

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá měřením lepivosti drceného kaučuku pod vlivem teploty a tlaku. Současný rozvoj chemického a gumárenského průmyslu velmi úzce souvisí s dynamikou rozvoje vědy a výzkumu i transformací nových poznatků a objevů do praxe.

Základním předpokladem úspěšného vývoje je dobře technicky a odborně připravený kolektiv s hlubokou znalostí uvedené problematiky, schopný nejen absorbovat nové poznatky, ale jich i úspěšně rozvíjet a cílevědomě aplikovat výrobní i technické sféře.

Kaučuk jako takový je známý už asi dvě století. Pokusy o uplatnění kaučuku v praxi skončili v Evropě zpočátku naprostým nezdarem. Výrobky byly málo trvanlivé při nepatrném zahřátí lepkavé, za chladu tvrdé a lámavé.

S rozvojem průmyslu se stále intenzivněji hledaly možnosti vhodného využití kaučuku. Zjistilo se při zpracování na hnětacích válcích se tuhý surový kaučuk stává plastickým a dá se snadno formovat. Tento způsob úpravy se používá dodnes a nazývá se plastikace.

Již v první polovině 19. století byla objevena směs kaučuku, síry a olovnaté běloby, která ztratila po zahřátí zcela svou lepkavost a tvárnost a zachovala si pružnost za chladu i za tepla. Tento pochod se nazývá vulkanizace.

Největší rozmach průmyslu kaučuku nastal v druhé polovině 19. století vlivem prudkého rozvoje automobilového průmyslu a s tím spjatý vývoj pneumatiky.

V dnešní době je vývoj kaučukových směsí na vysoké úrovni. S kaučukem se setkáváme na každém kroku – při výrobě pneumatik, ve zdravotnictví, v domácnosti.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením lepivosti a penetrace kaučuku na speciálním měřicím přístroji. Vyhodnocené data se pomocí PCI karet a počítače převedou do digitální podoby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. KAUČKY

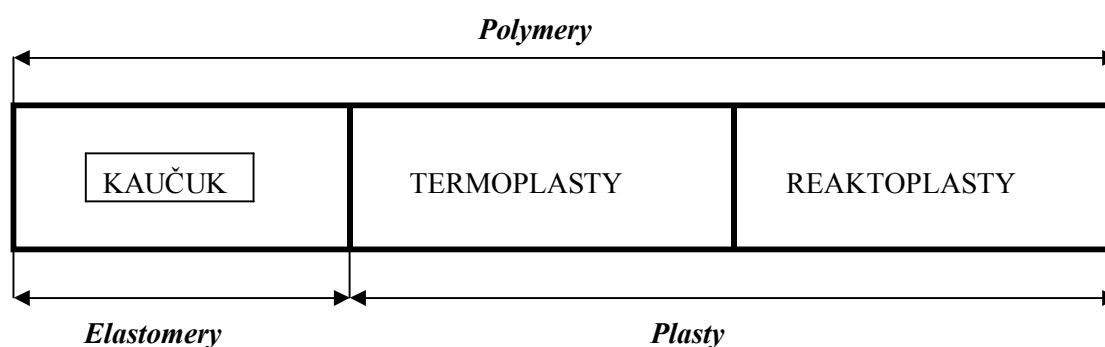
1.1 Všeobecné charakteristiky kaučuku

Kaučuky patří ve všeobecnosti do skupiny polymerů se specifickými a unikátními vlastnostmi, které jich ve skupině gumárenských surovin a materiálů řadí na první místo v objemu použití.

Pod pojmem kaučuk se rozuměl v minulosti přírodní kaučuk, vývoj a výroba syntetických kaučuků přinesli nutnost tento pojem zevšeobecnit.

Kaučuky se mění vulkanizací na elastomery. Elastomery jsou až do své teploty rozkladu síťované polymery, které jsou při nízkých teplotách tvrdé a při vysokých teplotách nemají viskózní tok, ale při pokojových teplotách jsou vysoce elastické.

Kaučuk je nesíťovaný, ale zesíťovatelný polymer s vysokoelastickými vlastnostmi při pokojových teplotách a za určitých podmínek pod i nad touto teplotou. Při vyšších teplotách a působení deformačních sil má kaučuk zvýšený viskózní tok, takže za vhodných podmínek může být zpracovaný do požadovaného tvaru. Zařazení kaučuků mezi polymery můžeme znázornit následným schématem. (1)



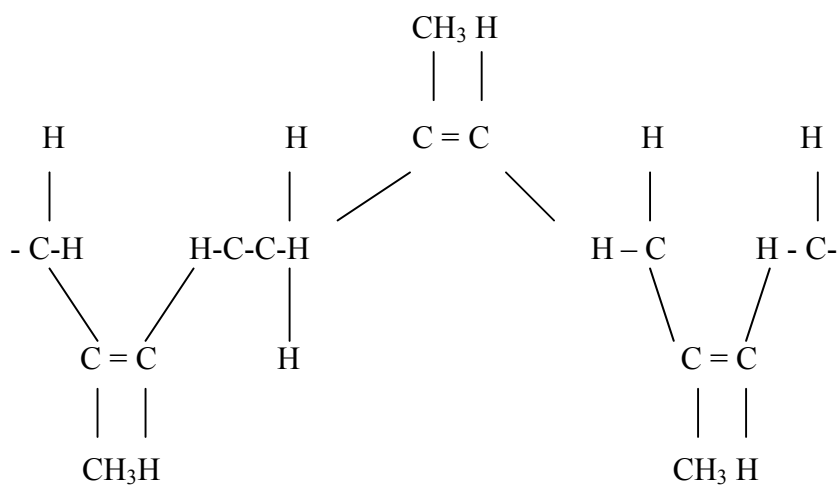
Obr.1. Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování při normální a zvýšené teplotě

1.1.1 Struktura přírodního kaučuku

Kaučuk je obsažen v latexu v podobě malých částecek. Kaučuk je shluk těchto částecek, více nebo méně chráněných před slinutím proteinovým obalem a prostoupený zbytky nekaučukových složek latexu. Jak dalece si částice zachovaly svůj původní stav, závisí na zpracování při výrobě.

Elektrografické studie jednoznačně potvrdili všechny známé teorie o struktuře kaučuku i jeho schopnosti existence v amorfním a krystalickém tvaru.

U cis- konfiguraci uspořádání makromolekulového řetězce při běžné teplotě s vlivem tepelného pohybu makromolekul znemožňuje přiblížení segmentů natolik, aby mohlo dojít k vytvoření krystalické struktury. Poznání struktury přírodního kaučuku přispělo významnou měrou k rozvoji výroby syntetických.(1)



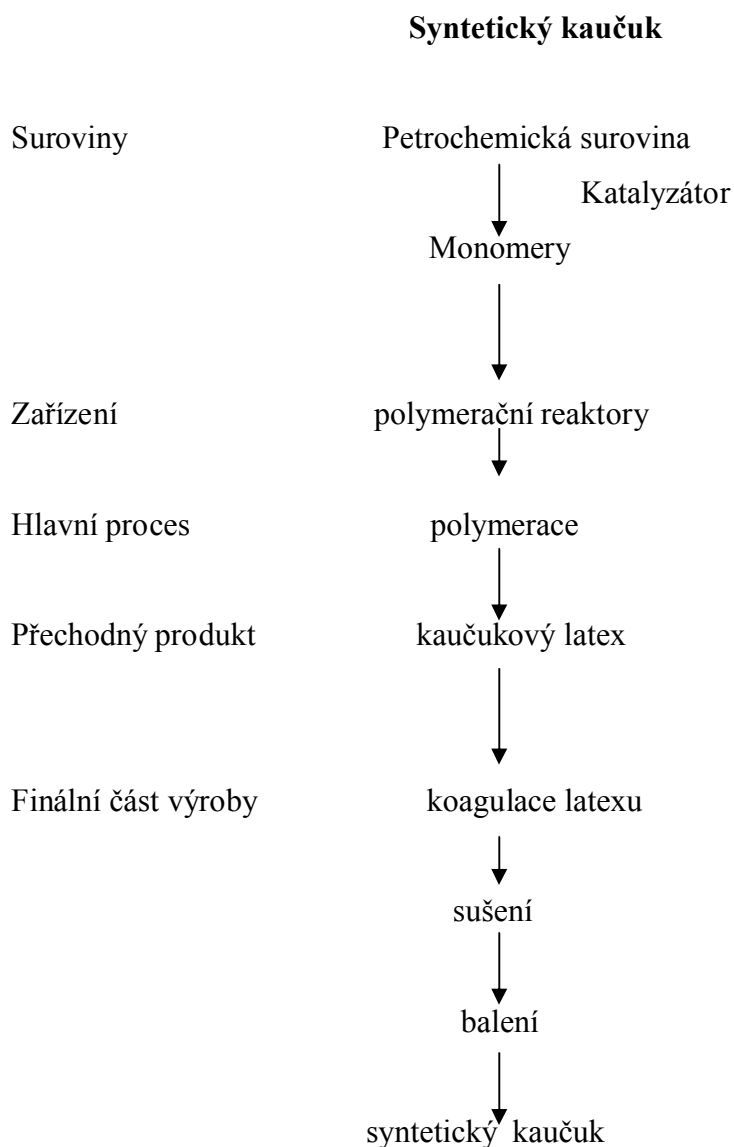
Obr.2. Cis- konfigurace v makromolekule přírodního kaučuku.

Naproti tomu trans-konfigurace dovoluje těsné přiblížení řetězců bez podpory vnějších sil, takže je za běžných podmínek na rozdíl od vysoko elastického přírodního kaučuku tvrdým polymerem s vysokým stupněm krystalicity.(1)

1.1.2 Syntetický kaučuk

Hlavní rozdíl mezi přírodním a syntetickým kaučukem je v technologii jejich výroby. U přírodního kaučuku je výrobní proces uskutečňovaný přírodou uvnitř stromu.

Výroba syntetického kaučuku potřebuje výrobu monomerů, nejčastěji z petrochemických surovin, potom následuje jejich polymerace. Od tohoto bodu je technologie pro mnohé syntetické kaučuky podobná.(1)



Obr.3. Schéma základního procesu výroby syntetického kaučuku.

Charakter syntetických kaučuků je daný jejich chemickým složením, makro i mikrostrukturou.

V rámci jednotlivých skupin se vyrábí více typů lišící se viskozitou, způsobem výroby. Tyto typy jsou označovány různými zkratkami a číslicemi, které však zachovává typové označení podle ASTM a ISO.

1.1.3 Složení kaučukových směsí

Kaučuk, ať přírodní nebo jednotlivé druhy syntetického kaučuku se uplatňuje výlučně jako vulkanizát, gumové výrobky se na určitý účel zhotovují vulkanizací vhodně sestavené směsy. Vyvinuli se a vyrábějí nejen kaučuky, které se svými vlastnostmi celkem vyrovnají přírodnímu kaučuku, charakterizovaného dobrou vyrovnaností vlastností, ale mnohé druhy ho s hlediska jednotlivých vlastností značně předstihují.

Pestrá paleta elastomerů umožňuje splňovat čím dál vyšší nároky a požadavky na vlastnosti kaučukového výrobku.

Většina současných směsí je proto kombinací několika kaučuků, která je doplňována v některých případech regenerátorem. Výsledný výrobek tak získá nejen požadované parametry, ale zvýší se i ekonomický efekt.

Základní vlastnosti používaných druhů kaučuků, zejména nekrystalizujících typů, se však využijí až po vhodném plnění, tedy přidání většího množství práškových přísad.

Podobně, jako určit druh kaučuku, není jednoduché rozhodnout se pro vhodné plnivo, protože vlastnosti vulkanizátu ovlivní nejen druh plniva, ale i jeho množství. Přitom je třeba mít na paměti i celou technologii, kterou se bude směs zpracovávat. Plněním se mění všechny vlastnosti určitého kaučuku.

Tužidla v určitých koncentracích ovlivňují vlastnosti pozitivně, ale jiné plniva zlepšují více-méně jen ekonomický efekt.(9)

1.2 Lepivost a studený tok

Lepivost pryže, která způsobuje slepování jednotlivých elementů, je význačným problémem v procesu výroby práškového produktu. Lepivost materiálu se zvyšuje s jeho teplotou. Při přípravě zrnitého materiálu mletím pomocí nožového mlecího zařízení se nejvíce energie spotřebuje na řezání, materiál a zařízení jsou chlazeny proudem vzduchu. Zvýšená teplota je proto jen na straně řezání a teplo je odváděno proudem vzduchu.

Celé množství materiálu je zahříváno na vysokou teplotu při přípravě elementů granulací ve vytlačovací hlavě. Chlazení připravovaného rozdrčeného materiálu může být problém v důsledku nízké teplotní vodivosti kaučuku.

Nicméně v obou případech je lepivost velmi vysoká a potřebuje separaci jednotlivých elementů rozdrčeného materiálu použitím vhodných druhů separačních činidel jako zinkového stearátu, křídý, kaolínu nebo klouzku ve formě prášku nebo vodné suspenze. Množství separačních činidel závisí na typu kaučuku a je to asi (1-5)%. Vysoce adhezivní typy (např. přírodní kaučuk) potřebuje více činidel, typy s menší lepivostí (některé typy EPDM) mohou být mlety nožovým strojem bez separačních činidel. Problém lepivosti se vyskytuje při přípravě materiálu stejně jako při dopravě, uskladnění a dávkování. Způsob a doba přepravy a uskladnění velmi ovlivňuje studený tok, který nepříznivě ovlivňuje práškovitost drcené (mletého) kaučuku.

Při uskladnění nebo dopravě pryžových částic tyto mění tvar a volný objem během doby uskladnění. Změny jsou způsobeny tečením zvaným studený tok. Znamená to, že kaučuk teče aniž by s ním bylo nějak nakládáno, či byla zatížena. Lepivosti kaučuku je možno se zbavit pomocí plniv (tužidel).(5)

1.2.1 Vulkanizační činidla

Podstatou vulkanizace je vytváření chemických vazeb mezi molekulami kaučuku. K tomu, aby se zabránilo neomezenému toku celých molekul vzhledem k sousedním molekulám, stačí poměrně malé množství příčných vazeb.

Vlastnosti kaučuku se při tom podstatně mění; z převážně plastického stavu přechází v elastickou pryž. Zlepšují se tak vlastnosti jako pevnost, pružnost, odolnost proti nízkým a vysokým teplotám, roste tvrdost, snižuje se tažnost a trvalá deformace.

Nejběžnějším vulkanizačním činidlem je elementární síra, pro vulkanizaci má mít čistotu až 99,5% a obsah popela 0,5% . Síra nesmí být kyselá, protože kyselost má zpochybňující vliv na vulkanizaci.(3)

1.2.2 Aktivátory a retardéry vulkanizace

Bez přídavku aktivátoru by byla síra málo účinným vulkanizačním činidlem. K dosažení potřebné koncentrace příčných vazeb by bylo potřeba ve směsích bez aktivátoru dávkovat podstatně více síry nebo donoru síry.

Podstata aktivace při vulkanizaci sírou spočívá ve zvýšení síťovací účinnosti vulkanizačního systému.

Jako aktivátory se používají různé druhy oxidů kovů: ZnO, MgO, PbO, CdO. V praxi se nejlépe osvědčil oxid zinečnatý spolu s kyselinou stearovou. Oxid zinečnatý se vyrábí, buď přímo ze zinkových rud nebo spalováním čistého elektrolyticky získaného Zn. Zinek má v gumárenských směsích více funkcí: je aktivátorem i tužidlem.

Retardéry jsou nezbytné pro směsi obsahující aktivní vulkanizační přísady nebo urychlovače vulkanizace, mají-li se takové směsi zpracovávat za vysokých teplot. Retardéry chrání směs před předčasným navulkanizováním při míchání a dalším zpracování. Retardéry se používají především u směsí ztužených vysoce aktivními retortovými sazemí. Dále tam, kde se vlivem intenzifikace procesu přípravy a zpracování směsí dosahuje vysokých teplot.(3)

1.2.3 Plniva

Použití plniv v kaučukových směsích má dva důvody. Prvořadým důvodem je úprava zpracovatelnosti směsí a druhý je ekonomický. Pro běžnou praxi vyhovuje rozdělení plniv do tří skupin:

- 1) saze
- 2) světlá plniva (aktivní a neaktivní)
- 3) ostatní

Aktivní plniva se ztužujícími účinky označujeme jako tužidla.

