

Možnosti sdružování reworků kaučukových směsí

Jan Hába

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan HÁBA
Osobní číslo: T10245
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: Možnosti sdružování reworků kaučukových směsí

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
 - Skladba kaučukových směsí
 - Míchání kaučukových směsí
 - Vzájemná mísitelnost gumárenských surovin
 - Zkoušení a metrologie
- 2) Praktická část
 - Srovnajte možnosti míchání nových směsí
 - Proveďte míchání kaučukových směsí a vyhodnoťte výsledky
- 3) Závěr a ekonomické zhodnocení

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

-PREKOP, Štefan. Gumárska technológia I. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 1998, 282 s. ISBN 8071004839.

-PREKOP, Štefan. Gumárska technológia II. Vyd. 1. Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši, 2003, 370 s. ISBN 808891485x.

-DUCHÁČEK, Vratislav. Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2006, 158 s. ISBN 80-02-01784-6.

-FRANTA, Ivan. Gumárenské suroviny. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979, 606 s.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: HÁBA JAN

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 16. 5. 2013

Jan Hába

²¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

²²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnostmi sdružování reworků kaučukových směsí. V teoretické části je popsána skladba kaučukových směsí, míchání, metrologie a zkoušení kaučukových směsí. Pro účely praktické části je nejprve proveden sběr dat pro vyhodnocení fyzikálních zkoušek reworků. V další části se práce zabývá vyhodnocením jednotlivých reworků kaučukových směsí a způsobem jejich hodnocení. Závěr práce je věnován zhodnocení naměřených hodnot a návrhu zpracování reworků kaučukových směsí.

Klíčová slova: rework, kaučuková směs, metrologie

ABSTRACT

This thesis deals with the possibilities of rubber compound reworks grouping. The theoretical part describes the rubber raw materials, its mixing, metrology and testing of rubber compounds. For the purpose of the practical part was at first carried out data collecting for the evaluation of physical tests of the reworks. This section also deals with the evaluation of rubber compound reworks and the methods of their rating. The conclusion of the thesis contains the evaluation of the measured values and a proposal of rubber compound reworks processing.

Keywords: rework, rubber compound, metrology

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Dvořákovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a pozornost, kterou mi věnoval při řešení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petře Loučkové za konzultace, poskytnuté rady a informace.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SKLADBA KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	12
1.1 KAUČUK.....	12
1.1.1 Přírodní kaučuk	12
1.1.2 Syntetický kaučuk	15
1.1.3 Regenerát.....	20
1.2 KOMPONENTY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	20
1.2.1 Změkčovadla	20
1.2.2 Vulkanizační činidla.....	21
1.2.3 Retardéry vulkanizace	22
1.2.4 Urychlovače vulkanizace	22
1.2.5 Aktivátory vulkanizace	23
1.2.6 Antidegradanty	24
1.2.7 Plniva.....	24
1.2.8 Saze	25
1.2.9 Světlá plniva.....	25
1.2.10 Pigmenty	26
1.2.11 Nadouvadla	27
2 MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	28
2.1 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ NA DVOUVÁLCI	28
2.2 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ V HNĚTIČI.....	29
2.2.1 Jednostupňové míchání směsí	32
2.2.2 Vícestupňové míchání směsí.....	32
2.2.3 Míchání silika směsí.....	35
3 VZÁJEMNÁ MÍSITELNOST GUMÁRENSKÝCH SUROVIN	38
3.1 VZÁJEMNÁ MÍSITELNOST KAUČUKŮ	38
3.2 VZÁJEMNÁ MÍSITELNOST KOMPONENTŮ SMĚSÍ.....	38
4 ZKOUŠENÍ A METROLOGIE	39
4.1 TVRDOST SHORE	39
4.2 TAHOVÉ ZKOUŠKY	40
4.3 VULKAMETRIE	42
4.3.1 Laboratorní viskozimetr Mooney.....	42
4.3.2 Laboratorní reometr Monsanto 100	44
4.4 HUSTOTA	45
4.5 ODRAZOVÁ PRUŽNOST	45
5 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI	47
II PRAKTICKÁ ČÁST	48
6 CÍLE PRÁCE	49
7 ZPRACOVÁNÍ VRATNÝCH TECHNOLOGICKÝCH ZBYTKŮ - REWORKŮ	50

7.1	DEFINOVANÉ POŽADAVKY NA FYZIKÁLNÍ HODNOTY VULKANIZÁTU	53
7.2	ZAŘÍZENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ REWORKOVÝCH KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	53
7.3	HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ REWORKŮ	54
7.4	ZKOUŠENÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ A VULKANIZÁTŮ	55
7.5	VÝSLEDKY HODNOCENÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ A VULKANIZÁTŮ	59
7.6	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ REWORKŮ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ A VULKANIZÁTŮ	59
7.7	VYUŽITÍ PROGRAMU MINITAB A STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ.....	78
7.8	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI J REWORKEM A-O.....	83
7.9	EKONOMIKA ZPRACOVÁNÍ REWORKŮ.....	87
8	DISKUZE VÝSLEDKŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	89
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	96

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi sdružování kaučukových směsí.

Teoretická část se zabývá skladbou kaučukových směsí. Jsou popsány jednotlivé druhy kaučuků. Zjednodušeně je nastíněna výroba přírodního kaučuku. Je uveden základní popis synteticky připravených kaučuků. U kaučuků jsou pokud možno uvedeny výhody a nevýhody pro použití.

Další část představuje komponenty kaučukových směsí jako vulkanizační činidla, urychlovače, aktivátory, retardéry, změkčovadla, plniva, antidegradanty, antioxidanty, antiozonanty, regenerát atd.

Popsáno je míchání kaučukových směsí. Míchání na dvouválci a v hnětiči. Z hlediska významnosti je nejdůležitější míchání v hnětiči. Je popsáno míchání v hnětiči jednostupňové a vícestupňové. Popsány jsou i použité typy míchacích rotorů - intermix rotory a tangenciální rotory. Pro představu je uveden schematický popis míchací linky firmy Continental Barum.

Rozebrána je i vzájemná mísitelnost kaučukových směsí

Poslední část teoretické části je věnována zkoušení a metrologii kaučukových směsí.

Pro praktickou část bakalářské práce byly shromážděny fyzikální hodnoty reworků kaučukových směsí (pevnosti, tažnosti, M300, hustoty, tvrdosti a odrazové pružnosti). Měřeny byly vulkanizační charakteristiky. Z těchto naměřených hodnot byly stanoveny závěry o vhodnosti použití.

Cílem bakalářské práce je navrhnout možnosti dalšího využití reworků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SKLADBA KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Při skladbě kaučukové směsi vycházíme hlavně z technických požadavků aplikace, pro kterou je daná pryž určena. Je důležité vědět informace o prostředí a teplotách, ve kterých pryž bude provozována, dále způsobu namáhání a požadované životnosti. Musíme znát vlastnosti použitého kaučuku, možnosti jeho technologického zpracování a vlastnosti použitých přísad.

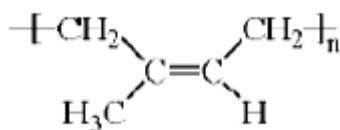
Nejčastější složky, které se vyskytují v kaučukových směsích:

- elastomer
- vulkanizační činidlo
- urychlovač vulkanizace
- aktivátor vulkanizace
- antidegradanty
- plniva
- změkčovadla
- pigmenty
- nadouvadla

[1,2]

1.1 Kaučuk

1.1.1 Přírodní kaučuk



Obrázek 1 struktura NR

Okolo 2000 rostlin obsahuje kaučuk, avšak pouze několik z nich může být hospodářsky využitelných. Hlavním zdrojem přírodního kaučuku je strom *Hevea brasiliensis*. Strom dosahuje 30m výšky a průměru kmene asi 0,5m. *Hevea brasiliensis* je původně divoce rostoucí rostlina v pralesích Jižní Ameriky v povodí Amazonky. Odtud také pocházel do roku

1890 veškerý kaučuk. Později se podařilo rostlinu aklimatizovat na Ceylonu a v Malajsii, tím se položil základ k pěstování *Hevea brasiliensis* na plantážích a k výrobě plantážového kaučuku. Dnes je *Hevea brasiliensis* pěstována v pruhu širokém asi 1000 km po obou stranách rovníku. 90% produkce přírodního kaučuku pochází z Asie. Ze stromů je kaučuk čepován ve formě latexu.



Obrázek 2 čepování kaučuku

Je to způsob, při kterém se dělají do kůry stromu spirálové zářezy nebo zářezy ve tvaru písmene V, ze kterých pak samovolně vytéká latex. Latex je mléčně zbarvená tekutina, která se zachycuje do nádobek a dále se musí koagulovat (vysrážet). Koagulace probíhá kyselinami, solemi, alkoholy, aldehydy nebo jinými látkami, je možný i samovolný bakteriální rozklad, kdy u latexu roste jeho kyselost a dochází k postupné koagulaci. Latex je vodní disperzí kaučukových částic, technický kaučuk je pak koagulátem latexu. Vlastnosti technického kaučuku se odvíjí od kvalit získaného latexu a způsobem jeho výroby. Složení latexu je ovlivněno věkem stromu, způsobem čepování, podnebnými podmínkami, druhem plantáže atd.

Kaučukové částice zvané globule jsou tvořeny agregáty kaučukového uhlovodíku C_5H_8 . Tvar částic může být oválný, kulovitý nebo hruškový a velikost částic se pohybuje od 0,1-4

µm. Latex obsahuje cca okolo 60 % vody, 35 % kaučuku, 1 % proteinů, 1 % lipidů, 1 % uhlohydrátů a řadu dalších látek v menších množstvích.

[3]

Přírodní kaučuk budeme dále označovat jako NR (natural rubber).

Přírodních kaučuků je podle typu výroby více druhů, a proto je lze použít v různých odvětvích.

Plantážový uzenny kaučuk (RSS) - dodává se ve více jakostech, které jsou ovlivněny čistotou a barvou, nikoliv kvalitou uhlovodíku. Prakticky se používá ve všech oblastech, kromě případů, kde je nutné použít směs čistě bílou. RSS se používá na výrobu duší, ochranných masek, pryžových nití, plovacích pásů atd.



Obrázek 3 plantážový uzenny kaučuk

Světlá krepa - používá se právě pro výrobky bílé nebo transparentní. Světlou pryž je možné vyrobit i za použití světlých druhů RSS, popřípadě kaučuku sušeného vzduchem, ale ani po přidání TiO_2 se nedosáhne, tak čistého tónu jako za použití bílé nebo světlé krepky. Cena světlé krepky převyšuje cenu RSS.

Další speciální druhy kaučuku jsou technicky klasifikované kaučuky (TCR), snadno zpracovatelné kaučuky (SP Rubber), předplastikované kaučuky, olejem nastavované kaučuky, práškové kaučuky atd.

[4]

Výhody NR:

- i bez použití plniv je výborná mechanická pevnost
- vysoká elasticita
- velmi dobrá oděru odolnost
- rozsah teplot pro dlouhodobé použití je od -57 až do 75°C

Nevýhody NR:

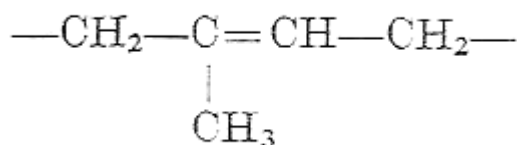
- špatně odolává UV záření, lze odstranit přídavkem sazí
- špatně odolává ozonu, lze odstranit přídavkem antiozonantů nebo vosku
- špatně odolává zvýšeným teplotám, lze odstranit přídavkem antioxidantů
- vysoká cena

1.1.2 Syntetický kaučuk

Hlavní rozdíl mezi syntetickým a přírodním kaučukem je samozřejmě v technologii výroby. Zatím co přírodní kaučuk je čistě produktem přírody, který probíhá uvnitř stromu, tak výroba syntetického kaučuku potřebuje výrobu monomerů, nejčastěji z petrochemických surovin a až poté probíhá polymerace. Syntetický kaučuk v mnohém předstihl ve vlastnostech přírodní kaučuk. Charakter syntetického kaučuku je dán chemickým složením, makro a mikrostrukturou.

[3]

Izoprenový kaučuk (IR)

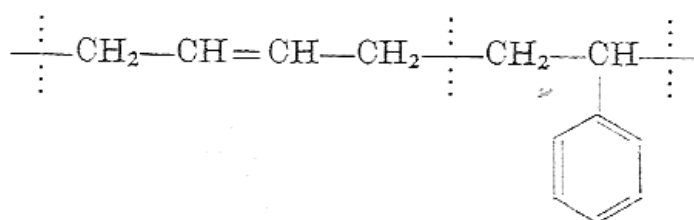


Obrázek 4 izoprenový kaučuk

- pokud jde o lepivost směsí, pevnost, odrazovou pružnost, hystereze a strukturní pevnost, tak právě izoprenový kaučuk jakožto průmyslově vyráběný kaučuk je nejvíce podobný NR. Byl uměle připraven v roce 1955. Za použití stereospecifických katalyzátorů byly připraveny polyizopreny s velkým obsahem cis-1,4-struktury. Použit IR je možno v běhounových a kostrových směsích pro výrobu pneumatik nákladních automobilu, letadel nebo traktorů. Dále v lékařství, obuvnictví, výrobcích, které jsou ve styku s potravinami. IR se přidává do jiných kaučuků pro zlepšení zpracovatelnosti.

[3]

Butadienstyrenový kaučuk (SBR)



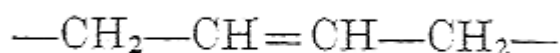
Obrázek 5 butadienstyrenový kaučuk

je nejdůležitějším druhem syntetických kaučuků. SBR je možno připravit emulzní nebo roztokovou polymerací. Emulzní polymerace butadienu a styrenu probíhá radikálovým mechanismem, vzniklý kaučuk je ve formě latexu, přesně jako je tomu u přírodního kaučuku. Při roztokové polymeraci se nejčastěji používá jako katalyzátor lithium a je kontrolovat molekulovou hmotnost, rozvětvení polymeru i mikrostrukturu. Z důvodu horší zpra-

covatelnosti SBR než u NR je nutné přidávat změkčovadla. SBR se používá k výrobě pneumatik, kde se míchá s NR, aby bylo dosaženo lepší konfekční lepidlosti.

[3]

Butadienový kaučuk (BR)

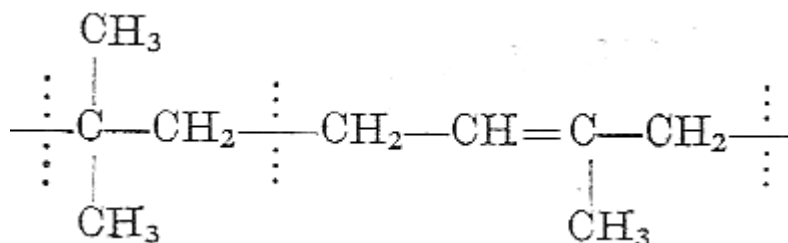


Obrázek 6 butadienový kaučuk

- pro výrobu pneumatik se řadí na druhé místo v použití syntetických kaučuků. Je použit prakticky ve všech gumárenských směsích, kde je míchán s ostatními kaučuky. Samotný BR je těžko zpracovatelný. BR se připravuje roztokovou polymerací za pomoci organokovových katalyzátorů. Použitý kov ovlivňuje vlastnosti BR. Přítomnost BR v běhounových směsích zlepšuje odolnost vůči praskání a opotřebení. Přítomnost BR snižuje koeficient tření a s tím je doprovázeno snížení záběrových podmínek, ty lze zlepšit přidáním sazí. Pro vulkanizaci BR je použito menší množství síry a příznivě ovlivňuje odolnost vůči stárnutí.

[3]

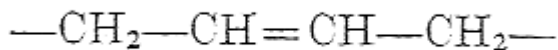
Butylkaučuk (IIR)



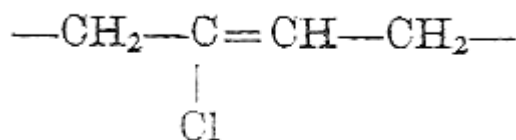
Obrázek 7 butylkaučuk

- se připravuje roztokovou kationtovou kopolymerací izobutylenu s izoprenem, reakce probíhá při -90°C . Lze připravit halogenové deriváty zaváděním proudu halogenu do roztoku butylkaučuku. Takto modifikované kaučuky mají lepší vlastnosti a lze je kovulkani-

zovat s kaučuky pro všeobecné použití. Hlavní výhodou je malá propustnost pro plyny, odolnost vůči kyslíku, ozonu a chemickému působení. Používá se na výrobu duší, membrán pneumatik, tlumicích prvků. Ze speciálních typů CIIR nebo BIIR se vyrábí vnitřní část pneumatik. [3]



Chlorprenový kaučuk (CR)

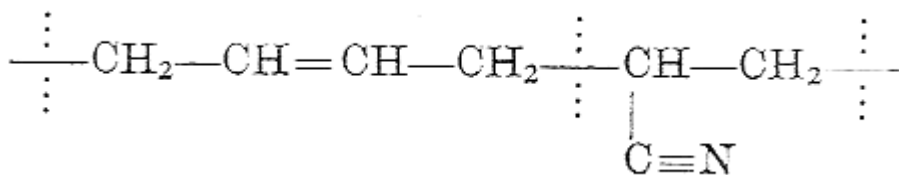


Obrázek 8 chlorprenový kaučuk

- i přesto že jde o jeden z nejstarších připravovaných druhů syntetického kaučuku, tak stále si zachovává své významné postavení. Má vysokou elasticitu, malou hořlavost a dobře odolává povětrnostním vlivům. Vyrábí se emulzní polymerací. Podle regulátoru molekulové hmotnosti máme G - typy (tiuramdisulfid, síra) a W - typy (merkaptany). K vulkanizaci není potřeba síry, vulkanizovat může působením oxidů kovu např. MgO, ZnO. Používá se na výrobu dopravních pásů, těsnění, membrán, klikových řemenů atd.

[3]

Butadienakrylonitrový kaučuk (NBR)

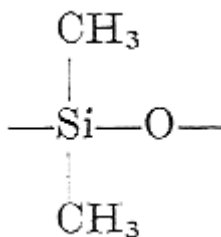


Obrázek 9 butadienakrylonitrový kaučuk

- jsou to kopolymery na speciální použití. V přítomnosti minerálních olejů nenadouvají, jsou odolné vůči teplu a nepolárním rozpouštědlům. Připravují se emulzní polymerací. Použití je převážně v automobilovém průmyslu na výrobu těsnění, palivových soustav, klínových řemenů.

[3]

Silikonové kaučuky (MQ, VMQ)

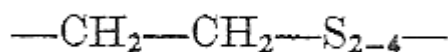


Obrázek 10 silikonový kaučuk MQ

Jsou speciální druhy kaučuků a mezi jejich výhody řadíme dobrou snášenlivost s lidským organismem, odolností vůči ozonu, odolnost vůči vysokým teplotám a dobrou ohebností za nízkých teplot. Můžeme je používat v rozmezí teplot od -60 až do 180°C. Polydimethylsiloxan (MQ) je základním silikonovým polymerem a jako elastomeru se ho nepoužívá. Přidáván je převážně do licích, tmelových a nátěrových směsí. Jako elastomeru je použito vinilmethylpolysiloxan (VMQ), má lepší tepelnou stabilitu než MQ a proto je ho možné použít do silikonových pryží odolávajících teplotám až do 200°C.

[5]

Polysulfidové kaučuky (OT)



Obrázek 11 polysulfidové kaučuky

- díky zápachu, který vzniká při výrobě i zpracování je dnes méně používaný. Výroba probíhá polykondenzační reakcí α , ω - dichloridu s polysulfidem sodným ve vodné emulzi. Vzniklý polymer je tedy nutné nechat vysrážet z latexu polysulfidového kaučuku. Použití je vhodné u výrobků, kde je potřeba zaručit odolnost vůči botnání, ozonu a povětrnostním vlivům.

[5]

1.1.3 Regenerát

Z opotřebovaných pneumatik, duší, pásů, hadic a výrobků z technické gumy získáváme gumový odpad. Takto získaný odpad lze za působení mechanické nebo tepelné energie uvést do plastického stavu. Připravený materiál dále můžeme míchat, aktivovat, zpracovávat a vulkanizovat. Podstatou regenerace je degradace vazeb vulkanizátu. Představa je taková, že dochází k trhání sítě a ke vzniku produktů s menší molekulovou hmotností. Vzniklý regenerát je vhodný pro snížení výrobních nákladů, popřípadě nám zlepšuje některé technologické vlastnosti. Za zmínku stojí snížení záběhové špičky při míchání, a zkrácení doby na míchání. To vede ke snížení spotřeby energií. Směs s regenerátem se lépe vytlačuje, válcuje a je odolná vůči narůstání za hubicí. Vytlačený profil je pak rozměrově stálejší. Regenerát je vhodné použít do směsí používaných na výrobu koster a bočnic pneumatik, do běhounové směsi se regenerát nepřidává, protože snižuje odolnost proti opotřebení.

[4]

1.2 Komponenty kaučukových směsí

1.2.1 Změkčovadla

Změkčovadla jsou přísady zmenšující tuhost kaučukové směsi a tím usnadňují mechanické zpracování (míchání, válcování, vytlačování atd.). To mají splňovat nejrůznější nízkomolekulové kapaliny nebo tuhé látky, pokud jsou mísitelné s kaučukem. Nejčastěji jde o minerální oleje. Princip, na kterém změkčovadla fungují, je, že pronikají mezi makromolekuly kaučuku, zvětšují jejich průměrnou vzdálenost, zmenšují propletení, omezují vnitřní tření mezi molekulami a usnadňují tak přeskupování hmoty. Přítomnost změkčovadel nám

snižuje mechanické vlastnosti vulkanizátu (tvrdost, pružnost, mrazuvzdornost atd.). Rozhodující není druh změkčovadla, ale jeho množství. Použitím plniv dále zlepšíme disperzi plniv a snížíme spotřebu energie na míchání.

Maziva jako vazelína nebo parafín jsou nepolární změkčovadla. Mají příznivý vliv na hladkost povrchu vytlačovaných profilů a fólií. Při vyšším dávkování vystupují na povrch v podobě souvislého filmu. To může být příznivé i při ochraně před ozonem. Dále snižují přilnavost k válcům a konfekční lepivost. Jako mazivo se chová i stearin, který je součástí aktivačního systému.

Pryskyřice se používají ke zlepšení konfekční lepivosti a zpracovatelnosti, zvláště u syntetických kaučuků. Nejběžnější pryskyřicí je kalafuna. Ze syntetických pryskyřic je používána kamaronová pryskyřice, která zlepšuje zpracovatelnost, ale konfekční lepivost zdaleka ne, tak dobře jako kalafuna.

Emulzní změkčovadla zlepšují zpracovatelnost vysoce plněných směsí, zvláště při vytlačování nebo vstřikování a následné kontinuální vulkanizaci. Některé z emulzních změkčovadel nám mohou usnadnit homogenizaci kaučuků s rozdílnou strukturou a viskozitou.

Základní požadavky kladené na změkčovadla v gumárenském průmyslu jsou:

- dobrá mísitelnost s kaučukem
- nízká viskozita a malá závislost viskozity na teplotě
- chemická a tepelná stabilita při zpracování směsí
- nízká těkavost

[2]

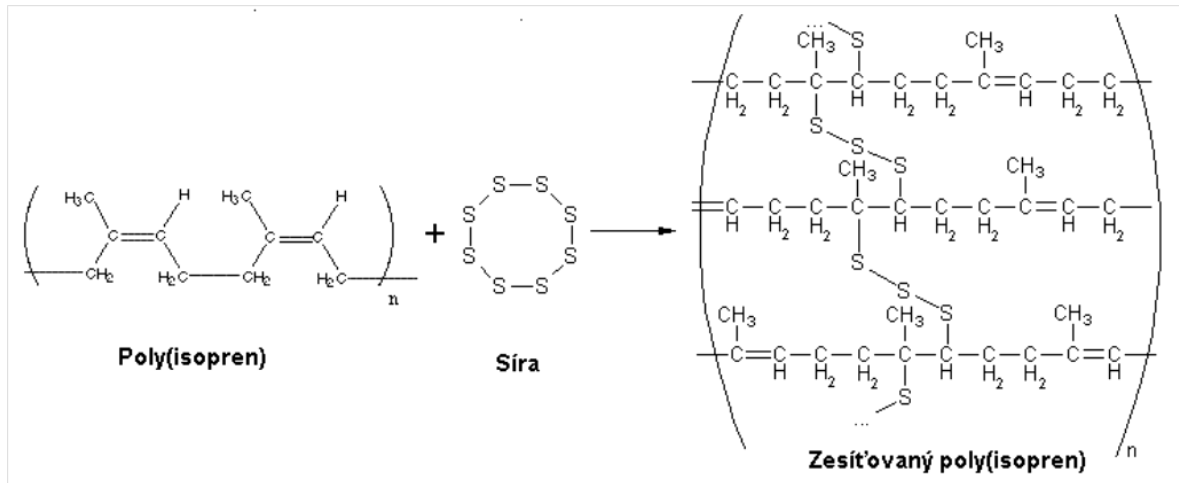
1.2.2 Vulkanizační činidla

Aby plastický kaučuk byl převeden na elastickou pryž je potřeba vulkanizačních činidel. Při vulkanizaci se vytváří příčné chemické vazby mezi molekulami kaučuku a dochází ke zlepšení pevnosti, odrazové pružnosti, odolnosti vůči nízkým i vysokým teplotám, tvrdosti a modulu. Snižuje se tažnost. Obvyklým vulkanizačním činidlem je síra.

