

Vliv surovin na zpracovatelské vlastnosti kaučukových směsí

Bc. Ivana Zaoralová

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ivana Zaoralová**
Osobní číslo: **T11043**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv surovin na zpracovatelské vlastnosti
kaučukových směsí**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

Zpracujte teoretickou studii na zvolené téma.

II. Experimentální část

1. Zkušební směsi EPDM
2. Zkušební stroje – laboratorní měření
3. Statistika měření – výsledky a diskuse
4. Plánovaný experiment
5. Formulace závěru

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

DVOŘÁK, Zdeněk - Zpracovatelské procesy gumárenské

DUCHÁČEK, Vratislav - Gumárenské suroviny a jejich zpracování

MALÁČ, Jiří - Gumárenská technologie (web utb)

FRANTA, Ivana - Gumárenská technologie I.,II.

ŠPAČEK, Josef - Technologie gumárenská a plastikářská II.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

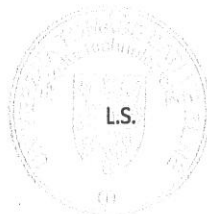
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Bc. ZAORALOVÁ IVANA

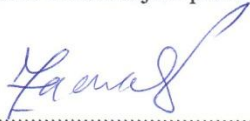
Obor: Řízení jakosti

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 4.4.2014


.....

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). Odprá-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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem surovin na zpracovatelské vlastnosti kaučukových směsí. Veškerá měření, byla prováděna na přístrojích firmy Alpha Technologies.

Naměřené vzorky byly vyhodnoceny pomocí lineární regrese v grafech a stanoven patřičný závěr.

V teoretické části je zpracována literární rešerše na téma: rozdělení kaučukových směsí, skladba kaučukové směsi, příprava kaučukové směsi, zkoušení vlastností a technologie zpracování.

Klíčová slova: kaučuková směs, vliv surovin, zpracovatelské vlastnosti, lineární regrese

ABSTRACT

The thesis deals with the influence of raw materials on processing attributes of natural rubber mixture. All the measurements were performed using the Alpha Technologies machines. The measured samples were assessed by the means of linear regression in graphs and an appropriate conclusion was stated.

In the theoretical part, a literary research on division of natural rubber mixtures, structure of natural rubber mixture, preparation of natural rubber, testing the qualities and processing technologies.

Keywords: natural rubber mixture, influence of raw materials, processing attributes, linear regression

Především bych chtěla poděkovat firmě Hexpol Compounding s. r. o., za možnost zpracovat tuto diplomovou práci v jejich firmě, dále panu Ing. Petru Křivákovi, za cenné rady a zkušenosti, panu RNDr. Miroslavu Kobylkovi, za plánování a připravenost pro má měření, laborantům, kteří mi vždy rádi poradili a v neposlední řadě vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. za odborné vedení, doporučení a připomínky k této práci.

Dále bych ráda poděkovala mému manželovi, mým rodičům a mým dvěma úžasným dcerám, za trpělivost, shovívavost a neuvěřitelnou podporu a pomoc v průběhu celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 SYNTETICKÉ KAUKUKY	12
1.1 ROZDĚLENÍ SYNTETICKÝCH KAUKUKŮ	12
1.1.1 Syntetické kaučuky pro všeobecné použití	12
1.1.2 Speciální syntetické kaučuky	13
2 SLOŽENÍ KAUKUKOVÉ SMĚSI	14
2.1 KAUKUK.....	15
2.2 PŘÍSADY	15
2.2.1 Vulkanizační činidlo	15
2.2.2 Urychlovače vulkanizace	16
2.2.3 Aktivátory vulkanizace	16
2.2.4 Retardéry vulkanizace	16
2.2.5 Inhibitory navulkanizace	16
2.2.6 Antidegradanty	17
2.2.7 Plniva.....	17
2.2.8 Změkčovadla	17
2.3 ZVLÁŠTNÍ PŘÍSADY.....	17
2.3.1 Pigmenty	17
2.3.2 Nadouvadla	18
2.3.3 Retardéry	18
2.3.4 Antistatické přísady.....	18
3 SYNTETICKÉ KAUKUKY NA BÁZI EPDM.....	19
3.1 EPM – ETYLÉN-PROPYLENOVÝ KAUKUK.....	19
3.2 EPDM – ETYLÉN-PROPYLENOVÝ KAUKUK	19
3.3 PŘÍPRAVA KAUKUKOVÉ SMĚSI.....	21
3.3.1 Plastikace kaučuku	21
3.3.2 Vmíchání plniv do kaučuku	22
3.3.3 Dispergace.....	22
3.3.4 Distribuce	23
3.3.5 Průběh	23
3.4 VULKANIZACE.....	24
3.5 VÝZNAMNÉ ZPRACOVATELSKÉ VLASTNOSTI	26
3.6 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	26
4 ZKOUŠENÍ VLASTNOSTÍ.....	30
4.1 ZKOUŠENÍ ZPRACOVATELSKÝCH VLASTNOSTÍ.....	30
4.1.1 Vulkanizační křivka	30
4.1.2 Viskozita Mooney	32
4.1.3 Zpracovatelská bezpečnost – Money scorch.....	33
4.2 ZKOUŠENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ	35
4.2.1 Tvrdost	35
4.2.2 Pevnost v tahu	35
4.2.3 Modul pružnosti E.....	36
4.2.4 Strukturální pevnost	37
4.2.5 Odolnost proti opotřebení	37

5	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KAUKČUKOVÉ SMĚSI.....	38
5.1	MÍCHÁNÍ	38
5.1.1	Míchání na dvouválci	38
5.1.2	Vnitřní hnětič	40
5.2	VYTLAČOVÁNÍ	42
5.3	VÁLCOVÁNÍ	43
6	SOUHRN STUDIJNÍCH ČÁSTÍ.....	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
7	EPDM SMĚSI.....	47
7.1	SMĚS 1	48
7.1.1	Příprava směsi	48
7.1.2	Příprava vzorků pro měření.....	50
7.1.3	Postup měření.....	50
7.1.4	Zpracovatelské limity pro směs 1	53
7.1.5	Naměřené hodnoty pro retardér	55
7.1.6	Naměřené hodnoty pro urychlovač 1	57
7.1.7	Naměřené hodnoty pro urychlovač 2	58
7.1.8	Lineární regrese.....	60
7.2	SMĚS 2	65
7.2.1	Zpracovatelské limity pro směs 2	65
7.2.2	Naměřené hodnoty pro retardér	66
7.2.3	Naměřené hodnoty pro Urychlovač 1	67
7.2.4	Naměřené hodnoty pro Urychlovač 2	69
7.2.5	Lineární regrese.....	71
7.3	SMĚS 3	76
7.3.1	Zpracovatelské limity pro směs 3	76
7.3.2	Naměřené hodnoty pro retardér	77
7.3.3	Naměřené hodnoty pro Urychlovač 1	78
7.3.4	Naměřené hodnoty pro Urychlovač 2	80
7.3.5	Lineární regrese.....	82
8	DISKUSE VÝSLEDKŮ	87
8.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ – SMĚS 1	87
8.2	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ – SMĚS 2	88
8.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ – SMĚS 3	88
9	ZÁVĚR.....	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	97

ÚVOD

Výrobky z pryže jsou spojeny téměř s každou součástí každodenního moderního života. Setkáváme se s ní v automobilovém průmyslu v podobě pneumatik a těsnících prvků, dále jako průmyslové hadice, lepidla, podlahové krytiny, aplikace v potravinářském průmyslu a ve zdravotnictví.

Na celém světě se vyrobí, prodá a spotřebuje dvacet pět miliónů tun přírodního a umělého kaučuku každý rok. Jak světová ekonomika roste, roste i poptávka po pryžových výrobcích a výroba pryže nadále stoupá.

Přírodní kaučuk získávaný ze stromů kaučukovníku, zejména druhu *Hevea brasiliensis*, je nejstarším druhem kaučuku, který stále pokrývá více jak 40% celkového objemu výroby.

Syntetický kaučuk byl poprvé vyroben v Německu v polovině 20. století a v současné době pokrývají různé druhy syntetického kaučuku většinu poptávky. Syntetický kaučuk se vyrábí polymerací monomerů styrenu a butadienu.

V současné době se vyrábí na celém světě, jeho hlavními producenty jsou Čína, Spojené státy americké, Japonsko, Korea a Německo.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SYNTETICKÉ KAUČUKY

Kaučuky jsou makromolekulární látky, které patří mezi elastomery. Elastomer je látka, která se po deformaci vrací do původního stavu.

Kaučuky se dělí na:

- přírodní kaučuk – získávaný ze stromu kaučukovníku
- syntetický kaučuk - připravený z monomerních jednotek chemickou cestou, založený na uvědomělé lidské činnosti – syntézou – proto nazýváme syntetický

Původně se výroba syntetického kaučuku zavedla ze strategických důvodů, speciální druhy kaučuků však předstihly svými vlastnostmi kaučuk přírodní.

Syntetické kaučuky se liší druhem monomerů, jejich poměrem při kopolymeraci, způsobem a podmínkami polymerace, druhem použitého katalyzátoru polymerace, emulgátoru a stabilizátoru. Všechny tyto faktory mají vliv na molekulovou strukturu elastomerů, jejich molekulovou hmotnost a distribuci molekulových hmotností, a tím i na zpracovatelnost a fyzikálně mechanické vlastnosti.

Pevnost a elasticita kaučuků roste se zvyšováním molekulové hmotnosti, závisí však také na chemickém složení. S rostoucí kohezní energií při zvyšování mezimolekulárních sil pevnost vzrůstá a elasticita naopak klesá. Při vyšší molekulové hmotnosti se ale zhoršuje zpracovatelnost. V současné době se většina syntetických kaučuků vyrábí s regulovanou molekulovou hmotností. Neregulované kaučuky je nutno většinou před vlastním zpracováním plastifikovat. [1]

1.1 Rozdělení syntetických kaučuků

1.1.1 Syntetické kaučuky pro všeobecné použití

Z těchto kaučuků se dá vyrábět většina běžných pryžových výrobků, od různých dílů technické pryže až po pneumatiky, hadice, a dopravní pásy.

Kaučuky pro všeobecné použití se vzhledem ke svému téměř nepolárnímu charakteru rozpouštějí v alifatických a aromatických uhlovodících (v benzinech, benzenu, toluenu) a chlorovaných rozpouštědlech (trichloretylenu, tetrachlormetanu aj.). Vulkanizáty v těchto rozpouštědlech botnají.

- Butadien-styrenový kaučuk (SBR)
- Butadienový kaučuk (BR)
- Isoprenový kaučuk (IR) [1]

1.1.2 Speciální syntetické kaučuky

Ve srovnání se syntetickými kaučuky pro všeobecné použití mají speciální kaučuky lepší odolnost proti: povětrnostním podmínkám, ozonu, slunečnímu záření, stárnutí, olejům a chemikáliím, lepší houževnatost, zvýšená odolnost proti hoření.

- Etylen-propylenové kaučuky (EPM a EPDM)
- Chloroprenový kaučuk (CR)
- Butadien-akrylonitrilový kaučuk (NBR)
- Butylkaučuk (IIR)
- Chlorovaný a chlorsulfonovaný PE
- Akrylátové kaučuky
- Etylen-akrylátové kaučuky
- Epichlorhydrinové kaučuky
- Polynorbornen
- Silikonové kaučuky (Q)
- Fluorokaučuky
- Polyuretanové kaučuky [1]

2 SLOŽENÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI

Cílem míchání kaučukových směsí je vytvořit nové materiály, jejichž vlastnosti spojují přednosti rozdílných polymerů.

Polymerní slitiny umožňují využít předností jedné každé složky, na rozdíl od klasických kopolymerů, kde se dosáhne např. zvýšení houževnatosti za cenu značného snížení teploty měknutí.

Výhody:

- příznivá cena
- jednoduchost mísení
- možnost využití silných stránek jednotlivých polymerů
- široká možnost úpravy vlastností (různý poměr výchozích složek)
- možnost zhodnocení odpadních polymerů [2]

Základní složkou kaučukové směsi je kaučuk. Kaučuková směs vzniká přidáváním těch přísad do kaučuku, které umožňují jeho vulkanizaci a dávají výrobku žádané vlastnosti.

Vmícháme-li do kaučuku jen některé přísady a vynecháme jednu ze složek kaučukové směsi (např. některou ze složek vulkanizačního systému, nebo celý vulkanizační systém), připravíme předsměs, neboli béc (z angl. batch – dávka) . Nejběžnější jsou předsměsi z kaučuku , změkčovadla a plniva. Scházející směsi se do předsměsi přidávají až před definitivním zpracováním kaučukové směsi a její vulkanizací. Předsměsi je možné velmi dlouho skladovat bez nebezpečí poškození navulkanizováním. Vulkanizační systém totiž reaguje i při běžných teplotách okolo 20° C, proto mají úplné kaučukové směsi omezenou dobu skladování. [3]

Tab. 1: Složení kaučukové směsi v dsk

Složka směsi	Obsah složky v dsk
Eleastomery	100
Plniva	0 – 200
Změkčovadla	0 – 40
Aktivátory vulkanizace	0 – 40
Stabilizátory	0 – 9
Vulkanizační činidla	0,3 – 50
Urychlovače vulkanizace	0,3 – 4
Pomocné gumárenské přísady (pigmenty, nadouvadla...)	0 – 10

2.1 Kaučuk

Elastomer schopný vulkanizace, neboli polymer, převeditelný chemickou reakcí z lineárního do rovnoměrně zesíťovaného stavu. Síťovací reakce se nazývá vulkanizace.

2.2 Přísady

Dávkuji se do kaučukové směsi tak, že se jejich množství přepočítává na určité množství kaučuku. Používá se označení dsk – počet hmotnostních dílů přísady, přidávané na 100 hmotnostních dílů kaučuku.

2.2.1 Vulkanizační činidlo

Je základní složkou vulkanizačního systému. Nejdůležitějším a nejběžněji používaným vulkanizačním činidlem je síra. Ale používají se i jiné, např. dialkyl a diacylperoxydy, reaktivní pryskyřice, oxidy kovů aj.

2.2.2 Urychlovače vulkanizace

Podstatně nám urychlují vulkanizaci a dělí se na:

- Pomalé urychlovače
- Rychlé urychlovače
- Velmi rychlé
- Ultraurychlovače

Nejčastěji se používá sírová vulkanizace, při níž mají tyto účinky:

- zvětšují podstatně rychlost vulkanizace
- významně zvětšují síťovací účinnost síry (v přítomnosti aktivátoru) a tím současně zmenšují modifikaci řetězců kaučukového uhlovodíku, čímž zlepšují i stárnutí pryže.
- umožňují upravovat vulkanizační průběh podle požadavků technologie a současně podle požadavků na vlastnosti pryže.
- zmenšují závislost rychlosti vulkanizace na teplotě – snižují aktivační energii

2.2.3 Aktivátory vulkanizace

Zmenšují závislost rychlosti vulkanizace na teplotě, ale především podstatně zvětšují účinnost vulkanizační (síťovací) reakce.

2.2.4 Retardéry vulkanizace

Prodlužují zpracovatelskou bezpečnost kaučukové směsi (doba , po kterou může být směs zpracována bez nebezpečí předčasného navulkanizování), ale za cenu zpomalení síťovací reakce.

2.2.5 Inhibitory navulkanizace

Prodlužují zpracovatelskou bezpečnost, aniž by ovlivňovaly rychlost vlastního síťování. Dobu vulkanizace prodlouží jen o tolik, o kolik prodlouží dobu zpracovatelské bezpečnosti.

2.2.6 Antidegradanty

Ochranné látky proti stárnutí a únavě vlivem vnějšího prostředí.

- a) Antioxidanty – chrání směs před degradací kyslíkem
- b) Antiozonanty – chrání směs před účinkem ozonu

2.2.7 Plniva

Jsou obsažena ve většině kaučukových směsí, upravují vlastnosti pryže. Jsou to látky tuhé konzistence, většinou práškové. Přidávají se ve velkých koncentracích. Významně mění téměř všechny vlastnosti pryže. Zvětšují její tvrdost a modul, často zvyšují pevnost. Aktivní plniva velmi významně zvětšují odolnost pryže vůči oděru.

Nejčastěji používané plnivo je síra a minerální plniva – kaolin, uhličitan vápenatý, talek

Plniva se do kaučukových směsí přidávají z důvodu:

- úpravy zpracovatelských vlastností, hlavně snížení elasticity
- snížení ceny
- úpravy fyzikálních vlastností vulkanizátů jako je tvrdost, pevnost, tažnost, oděr, barva, adheze, odolnost proti stárnutí

2.2.8 Změkčovadla

Jsou kapaliny nebo nízkomolekulární látky většinou tekuté konzistence (oleje). Zlepšují zpracovatelnost kaučukových směsí, snižují tvrdost vulkanizátů a jejich modul. Současně významně snižují teplotu zesklnění použitého kaučuku. Většinou zlevňují kaučukovou směs a tím i výrobek, neboť se jedná o nejlevnější složku kaučukové směsi (olejové produkty odpadající při zpracování ropy nebo dehtů jako destilační zbytky).

2.3 Zvláštní přísady

2.3.1 Pigmenty

Zajišťují požadované zbarvení směsi.

2.3.2 Nadouvadla

Při vulkanizaci se rozkládají na plynné produkty a umožňují tak výrobu lehčené pryže.

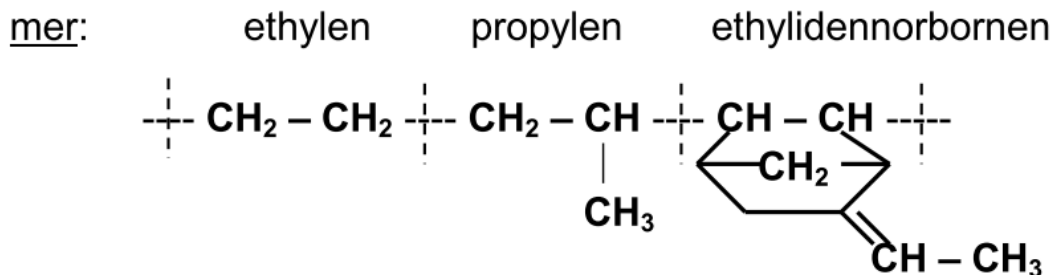
2.3.3 Retardéry

Při zpracování kaučukových směsí vznikají často problémy s předčasným navulkanizováním – tzv. pálením směsí. Proto byly vyvinuty urychlovače se zpožděným účinkem a hledány přísady, které v malých dávkách prodlužují zpracovatelskou bezpečnost. Tyto látky nazýváme retardéry a řadí se mezi ně např. kyselina salicylová, anhydrid kyseliny ftalové.

2.3.4 Antistatické přísady

Jsou látky, které snižují elektrický odpor kaučukových směsí plněných světlými plnivými. [3]

3 SYNTETICKÉ KAUČUKY NA BÁZI EPDM



Obr. 1. Vzorec EPDM [4]

3.1 EPM – etylén-propylenový kaučuk

EPM je kopolymer etylenu a propylenu. Kopolymerací je omezena krystalizace polymerních řetězců a materiál se pak chová jako kaučuk. Vlastnosti EPM kaučuků závisí na molekulární hmotnosti, distribuci molekulárních hmotností a na poměru monomerů etylen/propylen.

Na rozdíl od nenasycených kaučuků (např. NR, SBR) nemůže být EPM síťován sírou. Vulkanizace EPM se tedy provádí peroxidy nebo radiací. EPM se často používá i jako modifikátor rázové houževnatosti plastů a jako přísada pro zlepšení viskozitního indexu mazacích olejů.

Vzhledem k peroxidickému sesíťování tohoto materiálu má těsnění z EPM vynikající odolnost vůči horké vodě a páře, velmi dobrou odolnost vůči jiným atmosférickým vlivům jako je ultrafialové záření, působení ozonu a vlhkosti a dobrou odolnost vůči kyselinám a alkáliím. Teplotní rozsah činí -20 °C až $+150\text{ °C}$, částečně až $+180\text{ °C}$. [4]

3.2 EPDM – etylén-propylenový kaučuk

EPDM vzniká, pokud je v řetězci mimo etylen a propylen přítomen jako třetí monomer i nekonjugovaný dien (nejčastěji ethylidennorbornen). EPDM obsahuje dvojně vazby v postranních skupinách a je možno ho síťovat nejen peroxidy, ale i sírou. Pro aplikace se zvýšenými požadavky na stárnutí za tepla je výhodnější vulkanizovat EPDM peroxidem nebo donory síry.

Komerční typy EPDM obsahují 40 – 80 hmot.% etylenu. S rostoucím obsahem etylenu roste krystalinita EPDM. Typy EPDM jsou obvykle označovány jako semikrystalické (nad 62 hmot.% ethylenu) nebo amorfní (pod 62 hmot.% ethylenu).

Amorfní typy s minimální krystalinikou jsou ohebnější za nízkých teplot, mají nižší tvrdost a vyšší elasticitu. Zvýšený obsah propylenu v semikrystalických typech dává EPDM lepší pevnost směsí před vulkanizací, vyšší pevnost, modul a tvrdost vulkanizátů, ale horší vlastnosti za nízkých teplot a horší trvalou deformaci.

Průběh sírné vulkanizace EPDM závisí na typu a koncentraci dienu v řetězci (0,5 – 12 hmot.%). Minimální koncentrace pro účinné síťování EPDM sírou zaručuje cca 2% dienu. S rostoucí koncentrací dienu rychlost vulkanizace roste. Pro běžné výrobky dostačuje 2-6 hmot.% dienu, kontinuální vulkanizace vyžaduje vyšší obsah dienu a to nad 6%. Nejvyšší koncentrace dienu jsou nutné pro výrobu lehčených vulkanizátů.

Zpracování EPDM směsí závisí na molekulové hmotnosti a na distribuci molekulových kaučuků. Pro snazší zpracování polymerů s vysokou molekulovou hmotností se prodávají i olejem nastavené EPDM kaučuky. [4]

Fyzikální vlastnosti:

- maximální teplota pro dlouhodobé použití EPDM je 126 – 150°C
- minimální teplota pro dlouhodobé použití je - 50°C
- tvrdost Shore A je 40 – 90
- maximální možné dovolené napětí v tahu je 25 MPa

Vlastnosti pryže na bázi EPDM:

- výborné dynamické vlastnosti
- vysoká odolnost proti stárnutí
- vysoká odolnost vůči chemikáliím
- vysoká odolnost vůči trvalé deformaci

Použití pryže na bázi EPDM:

- výroba těsnících prvků (automobilový průmysl – těsnění do oken, dveří)
- hadice
- střešní systémy Firestone RubberGard

- vodní nádrže, jezírka
- desky na dětská hřiště (podlaha snižující úrazovost na dětských hřištích)

3.3 Příprava kaučukové směsi

Surový kaučuk, ať už přírodní, nebo syntetický, je nutné před dalším zpracováním plastifikovat do určitého stupně, aby byl schopen přijímat přísady a byl dobře zpracovatelný danou technologií.

Míchání gumárenských směsí probíhá ve čtyřech důležitých krocích:

- Ohřev a rozpracování kaučuku – plastikace
- Vmíchání plniv a změkčovadel
- Odbourání aglomerátů plniva (dispergace)
- Rozmíchání a homogenizace (distribuce) [5]

3.3.1 Plastikace kaučuku

V průběhu plastikace se snižuje molekulová hmotnost kaučuku, což umožňuje a zlepšuje průběh dalších technologických operací – míchání, vytlačování, lisování, nadouvání, konfekce a přípravy roztoků. Plastikace se musí vést jen do takového stupně, který je třeba pro úspěšné zpracování. Nadměrnou plastikací se zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátů a zhoršuje se i odolnost proti únavě a stárnutí. [1]

Plastikace se provádí:

- na dvouválci
- v hnětiči
- ve šnekovém plastikačním stroji

Přidáním plastikačních činidel je možno podstatně zkrátit dobu plastikace potřebnou k dosažení požadované plasticity. [1]

Hlavní faktory ovlivňující výslednou plasticitu kaučuku:

Při plastikaci na dvouválci:

- množství kaučuku na válcích

- průměr válců
- obvodová rychlost válců
- skluzový poměr
- šířka štěrbiny mezi válci
- teplota kaučuku
- druh a koncentrace plastikačního činidla
- osobní vlivy (způsob prořezávání)
- doba plastikace [1]

Při plastikaci v hnětiči:

- rozměry hnětiče
- geometrie hnětadel
- šířka štěrbiny mezi hřbety rotorů a stěnou komory
- stupeň zaplnění hnětiče
- tlak na horní uzávěr
- otáčky hnětadel
- teplota kaučuku
- druh a koncentrace plastikačního činidla
- doba plastikace [1]

3.3.2 Vmíchání plniv do kaučuku

Je to energeticky náročný a mimořádně složitý proces, při kterém je nutné optimalizovat řadu výrobních parametrů ovlivňujících vlastnosti směsi. Funkce míchacího procesu spočívá z velké části v dispergaci a distribuci složek tak, aby připravená směs byla dostatečně homogenní.

3.3.3 Dispergace

Děj, při kterém dochází k zjemňování pevné fáze na menší částice. Během tohoto děje se zvyšuje plocha dotyku mezi pevnou fází a polymerní maticí.

3.3.4 Distribuce

Děj, který zajišťuje rovnoměrné prostorové rozdělení dispergovaných pevných a kapalných složek v kaučukové matrici a je předpokladem dosažení požadovaných vlastností v celém objemu. [5]

3.3.5 Průběh

Příprava surovin před navažováním:

- Kaučuk se předeřívá na 60° C po dobu 24 hod.
- Saze se dopravují potrubím přímo do hnětiče, kontroluje se vlhkost
- Plniva se prosévají přes síta, aby se předešlo nečistotám ve směsi
- Tuhá změkčovadla - dopravník, tekutá se dopravují potrubím, hustější se předeřívají
- Síra se pro některé směsi prosévá

Takto připravené suroviny se navažují a následně dopravují do hnětiče, buď potrubím, nebo na pásovém dopravníku.

Míchání gumárenských směsí

Hlavním cílem je vytvořit homogenní směs.

Důležitá je teplota při hnětení, pořadí přísad (kaučuk + saze, změkčovadla, plniva a ochranné chemikálie, vulkanizační činidla, urychlovače a retardéry), navážené hmotností díly přísad a doba promíchávání jednotlivých složek.

