

# Problematika konfekčnej lepivosti polotovarov pre výrobu pneumatík

Ing. Martin Vaňko

---

Diplomová práca  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. Martin Vaňko**

Osobní číslo: **T13652**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Problematika konfekční lepivosti polotovarů pro výrobu pneumatik**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii na vybrané téma
2. Vyberte materiály a metody ke zrealizování praktické části
3. Vykonejte experimentální práce
4. Zpracujte vyhodnocení a diskuzi výsledků experimentů

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, Zdeněk. ZRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ pro konstrukční směry. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2013. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/41195/>.
2. DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0.
3. Dle doporučení vedoucího diplomové práce

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

Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

  
doc. Ing. Román Čermák, Ph.D.  
děkan



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

Příjmení a jméno: VAŇKO MARTIN

Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

## 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 29.4.2015

  
.....

<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 přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Témou diplomovej práce je problematika konfekčnej lepidivosti pri výrobe pneumatík v spoločnosti Continental Barum, s.r.o. V teoretickej časti je stručne popísaná skladba, technológia výroby a následné spracovanie gumárenských zmesí. Taktiež zhŕňa základné poznatky v oblasti konfekčnej lepidivosti a o faktoroch, ktoré na ňu vplývajú. Na záver uvádza prehľad metodík používaných pre meranie konfekčnej lepidivosti a viskozity Mooney.

V praktickej časti je najskôr pomocou MSA analýzy zvolená najspoľahlivejšia metóda merania konfekčnej lepidivosti a následne je s využitím vybranej metódy skúmaný vplyv faktoru času (odležanosti), vlhkosti, teploty a technológie na konfekčnú lepidivosť. Výsledky spolu s odporučeniami pre prípadné pokračovanie výskumu sú uvedené v záverečnej diskusii.

Kľúčová slova: kaučuková zmes, adhézia, lepidivosť, konfekčná lepidivosť, meranie lepidivosti, metóda merania lepidivosti X, metóda Rolling ball, metóda merania lepidivosti Y, Viskozimeter Alpha Mooney

## **ABSTRACT**

The subject of my diploma thesis is tire building tackiness issue in company Continental Barum, s.r.o. Theoretical part briefly describes the composition, production technology and processing of rubber compounds. It also summarizes basic knowledge of tire building tackiness and factors which have impact on it. Finally it provides an overview of methods, which are used for measuring of tire building tackiness and Mooney viscosity.

At the beginning of experimental part there is with using of MSA analysis chosen the most reliable method for measuring of tire building tackiness, which is used in following analysis of time (cellaring), humidity, temperature and technology influence to the tire building tackiness. The results and recommendations for eventual ongoing research and development are presented in the final discussion.

Keywords: rubber compound, adhesion, tackiness, tire building tackiness, measuring of tackiness, measuring of tackines by method X, Rolling ball method, measuring of tackiness by method Y, Alpha Mooney Viscometer

Touto cestou by som rád poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce, doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi, CSc. za ochotu, pomoc a cenné rady, ktoré mi počas spracovania diplomovej práce nepochybne pomohli.

Ďalej patrí moja vďaka spoločnosti Continental Barum, s.r.o. za to, že mi umožnila spracovanie diplomovej práce. Špeciálne by som chcel poďakovať veľmi ústretovým a nápomocným ľuďom z analytického laboratória a to hlavne Ing. Davidovi Juříkovi za neuveriteľnú ochotu a trpezlivosť.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ZLOŽENIE GUMÁRENSKEJ ZMESI</b> .....	<b>13</b>
1.1 KAUČUKY .....	13
1.2 VULKANIZAČNÝ SYSTÉM.....	14
1.2.1 Vulkanizačné činidlá .....	14
1.2.2 Urýchľovače vulkanizácie.....	15
1.2.3 Inhibítory vulkanizácie.....	16
1.3 PLNIVÁ.....	16
1.4 OCHRANNÝ SYSTÉM .....	18
1.5 SPRACOVATELSKÝ SYSTÉM .....	18
1.5.1 Zmäkčovadlá a plastifikátory .....	18
<b>2 PRÍPRAVA KAUČUKOVEJ ZMESI</b> .....	<b>20</b>
2.1 MIEŠANIE NA DVOJVALCI .....	20
2.2 MIEŠANIE V HNETACÍCH STROJCOCH.....	22
2.2.1 Kontinuálne miešanie kaučukových zmesí .....	24
<b>3 LEPIVOSŤ</b> .....	<b>25</b>
3.1 MECHANIZMY ADHÉZIE .....	29
3.1.1 Adsorpcia .....	29
3.1.2 Interdifúzia .....	29
3.1.3 Interlocking .....	30
3.2 KONFEKČNÁ LEPIVOSŤ .....	30
3.2.1 Vplyv zloženia zmesi na konfekčnú lepiivosť .....	31
Pomer prírodného a syntetického kaučuku .....	31
Molekulová hmotnosť kaučuku .....	32
Vplyv plnív .....	33
Vplyv prídavku konfekčných živíc .....	34
3.2.2 Vplyv technológie spracovania na konfekčnú lepiivosť .....	36
Teplota .....	36
Doba hnetenia .....	37
Doba kontaktu a tlaku .....	39
Drsnosť povrchu .....	40
Ostatné faktory vplyvajúce na lepiivosť .....	41
<b>4 MERANIE LEPIVOSTI</b> .....	<b>43</b>
4.1 METÓDA ROLLING BALL .....	45
4.2 METÓDA X.....	45
4.3 METÓDA Y .....	46
<b>5 MERANIE BEZPEČNOSTI ZMESI A VISKOZITY MOONEY</b> .....	<b>48</b>
5.1 MERANIE VISKOZITY A MERANIE RELAXÁCIE .....	48
<b>6 ZHRNUTIE TEORETICKEJ ČASTI</b> .....	<b>51</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>52</b>
<b>7 CIELE PRÁCE A STANOVENIE HYPOTÉZ</b> .....	<b>53</b>



<b>8</b>	<b>VYŠETRENIE SPÔSOBILOSTI METODÍK MERANIA KONFEKČNEJ LEPIVOSTI .....</b>	<b>54</b>
8.1	MSA ŠTÚDIA – ROLLING BALL.....	54
8.2	MSA ŠTÚDIA – METÓDA X .....	57
8.3	ZHODNOTENIE MSA ŠTÚDIÍ .....	61
<b>9</b>	<b>VPLYV ODLEŽANOSTI ZMESI B1 NA KONFEKČNÚ LEPIVOSŤ .....</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>VPLYV VLHKOSTI NA KONFEKČNÚ LEPIVOSŤ .....</b>	<b>66</b>
<b>11</b>	<b>VPLYV TEPLoty NA KONFEKČNÚ LEPIVOSŤ .....</b>	<b>70</b>
11.1	VPLYV TEPLoty PROSTREDIA.....	70
11.2	VPLYV TEPLoty TECHNOLOGICKÉHO PROCESU.....	73
11.2.1	Gumovacia linka 4V Buzuluk .....	74
11.2.2	Gumovacia linka 4V Berstorff .....	75
11.2.3	Gumovacia linka combi 5V .....	76
11.2.4	Teplota pri gumovaní na gumovacích linkách .....	77
11.2.5	Meranie bezpečnosti zmesi pomocou Mooney viskozimetru .....	79
	Meranie bezpečnosti zmesi B2 .....	81
	Meranie bezpečnosti zmesi A2 .....	84
11.2.6	Porovnanie konfekčnej lepivosti u 4V a 5V linky .....	84
	Meranie konfekčnej lepivosti textilného kordu (zmes A3) .....	85
	Meranie konfekčnej lepivosti oceľového kordu (zmes B2).....	85
	Zhrnutie nameraných výsledkov .....	86
<b>12</b>	<b>ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A ZÁVEREČNÁ DISKUSIA.....</b>	<b>87</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>98</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>101</b>

## ÚVOD

Výroba pneumatík predstavuje technologicky veľmi zložitý proces. Od vstupu základných surovín do výroby, cez prípravu zmesí, ich spracovanie a premenu na polotovary, konfekciu, lisovanie až po záverečnú kontrolu kvality a exportovanie hotovej pneumatiky ku končenému zákazníkovi prebehne veľmi dlhá doba a pneumatika urazí dlhú a kľukatú cestu. Úlohou fabriky, kde sa daná výroba uskutočňuje je zaistiť, aby celý popísaný proces prebiehal čo najefektívnejšie, v krátkom čase, za čo najnižšie náklady a to s výstupmi len najlepší kvality. Na to aby boli všetky tieto podmienky splnené, je potrebné neustále zlepšovanie, pozeranie sa smerom do budúcnosti a hľadanie riešení na aktuálne problémy. Problémov nie je vo výrobe určite málo. Vyskytujú sa na každodennej báze a podnik im musí pravidelne čeliť. Jedným z nich je práve konfekčná lepivosť.

Konfekčná lepivosť predstavuje pomerne ťažko uchopiteľnú a veľmi nestabilnú veličinu a pre mnohé podniky je aj v dnešnej dobe veľkou neznámou. V minulosti sa lepivosťou zaoberalo pomerne veľké množstvo rôznych odborníkov a vedcov, ktorí sa vo svojich tvrdeniach a záveroch nie vždy zhodujú. Problematika konfekčnej lepivosti predstavuje veľmi širokú oblasť a pri jej skúmaní sa je nutné opierať o množstvo ďalších odvetví, zahŕňajúce rôzne mechanické, chemické alebo fyzikálne aspekty. Riešenie problému konfekčnej lepivosti teda vyžaduje komplexný prístup pretože jednotlivé faktory vplývajúce na lepivosť sa navzájom prelínajú a často pôsobia na lepivosť protichodne.

Vo všeobecnosti môžeme konfekčnú lepivosť definovať ako schopnosť dvoch materiálov odolávať odtrhnutiu po pritlačení ich povrchov k sebe samým tlakom po relatívne krátku dobu. Gumárenské zmesi a konfekčné polotovary pri výrobe pneumatík musia vykazovať aspoň určitú hodnotu pevnosti za surova a konfekčnej lepivosti.

Lepivosť je veľmi dôležitá vlastnosť, ktorá umožňuje udržať konfekčné polotovary v potrebnom tvare a stave až po proces vulkanizácie. Vzhľadom na to, že surové - nevulkanizované plášte môžu byť pred samotným vulkanizovaním skladované aj niekoľko dní, je teda veľmi dôležité nielen krátkodobé rýchle zlepenie pri konfekcii, ale hlavne schopnosť udržať si lepivostné väzby v čase a odolať tak toku materiálu za studena (creep resistance).

Aj keď je konfekčná lepivosť predmetom len jedného výrobného kroku, jej výsledná hodnota je výsledkom všetkých predchádzajúcich technologických a výrobných stupňov a jej nesplnenie má za následok veľké výrobné problémy a výrobu mnohých zmätkov. Preto je pri analýze lepivosti vhodné myslieť komplexne na celý proces.

Pre potreby diplomovej práce však nie je možné analyzovať všetky aspekty vplyvajúce na konfekčnú lepivosť a tak budú vytipované a následne analyzované najproblematickejšie faktory.

Diplomová práca pozostáva z dvoch základných častí: teoretickej a praktickej.

Cieľom úvodnej teoretickej časti je zhrnúť základné poznatky o problematike konfekčnej lepivosti a faktoroch, ktoré na ňu pôsobia. Je tu popísaná skladba gumárenských zmesí pre výrobu pneumatík a vplyv jednotlivých zložiek na konfekčnú lepivosť. V závere sú predstavené niektoré najbežnejšie metódy využívané k meraniu konfekčnej lepivosti.

V experimentálnej časti práce je pomocou MSA analýzy vyšetrená spoľahlivosť dvoch metód merania konfekčnej lepivosti, ktoré sú aktuálne dostupné a využívané v spoločnosti Continental Barum, s.r.o. Spoľahlivejšia z dvoch testovaných metód je využitá v ďalšom priebehu práce, ktorý sa zameriava na výskum vplyvu vybraných faktorov na konfekčnú lepivosť. Prvým faktorom, ktorý má markantný vplyv na hodnotu konfekčnej lepivosti je odležanosť zmesi či konfekčného polotovaru. Každá zmes, materiál alebo polotovar má nastavenú minimálnu a maximálnu dobu spracovania a práve tieto hraničné hodnoty bývajú častokrát kritickými z pohľadu konfekčnej lepivosti.

Ďalším skúmaným faktorom, ktorý môže ovplyvňovať lepivosť je vplyv vlhkosti prostredia. Vlhkosť prostredia je pomerne nestály ukazovateľ a v priebehu výroby, skladovania a ročných období sa môže výrazne meniť.

V záverečnej časti je meraný a hodnotený vplyv teploty na konfekčnú lepivosť. V prvej fáze je skúmaný vplyv teploty prostredia, ktorá sa sezónne môže meniť, čo sa prejavuje na hodnotách konfekčnej lepivosti. V druhej fáze je skúmaný vplyv rozdielneho teplotného namáhania zmesi v závislosti od technológie výrobnéj linky na bezpečnosť zmesi a konfekčnú lepivosť.

Výsledky meraní a výskumov spolu s ďalšími zisteniami a odporúčaniami pre ďalší výskum smerom do budúcnosti sú uvedené a rozobrané v záverečnej diskusii.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZLOŽENIE GUMÁRENSKEJ ZMESI

Kaučukové zmesi sú zmesi tvorené kaučukom a ďalšími gumárenskými surovinami. V literatúre a praxi sa môžeme často stretnúť aj priamo s pojmom gumárenské zmesi. V tejto problematike existuje pomerne mnoho názorov, ktoré vznikajú či už z praxe, prekladom z literatúry a rada pojmov vzniká takisto ich prenosom do českého alebo slovenského jazyka z praxe zahraničných firiem a následne sa u nás etablujú.

