

Vliv zpracovatelských parametrů na kvalitu kaučukové směsi

Monika Hittlová

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika Hittlová**
Osobní číslo: **T14968**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv zpracovatelských parametrů na kvalitu kaučukové směsi**

Zásady pro vypracování:

- 1. vypracujte literární rešerši na dané téma**
- 2. připravte kaučukové směsi za různých podmínek míchání**
- 3. změřte požadované vlastnosti**
- 4. vyhodnoťte výsledky a vyvodte závěry**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] MEISSNER, B. Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů, SNTL Praha, 1987.

[2] ŠUBA, O. Mechanické chování těles. UTB Zlín, 2002. ISBN 80-7318-101-0

[3] DUCHÁČEK, V. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití, VŠCHT Praha, 2006. ISBN 80-708-0617-6

[4] JARUŠEK, J. Metody zkoumání polymerů, VŠCHT Pardubice, 1984.

[5] MLÁDEK, M. Nauka o materiálech, UTB Zlín, 2001.

[6] ČSN ISO 37 Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků Stanovení tahových vlastností.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Zádrapa, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2017

Ve Zlíně dne 1. března 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



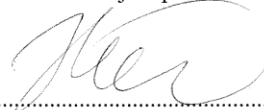
doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17.5 2017



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně 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 pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

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

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem otáček a doby míchání v laboratorním hnětiči na kvalitu kaučukové směsi. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány složky, přidávané do kaučukové směsi a následně přístroje, na kterých jde směs připravit.

V praktické části je zaměřena na přípravu kaučukové směsi na bázi SBR, která je zamíchána při různých podmínkách (čas a otáčky). Na připravených vzorcích jsou následně měřeny tahové vlastnosti, strukturní pevnost, tvrdost a dispergace plniv.

Klíčová slova: Kaučuková směs, tahová zkouška, strukturní pevnost, disperze

ABSTRACT

The Bachelor thesis deals with the effect of laboratory kneader rotation speed, and compounding duration on the quality of rubber compounds. Thesis is divided on the two parts theoretical and practical. In theoretical, the rubber composition and the compounding machinery are described.

In the practical part, rubber compound at different conditions (time, rotation speed) is prepared and mechanical and tear properties, as well as filler dispersion are evaluated.

Keywords: Rubber compound, tensile properties, Tear, Filler Dispersion

Tímto bych chtěla poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Zádrapovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté konzultace, cenné rady, připomínky při zpracování bakalářské práce.

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

Ve Zlíně 17.5 2017

.....
Podpis

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELASTOMERNÍ MATERIÁLY (KAUČUKY)	11
1.1 VLASTNOSTI A ROZDĚLENÍ ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ	11
1.2 TYPY ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ	11
Rozdělení elastomerních materiálů:	11
1.2.1 Přírodní kaučuk (NR)	12
1.2.2 Butadien-styrenový kaučuk (SBR)	13
2 SLOŽENÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI	15
2.1 ELASTOMER	15
2.2 VULKANIZAČNÍ ČINIDLA	15
2.2.1 Síra	16
2.2.1.1 Rozpustná síra	16
2.2.1.2 Nerozpustná síra	16
2.2.1.3 Donory síry	17
2.2.2 Peroxidy	17
2.2.3 Oxidy	17
2.2.4 Diaminy	17
2.2.5 Chinondioximy	18
2.2.6 Reaktoplasty	18
2.2.7 Urethany	18
2.2.8 Estery kyseliny izokyanaté	18
2.2.9 Další vulkanizační činidla	19
2.3 URYCHLOVAČE VULKANIZACE	19
2.3.1 Pomalé urychlovače	19
2.3.2 Rychlé urychlovače	19
2.3.3 Velmi rychlé urychlovače	20
2.3.4 Ultraurychlovače	20
2.4 AKTIVÁTORY VULKANIZACE	20
2.5 ANTIOXIDANTY	21
2.5.1 Aminové antidegradanty	21
2.5.2 Aminofenoly	21
2.5.3 Fenolické antioxidanty	21
2.5.4 Fosfitové antioxidanty	21
2.5.5 Různorodé antioxidanty	22
2.5.6 Směsné antidegradanty	22
2.5.7 Vosky a další uhlovodíky	22
2.6 PLNIVA	22
2.7 ZMĚKČOVADLA	23
2.8 DALŠÍ ZPRACOVATELSKÉ PŘÍSADY	23
2.8.1 Plastikační činidla	23
2.8.2 Promotory, vazebná, dispergační a homogenizační činidla, maziva	24
2.8.2.1 Promotory	24
2.8.2.2 Vazebná, dispergační a homogenizační činidla	24

2.8.2.3	Maziva	24
2.8.3	Pomocné zpracovatelské prostředky	25
2.8.4	Činidla zvyšující lepivost kaučukových směsí	25
3	ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	26
3.1	MÍCHÁNÍ KAUČUKU.....	26
3.1.1	Dvouválec	27
3.1.2	Hnětiče	28
II	PRAKTICKÁ ČÁST	34
4	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	35
5	POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI	36
5.1	POUŽITÉ MATERIÁLY	36
5.2	POSTUP MÍCHÁNÍ	37
5.3	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	37
6	PROVEDENÉ ZKOUŠKY	39
6.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	39
6.2	STRUKTURNÍ PEVNOST	45
6.3	TVRDOST.....	47
6.4	DISPERGACE.....	49
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM TABULEK.....	57

ÚVOD

Kaučuky jsou materiály, které vykazují elastické chování v širokém spektru teplot, proto díky svým specifickým vlastnostem, jim nekonkuruje žádný z ostatních tuhých materiálů. Elastomerní systémy vznikají v gumárenském průmyslu, míšením kaučuků, chemikálií a především plniv za vzniku gumárenské směsi. Úlohou plniv ve směsi je zlepšení dynamických a mechanických vlastností, podmínkou tohoto zlepšení ovšem zůstává dobrá dispergace částic plniva v kaučuku, dosažení takové dispergace však není jednoduché pro vysokou náročnost spotřeby energie při míchání. Proto je vhodné využití modifikace povrchu plniv za pomoci např. vazebných činidel, ta zlepšují vlastnosti směsi, ale zároveň i snižují spotřebu energie. Dalším zpracováním gumárenských směsí vulkanizací, dochází ke vzniku příčných vazeb mezi řetězci kaučukových molekul, a tím k přechodu částečně plastické nevulkanizované kaučukové směsi v rozměrově stálý elastický materiál, tedy vulkanizát. Možnost ovlivnit vlastnosti gumárenského výrobku je tedy dána volbou látek tvořících gumárenskou směs a zpracovatelskými podmínkami během jeho výroby, tím dostáváme možnost přizpůsobit jeho vlastnosti požadavkům daných aplikací a zároveň rozšířit oblast jeho použití [4,15].

Gumárenské výrobky jsou namáhány v mnoha aplikacích, jako jsou například pneumatiky, nebo tlumiče, abychom však předešli vzniku neshodných výrobků, je důležitá možnost kontroly vlastností, ta začíná již u přípravy gumárenských směsí. [4]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELASTOMERNÍ MATERIÁLY (KAUČUKY)

Pod pojmem kaučuky jsou myšleny polymery, které mohou být převedeny fyzikálním nebo chemickým zesíťováním v pryže. [1]

Předpoklady pro dosažení dobrých vlastností technicky použitelných kaučuků jsou:

- Vysoká relativní molekulová hmotnost
- Amorfni struktura v nedeformovaném stavu za normální teploty
- Nizká teplota skelného přechodu (pod $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Schopnost řídkého zesíťování hlavními nebo vedlejšími valencemi

1.1 Vlastnosti a rozdělení elastomerních materiálů

Elastomery mají amorfni strukturu, tvořenou řetězci makromolekul, které jsou ve formě statistického klubka. Elastické chování zatíženého materiálu je způsobeno částečným narovnáním makromolekul, a ty se po ukončení zatížení vracejí do původního stavu. [1]

Vlastnosti charakterizující materiál lze rozdělit do dvou základních skupin na vlastnosti fyzikální (mechanická odolnost) a chemické (chemická odolnost). Tyto vlastnosti se mohou měnit způsobem výroby a dále působením teploty, času, atd. Pro elastomerní materiály je tvar distribuční křivky molekulových hmotností důležitý. Čím užší je distribuce molekulových hmotností, tím více je plasticita elastomeru ovlivnitelná teplotou. Kaučuková směs s nízkomolekulárním podílem vulkanizuje pomalu, tudíž ovlivňuje celý vulkanizační proces. Naopak vysokomolekulární podíl vede k houževnatosti kaučukové směsi a zhoršuje tím její zpracovatelnost. [1,2]

1.2 Typy elastomerních materiálů

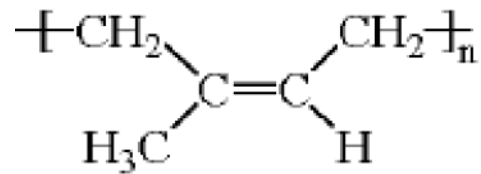
Rozdělení elastomerních materiálů:

- přírodní
- syntetické

Dělení podle použití:

- pro všeobecné použití (NR, SBR, BR, IR)
- pro speciální použití (IIR, EPDM, CR atd.)

1.2.1 Přírodní kaučuk (NR)



Obrázek 1: Přírodní kaučuk - vzorec

Kaučuk je obsažen asi ve 2 000 rostlinách. Z nich pouze několik má hospodářský význam a to především *Hevea brasiliensis* – strom dosahující výšky až 30 m při průměru kmene asi 50 cm. Nejdůležitější oblastí je tropická Asie, odkud pochází více jak 90 % veškeré světové produkce přírodního kaučuku. [2]

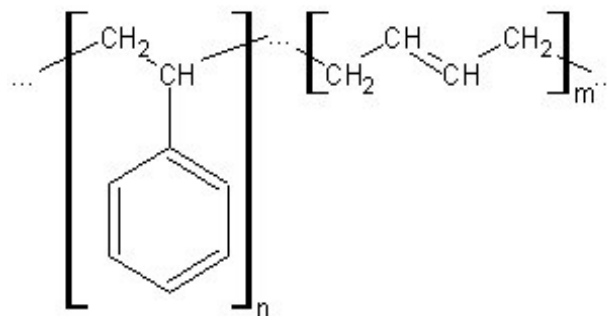


Obrázek 2: Čerpání přírodního kaučuku

Čerstvý latex je koloidní disperze ve vodném mediu zvaném sérum. Kaučuk je přítomen ve formě částic o průměru 0,05 až 5 mm. Latex obsahuje cca 30 % kaučuku, 1 % proteinů, 1 % lipidů, 1 % uhlohydrátů a řadu dalších látek v menších množstvích. Nejběžnějším druhem pro nejkvalitnější výrobky je uzený kaučuk, zkráceně RSS (z anglického: Ribbed Smoked Sheet). Dodává se v několika jakostech, které se podstatněji neliší kvalitou kaučukového uhlovodíku, ale čistotou a barvou. [1,10]

1.2.2 Butadien-styrenový kaučuk (SBR)

SBR, kopolymer butadienu a styrenu, je nejvíce využívaný syntetický kaučuk. Surovinou pro jeho výrobu je ropa.



Obrázek 3 : SBR – vzorec

Butadien a styren patří k monomerům, které ochotně polymerují a kopolymerují nejrůznějšími způsoby a mechanismy. Proto také množinu butadien-styrenových kaučuků nelze jednoznačně specifikovat bez její klasifikace na řadu podmnožin. Nejvýhodnějším kritériem se ukázal způsob výroby a to teplé a studené kaučuky. Teplé emulzní butadien-styrenové kaučuky – kaučuky vyráběné emulzní kopolymerací při teplotě 38 °C nebo vyšší. Studené emulzní butadien-styrenové kaučuky – kaučuky vyráběné emulzní redukčně-oxidační kopolymerací při teplotě 10 °C nebo nižší. [2]

Emulzní butadien- styrenové kaučuky

Standartní typy E – SBR mají 23,5 % styrenu, jsou však i speciální s obsahem 15 – 40 % styrenu. Typy E – SBR s obsahem 60 – 80 % styrenu se používají do některých gumárenských směsí jako ztužující pryskyřice.

Roztokové butadien – styrenové kaučuky

Při výrobě S – SBR (na rozdíl od E – SBR) lze řídit nejen obsah styrenu, ale i poměr butadienu zabudovaného v 1, 2 a 1, 4 pozici (resp. obsah vinylových skupin).

Studené emulzní butadien-styrenové kaučuky plněné sazemi

Jedná se o základní meziprodukty gumárenské výroby. Vychází se z kaučuků obsahujících 23,5 % styrenu v kopolymeru. Obsahují 40 až 50 dsk sazí a většinou 5 až 12 dsk vysoce aromatického, parafinického, nebo naftenického oleje.

Studené emulzní butadien-styrenové kaučuky nastavované oleji

Na rozdíl od sazových předsměsí jsou pokládány za druh surového SBR. Většinou rovněž vycházejí z kaučuku obsahujícího 23,5 % styrenu. Obsahují oleje aromatické, vysoce aromatické, naftenické, nebo parafinické v různých koncentracích a to 25 – 50 dsk.

Studené emulzní butadien-styrenové kaučuky nastavované oleji a plněné sazemi

Jsou to olejo-sazové předsměsí základní polo-produkty gumárenské výroby.

Studené emulzní butadien-styrenové kaučuky ztužené vysokostyrenovými pryskyřicemi

Jedná se většinou o směsi kaučuku SBR 1500 s butadien-styrenovými kopolymery obsahující 85 až 87 % styrenu.

Butadien-styrenové latexy

Vyrábějí se jak teplou, tak studenou emulzní kopolymerací s širokým rozmezím obsahu styrenu v kopolymeru a různou koncentrací kaučukového uhlovodíku.

