

# Stabilita vytlačování kaučkových směsí

Bc. Václav Kovařík

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav KOVAŘÍK**  
Osobní číslo: **T11028**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Stabilita vytlačování kaučukových směsí**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Stanovení podmínek pro vytlačování
3. Experimentální práce
4. Diskuze a zhodnocení provedených experimentů, technicky a ekonomicky
5. Závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, Zdeněk: **Zpracovatelské procesy gumárenské FT UTB, Zlín 2011**
2. FRANTA, Ivan: **Gumárenská technologie I SNTL, Praha 1979**
3. PREKOP, Štefan: **Gumárska technológia II. GC TECH s TU A. Dubčeka, Trenčín 2003**
4. Brown, R. **Physical testing of Rubber, USA, 2006**
5. JANÁČOVÁ, Dagmar. **Procesní inženýrství: transportní, fyzikální a termodynamická data. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011**
6. STŘÍŽ, Pavel, Vladimír RYTÍŘ a Petr KLÍMEK. **Základy pravděpodobnosti a matematické statistiky. Vyd. 1. Bučovice: Martin Stříž, 2008**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**

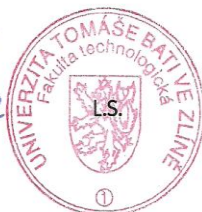
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: ..... Obor: .....

## 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 .....

.....

---

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

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

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

<sup>2)</sup> 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).

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá zjištěním vlivu směsi na stabilitu procesu vytlačování a srážení délky běhounu. V práci je popsán kaučuk, složení kaučukových směsí hlavně pro gumárenský průmysl, jejich zkoušky a zkoušky vulkanizátů. Z výrobních procesů v gumárenství jsou popsány jen míchání a vytlačování, které jsou důležité pro tuto diplomovou práci. Měření vlastností kaučukových směsí probíhalo na přístroji RPA 2000. Pomocí programu Minitab došlo k porovnání procesních dat z vytlačování a vyhodnocení srážení délky běhounu. Všechny tyto výsledky byly porovnány, aby se zjistilo, zda mají vliv na proces vytlačování a srážení. Veškerá měření, procesy a vyhodnocení jsou prováděna ve firmě Continental Barum s r.o. Otrokovice.

Klíčová slova: kaučuk, kaučuková směs, fyzikální vlastnosti, smykový modul, ztrátový faktor, dynamická viskozita, RPA 2000, srážení

## **ABSTRACT**

This Diploma Dissertation deals with findings how rubber compounds influence a stability of extrusion process and tread length shrinkage. This thesis describing rubber, recipes of rubber compounds used in rubber industry and their tests. It describes only the processes of mixing and extrusion from processes used in rubber industry which are important for this diploma dissertation. Properties of rubber compounds were tested by using RPA 2000 measurement equipment. For processing, evaluation and comparison of extrusion process data and tread length shrinkage was used software Minitab. All achieved results were analysed and evaluated to be determined if they influence an extrusion process and tread shrinkage. All measurements, procedures and evaluation are performed in company Continental Barum s r.o. Otrokovice.

Keywords: rubber, rubber compound, physical properties, shear modulus, loss factor, dynamic viscosity, RPA 2000, shrinkage

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. za odborné vedení, ochotně poskytnuté cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále pak děkuji firmě Continental Barum s r. o. za možnost vykonání experimentální části mé diplomové práce. Především pak panu Ing. Tomáši Vilímkovi za uvedení do dané problematiky, vysoce odborné rady a v neposlední řadě děkuji také panu Ing. Jakubu Šenkyříkovi za odborné rady a čas, který mi věnoval.

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

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 KAUČUK</b> .....	<b>12</b>
1.1 VLASTNOSTI.....	13
1.2 DRUHY .....	14
1.2.1 Přírodní kaučuk NR.....	14
1.2.2 Syntetický kaučuk .....	15
<b>2 KAUČUKOVÉ SMĚSI GUMÁRENSKÉ</b> .....	<b>17</b>
2.1 SLOŽENÍ .....	17
2.1.1 Vulkanizační činidla.....	18
2.1.2 Urychlovač vulkanizace .....	19
2.1.3 Aktivátor vulkanizace a retardér .....	19
2.1.4 Ochranné látky .....	20
2.1.5 Plniva.....	20
2.1.6 Změkčovadla .....	22
2.1.7 Zvláštní přísady .....	23
2.2 PŘÍPRAVA SMĚSI.....	23
<b>3 ZKOUŠENÍ VULKANIZÁTŮ A GUMÁRENSKÝCH SMĚSÍ</b> .....	<b>25</b>
3.1 FYZIKÁLNÍ ZKOUŠKY .....	25
3.1.1 Zkouška tvrdosti.....	25
3.1.2 Tahová zkouška.....	26
3.1.3 Strukturní zkouška .....	26
3.1.4 Dynamické zkoušky .....	27
3.2 VSKOZITA MOONEY .....	27
3.3 REOMETR RPA 2000.....	28
<b>4 VÝROBNÍ PROCESY GUMÁRENSKÉ</b> .....	<b>30</b>
4.1 MÍCHÁNÍ .....	30
4.1.1 Míchací proces .....	30
4.1.2 Postup míchání kaučukových směsí.....	32
4.2 VYTLAČOVÁNÍ .....	34
<b>5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>37</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
<b>6 CÍL EXPERIMENTU</b> .....	<b>39</b>
6.1 POSTUP EXPERIMENTU.....	39
6.2 VYTLAČOVACÍ LINKA POUŽITÁ K EXPERIMENTU .....	40
<b>7 ZKUŠEBNÍ SMĚS</b> .....	<b>42</b>
<b>8 NAMĚŘENÉ HODNOTY</b> .....	<b>43</b>



8.1	FYZIKÁLNÍ ZKOUŠKY .....	43
8.2	HODNOTY DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	44
8.3	PROCESNÍ DATA Z VYTLAČOVÁNÍ.....	49
8.4	HODNOTY SRÁŽENÍ BĚHOUNU .....	51
<b>9</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>55</b>
9.1	VYHODNOCENÍ PROCESNÍCH DAT .....	56
9.2	VYHODNOCENÍ DAT Z MĚŘENÍ SRÁŽENÍ BĚHOUNU.....	66
9.3	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	73
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>83</b>

## ÚVOD

K součásti našeho života neodmyslitelně patří automobil. Bez něj by si málokdo dokázal život představit. Je tedy nutné, aby pneumatiky vozů byly kvalitní a dosahovali vysokého komfortu jízdy.

Technologie zpracování elastomerů se stále vyvíjí a největší měrou na zlepšování se podílí výroba pneumatik. Vysoké nároky, které jsou kladeny na kvalitu, zlepšení valivého odporu, ovladatelnosti, adheze a hlavně bezpečnosti, jsou hlavními iniciátory snahy zlepšovat zpracování elastomerů.

K dosažení vysoké kvality pneumatik je důležité správně zvolit hlavní surovinu, kaučuk. Je nepostradatelný a jeho nedostatek ohrožuje výrobu zejména pneumatik. Z toho důvodu se již zpracovává stále více syntetického kaučuku.

K výrobě pláštěů pro osobní automobily je více využíván syntetický kaučuk a pro nákladní a zemědělské stroje je ve větší míře použit přírodní kaučuk. Podstatný vliv na kvalitu a jiné důležité vlastnosti hlavně při zpracování kaučuku mají přísady. Každá část pneumatiky je tvořena jiným kaučukem a směsí pro své vlastnosti. Sladit všechny komponenty pneumatiky tak, abychom dosáhli požadovaných vlastností a kvality, není jednoduché. Zvláště, když každá část tvořena jinou směsí má jiné vlastnosti. Z toho důvodu je nutné zvolit kompromis tak, abychom dosáhli co nejlepších výsledků.

Základem výroby pneumatik je vytvoření kaučukové směsi. Je to první a nejdůležitější proces – míchání. Při špatném zamíchání směsi se problémy dále přenášejí do dalších procesů výroby pneumatik. Sledují se proto vlastnosti směsí, které musí dále vyhovovat v ostatních procesech. V některých je důležitá fyzikálně-mechanická vlastnost a v jiných zase reologické a vulkanizační charakteristiky.

Vliv směsi na další gumárenské procesy, převážně však proces vytlačování, je náplní diplomové práce a následné statistické vyhodnocení výsledků. Jedná se jednu sériovou směs označenou jako *A*, dále její modifikaci označenou jako *B* a pro porovnání směs *C*. U všech bude provedeno měření vlastností směsí, které budou srovnány s procesními daty a měření srážení délky běhounů.

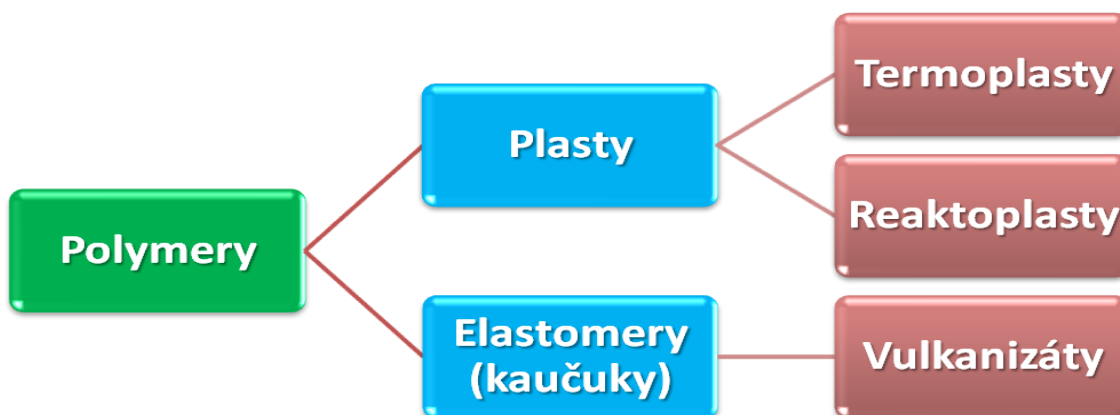
Závěrem této práce je ekonomické zhodnocení stávající situace a výsledku případného zavedení modifikované směsi do sériové výroby.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KAUČUK

Polymer je látka, jejíž základní jednotkou je extrémně dlouhá makromolekula. Ta je složena z opakujících se částí nazvaných „mery“.

Polymery se dělí na plasty a elastomery. Další dělení plastů je na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery mají jen podmnožinu nazvanou kaučuky.



Obr. 1 Základní rozdělení polymerů

Podstatný a hlavní rozdíl mezi výrobkem z přírodní suroviny a syntetické suroviny je ten, že u přírodní suroviny je i po vulkanizaci zesítnění molekul minimální. Proto ta téměř dokonalá elasticita. U syntetického výrobku je zesítnění molekul do mřížek mnohem větší, protože základní surovinou není jeden izomer, jako u přírodní látky, ale jejich směs. Syntetická pryž nikdy nenahradí pro naše účely potřebnou surovinu přírodní.

Strom *Hevea brasiliensis* (kaučukovník brazilský) rostoucí v oblasti tropů, je hlavní zdroj přírodního kaučuku. Naříznutím kůry stromu začne vytékat latexové mléko, z něj se srážením za pomoci např. kyseliny mravenčí, propíráním a sušením vytvoří materiál nazývaný krepa.

Výroba krepy je nákladná a proto se latex většinou zpracovává na uzený kaučuk. Výroba je podobná, ale konzervace probíhá v udírnách kouřem a kaučuk nepodléhá plísním.



Obr. 2 Syrový kaučuk odkapávající z kaučukovníku[2]

Vývoj syntetického kaučuku začal od poloviny 19. století, kdy bylo zjištěno, že isopren je matečnou látkou přírodního kaučuku. Vývoj šel rychle dopředu v době druhé světové války, kdy vlastnosti dosáhly přírodního kaučuku a mnohdy byly i lepší.

## 1.1 Vlastnosti

Kaučuk je vnímán jako pružná, ohebná a tažná látka. Vyjmenované vlastnosti jsou charakteristické pro kaučukovitý stav. Tyto hmoty jsou lehce deformovatelné vnější silou a po odlehčení se vrací zpět do původního stavu.

Nejdůležitější vlastnosti kaučuku:

- Teplota skelného přechodu  $T_g$
- Viskozita (plasticita)
- Vulkanizovatelnost

Teplota skelného přechodu  $T_g$  je teplota přechodu ze stavu kaučukovitého do stavu sklovitého. U kaučuků bývá podstatně menší než  $0^\circ\text{C}$  a to z důvodu možnosti použití při běžných teplotách při kterých člověk pracuje. Přírodní kaučuk a izoprenový má teplotu skelného přechodu  $-75^\circ\text{C}$ .

Viskozita charakterizuje zpracovatelnost kaučuku, tj. schopnost být mechanicky hněten a dále zpracováván. K tomuto účelu se nejčastěji používá viskozita Mooney.[3] Snižováním teploty viskozita vzrůstá. Je závislá na molární hmotnosti a její diserzitě. Kaučuk je tedy hodně citlivý na teplotu. Tuto vlastnost ztrácí vulkanizací.

Vulkanizovatelnost je velmi důležitá vlastnost kaučuku, kdy se mění síť na trojrozměrnou a vznikají pevné chemické vazby mezi molekulami a tím se omezuje jejich vzájemný pohyb. Mění se původní převážně plastický kaučuk ve vysoce elastický vulkanizovaný kaučuk – pryž.[1]

Přírodní kaučuk není čistý, obsahuje vždy malé množství nekaučukových látek. Jedná se sice o malé množství, ale mají značný vliv na vlastnosti.

## 1.2 Druhy

Kaučuky lze rozdělit na dva druhy a to na přírodní NR a syntetický kaučuk.

Vzhledem ke snižujícímu se množství přírodního kaučuku byl vynalezen syntetický kaučuk.

### 1.2.1 Přírodní kaučuk NR

Je obsažen v mnoha rostlinách v mléčně zbarvené tekutině, která se nazývá latex. Z něj se různými způsoby zpracováním dostává přírodní kaučuk.

Nejčastěji to je koagulací za pomoci kyseliny mravenčí popřípadě octové, z kterých vznikají typy jako Ribbed Smoked Sheets (RSS) a světlá krepa.

Samovolným bakteriálním rozkladem latexu se dostává další typ jako TSR10 a hnědá krepa.

Často je používán technicky specifikovaný typ SMR (Standard Malaysian Rubber) a SIR (Standard Indonesian Rubber), které jsou děleny podle obsahu nečistot s označením SMR 5, SMR 10 až SMR 50. Čím nižší bude číslo v označení, tím je menší obsah nečistot v NR. Před zpracováním se musí přírodní kaučuk upravit plastikací, z důvodu jeho vysoké viskozity. Z toho důvodu je vhodné volit NR v případě, kdy je nutná výborná lepivost a další vlastnosti.

### 1.2.2 Syntetický kaučuk

Je v dnešní době hodně využíván v gumárenském průmyslu jako náhrada přírodního kaučuku. Jsou případy, kdy mají lepší fyzikálně mechanické vlastnosti. Základní surovinou pro výrobu je ropa.

Nejčastěji používané syntetické kaučuky v gumárenství pro výrobu plášťů pneumatik jsou například:

#### Butadienstyrenové kaučuky – SBR

Nejdůležitější druh ze syntetických kaučuků, který nejvíce používají v pneumatikářském průmyslu. Jejich objem výroby je kolem 60% ze světové produkce syntetického kaučuku. Je vyráběn emulzní polymerací, tak i roztokovou polymerací.

Nejčastější použití je do běhounových směsí, dále také technické výrobky, hadice, obuv, dopravní pásy atd.

#### Butadienové kaučuky – BR

Druhý nejdůležitější syntetický kaučuk pro pneumatikářský průmysl. Pro obtížnější zpracování samotného polybutadienu se přidává do směsí s jinými kaučuky. Většinou se kombinuje s přírodním kaučukem a SBR. Ve směsích zlepšuje fyzikálně-mechanické vlastnosti a umožňuje větší dávkování sazí a olejů.

Nejčastěji se používá do běhounových směsí a bočnicových, pro výrobu houževnatého polystyrenu, obuvi, výjimečně na golfové míčky.

### Izoprenové kaučuky – IR

Jsou téměř identické s přírodními kaučuky, a proto jsou používány i do směsí pro nákladní automobily.

Nejčastěji se používají do běhounových směsí nákladních automobilů, traktorových a letadlových. Další využití je pro technickou pryž, obuv, ve zdravotnictví a potravinářství.

### Butylkaučuk – IIR

Řazen mezi speciální kaučuky pro jeho nízkou propustnost plynů a odolnosti proti kyslíku a chemickému působení.

Byl nejčastěji používán na výrobu duší do pneumatik. Dnes je většinou použit na výrobu vulkanizačních membrán, hadice, elektroizolace atd.

Každý syntetický kaučuk má určité vlastnosti, pro které vyniká, ale další zase zhoršuje. Z tohoto důvodu se syntetické kaučuky používají v kombinaci s jinými syntetickými kaučuky nebo i přírodním kaučukem, aby bylo dosaženo optimálních vlastností pro určité použití.



## 2 KAUKOVÉ SMĚSI GUMÁRENSKÉ

Vyrobít správnou kaučukovitou směs pro dané použití, vyžaduje znalost gumárenských surovin a jejich vlivů na vlastnosti směsi a pryže. Pro vhodné vykompenzování vlivů jsou nutné teoretické, ale i praktické zkušenosti.

Skladba směsí je pořád v poloze mezi vědou a uměním. Zkušenosti s výrobou mnohdy uspoří mnoho experimentální práce.[4]

Při skladbě směsí je cílem vyvinout směs, kterou budeme schopni zpracovat na dosavadních zařízeních a která vulkanizací dá pryž s požadovanými vlastnostmi. Brát v potaz musíme i ekonomii. Nejlevnější směs nemusí být nejekonomičtější.[5]

Gumárenské závody, a dnes už také pryž jako konstrukční materiál, mají nespočet receptur směsí. Není to výhodné z hlediska výroby, ale požadavky zákazníků jsou stále přesnější a přísnější. Proto je nutné vymýšlet nové receptury, které budou vyhovovat požadavkům a přáním zákazníka.

Klasický postup zavedení nové receptury je v laboratořích od rozepsání receptury přes zamíchání směsi, z vulkanizování vzorku a testování vlastností pryže. Po získání správné receptury přechází zkoušky do výroby, kde se opět dělají zkoušky, u kterých se výsledky oproti laboratoři liší.

Tento postup je stále používán, přestože je stále více dokonalejších simulujících programů na testování. Realita je však pokaždé odlišná.

### 2.1 Složení

Skladba kaučukové směsi obsahuje většinou tyto složky:

- Elastomer (druh kaučuku nebo směs)
- Vulkanizační činidlo (většinou síra)
- Urychlovač vulkanizace
- Aktivátor vulkanizace a retardér
- Ochranné látky

- Plniva
- Změkčovadla
- Zvláštní přísady[5]

Každá složka má jiný vliv na vlastnosti směsi a pryže. Podle požadavku vlastností se volí množství dávky určitých složek ve směsi.

V receptuře gumárenských směsí se označuje koncentrace přísad dsk (počet hmotnostních dílů přísady připadající na 100 hmotnostních dílů kaučuku). Takto vyjádřená koncentrace nekaučukových přísad zajišťuje přesný poměr kaučuk / přísada pro rozdílné směsi.

Základní složku, kaučuk, jsme již dostatečně prošli. Vhodným výběrem zadáme charakteristické vlastnosti směsi i pryže. Doplněním o další složky se upraví na dané požadavky.

### 2.1.1 Vulkanizační činidla

Vulkanizační činidla jsou látky schopné vytvářet chemickou reakci příčné vazby mezi řetězci kaučukového uhlovodíku.[1]

Nejčastěji se používá jako vulkanizační činidlo síra. Další vulkanizační přísady jsou peroxidy, kysličníky kovů, reaktivní pryskyřice apod.

#### Síra

V gumárenském průmyslu se používá krystalická síra mletá nebo nerozpustná, což je modifikace krystalické síry. Vhodná síra pro vulkanizaci má čistotu 99% až 99,8% a maximální obsah popela 0,5%. Teplota tání se pohybuje kolem 115°C. Obsah síry v kaučuku zapříčiní vystupování síry na povrch směsi jako bělavý povlak, který nepříznivě ovlivňuje konfekční lepivost.

Nerozpustná síra se nerozpouští v rozpouštědlech ani v kaučuku. Zpracovává se do 100°C, při teplotách vyšších a během vulkanizace se mění na rombickou síru. Uvádí se, že její použití má výhody:

- nevykvétá na povrch směsí a nesnižuje konfekční lepivost
- nepřestupuje z vrstvy do vrstvy u složených výrobků
- nezhoršuje zpracovatelskou bezpečnost směsí při skladování

### Reaktivní pryskyřice

Vulkanizaci pomocí reaktivních pryskyřic se získávají pryže odolné proti vysokým teplotám. Používají se hlavně pro vulkanizaci butylkaučuku.[1]

#### **2.1.2 Urychlovač vulkanizace**

Úkolem urychlovače vulkanizace je zvýšit síťovací účinnost síry a urychlit vytváření příčných vazeb řetězců elastomerů. Vulkanizační činidla s urychlovači značně ovlivní vulkanizaci, a také vlastnosti vulkanizátů.

Urychlovače mají při sírové vulkanizaci tyto účinky:

- Podstatně zvětšují rychlost vulkanizace
- Zvyšují síťovací účinnost vulkanizačních systémů
- Zlepšují odolnost vulkanizátu proti stárnutí
- Umožňují upravovat vulkanizační systémy podle požadavků technologie a současně i podle požadovaných fyzikálních vlastností vulkanizátů.

Do kaučuku se urychlovače přidávají v prášku nebo snadno dispergovatelných roubíků nebo granulí.[1]

Urychlovače dělíme do těchto skupin:

1. Pomalé urychlovače
2. Rychlé urychlovače
3. Velmi rychlé urychlovače
4. Ultraurychlovače

#### **2.1.3 Aktivátor vulkanizace a retardér**

Aktivátory vulkanizace jsou látky, které mají za úkol aktivovat účinek vulkanizačních činidel. Jedná se o organické a anorganické látky. Bez těchto látek by vulkanizační systém potřeboval větší množství vulkanizačních činidel, aby dosáhl stejného stupně zesíťování.

Sírová vulkanizace většinou obsahuje kysličník zinečnatý – zinkovou bělobu. Je to bílý prášek. Ovlivňuje rychlost síťovací reakce a zvyšuje její účinnost.

V řadě případů je nutné při zpracování kaučukových směsí vyšších teplot a delšího času pro zpracování. To vede k problému předčasnému navulkanizování – tzv. napálení směsi. Proto se vyvinuly urychlovače se zpožděním a přísady pro prodloužení zpracovatelské bezpečnosti směsi tzv. retardéry.

#### 2.1.4 Ochranné látky

Tak jako jiné materiály, tak i pryž časem mění své mechanické vlastnosti. Tyto změny jsou však většinou nepříznivé a všeobecně se proto mluví o stárnutí. Stárnutím se mění pevnost, modul, tvrdost, tažnost, povrchové změny, a proto se do směsí přidávají přísady, které nazýváme antidegradanty.

Jejich úkolem je zpomalit změny vlastností, aby si materiál zachoval původní vlastnosti směsi. Samy ale žádné určité vlastnosti nevytvoří. V laboratořích se velmi špatně simuluje stárnutí, protože velmi zřídka nepříznivě ovlivňuje materiál jen jeden vliv.

Antidegradanty lze rozdělit na:

- Antiozonanty
- Antioxidanty

#### 2.1.5 Plniva

Základní směs, která se dá zpracovávat a vulkanizovat, je tvořena kaučukem, vulkanizačním systémem a změkčovadlem. Takto zhotovená směs má jen základní charakteristické vlastnosti, podle použitého kaučuku, ale nestačí na požadavky zákazníka. Zpracovatelnost je obtížná, tím pádem i drahá pro většinu účelů. Musí se proto přizpůsobovat a to plněním.

