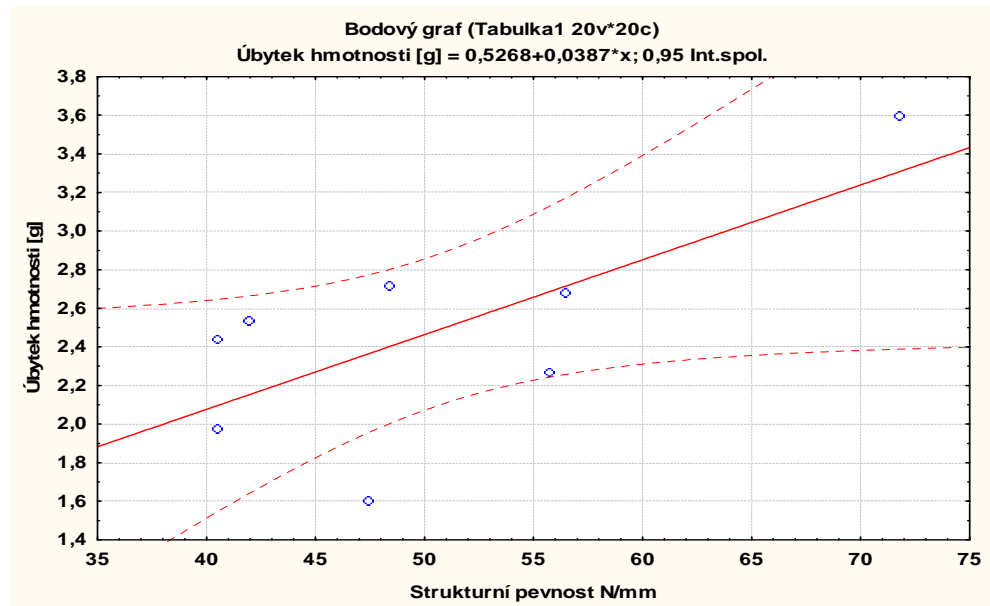
Obr. 41 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot pevnostního součinu bylo dosaženo u směsi 1 a směsi 2. Nejmenších hodnot pevnostního součinu zaznamenáno u směsi A a směsi 3. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Pevností součin nám udává práci potřebnou pro přetržení zkušebního tělíska. Předpokládali jsme, že právě hodnoty pevnostního součinu budou korelovat s opotřebením. Při pohledu na grafické znázornění vidíme, že korelace s opotřebením nebyla prokázána, což potvrdil nejen statistický graf (obr. 41), ale i Spearmanova korelace (obr. 32), kde koeficient korelace dosáhl pouze 19%.

Strukturní pevnost



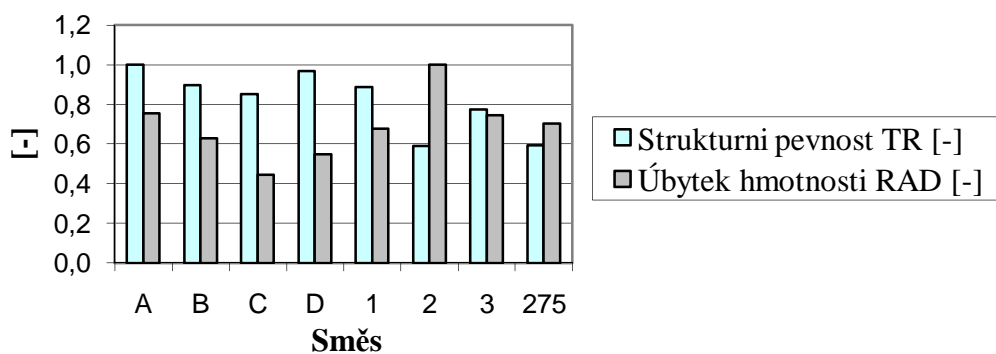
Obr. 42 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení



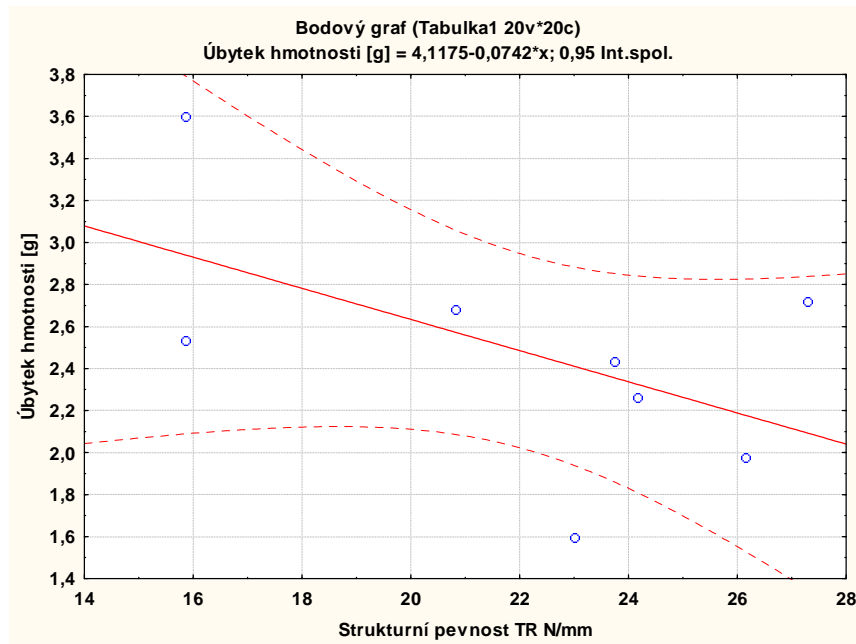
Obr. 43 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot strukturní pevnosti bylo dosaženo u směsi 2 a směsi 3. Nejmenších hodnot strukturní pevnosti bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. U klasické strukturní pevnosti vyplývá určitá závislost s opotřebením, jak je patrné z obr. 42. Při bližším pohledu na grafické znázornění je zřetelná závislost mezi nejvyšší mírou opotřebení a nejvyššími hodnotami strukturní pevnosti. U směsi s nejmenším opotřebením není závislost se strukturní pevností příliš zřetelná. Ze statistického grafu (obr. 43) a z Spermanovy korelace (obr. 32) je patrná vyšší míra korelace, která má hodnotu 57%.

Strukturní pevnost TR



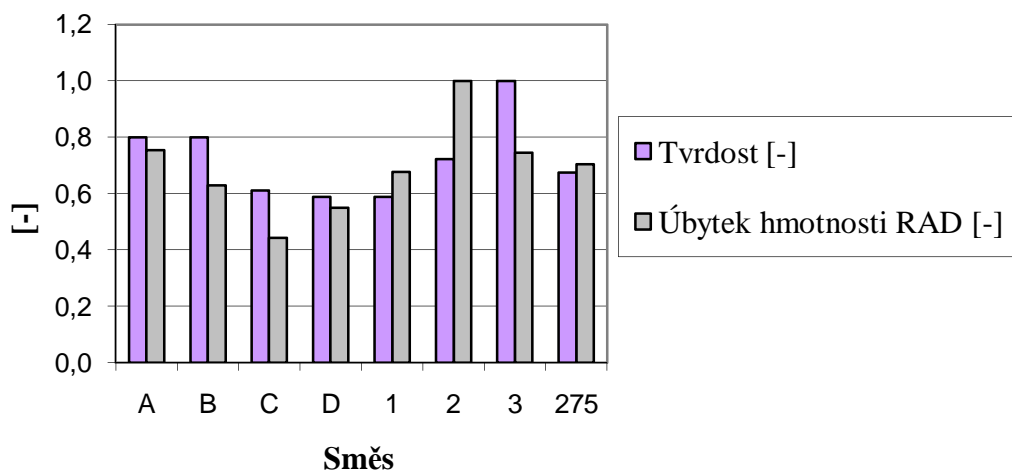
Obr. 44 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení



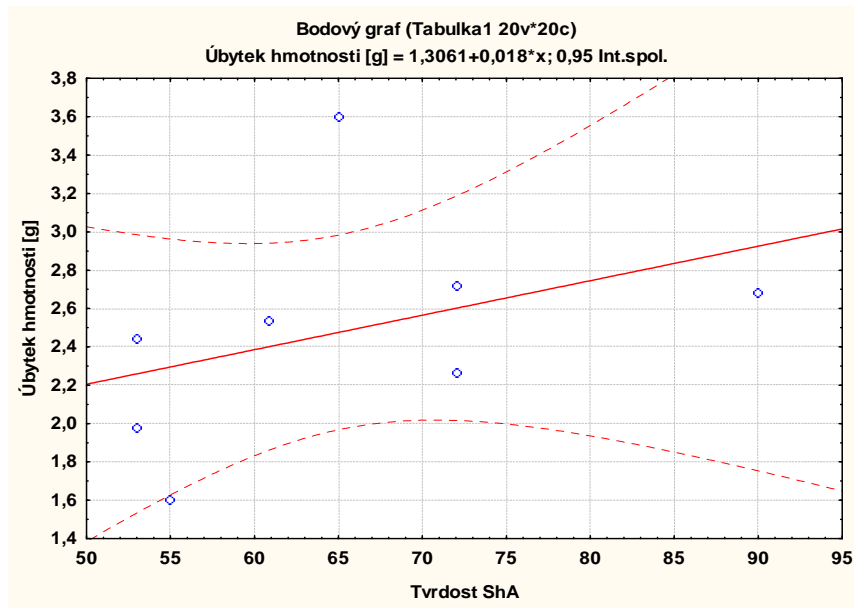
Obr. 45 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot strukturní pevnosti TR bylo dosaženo u směsi A a směsi D. Nejmenších hodnot strukturní pevnosti TR bylo zaznamenáno u směsi 2 a směsi 275. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. U vztahů mezi strukturní pevností a úbytkem hmotnosti nebyla prokázána přímá korelace, jak je patrné z obr. 44. Také statistický graf (obr. 45) a Speamanovy korelace (obr. 32) potvrzují nízkou míru korelace. Koefficient korelace zde dosáhl pouze 33%.

Tvrдост



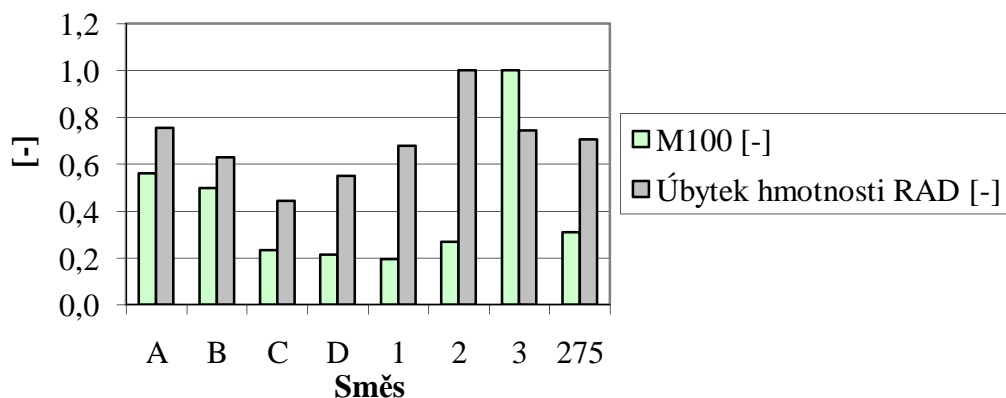
Obr. 46 Porovnání tvrdosti a opotřebení



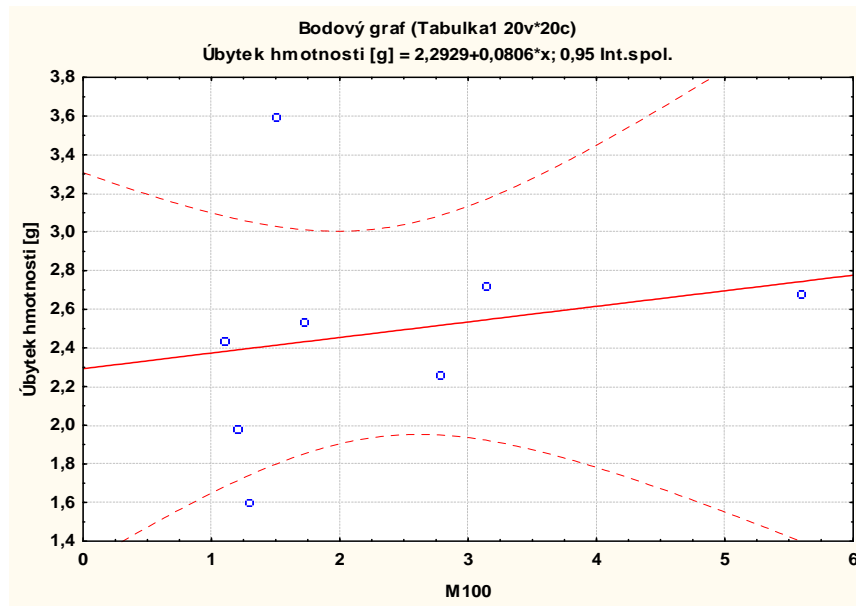
Obr. 47 Porovnání tvrdosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot tvrdosti bylo dosaženo u směsi A, B a směsi 3. Nejmenších hodnot tvrdosti bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Z obr. 46 je zřejmé, že mezi tvrdostí a opotřebením je viditelná závislost. Při pohledu na nejnižší hodnoty opotřebení vidíme korelaci s nejnižšími hodnotami tvrdosti. Naopak u směsi s největším opotřebením jsou patrné také hodnoty s nejvyšší tvrdostí. To potvrzuje také statistický graf (obr. 47) a Spearanovy korelace (obr. 32), kde bylo dosaženo koeficientu korelace 55%.