Saze vznikají nedokonalým spalováním uhlovodíkových surovin. Ve své konečné podobě jsou saze vlastně uhlíkem.

Saze mají v kaučuku ztužující účinek, který tím větší, čím menší jsou částice a čím větší je povrch sazí. Ztužující saze sestávají z modulů (hrudek) menších jednotek spojených v různém rozsahu do agregátů nepravidelného tvaru, které překážejí operaci míchání a zpracování.

Rozdělení světlých plniv není tak propracované jako u sazí. Mají rozdílné chemické složení a vyrábějí se rozdílnými způsoby. Světlá plniva se dělí na :

- 1) přírodní plniva
- 2) chemicky připravená

Mezi přírodní plniva patří např. uhličitany vápenaté, kaolín, těživec, křemelina.

Chemicky připravené plniva jsou:

- bezvodý oxid křemičitý (pyrogenní)
- hydratovaný oxid křemičitý
- křemičitan vápenatý (3)

1.3 Řezání, granulování a doručování kaučuku

1.3.1 Analýza možností nepřetržitého doručování

Během procesu neustálého míchání pryžové směsi by měly jednotlivé složky být ve formě vhodné pro přepravu a doručení. Nejkomplikovanější je to v případě pryží, které jsou obvykle doručovány ve formě balíků, žoků. Příprava kaučuku v práškové formě je z energetického hlediska velmi náročná a může způsobit mnoho problémů týkajících se uskladnění, dopravy a dávkování z důvodu lepivosti a studeného toku.

Existuje několik možností řešení tohoto problému:

- mletí pryžových balíků
- granulace (vytlačování na granulačním zařízení)
- náhrada pásy z pryžové směsi (vytlačování s plochou hlavou)
- nízkoteplotní mletí.(5)

1.3.2 Nožové mletí

Mletím a granulováním polymerních materiálů se zabývá řada firem: nicméně jen některé z nich mají dlouholeté praktické zkušenosti s mletím kaučuku. Adresy těchto společností jsou uvedeny v následujícím seznamu:

PALLMANN (Original), Zweibrucken, Německo

H.I. PALLMANN, Zweibrucken, Německo

NETZSCH Hanau Wolfgang, Německo

PREVIERO, Alzate Brianza, Itálie

TERIER, Liberec, ČR

BLACKFRIARS, Lancashire, Velká Británie.

Všechny uvedené společnosti nabízejí možnost provedení mlecích testů v technickém centru (několik žoků – cca 100 kg pryže) nebo připraví větší množství (objem) mletého kaučuku (cca 1000 kg) pro technologické testování. Cena se liší dle společnosti a pohybuje se od 950 EUR (Netzsch) do 1500 EUR (Pallman) za jeden den práce v technickém centru.

Společnosti Pallman a Previero dále nabízejí „zákaznické“ mletí. Cena mletí závisí na způsobu zpracování kaučuku, proces vyžaduje faktor (jednostupňový, dvoustupňový, řezání před zpracováním, použití separátoru a na objemu mletého materiálu. Obecně platí, že čím větší objem materiálu je zpracováván, tím menší jsou náklady (EUR/kg).

Producer	Pallmann	H.I. Palmann	Netzsch	Previero	Terier	Blackfriars
Type Name	PC-S 4-10	IPS 500x1000	CS 500/1600	MU 610 PRT	G 500/900	525
Throughput (kg/hour)	400-1500	500-2000	500-1000		500-1500	500-1500
Nom. Power (kW)	75-110	30-75	75-132		75-90	75
Spec. Power (kW/kg)	0,050-0,019	0,037-0,150	0,075-0,150		0,050-0,150	0,075-0,150

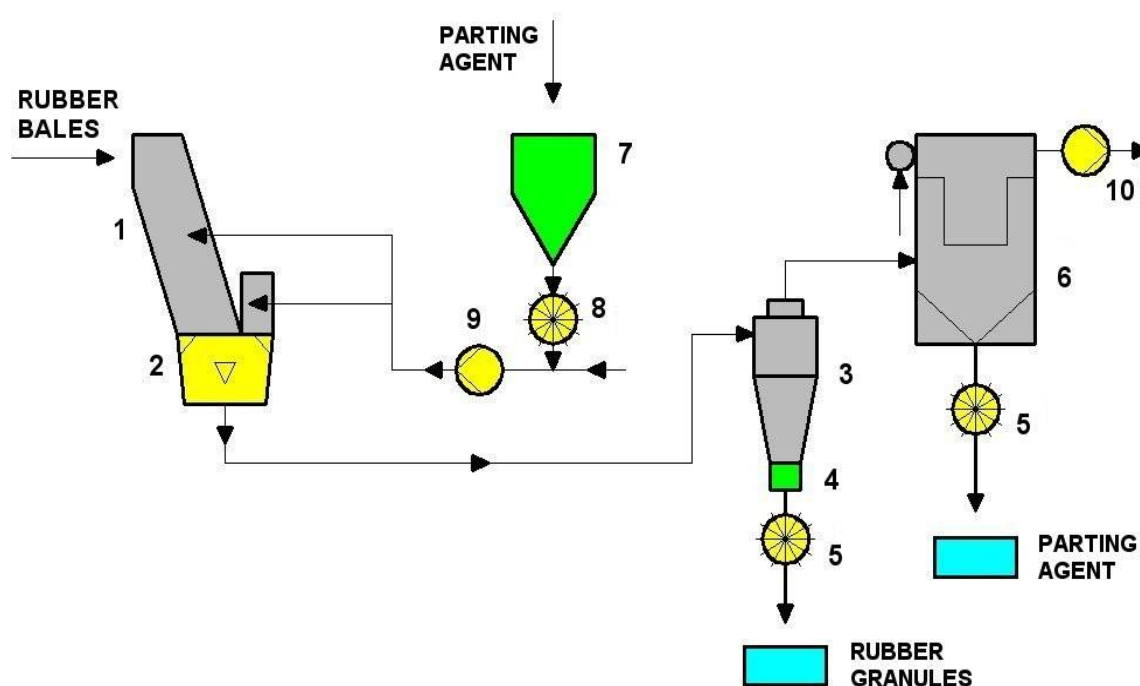
Tabulka I. Porovnání druhů mlecích zařízení dle různých výrobců

Největší problém se vyskytuje při mletí přírodního kaučuku, kde se při dvoustupňovém procesu obvykle navrhuje použití poměrně velkého množství separačních činidel. Během procesu mletí a dopravy mletého materiálu výrobní linkou se obvykle nevyužívá celý objem separačních činidel. Přebytek se shromažďuje a může být opětovně

použit. Výrobní linka je uzavřený systém s relativně vysokým stupněm automatizace a mechanizace. Tento fakt pozitivně ovlivňuje provozní náklady a požadavky na obsluhu, linka je řízena jedním pracovníkem. Celková cena linky závisí na jejím výkonu a složitosti nastavení. Pro jednostupňové mletí se cena linky pohybuje kolem 150 000 EUR, pro dvoustupňové asi 200 000 EUR s výkonem asi 500 kg/hodina.(5)

Známi jsou 4 různé způsoby mletí kaučuku:

- jednostupňový systém pro balíky kaučuku řezáním a regenerací separačních činidel

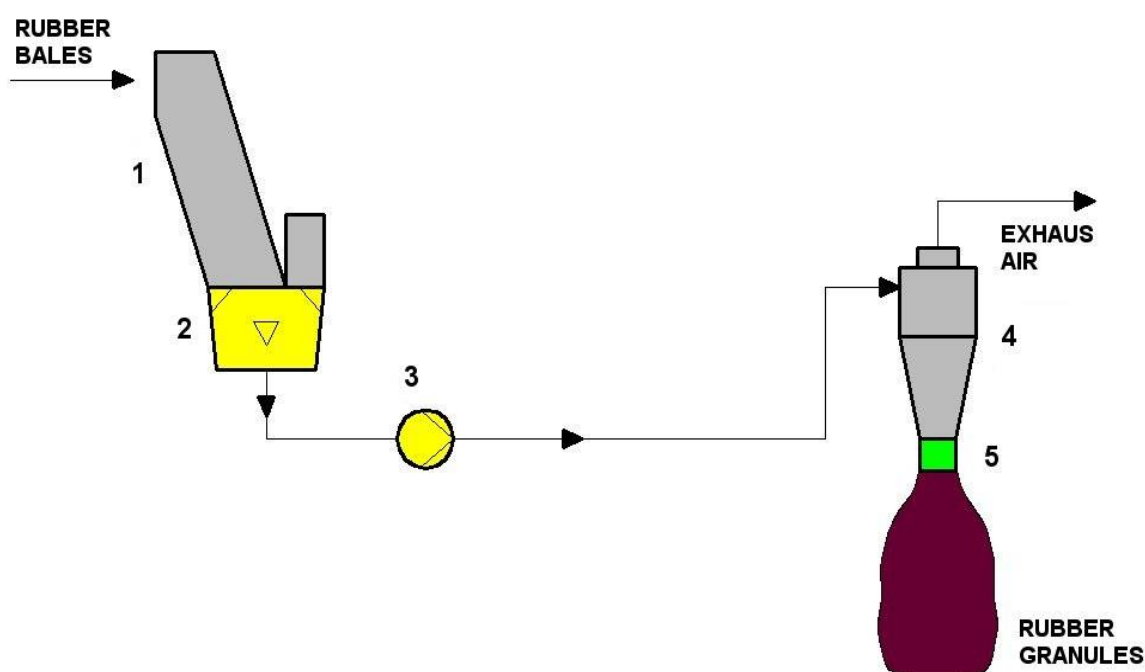


Obr.4 . Jednostupňový mlecí systém balíků pryže.

1-plnicí komora, 2 – nožový mlýn, 3 – odlučovač prachu , 4 – sekundární vzduchová komora, 5 –propustná rotační přetlaková komora (nebo vzduchová), 6 – filtr, 7 – zásobník separátu, 8 – dávkovací rotační komora, 9 – dopravní větrák, 10 – větrák.

Proces granulace může být vykonán v jednom kroku z velikosti balíku přímo na granule s rozměry menšími než 15 mm.

- jednostupňový systém mletí pro balíky kaučuku s řezáním bez regenerace separačních činidel

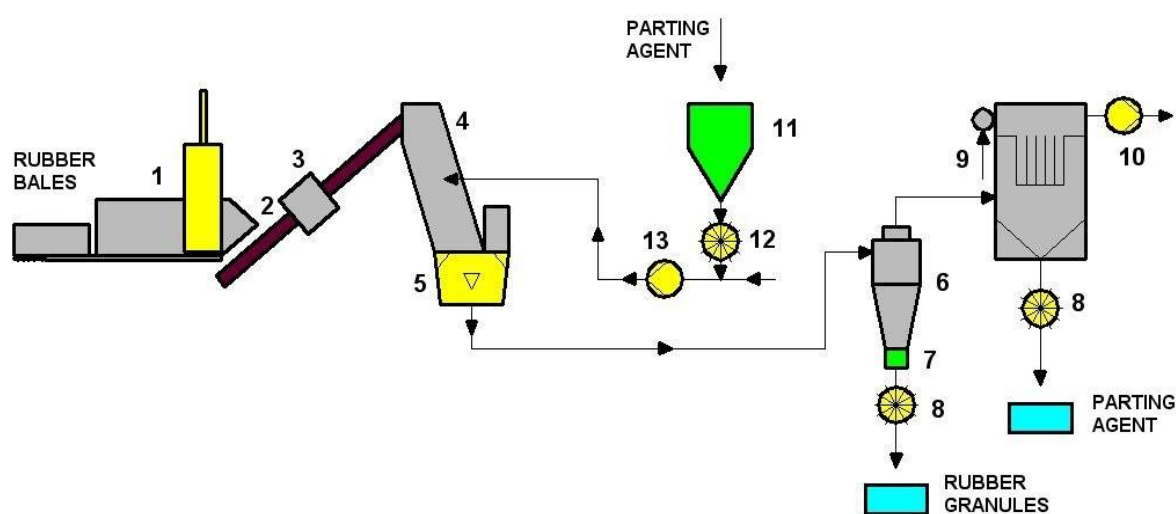


Obr.5. Jednostupňový mlecí systém balíků pryže

1-plnící komora, 2-nožový mlýn, 3-dopravní větrák, 4-cyklon, 5 –komora.

Jestliže poměrně jednoduchý typ kaučuku jako NBR, SR a EPDM mají být zgranulovány z velikosti standardního balíku na granule velikosti menší než 15 mm.

- dvoustupňový systém mletí pro balíky kaučuku s řezáním balíků a nožovým mlýnem

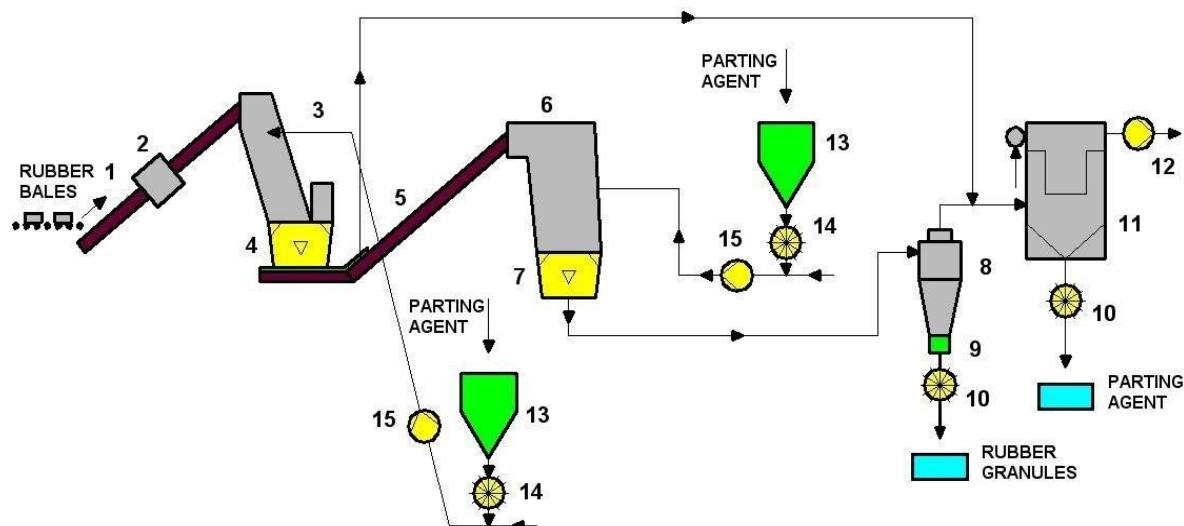


Obr.6. Dvoustupňový systém mletí balíků pryže

1-plnicí komora, 2 – nožový mlýn, 3 – odlučovač prachu , 4 – sekundární vzduchová komora, 5 –propustná rotační přetlaková komora (nebo vzduchová), 6 –filtr, 7 – zásobník separátu, 8 – dávkovací rotační komora, 9 – dopravní větrák, 10 – větrák.

Vhodný pro mletí přírodního kaučuku s nízkou výrobní kapacitou.

-dvoustupňový systém mletí pro balíky kaučuku s předřezávacím mlýnem a nožovým mlýnem



Obr.7. Dvoustupňový systém mletí balíků pryže

1- dopravní pás, 2 – kovový detektor, 3 – sekundární vzduchová komora, 4 – předřezávací mlýn, 5 – dopravní pás, 6 – zásobník, 7 – nožový mlýn na kaučuk, 8 – odlučovač, 9 – sekundární vzduchová komora, 10 – dávkovací rotační komora, 11 - síťový filtr, 12 - dmýchadlo, 13- zásobník separátu, 14- dávkovací rotační komora, 15 – dopravní dmýchadlo.