Základnú kaučukovú zmes zvyčajne tvorí množstvo zložiek. Základom je samozrejme kaučuk potom sú v nej plnivá, vulkanizačné činidlá, aktivátory, urýchľovače, retardéry, antidegradanty, antioxidanty, antiozonanty, zmäkčovadlá, rôzne prísady pre lepšiu spracovateľnosť, pigmenty a podobne.

Pre označenie koncentrácie jednotlivých prísad v gumárenskej zmesi sa používa jednotka dsk (počet dielov na sto dielov kaučuku). V niektorých zahraničných literatúrach sa uvádza taktiež aj anglická varianta a to phr (parts per hundred rubber). Základ zmesi vždy pozostáva zo 100 dsk kaučuku. Vyjadrením koncentrácie prísad pomocou jednotky dsk sa zaistí vždy rovnaký pomer prísad voči kaučuku pre rôzne kaučukové zmesi. [1, 2, 3]

## 1.1 Kaučuky

Pod pojmom kaučuky rozumieme také polyméry, ktoré môžu byť prevedené chemickým (prípadne i fyzikálnym) zosieťovaním v elastoméry (pryže).

Kaučuk je základnou zložkou, ktorá dáva zmesi, pryži a nakoniec aj konečnému výrobku jeho charakteristické vlastnosti. Existuje široká škála kaučukov s typickými vlastnosťami. Podľa požadovaných vlastností pre konečný výrobok sa volí vhodný kaučuk alebo kombinácia viacerých kaučukov. Kaučuky sa vo všeobecnosti delia na prírodné a syntetické. Medzi syntetické (ďalej už len SR) patrí napríklad polybutadien (BR), styren-butadiénový kaučuk (SBR), izoprénový kaučuk (IR) a množstvo ďalších.

Prírodný kaučuk (ďalej už len NR) sa získava predovšetkým zo stromu kaučukovníka brazílskeho, ktorému po narezaní jeho kôry, vyteká z rezu biela kvapalina nazývaná latex. Latex obsahuje okolo 30% až 40% koloidných častíc kaučuku. Kaučuk sa následne vyzráža napríklad kyselinou mravčou, vyperie vodou a suší teplým vzduchom prípadne dymom. Z jedného stromu je možné získať v priemere 5kg až 25kg kaučuku (Obr. 1).

Pred samotným použitím kaučuku, sa prírodný kaučuk spracováva pomocou tzv. lámania, pri ktorom dochádza k skracovaniu príliš dlhých reťazcov.

Predovšetkým prudký rozvoj automobilového priemyslu viedol k vývoju syntetických foriem a náhrad prírodného kaučuku, ale aj napriek tomu sa aj v dnešnej dobe prírodný kaučuk stále veľmi často využíva, kvôli svojim unikátnym a len ťažko nahraditeľným vlastnostiam.



*Obr. 1: Zber prírodného kaučuku [4]*

Syntetické (polydienové) kaučuky (BR, SBR, IR) sa chovajú podobne ako prírodný kaučuk a sú využívané predovšetkým pri výrobe pneumatík. Tieto materiály sa vyznačujú vysokou pevnosťou, oderu vzdornosťou vulkanizátu a najmä kvôli týmto vlastnostiam a takisto priaznivej cene, sú dnes syntetické kaučuky používané v obrovských objemoch. [1, 2, 3,]

## **1.2 Vulkanizačný systém**

Podstatou vulkanizácie je vytváranie chemických väzieb medzi molekulami kaučuku. K tomu, aby nedošlo k neobmedzenému toku molekúl vzhľadom k susedným molekulám stačí pomerne malé množstvo priečných väzieb rozmiestnených pozdĺž reťazca. Vlastnosti kaučuku sa pritom v značnej miere menia. Z prevažne plastického stavu prechádza v elastickú pryž. Zlepšujú sa tak jeho rôzne vlastnosti ako pevnosť, odrazová pružnosť, odolnosť voči nízkym a vysokým teplotám. Takisto rastie tvrdosť a modul, no naopak znižovaná je ťažnosť a trvalá deformácia. [1, 2, 3]

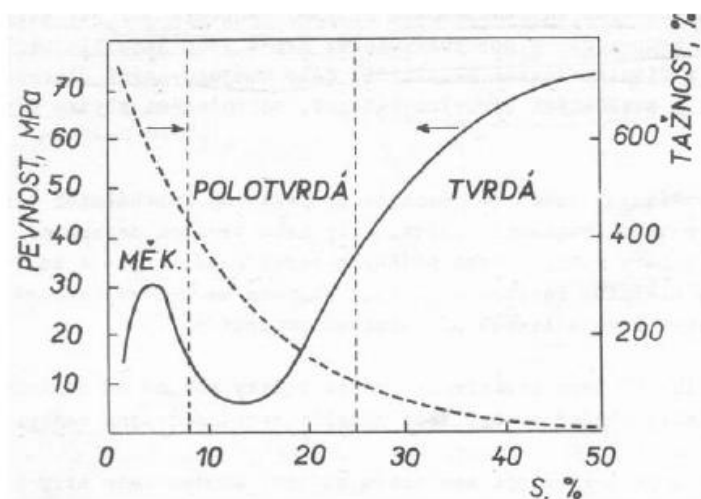
### **1.2.1 Vulkanizačné činidlá**

Vulkanizačné činidlá sú látky, ktoré majú schopnosť vytvárať chemickú reakciu priečne väzby medzi molekulami kaučuku. Medzi najznámejšie a najvyužívanejšie vulkanizačné činidlá patrí: síra, donory síry, selén, telúr, peroxidy, kovové kysličníky, reaktívna živica, diaminy, diizokyanáty atď..

Najčastejším vulkanizačným činidlom je síra, tá sa pri vulkanizácii viaže na kaučuk za tvorby sieťovej štruktúry. Na základe množstva viazanej síry, rozdeľujeme vulkanizáty na pryž:

- Tvrdú: má značnú tvrdosť, nepatrnú ťažnosť a obmedzenú ohybnosť
- Polotvrdú: 12-25 dsk síry (má zlé mechanické vlastnosti a obmedzené využitie)
- Mäkkú: do 4 dsk síry (vyznačuje sa výraznou schopnosťou vratných deformácií)

Vo všeobecnosti platí, že čím viac síry sa vo vulkanizáte nachádza, tým je pryž tvrdšia. [1, 2, 3, 5]



Obr. 2: Vplyv obsahu síry na pevnosť v ťahu a ťažnosť pryže [3]

### 1.2.2 Urýchľovače vulkanizácie

Urýchľovače vulkanizácie sú látky, ktoré dokážu skrátiť dobu vulkanizácie z hodín až na minúty a zároveň znižujú vulkanizačnú teplotu a spomaľujú starnutie. Tieto látky obsahujú v molekule dusík a síru a ich účinok je rôzne veľký.

Vulkanizačné činidlo umožňuje vulkanizáciu, no urýchľovače a aktivátory upravujú jej samotný priebeh a do značnej miery takisto ovplyvňujú mechanické vlastnosti vulkanizátu. Zvyšujú sieťovanie síry, čím umožňujú zníženie jej dávok. Urýchľovače zas podstatne skracujú vulkanizačnú dobu a zároveň pomáhajú znížiť vulkanizačnú teplotu, čo nám umožňuje úsporu energie. Taktiež nám pomáhajú chrániť iné zložky zmesi ako sú napríklad organické farbivá, či materiál kombinovaný s kaučukom.

Bez prídavku aktivátoru, by bola síra sama o sebe málo účinným vulkanizačným činidlom. V zmesiach bez aktivátoru, by bolo potrebné k dosiahnutiu potrebnému množstvu prieč-

nych väzieb pomerne veľké množstvá síry. Podstatou aktivácie pri vulkanizácii sírou je zvýšenie sieťovacej účinnosti vulkanizačného systému. Ako aktivátory sa používajú rozličné oxidy kovov: ZnO, MgO, CaO, PbO apod.. Podporujú plné využitie síry a urýchľovača vulkanizácie. Takmer vo všetkých zmesiach býva využitý kysličník zinočnatý. Prírodný kaučuk obsahuje nestabilné množstvo mastných kyselín, ktoré pomáhajú previesť zinok na formu, ktorá je rozpustná v kaučuku a preto je potrebné pridávať organickú kyselinu, najčastejšie je to kyselina stearová.

Význam urýchľovačov nespočíva len v zrýchlení procesu, ale i vo zvýšení efektívnosti viazania síry a tým aj zlepšení úžitkových vlastností pryže (teplovzdornosť, odolnosť proti starnutiu). Spolu so sírou a aktivátormi vulkanizácie tvoria urýchľovače vulkanizačný systém.

Vyrábané urýchľovače sa dajú rozdeliť podľa viacerých kritérií. Podľa rýchlosti ich môžeme rozdeliť nasledovne:

- pomalé (aminy, guanidiny),
- rýchle (tiazoly, sulfoamidy),
- veľmi rýchle (tiuramy a kombinácia urýchľovačov),
- ultraurýchľovače (ditiokarbamáty, xantogenáty). [1, 3, 5]

### **1.2.3 Inhibítory vulkanizácie**

U zmesí, ktoré sú spracovávané pri vyšších teplotách a obsahujú urýchľovače, je nutné používať inhibítory (známejšie pod pojmom retardéry) vulkanizácie. Inhibítory chránia zmes pred predčasným navulkanizovaním počas procesu spracovania zmesi a jednotlivých konfekčných dielov. Môžeme ich rozdeliť na anorganické (napr. oxid horečnatý) a organické (octan sodný, kyselina sebaková). [1, 5]

## **1.3 Plnivá**

Použitie plnív v kaučukových zmesiach má vo všeobecnosti dva hlavné dôvody. Prvým dôvodom je úprava spracovateľnosti zmesi a fyzikálnych vlastností vulkanizátu. Druhý dôvod je ekonomický – tým, že sa používajú relatívne lacné plnivá, dosahuje sa tak výrazné zníženie ceny výrobku.



Plnením, najčastejšie práškovými prísadami, sa menia prakticky všetky vlastnosti zmesi. Mení sa ním hustota, tvrdosť, modul, elasticita, ťažnosť, štruktúrna pevnosť, spracovateľnosť. S plnením klesá plasticita a zmes sa horšie hnetie.

Pridávaním plnív je taktiež možné pomerne výrazne ovplyvniť vlastnosti výsledných vulkanizátov. Vulkanizáty s prídavkom plnív vykazujú až desaťnásobne vyšší modul pružnosti v porovnaní s neplneným vulkanizátom. Takisto je u väčšiny vulkanizátov pridaním plnív zlepšená odolnosť proti oderu. Zlepšenie vlastností vulkanizátu pomocou prídavku plnív sa nazýva stuženie. Veľkosť stuženia závisí na štruktúre a takisto veľkosti častíc plniva a na aktivite jeho povrchu. Tieto parametre rozhodujú o spojení medzi plnivom a kaučukom.

Medzi najpoužívanéjšie a najdôležitejšie plnivá gumárenských zmesí patria sadze, ktoré zlepšujú spracovateľnosť, chránia pred UV žiarením a vo všeobecnosti upravujú fyzikálne a mechanické vlastnosti a navyše markantne znižujú cenu výrobku. Sadze majú v kaučuku stužujúci účinok, ktorý je tým väčší, čím je menšia veľkosť častíc sadze (zväčšuje sa povrch).

Plnivá môžeme rozdeliť do troch základných skupín:

- sadze (aktívne a neaktívne);
- svetlé plnivá (aktívne a neaktívne);
- ostatné.

Svetlé plnivá (v literatúrach tiež pod názvami anorganické plnivá alebo minerálne plnivá) predstavujú veľkú skupinu prírodných a syntetických plnív. Účinok svetlých plnív vo vulkanizáte závisí najmä na veľkosti ich povrchu a kompatibilitou so základnou matricou. Na základe pôsobenia plniva na vulkanizát môžeme rozlišovať plnivá aktívne a neaktívne. Aktivita plnív sa prejavuje v ich stužujúcom účinku. Medzi povrchom plnív a kaučukovou zmesou dochádza k vzniku chemických väzieb. Okrem vybraných druhov sadzí (MPC, HAF) je pomerne často používaným aktívnym plnivom oxid kremičitý tiež nazývaný silika.

Neaktívnymi plnivami a teda plnivami, ktoré nemajú stužujúci účinok, môžu byť napr. kaolín alebo krieda. Účel ich použitia je čisto ekonomický. [1,3,5]

## 1.4 Ochranný systém

Aj po vulkanizácii a zosieťovaní polyméru, je polymér náchylný k starnutiu a stráca požadované vlastnosti. Stabilizáciou polyméru môžeme priebeh starnutia spomaliť alebo dočasne úplne zastaviť. K tomu účelu sa využívajú nasledujúce tri spôsoby:

- volí sa polymér, ktorý v predpokladaných podmienkach najmenej starne;
- polymér sa modifikuje, prípadne sa povrchovo chráni;
- pridávajú sa stabilizačné prísady – antidegradanty.

Antidegradanty je možné rozdeliť do týchto piatich skupín:

- antioxidanty a antiozonanty (najdôležitejšie);
- činidlá chrániace proti účinkom svetla (UV absorbéry);
- ochranné vosky;
- prísady potlačujúce hydrolýzu funkčných skupín;
- akceptory rozkladných produktov.