M100



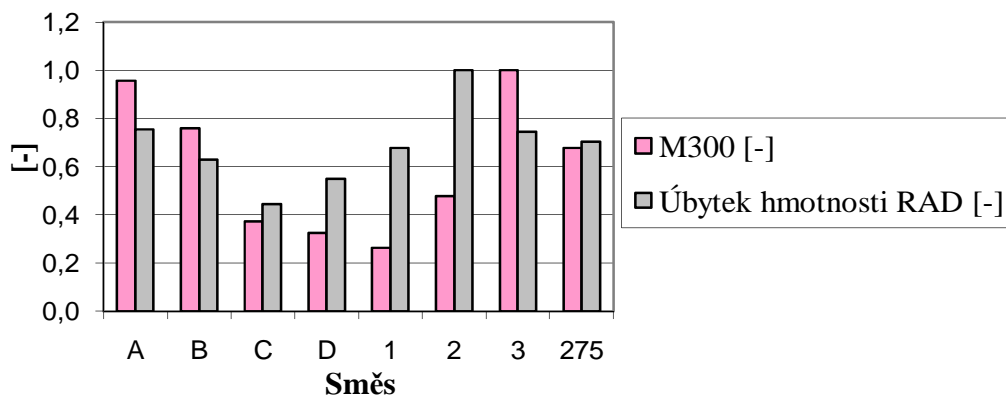
Obr. 48 Porovnání M100 a opotřebení



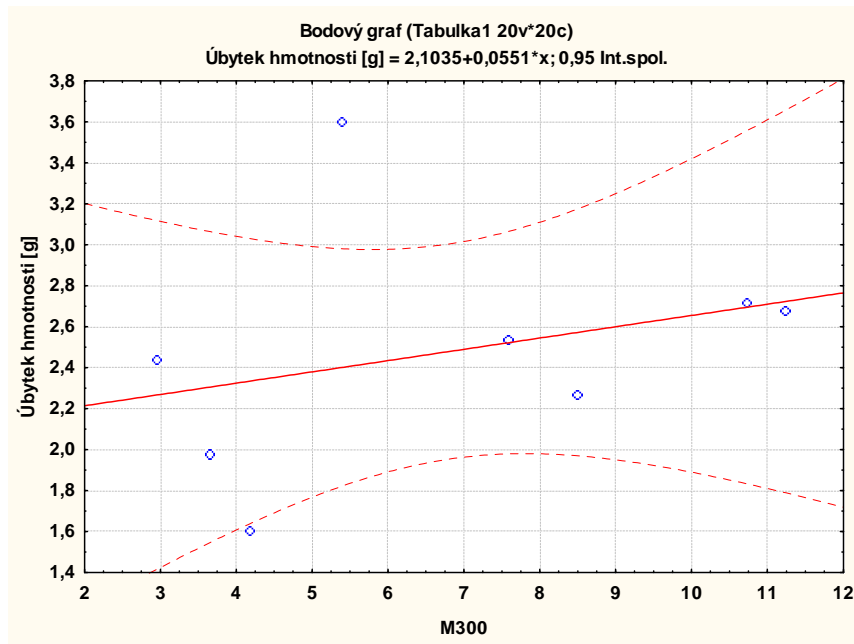
Obr. 49 Porovnání M100 a opotřebení (statistika)

Nevyšších M100 bylo dosaženo u směsi A a směsi 3. Nejmenších hodnot M100 bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Vztah mezi modulem 100 a opotřebením je patrný zejména u jejich nejnižších hodnot. Směsi s nejnižším opotřebením vykazují také nejnižší hodnoty M100. Naopak směsi s vyšším opotřebením nevykazují v plné míře nejvyšší hodnoty M100. Ze statistického grafu (obr. 49) a Spearmanovy korelace (obr. 32) však vyplývá vyšší lineární závislost mezi M100 a opotřebením. Koeficient korelace je zde 50%.

M300



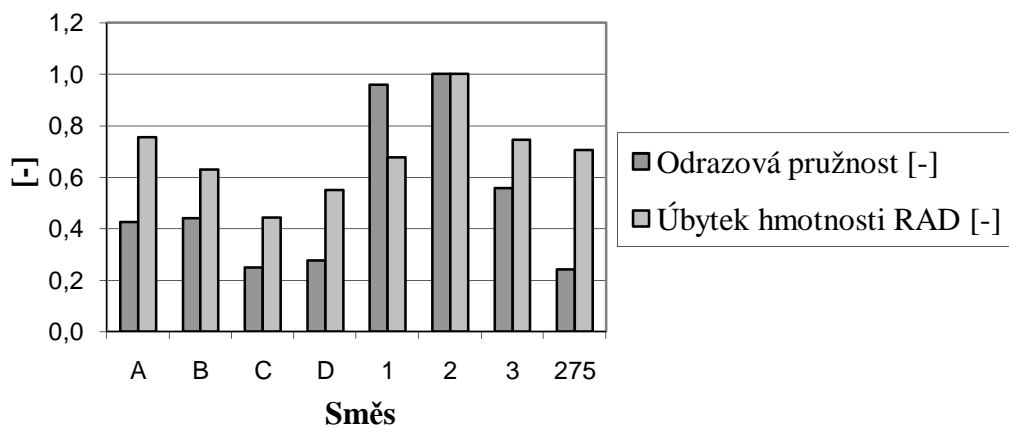
Obr. 50 Porovnání M300 a opotřebení



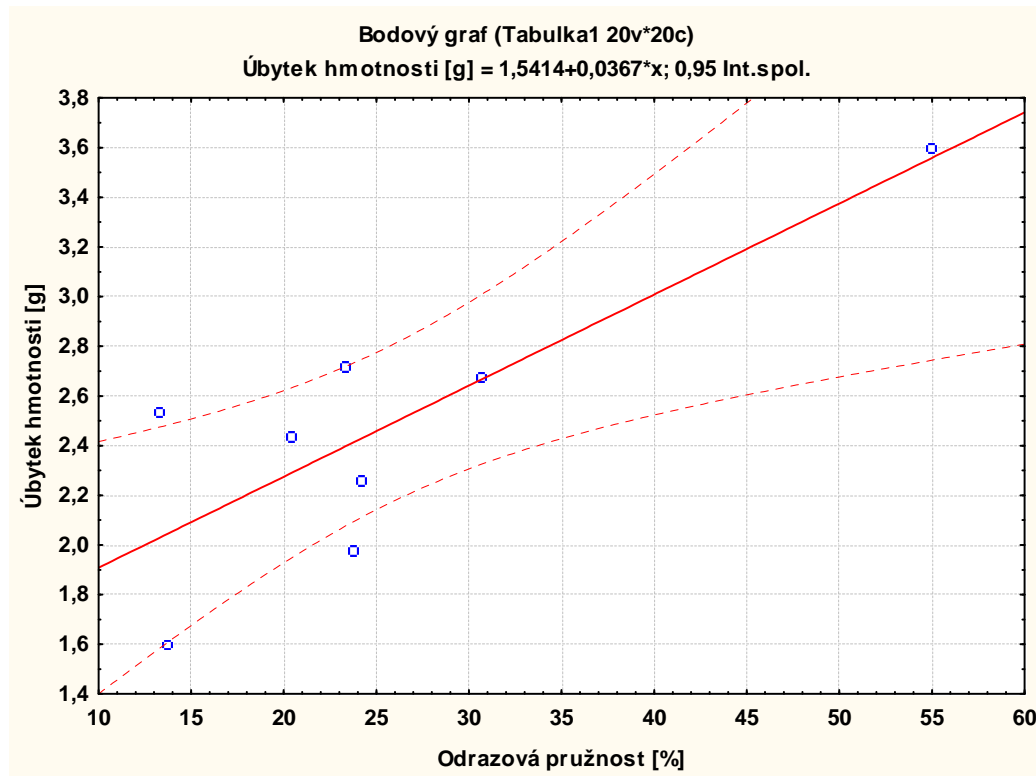
Obr. 51 Porovnání M300 a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot M300 bylo dosaženo u směsi A a směsi 3. Nejmenších hodnot M300 bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Z obr. 50 vyplývá obdobná situace jako u M100. Ze statistického grafu (obr. 51) a Spearmanovy korelace (obr. 32) vyplývá vyšší míra korelace. Koeficient korelace je zde 50%.

Odrážová pružnost



Obr. 52 Porovnání odrážové pružnosti a opotřebení



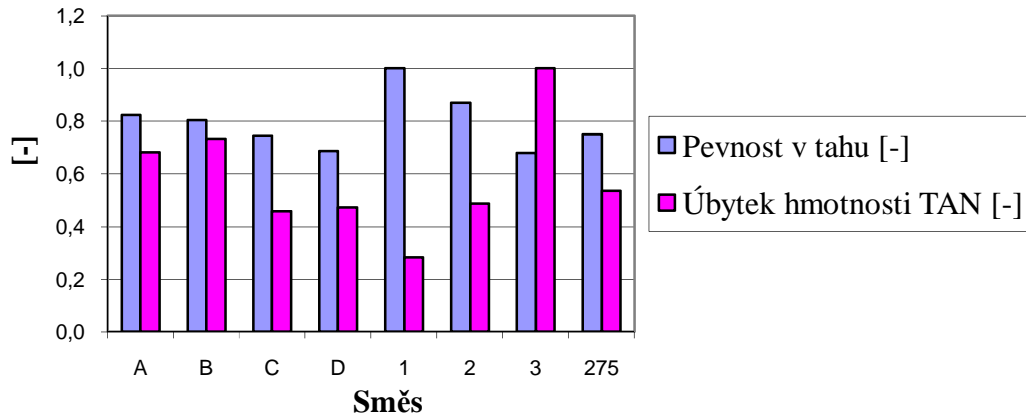
Obr. 53 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot odrazové pružnosti bylo dosaženo u směsi A a směsi 2. Nejmenších hodnot odrazové pružnosti bylo zaznamenáno u směsi C a směsi 275. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi D. Z obr. 52 je patrná závislost odrazové pružnosti na opotřebení u směsi s nejnižšími hodnotami, jak opotřebení tak odrazové pružnosti. U směsi z největší hodnotou odrazové pružnosti je patrná také určitá závislost. Ze statistické analýzy a grafu však vyplývá závislost, kde koeficientem korelace je 45%.

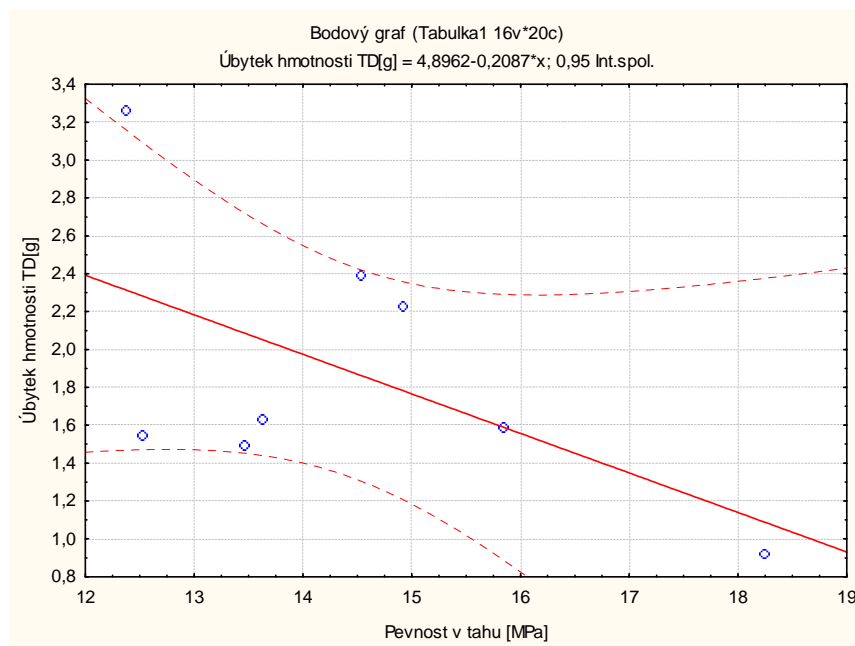
Z uvedených výsledků vyplývá určitá lineární závislost opotřebení na mechanických vlastnostech při radiálním dopadu keramického břitu. Radiální dopad keramického břitu sebou nese však určitá specifika. Břit dopadá na zkušební tělíčko v místě, kde se část zkušební tělíčka opírá o kovovou část hřídele. Mechanismus dopadu a tudíž i mechanismus opotřebení je zde odlišný než u tangenciálního dopadu. Proto míra korelace opotřebení s mechanickými vlastnostmi zkušební tělíčka bude odlišná. Nejvyšší míry korelace bylo dosaženo u strukturní pevnosti a tvrdosti, což potvrzuje předpoklad, že tvrdší směs se bude snadno opotřebovat, než-li směs s menší tvrdostí. Rovněž strukturní pevnost bude při opotřebení směsi hrát významnou roli.