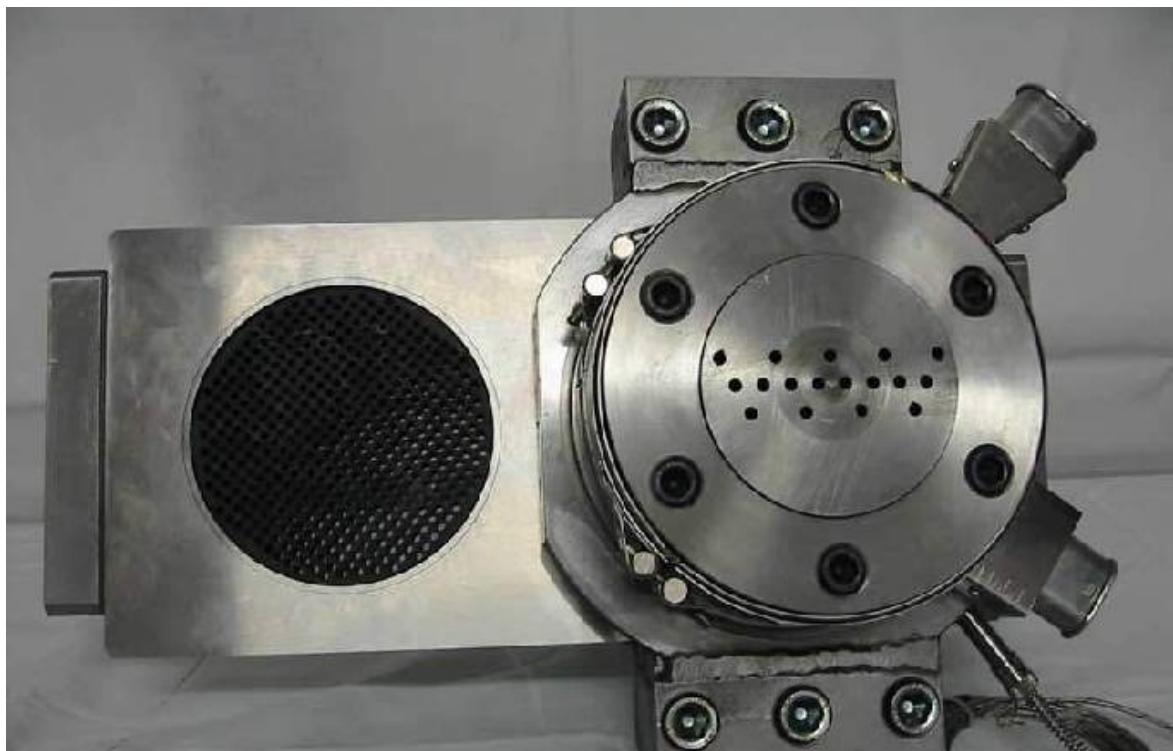
Používá se v případě, kdy mají být standardní balíky kaučuku relativně necitlivých typů kaučuku zredukovány na části menší než 4 mm.(5)

1.3.3 Vytlačování a granulace

Vytlačování polymerních vláken a následná granulace nebo vytlačování nekonečných pásků umožňuje kontinuální výrobní linka zásobovaná předeřátou polosyrovou směsí (hmotou). Tím se šetří energie potřebná pro plastikaci. Tento proces dále umožňuje dávkování dalších složek společně se základním polymerem a vyrobit předsměs, která může být kontinuálně zpracována v dalším kroku nebo skladována pro budoucí použití.(5)



Obr.8. Granulátor G–1.(7)



Obr.9. Výtlačová hlava.(7)

1.4 Snímání teploty a tlaku

1.4.1 Princip snímání teploty odporovým snímačem

Odporové snímače teploty patří mezi dotykové snímače (snímač je v přímém dotyku s měřeným prostředím – médiem) používané k dálkovému měření teploty. Jejich čidlo (měřicí odpor) převádí teplotní změnu prostředí na změnu elektrického odporu. Využívá se při tom toho, že některé (zvláště kovové) materiály mění svůj odpor v závislosti na změně své teploty.(6)

1.4.2 Základní parametry

Vlastnosti odporových čidel teploty lze popsat následujícími parametry:

R_0 - základní odpor – hodnota elektrického odporu čidla při teplotě 0°C

R_{100} - hodnota elektrického odporu čidla při teplotě 100°C

R_t - hodnota elektrického odporu čidla při teplotě t °C

W_{100} , W_t - poměr odporů při 100°C ,resp. t °C

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (1)$$

1.4.3 Kovové měřící odpory

Odporová čidla k měření teploty v průmyslových podmínkách lze v zásadě rozdělit na čidla vinutá z platinového, niklového respektive měděného drátu a čidla vrstevná, kde odporová vrstva je nejčastěji z platiny nebo niklu.

Základní parametry obvykle užívaných materiálů jsou uvedeny v tabulce II.

Materiál čidla	Základní odpor R_0 [Ω]	Poměr odporů W_{100}	Měřicí rozsah[°C]
Pt	100	1,3850	-200 až +850°C
Ni	100	1,6180	-60 až +180°C
Cu	100	1,4260	-200 až +200°C

Tabulka II . Základní parametry obvykle užívaných materiálů.

Závislosti odporu na teplotě a dovolené odchylky platinových čidel pro průmyslové odporové snímače teploty jsou dány normou IEC 751.(4)

1.4.4 Čidla vinutá

U čidel vinutých je obvykle odporové vnutí uloženo buď v kapilárách válcových keramických nosných tělísek, kde je i určitým způsobem fixováno, nebo je navinuto na vnějším povrchu těchto tělísek, kde je pro zajištění fixace a ochrany přeskleno keramickým smaltem nebo skelnou pájkou.

Konstrukce s vnějším vinutím obvykle zajišťuje větší odolnost proti působení vibrací, avšak jejich metrologické vlastnosti bývají s ohledem na působení tenzometrického jevu při změnách teploty horší, než při uložení v kapilárách.

Konstrukce s vinutím uloženým v kapilárách má z výše uvedených důvodů obvykle lepší metrologické vlastnosti.(4)

1.4.5 Čidla vrstevná

U čidel vrstevných je odporové vnutí nahrazeno odporovou vrstvou (z Pt,Ni..) obvykle nanesenou na nosné destičce z korundové keramiky.

U novějších tenkovrstvých technologií se platinová vrstva nanáší naprašováním , nebo napařováním ve vakuu.

Vrstvová čidla se používají jednak ve formě malých obdelníkových destiček v zapouzdřené podobě, kdy se destičky ukládají do válcových keramických pouzder.

Vrstvová čidla umožňují často měření teploty i tam, kde to dříve nebylo možné a v mnoha aplikacích nahrazují dosud používaná vinutá odporová čidla.(4)

1.5 Snímání tlaku

1.5.1 Základní pojmy a definice

Tlak je jedním z nejproměnlivějších procesů a jeho stanovení je v průmyslovém odvětví jedním z nejčastějších úkonů. Velmi důležitá je práce s různými druhy měřidel, která zajišťují velmi dobrou charakteristiku stálosti, dobrou tuhost a odpor proti chemické korozi.

Dle požadavků jsou tlakoměry dodávány s minimálním, maximálním nebo minimálním a maximálním elektrickým kontaktem nebo s elektrickým zařízením pro dálkový přenos.

Standardní tlakoměr může být vybaven různými druhy membránových těsnění dle požadavků průmyslu (potravinářského, chemického, papírenského a polymerového).

Materiály snímačů tlaku v průmyslovém odvětví musí splňovat různé technologické podmínky. Pro jsou tyto přístroje vyráběny z austenitických ocelí jako například (8):

- DIN 1.4301 (AISI 304)
- DIN 1.4306 (AISI 304L)
- DIN 1.4541 (AISI 321)
- DIN 1.4401 (AISI 316)
- DIN 1.4404 (AISI 316L)
- DIN 1.4571 (AISI 316Ti)

Tlak je definován silou F působící kolmo na jednotku plochy S , tedy

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} \quad (2)$$

kde je F = síla [N]

S = plocha [m^2]

m = hmotnost [kg]

g = tíhové zrychlení [m/s^2]

nebo hydrostatickým tlakem sloupce kapaliny o výšce h a hustotě ρ , tedy

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

kde je ρ - měrná hmotnost kapaliny [kg/m^3]

h - výška [m]

Jednotkou tlaku je paskal (Pa). Tlak o velikosti jednoho pascalu je vyvolán silou o velikosti jednoho newtonu rovnoměrně rozloženou na rovinou plochu o obsahu jednoho čtverečního metru kolmou ke směru síly. V termodynamice a některých dalších oborech se používá též jednotka bar.(4)

1.6 Navržení snímání teploty a tlaku

Pro použití mleté pryže musíme znát její chování a vlastnosti, především lepivost částic a studený tok pryže v každém stupni zpracování. Pro stanovení důležitých vlastností bylo vyvinuto zařízení a metody schopné vyčíslit jak lepivost, tak zároveň studený tok a dále vytvořit mechanický model uskladnění a dopravy.

Pro měření v testovacím zařízení uskladnění byli použity speciální měřicí přístroje.

1.6.1 Piezoelektrický snímač tlaku

U snímačů tohoto typu se využívá piezoelektrický jev, který se vyznačuje tím, že při působení tlaku na materiál s piezoelektrickými vlastnostmi se generuje náboj úměrný tlaku.

Jako citlivý materiál se používá především piezokeramika a křemen. Čidlo tlaku je vytvořeno spojením několika disků. Podmínkou pro lineární charakteristiku snímače a vysoký rezonanční kmitočet je mechanické předpětí.

Do snímače bývá obvykle zabudován impedační převodník. Piezoelektrický snímač tlaku se vyznačuje malými rozměry, může pracovat při vysokých teplotách.

Některé konstrukce mají vzduchové nebo kapalinové chlazení. Tento typ snímače je vhodný na měření časově proměnných tlaků. Obvykle mají vestavěnu kompenzaci parazitního působení vibrací. Horní hranice snímačů tohoto typu je 100 Mpa. (3)



Obr.11. Piezoelektrický snímač tlaku.

1.6.2 Odporový snímač teploty

Pro snímání teploty byl použit odporový snímač typu 6192A od firmy Kistler. Tento snímač zaznamenává teplotu pomocí dotyku s měřeným materiálem v tomto případě s kaučukem. Výhodou tohoto snímače je jeho kompatibilita s tlakovým snímačem. Další je technická výhoda je jeho odolnost proti korozi.

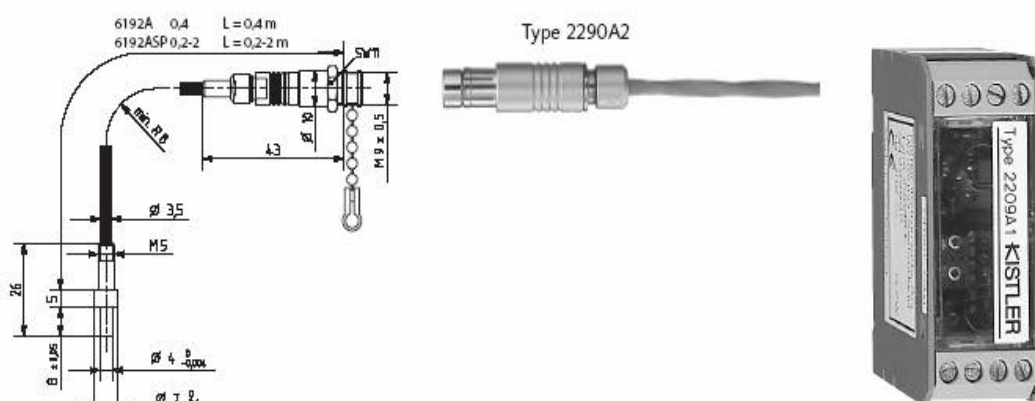
Snímač může být použit i jako kontrolor teploty během procesu. Snímač je uložen na dně měřicího zařízení.

Princip měření funguje na základě termoelektrického článku jehož rychlost reakce je optimalizována. Dotyková část termočlánku reaguje nejrychleji na změnu teploty.



Obr.12. Snímač teploty

Pro převod teplotních dat musíme použít tzv. měřící řetězec díky, kterému propojíme snímač s PCI kartou v počítači, která vyhodnotí data.



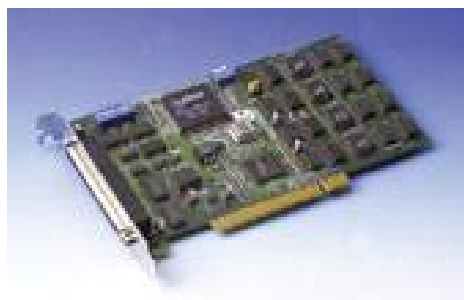
Obr.13. Ukázka měřicího řetězce

1.6.3. PCI převodník

PCI karta, která byla použita v tomto případě je velmi rychlá 32 kanálová digitální I/O karta PCI-1755 má 4x8 velmi rychlých a 8 obyčejných digitálních I/O kanálů. Pro změny na rychlých I/O kanálech má k dispozici paměťový FIFO buffer pro 16K vzorků.

Za normálních podmínek karta umožňuje přenos dat s rychlostí 80 MBps, pokud je velikost vstupních digit. dat menší než 16K FIFO, lze dosáhnout rychlosti až 120MBps. Karta PCI-1755 má pro DI kanály implementovány speciální funkce přerušení. Porovnání stavů, maskování (Pattern Match) a sledování změny stavu (Change of State). Funkce porovnávání stavů sleduje přijímaná data, porovnává je s přednastaveným vzorem a generuje přerušovací signál, když je detekován rozdílný stav. Funkce sledování změny stavu generuje přerušovací signál, když některý ze signálů změní svůj stav.

Další užitečná funkce karty zajišťuje zachování naposledy nastavených výstupních hodnot, i když dojde k restartu systému (bez vypnutí napájení). Tyto funkce karty jsou velmi vhodné pro detekci signálů, aplikace rychlého průmyslového řízení a pro paralelní přenos dat.



Obr.14. Zvolená PCI karta

1.7 Shrnutí studijní části

V této části jsou uvedeny teoretické poznatky o problematice lepivosti a studeného toku kaučuku potřebné k tomu, abychom byli schopni začít s experimentální částí. Z těchto poznatků je zřejmé, že existuje více možností s jak tento problém řešit.

Cílem je navrhnout takový postup řešení problematiky, který bude splňovat podmínky nejvyšší kvality.

1.8 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V této bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma
- navrhnout snímání teploty a tlaku
- změřit studený tok a penetraci kaučukové drti
- vyhodnotit měření

Ve studijní a teoretické části jsou shromážděny poznatky, které se týkají přírodního a syntetického kaučuku, lepivosti a studeného toku materiálu, řezání a granulace kaučuku dále různých druhů úpravy směsí kaučuku.

Cílem experimentální části této bakalářské práce je změření studeného toku a penetrace kaučukové drti a vyhodnocení měření.

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2. MĚŘENÍ

2.1 ZKOUMANÉ DRUHY KAUČUKŮ

Pro experimentální řešení tohoto problému byli použity tyto druhy kaučuku:

- 1) NR typ SIR 20 – přírodní kaučuk
- 2) SBR typ KRALEX 1500 – butadienstyrenový
- 3) EPDM typ K5508 a K740 – etylénpropilénový

2.1.1 Kaučuk NR typ SIR 20

Kaučuk je obsažen v latexu v podobě malých částecek. Kaučuk je shluk těchto částecek, více nebo méně chráněných před slinutím proteinovým obalem a prostoupený zbytky nekaučukových složek latexu. Jak dalece si částice zachovaly svůj původní stav, závisí na zpracování při výrobě.

Kaučuk připravený odpařením latexu si nejlépe zachovává svou původní strukturu, kdežto kaučuk uzený nebo krepa mají strukturu zpracováním ve válcových strojích již narušenou; hnětením kaučuku při měkčení částice úplně slinou.

Přírodní kaučuk není tedy čistým kaučukovým uhlovodíkem, nýbrž je provázen malým množstvím nekaučukových látek, které i při malém obsahu mají značný vliv na jeho vlastnosti.

Vlhkost kaučuku závisí na teplotě a vlhkosti atmosféry částečně i na složení kaučuku. Vyšší vlhkost, způsobené nedostatečným vysušením při výrobě, je příčinou různých vzhledových vad a snižuje tržovou cenu. Kaučuk s větší obsahem vad se těžko zpracovává na válcových strojích, protože na nich klouže.

Kaučuk jako nenasycená látka reaguje s mnoha chemickými činidly. Některé mají teoretický význam jiné jsou důležité prakticky.