V zosieťovanom polymére ostávajú aj po vulkanizácii dvojité väzby, ktoré sú napadané kyslíkom a ozónom. Aj keď obsah ozónu vo vzduchu nie je príliš veľký, je omnoho agresívnejší ako kyslík. Vznikajú tak nestabilné peroxidy či ozonidy, ktoré sa radikálovo štiepia, čím dochádza k narušeniu štruktúry a teda starnutiu pryže. Tento proces sa dá výrazne spomaliť použitím látok nazývaných antioxidanty a antiozonanty.[1, 2, 3]

## 1.5 Spracovateľský systém

Dôležitou vlastnosťou zmesi pri výrobe, je jej spracovateľnosť. Tým sa myslí jej plasticita, tvarovateľnosť a lepivosť. Preto sa do kaučukových zmesí pridávajú látky, ktoré v rôznej miere ovplyvňujú spracovateľnosť zmesi a tým aj vlastností vulkanizátu. Prenikajú medzi makromolekuly kaučuku, zväčšujú ich priemernú vzdialenosť, znižujú prepletenie, obmedzujú vnútorné trenie medzi molekulami a uľahčujú tak preskupovanie hmoty. [1, 3]

### 1.5.1 Zmäkčovadlá a plastifikátory

Zmäkčovadlá a plastifikátory sú látky, ktoré znižujú plasticitu a tým uľahčujú mechanické spracovanie. Najčastejšie sa používajú rôzne minerálne oleje. Vulkanizát tak môžeme de-

formovať s použitím menšej sily, je menej tuhý a má nižšiu teplotu krehnutia. Nevýhodou však je, že prítomnosť zmäkčovadla spôsobuje zhoršenie mechanických vlastností pryže.

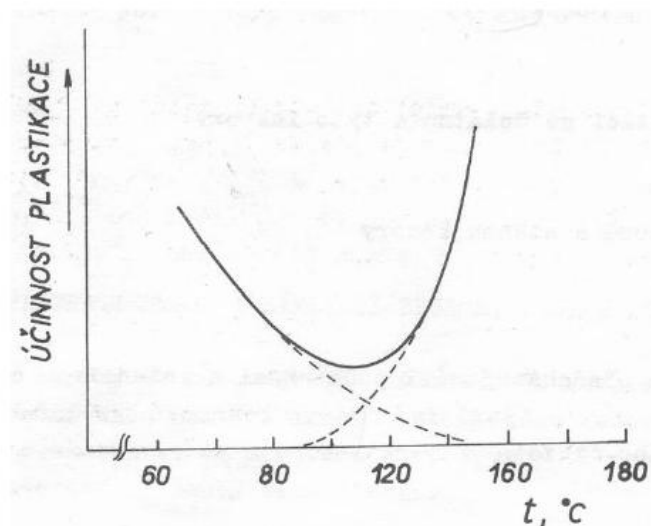
Použité zmäkčovadlá musia byť dobre miešateľné s kaučukom, musia mať nízku viskozitu a to aj v širokom rozsahu teplôt, taktiež musia mať dobrú tepelnú stabilitu, nemali by byť jedovaté a prchavé a v neposlednom rade musia byť dostupné za nízku cenu. [1, 3]

## 2 PRÍPRAVA KAUČUKOVEJ ZMESI

Príprava kaučukových zmesí a zvlášť ich miešanie predstavuje jednu s najdôležitejších procesov v gumárenskom priemysle. Gumárenské zmesi je možné pripravovať na dvojvalcových strojoch (kalandroch), v hnetáčoch alebo kontinuálnych hnetáčoch. [3]

Miešaním zložiek popísaných v predchádzajúcej kapitole sa tvorí homogénna zmes použiteľná pri ďalšom spracovaní. Aby sme dosiahli rovnaké vlastnosti pryže v celom objeme výrobku, je dôležité, aby bola v procese prípravy kaučukovej zmesi zaistená rovnomerná disperzia prísad v kaučuku. Podmienky pre optimálne zamiešanie prísad je možné dosiahnuť použitím kaučukov s riadenou viskozitou, poprípade vlastnou plastikáciou kaučuku. [1]

Princípom plastikácie (tiež nazývanej ako odbúravanie, mastikácia alebo lámanie) kaučukov je zníženie ich strednej molekulovej hmotnosti, z čoho vyplýva zvýšenie ich plasticity a teda zníženie tuhosti. Plastikácia sa realizuje hnetením na dvojvalcových strojoch - kalandroch, pričom prebieha intenzívne chladenie, alebo v hnetacích strojoch za zvýšenej teploty (až nad 140°C) z dôvodu lepšej účinnosti plastikácie. V prípadoch, kedy je naopak kvôli zhoršeniu mechanických vlastností odbúravanie kaučuku nežiaduce, realizuje sa miešanie pri teplotách len okolo 90°C. Účinnosť plastikácie v závislosti na teplote je vidieť na nasledujúcom Obr. 3. [3, 6]



Obr. 3: Účinnosť plastikácie v závislosti na teplote [3]

### 2.1 Miešanie na dvojvalci

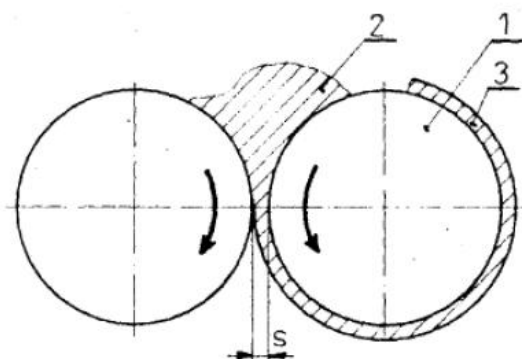
Miešanie na dvojvalci patrí dnes k už pomerne zastaraným technológiám. Zariadenie sa skladá z dvoch ocelo-liatinových valcov, ktoré sú rovnobežne a horizontálne uložené a

otáčajú sa proti sebe rôznou rýchlosťou. Odlišnú rýchlosť valcov točiacich sa proti sebe nazývame sklz. Sklz valcov zvyčajne býva v pomere 1:1,2 až 1:1,5. Pre syntetické kaučuky s malou pevnosťou sa využíva menšieho sklzu. Valce sú duté, kvôli tomu aby mohli byť v priebehu procesu chladené vodou alebo prípadne ohrievané parou.

Pri hnetení kalandrom sa na prednom valci vytvára súvislá vrstva zmesi, ktorá sa nazýva opásanie. Prebytok zmesi sa hromadí nad medzerou medzi valcami a označujeme ju ako návalok. Šírka štrbiny medzi valcami sa nastavuje ručne a nazýva sa skus.

Dvojvalce sa v gumárenskej výrobe obvykle využívajú pri:

- plastikácii kaučukov,
- miešaní zmesi,
- chladení zmesi,
- predohreva zmesi.



Obr. 4: Miešanie zmesi na dvojvalci (1 – valec, 2 – návalok, 3 – skus) [3]

Dôležitou je pri miešaní na dvojvalci voľba správnej navážky. Jej veľkosť je závislá na hustote, plasticite a zložení zmesi. Maximálny objem je však možné vypočítať podľa nasledujúceho vzťahu:

$$V = 65 \cdot D \cdot l \quad (1)$$

Pričom  $V$  [dm<sup>3</sup>] predstavuje objem,  $D$  [m] je priemer valcov a  $l$  [m] predstavuje dĺžku valcov. Doba miešania závisí od množstva zmesi. Pre kaučukovú zmes o hmotnosti 40 kg sa pohybuje približne medzi 20 až 30 minútami.

Medzi výhody miešania na dvojvalci môžeme zaradiť veľkú plochu valcov, ktorá umožňuje rovnomernú teplotu hmoty a zabraňuje tak jej prehriatiu. Naopak nevýhodou sú dlhé miešacie časy, nízka produktivita a kvalita miešania, ktorá je plne závislá na práci obsluhy.

Pre zlepšenie procesu miešania na dvojvalci by mali byť splnené nasledujúce predpoklady:

- prítomnosť návalku,
- prekrajovanie a prekladanie plástu [1, 3]

## **2.2 Miešanie v hnetacích strojoch**

Stále zložitejšie požiadavky priemyslu a predovšetkým mohutný nástup syntetického kaučuku si vyžiadali postupné vytvorenie produktívnejších metód a zariadení, ktoré by dokázali efektívne miešať aj tuhšie zmesi a splniť požiadavky výroby. Bolo tak treba vyvinúť nové spôsoby chladenia, zvyšovali sa požiadavky na výkon a otáčky a na druhej strane vznikali problémy s rýchlym opotrebovaním. Výrobcovia tak museli prejsť k dokonalejším konštrukciám s využitím kvalitnejších materiálov.

Postupným vývojom dokonalejších hnetacích strojov s vyššími otáčkami došlo k časovej úspore až 70% v porovnaní so staršími typmi strojov. Zmesi je taktiež možné miešať naraz a nemusia sa pridávať postupne po dávkach, aby nedošlo k preťaženiu motoru ako tomu bolo na starších zariadeniach.

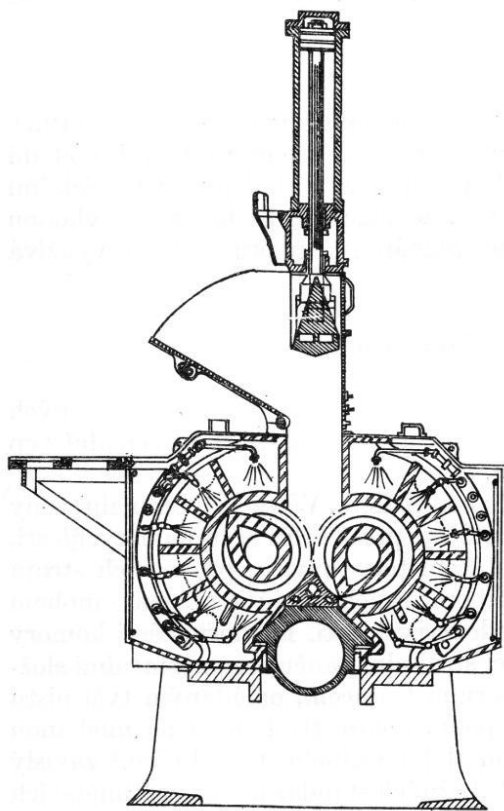
Pod ďalšie zefektívnenie hnetacích zariadení sa podpísala napríklad zmena vypúšťacieho uzáveru, ktorá výrazne urýchlila vypúšťanie zamiešanej zmesi alebo vstrekovanie zmäkčovadiel priamo do komory, čím sa takisto výrazne šetrí čas potrebný predovšetkým na čistenie. [3]

K výrobe veľkých objemov kaučukových zmesi sa používajú predovšetkým tlakové hnetacie s prítlačným horným uzáverom, kde sa zmes hnetie pod tlakom v uzavretej komore účinkom otáčania dvoch tvarovaných hnetadiel. Rozdiel v rýchlostiach medzi hnetadlami (sklz) sa pohybuje v rozmedzí od 1:1 do 1:1,15 v závislosti na geometrii hnetadiel.

Účinnosť miešania je závislá na rýchlosti otáčania hnetadiel, tlaku prítlačného uzáveru, na dobe miešania a teplote. Pre ideálne premiešanie zmesi je taktiež dôležité, do akej miery je zaplnená pracovná komora.

Pri tlakovom miešaní dochádza k značnému zohrievaniu zmesi a z toho dôvodu je nutné temperovať steny komory.

Veľkou výhodou hnetáčov je jednoduchá automatizácia cyklu, lepšia bezpečnosť pre obsluhu, nižšia potreba energie a takisto pracovných síl a hlavne vyšší výkon. [2, 3]



Obr. 5: Hnetací stoj Banbury [3]

Výsledná homogenita zmesi je veľmi závislá od poradia v akom sú jednotlivé zložky počas miešania do zmesi pridávané. Pre dosiahnutie čo najlepšej homogenity sa odporúča dodržiavať nasledujúcu kontinuitu pridávania zložiek:

- ako prvé je vhodné pridávať prísady, ktoré sú dávkované v malých množstvách (antioxidanty, pigmenty, oxid zinočnatý apod.),
- následne primiešať v niekoľkých dávkach stužujúce plnivá v poradí od viac stužujúcich až po nestužujúce,
- s poslednou dávkou plniva alebo bezprostredne po pridaní plnív je vhodné pridať zmäkčovadlá. Nestužujúce plnivá by sa mali pridávať v kombinácii so zmäkčovadlami.
- vulkanizačné činidlá sa pridávajú až ako posledné za dôslednej kontroly teploty zmesi.[3,7]

### **2.2.1 Kontinuálne miešanie kaučukových zmesí**

Požiadavky na zvyšovanie produkcie, úspor energie, ale aj na zvyšovanie kvality viedli k vývoju hnetáčov s plynulou kontinuálnou prevádzkou. Ide o jednošnekové, prípadne viacšnekové stroje.