Rozumí se tím přidání většího množství přísad, nejčastěji práškových, do kaučukových směsí. Plněné směsi obsahují menší množství kaučuku, ale při správné volbě plniva a jeho obsahu, vyhovují plněné pryže svému účelu lépe než neplněné. Plněním se obecně mění všechny vlastnosti směsi a pryží.[1]

Rozdělit plniva můžeme na ztužující, které zlepšují fyzikálně mechanické vlastnosti pevnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení, pružnost. Nejčastěji to jsou saze a silika. Neztužující mají význam pro zvětšení objemu, dále pak na zlevnění ceny výrobku. K tomuto účelu se používá křída, kaolín apod.

V praxi se užívá rozdělení:

- Saze
- Světlá plniva

### Saze

Saze v gumárenském průmyslu jsou nejdůležitějším plnivem. Do výroby pneumatik se spotřebuje až 85% technicky vyrobených sazí. Složení sazí je z 95 – 99% uhlík a zbytek je tvořen organickými skupinami a sloučeninami.

Vzájemné působení kaučuku a sazí je závislé na:

- Velikosti styčné plochy povrchu mezi povrchem sazí a kaučuku
- Struktúře sazí (geometrický faktor)
- Aktivita povrchu (absorpce)

Vlastnosti směsí a vulkanizátů, které jsou plněny sazemi, závisí především na velikosti částic sazí a geometrickém uspořádání. Vmíchání sazí do kaučuku je obtížnější, čím jemnější jsou částice sazí. Taktéž s větší strukturou se pomaleji vmíchávají do kaučuku. Viskozita se zvyšuje a směs se více zahřívá, tím se zkracuje doba bezpečnosti zpracování.

### Světlá plniva

Světlá plniva jsou nesazová plniva s různou chemickou stavbou a některými společnými fyzikálními vlastnostmi. V gumárenství se dlouho používala jako neztužující přísada na snížení ceny výrobku a dosažení světlé barvy oproti sazovým směsím. Později se vyvinuly světlá plniva ztužující.

Stejně jako u sazí je základní parametr charakterizující plnivo velikost částic. Podle velikosti mají různý ztužující účinek v kaučuku.

Nejdůležitější fyzikální vlastnosti určující chování světlých plniv v kaučukové směsi nebo vulkanizátu jsou podobné jako u sazí:

- Velikost částic a jejich distribuce, měrný povrch plniva
- Stupeň sekundární struktury a tvar částic
- Pórovitost částic[1]

### Srážený oxid křemičitý (silika)

Používá se v gumárenském průmyslu především do běhounových směsí. Dochází ke zlepšení dynamických vlastností, snižuje valivý odpor a zlepšuje adhezi pneumatiky za mokra a na sněhu. Zlepšuje se také strukturní pevnost vulkanizátů.

Podobně jako u sazí je možné vyrobit siliku s menšími nebo většími částicemi a menší nebo větší strukturou. Pro gumárenské výrobky se nejčastěji používá silika s měrným povrchem 25 až 220 m<sup>2</sup>/g a o průměru od 5 do 50nm.[6]

### **2.1.6 Změkčovadla**

Uplatňují se především při přípravě kaučukových směsí. Po zamíchání do kaučuku se usnadňuje další zpracování při míchání, vytlačování, válcování atd. Plniva zvyšují viskozitu a přidáním změkčovadel je umožněno připravovat směsi s větším obsahem plniv. Působí tedy opačně než plniva.

Účinek změkčovadel se neprojevuje jen u směsí, ale má vliv i na vulkanizát. Tak jak plniva zvyšují tvrdost, opačně k tomu stejným způsobem změkčovadla tvrdost zmenšují. Dá se říci, že přidáním stejné koncentrace oleje a sazí se neprojeví na tvrdosti vulkanizátů.

Vliv změkčovadla na vlastnosti kaučukové směsi a pryže je určen těmito faktory:

- Chemickou strukturou (určuje mísitelnost)
- Molární hmotností
- Koncentrací v kaučukové směsi[7]

Nejčastěji se používá změkčovadel olejových produktů při zpracování ropy nebo produkty uhelných dehtů.

Jestliže změkčovadlo a kaučuk jsou vzájemně snášenlivými, vnikne změkčovadlo snadno do polymeru, zbobtná ho a vytvoří homogenní směs. Takto vytvořená směs klade menší odpor proti deformaci a toku. Menší viskozita i menší vnitřní tření směsi způsobuje zlepšení tvarování v procesech válcování, vytlačování a jiných. Směs se tolik nezahřívá, tudíž má lepší zpracovatelskou bezpečnost. Vytlačené profily mají hladší povrch a nemají velké srážení.

Změkčovadlo se do směsí přidává pro usnadnění zpracování, ale působí i na vlastnosti vulkanizátů. Pokud směs obsahuje ztužující plniva, tak změkčovadlo v menší koncentraci má

příznivý vliv na dispergaci, následně na pevnost, ale ve větší koncentraci naopak pevnost klesá.

### 2.1.7 Zvláštní přísady

Tyto přísady dodávají vulkanizátu speciální vlastnosti. Jsou to pigmenty, faktisy, nadouvadla a jiné.

Zbarvení pryže zajišťují pigmenty: anorganické a organické pigmenty. Anorganické jsou levnější, ale nedávají pastelové odstíny jako organické. Důležité je vybrat pigmenty, které vlivem síry při vulkanizaci nemění barvu.

Faktisy slouží jako přísada dodávající speciální vlastnosti. Zlepšují zpracovatelnost, zvyšují odolnost proti únavovému stárnutí (vhodné pro bočnice pneumatik), ale naopak zhoršují odolnost proti oděru (nevhodné pro běhouny pneumatik).

Nadouvadla se při vulkanizaci rozkládají na plynné produkty a umožňují tak výrobu lehčejší pryže.

## 2.2 Příprava směsi

Příprava směsi začíná již při samotném rozhodnutí, jaké složky bude směs obsahovat. Z technických požadavků výrobku, pro který bude určena, se musí vycházet při určování konkrétního kaučuku, který bude použit. Následně se podle vlastností vybraného kaučuku, vybírají přísady pro zpracování a vulkanizační systém. Dalším důležitým krokem je výběr plniv. Nesmí se ale opomenout ochranné látky, které zabezpečí výrobku delší životnost pro danou aplikaci, pro kterou je určen. Každá složka kaučukové směsi mění její konečné vlastnosti, a proto je důležité sladit požadavky a reálné možnosti technologie tak, aby výsledná směs vyhovovala.

Surový kaučuk, který přichází do gumárenských provozů, je nutno před dalším zpracováním plastifikovat do určitého stupně, aby byl schopen přijímat přísady a byl dobře zpracovatelný danou technologií. Gumárenské směsi je možné připravovat na dvouválcových strojích, v hnětičích či v kontinuálních hnětičích.[8]

Plastikací nazýváme postup, při němž se plasticita kaučuku zvýší na hodnotu nutnou pro míchání a další zpracování směsí. Plasticita se definuje jako schopnost materiálu podržet si tvar, který mu byl udělen deformací i po odstranění deformační síly.[5]



### 3 ZKOUŠENÍ VULKANIZÁTŮ A GUMÁRENSKÝCH SMĚSÍ

Gumárenské zkoušky popisují vlastnosti a chování gumárenských materiálů. Aby gumárenské výrobky vyhovovaly požadavkům, musí být dodržena jakost již samotných surovin použitých ke zhotovení výrobku. Podle výsledků zkoušek jsou zavedeny interní specifikace, které slouží technologii, výrobě a řízení kvality pro kontrolu.

Laboratorní zkoušky dávají jen základní představu o chování vulkanizátů v hotovém výrobku. Protože jsou gumárenské výrobky obvykle složité systémy, musí se často pro zaručení požadované kvality zkoušet i celý výrobek. Po laboratorních zkouškách následují zkoušky přímo ve výrobě, protože výsledky laboratoře jsou odlišné od výroby. Je to dáno větším množstvím zpracovávaného materiálu na větších výrobních strojích oproti laboratorním.

Nejdůležitější charakteristikou vulkanizátů, a z nich připravených výrobků, je schopnost velkých elastických deformací při velmi malé stlačitelnosti. Charakterizace vlastností gumárenských materiálů většinou vyžaduje specifické zkoušky, které jsou jiné než zkoušky používané pro další technické materiály.[6]

#### 3.1 Fyzikální zkoušky

Vulkanizovaná kaučuková směs – pryž – je důležitým konstrukčním a výrobním materiálem. Úkolem mechanických zkoušek pryže je hlídat kvalitu dodávaných surovin, zajistit stálost předepsaných parametrů, zajistit opodstatněnost reklamací, dodávat výsledky při testování nových druhů materiálu.

Fyzikální zkoušky vlastností pryží se laboratorně zkoušejí na speciálně konstruovaných zkušebních přístrojích, které mají splňovat tyto podmínky:

- mají být jednoduché,
- výsledky dobře reprodukovatelné,
- zkouška rychlá, a její výsledky v korelaci s odpovídajícími praktickými hodnotami.[9]

##### 3.1.1 Zkouška tvrdosti

Tato zkouška je nejjednodušší pro zjištění modulu elasticity. U pryže se měří tvrdost během vtlačování předmětu do materiálu. Při měření se do materiálu vtlačuje těleso přesně

definovaného tvaru předem danou silou. Čím více vnikne těleso do materiálu při stejné síle, tím menší je tvrdost vulkanizátu.

Tvrdost pryže je závislá na množství a druhu elastomeru, na druhu plniva, stavu vulkanizace a stáří vzorku.

Nejčastějším přístrojem pro měření tvrdosti je tvrdoměr Shore A. Tímto tvrdoměrem se měří materiály běžných typů měkké pryže. Jednotkou je dílek Shoreovy stupnice. Vyšší číslo značí tvrdší pryž.[9]

Měření na jednom zkušebním tělese je nutné opakovat minimálně třikrát a na různých místech pro větší přesnost. Poté vypočítat aritmetický průměr z výsledků.

### **3.1.2 Tahová zkouška**

Je druhá nejčastější zkouška v gumárenství. Výsledky jsou především obecným ukazatelem kvality vulkanizátů a jsou závislé na obsahu změkčovadel, plniv, kvalitě míchání a vulkanizace.

Lze z ní zjistit nejen konečné zatížení (pevnost) a konečné prodloužení (tažnost), ale i zatížení potřebné k určení prodloužení (modul), které často slouží jako měřítko při hodnocení pryže.

Tahové zkoušky se provádí na trhacích strojích. Jako zkušební tělesa se používají obvykle tvarem oboustranných lopatek, kroužků nebo pásků. Po upevnění do stroje se plynule těleso napíná konstantní rychlostí.

### **3.1.3 Strukturní zkouška**

Patří sem hlavně dva druhy zkoušek. Odpor proti natržení a dalšího trhání a dále zkouška odolnost proti odírání. Jsou dosti důležité pro hodnocení pryžových materiálů, použitých k výrobě pneumatik.

Odolnost proti natržení a dalšího trhání charakterizuje strukturní pevnost a je stanovena podobně jako zkouška tahová tahovým namáháním. Při zkoušce je tahové napětí soustředěno v uměle vytvořené trhlině nebo poruše. Měří se síla potřebná k vytvoření nového povrchu.

Odolností proti odírání se rozumí změna povrchu materiálu a jeho úbytek za podmínek, za kterých je zkouška vykonávána. Odolností vůči opotřebení se hodnotí životnost pryžových výrobků v praxi.

Pro testování odolnosti proti oděru je hodně druhů přístrojů, ale není přesně dána vhodnost použití určitého přístroje, protože oděr není specifická vlastnost pryže. Odírání pryžových materiálů je způsobeno třením po povrchu.

### 3.1.4 Dynamické zkoušky

Dynamické zkoušky pryžových výrobků dynamickým namáháním jsou důležitější než zkoušky při statických podmínkách. Výrobky z pryže jsou namáhány cyklicky se opakujícími deformacemi. Za takových podmínek pracují pneumatiky, tlumiče, dopravní pásy a další.

Po takových deformacích dochází často k rozrušení materiálu, a to i tehdy, nejsou-li deformace větší než kritické. Tato vlastnost pryžových materiálů se nazývá únava.[8]

Vulkanizát je viskoelastický materiál a při dynamickém namáhání se projeví jak elastická tak i viskosní složka jeho chování. V důsledku přítomnosti viskosní složky se při každém cyklu část mechanické energie přemění na teplo.[6]

Dynamické vlastnosti vulkanizátů jsou ovlivněny samozřejmě i složením směsi. Vliv má samotný kaučuk, ale i zvolené plnivo, koncentrace, změkčovadlo a podmínky samotné vulkanizace.

## 3.2 Viskozita Mooney

Nejrozšířenější zkouška v gumárenském průmyslu, pomocí které se charakterizují zpracovatelské vlastnosti kaučuků a kaučukových směsí. Tato metoda slouží k měření viskozity a také bezpečnosti směsi a vulkanizační charakteristiky.

Principem měření je protáčení rotoru ve tvaru kotouče ve válcové dutině vyplněné zkoušeným materiálem za určitých podmínek. Odpor, který vzniká protáčením rotoru, se vyjadřuje v jednotkách Mooney, označovaných M. Podle velikosti kotouče je doplněno o písmena L (large) nebo S (small).[10]

Měření probíhá ve dvoudílné komoře, která se vyhřívá na danou teplotu a je rýhovaná. Rotor se otáčí v komoře konstantní rychlostí, která musí být dodržena, protože na tom závisí přesné odečítání kroutícího momentu.

Viskozitu měříme tak, že vložíme dvě kolečka kaučukové směsi (průměr cca 50mm a tloušťka cca 6mm) do komory. V jednom kolečku je díra na prostrčení rotoru. Po uzavření komory probíhá předehřev (většinou 1minutu) a poté se rotor začne otáčet. Odečítání hodnoty viskozity je nejčastěji po 4 minutách. Teplota komory je 100°C.

Vulkanizační charakteristika se měří při teplotě 120°C a menším průměru rotoru, což jsou jediné rozdíly od měření viskozity. Hodnoty se zapisují v krátkých intervalech, nebo pomocí automatického zařízení. Pokud stoupne hodnota viskozity od dosaženého minima o 35 jednotek, zkouška se ukončí.

Bezpečnost směsi se vyhodnocuje z křivky vulkanizační charakteristiky. Je to doba v minutách od začátku zkoušky, která je zapotřebí ke stoupnutí viskozity o 5 jednotek nad dosažené minimum.

### 3.3 Reometr RPA 2000

RPA 2000 (Rubber Process Analyzer) je přístroj, pomocí kterého lze měřit dynamické vlastnosti polymerních materiálů. Je to oscilační reometr od společnosti Alpha Technologies. Tento přístroj umožňuje měřit vstupní suroviny, nezvulkanizované směsi, vulkanizační charakteristiky a vlastnosti vulkanizátů.



Obr. 3 Přístroj RPA 2000[13]

Možnosti použití RPA 2000:

## Měření surovin

- dynamická viskozita
- komplexní modul vs. frekvence a úhel deformace

## Měření nezvulkanizované směsi

- kvalita procesu míchání
- disperze plniv
- zpracovatelnost
- isothermní vulkanizace
- vulkanizační charakteristika

## Vlastnosti vulkanizátů

- tuhost
- hysterezní ztráty

Specifikace:

Frekvence:	0,0016 až 50Hz
Teplotní rozsah:	až 230°C
Napnutí:	±0,3% až ±1250% (±0,02 až ±90 stupňů)
Maximální nárůst teploty:	1°C/s
Maximální rychlost ochlazení:	0,5°C/s
Ukládání dat:	SQL databáze[13]

## 4 VÝROBNÍ PROCESY GUMÁRENSKÉ

Postup zhotovení gumárenských výrobků obsahuje několik samostatných procesů. Každý proces vytvoří výrobek daného procesu, který se dále zpracovává nebo přidává k dalším z jiných procesů, až nakonec poslední článek řetězce procesů vytvoří požadovaný konečný výrobek.

Sled jednotlivých procesů se různí podle výrobku. Nejčastější gumárenský výrobek na světě je pneumatika. Postup výroby je složen přibližně ze čtyř základních procesů, které se mohou dále rozšířit. Nejjednodušší postup je složen z procesů přípravy směsí, přípravy polotovarů, konfekce a lisovny.

### 4.1 Míchání

Míchání kaučukových směsí je základní proces v gumárenské technologii. Směs pro výrobu pláštíků pneumatik obsahuje kromě kaučuku zhruba deset složek. Každá z těchto složek má specifický úkol. Účelem míchání je zajistit jejich co nejrovnoměrnější rozptýlení v kaučukové směsi. Nedokonalé rozptýlení některých přísad (zvláště sazí) může způsobit, že mechanické vlastnosti pryže budou horší.[12]

Gumárenské směsi se mohou připravovat několika způsoby, buď na dvouválcových strojích, v hnětičích nebo v kontinuálních hnětičích.

#### 4.1.1 Míchací proces

Míchání je postup, při kterém se dva nebo několik různých materiálů vloží do prostoru míchání, kde se jednotlivé materiály mísí tak, abychom dosáhli požadované rovnoměrnosti rozdělení jednotlivých složek v míchané hmotě. Mícháním jsou částice jedné látky zanášeny mezi částice druhé látky, přičemž v průběhu míchání je výchozí poměr komponent dosahován ve stále menších objemech. Čím bude tento objem menší, tím bude proces míchání složitější.[11]

Míchání bývá zpravidla rozdělené na tři části:

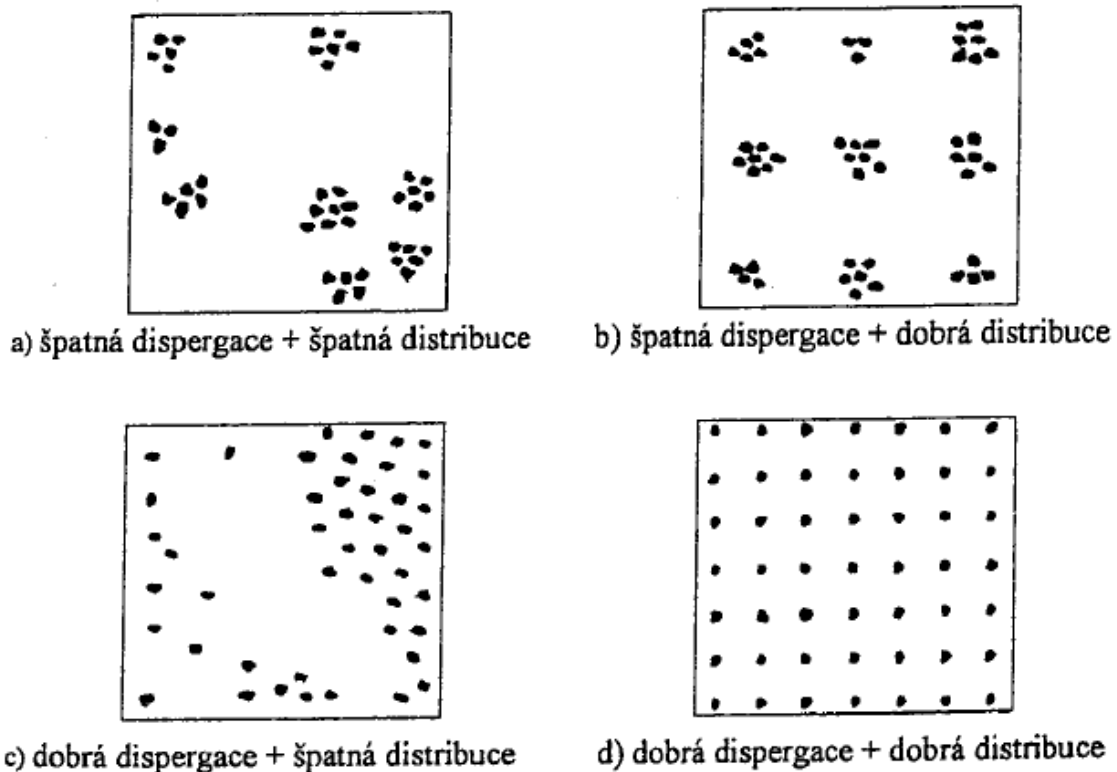
1. Příprava surovin a jejich přísad s potřebným navažováním
2. Míchací proces (příprava směsi)
3. Zpracování připravené směsi (válcování, chlazení, skladování, balení)

Proces míchání ve svém postupu z fyzikálního hlediska obsahuje několik dějů.

Plastikace je děj, při kterém se snižuje molekulová hmotnost kaučuku, a to má za následek zlepšení průběhu dalších operací. Dochází ke zlepšení tokových vlastností, následně i zpracovatelských vlastností kaučuku.

Další je vmíchání přísad. Při této operaci je kaučuk s plnivou zamíchán v hnětiči nebo na dvouválci v koherentní směs. Aby směs byla kvalitní, musí proběhnout při míchání další děje, a to distribuce a dispergace.

Při distribuci dochází k rovnoměrnému rozložení přísady v potřebném množství, v určitém objemu směsi. Dispergací se redukuje velikost částic na mezní velikost. Z velikosti aglomerátů 10 - 100 $\mu\text{m}$  na menší velikost než 1 $\mu\text{m}$ . Tyto operace (distribuce a dispergace) se většinou při míchání překrývají.



Obr. 4 Znázornění dispergačního a distribučního míchání

Míchání směsí se děje většinou v několika stupních. Jednostupňové míchání se používá jen u měkčích směsí, u kterých nedochází při míchání k velkému zahřívání, nebo pro zamíchání stačí menší otáčky hnětadel.

Dvoustupňové míchání se zavedlo při nutnosti vyhovění zvýšení požadavků a hlavně při nástupu syntetických kaučuků, které vytváří tužší směsi. Ty se při míchání více zahřívají a k dalšímu zvýšení teploty dochází při vyšších otáčkách hnětadel. Postup dvoustupňového míchání je, že v prvním stupni se při vysokých rychlostech zamíchá základ směsi, poté je vypuštěn na dvouválec ke zchlazení. Po odležení se vrací zpět do hnětiče, kde se přidají vulkanizační přísady a při nižších rychlostech domíchá finálová směs.

Vícestepňové míchání se provádí několikerým přemícháním základové směsi. Dochází k lepší homogenizaci směsi v případě nutnosti postupného přimíchávání přísad.

Tandemové míchání je varianta dvoustupňového míchání s tím rozdílem, že směs z prvního hnětiče padá přímo do druhého, nedochází ke zchlazení na dvouválci a odležení. Nevýhodou je prostoj jednoho z hnětičů.

U míchání silika směsí se používá místo sazí jako plnivo oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ). Při míchání sazových směsí dochází pouze k mechanickému promíchání chemikálií, ale při míchání silikových směsí k chemické reakci (silanizaci) mezi kaučukem a silikou.

#### **4.1.2 Postup míchání kaučukových směsí**

Gumárenské směsi se připravují na dvouválcích, v hnětičích nebo v kontinuálních zařízeních. Dnes se převážně používají hnětiče, které jsou produktivnější než původní dvouválcové stroje.