Provádí se :

a) na dvouválcových kalandrech - při míchání jsou válce chlazeny vodou

- směsi , které vyžadují vysokou čistotu (např. duše)

- směsi , které obsahují speciální kaučuky a vyžadují míchaní na chladných válcích

- směsi vysoce plněné, které není možno připravit v hnětiči

b) v hnětacích strojích

- v míchací komoře, chlazené, za tlaku
- směsi se dopravují násypkou

Výhody : větší bezpečnost práce, menší prašnost, krátká míchací doba, míchání velkého množství najednou = lepší rovnoměrnost výrobku

3.4 Vulkanizace

Vulkanizace je fyzikálně chemický proces, při němž působením vulkanizačního činidla nebo energie dochází k strukturním změnám elastomeru. Kaučuk s lineární strukturou makromolekul se mění v pryž s prostorovou strukturou makromolekul. Během vulkanizace se mezi lineárními řetězci tvoří příčné vazby neboli můstky. Ty způsobí zesíťování struktury látky. Podle použitého vulkanizačního činidla mohou být příčné vazby tvořeny jednoduchou chemickou vazbou nebo objemnými řetězci fenolformaldehydové pryskyřice. Vlastnosti vulkanizátu jsou závislé na koncentraci příčných vazeb, na pravidelnosti jejich rozložení a na jejich stabilitě. [6]

Výhody vulkanizace

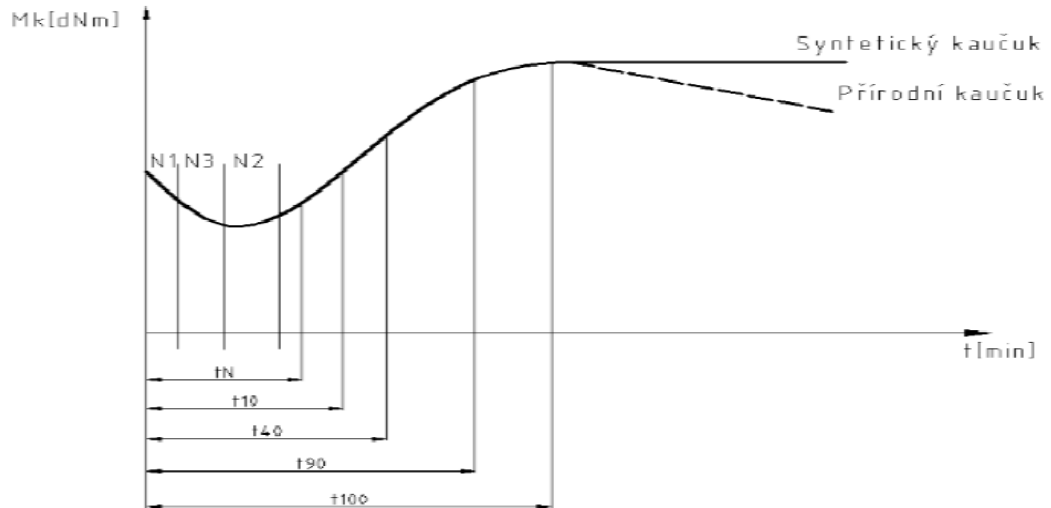
Hlavním důvodem, proč se kaučuk vulkanizuje je, že se podstatně vylepší jeho mechanické i fyzikálně chemické vlastnosti.

- zvýší se pevnost v tahu
- zvýší se strukturní pevnost (odolnost proti dalšímu trhání)
- vyšší odolnost v oděru
- větší pružnost, ale naopak se sníží tažnost

Nevulkanizovaný kaučuk - je rozpustný v některých organických rozpouštědlech, vulkanizovaný kaučuk v nich jen bobtná.

Vulkanizovaný kaučuk je také méně citlivý ke změnám teploty a zachovává si ohebnost i tuhost ve značném teplotním rozsahu.

Nastartování vulkanizace se projeví na křivce vzrůstem odporu. Měření je řízeno programem, který určí t_{max} tj. dobu, za kterou se vytvoří maximum sulfidových vazeb (maximální zesílení). [6]



Obr. 2. Vulkanizační křivka[8]

N1- interval použitelný pro skladování

N2- interval „technologické“ jistoty

N3- interval vhodný pro vytlačení polotovaru

tN- bezpečnost (materiál není z vulkanizovaný- nic se neděje)

t10 - množství vytvořených příčných vazeb, který nedovolí vratný děj (10% vulkanizace materiálu)

t40- 40% vulkanizace materiálu (40% příčných vazeb), výrobek se „nezbortí“

t90- 90% příčných vazeb, vytahujeme výrobek z formy, tepelná kapacita pryže je vysoká, a tak výrobek dovulkanizuje mimo formu sám

t100- 100% vytvořených příčných vazeb [8]

3.5 Významné zpracovatelské vlastnosti

Jsou určeny průměrnou molekulovou hmotností, distribucí a strukturou kaučuků. Pokud nemáme k dispozici kaučuk s požadovanými zpracovatelskými vlastnostmi, můžeme tyto vlastnosti upravit např. plastikací, nebo použijeme stejnou směs kaučuku s rozdílnou molekulovou hmotností.

Zpracování směsí mohou usnadnit plniva, změkčovadla a zpracovatelské přísady. Nerovný povrch při vytlačování můžeme zlepšit přidávkem faktisu. [5]

Zpracovatelnost hodnotíme dle:

- a) vulkanizační křivka – Rheometr MDR 2000
- b) viskozita Mooney – vulkometr Money
- c) zpracovatelská bezpečnost - Money scorch

3.6 Fyzikální vlastnosti

Tvrdoost – definována jako odolnost proti vnikání cizího tělesa za působení konstantní síly po určitou dobu do měřeného vzorku. Měří se tvrdoměrem Shore A.

Lze ovlivnit:

- a) typem plniva a plněním
 - aktivní saze HAF, MT, FEF (40 – 80 ShA)
 - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý (50 – 100 ShA)
- b) vulkanizačním systémem, dávkováním síry
- c) rychlostí vulkanizace
- d) změkčovadly

Pevnost v tahu – definována jako napětí při přetržení

Lze ovlivnit:

- a) elastomer
- b) typem plniva a plněním
 - aktivní saze HAF, MT, FEF – do určité míry zvyšují
 - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý – snižují

- c) vulkanizačním systémem – jen omezeně

Modul pružnosti E – definována jako napětí při definované deformaci (protažení). Měří se na trhacích strojích.

Lze ovlivnit:

- a) typem plniva a plněním
 - aktivní saze HAF, MT, FEF – do určité míry zvyšují
 - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý – snižují
- b) vulkanizační systém – vliv síry

Strukturní pevnost – definujeme jako odolnost proti dalšímu trhání

Lze ovlivnit:

- a) elastomerem
- b) typem plniva a plněním
 - aktivní saze HAF, MT, FEF – do určité míry zvyšují
 - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý – snižují
- c) vulkanizační systém a stupeň vulkanizace

Odolnost proti opotřebení – měříme ztrátu objemu – je funkcí způsobu tření, teploty, prostředí

Lze ovlivnit:

- a) elastomerem
- b) typem plniva a plněním
 - aktivní saze HAF, MT, FEF, speciální silika SO_2 – zvyšují
 - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý – snižují
- c) se stoupajícím plněním se zhoršuje zpracovatelnost směsi
- d) vulkanizační systém
- e) rychlostí vulkanizace – urychlovačem – ovlivní jen mírně
- f) změkčovadly – snižuje

Dynamické vlastnosti (hystereze) – příčinou je opakovaná deformace – ohyb, tlak, vibrace, nárazy.

Lze ovlivnit:

- a) elastomerem – nejvíce
- b) teplovodivá plniva
- c) změkčovadla – vnitřní tření

Odolnost proti působení tekutin – při styku s některými tekutinami podléhá vulkanizát objemovým změnám – tím se mění jeho fyzikální vlastnosti. Když se objem zvětšuje – vulkanizát měkne, když se zmenšuje – tvrdne.

Měření se provádí zkouškou botnání.

Lze ovlivnit:

- a) elastomerem
- b) vulkanizačním systémem
- c) změkčovadla – vyplavují se
- d) vliv plnění – malý

Odolnost proti teplotám – definujeme jako schopnost vulkanizátu plnit funkci v rozsahu daných teplot.

Odolnost proti nízkým teplotám lze ovlivnit:

- a) elastomerem
- b) vulkanizační systém – jen málo
- c) změkčovadla – jen do určité míry, jsou závislé na teplotě
- d) plniva – aktivní zvyšují teplotu použití
- e) samovolná krystalizace

Odolnost proti vysokým teplotám lze ovlivnit:

- a) elastomerem
- b) vulkanizační systém – velký vliv
- c) změkčovadla – jen do určité míry, jsou závislé na teplotě
- d) plniva – aktivní zvyšují teplotu použití
- e) antioxidanty

Odolnost proti stárnutí – schopnost odolávat vnějšímu prostředí

Lze ovlivnit:

- a) kaučukem – nasycené jsou odolnější
- b) vulkanizační systém
- c) antioxidanty
- d) antidegradanty

Propustnost plynů – velmi důležitá u autoplášťů a duší.

Lze ovlivnit:

- a) elastomerem – důležitá vnitřní stavba a přítomnost koncových skupin kaučuků
- b) vulkanizační systém – malý vliv
- c) změkčovadla – jen do určité míry
- d) plniva – neaktivní zhoršují

Elektrické vlastnosti – vulkanizát lze připravit tak, aby byl izolantem nebo vodičem elektrického proudu. [9]

4 ZKOUŠENÍ VLASTNOSTÍ

4.1 Zkoušení zpracovatelských vlastností

4.1.1 Vulkanizační křivka

Zkouška se provádí na Rheometru MDR 2000 od firmy Alpha Technologies.

Rheometr (vulkametr) je přístroj, který zaznamenává průběh vulkanizace směsi. Principem je měření kroutivé síly, která je závislá na změně rheologických vlastností během vulkanizace zkušebního tělíska směsi, hodnoty vynesené do grafu nám dají tzv. vulkanizační křivku. [11]

Z vulkanizační křivky jsou odečítány tyto hodnoty:

ML – nejnižší hodnota kroutivé síly vyjádřená v dNm

MH – nejvyšší hodnota kroutivé síly vyjádřená v dNm

T10 – čas při kterém je dosaženo 10% z rozdílu mezi MH a ML (tzv. bezpečnost, což je důležitá hodnota pro následné zpracování směsi, při dosažení podlimitních t10 má směs tendenci k napalování.).

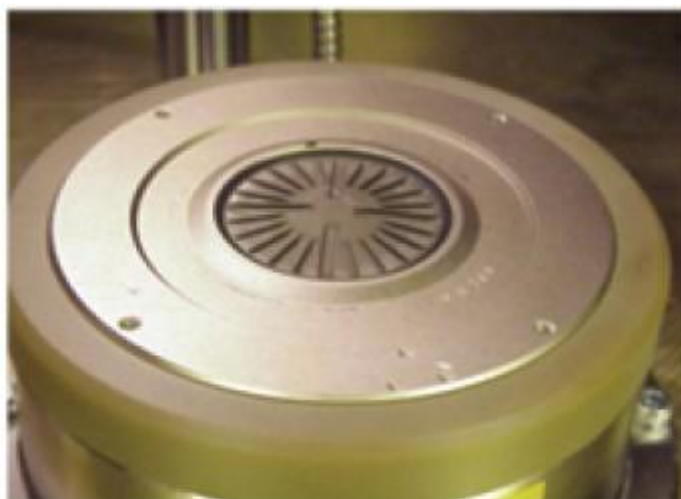
T90 – čas při kterém je dosaženo 90% z rozdílu mezi MH a ML, směs je již prakticky z 90% zvulkanizovaná [11]

Rheometrický test ukazuje, zda pro směs byly použity správné suroviny, on line měření z každého vyrobeného běče má dva základní cíle:

- eliminovat chybu operátorů (záměna surovin, nepřesné dávkování do hnětiče) – výsledky jsou zcela mimo limity
- regulace výrobního procesu – podle výsledků provede laboratoř patřičný zásah do receptury (přídavek retardéru, nebo urychlovače, přídavek nebo ubrání oleje) [11]



Obr. 3. Rheometr MDR 2000 [10]



Obr. 4. Rotor Rheometru MDR 2000 [10]

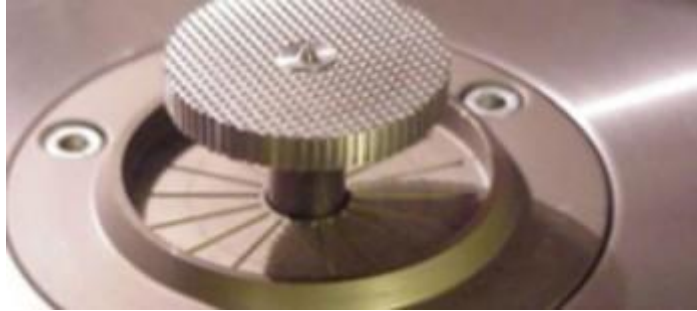
4.1.2 Viskozita Mooney

Provádíme na viskozimetru Mooney 2000. Principem je měření kroutivé síly na rotoru, který se otáčí v testovacím tělísku směsi. Po vložení tělísku nejprve probíhá ohřev při 100°C po dobu jedné minuty. Poté je spuštěn na dobu 4 minut rotor, rychlostí 2 rpm a zaznamenává se kroutivá síla v jednotkách Mooney. Konečná hodnota je označována jako ML [11]

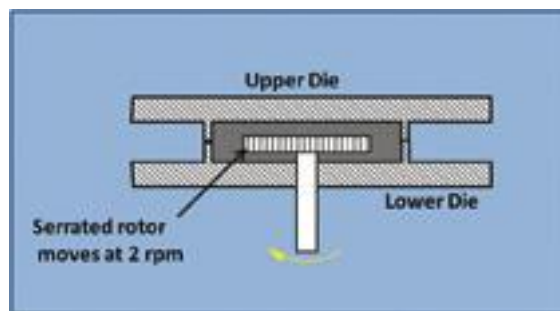
ML – konečná hodnota kroutivé síly v jednotkách Mooney



Obr. 5. Viskozimetr Mooney MV 2000 [10]



Obr. 6. Rotor viskozimetru Mooney MV 2000 [10]



Obr. 7. Princip měření na Mooney MV 2000 [10]

4.1.3 Zpracovatelská bezpečnost – Money scorch

Provádí se rovněž na viskozimetru Mooney 2000 a principem je také měření kroutivé síly na rotoru, který se otáčí v testovacím tělísku směsi. Po vložení tělíska nejprve 1 minutu probíhá ohřev a poté je spuštěn rotor rychlostí 2 rpm, zaznamenává se kroutivá síla v jednotkách Mooney v závislosti na čase při konstantní teplotě. Minimální hodnota kroutivé síly je označena jako ML, po jejím dosažení začne testovaná směs postupně vulkanizovat a kroutivá síla se zvyšuje. Čas, při kterém dojde ke zvýšení o 5 Mooney jednotek (MU) je označován jako zpracovatelská bezpečnost t5.

Teplota v testovací komoře je obvykle 145°C, u rychlejších směsí jen 125°C (např. mikro-porézní směsi). [11]

Z křivky jsou odečítány tyto hodnoty:

Init – počáteční hodnota kroutivé síly bezprostředně po zapnutí rotoru

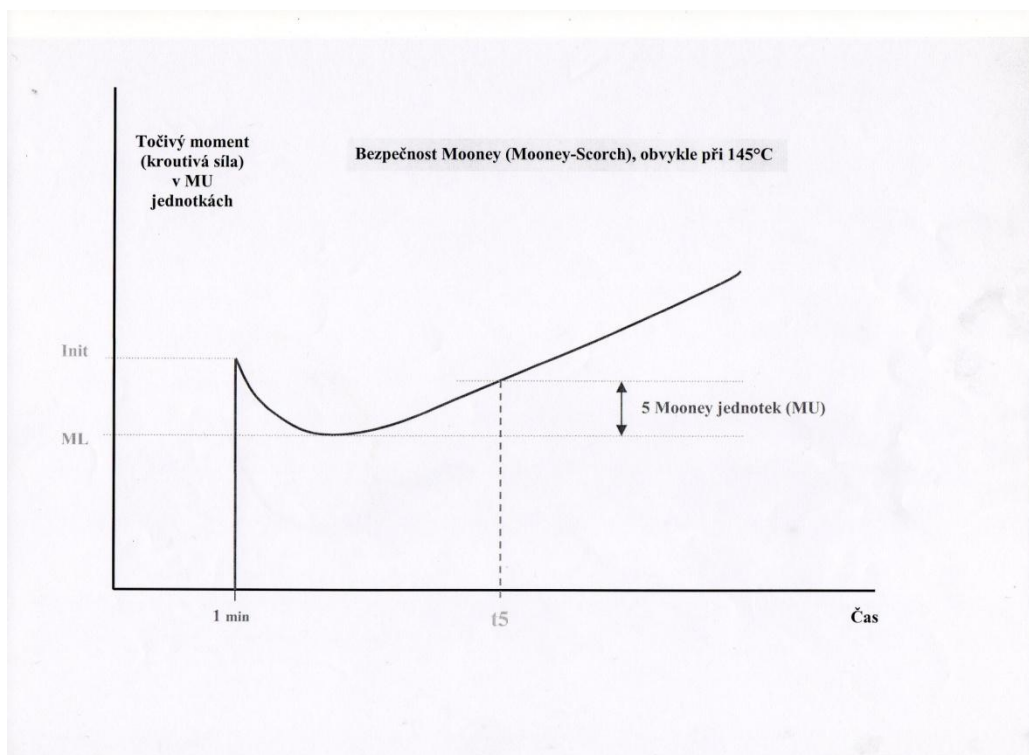
ML – nejnižší hodnota kroutivé síly vyjádřená v MU

t_5 – čas v minutách, při kterém dojde ke zvýšení kroučivé síly o 5 MU proti ML

t_{35} – čas v minutách, při kterém dojde ke zvýšení kroučivé síly o 35 MU proti ML (testovaná směs je prakticky z vulkanizovaná) [11]

Bezpečnost Mooney je důležitá pro následné zpracování směsi u zákazníků, při „krátké“ bezpečnosti stoupá riziko napálení směsi již v extrudéru. Podle trendu hodnot t_5 provedeme odpovídající zásah do receptury – přidávek retardéru nebo urychlovače.

Důležité jsou také hodnoty ML a Init, vysoké hodnoty vypovídají o tom, že je směs nezpracovatelná (může být stará). [11]



Obr. 8. Křivka zpracovatelské bezpečnosti [11]

4.2 Zkoušení fyzikálních vlastností

4.2.1 Tvrdost

Je definovaná jako odolnost materiálu proti vnikání cizího tělesa, za působení konstantní síly po určitou dobu do měřeného vzorku.

Měříme ji tvrdoměrem Shore A a Shore D.

Shore A - princip je založen na vtlačování komolého kužele, měřenou veličinou je odpor proti vtlačování hrotu. Zatěžování je způsobeno pomocí pružiny, která je umístěna v přístroji. Rozmezí je 0-100° Sh (stupně Shore). Tloušťka měřeného tělesa musí být minimálně 6 mm, délka měření trvá 3-15 s, provádí se minimálně 3 měření.

Shore D - princip je podobný s rozdílem, že se vtlačuje komolý jehlan se špičkou, kdežto u Shore A se jedná o kužel plochý, bez špičky. [9]



Obr. 9. Digitální tvrdoměr Shore A[12]

4.2.2 Pevnost v tahu

Je definovaná jako napětí při přetržení, provádí se na trhacím stroji.

Zkouška spočívá v protahování standardních zkušebních těles v trhacím stroji konstantní rychlostí. Odečítají se hodnoty síly a prodloužení potřebné k hodnocení požadovaných

charakteristik zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení.



Obr. 10. Trhací stroj T2020 Alpha Technologies [13]

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

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

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

Tažnost - je tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení. [9]

4.2.3 Modul pružnosti E

Je definován jako napětí při deformaci (protažení). Měří se na trhacím stroji. Jeho velikost je časově a teplotně závislá – relaxace.

4.2.4 Strukturní pevnost

Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhacího stroje tahem, a v měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles.

Strukturní pevnost v N/mm je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa. Provádí se na trhacím stroji.

4.2.5 Odolnost proti opotřebení

Zkušební tělísko je vloženo do zkušebního přístroje, kde na něj působí mechanismus tření o určitém tlaku a teplotě. Měří se ztráta objemu. [9]

5 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI

Kaučukové směsi lze zpracovávat různými technologiemi, nejpoužívanější z nich jsou však míchání, válcování a vytlačování.

5.1 Míchání

Míchání je jedním z nejdůležitějších výrobních procesů gumárenské technologie, protože následné zpracování směsí, vlastnosti výrobků a ekonomika výroby do značné míry závisí na kvalitě směsí.

Míchání gumárenských směsí je ještě komplikováno tím, že jednotlivé složky směsí mají velmi rozdílné vlastnosti.

Kaučuky se za pokojové teploty chovají jako podchlazené kapaliny. V průběhu míchání se zahřívají a vykazují viskoelastické chování.

Plniva jsou prášky, které po zamíchání do kaučuku významně ovlivní tokové chování. Během míchání musí dojít k dispergaci, částice jsou zapracovány do kaučuku a rovnoměrně rozděleny ve směsi.

Změkčovadla jsou nejčastěji kapaliny nebo pasty. Při míchání je potřeba zajistit co největší plochu dotyku mezi změkčovadlem a kaučukem, aby difuze změkčovadla do kaučuku proběhla co nejrychleji.

Gumárenské chemikálie se dávkuje v různé podobě – prášky, kapaliny, pasty. Chemikálie je nutné také velmi dobře ve směsi promíchat, což je ale komplikováno přidáváním malého množství a tepelnou nestálostí. Malý rozdíl v koncentraci chemikálií může způsobit velký rozdíl v kvalitě kaučukové směsi.

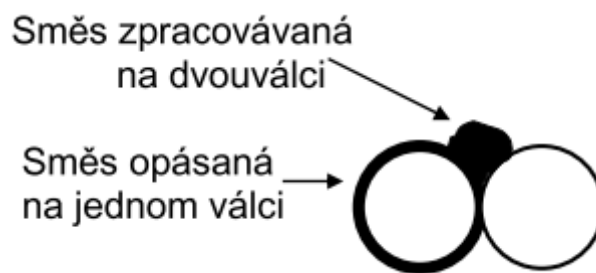
Míchání se provádí na různých zařízeních. Vždy je požadováno dosažení co nejlepšího rozdělení složek ve směsi, dobré řízení teploty během míchání a zajištění co nejkratší míchací doby. [14]

5.1.1 Míchání na dvouválci

Patří k nejstarším používaným způsobům přípravy kaučukových směsí. Příprava směsi je v tomto případě však pomalá a velikost míchané dávky malá.

Princip:

Dvouválce se skládají ze dvou masivních horizontálních navzájem rovnoběžných kovových válců, které se otáčejí proti sobě. K temperaci válců se používá nejčastěji voda, nebo pára. Vzdálenost mezi povrchy válců (šterbina) a někdy i rychlosti válců jsou stavitelné. [14]



Obr. 11. Schéma dvouválce[14]

Při průchodu materiálu mezi šterbinou válců dochází k míchání za vysokých smykových rychlostí. Zadní válec se většinou otáčí rychleji než přední válec, což dále zvyšuje smyk ve zpracovávaném materiálu, který nejčastěji vytváří pás na předním pomalejším válci. Smyk ve šterbině také usnadňuje dispergaci přísad a nutí směs zůstat na jednom z válců. Zamíchaná kaučuková směs je z dvouválce seřezávána kontinuálně ve formě pásku nebo ručně ve formě plachet. [14]

Dvouválce se používají k:

- Plastikaci kaučuků
- Míchání směsí
- Chlazení směsí
- Předehřevu směsí

Nejčastěji jsou dvouválce používány k rychlému ochlazení kaučukových směsí po zamíchání v hnětiči a k jejich tváření do formy pásků nebo plachet.

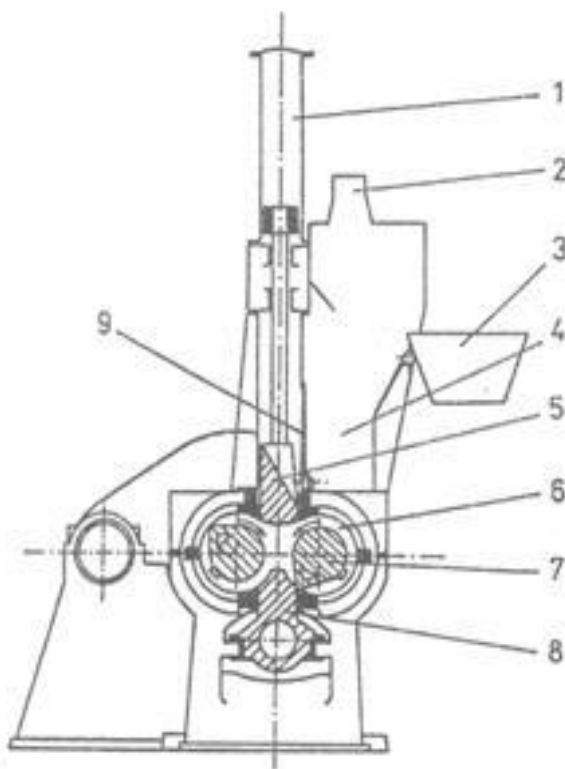
Dále se využívají pro dokončování předsměsí, kdy se do směsí přimíchávají vulkanizační činidla. Nevýhodou je, že se přísady přidávají ručně, takže cyklus trvá déle než v hnětiči.

Postup míchání na dvouválci:

Syntetické kaučuky a některé druhy NR umožňují přímé míchání, většina přírodních kaučuků však musí být nejdříve plastifikována působením smykových sil. Do rozpracovaného kaučuku se postupně přidávají antidegradanty, pryskyřice, faktisy, barviva a plniva se změkčovadly. Plniva a oleje se přidávají po částech. Vulkanizační systém se vždy přidává až na konci míchání, aby nedošlo k navulkanizování směsi. [14]

5.1.2 Vnitřní hnětič

Ocelová komora s výpustí ve spodní části a přítlačným ocelovým klátem k řízení tlaku ve směsi, v níž proti sobě rotují dva rotory, které míchají materiál i ve štěrbině mezi rotorem a stěnou komory. U některých typů hnětičů může být vzdálenost mezi rotory stavitelná.



1 – vzduchový válec pro klín, 2 – odsávání prachu, 3 – plnění, 4 – plnicí násypka, 5 – přítlačný klín, 6 – míchací komora, 7 – hnětadla, 8 – spodní výpust, 9 – klapka

Obr. 12. Schéma vnitřního hnětiče [15]

Vnitřní hnětič oproti dvouválci míchá rychleji, čistěji, potřebuje menší zastavěnou plochu, menší činnost obsluhy. Mají velkou produktivitu, kdy během 2 až 10 minut mohou zamíchat 500 kg směsi i více.

Vnitřní hnětiče pracují s vyšším frikčním poměrem než dvouválce. Energie disipovaná v materiálu v důsledku viskózních ztrát při míchání je proto velmi vysoká, což způsobuje rychlý nárůst teploty materiálu během míchání. Proto musí být všechny části hnětiče chlazeny vodou. Části, které přicházejí do styku s míchanou směsí, musí být odolné proti oděru a korozi. Míchací komora může mít navrtané radiální otvory pro dávkování změkčovadel během míchacího cyklu.