Kaučuk plastifikovaný v hnetacích strojoch padá do paletizéru alebo do šnekového vytlačovacieho granulačného stroja s čistením, v ktorom sa prevádza do formy peliet alebo sa plastikuje v plastikátore s paletizačnou hlavou. Vysušené a ochladené palety sa mechanicky alebo pneumaticky dopravujú do centrálného zásobníku u hnetacieho stroja. Miešanie zmesi sa riadi automaticky.

medzi najznámejšie typy hnetáčov umožňujúcich kontinuálne hnetanie patria stroje Rotomil, Banbury, Gordon či Farrel CM.[3]



### 3 LEPIVOSŤ

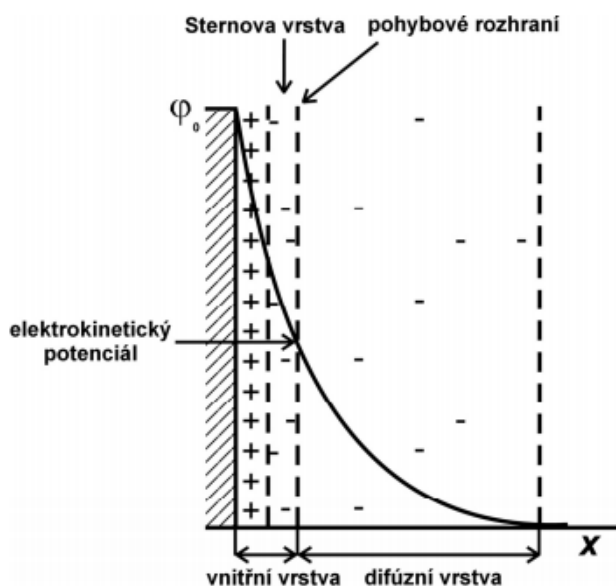
Norma ČSN EN 923 definuje lepiivosť ako vlastnosť materiálu umožňujúca tvorbu lepeného spoja ihneď po uvedení kontaktu s iným povrchom. Problematika lepiivosti sa skúma vzájomné pôsobenia vnútorných – kohéznych síl a povrchových – adhéznych síl.

Adhézna sila, ktorá pôsobí na jednotku plochy sa nazýva merná alebo špecifická adhézia (prilnavosť) a je ju možné vyjadriť vzťahom, ktorý opisuje adhéziu častice na pevnom povrchu v gravitačnom poli pôsobiacom proti adhézii.

$$P = \frac{4}{3} \cdot r \cdot g \cdot \rho_1 - \rho \quad (2)$$

V uvedenom vzťahu predstavuje písmeno  $P$  mernú adhéziu [-],  $r$  je polomerom častičky [m],  $\rho_1$  [kg/m<sup>3</sup>] značí hustotu častičky,  $\rho$  je hustota prostredia [kg/m<sup>3</sup>] a  $g$  [m/s<sup>2</sup>] predstavuje gravitačné zrýchlenie.

Zaoberať sa mernou adhéziou má význam len v takom prípade, ak je v definovaných podmienkach závislá len na vlastnostiach povrchov častíc. Vo vode za prítomnosti elektrolytov je určená veličinami elektrickej dvojvrstvy, čo je vidieť na nasledujúcom Obr. 6. V prípade kvapalného prostredia, kde nie sú prítomné elektrolyty, je veľkosť adhézie určená adsorpčnou vrstvou. Adsorpcia predstavuje exotermický proces a jej energetický charakter sa dá vyjadriť pomocou nasledujúcej termodynamickej rovnice. [8]



Obr. 6: Štruktúra elektrickej dvojvrstvy podľa Sterna [8]

$$\Delta G_{AD} = \Delta H_{AD} - T \Delta S_{AD} \quad (3)$$

$\Delta G_{AD}$  predstavuje v rovnici zmenu voľnej energie,  $\Delta H_{AD} [KJ.mol^{-1}]$  a  $\Delta S_{AD} [J.K^{-1}]$  sú zmeny entalpie a entropie a  $T [K]$  značí teplotu. [8]

Lepivosť (tackiness, building tack alebo building tackiness) a pevnosť za surova (green strength) sú veľmi dôležité parametre pri príprave väčšiny gumárenských zmesí. Môžeme rozlišovať dva typy lepivosti:

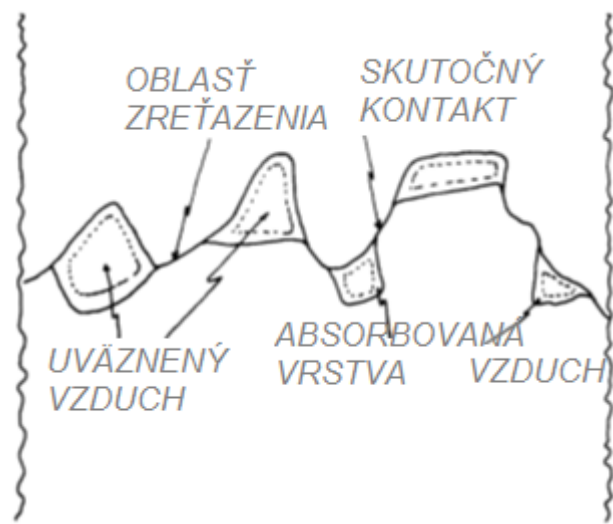
- Adhezívna lepivosť pre lepenie materiálov rôzneho zloženia, ktoré sa v pneumatikárskej výrobe využíva na rozhraní medzi kaučukom a kordom či prípadne textilom.
- Autoadhezívna lepivosť je taká lepivosť, kedy majú obidva materiály prichádzajúce do kontaktu rovnaké chemické zloženie.

Pevnosť za surova je odpor kaučuku k deformácii a roztrhnutiu pred jeho vulkanizáciou. Kaučukové zmesi by mali disponovať aspoň minimálnou lepivosťou a pevnosťou za surova. Lepivosť je dôležitá najmä z toho pohľadu, že mnoho častí, z ktorých sa skladá surová pneumatika musí držať pevne pohromade až po vulkanizáciu. V pneumatikárskej výrobe sú požiadavky nielen na okamžitú krátkodobú lepivosť, ale predovšetkým aj na dlhodobú, pretože medzitým ako je surový plášť poskladaný na konfekcii, až po jeho samotné lisovanie, prebehne často pomerne dlhá doba (creep resistance).

Pre zaistenie vysokej lepivosti kaučukovej zmesi by mali byť dodržané tri hlavné podmienky:

- lepené povrchy musia prísť do dokonalého molekulárneho kontaktu;
- musí dôjsť k vzájomnej difúzii polymérnych reťazcov cez dotykovú plochu;
- vzniknuté väzby musia byť schopné odolať pretrhnutiu pod napätím, čo znamená, že pre dosiahnutie vysokej lepivosti je nutná dobrá pevnosť za surova. [10, 11]

Pri mikroskopickom pohľade na rozhranie dvoch povrchov (Obr. 7) bezprostredne po rýchlom zlepení malým tlakom, je vidieť veľmi členitý povrch zlepaných materiálov. Spočiatku kontakt nastáva len v oblastiach, v ktorých sú priehlbiny jedného povrchu vyplnené výstupkami druhého. Lepšiemu molekulárnemu kontaktu takisto zabraňuje prítomnosť absorbovaných plynov - vzduch alebo vlhkosť, pokiaľ povrchové nečistoty nedifundujú do objemu materiálu.



Obr. 7: Znárodnenie rozhrania povrchov dvoch kaučukov po rýchlom zlepení malým tlakom [14]

K vzájomnej difúzii chemických reťazcov cez dotykovú plochu môže dôjsť až vtedy, keď je dosiahnutý molekulový kontakt. Proces vzájomnej difúzie je urýchlený obsahom veľkého počtu pohyblivých koncov reťazcov, čo je splnené u kaučukov s nízkou molekulovou hmotnosťou. U polymérov, ktorých štruktúra je viac rozvetvená, je možná rýchlejšia vzájomná difúzia a to z toho dôvodu, že na danú molekulovú hmotnosť obsahujú viacej koncov reťazcov v porovnaní s lineárnymi polymérmí. V minulosti boli vedené spory o tom, či je riadiacim faktorom pri tvorbe lepidých väzieb časová závislosť vzájomnej difúzie alebo nedostatočný molekulárny kontakt, no neskôr však bolo dokázané, že vplyv majú oba faktory a to v závislosti na podmienkach merania, členitosti povrchu a štruktúre kaučuku.

Vysoká pevnosť za surova, ktorá je treťou podmienkou pre dobrú lepidosť, vypovedá o tom, aká veľká je odolnosť väzieb proti pretrhnutiu ťahom. Táto charakteristika odlišuje lepidé kaučuky od jednoduchých nízkomolekulárnych kvapalín. Napriek tomu, že kvapôčky kvapalín ľahko dosahujú molekulárny kontakt a vzájomnú difúziu (spojenie jednotlivých kvapiek), majú tieto kvapaliny veľmi nízku kohéznu pevnosť a z toho dôvodu aj nízku lepidosť. Naopak, krehké pevné látky zas majú vysokú kohéznu pevnosť, ale nie sú schopné toku a vzájomnej difúzie. Dobrú lepidosť vykazujú iba polyméry pod teplotou skleneného prechodu  $T_g$ , u ktorých nastáva rovnováha medzi pohyblivosťou molekúl nutnej k utvoreniu väzieb a vysokou kohéznu pevnosti, ktorá zas zaručuje pevnosť v ťahu. [11,12]

Pevnosť kaučuku môže byť považovaná za hornú maximálnu hodnotu lepidosti. Preto bola definovaná relatívna lepidosť ako pomer medzi absolútnou lepidosťou a pevnosťou za su-

rova meranými v rovnakom usporiadaní. Relatívna lepivosť teda predstavuje podiel potenciálnej lepivosti, ktorá bola pri meraní skutočne dosiahnutá.

K úplnému molekulárnemu kontaktu a vzájomnej difúzii reťazcov, čo znamená, že lepivosť je limitovaná pevnosťou, môže dôjsť vtedy, keď je hodnota relatívnej lepivosti ne vulkanizovanej kaučukovej zmesi rovná jednej. Pokiaľ sa pevnosť naopak približuje nule, je lepivosť obmedzená iba na molekulárny kontakt a vzájomnú difúziu.

Pevnosť amorfných kaučukov (kaučuky neschopné kryštalizácie pod napätím) je spôsobená zamotaniami. Pod molekulovou hmotnosťou pre tvorbu zamotania je pevnosť nízka. Na základe uvedeného faktu je možné tvrdiť, že k vývinu vysokej lepivosti, je nutná dôkladná vzájomná difúzia reťazcov. K vytvoreniu lepičných väzieb odolných pretrhnutiu pod napätím je nutné, aby nastala difúzia polymérnych molekúl z oboch lepených povrchov do dostatočnej vzdialenosti za dotykovú plochu. Pre dosiahnutie vysokej lepivosti sú vhodné kaučuky kryštalizujúce pod napätím, ako napríklad NR, ktorý má vysokú pevnosť aj v prípade, že má vplyvom spracovania nízku viskozitu, kvôli malej dĺžke reťazcov. Kryštalizácia pod napätím nie je účinná v momente tvorby lepičných väzieb (teda nezasahuje do kontaktu a vzájomnej difúzie), ale vyvíja sa až pri vonkajšom namáhaní a teda behom merania lepivosti.

Existuje niekoľko syntetických elastomérov, ktoré kryštalizujú pod napätím a majú zrovnateľnú alebo ešte väčšiu lepivosť ako NR (napr. trans-polybutadién apod.). Medzi ďalšie výhody kryštalizácie pod napätím je, že k dosiahnutiu vysokých hodnôt lepivosti je potreba nižšieho stupňa vzájomnej difúzie. Ako už bolo zmienené, u nekryštalizujúcich reťazcov je potreba pre vznik zamotaní difúzia do mnoho väčších vzdialeností od dotykovej plochy. Je možné, že reťazce NR, ktoré difundujú iba do zlomku tejto vzdialenosti, budú aj napriek tomu kryštalizovať pod napätím a budú vykazovať vysokú pevnosť.

Pre vývoj dobrej lepivosti je kryštalizácia pod napätím síce výhodná, ale pre elastomér, ktorý je v nezaťaženom stave, je čiastočná kryštalinita úplne nežiaduca, kvôli tomu, že výrazne obmedzuje pohyblivosť reťazcov nutnú k vytvoreniu vysokej lepivosti. Uvedený fakt vysvetľuje, prečo majú čiastočne kryštalizované EPR alebo EPDM kaučuky len veľmi slabú lepivosť.

Zvyšovanie pevnosti bežne používaných amorfných elastomérov ako napríklad SBR bolo v minulosti skúšané viacerými metódami:

- čiastočným zosieťovaním;

- modifikáciou štruktúry polymérov;
- zvýšením molekulovej hmotnosti;
- pridaním malého množstva iného polyméru;
- pridaním plniva;
- zvýšením teploty skelného prechodu  $T_g$ .

Uvedenými metódami je síce možné výrazné zvýšenie pevnosti, no lepiivosť je naopak väčšinou znížená a to kvôli tomu, že v týchto prípadoch je kohézna pevnosť zvýšená na úkor tekutosti. [12, 13, 14, 15]

### **3.1 Mechanizmy adhézie**

Aby mohli byť adhézne vlastnosti materiálov a hlavne gumárenských zmesí optimalizované, je nevyhnutné rozlišovať pojmy adsorpcia, vzájomná difúzia – interdifúzia a vzájomná blokácia – interlokácia. Tak ako je adsorpcia vlastnosťou nevyhnutnou pre proces konfekcie pri výrobe pneumatík, tak aj silná interdifúzia môže spôsobiť problém s odvíjaním jednotlivých polotovarov z kaziet. Vzájomná blokácia (interlokácia) vysvetľuje adhéziu niektorých zmesí k drsným povrchom.