6.2 Vyhodnocení hodnot pro tangenciální směr

Pevnost v tahu



Obr. 54 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení

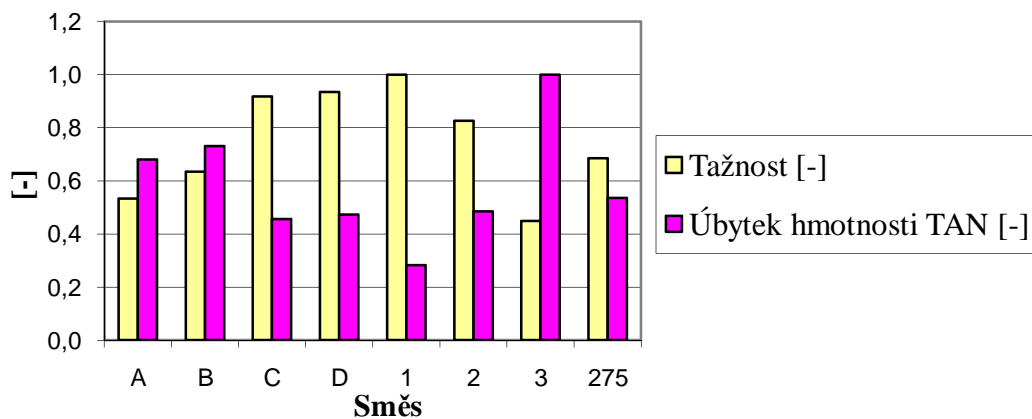


Obr. 55 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (statistika)

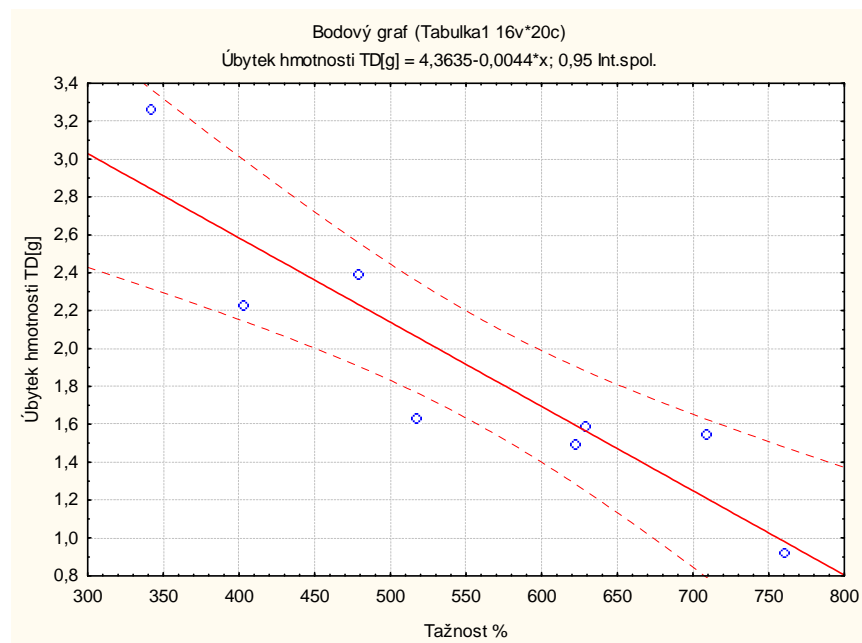
Nevyšších hodnot pevnosti v tahu bylo dosaženo u směsi 1 a směsi 2. Nejmenších hodnot pevnosti v tahu bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 3. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Vztah mezi pevností v tahu a opotřebením zde nebyl

v plné míře prokázán, jak ukazuje obr. 54. Rovněž statistický graf (obr. 55) a Spearmanovy korelace (obr. 35) nepotvrdily významnou závislost. Koeficient korelace je zde pouze 35%.

Tažnost



Obr. 56 Porovnání tažnosti a opotřebení

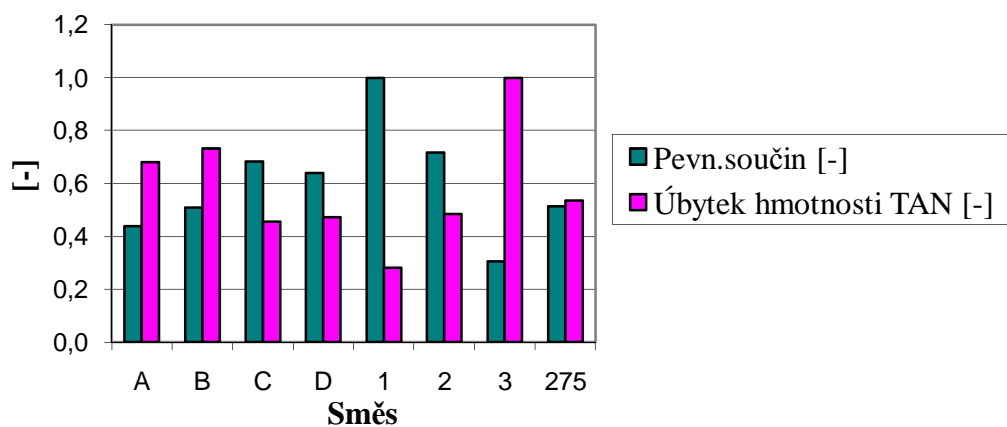


Obr. 57 Porovnání tažnosti a opotřebení (statistika)

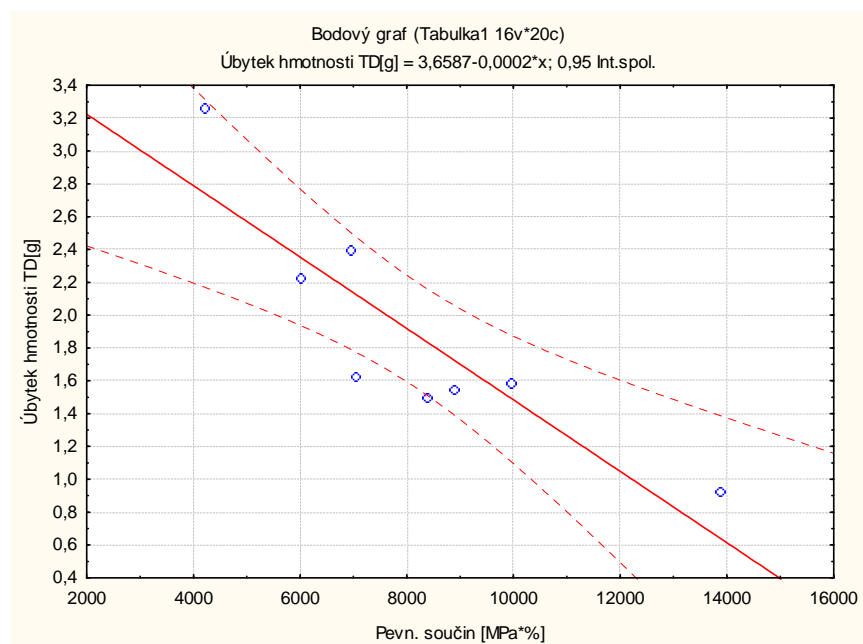
Nevyšších hodnot tažnosti bylo dosaženo u směsi D a směsi 1. Nejmenších hodnot tažnosti bylo zaznamenáno u směsi A a směsi 3. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u

směsi C a směsi 1. Jak je patrné z obr. 56 směsi z nejnižší mírou opotřebení dosahují nejvyšších hodnot tažnosti. Směsi s nejvyššími hodnotami opotřebení vykazují nejnižší hodnoty tažnosti. Je zde viditelná vysoká míra korelace mezi tažností a opotřebením. Pro potvrzení byla provedena Spearmanova korelace (obr. 35) a vytvořen statistický graf (obr. 57). Ty potvrdily velmi vysokou míru korelace mezi tažností a opotřebením, kdy koeficient korelace dosáhl hodnoty 90%.

Pevností součín



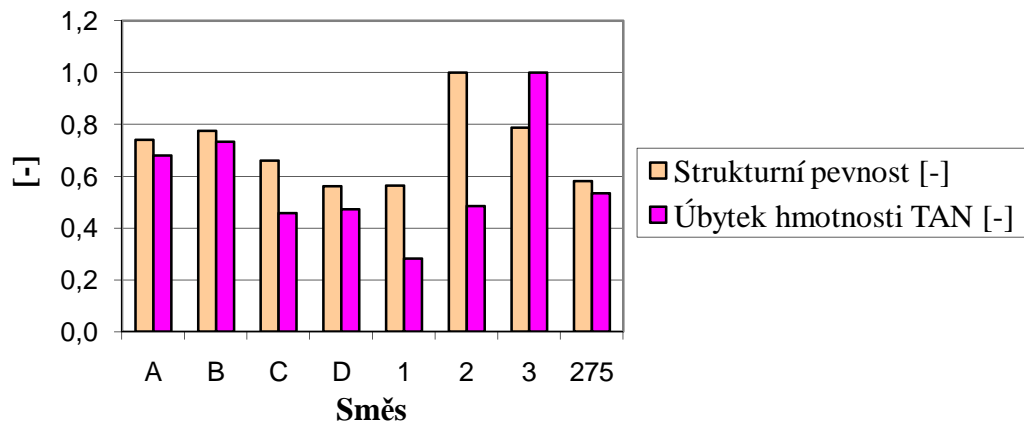
Obr. 58 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení



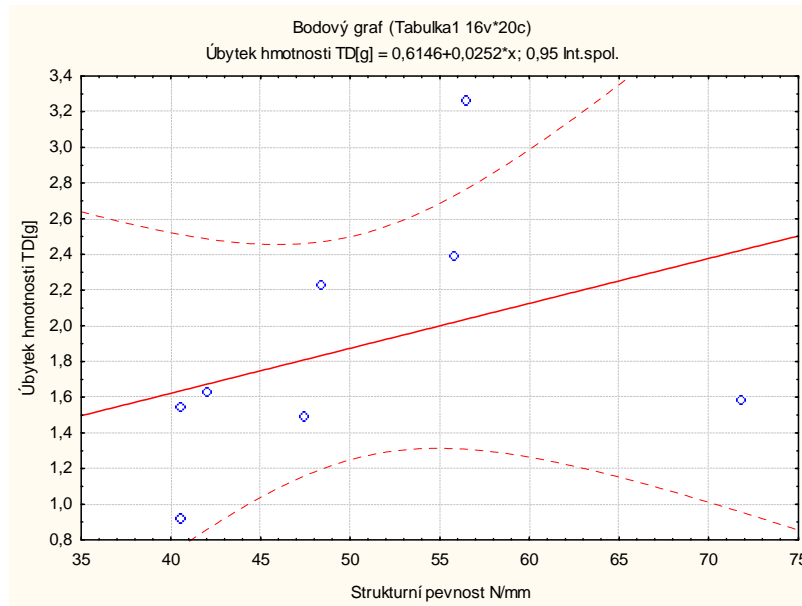
Obr. 59 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot pevnostního součinu bylo dosaženo u směsi 1 a směsi 2. Nejmenších hodnot pevnostního součinu bylo zaznamenáno u směsi A a směsi 3. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Jak je vidět na obr. 58 směsi s vysokou mírou opotřebení vykazují velmi nízké hodnoty pevnostního součinu. Naopak směsi s nízkou mírou opotřebení vykazují vysoké hodnoty pevnostního součinu. Pevnostní součin představuje energii potřebnou k přetržení zkušebního tělíška. Zde vidíme, že u směsi s vysokou mírou opotřebení je třeba použít na vytvoření první trhliny daleko menší množství energie, než-li je tomu u směsi s nízkým opotřebením. Pro potvrzení byl vytvořen statistický graf (obr. 59) a provedena Spearmanova korelace (obr. 35), která potvrdila vysokou míru závislosti opotřebení na pevnostním součinu. Koeficient korelace je zde 88%.

Strukturní pevnost



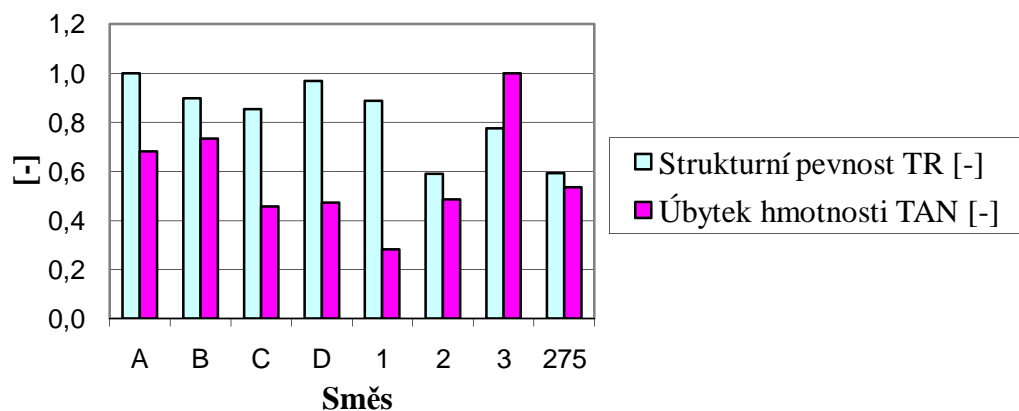
Obr. 60 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení



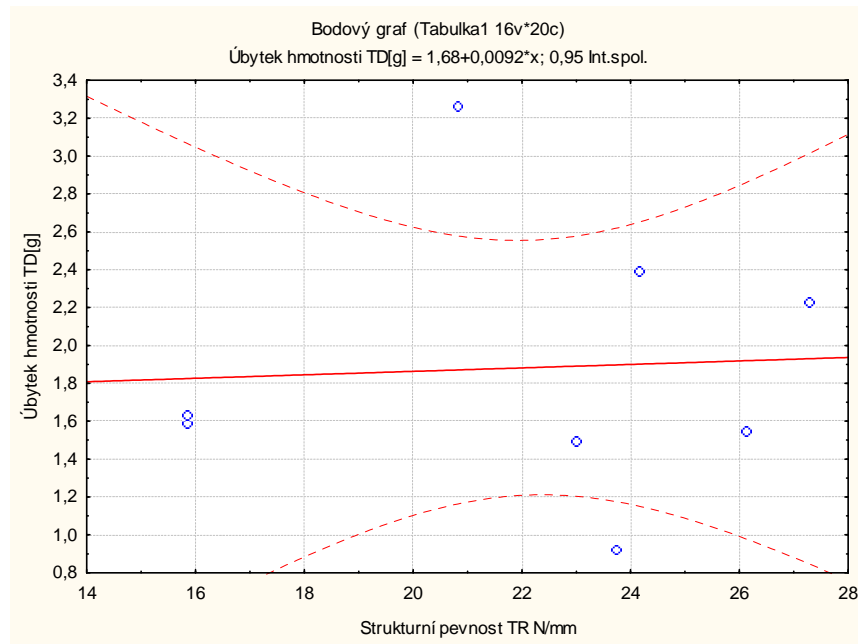
Obr. 61 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot strukturní pevnosti bylo dosaženo u směsi 2 a směsi 3. Nejmenších hodnot strukturní pevnosti bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Z obr. 60 je zřejmé, že směsi s vysokou mírou opotřebení vykazují vysoké hodnoty strukturní pevnosti. Naopak směsi s nízkou mírou opotřebení vykazují nízké hodnoty strukturní pevnosti. Pro potvrzení byl vytvořen statistický graf (obr. 61) a provedena Spearmanova korelace (obr. 35), která potvrdila určitou míru závislosti opotřebení na strukturní pevnosti. Koeficient korelace je zde 66%.