Podle množství přidané síry může vzniknout pryž:

- měkká: do 4 dsk síry, vysoce elastická
- polotvrdá: 12-25 dsk síry, snížené mechanické vlastnosti
- tvrdá: vysoká tvrdost, nízká tažnost a ohebnost

Další využívané vulkanizační činidlo je selén, telur, peroxidy, reaktivní pryskyřice a donory síry.



Obrázek 12 schéma síťování kaučuku za použití síry

[1]

1.2.3 Retardéry vulkanizace

U směsí obsahující vysoce aktivní vulkanizační přísady nebo urychlovače vulkanizace je nutné použití retardérů vulkanizace. Retardéry vulkanizace nám chrání směs před předčasným navulkanizováním, například během míchání nebo dalším zpracováním. K předčasnému navulkanizování může dojít při zpracování v provozních podmínkách, kde je problém s chlazením technologických zařízení. Dělení retardérů je na organické (kalafuna, octan sodný) a anorganické (MgO, PbO).

[2]

1.2.4 Urychlovače vulkanizace

Za použití urychlovačů vulkanizace se nám doba potřebná k vulkanizaci snižuje z hodin na minuty. Tyto látky zároveň snižují vulkanizační teplotu a zlepšují vlastnosti pryže a to

hlavně teplo vzdornost a odolnost proti stárnutí. Důležité také je, že snižují potřebné množství síry k vulkanizaci. Tyto látky obsahují v molekule dusík a síru.

Urychlovače dělíme do skupin podle toho, jak rychle urychlují chemickou reakci.

Máme 4 základní skupiny:

- pomalé (aminy, guanidiny)
- rychlé (tiazoly, sulfonamidy)
- velmi rychlé (tiuramy)
- ultraurychlovače (ditiokarbamáty, xantogenáty)

Dobrý urychlovač musí mít následující vlastnosti:

- bezpečný při zpracování danou technologií
- rychlý při vulkanizaci
- musí příznivě upravovat vlastnosti kaučuku
- nesmí být jedovatý nebo dráždivý
- nemá zbarvovat vulkanizát
- má být ekonomický

[2]

1.2.5 Aktivátory vulkanizace

Bez přidání urychlovače není síra příliš účinným vulkanizačním činidlem a k vytvoření příčných vazeb mezi kaučukem by bylo nutné dávkovat velké množství síry nebo donoru síry. Podstata aktivace při vulkanizaci sírou spočívá ve zvýšení síťovací účinnosti vulkanizačního systému. Aktivátory jsou nejčastěji oxidy kovů: ZnO, MgO, CaO, PbO atd. Osvědčený je oxid zinečnatý, kyselina stearová, a pro transparentní směsi stearan zinečnatý. Aktivátory vulkanizace s retardéry, vulkanizačními činidly a urychlovači tvoří vulkanizační systém.

[2]

1.2.6 Antidegradanty

Po vulkanizaci jsou stále v polymeru přítomny dvojně vazby. Ty jsou napadány kyslíkem a ozonem a dávají vzniku nestabilním peroxidům a ozonidům, které se radikálově štěpí a následně dochází k procesu - stárnutí pryže. Na stárnutí pryže se podílí i působení tepla, světla, UV záření, dynamického, statického a mechanického namáhání. Abychom zpomalili stárnutí, tak přidáváme látky zvané antidegradanty. Stárnutí je možné zpomalit použitím:

- antioxidantů a antiozonantů
- činidel chrání proti účinkům světla, hlavně UV záření
- ochranných vosků - potlačují hydrolýzu funkčních skupin
- akceptorů rozkladných produktů

[2]

1.2.7 Plniva

Většina gumárenských směsí obsahuje cca 30% plniv

Prvořadým důvodem použití plniv je úprava zpracovatelnosti směsí a úprava fyzikálních a mechanických vlastností vulkanizátu. Další důvod je ekonomický.

V praxi dělíme plniva:

- saze
- světlá plniva (minerální plniva)
- ostatní

Správné použití plniv závisí na technických požadavcích, jejich použití ovlivní téměř všechny vlastnosti jako: hustotu, tvrdost, modul, elasticitu, tažnost, strukturní pevnost, dále zpracovatelnost, propustnost pro plyny a páry, ale především cenu pryže. Zlepšení vlastností vulkanizátu plněním nazýváme - ztužení. Ve vulkanizátech má kromě sazí ztužující účinek i silika, některé silikáty, pigmenty a pryskyřice. S plněním klesá plasticita a směs se hůře hněte.

Podle toho, jak jsou kaučukové směsi ovlivněny plnivými, se dělí:

- *Ztužující plniva* často zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti oděru (jemné saze, srážená silika, velikost částic 0,01 - 0,1 μm).
- *Poloztužující plniva* nám podobně jako ztužující plniva zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost, ale nedojde ke zlepšení odolnosti proti oděru (hrubé saze, kaolin, srážený CaCO_3 , velikost částic 0,1 - 1 μm).
- *Neztužující plniva* vůbec vlastnosti vulkanizátu nezlepší (měkký kaolin, mastek, CaCO_3 , velikost částic 1 - 10 μm).

Částice nad 10 μm by se v kaučukových směsích neměly nacházet, protože iniciují ke vzniku trhlin.

[2]

1.2.8 Saze

Saze řadíme mezi nejdůležitější gumárenská plniva, proto je i naprostá většina gumárenských výrobků černá. Saze svou černou barvou pohlcují světelné záření a tím výrobek chrání proti degradaci slunečním zářením. Ztužující účinek sazí je tím větší, čím menší jsou částice a čím větší je povrch sazí. Tím, že zavedeme plnivo do polymerní matrice, tak změnímme vlastnosti celého systému. Důležitým faktorem jsou povrchové síly mezi plnivem a matricí, tvar částic. Mezi reálnými plnivými jsou rozdíly, které závisí na velikosti částic, vzdálenosti mezi jednotlivými částicemi a smáčivosti. Existují saze kanálové, retortové olejové, retortové plynové, termické, lampové a forsunkové. Díky vysoké výrobnosti suroviny na jednom zařízení jsou nejvíce vyráběny saze retortové.

[2]

1.2.9 Světlá plniva

Někdy jsou uváděny pod názvem minerální plniva. Představují velkou skupinu plniv buď přírodních, nebo synteticky připravených. Převážně jde o přírodní materiály, které jsou těženy a následně mlety. Minerální plniva se nejprve využívaly jako neztužující přísady ke

snížení ceny. Až v 70. letech minulého století se začaly využívat pro své unikátní vlastnosti. Dále se využívají u výrobků, u kterých požadujeme barvu jinou než černou, popřípadě u výrobků, které mají propouštět světlo. Ztužující účinek závisí na měrném povrchu a na interakci mezi plnivem a polymerní matricí.

Z tohoto pohledu je možné pohlížet na tato plniva:

- aktivní
- neaktivní
- ostatní

Aktivita plniv se projevuje ve ztužujícím účinku plniv, tj. velikosti, tvaru, disperzi atd. Mezi povrchem plniva a kaučukovou směsí dochází ke spojení různým druhem a typem vazeb.

U výrobků, u kterých požadujeme nízkou viskozitu, dobrou trvalou deformaci a dobrou zpracovatelnost (hadice, barevná těsnění) použijeme minerálních plniv s nízkou aktivitou. Vysokou pevnost a oděru vzdornost výrobků zajistíme přidáním minerálních plniv s vysokou aktivitou. U takto aktivních plniv je nutné dávkovat i aktivátor (např. diethylenglykol) nebo organosilan, aby se zlepšila viskozita směsi a zlepšila se charakteristika vulkanizace.

Málo aktivní nebo neaktivní minerální plniva se společně se sazemi využívají u výrobků, u nichž nehraje roli barva, a které nejsou namáhány.

Představitelem aktivního minerálního plniva je zejména SiO_2 - silika, která působí v kaučukové směsi obdobně jako saze. Vyrábí se buď hydrolyzou z chloridu křemičitého, nebo z písku.

Neaktivní, neztužující minerální plniva představují přírodní látky na bázi sloučenin Si, Ca, Na, Al atd. Jejich účel je především ekonomický. Mechanické vlastnosti vulkanizátu tato plniva ovlivňují v závislosti na velikosti jejich částí.

[6]

1.2.10 Pigmenty

Měkká pryž, která je bez plnění a je světle hnědá. Neplněná tvrdá pryž vyrobená z kaučuku, síry a malého množství aktivátoru je téměř černá. Pryž plněná sazemi je černá. Aby

byly uspokojeny potřeby trhu po zbarvených směsích, se začalo používat pigmentů. Pigmenty byly nejprve minerální, později se začaly využívat organické. Organické pigmenty odolávají vůči teplotě a síře.

Aby byly pigmenty použitelné do kaučukových směsí, tak musí splňovat:

- v kaučuku se musí dobře dispergovat
- nesmějí se rozpouštět
- musí odolávat vulkanizační teplotě v přítomnosti síry a běžných přísad kaučukových směsí
- nesmějí měnit odstín účinkem přímé páry
- nesmějí ovlivňovat průběh vulkanizace
- nesmějí nepříznivě ovlivňovat fyzikální vlastnosti a stárnutí pryže
- musí být stále na světle a odolávat povětrnostním vlivům

[2]

1.2.11 Nadouvadla

Nadouvadla se přidávají při výrobě mechové nebo houbové pryže, též nazývané jako lehčené. Nadouvadla obsažená ve směsi se za potřebné teploty rozkládají na plyn. Aby nadouvání proběhlo, tak kaučuková směs musí mít dostatečně vysokou plasticitu. Dělíme je na organická a anorganická.

Anorganickým nadouvadlem je hydrouhličitan sodný, uhličitan amonný, etylakohol, voda, močovina aj.

Mezi organické nadouvadla řadíme například benzensulfohydrazid.

[2]

2 MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Míchání kaučukových směsí je jeden z nejdůležitějších výrobních procesů v gumárenském průmyslu. Další zpracování směsí je právě ovlivněno na kvalitě míchání. Vlastnosti vulkanizátu nám ovlivní kromě druhu a množství použitých složek ve směsi i podmínky zpracování. Aby surový kaučuk byl schopen pojmout přísady je nutná nejprve jeho plastikace. Při plastikaci dochází ke snižování molekulové hmotnosti kaučuku. Plastikaci vedeme jen do takového stupně jaký je nutný pro další zpracování. Nadměrná plastikaci vede ke zhoršení vlastností vulkanizátu a snížené odolnosti proti únavě a stárnutí. Kvalitním mícháním zajistíme stejnoměrné rozložení jednotlivých složek v objemu směsi. Pro míchání se využívají zejména hnětiče popřípadě kontinuální hnětiče, méně často jsou využity dvouválce.

Následné problémy mohou nastat rozdílnými vlastnostmi jednotlivých složek směsí:

- Kaučuky jsou za pokojových teplot podobné podchlazeným kapalinám. Při míchání mají viskoelastické chování, které je ovlivněno teplotou.
- Plniva se dodávají ve formě prášků a po jejich vmíchání do kaučuku ovlivní tokové chování. Během míchání se aglomeráty tvořené částicemi plniva musí rozpadnout a následně zapracovat a rovnoměrně zamíchat do směsi.
- Změkčovadla jsou ve formě past nebo kapalin. Změkčovadla se dostávají do kaučuku difuzí a požadované je, co nejrychlejší vmíchání, proto je nutné při míchání zajistit co největší povrch mezi kaučukem a změkčovadlem.
- Gumárenské chemikálie jsou vyráběny v nejrůznější podobě. Kvůli nízkému obsahu chemikálií ve směsi je nutné důkladné rozmíchání. Chemikálie jsou často tepelně nestálé.

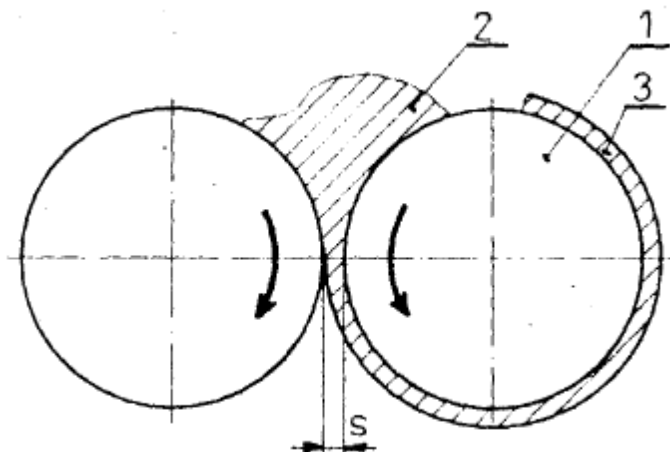
[6]

2.1 Míchání směsí na dvouválcích

Historicky první stroj, který je schopen splnit požadavky na míchání byl právě dvouválec. Jde o nejstarší způsob zpracování a je dnes téměř překonaný. Používá se na míchání malých dávek speciálních směsí, na barvené směsi, na výrobu houbové pryže.

Dvouválec je složen ze dvou horizontálně uložených válců vyrobených z oceli a litiny. Válce mohou být vyhřívané i chlazené. Válce se otáčejí proti sobě, každý válec rozdílnou rychlostí. Tento jev nazýváme skluz. Pro standardní směsi je skluz od 1:1,2 až 1:1,5. Mí-

chání probíhá při rychlosti $0,4 - 0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na předním válci (1) se při míchání vytvoří souvislá vrstva směsi zvaná opásání (3) a mezi válci je přebytek směsi zvaný návalek (2). Práce na dvouválci je nebezpečná a vyžaduje určitou praxi obsluhy. Doba míchání je ovlivněna obvodovými rychlostmi a velikostí štěrbin (s) mezi válci.



Obrázek 13 schéma dvouválce s míchaným materiálem

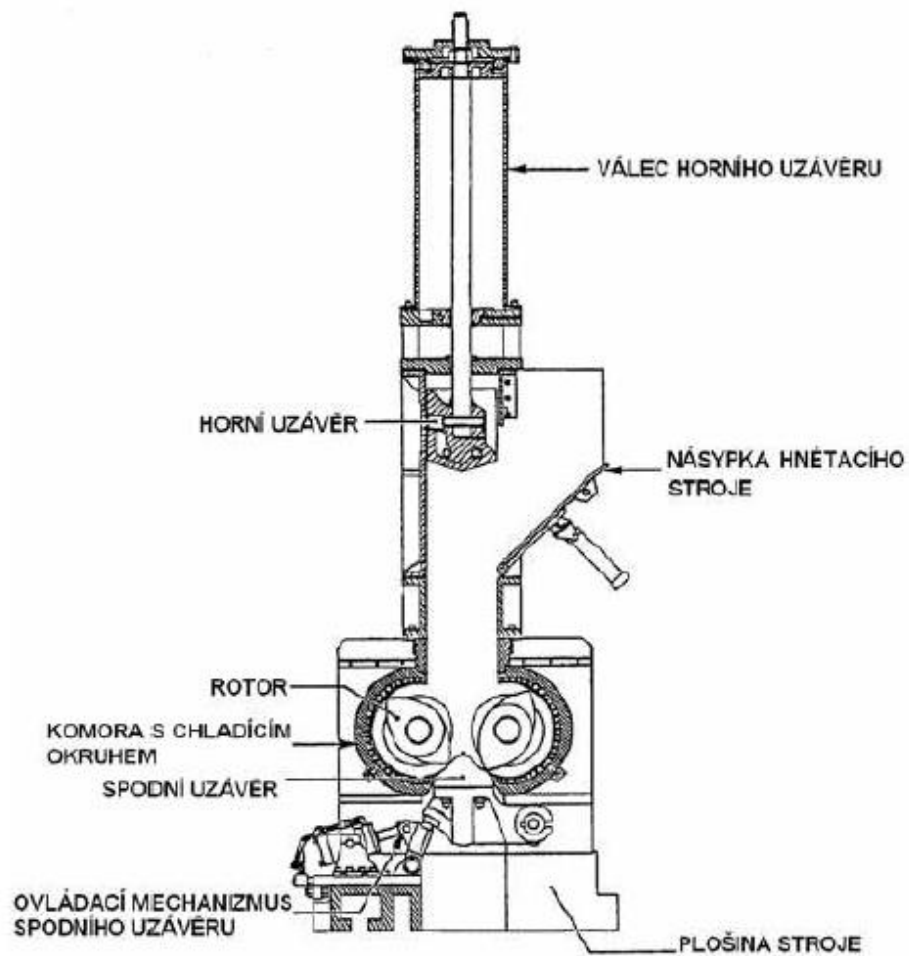
Aby bylo zlepšeno míchání na dvouválci, tak musíme dodržet přítomnost návalku. Plnivo přidáváme před návalek a následně je uzavřeno mezi vrstvy v návalku. V další fázi je plnivo strháváno do štěrbin a rozmícháno v opásání. V důsledku skluzu se plnivo koncentruje na vnější vrstvě kaučukového plástu. Proto je nutno v další fázi opásání prokrajovat a překládat, tím se plnivo z povrchu plástu dostane i doprostřed.

[1]

2.2 Míchání směsí v hnětiči

Dnes nejvíce využívaný stroj pro míchání kaučukových směsí je hnětič. V hnětiči probíhá diskontinuální míchání převážně velmi viskózních materiálů. V průběhu pracovního cyklu míchání se generuje velké množství tepla, které je nutno odvádět. Odvoz tepla zajišťuje chlazený plášť. Princip míchání je podobný míchání na dvouválci, ale míchání v hnětiči probíhá v uzavřené komoře současně za zvýšeného tlaku. Aby bylo možné dávkovat změkčovadla bez otevření horní uzávěrky, tak míchací komora může disponovat radiálními otvory pro dávkování. Válce, které rotují v komoře, se nazývají rotory. Ve srovnání s

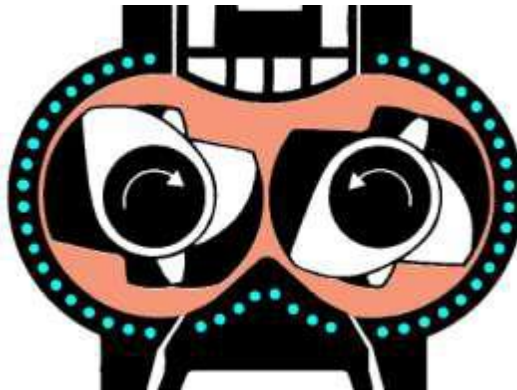
dvouválcem se vnitřní hnětič vyznačuje kratšími časy na míchání (od 2 - 10 min.), většími dávkami (i přes 500 kg směsi), menší úrazovostí, vysokou kvalitou míchání, nízkou prašností při dávkování. Míchání u moderních počítači řízených strojů je zcela automatické. Z řídicího počítače ovládáme posuv pásové váhy, otevírání a zavírání dveří násypky, přívod sazí, chemikálií, pohyb horního a dolního uzávěru. Kvůli zvýšeným teplotám při míchání je často nutné vícestupňové míchání.



Obrázek 14 schéma hnětacího stroje

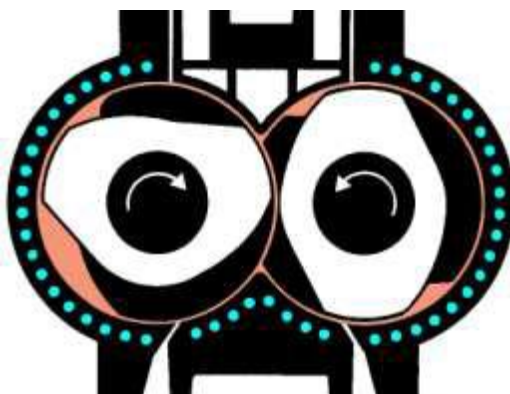
[1,6]

Tangenciální rotory se při svém otáčivém pohybu navzájem neprotínají a míchání je uskutečňováno v prostoru mezi břity a vnitřní částí komory. Pravý a levý rotor se může otáčet rozdílnými obvodovými rychlostmi. Podle toho se dělí na režimy s frikací a bez frikce. Rotory mohou mít buď dva nebo čtyři břity. Tangenciální rotory zabírají méně místa v hnětiči, tak je možno míchat objemnější dávky.



Obrázek 15 tangenciální rotory hnětacího stroje

Intermix rotory se při svém otáčivém pohybu navzájem protínají. Kvůli vzájemnému zapadání výstupků a prohlubní pravého a levého rotoru není možno jako u tangenciálních rotorů využít rozdílných obvodových rychlostí. Míchání probíhá zejména v prostoru mezi rotory. Tyto rotory byly vyvinuty pro míchání základových silika směsí, ale osvědčené jsou i pro míchání základových sazových směsí, finálových směsí nebo pro tandemové míchání.



Obrázek 16 intermix rotory hnětacího stroje

2.2.1 Jednostupňové míchání směsí

Při jednostupňovém míchání je směs zpracovávána pouze jedenkrát. Do hnětiče postupně přidáváme ke kaučuku veškeré gumárenské chemikálie včetně vulkanizačního systému. Po předepsaném míchání je směs přemístěna na chlazení na dvouválec a následně je zpracována na pláсты. Z důvodu předčasného navulkanizování je možno vulkanizační činidla přidat až na domíchání na dvouválci. Jednostupňové míchání se používá výjimečně a jen pro směsi, které se příliš nezahřívají.

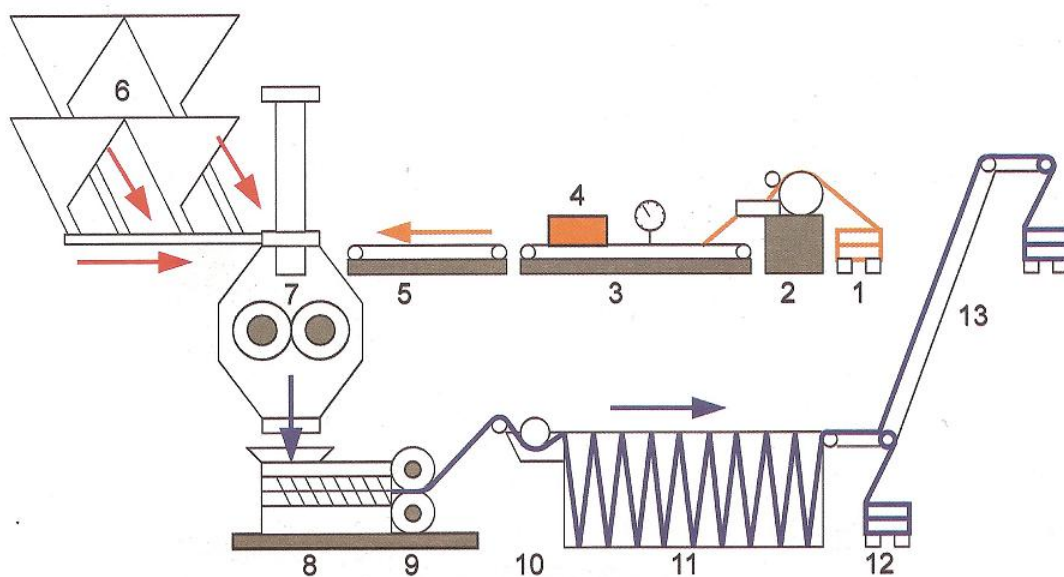
[6]

2.2.2 Vícestupňové míchání směsí

Míchání prvního stupně

těž míchání základové směsi, ve kterých jsou obsaženy téměř všechny gumárenské suroviny. Chybí zde urychlovače vulkanizace a vulkanizační činidla. Nejprve je nutno přesně navážit kaučuk a chemikálie. Tyto komponenty se přes dopravník dávkuje do hnětiče. Automaticky je navažován olej saze nebo silika a podle míchacích předpisů se dávka zamíchá. Poté se otevře spodní uzávěr hnětiče a celá směs pokračuje extruderem na dvouválec. Na dvouválci směs válcujeme na pláсты s požadovanou tloušťkou. Pláсты se ošetří separační suspenzí proti vzájemnému slepení a putují na osušení a zchlazení do chladičky. Osušené pláсты se skládají na palety a následně jsou uskladněny pro další zpracování.