Při dávkování jednotlivých složek směsi do hnětiče musí být dodržovány jejich hmotnostní podíly. Z hlediska doby míchání a dosažení požadované kvality směsi je důležitá nejen hmotnost, ale i postup dávkování jednotlivých složek směsi.

Míchací postup pro sírou vulkanizované nenasycené kaučuky je vhození kaučuku, přidání ZnO + stearin a spuštění přítlačného klátu. Poté se klát zvedá a přidávají se plniva, změkčovadla, až nakonec se přidá urychlovač a síťovadlo.

U směsi na bázi EPDM, kdy směr měkne dříve než se stačí dispergovat plniva, se používá obrácený postup, kdy se do hnětiče nejdříve dávkuje plniva, přísady, změkčovadla a pak až polymer.

Konec míchání se určuje podle teploty směsi, ale i celková doba míchání by měla s teplotou vypouštění korelovat.

Poté je směs vypuštěna na dvouválec, odkud je kontinuálně odebírána ve formě pásků. Za dvouválcem obvykle bývá odtahovací a chladicí zařízení, kterým prochází odtahovaný pásek z dvouválce. Zde prochází vodní lázní a je opatřen separační vrstvou (proti lepení), zchlazen na pokojovou teplotu a po usušení je nejčastěji pokládán na paletu, kde je skladován k dalšímu použití. [14]

Druhy míchání:

Míchání jednostupňové – směs se ve vnitřním hnětiči zpracovává jen jednou. Do kaučkové směsi jsou přitom postupně přidávány všechny potřebné složky včetně vulkanizačního systému a činidla. Po vypuštění z hnětiče je směs zchlazena na dvouválci a rozřezána. Použití jen pro směsi, které se při míchání příliš nezahřívají.

Dvoustupňové míchání – dvojnásobné zpracování v hnětiči, kdy v prvním stupni dochází k přípravě plněné předsměsi, která je vypuštěna a zchlazena na dvouválci. Po odležení se předsměs znovu vrací do vnitřního hnětiče, kde je přidán vulkanizační systém. Finální směs je pak znovu ochlazena na dvouválci a rozřezána k dalšímu zpracování.

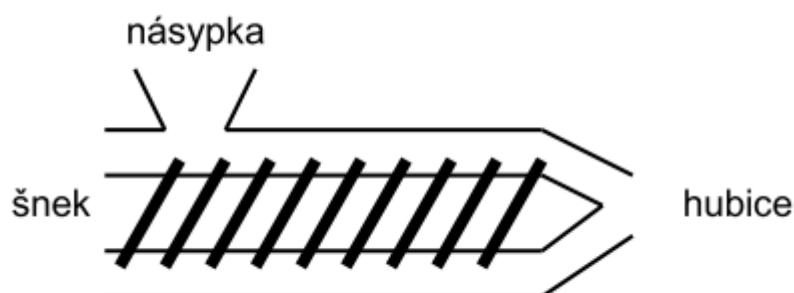
Třístupňové míchání – používá se, když nejde připravit kvalitní předsměs hned v prvním míchání. Míchání se přeruší při dosažení určené maximální teploty a k zajištění disperze je použit další stupeň míchání předsměsi. Zchlazená předsměs se znovu vrátí do vnitřního hnětiče a znovu se zamíchá až po opětovné dosažení určené maximální teploty míchání. Směs je pak znovu vypuštěna, zchlazena a rozřezána. [14]

5.2 Vytlačování

Základním cílem vytlačování je kontinuální tváření kaučukové směsi do požadovaného tvaru. Šnek vtáhne směs do dutiny pouzdra šneku a tlačí ji svým rotačním pohybem dopředu. Při kontinuálním pohybu vpřed se směs ohřívá frikčním teplem vznikajícím ve směsi v důsledku smykových deformací. Na konci šneku má směs vlastnosti, které umožňují její protlačení otvorem hubice a vytvoření profilu požadovaného tvaru.

V gumárenské technologii slouží vytlačování k přípravě hadic, profilů, běhounů, pneumatik, k opláštění kabelů a drátů a k přípravě předlisků pro další zpracování.

Aby nedocházelo k navulkanizování směsi při vytlačování, je gumárenský vytlačovací stroj složen z kapalinou temperovaného pouzdra šneku, ve kterém se otáčí temperovaný šnek. Pouzdro šneku pomáhá při pohybu materiálu vpřed a umožňuje i částečné chlazení. [14]



Obr. 13. Schéma šnekového vytlačovacího stroje [14]

Na jednom konci pouzdra šneku je násypka, kudy se přivádí kaučuková směs. Na druhém konci je vytlačovací hlava, která drží vytlačovací hubici, ta dává požadovaný tvar vytlačované směsi. [14]

5.3 Válcování

Válcování se používá k přípravě přesně dimenzovaných plošných útvarů různé tloušťky, k pogumování technických textilií a k nanášení vrstev kaučukové směsi na textil.

Kalandry – mají 2 až 4 válce v různém uspořádání s možností přesného nastavení štěrbiny a frikce mezi jednotlivými válci. U moderních kalandrů má každý válec svůj vlastní pohon. Při válcování gumárenských směsí se musí používat nižší teploty než u válcování plastů, aby nedošlo k navulkanizování. Z tohoto důvodu jsou síly mezi válci vysoké a provedení kalandrů je velmi robustní.

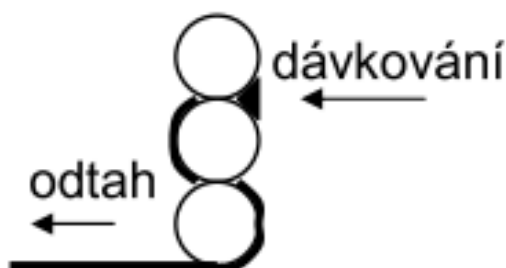
Dvouválcové kalandry

Používají se k míchání, dokončování, chlazení a předehřívání kaučukových směsí. Na rozdíl od válců míchacích jsou dvouválce kalandrovací broušené a leštěné.

Slouží k odtahu pásů kaučukové směsi při výrobě podlahovin, ale i k leštění a kalibraci pásu vystupujícího z ploché hlavy vytlačovacího stroje.

Tříválcové kalandry

Používají se k tažení pásů a k jednostrannému pogumování tkanin. [14]

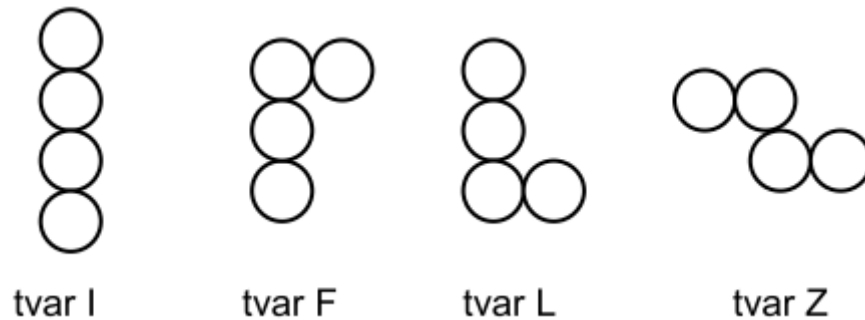


Obr. 14. Schéma tříválců [14]

Čtyřválcové kalandry

Jsou nejčastěji využívány pro své univerzální použití.

Mohou být použity i jako profilové kalandry, kde poslední štěrbina má požadovaný tvar profilu.



Obr. 15. Schéma čtyřválců [14]

Postup válcování

Kalandry jsou zásobovány směsí o vhodné teplotě, nejčastěji z hnětiče na ohřívací dvouválec. Z dvouválce se teplá směs odebírá ve formě pásku, následuje magnetická kontrola na obsah kovů a dále je rozváděn dopravníkem po celé šířce zásobovací štěrbiny kalandru. Po opuštění poslední štěrbiny mezi válci je pás oříznut na požadovanou šíři. Ořezané okraje se vrací zpět na ohřívací dvouválec. Po opuštění kalandru je pás kaučukové směsi ochlazen na odtahovém zařízení, nebo v chladícím zařízení, opatřen separací a navinut nebo kontinuálně vulkanizován. [14]

6 SOUHRN STUDIJNÍCH ČÁSTÍ

V teoretické části jsem se zabývala těmito body:

1. Syntetické kaučuky
2. Složení kaučukové směsi a definice surovin
3. Syntetické kaučuky na bázi EPDM
4. Zkoušení zpracovatelských a fyzikálních vlastností
5. Technologie zpracování kaučukové směsi

Cílem bylo přiblížit problematiku výroby směsí ze syntetického kaučuku EPDM. Využití těchto směsí, jejich složení, zpracování a zkoušení.

Znalosti z teoretické části využiji v části experimentální, kde se budu zabývat různými druhy směsí z kaučuku EPDM, u kterých budu měnit hmotnostní podíly složek. V průběhu výroby budu sledovat zpracovatelské vlastnosti a následně vzorky otestuji na zkušebních strojích v laboratoři.

Poté zhodnotím výsledky a stanovím patřičný závěr.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 EPDM SMĚSI

Pro experimentální část byly vybrány tři různé směsi na bázi EPDM kaučuku, které se vyrábí ve firmě Hexpol Compounding v Uničově. Jedná se o směsi pro automobilový průmysl, které jsou zde vyráběny, odzkoušeny a nevulkanizované dodávány k zákazníkovi.

Hlavním úkolem této práce je posouzení možnosti regulace zpracovatelských vlastností z důvodu kompenzace variability vlastností surovin, teploty okolí, případně jiných vlivů.

U směsí budou měněny hmotnostní podíly retardéru, urychlovače 1 a urychlovače 2 (ten by měl v budoucnu nahradit urychlovač 1, proto chceme zjistit jaký to bude mít vliv).

Změny hmotnostních podílů se projeví na zpracovatelských vlastnostech vyjádřených T5, T10, T90, na hodnoty ML a MH má regulace pouze minimální vliv.

Jednotlivé změny závislé na změně hmotnostního podílu budou zaznamenány pomocí grafu, kde na ose x vynesu hmotnostní podíly přidávané látky a na ose y budou zaznamenány změny požadované vlastnosti. U těchto hodnot zjistím lineární závislost pomocí lineární regrese.

V případě, že index spolehlivosti je vyšší než 0,9 je možné závislost požadované vlastnosti na hmotnostním podílu považovat za lineární. Pomocí grafu nebo rovnice přímky závislosti lze určit hodnotu požadované vlastnosti při daném hmotnostním podílu. Pokud je index spolehlivosti menší než 0,9, hodnota vlastnosti není lineárně závislá a nelze s určitostí využívat zpracovaný graf k určení hodnot požadovaných vlastností na změně hmotnostního podílu. Mezi veličinami není lineární závislost.

Lineární regrese je matematická metoda, která se používá pro proložení souboru bodů v grafu přímkou, tzv. metodou nejmenších čtverců.

Protože uvedené receptury jsou know how firmy, mohu uvádět hmotnostní podíly, ale bez přesných názvů použitých surovin a směsí.

7.1 Směs 1

Směs používaná v automobilovém průmyslu jako těsnící profil. Požadovaná tvrdost 75Sha. U zákazníka je profil vyráběn extruzí na vytlačovacím stroji.

Tab. 2: Složení směsi 1

Surovina	množství [dsk]
polymer	55
polymer	45
saze	142
bílé plnivo	90
změkčovač	74
zpracovatelská přísada	2
aktivátor	3
zpracovatelská přísada	5
aktivátor	0,5
aktivátor	3
síra	1
Urychlovací systém	3,5
retardér	viz. experiment
urychlovač	viz. experiment

7.1.1 Příprava směsi

Z velké dávky, která se míchala v hnětiči (Intermix), byla odebrána směs bez chemikálií. Další zpracování odebrané směsi se provádělo na dvouválci.

V sedmi krocích bylo do dávek po 2,15 kg přimícháváno různé množství retardéru a urychlovačů, viz. tabulka č. 3.

Všechny vzorky byly míchány stejně dlouhou dobu, byly stejně homogenizované i chlazené.



Obr. 16. Příprava směsi na dvouválci

Tab. 3: Množství přidávaných surovin

Směs 1				
Vzorek	dsk	Retardér (g)	Urychlovač 1 (g)	Urychlovač 2 (g)
0 - bez přísad	0	0	0	0
1	0,1	0,5	0,5	0,7
2	0,2	1	1	1,4
3	0,3	1,5	1,5	2,1
4	0,4	2	2	2,8
5	0,5	2,5	2,5	3,5
6	0,6	3	3	4,2
7	0,7	3,5	3,5	4,9
Směs 2, Směs 3				
Vzorek	dsk	Retardér (g)	Urychlovač 1 (g)	Urychlovač 2 (g)
0 - bez přísad	0	0	0	0
1	0,12	0,5	0,5	0,7
2	0,24	1	1	1,4
3	0,36	1,5	1,5	2,1
4	0,48	2	2	2,8
5	0,6	2,5	2,5	3,5
6	0,72	3	3	4,2
7	0,84	3,5	3,5	4,9

7.1.2 Příprava vzorků pro měření

Z hotových vychlazených plavek byly připraveny vzorky pro měření na:

- Rheometru MDR 2000 – kolečko o průměru cca 3 cm
- Mooney scorch MV 2000 – dvě kolečka s otvorem pro rotor
- Tvrdost Shore – kolečko z vulkanizované v peci
- Tahové zkoušky – z vulkanizovaný vzorek, z kterého se připraví mašličky na vyse-
kávacím stroji

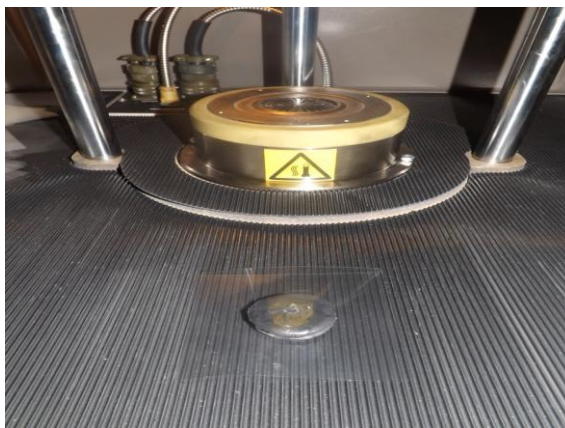


Obr. 17. Příprava vzorků

7.1.3 Postup měření

Rheometr MDR 2000 – zkušební vzorek se vloží mezi dvě fólie, aby nedošlo ke znečištění měřícího zařízení, po té se položí na rotor a zapne. Dojde ke stlačení a měří se kroutivá síla, která je závislá na změně reologických vlastností během vulkanizace zkušebního tělesa. Měření probíhalo při teplotě 180°C po dobu 2,5 minut.

Výsledkem je vulkanizační křivka.



Obr. 18. Vzorek pro Rheometr MDR 2000

Mooney scorch MV 2000 – na rotor je navlečeno kolečko, rotor je vtlačen do přístroje a na něj se položí druhé kolečko. Po zapnutí se vzorek stlačí, minutu probíhá ohřev na 145°C a poté se začne otáčet rotor v testovacím tělisku. Zaznamenává se kroutivá síla v jednotkách Mooney v závislosti na čase. Dochází k vulkanizaci a kroutivá síla se zvyšuje.

Na konci měření se musí z rotoru odstranit testovací tělisko, které ho při měření obalí.



Obr. 19. Testovací tělíska pro Mooney MV 2000



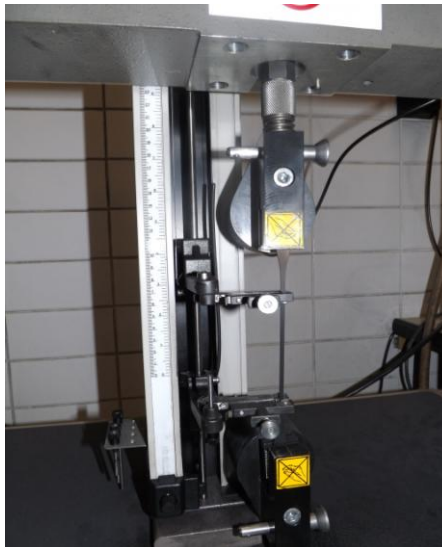
Obr. 20. Obalený rotor na konci měření

Tvrdotost Shore – měřeno na tvrdoměru Shore A, vulkanizovaný vzorek se vloží do měřícího zařízení a pomocí páky se spustí hrot, dochází k okamžitému změření a zobrazení hodnoty na displeji.



Obr. 21. Měření tvrdosti Shore A

Tahové zkoušky – vložení zkušebního tělíška do trhacího stroje, dochází k protahování zkoušeného materiálu až do úplného porušení. Měří se protažení v % a zatížení při přetržení v MPa.



Obr. 22. Zkouška tahem

Veškeré zkušební přístroje jsou připojeny k počítačům a naměřená data jsou uložena do firemního softwaru.

7.1.4 Zpracovatelské limity pro směs 1

Tab. 4: Stanovené limity pro Rheometr (směs 1)

Rheometr	ML (dNm)	Spodní limit 1,6	Horní limit 2,3
	<p>41 020 MDR/2,5min/180°C - ML [dNm]</p> <p>— E17049339F</p>		
	T10 (min)	Spodní limit 0,6	Horní limit 0,8
	<p>41 020 MDR/2,5min/180°C - T10 [min]</p> <p>— E17049339F</p>		
	T90 (min)	Spodní limit 1,8	Horní limit 2
<p>41 020 MDR/2,5min/180°C - T90 [min]</p> <p>— E17049339F</p>			
MH (dNm)	Spodní limit 10	Horní limit 14	
<p>41 020 MDR/2,5min/180°C - MH [dNm]</p> <p>— E17049339F</p>			

Tab. 5: Stanovené limity pro Mooney scorch (směs I)

Mooney scorch	T5 (min)	Spodní limit	Horní limit
		2,8	3,8
ML (MU)	Spodní limit	Horní limit	
	39	49	

Při výrobě je nutné udržovat vlastnosti gumárenské směsi v rozmezí předem stanovených limitů. Tyto limity jsou nadefinovány dle požadavků zpracovatele směsi. Jsou klíčové pro regulaci během výroby a následnou výstupní kontrolu jednotlivých šarží.

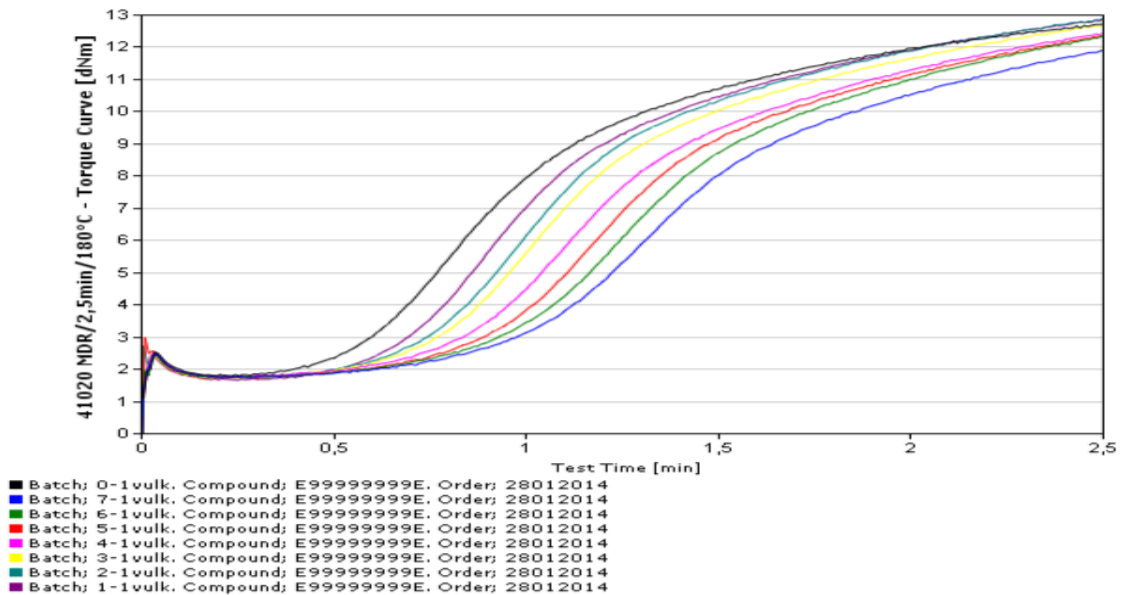
Při kontrole se provádí přeměření všech hodnot uvedených ve specifikaci. Pokud jedna či více naměřených hodnot neodpovídá specifikaci, tzn., že není v rozmezí stanovených limitů, může být směs pro další zpracování nevyhovující (vulkanizace finálního výrobku).

7.1.5 Naměřené hodnoty pro retardér

Tab. 6: Naměřené hodnoty při dávkování retardéru (směs 1)

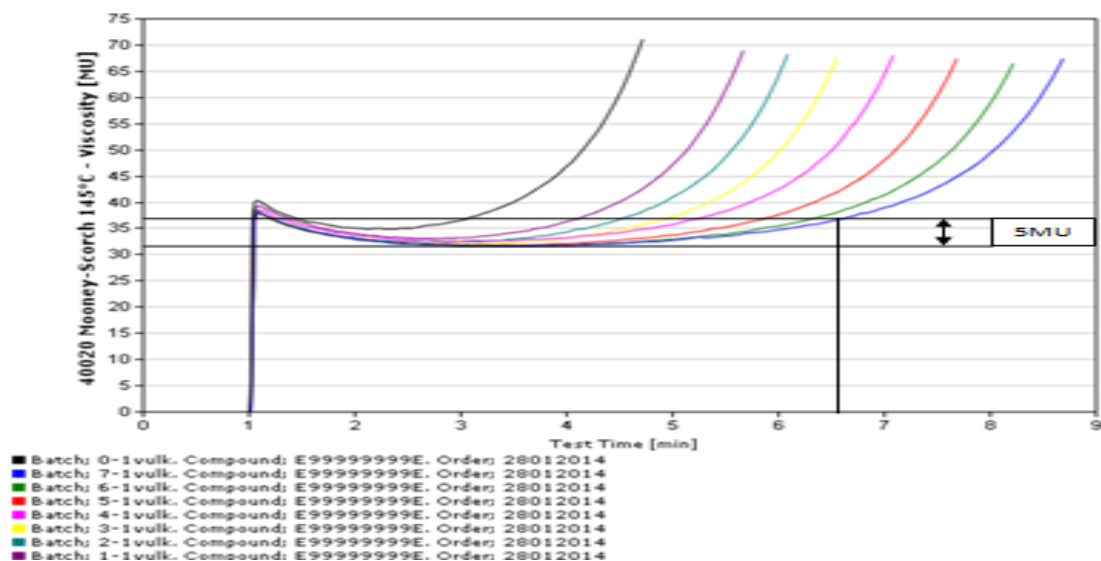
Retardér - Vulk										
Přístroj:		Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Tvrдость	Trhací zkoušky	
		MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000			
Testovací podmínky:		při 145°C	při 145°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min			
Zjišťovaná hodnota:		ML	T5	MH	ML	T10	T90		Protaž.	Zatíž. při přetrž.
Jednotka:		MU	min	dNm	dNm	min	min	Shore A	%	MPa
Označení vzorku	Přidávané množství v g									
0-1vulk	0	34,9	3,49	12,72	1,79	0,59	1,84	72,04	316,2	9,01
0-2vulk		34,5	3,45	12,73	1,77	0,59	1,84			
0-3vulk		34,71	3,54	12,78	1,79	0,57	1,83			
1-1vulk	0,5	33,1	4,28	12,86	1,66	0,67	1,93	71,47		
1-2vulk		33,21	4,31	12,94	1,75	0,67	1,92			
1-3vulk		32,71	4,17	12,84	1,71	0,66	1,92			
2-1vulk	1	32,3	4,59	12,89	1,73	0,73	1,95	72,54		
2-2vulk		32,4	4,59	13,01	1,73	0,73	1,97			
2-3vulk		32,4	4,62	12,7	1,73	0,72	1,94			
3-1vulk	1,5	31,9	4,95	12,68	1,73	0,75	1,98	73,34	314,6	9,57
3-2vulk		32,21	4,96	12,79	1,72	0,76	1,98			
3-3vulk		31,9	4,96	12,75	1,71	0,76	1,98			
4-1vulk	2	32,5	5,36	12,46	1,77	0,81	2,03	71,77		
4-2vulk		32,71	5,39	12,54	1,77	0,81	2,04			
4-3vulk		32,5	5,37	12,42	1,76	0,81	2,02			
5-1vulk	2,5	31,8	5,86	12,36	1,73	0,85	2,05	71,7	286,3	9,12
5-2vulk		31,5	5,82	12,14	1,71	0,84	2,05			
5-3vulk		31,6	5,84	12,3	1,7	0,85	2,05			
6-1vulk	3	31,6	6,27	12,34	1,74	0,9	2,09	72,91		
6-2vulk		31,6	6,21	11,97	1,65	0,87	2,08			
6-3vulk		31,4	6,27	12,27	1,72	0,9	2,09			
7-1vulk	3,5	31,6	6,54	11,92	1,75	0,93	2,12	72,8	289,9	8,98
7-2vulk		31,8	6,56	11,82	1,65	0,92	2,12			
7-3vulk		32,1	6,56	11,76	1,74	0,92	2,12			

Na obrázku č. 21 a 22, můžeme pozorovat, jaký vliv má retardér na nástup vulkanizace. Směs 0 (značená jako Batch 0-1vulk), která neobsahuje žádný přídatek retardéru začíná vulkanizovat jako první. Směs 1-1vulk s obsahem retardéru 0,5 g bude mít druhý nejrychlejší nástup vulkanizace, další bude směs 2-1vulk, postupně až po směs 7-1vulk s největším obsahem retardéru 3,5 g, která bude mít nejpomalejší nástup vulkanizace.



Obr. 23. Vulkanizační křivka z Rheometru – retardér (směs 1)

U zpracovatelské bezpečnosti se hodnotí čas t_5 – je to čas v minutách, při kterém dojde ke zvýšení kroutivé síly o 5 MU jednotek oproti ML (nejnižší hodnota kroutivé síly).