Strukturní pevnost TR



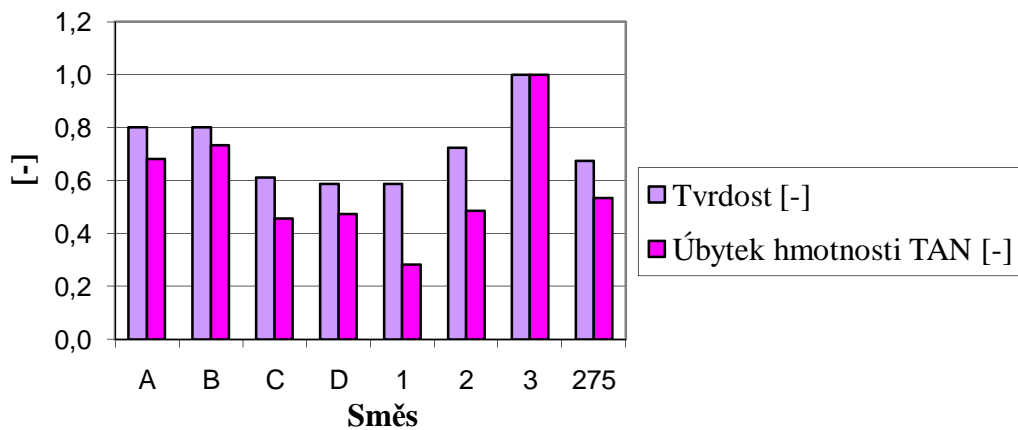
Obr. 62 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení



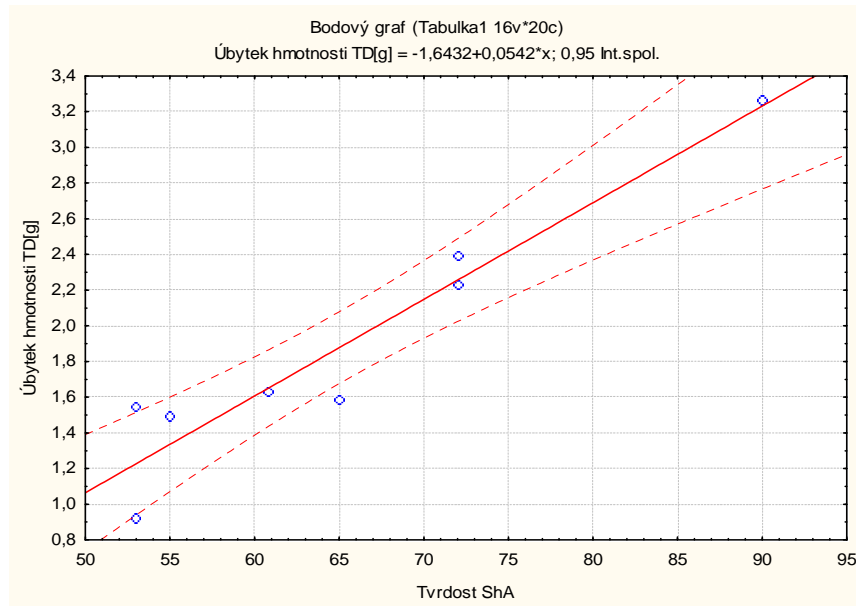
Obr. 63 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot strukturní pevnosti TR bylo dosaženo u směsi A a směsi D. Nejnižších hodnot strukturní pevnosti TR bylo zaznamenáno u směsi 2 a směsi 275. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Z obr. 62 je patrné, že mezi opotřebením a strukturní pevnosti TR nebyla zjištěna významnější korelace. To potvrdil i statistický graf (obr. 63) a provedení Spearmanovy korelace (obr. 35).

Tvrdot



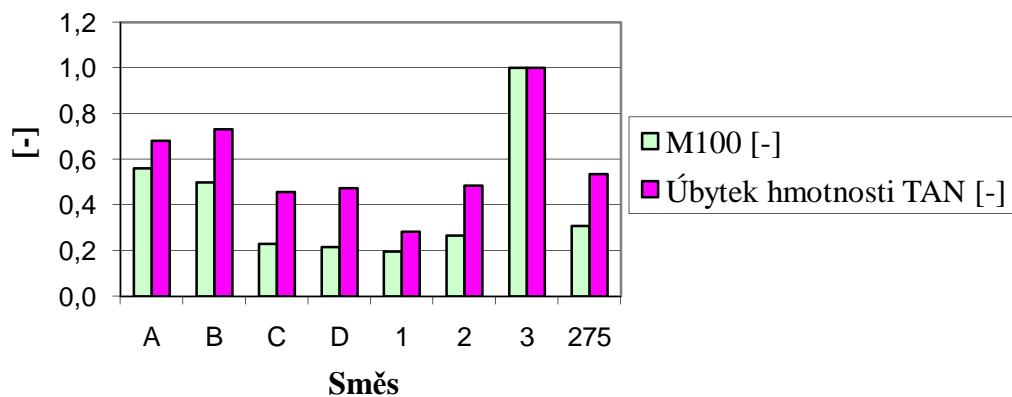
Obr. 64 Porovnání tvrdosti a opotřebení



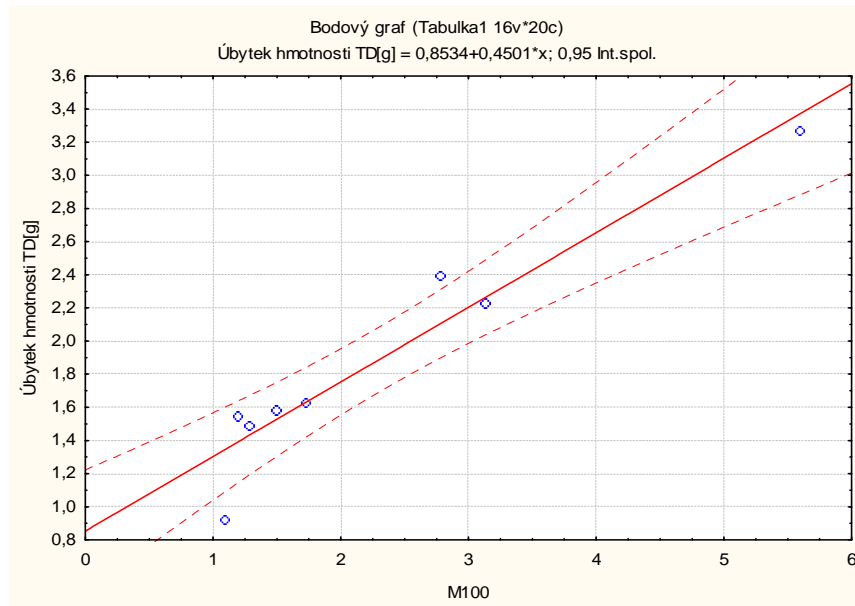
Obr. 65 Porovnání tvrdosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot tvrdosti bylo dosaženo u směsi A, B a směsi 3. Nejmenších hodnot tvrdosti bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Jak je vidět z obr. 64 směsi s nejmenším opotřebením vykazují nejmenší hodnoty tvrdosti. Naopak směsi s největším opotřebením byly naměřeny největší hodnoty tvrdosti. Pro potvrzení byl vytvořen statistický graf (obr. 65) a provedena Spearmanova korelace (obr. 35), která potvrdila vysokou mírou korelace opotřebení a tvrdosti. Koeficient korelace je zde 92,7%.

M100



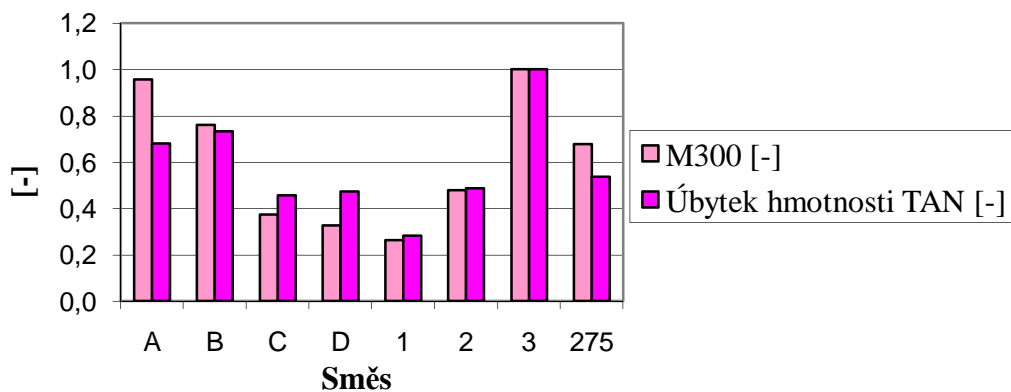
Obr. 66 Porovnání M100 a opotřebení



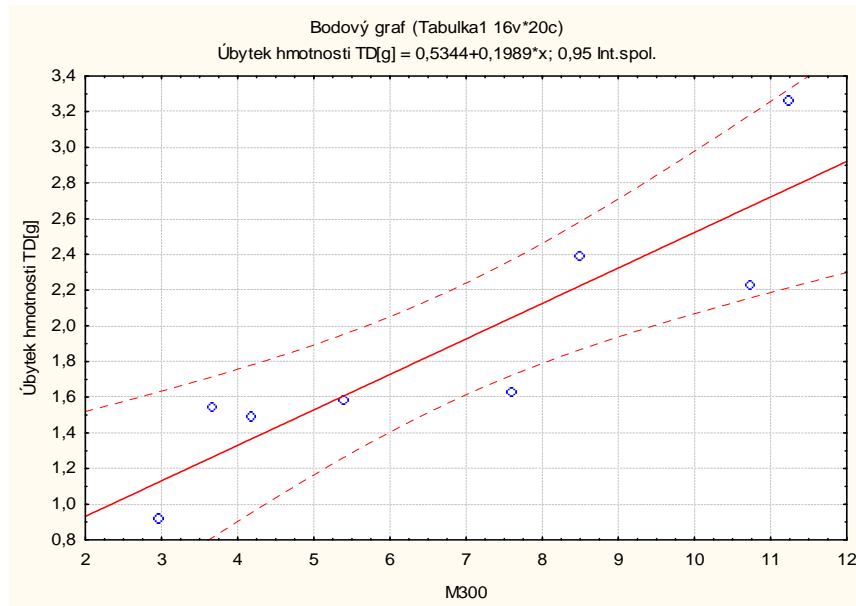
Obr. 67 Porovnání M100 a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot M100 bylo dosaženo u směsi A a směsi 3. Nejmenších hodnot M100 bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Z obr. 66 je patrná vysoká míra korelace mezi opotřebením a M100. Směsi s nízkou mírou opotřebení dosahují nejnižších hodnot M100 a směsi s vysokou mírou opotřebení dosahují vysokých hodnot M100. Vysokou korelaci potvrzuje statistický graf (obr. 67) a provedená Spearmanova korelace (obr. 35), kde koeficient korelace dosahuje 95%.

M300



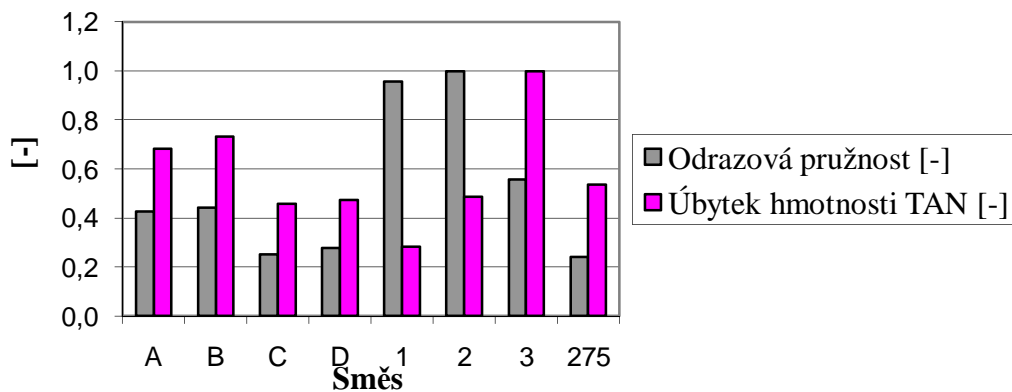
Obr. 68 Porovnání M300 a opotřebení



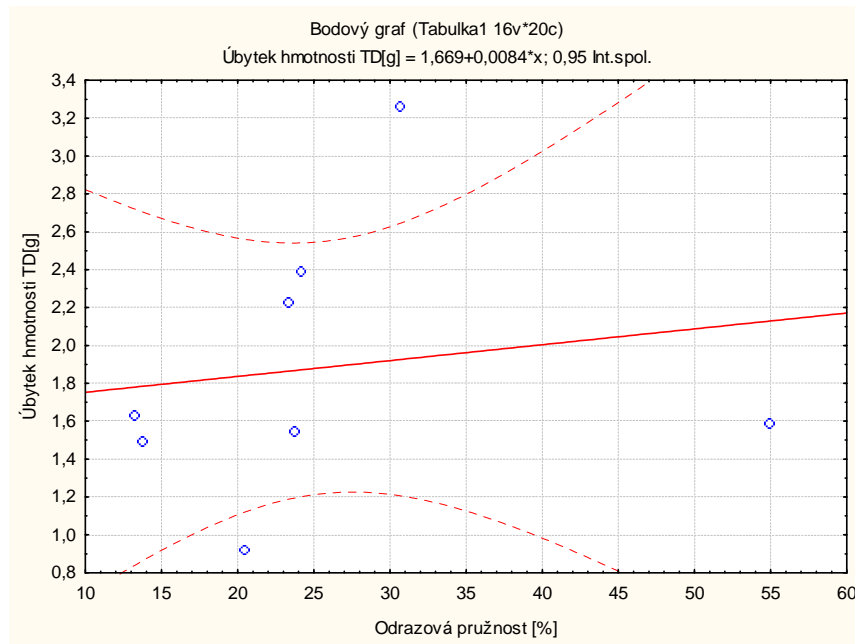
Obr. 69 Porovnání M300 a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot M300 bylo dosaženo u směsi A a směsi 3. Nejmenších hodnot M300 bylo zaznamenáno u směsi D a směsi 1. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Z obr. 68 je patrná vysoká míra korelace mezi opotřebením a M300. Směsi s nízkou mírou opotřebení dosahují nejnižších hodnot M300 a směsi s vysokou mírou opotřebení dosahují vysokých hodnot M300. Vysokou korelaci potvrzuje statistický graf (obr. 69) a provedená Spearmanova korelace (obr. 35), kde koeficient korelace dosahuje 95%.