#### **3.1.1 Adsorpcia**

Adsorpcia (van-der-Waalsove sily) je definovaná ako adhézia príťažlivými silami medzi materiálmi. Adsorpcia môže byť buď fyzikálna alebo chemisorpcia atómov alebo molekúl, ktoré existujú na povrchovom rozhraní. Hlavnými faktormi sú styčná plocha (viskozita, geometria), povrchová energia, uhol odtrhnutia a rýchlosť odtrhnutia. Jej praktické využitie je u lepiivosti na hladké povrchy a u krátkodobej príľnavosti. [7, 31]

#### **3.1.2 Interdifúzia**

Kaučuková príľnavosť a auto-adhézia sú taktiež pripisované k intermolekulárnej spleti na povrchovom rozhraní. Existuje pomerne dosť dôkazov o tom, že vývoj adhéznych väzieb je značnou zásluhou difúzie segmentov polymérnych reťazcov na povrchovom rozhraní. Hlavnými faktormi sú plocha prestúpenia, kontaktná doba a tlak, pohyblivosť reťazca (molekulová hmotnosť, kryštalinita a rozvetvenie) teplota a rýchlosť odtrhnutia. Praktické využitie interdifúzie je u príľnavosti so zvýšenou kontaktnou dobou.

### 3.1.3 Interlocking

Ide o kaučukovú adhéziu k drsným alebo poréznym povrchom, ktorá môže byť zapríčinená mechanickým prepletením polymérnych reťazcov. Rovnako ako v prípade interdifúzie, je založená na flexibilita schopnosti reťazcov zniesť Brownov pohyb (ide o neustály a chaotický pohyb častíc) na submolekulárnej úrovni. Hlavnými faktormi na pôsobenie sú kontaktná plocha, kontaktný čas a tlak, teplota, pohyblivosť reťazcov (molekulová hmotnosť, kryštalinita a rozvetvenie) a rýchlosť odtrhnutia. Praktické využitie interlockingu je u príľnavosti na hrubé povrchy ako napríklad drsné valce kalandrov. [7, 16, 31]

## 3.2 Konfekčná lepivosť

Konfekčná lepivosť charakterizuje schopnosť povrchov nevulkanizovanej kaučukovej zmesi lepiť navzájom alebo k inej kaučukovej zmesi po krátkom čase po aplikácii relatívne nízkeho tlaku. Táto vlastnosť môže byť veľmi nepríjemná pri manipulácii s nevulkanizovaným materiálom, ale naopak je dôležitá pri konfekcii surových plášťov, pretože zaisťuje súdržnosť nevulkanizovaných poskladaných polotovarov pred ich vulkanizáciou.

Norma ČSN 63 0002 – Gumárenská terminológia definuje pojem konfekčná lepivosť nasledovne: „Vlastnosť spôsobujúca, že povrchy nevulkanizovaného kaučuku alebo kaučukovej zmesi, ktoré sú v priamom kontakte, príľnú k sebe; umožňuje spracovanie kaučukových zmesí tzv. konfekciou, čo znamená zostavovanie a zlepovanie jednotlivých dielov polotovarov budúceho produktu; vyrába sa tak náročné zboží obsahujúce väčšinou výstuže, napr. plášte, dopravné pásy, klinové remene, hadice.“ [17]

Pri meraní konfekčnej lepivosti sa navzájom pritlačia dva povrchy testovaného materiálu a potom sa meria sila potrebná k ich odtrhnutiu. Pri meraní je potrebné presne riadiť čas a teplotu kontaktu. Namerané hodnoty závisia aj na rýchlosti separácie. V praxi sú však namerané výsledky značne variabilné.

K meraniu konfekčnej lepivosti bola vymyslená celá rada rôznych prístrojov. Niektoré z nich sú prenosné (vhodné pre skúšky vo výrobe) a niektoré pre skúšky v laboratóriu. konfekčnú lepivosť je možné merať napríklad na prístroji Tel- Tak Tackmeter, ktorý používa dva prúžky nevulkanizovaného materiálu.

V prístroji Tel- Tak Tackmeter sú k sebe obidva prúžky nevulkanizovaného materiálu pritlačené v pravom uhle, tak aby bolo možné dobre definovať plochu dotyku. Potom ako sú obidva prúžky pritlačené určitým tlakom po danú dobu, sú nasledovne ťahom a zvolenou

rýchlosťou oddelené a zaznamenaná sa maximálna sila potrebná na odlepenie. Tento prístroj môže byť použitý aj v prípadoch, keď potrebujeme zmerať lepivosť kaučukovej aj k iným než kaučukovým povrchom (napr. ku kovu alebo textilu). Ďalšie metódy merania konfekčnej lepivosti budú podrobne spracované v nasledujúcich kapitolách.[7, 16]

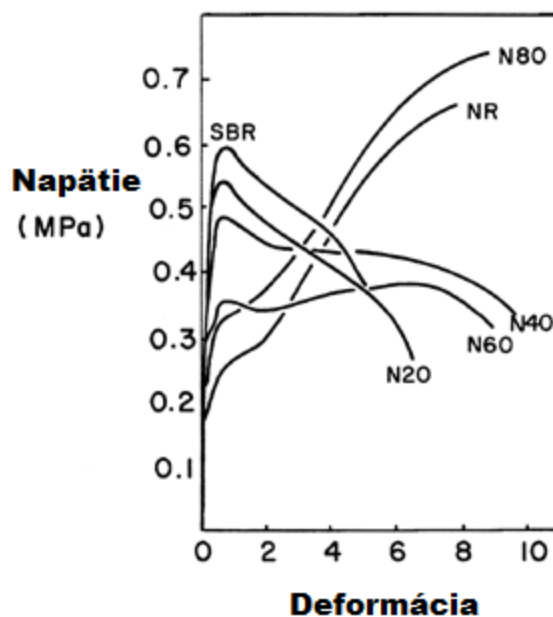
### **3.2.1 Vplyv zloženia zmesi na konfekčnú lepivosť**

Zloženie kaučukovej zmesi má samozrejme obrovský vplyv na lepivosť. Správne zloženie zmesi dokáže lepivosť krátkodobo ale aj dlhodobo zvýšiť. Naopak, niektoré prídavky v gumárenských zmesiach lepivosť znižujú. V nasledujúcej časti budú uvedené charakteristiky zloženia zmesi, ktoré sú schopné lepivosť najviac ovplyvniť. Patrí medzi ne pomer prírodného a syntetického kaučuku, molekulová hmotnosť kaučuku a takisto veľkosť prídavku plnív či konfekčných živíc.

#### ***Pomer prírodného a syntetického kaučuku***

Najväčší vplyv na konfekčnú lepivosť z pohľadu zloženia zmesi má podiel prírodného/syntetického kaučuku v zmesi. NR má lepivosť zo všetkých kaučukov najvyššiu a práve pri vysokom zastúpení NR v zmesi nie je ani často nutné lepivé vlastnosti zlepšovať. Cena NR je však veľmi vysoká a tak sa často nahrádza syntetickými kaučukmi, ktoré sú lacnejšie, ale na druhej strane ich konfekčná lepivosť je oveľa nižšia a to najmä z dôvodu zlých tokových vlastností nutných k vytvoreniu molekulárneho kontaktu.

Najvyššie lepivostné vlastnosti dosahuje zmes s 80% podielom NR a 20% podielom SBR, čo je možné vidieť na nasledujúcom Obr. 8 znázorňujúcom ťahovú skúšku zmesí o rôznych pomeroch zastúpenia NR/syntetický kaučuk.



Obr. 8: Ťahová skúška zmesí rôzneho pomeru NR/SBR s 50 dsk sadzí (rýchlosť merania je  $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  [11])

V nasledujúcej Tab. 1) je vidieť porovnanie lepivosti, pevnosti a relatívnej lepivosti zmesí s rôznymi pomermi prírodného a syntetického kaučuku, kde je však nutné zohľadniť prídavok 50 dsk sadzí (HAF), ktoré pôsobia na lepivosť NR a SBR opačne. [10,11, 19]

Tab. 1: Porovnanie lepivosti zmesí s rozdielnym pomerom NR/SBR (vlastné spracovanie)[11]

Označenie vzorky	Zloženie zmesi [%]		Lepivosť [N/m]	Pevnosť [N/m]	Relatívna lepivosť [-]
	NR	SBR			
SBR	0	100	400	1700	0,24
N20	20	80	700	1770	0,4
N40	40	60	1940	2600	0,75
N60	60	40	2060	2210	0,93
N80	80	20	3010	3150	0,96
NR	100	0	1920	3460	0,86

### Molekulová hmotnosť kaučuku

Všeobecne platí, že so zvyšujúcou sa molekulovou hmotnosťou sa zvyšuje účinkom znehynbenia zapletení kohézná pevnosť. Na druhej strane však po prekročení maxima klesá lepivosť. V oblasti nízkych molekulových hmotností je molekulová hmotnosť rovná jednej, ale absolútna lepivosť je nízka z dôvodu malej kohéznej pevnosti. Síce dochádza jed-

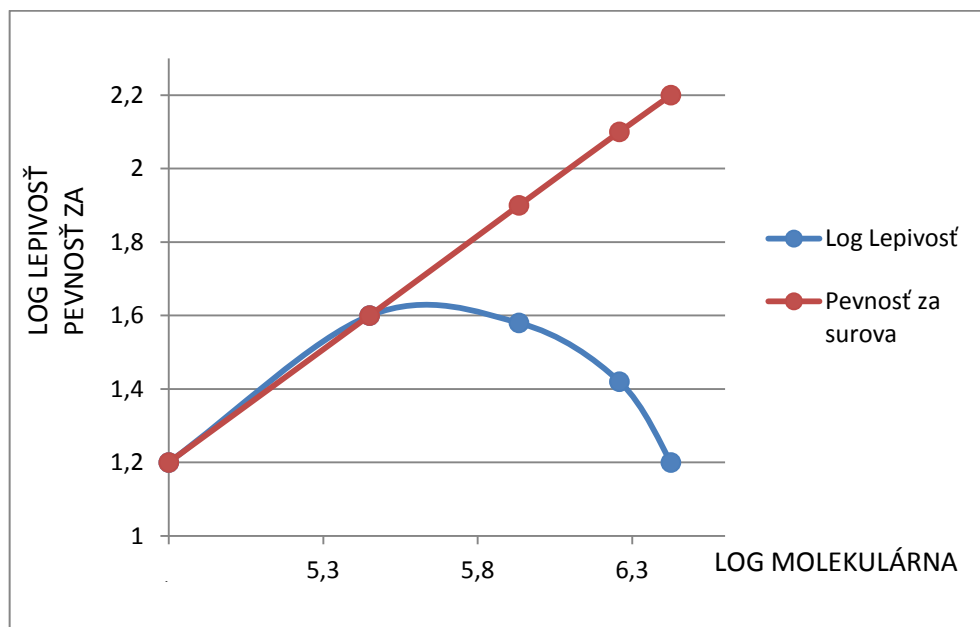


noduchšie ku kontaktu a vzájomnej difúzii, avšak vplyvom viskózneho toku môžu byť kratšie reťazce jednoduchšie rozpletené alebo prípadne roztrhnuté.

No v opačnej situácii, u vysokých molekulových hmotností, tam kde nie je lepivosť limitovaná nízkou pevnosťou, je vzhľadom na výrazne obmedzenú pohyblivosť reťazcov molekulárny kontakt a teda aj vzájomná difúzia pomalá, čo znamená, že lepivosť je opäť nízka.

Z uvedených informácií vyplýva, že ak sa chce pri príprave zmesi dosiahnuť zmes s vysokou lepivosťou, je potrebné, aby bola nájdená rovnováha medzi rýchlou difúziou a vysokou pevnosťou.

Molekulová hmotnosť je ovplyvniteľná dobou hnetenia. [10, 18, 19]



Graf 1: Vplyv molekulovej hmotnosti prírodného kaučuku na lepivosť a pevnosť (vlastné spracovanie)[10]

### ***Vplyv plnív***

Je dokázané, že pokiaľ ide o lepivosť NR, je pridanie aktívneho plniva (sadze, silika) pre lepivosť prínosné. Pridaním plniva je síce zmenšený povrch potrebný pre medzimolekulárny kontakt a vzájomnú difúziu, no na druhej strane je to kompenzované zvýšením pevnosti za surova.

Malé množstvo sadzí, ktoré môže byť použité napr. iba z dôvodu odfarbenia zmesi nemá na lepivosť vplyv, no naopak veľké množstvo plniva zase lepivosť znižuje. S rastúcou veľkosťou častíc plniva lepivosť aj pevnosť klesá.

Vplyv prídavku sadzí ma iný vplyv na NR a iný na syntetické kaučuky. Pri plnení HAF sadzami o veľkosti podielu 40 dsk, môže dôjsť až k trojnásobnému zvýšeniu lepivosti. Relatívna lepivosť pritom ostáva stále okolo čísla jedna, z čoho je možné vydedukovať, že lepivosť rastie vplyvom zvýšenia pevnosti plnivom.

U umelých kaučukov nedochádza k interdifúzii tak jednoducho ako v prípade NR. Po pridaní 40 dsk sadzí typu EPC dochádza k ďalšiemu zhoršeniu medzifázovej interakcie a následnému zníženiu lepivosti až na tretinu pôvodnej hodnoty. [10, 19, 20, 21]

### ***Vplyv prídavku konfekčných živíc***

Konfekčnú lepivosť kaučukových zmesí je možné zvýšiť tzv. konfekčnými živícami. Väčšinou sa jedná o látky, ktoré sú tvrdé a krehké a samy o sebe nelepia. Môžu to ale byť aj látky silne lepkavé a mazľavé. Účinkom prídavku týchto živíc by mala byť zvýšená lepivosť a to nielen krátkodobá, čo znamená, že kaučuková zmes si túto zvýšenú lepivosť určitú dobu uchováva a preto sa živice pomerne často využívajú najmä tam, kde je časový nesúlad medzi výrobou, spracovaním a vulkanizáciou kaučukovej zmesi.