[7]



Míchací linka pro míchání základů směsí

- | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--|
| 1. paleta se základ. směsí | 6. násypky přísad | 10. smáčecí vana se separační suspenzí |
| 2. podavač (Millfeeder) | 7. hnětič | 11. chladička plástů |
| 3. pásová váha | 8. vytlačovací stroj (extruder) | 12. skládání plástu na paletu |
| 4. kaučuk | 9. zásobovací dvouválec | 13. dopravník plástu do II. etáže |
| 5. plnicí dopravník | | |

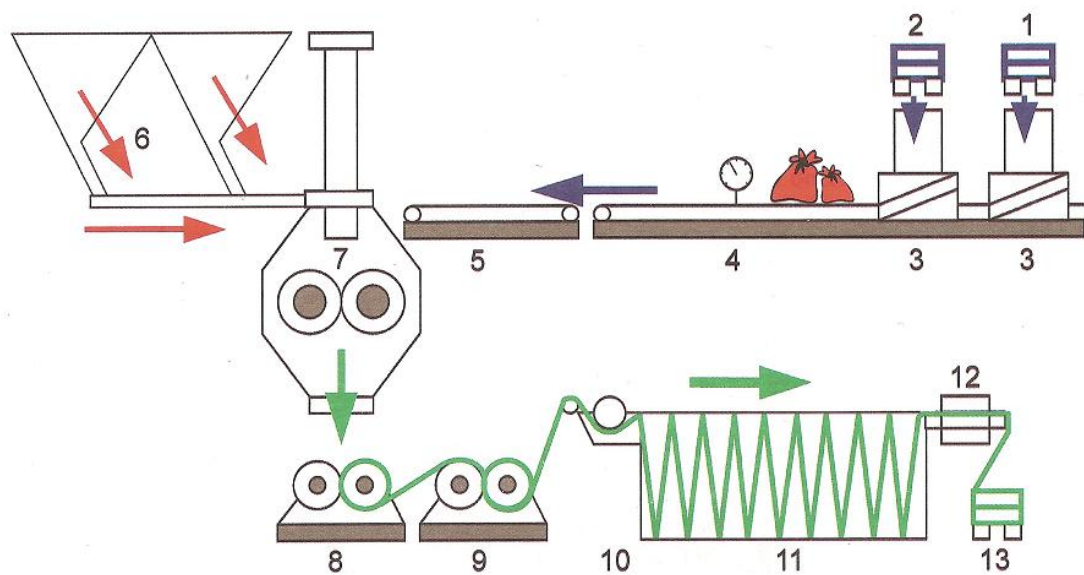
Obrázek 17 schéma míchací linky pro míchání základních směsí

Míchání druhého stupně

je domíchání urychlovačů a vulkanizačních činidel do základové směsi. Míchání finálních směsí není tak náročné na strojní vybavení jako míchání základových směsí, protože odpadá složité navažovací zařízení. Automaticky domícháváme pouze urychlovače vulkanizace, vulkanizační systém se z bezpečnostních důvodů přidává ručně. Míchání finální směsi je velice rychlé (1-3 minuty). Další postup směsi je obdobný jako u míchání základních směsí (dvouválec, chlazení a ukládání na palety, uskladnění ve skladu).

Vícestupňové míchání

pokud nelze připravit kvalitní předsměs s dobře dispergovaným plnivem, popřípadě je nutné na několikrát přidávat chemikálie, je nutno mezi I. a II. stupněm provést několikrát přemíchání.



Míchací linka pro míchání finálních směsí

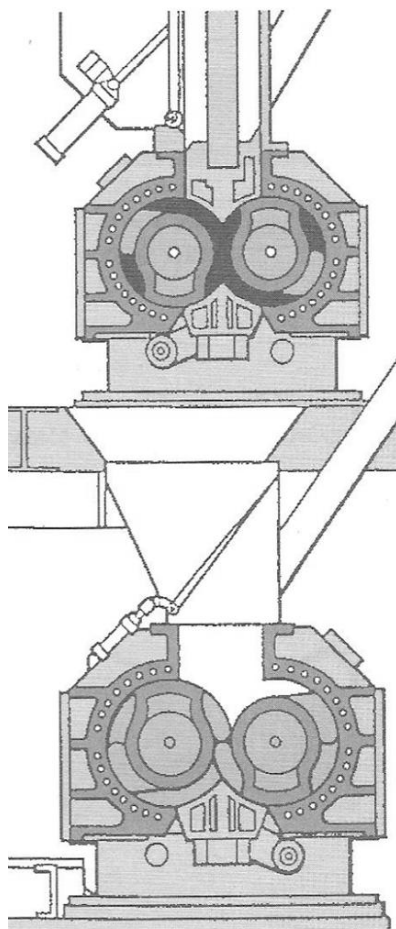
- | | | |
|---------------------------------|----------------------------|--|
| 1. paleta se základovou směsí | 6. násypky přísad | 10. smáčecí vana se separační suspenzí |
| 2. paleta se směsí vrat. odpadu | 7. hnětič | 11. chladička plástů |
| 3. podavače (Millfeedery) | 8. homogenizační dvouválec | 12. odběr vzorků |
| 4. pásová váha | 9. zásobovací dvouválec | 13. skládání plástu na paletu |
| 5. plnicí dopravník | | |

Obrázek 18 schéma míchací linky pro míchání finálních směsí

Tandemové míchání

je míchání dvoustupňové ve dvou hnětičích nad sebou. V prvním hnětiči se připravuje základová směs, která se vypouští do spodního hnětiče. Spodní hnětič má zvětšený objem, aby byl během krátké chvíle (2 min) schopen zchladit směs (na 105-110 °C) a přimíchat vulkanizační systém. U takto řešené míchací linky být nevýhodou ztráta výrobních kapacit při poruše byť jen jednoho z hnětičů.

[6]



Obrázek 19 Progresivní dvojstupňové míchání směsí v tandemovém hnětacím stroji

2.2.3 Míchání silika směsí

Namísto aktivního plniva v podobě sazí je použit u silika směsí oxid křemičitý SiO_2 . Abychom byli schopni použít siliku v kaučukové směsi, tak musí proběhnout reakce (silanizace) mezi polymerem (kaučukem) a silikou (SiO_2) za přítomnosti aktivátoru, v úzkém rozmezí teplot a přesně stanovenou dobu. Takto specifické podmínky je možno dodržet pouze v upravených plně automatizovaných linkách s rotory typu Intermix.

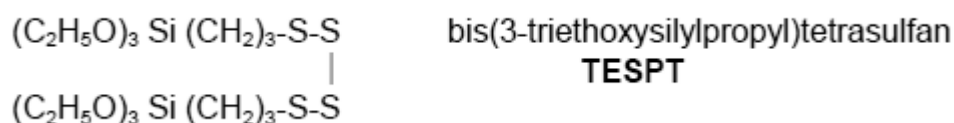
[7]

Abychom jsme mohli použít siliku jako plnivo, tak musí proběhnout tzv. silanizace silany. Silany jsou vazebná činidla, která modifikují povrch plniv. Vazebnou reakcí rozumíme chemické nebo fyzikální spojení dvou rozdílných chemických látek. Jde tedy o vazebná činidla působící na rozhraní polymer/plnivo.

Komerčně se nabízejí silany s nejméně dvěma reaktivními chemickými skupinami v molekule. S minerálním povrchem reaguje za vzniku stabilní siloxanové vazby skupina trialkoxy-silyl. Další skupina vytvoří stabilní vazbu s povrchem polymeru.

Pro gumárenské produkty jsou využívány difunkční organosilany, které vytvoří kovalentní chemické vazby mezi povrchem plniva a polymeru, tím dojde k tzv. chemickému ztužení.

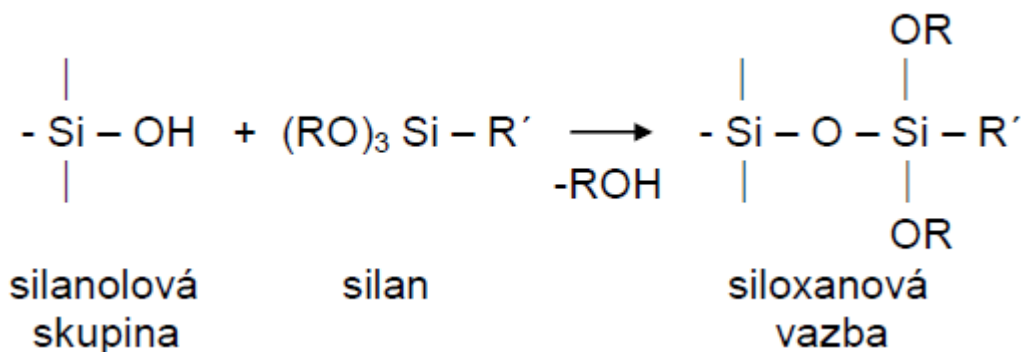
U sírou vulkanizovaných směsí pro výrobu pneumatik se používá silan TESPT.



Obrázek 20 TESPT

Při silanizační reakci (rovnice 1) se mění charakter povrchu plniv. Většina minerálních plniv je hydrofilních a nemísí se polymery, které jsou nejčastěji hydrofobní. Po silanizační reakci se mění povrch minerálních plniv na hydrofobní.

Rovnice 1 silanizační reakce



R - methyl nebo ethyl

R' - skupina schopná reakce s kaučukem

Silanizační reakce jsou primární a sekundární.

Při primárních reakcích reaguje silan se silanovými skupinami a navazuje se na povrch plniva, tak jak je uvedeno v rovnici.

Při sekundárních reakcích se uskutečňují kondenzační reakce sousedních, již na povrchu navázaných silanů. Dochází k dalšímu odštěpování alkoholu.

Silanizační reakce probíhá třemi způsoby:

- při míchání se přidá silan do kaučukové směsi, silanizační reakce se silikou probíhá během dispergace plniva
- suchý postup, silan s plnivem se nejprve rozmíchá a následně zahřeje, při zahřívání (100-140°C) proběhne silanizační reakce
- mokrý postup, silan přidáme do vodní suspenze plniva a následně zahřejeme, zvýšením teploty proběhne reakce

U běhounových silika směsí se výrazně oproti běžným sazovým směsím zlepšuje trakce na sněhu až o 35%, přilnavost za mokra až o 5% a valivý odpor se sníží o 25%.

[6]

3 VZÁJEMNÁ MÍSITELNOST GUMÁRENSKÝCH SUROVIN

3.1 Vzájemná mísitelnost kaučuků

Abychom jsme docílili požadovaných vlastností vulkanizátu, tak je často nutné použít směs dvou a více druhů kaučuků. Pro kovulkanizaci kaučuků je nutná jejich vzájemná mísitelnost. U většiny polydienových kaučuků obvykle není problém mísitelnosti. Při výrobě pneumatik se často mísí kaučuky NR, IR, BR, SBR. Ne tak často se mísí kaučuky vzájemně méně snášitelné, ale není to zcela neobvyklé, jelikož výslednému vulkanizátu to přináší lepší užité vlastnosti. Kvůli lepší dispergaci fází v heterogenních směsích vzájemně nemísitelných kaučuků se používají dispergační přísady.

Vzájemně mísitelné kaučuky mají blízkou rozpustnost. Pro dosažení nejlepších vlastností směsí z mísitelných kaučuků je nutná co nejvyšší homogenita. V praxi je dokonalé smísení makromolekul těžko dosažitelné. Aby byla dosažena co nejlepší homogenita směsi, je nutné správné nastavení míchání. Dostatečně homogenní směs je považována tehdy, když u směsi máme jednotnou teplotu zesklnění. Ne vždy je nejlepší mít pouze jednu teplotu zesklnění. Například běhounová směs na bázi SBR s přídavkem 1,4 - BR má nižší teplotu skelného přechodu, to vede ke zlepšení odolnosti proti oděru, ale zároveň to vede ke snížení adheze na mokru. Kvůli takovýmto protichůdným požadavkům je někdy lepší uchovat jistý stupeň heterogenity směsí, takto heterogenní směs má více teplot skelného přechodu.

[6]

3.2 Vzájemná mísitelnost komponentů směsi

Jako změkčovadla jsou používány minerální oleje. Minerální oleje jsou mísitelné s nepolárními kaučuky, s polárními kaučuky jsou nemísitelné. Proto u polárních kaučuků například u nitrilkaučuku, chlorprenového kaučuku a akrylátového kaučuku se jako změkčovadla používají syntetická změkčovadla.

Kalafuna používaná ke zlepšení konfekční lepivosti a zpracovatelnosti, zvláště u syntetických kaučuků není často s kaučukem dostatečně mísitelná. Konfekční lepivost se může zlepšit i přidáním novolaku. Mísitelnost novolaku s kaučukem závisí na polaritě kaučuku.

Pro pokles viskozity a zkrácení doby míchání a snížení teploty zpracování se používají pro svou lepší mísitelnost než mastné kyseliny kovová mýdla.

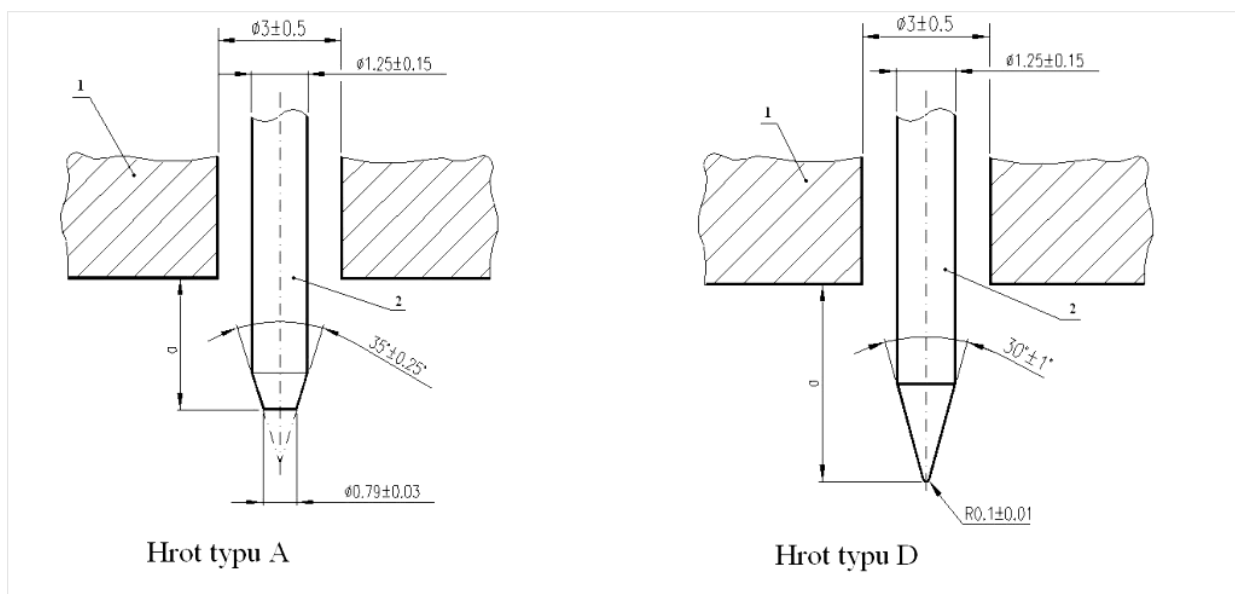
[2]

4 ZKOUŠENÍ A METROLOGIE

4.1 Tvrdost Shore

Pro měření tvrdosti se používají tvarově přesně definovaná tělesa, která definovanou silou vtlačujeme do materiálu. Hloubka průniku nám určuje výslednou tvrdost. Čím tvrdší materiál je, tím je menší průnik. Na základě změřené tvrdosti materiálu můžeme odhadnout modul elasticity. K měření tvrdosti materiálu metodou Shore se používají kapesní tvrdoměry. Při této metodě se do materiálu vtlačuje hrot typu A (pro měkké materiály) nebo D (pro tvrdší materiály). Pro měření je potřeba vzorek s minimální tloušťkou 6mm a měřit se musí nejméně 12mm od okraje. Měření provádíme na vzorcích rovných, ne zaoblených nebo s drsným povrchem. Jelikož dochází k poklesu tvrdosti od počátečního měření, tak tvrdost odečteme na stupnici až po uplynutí určité doby (nejčastěji 15s). Pokles tvrdosti závisí na viskózní složce deformačního chování. Pro dosažení přesnějších měření je možno tvrdoměr Shore uchytit do stojánku.

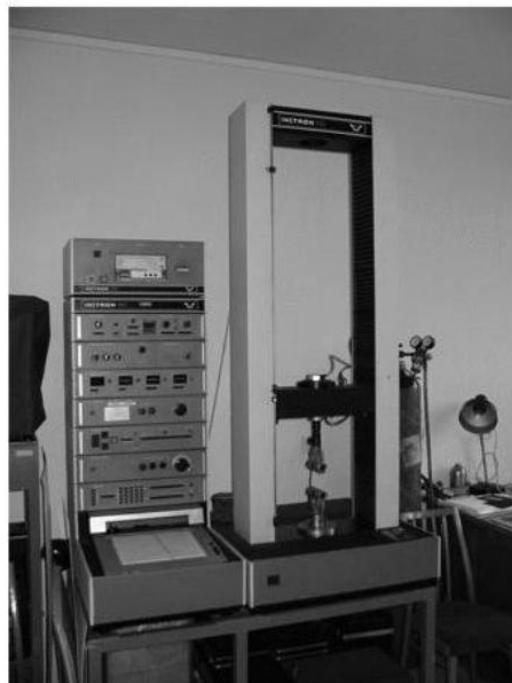
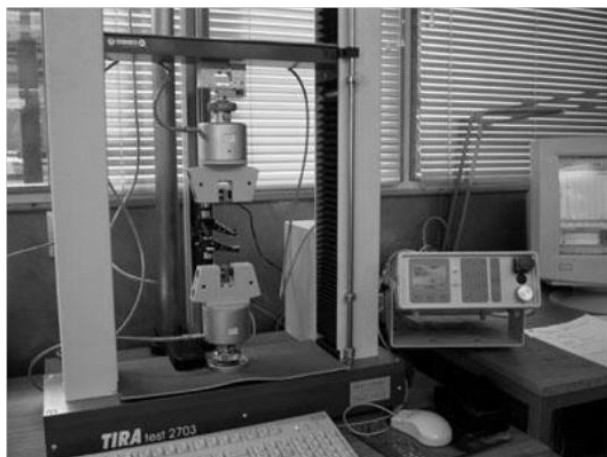
[6]



Obrázek 21 hroty typu A, D

4.2 Tahové zkoušky

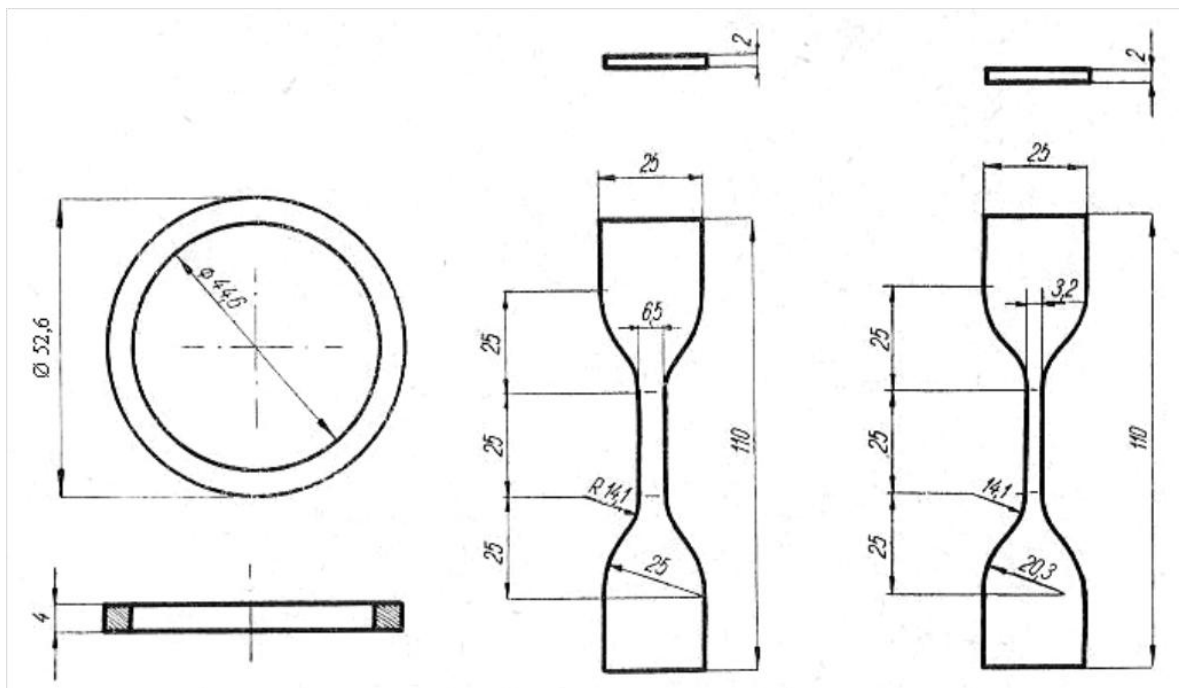
Tahová zkouška podléhá normě ČSN ISO 37 a jednou z významných zkoušek pryží. Z tahové zkoušky můžeme vyčíst spoustu vlastností výsledného vulkanizátu. Kvalita míchání, obsah změkčovadel a plniv jsou faktory ovlivňující kvalitu vulkanizátu. Tuto kvalitu, popřípadě dodržování technologických postupů nebo stupeň vulkanizace vyčteme z tahových zkoušek. Dále zjistíme tažnost, pevnost a modul. Modulem v gumárenském průmyslu rozumíme vnitřní tuhost vulkanizátu při určitém prodloužení. Jednotkou pevnosti a modulu jsou MPa na původní průřez zkoušeného tělesa, přestože se při napínání průřez značně mění. Pro počáteční a konečný průřez se výsledky velmi liší. Měřit se bude modul 300%, který představuje nominální napětí potřebné k 300% deformaci zkoušeného tělesa. Tahová zkouška se provádí na trhačím stroji, který má jednu pohyblivou a jednu pevnou čelist. V čelistech je uchycen vzorek. Čelist se pohybuje konstantní rychlostí a potřebnou sílu k pohybu měříme siloměrem.



Obrázek 22 trhačí stroje

Tahová zkouška se neprovádí přímo na výrobku, ale na zkušebních tělesech. Ty jsou přesně definovaná normou. Zkušebním tělesem je buď oboustranná lopatka nebo kroužek. Kroužky se používají pouze pro kaučukový vulkanizát, lopatky se dají použít na veškeré polymery. Deformace vzorku u lopatek měříme extenzometrem, deformaci kroužku určíme přímo z pohybu čelisti.

[1]



Obrázek 23 zkušební vzorky pro tahovou zkoušku

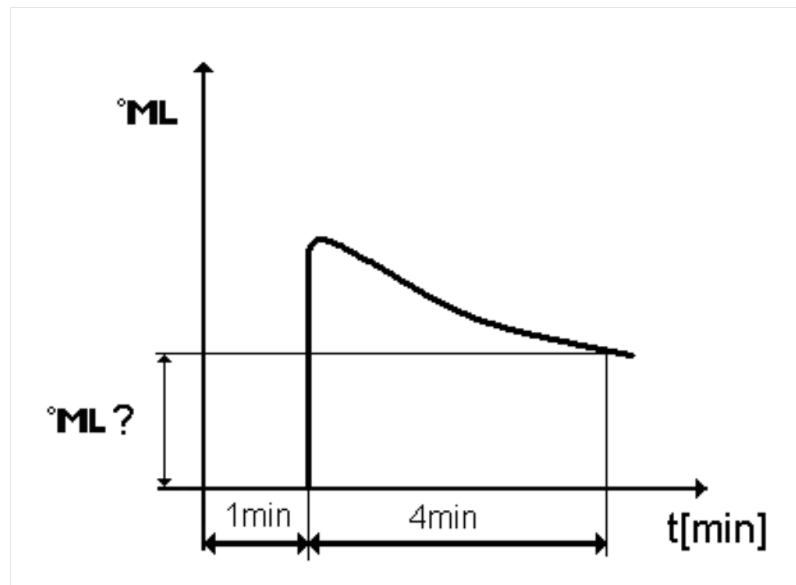
4.3 Vulkametrie

4.3.1 Laboratorní viskozimetr Mooney

Vyhřívaná komora s drážkovaným rotorem jsou hlavními částmi viskozimetru Mooney. Dutina musí být před měřením vyhřátá. Do takto vyhřáté dutiny vložíme kaučukovou směs, která ji musí zcela zaplnit. Dutina se uzavře a rotor se začne otáčet.