Odrazová pružnost



Obr. 70 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení

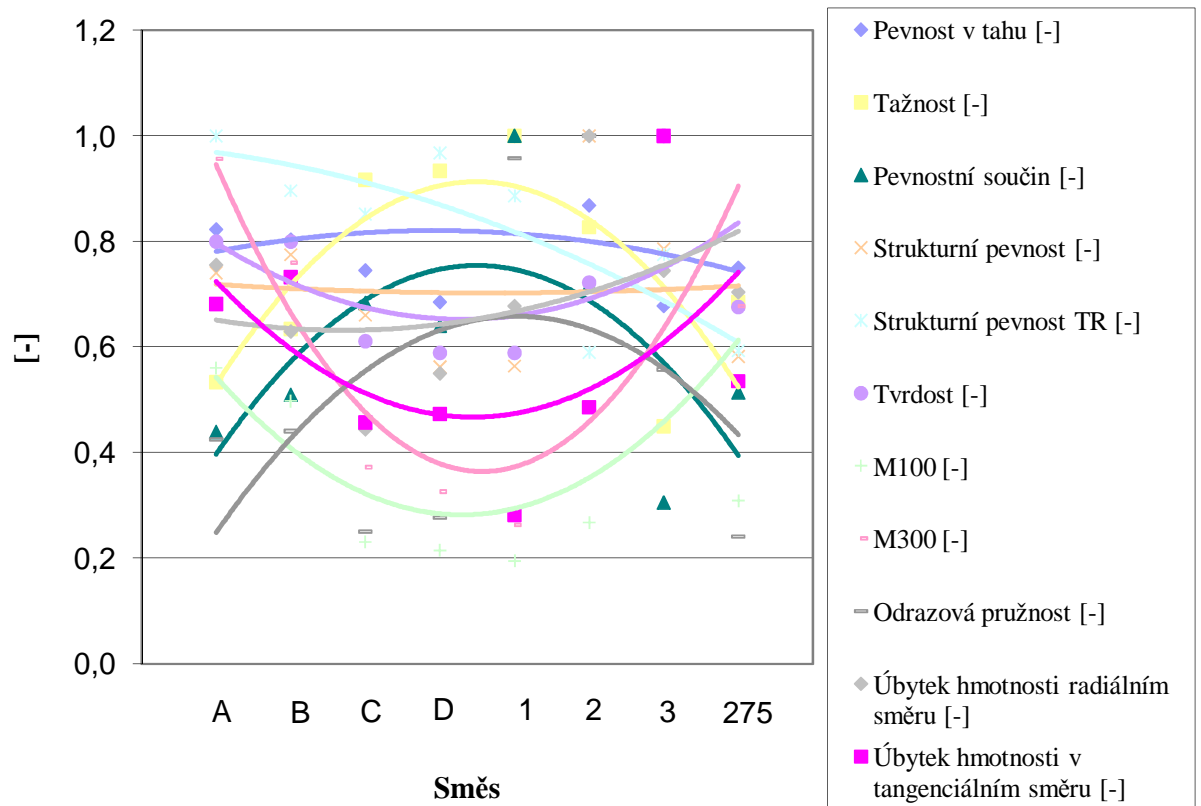


Obr. 71 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení (statistika)

Nevyšších hodnot odrazové pružnosti bylo dosaženo u směsi 1 a směsi 2. Nejmenších hodnot odrazové pružnosti bylo zaznamenáno u směsi C a směsi 275. Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsi C a směsi 1. Jak je patrné z obr. 70 a obr. 71 nebyla prokázána významnější korelace mezi opotřebením a odrazovou pružností. Rovněž z provedení Spearmanovy korelace (obr. 35) tento výsledek potvrdilo, kde koeficient korelace dosáhl 45%.

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.

Celkový graf



Obr. 72 Porovnání všech sledovaných vlastností

ZÁVĚR

Diplomová práce řeší problém opotřebení silně namáhaných pryžových dílů. Byl proveden soubor měření zahrnující tahové zkoušky, zkoušky strukturní pevnosti, tvrdosti a odrazové pružnosti.

Na zařízení pro rychlý test opotřebení byl proveden soubor měření na zkušebních tělesech zhotovených osmy 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 výsledku vyplývá určitý vztah mezi tvrdostí a strukturní pevností. Vysoká lineární závislost byla rovněž prokázána mezi tažností, M100 a M300 u tangenciálního dopadu keramického břitu. 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 opotřebení bylo prokázáno, že směsi s vyššími hodnotami tvrdosti budou podléhat opotřebení snadněji, než směsi s nízkými hodnotami tvrdosti. Rovněž energie dopadu keramického břitu 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] MAŇAS, M., MAŇAS, D., STAŇEK, M.: Výrobní stroje a zařízení I. Stroje gumárenské a plastikářské I.ES UTB, Zlín, 2007, 264 s.
- [2] MAŇAS, M.: Výrobní stroje a zařízení. Gumárenské a plastikářské stroje II.ES VUT, Brno, 1990, 199 s.
- [3] BEATTY, J. R., MIKSCH, B. J.: A Laboratory Cutting and Chipping Tester for Evaluating Off – the –Road and Heavy – Duty Tire Treads. Rubber Chemistry and Technology. Vol 55, 1983, s.1531.
- [4] MAŇAS, D.: Hodnocení opotřebení pneumatik. (Diplomová práce), Zlín 2002, Fakulta technologická UTB Zlín
- [5] SURÁ, S.: Opotřebení běhounů pneumatik. (Diplomová práce), Zlín 2004, Fakulta technologická UTB Zlín
- [6] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: Pneumatiky. SNTL Praha 1985, 490 s.
- [7] ŠPAČEK, J.: Technologie gumárenské a plastikářské II, VUT Brno, 1980
- [8] Internet – www.cerm.cz/odpady/info/info.cz
- [9] Internet – www2.contitrade.cz/download/11_barum_zemstr.pdf
- [10] Internet - www.contionline.com/generator/www/cz/cz/barum/automobil/temata/vyber_pneumatiky/karkasse_cz.html
- [11] Internet - <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pneumatika>
- [12] Internet - www.autopneu-servis.cz/soubory/Pneu_slozeni%20a%20znaceni.pps
- [13] Internet - <http://www.epremio.cz/img/PremioPneumatika.pdf>
- [14] Internet - http://www.pneumatiky-obchod.cz/technicky_radce/
- [15] Internet - <http://www.waste.cz/pdf/pneu-zpracovani.pdf>
- [16] Internet - http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/26_SP_03.PDF
- [17] Internet - <http://www.waste.cz/waste.php?clanek=pneumartinvydrar.htm>
- [18] Internet - http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/25_SP_01.PDF

[19] Internet - <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kau%C4%8Duk>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

m	[kg]	Hmotnostní úbytek
m_0	[kg]	Hmotnost tělesa před testem rychlého opotřebení
m_1	[kg]	Hmotnost tělesa po testu rychlého opotřebení
Me	[-]	Medián
s	[-]	Směrodatná odchylka

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Toroid	11
Obr. 2 Pneumatika pro osobní automobil	12
Obr. 3 Konstrukce diagonální zemědělské pneumatiky.....	13
Obr. 4 Konstrukce radiální zemědělské pneumatiky	13
Obr. 5 Základní prvky struktury pláště pneumatiky	14
Obr. 6 Značení pneumatiky na bočnici	15
Obr. 7 Syrový kaučuk odkapávající z kaučukovníku.....	21
Obr. 8 Dvouválec	27
Obr. 9 Plochá konfekce.....	29
Obr. 10 Polokulatá konfekce.....	29
Obr. 11 Kulatá konfekce	30
Obr. 12 Přístroj Du pont	39
Obr. 13 Schéma zařízení metody Akron – Croydon.....	40
Obr. 14 Přístroj na zkoušení opotřebení metodou Dunlop – Lambourn.....	40
Obr. 15 Schéma zařízení pro modifikovaný DSRW test	41
Obr. 16 Porovnání pevnosti v tahu u jednotlivých směsí	49
Obr. 17 Porovnání tažností	49
Obr. 18 Porovnání strukturní pevnosti.....	51
Obr. 19 Porovnání odrazové pružnosti Luepke	52
Obr. 20 Porovnání tvrdosti.....	54
Obr. 21 Schéma měřicího zařízení pro testování opotřebení.....	55
Obr. 22 Zkušební zařízení.....	56
Obr. 23 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení	57
Obr. 24 Úbytek hmotnosti v radiálním směru	59
Obr. 25 Úbytek hmotnosti v tangenciálním směru	60
Obr. 26 Program Statistica.....	61
Obr. 27 Neparametrická statistika.....	62
Obr. 28 Porovnání závislých vzorků.....	62
Obr. 29 Friedmanův test	63
Obr. 30 Výstupní sestava Friedmanova testu (radiální dopad).....	64
Obr. 31 Wilcoxonův test (radiální dopad)	64

Obr. 32 Spearmanova korelace (radiální dopad)	65
Obr. 33 Výstupní sestava Friedmanova testu (tangenciální dopad).....	65
Obr. 34 Wilcoxonův test (tangenciální dopad).....	66
Obr. 35 Spearmanova korelace (tangenciální dopad)	66
Obr. 36 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....	67
Obr. 37 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (statistika).....	68
Obr. 38 Porovnání tažnosti a opotřebení	68
Obr. 39 Porovnání tažnosti a opotřebení (statistika).....	69
Obr. 40 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení	69
Obr. 41 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení (statistika)	70
Obr. 42 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení.....	70
Obr. 43 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení (statistika).....	71
Obr. 44 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	71
Obr. 45 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení (statistika).....	72
Obr. 46 Porovnání tvrdosti a opotřebení.....	72
Obr. 47 Porovnání tvrdosti a opotřebení (statistika).....	73
Obr. 48 Porovnání M100 a opotřebení	73
Obr. 49 Porovnání M100 a opotřebení (statistika).....	74
Obr. 50 Porovnání M300 a opotřebení	74
Obr. 51 Porovnání M300 a opotřebení (statistika).....	75
Obr. 52 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení	75
Obr. 53 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení (statistika).....	76
Obr. 54 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení.....	77
Obr. 55 Porovnání pevnosti v tahu a opotřebení (statistika).....	77
Obr. 56 Porovnání tažnosti a opotřebení	78
Obr. 57 Porovnání tažnosti a opotřebení (statistika).....	78
Obr. 58 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení	79
Obr. 59 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení (statistika)	79
Obr. 60 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení.....	80
Obr. 61 Porovnání strukturní pevnosti a opotřebení (statistika).....	81
Obr. 62 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení.....	81
Obr. 63 Porovnání strukturní pevnosti TR a opotřebení (statistika).....	82
Obr. 64 Porovnání tvrdosti a opotřebení.....	82

Obr. 65 Porovnání tvrdosti a opotřebení (statistika).....	83
Obr. 66 Porovnání M100 a opotřebení	83
Obr. 67 Porovnání M100 a opotřebení (statistika).....	84
Obr. 68 Porovnání M300 a opotřebení	84
Obr. 69 Porovnání M300 a opotřebení (statistika).....	85
Obr. 70 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení	85
Obr. 71 Porovnání odrazové pružnosti a opotřebení (statistika).....	86
Obr. 72 Porovnání všech sledovaných vlastností.....	87

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Označení směsí	46
Tab. 2 Tahová zkouška	48
Tab. 3 Strukturální pevnost.....	50
Tab. 4 Odrazová pružnost Luepke	52
Tab. 5 Tvrdost Shore	53
Tab. 6 Úbytek hmotnosti dopad bříty v radiálním směru	59
Tab. 7 Úbytek hmotnosti dopad bříty v tangenciálním směru	60

SEZNAM PŘÍLOH

P1. Naměřené hodnoty pro tahové zkoušky směsí A, B, C, D a 275

P2. Naměřené hodnoty pro strukturní pevnost směsí A, B, C, D a 275

P3. Naměřené hodnoty pro strukturní pevnost TR směsí A, B, C, D a 275

P4. Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreA

P5. Naměřené hodnoty odrazové pružnosti

P6. Naměřené hodnoty úbytku hmotnosti RAD

P7. Naměřené hodnoty úbytku hmotnosti TAN

PŘÍLOHA P 1: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO TAHOVÉ ZKOUŠKY

SMĚSÍ A, B, C, D A 275

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
A_B_1_01_23-11-07

Compound: **B A**
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: tahove zkousky
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 11.40.10

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 10
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 50 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.2590	13.554	1000	67.77
Specimen 2	6.0000	2.2710	13.626	1000	68.13
Specimen 3	6.0000	2.1407	12.844	1000	64.22
Specimen 4	6.0000	2.0017	12.010	1000	60.05
Specimen 5	6.0000	2.0590	12.354	1000	61.77
Specimen 6	6.0000	2.0947	12.568	1000	62.84
Specimen 7	6.0000	2.1163	12.698	1000	63.49
Specimen 8	6.0000	2.1227	12.736	1000	63.68
Specimen 9	6.0000	2.2600	13.560	1000	67.80
Specimen 10	6.0000	2.2317	13.390	1000	66.95