Roztokové butadien-styrenové kaučuky

Vyrábí se s použitím alkyllithiových katalyzátorů. Roztokové SBR neobsahují organické kyseliny, proto mají horší zpracovatelnost než emulzní druhy, v hnětičích se však s přísadami míchají dobře.

2 SLOŽENÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI

Pomocí složek směsi můžeme ovlivňovat vlastnosti vulkanizátů a tím i jejich následné aplikace. Skladba směsí je kompromis mezi vlastnostmi výrobku, zpracovatelností a cenou. [3]

Směs obsahuje většinou tyto základní složky:

1. Elastomer (přírodní nebo syntetický kaučuk, popř. regenerát),
2. Vulkanizační činidlo (síra, peroxidy, kysličníky kovů, reaktivní pryskyřice),
3. Urychlovač vulkanizace (nebo směs urychlovačů),
4. Aktivátor vulkanizace,
5. Antioxidanty (resp. antidegradanty)
6. Plniva (aktivní nebo neaktivní),
7. Změkčovadla.

Potom může ještě obsahovat pigmenty a nějaké zvláštní přísady.

2.1 Elastomer

Nejdůležitější první krok při vývoji směsi je správná volba kaučuku. Tato volba je založena na srovnání požadavků plynoucích z předpokládaných aplikačních podmínek s vlastnostmi různých kaučuků a specifických požadavků zákazníka. Při volbě kaučuků je nutno zvážit i zpracovatelnost směsi. [4]

2.2 Vulkanizační činidla

Mezi vulkanizační činidla obecně patří všechny látky, které mají schopnost vytvářet s makromolekulárními řetězci kaučuku příčné vazby vedoucí ke vzniku prostorové sítě vulkanizátu (pryže). Tuto schopnost má v určité míře větší počet látek, ale v praxi se zdaleka ne všechny osvědčily. Přesto, že s nástupem syntetických kaučuků novějších generací se objevila i nová vulkanizační činidla, zůstala nejpoužívanějším elementární síra. [11]

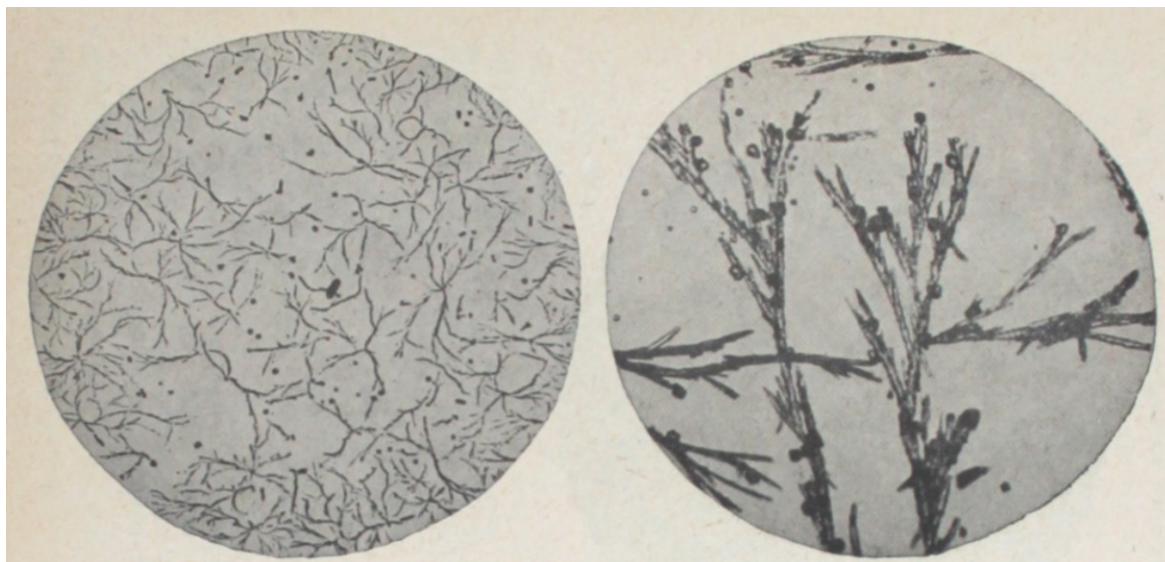
2.2.1 Síra

Síra se rozemílá na potřebnou jemnost buď za mokra, nebo v atmosféře inertního plynu. Jemnost se udává ve Chancelových stupních, určených pomocí sedimentace. Pro manipulaci se síra často olejuje nebo se k ní přidávají práškovité přísady. [11]

Elementární síra (nebo donor síry) reaguje s urychlovačem (je-li přítomen), aktivátory (oxid zinečnatý, mastná kyselina) a ostatními složkami kaučukové směsi za vzniku aktivního sulfuračního činidla, které reakcí s kaučukem dává vulkanizační meziprodukt. Síra slouží jako vulkanizační činidlo pro řadu nenasycených kaučuků jako je kaučuk přírodní, butadienstyrenový, butadienový, butylkaučuk a některé další syntetické kaučuky. [11]

2.2.1.1 Rozpustná síra

Rozpustná síra je žlutý prášek o čistotě 99 až 99,8 %. Maximální přípustné množství popela je 0,05 %, teplota tání kolem 115 °C, hustota 2,05 g·cm⁻³. Její rozpustnost v kaučuku závisí na typu kaučuku a teplotě. Malá rozpustnost síry v kaučuku je příčinou tzv. sírování směsí, tj. vykvétání (resp. vystupování) síry na povrch směsi, což má negativní vliv na konfekční lepivost směsí. [11]



Obrázek 4 : Vykvétání síry – zvětšeno 58-krát a 150-krát [7]

2.2.1.2 Nerozpustná síra

Nerozpustná síra je lineární polymer o relativní molekulové hmotnosti 100 000 až 300 000, proto je dobře snášenlivá s kaučuky a v jejich směsích nemigruje k povrchu. Při vulkanizační

teplotě rychle depolymeruje na síru rozpustnou. Její depolymerizaci urychlují jak zásady, tak i velmi rychlé urychlovače. Nerozpustnou sírou se zpravidla nahrazuje jen část dávkování síry. Pro gumárenské účely se vyrábí v mleté formě, která je dobře dispergovatelná v kaučukových směsích. [11]

Její použití má tyto výhody:

- Nevykvétá na povrch směsí a nesnižuje tak konfekční lepivost.
- Nepřestupuje z vrstvy do vrstvy u složených výrobců.
- Nezhoršuje zpracovatelskou bezpečnost směsí při skladování.

2.2.1.3 Donory síry

Pod názvem, donory síry, se používají k vulkanizaci nenasycených kaučuků organické di- a vyšší sulfidy, které mají podobný účinek jako elementární síra. Nejpočetnější skupinou donorů síry tvoří tetraalkylthiuramdisulfidy, tetrasulfidy a vyšší sulfidy, které účinkují také jako velmi rychlé urychlovače vulkanizace elementární sírou. [11]

2.2.2 Peroxidy

Přesto, že peroxidy jsou schopny síťovat i nenasycené kaučuky, začaly se prakticky používat jako vulkanizační činidla až k vulkanizaci nasyčených elastomerů, které není možno vulkanizovat sírou. Jejich schopnost vulkanizovat se zakládá na homolytickém rozpadu peroxidické vazby na volné radikály za zvýšených teplot. Nejstabilnější jsou peroxidy s terciálním uhlíkovým atomem, proto se nejvíce používají. [11]

2.2.3 Oxidy

Oxidy dvojmocných kovů lze vulkanizovat kaučuky, které mají na svých makromolekulárních řetězcích elektronegativní substituenty. Nejběžnější je vulkanizace chloroprenového kaučuku kombinací oxidu zinečnatého a hořečnatého. [11]

2.2.4 Diaminy

Používají se většinou ve formě stabilnějších amoniových solí, zejména karbamanů, především k vulkanizaci fluoruhlíkových, ale také akrylátových, epichlorhydrinových kaučuků a chlorsulfonovaného polyethylenu. [11]

2.2.5 Chinondioximy

Používá se buď volný chinondioxim nebo dibenzoylchinondioxim, hlavně k vulkanizaci SBR, EPDM, IIR a CIIR. Pryž získaná těmito vulkanizačními činidly vyniká odolností vůči vysokým teplotám. [11]

2.2.6 Reaktoplasty

- Fenolické pryskyřice

Všechny nenasyčené kaučuky lze v zásadě vulkanizovat účinkem sloučenin typu dimethylolfenolu, nejvhodněji fenolformaldehydovými pryskyřicemi struktury rezolu. [11]

- Melaminformaldehydové pryskyřice

Analogem fenolformaldehydových pryskyřic jsou melaminformaldehydové, využívané však jako vulkanizační činidla podstatně méně. Doporučují se především k vulkanizaci karboxylových latexů. [11]

- Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice se používají hlavně k vulkanizaci kapalných kaučuků s karboxylovými funkčními skupinami a k vulkanizaci fluorouhlíkových kaučuků ke zlepšení odolnosti vůči trvalé deformaci ze zvýšených teplot. [11]

2.2.7 Urethany

Urethanové vulkanizační systémy lze prakticky bez omezení kombinovat se systémy siričnými. Doporučovány jsou zejména pro kontinuální vulkanizaci a vstříkované směsi na základě NR. Vulkanizáty vynikají tepelnou odolností a mechanickými vlastnostmi. [11]

2.2.8 Estery kyseliny izokyanaté

Izokyanatová skupina velmi ochotně reaguje hydroxylovou skupinou a aminoskupinou. Proto se více funkční izokyanatany používají k vulkanizaci kaučuků, jejichž makromolekuly jsou končeny hydroxylem nebo aminoskupinou. [11]

2.2.9 Další vulkanizační činidla

- Bisfenoly
- Organofosfoniové soli
- Benzofenon
- Kyselina izokyanurová
- 2,4,6-Trimerkapto-s-triazin
- Selen
- Tellur

2.3 Urychlovače vulkanizace

Až do začátku 20. století se používaly k urychlení vulkanizace kaučuků elementární sírou oxidy i jiné sloučeniny zinku, olova, vápníku a hořčíku. Na kvalitu pryže však neměly pozorovatelný vliv. Proto také tyto tzv. anorganické urychlovače ztratily význam, když byly objeveny urychlující účinky některých organických sloučenin, kterými bylo možno navíc ovlivňovat vlastnosti sirných vulkanizátů. [12]

Urychlovače je možno klasifikovat různým způsobem – podle chemického složení (guanidiny, thiazoly, aldehydaminy atd.), podle modulu, bezpečnosti apod. Pro technologa je nejvhodnější rozdělení podle účinnosti, resp. rychlosti, s jakou dosahuje optima vulkanizace. Pro každý urychlovač platí, že účinnost vulkanizačního systému je závislá nejen na povaze urychlovače, ale i na poměru koncentrace urychlovače ke koncentraci síry. Čím je tento poměr menší, tím méně účinný je vulkanizační systém. [12]

2.3.1 Pomalé urychlovače

Urychlovače této skupiny se používají zřídka samotných jako urychlovačů primárních, častěji se kombinují, a to buď k aktivaci urychlovačů řady thiazolové, nebo jsou samy aktivovány rychlejšími urychlovači. Některé z nich se používají k urychlení vulkanizace tvrdé pryže. Hlavními představiteli jsou guanidiny, vysokomodulové urychlovače se špatnou odolností proti stárnutí. [12]

2.3.2 Rychlé urychlovače

Do této skupiny, která je svým významem i objemem nejdůležitější, patří více než 80 % všech urychlovačů vzniklých kondenzací aldehydů s aminy včetně některých složených

urychlovačů se zpožděným účinkem, ale především urychlovače thiazolové a sulfenamidové. Jsou to urychlovače bezpečné, vysokomodulové, se zvýšenou síťovací účinností, vulkanizáty mají velmi dobrou odolnost proti stárnutí. [12]

2.3.3 Velmi rychlé urychlovače

Mezi velmi rychlé urychlovače patří především mnohostranně použitelná skupina urychlovačů thiuramsulfidových. Pokud se jedná o monosulfidy, tj. obsahují-li více atomů síry v sulfidické vazbě, účinkují i jako donory síry. Jen zřídka se jich používá jako primárních urychlovačů, většinou slouží k aktivaci pomalejších urychlovačů a k dosažení velmi krátkých vulkanizačních dob při ještě postačující zpracovatelské bezpečnosti. [12]

2.3.4 Ultraurychlovače

Tato skupina přes malý celkový objem obsahuje velké množství urychlovačů. Nejčastěji jsou to různé dithiokarbamany. V běžných gumárenských směsích jich lze v malých množstvích použít k aktivaci pomalejších urychlovačů pro krátké vulkanizace, k dosažení rychlého „naskočení“ síťovací reakce směsí určených pro výrobky volně vulkanizované v teplém vzduchu nebo v přímé páře. Jako sekundární urychlovače se používají také k vulkanizaci tzv. pomalu vulkanizujících málo nasycených kaučuků, zejména butylových a ethylen-propylen-dienových. Významnou roli při skladbě rychle vulkanizujících kaučukových směsí hrají také deriváty thiomocoviny, i když je nelze jednoznačně zařadit mezi ultraurychlovače. [12]

2.4 Aktivátory vulkanizace

Jsou to látky, které aktivují síťovací reakci. Optimálního účinku je dosaženo až po přidání těchto látek. V některých systémech bez těchto přísad vulkanizace neproběhne. Všeobecně platí, že vulkanizaci aktivují zásadité látky, urychlující účinek budou mít tedy všechny látky reagující jako zásady. [16]

Aktivátory jsou:

- Aktivátory anorganického původu - oxidy kovů, ZnO, MgO, PbO, Pb₃O₄, CdO.
- Aktivátory organického původu - vyšší mastné kyseliny, stearová, palmitová, laurová, a jejich soli, aminy, taky polyalkoholy, ethanolaminy, atd.