Míchání směsí na dvouválcích se dnes používá jen ojediněle, hlavně však v laboratořích. Není vhodné míchat směsi vysoce plněné, zejména sazemi z hlediska znečištění pracovního prostředí. Míchání směsí na dvouválci je navíc značně neekonomické, zdlouhavé, zvyšuje riziko úrazu a znečišťuje více prostředí.[12]

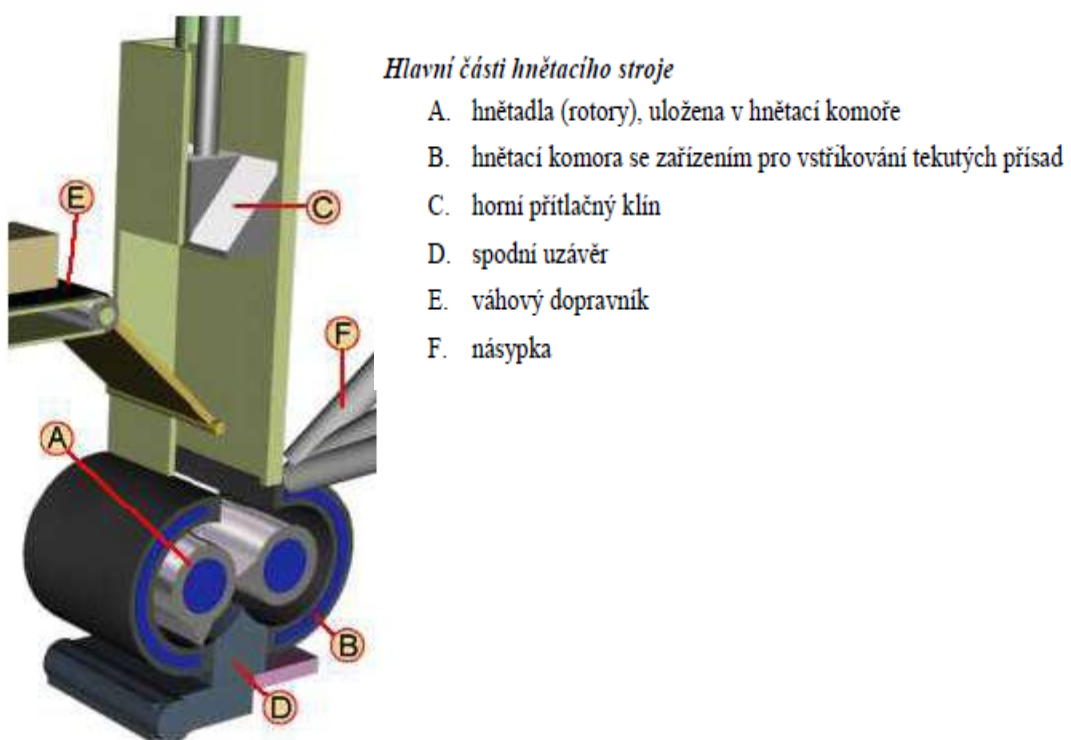
#### **Míchání kaučukových směsí v hnětiči**

Hnětiče se vyvinuly hlavně pro míchání kaučukových směsí. Nahradilo již nedostačující míchání na dvouválcích.



Hnětič je robustní stroj, který míchá kaučuk s přísadami pomocí profilovaných protiběžných rotorů v komoře. Ta se uzavírá pomocí klátu shora a spodním uzávěrem se vyprazdňuje. Násypkou se plní materiál do komory hnětiče. Materiál je automaticky převažován na váhovém dopravníku. Ovládání je zcela automatické včetně navažování.

Z hlediska účinnosti míchání, a tím výkonu hnětičů, jsou nejdůležitějšími parametry rychlost otáčení rotoru a tlak klátu na směs. Hlavní míchací účinek nastává mezi rotory a stěnou komory, kde v důsledku sbíhavého tvaru rotoru ke stěně dochází k největšímu stříhovému účinku.[5]



Obr. 5 Hlavní části hnětiče[12]

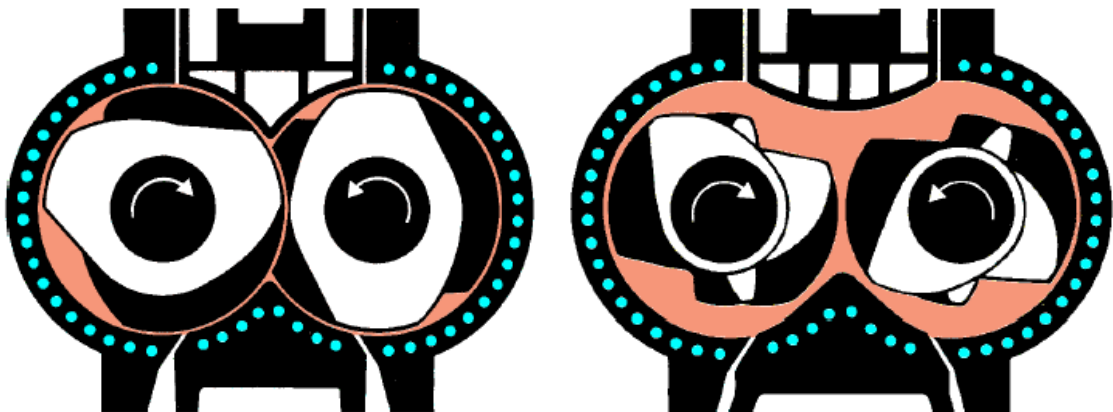
### Typy rotorů u hnětičů

#### Tangenciální rotory

- Oběžné dráhy rotorů se neprotínají
- K míchání dochází především v prostoru mezi břity a plochou komory
- Otáčky rotorů mohou být různé nebo stejné
- Tvar rotoru může být dvou nebo čtyřbřítý

### Intermix rotory

- Oběžné dráhy rotorů se protínají (zapadají do sebe a proto musí mít stejné otáčky)
- K míchání dochází zejména mezi rotory
- Vyvinuty pro silika směsi, ale vhodné i pro základové sazové směsi nebo finálové míchání[12]



Obr. 6 Vlevo rotor intermix, vpravo tangenciální rotor[12]

Rychlost otáček rotorů se během vývoje zvyšovala z původních 19 ot./min. až na 30 – 40 ot./min. V některých případech i více. S každým zvýšením otáček dochází také ke zvýšení teploty kaučukové směsi.

## 4.2 Vytlačování

Vytlačování je jeden z procesů zpracování kaučukových směsí. Je to kontinuální proces tváření kaučukové směsi přes šablonu do volného prostoru. V gumárenském průmyslu se používají vytlačovací stroje šnekové. Zpracovávaná kaučuková směs se rozpracuje mezi šnekem a pláštěm vytlačovacího stroje.



Obr. 7 Šnekový vytlačovací stroj[12]

U vytlačování kaučukových směsí lze použít jednochodý nebo dvouchodý šnek. Délka šneku je vyjádřena násobkem průměru (např.  $L=10D$ ). Šnekové vytlačovací stroje pro zpracování kaučukové směsi jsou dva a to stroj zásobovaný teplou, rozpracovanou směsí na dvouválci a druhý je stroj zásobovaný studenou směsí přímo z palety. U obou je rozdílná délka šneku. Zásobovaný teplou směsí má kratší délku ( $4-6D$ ) a zásobovaný studenou směsí má delší šneky ( $10-18D$ ).

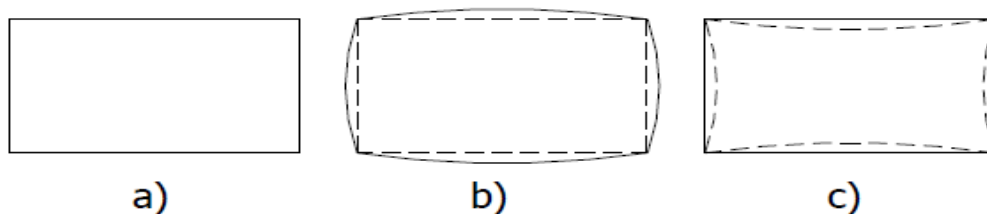
Pohyb materiálu ve vytlačovacím stroji je výslednicí čtyř tokových pochodů. Jsou to příčný tok, který způsobuje cirkulační vratný pohyb důležitý pro promíchávání a vyrovnání teploty, posuvný výtlačný tok způsobený dopravou materiálu k hlavě, zpětný tlakový tok způsobený odporem v hlavě, působí proti výtlačnému toku a zpětný tok způsobený vůlí mezi šnekem a pláštěm stroje.[5]

### Vytlačovací hlavy

Vytlačovací hlava je druhou nejdůležitější částí vytlačovacího stroje. Hlavy jsou různé podle účelu použití. Přímé (z nich vychází profil ve směru osy šneku), šikmé nebo příčné (opláštěování) a hlavy pro vytlačování koextruzních profilů.

Při vytlačování běhounů se využívá právě poslední jmenovaný druh hlavy. Běhoun je složen většinou ze tří až čtyř druhů směsí. Všechny musí být vytlačeny stejnou rychlostí a co nejlépe slepené, aby nedošlo k odseparování jednotlivých částí. Hlava se konstruuje tak, aby v ní nebyly mrtvá místa, kde nedochází k výměně materiálu a následnému navulkanizování směsi. Do hlavy se vkládá předšablona, která usměrňuje tok jednotlivých směsí k šabloně. Ta vytváří požadovaný profil.

Tvar vyrobený na šabloně neodpovídá požadovanému profilu, z důvodu narůstání směsi za šablonou, což je způsobeno viskoelastickými vlastnostmi směsi. Tvar se vytváří zkusmo, protože směsi nenarůstají pravidelně a výpočet není u složitých profilů přesný.



Obr. 8 Úprava šablony a) – požadovaný tvar, b) – šablona bez úpravy, c) – šablona s úpravou[8]

Narůstání materiálu za šablonou je ovlivněno složením směsi, přípravou směsi, strojním zařízením a podmínkami zpracování směsi.

## 5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Literární studie se zabývala kaučukem a z něj vyrobené kaučukové směsí v oboru gumárenství. V první části byl popsán kaučuk, jeho vlastnosti a druhy kaučuku, které se nejvíce v této oblasti využívají. Druhá část je zaměřena na kaučukové směsi gumárenské a jejich složení. Byly popsány jednotlivé složky směsi, které se v nich vyskytují. Další část byla zaměřena na zkoušky vulkanizátů a gumárenských směsí, v níž jsou popsány nejčastěji využívané zkoušky v tomto oboru. V části o výrobních procesech bylo popsáno hlavně míchání a vytlačování z důvodu zaměření této diplomové práce.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍL EXPERIMENTU

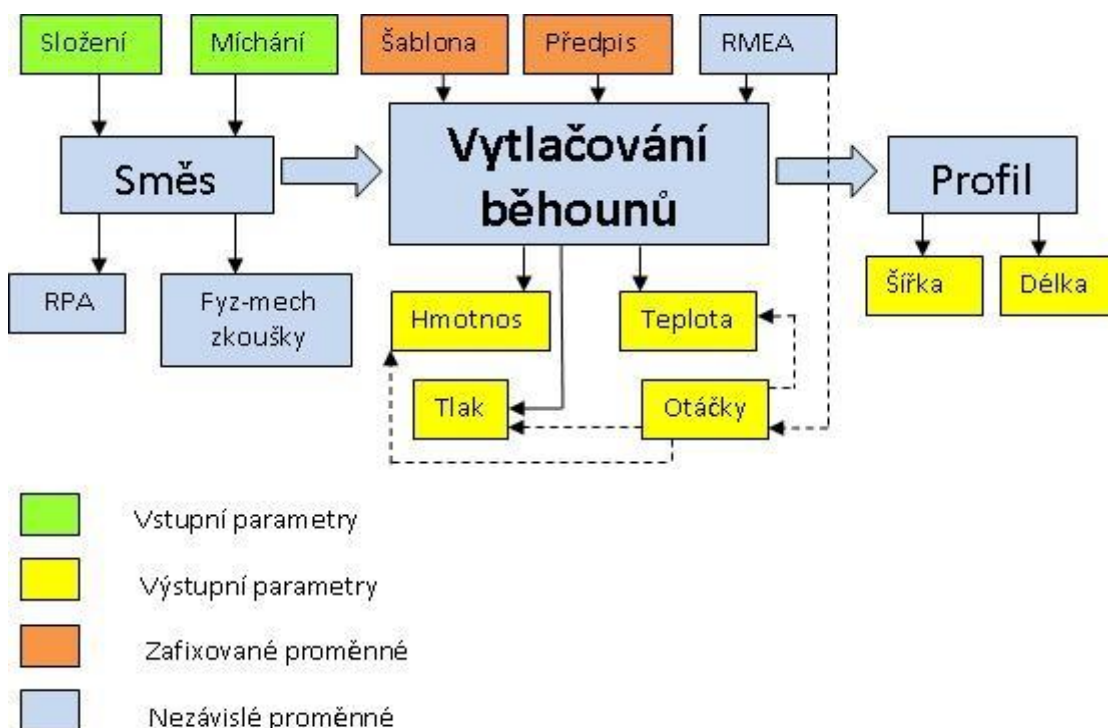
V literární části byly popsány druhy kaučuků nejčastěji používané v gumárenském průmyslu a jejich vlastnosti. V další části byly popsány kaučukové směsi gumárenské, následně zkoušky těchto směsí a vulkanizátů z nich vyrobených. Byly také popsány výrobní procesy v gumárenství.

Cílem experimentální části je zjištění příčiny extrémního srážení vytažených profilů běhounu z vybrané problémové kaučukové směsi.

Vybraná směs bude zamíchána v několika modifikacích. Každá varianta bude prověřena zkouškami Mooney, fyzikálními a na přístroji RPA 2000. Z těchto směsí se za přibližně konstantních podmínek vytlačí běhouny, na kterých se bude měřit srážení. Dále se budou vyhodnocovat data z vytlačovacího procesu ke zjištění vlivu směsi na jeho stabilitu.

### 6.1 Postup experimentu

Podle schématu vyobrazeného na obrázku se postupovalo ve vyhodnocování experimentální části.



Obr. 9 Schéma postupu experimentu

Nejdříve se určila směs, u které byl problém s extrémním srážením. Složení směsi, její modifikace a míchání směsi jsou vstupními parametry, které ovlivňují výslednou směs. Ta je podrobena zkouškám fyzikálně mechanickým a dynamickým na stroji RPA 2000.

Finální sériová směs i její modifikované varianty byly zpracovány na vytlačovací běhounové lince. Šablona s požadovaným profilem i vytlačovací předpis byly neměnné a jedná se tedy o zafixované proměnné.

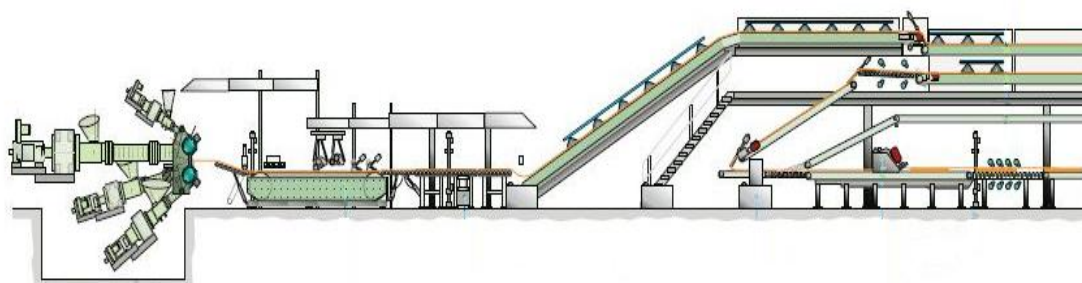
Data z průběhu vytlačování, tlak, hmotnost, teplota, otáčky se automaticky ukládají a jsou statisticky vyhodnoceny. Tyto data patří mezi výstupní parametry.

U vytlačených běhounů se hodnotila jejich šířka a délka. Patří také mezi výstupní hodnotené parametry.

## 6.2 Vytlačovací linka použitá k experimentu

Vytlačovací linka je složena z několika samostatných vytlačovacích strojů, které jsou samostatně říditelné, a každý z nich může zpracovávat jinou směs.

Pro praktickou část práce byla použita vytlačovací linka na výrobu běhounu pláště. Tato linka je složena ze čtyř vytlačovacích strojů – Quadroplex. Parametry jednotlivých vytlačovacích strojů byly navrženy podle požadavků výroby. Musí být schopny vytlačit požadované množství směsi v požadovaném tlaku, aby při dané rychlosti odtahu byly běhouny v požadované kvalitě.



Obr. 10 Vytlačovací linka - Quadroplex[15]



Parametry linky:

Kolíkové stroje zásobované studenou směsí

Výkon vytlačování linky	přibližně 10000kg/hod
Pracovní délka šneků	16D
Otáčky šneků	max. 50ot./min.
Vyhřívací zóny	1x šnek 3x pouzdro
Teplota vytlačování	max. 130°C
Rychlost odtahu	max. 40m/min.

Do vytlačovací linky jsou zařazeny čtyři vytlačovací stroje. Dva z nich mají průměr vytlačovacích šneků 150mm, další má průměr 200mm a poslední má šnek o průměru 90mm. Každý je schopen vytlačovat jinou kaučukovou směs, podle navržení běhounu.

Pro rychlé studené vytlačování byl vyvinut kolíkový vytlačovací stroj. Do pracovního válce je zabudováno určité množství kolíků, které slouží jako míchací a homogenizační element.[16]

Vytlačování je kontinuální proces. Linka vyrábí nepřetržitý profilovaný pás běhounu, který se chladí ve chladících vanách o délce přibližně 80m, a poté se dělicím zařízením rozděljuje na požadovanou délku. Automatické zakládací zařízení skládá jednotlivé běhouny do vozíků.

## 7 ZKUŠEBNÍ SMĚS

Pro praktickou část práce byl vybrán jeden typ kaučukové směsi pro výrobu běhounů pneumatik. Vyrobena byla i její modifikace. K porovnání těchto směsí poslouží třetí sériová kaučuková směs.

Z důvodu utajení receptury směsí, jsou u sériových a modifikované směsi uvedeny jen obecné charakteristiky přípravy vybrané směsi.

Sériová směs byla pojmenována jako *Směs A*. Modifikaci této směsi jsme pojmenovali jako *Směs B*. K nim byla vybrána *Směs C*, odpovídající z praxe běžným standardům srážení, aby bylo možno porovnat je i s jinou kaučukovou směsí. V tabulce je hrubý popis jednotlivých variant, u kterých jsou doplněny hodnoty viskozity Mooney.

Viskozita Mooney je nejrozšířenější zkouška v praxi. Jedná se o hodnotu na křivce, která se odečítá po čtyřech minutách od zapnutí rotoru při teplotě 100°C. Stanovení viskozity spočívá na měření krouticího momentu smykového disku umístěného ve vzorku, který je vložen do vyhřívané komory přístroje.[17]

Tab. 1 Popis směsí

<b>Směs</b>	<b>Popis</b>	<b>Míchání</b>	<b>Mooney [ML]</b>
Směs A	sériová	M1 + FMF	48
Směs B	bez zprac. přísad	M1 + FMF	65
Směs C	sériová	M1 + FMF	55

## 8 NAMĚŘENÉ HODNOTY

Po zamíchání sériové i modifikované směsi, byly provedeny na odebraných vzorcích fyzikální zkoušky.

### 8.1 Fyzikální zkoušky

Pevnost v tahu je maximální napětí v tahu zaznamenané při přetržení zkušební tělesa na trhacím stroji. Vztahuje se k původnímu průřezu vzorku.

Tažnost je prodloužení při přetržení. Délka pracovní části tělesa v okamžiku přetržení k původní délce pracovní části tělesa.

Modul je nominální napětí potřebné pro předem zvolenou míru deformace pracovní části zkoušeného vzorku. Velmi často slouží jako míra hodnocení elastických vlastností vulkanizátu.

Tvrдость je měření hloubky vniknutí hrotu s definovanými rozměry do materiálu. Nejpoužívanější metoda je měření tvrdosti Shore A.

Odrazová pružnost měření výšky odrazu kovového kyvadla od zkušební vzorku, je vyjádřena v procentech.

Tab. 2 Hodnoty hustoty, viskozity Mooney a fyzikálních zkoušek

	Fyzikální zkoušky						
	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Viskozita Mooney [ML]	Pevnost [MPa]	Tažnost [%]	Modul 300%[MPa]	Tvrдость [Shore A]	Odrazová pružnost [%]
<b>Cíl</b>	1,232	48	13	410	10,3	68	21
<b>max Tolerance</b>	1,242	54			14,3	73	26
<b>min Tolerance</b>	1,222	42	8	330	6,3	63	16
<b>Směs A vzorek1</b>	1,235	48	12,4	388	10,1	68,9	23,9
<b>Směs A vzorek2</b>	1,234	48	11,8	385	9,9	68,1	23,4
<b>Směs B vzorek1</b>	1,235	65	14,1	425	10,4	71,4	22,8
<b>Směs B vzorek2</b>	1,237	65	12,2	390	10,1	71,7	21,5
<b>Směs C</b>	1,201	55	14,1	438	10,1	72,1	21,1

## 8.2 Hodnoty dynamických vlastností

Měření dynamických vlastností se provádělo ve firmě Continental Barum s r.o. na přístroji RPA2000 od společnosti Alpha Technologies. Tento přístroj umožňuje nastavit teplotu, ale také frekvenci a amplitudu oscilace a proto je na tomto přístroji možné měřit vlastnosti v širokém rozsahu smykových rychlostí. Hodnoty  $\tan \delta$ ,  $G'$ ,  $\eta$  jsou hodnoty, které jsme sledovali při testech. Při měření  $\tan \delta$  a  $G'$  byl nastaven přístroj podle standartu Conti na maximální hodnotu 100% amplitudy, což je úhel oscilace. Při měření  $\eta$  byl přístroj nastaven na frekvenci.

### Hodnota ztrátového faktoru $\tan \delta$

Ztrátový faktor  $\tan \delta$  je poměr viskózní a elastické složky smykového modulu.

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (1)$$

Charakterizuje disipaci energie při cyklických deformacích. Vyšší hodnota  $\tan \delta$  značí vyšší viskozitu tělesa a menší hodnota  $\tan \delta$  naopak značí elasticitu tělesa. Během reakce síťování se zvyšuje elastická složka smykového modulu a ztrátový faktor  $\tan \delta$  klesá.

### Elastická složka smykového modulu $G'$

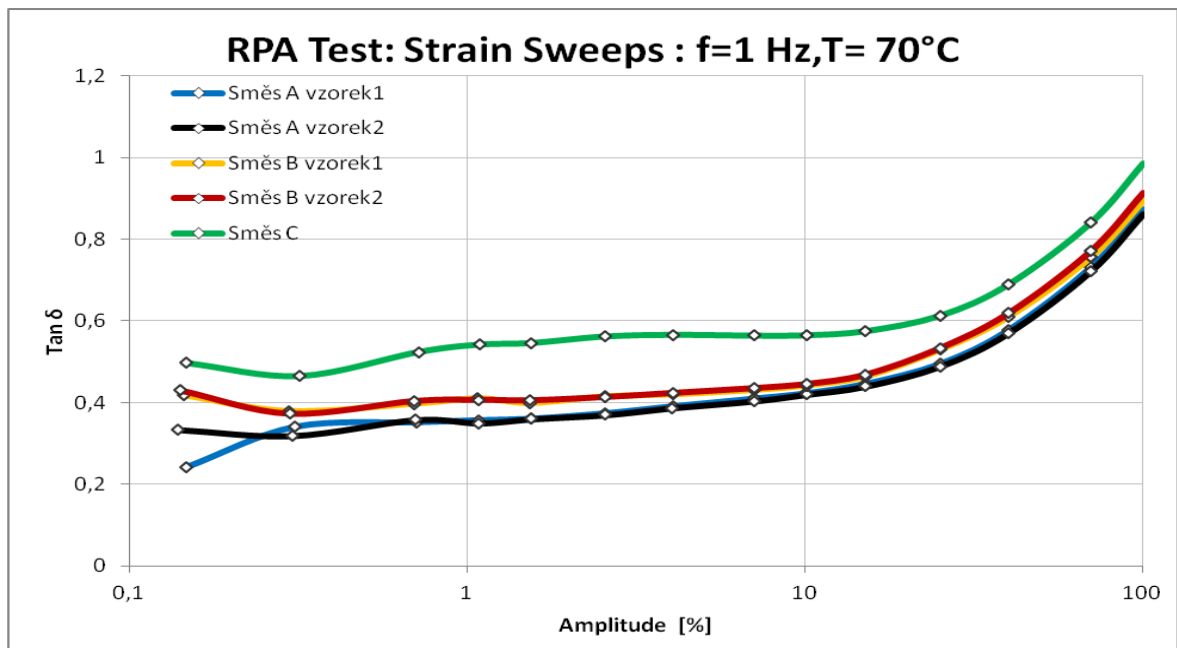
Charakterizuje elasticitu zkoušeného vzorku materiálu. Jedná se o energii, která je vratně uložena v materiálu a zároveň je reálnou částí smykového modulu.