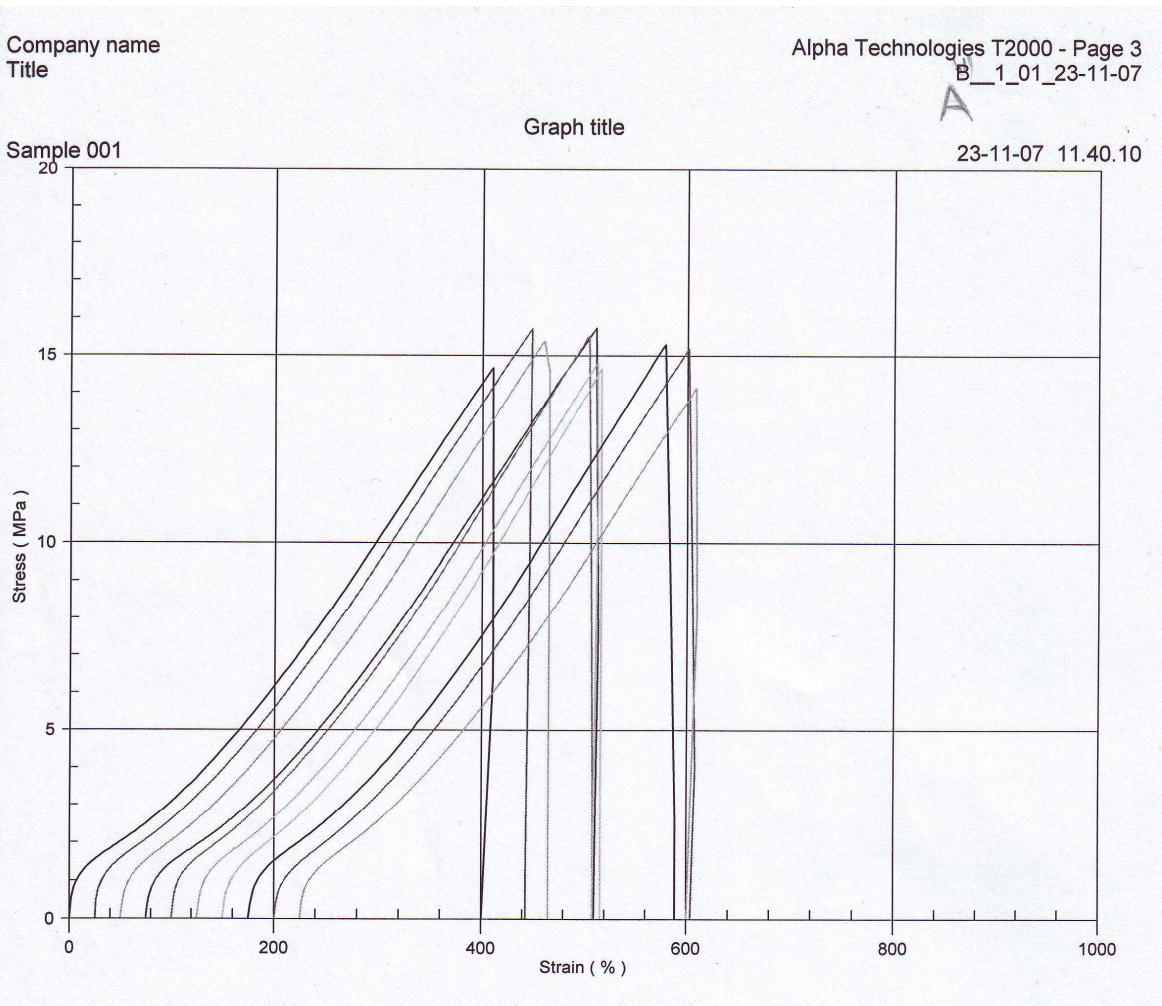
Specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	14.663	409.90	14.663	409.90	2.012	3.075
Specimen 2	14.695	423.60	15.709	423.20	2.078	3.229
Specimen 3	14.569	415.20	15.579	415.00	2.033	3.233
Specimen 4	15.735	435.70	15.735	435.70	1.925	3.005
Specimen 5	15.526	404.00	15.526	404.00	2.091	3.361
Specimen 6	14.814	387.20	14.814	387.20	2.075	3.331
Specimen 7	14.638	366.20	14.638	366.20	2.133	3.443
Specimen 8	15.297	403.50	15.297	403.50	2.026	3.208
Specimen 9	15.174	401.10	15.174	401.10	2.009	3.283
Specimen 10	14.130	383.40	14.135	383.30	2.007	3.226
	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %	
Specimen 1	6.162	10.118	*** **	297.30	*** **	
Specimen 2	6.499	10.575	*** **	286.80	*** **	
Specimen 3	6.569	10.689	*** **	284.20	*** **	
Specimen 4	6.148	10.135	*** **	296.90	*** **	
Specimen 5	6.753	10.955	*** **	278.80	*** **	
Specimen 6	6.742	10.980	*** **	278.10	*** **	
Specimen 7	7.063	11.571	*** **	266.60	*** **	
Specimen 8	6.546	10.773	*** **	282.70	*** **	
Specimen 9	6.710	10.892	*** **	280.10	*** **	
Specimen 10	6.513	10.602	*** **	286.20	*** **	

Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	14.754	403.75	15.236	403.75	2.030	3.231
Average	14.924	402.98	15.127	402.91	2.039	3.239
Range	1.605	69.500	1.600	69.500	0.208	0.438
Highest	15.735	435.70	15.735	435.70	2.133	3.443
Lowest	14.130	366.20	14.135	366.20	1.925	3.005
	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %	
Median	6.557	10.731	*** **	283.45	*** **	
Average	6.570	10.729	*** **	283.77	*** **	
Range	0.914	1.454	*** **	30.700	*** **	
Highest	7.063	11.571	*** **	297.30	*** **	
Lowest	6.148	10.118	*** **	266.60	*** **	

Ignore highest & lowest results: Disabled



Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
B__1_01_23-11-07

Compound: B
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: tahove zkousky
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 11.27.05

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 10
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 50 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm2	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.6220	15.732	1000	78.66
Specimen 2	6.0000	2.7020	16.212	1000	81.06
Specimen 3	6.0000	2.7053	16.232	1000	81.16
Specimen 4	6.0000	2.7253	16.352	1000	81.76
Specimen 5	6.0000	2.6197	15.718	1000	78.59
Specimen 6	6.0000	2.7227	16.336	1000	81.68
Specimen 7	6.0000	2.7850	16.710	1000	83.55
Specimen 8	6.0000	2.7517	16.510	1000	82.55
Specimen 9	6.0000	2.7220	16.332	1000	81.66
Specimen 10	6.0000	2.5827	15.496	1000	77.48

Specimen results

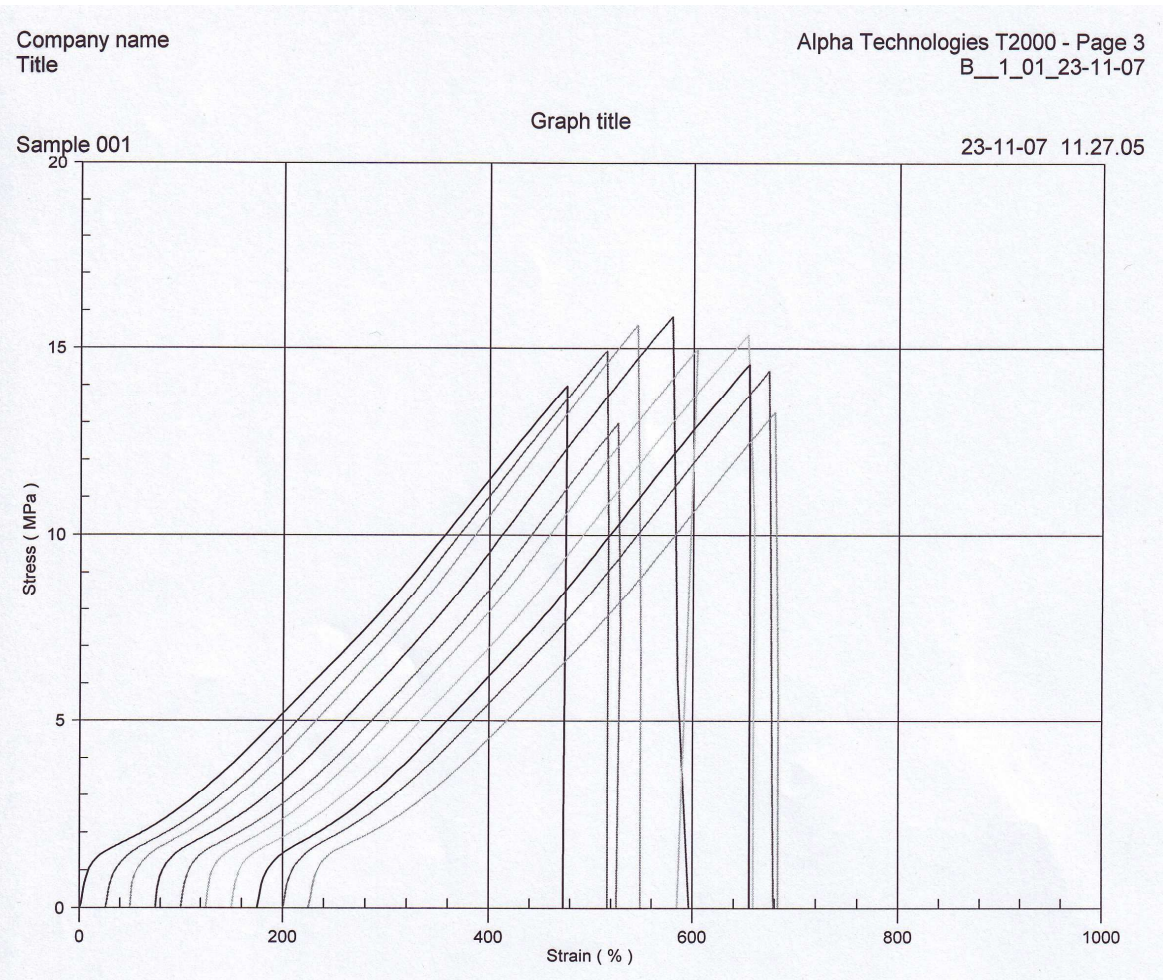
	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	12.985	475.90	13.997	475.50	1.829	2.669
Specimen 2	14.928	489.70	14.928	489.70	1.843	2.699
Specimen 3	15.621	495.10	15.621	495.10	1.912	2.822
Specimen 4	15.846	504.10	15.846	504.10	1.924	2.799
Specimen 5	12.990	425.80	12.990	425.80	1.891	2.767
Specimen 6	14.962	478.40	14.962	478.40	1.932	2.877
Specimen 7	15.521	508.40	15.521	508.40	1.879	2.798
Specimen 8	14.566	479.10	14.566	479.10	1.854	2.774
Specimen 9	14.548	478.20	14.548	478.20	1.919	2.833
Specimen 10	13.286	454.10	13.286	454.10	1.857	2.696

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %
Specimen 1	5.197	8.122	*** **	356.60	*** **
Specimen 2	5.335	8.409	*** **	345.60	*** **
Specimen 3	5.542	8.714	*** **	335.90	*** **
Specimen 4	5.496	8.648	15.720	337.50	*** **
Specimen 5	5.427	8.549	*** **	341.00	*** **
Specimen 6	5.642	8.797	*** **	333.90	*** **
Specimen 7	5.497	8.564	15.270	341.50	*** **
Specimen 8	5.481	8.523	*** **	343.10	*** **
Specimen 9	5.477	8.482	*** **	344.80	*** **
Specimen 10	5.207	8.128	*** **	356.70	*** **

Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	14.747	478.75	14.747	478.75	1.885	2.786
Average	14.525	478.88	14.626	478.84	1.884	2.773
Range	2.862	82.600	2.856	82.600	0.102	0.208
Highest	15.846	508.40	15.846	508.40	1.932	2.877
Lowest	12.985	425.80	12.990	425.80	1.829	2.669
	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %	
Median	5.479	8.536	15.495	342.30	*** **	
Average	5.430	8.494	15.495	343.66	*** **	
Range	0.445	0.675	0.450	22.800	*** **	
Highest	5.642	8.797	15.720	356.70	*** **	
Lowest	5.197	8.122	15.270	333.90	*** **	

Ignore highest & lowest results: Disabled



Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
C__1_01_23-11-07

Compound: C
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: tahove zkousky
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 11.10.24

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 10
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 50 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm2	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.4663	14.798	1000	73.99
Specimen 2	6.0000	2.3920	14.352	1000	71.76
Specimen 3	6.0000	2.4573	14.744	1000	73.72
Specimen 4	6.0000	2.4470	14.682	1000	73.41
Specimen 5	6.0000	2.4123	14.474	1000	72.37
Specimen 6	6.0000	2.4427	14.656	1000	73.28
Specimen 7	6.0000	2.4337	14.602	1000	73.01
Specimen 8	6.0000	2.5440	15.264	1000	76.32
Specimen 9	6.0000	2.5650	15.390	1000	76.95
Specimen 10	6.0000	2.4700	14.820	1000	74.10

Specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	13.047	668.70	13.047	668.10	0.896	1.338
Specimen 2	14.139	703.10	14.139	703.10	0.886	1.328
Specimen 3	13.529	704.70	13.529	704.70	0.854	1.268
Specimen 4	12.669	704.00	14.082	703.30	0.860	1.284
Specimen 5	13.739	702.40	13.739	702.40	0.868	1.273
Specimen 6	12.401	691.10	13.519	690.30	0.876	1.299
Specimen 7	13.583	706.90	13.583	706.90	0.854	1.264
Specimen 8	13.809	696.00	13.809	696.00	0.843	1.293
Specimen 9	13.487	695.60	13.487	695.60	0.836	1.278
Specimen 10	12.134	647.10	12.134	646.90	0.825	1.235

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %
Specimen 1	2.629	4.314	8.459	561.70	*** **
Specimen 2	2.598	4.293	8.486	559.80	*** **
Specimen 3	2.485	4.096	8.062	578.70	*** **
Specimen 4	2.541	4.219	8.353	565.20	*** **
Specimen 5	2.447	4.041	8.123	573.50	*** **
Specimen 6	2.536	4.174	8.258	567.80	*** **
Specimen 7	2.445	4.023	7.998	580.40	*** **
Specimen 8	2.593	4.282	8.367	565.60	*** **
Specimen 9	2.551	4.225	8.302	569.10	*** **
Specimen 10	2.473	4.132	8.263	568.90	*** **