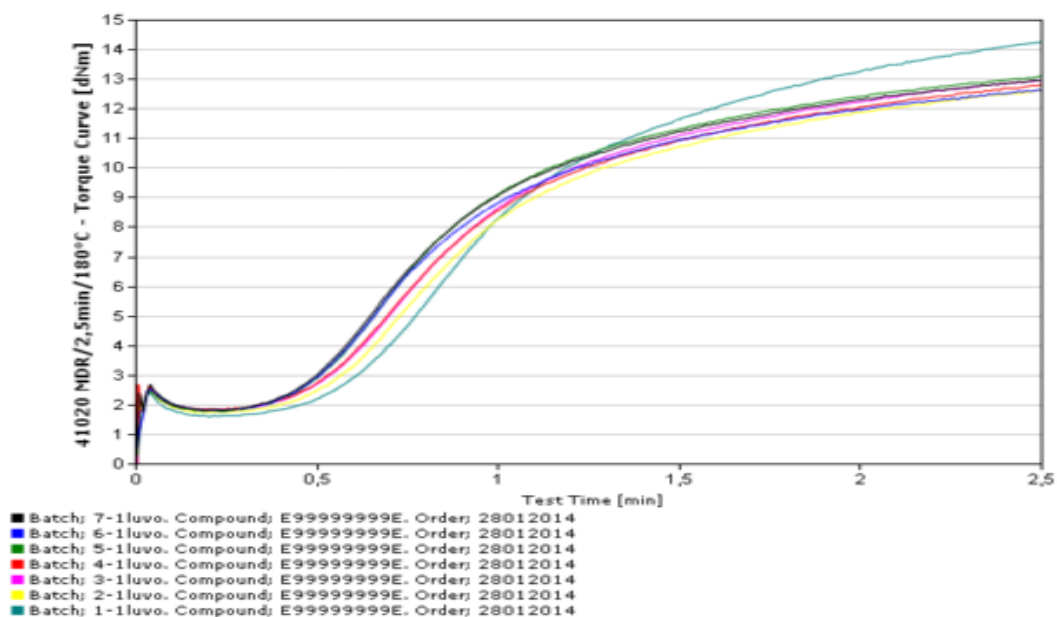


Obr. 24. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – retardér (směs 1)

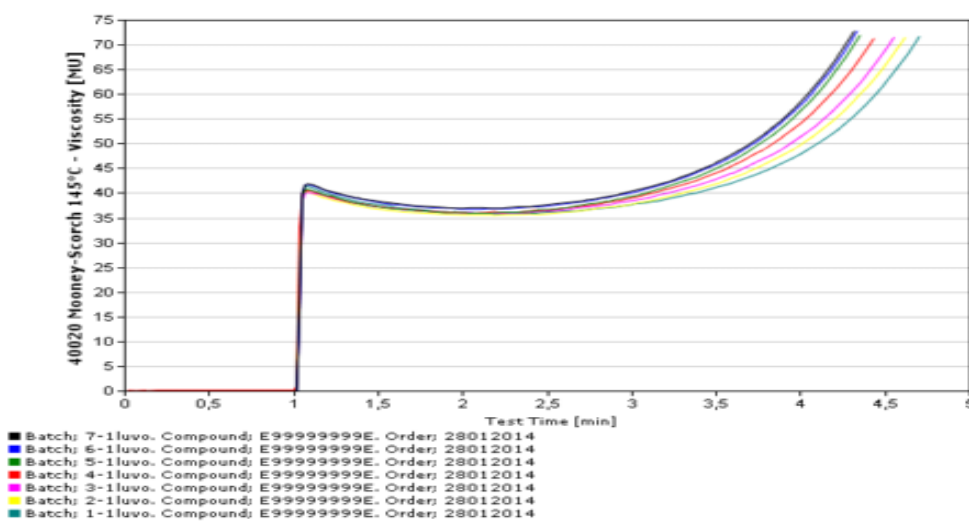
7.1.6 Naměřené hodnoty pro urychlovač 1

Tab. 7: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 1 (směs 1)

Urychlovač 1 - Luvo										
Přístroj:		Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Tvrдост	Trhací zkoušky	
		MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000			
Testovací podmínky:		při 145°C	při 145°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min			
Zjišťovaná hodnota:		ML	T5	MH	ML	T10	T90		Protaž.	Zatíž. při přetrž.
Jednotka:		MU	min	dNm	dNm	min	min	Shore A	%	MPa
Označení vzorku	Přidávané množství v g									
0-1luvo	0	34,9	3,49	12,72	1,79	0,59	1,84	72,04	316,2	9,01
1-1luvo	0,5	35,9	3,47	14,28	1,62	0,6	1,9	72,41		
1-2luvo		35,8	3,47	13,79	1,66	0,59	1,86			
1-3luvo		35,71	3,46	13,41	1,75	0,59	1,84			
2-1luvo	1	35,5	3,36	12,64	1,75	0,55	1,84	72,7		
3-1luvo	1,5	36	3,32	12,97	1,81	0,53	1,81	72,64	345,9	9,32
4-1luvo	2	36	3,23	12,81	1,84	0,53	1,82	72,27		
5-1luvo	2,5	36	3,18	13,13	1,78	0,51	1,78	72,2	341,3	9,43
6-1luvo	3	36,8	3,19	12,64	1,82	0,5	1,76	72,7		
7-1luvo	3,5	37	3,18	12,96	1,83	0,5	1,76	72,8	348,4	9,17



Obr. 25. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 1(směs 1)

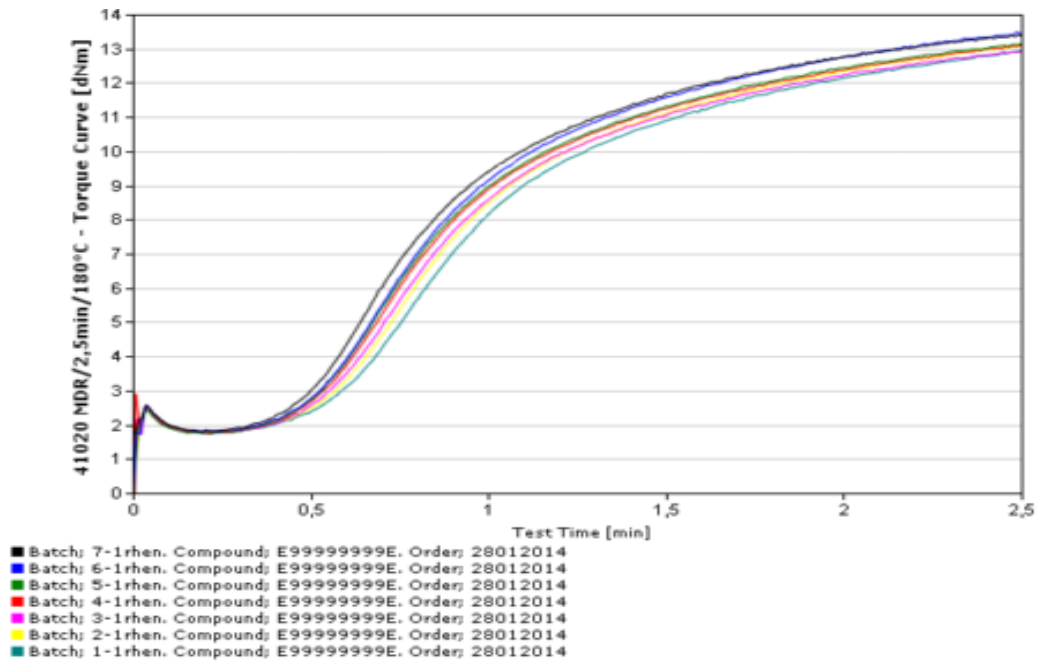


Obr. 26. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychlovač 1 (směs 1)

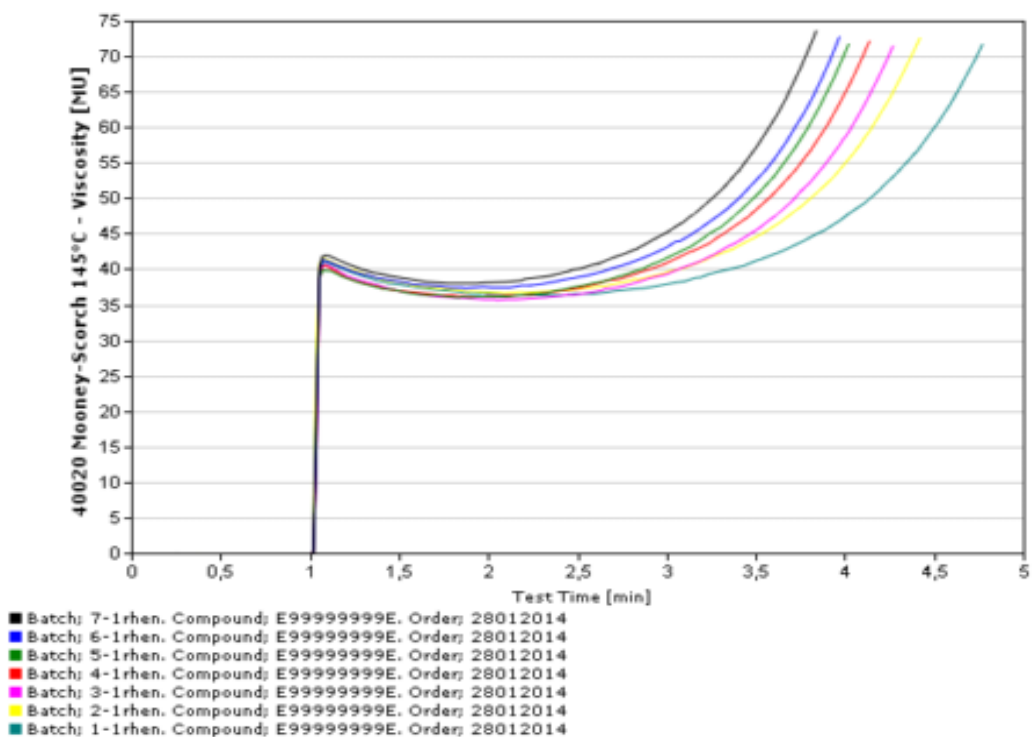
7.1.7 Naměřené hodnoty pro urychlovač 2

Tab. 8: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 2 (směs 1)

Urychlovač 2 - Rhen										
Přístroj:	Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Tvrдост	Trhací zkoušky		
	MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000				
Testovací podmínky:	při 145°C	při 145°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min				
Zjišťovaná hodnota:	ML	T5	MH	ML	T10	T90		Protaž.	Zatěž. při přetrž.	
Jednotka:	MU	min	dNm	dNm	min	min	Shore A	%	MPa	
Označení vzorku	Přidávané množství v g									
0-1rhen	0	34,9	3,49	12,72	1,79	0,59	1,84	72,04	316,2	9,01
1-1rhen	0,7	36,4	3,52	12,95	1,8	0,58	1,84	72,7		
1-2rhen		36,21	3,44	12,94	1,7	0,58	1,86			
1-3rhen		36,1	3,37	12,96	1,79	0,58	1,84			
2-1rhen	1,4	36,71	3,24	13,11	1,81	0,56	1,82	72,2		
3-1rhen	2,1	35,71	3,14	12,94	1,77	0,54	1,8	72,67	344,5	9,69
4-1rhen	2,8	36,21	3,02	13,11	1,79	0,53	1,79	72		
5-1rhen	3,5	36,1	2,96	13,15	1,75	0,52	1,78	71,84	353,4	9,03
6-1rhen	4,2	37,4	2,94	13,5	1,81	0,53	1,78	72,54		
7-1rhen	4,9	38,1	2,84	13,43	1,8	0,5	1,72	72,07	349,3	9,59



Obr. 27. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 2 (směs 1)



Obr. 28. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychlovač 2 (směs 1)

7.1.8 Lineární regrese

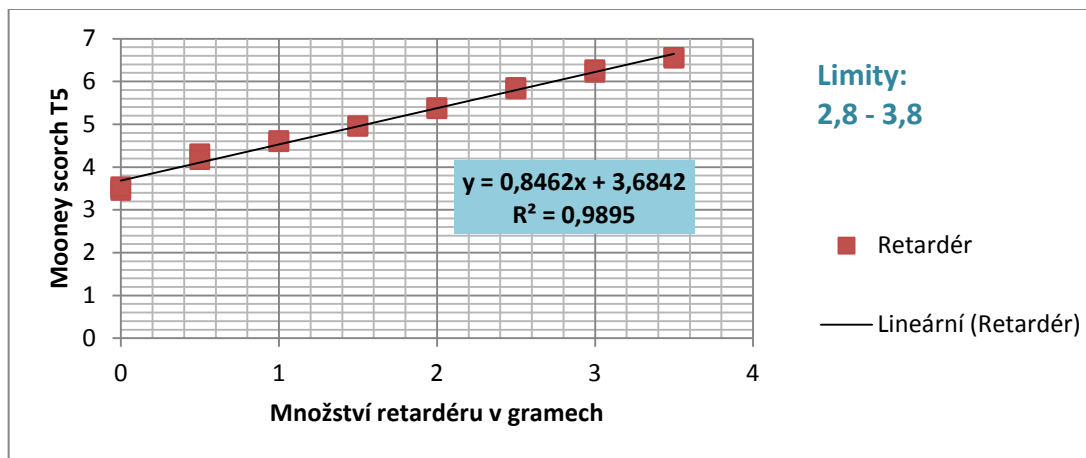
Byly zpracovány v programu Microsoft Excel 2010, pro tabulky 4, 5, 6.

1) Retardér

Rovnice přímky: $y = bx + a$

Rozptyl (s^2) = 0,949808333

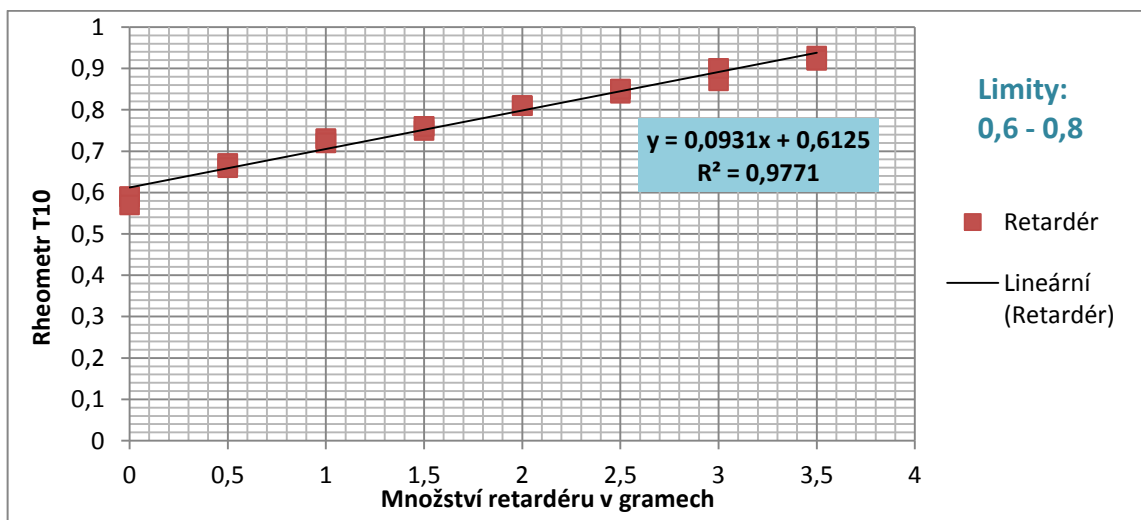
Směrodatná odchylka (s) = 0,974581107



Obr. 29. Lineární regrese Mooney scorch T5- retardér (směs 1)

Rozptyl (s^2) = 0,011641493

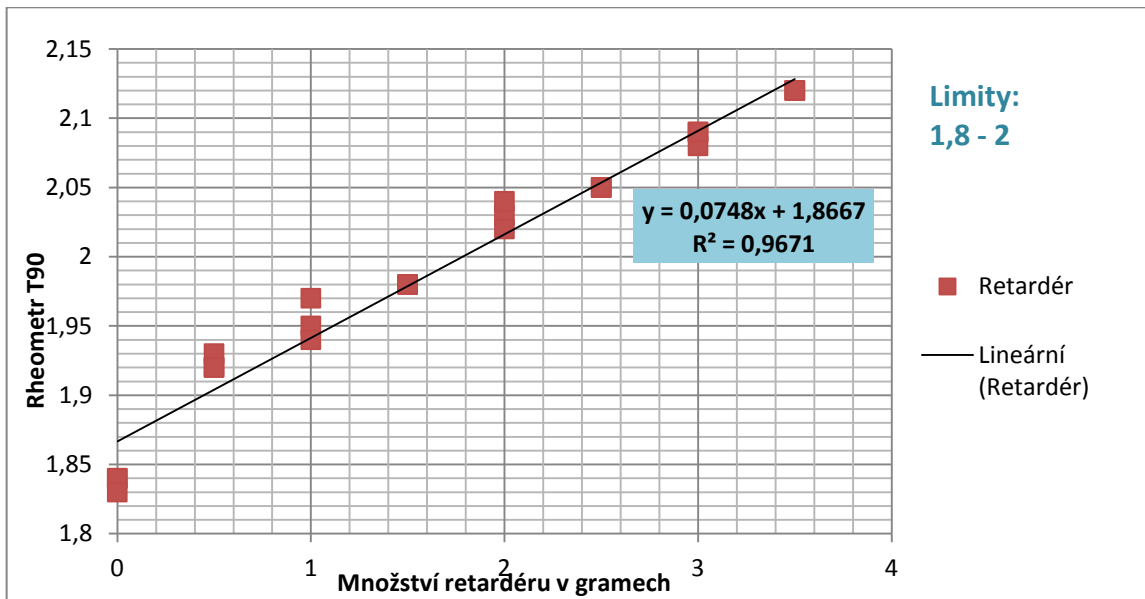
Směrodatná odchylka (s) = 0,107895751



Obr. 30. Lineární regrese Rheometr T10 – retardér (směs 1)

Rozptyl (s^2) = 0,007585417

Směrodatná odchylka (s) = 0,087094298

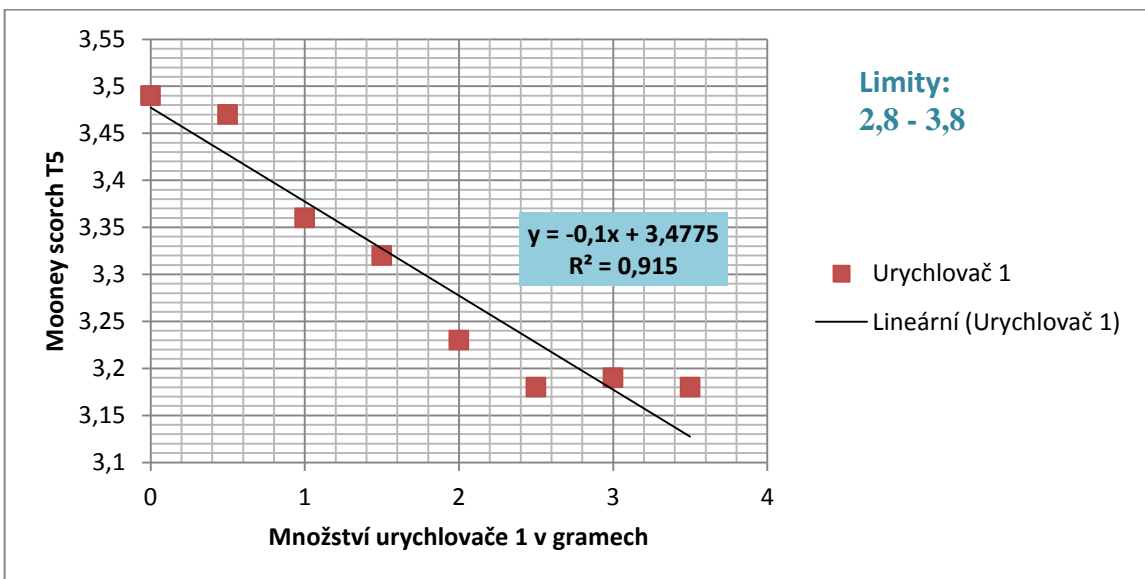


Obr. 31. Lineární regrese Rheometr T90 (směs 1)

2) Urychlovač 1

Rozptyl (s^2) = 0,015705

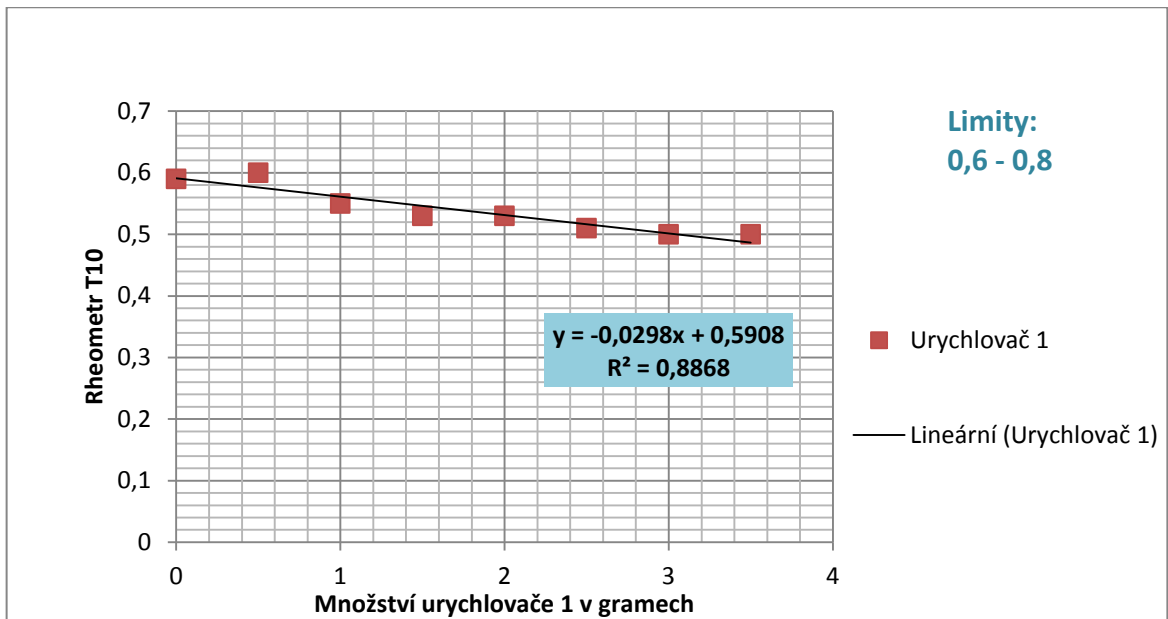
Směrodatná odchylka (s) = 0,125319591



Obr. 32. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 1 (směs 1)

Rozptyl (s^2) = 0,001469

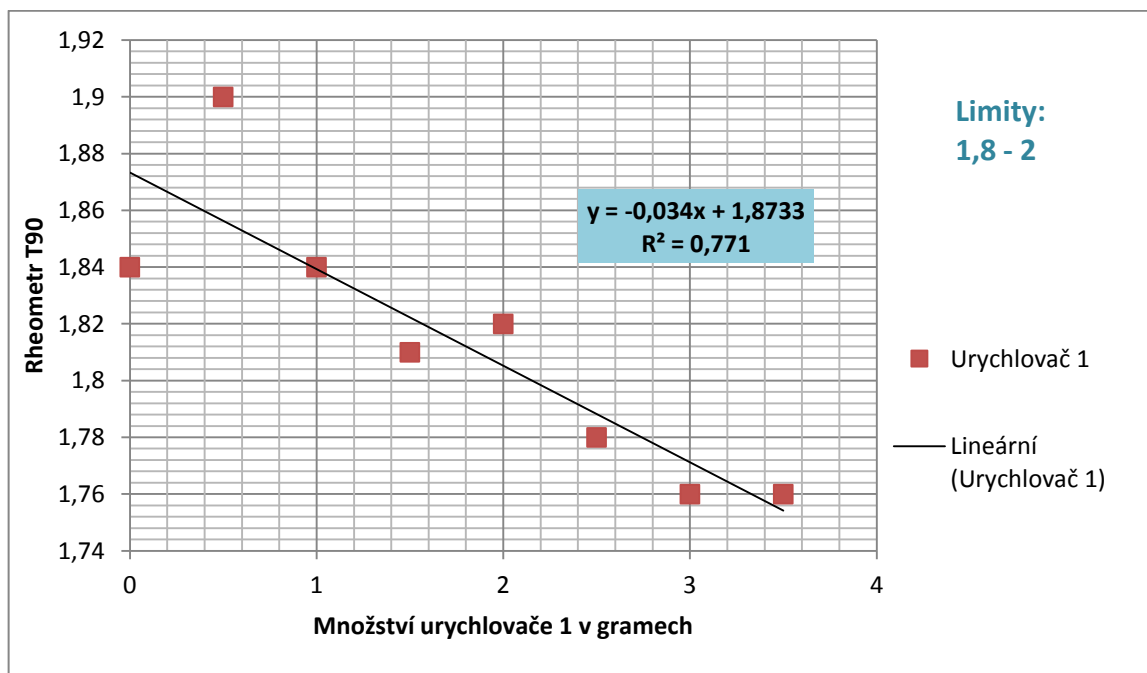
Směrodatná odchylka (s) = 0,038327536



Obr. 33. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 1 (směs 1)

Rozptyl (s^2) = 0,001809

Směrodatná odchylka (s) = 0,042532341

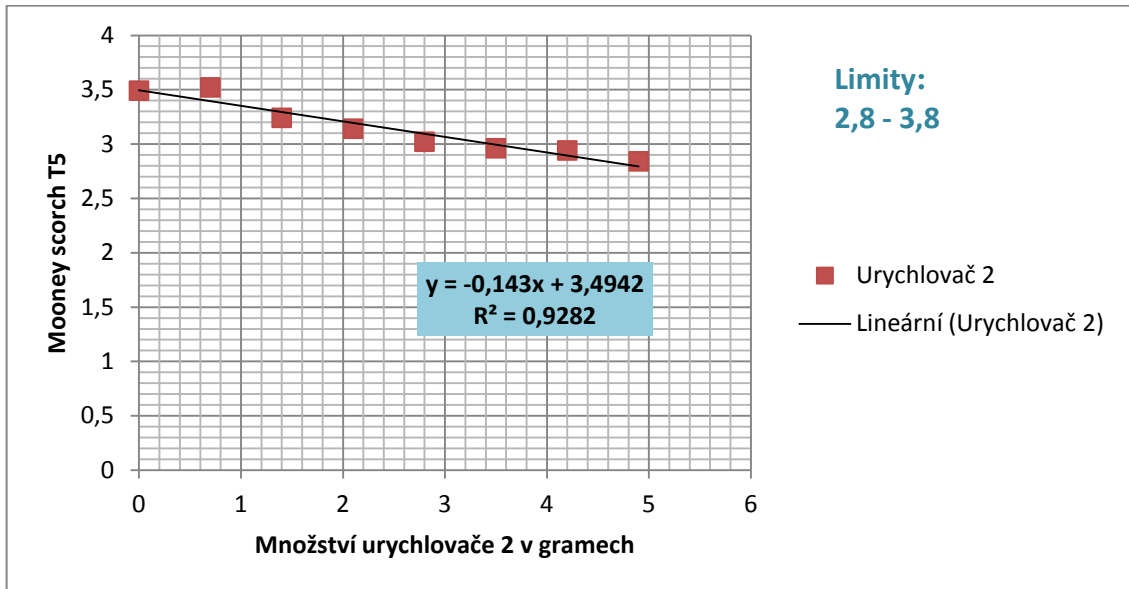


Obr. 34. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 1 (směs 1)