### Dynamická viskozita $\eta$

Viskozita je odvozená fyzikální veličina, která popisuje vnitřní tření tekutin při jejich pohybu. Projevuje se jako odpor, kterým tekutina působí proti silám, snažícím se posunout její nejmenší částice.

Vzorec dynamické viskozity:

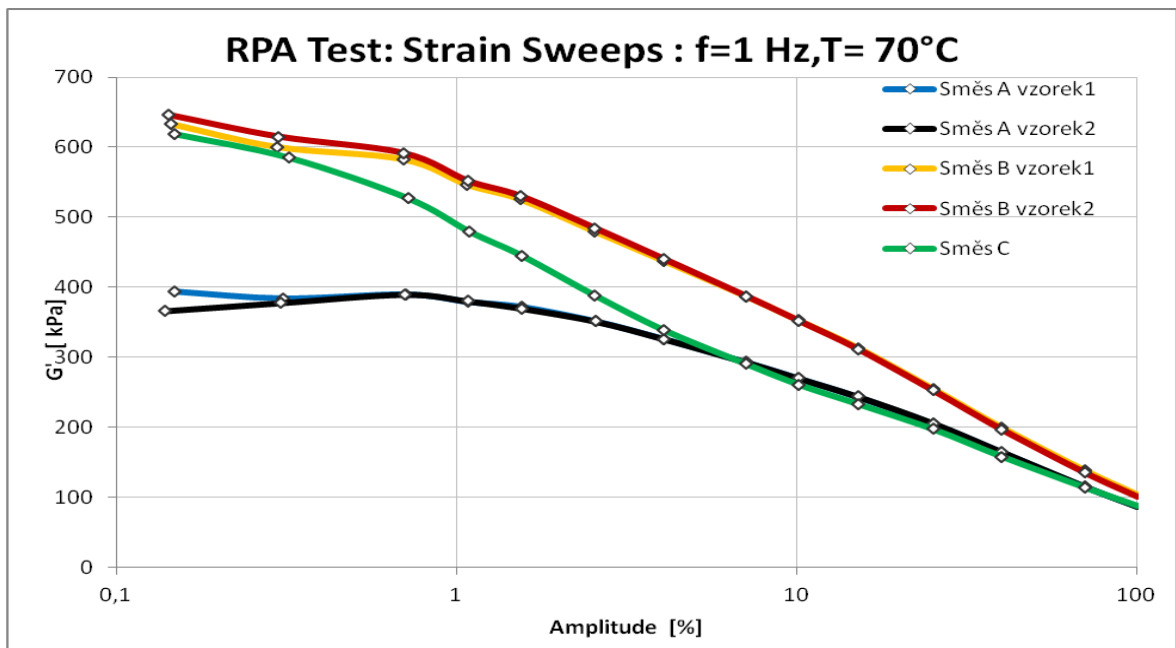
$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \quad (2)$$

Obr. 11 Průběh ztrátového faktoru  $\tan \delta$  na amplitudě

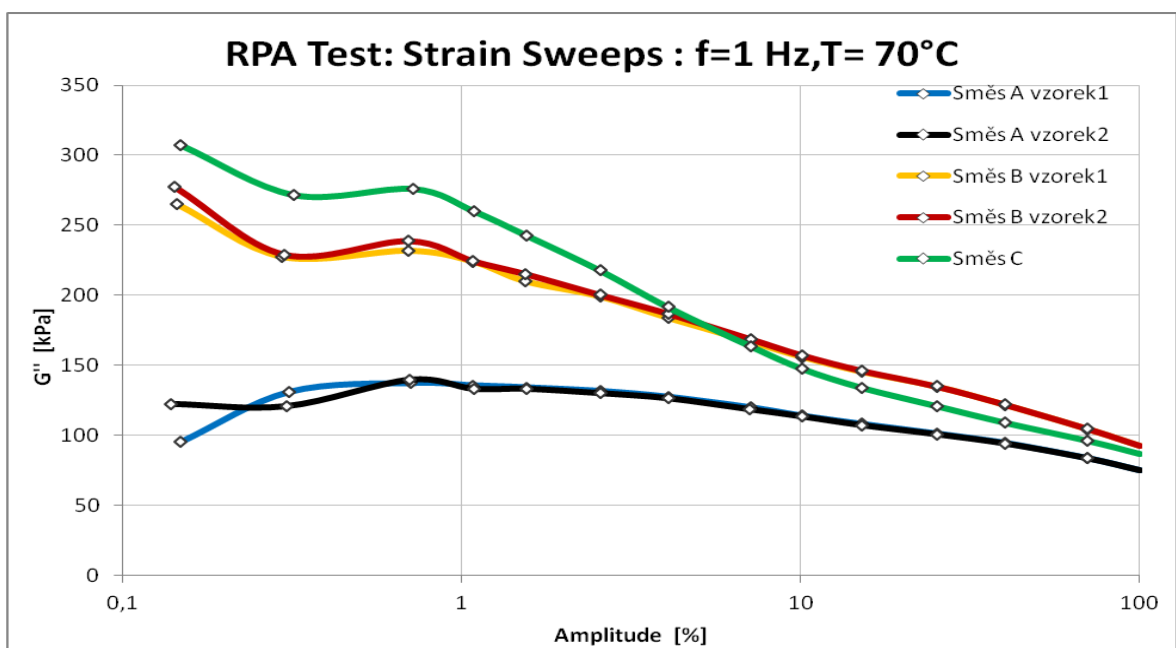
Hodnoty  $\tan \delta$  (obr. 11) ukazují poměr zastoupení složky viskózní ke složce elastické smykového modulu. Naměřené hodnoty jsou u finálových směsí před zpracováním na vytlačovacím stroji. V grafu jde vidět, že vyšší hodnoty jsou u obou vzorků *Směsi B*. Rozdíl, který by napovídal velkým změnám vlastností a chování směsi není u *Směsi A* i *B* výrazný. Naznačuje však určitou rozdílnost v jejich chování.

Porovnávaná *Směs C* má vyšší hodnoty  $\tan \delta$  oproti *Směsím A* i *B*. Z grafu lze tedy vyčíst, že vlastnosti i chování *Směsi C* při vytlačování budou jistě rozdílné. Modifikovaná *Směs B* se nepatrně přiblížila hodnotám *Směsi C*. Tento posun naznačuje, že vyjmutí určitých zpracovatelských přísad ovlivní vlastnosti a chování směsi při vytlačování.

Z následujícího obrázku (obr. 12), je vidět větší rozdíl u elastické složky smykového modulu  $G'$ .


 Obr. 12 Elastická složka smykového modulu  $G'$  na amplitudě

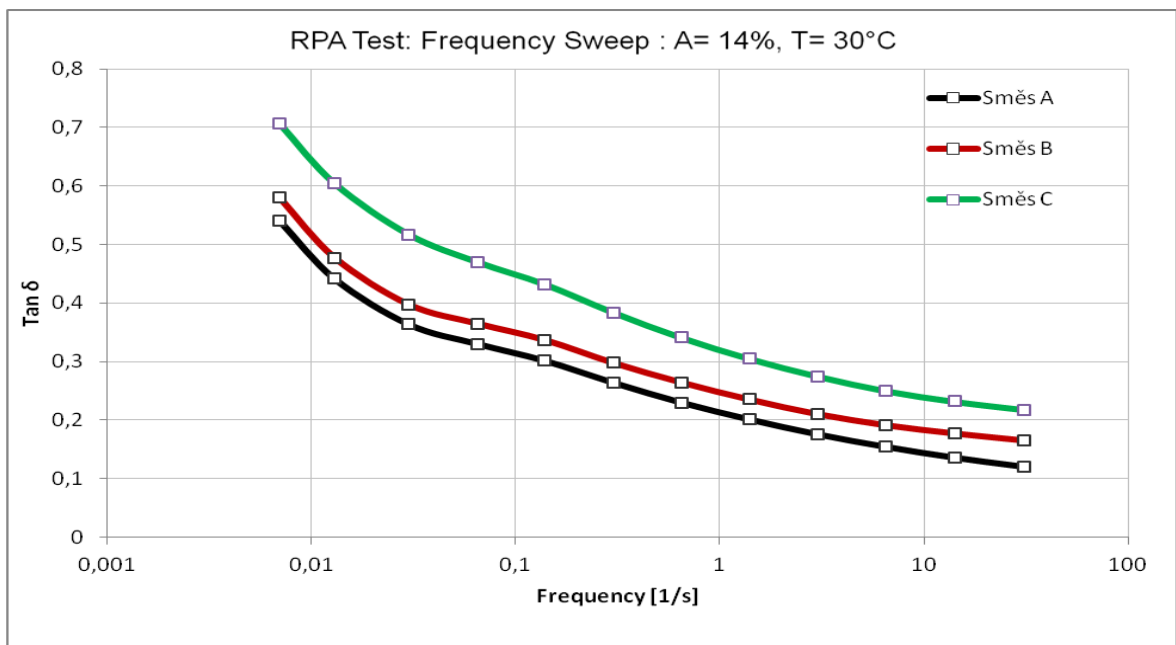
Vyšší hodnoty elastické složky smykového modulu  $G'$  naznačují, že proces vytlačování by měl být stabilnější u *Směsi B*. Naopak u *Směsi A* se předpokládá menší stabilita a proces by měl vykazovat větší rozptyl. *Směs C* má při nižších hodnotách amplitudy podobný průběh jako *Směs B*, ale ve vyšších hodnotách amplitudy je srovnatelná se *Směsí A*.


 Obr. 13 Viskózní složka smykového modulu  $G''$  na amplitudě

Viskózní složka smykového modulu  $G''$  (obr. 13) je energie, která se přemění na teplo a je zdanlivou složkou smykového modulu.

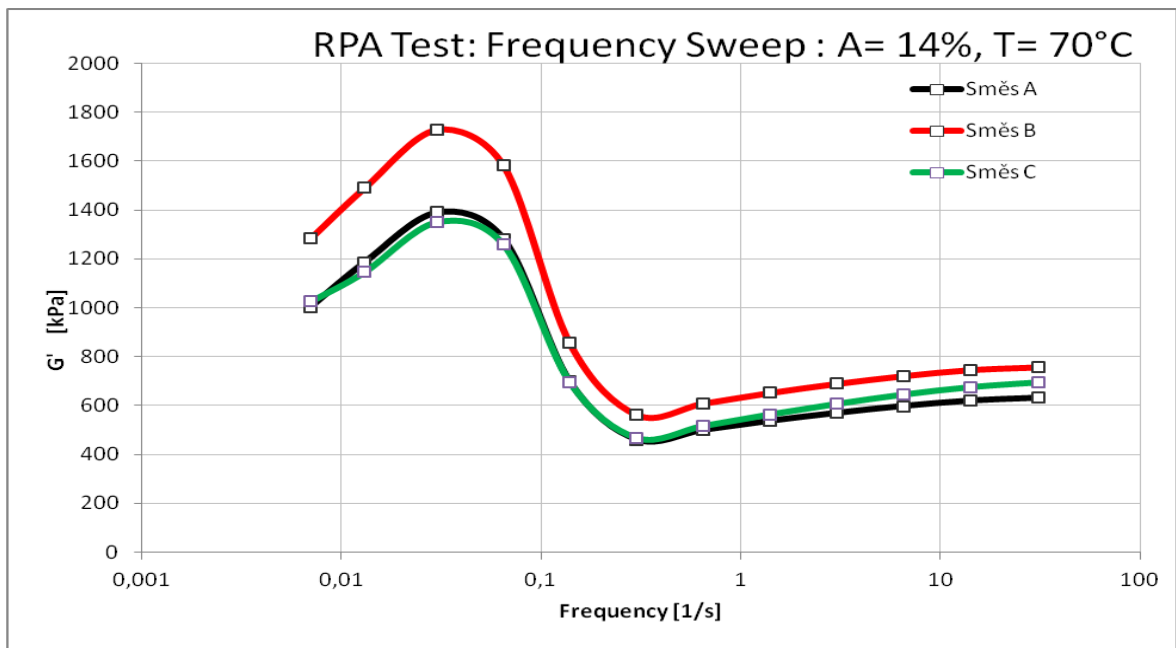
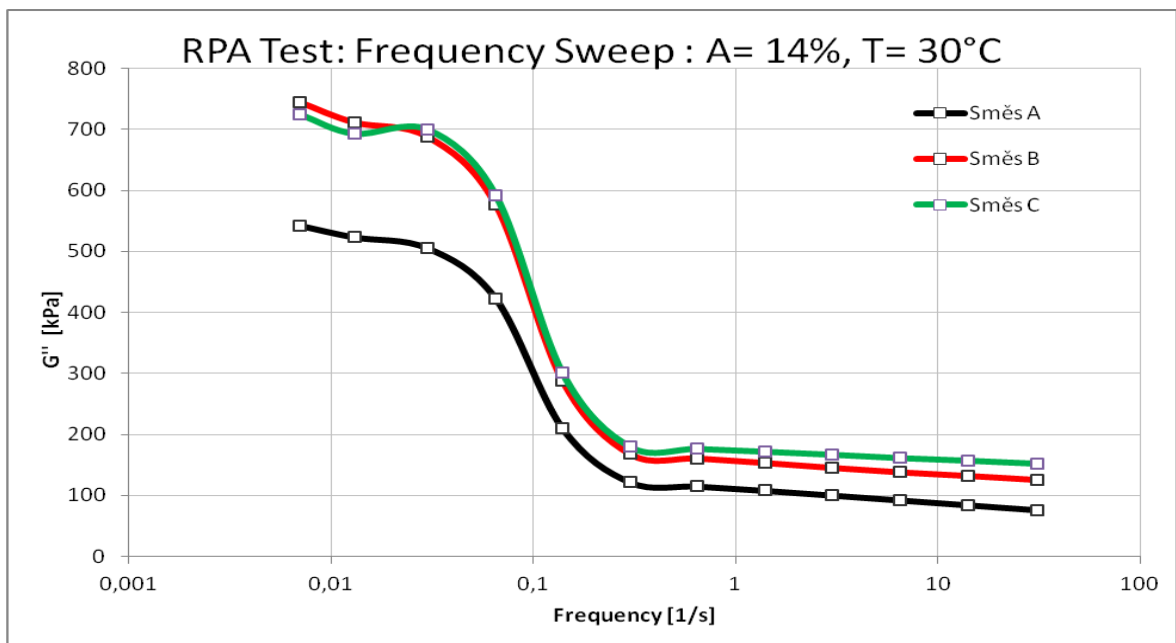
U *Směsi B* se opět projeví vyšší hodnoty viskózní složky než u *Směsi A*. Ovšem *Směs C* má celkově hodnoty viskózní složky nejvyšší.

Odebráním určitých zpracovatelských přísad došlo k nárůstu elastické i viskózní složky smykového modulu, proto by se  $\tan \delta$  nemělo změnit. Avšak hodnoty viskózní složky mají větší rozdíl, a proto *Směs B* má vyšší hodnoty  $\tan \delta$  proti *Směsi A*.



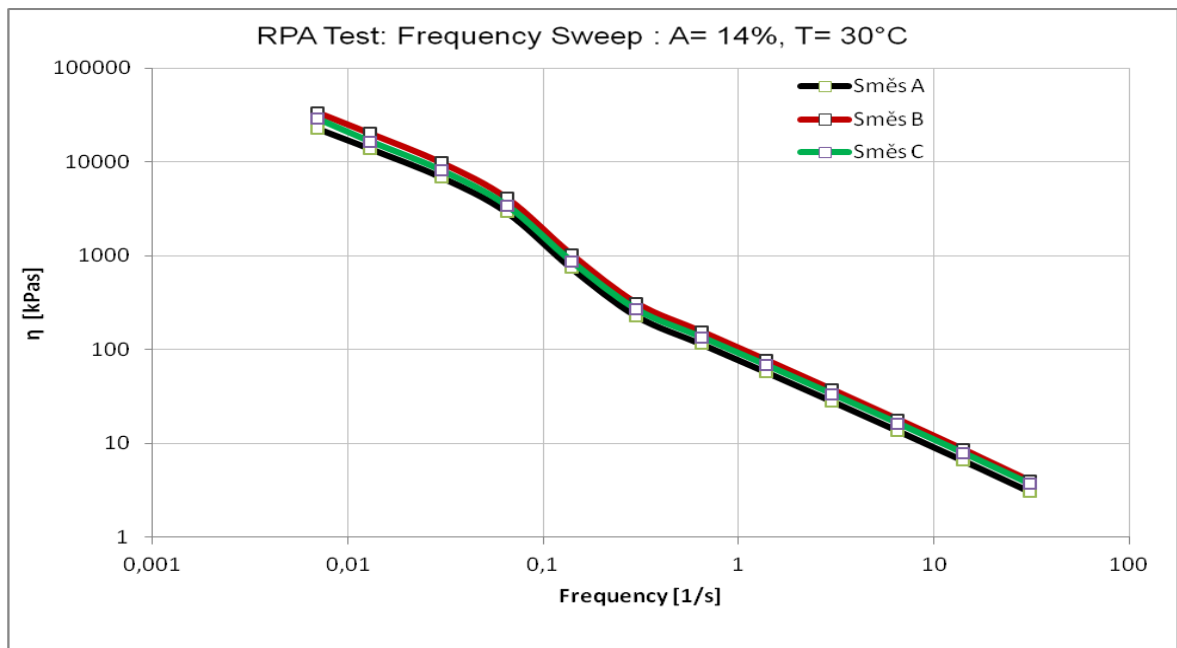
Obr. 14 Průběh ztrátového faktoru  $\tan \delta$  při 30°C na frekvenci

Při zkoumání srážení byl udělán test na přístroji RPA 2000 při 30°C. Tento test by měl přibližně ukázat vlastnosti směsi, které jsou po vytlačení a následném vychlazení běhounu. Z průběhu  $\tan \delta$  (obr. 14) lze zaznamenat větší rozdíl mezi *Směsí A* a *B*.

Obr. 15 Elastická složka smykového modulu  $G'$  při 30°C na frekvenciObr. 16 Viskózní složka smykového modulu  $G''$  při 30°C na frekvenci

Podle průběhu elastické a viskózní části složky smykového modulu při 30°C (obr. 15, 16) se zjistilo, že *Směs A* i *B* má při nižších teplotách, při kterých dochází ke srážení, nižší hodnoty viskozity, ale vyšší hodnoty elasticity. Z tohoto důvodu dochází k většímu srážení.





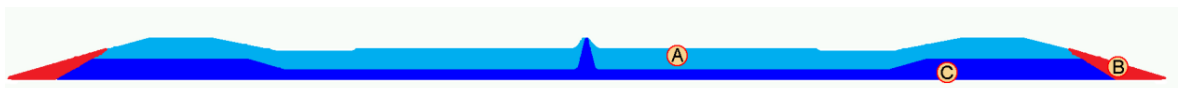
Obr. 17 Průběh dynamické viskozity  $\eta$  při 30°C na frekvenci

Podle průběhu dynamické viskozity (obr. 17) není výrazný rozdíl mezi jednotlivými druhy směsí.

Pro vytlačování kaučukových směsí je nutné držet profil stabilní, v určitých tolerancích, nebo lépe v akčních limitech. Pro vytlačování je vhodné mít vyšší hodnoty  $\tan \delta$ , aby byl profil stabilnější.

### 8.3 Procesní data z vytlačování

Vytlačování se provádělo na již dříve zmiňované, vytlačovací lince pro výrobu běhounů, která je složena ze čtyř vytlačovacích strojů tzv. quadroplex. Největší část z profilu běhounu tvoří běhounová směs. Zbylé části, o výrazně menší ploše z celkové plochy profilu, tvoří miniskirt a tie-guma (obr. 18).



A – běhounová část, B – bočnicová část (miniskirt), C – spojovací faxink (tie-guma)

Obr. 18 Řez profilem běhounu[14]

Šablona s požadovaným profilem byla vyrobena a následně vydimenzována na sériové směsi, tedy na *Směsi A*.

Vytlačovací proces je ovlivněn několika faktory, které mají vliv na jeho průběh. Největší vliv na proces vytlačování různých směsí mají teplota, tlak a rychlost vytlačování.

Data z procesu vytlačování jednotlivých *Směsí A i B* jsou vyobrazena v následující tabulce. Jednotlivé hodnoty jsou v rozsahu, v jakém se pohybovaly při procesu vytlačování.

Procesní data byla vyhodnocena jen pro *Směs A a B* z důvodu vlivu změny modifikované směsi na proces.

Tab. 3 Parametry vytlačovacího procesu

<b>Parametry vytlačovacího procesu</b>		
<b>Parametr</b>	<b>Směs A</b>	<b>Směs B</b>
Rychlost linky [m/min]	24,9 - 25	24,9 - 25
Otáčky CAP 1 [ot/min]	20,8 - 21,7	19,9 - 20,8
Otáčky CAP 2 [ot/min]	11,6 - 12	11,5 - 12
Úseková hmotnost [g]	1734 - 1789	1720 - 1765
Koncová hmotnost [g]	3283 - 3363	3249 - 3343
Tlak na vstupu CAP1 [kPa]	37 - 71	40 - 78
Tlak uprostřed CAP1 [kPa]	71 - 84	78 - 93
Tlak v hlavě CAP1 [kPa]	81 - 101	90 - 111
Tlak na vstupu CAP2 [kPa]	42 - 56	42 - 58
Tlak uprostřed CAP2 [kPa]	81 - 94	88 - 99
Tlak v hlavě CAP2 [kPa]	92 - 105	99 - 110
Teplota směsi CAP1 [°C]	120 - 123	115 - 118
Teplota pláště CAP1 [°C]	94 - 95	94 - 96
Teplota šneku CAP1 [°C]	74 - 75	74 - 75
Teplota směsi CAP2 [°C]	65 - 75	65 - 80
Teplota pláště CAP2 [°C]	74 - 75	74 - 75
Teplota šneku CAP2 [°C]	69 - 75	69 - 77
Teplota hlavy horní [°C]	85 - 89	85 - 89
Teplota hlavy spodní [°C]	77 - 87	87 - 93
Teplota kazety [°C]	103	103

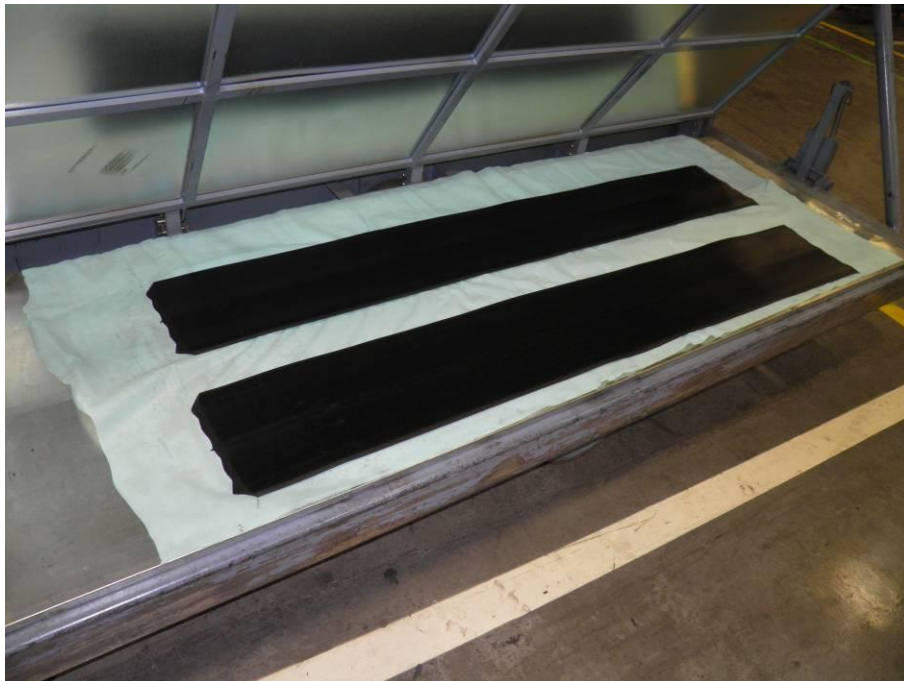
Na začátku procesu vytlačování byla měřena teplota běhounu na srážecím dopravníku výrobní linky pomocí vpichového teploměru. Teplota se pohybovala v rozmezí 92 – 97°C. Tento nepřetržitý pás vytlačeného běhounu se dále chladí ve vanách s vodou o teplotě 14 – 18°C. Po vychlazení běhounu se opět měří jeho teplota pomocí vpichového teploměru. Naměřená teplota byla v rozmezí 20 – 23°C.