Rozlišujeme tři druhy aktivátorů:

- Aktivátory vulkanizace sírou a donorů síry
- Aktivátory peroxidické vulkanizace
- Aktivátory (senzibilátory) radiační vulkanizace

2.5 Antioxidanty

V oblasti gumárenských chemikálií představují prostředky proti stárnutí, neboli antidegradanty (antioxidanty), vedle urychlovačů vulkanizace nejpočetnější skupinu produktů. [13]

2.5.1 Aminové antidegradanty

Sloučeniny obsahující dusík patří k nejstarším zbarvujícím antidegradantům vůbec. Z bohaté palety sloučenin tohoto typu získala značný význam v první řadě naftylaminy, mající dobré vlastnosti pro všeobecné použití, nechrání však dostatečně proti vyšším teplotám a únavě. [13]

2.5.2 Aminofenoly

Aminofenoly jsou fenolické látky, obsahující na stejném aromatickém kruhu hydroxylovou i aminovou skupinu, přičemž amino- skupina může být součástí heterocyklu. Z hlediska vlastností se podobají jak fenolům (méně zbarvují než aminy), tak i aminům (lépe odolávají zvýšeným teplotám než fenoly). [13]

2.5.3 Fenolické antioxidanty

Tyto produkty patří mezi nejpoužívanější a nejvýznamnější antioxidanty. Chemická struktura, kterou lze snadno modifikovat, umožňuje získat látky s vlastnostmi požadovanými pro široké spektrum polymerních materiálů i zpracovatelských podmínek. [13]

2.5.4 Fosfitové antioxidanty

Z velkého počtu organických sloučenin fosforu se jako látky s antioxidačním účinkem prosadily zvláště estery kyseliny fosforité – fosfity. Jsou to poměrně vysoce účinné nezbarvující stabilizátory různých typů syntetických kaučuků, především butadienstyrenových, avšak uplatňují se i jako velmi účinné složky stabilizačních systémů čtených plastických materiálů. [13]

2.5.5 Různorodé antioxidanty

Tato skupina je po chemické stránce neobyčejně pestrým souborem antidegradantů, u nichž různému chemickému složení odpovídá jak kvantitativně, tak kvalitativně rozdílná účinnost. Skupina dithiokarbamanů je pro své urychlující vulkanizační účinky vhodná zvláště pro málo nebo vůbec nenasyčené kaučuky, kterým dodává často i vynikající světlostálost. Pro deriváty thiomocoviny, rovněž ovlivňující vulkanizaci, jsou charakteristické anti-ozonační účinky spojené s barevnou stálostí. 2-merkaptobenzimidazol je zase typickým deaktivátorem kovů, který se vyznačuje značným synergickým účinkem v kombinacích s aminovými, anebo i fenolickými antioxidanty. [13]

2.5.6 Směsné antidegradanty

Produkty této skupiny jsou výsledkem praktických poznatků, získaných při sestavování účinných ochranných systémů pro různé podmínky, které vyžadovaly a vyžadují kombinování jednotlivých antidegradantů z hlediska účinnosti nebo technologických vlastností.

Základem četných směsných antidegradantů jsou například naftylaminy, jejichž odolnost proti prolamování a vyšším teplotám se obvykle zlepšuje přidávkem p-alkoxydifenylaminů nebo p-fenylendiaminů. [13]

2.5.7 Vosky a další uhlovodíky

Jde o látky převážně parafinického charakteru, které se rovněž významně podílejí na ochraně vulkanizátů, a to především proti ozónovému stárnutí. Mechanismus ochrany pomocí vosků má na rozdíl od předchozích antidegradantů fyzikální charakter. [13]

2.6 Plniva

U většiny gumárenských směsí tvoří plniva asi 30 hmotnostních %. Plniva proto významně ovlivňují jak zpracovatelnost kaučukových směsí, tak i cenu a aplikační vlastnosti výrobků. [4]

Plniva jsou částicové materiály přidávané do gumárenských směsí z důvodu:

- Úpravy zpracovatelských vlastností směsi, hlavně snížení elasticity.
- Snížení ceny, protože cena za kg plniva je obvykle nižší než cena za kg kaučuku.
- Úpravy fyzikálních vlastností vulkanizátů jako je tvrdost, pevnost, tažnost, tlumení vibrací, oděr, elektrický odpor, adheze, barva, odolnost proti stárnutí atd.

Podle účinku na vlastnosti kaučukové směsi se plniva dělí nejčastěji na:

- Ztužující plniva, která obvykle zvyšují pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti oděru (např. jemné saze a srážená silika – velikost částic 0,01 až 0,1 μm).
- Poloztužující plniva, která obvykle zvyšují pevnost v tahu a strukturní pevnost, ale ne odolnost proti oděru (např. hrubé saze, tvrdý kaolín a sražený CaCO_3 – velikost částic 0,1 až 1 μm).
- Neztužující plniva, která vlastnosti vulkanizátů nezlepšují (např. měkký kaolín, CaCO_3 , mastek – velikost částic 1 – 10 μm).

2.7 Změkčovadla

Změkčovadla jsou málo těkavé organické látky, které poskytují polymerům ohebnost, tvárnost, vláčnost a snižují teplotu jejich skelného přechodu a viskozitu jejich taveniny. Jako zpracovatelské přísady se změkčovadla uplatňují především při přípravě kaučukových směsí. Po vmíchání do kaučuku usnadňuje jeho zpracování. Umožní také připravovat a zpracovávat kaučukové směsi s vysokým obsahem plniv, což je technicky i ekonomicky výhodné. [14]

- Pro nepolární a málo polární kaučuky se jako změkčovadel používá většinou olejovitých produktů rafinace ropy, některých vedlejších výrobků ze zpracování uhelných dehtů, případně z chemického zpracování dřeva (smrkový dehet).
- Pro polární kaučuky se používají syntetická změkčovadla, nejčastěji estery dikarboxylových kyselin a vyšších alkoholů.

2.8 Další zpracovatelské přísady

2.8.1 Plastikační činidla

Účelem plastikace je upravit zpracovatelnost kaučuku. Intenzivním hnětetím kaučuku dochází ke snižování jeho střední molekulové hmotnosti, aby její hodnota umožnila rychlé vmíchání přísad a výrobu homogenní směsi s požadovanou zpracovatelností. Proces plastikace přírodního kaučuku byl v minulosti často nazýván lámáním (nebo mastikací). U syntetických kaučuků se mluví o jejich odbourávání. Dnes již většina syntetických i přírodních kaučuků se však již dodává ve stavu umožňujícím jejich přímé zpracování. [3, 6]

2.8.2 Promotory, vazebná, dispergační a homogenizační činidla, maziva

2.8.2.1 Promotory

Mají příznivý vliv na dispergaci plniva ve směsi. Rovnoměrná disperze plniv ve směsi umožňuje dosažení lepších vlastností pryže, zejména vysoké životnosti při dynamickém namáhání.[3]

U sazí se projevuje i menší elektrickou vodivostí (větším měrným odporem) pryže. Výrazně horší disperze sazí v kaučukové směsi má za následek horší odolnost pryže k oděru, velké zhoršení pevnosti surových směsí a též jejich menší konfekční lepivost, což se projevuje hlavně u směsí ze syntetických kaučuků. Aby se dosáhlo dobré disperze sazí, byly vyvinuty speciální přísady – promotory, které mají aktivovat jejich chemické navázání na kaučuk při míchání.[3]

2.8.2.2 Vazebná, dispergační a homogenizační činidla

Dosáhnout dobré disperze u bílých plniv je ještě těžší než u sazí. Velmi aktivní bílá plniva vyvolávají značný vývoj tepla při míchání a tuhnutí kaučukových směsí při odležení, dříve se tento problém řešil tzv. dispergačními činidly. Byly to většinou látky odvozené od aminů a polyolů. [3]

Aminy se lépe osvědčovaly do přírodního kaučuku, polyoly do butadien - styrenového kaučuku. Později se objevil pojem homogenizační činidla, k nimž jsou dnes řazeny vedle alkoholů také pryskyřice i jejich směsi a rovněž některé polymery.[3]

Účinnější promotory pro bílá plniva, dnes většinou nazývanými vazebnými činidly, jsou organofunkční silany s nehydrolyzovatelnou organickou skupinou, navázanou obvykle přes krátký alkylový řetězec na atom křemíku substituovaný hydrolyzovatelnými alkoxy skupinami. Zlepšení vlastností kaučukových směsí i jejich vulkanizátů, obsahující bílá anorganická plniva, způsobuje opět interakci silanu jak s plnivem, tak s kaučukem. Pro světlá plniva jsou účinnější promotory zejména silany obsahující sírné funkční skupiny, reagující s kaučukem během vulkanizace. [3,6]

2.8.2.3 Maziva

Maziva byla původně vyvinuta pro usnadnění zpracování obtížně zpracovatelných plastů, ale později se stala základem zpracovatelských přísad do kaučuků, které dnes označujeme

jako pomocné zpracovatelské prostředky. Maziva často nejen usnadňují zpracovatelský proces, ale i zlepšují mnohé vlastnosti výrobku, např. vzhled povrchu, tepelnou a světelnou stabilitu, odolnost vůči povětrnosti. [3]

2.8.3 Pomocné zpracovatelské prostředky

Jsou to látky, které relativně v malých koncentracích (několika DSK) přidány do kaučukové směsi zlepšují její zpracovatelnost bez negativního ovlivnění užitečných vlastností výrobku. Jejich základem se stala maziva, jejich účinek však souvisí i s účinkem promotorů, dispergačních a homogenizačních činidel, spojovacích činidel neboli vazných prostředků. [3]

Jejich použití s sebou přináší významné technologické výhody, jež vyplývají převážně ze snížení viskozity kaučuku a tím se usnadní jeho pronikání do prostorů mezi agregáty plniva. Díky tomu je možno zkrátit dobu míchání směsi a z toho plyne úspora energie a vyšší produktivita výroby. Nižší viskozita kaučukové směsi umožňuje její tváření při menším smykovém namáhání, které je častou příčinou nežádoucího štěpení makromolekul. Méně štěpných reakcí při přípravě kaučukové směsi se projeví ve zlepšení fyzikálních vlastností pryže. [3]

2.8.4 Činidla zvyšující lepivost kaučukových směsí

Jedná se většinou o pryskyřice, jejich deriváty a směsi, které se přidávají do některých kaučukových směsí za účelem zlepšení jejich adheze. Jedná se buď o zvětšení lepivosti kaučukových směsí při konfekci, nebo o zlepšení adheze k výztužným materiálům. [3,6]

3 ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

3.1 Míchání kaučuku

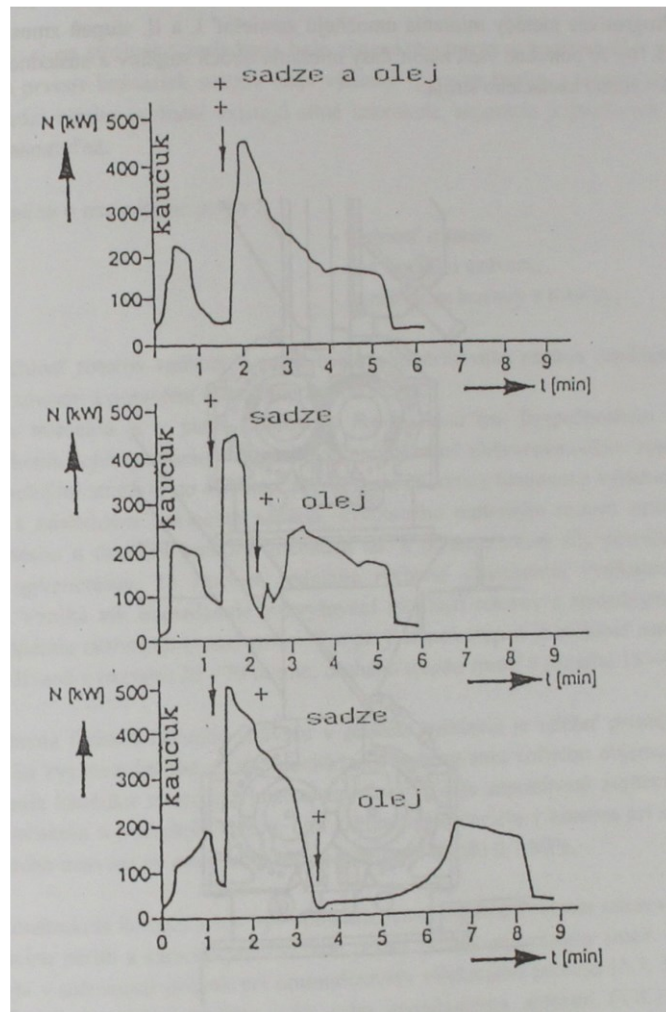
Syntetické kaučuky jsou obvykle vyrobeny s distribucí molekulových hmotností a viskozitou vyhovující jak požadavkům na zpracování, tak na vlastnosti vulkanizátů. Oproti tomu přírodní kaučuk získaný jen vysrážením z latexu má příliš vysokou molekulovou hmotnost a tedy i příliš vysokou viskozitu. Molekulová hmotnost NR je proto hned na začátku zpracování snížena procesy iniciovanými mechanickou energií tzv. plastikace kaučuku. [4]