3) Urychlovač 2

Rozptyl (s^2) = 0,056524

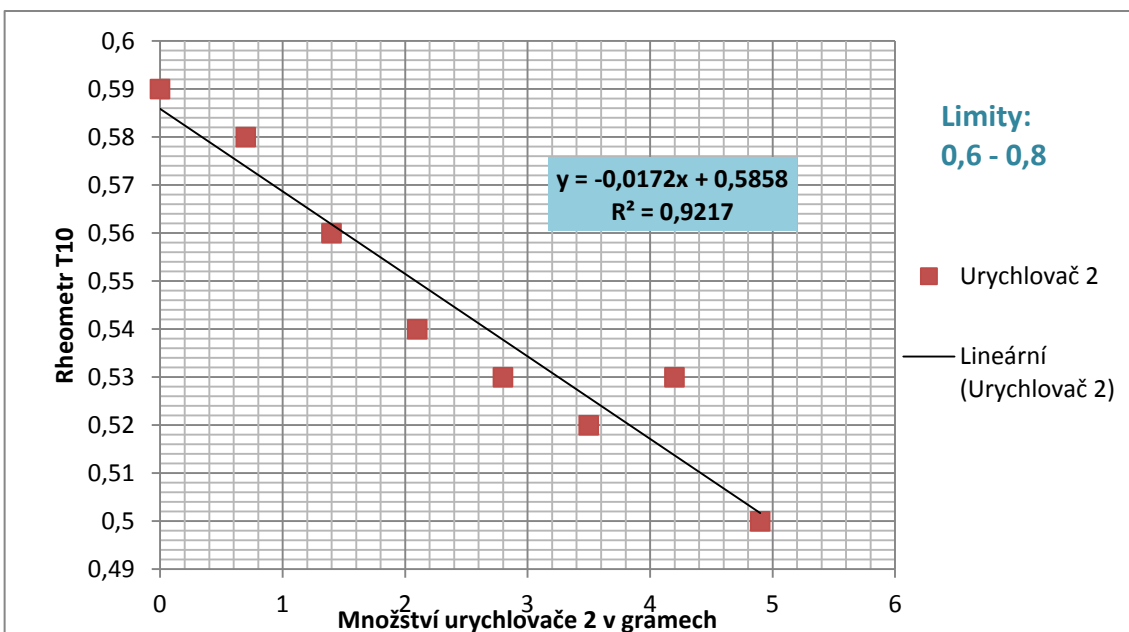
Směrodatná odchylka (s) = 0,237747765



Obr. 35. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 2 (směs 1)

Rozptyl (s^2) = 0,000869

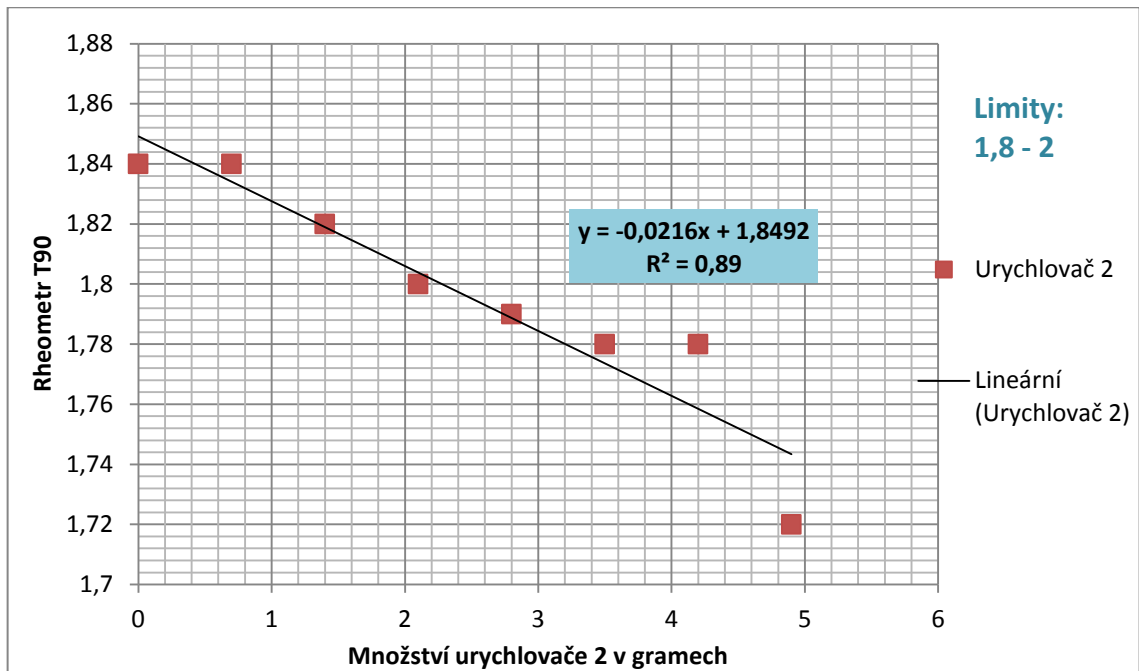
Směrodatná odchylka (s) = 0,029478806



Obr. 36. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 2 (směs 1)

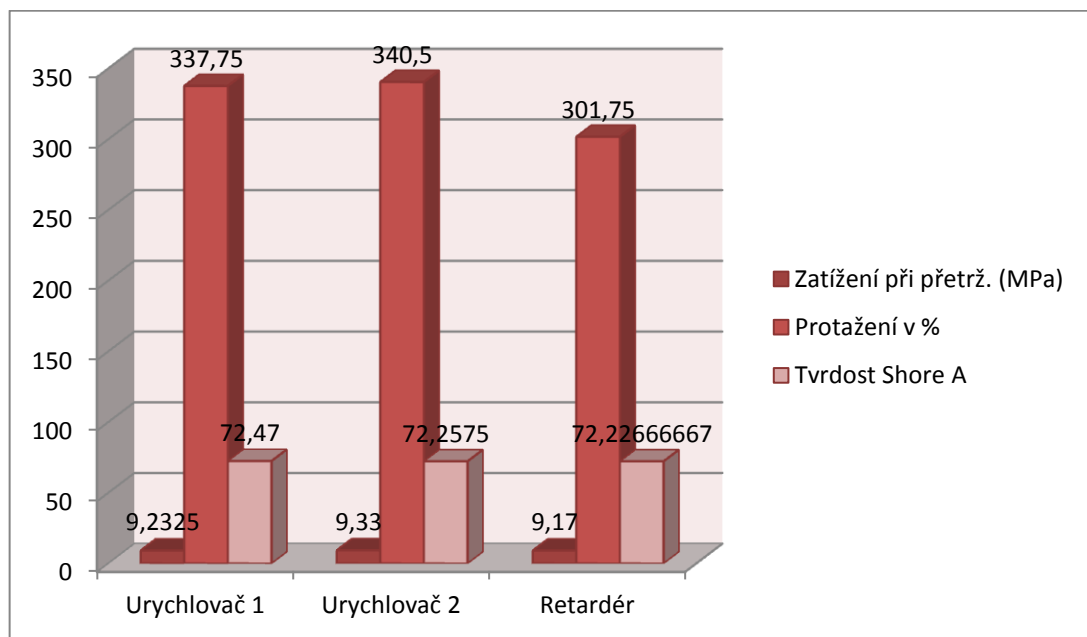
Rozptyl (s^2) = 0,001561

Směrodatná odchylka (s) = 0,039509493



Obr. 37. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 2 (směs 1)

Grafické zpracování tvrdosti a tažnosti pomocí aritmetického průměru naměřených hodnot, viz. tabulky 4, 5, 6.



Obr. 38. Graf - zkoušky tvrdosti a tažnosti (směs 1)

7.2 Směs 2

Tato směs je určena pro vstřikovací technologii. Hlavní aplikací je výroba kabelových průchodek v automobilovém průmyslu. Tvrdost je 50 ShA.

Tab. 9: Složení směsi 2

Surovina	množství [dsk]
polymer	100
saze	97
bílé plnivo	18
bílé plnivo	10
změkčovač	105
změkčovač	15
zpracovatelská přísada	4
aktivátor	4
aktivátor	2
aktivátor	1
síra	1,2
urychlovací systém	7,6
retardér	viz. experiment
urychlovač	viz. experiment

7.2.1 Zpracovatelské limity pro směs 2

Tab. 10: Stanovené limity pro Rheometr (směs 2)

Rheometr	ML (dNm)	Spodní limit	Horní limit
		0,7	1,1
	T10 (min)	Spodní limit	Horní limit
		0,5	0,65
T90 (min)	Spodní limit	Horní limit	
	1,65	1,85	
MH (dNm)	Spodní limit	Horní limit	
	6	9	

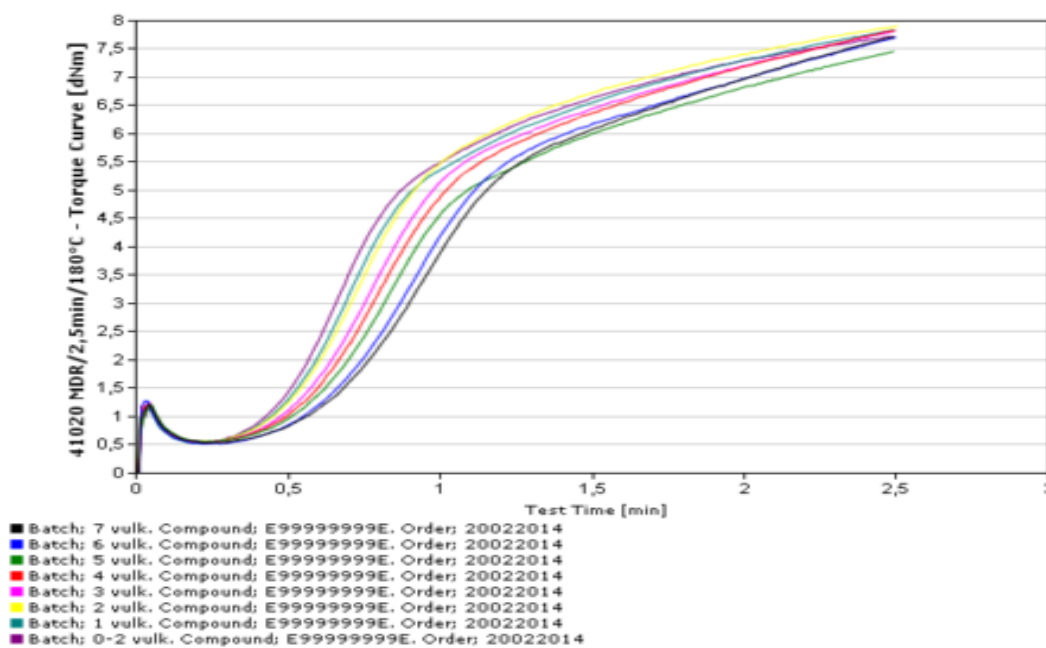
Tab. 11: Stanovené limity pro Mooney scorch (směs 2)

Mooney scorch	T5 (min)	Spodní limit	Horní limit
		3	4
	ML (MU)	Spodní limit	Horní limit
		18	28

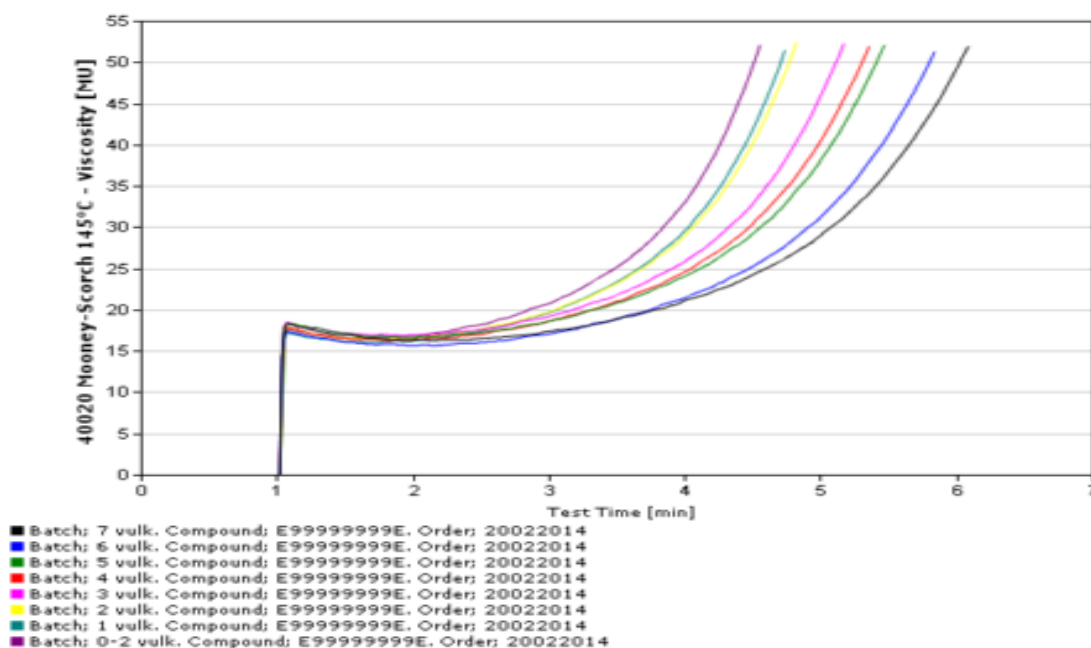
7.2.2 Naměřené hodnoty pro retardér

Tab. 12: Naměřené hodnoty při dávkování retardéru (směs 2)

Retardér - Vulk										
Přístroj:	Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Tvrдост	Trhací zkoušky		
	MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000				
Testovací podmínky:	při 145°C	při 145°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min				
Zjišťovaná hodnota:	ML	T5	MH	ML	T10	T90		Protaž.	Zatěž. při přetrž.	
Jednotka:	MU	min	dNm	dNm	min	min	Shore A	%	MPa	
Označení vzorku	Přidávané množství v g									
0-1 vulk	0	16,4	3,07	7,82	0,52	0,48	1,77	47,17	653,17	16,96
0-2 vulk		16,61	3,11	7,72	0,54	0,48	1,76			
0-3 vulk		16,4	3,07	7,82	0,55	0,48	1,73			
1 vulk	0,5	16,11	3,21	7,83	0,53	0,5	1,85	47,27		
2 vulk	1	16,4	3,27	7,92	0,57	0,51	1,81	46,97		
3 vulk	1,5	16,9	3,51	7,82	0,55	0,54	1,92	46,84	643,92	16,35
4 vulk	2	16,3	3,56	7,83	0,55	0,56	1,94	46,84		
5 vulk	2,5	16,7	3,66	7,46	0,57	0,58	1,97	47,27	626,71	16,64
6 vulk	3	15,7	3,84	7,72	0,52	0,61	2,02	47,04		
7 vulk	3,5	16,3	4,02	7,72	0,54	0,63	2,01	47,3	617,96	15,96



Obr. 39. Vulkanizační křivka z Rheometru – retardér (směs 2)

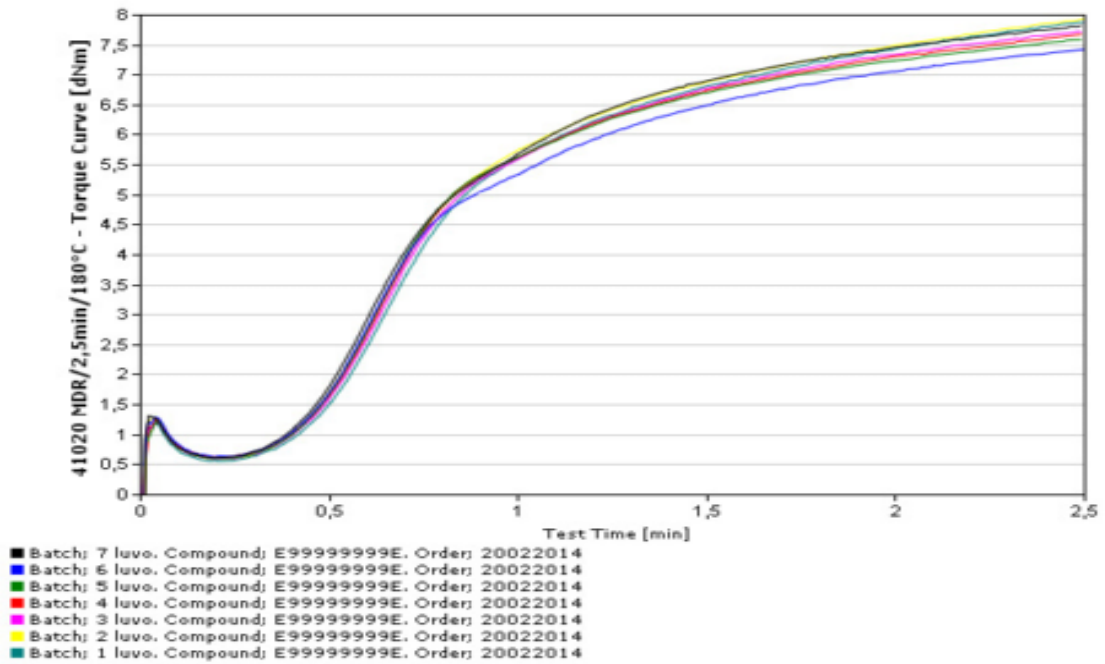


Obr. 40. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – retardér (směs 2)

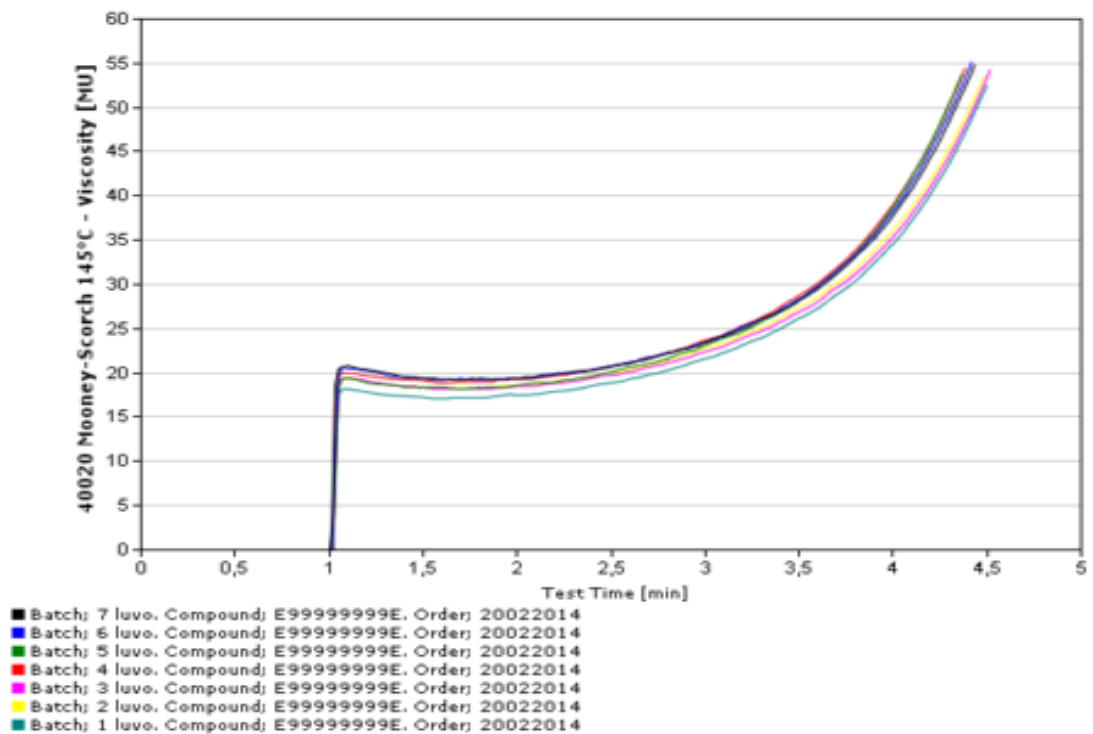
7.2.3 Naměřené hodnoty pro Urychlovač 1

Tab. 13: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 1 (směs 2)

Urychlovač 1 - Luvo										
Přístroj:	Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Tvrдост	Trhací zkoušky		
	MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000				
Testovací podmínky:	při 145°C	při 145°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min				
Zjišťovaná hodnota:	ML	T5	MH	ML	T10	T90		Protaž.	Zatíž. při přet.	
Jednotka:	MU	min	dNm	dNm	min	min	Shore A	%	MPa	
Označení vzorku	Přidávané množství v g									
0-luvo	0	16,4	3,07	7,82	0,52	0,48	1,77	47,17	653,17	16,96
1 luvo	0,5	17,11	3,08	7,88	0,57	0,47	1,75	46,37		
2 luvo	1	18,2	3,07	7,94	0,6	0,46	1,74	46,2		
3 luvo	1,5	18,2	3,12	7,73	0,6	0,47	1,69	46,37	649,34	16,92
4 luvo	2	18,9	3,04	7,68	0,62	0,46	1,69	46,5		
5 luvo	2,5	18,2	3,01	7,59	0,61	0,46	1,65	46,27	648,34	15,63
6 luvo	3	19,2	3,1	7,43	0,63	0,45	1,69	46,74		
7 luvo	3,5	19,2	3,11	7,83	0,62	0,45	1,66	46,67	635,21	15,39



Obr. 41. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 1 (směs 2)

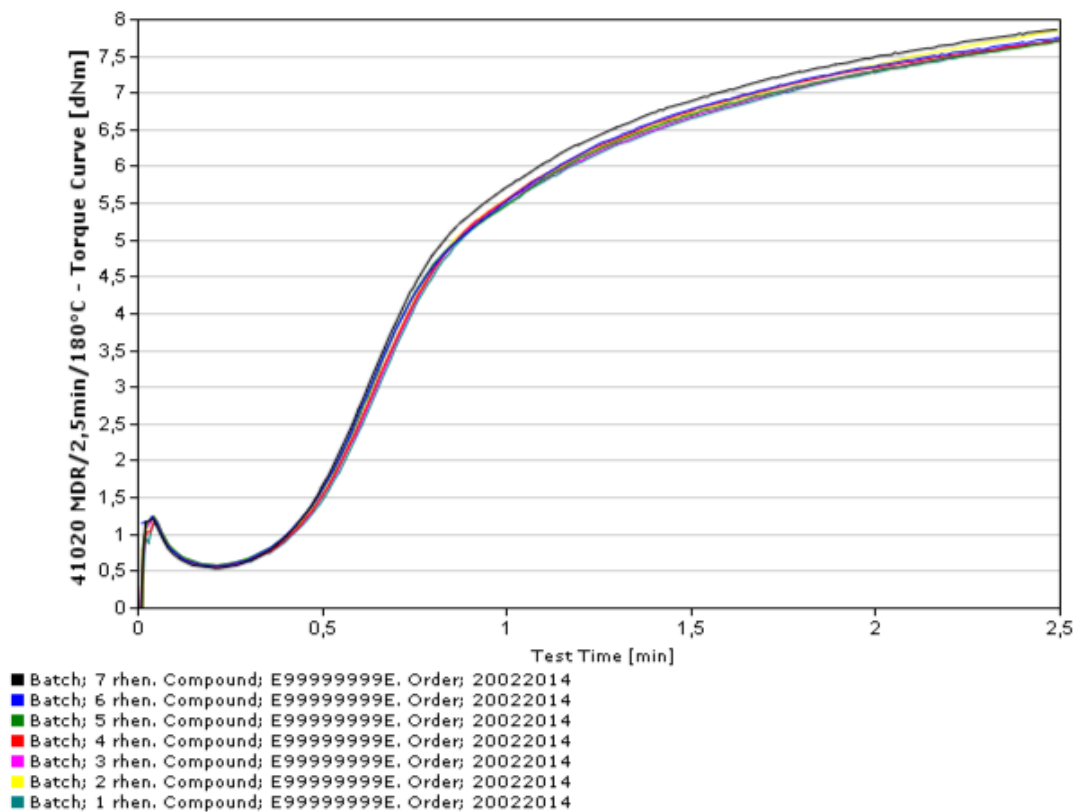


Obr. 42. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.1 (směs 2)

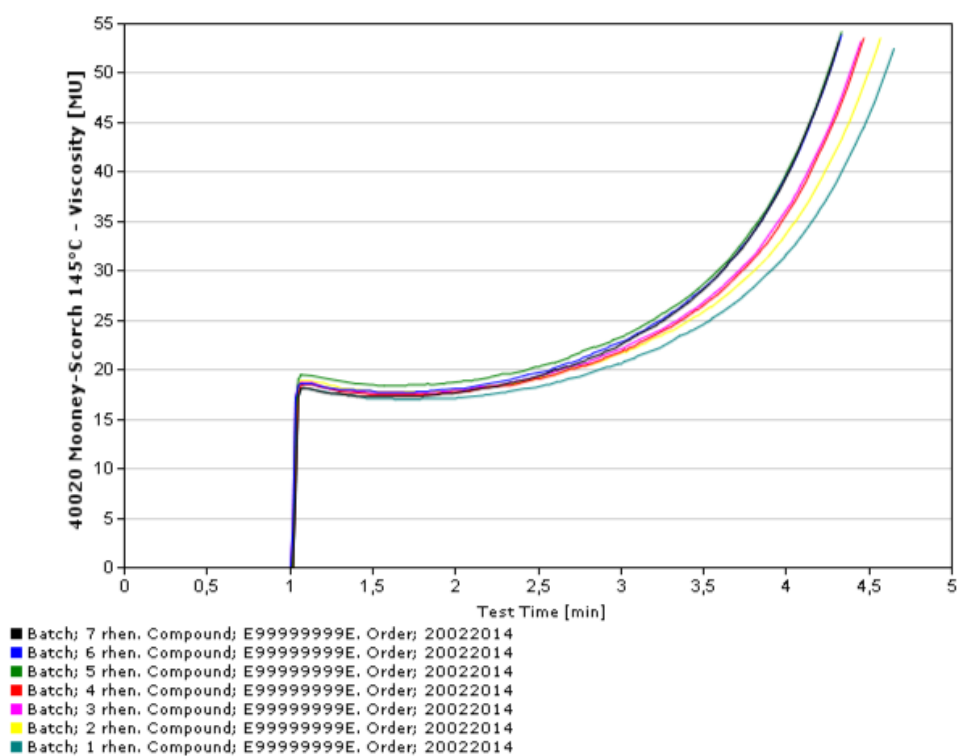
7.2.4 Naměřené hodnoty pro Urychlovač 2

Tab. 14: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 2 (směs 2)