Konfekčné živice je možné rozdeliť do piatich základných skupín:

- Deriváty – kalafuny – Ich hlavnou zložkou je kyselina abietová, ktorá je zvyčajne esterifikovaná polyolmi. Následne je hydrogénovaná a dimérovaná alebo disproporcionovaná kvôli zlepšeniu tepelnej stability a zvýšeniu odolnosti proti starnutiu.
- Alifaktické živice – získavajú sa pri krakovaní ropy.
- Kumaron – indenové živice – využívajú sa pre zvýšenie konfekčnej lepivosti NR, U syntetických kaučukov nie sú také účinné. Sú získavané z frakcie čierouhoľného dechtu. Hlavnými zložkami týchto živíc sú kumaron, inden, styren a methylstyren.
- Terpenové oligoméry – získavajú sa z kmeňov borovíc. Sú používané k získaniu vysokej krátkodobej lepivosti (lepivosť ihneď po zlepení kaučukov).
- Fenol – formaldehydové živice obsahujúce alkylové skupiny. Využívajú sa pri potrebe zvýšenia konfekčnej lepivosti u syntetických kaučukov a pre zvýšenie adhézie ku kordovej tkanine pneumatík. Zvyšujú tzv. dlhodobú lepivosť.

Molekulová hmotnosť konfekčných živíc býva väčšinou v rozmedzí 500 až 2000 g.mol<sup>-1</sup>. Ich teplota mäknutia je niekde medzi 50 – 150 °C. Zvyčajne majú nízku kompatibilitu

s elastomérmi. Sú menej kompatibilné v porovnaní so zmäkčovadlami, ale viac kompatibilné oproti plnivám.

Do kaučkových zmesí sa väčšinou dávajú v množstve 1 -10 dsk. Bolo preukázané, že pridané živice sú vo výraznejšej miere rozvrstvené na povrchu finálnej zmesi než vo vnútri.

Pridávanie živíc do zmesí ma dva hlavné účely a to:

1. zlepšená počiatočná (krátkodobá) lepivosť;
2. zlepšená dlhodobá lepivosť (zabránenie rozlepeniu dielov počas dlhších časových úsekov ako napr. skladovanie).

Zatiaľ čo pre SBR a zmesi NR/SBR obstarávajú konfekčné živice obe vyššie menované funkcie, u NR zmesí je dôležitejšia druhá funkcia – zlepšená dlhodobá lepivosť. Pre výrobu pneumatík sú najefektívnejšie fenolické živice. No aj napriek svojej veľmi dobrej účinnosti nedokážu dostať lepivosť SBR zmesí na úroveň NR a to z dôvodu nízkej pevnosti SBR oproti NR. V nasledujúcej Tab. 2 je prehľad jednotlivých typov živíc a ich vplyv na lepivosť syntetických kaučukov. Vplyv lepivosti je vyčíslený po pridaní množstva 10 dsk jednotlivých živíc.[22, 23]

Tab. 2: Vplyv rôznych typov živíc na lepivosť (vlastné spracovanie)[22]

Prísada	Lepivosť [kPa]
–	0,15
kumaronová živica	0,15
glycerol ester hydrogénované kalafuny	0,15
methyl ester hydrogénované kalafuny	0,2
borovicová živica	0,25
kalafuna	0,25
motorový olej	0,35
pentaerythritol ester hydrogénované kalafuny	0,45
maleovaný pentaerythritol ester kalafuny	0,5
poly-β-pinen, teplota mäknutia 110°C	0,8
t-oktylfenol-formaldehyd	0,85
poly-β-pinen, teplota mäknutia 115°C	0,85
poly-β-pinen, teplota mäknutia 85°C	1

### 3.2.2 Vplyv technológie spracovania na konfekčnú lepidivosť

Ďalším spôsobom, ktorým je možné vplývať na konfekčnú lepidivosť gumárenských zmesí je technológia spracovania. Bolo dokázané, že faktory ako napríklad teplota, doba hnetenia či drsnosť povrchu môžu ovplyvniť výslednú konfekčnú lepidivosť. Vplyv jednotlivých faktorov na lepidivosť je popísaný v nasledujúcej kapitole.

#### *Teplota*

Na veľkosti lepidivosti zmesi sa v určitej miere podieľa teplota a tepelná história zmesi. Pri príprave materiálu počas miešania v hnetačoch a kalandroch dochádza k šmykovému namáhaniu a tým zahrievaniu a skracovaniu reťazcov. Ďalším tepelným namáhaním je napríklad následné nanášanie zmesi na textíliu či oceľ, alebo vytlačovanie profilov apod.

Priama súvislosť medzi teplotou a lepidivosťou bola dokázaná aj pri meraní lepidivosti. Pokiaľ sú povrchy skúmaných látok spojené pri laboratórnej teplote, ale samotné meranie prebieha pri teplote o niečo vyššej, tak sa lepidivosť s rastúcou teplotou znižuje, čo je predovšetkým spôsobené znížením pevnosti za surova pri zvýšení teploty. Keby sme uvedený príklad zrealizovali naopak, čo znamená zlepenie vzoriek pri vyššej teplote, kde je posilnená tvorba lepidivostných väzieb, tak by bolo priaznivo ovplyvnené následné meranie lepidivosti uskutočnené pri nižšej laboratórnej teplote.

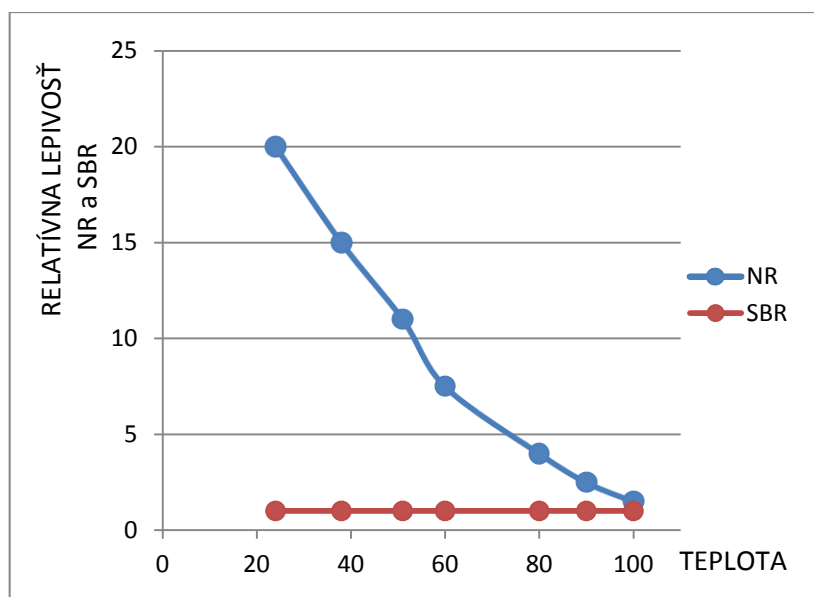
Zvýšenie prípadne zníženie lepidivosti pri zvýšenej teplote je pomerne ťažké posúdiť vzhľadom, že tu pôsobia dva protichodné javy – zhoršenie lepidivosti vplyvom straty pevnosti pri vyššej teplote a zlepšenie lepidivosti kvôli jednoduchšej difúzii. To, ktorý z uvedených javov lepidivosť ovplyvňuje je možné vyčítať s hodnoty relatívnej lepidivosti pri laboratórnej teplote. Ak je relatívna lepidivosť pri laboratórnej teplote blízko čísla jedna, nemôže zlepenie za vyššej teploty ďalej zvyšovať lepidivosť, ale naopak, lepidivosť je znižovaná vplyvom zníženia kohéznej pevnosti.

Za zvýšených teplôt je pevnosť prírodných kaučukov výrazne znížená. Je to spôsobené rozpletaním zapletení kvôli nízkej viskozite, ale tiež neschopnosťou elastomeru kryštalizovať pod napätím blízko teploty tavenia.

Vplyv teploty na lepidivosť u SBR je úplne rozdielna. Syntetické kaučuky s vysokou molekulovou hmotnosťou majú pri laboratórnej teplote nízku relatívnu lepidivosť kvôli tomu, že styčnými plochami veľmi zle tvoria lepidivostné väzby. Zníženie pevnosti pri zvýšenej tep-

lote je tak u nich kompenzované zlepšením lepivosti, takže celkovo sa relatívna lepivosť s teplotou nemení (Graf 2).

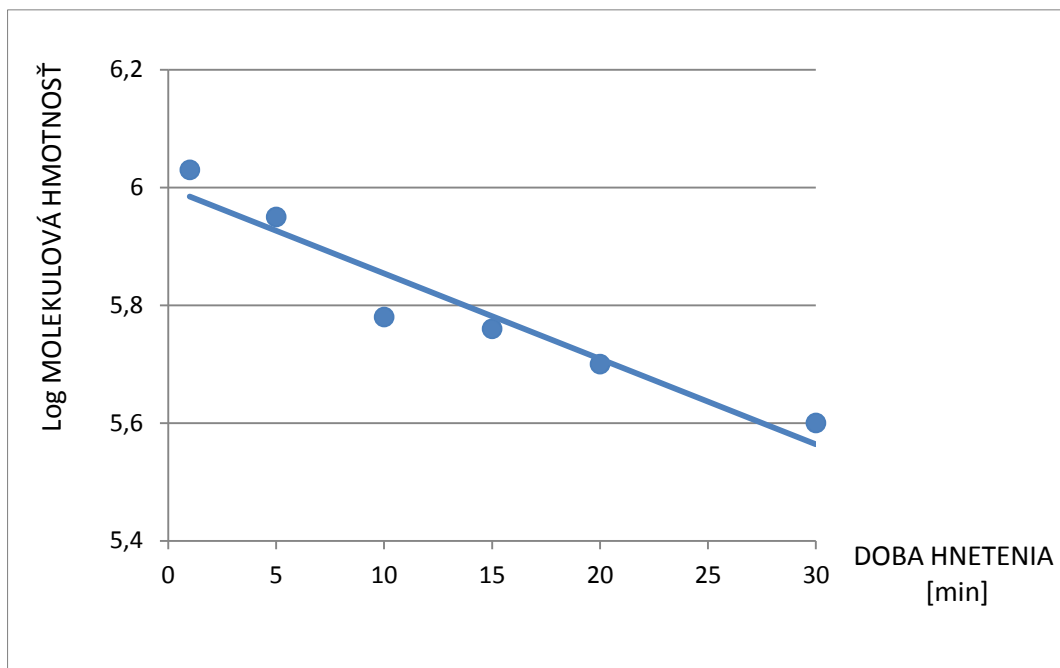
U viacerých polymérov bola pozorovaná kritická teplota, pod ktorou klesla lepivosť na nulu. Táto kritická teplota bola vo všetkých prípadoch výrazne vyššia ako teplota skleného prechodu a všetky pozorované polyméry pri nej mali približne rovnakú viskozitu, zo čoho je možné definovať minimálne tokové vlastnosti nutné pre zaistenie lepivosti. [10, 24]



Graf 2: Vplyv teploty na relatívnu lepivosť NR a SBR (vlastné spracovanie)[10]

### ***Doba hnetenia***

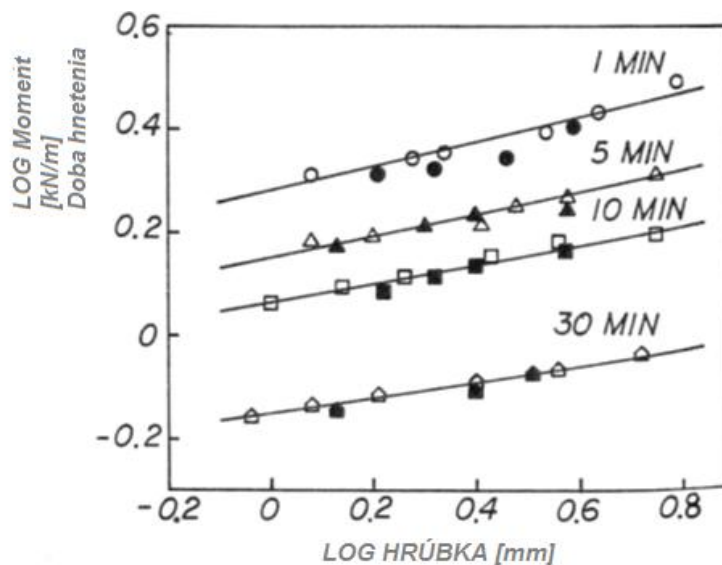
Dobou hnetenia na kalandri je možné ovplyvňovať a tým aj riadiť molekulovú hmotnosť kaučukov. Molekuly NR je možné pôsobením šmykového namáhania jednoducho štiepiť a to hlavne v prítomnosti kyslíku. Nasledujúci graf č. 3 zobrazuje vplyv doby hnetenia na molekulovú hmotnosť NR.



*Graf 3: Vplyv doby hnetenia na molekulovú hmotnosť (vlastné spracovanie)*

Doba hnetenia má taktiež vplyv na pevnosť za surova, ktorá sa znižuje rovnako ako aj viskozita, čím sa zlepšujú tokové vlastnosti a dosiahnutie kontaktu počas utvárania lepiivostných väzieb. Aj napriek tomu, že minimálne šmykom namáhaný NR vykazuje spevnenie pod napätím, ktoré je spôsobené kryštalizáciou pod napätím, tak po dôkladnom hnetení sa vlastnosti NR veľmi približujú amorfnému a nekryštalizovateľnému elastoméru akým je napríklad styren-butadienový kaučuk (SBR).