Míchání je jeden z nejdůležitějších výrobních procesů gumárenské technologie, protože vlastnosti výrobků, následné zpracování a ekonomika výroby do značné míry závisí na kvalitě směsí. Vlastnosti vulkanizátů určuje nejen druh a množství složek ve směsi, ale i podmínky zpracování. Míchání musí zajistit stejnoměrné rozložení jednotlivých složek v každém objemu směsi. Jsou i směsi, u kterých se požadované vlastnosti lze dosáhnout jen při nedokonalém rozmíchání složek (např. odolnost proti oděru směsí z několika kaučuků, vysoká elektrická vodivost sazových směsí atd.). [4, 10]

Míchání se provádí na různých zařízeních. Vždy se požaduje dosažení dostatečného rozdělení složek ve směsi, zajištění co nejkratší doby míchání a dobré řízení teploty během míchání. [4]

Podle velikosti odporu, který kladou částice směsi vnější síle, jež na ně působí, lze míchání rozdělit na:

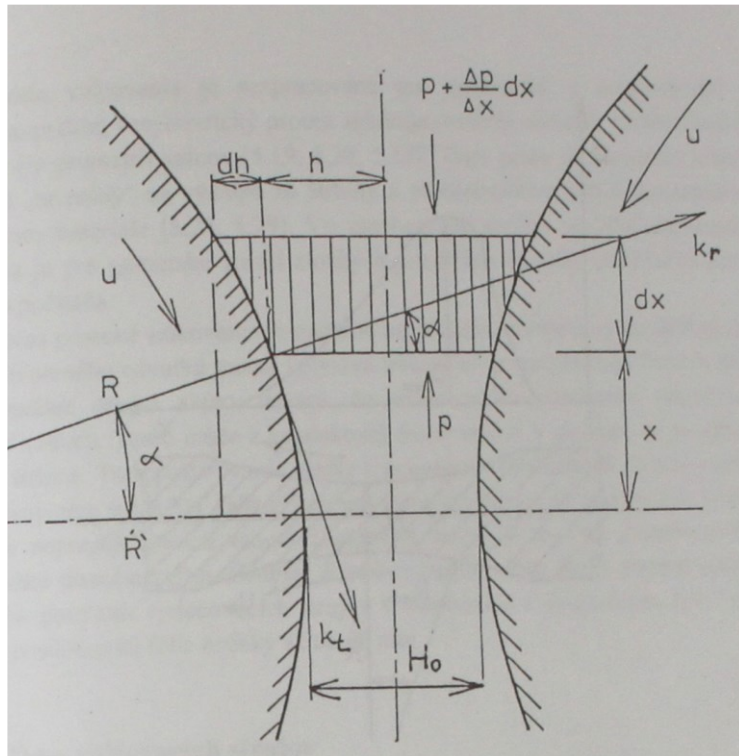
- Intenzivní míchání – homogenita závisí na intenzitě smykového namáhání systému (hnětiče)
- Extenzivní míchání – stupeň homogenity závisí na stupni tečení nebo na vytváření nového povrchu (míchačky)



Obrázek 5: Vliv přidání sazí a oleje na míchání [6]

3.1.1 Dvouválec

Míchání na dvouválci patří k diskontinuálním hnětacím strojům. Výhodou je velká plocha válců umožňující temperaci hmoty. Nevýhodou je nebezpečná obsluha, dlouhé míchací časy, nestejná kvalita. Při hnětení se na jednom válci vytvoří souvislá vrstva směsi a přebytek hmoty je nad mezerou mezi válci. Povrch vrstvy má menší obvodovou rychlost než válec druhý a tak dochází k hnětení. Poměr obvodových rychlostí se nazývá skluz. Hnětení je tím intenzivnější, čím větší je rozdíl obvodových rychlostí a čím menší je štěrbina mezi válci. [5]



Obrázek 6 : Poměry v štěrbině symetrického dvouválce [6]

Míchání na dvouválci patří spíše k překonaným technologiím a používá se především na promíchávání, přípravu speciálních směsí v malém množství, pro barevné směsi s vysokými nároky na dodržení odstínu a směsí pro houbovou pryž. V ostatních případech je již plně nahrazen hnětiči. [5]

3.1.2 Hnětiče

Začaly se zavádět do výroby okolo roku 1920, kdy už dvouválcové stroje nezvládaly zvyšující se nároky na produktivitu výroby. V gumárenském průmyslu se hnětací stroje používají k míchání směsí, plastikaci kaučuků a regeneraci pryžového odpadu. Další využití hnětičů je v průmyslu zpracování plastických hmot. [5]

Hlavní míchací účinek nastává mezi rotory a stěnou komory, kde v důsledku sbíhavého tvaru rotoru ke stěně dochází k největšímu stříhovému účinku. Štěrba bývá široká 6 -7 mm. Rozdílná rychlost otáčení obou rotorů a jejich profil umožňují neustálé převracení míchané směsi uvnitř pracovního prostoru ve všech směrech, což urychluje její homogenizaci. [10]

Aby směs byla dobře zamíchána, musí být pracovní prostor stroje optimálně vyplněn. Množství směsi se volí s přihlédnutím k objemu komory a hustotou směsi. Vhodná dávka se ověřuje srovnávacími zkouškami. Průměrná doba míchání na standardním hnětacím stroji je 8 – 10 minut. [10]

Hnětadla jsou část hnětičů, díky kterým dochází k samotnému procesu zamíchání kaučukové směsi, resp. hnětení. Základem je šroubovitý tvar, který způsobuje roztírání míchané směsi na stěny komory. Každé hnětadlo má jednu plochu s pravochoďým stoupáním a druhou s levochoďým, aby docházelo k promíchávání také podél osy hnětadla. [10]

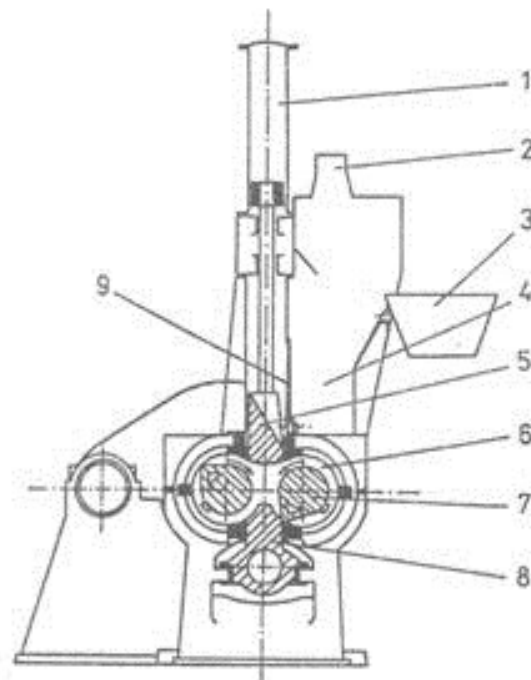
Hlavní vliv na práci hnětadel má jejich mezera mezi nimi a také místo mezi hnětadlem a stěnou komory. Vyrábějí se buď kováním z oceli, nebo odléváním z litiny. Pro zvýšení odolnosti proti opotřebení jsou nejvíce namáhané hrany navařovány tvrdokovem. Uložení hnětadel ve stroji je v kluzných nebo valivých ložiscích, které jsou od pracovního prostoru izolovány těsněním. [10]

- **Diskontinuální hnětiče**

Diskontinuální hnětiče, jsou buď konstruovány tak, že hnětadla do sebe nezasahují a mají různou obvodovou rychlost nebo do sebe hnětadla zasahují a mají stejnou obvodovou rychlost. Materiál je vtlačován klínem do prostoru mezi rotory, proto jsou to zařízení tlaková. Takový způsob míchání vede ke značnému vývinu tepla uvnitř míchací komory, což vyžaduje intenzivní chlazení. [5]

Dnešní nejnovější hnětací stroje jsou konstruovány s cílem co nejsnadnější údržby a maximální životnosti. Přizpůsobují se nejnovějším požadavkům na technologii a optimalizaci míchání směsi. Pracovní části stroje jsou vyrobeny z kvalitního tvrdokovu, který je vysoce odolný proti opotřebení, což zaručuje dlouhou životnost.[5]

Pohony těchto strojů mohou být hydraulické, asynchronní nebo stejnosměrné. Horní přítlačný klát je ovládán hydraulicky nebo pneumaticky. Samozřejmostí jsou plynule nastavitelné otáčky v průběhu míchání. Objemy míchacích komor těchto strojů se pohybují od 2,5 l, což jsou ty nejmenší používané zejména pro laboratorní měření, až po ty největší s objemy až 600 l. [5,10]



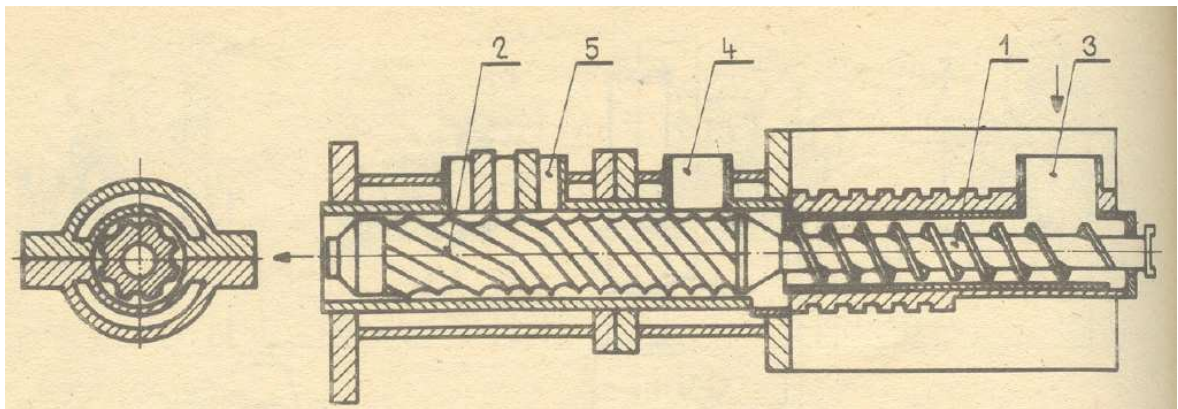
Obrázek 7: Tlakový hnětič 1 – vzduchový válec pro klín, 2 – odsávání prachu, 3 – plnění, 4 – plnicí násypka, 5 – přitlačný klín, 6 – míchací komora, 7 – hnětadla, 8 – spodní výpust, 9 - klapka

- **Kontinuální**

Požadavky na zvyšování produkce i kvality při přípravě směsi a úspor energie vedly k vývoji kontinuálních hnětičů. Zvládnou zplastikovat i špatně sypatelné materiály, nedochází zde k přehřívání, umožňují odplyňování, jsou rychle, snadno čistitelné, atd. Konstrukce kontinuálních hnětičů vychází ze šnekových vytlačovacích strojů. Konvenční šnekové stroje však mají malý hnětací účinek a proto se používá různých úprav, aby byla hmota vystavena intenzivnímu smykovému namáhání. Vyrábí se jednošnekové či vícešnekové stroje, které mají různé provedení s ohledem na druhy zpracovávaných materiálů. [5]

Hnětič Rotomil (viz. Obrázek 8)

Jednošnekový hnětič, který byl vyvinut k přípravě kaučukových směsí. Kaučuk vstupuje násypkou 3 do šneku 1, ve kterém se rozpracuje a dopraví do míchacího šneku 2, který má závit s velkým úhlem stoupání. Potřebné složky směsi se dávkuje pomocnými plnicími otvory 4,5. Zamíchaná směs se plynule dodává do vytlačovací hlavy, kde se převádí do požadované formy (např. granule). [10]



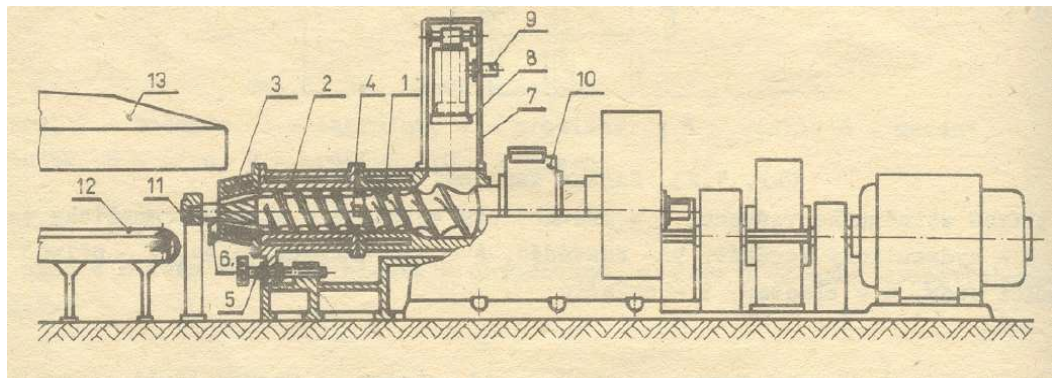
Obrázek 8.: Hnětič „Rotomil“

1-šnek, 2 - míchací šnek, 3 - násypka, 4,5 - pomocné plnicí otvory

Hnětič Gordon (viz. Obrázek 9)

Používá se k plastikaci přírodního kaučuku. Šnek 1 se otáčí v pracovním válci 2, který má chladicí komory. Šnek má vrtání pro vodní chlazení, je uložen v robustním ložisku 10 a pomocném ložisku 11. Přibližně v polovině je závit šneku přerušen a do tohoto prostoru zasahují profily 4, které překládají kaučuk před vstupem do druhé části šneku. Šnek přechází do kuželového zakončení, kde se axiálním posuvem může nastavit vůle, a tím ovlivnit poměry. K nastavování polohy hlavy slouží pohybový šroub 5. [5]

Nucené podávání kaučuku do šneku zajišťuje pneumaticky ovládaný beran 8. K zajištění polohy ve zvednuté poloze slouží západka 9, nezávisle na tlaku v potrubí pro rozvod stlačeného vzduchu. Plastikovaný kaučuk vystupuje z hlavy 3, kde rozřezává nožem 6 a rozvinuje do pásu. Pás se chladí na dopravníku 12. [5]