Měříme ve dvou teplotních režimech.

Viskozita Mooney je viskozita nevulkanizované směsi měřená při 100°C odečtená po 4 minutách od spuštění rotace rotoru. Podstatou zkoušky je stanovení krouticího momentu při otáčení rotoru v komoře naplněného kaučukovou směsí. Výsledný krouticí moment je převeden na jednotky Mooney.



Obrázek 24 měřená viskozita Mooney

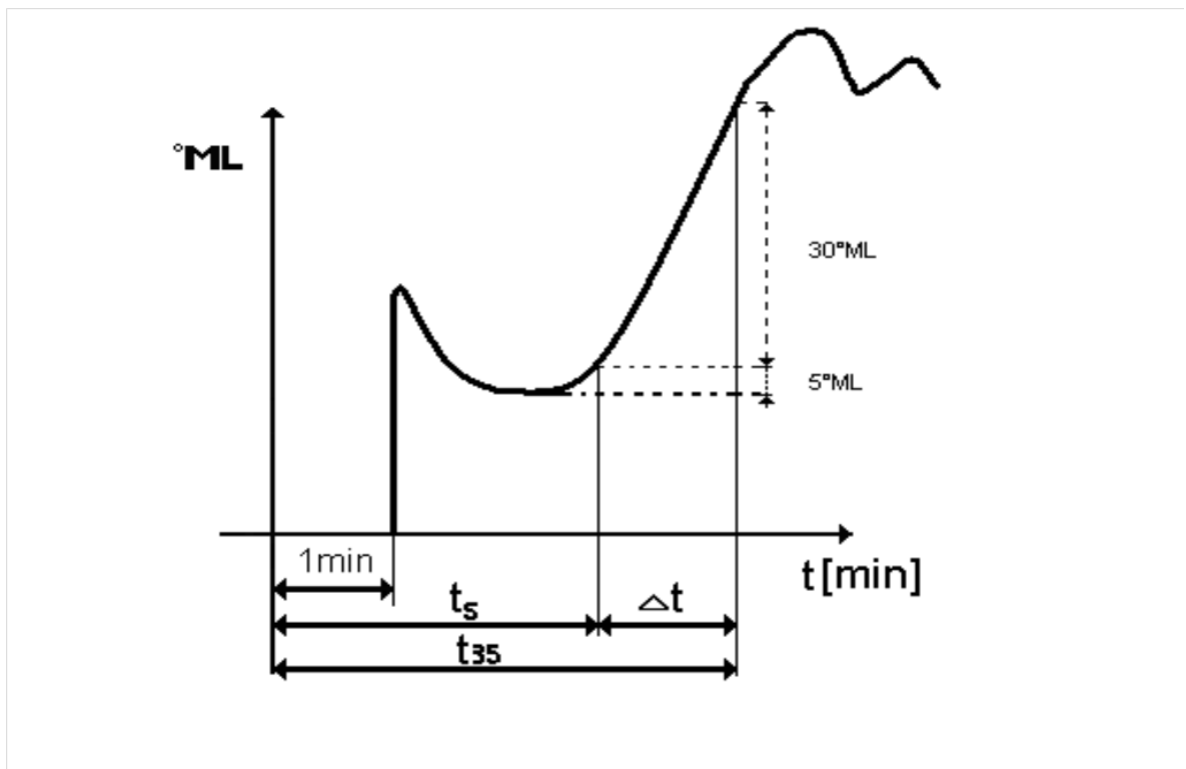
Rychlost vulkanizace se měří, jestliže je teplota dutiny dostatečně vysoká. Vysoká, tak aby kaučuková směs začala vulkanizovat. Při vulkanizaci vznikají příčné vazby v kaučukové směsi a projeví se to nárůstem krouticího momentu.

Rychlost vulkanizace definujeme jako podíl 30 jednotek mooney a rozdílu času potřebného ke zvýšení krouticího momentu z 5°ML na 35°ML (Rovnice 2).

Rovnice 2

$$u = \frac{30}{\Delta t} \text{ [}^\circ\text{ML/min]}$$

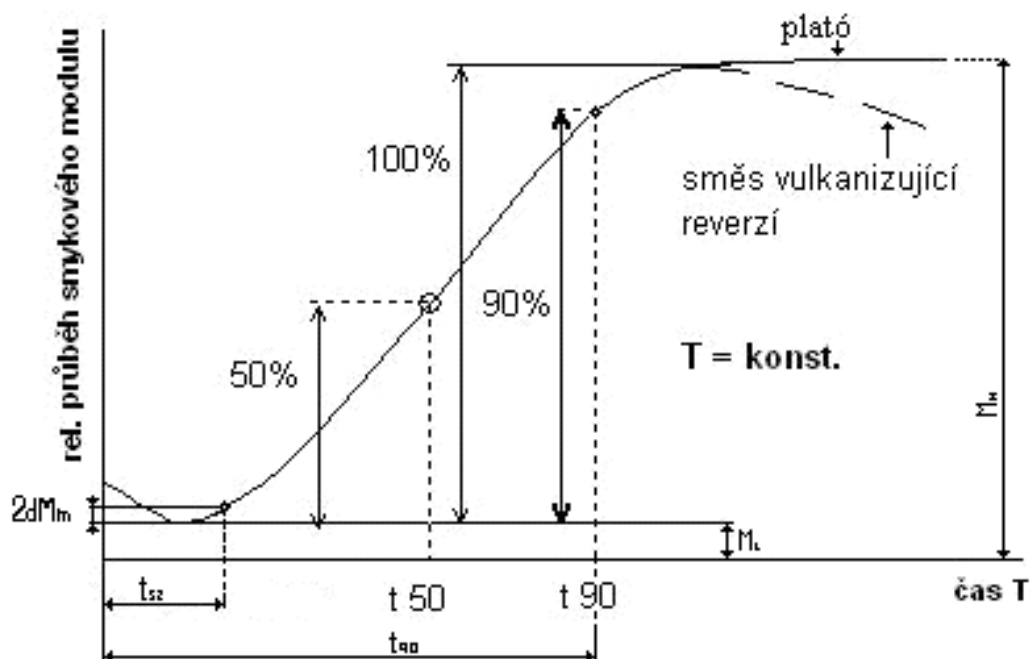
Bezpečnost (optimum vulkanizace) je doba potřebná ke změně viskozity vlivem navulkanizování zkoušeného materiálu při dané teplotě o 5°ML nad nejnižší naměřenou hodnotu krouticího momentu. Čas se počítá od okamžiku uzavření formy (na obrázku 25 je označena jako t_5).



Obrázek 25 rychlost vulkanizace Mooney

4.3.2 Laboratorní reometr Monsanto 100

Často používaným přístrojem v gumárenství je reometr (vulkametr) s oscilujícím diskem. Díky oscilaci rotoru na rozdíl od rotace u viskozimetru Mooney můžeme naměřit kompletní vulkanizační křivku. Oscilace jsou tak malé, že nepoškodí vzorek kaučukové směsi ani po ztvulkanizování. Oblouková oscilace jsou 3° nebo 5° při 1,67 Hz. Krouticí moment potřebný k vychýlení disku, který vyvolá smykové napětí na měřeném vzorku je elektricky měřen pomocí tenzometru. Přístroj zaznamená závislost krouticího momentu potřebného k zachování oscilace dané frekvence a amplitudy na době vulkanizace, neboli vulkanizační křivku (obrázek 26).



Obrázek 26 příklad vulkanizační křivky

Doba tečení označována i jako bezpečnost směsi je určena časem, kdy se hodnota krouticího momentu zvýší o $2dNm$ na minimum křivky.

Optimum vulkanizace t_{90} je doba potřebná k dosažení 90% rozdílu mezi maximálním krouticím momentem a minimálním krouticím momentem. Při čase t_{90} je dosaženo 90% zesíťování vzorku.

[1,6]

4.4 Hustota

Měrnou hmotnost definujeme jako podíl hmotnosti a objemu tělesa. Hustotou můžeme určit hmotnost kaučukové směsi potřebnou pro zaplnění dutiny formy. Na základě znalosti hustoty směsi můžeme určit rozdíly ve složení při navažování nebo míchání.

Jednoduchá zkouška hustoty směsi spočívá v přípravě dvou kapalin o různé hustotě. Podle toho, jestli nám má vzorek v kapalině plavat nebo klesnout určíme hustotu.

[6]

4.5 Odrazová pružnost

Odrazová pružnost je dynamickou zkouškou. Je to velmi rychlá a jednoduchá metoda jak zjistit schopnost materiálu absorbovat energii, respektive vracet mechanickou energii při deformaci rázem. K měření se používá padajícího závaží z určité výšky na vzorek (obrázek 27). Zaznamenává se výška závaží odraženého od vzorku. Podle poměru výšky odrazu k výšce před dopadem se vyhodnocuje odrazová pružnost (rovnice 3).

Rovnice 3

$$R_s = \frac{h_r}{h_0} [\%]$$



Obrázek 27 přístroj k měření odrazové pružnosti

Odrazová pružnost dle Schoba slouží k rychlé kontrole odrazové pružnosti v gumárenských závodech. Probíhá při teplotě 20°C (pro jiné teploty je vhodná metoda dle Lüpkeho). Zkoušeným tělesem jsou kotouče o minimálním průměru 36 mm a minimální tloušťce 6

mm. Kotouče jsou uchyceny v příchytce na kovadlině pod osou kyvadla. Na kotouče se nechá padat kladivo rychlosti 2 m/s s nárazníkem. Nárazníkem je ocelová kulička průměru 7,5 mm s potenciální energií 0,5 J. Odražené kyvadlo se zastaví v odražené poloze a můžeme přímo odečíst na stupnici přístroje odrazovou pružnost.

[1]

5 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bakalářské práce bylo pojednáno základní složení kaučukových směsí s pomocí uvedené odborné literatury. Do kaučukových směsí se používá kaučuk buď přírodního původu nebo synteticky připravený.

Další komponenty kaučukových směsí jsou změkčovadla, vulkanizační činidla, retardéry vulkanizace, urychlovače vulkanizace, aktivátory vulkanizace, antidegradanty, nadouvadla, pigmenty a jako plniva mohou být použita buď saze nebo minerální plniva.

Takto vytvořená směs je míchána v hnětiči nebo méně často na dvouválci. Dvouválec je používán spíše k míchání v laboratorních podmínkách. Míchání může být jednostupňové nebo ve vícestupňové. Při vícestupňovém míchání se v úvodním stupni míchá vše kromě vulkanizačního systému, ten je domíchán v dalších stupních.

Pro úspěšnou mísitelnost kaučukových směsí musíme znát mísitelnost gumárenských surovin a mísitelnost kaučuků.

V závěru teoretické části je objasněna metrologie a zkoušení kaučukových směsí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRÁCE

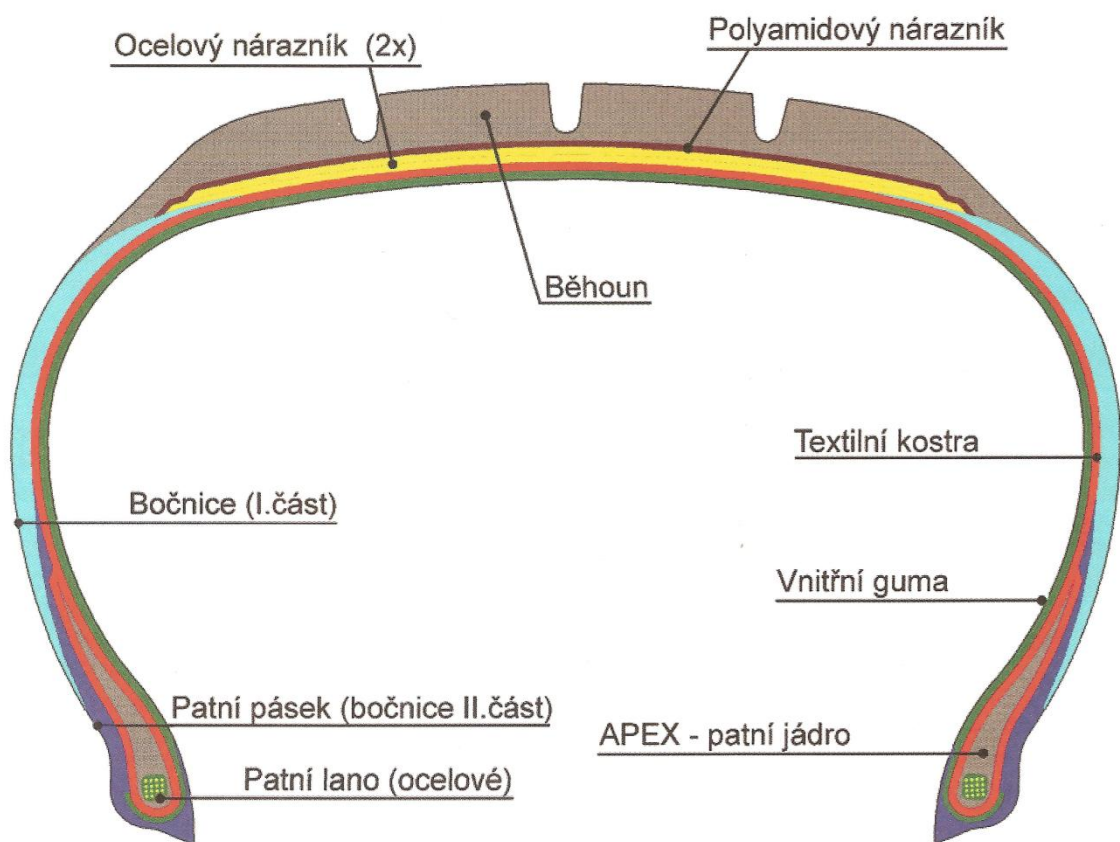
Cíle práce jsou stanoveny ve třech částech:

- první část se zabývá možnostmi zpracování reworkových kaučukových směsí, které vznikají v souvislosti se zpracovatelskými procesy jako technologické zbytky při „najíždění“ a ukončení výrobního cyklu. Největší objem těchto reworků tvoří kaučukové směsi zpracovávané při vytlačování. Proto je v další práci věnována pozornost kaučukovým směsím určených k vytlačování běhounů.
- ve druhém kroku je práce zaměřena na zjišťování procesních a zpracovatelských vlastností reworkovaných kaučukových směsí s cílem rozhodnout o jejich dalším využití přímo v cyklu výroby nebo dodatečném rozmíchání v připravovaných směsích.
- ekonomické zhodnocení lze zhodnotit pouze poměrem množství uplatněného reworku do další výroby ku celkovému objemu reworků. Tj. vzniku scrapů.

7 ZPRACOVÁNÍ VRATNÝCH TECHNOLOGICKÝCH ZBYTKŮ - REWORKŮ

Pro bakalářskou práci bylo vybráno 10 běhounových směsí pro zkoušení zaměnitelnosti. Pět směsí bezodpadových a pět, které tvoří odpady. Směs J je sazová, ostatní jsou plněny silicou. Zimní běhounová směs je zde reprezentována pouze směsí B. Všechny směsi jsou míchány ve dvou stupních. V prvním stupni se míchá kaučuk (NR, SR), regenerát, pryskyřice, zpracovatelské přísady, saze, silica, olej, aktivátory, antidegradanty, antioxidanty a někdy v malém množství i urychlovače. Ve druhém stupni míchání - míchání finální směsi se přimíchávají urychlovače, síra a rework. Rework je nutné přimíchat až v druhém stupni míchání, protože obsahuje vulkanizační systém. Receptury jednotlivých kaučukových směsí jsou uvedeny níže v tabulkách.

Jak bylo uvedeno výše práce je zaměřena na reworky běhounových částí. Na obr. 28 je řez pláštěm pneumatiky. Z řezu patrné, že právě běhounová část tvoří největší podíl kaučukové směsi – pryže na objemu celého výrobku. Z tohoto důvodu je práce zaměřena na tuto část.



Obrázek 28 - řez osobním radiálním pláštěm

V následujících tabulkách jsou uvedeny sledované kaučukové směsi reworků. Vzhledem k utajení informací jsou tyto informace kódovány. Tabulka 1 obsahuje základní informace o surovinách a jejich kombinacích pro dané kaučukové směsi. Tyto informace jsou nutné, aby bylo možno posoudit vzájemnou mísitelnost reworků. Vzhledem k uvedenému přehledu surovin je možno konstatovat, že jak kaučuky, tak plnicí systémy, ochranné systémy a vulkanizační systémy umožňují vzájemnou kombinaci. Tato kombinace není 100%.

CHEMIKÁLIE		MÍCHÁNÍ FINÁLNÍ SMĚSI									
		A [dsk]	B [dsk]	C [dsk]	D [dsk]	E [dsk]	F [dsk]	G [dsk]	H [dsk]	I [dsk]	J [dsk]
SYNTECKÉ KAUČUKY	SK-A	43,000				30,200	8,500				
	SK-B	26,200									
	SK-C	42,350									100,790
	SK-D		26,600								
	SK-E		92,100								
	SK-F			85,100		38,500			83,600		
	SK-G				29,800						
	SK-H				54,100						
	SK-I					16,700		19,301			
	SK-J						37,500				
	SK-K						88,310				
	SK-L									10,800	
	SK-M									75,100	
	SK-N										26,700
SK-O							71,803				
PŘÍRODNÍ KAUČUKY	PK-A		7,900	14,900	16,100	14,600		8,900	16,400		
	PK-B									14,100	
REGENERÁT	REG-A	16,900									15,700
PRYSKYŘICE	PR-A		23,300								
	PR-B					8,900					
	PR-C						8,900				
	PR-D			13,600			16,800	6,400	6,700		
ZPRACOVATELSKÉ PŘÍSAKY	ZP-A			3,400					3,300		
	ZP-B										
	ZP-C		4,700					3,300			
	ZP-E			3,400	4,300	4,500	3,400		3,300	4,400	
SAZE	SAZE-A	17,000			9,400			2,000			
	SAZE-B						8,100				
	SAZE-C					2,000			2,000		84,000
SILICA	SI-A		114,600				128,600	103,004			
	SI-B	76,300		129,900	90,000	99,500			91,000	93,600	
OLEJ	O-A										
	O-B		5,100	35,900			11,000	23,001	5,100		
	O-C									21,000	
	O-D									5,400	
	O-E	35,200			38,000	32,900					22,200
AKTIVÁTORY	AKT-A	5,500	8,300		7,800	8,200	10,300	7,700		6,700	
	AKT-B			13,400					9,300		
	AKT-C	1,900	1,800	1,800	1,900	1,900	4,000	1,800	1,900	1,900	1,900
	AKT-E	0,900	0,900	0,900	0,800	0,800	1,800	0,800	0,900	0,800	0,900
ANTIDEGRADANTY	ANT-A	0,900	1,000	1,100	0,750	0,780	1,000	1,000	0,740	0,700	1,000
	ANT-B	2,700	3,100	3,100	2,700	2,650	2,900	2,800	2,300	2,500	2,000
	ANT-C	2,000	0,900	2,000	2,000	2,050	2,100	2,000	2,000	2,000	
ANTIOXIDANTY	ATNX-A	2,200	2,200	2,200	2,100	2,150	2,200	2,100	2,100	2,100	2,100
URÝCHLOVAČE	U-A		0,300	0,200	0,150	0,100	0,100		0,100		0,050
	U-B	1,920	0,870		2,100	2,000	2,240	2,880		2,380	0,700
	U-C	1,800	2,750		1,900	1,900	2,190	1,250		2,140	1,500
	U-D		0,230	2,530					1,950		
	U-E		0,880	2,000					1,540		
	U-F			0,790			2,200				
SÍRA	SUL-A	2,030	2,220	0,780	1,850	1,850	2,190	1,780	0,660	1,770	2,200
Σ		278,800	299,750	317,000	265,750	272,180	344,330	261,819	234,890	247,390	261,740

Tabulka 1 chemické složení finální směsi

7.1 Definované požadavky na fyzikální hodnoty vulkanizátu

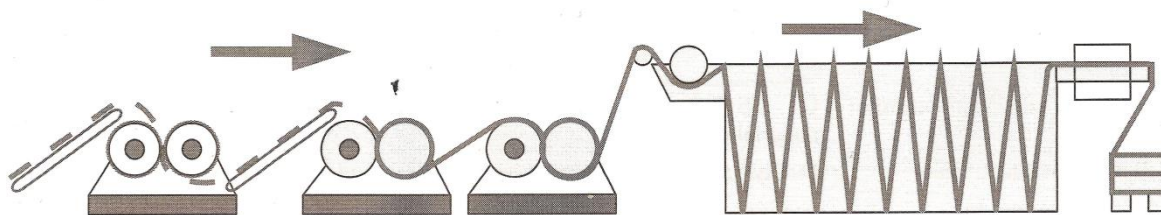
Dle předpisu firmy jsou požadované fyzikální hodnoty směsí včetně tolerancí uvedeny v tab. 2. Kaučukové směsi jsou označovány abecedně A až J.

označení směsi	odrazová pružnost [%]	vulkanizace [min/160]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]
tolerance	±5	±2°C	±0,01	±5	-4	-80	
A	31,00	20	1,175	62,00	12,00	570	6,0 ±3
B	32,00	20	1,195	60,00	14,00	430	9,6 ±3
C	21,00	20	1,232	68,00	13,00	410	10,3 ±4
D	30,00	20	1,203	66,00	15,00	480	8,8 ±3
E	28,00	20	1,200	66,00	15,00	550	7,5 ±3
F	16,00	20	1,255	73,00	13,00	480	8,7 ±3
G	23,50	20	1,220	70,50	15,50	410	11,5 ±4
H	26,00	20	1,215	68,00	15,00	370	13,0 ±4
I	27,00	20	1,200	69,00	14,00	380	10,1 ±4
J	26,00	20	1,153	62,00	14,50	400	9,9 ±3

Tabulka 2 fyzikální vlastnosti vulkanizátů

7.2 Zařízení pro zpracování reworkových kaučukových směsí

Linka na zpracování reworků, dále podle označení firemních zvyklostí, vratných odpadů je schematicky vyobrazena na obr. 29. Slouží k přepracování všech nevyhovujících polotovary z výroby. Na prvních dvou rýhovaných válcích jsou nevyhovující polotovary rozpracovány. Poté jsou převedeny dopravníkem na hladký zásobovací válec, ze kterého je válkována hladká fólie. Fólie je smáčena separačním roztokem, chlazena a následně uložena na paletu. Je snahou takto vzniklé reworky přidávat do všech finálních směsí, kromě nánosových směsí.



Obrázek 29 - linka na zpracování vratných odpadů

V případě, že ve směsi jsou nečistoty nebo navulkanizované kousky je nutno je pasírovat na pasírovací lince. Šnekem rozpracovaná směs je pasírována přes dvojici sít o různé hustotě, na niž nečistoty ulpí. Takto propasírovaná směs se dále zpracovává stejně jako na lince pro zpracování vratných odpadů. [7]

7.3 Hodnocení vlastností reworků

Reworky jsou kaučukové směsi s určitou historií, kterou prodělaly při předešlém zpracování. Tyto zpracovatelské procesy mohou ovlivnit zejména procesní vlastnosti vulkanizace, zpracovatelské vlastnosti případně čistou kaučukové směsi. Z toho důvodu je nutno rozdělit hodnocení reworků do oblasti následné zpracovatelnosti, bezpečnosti a vulkanizace a mechanické čistoty.

Prokazatelně mechanicky znečištěné směsi, ať v předešlých technologických operacích, či skladováním, je nutné je dle firemních předpisů pasírovat

Vulkanizační parametry jsou zjišťovány v procesu zpracování reworků přímo u zpracovatelské linky. Zpracovatelské vlastnosti jsou hodnoceny měřením plasticity Mooney podle pokynů technologa.

Z hlediska dalšího využití reworků se pokládá za nejdůležitější kontrolování fyzikálních vlastností vulkanizátu.

Uvedené zkoušky kaučukových směsí byly provedeny akreditovanou laboratoří fy. Continental Barum v centrální laboratoři pověřenými pracovníky. V bakalářské práci je zpracováno vyhodnocení těchto zkoušek a stanovení závěrů.

7.4 Zkoušení kaučukových směsí a vulkanizátů

Tahová zkouška byla prováděna na trhacím stroji Zwick (obr. 32) Z tahové zkoušky jsou vyčteny pro nás důležité hodnoty pevnosti, tažnosti a modulu 300%. Tvrdost byla měřena na tvrdoměru Zwick (obr. 33), s hrotem typu A. Odrazová pružnost byla měřena na stroji Zwick 5109 (obr. 33). Aby vzorky mohly být měřeny, bylo nutné je nejprve připravit na vulkanizačním lisu (obr. 31). Vulkanizace u našich směsí probíhala 20 minut při 160°C. Pro tahovou zkoušku je vhodné pro lepší uchycení použít vyseknutý vzorek ve tvaru kroužku, než ve tvaru lopatky.