## 8.4 Hodnoty srážení běhounu

Další parametr, který je ovlivněn druhem směsí, je srážení běhounu. Efekt srážení (nebo také zmenšení) je způsoben elasticitou kaučuku. Jelikož nejideálnější stav pro kaučukový řetězec makromolekul je tzv. klubko, má výrobek po vytlačení, při kterém jsou tyto tzv. klubka narovnána při toku ve šneku, tendence vrátit se zpět do klubka. Řetězce kaučuku se po vytlačení chtějí vrátit do polohy, která je pro ně nejméně energeticky náročná.

Největší srážení je ve směru namáhání, tedy na délce běhounu. Šíře a profil běhounu má taktéž určité srážení, ale v poměru k délce je prakticky zanedbatelné. Z toho důvodu se měření srážení omezilo jen na délku běhounu.

Měření délky běhounu se provádělo pomocí svinovacího metru. Běhoun byl položen automatickým zakládacím zařízením do vozíku na volně položenou fólii, aby bylo potlačeno tření mezi běhounem a podložkou, které ovlivňuje velikost srážení.



Obr. 19 Běhouny měřeny na fólii

Další měření délky běhounu proběhlo stejným způsobem, ale bez použití fólie. Tímto způsobem bylo měřeno srážení za běžného provozu ve výrobě. Srážení je ovlivněno přilepením běhounu vlastní vahou na plech listu vozíku.



Obr. 20 Běhouny měřeny ve vozíku

Naměřené hodnoty délky běhounu jsou v následujících tabulkách, ve kterých jsou u *Směsi A i B* měření s fólií i bez fólie.

Tab. 4 Hodnoty délky běhounu *Směs A*

<b>Směs A</b>					
	čas	délka běhounu			
		na fólii	% sražení	ve vozíku	% sražení
1	7:00	1896	0,00	1896	0,00
2	7:30	1884	0,63	1892	0,21
3	8:00	1875	1,11	1889	0,37
4	8:30	1870	1,37	1888	0,42
5	9:00	1865	1,64	1888	0,42
6	9:30	1863	1,73	1887	0,47
7	10:00	1862	1,79	1887	0,47
8	10:30	1861	1,85	1886	0,53
9	11:00	1860	1,90	1886	0,53
10	12:00	1859	1,95	1886	0,53
11	13:00	1858	2,00	1885	0,58
12	14:00	1857	2,06	1885	0,58
13	15:00	1856	2,11	1885	0,58
14	16:00	1856	2,11	1884	0,63
15	6:00	1851	2,37	1882	0,74
16	9:00	1851	2,37	1882	0,74

Tab. 5 Hodnoty délky běhounu *Směs B*

<b>Směs B</b>					
	čas	délka běhounu			
		na fólii	% sražení	ve vozíku	% sražení
1	7:00	1897	0,00	1897	0,00
2	7:30	1885	0,63	1894	0,16
3	8:00	1881	0,84	1894	0,16
4	8:30	1879	0,95	1893	0,21
5	9:00	1877	1,05	1893	0,21
6	9:30	1875	1,16	1893	0,21
7	10:00	1874	1,21	1893	0,21
8	10:30	1873	1,27	1892	0,26
9	11:00	1873	1,27	1892	0,26
10	12:00	1873	1,27	1892	0,26
11	13:00	1873	1,27	1892	0,26
12	14:00	1872	1,32	1892	0,26
13	15:00	1872	1,32	1891	0,32
14	16:00	1871	1,37	1891	0,32
15	6:00	1869	1,48	1891	0,32
16	9:00	1869	1,48	1891	0,32

Pro porovnání jaké srážení má běhoun z jiné kaučukové směsi, bylo provedeno stejné měření délky. Byla vybrána *Směs C*, která je v běžném provozu bezproblémová a srážení bývá přibližně 3mm ve vozíku bez použití fólie.

Byl vytlačen běhoun se stejnou délkou jako u předchozích směsí a také stejně automatickým zakládacím zařízením položen na fólii i bez fólie přímo na plechový list vozíku. Hodnoty se měřily ve stejných časových intervalech. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 6.

Tab. 6 Hodnoty délky běhounu *Směs C*

<b>Směs C</b>					
	<b>čas</b>	<b>délka běhounu</b>			
		na fólii	% srážení	ve vozíku	% srážení
1	7:00	1896	0,00	1896	0,00
2	7:30	1892	0,21	1894	0,11
3	8:00	1888	0,42	1893	0,16
4	8:30	1886	0,53	1893	0,16
5	9:00	1886	0,53	1893	0,16
6	9:30	1885	0,58	1893	0,16
7	10:00	1885	0,58	1893	0,16
8	10:30	1885	0,58	1893	0,16
9	11:00	1885	0,58	1893	0,16
10	12:00	1884	0,63	1893	0,16
11	13:00	1884	0,63	1892	0,21
12	14:00	1884	0,63	1892	0,21
13	15:00	1884	0,63	1892	0,21
14	16:00	1883	0,69	1892	0,21
15	6:00	1883	0,69	1891	0,26
16	9:00	1883	0,69	1891	0,26

## 9 VÝSLEDKY A DISKUZE

Pro praktickou část diplomové práce byla vybrána kaučuková směs pro výrobu běhounů pláště pneumatiky, z které vyrobené běhouny vykazovali největší srážení. Tato směs, podle chráněné firemní receptury, obsahuje velké množství plniva.

Byla vyrobena modifikace sériové kaučukové směsi. Změna oproti sériové směsi je ve vynechání určitých zpracovatelských přísad, které zlepšovaly tok směsi vytlačovacím strojem. Na obou směsích bylo provedeno základní měření fyzikálních vlastností důležitých pro pneumatikářskou výrobu. Podle hodnot viskozity Mooney je *Směs B* tuhá, tedy má horší zpracovatelnost. Tomu odpovídají i další hodnoty z fyzikálních zkoušek. K těmto dvěma směsím byla přidána třetí směs, s běžnými standardy srážení z praxe, aby bylo možné porovnat první dvě směsi i s jinou kaučukovou směsí.

Na přístroji RPA 2000 byly provedeny zkoušky na zjištění dynamických vlastností všech *Směsí A, B* i *C*. Vyhodnotili se výsledky ztrátového faktoru  $\tan \delta$ , elastické složky smykového modulu  $G'$  a dynamické viskozity  $\eta$ . Z vyhotovených grafů je zřejmé, že *Směs B* by měla mít proces vytlačování stabilnější oproti *Směsi A*.

Další krok byl proces vytlačování. Z řídicího programu byly staženy data na vyhodnocení, a to především úseková hmotnost, koncová hmotnost, tlak a teplota.

Po vyrobení běhounů následovalo měření srážení délky, které se provádělo na fólii i bez fólie ve vozíku používaném běžně ve výrobě. Pomocí fólie došlo k eliminování tření běhounu s podložkou (plechovým listem vozíku). Měřením ve vozíku byla simulována reálná situace ve výrobním procesu.

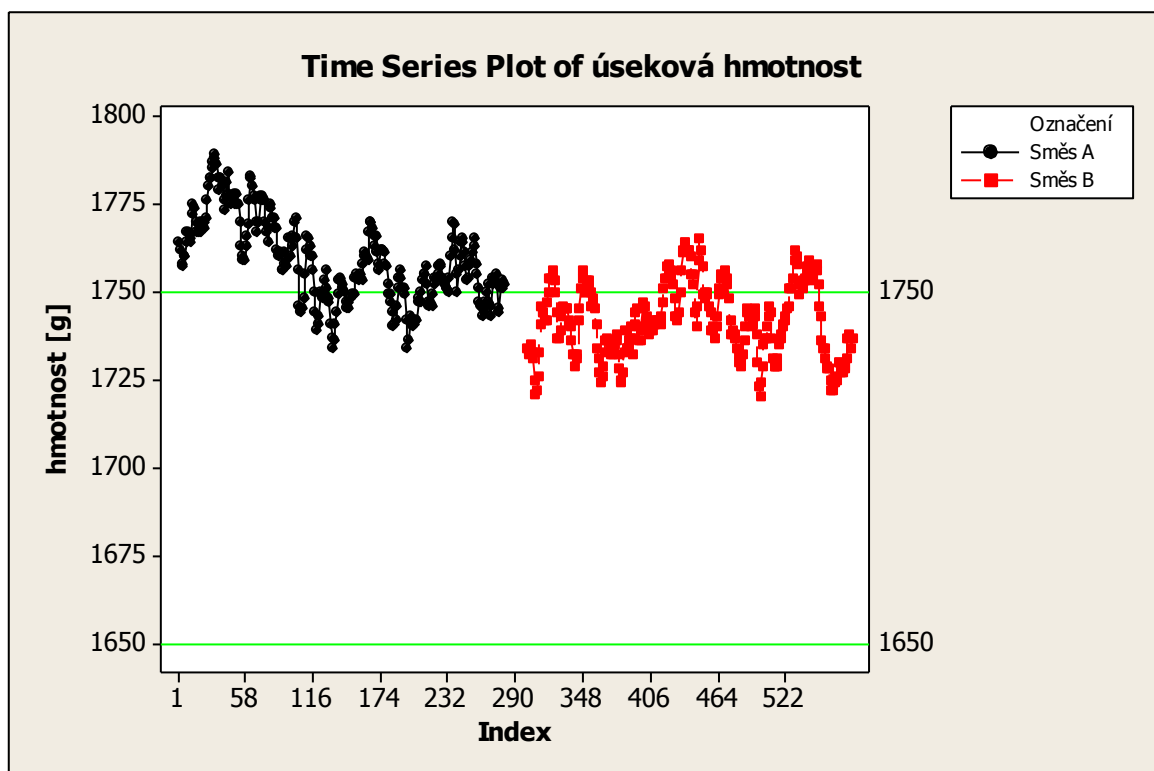
Data z vytlačování i z měření srážení byly statisticky vyhodnoceny v programu Minitab.

## 9.1 Vyhodnocení procesních dat

Vyhodnocení procesních dat se provedlo jen pro *Směsi A* a *B*. Vedlo ke zjištění, jak ovlivní vyjmutí určitých zpracovatelských přísad proces vytlačování.

První parametr z procesních dat je úseková hmotnost běhounu, která se liší u každé směsi.

Na obrázku (obr. 21) je znázorněn časový průběh úsekové hmotnosti běhounu. Hmotnost by se měla pohybovat v rozmezí 1650g až 1750g. Obě *Směsi A* i *B* se pohybují na horní hranici dané technologickým předpisem. Pro vyhodnocení stability procesu je důležité kolísání hmotnosti. U *Směsi A* je klesající trend, naopak u *Směsi B* je stabilnější průběh procesu.

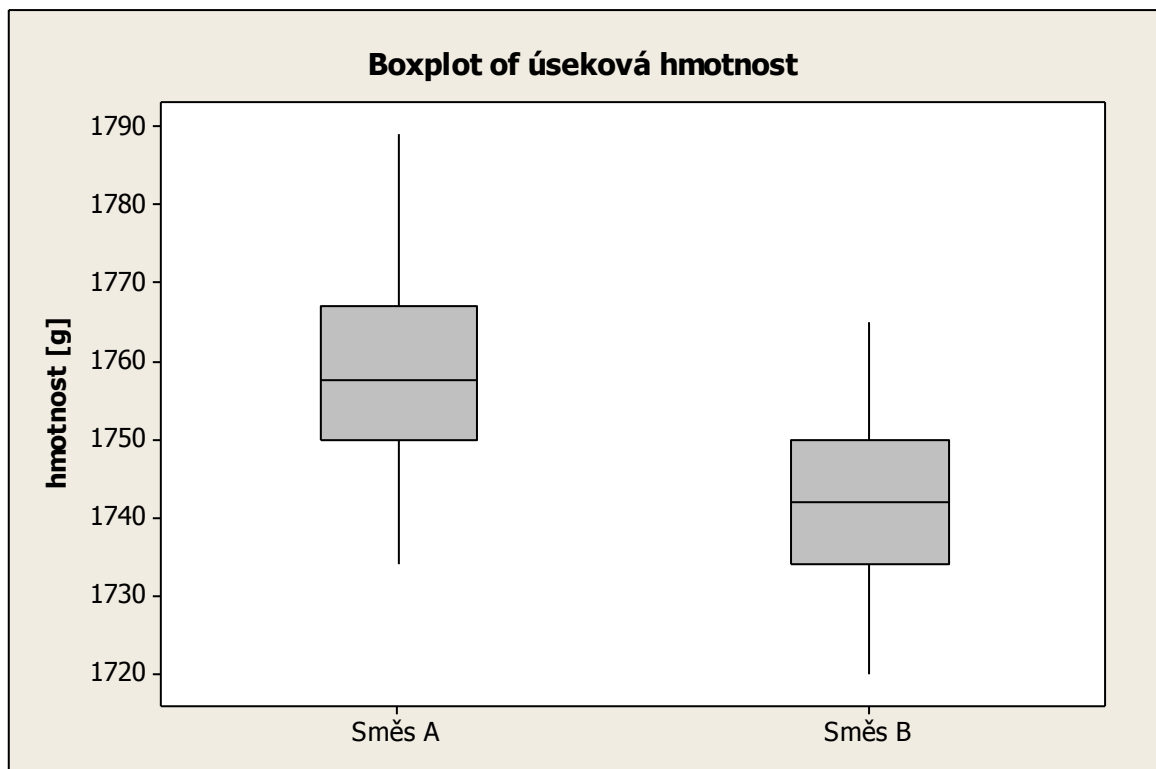


Obr. 21 Průběh úsekové hmotnosti

Z následujícího obrázku (obr. 22), krabicového grafu úsekové hmotnosti, je taktéž vidět, že stabilnější průběh procesu vytlačování dosahuje *Směs B*.

Výsledek potvrzuje domněnku, podle výsledků zkoušek na RPA 2000, že čím je  $\tan \delta$  i  $G'$  vyšší tím je průběh vytlačování stabilnější.



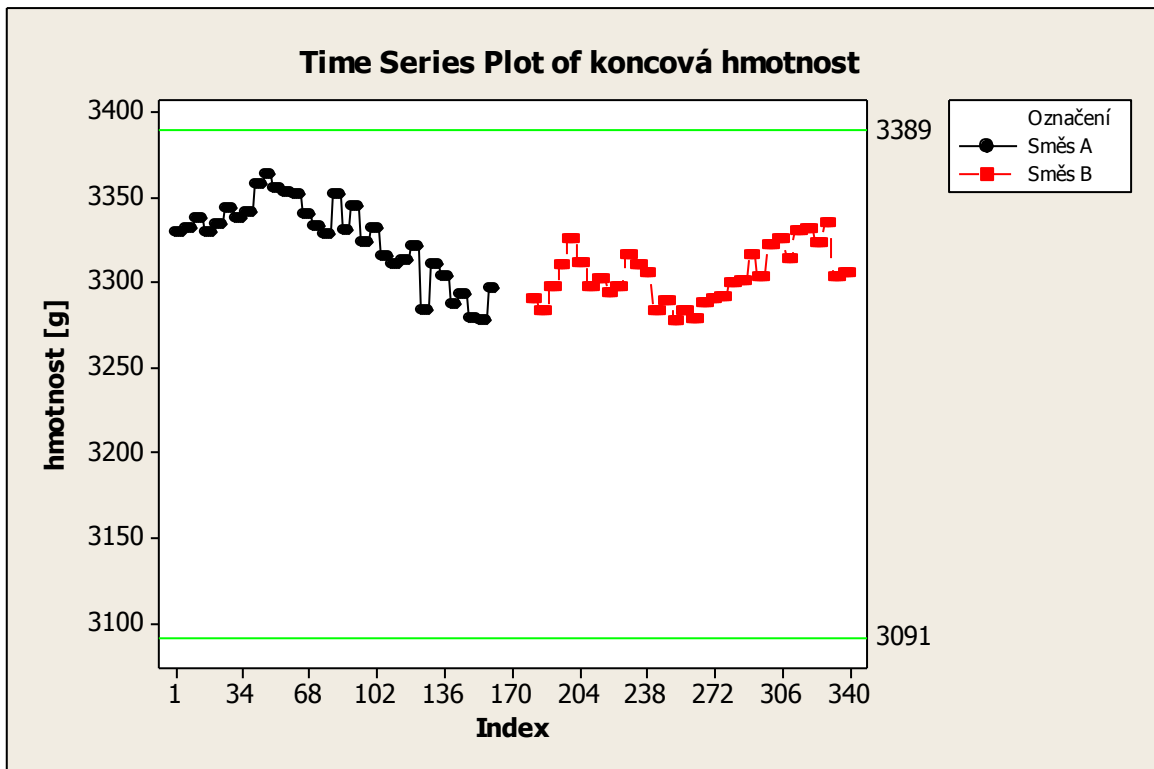


Obr. 22 Krabicový graf úsekové hmotnosti

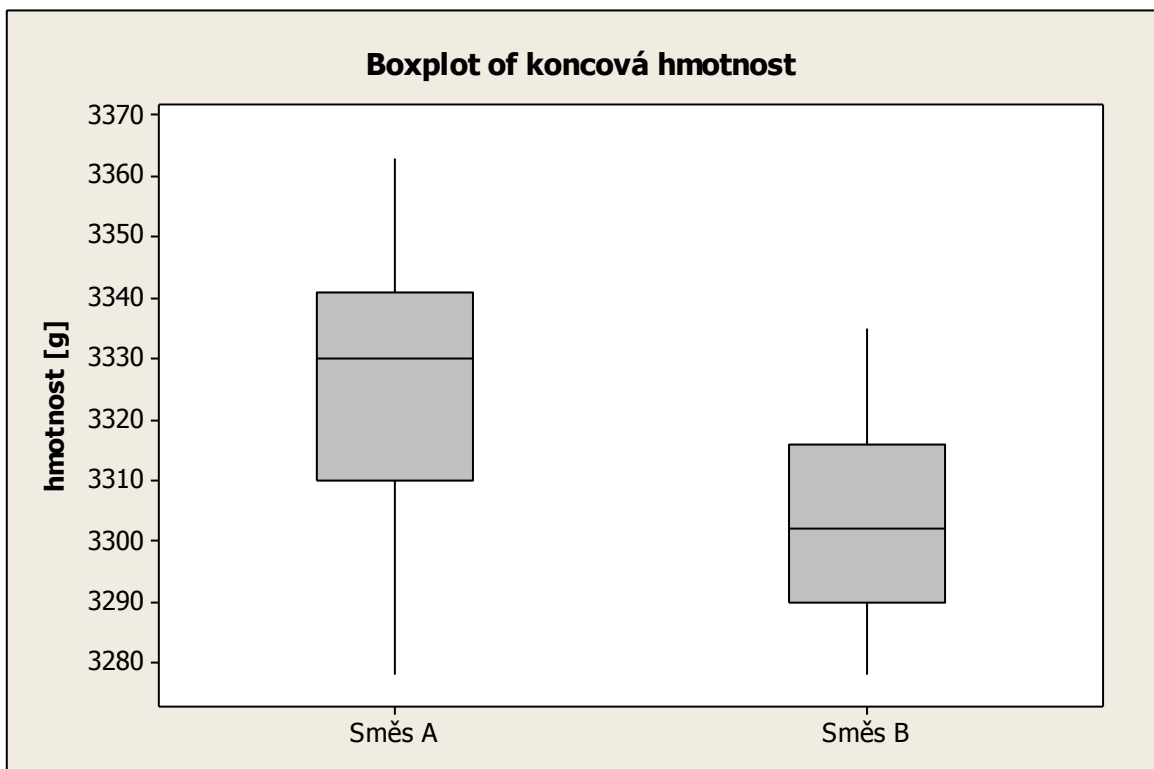
Koncová hmotnost běhounu je daná jeho délkou, hustotou směsi a plochou profilu. Je tedy přesně dána. Vytlačený běhoun by se měl pohybovat v tolerancích.

Následující obrázek (obr. 23) je časový průběh koncové hmotnosti jednotlivých vytlačovaných běhounů. Běhouny vytlačeny z obou *Směsí A i B* jsou v rozmezí tolerance, tudíž všechny jsou vyrobeny správně. Hmotnost se pohybuje mezi 3091g a 3389g.

U *Směsi A* je průběh koncové hmotnosti nestabilní, kdy se hmotnost mění výrazně skokově. U *Směsi B* je změna hmotnosti plynulejší a není tak výrazná. To značí stabilnější průběh vytlačování.