Urychlovač 2 - Rhen										
Přístroj:	Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Tvrдост	Trhací zkoušky		
	MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000				
Testovací podmínky:	při 145°C	při 145°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min				
Zjišťovaná hodnota:	ML	T5	MH	ML	T10	T90		Protaž.	Zatíž. při přetrž.	
Jednotka:	MU	min	dNm	dNm	min	min	Shore A	%	MPa	
Označení vzorku	Přidávané množství v g									
0-1rhen	0	16,4	3,07	7,82	0,52	0,48	1,77	47,17	653,17	16,96
1 rhen	0,7	17	3,21	7,72	0,57	0,48	1,75	46,27		
2 rhen	1,4	17,7	3,16	7,85	0,59	0,47	1,78	46,17		
3 rhen	2,1	17,61	3,06	7,72	0,57	0,47	1,73	46,17	627,46	14,91
4 rhen	2,8	17,5	3,1	7,72	0,57	0,47	1,67	46,27		
5 rhen	3,5	18,4	3,02	7,72	0,59	0,46	1,72	46,34	656	15,34
6 rhen	4,2	17,7	2,99	7,75	0,57	0,46	1,69	46,04		
7 rhen	4,9	17,3	2,98	7,87	0,54	0,46	1,67	46,2	628,71	15,71



Obr. 43. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 2 (směs 2)



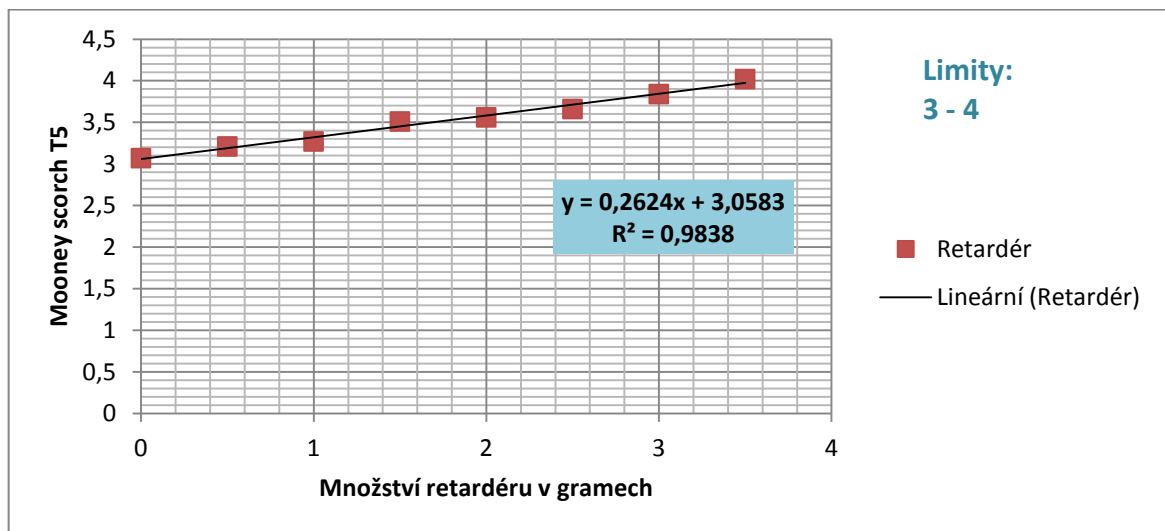
Obr. 44. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.2 (směs 2)

7.2.5 Lineární regrese

1) Retardér

Rozptyl (s^2) = 0,102796

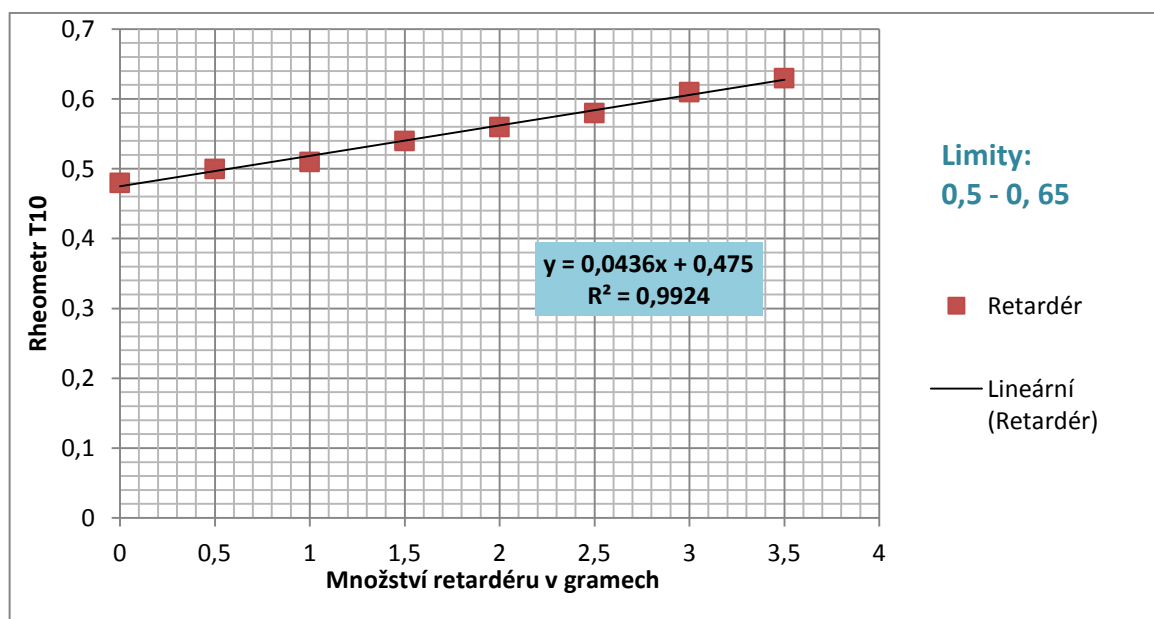
Směrodatná odchylka (s) = 0,320618153



Obr. 45. Lineární regrese Mooney scorch T5- retardér (směs 2)

Rozptyl (s^2) = 0,002821

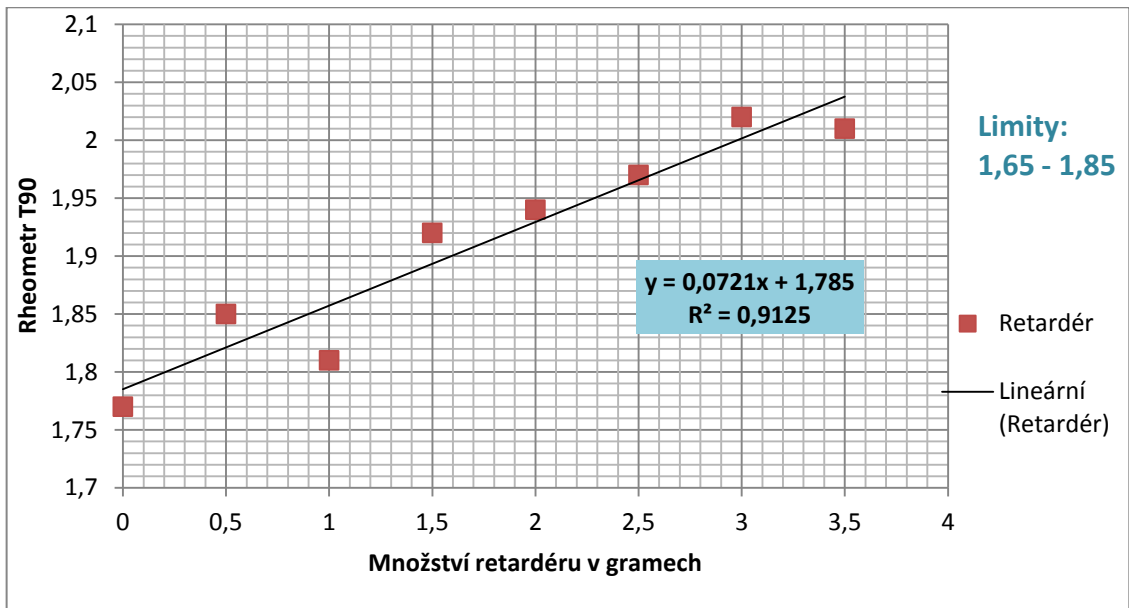
Směrodatná odchylka (s) = 0,053113087



Obr. 46. Lineární regrese Rheometr T10 – retardér (směs 2)

Rozptyl (s^2) = 0,010456

Směrodatná odchylka (s) = 0,102254584

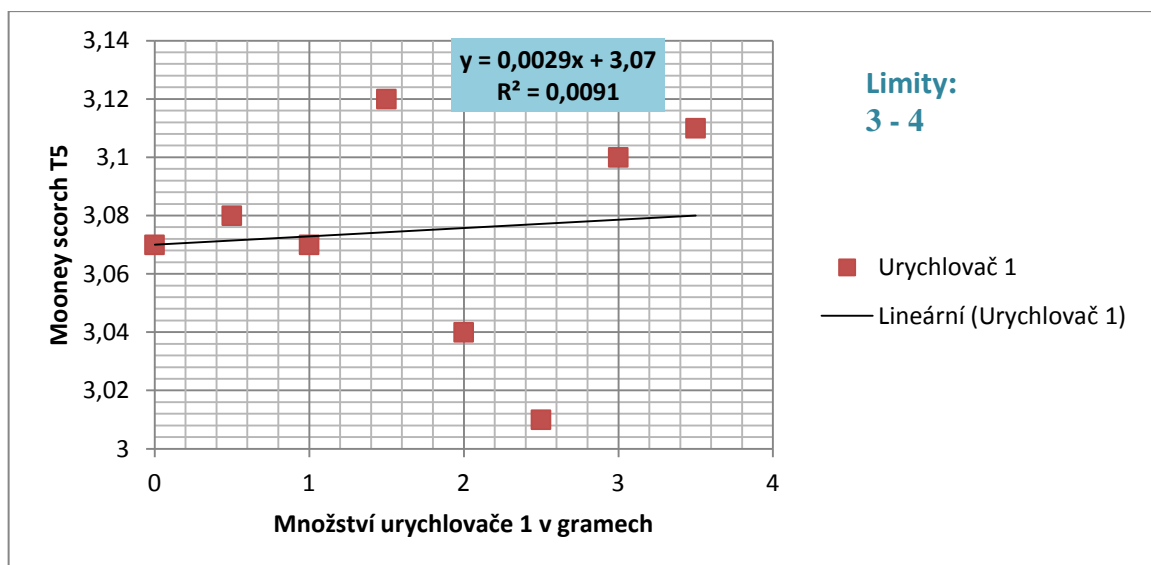


Obr. 47. Lineární regrese Rheometr T90 (směs 2)

2) Urychlovač 1

Rozptyl (s^2) = 0,001175

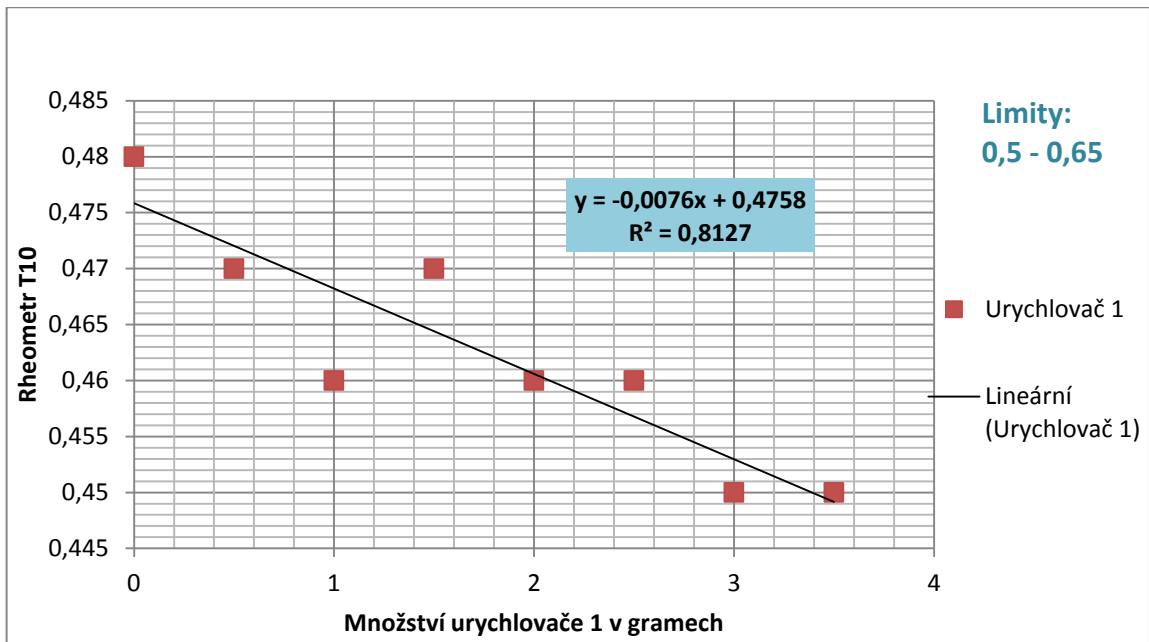
Směrodatná odchylka (s) = 0,034278273



Obr. 48. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 1 (směs 2)

Rozptyl (s^2) = 0,000094

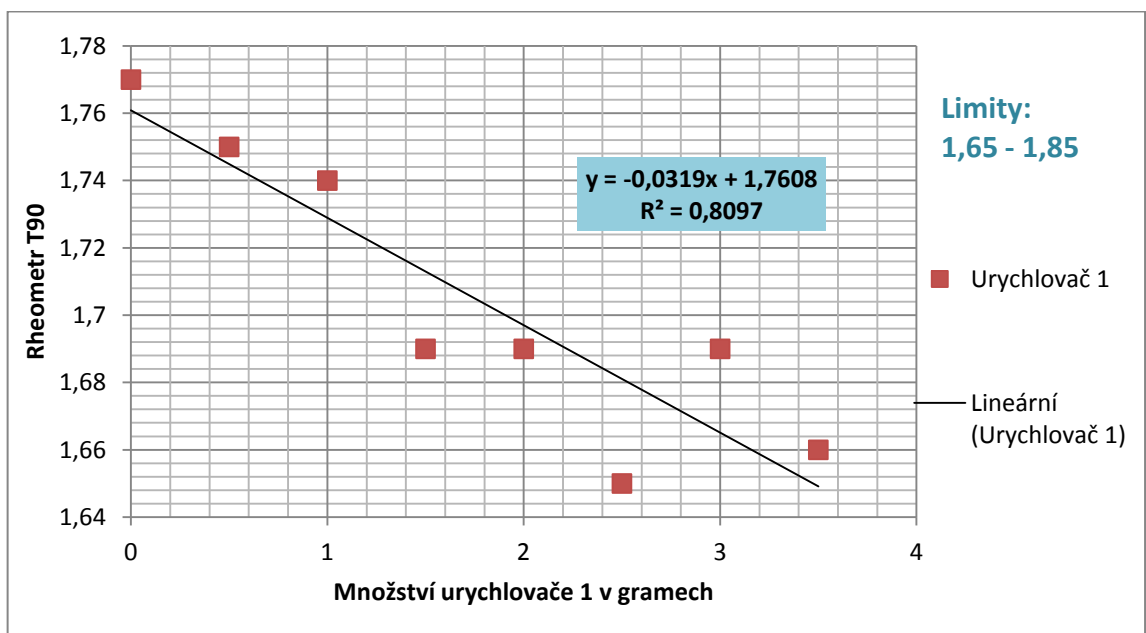
Směrodatná odchylka (s) = 0,009682458



Obr. 49. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 1 (směs 2)

Rozptyl (s^2) = 0,00165

Směrodatná odchylka (s) = 0,040620192

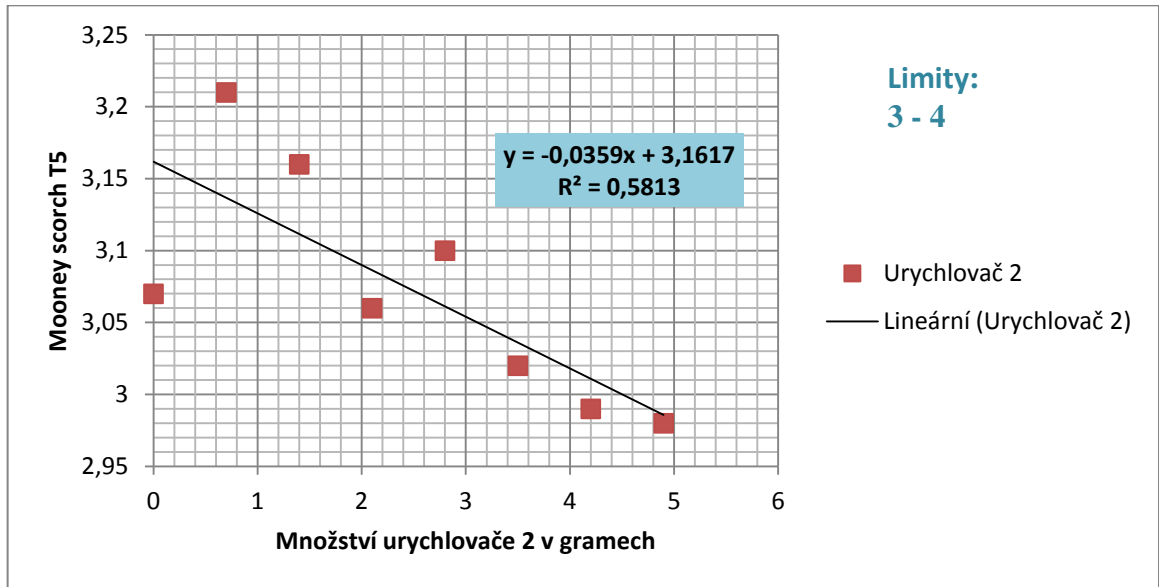


Obr. 50. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 1 (směs 2)

3) Urychlovač 2

Rozptyl (s^2) = 0,005698437

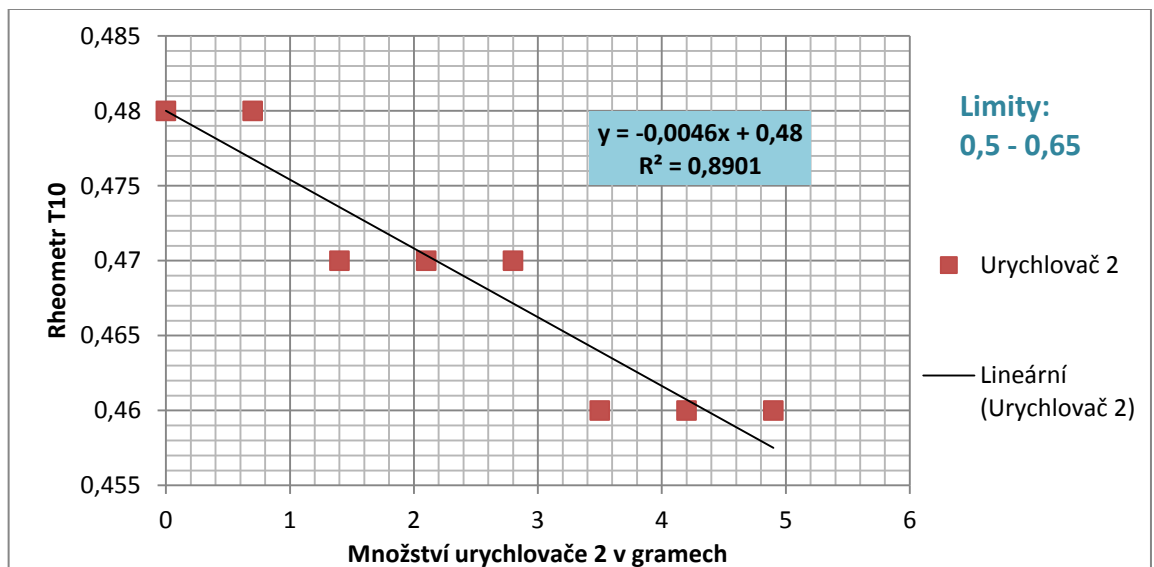
Směrodatná odchylka (s) = 0,075487996



Obr. 51. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 2 (směs 2)

Rozptyl (s^2) = 0,000061

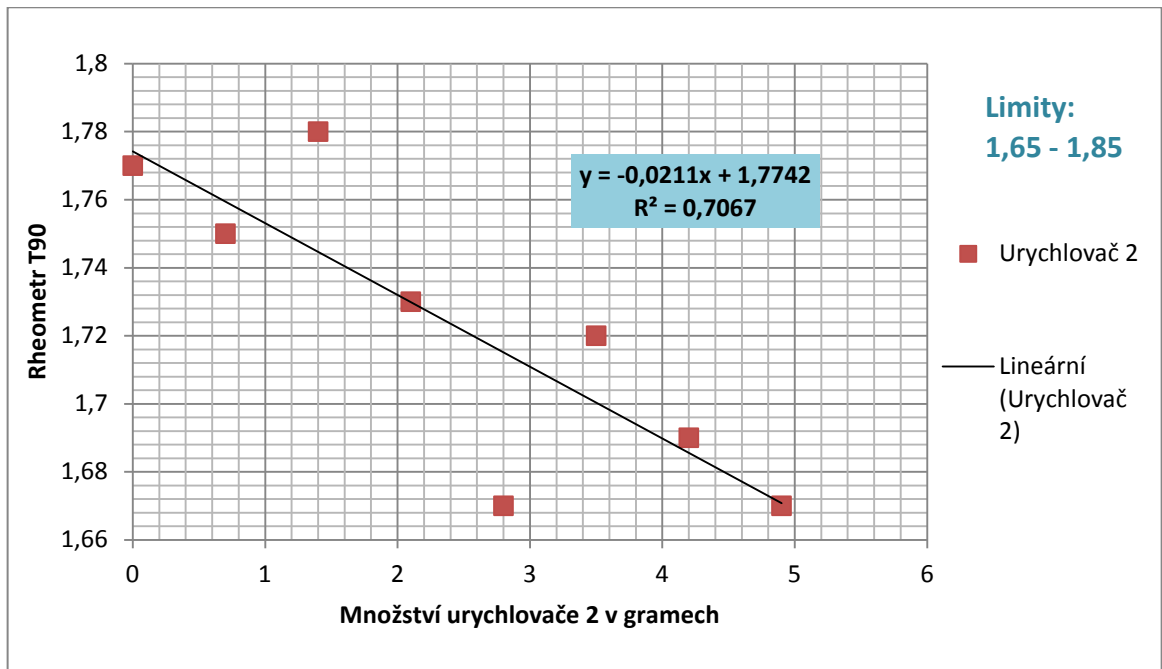
Směrodatná odchylka (s) = 0,007806247



Obr. 52. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 2 (směs 2)

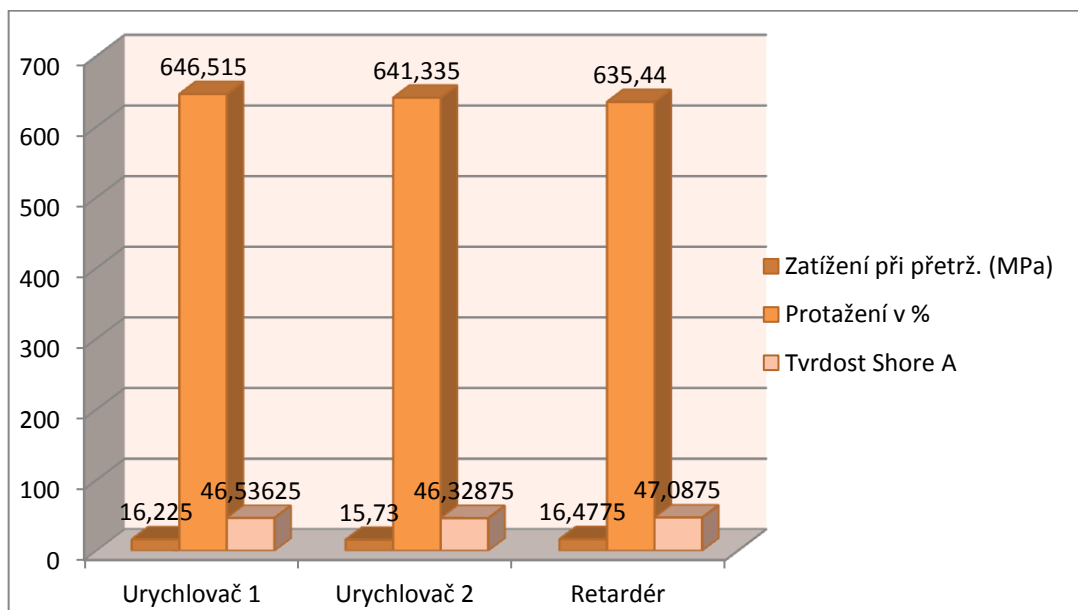
Rozptyl (s^2) = 0,00161875

Směrodatná odchylka (s) = 0,040233692



Obr. 53. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 2 (směs 2)

Grafické zpracování tvrdosti a tažnosti pomocí aritmetického průměru naměřených hodnot, viz. tabulky 10, 11, 12.



Obr. 54. Graf - zkoušky tvrdosti a tažnosti (směs 2)

7.3 Směs 3

Mikroporézní směs určená k vytlačování. Výroba těsnících profilů v automobilovém průmyslu.