Company name
Title

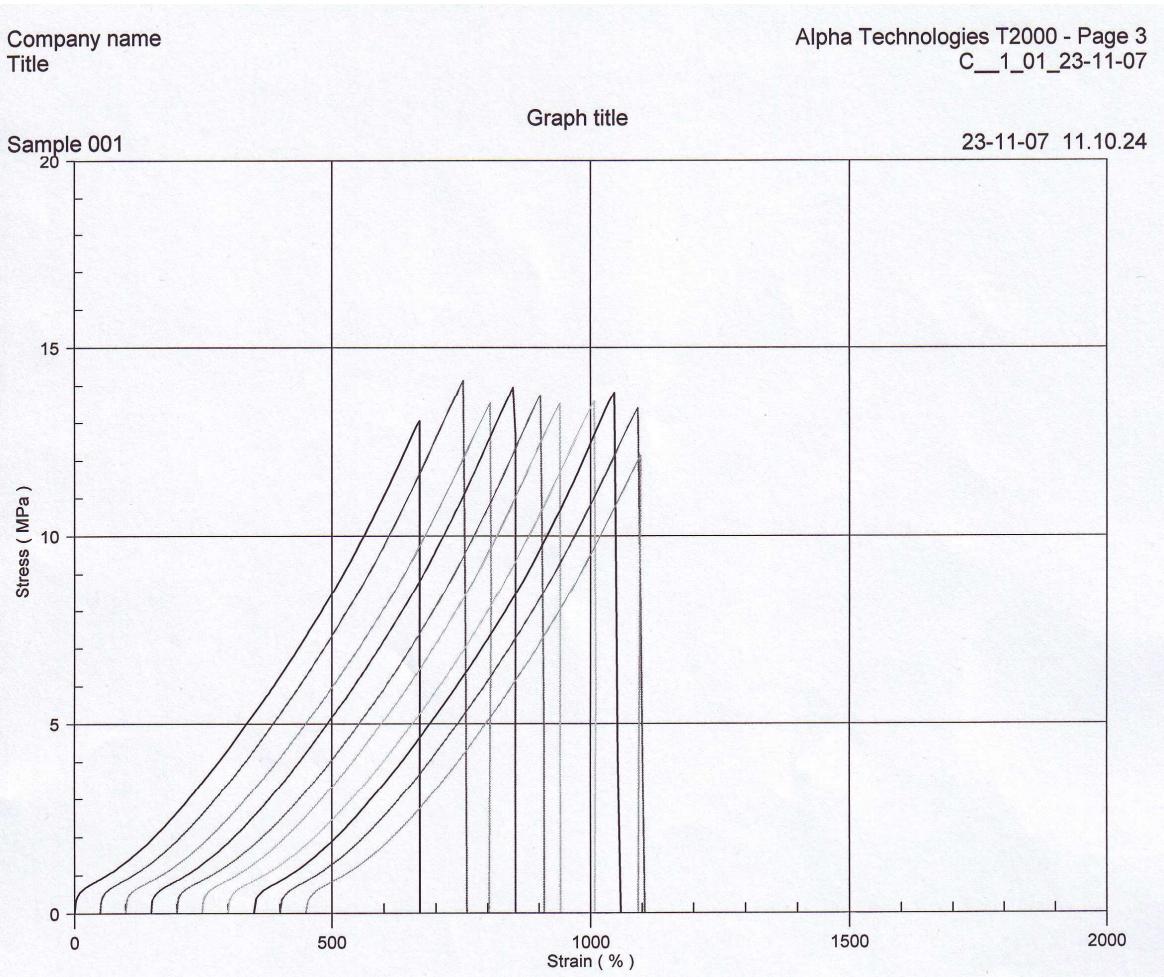
Alpha Technologies T2000 - Page 2
C__1_01_23-11-07

Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	13.508	699.20	13.556	699.20	0.857	1.281
Average	13.254	691.96	13.507	691.73	0.860	1.286
Range	2.004	59.800	2.004	60.000	0.071	0.103
Highest	14.139	706.90	14.139	706.90	0.896	1.338
Lowest	12.134	647.10	12.134	646.90	0.825	1.235

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %
Median	2.539	4.197	8.283	568.35	*** **
Average	2.530	4.180	8.267	569.07	*** **
Range	0.184	0.291	0.488	20.600	*** **
Highest	2.629	4.314	8.486	580.40	*** **
Lowest	2.445	4.023	7.998	559.80	*** **

Ignore highest & lowest results: Disabled



Company name
Title

Compound: D
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: tahove zkousky
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 10.52.52

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 10
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 50 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.3463	14.078	1000	70.39
Specimen 2	6.0000	2.4067	14.440	1000	72.20
Specimen 3	6.0000	2.4403	14.642	1000	73.21
Specimen 4	6.0000	2.4450	14.670	1000	73.35
Specimen 5	6.0000	2.4140	14.484	1000	72.42
Specimen 6	6.0000	2.4320	14.592	1000	72.96
Specimen 7	6.0000	2.4360	14.616	1000	73.08
Specimen 8	6.0000	2.4437	14.662	1000	73.31
Specimen 9	6.0000	2.3763	14.258	1000	71.29
Specimen 10	6.0000	2.4823	14.894	1000	74.47

Specimen results

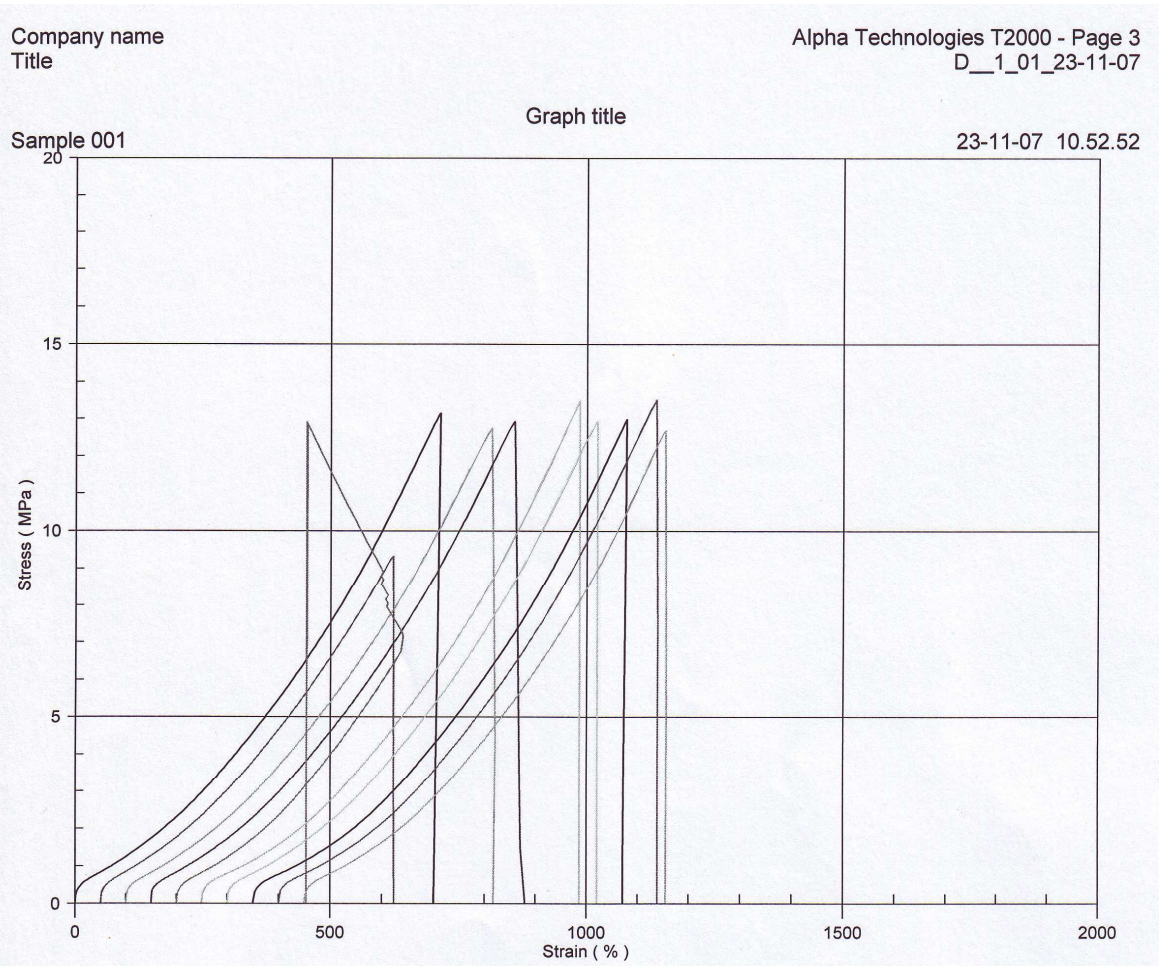
	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	13.141	713.70	13.143	712.90	0.831	1.243
Specimen 2	9.393	575.40	9.393	575.20	0.850	1.268
Specimen 3	12.731	713.30	12.739	712.80	0.819	1.230
Specimen 4	12.890	707.50	12.928	707.00	0.834	1.234
Specimen 5	12.904	253.30	12.904	253.30	0.816	1.218
Specimen 6	12.260	735.80	13.479	735.40	0.793	1.134
Specimen 7	12.924	720.40	12.924	720.20	0.802	1.184
Specimen 8	12.801	731.60	13.086	731.20	0.773	1.120
Specimen 9	13.508	737.10	13.508	736.40	0.788	1.163
Specimen 10	12.680	703.60	12.680	703.60	0.793	1.172

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %
Specimen 1	2.298	3.733	7.538	599.70	*** **
Specimen 2	2.344	3.802	7.679	*** **	*** **
Specimen 3	2.262	3.675	7.404	609.20	*** **
Specimen 4	2.287	3.757	7.575	599.50	*** **
Specimen 5	2.343	3.983	*** **	358.70	*** **
Specimen 6	2.094	3.493	7.197	614.00	*** **
Specimen 7	2.176	3.579	7.325	611.80	*** **
Specimen 8	2.048	3.416	7.088	622.00	*** **
Specimen 9	2.132	3.536	7.306	611.00	*** **
Specimen 10	2.160	3.578	7.317	609.60	*** **

Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	12.846	713.50	12.926	712.85	0.809	1.201
Average	12.523	659.17	12.678	658.80	0.810	1.197
Range	4.115	483.80	4.115	483.10	0.077	0.148
Highest	13.508	737.10	13.508	736.40	0.850	1.268
Lowest	9.393	253.30	9.393	253.30	0.773	1.120
	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %	
Median	2.219	3.627	7.325	609.60	*** **	
Average	2.214	3.655	7.381	581.72	*** **	
Range	0.296	0.567	0.591	263.30	*** **	
Highest	2.344	3.983	7.679	622.00	*** **	
Lowest	2.048	3.416	7.088	358.70	*** **	

Ignore highest & lowest results: Disabled



Company name
Title

Compound: 275
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: tahove zkousky
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 10.16.56

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 10
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 50 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm2	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.1323	12.794	1000	63.97
Specimen 2	6.0000	2.1770	13.062	1000	65.31
Specimen 3	6.0000	1.9630	11.778	1000	58.89
Specimen 4	6.0000	2.0307	12.184	1000	60.92
Specimen 5	6.0000	2.0577	12.346	1000	61.73
Specimen 6	6.0000	2.1293	12.776	1000	63.88
Specimen 7	6.0000	2.1123	12.674	1000	63.37
Specimen 8	6.0000	2.0837	12.502	1000	62.51
Specimen 9	6.0000	2.0267	12.160	1000	60.80
Specimen 10	6.0000	2.0107	12.064	1000	60.32

Specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	14.267	554.70	14.467	554.40	1.018	1.610
Specimen 2	12.146	497.30	13.793	496.90	1.123	1.838
Specimen 3	13.558	502.80	13.558	502.80	1.127	1.725
Specimen 4	13.579	532.60	13.579	532.00	1.074	1.653
Specimen 5	13.704	523.10	13.706	522.90	1.100	1.685
Specimen 6	13.749	506.90	13.749	506.90	1.125	1.734
Specimen 7	14.452	529.50	14.452	529.50	1.175	1.847
Specimen 8	14.068	526.20	14.068	526.20	1.125	1.740
Specimen 9	13.628	511.50	13.630	510.90	1.104	1.699
Specimen 10	13.081	492.40	13.081	491.90	1.103	1.700

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %
Specimen 1	4.076	7.483	13.284	379.30	*** **
Specimen 2	4.686	8.215	*** **	355.30	*** **
Specimen 3	4.156	7.542	13.509	374.50	*** **
Specimen 4	3.950	7.181	12.912	390.60	*** **
Specimen 5	4.021	7.341	13.212	382.70	*** **
Specimen 6	4.235	7.675	13.613	369.60	*** **
Specimen 7	4.433	7.915	13.797	363.50	*** **
Specimen 8	4.235	7.665	13.511	371.80	*** **
Specimen 9	4.103	7.459	13.392	377.90	*** **
Specimen 10	4.088	7.439	*** **	379.80	*** **

Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	13.666	517.30	13.728	516.90	1.114	1.712
Average	13.623	517.70	13.808	517.44	1.107	1.723
Range	2.306	62.300	1.386	62.500	0.157	0.237
Highest	14.452	554.70	14.467	554.40	1.175	1.847
Lowest	12.146	492.40	13.081	491.90	1.018	1.610