Obrázek 9 : Hnětič „Gordon“

1-šnek, 2-pracovní válec, 3-hlava, 4-profil, 5- pohybový šroub, 6-nůž, 7-nárypka, 8-beran, 9- západka, 10-ložisko, 11-pomocné ložisko, 12-dopravní pás, 13-odsávací kryt

Hnětič Transfermix

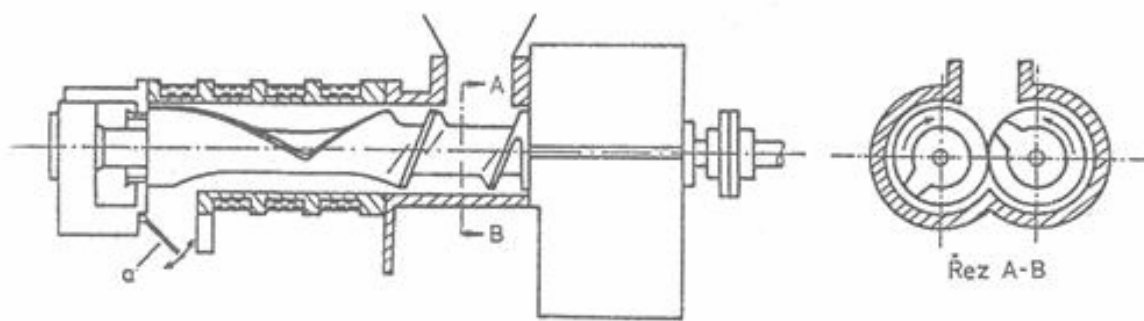
Má šnek kuželového tvaru a hloubka šnekového profilu se po délce šneku mění. Tento způsob hnětení umožňuje intenzivní prohnětení v celé hloubce materiálu. Vytlačovací hlava bývá většinou granulovací. [5]

KO hnětič

KO hnětič je šnekový vytlačovací stroj pro termoplasty i reaktoplasty s mezerami v závitech šneku, do kterých zasahují v řadách uspořádané a vhodně dimenzované hnětací zuby, upevněné na vnitřní straně pouzdra. Otáčející se šnek vykonává oscilační pohyb tak že mezery v závitě šneku těsně míjejí hnětací zuby. Plášť stroje je rozpůlen v podélném směru kvůli snadnému čištění. Nedostatkem KO hnětiče je pulsace hmoty na výstupu, což se dá odstranit vytlačovacím strojem. [5]

Hnětič FCM (viz. Obrázek 10)

Kontinuální hnětič typu FCM se nejvíce blíží tvarem hnětadel diskontinuálnímu hnětiči. Dvojice hnětadel do sebe nezasahuje a otáčí se proti sobě s odlišnými rychlostmi. Intenzita hnětení se reguluje škrťací klapkou, kterou se řídí odvod polymeru. Bývá vybaven pomocným vytlačovacím strojem pro granulaci. [5]



Obrázek 10: Hnětič FCM

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je sledovat vliv zpracovatelských parametrů na kvalitu kaučukové směsi. Konkrétně byl sledován vliv doby hnětení a otáček hnětiče na disperzi plniv a mechanické vlastnosti vulkanizátu.

Doporučený postup zpracování praktické části:

- Připravit kaučukovou směs při různých podmínkách míchání, jako jsou různé otáčky a doby míchání.
- Použít vhodné metody k testování vlivu zpracovatelských podmínek na vlastnosti pryže.
- Shrnout a vyhodnotit výsledky, napsat závěry práce.

5 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI

Pro studium vlivu otáček laboratorního hnětiče Promini-Farrel a doby hnětení na mechanické vlastnosti, byla připravena receptura směsi, kde základ tvořil SBR typ SBR 1500. Další složky tvořící kaučukovou směs byly saze N550, olej Nytex, ZnO, Stearin, urychlovač MBTS80 a síra. Receptura směsi je v tabulce 1.

5.1 Použité materiály

- **Kratex 1500** – SBR kaučuk, který obsahuje 23,5 % styrenu, není nadstavovaný, výrobce Synthos Kralupy, a.s.
- **N550** – poloztužující saze, které dodávají kaučukům průměrnou tvrdost a elasticitu, výrobce Cabot.
- **Olej Nytex** - olej se zvýšeným podílem aromatické složky, výrobce Cabot.
- **ZnO** - bílá práškovitá látka, nerozpustná ve vodě, vyrábí Zinkweis.
- **Stearin** - směs kyseliny stearové a kyseliny palmitové, výrobce Cabot.
- **MBTS 80** - poloautrální urychlovač pro vulkanizaci přírodních a syntetických kaučuků. Obsahuje 80% dibenzothiazyl disulfidu a 20% elastomerové pojivo a dispergační činidla, výrobce Cabot.
- **Vulkanox 4020** = N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-fenyl-p-fenylendiamin, výrobce Cabot.
- **Síra** – mletá krystalická síra (jejíž molekuly jsou tvořeny osmičlennými kruhy), výrobce Cabot.

Tabulka 1: Receptura zkušební směsi

Složka	DSK
SBR 1500	100,0
N550	60,0
olej Nytex	5,0
Vulcanox 4020	1,5
ZnO	3,0
stearin	2,0
MBTS 80	1,0
síra	2,5
Celkem	175,0

5.2 Postup míchání

K přípravě kaučukové směsi byl použit laboratorní hnětič Promini-Farrel o objemu 0,4 dm³. Plnění hnětiče bylo 70 % celkového objemu. Směs dle receptury byla míchána při pěti různých otáčkách, jmenovitě 59, 80, 100, 150 a 200 ot/min při teplotě komory 70 °C. Pro každé otáčky byla směs míchána 3 × a postup přidávání jednotlivých složek je v tabulce 2.

Tabulka 2: Přidávání složek směsi do hnětiče

čas míchání [min.]	přísada
0	Kaučuk
1,5	ZnO + stearin + vulkanox
3	3/4 sazí
6	1/4 sazí + olej
8	vypuštění směsi

Každá dávka byla přenesena na dvouválec od firmy Farrel typu G-2603 150×330 mm o mezeře mezi válci 1 mm, otáčkách předního válce 12 ot/min a 15 ot/min zadního válce, kde se směs ochladila na 50 °C během 2 minut, během této doby byla směs 1 × prořezána z každé strany.

Všechny tři ochlazené dávky, byly následně smíchány dohromady po dobu 5 minut a směs byla prořezána 3 × z každé strany. Po zchladnutí byla zase rozdělena na 3 části, do první části byl na dvouválci během 5 minut zamíchán urychlovač a síra. Druhá a třetí část byly ještě jednou zamíchány v hnětiči při stejných otáčkách jako původně po dobu 2 respektive 5 minut. Po vyhození z hnětiče se na dvouválci v 5 minutách při 50 °C domíchal urychlovač a síra.

5.3 Příprava zkušebních vzorků

Pro každou směs byly vylišovány 3 destičky o rozměrech 150×150×2 mm a 2 kolečka o tloušťce 6 mm při 150 °C po dobu zjištěnou z vulkanizační křivky. Vulkanizační křivky byly měřeny na vulkametru Monsanto 100 dle normy ČSN 62 1416 a následně byla zjištěna optimální doba vulkanizace, která se u všech vzorků pohybuje kolem 35 min při 150 °C. Pro dosažení co nejvíce shodného stupně vulkanizace byl tedy čas vulkanizace vzorků zvoleno 40 min.

Z vylisovaných destiček bylo pro každou směs vyraženo 10 zkušebních těles na tahovou zkoušku a 6 zkušebních těles na strukturní pevnost. Z vylisovaných koleček se měřila dispergace plniv.

6 PROVEDENÉ ZKOUŠKY

6.1 Tahová zkouška

Tahové zkoušky dávají obraz o základních vlastnostech materiálu. Lze s ním zjistit nejen konečné zatížení (pevnost) a konečné prodloužení, ale i zatížení potřebné k určitému prodloužení (modul), který často slouží jako měřítko při hodnocení pryže. [7,8]

Pevnost v tahu

Pevnost v tahu je zatížení potřebné k přetržení zkušebního tělíska. Stanoví se při přetržení tělíska, vztaženého na původní průřez. Při použití oboustranných lopatek. [7]

$$\sigma = \frac{P}{bs} \quad (2)$$

kde σ ...pevnost v tahu [kg/cm^2], P ...zatížení při přetržení [kg], b ...původní šířka pracovní části [cm], s ...počáteční tloušťka pracovní části [cm]

Prodloužení

Prodloužení je rozdíl měřené délky pracovní části zkušebního tělesa v určitém okamžiku zkoušky a původní délky pracovní části. Prodloužení v libovolném okamžiku napínání zkušebního tělesa se stanoví podle vzorce:

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (3)$$

kde ε ...prodloužení [%], vztažené na původní délku pracovní části, l ...vzdálenost rysek pracovní části [cm], l_0 ...původní vzdálenost pracovní části [cm].

Modul

Modul je poměrné napětí, při kterém se dosáhne určitého předem zvoleného prodloužení pracovní části zkušebního tělesa. Modul se stanoví podle jakosti zkoušeného materiálu při různých prodlouženích. Modul se u zkušebního tělesa tvaru oboustranné lopatky stanoví podle vzorce:

$$\sigma_x = \frac{P_x}{bs} \quad (4)$$

kde σ_x ...modul [$\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$] při x % prodloužení, P_x ...zatížení [kg] při x % prodloužení, b ...původní šířka pracovní části [cm], s ...počáteční tloušťka pracovní části [cm].

Tažnost

Tažnost je prodložení při přetržení a je dána rozdílem délky pracovní části zkušebního tělesa při přetržení k původní délce pracovní části, podle vzorce:

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (5)$$

kde ε_p ...tažnost [%], l_p ...vzdálenost rysek pracovní části [cm], l_0 ... původní vzdálenost pracovní části [cm]. [7]

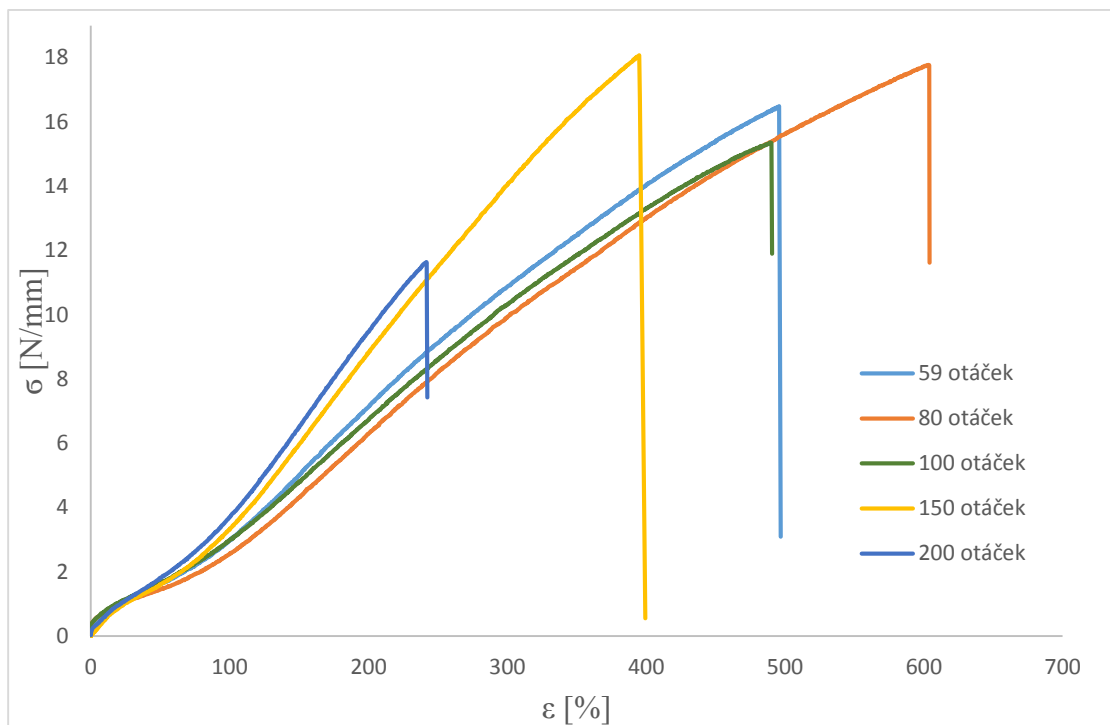
Výsledky měření tahové zkoušky

Tahová zkouška byla provedena dle ČSN ISO 37 (621436). Typ zkušebního tělesa byl S2 a rychlost posunu čelistí byla 500 mm/min.