Čistý přírodní kaučuk měkne při teplotě asi 120°C s další zvyšováním teploty přechází v hnědou viskózní kapalinu, při 300°C dochází k rozpadu za vzniku velkého množství těkavých zplodin.

2.1.2 Kaučuk SBR typ KRALEX 1500

Butadienstyrenové kaučuky jsou nejdůležitějším druhem syntetického kaučuku. Největším spotřebitelem butadienstyrenového kaučuku je pneumatikářský průmysl. Intenzivní výzkum v poválečném období přinesl tzv. redukčně-oxidační polymeraci. Oxidačně redukční složkou katalytického systému tvoří organický hydroperoxid. Polymerační teplotu bylo možno snížit z původních 50°C na 5°C při zachování dostatečné rychlosti polymerace. Při nižší teplotě vzniká polymer s pravidelnější strukturou a lepšími vlastnostmi. Tento druh emulzního SBR se nazývá studený (*SBR 1500*). Téměř všechny na světě vyráběný emulzní SBR je tohoto typu. V České republice se vyrábí pod názvem *Krallex*.

Všechny typy butadienstyrenového kaučuku vulkanizují účinkem stejných vulkanizačních činidel jako přírodní kaučuk. SBR vulkanizují při urychlené sírné vulkanizaci pomaleji než přírodní kaučuk a mají delší dobu navulkanizování – jejich směsi jsou bezpečnější. Proto se do SBR přidávají účinnější urychlovače. Druhy SBR obsahující mastnou kyselinu vulkanizují o něco rychleji než druhy obsahující kalafunu. Síry se přidává poněkud menší množství z hlediska odolnosti kaučuku proti stárnutí.

SBR	1500
Obsah styrenu(%)	23,5
Viskozita Mooney ML (1+4) při 100°C	52
Emulgátor	Pryskyřičná kyselina
Antioxidant	Barvící
koagulace	sůl,kyselina

Tabulka III. Výběr vlastností SBR 1500

2.1.3 Kaučuk EPDM typ K5508 a K740

EPDM se vyrábí kopolymerací ethylenem s propylenem ze, kterých se získávají kaučukovité polymery. Mají nízkou teplotu zesklňování a proto jsou jejich dynamické vlastnosti dobré; mají chemicky nasycené řetězce anebo obsahují dvojné vazby jen v postranních substituentech, takže mají výbornou tepelnou a chemickou odolnost.

EPDM je možno nastavovat velkým množstvím olejů a plniv bez výrazného zhoršení vlastností. Jako nastavovadla se většinou volí oleje se střední viskozitou.

EPDM kaučuky se vyrábějí roztokovou polymerací s použitím katalyzátorů Ziegrova typu.

EPDM by měl splňovat tyto požadavky:

- 1) být levný
- 2) kopolymerace by měla probíhat do 100%ní konverze
- 3) nesměl by vznikat gel
- 4) průběh vulkanizace by měl být při použití sirných systémů podobný jako u jiných uhlovodíkových kaučuků

- 5) terpolymer by měl být schopen kovulkanizace a jinými uhlovodíkovými kaučuky
- 6) měl by mít dobrou konfekční lepivost a pevnost v nevulkanizovaném stavu

Dosud použité termonomery nesplňují současně všechny podmínky.

2.2 Měření viskozity na Moony 2000

V dnešním konkurenčním prostředí je v první řadě důležité automatické řízení a kvalita produktu. Gumárenský průmysl vyžaduje snížení kolísání viskozity v nezpracovaných polymerech a materiálových směsích a lepší předvídání chování při zpracování, aby bylo dosaženo jednotného zpracování a tím eliminace časových ztrát a poškození produktu v důsledku materiálové specifikace.

MV se používá v gumárenském průmyslu již v řadu let. MV staví na tradici poskytující nejvhodnější zahřívání vzorku, přesném měření kroutícího momentu a na kontrole pomocí mikroprocesoru.

MV spojuje mezinárodní a národní standardy (zásady, normy) pro viskozitu a testy pálení a umožňuje užití široké škály softwaru. Pracuje s normami ASTM D6204, D5289 a D6601.

- více opakovatelný a reprodukovatelný než jiné typy viskozimetru,
- automatické vyvažování a kalibrace zmáčknutím tlačítka,
- menší rozdíly (odchyly) v testech znamenají větší citlivost k obměně pryže.

2.2.1 Přínos MV viskozimetru

- *vysoká přesnost*,
- *snadné použití* – operátoři provádějí rutinní operace,
- *jednoduchá údržba* – maximální trvanlivost,
- *flexibilní sběr dat* – spojení požadavků pro testování, informování a kontrolu.

2.2.2 Významné znaky

Navržen pro přesnost:

Řízení teploty pomocí softwarového algoritmu zlepšuje teplotní stabilitu a odezvu.

Vysoká kvalita měření převodníku kroutícího momentu a jeho odezvy eliminuje posun.

Zdokonalená výkonnost testů:

Je dána rychlou teplotní odezvou viskozimetru MV 2000, která napomáhá změnám v nastavení teploty.

Relaxace napětí:

Testy relaxace napětí se používají ve velké míře po celém světě k vyčíslení elastického chování polymerů a směsí. Získaná data z těchto testů poskytují informace o směšování směsí a vlastnostech zpracování. Dále se relaxace napětí používá pro vývoj nástrojů a pro kontrolu vstupujících polymerů.

Jednoduchá kalibrace:

- automatická kalibrace začne po stisknutí tlačítka,
- žádné manuální změny,

- vytištění potvrzení o kalibraci Provoz:
- dlouhá hřídel rotoru umožňuje snadné vložení vzorku,
- nastavení teploty a doby testování na digitálním displeji, nahrání podmínek testování ze systémové knihovny,
- automatické spuštění testu,

Snížené náklady na testy:

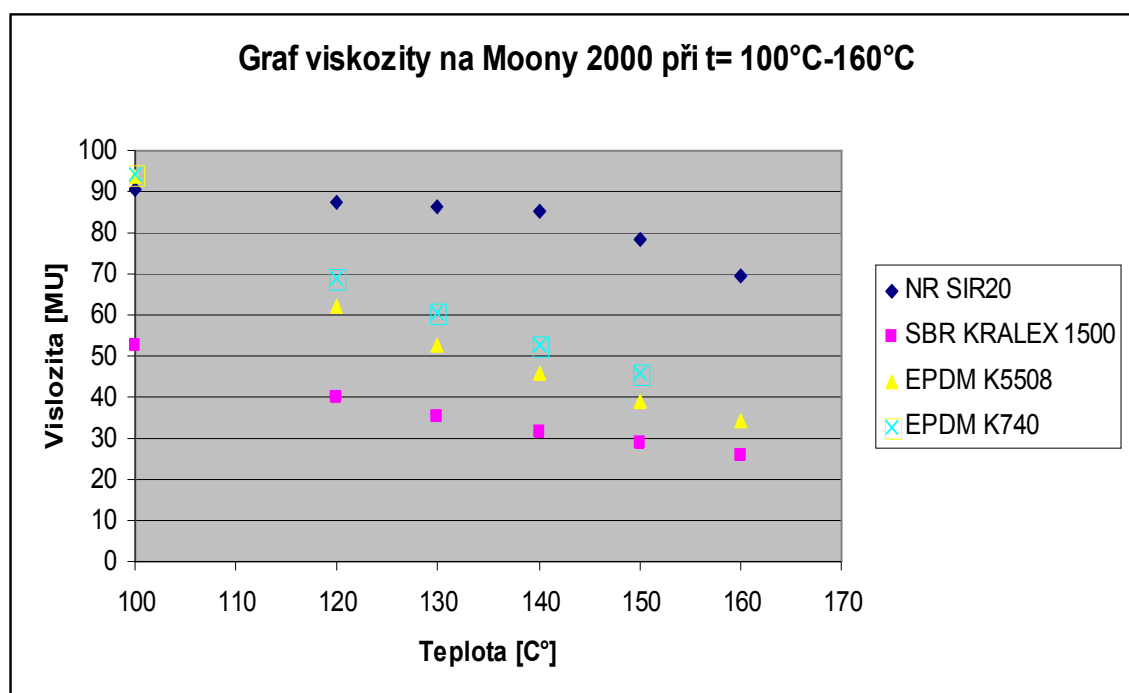
- nízké náklady na údržbu,
- snadná změna podmínek testování.

2.2.3 Grafy viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na Moony 2000

Podmínky při, kterých jsme měřili byly nastaveny na přístroji:

Teplota : $t = 100^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$

Typ měření: Moony ML(1+4) decay (1.min. předehřev + 4min. měření)



Obr.15 Graf viskozity na Moony 2000 při $t = 100^{\circ}\text{C}$ - 160°C



Obr.16. Moony 2000 viskozimetr

2.3 Měření viskozity na PPA reometru

PPA je nový, vyspělý, nástroj pro analýzu a kontrolu polymeru, dávkování (nebo jen dávky) a výsledné směsi složek. Kombinace zažité (tradiční) technologie standardního CUREMETRU (MDR 200) a vyspělé technologie analyzátoru zpracování kaučuků (RPA 2000) poskytuje rentabilní analýzu zpracování a kontroly pro potřeby podniku.

2.3.1 Hlavní znaky

PPA analyzátor byl navržen tak, aby odhalil variace v konstrukčních charakteristikách polymerů, které ovlivňují míšení, zpracování, tvarování vlastnosti konečného produktu.

- rychlé a přesné ohodnocení těchto charakteristik je nezbytné pro výrobce polymeru pro kontrolu kvality výroby a následné dodání produktu zákazníkovi,

- pro uživatele polymeru jsou detailní znalosti odchylek polymeru důležité pro zajištění plynulé výroby a umožňují kvalifikovaný výběr rovnocenných materiálů od různých dodavatelů,

- pro specifikaci a testování dodávky polymerů se běžně používá Mooneyho viskozita, která se obvykle vztahuje k průměrné molekulové hmotnosti, ale je necitlivá k rozdílům v distribuci molekulové hmotnosti, dlouhým rozvětveným řetězcům a gelu - toto jsou klíčové faktory směrodatné pro elastickou odezvu polymeru.

- je známo, že polymery stejného názvu se stejnou Mooneyho viskozitou z různých zdrojů mohou mít významně rozdílné charakteristiky.

PPA analyzátor dále působí jako standardní CUREMETER, a má schopnost vyhodnotit charakteristiky smíchaných složek, zda je požadovaný polymer vhodný pro veškerou oblast elastomerických materiálů, zahrnuje všestranně použitelné a speciální typy. Př íklady zahrnují: NR, IR, SBR, BR, EPM, EPDM, NBR, HNBR, CR, IIR, Halobutyl, crylic, Fluoroelastomer, Silicone, TPRs and PVC.

Hlavní výhodou PPA je jeho citlivost ke změnám v makrostrukturách polymerů, sklon tangenty delta – křivka četností vztažená na distribuci molekulové hmotnosti a

rozvětvené dlouhé řetězce. Velký sklon (spád) indikuje malé větvení či úzkou distribuci molekulové hmotnosti, zatímco malý sklon naznačuje opak. Variace polymeru jsou lehce odhaleny a vyústí v nové úrovně provedení a soudržnosti (spojitosti).

PPA pracuje na principu kmitání drážkového disku upevněného na kuželovitém hřídeli. Disk kmitá určitou frekvencí pod určitým úhlem kmitu, který si dopředu navolíme v příslušném počítačovém programu. Při kmitání a za působení teploty dochází ke změnám, které se zaznamenají do grafu.

2.3.2 Parametry PPA

PPA je velmi variabilní přístroj pro měření vlastností polymerů. Pracuje s mnoha normami jak s ISO tak ASTM atd.

Jeho teplotní rozsah při, kterém měří je od 30°C do 230°C což umožňuje velký rozsah měření. Frekvence má poněkud menší rozsah od 0,05Hz po 30Hz.

Přístroj měří nejen viskozitu, ale i smykové moduly a frekvenci



Obr.17. PPA reometr

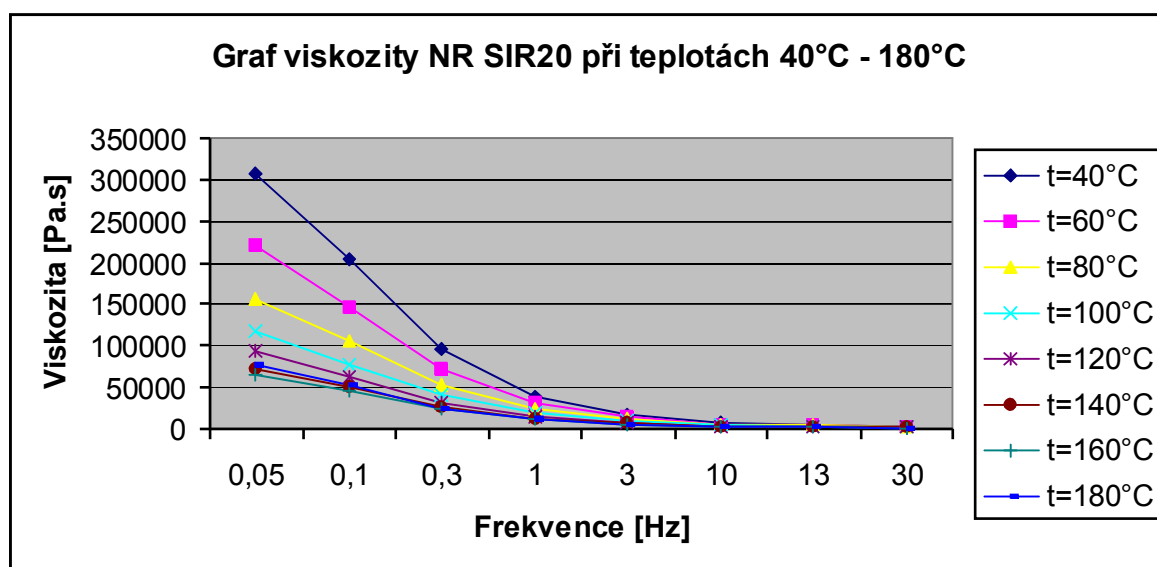
2.3.3 Grafy viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na PPA

Podmínky při, kterých jsme měřili byly nastaveny na přístroji:

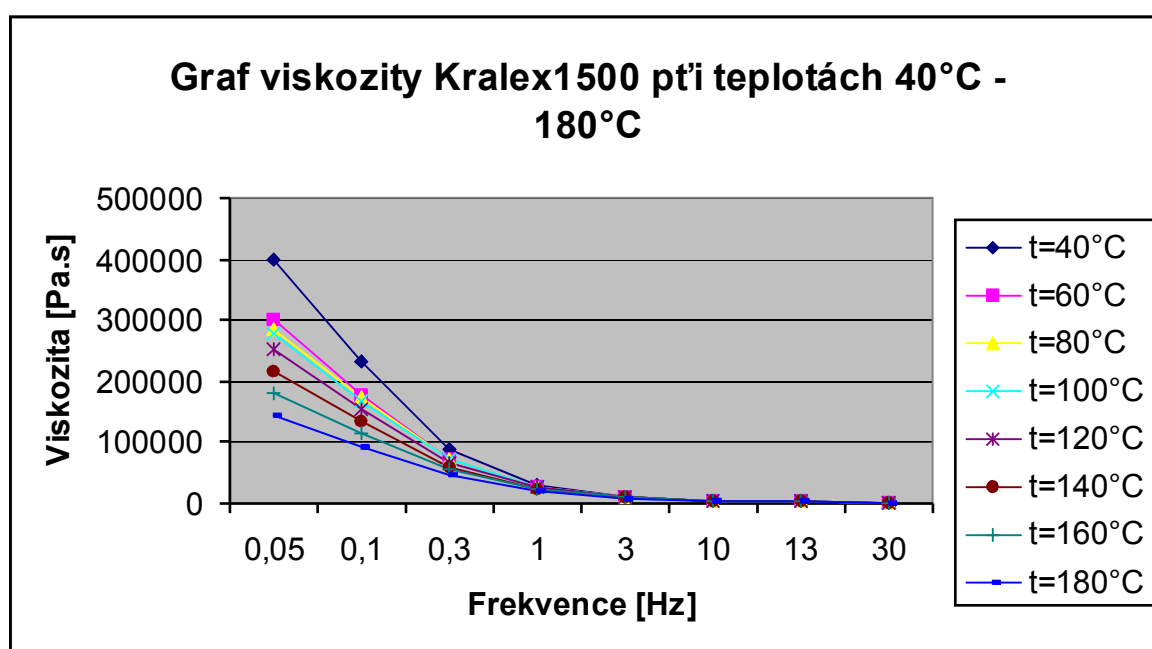
Teplota : $t = 40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$