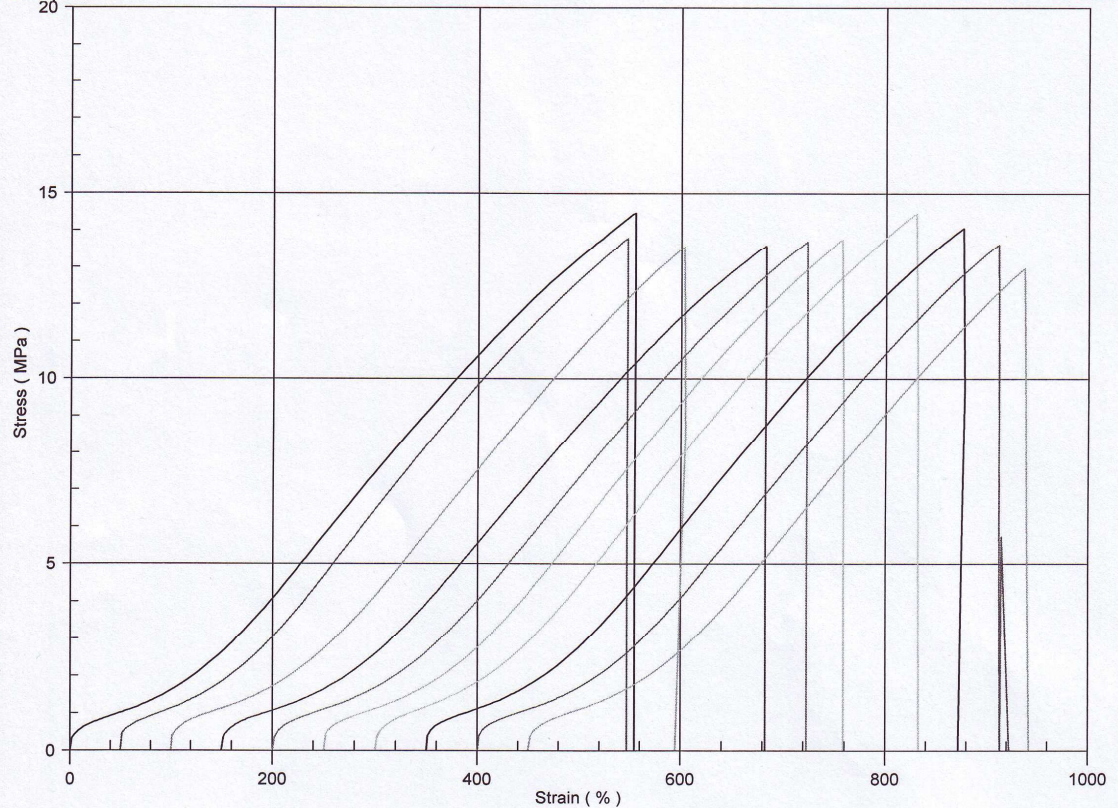
	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa	Mod @ 10 %	Mod @ 20 %
Median	4.129	7.513	13.450	376.20	*** **
Average	4.198	7.591	13.404	374.50	*** **
Range	0.737	1.034	0.885	35.300	*** **
Highest	4.686	8.215	13.797	390.60	*** **
Lowest	3.950	7.181	12.912	355.30	*** **

Ignore highest & lowest results: Disabled

Sample 001

Graph title

23-11-07 10.16.56



PŘÍLOHA P 2: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO STRUKTURNÍ PEVNOST SMĚSÍ A, B, C, D A 275

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
A__1_01_23-11-07

Compound: A
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.09.58

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.1980	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.2230	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.2330	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.2030	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.2430	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.0520	13.000	500	50.00
Specimen 7	1.9430	13.000	500	50.00
Specimen 8	1.9740	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.0570	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.1530	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	52.08	114.469	52.08	114.469	1
Specimen 2	55.80	124.052	55.80	124.052	1
Specimen 3	49.19	109.834	49.19	109.834	1
Specimen 4	59.65	131.406	59.65	131.406	1
Specimen 5	45.86	102.875	45.86	102.875	1
Specimen 6	47.85	98.178	47.85	98.178	1
Specimen 7	53.55	104.049	53.55	104.049	1
Specimen 8	60.67	119.765	60.67	119.765	1
Specimen 9	53.99	111.056	53.99	111.056	1
Specimen 10	55.33	119.118	55.33	119.118	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	53.40	113.480	53.40	113.480	1

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
B__1_01_23-11-07

Compound: B
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.31.47

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.6940	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.6390	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.7080	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.4840	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.6950	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.6920	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.6070	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.5450	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.6320	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.6940	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	54.67	147.293	54.67	147.293	1
Specimen 2	57.73	152.357	57.73	152.357	1
Specimen 3	55.50	150.303	55.50	150.303	1
Specimen 4	54.49	135.364	54.49	135.364	1
Specimen 5	57.23	154.24	57.23	154.24	1
Specimen 6	48.84	131.488	48.84	131.488	1
Specimen 7	57.44	149.735	57.44	149.735	1
Specimen 8	58.27	148.3	58.27	148.3	1
Specimen 9	56.46	148.612	56.46	148.612	1
Specimen 10	56.90	153.286	56.90	153.286	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	55.76	147.097	55.76	147.097	1

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
C__1_01_23-11-07

Compound: C
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.46.47

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.4330	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.5260	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.4670	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.5770	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.4910	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.4710	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.4610	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.4560	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.4600	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.4650	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	52.14	126.858	52.14	126.858	1
Specimen 2	42.02	106.136	42.02	106.136	1
Specimen 3	43.63	107.632	43.63	107.632	1
Specimen 4	53.38	137.555	53.38	137.555	1
Specimen 5	43.17	107.54	43.17	107.54	1
Specimen 6	50.12	123.837	50.12	123.837	1
Specimen 7	46.05	113.323	46.05	113.323	1
Specimen 8	44.20	108.563	44.20	108.563	1
Specimen 9	51.90	127.667	51.90	127.667	1
Specimen 10	47.90	118.069	47.90	118.069	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	47.45	117.718	47.45	117.718	1

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
D__1_01_23-11-07

Compound: D
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 13.11.00

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.4360	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.9010	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.9200	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.8830	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.4590	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.4660	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.4310	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.3820	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.5040	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.4710	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	41.12	100.174	41.12	100.174	1
Specimen 2	41.88	121.506	41.88	121.506	1
Specimen 3	40.79	119.095	40.79	119.095	1
Specimen 4	40.58	117.005	40.58	117.005	1
Specimen 5	39.69	97.61	39.69	97.61	1
Specimen 6	39.67	97.824	39.67	97.824	1
Specimen 7	40.58	98.648	40.58	98.648	1
Specimen 8	40.40	96.222	40.40	96.222	1
Specimen 9	38.65	96.771	38.65	96.771	1
Specimen 10	41.81	103.302	41.81	103.302	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	40.52	104.815	40.52	104.815	1

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
275__1_01_23-11-07

Compound: 275
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 11.52.05

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.1860	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.0590	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.1920	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.2140	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.1160	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.1000	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.0350	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.1010	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.1430	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.1680	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	40.84	89.283	40.84	89.283	1
Specimen 2	46.72	96.195	46.72	96.195	1
Specimen 3	43.38	95.096	43.38	95.096	1
Specimen 4	43.94	97.294	43.94	97.294	1
Specimen 5	45.85	97.019	45.85	97.019	1
Specimen 6	46.15	96.912	46.15	96.912	1
Specimen 7	48.18	98.041	48.18	98.041	1
Specimen 8	48.31	101.49	48.31	101.49	1
Specimen 9	42.79	91.693	42.79	91.693	1
Specimen 10	43.60	94.516	43.60	94.516	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	44.98	95.7539	44.98	95.7539	1

Ignore highest & lowest results: Disabled

PŘÍLOHA P 3: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO STRUKTURNÍ PEVNOST TR SMĚSÍ A, B, C, D A 275

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
A TR__1_01_23-11-07

Compound: A TR
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.20.40

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.0620	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.3610	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.2040	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.1100	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.2090	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.1800	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.2450	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.3260	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.2690	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.1170	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	17.98	37.071	17.98	37.071	1
Specimen 2	25.76	60.815	24.89	58.755	2
Specimen 3	28.05	61.822	28.05	61.822	1
Specimen 4	27.49	58.007	25.28	53.3455	2
Specimen 5	32.03	70.749	25.11	55.474	4
Specimen 6	26.99	58.846	23.95	52.216	4
Specimen 7	29.16	65.454	24.23	54.406	3
Specimen 8	24.12	56.1	23.12	53.7805	2
Specimen 9	30.09	68.277	30.09	68.277	1
Specimen 10	31.20	66.049	31.20	66.049	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	27.29	60.319	25.39	56.1196	2.1

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
B TR__1_01_23-11-07

Compound: B TR
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.38.27

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.6800	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.6070	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.5540	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.6320	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.5190	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.7640	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.7520	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.7760	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.6090	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.7100	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	26.86	71.982	26.86	71.982	1
Specimen 2	21.75	56.708	21.75	56.708	1
Specimen 3	23.10	58.997	23.10	58.997	1
Specimen 4	19.15	50.406	19.15	50.406	1
Specimen 5	27.77	69.953	26.80	67.5115	2
Specimen 6	24.73	68.351	24.73	68.351	1
Specimen 7	26.37	72.577	26.37	72.577	1
Specimen 8	25.33	70.304	21.39	59.378	2
Specimen 9	21.57	56.28	21.57	56.28	1
Specimen 10	25.09	67.984	25.09	67.984	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	24.17	64.3542	23.68	63.0174	1.2

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
C TR__1_01_23-11-07

Compound: C TR
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.58.18

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.4310	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.4870	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.4690	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.3820	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.3120	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.4770	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.4930	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.3780	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.4820	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.4260	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	20.14	48.968	20.14	48.968	1
Specimen 2	19.76	49.136	19.76	49.136	1
Specimen 3	19.37	47.824	19.37	47.824	1
Specimen 4	*** **	*** **	*** **	*** **	0
Specimen 5	*** **	*** **	*** **	*** **	0
Specimen 6	28.34	70.209	28.34	70.209	1
Specimen 7	29.88	74.482	29.88	74.482	1
Specimen 8	23.07	54.858	23.07	54.858	1
Specimen 9	19.58	48.587	19.58	48.587	1
Specimen 10	23.95	58.093	23.95	58.093	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	23.01	56.5196	23.01	56.5196	0.8

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
DIR1_01_23-11-07

Compound: DTR
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 13.26.17

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.3710	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.5500	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.6910	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.5390	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.4190	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.4210	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.4700	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.4500	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.3910	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.4020	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	22.69	53.806	22.69	53.806	1
Specimen 2	25.07	63.938	25.07	63.938	1
Specimen 3	*** **	*** **	*** **	*** **	0
Specimen 4	26.05	66.135	26.05	66.135	1
Specimen 5	30.01	72.605	30.01	72.605	1
Specimen 6	29.23	70.759	29.23	70.759	1
Specimen 7	28.32	69.95	28.32	69.95	1
Specimen 8	*** **	*** **	*** **	*** **	0
Specimen 9	20.34	48.633	20.34	48.633	1
Specimen 10	27.29	65.555	27.29	65.555	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	26.13	63.9226	26.13	63.9226	0.8

Ignore highest & lowest results: Disabled

Company name
Title

Alpha Technologies T2000 - Page 1
275 TR__1_01_23-11-07

Compound: 275 TR
Batchno:
Orderno: 1
Number: 01
Date: 23-11-07

Name: Supervisor
Test Type: strukturni pevnost
Test Name: Manas David 10vz.
Test Date: 23-11-07
Test Time: 12.00.44

Sample 001

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61006
Serial Number: 82SIG1363
Tear General Purpose
Number of Specimens: 10
Sample type: delft
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 500 N)
Extension measured by: crosshead
Stage 1 speed: 500.0 mm/min
Peak force threshold: 10 N, Trough force threshold: 10 N
Analyse all of X-range

Specimen details

	Thickness mm	Total tear width mm	Range N	Utilisation %
Specimen 1	2.1650	13.000	500	50.00
Specimen 2	2.2140	13.000	500	50.00
Specimen 3	2.0840	13.000	500	50.00
Specimen 4	2.1350	13.000	500	50.00
Specimen 5	2.0500	13.000	500	50.00
Specimen 6	2.3880	13.000	500	50.00
Specimen 7	2.4880	13.000	500	50.00
Specimen 8	2.4990	13.000	500	50.00
Specimen 9	2.0660	13.000	500	50.00
Specimen 10	2.0290	13.000	500	50.00

Specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Specimen 1	16.05	34.754	16.05	34.754	1
Specimen 2	10.01	22.165	10.01	22.165	1
Specimen 3	16.93	35.288	16.93	35.288	1
Specimen 4	15.59	33.289	15.59	33.289	1
Specimen 5	15.98	32.755	15.98	32.755	1
Specimen 6	18.05	43.101	18.05	43.101	1
Specimen 7	16.97	42.231	16.97	42.231	1
Specimen 8	17.92	44.779	17.92	44.779	1
Specimen 9	15.91	32.877	15.91	32.877	1
Specimen 10	15.15	30.741	15.15	30.741	1

Multi-specimen results

	TStrgth Hi N/mm	TForce Hi N	TStrgth Med N/mm	TForce Med N	Peak Count
Average	15.86	35.198	15.86	35.198	1

Ignore highest & lowest results: Disabled

**PŘÍLOHA P 6: NAMĚŘENÉ HODNOTY ÚBYTKU HMOTNOSTI
RAD**

Směs	Úbytek hmotnosti RAD [g]	Směs	Úbytek hmotnosti RAD [g]
A	2,685	1	2,402
	2,742		2,370
	2,902		2,478
	2,826		2,506
	2,867		2,402
	2,727		2,370
	2,573		2,478
	2,546		2,506
	2,605		2,446
B	2,290	2	3,541
	2,199		3,630
	2,417		3,713
	2,213		3,540
	2,238		3,554
	2,203		3,541
	2,366		3,630
	2,214		3,713
	2,253		3,540
C	1,469	3	2,884
	1,551		2,661
	1,650		2,644
	1,611		2,535
	1,647		2,884
	1,535		2,661
	1,706		2,644
	1,605		2,535
	1,611		2,690
D	2,017	275	2,784
	1,996		2,789
	1,970		2,558
	1,887		2,192
	1,879		2,594
	2,023		2,288
	2,016		2,950
	2,057		2,347
	1,961		2,311

PŘÍLOHA P 7: NAMĚŘENÉ HODNOTY ÚBYTKU HMOTNOSTI TAN

Směs	Úbytek hmotnosti TAN [g]	Směs	Úbytek hmotnosti TAN [g]
A	2,203	1	1,012
	2,254		0,807
	2,203		0,946
	2,254		0,921
	2,203		1,012
	2,254		0,807
	2,203		0,946
	2,254		0,921
	2,203		1,134
B	2,241	2	1,759
	2,611		1,534
	2,329		1,308
	2,241		1,661
	2,611		1,759
	2,329		1,534
	2,241		1,308
	2,611		1,661
	2,329		1,759
C	1,451	3	3,187
	1,497		3,245
	1,565		3,267
	1,463		3,367
	1,451		3,187
	1,497		3,245
	1,565		3,267
	1,463		3,367
	1,473		3,099
D	1,653	275	1,820
	1,413		1,998
	1,653		1,884
	1,413		1,672
	1,653		1,846
	1,413		1,787
	1,653		1,949
	1,413		1,765
	1,653		1,012