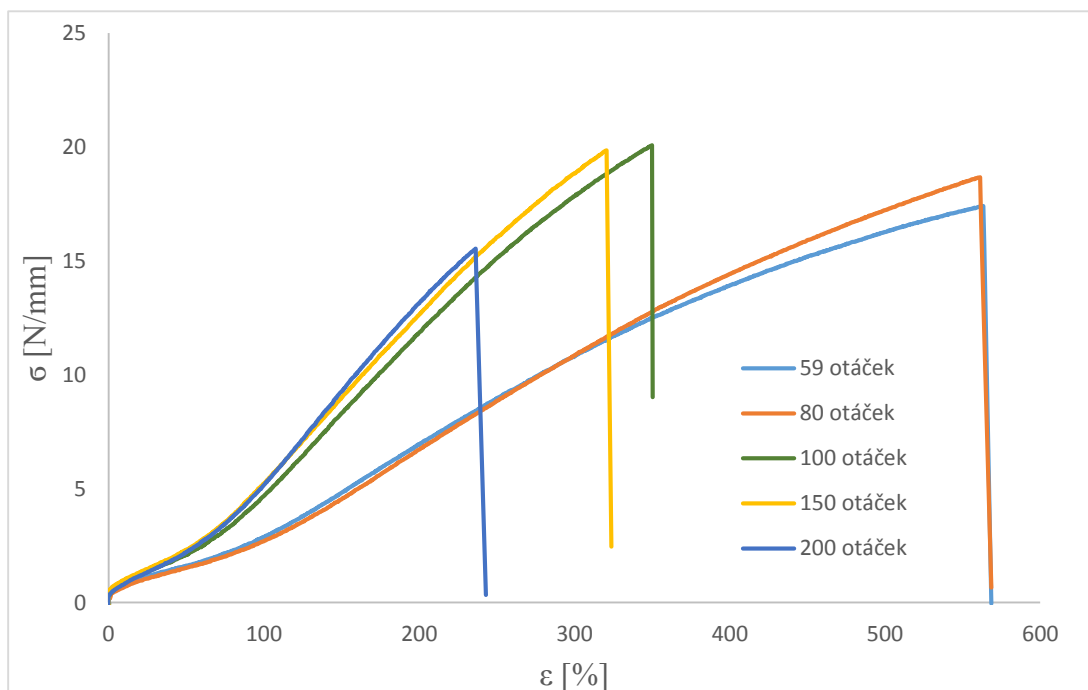
V tabulce 3 jsou výsledky napětí při přetržení pro různé otáčky a časy míchání. Obrázky 11 – 13 ukazují průběh tahových křivek pro časy míchání 8, 8 + 2 a 8 + 5 min. Z výsledků v tabulce 3 a obrázků 11 až 14 vidíme, že s rostoucími otáčkami napětí při přetržení roste do 100 – 150 ot/min a poté začne klesat. Pokud sledujeme čas, po který směs zůstala v hnětiči, zjistíme, že nejvyšších hodnot napětí při přetržení bylo dosaženo pro čas 8 + 2 min při 100 – 150 ot/min, což by značilo nejlepší distribuci částic.

Tabulka 3: Výsledky tahové zkoušky napětí při přetržení

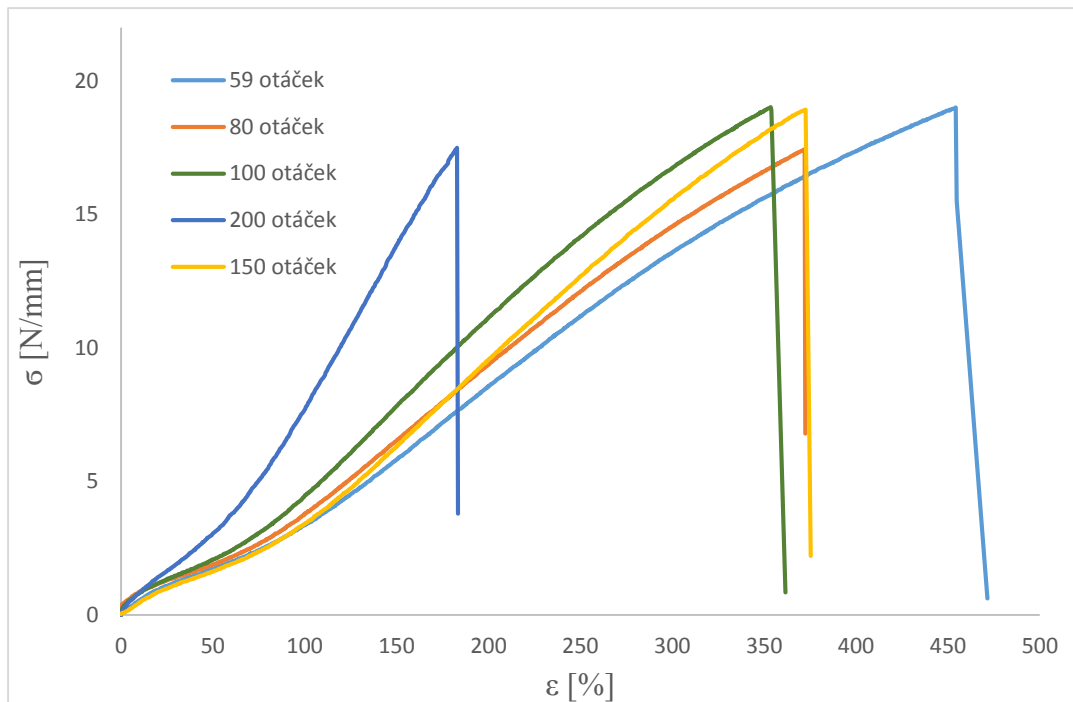
Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	σ_B [MPa]	Δs [MPa]	σ_B [MPa]	Δs [MPa]	σ_B [MPa]	Δs [MPa]
59	16,8	0,6	17,8	0,5	17,3	1,1
80	17,5	0,5	19,1	0,4	18,5	0,8
100	18,3	0,9	19,9	0,6	19,4	1,0
150	15,9	0,6	19,8	1,2	18,8	0,9
200	11,6	0,6	15,9	0,6	17,2	0,9



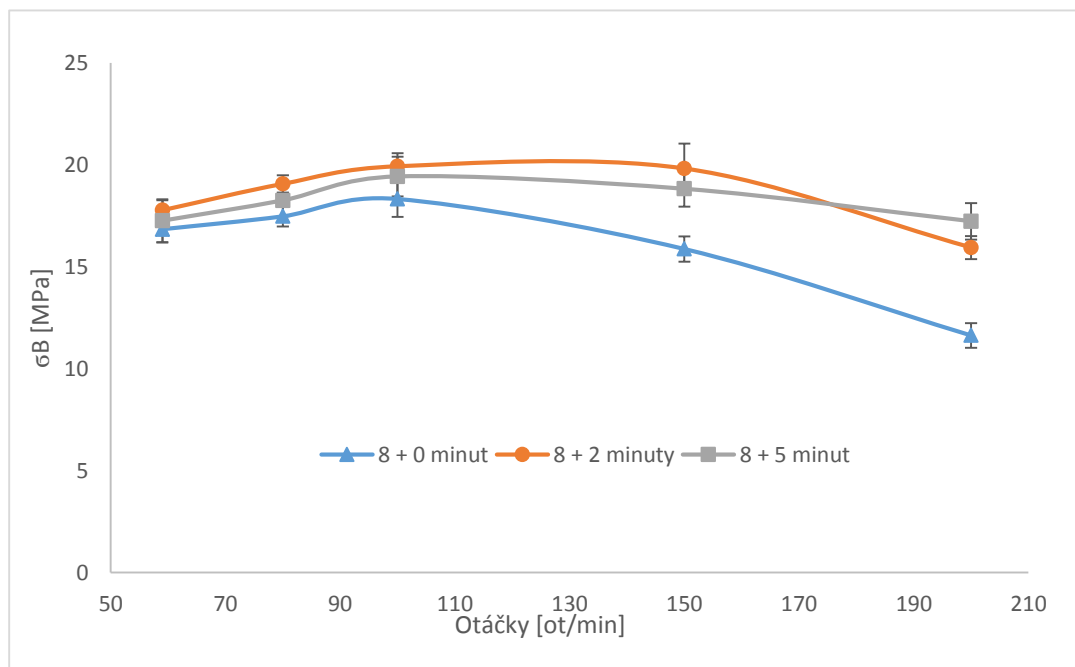
Obrázek 11: Závislost napětí na prodloužení pro směsi s dobou v hnětiči 8 + 0 min.



Obrázek 12: Závislost napětí na prodloužení pro směsi s dobou v hnětiči 8 + 2 min



Obrázek 13: Závislost napětí na prodloužení pro směsi s dobou v hnětiči 8 + 5 min.



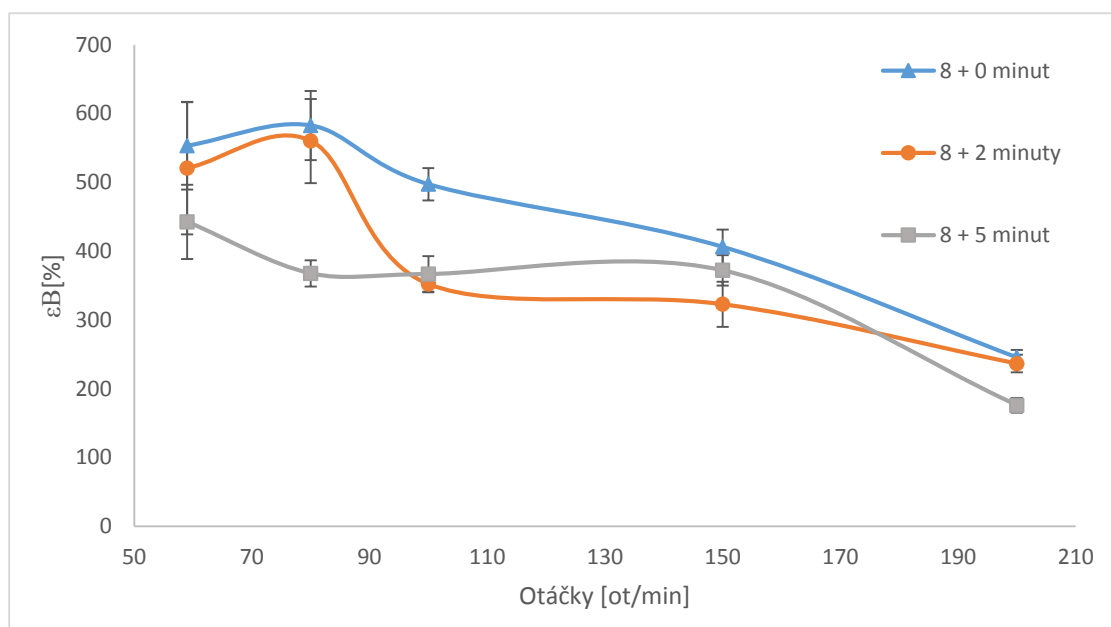
Obrázek 14: Napětí při přetržení

V tabulce 4 jsou výsledky prodloužení při přetržení pro různé otáčky a časy míchání. Z výsledků v tabulce 4 a obrázku 15 vidíme, že prodloužení při přetržení se zvyšujícími se otáčkami postupně klesá. Malý nárůst pro otáčky 80 ot/min je v rámci statistické chyby. Pokud

sledujeme čas, po který směs zůstala v hnětiči, zjistíme, že nejvyšších hodnot prodloužení při přetržení bylo dosaženo pro čas 8 + 0 minuty.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty prodloužení při přetržení

Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	ϵ_B [%]	Δs [%]	ϵ_B [%]	Δs [%]	ϵ_B [%]	Δs [%]
59	553,25	63,60	520,61	96,43	442,68	54,02
80	582,66	50,24	560,16	61,07	367,61	19,23
100	497,26	23,44	352,03	11,87	366,66	25,84
150	406,21	24,99	322,70	32,96	372,00	22,00
200	245,59	10,90	236,47	12,79	175,79	10,82

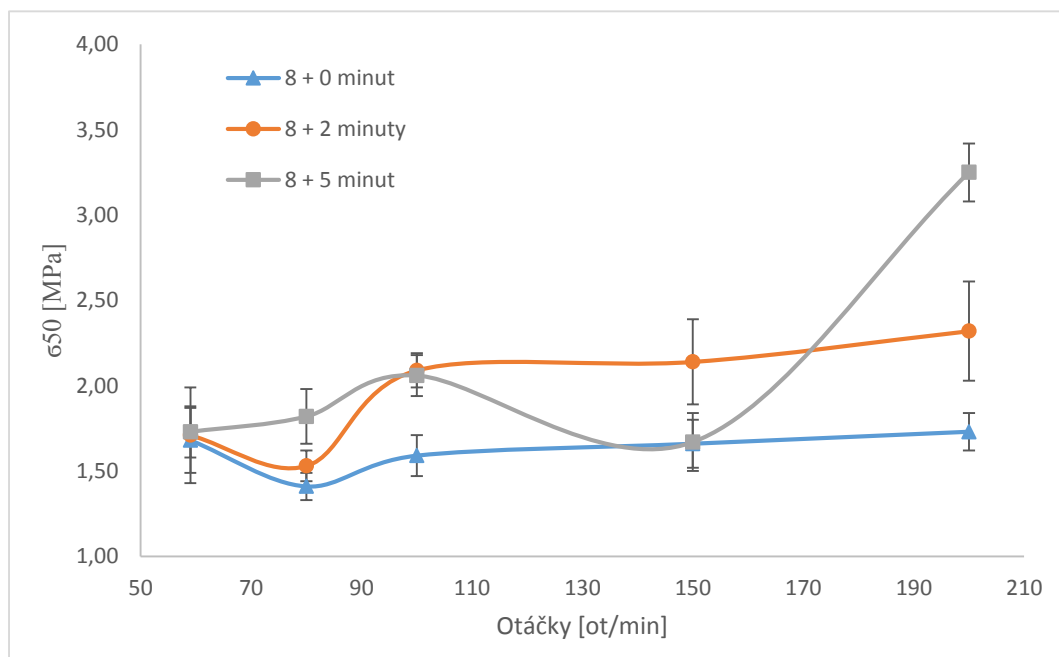


Obrázek 15: Prodloužení při přetržení

V tabulce 5 jsou výsledky napětí při 50 % prodloužení pro různé otáčky a časy míchání. Z výsledků v tabulce 5 a obrázku 16 vidíme, že napětí pro 80 ot/min mírně poklesne, a dále s rostoucími otáčkami modul 50 roste. Pokud sledujeme čas, po který směs zůstala v hnětiči, zjistíme, že nejnižších hodnot napětí bylo u času hnětení 8 + 0 minuty.