Vulkametrie byla měřena na vulkanometru Monsato 2000 (obr. 30) zaznamenávané byly hodnoty bezpečnosti T10, T40, T90 a plasticitu. Hustota byla měřena na hydrostatických vahách Mettler Tolledo (obr. 32).

Veškeré uvedené zkoušky byly rozebrány podrobně v kapitole 4 teoretické části.



Obrázek 30 vulkanometru Monsato 2000



Obrázek 31 - vulkanizační lis



Obrázek 32 vlevo trhací stroj, vpravo hydrostatické váhy pro měření hustoty



Obrázek 33 - vlevo tvrdoměr, vpravo stroj k určení odrazové pružnosti

7.5 Výsledky hodnocení kaučukových směsí a vulkanizátů

Na základě firemních předpisů byly provedeny zkoušky reworků na výše uvedených zařízeních za servisní spolupráce centrálních laboratoří, jejichž výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách. Jedná se zejména o stanovení fyzikálních vlastností pevnosti, tažnosti, M300, tvrdosti, odrazové pružnosti u jednotlivých zpracovávaných vulkanizátů. Hustoty, vulkanizačních charakteristik (T10, T40, T90) kaučukových směsí a zpracovatelské vlastnosti viskozity Mooney °ML, (plasticita %).

7.6 Vyhodnocení naměřených výsledků reworků kaučukových směsí a vulkanizátů

Tabulky 3-14 uvádí výsledky měření, které byly zjištěné z reworkovaných směsí s účelem zjištění změny či stability měřených veličin. Za předpokladu jejich stability by naměřené hodnoty měly být shodné s hodnotami uvedenými v tabulce 4. Pokud se některá z hodnot odlišuje od uvedené hodnoty více, než stanoví tolerance, musí být rework zpracován jiným režimem. Z hlediska stability vlastností materiálu je potřeba řešit statistické hodnoty naměřených vlastností.

Každá z tabulek uvádí mimo naměřené hodnoty také jejich statistické údaje:

- střední hodnotu \bar{x}
- medián \tilde{x}
- variační koeficient - V
- směrodatnou odchylku - s

Při výrobě koextruzně vyráběných polotovarů vznikají reworky (tab. 13-14), které jsou již kombinací – smíchání dvou nebo více kaučukových směsí. Z tohoto důvodu se otvírá nová problematika zpracování a uplatnění takto vznikajících reworků.

Směsi, ze kterých vzniká rework označujeme stejně jako směsi původní, ale s příponou "O".

A-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	13,71	483	8,1	1,154	58,9	36,3	2,6	3,2	4,9	48,9
2	13,33	533	6,9	1,155	58,1	35,1				
3	13,53	494	7,8	1,157	58,8	35,6	2,5	3,1	4,7	49,2
4	13,33	484	8,2	1,152	59,8	35,9	2,7	3,3	5,0	50,6
5	12,15	447	7,9	1,152	58,5	35,8	2,6	3,2	5,0	47,4
6	14,33	509	8,0	1,156	59,8	34,2	2,4	3,2	5,1	49,6
7	13,90	513	7,6	1,154	58,5	36,8	2,6	3,3	5,0	48,9
8	13,57	539	6,8	1,152	57,9	35,4	2,7	3,6	5,6	52,3
9	14,20	547	7,1	1,155	57,2	37,4	2,6	3,3	5,3	48,6
10	14,16	528	7,4	1,156	57,9	36,1	2,6	3,2	5,0	49,1
11	14,36	514	7,7	1,154	58,7	35,1	2,8	3,4	5,1	51,8
12	14,18	500	7,9	1,150	58,1	38,3	2,8	3,4	5,0	51,2
13	13,60	521	7,2	1,146	57,6	39,3	2,5	3,2	5,4	49,6
14	13,40	483	7,9	1,147	58,5	37,0	2,6	3,4	5,1	50,6
15	13,06	485	7,6	1,152	59,7	36,2	2,7	3,3	4,9	49,7
16	14,18	506	7,9	1,146	57,7	39,4				
\bar{x}	13,69	505	7,6	1,152	58,5	36,5	2,6	3,3	5,1	49,8
\check{x}	13,66	508	7,8	1,153	58,5	36,2	2,6	3,3	5,0	49,6
s	0,56	25	0,4	0,003	0,8	1,4	0,1	0,1	0,2	1,3
V	4,09	5	5,5	0,296	1,3	3,9	3,8	3,5	4,4	2,6

Tabulka 3 fyzikální hodnoty reworku A-O

B-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	17,28	458	10,9	1,170	59,4	36,1	2,5	3,0	4,7	49,6
2	14,32	447	9,4	1,176	56,9	34,5	2,0	2,5	4,1	49,1
3	16,13	454	10,3	1,153	57,3	43,2				
4	15,84	447	10,3	1,153	57,1	42,4	1,9	2,4	3,7	47,9
5	13,27	393	10,2	1,158	56,7	41,9	2,0	2,5	4,0	48,7
6	13,49	395	10,3	1,180	59,7	37,0	1,5	1,8	3,1	52,4
7	16,26	433	10,9	1,164	57,4	38,3	2,1	2,6	4,2	49,9
8	13,99	382	11,4	1,165	59,7	36,3	1,9	2,4	3,7	47,5
9	15,78	401	12,0	1,163	59,5	40,7	1,8	2,3	3,7	52,6
\bar{x}	15,15	423	10,6	1,165	58,2	38,9	2,0	2,4	3,9	49,7
$\bar{\bar{x}}$	15,78	433	10,3	1,164	57,4	38,3	2,0	2,4	3,8	49,4
s	1,33	28	0,7	0,009	1,3	3,0	0,3	0,3	0,4	1,8
V	8,78	7	6,7	0,764	2,2	7,7	13,5	13,6	11,4	3,6

Tabulka 4 fyzikální hodnoty reworku B-O

C-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	15,10	430	11,0	1,194	63,9	29,6	2,4	2,9	5,2	43,3
2	14,76	415	11,1	1,189	63,4	31,5	2,5	3,0	5,5	47,2
3	13,93	410	10,6	1,195	64,4	29,4	2,3	2,9	5,3	44,7
4	12,63	370	10,9	1,201	64,1	29,4	2,5	3,0	5,5	43,2
5	13,98	408	10,7	1,200	64,0	30,1	2,5	3,0	5,7	45,3
6	14,74	408	11,4	1,195	65,4	28,8	2,4	2,9	5,3	44,3
7	13,37	392	11,0	1,205	66,8	28,0	2,5	3,1	5,8	44,5
8	12,12	351	11,2	1,191	63,7	31,2	2,4	2,8	5,1	44,2
9	11,78	340	11,4	1,205	64,9	27,6	2,4	3,0	5,7	43,0
10	14,33	406	11,2	1,196	64,1	28,8	2,5	3,0	5,5	43,1
11	13,25	393	10,6	1,188	62,7	29,5	2,5	3,0	5,6	42,2
12	14,53	428	10,6	1,200	64,9	28,8	2,5	3,0	5,4	44,1
13	8,00	265		1,197	63,2	29,8				
14	12,47	373	10,6	1,195	63,0	30,2	2,4	2,9	5,4	42,8
15	13,60	404	10,6	1,203	64,5	29,8	2,5	3,0	5,4	44,8
16	14,13	425	10,4	1,196	65,0	29,5	2,4	2,9	5,2	43,2
17	13,47	408	10,2	1,210	65,0	27,2				
x	13,31	390	10,8	1,198	64,3	29,4	2,4	3,0	5,4	44,0
ř	13,60	406	10,8	1,196	64,1	29,5	2,5	3,0	5,4	44,1
s	1,62	40	0,3	0,006	1,0	1,1	0,1	0,1	0,2	1,2
V	12,18	10	3,1	0,481	1,5	3,7	2,3	2,6	3,7	2,7

Tabulka 5 fyzikální hodnoty reworku C-O

D-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	14,94	441	10,3	1,182	64,6	32,2	2,6	3,2	5,4	52,3
2				1,188	63,7	29,5	2,2	2,8	5,0	48,4
3				1,182	63,4	33,6	2,7	3,3	5,8	53,4
4				1,184	64,2	31,4	2,5	3,1	5,3	50,4
5				1,183	63,9	31,7	2,3	3,0	5,4	50,1
6	13,65	452	9,1	1,188	63,8	32,0	2,7	3,5	6,3	51,7
7	15,62	474	9,9	1,179	63,9	32,8	2,4	3,0	5,4	51,0
8	13,36	425	9,8	1,179	63,6	33,3	2,3	2,9	5,3	48,4
9	16,73	500	9,9	1,185	64,7	31,1	2,7	3,4	6,1	51,3
10	16,39	495	9,8	1,192	65,7	28,4	2,5	3,1	5,4	52,9
11	16,33	489	10,1	1,180	63,7	33,1	2,3	2,9	5,2	51,0
12	16,89	514	9,5	1,177	62,4	33,3	2,4	3,1	5,5	49,8
13	14,53	484	9,1	1,202	64,7	27,5	2,3	2,9	5,2	53,8
14	15,37	489	9,2	1,184	63,5	32,5	2,6	3,2	5,8	51,9
15	14,47	452	9,6	1,176	63,1	34,4	2,3	2,8	5,0	50,7
16	15,29	493	9,0	1,184	63,0	32,6				
17	14,41	478	8,9	1,184	62,2	32,4				
x	15,23	476	9,5	1,184	63,8	31,9	2,4	3,1	5,5	51,1
ř	15,29	484	9,6	1,184	63,7	32,4	2,4	3,1	5,4	51,0
s	1,09	25	0,4	0,006	0,8	1,8	0,2	0,2	0,4	1,6
V	7,18	5	4,6	0,505	1,3	5,6	7,2	6,7	6,6	3,0

Tabulka 6 fyzikální hodnoty reworku D-O

E-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	13	440	8,6	1,184	64,1	32,8	2,8	3,5	5,7	51,5
2	16	524	8,7	1,183	65,6	33,0	2,7	3,7	5,9	53,4
3	16	542	8,5	1,187	65,2	30,8	3,0	4,0	6,2	54,8
4	16	475	9,7	1,187	64,9	32,0	2,8	3,4	5,2	54,9
5	15	504	8,5	1,184	62,3	34,8				
6	15	517	8,3	1,181	62,6	35,4	3,1	3,9	6,3	54,7
7	13	459	8,3	1,187	63,5	34,2	2,9	3,7	5,9	56,1
8	14	476	8,8	1,186	62,8	34,0	3,1	3,8	6,4	53,5
9	15	525	7,8	1,180	63,1	34,5	2,3	3,6	6,6	55,1
10	14	424	9,6	1,186	63,3	35,4	3,0	3,6	5,6	57,0
11	13	420	9,5	1,184	64,0	32,6	2,7	3,3	5,4	48,2
12	14	504	7,9	1,177	62,0	34,9	2,6	3,4	5,8	54,2
13	16	539	8,3	1,180	62,6	35,6	3,4	4,3	6,4	54,6
14	14	491	8,2	1,181	63,4	34,8	2,8	3,8	5,8	55,8
15	12	445	8,2	1,178	62,8	34,4	2,8	3,5	5,6	54,3
16	14	543	7,2	1,187	62,2	33,8	3,5	4,8	7,5	56,4
17	15	536	7,6	1,183	62,3	32,8				
18	15	549	6,8	1,131	58,8	31,2				
x	15	495	8,4	1,180	63,1	33,7	2,9	3,8	6,0	54,3
ř	15	504	8,3	1,184	63,0	34,1	2,8	3,7	5,9	54,7
s	1	42	0,7	0,012	1,5	1,4	0,3	0,4	0,5	2,1
V	8	8	8,9	1,047	2,3	4,2	10,1	10,2	9,1	3,8

Tabulka 7 fyzikální hodnoty reworku E-O

F-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	15,03	538	8,7	1,219	68,9	18,6	1,6	2,3	4,7	50,9
2	14,61	519	8,8	1,207	67,3	21,2	1,8	2,4	4,5	49,7
3	14,66	520	8,8	1,211	67,1	19,6	1,7	2,3	4,6	49,4
4	14,03	492	8,7	1,211	66,6	20,2	1,7	2,3	4,6	47,3
5	14,76	524	8,8	1,215	68,7	18,5	1,6	2,3	4,5	49,3
6	15,08	400	12,1	1,207	69,1	23,1	2,2	2,6	4,4	52,4
7	14,55	502	9,3	1,218	69,1	18,1	1,5	2,1	4,4	47,9
8	15,20	413	11,1	1,168	58,8	36,6	2,6	3,1	5,1	52,3
9	15,30	533	8,8	1,214	66,3	19,9	1,7	2,3	4,5	50,0
10	13,04	442	9,1	1,211	66,7	20,4				
11	9,59	350	8,9	1,212	66,8	21,0	1,5	2,1	4,3	49,7
12	13,45	485	8,7	1,213	67,3	19,3	1,7	2,4	4,5	50,7
13	14,29	482	9,1	1,214	68,5	20,3	1,8	2,4	4,5	49,4
14	14,51	549	8,0	1,208	64,4	19,3	1,7	2,4	5,0	47,7
15	15,30	518	9,2	1,211	67,4	20,3	1,8	2,4	4,5	48,9
16	15,41	543	9,0	1,211	67,6	19,8	1,8	2,4	4,7	48,4
\bar{x}	14,30	348	13,1	1,182	63,8	32,9	2,2	2,7	5,1	59,6
\bar{x}	14,64	510	8,9	1,211	67,3	20,1	1,7	2,4	4,5	49,4
s	1,38	56	1,0	0,011	2,4	4,2	0,3	0,2	0,2	1,5
V	9,62	16	7,4	0,945	3,8	12,7	11,7	8,4	3,8	2,5

Tabulka 8 fyzikální hodnoty reworku F-O

G-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	16,38	432	11,6	1,192	68,5	28,0	1,4	2,1	4,3	64,4
2							1,3	1,7	3,4	58,5
3	15,61	414	11,6	1,195	65,1	27,4				
4	13,73	355	12,7	1,196	65,4	28,4	1,4	1,9	3,7	58,4
5	15,60	403	11,9	1,191	65,1	29,2	1,4	1,9	3,7	58,3
6	15,40	407	11,7	1,192	63,5	30,5	1,0	1,5	3,3	57,8
7	16,74	408	12,7	1,196	64,9	29,3	1,4	1,9	3,8	61,2
8	17,13	434	12,1	1,198	66,5	27,7	1,6	2,1	3,9	61,5
9	14,28	378	11,8	1,192	62,7	31,2	1,1	1,6	3,3	60,8
10	14,89	381	12,3	1,190	66,1	28,1	1,5	2,0	3,6	60,1
11	15,83	405	12,2	1,198	66,2	29,3	1,4	1,9	3,6	61,7
12	14,76	400	11,5	1,194	64,5	29,8	1,3	1,8	3,4	58,6
13	16,53	422	12,0	1,201	66,9	26,8	1,4	2,0	4,0	62,3
14	16,05	411	12,1	1,194	64,3	31,2	1,2	1,7	3,4	61,4
15	15,70	402	12,2	1,192	65,0	31,3	1,3	1,9	3,6	64,1
16										58,6
17	16,29	414	12,0	1,195	64,5	31,2	1,6	2,1	3,9	60,5
18										58,8
19										57,9
20	15,76	398	12,6	1,192	72,2	28,6				58,5
21										56,6
22										57,6
23										58,5
x	15,67	404	12,1	1,194	65,7	29,3	1,4	1,9	3,7	59,8
ř	15,73	406	12,1	1,194	65,1	29,3	1,4	1,9	3,6	58,7
s	0,88	19	0,4	0,003	2,1	1,4	0,2	0,2	0,3	2,1
V	5,60	5	3,0	0,243	3,3	4,9	11,4	9,8	7,6	3,5

Tabulka 9 fyzikální hodnoty reworku G-O

H-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	14,27	365	12,3	1,172	63,4	35,5	2,2	2,6	4,7	57,9
2	16,84	386	14,0	1,180	65,1	32,9	2,2	2,7	5,1	60,8
3	15,89	378	13,5	1,175	63,5	34,0	2,2	2,7	5,1	59,6
4	15,12	357	13,5	1,187	65,1	30,1	2,3	2,7	5,2	61,7
5	13,30	336	12,9	1,182	62,8	33,8	2,1	2,6	5,1	59,7
6	11,06	299		1,181	63,0	34,0				
7	8,85	259		1,181	62,8	33,0	2,1	2,5	4,6	57,2
8	15,11	384	12,3	1,183	63,8	32,5	2,3	2,7	5,4	53,1
9	12,49	309	13,7	1,186	63,6	33,2	2,1	2,5	4,8	59,3
10	15,61	385	12,6	1,185	63,8	32,3	2,4	2,9	5,7	61,4
11	16,16	382	13,3	1,180	63,1	34,0	2,2	2,7	5,0	61,0
12	14,06	353	12,8	1,179	62,7	34,0	2,1	2,5	4,7	57,8
13	13,80	322	14,2	1,186	65,8	31,0	2,2	2,7	5,5	66,0
14							2,4	2,9	5,3	61,4
15	12,59	320	13,0	1,186	63,9	32,7	2,0	2,4	5,0	60,7
16	14,44	388	11,7	1,194	64,2	29,9	2,3	2,8	5,6	56,5
\bar{x}	13,97	348	13,1	1,182	63,8	32,9	2,2	2,7	5,1	59,6
$\bar{\bar{x}}$	14,27	357	13,0	1,182	63,6	33,0	2,2	2,7	5,1	59,7
s	2,03	38	0,7	0,005	0,9	1,5	0,1	0,1	0,3	2,8
V	14,50	11	5,3	0,432	1,4	4,5	5,4	5,3	6,3	4,8

Tabulka 10 fyzikální hodnoty reworku H-O

I-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	14,59	452	9,8	1,176	63,5	30,6	2,0	2,7	5,1	45,9
2	15,77	492	9,6	1,179	64,8	29,7	2,1	2,9	5,3	46,1
3	13,61	439	9,4	1,182	64,1	29,6	2,0	2,8	5,2	44,8
4	15,54	485	9,7	1,180	62,8	31,0	2,1	2,8	5,1	45,9
5	14,23	454	9,6	1,179	63,0	32,2				43,8
6	15,02	478	9,5	1,182	63,0	30,7	2,2	2,7	5,0	43,9
7	14,85	480	9,3	1,181	63,2	31,7	2,2	2,9	5,3	44,7
8	14,90	463	9,8	1,178	64,2	30,0	2,1	2,8	4,9	45,7
9	12,94	408	9,8	1,180	64,1	29,6	2,1	2,8	5,1	43,4
10	15,34	457	10,3	1,181	65,2	29,4	2,0	2,6	4,8	45,2
11	12,64	417	9,6	1,186	64,7	27,1	2,0	2,5	4,7	42,7
12	15,36	481	9,6	1,185	66,2	28,2	2,4	3,2	5,9	44,3
13	16,60	500	10,0	1,176	63,8	32,5	1,9	2,6	4,8	46,8
14	17,04	507	10,1	1,179	65,4	29,9	2,2	2,9	5,3	44,6
15	16,20	493	9,9	1,170	62,7	33,8	1,7	2,4	4,5	45,5
16	15,62	510	9,1	1,184	64,0	29,7				
17	13,81	446	9,3	1,180	62,8	31,7				
18	14,75	467	9,5	1,182	63,7	29,5				57,6
x	14,93	468	9,7	1,180	64,0	30,4	2,1	2,8	5,1	45,7
ř	14,96	473	9,6	1,180	63,9	30,0	2,1	2,8	5,1	45,0
s	1,15	28	0,3	0,004	1,0	1,6	0,2	0,2	0,3	3,3
v	7,67	6	3,0	0,303	1,5	5,1	7,4	7,0	6,6	7,1

Tabulka 11 fyzikální hodnoty reworku I-O

J-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	9,33	363	8,1	1,142	57,5	29,8				
2	9,61	360	8,4	1,139	58,4	29,6				
3	13,50	461	8,4	1,138	58,6	29,2				
4	13,43	422	9,8	1,142	60,9	30,1	2,0	2,6	5,0	45,6
5	13,83	458	9,0	1,152	59,7	31,4	1,9	2,4	4,2	46,3
6	13,35	447	8,9	1,144	59,2	31,5	1,8	2,5	4,9	46,0
7	11,72	395	9,2	1,154	61,1	28,8	1,8	2,4	4,5	43,9
8	12,55	422	9,1	1,209	68,3	20,0				
9	13,95	442	9,5	1,153	59,7	32,3	2,1	2,7	4,4	46,4
10	14,45	470	9,1	1,149	60,5	28,9	1,6	2,2	4,4	43,8
11	13,14	450	8,7	1,152	59,1	29,4	1,3	1,9	4,0	44,5
12	13,49	533	7,2	1,165	55,0	27,6				44,3
13							1,4	2,0	4,2	45,7
x	12,70	435	8,8	1,153	59,8	29,1	1,7	2,3	4,5	45,2
ř	13,39	445	9,0	1,151	59,5	29,5	1,8	2,4	4,4	45,6
s	1,59	46	0,7	0,018	3,0	3,0	0,2	0,3	0,3	1,0
V	12,50	11	7,6	1,591	5,0	10,3	14,2	10,8	7,3	2,2

Tabulka 12 fyzikální hodnoty reworku J-O

X-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	13,55	480	8,3	1,170	60,8	33,3	1,8	2,4	4,1	49,4
2	15,71	497	9,2	1,169	59,9	33,5	1,9	2,4	3,8	
3	14,70	475	9,3	1,170	58,9	33,6	1,8	2,2	3,8	
4	13,38	478	8,3	1,176	59,3	33,0	1,7	2,1	3,6	
5	13,49	422	9,8	1,188	63,3	30,1	1,6	2,0	3,4	41,4
6	16,40	432	11,6	1,183	61,5	35,4	1,9	2,3	4,1	51,0
7	15,03	430	10,5	1,174	62,5	35,3	2,3	2,9	4,4	
8	14,40	442	9,4	1,176	60,4	34,9	1,5	1,9	3,2	
9	15,56	449	10,6	1,179	61,3	34,3	1,7	2,0	3,2	43,2
10	11,66	358	10,7	1,175	64,2	35,0	2,1	2,6	3,9	
11	12,94	507	7,7	1,170	60,8	30,7	1,7	2,2	4,0	
12	14,52	500	8,7	1,171	60,5	30,8	1,5	2,0	3,8	
13	13,52	513	7,8	1,170	60,3	30,5	1,6	2,2	4,1	
14	14,50	417	10,7	1,178	62,5	33,1	1,7	2,1	3,4	49,0
15	12,86	486	7,4	1,155	57,1	41,3	1,9	2,5	4,4	49,9
x	14,15	459	9,3	1,174	60,9	33,7	1,8	2,3	3,8	47,3
ř	14,40	475	9,3	1,174	60,8	33,5	1,7	2,2	3,8	49,2
s	1,21	41	1,3	0,007	1,7	2,7	0,2	0,3	0,4	3,6
V	8,56	9	13,4	0,616	2,8	8,0	12,0	11,6	9,8	7,7