Tab. 15: Složení směsi 3

Surovina	množství [dsk]
Polymer	115
Saze	102
bílé plnivo	33
bílé plnivo	7
Změkčovaadlo	73
zpracovatelská přísada	2
Aktivátor	4
zpracovatelská přísada	4
Aktivátor	0,5
Aktivátor	2
Aktivátor	0,5
Síra	1,5
donor síry	0,65
Nadouvadlo	3,85
Urychlovací systém	4,9
Retardér	viz. experiment
Urychlovač	viz. experiment

7.3.1 Zpracovatelské limity pro směs 3

Tab. 16: Stanovené limity pro Rheometr (směs 3)

Rheometr	ML (dNm)	Spodní limit	Horní limit
		1	1,4
	T10 (min)	Spodní limit	Horní limit
		0,25	0,4
	T90 (min)	Spodní limit	Horní limit
		1	1,6
	MH (dNm)	Spodní limit	Horní limit
		10	14

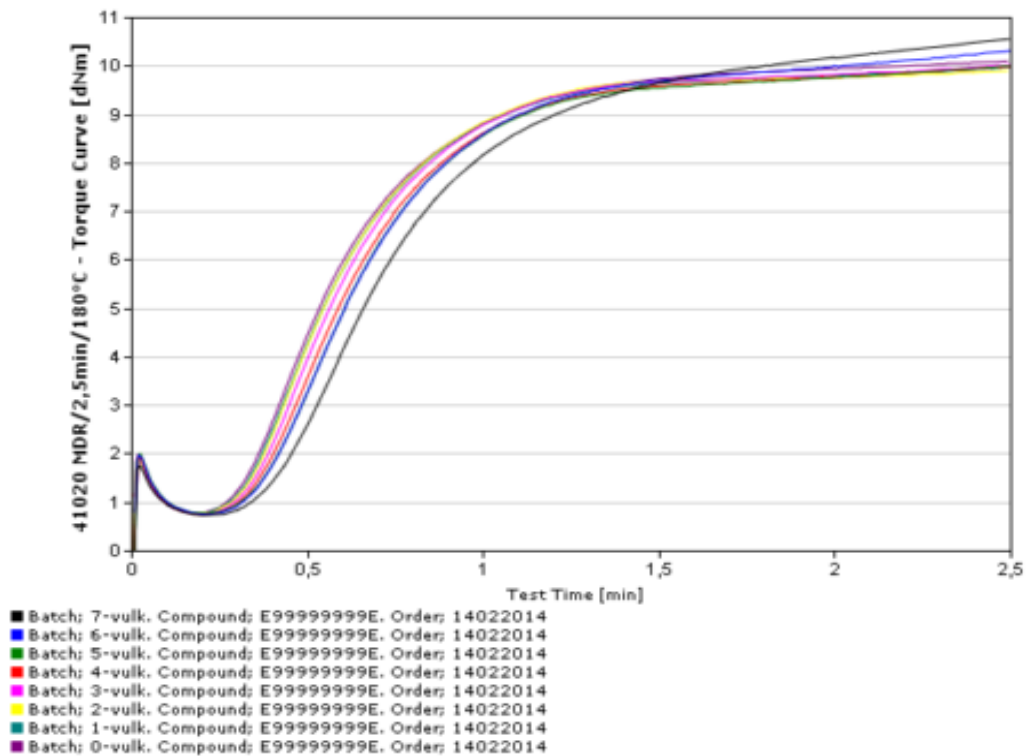
Tab. 17: Stanovené limity pro Mooney scorch (směs 3)

Mooney scorch	T5 (min)	Spodní limit	Horní limit
		3,3	4,3
	ML (MU)	Spodní limit	Horní limit
		34	42

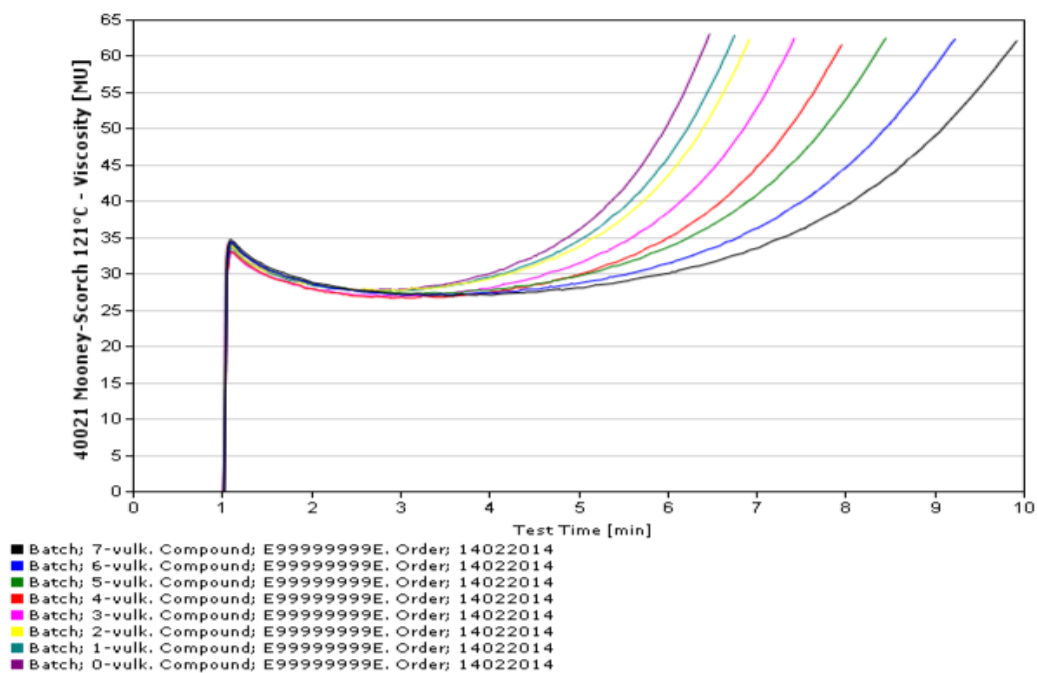
7.3.2 Naměřené hodnoty pro retardér

Tab. 18: Naměřené hodnoty při dávkování retardéru (směs 3)

Retardér - Vulk							
Přístroj:	Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr
	MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000
Testovací podmínky:	při 121°C	při 121°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min
Zjišťovaná hodnota:	ML	T5	MH	ML	T10	T90	T90
Jednotka:	MU	min	dNm	dNm	min	min	min
Označení vzorku	Přidávané množství v g						
0 - vulk	0	27,7	4,54	10,11	0,79	0,35	1,12
1 - vulk	0,5	27,6	4,71	9,98	0,79	0,35	1,09
2 - vulk	1	27,7	4,82	9,9	0,78	0,36	1,05
3 - vulk	1,5	26,9	5,09	10,03	0,76	0,37	1,1
4 - vulk	2	26,7	5,44	9,99	0,76	0,38	1,13
5 - vulk	2,5	27,3	5,72	10	0,78	0,4	1,15
6 - vulk	3	27,1	6,17	10,32	0,76	0,4	1,25
7 - vulk	3,5	27	6,61	10,57	0,74	0,43	1,45



Obr. 55. Vulkanizační křivka z Rheometru – retardér (směs 3)

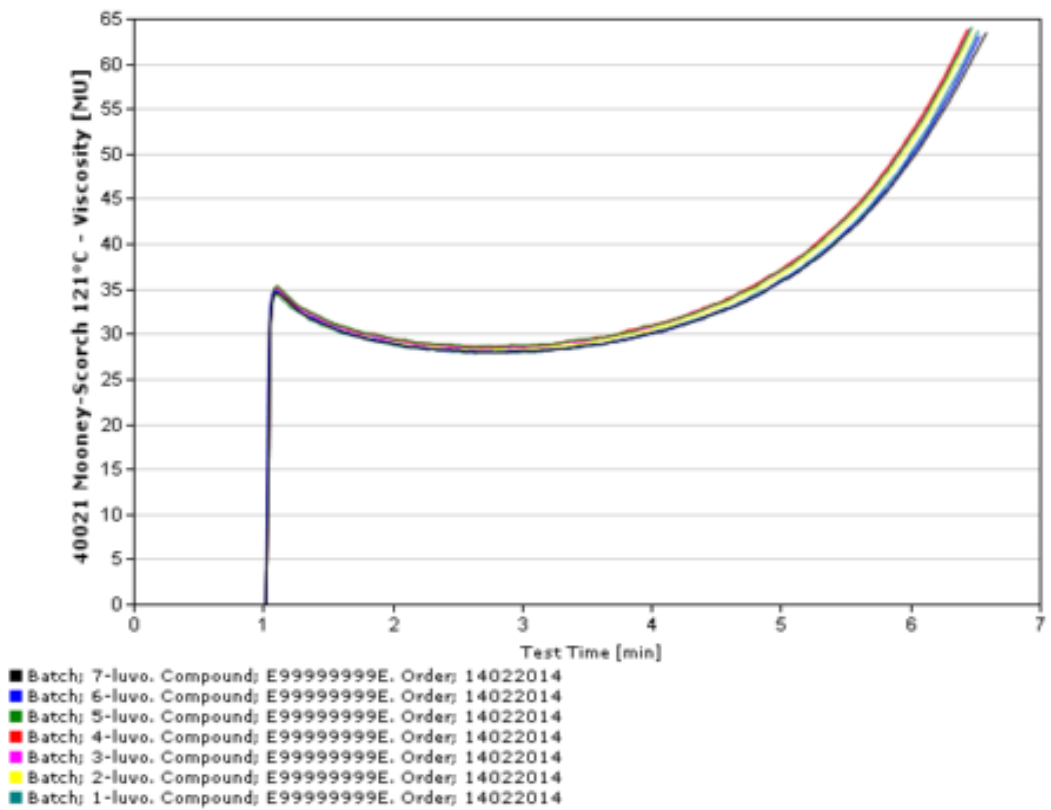


Obr. 56. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – retardér (směs 3)

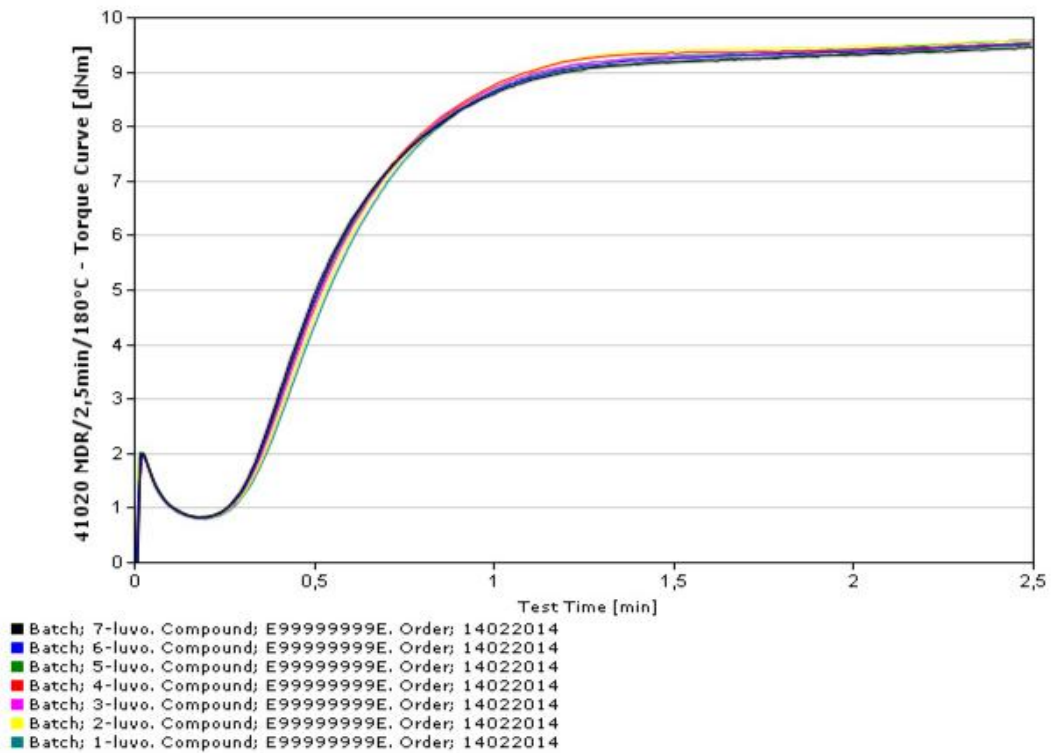
7.3.3 Naměřené hodnoty pro Urychlovač 1

Tab. 19: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 1 (směs 3)

Urychlovač 1 - Luvo							
Přístroj:		Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr
		MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000
Testovací podmínky:		při 121°C	při 121°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min
Zjišťovaná hodnota:		ML	T5	MH	ML	T10	T90
Jednotka:		MU	min	dNm	dNm	min	min
Označení vzorku	Přidávané množství v g						
0 - luvo	0	27,7	4,54	10,11	0,79	0,35	1,12
1 - luvo	0,5	27,9	4,57	9,59	0,8	0,34	1,02
2 - luvo	1	28,2	4,54	9,59	0,83	0,34	0,99
3 - luvo	1,5	28,5	4,52	9,55	0,84	0,33	0,99
4 - luvo	2	28,6	4,54	9,53	0,83	0,33	0,98
5 - luvo	2,5	28,6	4,56	9,49	0,84	0,33	1
6 - luvo	3	28	4,62	9,52	0,83	0,33	1,01
7 - luvo	3,5	28	4,62	9,46	0,83	0,33	1,01



Obr. 57. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 1 (směs 3)

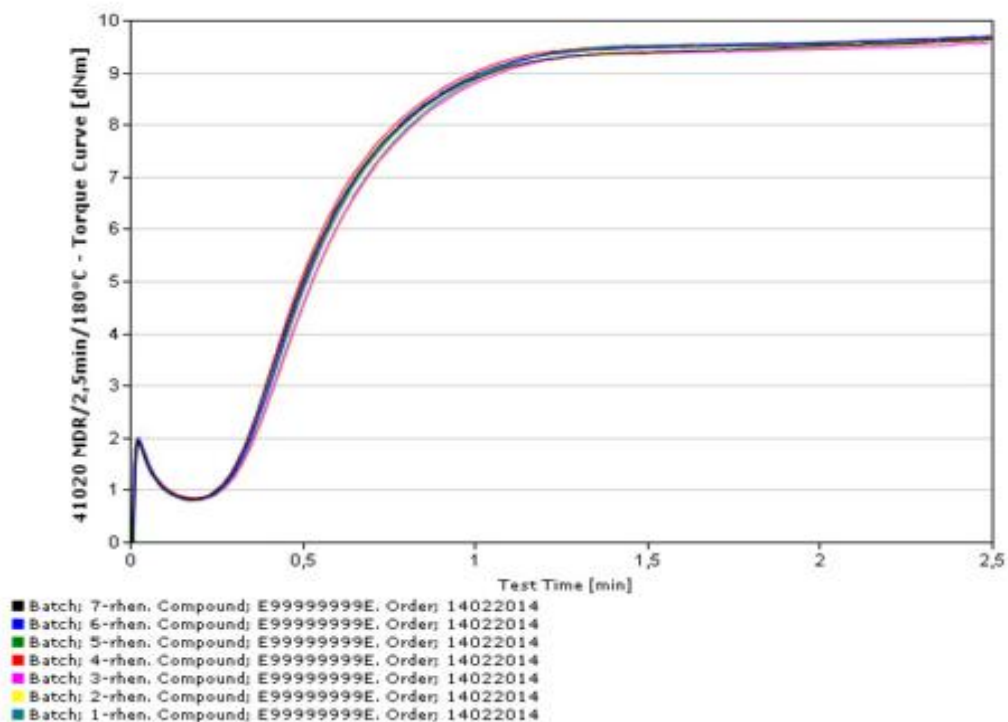


Obr. 58. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.1 (směs 3)

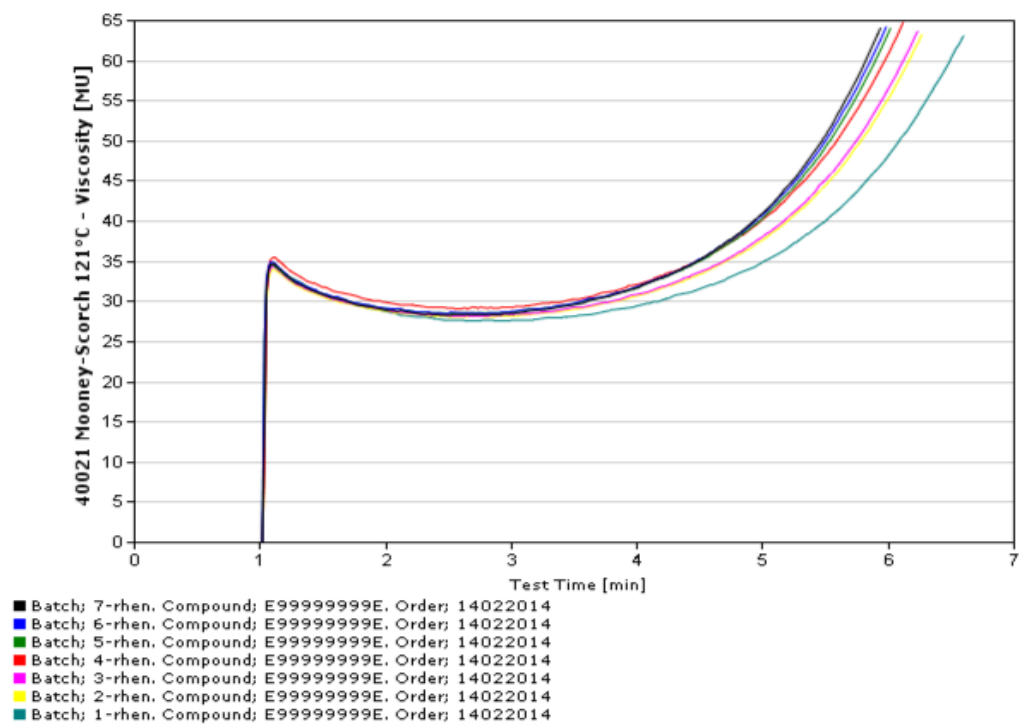
7.3.4 Naměřené hodnoty pro Urychlovač 2

Tab. 20: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 2 (směs 3)

Urychlovač 2 - Rhen							
Přístroj:		Mooney Scorch	Mooney Scorch	Rheometr	Rheometr	Rheometr	Rheometr
		MV 2000	MV 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000	MDR 2000
Testovací podmínky:		při 121°C	při 121°C	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min	při 180°C; 2,5 min
Zjišťovaná hodnota:		ML	T5	MH	ML	T10	T90
Jednotka:		MU	min	dNm	dNm	min	min
Označení vzorku	Přidávané množství v g						
0 - rhen	0	27,7	4,54	10,11	0,79	0,35	1,12
1 - rhen	0,7	27,6	4,69	9,7	0,8	0,34	0,99
2 - rhen	1,4	28,1	4,46	9,62	0,83	0,34	0,98
3 - rhen	2,1	28,2	4,43	9,58	0,83	0,34	0,97
4 - rhen	2,8	29,1	4,36	9,69	0,85	0,33	0,94
5 - rhen	3,5	28,5	4,29	9,65	0,83	0,33	0,96
6 - rhen	4,2	28,5	4,27	9,7	0,83	0,33	0,96
7 - rhen	4,9	28,3	4,26	9,66	0,83	0,33	0,96



Obr. 59. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 2 (směs 3)



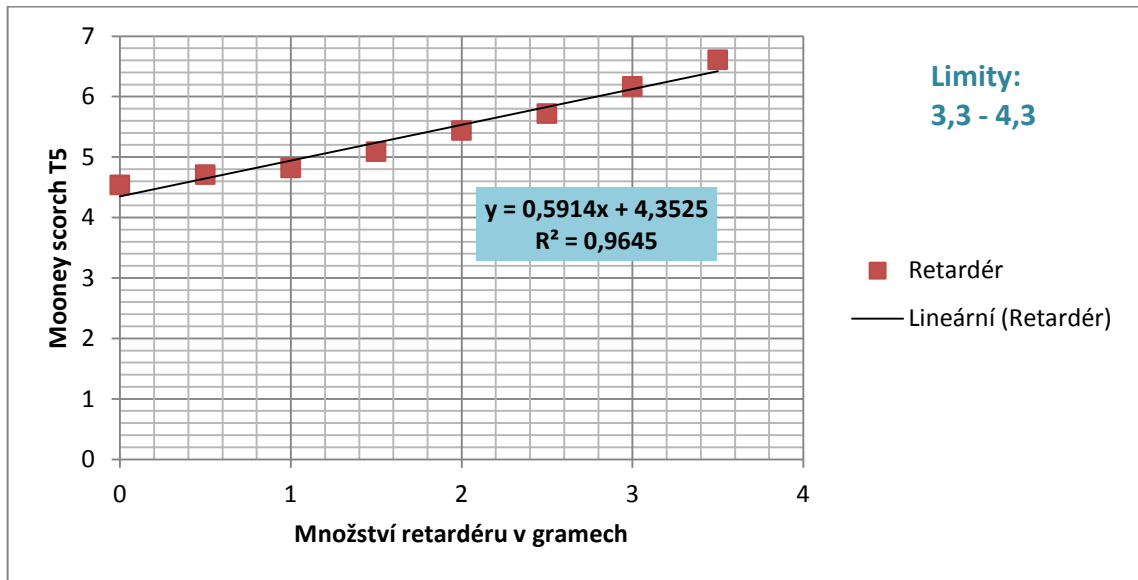
Obr. 60. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.2 (směs 3)

7.3.5 Lineární regrese

1) Retardér

Rozptyl (s^2) = 0,47599375

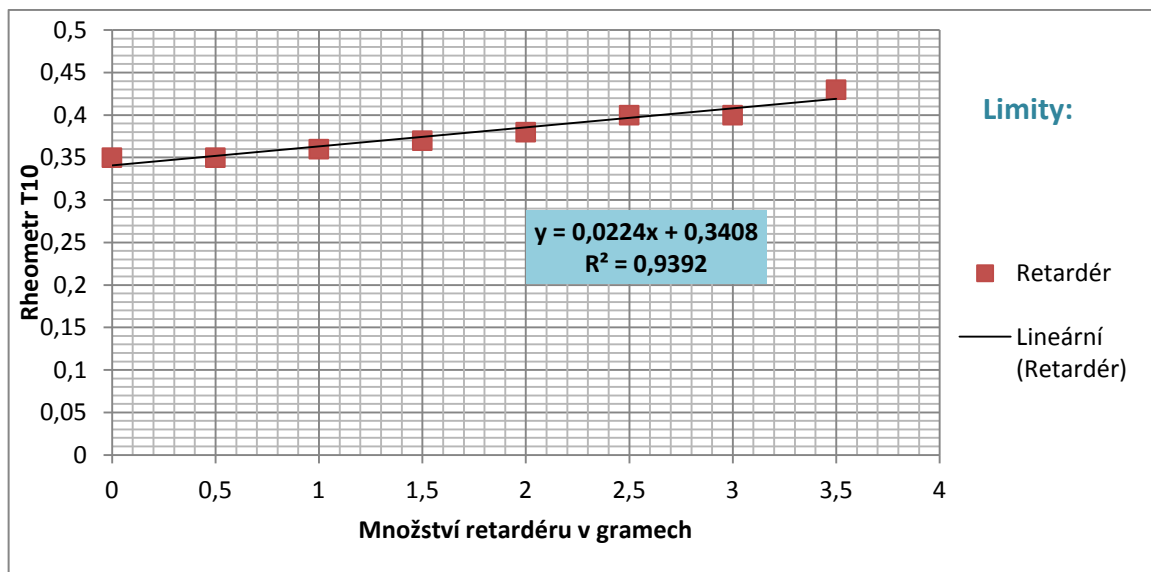
Směrodatná odchylka (s) = 0,689923003



Obr. 61. Lineární regrese Mooney scorch T5- retardér (směs 3)

Rozptyl (s^2) = 0,0007

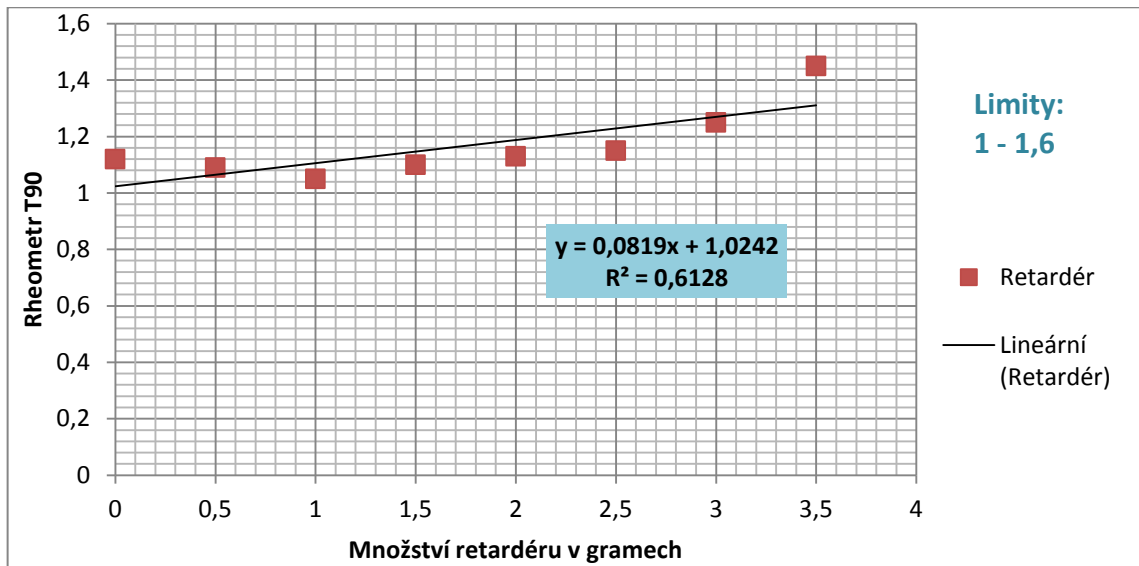
Směrodatná odchylka (s) = 0,026457513



Obr. 62. Lineární regrese Rheometr T10 – retardér (směs 3)

Rozptyl (s^2) = 0,01436875

Směrodatná odchylka (s) = 0,119869721

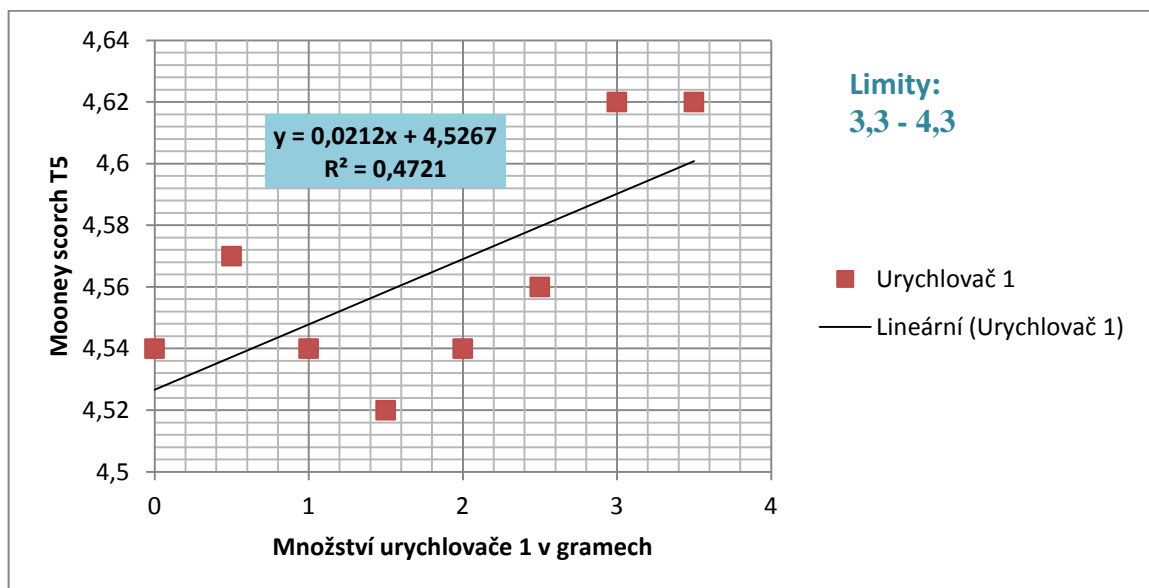


Obr. 63. Lineární regrese Rheometr T90 (směs 3)