Frekvence: $f = 0,05\text{-}30\text{ Hz}$

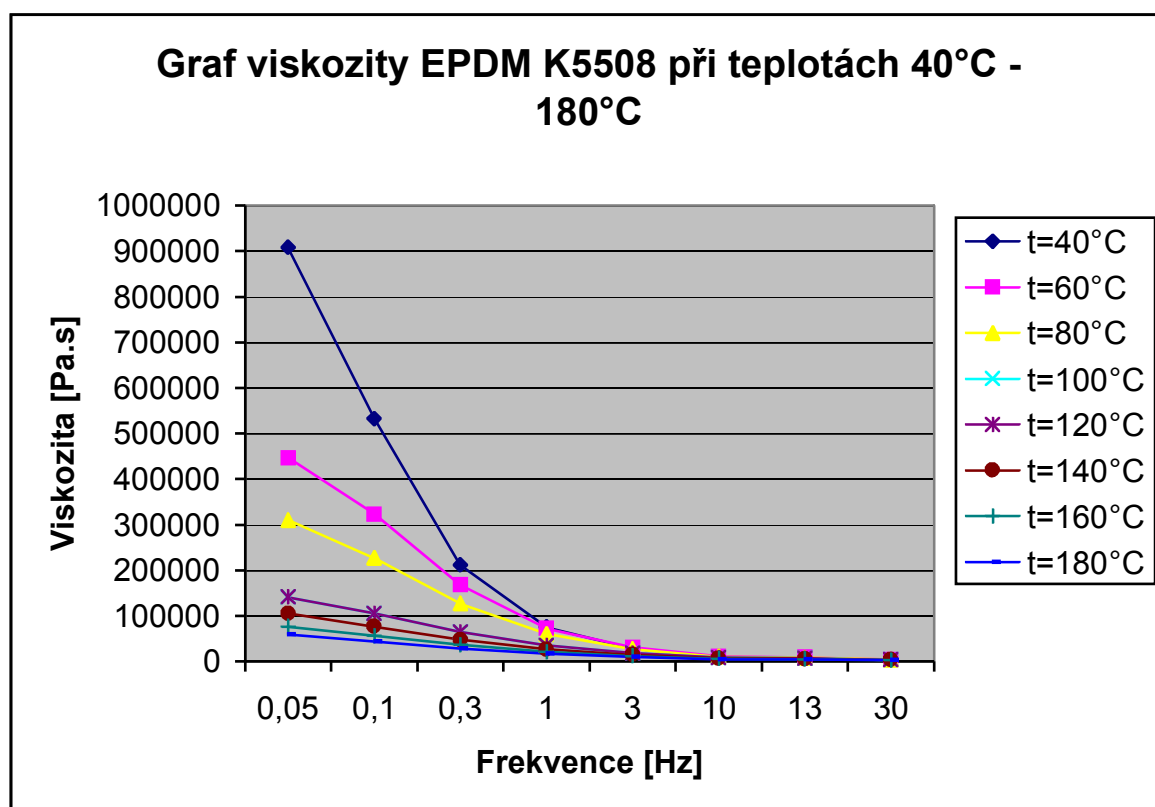
Rezonanční úhel: $\alpha = 0,5^{\circ}$



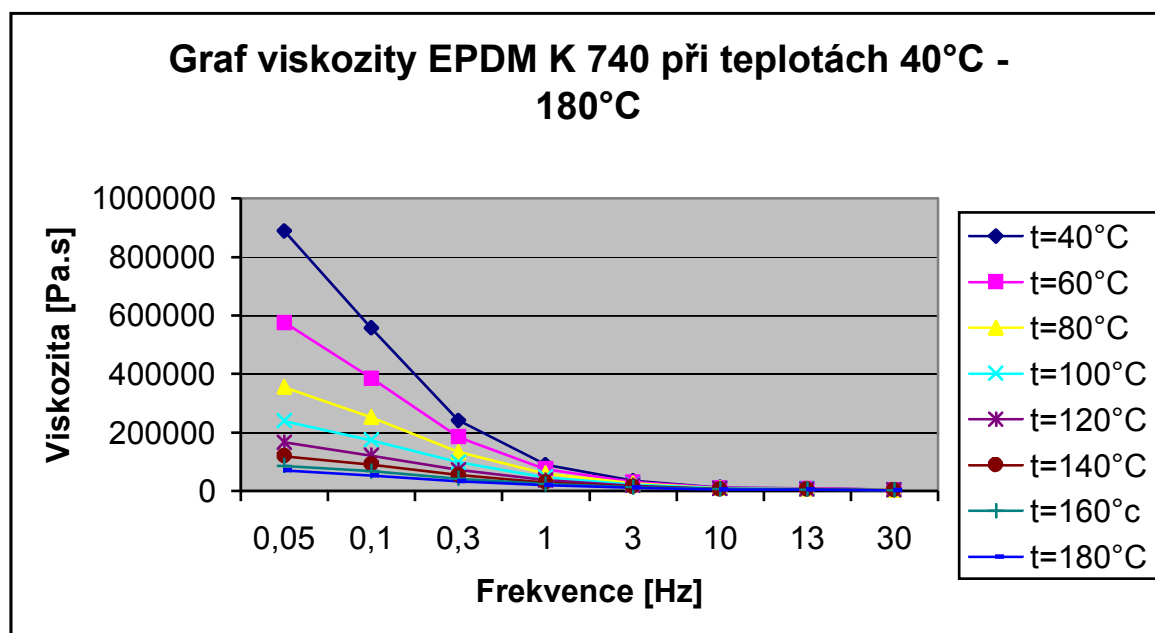
Obr.18 Graf viskozity NR SIR 20 při teplotách 40°C – 180°C



Obr.19 Graf viskozity SBR KRALEX 1500 při teplotách 40°C – 180°C



Obr.20 Graf viskozity EPDM K5508 při teplotách 40°C – 180°C



Obr.21 Graf viskozity EPDM K5508 při teplotách 40°C – 180°C

2.4 Měření viskozity na kapilárním reometru

Vysokotlaký kapilární reometr SWO Rheoflizer HT .

Kapilární viskozimetr, umožňující měření základních tokových charakteristik v širokém rozsahu teplot a smykových rychlostí a stanovení korekcí (Bagley, Rabimowitsch).

2.4.1 Parametry kapilárního reometru

Rozměry dostupných kapilár d/L a smykových rychlostí:

0,5 / 10 mm ~ $\dot{\gamma} = 25,8 - 257\,760\text{ s}^{-1}$

1 / 10 mm ~ $\dot{\gamma} = 3,2 - 32\,220\text{ s}^{-1}$

1 / 20 mm ~ $\dot{\gamma} = 3,2 - 32\,220\text{ s}^{-1}$

1 / 30 mm ~ $\dot{\gamma} = 3,2 - 32\,220\text{ s}^{-1}$

2 / 10 mm ~ $\dot{\gamma} = 0,4 - 4027,5\text{ s}^{-1}$

3 / 10 mm ~ $\dot{\gamma} = 0,119 - 1193\text{ s}^{-1}$



Obr.22 Kapilární reometr

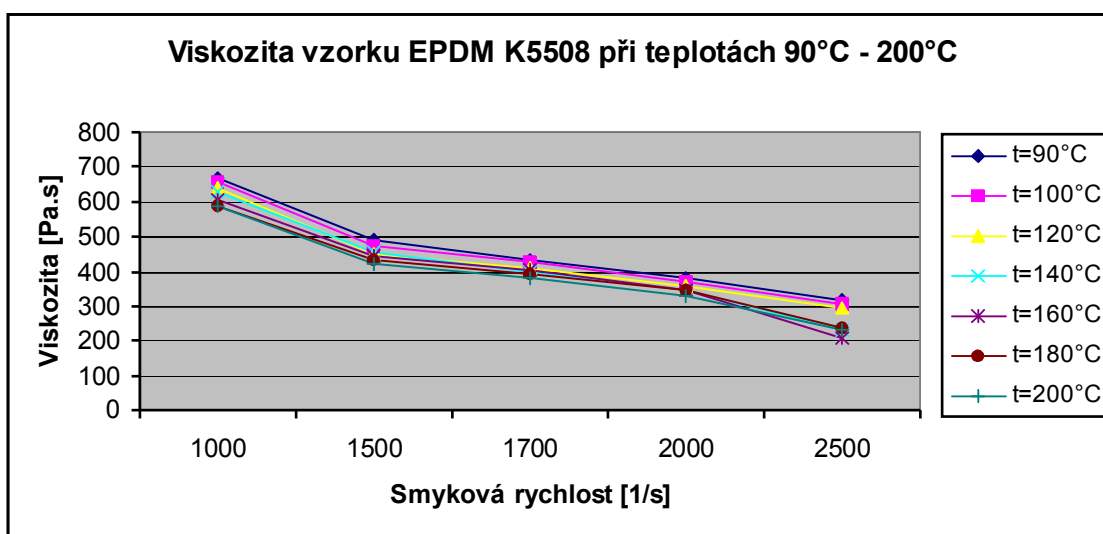
2.4.2 Grafy viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na kapilárním reometru

Podmínky při, kterých jsme měřili byly nastaveny na přístroji:

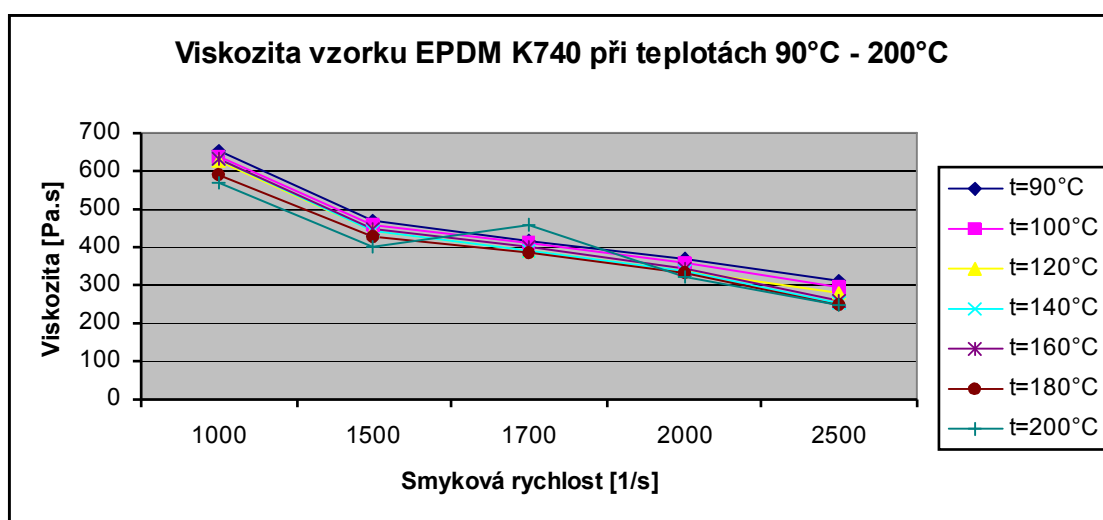
Velikost kapiláry: 1 / 20 mm

Teplota: $t = 90^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$

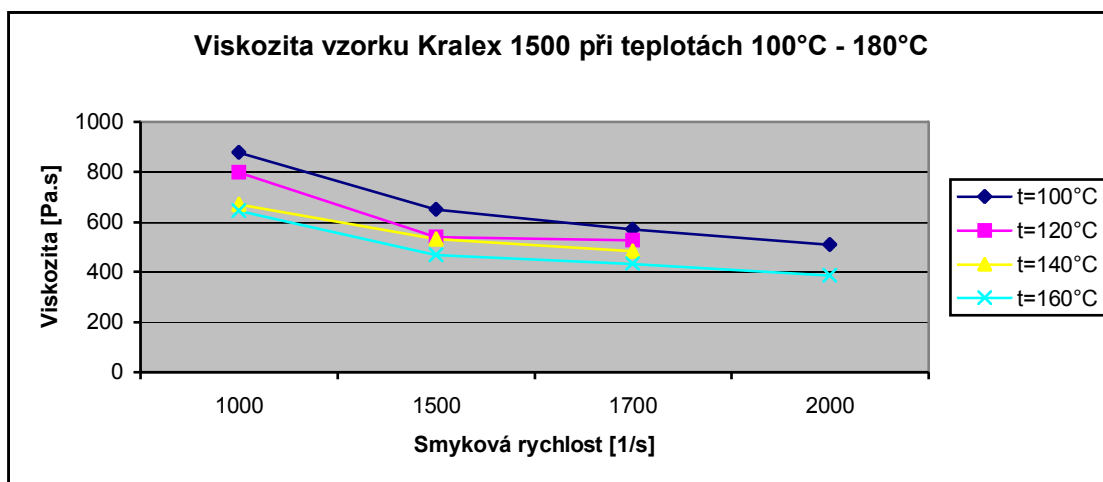
Smyková rychlost: $v = 1000 - 2500 \text{ s}^{-1}$



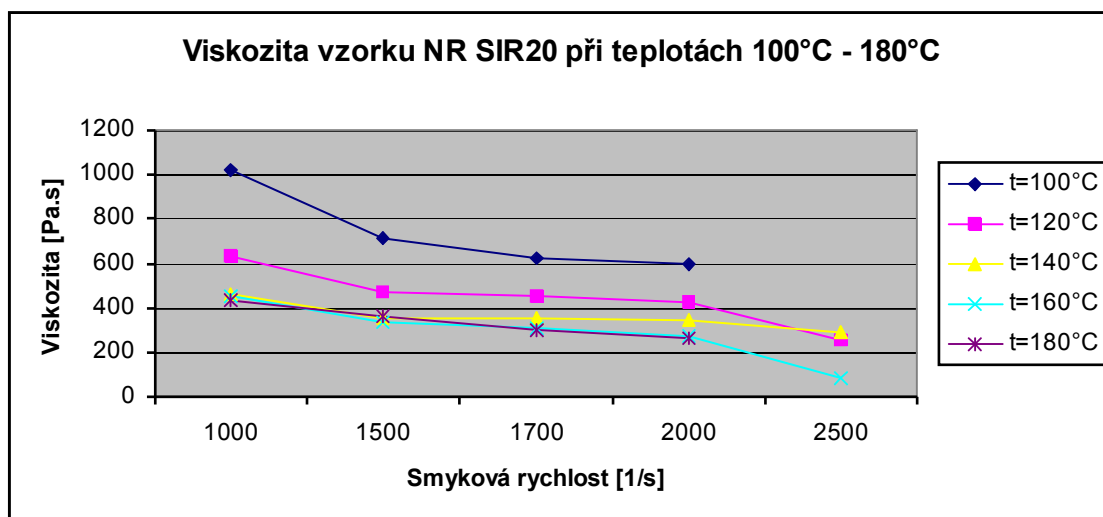
Obr.23 Graf viskozity EPDM K5508 při teplotách 90°C – 200°C



Obr.24 Graf viskozity EPDM K740 při teplotách 40°C – 180°C



Obr.25 Graf viskozity SBR KRALEX 1500 při teplotách 40°C – 180°C



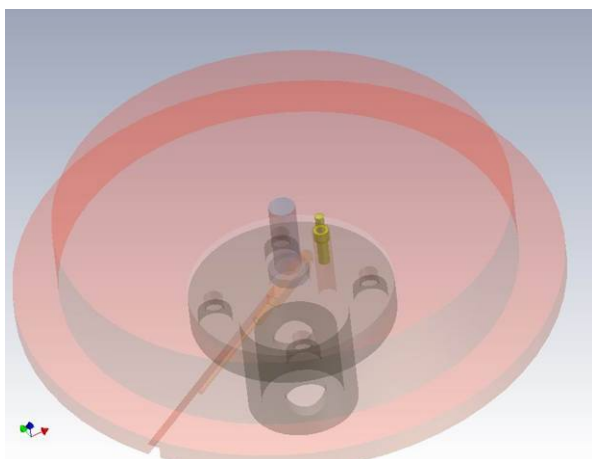
Obr.26 Graf viskozity NR SIR20 při teplotách 40°C – 180°C

2.5 Měření studeného toku a lepivosti kaučuku

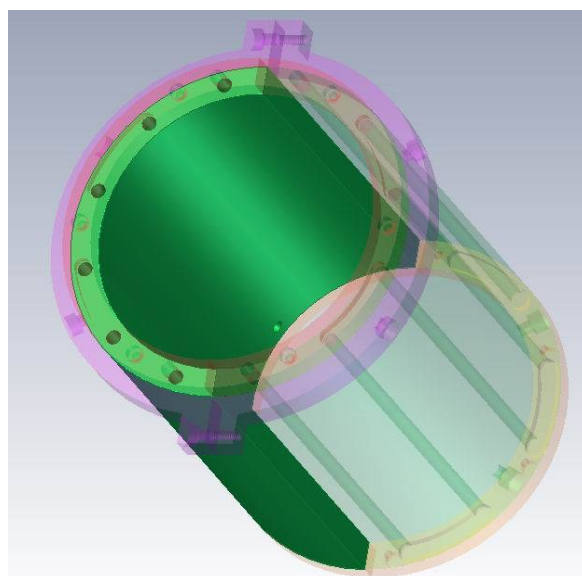
Pro použití drceného kaučuku musíme znát jeho chování a vlastnosti, především lepivost částic a studený tok pryže v každém stupni zpracování. Pro stanovení důležitých vlastností jsme vyvinuli zařízení a metody schopné vyčíslit jak lepivost, tak zároveň studený tok a dále vytvořit mechanický model uskladnění a dopravy.