Tabulka 13 fyzikální hodnoty reworku X-O

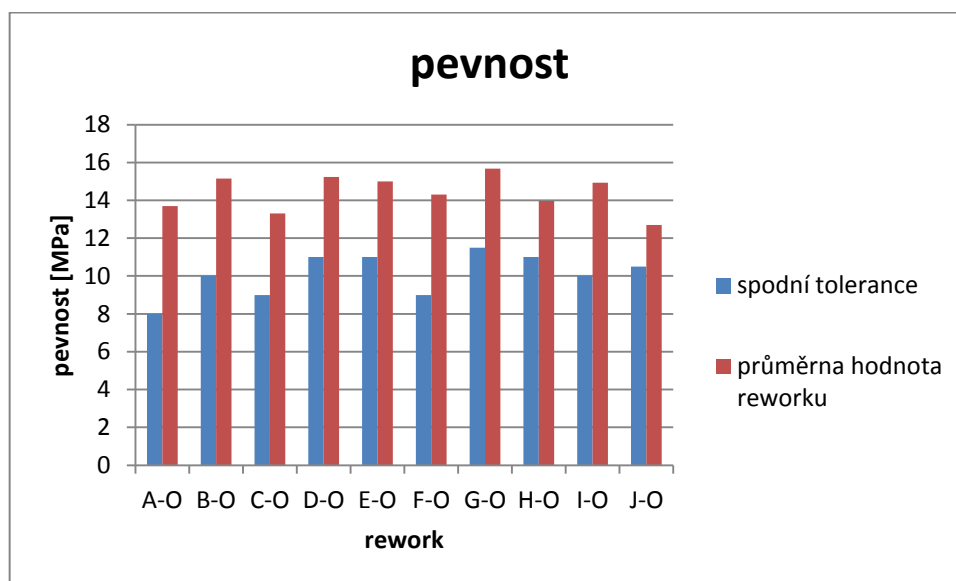
Y-O										
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [min]	T40 [min]	T90 [min]	plasticita [%]
1	14,14	536	8,3	1,220	69,4	17,7	1,7	2,4	4,8	
2	15,25	407	11,8	1,188	67,6	27,5	2,2	2,6	5,4	50,6
3	14,42	476	9,5	1,207	67,3	20,6	1,9	2,5	4,7	49,9
4	13,95	542	8,2	1,219	69,8	18,0	1,8	2,5	5,1	53,7
5	15,36	478	9,7	1,171	63,8	31,0	1,5	2,0	3,9	46,3
6	14,50	442	10,5	1,215	70,1	18,6	1,9	2,4	4,4	51,7
7	14,33	502	8,8	1,213	65,8	20,6	1,8	2,4	4,8	52,0
8	15,17	528	9,4	1,223	71,6	17,5	1,9	2,5	4,9	52,2
9	14,08	522	8,6	1,220	67,4	18,7	1,8	2,5	4,9	49,4
10	14,70	506	8,9	1,200	66,1	22,4	1,9	2,5	4,7	
11	12,82	504	7,4	1,174	64,9	14,8				
12	14,08	538	7,7	1,176	63,8	15,4				
13	14,69	486	9,4	1,220	70,1	17,4	1,8	2,2	3,9	49,9
14	14,49	531	8,2	1,192	64,2	23,6				
15	13,82	455	9,5	1,212	66,0	18,7	1,7	2,2	3,9	48,2
16	9,39	363	8,4	1,211	65,5	20,4				
17	8,64	343	8,2	1,212	65,3	19,4	1,6	2,2	4,5	50,9
18	13,80	522	7,5	1,192	62,0	26,7	1,8	2,5	4,7	46,9
19	14,04	505	8,3	1,215	64,8	22,8	1,9	2,6	4,7	56,8
20	12,45	402	9,6	1,184	63,9	28,7	1,8	2,1	3,5	40,2
21	14,85	493	9,4	1,218	69,1	18,9	1,9	2,4	4,2	51,3
22	14,64	485	9,4	1,219	69,7	17,8	1,7	2,1	3,6	
23	12,04	446	8,3	1,204	66,0	21,0				
24	13,20	535	7,1	1,198	62,8	23,9				
25	12,85	300		1,212	71,6	22,7	1,8	2,2	5,3	
26	10,90	283		1,209	70,2	21,4	1,8	2,1	4,1	
27	14,41	490	9,3	1,226	70,6	18,4	2,0	2,6	4,7	
28	14,10	359	12,7	1,202	68,3	30,2	1,0	1,3	2,4	
29	14,36	491	9,4	1,218	67,8	19,3	1,6	2,1	3,6	
30	13,42	359	12,5	1,227	73,4	18,0	1,9	2,3	4,2	
̄	13,63	461	9,1	1,207	67,3	21,1	1,8	2,3	4,4	50,0
̄	14,09	488	9,1	1,212	67,4	19,9	1,8	2,4	4,6	50,6
s	1,57	73	1,4	0,015	2,9	4,1	0,2	0,3	0,7	3,6
V	11,48	16	14,9	1,280	4,3	19,6	11,3	12,0	15,2	7,3

Tabulka 14 fyzikální hodnoty reworku Y-O

Pro představu o tom, která směs splňuje dané fyzikální vlastnosti, byly vytvořeny tabulky 15-20 a obrázky 34-39 s grafy. V grafech je zobrazena požadovaná hodnota spodní tolerance, popřípadě i tolerance horní a korespondující průměrná hodnota daného reworku. V grafech jsou jasně vidět hodnoty ležící mimo toleranci. Reworky, které byly změřeny, a daná fyzikální hodnota vyšla mimo toleranci, je nutné zpracovat jiným režimem.

rework	pevnost [MPa]	
	spodní tolerance	průměrná hodnota reworku
A-O	8	13,69
B-O	10	15,15
C-O	9	13,31
D-O	11	15,23
E-O	11	15
F-O	9	14,3
G-O	11,5	15,67
H-O	11	13,97
I-O	10	14,93
J-O	10,5	12,7

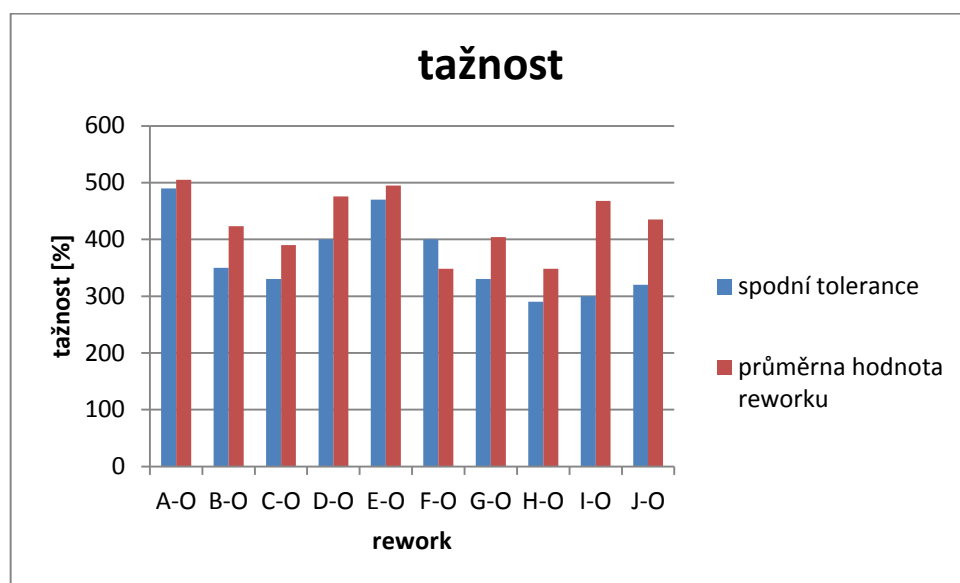
Tabulka 15 tabulka tolerancí a změřených hodnot pevnosti



Obrázek 34 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot pevnosti

rework	tažnost [%]	
	spodní tolerance	průměrná hodnota reworku
A-O	490	505
B-O	350	423
C-O	330	390
D-O	400	476
E-O	470	495
F-O	400	348
G-O	330	404
H-O	290	348
I-O	300	468
J-O	320	435

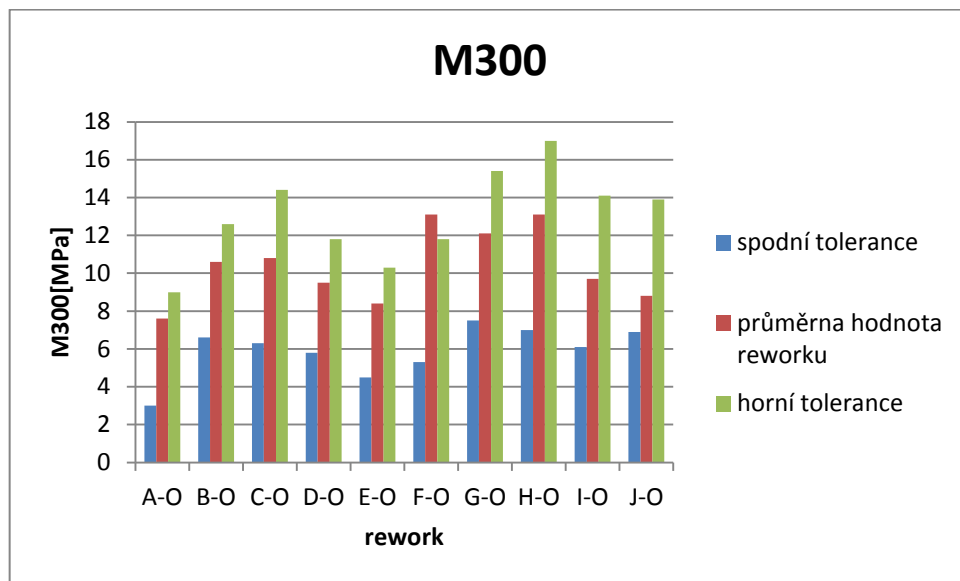
Tabulka 16 tabulka tolerancí a změřených hodnot tažnosti



Obrázek 35 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot tažnosti

rework	M300 [MPa]		
	spodní tolerance	průměrná hodnota reworku	horní tolerance
A-O	3	7,6	9
B-O	6,6	10,6	12,6
C-O	6,3	10,8	14,4
D-O	5,8	9,5	11,8
E-O	4,5	8,4	10,3
F-O	5,3	13,1	11,8
G-O	7,5	12,1	15,4
H-O	7	13,1	17
I-O	6,1	9,7	14,1
J-O	6,9	8,8	13,9

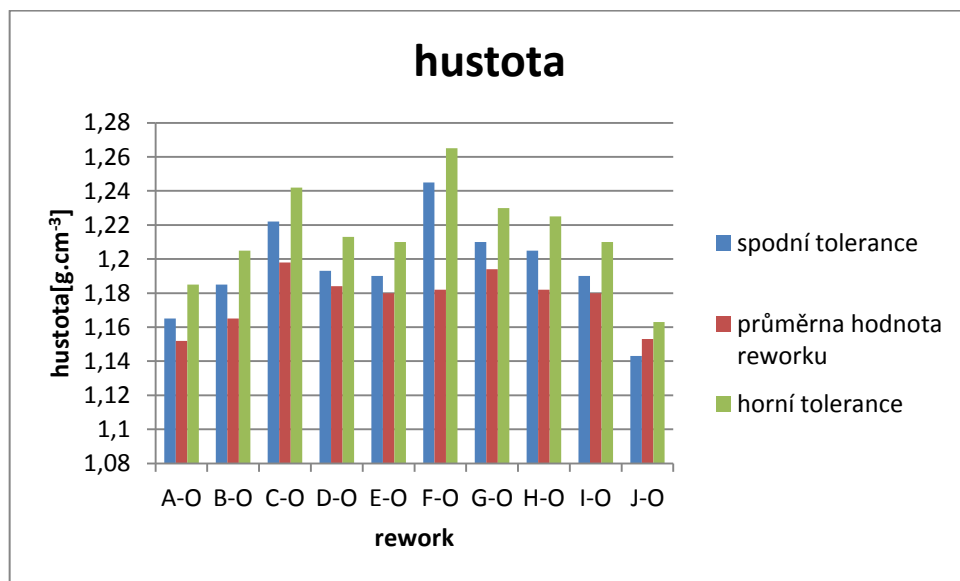
Tabulka 17 tabulka tolerancí a změřených hodnot M300



Obrázek 36 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot M300

rework	hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]		
	spodní tolerance	průměrná hodnota reworku	horní tolerance
A-O	1,165	1,152	1,185
B-O	1,185	1,165	1,205
C-O	1,222	1,198	1,242
D-O	1,193	1,184	1,213
E-O	1,19	1,18	1,21
F-O	1,245	1,182	1,265
G-O	1,21	1,194	1,23
H-O	1,205	1,182	1,225
I-O	1,19	1,18	1,21
J-O	1,143	1,153	1,163

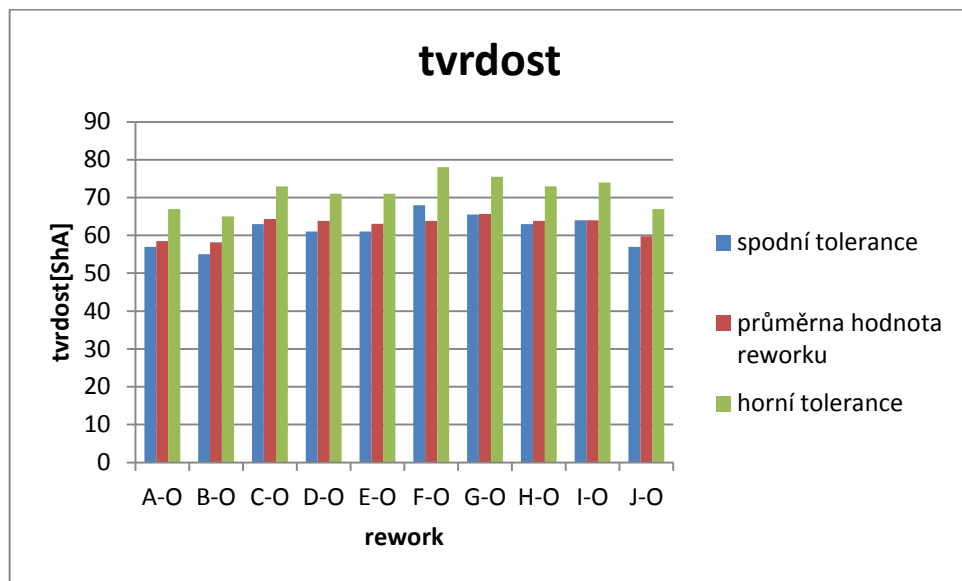
Tabulka 18 tabulka tolerancí a změřených hodnot hustoty



Obrázek 37 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot hustoty

rework	tvrdost [ShA]		
	spodní tolerance	průměrná hodnota reworku	horní tolerance
A-O	57	58,5	67
B-O	55	58,2	65
C-O	63	64,3	73
D-O	61	63,8	71
E-O	61	63,1	71
F-O	68	63,8	78
G-O	65,5	65,7	75,5
H-O	63	63,8	73
I-O	64	64	74
J-O	57	59,8	67

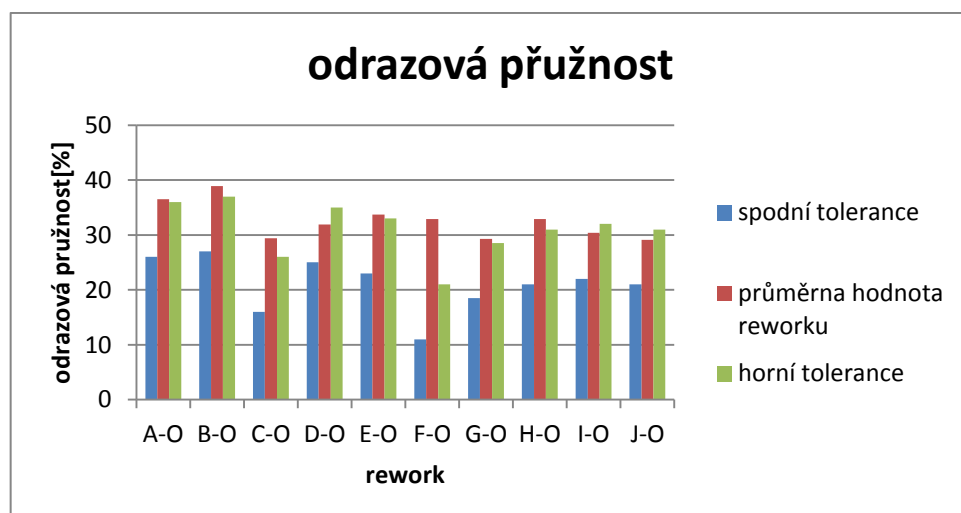
Tabulka 19 tabulka tolerancí a změřených hodnot tvrdosti



Obrázek 38 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot tvrdosti

rework	odrazová pružnost [%]		
	spodní tolerance	průměrná hodnota reworku	horní tolerance
A-O	26	36,5	36
B-O	27	38,9	37
C-O	16	29,4	26
D-O	25	31,9	35
E-O	23	33,7	33
F-O	11	32,9	21
G-O	18,5	29,3	28,5
H-O	21	32,9	31
I-O	22	30,4	32
J-O	21	29,1	31

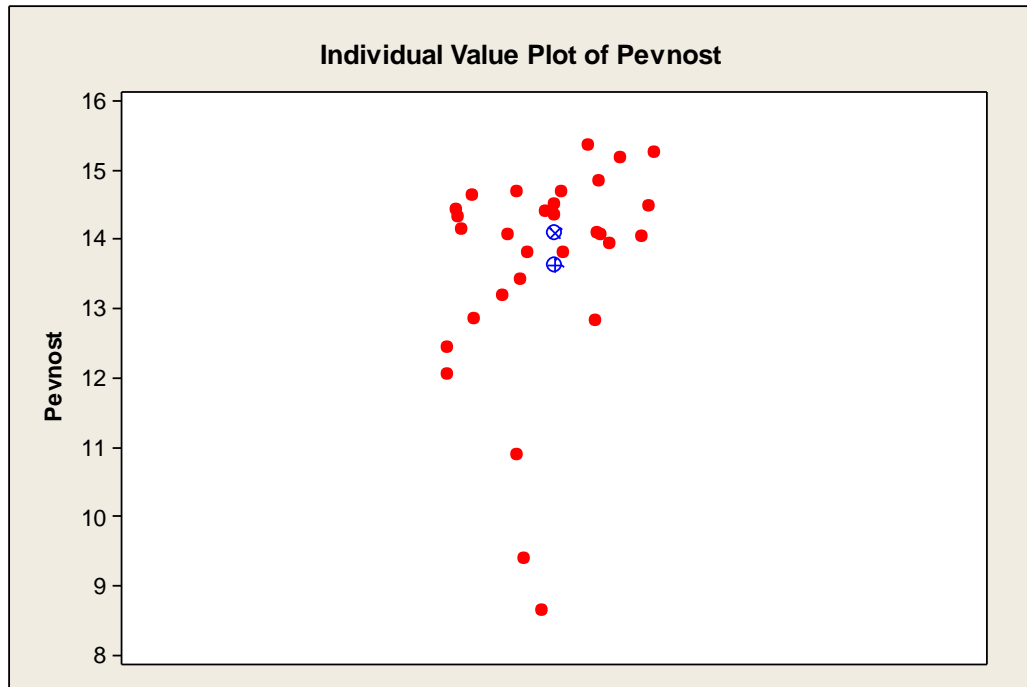
Tabulka 20 tabulka tolerancí a změřených hodnot odrazové pružnosti



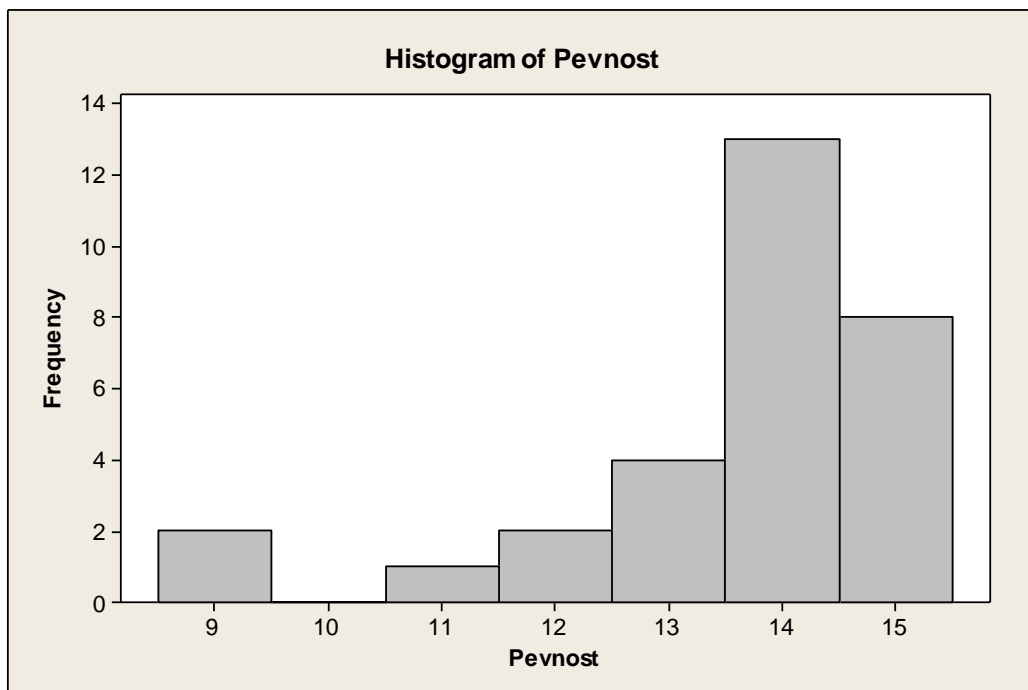
Obrázek 39 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot odrazové pružnosti

7.7 Využití programu Minitab a statistické vyhodnocení

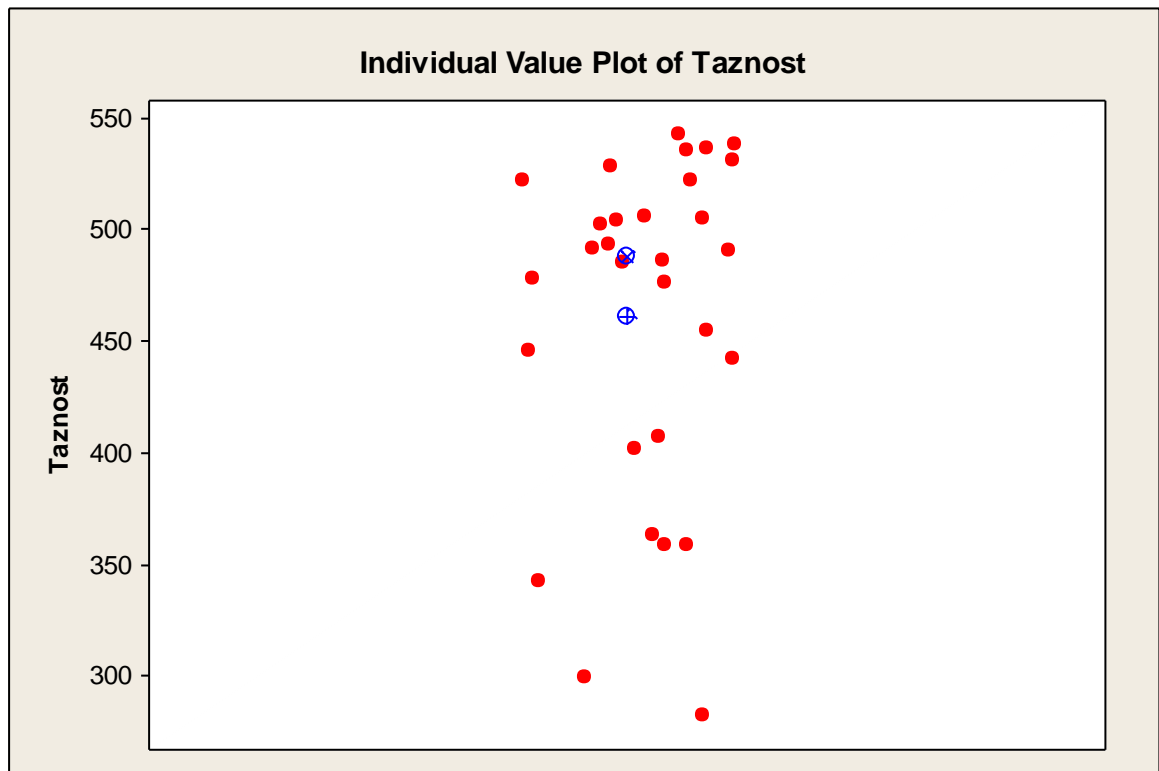
Pro kontrolu statistického vyhodnocení, byl použitý program Minitab, který ve své výpočtí potvrdil složitost a neúplnost statistických dat a neumožnění využití jednoduché statistiky. Proto je doporučeno využití dalších informací a dat, viz kap. 7.8.