Na Obr. 9 je znázornený vplyv doby hnetenia NR a hrúbky materiálu na lepiivosť a pevnosť za surova. Hodnoty lepiivosti sa približujú pevnosti za surova, čo znamená, že pred meraním lepiivosti došlo takmer ku kompletnej interdifúzii. Ďalej je možné z grafu vyčítať, že pevnosť za surova rastie s hrúbkou vzorky v dôsledku rozptýlenia energie vo väčšom objeme materiálu. Pevnosť je meraná odtrhávacím testom.



Obr. 9: Vplyv doby hnetenia NR a hrúbky materiálu na lepiivosť (plné značky) a pevnosť (prázdne značky)[25]

SBR nie je v porovnaní s NR až tak citlivý na šmykové namáhanie, čo znamená, že jeho lepiivosť je pri rovnakej dobe hnetenia ovplyvnená menej. Po príliš dlhom hnetení tak môže vykazovať NR nižšiu lepiivosť ako SBR a to aj napriek tomu, že pri primerane dlhej (stredne) dlhej dobe hnetenia je lepiivosť NR oproti SBR o mnoho lepšia.

Uvedené skutočnosti vypovedajú o tom, že pre výslednú lepiivosť je veľmi dôležité sledovať nielen zloženie zmesi, ale aj všetky výrobné kroky a hlavne tie, kde dochádza k šmykovému namáhaniu. Z hľadiska praxe je veľmi výhodný fakt, že korelácia medzi molekulovou hmotnosťou a lepiivosťou má pomerne široké maximum, čo umožňuje značnú variabilitu pri miešaní zmesí obsahujúcich NR bez výrazného poklesu lepiivosti či pevnosti.[10, 25]

### ***Doba kontaktu a tlaku***

Existuje pomerne veľké množstvo štúdií zaoberajúcich sa vplyvom doby kontaktu a tlaku na konfekčnú lepiivosť. J. D. Skewis z výskumného inštitútu Rubber Company napríklad dokázal, že pri stlačení na dobu iba jednej sekundy je lepiivosť prírodného kaučuku takmer rovnaká ako pevnosť za surova, zatiaľ čo syntetické kaučuky vykazujú výraznejšie známky zvýšenia lepiivosti až so zvýšenou dobou kontaktu. Rovnaká závislosť bola preukázaná aj u lepenia rôznymi tlakmi po rovnakú dobu. Zistené výsledky pomerne jasne vypovedajú o tom, že NR je schopný vytvoriť kontakt prípadne interdifúziu rýchlejšie ako syntetický

kaučuk. Z výsledkov však nie je možné vyvodit', či je nízka relatívna lepivosť SBR spôsobená predovšetkým neúplným kontaktom alebo nedostatočnou interdifúziou.

McLeod a Forbes pri svojich pozorovaniach preukázali, že lepivosť kaučukov môže dosahovať hodnoty pevnosti a to v závislosti na dobe od zlepenia, čím dôjde k dosiahnutiu jednotkovej relatívnej lepivosti. To znamená, že pri dlhej dobe kontaktu a zároveň vysokom tlaku sa nemeria lepivosť ale pevnosť materiálu.[10, 24, 27]

### ***Drsnosť povrchu***

Na lepivosť má značný vplyv aj drsnosť povrchu. Čím sú materiály prichádzajúce do styku hladšie, tým sa môže väčšia časť povrchu podieľať na vzniku väzieb. Hamed [11] v jednej zo svojich publikácií ukazuje vplyv drsnosti povrchu na lepivosť kaučukov pomocou vzoriek, ktoré boli lisované proti podkladom rôznych drsností. Pri uvedenom pokuse boli použité hladké a lesklé fólie z PE, hliníku, Mylaru, Tedlaru, ďalej bolo použité bavlnené plátno s nízkou drsnosťou a PP tkanina, ktorá má vysokú drsnosť a je používaná vo výrobcách k separácii pri návine na cievku. Výsledky uvedeného skúmania ukazuje nasledujúca Tab. 3, v ktorej je spolu s lepivosťou NR a SBR uvedená taktiež povrchová energia jednotlivých povrchov.



Tab. 3: Vplyv drsnosti povrchu na lepidivosť (vlastné spracovanie) [11]

Podklad	Povrchová energia [N.m <sup>-1</sup> ]	Lepivosť [kN.m <sup>-1</sup> ]	
		SBR	NR
PVF fólia	0,020	1,61	2,06
PET fólia	0,041	1,56	2,05
PE fólia	0,031	1,31	2,01
Hliníková fólia	0,800	0,68	2,28
Bavlnené vlákno	0,039	0,40	1,92
PP tkanina	0,032	<0,02	1,27

V uvedenej Tab. 3 je vidno, že lepidivosť prírodného kaučuku bola u hladkých povrchov plus – mínus na podobnej úrovni. Výrazný pokles lepidivosti však nastal v prípade kontaktu s hrubou PP tkaninou.

Lepivosť SBR je o niečo viac variabilnejšia. Pri kontakte s veľmi hladkým povrchom nedosahovala lepidivosť syntetického kaučuku hodnoty NR. U drsnejších povrchoch je pri pohľade na lepidivosť značný pokles, čo znamená, že SBR nie je pri kontakte s drsným povrchom schopný okamžitého toku a vytvorenia dokonalého kontaktu povrchov, ktorý je dôležitý pre dobrú lepidivosť. [11]

#### ***Ostatné faktory vplyvajúce na lepidivosť***

Konfekčná lepidivosť je pomerne ťažko opísateľná veličina a má na ňu vplyv mnoho faktorov. A tak je veľmi náročné definovať a postihnúť všetky faktory, ktoré lepidivosť ovplyvňujú. Okrem už vyššie popísaných faktorov treba pri skúmaní a meraní lepidivosti myslieť takisto aj na starnutie zmesi, ktoré sprevádza oxidácia zmesi, účinky ozónu, vplyv vlhkosti, vykvitanie prísad apod.

- Oxidácia kyslíkom – kaučuk s vysokým obsahom dvojitéch väzieb má tendenciu o veľa ľahšie zosieťovať na povrchu, čo zhoršuje interdifúziu, ktorá je potrebná k lepidivosti. Stratenú lepidivosť je čiastočne možné obnoviť zdrsnením povrchu. [26]
- Vplyv ozónu – ozón umožňuje výrazne znížiť molekulovú hmotnosť reťazcov na povrchu kaučuku. Povrch je tak vhodný k dosiahnutiu molekulárneho kontaktu a vzájomnej difúzie v kratšej dobe. Zníženie molekulovej hmotnosti má však negatívny vplyv na pevnosť a tak nesmie byť táto vrstva príliš hrubá. Takisto predstavuje zní-

žená molekulová hmotnosť riziko menšej pevnosti lepeného spoja po vulkanizácii. [27]

- Vplyv vlhkosti – veľkosť vplyvu vlhkosti na lepivosť závisí predovšetkým na hygroskopicitate zmesi (schopnosti zmesi absorbovať vodu). Oproti kyslíku, ktorý so zmesou môže reagovať, je vzdušná vlhkosť iba absorbovaná, čím sa vytvára bariéra pre molekulárny kontakt povrchov a vzájomná difúzia reťazcov je tak spomalená. Minimálne množstvo absorbovanej vlhkosti však s najväčšou pravdepodobnosťou nebude mať významný vplyv na tvorbu lepivostných väzieb. Ako bolo zmienené v kapitole 3.2.1., pridaním živíc je možné spomaliť starnutie zmesí a udržať aj dlhodobejšie pôvodné hodnoty konfekčnej lepivosti. Tab. 4 ukazuje vplyv prídania rôznych množstiev živíc na uchovanie lepivostných vlastností zmesi po dobu troch dní, počas ktorej bola zmes vystavená 80% vlhkosti. Výsledky jasne preukazujú pozitívny vplyv prídavku živíc na uchovanie lepivostných hodnôt zmesi v čase, čo je vo výrobe veľmi potrebné vzhľadom na to, že polotovary nie sú väčšinou spracované ihneď po príprave zmesi. [10, 20]
- Vykvitanie prísad – pod pojmom vykvitanie zmesi sa rozumie prenikanie niektorých prísad zmesi na povrch. Najčastejšie sa jedná o síru, prípadne urýchľovače, oleje apod. Prítomnosť cudzej látky na povrchu tak výrazne znižuje lepivosť. Vykvitanie síry spôsobuje prekročenie jej teploty rozpustnosti pri spracovaní zmesi. Predísť tomuto problému je možné zaistením nižších teplôt pri spracovaní alebo použitím nerozpustnej síry. Vykvitanie na niektorých polotovaroch sa môže prejaviť aj pri letných horúčavách počas skladovania. Je dôležité upozorniť na to, že vykvitanie má za následok nielen zníženie lepivosti, ale takisto negatívne ovplyvňuje kvalitu vulkanizátu vzhľadom na nerovnomerné rozptýlenie vulkanizačných činidiel v celom objeme. [7, 10]

Tab. 4: Vplyv prídania konfekčnej živice na zníženie lepivosti v čase (vlastné spracovanie)

[10]

t- oktylfenol-formaldehydová konfekčná živica [dsk]	Lepivosť [kPa]	
	Počiatočná	Po 3 dňoch pri 80% vlhkosti
0	235	94
1,5	228	166
3	245	213
5	229	235

## 4 MERANIE LEPIVOSTI

Meraním konfekčnej lepidivosti a konštrukciou špeciálnych meracích zariadení sa zaoberalo mnoho výskumov. Pri meraní konfekčnej lepidivosti sa dá oprieť o základné techniky a predpoklady využívané pri testovaní lepených spojov za pomoci lepidiel a preto aj zariadenia a postup u viacerých spôsobov merania konfekčnej lepidivosti je rovnaký alebo veľmi podobný.

Zariadenie na meranie by malo spĺňať určité predpoklady. Manipulácia s ním by nemala byť príliš komplikovaná a pokiaľ by sa vyskytla chyba merania, mala by ostať konštantná počas celého merania, aby tak neovplyvnila priebeh celej funkcie. Energia porušenia spoja, by mala byť získaná priamo z vlastností vzorky.

Medzi najznámejšie spôsoby merania lepidivosti patrí odtrhávajúce čelných spojov (butt-joint test, Obr. 10), odlupovací test (T-peel test, Obr. 11), torzné porušenie, odtiahnutie alebo štiepenie. [7, 28]



Obr. 10: Metóda odtrhávania čelných spojov [28]

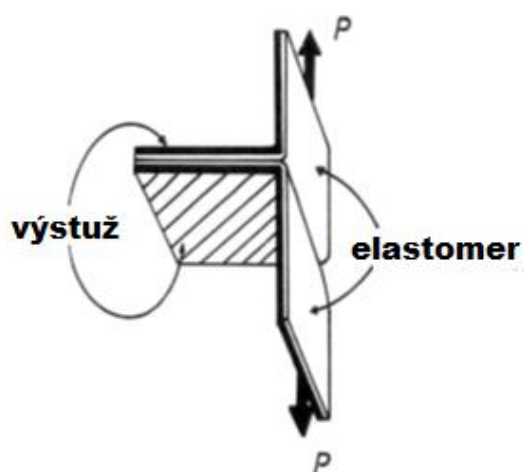
Jednou z najrozšírenejších metód merania pevnosti adhézneho spoja je odlupovanie tenkej vrstvy adhézíva z pevného povrchu alebo od rovnakého flexibilného podkladu. Princípom je priama úmernosť adhéznej pevnosti a lomovej (odtrhovej) energie, z čoho môžeme vyjadriť rovnicu.

$$P \cdot (1 + e - \cos\theta) = G_a + t \cdot U \quad (3)$$

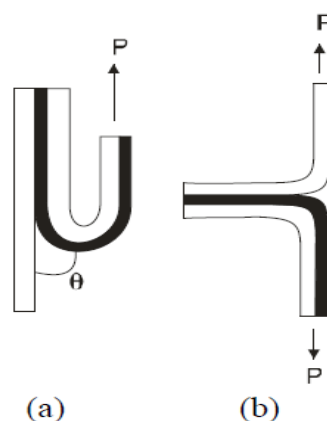
$P$  v rovnici predstavuje *adhéznú pevnosť* [kN] vztiahnutú na jednotku šírky,  $t$  je *hrúbka odlupovaného prúžku* [m],  $e$  predstavuje *ťažné napätie*,  $G_a$  *lomovú (odtrhovú) energiu* [J/m<sup>2</sup>] a  $U$  je *hustota energie* [J/m<sup>3</sup>] získaná odlúpeným pásikom. V realite sa používajú prúžky dosť pevné na to, aby nedochádzalo k výraznému predlžovaniu a naťahovaniu sa,

preto sú pri uhle odlupovania väčšom ako  $45^\circ$  veličiny  $e$  a  $U$  zanedbateľne malé a na základe toho je možné upraviť uvedenú rovnicu, čím získame nasledujúci vzťah.

$$P = \frac{G_a}{1 - \cos\theta} \quad (4)$$

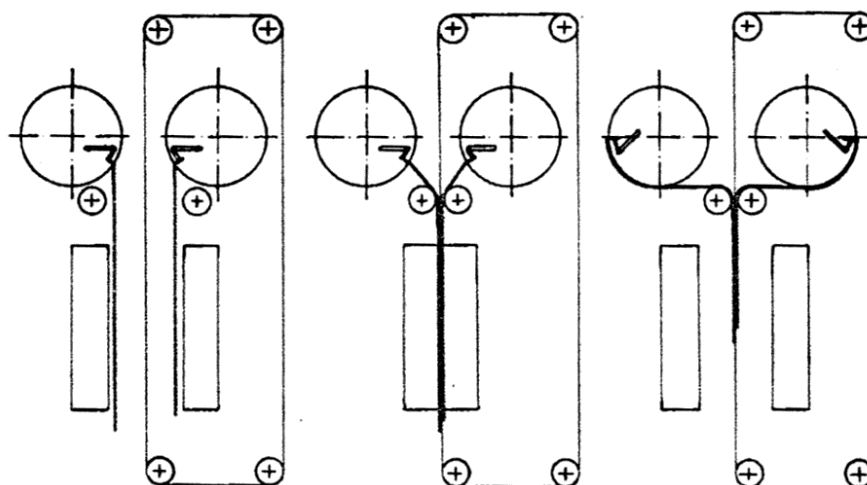


Obr. 11: Odlupovací test [21]