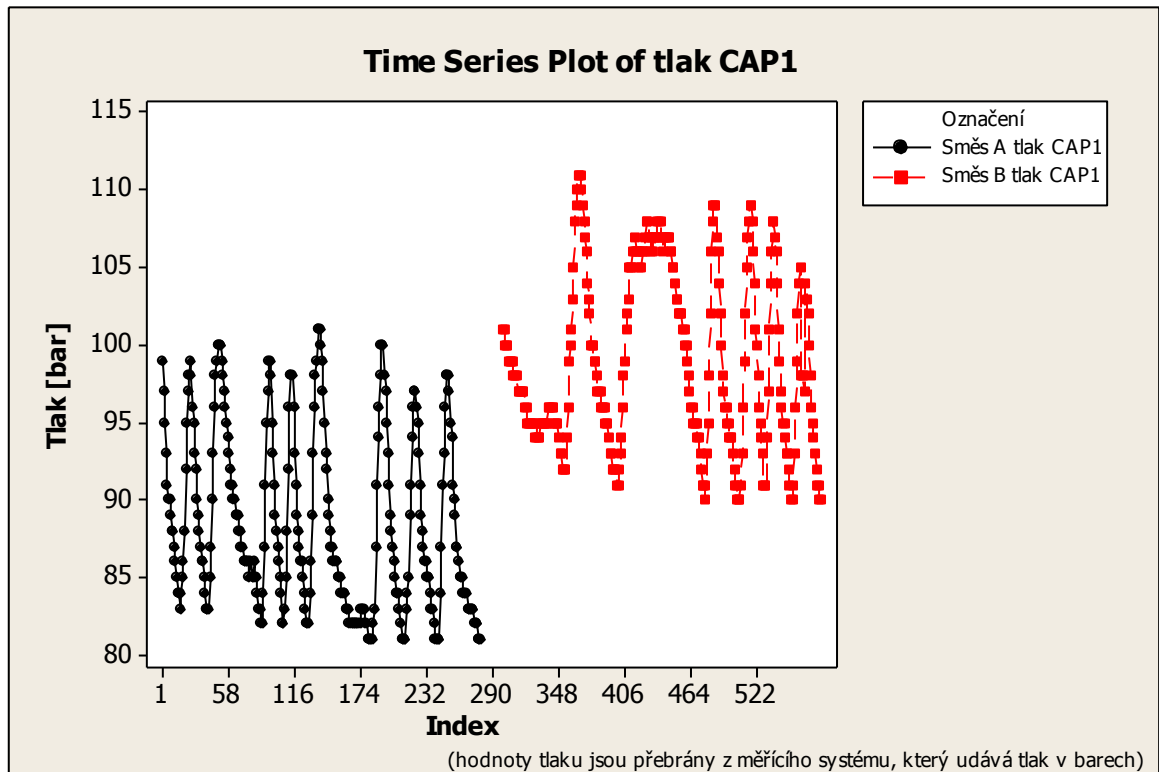


Obr. 23 Průběh koncové hmotnosti



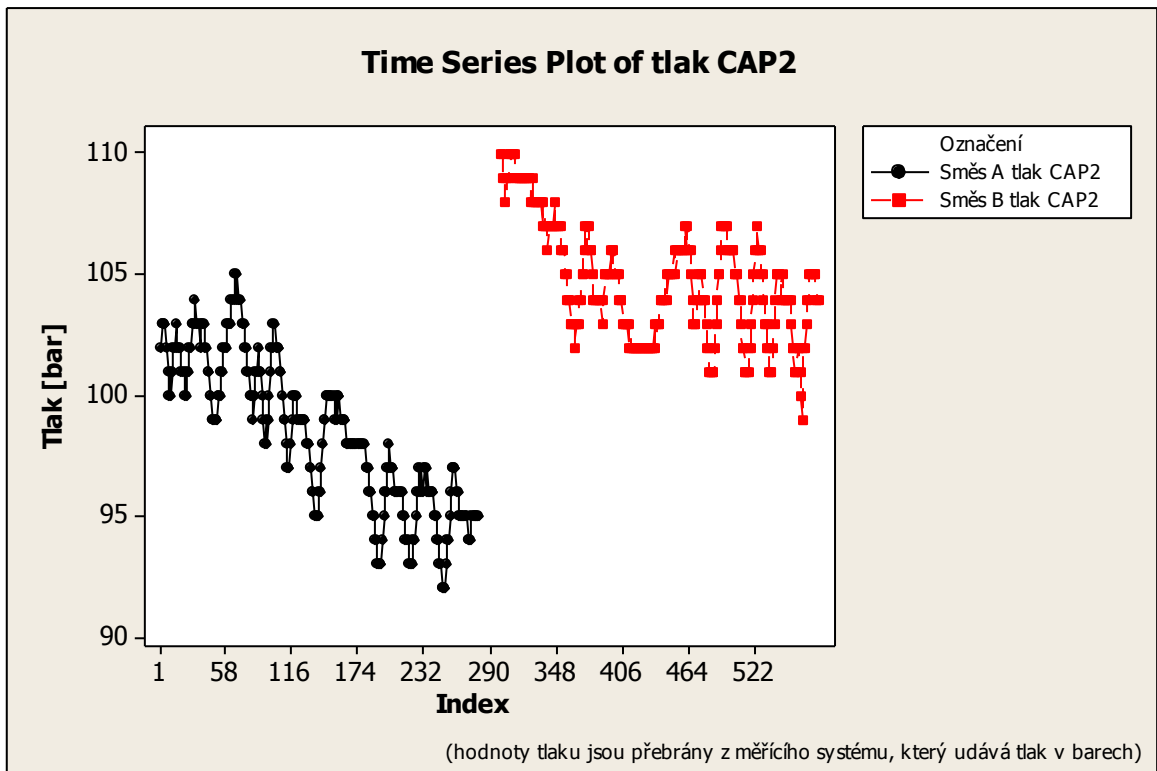
Obr. 24 Krabicový graf koncové hmotnosti

Z obrázku krabicového grafu (obr. 24) můžeme posoudit variabilitu. Běhouny ze *Směsi A* mají větší variabilitu koncové hmotnosti, než běhouny ze *Směsi B*. Potvrzuje to tedy, že průběh vytlačování je stabilnější u *Směsi B*.

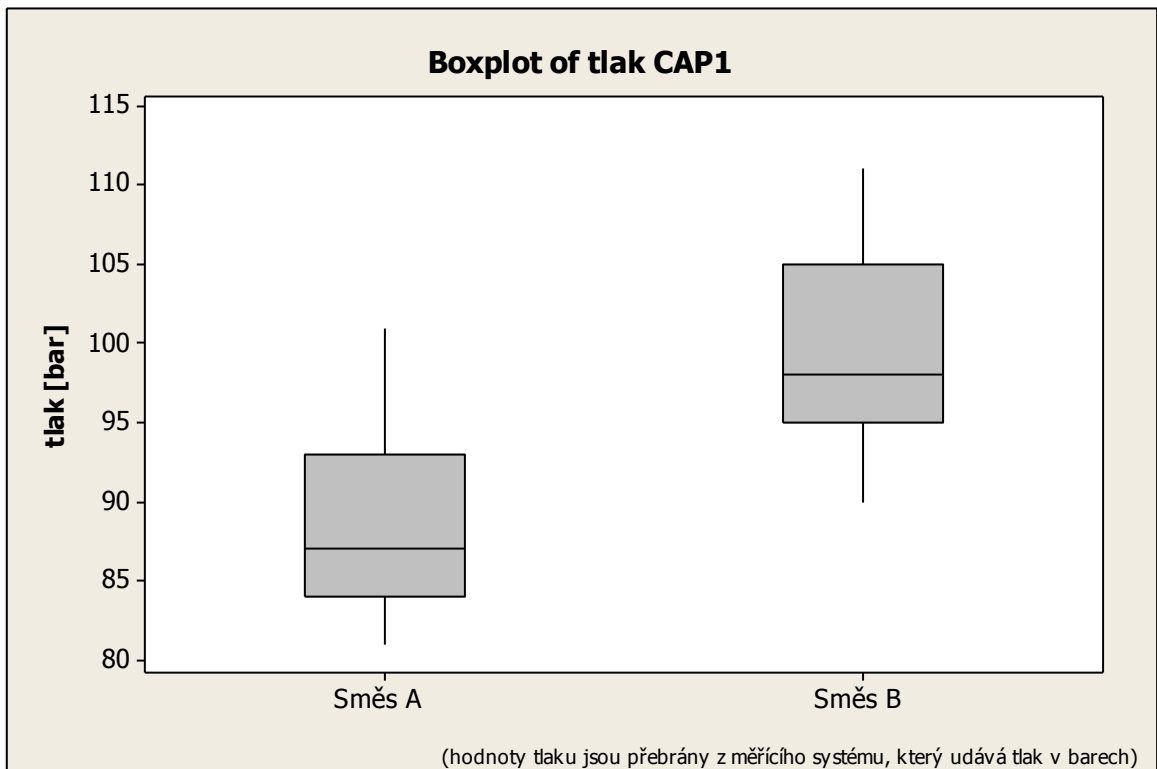


Obr. 25 Průběh tlaku CAP1

Další hodnotou je tlak. Z průběhu tlaku (obr. 25) není zřejmé, která ze směsí má stabilnější průběh vytlačování. Obě ho mají téměř totožný. Jde ale vidět vliv odebrání zpracovatelských přísad. Jejich odebráním se u *Směsi B* zvýšila tuhost a z toho důvodu se zvýšil i tlak při zpracovávání, což je vidět v grafech (obr. 25, 26).

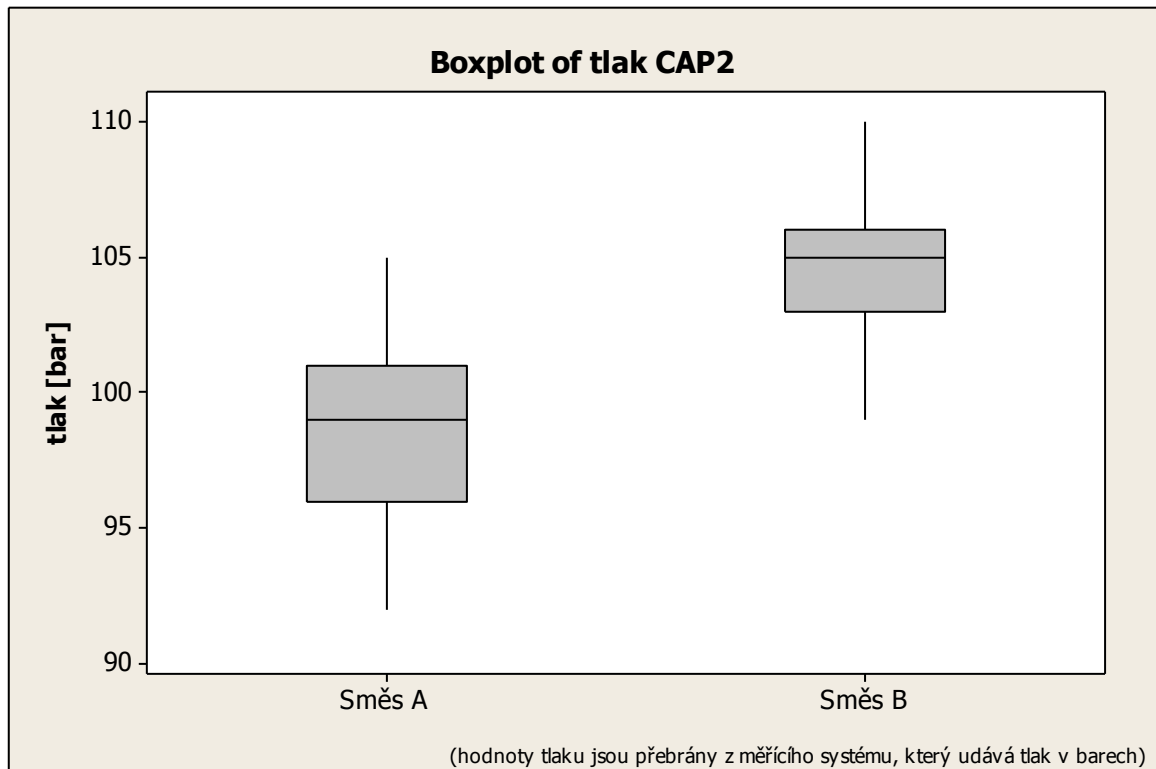


Obr. 26 Průběh tlaku CAP2



Obr. 27 Krabicový graf tlaku CAP1

Krabicový graf tlaku (obr. 27) potvrzuje, že průběh tlaku je téměř shodný. U průběhu tlaku CAP2 podle krabicového grafu (obr. 28), je vidět rozdíl, který naznačuje stabilnější vytlačování.



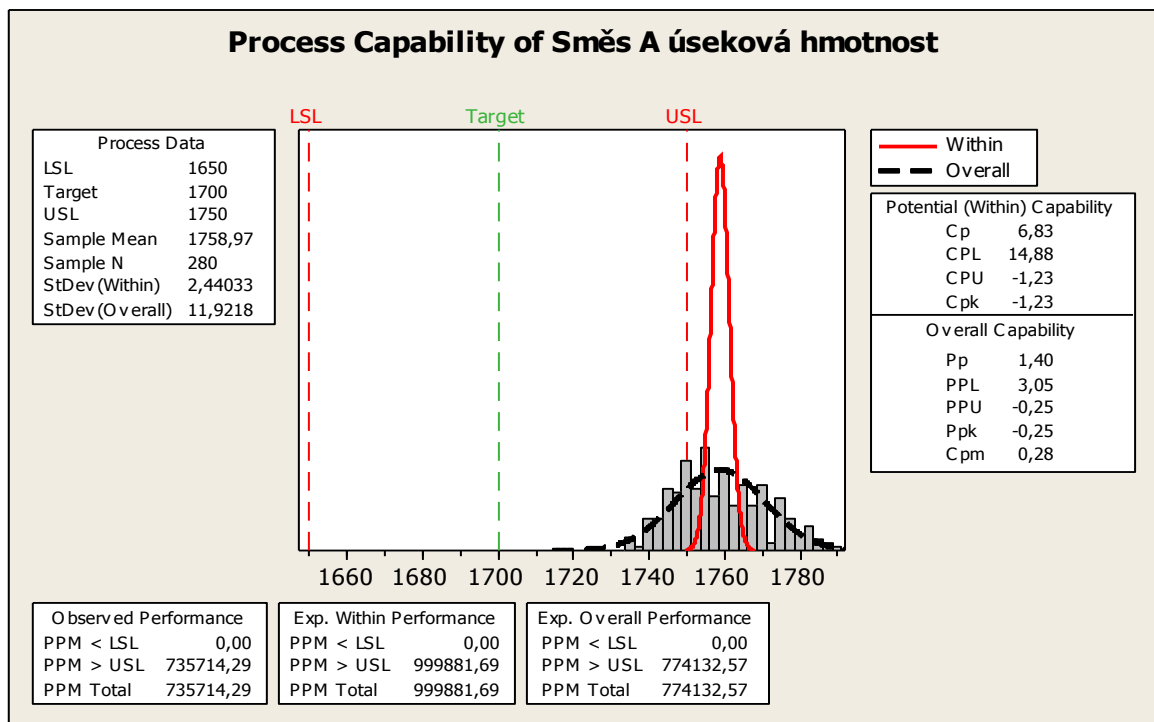
Obr. 28 Krabicový graf tlaku CAP2

Způsobilost procesu vypovídá o nastavení výrobního procesu do stavu, kdy je schopen trvale dodávat produkty v požadovaných parametrech.

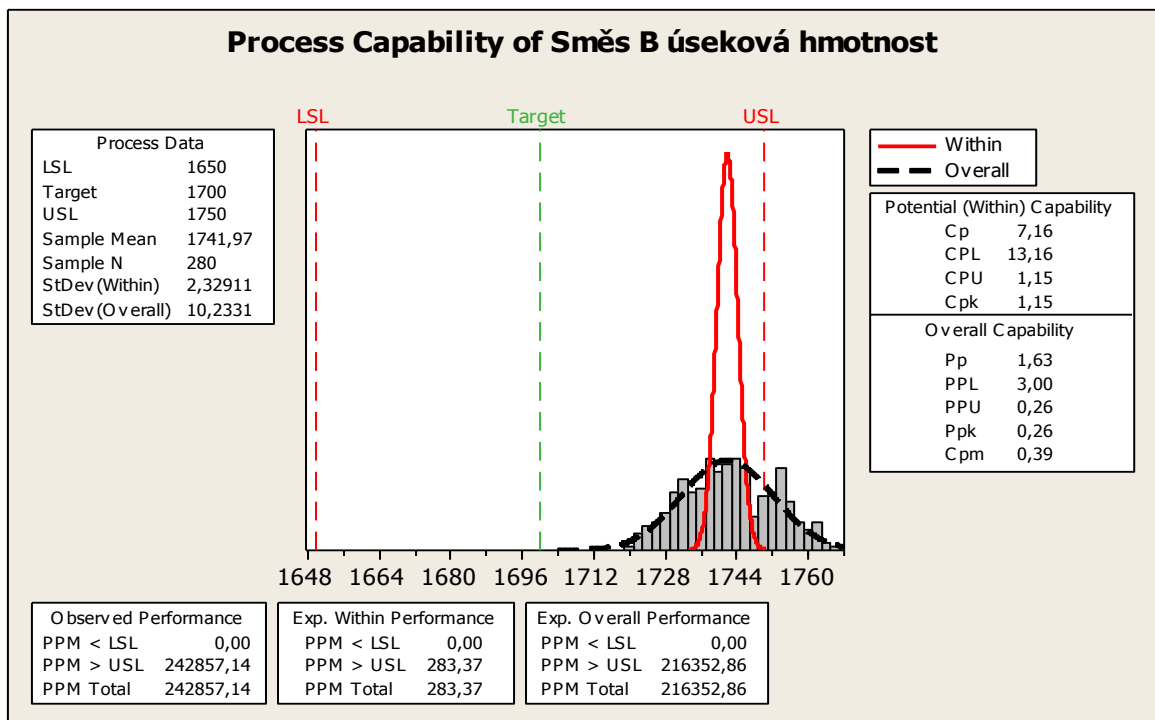
V programu Minitab jde hodnocení způsobilosti provést pomocí histogramu. Histogram je znázornění distribuce dat pomocí sloupcového grafu, kdy zobrazuje četnost a rozdělení dat. Z grafu lze zjistit vyváženost procesu a četnost odchylek.

V programu lze použít zobrazení Within, který zobrazuje celkovou směrodatnou odchylku nebo Overall zobrazující odchylku mezi skupinami hodnot po sobě jdoucích.

Na grafech níže (obr. 29, 30) je podle indexů způsobilosti procesu ( $C_{pk}$ ) nejvíce způsobilý proces při zpracovávání *Směsi B*, který dosáhl vyšších hodnot.



Obr. 29 Histogram úsekové hmotnosti Směs A

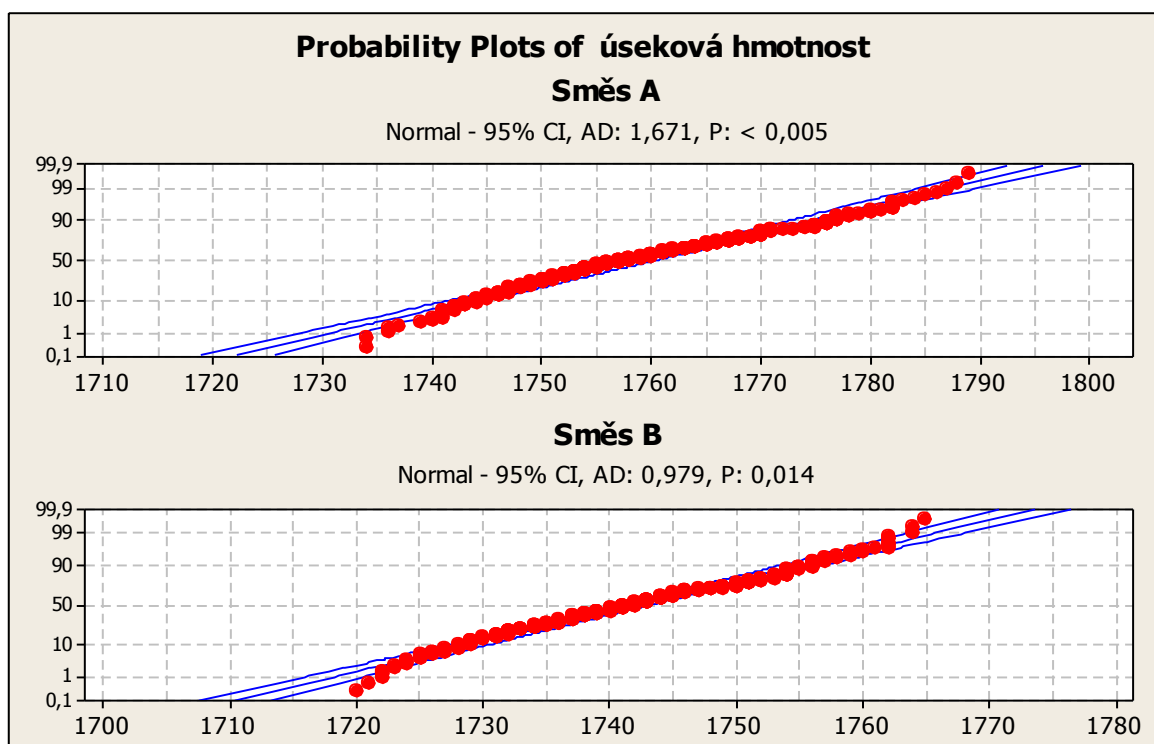


Obr. 30 Histogram úsekové hmotnosti Směs B

Podle hodnot indexu způsobilosti procesu však ani jeden proces by nebyl způsobilý. Směs B však vykazuje lepší výsledky i v hodnotách Cpm a PPM Total je lepší.

Abychom mohli předpokládat, že se bude jednat o normální rozdělení, musí se červené body co nejvíce přibližovat modré přímce. Program Minitab ukazuje velikost hodnoty  $P$ , která ukazuje, zda jde o normální rozdělení. Jestli hodnota  $P$  přesahuje 0,05, můžeme předpokládat normální rozdělení.

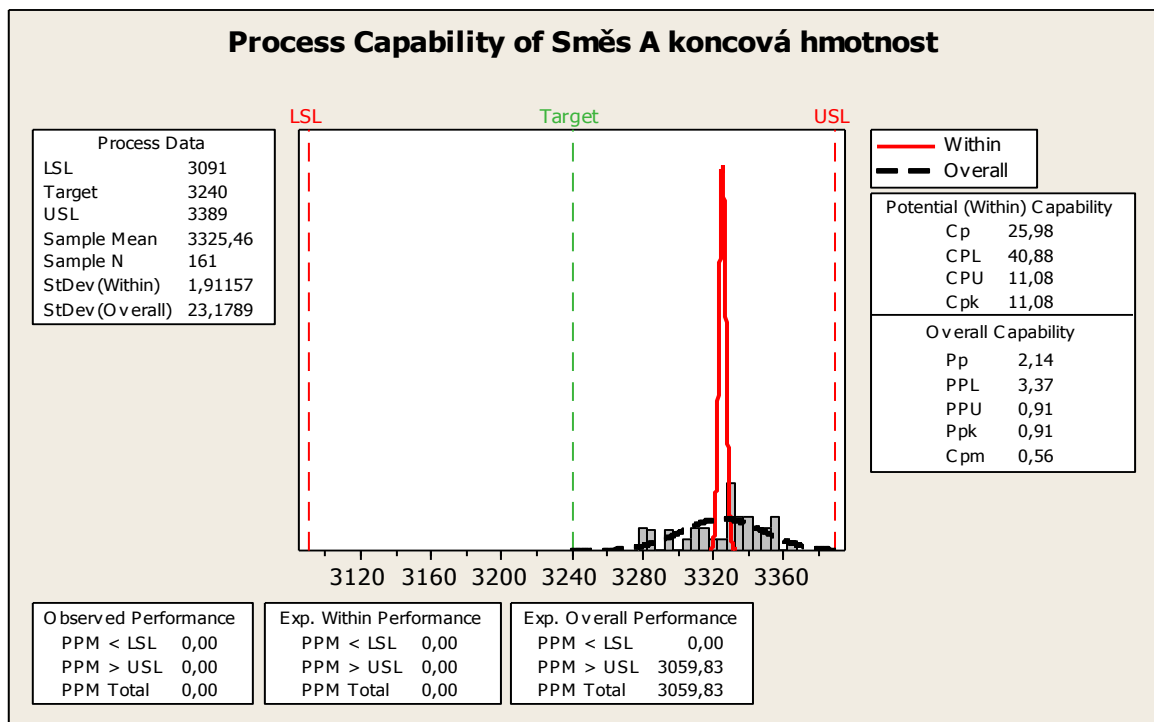
Z obrázku testu normality úsekové hmotnosti (obr. 31) jde vidět hodnoty  $P$ , která u *Směsi A* je pod 0,005 a proto se nejedná o normální rozdělení. Naopak u *Směsi B*, je hodnota vyšší, ale stále se nejedná o normální rozdělení.