2.5.1 Testovací zařízení lepivosti

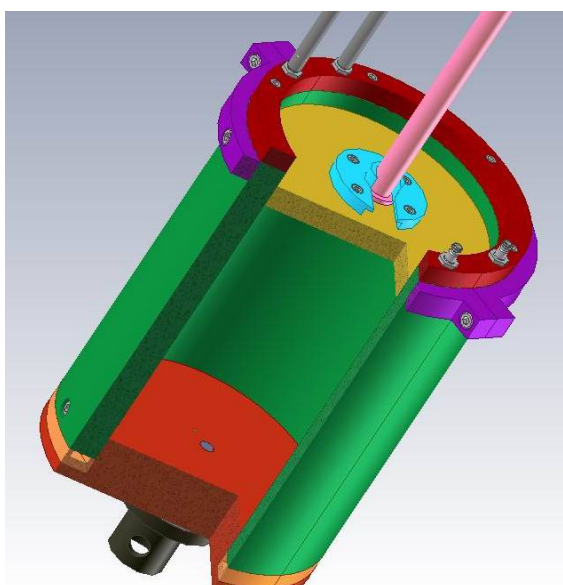
Zařízení se skládá z hliníkové komory (válce) s vnitřním průměrem 140 mm, výškou 220 mm a pístem. Komora je upnuta na pevné straně tahového zařízení a píst na pohyblivém příčném nosníku. Komora je naplněna částicemi kaučuku a horní vrstva částic je zatížena tlakem pístem. Trhací stroj umožňuje nastavit hodnotu, druh zatížení nebo cyklické zatěžování a vyhodnotí výsledky. Komora se skládá ze dvou vyhřívaných segmentů, které nám umožňují nastavit teplotu a ze dna, kde jsou umístěny tlakové a teplotní senzory měřících tlak a teplotu v nejspodnější vrstvě z pryžových částic v reálném čase. Výsledky z tohoto zařízení nám ukazují závislost hlavního napětí v ose komory (válce) na stlačení části pryže a na studeném toku. Je zatěžován konstantní silou a snímána závislost na stlačení v čase.



Obr. 27. Dno se senzory



Obr. 28. Vyhříváné segmenty



Obr. 29. Sestava testovací komory

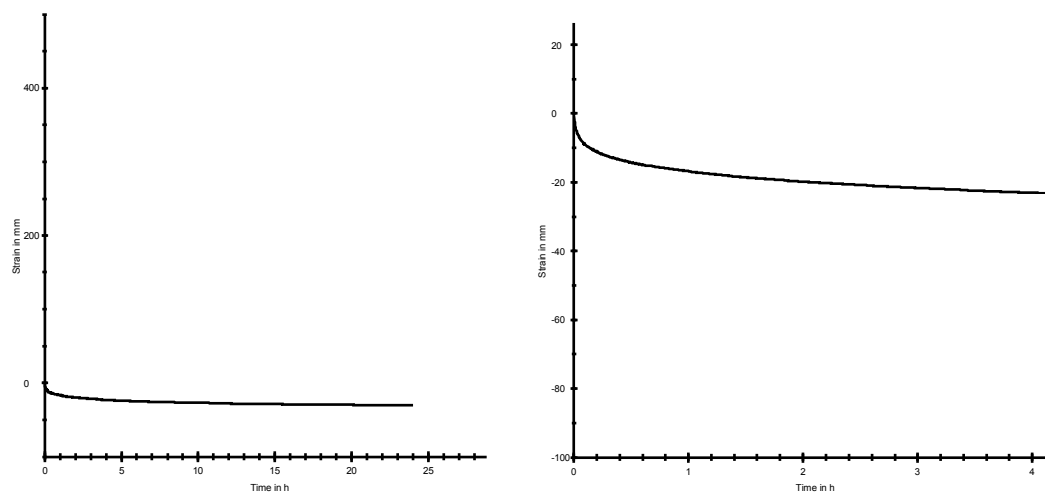


Obr.30.Pronikající trn

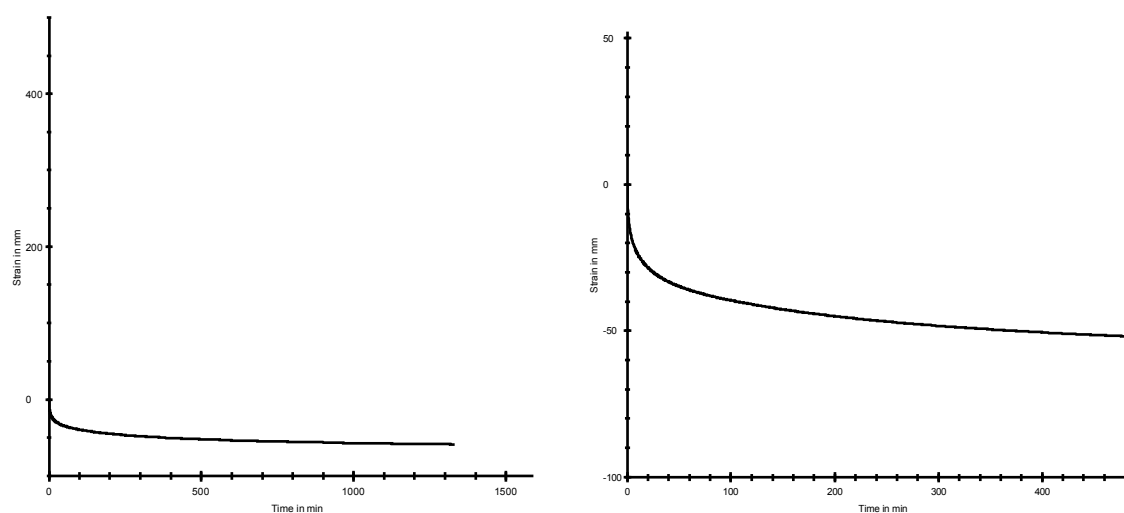


Obr.31. Testovací válec upevněný na tahovém zařízení

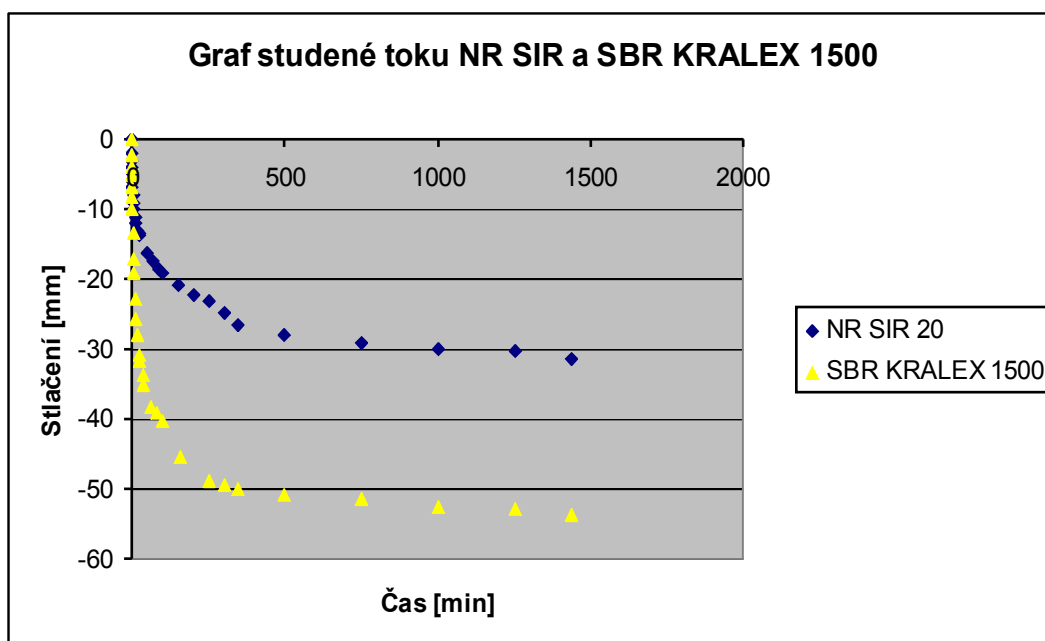
2.5.2 Grafy studeného toku a penetrace



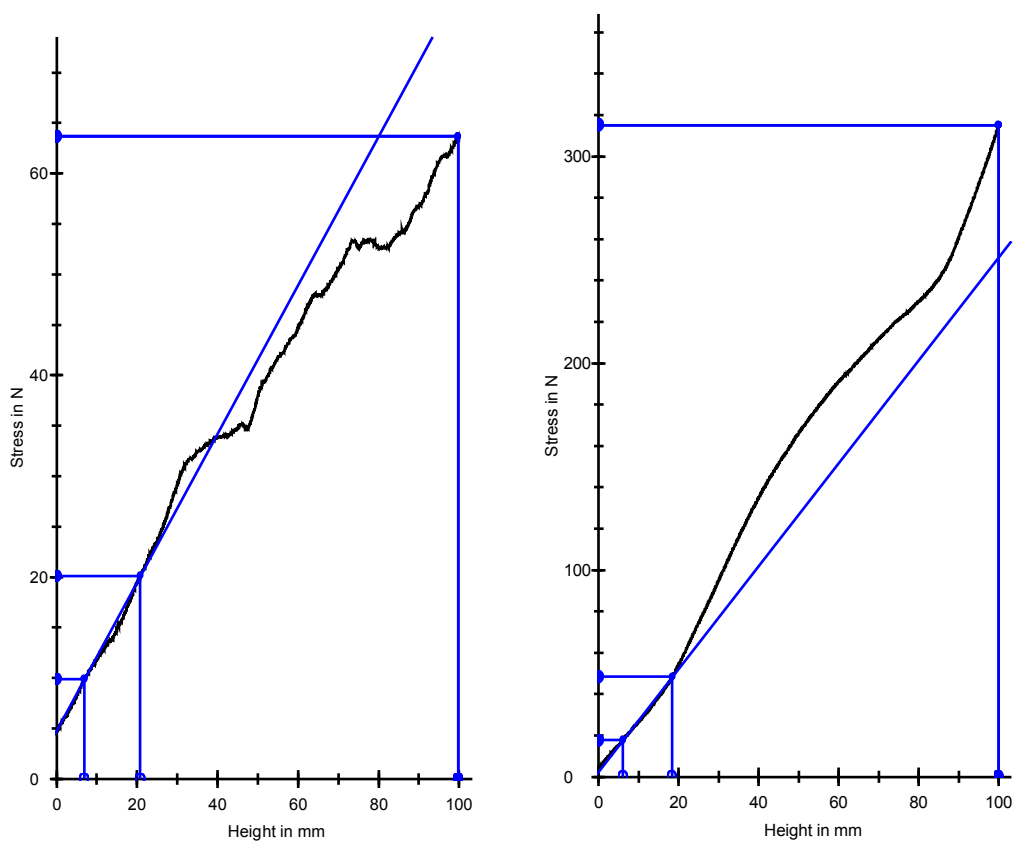
Obr.32. Graf studeného toku vzorku NR SIR20 při zatížení 100N.



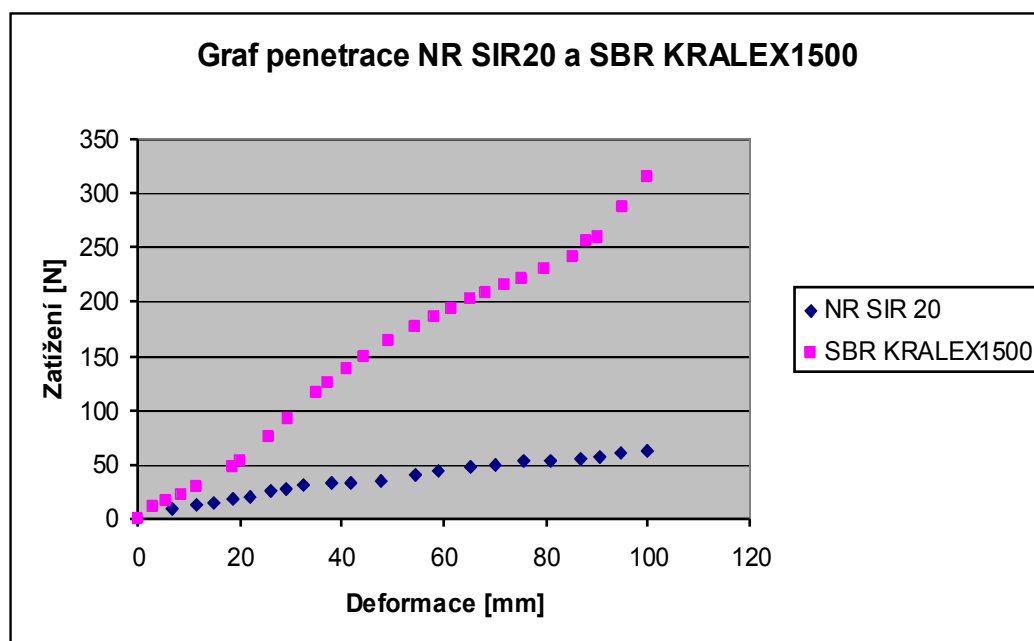
Obr.33. Graf studeného toku vzorku SBR KRALEX 1500 při zatížení 100N



Obr.34. Graf studeného toku vzorku NR SIR20 a SBR KRALEX 1500 při zatížení 100N



Obr.35. Graf penetrace vzorku NR SIR 20 a SBR KRALEX 1500



Obr.36. Graf penetrace vzorku NR SIR 20 a SBR KRALEX 1500

2.6 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Lepivost je vyhodnocena přímo po testu studeného toku. Píst je nahrazen kuželovitým trnem, který proniká kaučukovými částicemi. Během testu je snímána závislost zatěžující síly na pronikání. Oblast pod penetrační křivkou je přímo úměrná energii nezbytné pro penetraci (proniknutí) slepenými částicemi. Můžeme říct, že je to energie nebo poměr potřebná pro odtržení částic nucených adhezními silami. Byly testovány 2 druhy kaučuků: přírodní kaučuk SIR 20 a butadien styrenový kaučuk Krallex 1500. Oba druhy byly použity ve směsích. Byly nařezány na částice průměrného diagonálního průměru 10 mm. Vzorky kaučuku byly nařezány ve společnosti Previero na řezacím mlýnu.

Byly provedeny testy studeného toku a penetrace. Test studeného toku byl proveden jednou hodnotou konstantního zatížení, čas zatížení byl 24 hodin. Naměřené hodnoty byly zpracovány do grafu. Studený tok SBR je větší než NR. Jak se předpokládalo, tok vzrůstá s hodnotou zatěžující síly, ale nebyla nalezena žádná závislost mezi rozměry částic a studeným tokem. Částice NR mohou být separovány po testu jednodušeji, když částice SBR jsou spečeny spolu jako pevný útvar. Bezprostředně po testech chlazení byly provedeny penetrační testy.