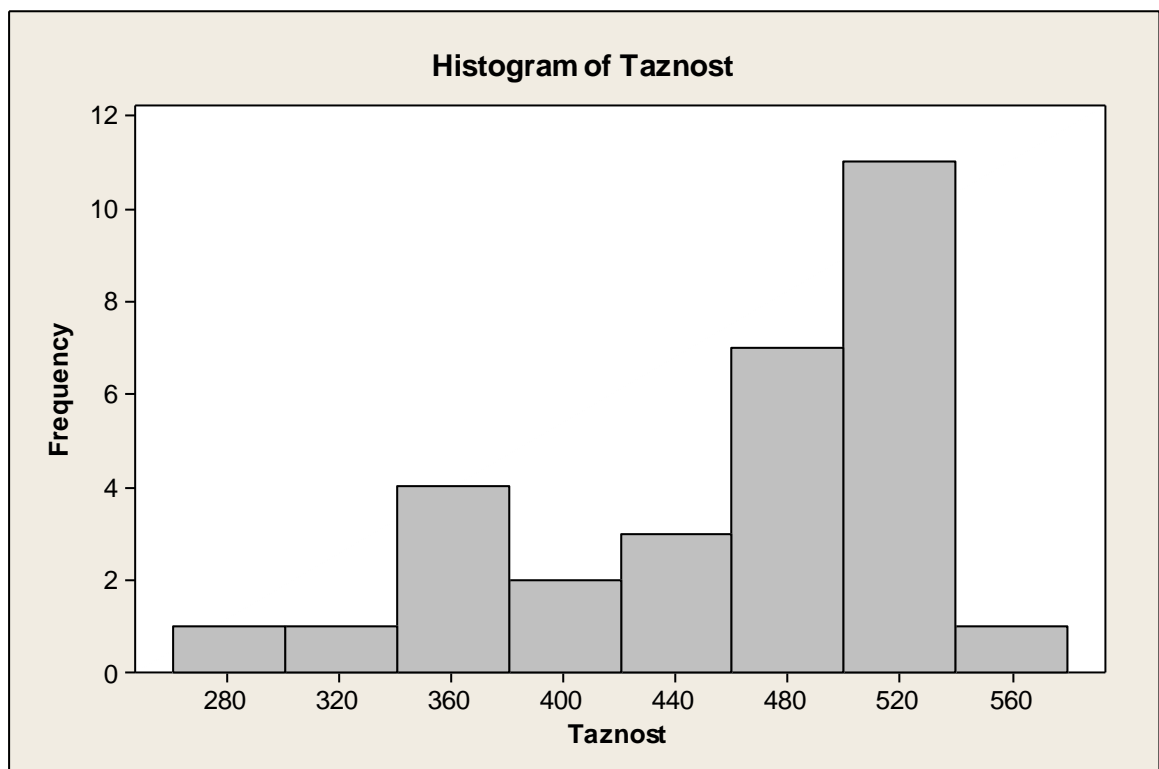
Obrázek 40 bodové rozdělení hodnot pevnosti reworku A-O



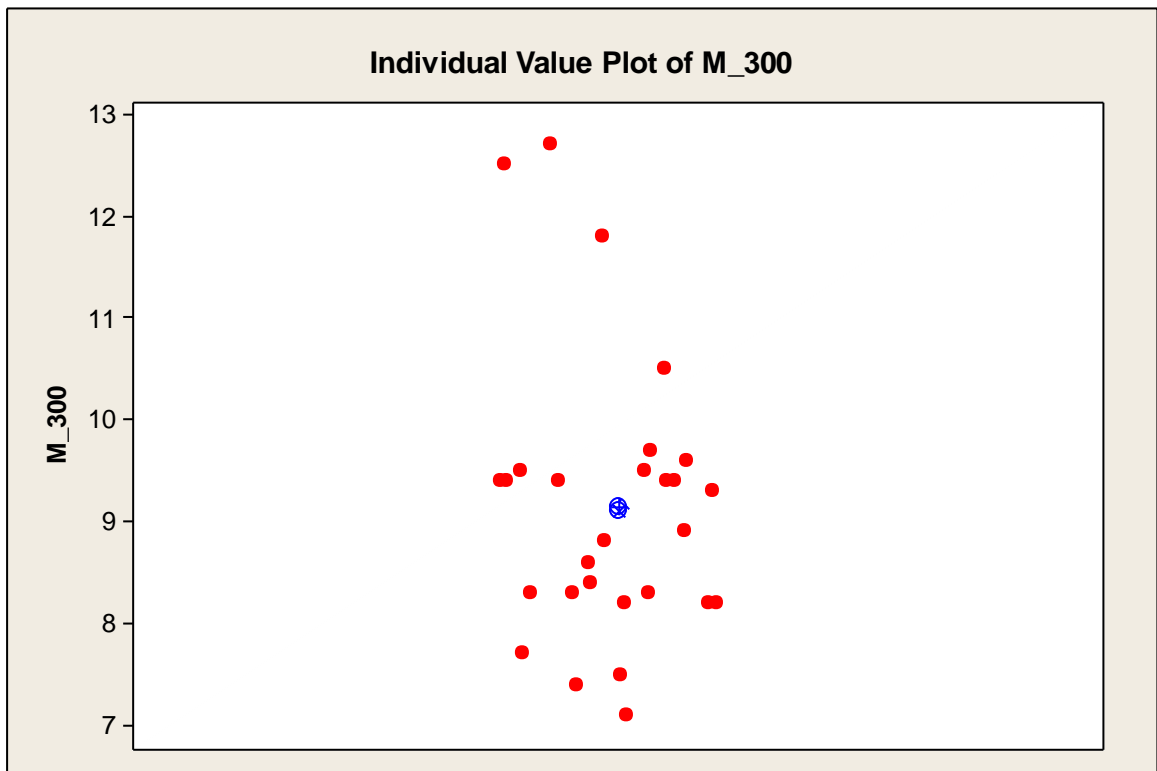
Obrázek 41 histogram naměřených hodnot pevnosti reworku A-O



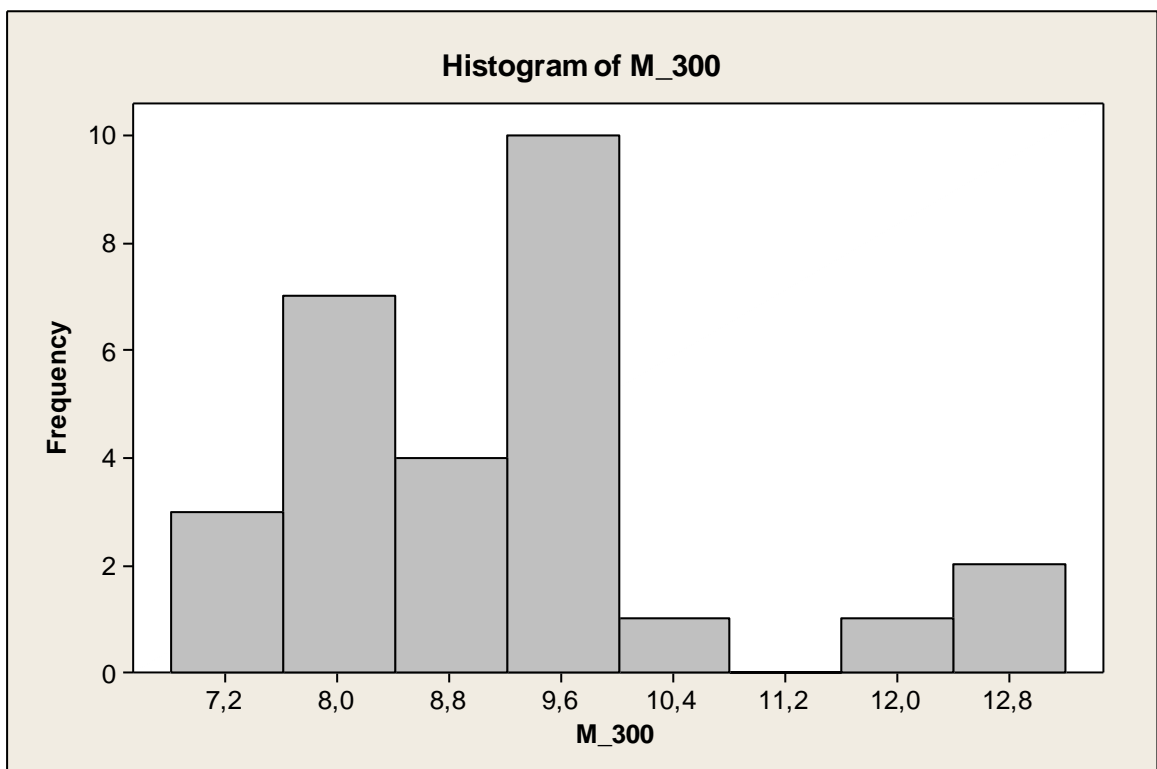
Obrázek 42 bodové rozdělení hodnot taznosti reworku A-O



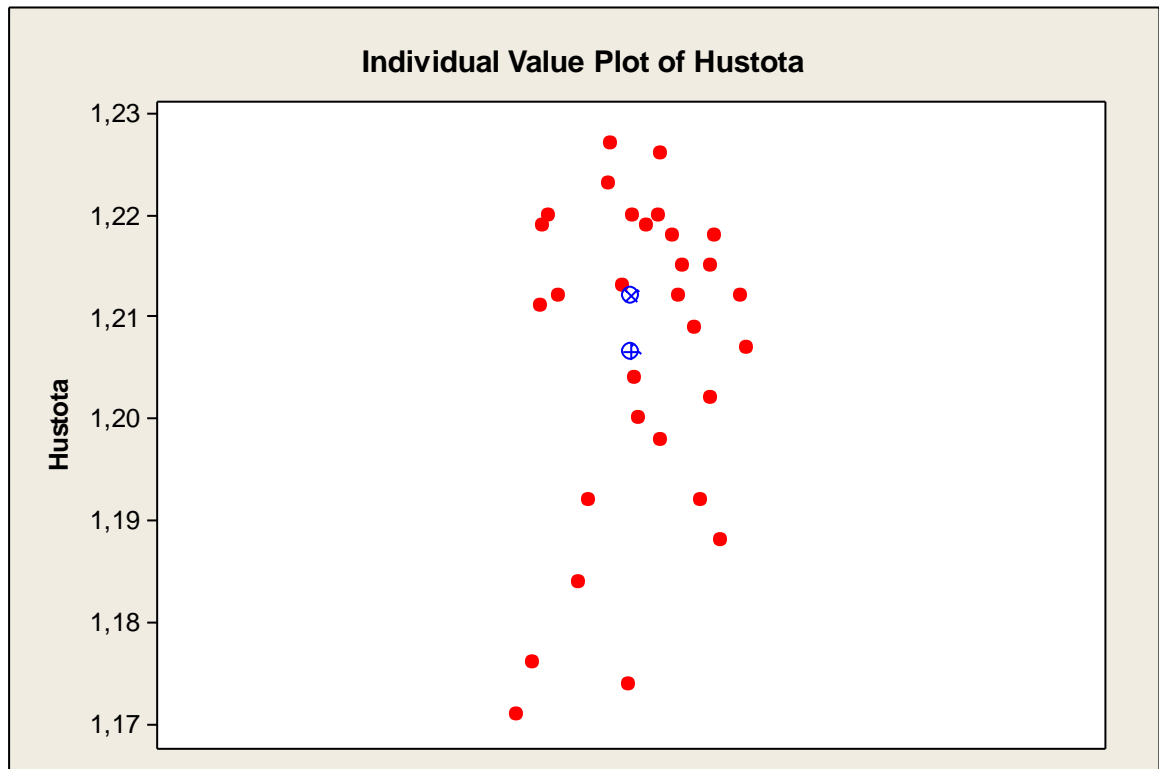
Obrázek 43 histogram naměřených hodnot taznosti reworku A-O



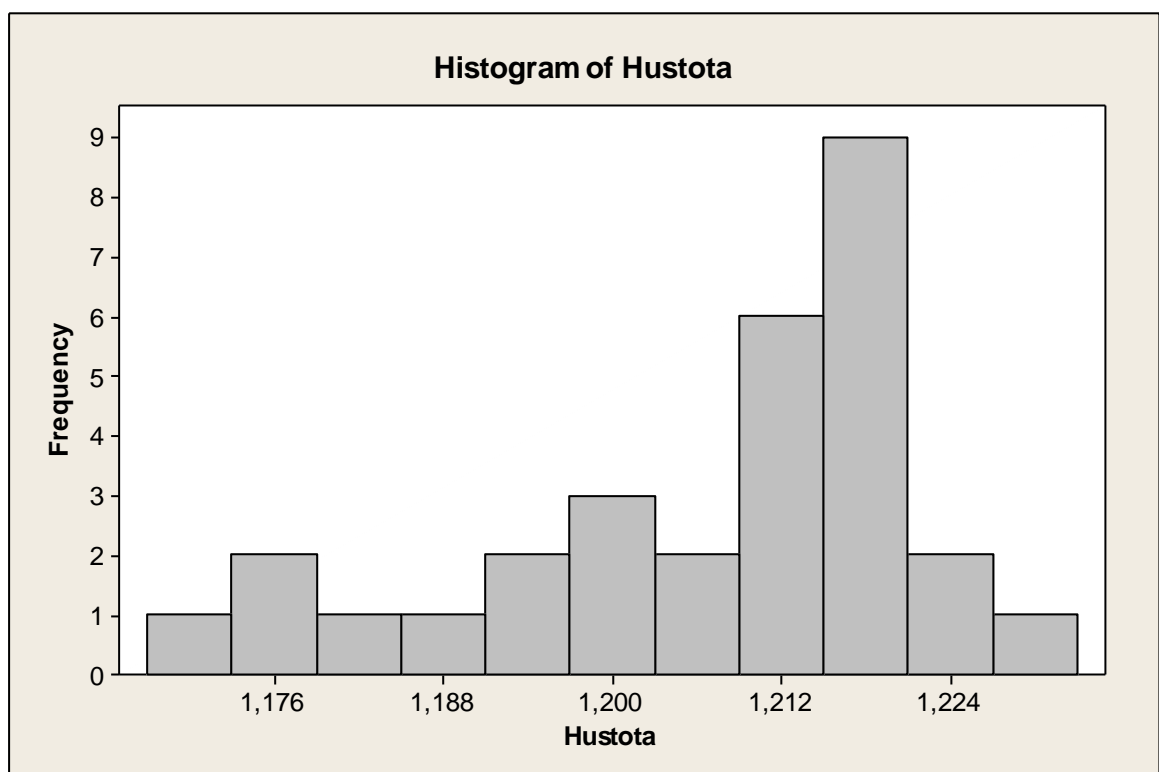
Obrázek 44 bodové rozdělení hodnot M300 reworku A-O



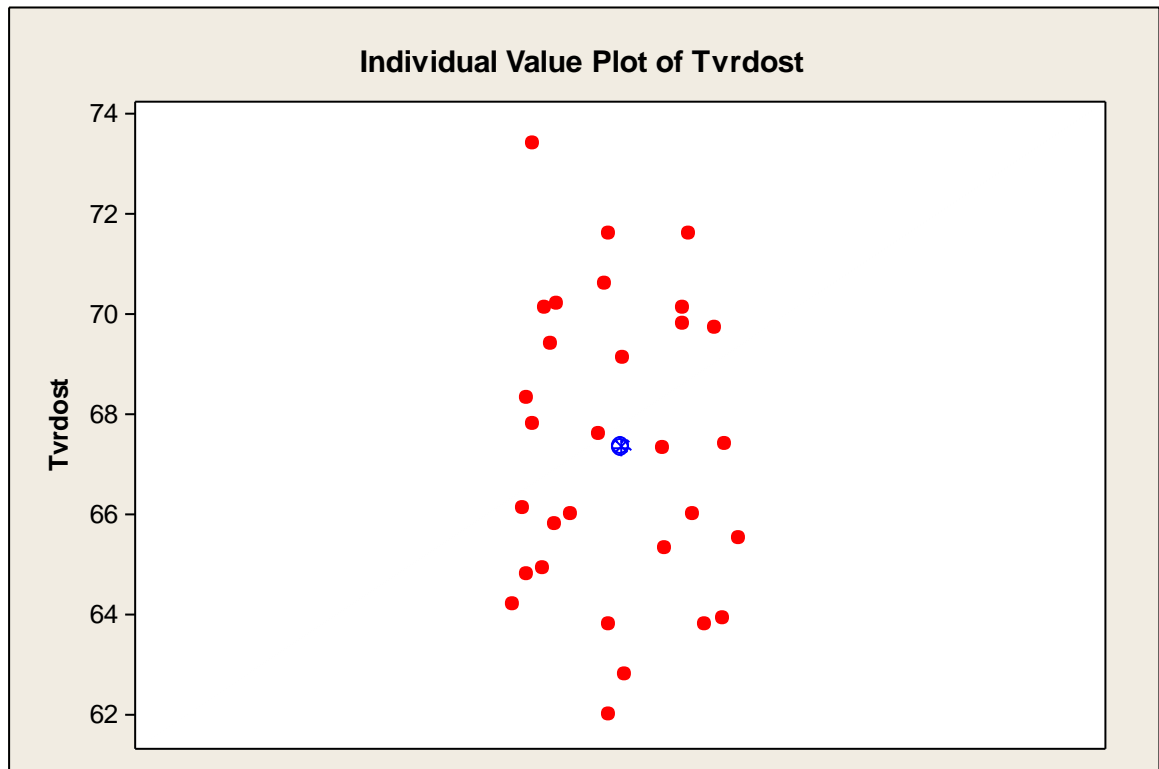
Obrázek 45 histogram naměřených hodnot M300 reworku A-O



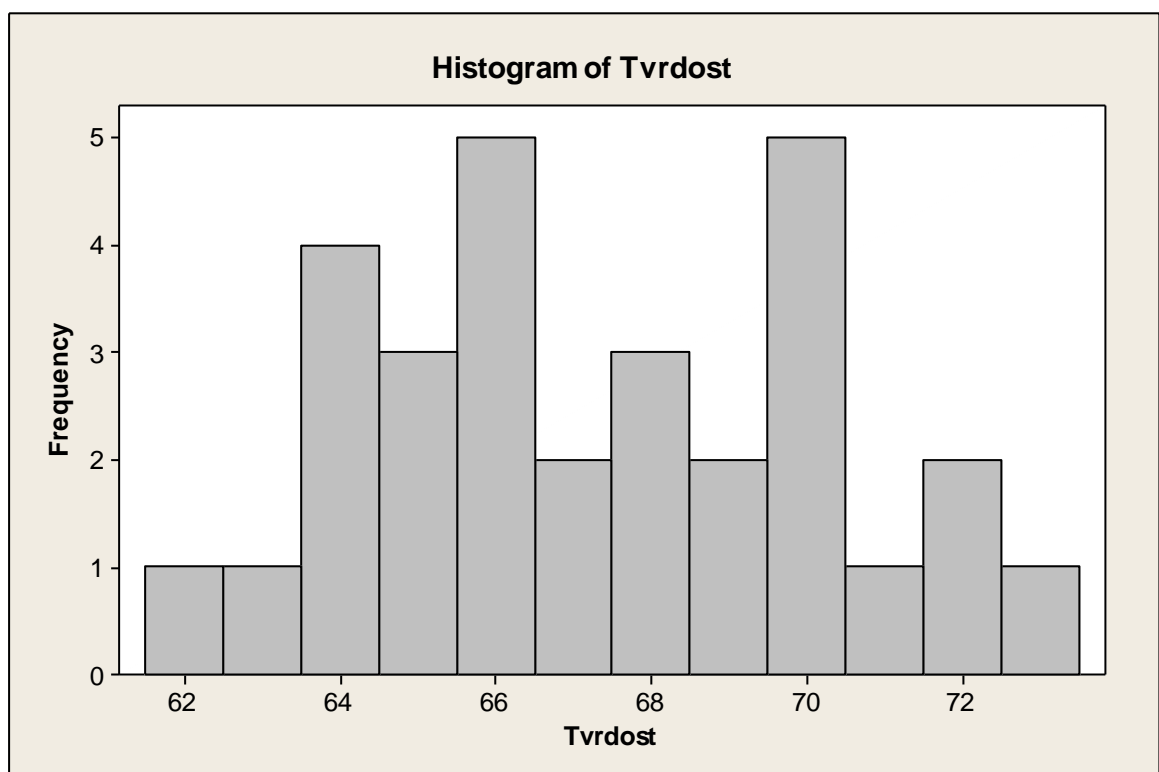
Obrázek 46 bodové rozdělení hodnot hustoty reworku A-O



Obrázek 47 histogram naměřených hodnot reworku A-O



Obrázek 48 bodové rozdělení hodnot tvrdosti reworku A-O



Obrázek 49 histogram naměřených hodnot tvrdosti reworku A-O

7.8 Zpracování výsledků měření kaučukové směsi J reworkem A-O

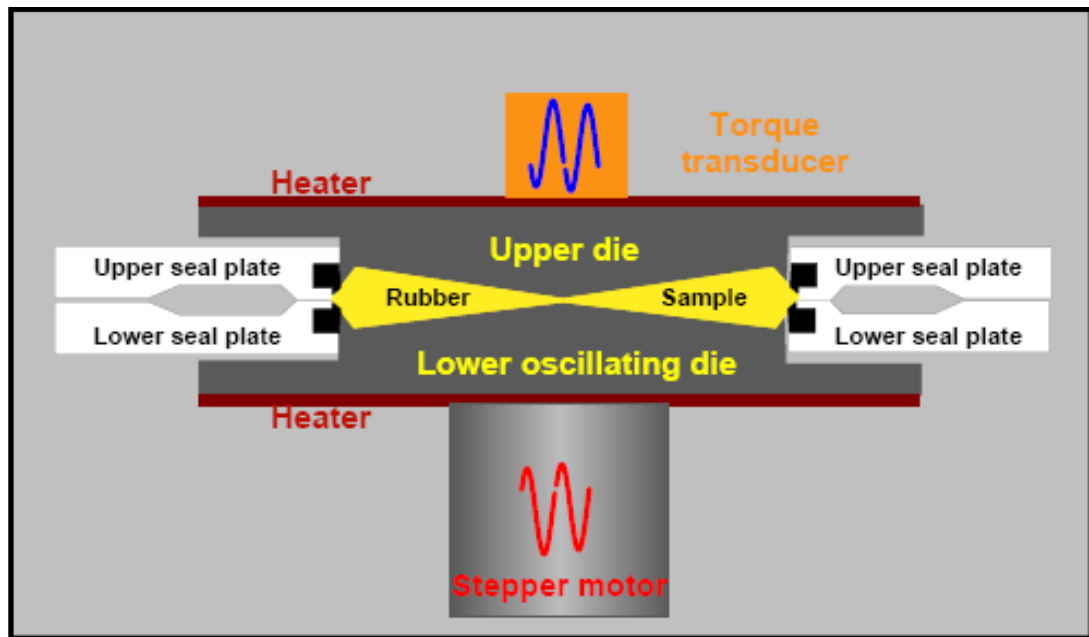
Jelikož vzniká řada reworků, které kvůli svému malému objemu nelze dlouhodobě skladovat a vyčkávat dokud nevznikne technologicky zajímavý objem daného reworku (zejména kvůli procesním podmínkám dalšího zpracování) je nutné hledat cestu využití tohoto malého objemu k plnění jiné kaučukové směsi tímto uvedeným reworkem, tak aby nebyly ovlivněny vlastnosti výsledné kaučukové směsi ani vulkanizátu. Právě tyto malé objemy materiálu vyvolávají při jejich skladování zvýšené nároky na skladovací prostory a tím, že je jejich skladovatelnost omezena (pokud nejsou skladovány za nízkých teplot) navyšují objem vznikajících scrapů.

To je jeden z hlavních důvodů rozvíjení zpracovatelských technologií v oblasti zpracování reworků. Tabulka 21 uvádí dosud získané výsledky z měření při kombinaci směsi J s reworkem směsi A-O, tj. reworku směsi o jiném složení. Další měření se průběžně provádí.

SMĚS "J" S PŘIMÍCHANÝM REWORKEM "A-O"								
n	pevnost [MPa]	tažnost [%]	M300 [MPa]	hustota [g.cm ⁻³]	tvrdost [ShA]	odrazová pružnost [%]	T10 [-]	T90 [-]
1	13,1	446	9,1	1,158	64,0	24,7	1,9	5,7
2	11,8	372	10,1	1,147	63,3	26,1	1,9	5,7
3	14,0	440	9,6	1,144	60,7	27,1	1,9	5,3
x	13	419	9,6	1,150	62,7	26,0	1,9	5,6
ř	13	440	9,6	1,147	63,3	26,1	1,9	5,7
s	1	34	0,4	0,006	1,4	1,0	0,0	0,2
v	7	8	4,1	0,523	2,3	3,8	2,2	3,7

Tabulka 21 fyzikální hodnoty směsi "J" s přimíchaným reworkem "A-O"

Vzhledem k malým zkušenostem se zpracování kombinovaných reworků je rozšířeno toto hodnocení mimo hodnoty uvedené v tab. 21 o měření na přístroji RPA2000.