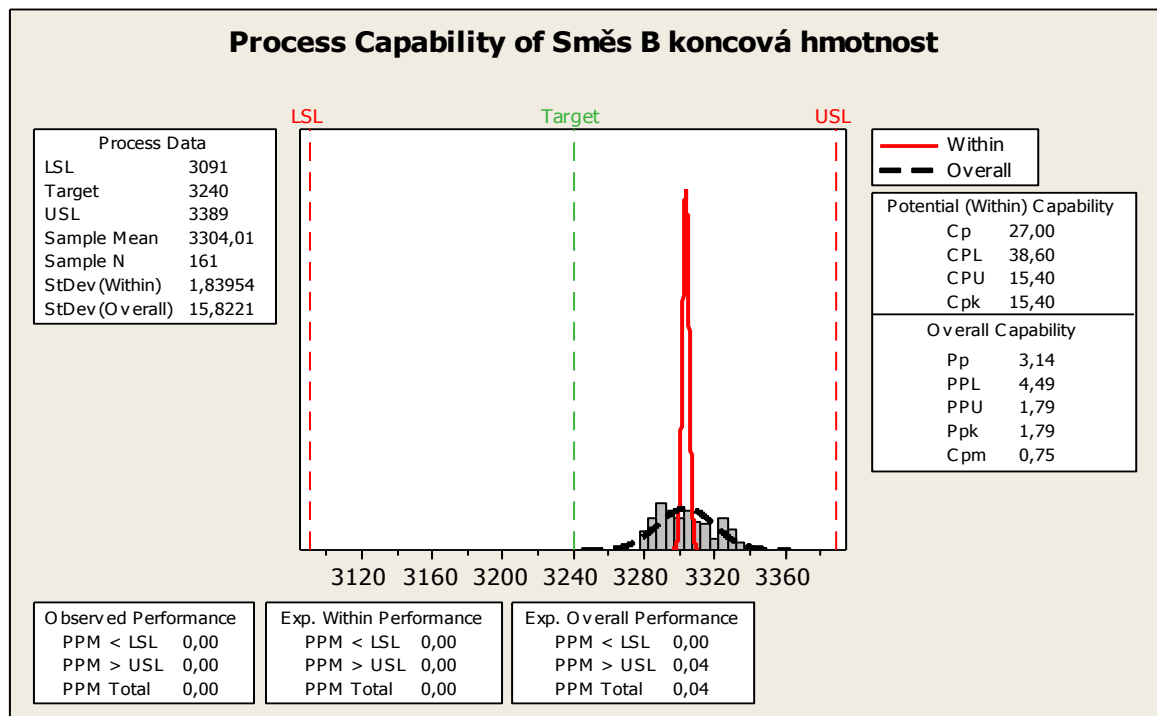
Obr. 31 Test normality úsekové hmotnosti

Vlivem vysoké variability v koncích empirického rozdělení úsekové hmotnosti u sledovaných směsí vyšel Anderson - Darling test na normalitu tak, že u obou směsí byla nulová hypotéza o normalitě dat zamítnuta. Pokud bychom použili proceduru testování této hypotézy pomocí S-W testu, hypotéza o normalitě dat by byla na hranici nezamítnutí této hypotézy. Je to dáno faktem, že S-W test je rezistentnější na mírnější porušení normality v empirických datech.

Hodnocení způsobilosti procesu bylo provedeno i u koncové hmotnosti běhounu obou *Směsí A i B*.



Obr. 32 Histogram koncové hmotnosti Směs A

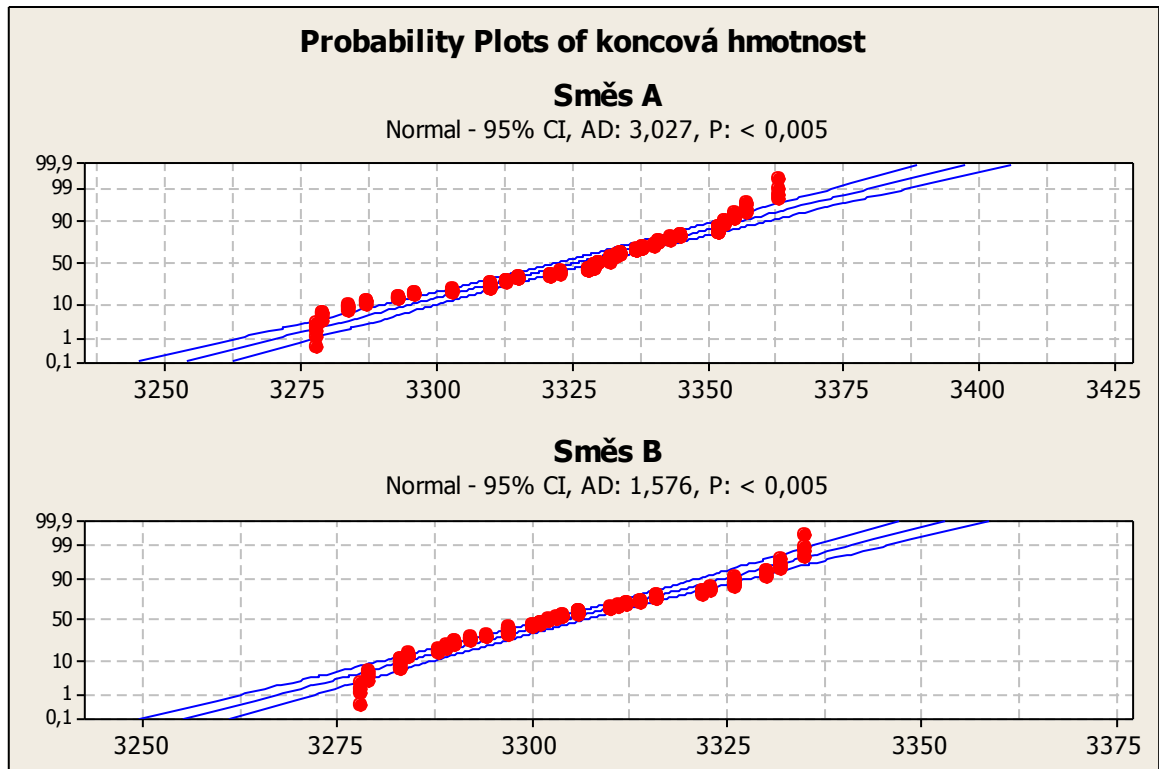


Obr. 33 Histogram koncové hmotnosti Směs B

Z histogramu koncových hmotností Směs A a B (obr. 32, 33) je vidět, že proces je způsobilý, podle hodnot Cpk a Ppk, v obou případech. Podle hodnoty Cpm není proces centrovaný,



ale je vychýlený k USL, ale *Směs B* je vychýlená méně. Hodnoty PPM Total jsou u obou směsí dobré, u *Směsi B* by z miliónu kusů byl pouze 1 kus vadný.



Obr. 34 Test normality koncové hmotnosti

U testu normality koncové hmotnosti (obr. 34) však  $P$  – hodnoty ukazují, že ani v jednom případě nebylo dosaženo normálního rozdělení. Jedním z důvodů může být fakt nevhodně nastavené periody vzorkování při automatickém sběru dat. Proto nás v tomto případě budou zajímat hodnoty způsobilosti procesu ( $C_{pk}$ ,  $P_{pk}$ ), hodnota centrovanosti procesu ( $C_{pm}$ ) a teoretický počet vadných mimo meze procesu (PPM Total).

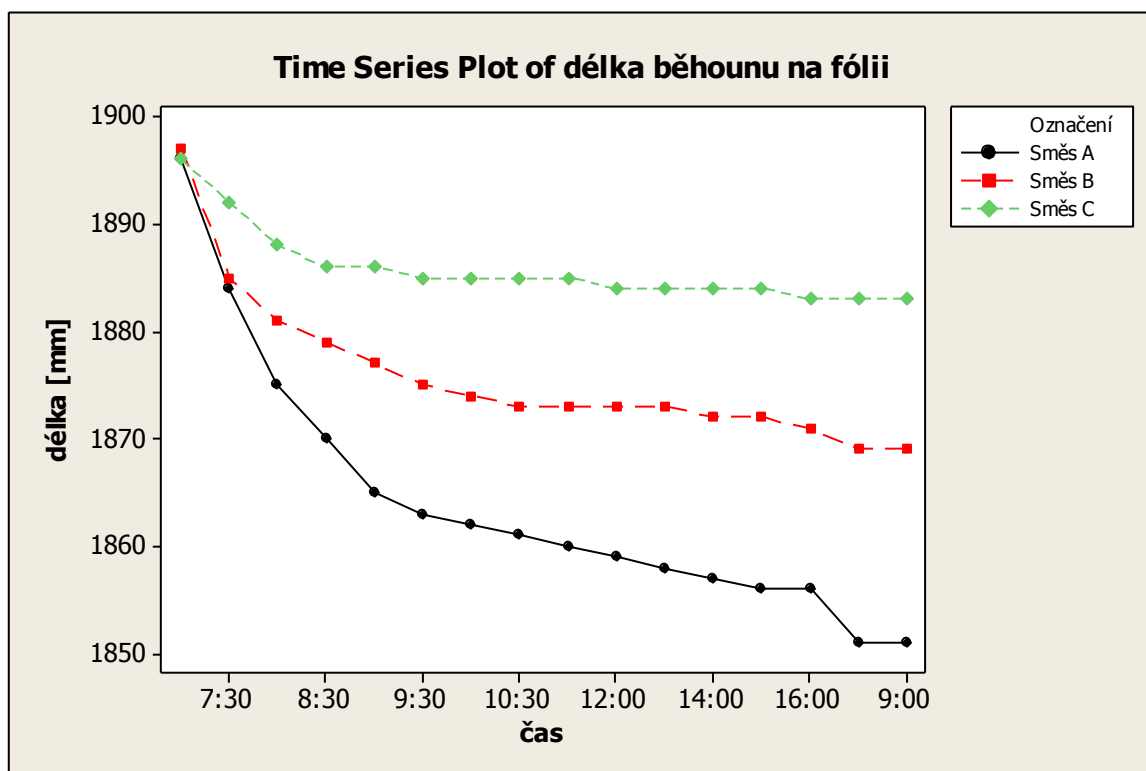
Výsledky hodnocených parametrů ukazují, že ve všech případech dosahovala lepších výsledků *Směs B*. Rozdíl, však není nijak výrazný, ale je vidět, že odebráním zpracovatelských přísad v tomto případě mělo zlepšující účinek na stabilitu procesu.

## 9.2 Vyhodnocení dat z měření srážení běhounu

Dalším vyhodnoceným parametrem bylo srážení, které je způsobeno elasticitou kaučuku. Pro toto vyhodnocení byly použity předchozí již zmiňované dvě *Směsi A* i *B* spolu s další *Směsí C*.

Během výrobního procesu, především však při vytlačování, jsou makromolekuly řetězce kaučuku narovnávané. Po vytlačování však mají tyto řetězce tendence vrátit se zpět do nej-přirozenějšího tvaru tzv. klubka, díky čemuž dochází ke smršťování kaučuku.

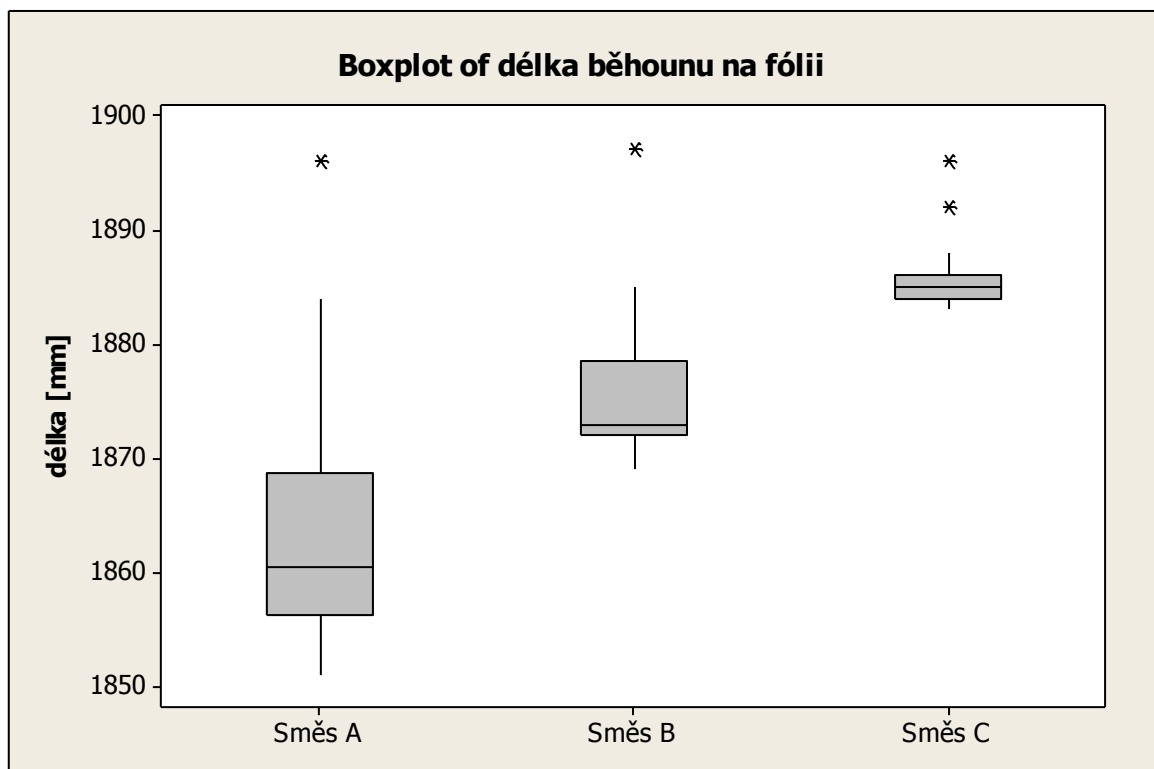
Největší smršťování je ve směru vytlačování tedy na délce běhounu. Šíře běhounu se sráží podstatně méně oproti délce. Naměřeno bylo srážení šíře o 1mm. Dochází k němu i v tloušťce profilu, ale tato hodnota je oproti délce také nevýrazná. Tloušťka byla měřena jen v průběhu vytlačování, protože na měření na fólii nebo ve vozíku není přístroj. Mohli bychom použít offline profilometr, ale při každém měření by se muselo pohnout běhounem, a to by ovlivnilo měření délky běhounu. V průběhu vytlačování se tloušťka zmenšila v průměru o 0,3mm v závislosti na profilu běhounu.



Obr. 35 Průběh srážení délky na fólii

Průběh srážení délky na fólii je vidět na obrázku (obr. 35). Měření délky běhounu se provádělo u obou *Směsí A* i *B*, a také pro porovnání u *Směsi C*. Měření na fólii je prováděno z důvodu eliminace tření mezi běhounem a podložkou, tedy plechovým listem vozíku.

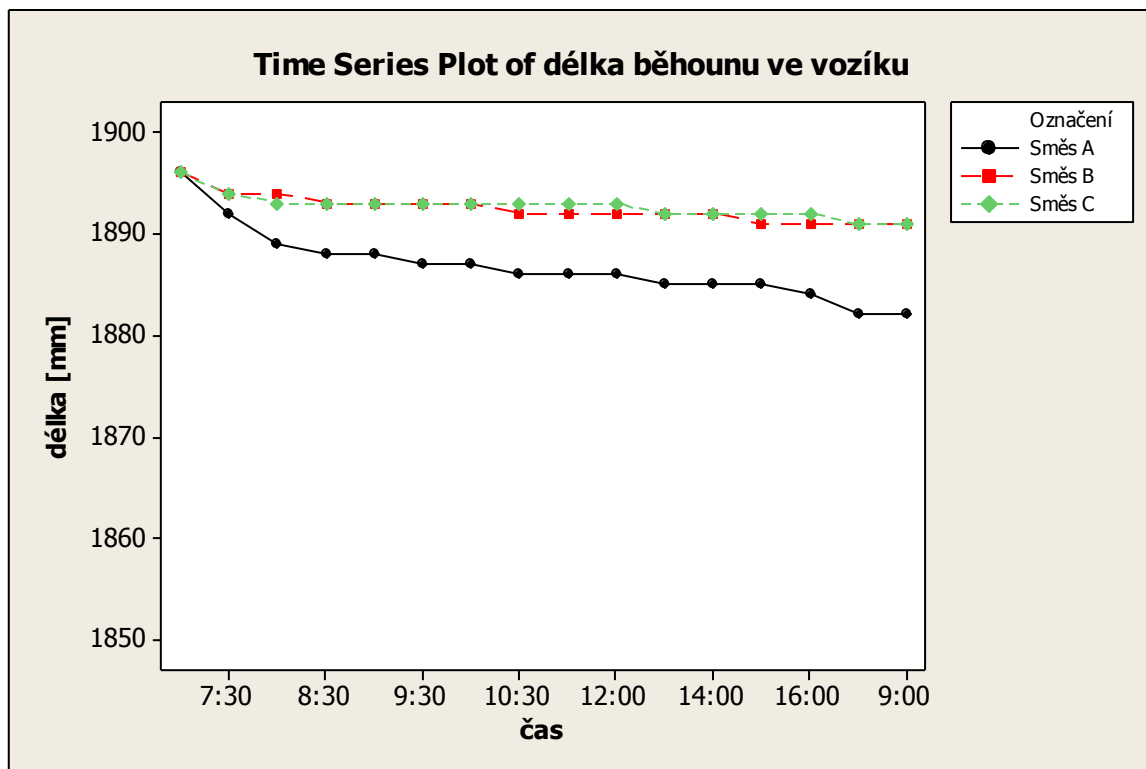
Největší úbytek délky má běhoun ze *Směsi A*. Za 24 hodin byl naměřen úbytek délky z počáteční naměřené hodnoty o 45mm. Modifikovaná *Směs B* se ustálila rychleji a srážení je menší. Za stejný časový úsek a z přibližně stejné počáteční hodnoty, byl naměřen úbytek délky o 28mm. U porovnávané *Směsi C* došlo za stejný čas i ze stejné počáteční hodnoty ke srážení délky běhounu o 13mm.



Obr. 36 Krabicový diagram délky běhounu na fólii

Pomocí krabicového diagramu (obr. 36) je patrná míra variability. U *Směsi A* je variabilita délky běhounu jasně větší než u *Směsi B*. Hvězdička u obou směsí představuje podezřelou, v našem případě však extrémně odchýlenou hodnotu. Jedná se o první hodnotu délky, která byla změřena ihned po složení běhounu na fólii. Další hodnoty se blíží k mediánu. U porovnávané *Směsi C* je míra variability oproti předešlým směsím výrazně menší. Hvězdičky značí první dvě hodnoty měření, kdy u běhounu ze *Směsi C* se srážení projevilo nejvíce a

program tyto hodnoty vyhodnotil jako extrémně odchýlené. Zbylé hodnoty délky jsou již vyhodnoceny krabicovým diagramem.

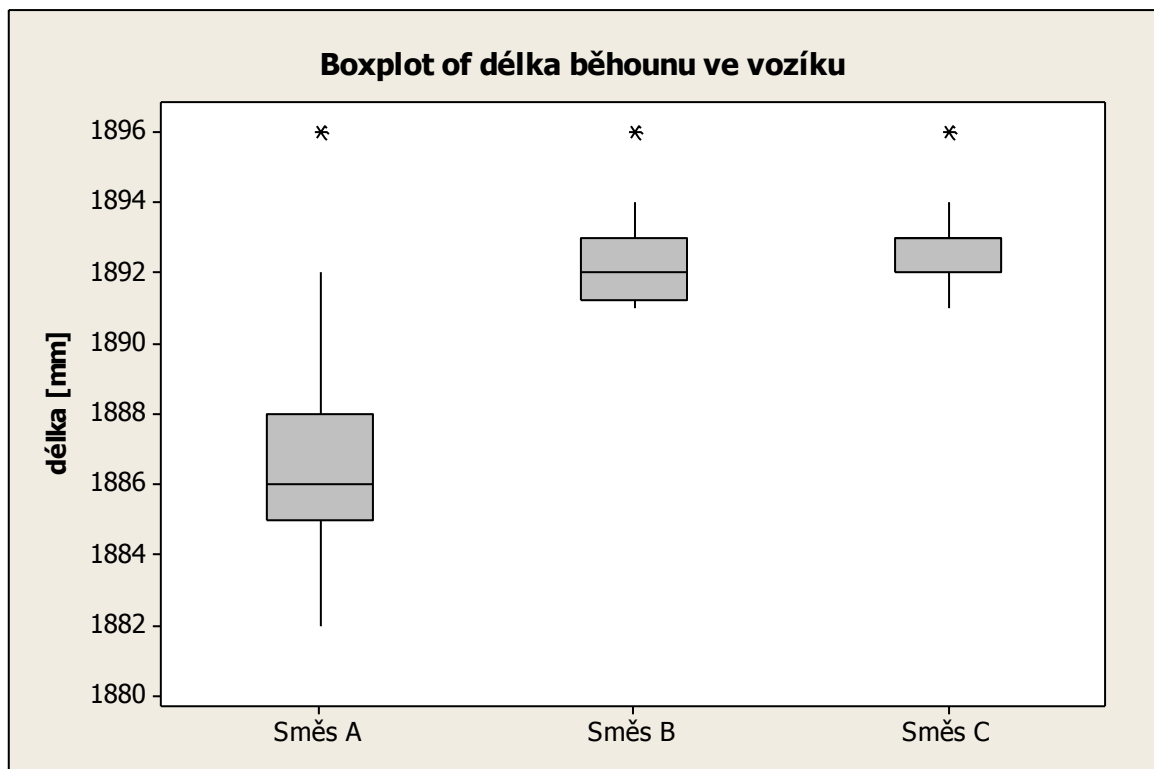


Obr. 37 Průběh srážení délky běhounu ve vozíku

Obrázek (obr. 37) popisuje průběh srážení délky běhounu ve vozíku. Toto měření zaznamenává situaci, jaká nastává v reálném provozu výroby. Lze zde také vyčíst, že větší úbytek délky vlivem srážení je opět u *Směsi A*. U *Směsi B* je menší, ale s porovnávanou *Směsí C* stejně velký.

Na rozdíl od měření délky běhounu na fólii, bylo měření délky běhounu na vozíku ovlivněno třením běhounu s podložkou. Došlo k přilepení vlastní vahou běhounu na plechový list vozíku a k ovlivnění délky.

Úbytek délky opět za 24 hodin byl menší vlivem tření, ale přesto dosáhl u *Směsi A* 14mm. Modifikovaná *Směs B* má úbytek délky na vozíku za stejný čas jen 6mm, což je vlastně totožné s porovnávanou *Směsí C*, která měla velikost srážení za stejných podmínek jako předešlé směsi jen 5mm.