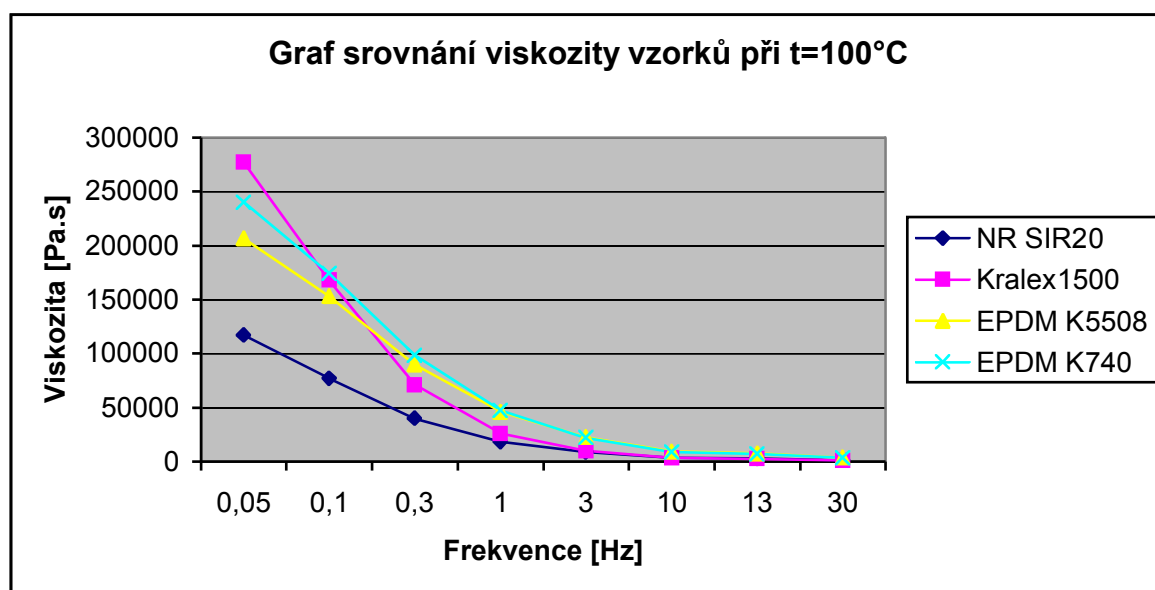
Při penetračních testech byl použit kónický trn (obr.20) o průměru 20 mm, délce 30mm, úhlem kuželu 30° a zaoblením vrcholu 2,5 mm.

Graf penetrace ukazuje, že přírodní kaučuk vyžaduje oproti SBR pro penetraci méně energie, Porovnáním penetrační energie jako závislosti na stlačující síle před penetrací než zatěžováním pryže menší silou během studeného toku testy potřebují menší penetrační energii než pryž zatížená 100 N.

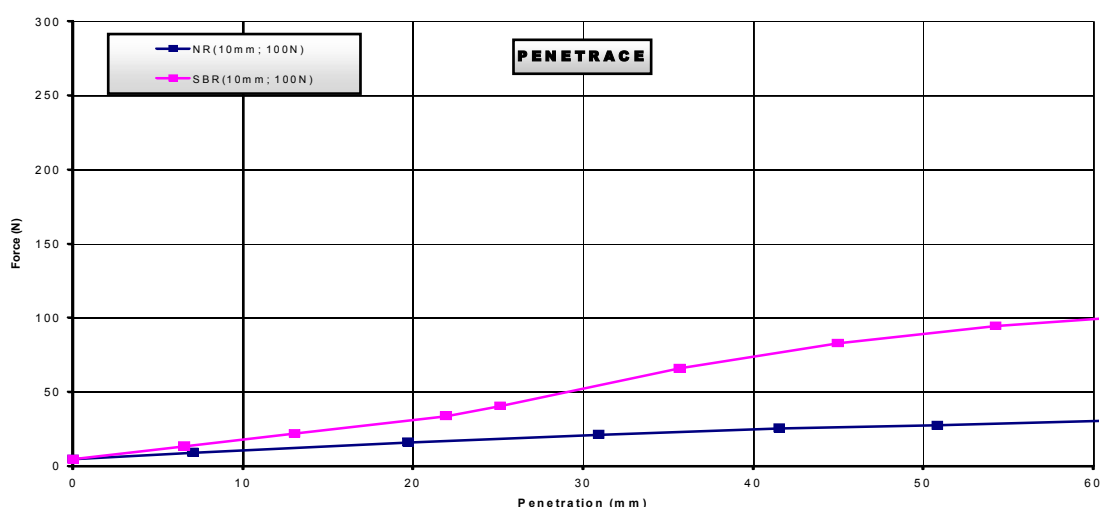
Můžeme usoudit, že částice SBR jsou charakterizovány vyšším studeným tokem a lepivostí, jež jsou dány vyššími hodnotami penetrační energie.

Z výsledků měření viskozity kaučuků vyplývá, že s rostoucí teplotou v daném rozsahu frekvencí velikost viskozity, což se potvrdilo při měření na třech různých měřících strojích a to na: PPA reometru, Moony 2000 viskozimetru a kapilárním reometru. Na každém měřícím stroji byla provedena sada měření při různých teplotách a smykových rychlostech. Nejjednoznačnější výsledky byly provedeny na PPA reometru, PPA pracuje na principu kmitání drážkového disku upevněného na kuželovitém hřídeli. Disk kmitá určitou frekvencí pod určitým úhlem kmitu, který si dopředu navolíme v příslušném počítačovém programu. Při kmitání a za působení teploty dochází ke změnám, které jsou zaznamenány. Počítač připojený ke stroji automaticky vyhodnotil měření viskozity a převedl ji přímo do grafu. Při měření byla zjištěna frekvenční závislost při nízkých frekvencích okolo 3Hz, u všech měřených vzorků při nízkých smykových rychlostech. U vzorku EPDM pro nízké smykové rychlosti je největší a u NR SIR20 je nejmenší. Měření na kapilárním reometru bylo obtížnější, jelikož jsme hledali nejnižší teplotu pro, které je měření objektivní. Při tomto měření jsme měřili základní tokové charakteristiky zahřátého kaučuku na určitou teplotu. Při měření se zjistili závislost viskozity na smykové rychlosti a žádná závislost na teplotě u EPDM a SBR KRALEX 1500. Závislost na teplotě se, ale projevila přírodního kaučuku NR SIR20, kdy rozdíl viskozity je v teplotním rozsahu od 400-1000 Pa.s. U tohoto měření počítač připojený na kapilární reometr převáděl hodnoty tlaku a smykové rychlosti ve válci do grafu. Tento graf nám však neuvedl velikost viskozity a proto museli být hodnoty převedeny do grafu v jiném programu. Při tomto měření musíme počítat s určitou, která je způsobena skluzem na stěně.

Měření na Moony 2000 viskozimetru je podobné jako u PPA. Jde o disk, který však nekmitá, ale otáčí se. Disk je uložen na hřídeli, který není kuželovitý a tudíž musíme počítat s mírnou nepřesností. Měření proběhlo na čtyřech různých druzích kaučuků a to: NR SIR 20, SBR KRALEX 1500, EPDM K5508 a EPDM K740. Na porovnávacím grafu viskozity, který byl proveden na PPA je vidět jak se mění viskozita při referenční teplotě u různých materiálů.

Obr.37.Referenční graf viskozity při $t=100^{\circ}\text{C}$

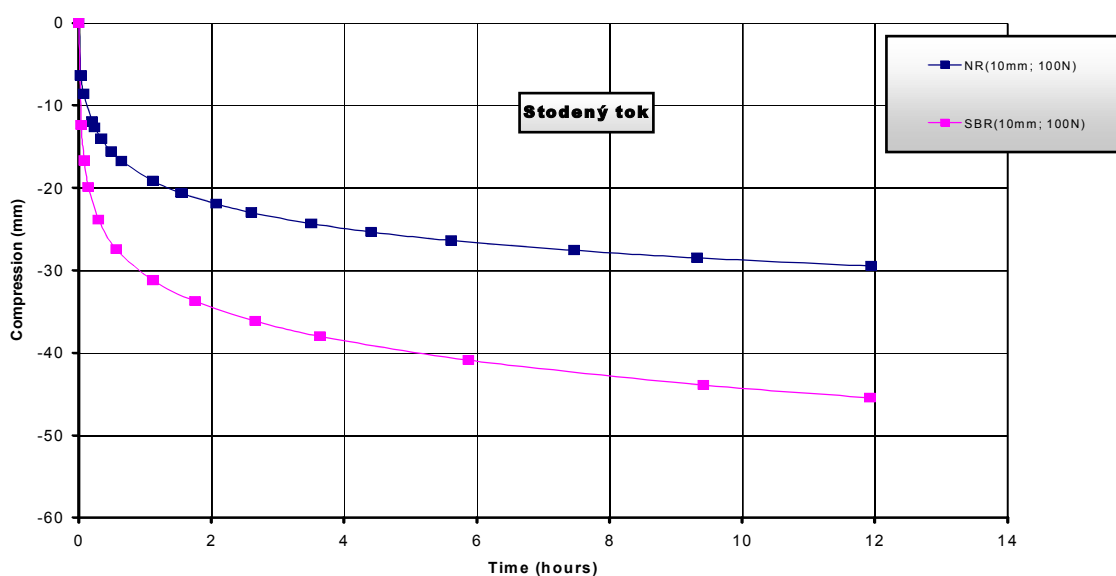
Při měření penetrace kaučuku SBR KRALEX 1500 bylo zjištěno, že křivka grafu je strmější než křivka penetrace kaučuku NR SIR 20. Z toho vyplývá závěr, že u SBR KRALEX 1500 potřeba větší energie na protlačení trnu než u NR SIR 20. Graf penetrace kaučuku NR SIR 20 je na rozdíl od grafu kaučuku SBR KRALEX 1500 více nepravidelný což je dáno nepravidelnou strukturou po stlačení než u SBR KRALEX 1500. Při porovnání grafů penetrace s grafy od jiného zdroje je vidět velká podobnost. Z toho usuzuji, že měření proběhlo správně.



Obr.38.Porovnávací graf penetrace

Na grafu penetrace je patrná závislost síly potřebné k proniknutí trnu a viskozity. Čím vyšší je hodnota viskozity tím je potřeba větší energie na protlačení trnu do daného materiálu. Jak je z grafu vidět SBR KRALEX 1500 o vyšší viskozitě potřebuje více energie na protlačení trnu než NR SIR 20.

Při měření studeného toku byla kaučuková drť stlačována ve válci konstantní silou 100N. Opět byly měřeny dva druhy kaučuků stejně jako u penetrace a to SBR KRALEX 1500 a NR SIR 20. Po stlačení a odlehčení byl patrný už optický rozdíl a to takový, že NR SIR 20 byl stále neslepený. Zato SBR KRALEX 1500 byl slepený v celiství kus. Při porovnání grafů studeného toku s grafy od jiného zdroje je vidět velká podobnost. Z toho usuzuji, že měření proběhlo správně.



Obr.39.Porovnávací graf studeného toku

ZÁVĚR

Při měření lepivosti a penetrace kaučuku byla snaha držet se zásad a pravidel, kterým měření lepivosti a penetrace podléhá. Ty jsou uvedeny ve studijní, teoretické a experimentální části bakalářské práce. Další měření bylo měření viskozity na dvou různých reometrech a to na PPA a kapilárním reometru.

Na měření lepivosti a penetrace kaučuku byli vybrány dva kaučuky a to přírodní NR SIR 20 a butadienstyrenový SBR KRALEX 1500. Měření proběhlo na speciálně vyvinutém stroji, kde jsme simulovali zatížení kaučuku konstantní silou.

Z výsledků vyplívá, že butadienstyrenový kaučuk SBR KRALEX 1500 je velmi lepivý a nevhodný pro dlouhé skladování. Přírodní kaučuk NR SIR 20 je mnohem vhodnější a doba skladování může být až několik dní.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Prekop,Š., Várkoly.L., Kučma,A., Ďuriš,Š., Federová,E., Matuščinová,A., Michálek,J., Gumárenská technologie I. Žilinská Universita v Žilině 1998, Žilina
- (2) Pech,J., a kol. Syntetický Kaučuk .,SNTL 1971,Praha
- (3) Špaček,J., Technologie gumárenská a plastikářská II., SNTL 1987,Praha
- (4) Hladina: měření a snímání tlaku [on line]. [cit. 2005-03-15] Dostupný z URL <http://www.hladina.cz>.
- (5) Hlaška, P.: Technical Performance of TBU. In: Final Tchnical Report. EU Project No. GRD1-2000-25692 System Analysis for the Production of Technical Rubber Goods and Aires.
- (6) Kistler: Monitoring and control [on line]. [cit. 2005-03-20] Dostupný z URL <http://www.kistler.com>
- (7) U a N : Výroba [on line]. [cit. 2005-03-25]. Dostupny z URL <http://www.uan.wz.cz>
- (8) Armat: Katalogy a materiály [on line]. [cit. 2005-03-26]. Dostupný z URL <http://www.armat.cz>
- (9) Orlík,I., Gumárenské chemikálie., Alfa,1979,Bratislava
- (10) Alpha-technologies:Instruments [on line]. [cit. 2005-04-26]. Dostupný z URL < <http://www.alpha-technologies.com>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

C...	uhlík
H...	vodík
EPDM ...	etylénpropylénový kaučuk
NR...	přírodní kaučuk
SBR...	butadienstyrenový kaučuk
R_0 ...	základní odpor při teplotě 0°C [Ω]
R_{100} ...	odpor při teplotě 100°C [Ω]
R_t ...	odpor při teplotě t°C [Ω]
W_{100} ...	poměr odporů při 100°C
W_t ...	poměr odporů při t°C
Pt...	platina
Ni...	nikl
Cu...	měď
F...	kolmá síla na jednotku plochy [N]
S...	plocha [mm^2]
m...	hmotnost [kg]
g...	tíhové zrychlení [ms^{-2}]
ρ ...	hustota [kgm^{-3}]
h...	výška [m]
PPA...	Production Process Analyzer

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování při normální a zvýšené teplotě	7
Obr.2 Cis- konfigurace v makromolekule přírodního kaučuku.....	8
Obr.3 Schéma základního procesu výroby syntetického kaučuku.....	9
Obr.4 Jednostupňový mlecí systém balíků pryže.....	16
Obr.5 Jednostupňový mlecí systém balíků pryže.....	17
Obr.6 Dvoustupňový systém mletí balíků pryže.....	18
Obr.7 Dvoustupňový systém mletí balíků pryže.....	19
Obr.8 Granulátor G –1.....	20
Obr.9 Vytlačovací hlava.....	21
Obr.10 Reometr PPA.....	29
Obr.11 Piezoelektrický snímač tlaku.....	31
Obr.12 Snímač teploty.....	32
Obr.13 Ukázka měřícího řetězce.....	32
Obr.14 Zvolená PCI karta.....	33
Obr.15 Graf viskozity na Moony 2000 při teplotách $t=100^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$	37
Obr.16 Moony viskozimetr.....	36
Obr.17 PPA reometr	41
Obr.18 Graf viskozity NR SIR 20 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$	42
Obr.19 Graf viskozity SBR KRALEX 1500 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}$	42
Obr.20 Graf viskozity EPDM K5508 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$	43
Obr.21 Graf viskozity EPDM K5508 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$	43
Obr.22 Kapilární reometr.....	44
Obr.23 Graf viskozity EPDM K5508 při teplotách $90^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$	45
Obr.24 Graf viskozity EPDM K740 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$	45
Obr.25 Graf viskozity SBR KRALEX 1500 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$	46
Obr.26 Graf viskozity NR SIR20 při teplotách $40^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$	46
Obr.27 Dno se senzory.....	48
Obr.28 Vyhřívané segmenty.....	48
Obr.29 Sestava testovací komory	48
Obr.30 Pronikací trn.....	48

Obr.31 Testovací válec upevněný na tahovém zařízení.....	49
Obr.32 Graf studeného toku vzorku NR SIR20 při zatížení 100N.....	50
Obr.33 Graf studeného toku vzorku SBR KRALEX 1500 při zatížení 100N	50
Obr.34 Graf studeného toku vzorku NR SIR20 a SBR KRALEX 1500 při zatížení 100N.....	51
Obr.35 Graf penetrace vzorku NR SIR20SBR a KRALEX 1500.....	51
Obr.36 Graf penetrace vzorku NR SIR20SBR a KRALEX 1500.....	52
Obr.37 Referenční graf viskozity při $t=100^{\circ}\text{C}$	55
Obr.38 Porovnávací graf penetrace	55
Obr.39 Porovnávací graf studeného tok.....	56

SEZNAM TABULEK

Tab.I. Porovnání druhů mlecích zařízení dle různých výrobců.....	16
Tab.II. Základní parametry obvykle užívaných materiálů.....	23
Tab.III. Výběr vlastností SBR 1500.....	33

SEZNAM PŘÍLOH

P 1: Tabulky viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na kapilárním reometru.