2) Urychlovač 1

Rozptyl (s^2) = 0,001248438

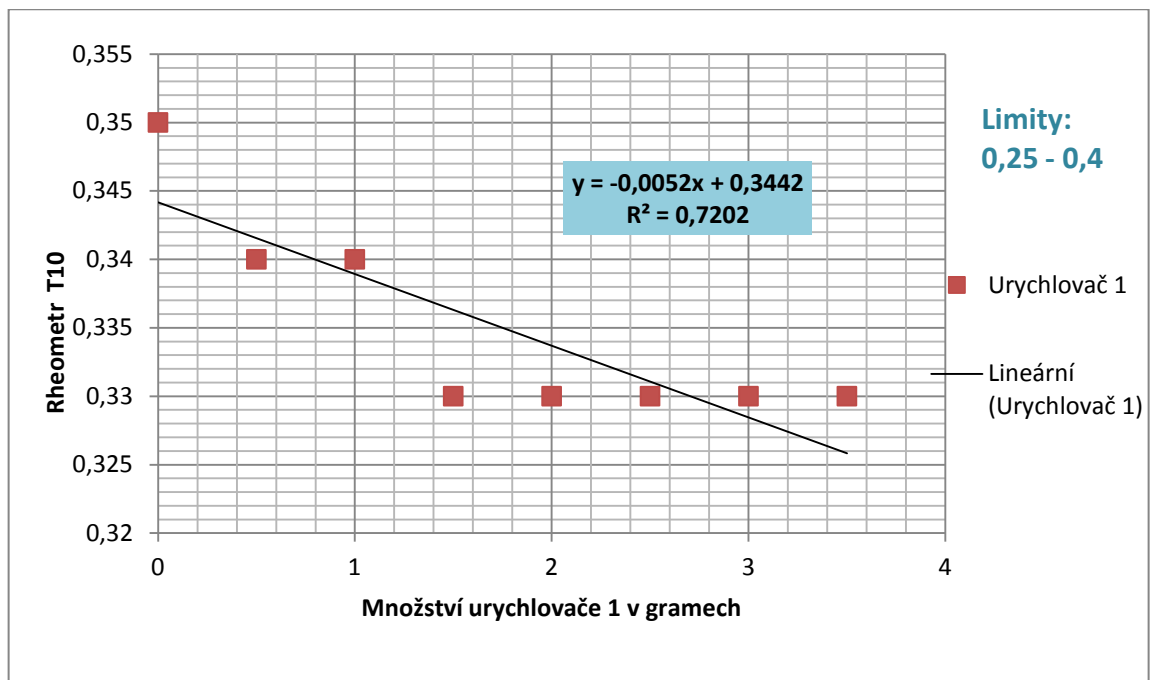
Směrodatná odchylka (s) = 0,035333235



Obr. 64. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 1 (směs 3)

Rozptyl (s^2) = 0,000050

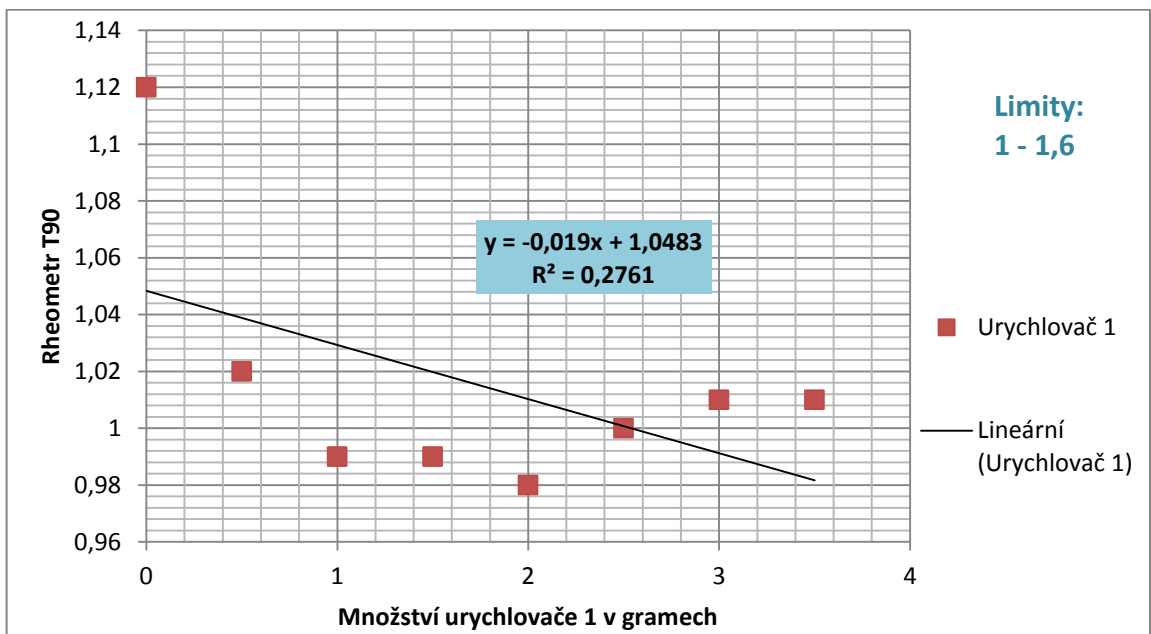
Směrodatná odchylka (s) = 0,007071068



Obr. 65. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 1 (směs 3)

Rozptyl (s^2) = 0,001725

Směrodatná odchylka (s) = 0,041533119

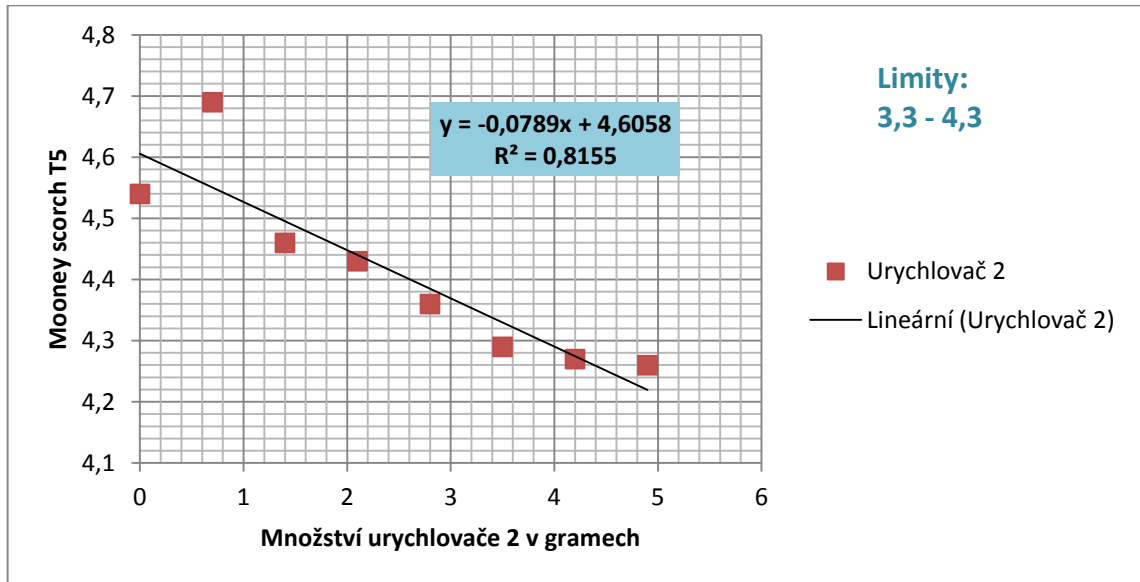


Obr. 66. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 1 (směs 3)

3) Urychlovač 2

Rozptyl (s^2) = 0,01964375

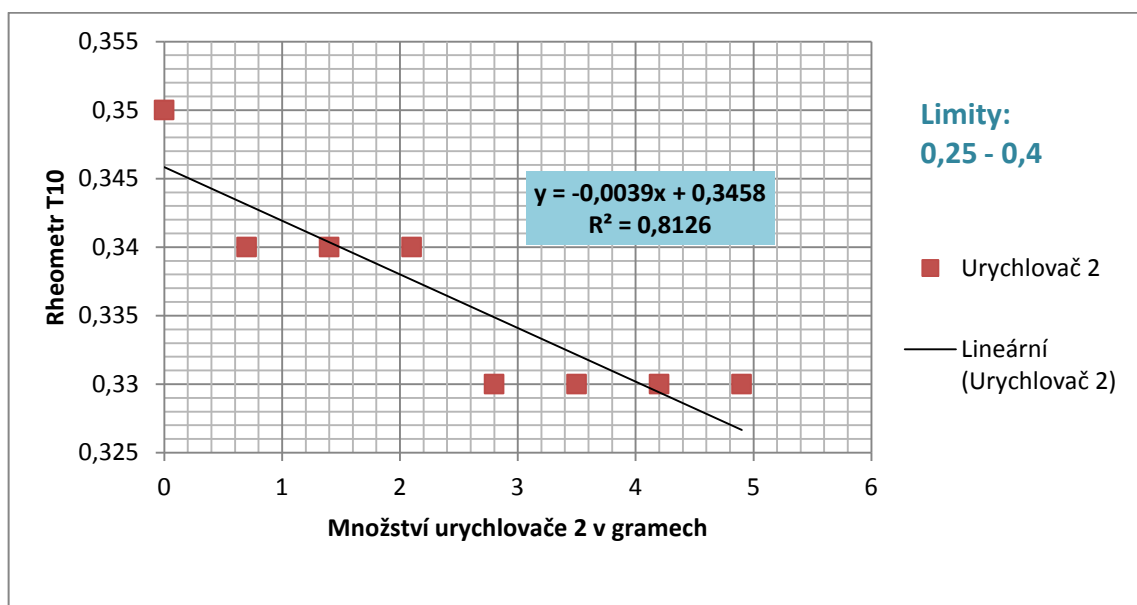
Směrodatná odchylka (s) = 0,140156163



Obr. 67. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 2 (směs 3)

Rozptyl (s^2) = 0,000048

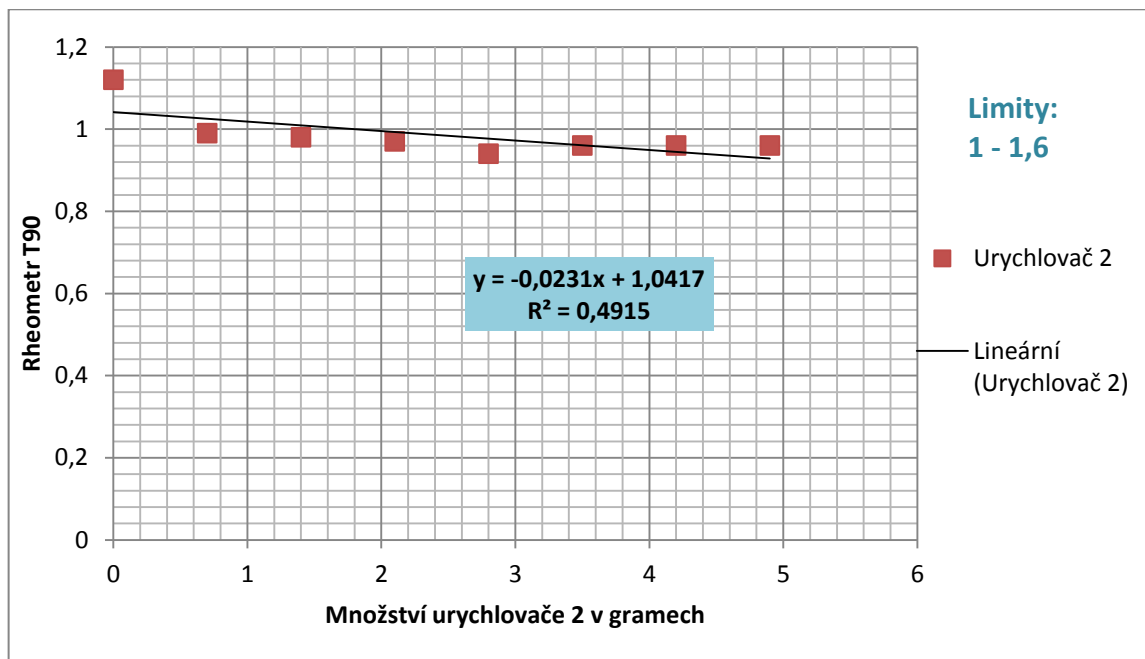
Směrodatná odchylka (s) = 0,006959705



Obr. 68. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 2 (směs 3)

Rozptyl (s^2) = 0,0028

Směrodatná odchylka (s) = 0,052915026



Obr. 69. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 2 (směs 3)

Měření tvrdosti a tažnosti se u mikroporézních směsí neprovádí.

8 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Lineární regrese je vhodná pouze pro naměřené hodnoty T5, T10 a T90. Na hodnoty ML a MH mají provedené úpravy pouze minimální vliv, proto zde nejsou uvedeny.

8.1 Vyhodnocení výsledků – směs 1

Retardér

Při dávkování retardéru bylo zjištěno, že má významný vliv. Zabírá již při dávkování 0,1 až 0,2 dsk – používat vyšší dávkování pro regulaci bezpečnosti směsi je zbytečné.

Dávkování 0,1 dsk zvýší zpracovatelskou bezpečnost (T5) z 3,5 na 4,5 minuty, při přijatelném prodloužení optima vulkanizace (T90) z 1,84 na 1,95 minuty.

Naměřené hodnoty u retardéru vykazují vysokou hodnotu lineární závislosti, kdy index spolehlivosti R je vyšší než 0,9.

Měřením tvrdosti a tahových zkoušek, bylo zjištěno, že přidávání retardéru nemá na tyto hodnoty žádný vliv.

Urychlovač 1

Vliv přísadků urychlovače 1 má minimální vliv na regulaci zpracovatelských vlastností.

Při plném dávkování 0,7 dsk se sníží T90 (optimum vulkanizace) z 1,84 na 1,76 minuty, což je při tak vysokém dávkování minimální vliv. Zpracovatelská bezpečnost se zkrátí z 3,5 na 3,2 minuty.

Naměřené hodnoty u urychlovače 1 vykazují vysokou hodnotu lineární závislosti pouze v případě měření zpracovatelské bezpečnosti T5.

Urychlovač 2

Při plném dávkování dochází ke snížení optima vulkanizace 1,84 na 1,72 minuty a zároveň dochází k výraznému snížení zpracovatelské bezpečnosti z 3,5 na 2,85 minuty.

Naměřené hodnoty u urychlovače 2, vykazují vysokou hodnotu lineární závislosti.

Prísadkou obou urychlovačů nedochází k ovlivnění tvrdosti a tahových vlastností.

Porovnáním obou urychlovačů bylo zjištěno, že urychlovač 1 je vhodnější k regulaci zpracovatelských vlastností. Jeho použitím bylo dosaženo lepších hodnot, zejména v oblasti zpracovatelské bezpečnosti.

8.2 Vyhodnocení výsledků – směs 2

Retardér

Je méně citlivá na přídavek retardéru, přijatelné dávkování je 0,36 dsk, kdy se zpracovatelská bezpečnost (T5) zvýší z 3,1 na 3,5 minuty při prodloužení optima vulkanizace z 1,77 na 1,92 minuty.

Další dávkování není žádoucí, došlo by tím k nechtěnému prodloužení vulkanizační doby.

Naměřené hodnoty u retardéru vykazují vysokou hodnotu lineární závislosti, kdy index spolehlivosti R je vyšší než 0,9.

Urychlovač 1, 2

Vliv obou urychlovačů je minimální. Při plném dávkování 0,7 dsk se sníží optimum vulkanizace (T90) z 1,77 na 1,66 (urychlovač 1) respektive 1,67 minuty (urychlovač 2), bez vlivu na zkrácení zpracovatelské bezpečnosti. Nedochozí ani k překročení zpracovatelských limitů.

Porovnáním obou urychlovačů bylo zjištěno, že urychlovač 1, má o něco málo lepší zpracovatelskou bezpečnost než urychlovač 2. Ostatní hodnoty jsou téměř stejné.

Naměřené hodnoty u urychlovačů, nevykazují lineární závislost.

Přídavkem obou urychlovačů nedochází k ovlivnění tvrdosti a tahových vlastností.

8.3 Vyhodnocení výsledků – směs 3

Retardér

Při dávkování retardéru 0,36 dsk má významný vliv na zpracovatelské parametry, kdy dochází k prodloužení zpracovatelské bezpečnosti z 4,5 na 5,1 minuty, prakticky bez vlivu na T90. Vyšší dávkování není již pro úpravu zpracovatelských vlastností žádoucí, došlo by k výrazné změně zpracovatelských parametrů.

Naměřené hodnoty u retardéru vykazují vysokou hodnotu lineární závislosti, pouze u T5 a T10.

Urychlovač 1, 2

Dávkování obou urychlovačů má vliv minimální a je pozorovatelný pouze při nízkém dávkování 0,12 dsk, kdy se T90 sníží z 1,12 na 1,02 minut bez vlivu na zpracovatelskou bezpečnost.

Při porovnání urychlovačů 1 a 2, z hlediska optima vulkanizace T90 a předem stanovených limitů, vychází o něco lépe urychlovač 1.

Naměřené hodnoty u urychlovačů, nevykazují lineární závislost.

U mikroporézních směsí se tvrdost a tahové zkoušky neměří.

9 ZÁVĚR

Retardéry zpomalují nástup vulkanizace, chrání směs před předčasným navulkanizováním při míchání a delším zpracování.

Při použití retardéru je cílem prodloužení zpracovatelské bezpečnosti (T5), bez výrazného vlivu na optimum vulkanizace (T90).

Použití retardéru má na všechny zkoumané směsi významný, byť rozdílný vliv a je nejvhodnější pro regulaci procesu.

Význam urychlovačů vulkanizace spočívá nejen ve zrychlení procesu, ale i ve zvýšení efektivnosti vázání síry a tím zlepšení vlastností výsledné pryže.

Při použití urychlovače je cílem snížit optimum vulkanizace (T90), bez výrazného zkrácení zpracovatelské bezpečnosti (T5).

V hodnocení urychlovačů vyšel lépe urychlovač 1, použití urychlovače 2 není tak účinné. Zároveň použití dodatečného dávkování urychlovačů pro regulaci procesu není tak efektivní jako použití retardéru vulkanizace.

Zkoušky tvrdosti a tažnosti potvrdily, že provedené úpravy nemají na tyto mechanické vlastnosti žádný vliv.

Z praktického hlediska je lepší volit vulkanizační systém (síra + aktivátory + urychlovače) tak, aby se pohyboval ve spodní části limitů a případné vlivy kompenzovat přidávkem retardéru.

Zhodnocení:

- 1) Při používání urychlovačů došlo k velkému rozptylu naměřených hodnot. Tento problém mohl vzniknout špatným rozmícháním urychlovače ve směsi. Tomu by se dalo předejít odebráním malého množství směsi bez vulkanizačních činidel, do ní rádně rozmíchat urychlovač a následně smíchat s celou dávkou.

- 2) Zvolit správnou technologii, která by pracovala s přebytkem vulkanizačního činidla. Pro regulaci procesu je lepší mít přebytek retardéru než urychlovače, protože má příznivější vliv na řízení procesů než urychlovač.

V dalším řešení problematiky zpracování gumárenské směsi, by bylo vhodné zabývat se přebytkem urychlovačů při zpracování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠPAČEK, J., Technologie gumárenská a plastikářská II., VUT Brno, 1980
- [2] VESELÝ, K., Polymery : Struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování. Brno : Česká společnost průmyslové chemie, 1992. 178 s. 80-02-00951-7.
- [3] DUCHÁČEK, V., Gumárenské suroviny a jejich zpracování, VŠCHT Praha, 1990
- [4] MALÁČ, J., Gumárenská technologie 2. Kaučuky, volně dostupné z: www.utb.cz/file/36214_1_1/
- [5] MALÁČ, J., Gumárenská technologie 4. Směsi, volně dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/smesi.pdf>
- [6] <http://www.odmaturuj.cz/chemie/vyroba-kaucuku>
- [7] FRANTA, I., Gumárenská technologie : Gumárenské suroviny. 2.vydání. Praha: SNTL, 1963
- [8] DVOŘÁK, Z. Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry.Zlín: UTB, 2009 (dostupné z [www.utb](http://www.utb.cz))
- [9] DVOŘÁK, Z., zápisky z přednášek – předmět Gumárenská technologie (2012/13)
- [10] <http://www.alpha-technologies.com>
- [11] Laboratorní listy, Hexpol Uničov
- [12] <http://www.proinex.cz/digitalna-tvrdomer-shore-a-typ-ths-200a.html>
- [13] <http://www.alpha-technologies.com/alpha-technologies-t2020sc---tensile-tester>
- [14] MALÁČ, J., Gumárenská technologie 5. Procesy míchání, volně dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/procesy.pdf>
- [15] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NR	Přírodní kaučuk
EPDM	etylén-propylenový kaučuk
T5	zpracovatelská bezpečnost
T10	čas kdy dojde k zesíťování 10% směsi
T90	optimum vulkanizace (90% z vulkanizované směsi)
ML	nejnižší hodnota kroutivé síly vyjádřená v dNm
MH	nejvyšší hodnota kroutivé síly vyjádřená v dNm

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vzorec EPDM [4]	19
Obr. 2. Vulkanizační křivka[8]	25
Obr. 3. Rheometr MDR 2000 [10].....	31
Obr. 4. Rotor Rheometru MDR 2000 [10].....	31
Obr. 5. Viskozimetr Mooney MV 2000 [10]	32
Obr. 6. Rotor viskozimetru Mooney MV 2000 [10].....	33
Obr. 7. Princip měření na Mooney MV 2000 [10]	33
Obr. 8. Křivka zpracovatelské bezpečnosti [11].....	34
Obr. 9. Digitální tvrdoměr Shore A[12]	35
Obr. 10. Trhací stroj T2020 Alpha Technologies [13]	36
Obr. 11. Schéma dvouválce[14]	39
Obr. 12. Schéma vnitřního hnětiče [15].....	40
Obr. 13. Schéma šnekového vytlačovacího stroje [14]	42
Obr. 14. Schéma tříválců [14].....	43
Obr. 15. Schéma čtyřválců [14]	44
Obr. 16. Příprava směsi na dvouválci	49
Obr. 17. Příprava vzorků.....	50
Obr. 18. Vzorek pro Rheometr MDR 2000	50
Obr. 19. Testovací tělíška pro Mooney MV 2000	51
Obr. 20. Obalený rotor na konci měření	51
Obr. 21. Měření tvrdosti Shore A	52
Obr. 22. Zkouška tahem.....	52
Obr. 23. Vulkanizační křivka z Rheometru – retardér (směs 1)	56
Obr. 24. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – retardér (směs 1)	56
Obr. 25. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 1(směs 1).....	57
Obr. 26. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychlovač 1(směs 1).....	58
Obr. 27. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 2 (směs 1).....	59
Obr. 28. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychlovač 2 (směs 1).....	59
Obr. 29. Lineární regrese Mooney scorch T5- retardér (směs 1)	60
Obr. 30. Lineární regrese Rheometr T10 – retardér (směs 1).....	60
Obr. 31. Lineární regrese Rheometr T90 (směs 1)	61
Obr. 32. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 1 (směs 1)	61

Obr. 33. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 1 (směs 1)	62
Obr. 34. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 1 (směs 1)	62
Obr. 35. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 2 (směs 1)	63
Obr. 36. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 2 (směs 1)	63
Obr. 37. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 2 (směs 1)	64
Obr. 38. Graf - zkoušky tvrdosti a tažnosti (směs 1)	64
Obr. 39. Vulkanizační křivka z Rheometru – retardér (směs 2)	66
Obr. 40. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – retardér (směs 2)	67
Obr. 41. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 1 (směs 2)	68
Obr. 42. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.1 (směs 2)	68
Obr. 43. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 2 (směs 2)	69
Obr. 44. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.2 (směs 2)	70
Obr. 45. Lineární regrese Mooney scorch T5- retardér (směs 2)	71
Obr. 46. Lineární regrese Rheometr T10 – retardér (směs 2)	71
Obr. 47. Lineární regrese Rheometr T90 (směs 2)	72
Obr. 48. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 1 (směs 2)	72
Obr. 49. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 1 (směs 2)	73
Obr. 50. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 1 (směs 2)	73
Obr. 51. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 2 (směs 2)	74
Obr. 52. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 2 (směs 2)	74
Obr. 53. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 2 (směs 2)	75
Obr. 54. Graf - zkoušky tvrdosti a tažnosti (směs 2)	75
Obr. 55. Vulkanizační křivka z Rheometru – retardér (směs 3)	77
Obr. 56. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – retardér (směs 3)	78
Obr. 57. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 1 (směs 3)	79
Obr. 58. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.1 (směs 3)	79
Obr. 59. Vulkanizační křivka z Rheometru – urychlovač 2 (směs 3)	80
Obr. 60. Zpracovatelská bezpečnost Mooney scorch – urychl.2 (směs 3)	81
Obr. 61. Lineární regrese Mooney scorch T5- retardér (směs 3)	82
Obr. 62. Lineární regrese Rheometr T10 – retardér (směs 3)	82
Obr. 63. Lineární regrese Rheometr T90 (směs 3)	83
Obr. 64. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 1 (směs 3)	83
Obr. 65. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 1 (směs 3)	84

Obr. 66. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 1 (směs 3)	84
Obr. 67. Lineární regrese Mooney scorch T5 – urychlovač 2 (směs 3)	85
Obr. 68. Lineární regrese Rheometr T10 – urychlovač 2 (směs 3)	85
Obr. 69. Lineární regrese Rheometr T90 – urychlovač 2 (směs 3)	86

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Složení kaučukové směsi v disk	15
Tab. 2: Složení směsi 1	48
Tab. 3: Množství přidávaných surovin	49
Tab. 4: Stanovené limity pro Rheometr (směs 1)	53
Tab. 5: Stanovené limity pro Mooney scorch (směs 1)	54
Tab. 6: Naměřené hodnoty při dávkování retardéru (směs 1)	55
Tab. 7: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 1 (směs 1)	57
Tab. 8: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 2 (směs 1)	58
Tab. 9: Složení směsi 2	65
Tab. 10: Stanovené limity pro Rheometr (směs 2)	65
Tab. 11: Stanovené limity pro Mooney scorch (směs 2)	65
Tab. 12: Naměřené hodnoty při dávkování retardéru (směs 2)	66
Tab. 13: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 1 (směs 2)	67
Tab. 14: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 2 (směs 2)	69
Tab. 15: Složení směsi 3	76
Tab. 16: Stanovené limity pro Rheometr (směs 3)	76
Tab. 17: Stanovené limity pro Mooney scorch (směs 3)	76
Tab. 18: Naměřené hodnoty při dávkování retardéru (směs 3)	77
Tab. 19: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 1 (směs 3)	78
Tab. 20: Naměřené hodnoty při dávkování urychlovače 2 (směs 3)	80