Tabulka 5: Naměřené výsledky – Modul 50

Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	σ_{50} [MPa]	Δs [MPa]	σ_{50} [MPa]	Δs [MPa]	σ_{50} [MPa]	Δs [MPa]
59	1,68	0,19	1,71	0,28	1,73	0,15
80	1,41	0,08	1,53	0,09	1,82	0,16
100	1,59	0,12	2,09	0,10	2,06	0,12
150	1,66	0,14	2,14	0,25	1,67	0,17
200	1,73	0,11	2,32	0,29	3,25	0,17

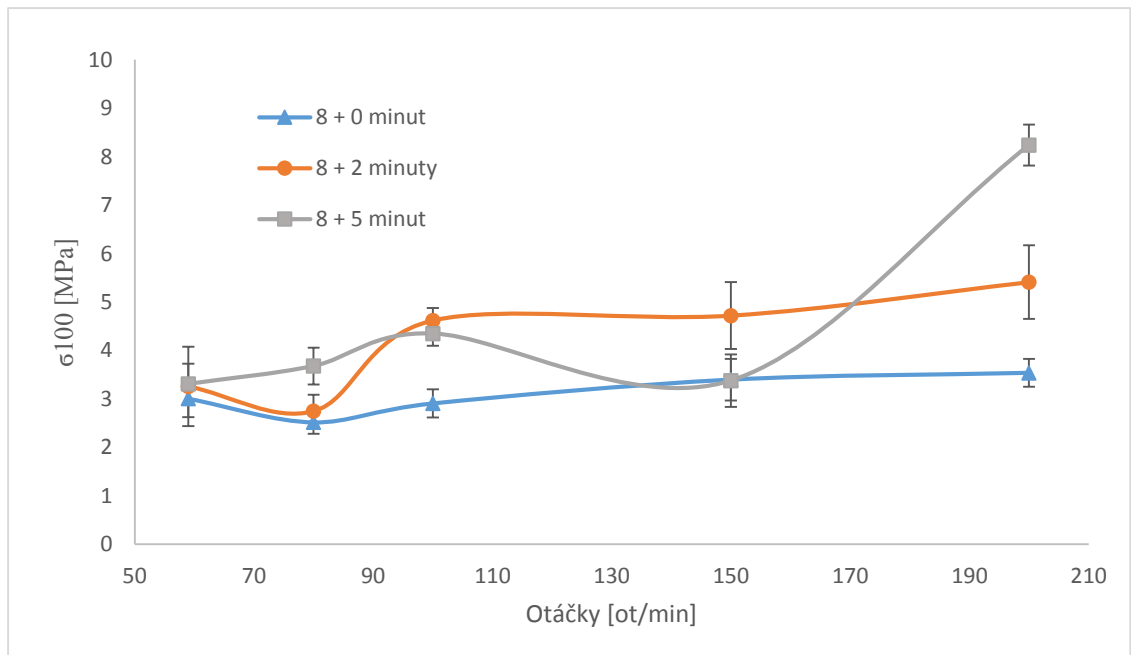


Obrázek 16: Modul 50

V tabulce 6 jsou výsledky napětí při 100 % prodloužení pro různé otáčky a časy míchání. Podobně jako u předchozího grafu, větší nárůst M_{100} je až od 100 ot/min. Z časové závislosti v obrázku 17 můžeme pozorovat, že nejnižší napětí je pro nejkratší čas míchání a s pro oba delší časy míchání se M_{100} zvýšilo na přibližně stejnou hodnotu. S výjimkou nejvyšších otáček pro nejdelší čas, kde došlo k výraznému nárůstu.

Tabulka 6: Naměřené výsledky – Modul 100

Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	σ_{100} [MPa]	Δs [MPa]	σ_{100} [MPa]	Δs [MPa]	σ_{100} [MPa]	Δs [MPa]
59	3,01	0,38	3,26	0,82	3,31	0,42
80	2,52	0,24	2,75	0,34	3,68	0,38
100	2,91	0,29	4,62	0,26	4,35	0,25
150	3,40	0,43	4,72	0,69	3,38	0,54
200	3,54	0,29	5,41	0,76	8,24	0,42



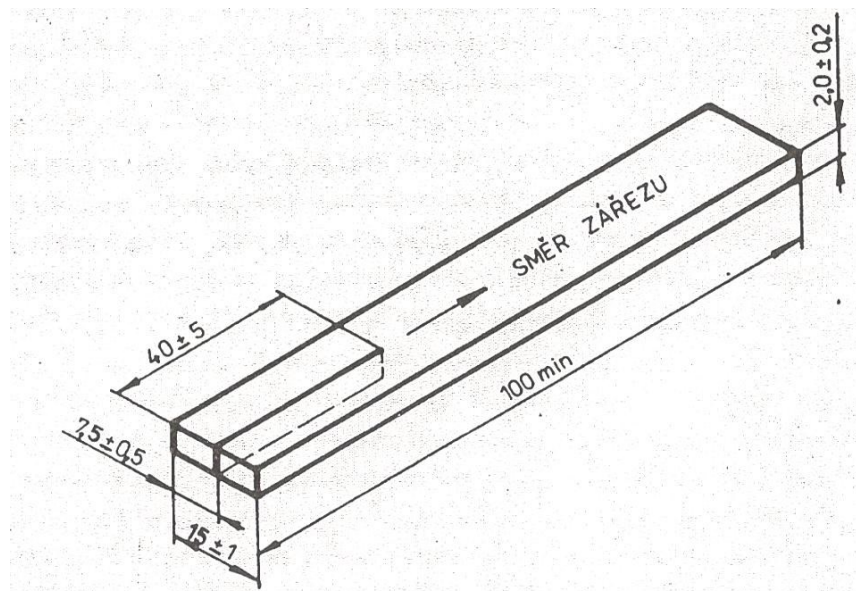
Obrázek 17: Modul 100

6.2 Strukturální pevnost

Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhačského stroje, tahem a měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles. Výsledky nám, říkají jak dobře materiál, odolává růstu prasklin pod tahovým napětím. Materiál s nízkou strukturální pevností bude mít menší odolnost proti oděru, a když se poškodí, rychle praskne. [9]

Výsledky měření strukturní pevnosti

Zkouška byla měřena dle ČSN 62 1459. Bylo použito zkušební tělísko tvaru trouser (resp. kalhoty; viz. obrázek 18)

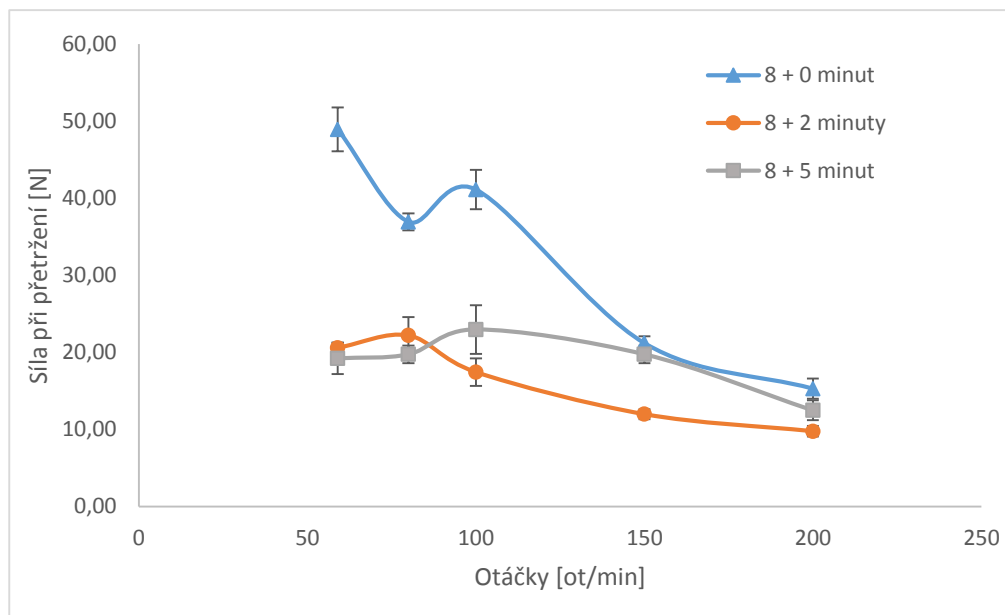


Obrázek 18: Strukturní pevnost – zkušební tělísko

V tabulce 7 a obrázku 19 a můžeme pozorovat, že čím vyšší otáčky použijeme, tím má materiál menší strukturní pevnost, resp. je potřeba menší síla na přetržení. Dále je z grafu zřejmé, že směs 8 + 0 minut v hnětiči při nižších otáčkách měla o dost větší strukturní pevnost než směsi, co byly v hněteny opětovně. Avšak při 150 ot/min už rozdíly nejsou patrné. Nejnižších hodnot dosahovala směs s dobou hnětení 8 + 2 minuty.

Tabulka 7: Strukturní pevnost – síla při přetržení

Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	síla [N]	Δs [N]	síla [N]	Δs [N]	síla [N]	Δs [N]
59	48,92	2,84	20,60	0,68	19,24	2,03
80	36,92	1,10	22,20	2,40	19,76	1,14
100	41,11	2,56	17,44	1,78	22,98	3,16
150	21,20	0,90	11,99	0,64	19,76	1,14
200	15,30	1,30	9,78	0,69	12,50	1,30



Obrázek 19: Strukturální pevnost

6.3 Tvrdost

Jestliže se tupý předmět vtlačuje do povrchu tuhé hmoty, vznikne na povrchu prohloubenina. Je-li to u kovů nebo podobných materiálů, vznikne trvalá deformace. U pryže se tvrdost musí měřit během vtlačování, protože nevzniká trvalá deformace. Odolnost pryže proti vtlačování závisí při malých deformacích na modulu pružnosti, rozměru zkušební tělesa a na rozměru vtlačovaného tělesa. [7]

Metoda Shore A

Je vhodná pro měření tvrdosti pryže v rozmezí 30 – 75 dílků Shoreovy stupnice. Podstatou stanovení tvrdosti metodou Shore A je měření odporu proti vtlačení ocelového hrotu do zkoušeného pryžového materiálu. [7]

Naměřené hodnoty

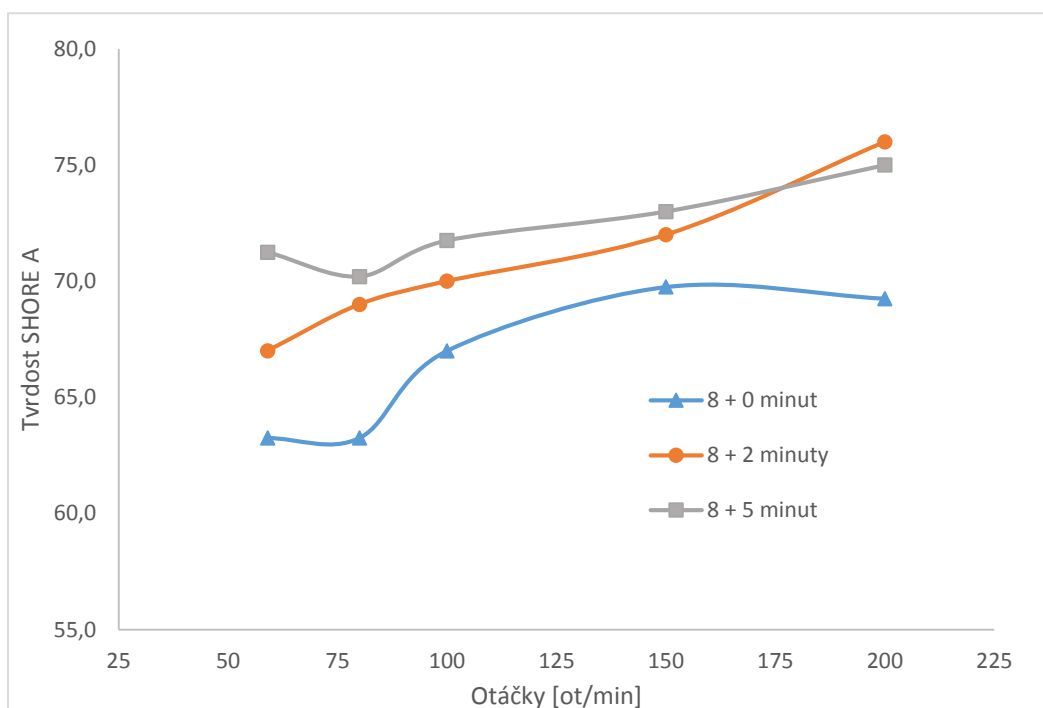
Zkouška byla provedena podle ČSN ISO 7619-1 metodou Shore A.

V tabulce a obrázku 16 vidíme stoupat tvrdost s narůstajícími otáčkami, což víceméně odpovídá i předcházejícím tahovým zkouškám a strukturální pevnosti.

V tabulce 8 jsou výsledky tvrdosti SHORE A pro různé otáčky a časy míchání. Z výsledků v tabulce 8 a obrázku 20 vidíme, že s rostoucími otáčkami tvrdost roste. Pokud sledujeme čas, po který směs zůstala v hnětiči, zjistíme, že čím delší doba hnětení, tím je větší i tvrdost kaučukové směsi.