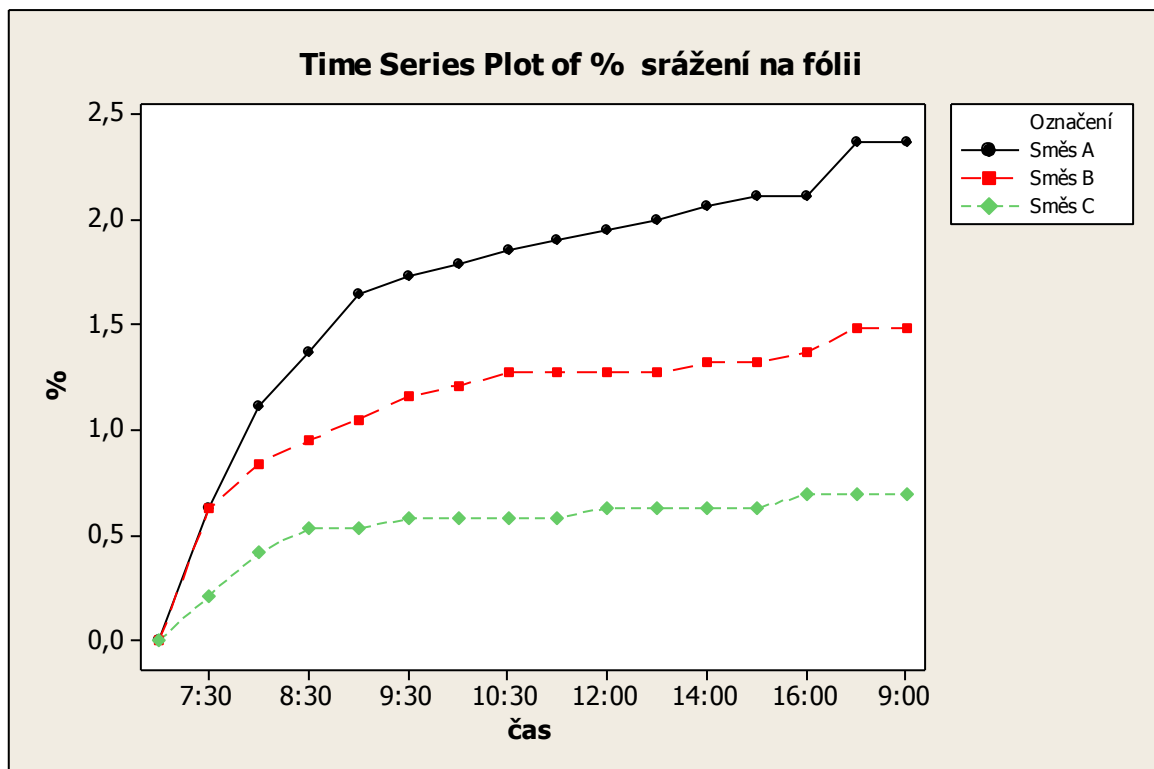


Obr. 38 Krabicový diagram délky běhounu na vozíku

Pomocí krabicového diagramu (obr. 38) můžeme porovnat rozdíl velikosti úbytku délky běhounu jednotlivých variant směsí, a také je vidět míra variability délky běhounu.

V diagramu se znovu objevuje hvězdička, která značí extrémně odchýlenou hodnotu. Je to opět počáteční hodnota délky běhounu změřena ihned po složení do vozíku. V tento moment nastává největší srážení, a proto program vyhodnocuje první hodnoty jako extrémně odchýlené. Čára uvnitř obdélníku značí medián, který je blíže hodnotám, kdy má běhoun pomalejší úbytek délky.

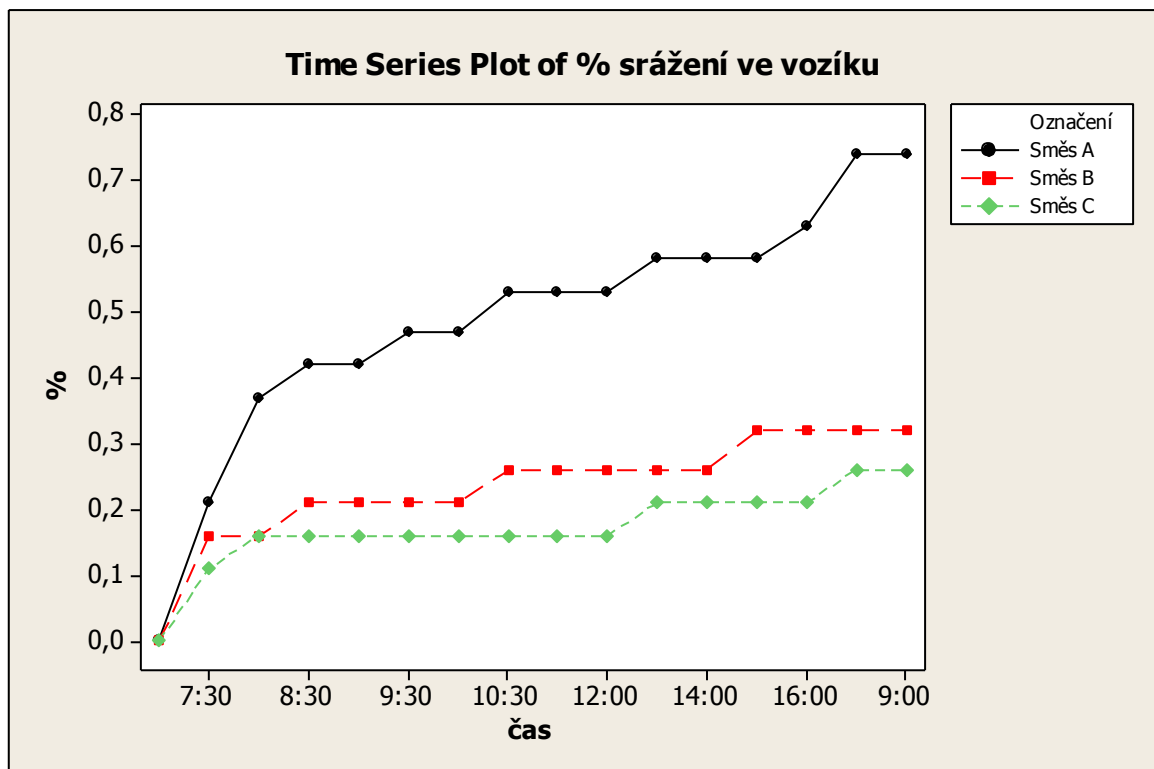
*Směs A* má podle diagramu největší variabilitu délky běhounu. Modifikovaná *Směs B* má variabilitu podstatně menší. Porovnávaná *Směs C* je svou variabilitou shodná se *Směsí B*. Rozdíl mezi *Směsí B* a *C* je podle diagramu v rozdělení hodnot. *Směs B* má medián uprostřed interkvartilového rozpětí, kdežto *Směs C* má hodnotu tohoto rozpětí rovnu jedné a medián má stejnou hodnotu jako dolní kvartil.



Obr. 39 Průběh srážení z celkové délky v procentech na fólii

Průběh srážení délky běhounu (obr. 39) naznačuje velikost úbytku délky v procentech z celkové délky běhounu, který byl měřen na fólii.

Úbytek délky běhounu ze *Směsi A* dosáhl téměř 2,4% z celkové délky. Podle průběhu lze vidět, že největší úbytek je v prvních dvou hodinách a dosáhl přibližně 1,7%. Poté nárůst úbytku délky nebyl tak prudký. Z modifikované *Směsi B* dosáhl úbytek délky běhounu 1,5%, což je přibližně o 1% lepší výsledek. I největší úbytek délky má jen v první půlhodině a poté narůstal pomaleji. Běhoun z porovnávané *Směsi C* měl maximálně 0,7% úbytku délky. Největší nárůst byl patrný za hodinu a půl, kdy dosáhl 0,5% a poté jen velmi pomalu narůstal na konečnou hodnotu.



Obr. 40 Průběh srážení z celkové délky v procentech ve vozíku

Kolik procent úbytku z celkové délky běhounu dosáhly běhouny z jednotlivých směsí ve vozíku můžeme určit podle obrázku (obr. 40).

Největšího srážení dosáhl běhoun ze *Směsi A*, a to 0,75%. Je to výrazně méně než na fólii, protože je srážení ovlivněno třením, které zabraňuje volnému srážení. V první hodině dochází k největšímu nárůstu úbytku délky. Dlouhým časovým odstupem došlo k velkému skoku na konci měření. U modifikované *Směsi B* a porovnávané *Směsi C* je průběh velmi podobný a rozdíl ve velikosti srážení z celkové délky běhounu není velký.

*Směs A* ve všech prováděných měřeních délky běhounu dosahovala špatných výsledků. To vedlo k vyjmutí určitých zpracovatelských přísad a k vytvoření *Směsi B*. Touto modifikací se dosáhlo zlepšení a srážení délky běhounu je téměř poloviční.

Pro porovnání srážení *Směsi A* i *B* se stejné měření délky běhounu provedlo i na *Směsi C*. Běhouny vyrobené z této kaučukové směsi mají velikost srážení, která se v praxi považuje za standardní. Při porovnání výsledků se *Směsí C* je zřejmé, že *Směs A* má ve všech situacích špatné výsledky. Modifikovaná *Směs B* má lepší výsledky. Hlavně při měření ve vo-

zíku, kde se hodnotami přibližuje ke *Směsi C*. Odebráním určitých zpracovatelských přísad, došlo ke zlepšení a přiblížení ke standardu z praxe.

Při porovnání všech grafů s průběhem srážení, můžeme říci, že průběh na fólii a ve vozíku je stejný, jen se liší ve velikosti úbytku v délce běhounu, což je způsobeno vlivem tření.

Další výrobní proces po vyrobení běhounu je konfekce, kde se běhoun zpracovává na druhém konfekčním stupni. Pracovník vezme ručně běhoun z vozíku a položí jej na stůl běhounu. Pracovník poté dá impuls stroji, že běhoun je připraven a stůl automaticky přijede ke konfekčnímu bubnu, který otočením navine běhoun.

Tyto operace s běhounem byly podrobeny měření, zda se při manipulaci délka běhounu nemění.

Měření běhounů se provádělo po jejich vytlačení ve vozíku. Změřena byla hodnota ihned po vyjetí vozíku ze zakladače. Následovala doba odležení podle pracovní instrukce probíhající u konfekčního modulu, kam byl vozík odvezen ihned po vyjetí vozíku ze zakladače a měření. Každou hodinu byla měřena délka běhounu (tab. 7) až do doby odležení.

Tab. 7 Hodnoty délky běhounů do doby odležení

	čas	délka běhounu [mm]		
		Směs A	Směs B	Směs C
1	8:00	1895	1895	1898
2	9:00	1887	1892	1897
3	10:00	1885	1891	1896
4	11:00	1884	1890	1895
5	12:00	1884	1890	1895

Po uplynutí doby odležení, byl ručně položen běhoun na konfekční stůl běhounu a změřená hodnota délky se změnila z poslední měřené délky 1884mm na 1883mm u běhounu ze *Směsi A*. Poté byl běhoun namotán na konfekční buben. Tato operace již nezměnila délku běhounu.

Stejný postup se opakovával s běhounem ze *Směsi B*. Poslední měřenou délkou ve vozíku před manipulací je 1890mm. Po položení na konfekční stůl běhounu byla jeho délka 1889mm. Opět se běhoun namotal na konfekční buben a hodnota se nezměnila.



U běhounu ze *Směsi C* se délka nezměnila ani při položení na konfekční stůl.

V obou případech lze z tabulky vyčíst, že u *Směsi A i B* se délka běhounu změnila při manipulaci o 1mm. Celkový rozdíl délky však je jiný. U *Směsi A* je úbytek délky včetně manipulace 12mm. U *Směsi B* je celkový úbytek délky včetně manipulace 6mm.

Lze tedy usuzovat, že modifikace směsi vyjmutím zpracovatelských přísad z receptury nemá vliv na srážení při další manipulaci s běhounem po uplynutí doby odležení podle pracovní instrukce.

### 9.3 Ekonomické zhodnocení

Pokud se jedná o změnu ve výrobě, ať je to změna v procesu nebo v technickém vybavení, pokaždé se musí vyhodnotit přínos. Důležitá je tedy návratnost investice.

V případě této práce je popisována změna receptury kaučukové směsi k výrobě běhounu pro pláště na osobní vozidla. Vzhledem k tomu, že modifikovaná směs není povolena do sériové výroby, nelze přesně zhodnotit ekonomický přínos. Jde tedy o odhad výsledku.

Při výrobě běhounů ze současné sériové *Směsi A*, dochází k velkému srážení délky běhounů. To vede k reklamaci od zákazníka, v našem případě od jiného oddělení konfekce, a vyhození vadných běhounů do vratného odpadu.

V současné době se podle požadavku zákazníka vyrábí na vytlačovací lince, která byla vybrána k praktické části práce, přibližně 1500 kusů běhounů denně ze *Směsi A*. Podle platného vytlačovacího předpisu má běhoun hmotnost 3240g. Při dodržení doby odležení dochází k úbytku délky o 12mm což není v mezích tolerance u zákazníka. Z tohoto důvodu jsou tyto běhouny vyřazovány do vratného odpadu. Jedná se tedy přibližně o 4500kg vratného odpadu za den.

Zavedením modifikované receptury *Směsi B*, se podle výsledků měření zmenší srážení délky běhounu. Běhouny vyrobené z této směsi by nebyly reklamovány a vyhazovány do vratného odpadu.

Při výrobě běhounů z modifikované *Směsi B* dochází po době odležení k úbytku délky o 6mm. Tato hodnota se pohybuje na hranici tolerance. Při delší době odležení dochází k dalšímu úbytku délky a běhoun již nemusí vyhovovat. Pokud by při zpracování vyhovo-

valo 50% vyrobených běhounů, jednalo by se o snížení vratného odpadu přibližně o 2250kg.

V případě, že by předpoklad odpovídal hodnotám i v praxi, došlo by k ušetření finančních prostředků za zpracování vratného odpadu, ale také k většímu výdělku za kvalitně vyrobené pláště.

## ZÁVĚR

Náplní diplomové práce je zjištění vlivu směsi na stabilitu procesu vytlačování. Dále se zabývá zkoumáním, jak ovlivňují charakteristiky dynamické viskozity, ztrátového faktoru  $\tan \delta$ , stabilitu vytlačování kaučkových směsí pro výrobu běhounů.

Pro praktickou část práce byla vybrána směs, u které v sériové výrobě dochází k extrémnímu srážení délky běhounu. Z této směsi se zamíchala modifikovaná směs bez určitých zpracovatelských přísad. Pouze pro porovnání sloužila vybraná třetí směs.

Změření, porovnání fyzikálních vlastností a hodnot viskozity Mooney proběhlo u všech variant směsí. Převážně hodnoty Mooney, ukazovali souvislost při hodnocení procesních dat z vytlačovacího procesu. Stabilnější proces vytlačování převažoval u směsí, které měly vyšší hodnoty viskozity.

Z měření dynamických vlastností, které se provádělo na přístroji RPA 2000, byly pro hodnocení důležité hodnoty ztrátového faktoru  $\tan \delta$ , elastická složka smykového modulu  $G'$ , viskózní složka smykového modulu  $G''$  a dynamická viskozita  $\eta$ . Stejně jako u fyzikálních vlastností je snahou zjistit, jak hodnoty dynamických vlastností ovlivňují proces vytlačování a srážení délky běhounu. Z výsledků testu jsme zjistili, že pokud má *Směs A* nižší hodnoty viskozity a vyšší hodnoty elasticity, dochází k většímu srážení délky běhounu. Z toho důvodu je i hodnota ztrátového faktoru na nižších hodnotách. Modifikovaná *Směs B* má hodnoty obou složek vyšší, více však hodnoty viskozity, a proto také vyšší hodnoty  $\tan \delta$ . Touto změnou došlo ke zlepšení hodnot srážení délky běhounu. Při porovnání s jinou kaučkovou *Směsí C*, u které není problém srážení délky, se hodnoty  $\tan \delta$  u modifikované *Směsi B* přiblížily hodnotám porovnávané *Směsi C*. Lze říci, že podle hodnot  $\tan \delta$ ,  $G'$  a  $G''$  můžeme předpokládat srážení délky běhounu.

Procesní data z vytlačovacího procesu byla hodnocena pomocí programu Minitab. Hodnocení probíhalo pouze u sériové *Směsi A* a její modifikace *Směsi B* z důvodu zjištění, jak bude ovlivněn proces vytlačování. Nebylo dosaženo normálního rozdělení, avšak výsledky pro hodnocení u této práce jsou dostačující. Modifikací odstraněním určitých zpracovatelských přísad se dosáhlo lepších výsledků. Vytlačovací proces byl stabilnější a nevykazoval velké rozdíly hodnot v průběhu vytlačování.

K porovnání srážení délky běhounů došlo u všech směsí. Měřilo se srážení délky na fólii a ve vozíku používaném ve výrobě. V obou případech je nejhorší *Směs A*. Modifikovaná

*Směs B* má lepší výsledky. Hlavně při srážení délky ve vozíku, kdy je ovlivněn výsledek třením běhounu s podložkou, dosahovala téměř stejných výsledků jako *Směs C*.

Vyjmutím určitých zpracovatelských přísad ze sériové směsi, došlo ke zlepšení procesu vytlačování i lepších výsledků srážení délky běhounu. Při zavedení modifikované směsi, místo směsi sériové, se dosáhne i zmenšení objemu vratného odpadu běhounů. Ke zlepšení tedy dojde také z hlediska ekonomického.

Další pokračování zkoumání může být zaměřeno na testování vlivu modifikované Směsi B na vady hotového výrobku, protože změnou určité vlastnosti směsi dojde ke změně i jiných vlastností.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] FRANTA, Ivan: *Gumárenská technologie I: Gumárenské suroviny*. 3. vydání, Praha 1979, SNTL 04-618-79. 608 s.
- [2] cs.wikipedia.org [online] 24. října 2012 Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kau%C4%8Duk>
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] ŠPAČEK, Josef: *Technologie gumárenská a plastikářská II.*: vydavatel VUT Br-no. SNTL Praha 1987. 200 s. 05-014-87.
- [5] FRANTA, Ivan: *Gumárenská technologie II: Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. 2. vydání, Praha 1969, SNTL 04-626-69. 540 s.
- [6] MALÁČ, Jiří: *Gumárenská technologie*. Zlín, FT UTB 2005. 258 s. Dostupné z <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>.
- [7] DUCHÁČEK, Vratislav. *Změkčovač*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2010c2011, 207 s. ISBN 978-80-02-02287-9.
- [8] DVOŘÁK, Zdeněk: *ZPRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ: pro konstrukční směry*. Zlín, FT UTB 2011. 182 s. Dostupné z [http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG\\_zpracovatelske\\_procesy\\_gumarenske.pdf](http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG_zpracovatelske_procesy_gumarenske.pdf).
- [9] KUBÍK, Josef a Arnošt ZYTKA. *Zkušební metody v gumárenství*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 297 s.
- [10] SCHÄTZ, Miroslav. *Zkoušení kaučuků a plastických hmot*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971, 150 s.
- [11] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999, 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [12] KOLEKTIV AUTORŮ: *Učební texty: Gumárenské technologie v Barum Continental spol. s r.o.* Otrokovice 2011. 94 s.
- [13] Alpha Technologies [online] Dostupné z <http://www.alpha-technologies.com/>.

- [14] KOLEKTIV AUTORŮ: *Učební texty: Gumárenské technologie v Barum Continental spol. s r.o.* Otrokovice 2008. 99 s.
- [15] Berstorff GmbH, An der Breiten Wiese, 30165 Hannover, Deutschland, *Berstorff – Extrusionstechnik für Kunststoff- und Gummiprodukte* [online]. 2006, 2013-04-10 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z WWW: <http://www.kraussmaffe.com/en/>.
- [16] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia I.* 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 1998, 282 s. ISBN 8071004839.
- [17] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia II.* Vyd. 1. Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši, 2003, 370 s. ISBN 808891485x.
- [18] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikárska technologie: zpracovatelské procesy.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 289 s.
- [19] DVOŘÁK, Zdeněk a Jakub JAVOŘÍK. *Elastomerní konstrukční materiály.* Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárneská skupina Zlín, 2009, 93 s. ISBN 978-80-02-02155-1.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

°C	Stupeň celsia
%	Procento
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu
Dsk	Počet hmotnostních dílů přísady připadající na 100 hmotnostních kaučuku
NR	Přírodní kaučuk
SBR	Butadienstyrenový kaučuk
BR	Butadienový kaučuk
IR	Izoprenový kaučuk
IIR	Butylkaučuk
ML	Jednotky Moony
RPA	Rubber Process Analyzer
M1	Základové míchání
FMF	Finální míchání
G*	Komplexní smykový modul
G''	Viskózní složka smykového modulu
G'	Elastická složka smykového modulu
tan δ	Ztrátový faktor
η	Dynamická viskozita
Pp a PPL	Indexy způsobilosti
SMR	Standard Malaysian Rubber
SIR	Standard Indonesian Rubber
μm	mikrometr
Shore A	Jednotky tvrdosti měřené metodou Shore

---

CAP1	Označení šneku běhounové směsi
CAP2	Označení šneku běhounové směsi
S-W	Shapiro – Wilk test normality
Cpk	index způsobilosti procesu
USL	Upper Specification Limit
LSL	Lower Specification Limit
PPM Total	teoretický počet vadných mimo meze procesu
Tzv.	Tak zvané



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Základní rozdělení polymerů .....	12
Obr. 2 Syrový kaučuk odkapávající z kaučukovníku[2] .....	13
Obr. 3 Přístroj RPA 2000[13] .....	28
Obr. 4 Znázornění dispergačního a distribučního míchání .....	31
Obr. 5 Hlavní části hnětiče[12] .....	33
Obr. 6 Vlevo rotor intermix, vpravo tangenciální rotor[12] .....	34
Obr. 7 Šnekový vytlačovací stroj[12] .....	35
Obr. 8 Úprava šablony a) – požadovaný tvar, b) – šablona bez úpravy, c) – šablona s úpravou[8] .....	36
Obr. 9 Schéma postupu experimentu .....	39
Obr. 10 Vytlačovací linka - Quadroplex[15] .....	40
Obr. 11 Průběh ztrátového faktoru $\tan \delta$ na amplitudě .....	45
Obr. 12 Elastická složka smykového modulu $G'$ na amplitudě .....	46
Obr. 13 Viskózní složka smykového modulu $G''$ na amplitudě .....	46
Obr. 14 Průběh ztrátového faktoru $\tan \delta$ při 30°C na frekvenci .....	47
Obr. 15 Elastická složka smykového modulu $G'$ při 30°C na frekvenci .....	48
Obr. 16 Viskózní složka smykového modulu $G''$ při 30°C na frekvenci .....	48
Obr. 17 Průběh dynamické viskozity $\eta$ při 30°C na frekvenci .....	49
Obr. 18 Řez profilem běhounu[14] .....	49
Obr. 19 Běhouny měřeny na fólii .....	51
Obr. 20 Běhouny měřeny ve vozíku .....	52
Obr. 21 Průběh úsekové hmotnosti .....	56
Obr. 22 Krabicový graf úsekové hmotnosti .....	57
Obr. 23 Průběh koncové hmotnosti .....	58
Obr. 24 Krabicový graf koncové hmotnosti .....	58
Obr. 25 Průběh tlaku CAP1 .....	59
Obr. 26 Průběh tlaku CAP2 .....	60
Obr. 27 Krabicový graf tlaku CAP1 .....	60
Obr. 28 Krabicový graf tlaku CAP2 .....	61
Obr. 29 Histogram úsekové hmotnosti <i>Směs A</i> .....	62
Obr. 30 Histogram úsekové hmotnosti <i>Směs B</i> .....	62

---

Obr. 31 Test normality úsekové hmotnosti.....	63
Obr. 32 Histogram koncové hmotnosti <i>Směs A</i> .....	64
Obr. 33 Histogram koncové hmotnosti <i>Směs B</i> .....	64
Obr. 34 Test normality koncové hmotnosti .....	65
Obr. 35 Průběh srážení délky na fólii .....	66
Obr. 36 Krabicový diagram délky běhounu na fólii.....	67
Obr. 37 Průběh srážení délky běhounu ve vozíku .....	68
Obr. 38 Krabicový diagram délky běhounu na vozíku .....	69
Obr. 39 Průběh srážení z celkové délky v procentech na fólii.....	70
Obr. 40 Průběh srážení z celkové délky v procentech ve vozíku .....	71

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Popis směsí .....	42
Tab. 2 Hodnoty hustoty, viskozity Mooney a fyzikálních zkoušek .....	43
Tab. 3 Parametry vytlačovacího procesu .....	50
Tab. 4 Hodnoty délky běhounu <i>Směs A</i> .....	53
Tab. 5 Hodnoty délky běhounu <i>Směs B</i> .....	53
Tab. 6 Hodnoty délky běhounu <i>Směs C</i> .....	54
Tab. 7 Hodnoty délky běhounů do doby odležení .....	72