P 2: Tabulky viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na PPA

P 3: Tabulky viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na Moony 2000

P 4: Tabulky studeného toku a penetrace

P 5: CD obsahující:

- Tabulky a grafy viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách
- Tabulky a grafy studeného toku a penetrace zadaných kaučuků.
- Tabulky studeného toku a penetrace
- Bakalářská práce – textovou část

P 1: Tabulky viskozity zadanych kaučuků při různých teplotách na kapilárním reometru.

EPDM K5508

200°C	ν [1/s]	180°C	ν [1/s]	160°C	ν [1/s]	140°C	ν [1/s]	120°C	ν [1/s]	100°C	ν [1/s]	90°C	ν [1/s]
587,6	1000	584,9	1000	605,8	1000	624,8	1000	636,6	1000	656,1	1000	669,3	1000
422,4	1500	430,8	1500	441	1500	456,6	1500	450,9	1500	473,2	1500	487	1500
378,5	1700	393,6	1700	402	1700	396,5	1700	411	1700	427,2	1700	432,3	1700
328,2	2000	343,8	2000	345,9	2000	345,7	2000	356,7	2000	370,2	2000	380	2000
229,5	2500	236,9	2500	209	2500	229,7	2500	293,6	2500	304,2	2500	314,5	2500

EPDM K740

200°C	ν [1/s]	180°C	ν [1/s]	160°C	ν [1/s]	140°C	ν [1/s]	120°C	ν [1/s]	100°C	ν [1/s]	90°C	ν [1/s]
567,7	1000	587,4	1000	634	1000	629,9	1000	625,7	1000	634,3	1000	653,3	1000
400,4	1500	423,9	1500	445,5	1500	441,8	1500	439,5	1500	457,1	1500	468,2	1500
460,3	1700	383,9	1700	397,8	1700	391,1	1700	392,1	1700	411,7	1700	415,1	1700
318,9	2000	332,5	2000	340,7	2000	335,2	2000	339	2000	358	2000	368,6	2000
245,7	2500	244,9	2500	257,3	2500	252,3	2500	278,4	2500	294	2500	308,5	2500

SBR KRALEX 1500

180°C	ν [1/s]	160°C	ν [1/s]	140°C	ν [1/s]	120°C	ν [1/s]	100°C	ν [1/s]
3903	100	645,1	1000	670,5	1000	797,5	1000	877,5	1000
1882	300	468,2	1500	532,7	1500	542	1500	649,7	1500
326,6	600	433,9	1700	483,6	1700	527,5	1700	571,3	1700
		384,2	2000					510,4	2000

NR SIR20

180°C	ν [1/s]	160°C	ν [1/s]	140°C	ν [1/s]	120°C	ν [1/s]	100°C	ν [1/s]
436,8	800	448,2	1000	458,9	1000	634,1	1000	1018	1000
363,8	1000	329,4	1500	351,1	1500	470,8	1500	715,4	1500
297,2	1300	303,5	1700	349	1700	454,6	1700	619,6	1700
265,2	1500	266,7	2000	346,9	2000	427,4	2000	598,3	2000
		83,84	2500	290,2	2500	250	2500		

P 2: Tabulky viskozity zadanych kaučuků při různých teplotách na PPA

NR SIR 20

Vis[Pa.s]	f[Hz]	Vis[Pa.s]	f[Hz]	Vis[Pa.s]	f[Hz]	Vis[Pa.s]	f[Hz]	Vis[Pa.s]	f[Hz]	Vis[Pa.s]	f[Hz]
306582	0,05	219458	0,05	156559	0,05	117108	0,05	92793	0,05	72461	0,05
202890	0,1	145664	0,1	104414	0,1	77097	0,1	62658	0,1	49480	0,1
95401	0,3	70807	0,3	52117	0,3	39854	0,3	31725	0,3	25333	0,3
39310	1	30749	1	23435	1	18467	1	14851	1	12260	1
16548	3	13628	3	10838	3	8760	3	7245	3	6088	3
6091	10	5311	10	4416	10	3751	10	3188	10	2760	10
4870	13	4300	13	3614	13	3070	13	2645	13	2279	13
2332	30	2147	30	1868	30	1627	30	1440	30	1273	30

Vis[Pa.s]	f[Hz]	Vis[Pa.s]	f[Hz]
65832	0,05	77041	0,05
45700	0,1	52211	0,1
23134	0,3	24937	0,3
10978	1	11027	1
5432	3	5255	3
2450	10	2309	10
2046	13	1935	13
1152	30	1082	30

SBR KRALEX 1500

Vis [Pa.s]	f [Hz]	Vis [Pa.s]	f [Hz]	Vis [Pa.s]	f [Hz]	Vis [Pa.s]	f [Hz]	Vis [Pa.s]	f [Hz]	Vis [Pa.s]	f [Hz]
400310	0,05	301562	0,05	285107	0,05	276931	0,05	250587	0,05	215035	0,05
232970	0,1	177683	0,1	172408	0,1	167803	0,1	152041	0,1	134398	0,1
89518	0,3	71582	0,3	71759	0,3	70977	0,3	66479	0,3	60452	0,3
30459	1	25311	1	25939	1	26146	1	25221	1	23743	1
11171	3	9628	3	9986	3	10198	3	10055	3	9704	3
3674	10	3276	10	3426	10	3555	10	3541	10	3482	10
2876	13	2568	13	2709	13	2810	13	2814	13	2787	13
1295	30	1186	30	1257	30	1315	30	1339	30	1341	30

Vis [Pa.s]	f [Hz]	Vis [Pa.s]	f [Hz]
179402	0,05	145109	0,05
115195	0,1	92264	0,1
54180	0,3	44445	0,3
21843	1	18821	1
9159	3	8110	3
3395	10	3090	10
2696	13	2473	13
1316	30	1229	30

EPDM K5508

Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]
908230	0,05	446641	0,05	310314	0,05	206277	0,05	141341	0,05	105028	0,05
532335	0,1	323075	0,1	226730	0,1	153079	0,1	105478	0,1	76336	0,1
211613	0,3	167908	0,3	127021	0,3	89881	0,3	64272	0,3	47459	0,3
75140	1	72636	1	60162	1	46097	1	34955	1	27034	1
28459	3	30914	3	27730	3	22799	3	18384	3	14921	3
9591	10	11313	10	10823	10	9503	10	8209	10	7020	10
7531	13	8994	13	8704	13	7749	13	6759	13	5846	13
3424	30	4276	30	4301	30	3963	30	3588	30	3218	30

Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]
76879	0,05	59994	0,05
56037	0,1	43525	0,1
36184	0,3	28045	0,3
20994	1	16651	1
12091	3	9876	3
5972	10	5108	10
5059	13	4351	13
2871	30	2553	30

EPDM K740

Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]
888080	0,05	575041	0,05	355239	0,05	239991	0,05	166558	0,05	119664	0,05
557087	0,1	384793	0,1	252858	0,1	174022	0,1	121969	0,1	90563	0,1
241138	0,3	184829	0,3	133765	0,3	98341	0,3	72498	0,3	54892	0,3
89775	1	75480	1	59914	1	47349	1	37223	1	29745	1
34785	3	31125	3	26501	3	22237	3	18498	3	15565	3
11827	10	11210	10	10093	10	8907	10	7818	10	6872	10
9289	13	8878	13	8088	13	7247	13	6407	13	5705	13
4247	30	4218	30	3960	30	3656	30	3328	30	3047	30

Vis[Pa.s]	f [Hz]	Vis[Pa.s]	f [Hz]
86871	0,05	70356	0,05
68261	0,1	52816	0,1
42735	0,3	33402	0,3
24013	1	19404	1
13101	3	11000	3
6079	10	5310	10
5046	13	4450	13
2769	30	2501	30

P 3: Tabulky viskozity zadáných kaučuků při různých teplotách na Moony 2000

Teplota	NR SIR20	SBR KRALEX 1500	EPDM K5508	EPDM K740
100	90,3	52,8	93,5	94,2
120	87,3	39,9	62,1	69,2
130	86,5	35,2	52,6	60,3
140	85,3	31,6	45,8	52,5
150	78,5	29	39,2	45,9
160	69,3	25,8	34,4	

P 4: Tabulky studeného toku a penetrace

Tabulka penetrace NR SIR20

Zatížení [N]	Deformace [mm]	Zatížení [N]	Deformace [mm]
0	0	34,895	47,832
9,598	6,772	41,271	54,331
12,58	11,451	43,876	58,852
15,011	14,8	47,955	65,351
18,099	18,811	50,526	69,971
21,081	22,071	52,72	75,491
25,191	26,194	52,685	81,011
28,039	29,091	54,672	87,011
31,433	32,511	56,902	90,431
33,25	38,031	60,912	94,631
34,072	41,831	63,175	100,001

Tabulka penetrace SBR KRALEX 1500

Zatížení [N]	Deformace [mm]	Zatížení [N]	Deformace [mm]
0	0	177,19	54,291
10,695	2,971	186,514	58,091
16,694	5,712	193,953	61,511
22,962	8,431	201,734	65,31
29,549	11,492	207,493	68,031
48,368	18,511	215,035	71,831
54,264	20,072	221,41	75,251
76,143	25,591	229,466	79,872
91,972	29,391	241,567	85,392
115,282	34,911	255,234	88,112
124,606	37,311	260,489	90,011
138,694	41,111	286,678	95,071
148,738	44,171	314,136	99,991
163,753	49,331		

Tabulka studeného toku NR SIR20

Stlačení [mm]	Time [min]	Stlačení [mm]	Time [min]
0	0	-16,248	52,572
-2,123	0,32	-17,357	68,239
-3,175	0,572	-18,589	90,739
-4,126	0,905	-19,004	100,072
-4,838	1,238	-20,803	150,073
-6,109	2,072	-22,152	200,406
-6,983	2,905	-23,246	250,406
-8,085	4,239	-24,82	300,406
-9,026	5,905	-26,43	350,073
-10,062	8,572	-28,019	500,406
-11,14	12,072	-29,122	750,406
-11,992	15,572	-29,937	1000,073
-13,09	21,906	-30,343	1256,739
-13,45	24,239	-31,358	1440,073
-13,85	27,072		

Tabulka studeného toku SBR KRALEX 1500

Stlačení [mm]	Time [min]	Stlačení [mm]	Time [min]
0	0	-33,698	37,572
-2,154	0,32	-35,248	40,239
-4,128	0,596	-38,225	60,739
-5,265	0,982	-39,258	80,072
-6,856	1,258	-40,347	100,073
-8,225	1,895	-45,478	160,406
-9,862	2,895	-48,82	250,406
-13,523	4,239	-49,369	300,406
-17,258	5,905	-50,019	350,073
-19,005	8,572	-50,756	500,406
-22,869	12,072	-51,367	750,406
-25,658	15,572	-52,489	1000,073
-28,025	19,906	-52,998	1256,739
-30,998	24,239	-53,756	1440,073
-31,689	27,072		

MĚŘENÍ LEPIVOSTI KAUČUKU

MEASUREMENT STICKINESS OF RUBBER

ZBYNĚK PAVLÍČEK

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Petrovi Halaškovi, za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce. Dále bych mu chtěl poděkovat i za pomoc při řešení některých problémů.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 04. 06. 2005

.....

podpis

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo vypracovat literární studii na dané téma tedy měření lepivosti zadaných kaučuku. Po vypracování literární studie budeme měřit v laboratorních podmínkách na speciálním měřicím stroji zmíněnou lepivost. Dále navrhnout snímání teploty pomocí odporových čidel a tlaku při měření na trhacím stroji a jejich převod pomocí PCI karet do počítače. Jedním z dalších úkolů této práce je změření studeného toku a penetrace kaučukové drti. Poslední část práce je vyhodnocení měření a zanesení do grafů.

The task of the bachelor thesis was to develop a literary survey about the measurement of the stickiness of given rubbers. The stickiness was measured in laboratory conditions by the special machine. The imaging of the temperature was projected by resistance detector and for the pressure the ripper was used. The transmission of measured data into the computer was done by PCI cards. The next aim of my work was to evaluate the cold flow and the penetration of the rubber dust. The last part of my bachelor work deals with the evaluation of measuring and their conversion into the graphs.

OBSAH

ÚVOD.....	6
I. STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST.....	7
1. KAUČUKY.....	8
1.1 VŠEOBECNÉ CHARAKTRISTIKY KAUČUKU.....	8
1.1.1 Struktura přírodního kaučuku.....	8
1.1.2 Syntetický kaučuk.....	9
1.1.3 Složení kaučukových směsí.....	11
1.2 LEPIVOST A STUDENÝ TOK.....	12
1.2.1 Vulkanizační činidla.....	13
1.2.2 Aktivátory a retardéry vulkanizace.....	13
1.2.3 Plniva.....	14
1.3 ŘEZÁNÍ, GRANULOVÁNÍ A DORUČOVÁNÍ KAUČUKU.....	15
1.3.1 Analýza možností nepřetržitého doručování.....	15
1.3.2 Nožové mletí.....	15
1.3.3 Vytlačování a granulace.....	21
1.4 SNÍMÁNÍ TEPLoty.....	22
1.4.1 Princip snímání teploty odporovým snímačem.....	22
1.4.2 Základní parametry.....	23
1.4.3 Kovové měřicí odpory.....	23
1.4.4 Čidla vinutá.....	24
1.4.5 Čidla vrstevná.....	24
1.5 SNÍMÁNÍ TLAKU.....	25
1.5.1 Základní pojmy a definice.....	25
1.6 NAVRŽENÍ SNÍMÁNÍ TEPLoty A TLAKU.....	27
1.6.1 Piezoelektrický snímač tlaku.....	27
1.6.2 Odporový snímač teploty.....	28
1.6.3. PCI převodník.....	29
1.7 SHRNUÍ STUDIJNÍ ČÁSTI.....	30
1.8. STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	30
II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	31
2. MĚŘENÍ.....	32
2.1 ZKOUMANÉ DRUHY KAUČUKŮ.....	32
2.1.1 Kaučuk NR typ SIR 20.....	32
2.1.2 Kaučuk SBR typ KRALEX 1500.....	33
2.1.3 Kaučuk EPDM typ K5508 a K740.....	34
2.2. MĚŘENÍ VSKOZITY NA MOONY 2000.....	35
2.2.1 Přínos MV viskozimetru.....	35
2.2.2 Významné znaky.....	36
2.3. MĚŘENÍ VSKOZITY NA PPA REOMETRU.....	39
2.3.1 Hlavní znaky.....	39
2.3.2 Parametry PPA.....	40

2.3.3 Grafy viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na PPA.....	42
2.4. MĚŘENÍ VSKOZITY NA KAPILÁRNÍM REOMETRU	44
2.4.1. Parametry kapilárního reometru.....	44
2.4.2. Grafy viskozity zadaných kaučuků při různých teplotách na kapilárním reometru.....	45
2.5. MĚŘENÍ STUDENÉHO TOKU A LEPIVOSTI KAUČUKU.....	47
2.5.1 Vyvinuté testovací zařízení uskladnění.....	47
2.5.2 Grafy studeného toku a penratrace.....	50
2.6. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	53
ZÁVĚR.....	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	60
SEZNAM TABULEK.....	62
SEZNAM PŘÍLOH.....	63