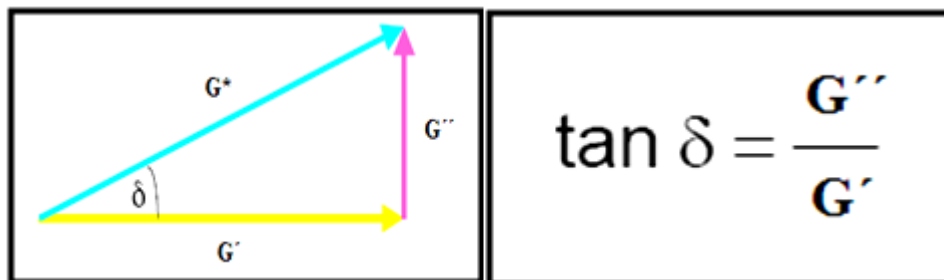


Obrázek 50 princip měření na RPA 2000

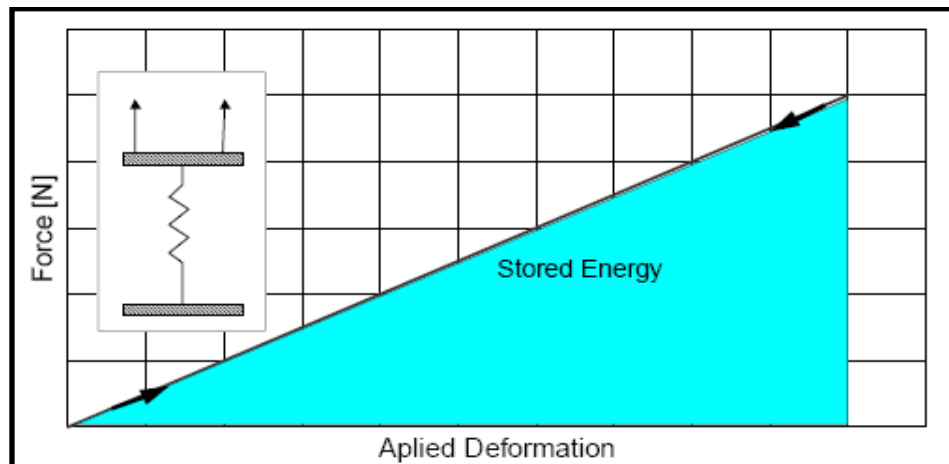
Kvůli složitosti přípravy gumárenských směsí firma Alpha Technologies vynalezla přístroj označovaný obchodně jako RPA 2000 (obr. 50). Celou přípravu gumárenských směsí je nutno důkladně sledovat. Mezi sledovanými veličinami byly u finálních směsí viskozita Mooney a hodnoty vulkanizačních charakteristik. Potřebujeme znát i další parametry, především viskoelastické a dynamické.

[8]

- $\tan \delta$ - ztrátový faktor

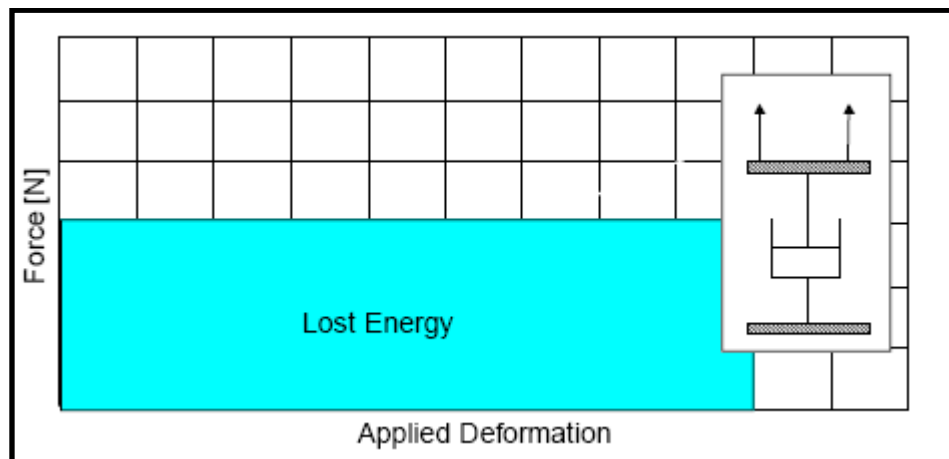
Obrázek 51 ztrátový faktor $\tan \delta$

- G' - elastická složka, energie se absorbuje



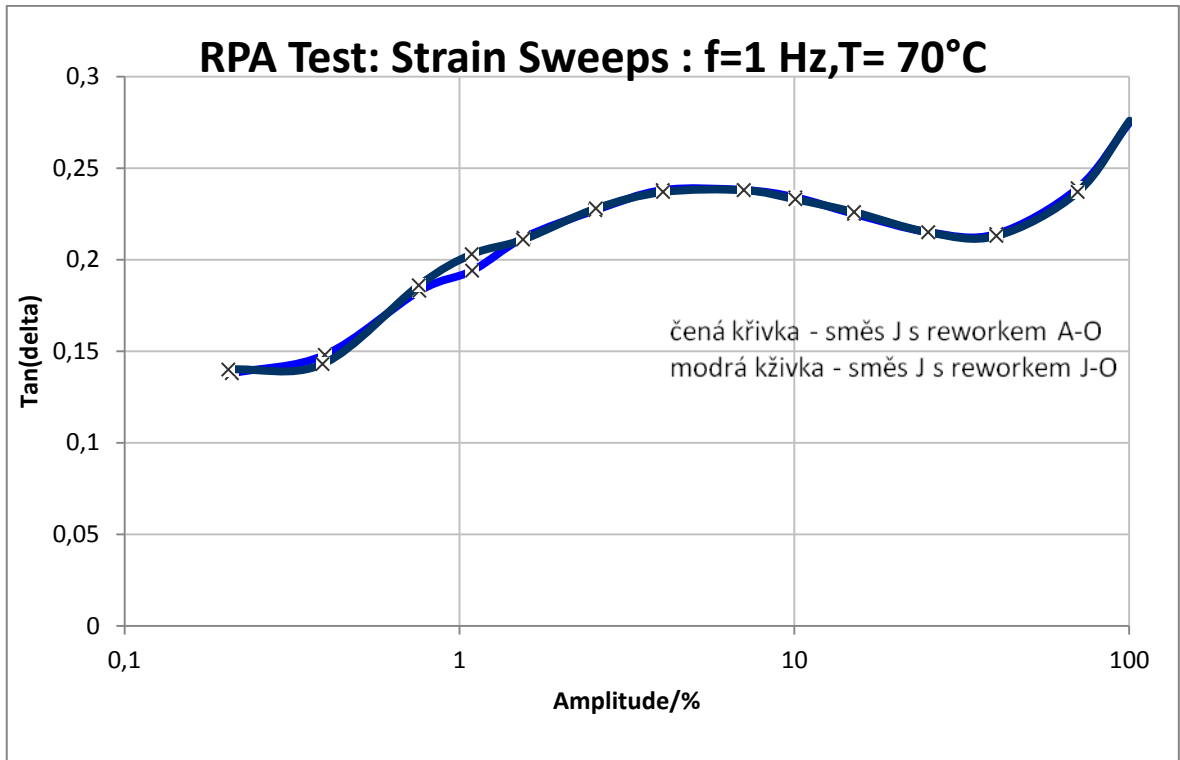
Obrázek 52 elastická složka

- G'' - viskózní složka, energie se mění na teplo

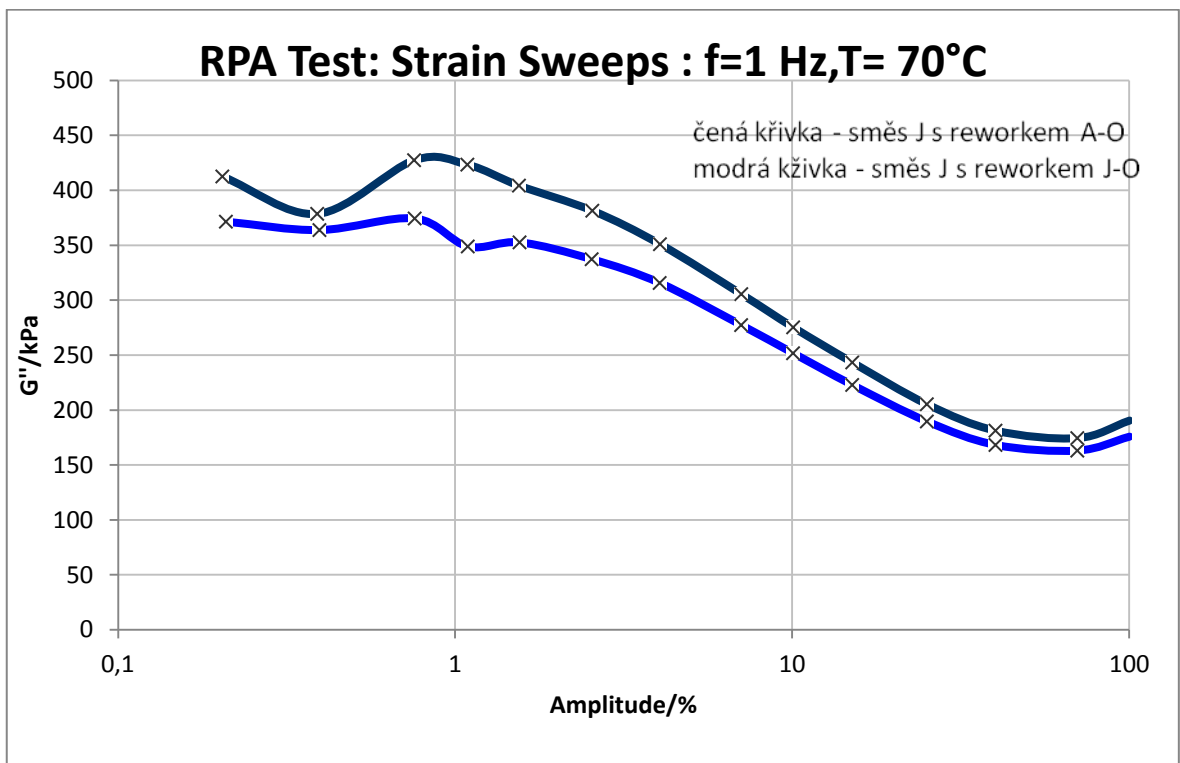


Obrázek 53 viskózní složka

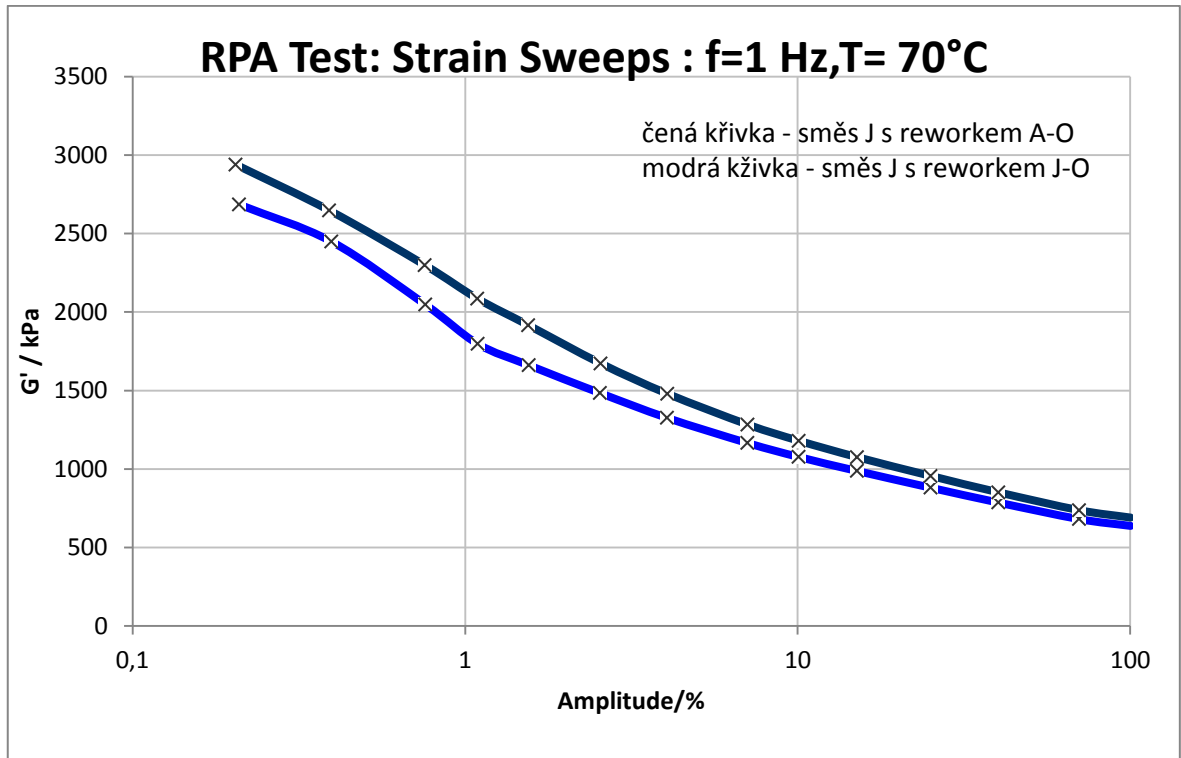
Grafy na obrázku 54-56 uvádějí možnosti hodnocení vlastností kombinovaných kaučukových směsí jiným způsobem. Obr. 54-56 uvádí srovnání změřené hodnoty $\tan \delta$, G' , G'' u čisté kaučukové směsi J a kombinované směsi J s reworkem A-O.



Obrázek 54 závislost tan δ na amplitudě



Obrázek 55 závislost G'' na amplitudě



Obrázek 56 závislost G' na amplitudě

7.9 Ekonomika zpracování revorků.

Z ekonomického hlediska je požadované využití veškerých technologických zbytků, které jsou vhodné k dalšímu zpracování přímo ve firmě Continental Barum. Scrap z výroby je nutné na náklady firmy zpracovat, ekologicky odstranit nebo nechat k odkoupení, to vše je ekonomicky nevyhovující.

Jelikož nebyly z komerčních důvodů poskytnuty ekonomické data, je ekonomické zhodnocení provedeno jednoduchým odborným odhadem.

Z něho vyplývá:

Cena kaučukové směsi je odhadnuta asi 60 Kč/kg.

Její zpracování na rework je asi 15% ceny tj. 9 Kč. Cena směsi je pak 69Kč/kg. Ztráta 9 Kč/kg

Pokud bude materiál scrapován a prodán dalšímu výrobcí za 1Kč/ kg. Ztráta bude 59 Kč/kg

Bude-li materiál poslán k ekologické likvidaci, zaplatí výrobce asi 5000 Kč za tunu likvidace. Pokud bude materiál zaslán k ekologické likvidaci, bude to výrobce stát 5 Kč/kg. Tím ztratí 65 Kč/kg.

Z jednoduchého počtu vyplývá, že neekonomičtější se jeví další zpracování reworků do původních směsí nebo kombinace směsí přidáváním při výrobě finálové směsi v definovaném množství.

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vznikající reworky kaučukových směsí je možno využít v několika směrech. První z nich je vrátit rework zpět do výroby plášťů pneumatik pouhým zplástováním do původního tvaru na které jsou připravené technologie (vytlačování, válcování). Toto využití však musí splňovat plně parametrické vlastnosti kaučukových směsí dle předpisu. Toto využití je málo pravděpodobné. Největší část reworků se smíchává v poměru s „čerstvou“ kaučukovou směsí přímo u výrobní linky nebo se přidává do finálové směsi. Takto se využije převážná část reworků o velkém objemu.

V bakalářské práci je uvedena řada výsledků fyzikálních a procesních parametrů reworků, jak byly v průběhu bakalářské práce změřeny. Z těchto výsledků vyplývá, že v některých parametrech se zpracované reworky liší od požadovaných. Tyto kaučukové směsi pak musí být využité jinou cestou.

Heterogenost naměřených výsledků také potvrzuje jednoduchá statistika. Při provedení hodnocení statistických veličin v programu MINITAB bylo konstatováno, že naměřené výsledky nejsou statisticky jednoduše zpracovatelné, jelikož nemají potřebné statistické rozdělení. Což potvrzují výsledky uvedené v kapitole 7.7

Dále pro statistické hodnocení chybí podklady vlivu stroje, obsluhy atd.

Vzhledem k rozmanitým objemům reworku jednotlivých kaučukových směsí je nutno zvážit jejich další využití. Ideální představa je sdružené přidávání reworků malých objemů do finálních kaučukových směsí.

V kapitole 7.8 jsou uvedeny výsledky, kdy byly do kaučukové směsi přidávány jiné maloobjemové reworky. I když nedošlo, měřením ke statisticky významným informacím dobře potvrdilo právě využití informací z procesně dynamické zkoušky RPA.

Ekonomické zhodnocení lze zhodnotit pouze poměrem množství uplatněného reworku do další výroby ku celkovému objemu reworků. Tj. vzniku scrapů.

ZÁVĚR

Bakalářská práce si postavila za úkol vyřešit nebo rozpracovat možnosti racionálního zpracování vratných reworků vznikajících při výrobě konfekčních dílů v pneumatikářské výrobě.

Podle prostudované a řešené práce je možné učinit následující závěry:

- Rework je zajímavý materiál pro další využití přímo při výrobě kaučukových směsí s následným použitím v hlavní kaučukové surovině
- Je 100% vratný při použití podílového přidávání do finálních směsí podobného chemického a fyzikálního charakteru
- Je přepracovatelný jako jiná využitelná kaučuková směs (prodej ve formě scrapu je neekonomický)
- Pro vytvoření statistické normality je navrženo zvýšit počet odebraných vzorků z jednotlivých kaučukových směsí a reworků
- Jako pozitivní, i když nebylo plně statisticky prověřeno, se projevilo využití zkoušek RPA

Další směr studie této problematiky se jeví ve zvýšení statistické frekvence měření včetně sledování procesních veličin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. *ZRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ: pro konstrukční směry*. Zlín, 2011, 182 s. Dostupné z: http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG_zpracovatelske_procesy_gumarenske.pdf
- [2] FRANTA, Ivan. *Gumárenské suroviny*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979, 606 s.
- [3] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia I*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 1998, 282 s. ISBN 8071004839.
- [4] ŠPAČEK, Josef. *Technologie gumárenská a plastikářská*. Brno: VUT, 1987, 200 s.
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2006, 158 s. ISBN 80-02-01784-6.
- [6] MALÁČ, J., *Gumárenská technologie*, Elektronická skripta UTB FT
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ. *Gumárenská technologie*. Otrokovice: Barum Continental spol. s r.o., 2008. 100 s.
- [8] WILCZYNSKI, Ondřej a Richard POSPÍŠIL. RPA 2000 – universal tool for rubber industry. *Plasty a kaučuk*. 2008, vol. 45, iss. 11-12, s. 326-334. ISSN 0322-7340.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NR	Přírodní kaučuk
RSS	Plantážový uzený kaučuk
TCR	Technicky klasifikovaný kaučuk
SK	Syntetický kaučuk
IR	Izoprenový kaučuk
SBR	Butadienstyrenový kaučuk
BR	Butadienový kaučuk
IIR	Butylkaučuk
CR	Chlorprenový kaučuk
CIIR	Chlorbutyl kaučuk
BIIR	Brombutyl kaučuk
NBR	Butadienakrylonitrilový kaučuk
MQ	Polydimethylsiloxan
VMQ	Vinilmethylsiloxan
OT	Polysulfidový kaučuk
DSK	Díly na sto dílů kaučuku
TESPT	Bis(3-triethoxysilylpropyl)tetrasulfan
ČSN	Československá technická norma
M300	Modul 300% [MPa]
G' G''	Reálná a imaginární část komplexního modulu ve smyku [MPa]
MgO	Oxid hořečnatý
PbO	Oxid olovnatý
ZnO	Oxid zinečnatý
CaO	Oxid vápenatý

CaCO₃ Uhličitan vápenatý

SiO₂ Oxid křemičitý

RPA Rubber Process Analyzer (procesní analýza)

Tan δ Ztrátový úhel [-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 struktura NR	12
Obrázek 2 čepování kaučuku	13
Obrázek 3 plantážový uzžený kaučuk	14
Obrázek 4 izoprenový kaučuk	16
Obrázek 5 butadienstyrenový kaučuk	16
Obrázek 6 butadienový kaučuk	17
Obrázek 7 butylkaučuk	17
Obrázek 8 chlorprenový kaučuk	18
Obrázek 9 butadienakrylonitrový kaučuk	18
Obrázek 10 silikonový kaučuk MQ	19
Obrázek 11 polysulfidové kaučuky	19
Obrázek 12 schéma síťování kaučuku za použití síry	22
Obrázek 13 schéma dvouválce s míchaným materiálem	29
Obrázek 14 schéma hnětacího stroje	30
Obrázek 15 tangenciální rotory hnětacího stroje	31
Obrázek 16 intermix rotory hnětacího stroje	31
Obrázek 17 schéma míchací linky pro míchání základních směsí	33
Obrázek 18 schéma míchací linky pro míchání finálních směsí	34
Obrázek 19 Progresivní dvojstupňové míchání směsí v tandemovém hnětacím stroji	35
Obrázek 20 TESPT	36
Obrázek 21 hroty typu A, D	39
Obrázek 22 trhací stroje	40
Obrázek 23 zkušební vzorky pro tahovou zkoušku	41
Obrázek 24 měřená viskozita Mooney	42
Obrázek 25 rychlost vulkanizace Mooney	43
Obrázek 26 příklad vulkanizační křivky	44
Obrázek 27 přístroj k měření odrazové pružnosti	45
Obrázek 28 - řez osobním radiálním pláštěm	50
Obrázek 29 - linka na zpracování vratných odpadů	54
Obrázek 30 vulkanometru Monsato 2000	55
Obrázek 31 - vulkanizační lis	56
Obrázek 32 vlevo trhací stroj, vpravo hydrostatické váhy pro měření hustoty	57

Obrázek 33 - vlevo tvrdoměr, vpravo stroj k určení odrazové pružnosti	58
Obrázek 34 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot pevnosti.....	72
Obrázek 35 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot tažnosti.....	73
Obrázek 36 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot M300.....	74
Obrázek 37 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot hustoty	75
Obrázek 38 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot tvrdosti	76
Obrázek 39 grafické vyjádření tolerancí a změřených hodnot odrazové pružnosti.....	77
Obrázek 40 bodové rozdělení hodnot pevnosti reworku A-O	78
Obrázek 41 histogram naměřených hodnot pevnosti reworku A-O	78
Obrázek 42 bodové rozdělení hodnot tažnosti reworku A-O	79
Obrázek 43 histogram naměřených hodnot tažnosti reworku A-O	79
Obrázek 44 bodové rozdělení hodnot M300 reworku A-O	80
Obrázek 45 histogram naměřených hodnot M300 reworku A-O	80
Obrázek 46 bodové rozdělení hodnot hustoty reworku A-O.....	81
Obrázek 47 histogram naměřených hodnot reworku A-O.....	81
Obrázek 48 bodové rozdělení hodnot tvrdosti reworku A-O	82
Obrázek 49 histogram naměřených hodnot tvrdosti reworku A-O.....	82
Obrázek 50 princip měření na RPA 2000.....	84
Obrázek 51 ztrátový faktor $\tan \delta$	84
Obrázek 52 elastická složka.....	85
Obrázek 53 viskózní složka	85
Obrázek 54 závislost $\tan \delta$ na amplitudě	86
Obrázek 55 závislost G'' na amplitudě.....	86
Obrázek 56 závislost G' na amplitudě.....	87

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 chemické složení finální směsi	52
Tabulka 2 fyzikální vlastnosti vulkanizátů	53
Tabulka 3 fyzikální hodnoty reworku A-O.....	60
Tabulka 4 fyzikální hodnoty reworku B-O.....	61
Tabulka 5 fyzikální hodnoty reworku C-O.....	62
Tabulka 6 fyzikální hodnoty reworku D-O.....	63
Tabulka 7 fyzikální hodnoty reworku E-O.....	64
Tabulka 8 fyzikální hodnoty reworku F-O	65
Tabulka 9 fyzikální hodnoty reworku G-O.....	66
Tabulka 10 fyzikální hodnoty reworku H-O.....	67
Tabulka 11 fyzikální hodnoty reworku I-O	68
Tabulka 12 fyzikální hodnoty reworku J-O.....	69
Tabulka 13 fyzikální hodnoty reworku X-O.....	70
Tabulka 14 fyzikální hodnoty reworku Y-O.....	71
Tabulka 15 tabulka tolerancí a změřených hodnot pevnosti.....	72
Tabulka 16 tabulka tolerancí a změřených hodnot tažnosti.....	73
Tabulka 17 tabulka tolerancí a změřených hodnot M300.....	74
Tabulka 18 tabulka tolerancí a změřených hodnot hustoty	75
Tabulka 19 tabulka tolerancí a změřených hodnot tvrdosti	76
Tabulka 20 tabulka tolerancí a změřených hodnot odrazové pružnosti.....	77
Tabulka 21 fyzikální hodnoty směsi "J" s přimíchaným reworkem "A-O"	83