Tabulka 8: Výsledky tvrdosti

Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut	8 + 2 minuty	8 + 5 minut
	Stupně tvrdosti SHORE A		
59	63,3	67,0	71,3
80	63,3	69,0	70,2
100	67,0	70,0	71,8
150	69,8	72,0	73,0
200	69,3	76,0	75,0



Obrázek 20: Tvrdost

6.4 Dispergace

Rozmístění sazových částic a jiných plniv a velikost jejich aglomerátů v kaučukové směsi má důležitý vliv na vlastnosti výrobku. Během míchání jsou částice sazí rozbity mícháním a následně zapracovány do kaučukové směsi. Čím vyšší je stupeň rozrušení částic, tím vyšší je specifický povrch sazí. Tohle určuje vliv sazí jako aktivního plniva a/nebo ztužení. Větší specifický povrch, který odpovídá vyššímu povrchu smočených částic, vede k lepším vlastnostem výrobku. [9]

Podle normy ASTM D7723-11 musí mít odražené světlo u použitého mikroskopu takový výkon, aby bylo schopno zobrazit rozlišení 1 μm , 3 μm nebo 10 μm a osvětlení tmavého pole.

Dispergace se může vypočítat dvěma způsoby a to jako hodnota D nebo Z. Pro výpočet hodnoty D platí následující vztah:

$$D = \frac{100 - 100 \cdot U_{RF\%}}{L} \quad (6)$$

Kde $U_{RF\%}$ je procento celkového snímání z nedispergovaného plniva naměřené v odrazu a L je objemová frakce plniva ve směsi. Pokud není hodnota L dána nebo neznámá, je třeba vypočítat hodnotu Z podle následujícího výrazu:

$$Z = \frac{100 - 100 \cdot U_{RF\%}}{0,35} \quad (7)$$

Kde číslo 0,35 je zde z důvodu toho, že se v hodnotě Z předpokládá maximálně 35 % bílé plochy.

Následující vlastnosti jsou ovlivněny disperzí částic sazí:

- Odolnost proti oděru
- Napětí při přetržení
- Modul v tahu



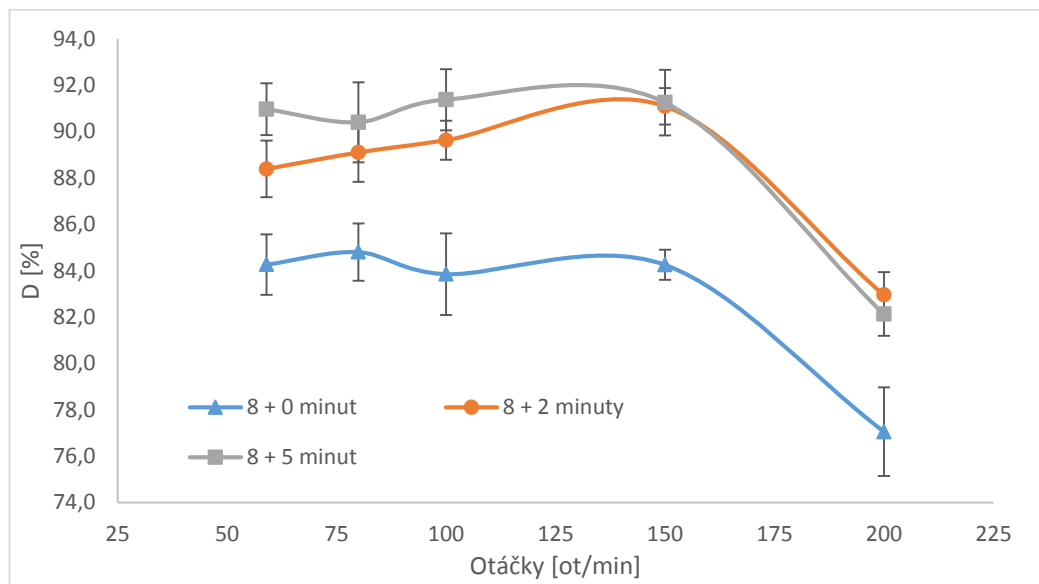
Obrázek 21: Přístroj na měření dispergace

Naměřená data:

V tabulce 9 a 10 jsou výsledky dispergace D a Z pro různé otáčky a časy míchání. Z výsledků v tabulce 10 - 11 a obrázku 22 - 23 můžeme pozorovat, že hodnoty jsou víceméně stejné do 150 ot/min a pak výrazně klesnou. Pokud sledujeme čas, po který směs zůstala v hnětiči, zjistíme, že čím delší doba hnětení, tím je větší i dispergace kaučukové směsi.

Tabulka 9: výsledky - D

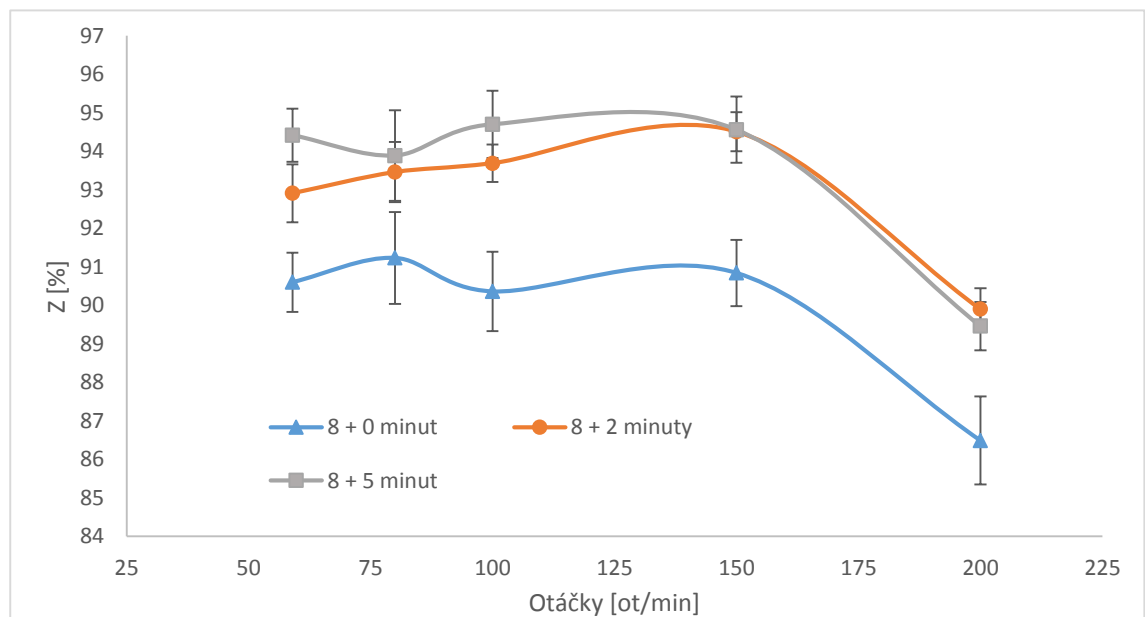
Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	D [%]	Δs [%]	D [%]	Δs [%]	D [%]	Δs [%]
59	84,3	1,31	88,4	1,22	91,0	1,12
80	84,8	1,24	89,1	1,27	90,4	1,73
100	83,9	1,76	89,6	0,84	91,4	1,32
150	84,3	0,65	91,1	0,79	91,3	1,42
200	77,1	1,91	83,0	0,99	82,1	0,93



Obrázek 22: Dispergace D

Tabulka 10: Výsledky - Z

Otáčky [ot/min]	8 + 0 minut		8 + 2 minuty		8 + 5 minut	
	Z [%]	Δs [%]	Z [%]	Δs [%]	Z [%]	Δs [%]
59	90,6	0,77	92,9	0,75	94,4	0,69
80	91,2	1,19	93,5	0,78	93,9	1,18
100	90,4	1,03	93,7	0,49	94,7	0,87
150	90,8	0,86	94,5	0,51	94,6	0,86
200	86,5	1,14	89,9	0,54	89,5	0,63



Obrázek 23: Dispergace Z

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá studiem vlivu míchání v laboratorním hnětiči na výsledné vlastnosti pryže. Teoretická část popisuje jednotlivé složky, které se můžou do směsi přidávat a dále přístroje, které slouží pro přípravu směsí.

Praktická část sleduje vliv míchání v hnětiči na mechanické vlastnosti a dispergaci plniva. Byla připravena vzorová směs na bázi SBR kaučuku, který se v hnětiči zpracovával za různých podmínek, jako jsou odlišné otáčky a čas strávený v hnětiči. Připravená směs byla následně z vulkanizována a byly sledovány následující vlastnosti – tahové chování, zkouška strukturní pevnosti, tvrdost a dispergace plniv.

Výsledky tahové zkoušky ukázaly, že s rostoucími otáčkami se zvyšuje napětí při přetržení směsi do hodnoty asi 100 – 150 ot/min, poté nastává pokles. Naopak prodloužení při přetržení s rostoucími otáčkami výrazně klesá. Pokud srovnáme tyto vlastnosti v závislosti na čase, který směs stráví v hnětiči, tak zjistíme, že nejvyšších hodnot napětí dosáhneme u 8 + 2 min a prodloužení u 8 + 0 min.

Strukturní pevnost s rostoucími otáčkami klesá. Vliv doby hnětení ukázal, že největší hodnoty byly dosaženy pro nejkratší čas zpracování 8 + 0 min.

Dispergace plniva, měřená na přístroji DiperGRADER⁺ ukázala, že největší hodnota disperze byla při 150 ot/min a pro čas hnětení 8 + 5 min.

Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější podmínky pro přípravu podobných směsí jsou otáčky 100 – 150 ot/min. A doba setrvání v hnětiči 8 + 2 min.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery*. Zlín: ČSVTS, 2006. ISBN 80-02-01784-6.
- [2] DVOŘÁK, Zdeněk a Jakub JAVOŘÍK. *Elastomerní konstrukční materiály*. Zlín: ČSVTS, 2009. ISBN 978-80-02-02155-1.
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Gumárenské zpracovatelské přísady*. Zlín: ČSVTS, 2008. ISBN 978-80-02-01993-0.
- [4] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie* [online]. 2005- [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>
- [5] LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů a zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita liberec, 2002- [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm#033
- [6] PREKOP, Štefan, Ladislav VÁRKOLY a Anton KUČMA. *Gumárska technológia I*. Žilina: EDIS, 1998. ISBN 80-7100-483-9.
- [7] KUBÍK, Josef a Arnošt ZYTKA. *Gumárenská technologie V*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. ISBN 04-618-62.
- [8] BAUMAN, Judson T. *Fatigue, Stress, and Strain of rubber components*. Munich: Hanser, 2008. ISBN 978-3-446-41681-9.
- [9] *Mechanické vlastnosti a odolnost proti degradaci u pryže* [online]. Zlín: UTB [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cach:sq9uqf14iU8J:www.utb.cz/file/36227_1_1/+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [10] PALÁDI, Ondřej. *Vliv rychlosti míchání syntetického kaučuku na parametry míchacího zařízení*. Zlín, 2009. Bakalářská práce. UTB. Vedoucí práce Ing. Richard Pospíšil.
- [11] DUCHÁČEK, Vratislav. *Vulkanizační činidla*. Zlín, 2003. ISBN 80-02-01525-8.
- [12] DUCHÁČEK, Vratislav. *Urychlovače vulkanizace*. Zlín: ČSVTS, 2013. ISBN 978-80-02-02429-3.
- [13] SVOBODA, Jiří. *Antidegradanty pro kaučuk a pryž*. Zlín, 1997.
- [14] DUCHÁČEK, Vratislav. *Změkčovadla*. Zlín: ČSVTS, 2011. ISBN 978-80-02-02287-9.
- [15] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikářská technologie*, Vydavatelství VUT Brno, Brno 1987.

[16] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*, Praha: Scientia, 2009, ISBN 978-80-86960-29-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NR	Přírodní kaučuk
SBR	Styren – butadienový kaučuk
IIR	Butylkaučuk (kopolymer isobutylen – isopren)
BR	Butadienový kaučuk
IR	Isoprenový kaučuk (syntetický polyisopren)
EPDM	etylen propylen dienový kaučuk
CR	chloroprenový kaučuk
σ	napětí
ε	prodloužení
Δs	Směrodatná odchylka

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Přírodní kaučuk – vzorec	13
Obrázek 2: Čerpání přírodního kaučuku	13
Obrázek 3 : SBR – vzorec	14
Obrázek 4 : Vykvétání síry – zvětšeno 58-krát a 150-krát	17
Obrázek 5: Vliv přidání sazí a oleje na míchání	28
Obrázek 6 : Poměry v štěrbině symetrického dvouválce	29
Obrázek 7: Tlakový hnětič	31
Obrázek 8. Hnětič „Rotomil“	32
Obrázek 9 : Hnětič „Gordon“	33
Obrázek 10: Hnětič FCM	34
Obrázek 11: závislost $\bar{\sigma}$ na ε pro dobu v hnětiči 8 + 0 minut	42
Obrázek 12: závislost $\bar{\sigma}$ na ε dobou v hnětiči 8 + 2 minuty	42
Obrázek 13: závislost $\bar{\sigma}$ na ε dobou v hnětiči 8 + 5 minut	43
Obrázek 14: napětí při přetržení	43
Obrázek 15: Prodloužení při přetržení	44
Obrázek 16: Modul 50	45
Obrázek 17: Modul 100	46
Obrázek 18: Strukturální pevnost – zkušební tělísko	47
Obrázek 19: Graf 8_ strukturální pevnost	48
Obrázek 20: Graf 9_Tvrđost	49
Obrázek 21: Přístroj na měření dispergace	50
Obrázek 22: Graf 10_dispergace D	52
Obrázek 23: Graf 11_dispergace Z	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Složení směsi	37
Tabulka 2: Přidávání složek směsi do hnětiče	38
Tabulka 3: Výsledky napětí při přetržení	41
Tabulka 4: Naměřené hodnoty prodloužení při přetržení	44
Tabulka 5: Naměřené výsledky – Modul 50	45
Tabulka 6: Naměřené výsledky – Modul 100	46
Tabulka 7: Strukturální pevnost – síla při přetržení	47
Tabulka 8: Výsledky tvrdosti	49
Tabulka 9: výsledky – D	51
Tabulka 10: Výsledky – Z	52