Obr. 12: Odlupovací test, (a) z pevnej podložky, (b) z podobnej flexibilnej podložky [29]

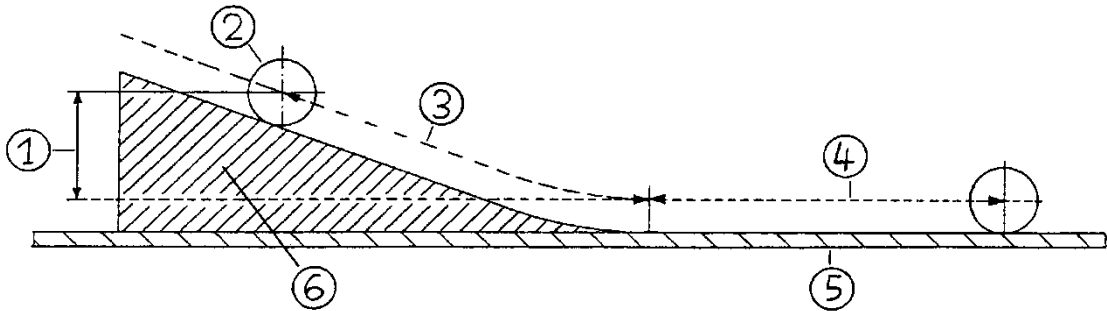
Pre meranie lepidlosti pomocou odlupovacieho testu boli zostrojené špeciálne prístroje, ktoré vzorky pred odtrhnutím sami zlepia. Príkladom je prístroj Ketjen tackmeter (Obr.16), ktorý pozostáva z dvoch hriadeľov navíjajúcich vzorky a lisu. K meraniu lepidlosti ide tiež použiť aj univerzálne skúšobné zariadenie používané pre ťahové skúšky. [30]



Obr. 13: Prístroj Ketjen tackmeter pre meranie lepidlosti [30]

#### 4.1 Metóda rolling ball

Princíp merania lepivosti pomocou metódy rolling ball spočíva v spustení ocelejovej guľôčky zo stanovenej výšky ( $H_s$ ) po naklonenej rovine štartovacej rampy na horizontálne položený povrch skúšanej vzorky. Dráha, ktorú guľôčka urazí po skúšanom povrchu je nepriamo úmerná lepivosti skúšaného povrchu (čím je kratšia dráha, tým je väčšia lepivosť). [31]



Obr. 14: Schéma zariadenia [31]

- |                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1) Štartovacia výška $H_s$ | 4) Dráha odvalenia (Meraná dráha) |
| 2) Ocelejová guľôčka       | 5) Skúšaný materiál               |
| 3) Zrýchľujúca dráha       | 6) Naklonená rovina               |

#### 4.2 Metóda X

Táto metóda je prototypom koncernu Continental a využíva sa iba v niekoľkých vybraných fabrikách, jednou z nich je napríklad Continental Barum, s.r.o. v Otrokoviciach. Z toho dôvodu nie je možné zverejňovať pravý názov metódy a niektoré ďalšie detaily. Pre účel diplomovej práce sa bude táto metóda označovať pod názvom X.

Princípom metódy X je, že povrch skúšanej vzorky je pritlačený k povrchu druhej skúšobnej vzorky konštantnou silou po stanovenú dobu. Maximálna sila potrebná pre separáciu skúšobných vzoriek je zaznamenaná silomerom a zobrazená prostredníctvom digitálneho displeja. Veľkosť nameranej sily je potom úmerná veľkosti lepivosti.

Pre uskutočnenie merania je potrebný elektronický testor. Orientačný princíp mechanizmu je popísaný a znázornený na podobnom zariadení na Obr. 15. [31]

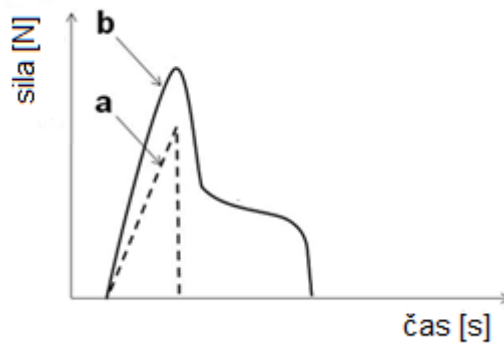


Obr. 15: Skúšobný prístroj [31, 33]

### 4.3 Metóda Y

Metóda Y je ďalšou z metód vyvinutých špeciálne pre koncern Continental a preto ju pre účely diplomovej práce nie je možné označiť pravým menom a použiť autentické fotografie.

Táto metóda spočíva v skúške ťahom pomocou špeciálnej čeľuste vyvinutej pre tento účel. Čeľusť drží slučku, ktorá sa skladá z podkladového výstužného pásiku a jedného z kontaktných vzoriek, zatiaľ čo je druhá vzorka umiestnená pod slučkou za účelom vytvorenia lepiaceho kontaktu. Táto metóda umožňuje rozlíšiť mechanizmus adhézie rozpoznáním typu odtrhnutia vzoriek – adhézneho alebo kohézneho odlepenia. Typ adhezívneho mechanizmu môže byť identifikovaný vyhodnotením ťahovej krivky ako výsledku tejto skúšky. Pík ostrého odtrhnutia je charakteristický pre adsorpciu (adhézne odlepenie), zatiaľ čo rameno tejto píky indikuje príspevok interdifúzie (kohézne odlepenie) k celkovej adhézii. [31, 34]



Obr. 16: Typický tvar ťahových kriviek slučkového testu behom odtrhávania [31]

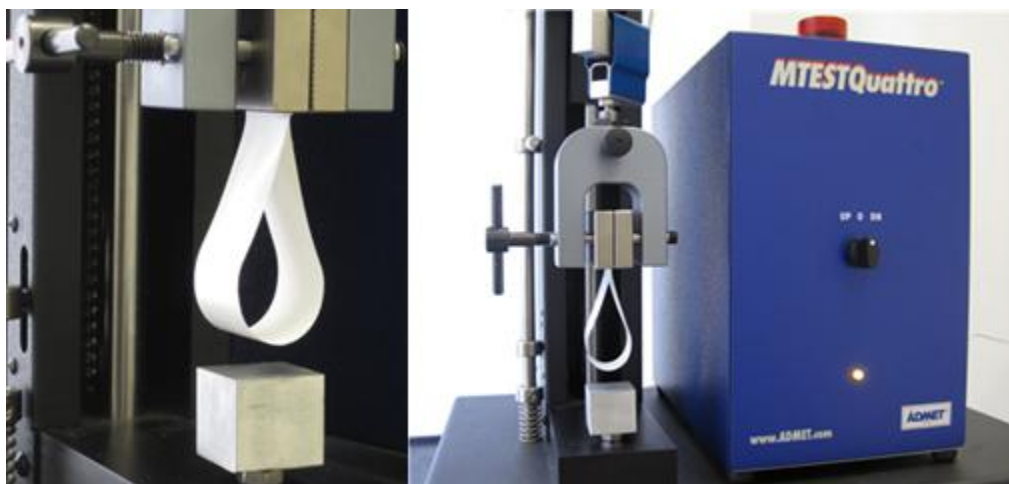
(a - Adhezívne odlepenie, b - Kombinácia adsorpcie a interdifúzie - kohezívne odlepenie)

Adhezívne oddeľovanie znamená porušenie adhezívneho spoja a prebieha cez trhliny na rozhraní medzi podkladom a adhezívnym povrchom.

Pri kohezívnom odtrhávaní dochádza k porušeniu vnútornej kontaktnej vrstvy. Odlepenie je riadené viskóznym tokom.

Pre vykonanie merania pomocou metódy Y je potrebné ťhacie zariadenie, ktoré dokáže zaznamenať ťhaciu silu. Súčasťou zariadenia je stojan pre slučku a podkladová doska.[31, 34]

Princíp zariadenia je ukázaný na Obr. 17. Zariadenie na fotografii je však iba ilustračné a nemusí stopercentne zodpovedať skutočnosti.



Obr. 17: Zariadenie pre ťhaciu skúšku a konštrukcia testovacej slučky [31,34]

## 5 MERANIE BEZPEČNOSTI ZMESI A VISKOZITY MOONEY

Meranie viskozity a bezpečnosti zmesi – zistenie pri akej teplote sa zmes začína navulkanizovať sa realizuje na zariadení – Viskozimeter Mooney MV 2000. Viskozimeter Mooney sa používa k testovaniu viskozity pri počiatočnom vytvrdzovaní kaučuku a kaučukových zmesí. Následne sú vyhodnotené štruktúrne a viskózne vlastnosti kaučuku či zmesi. Zariadenie má teplotne regulovanú komoru. Vo vnútri valcovej komory sa otáča plochý rotor. Rotor sa otáča konštantnou rýchlosťou a vyvoláva vo vzorke šmykové napätie. Skúšobná vzorka je v komore zaťažená zadanou teplotou a tlakom. Moment otáčania rotoru je v závislosti na čase. Viskozita Mooney je priamo úmerná momentu. Krútiaci moment sa pohybuje na stupnici jednotiek viskozita Mooney v rozsahu 0 – 100, kde maximálna hodnota 100 odpovedá krútiacemu momentu 8,3 J.

Pomocou tohto prístroja je možné merať:

- viskozitu Mooney;
- relaxáciu Mooney
- dobu do začiatku vulkanizácie (spracovateľská bezpečnosť)

### 5.1 Meranie viskozity a meranie relaxácie

Pri meraní viskozity sa využíva nasledujúci vzťah:

$$ML (t_1 + t_2)T \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{alebo} \quad MS (t_1 + t_2)T \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

ML alebo MS = skúška Mooney s veľkým alebo malým rotorom

$t_1$  = doba predohrevu, komora zavretá, rotor bez pohybu; [min]

$t_2$  = čas šmykovej deformácie v minútach, komora je zavretá, rotor je v pohybe; [min]

T = skúšobná teplota; [ $^\circ\text{C}$ ]

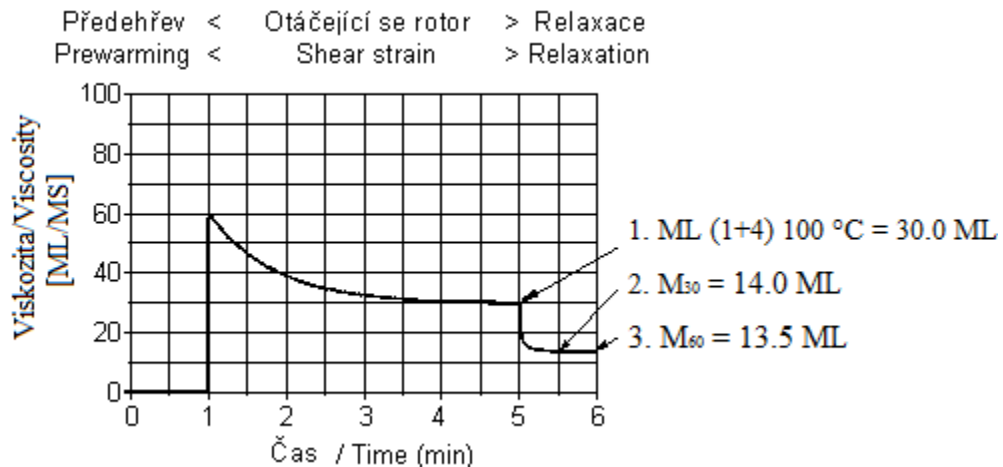
Priebeh poklesu krútiaceho momentu v čase pri zastavenom rotore (tzv. relaxácia Mooney) charakterizuje elastické vlastnosti zmesi, pretože je určený predovšetkým relaxačnými pochodmi v meranom materiáli. Viskozimeter Mooney musí byť pre tento účel schopný zastaviť otáčanie rotoru maximálne behom 0,1 s a snímať krútiaci moment maximálne každé 2 s.



Pri meraní relaxácie sa väčšinou využívajú hlavne dva ukazovatele:

$M_{30}$  = hodnota viskozity Mooney, 30 sekúnd po zastavení rotoru; [ML]

$M_{60}$  = hodnota viskozity Mooney, 60 sekúnd po zastavení rotoru; [ML]  
[31]



Obr. 18: Viskozita Mooney a relaxácia ML (1+4) 100°C [31]

Ďalším užitočným testom na zariadení viskozimeter Mooney je meranie navulkanizovania gumárenskej zmesi (v anglickej literatúre známe pod pojmom tzv. scorch test). Čas navulkanizovania je časom, ktorý uplynul do bodu, kedy začína napaľovanie zmesi (začiatok sieťovania). Test sa robí pri stanovenej teplote, ktorá je zvyčajne 120°C prípadne 140°C. Ako kritérium pre vyhodnotenie testu sa sleduje rast viskozity v jednotkách Mooney (buď rast viskozity o 5 alebo 35 jednotiek oproti minimálnej hodnote). Čas, za ktorý stúpne viskozita o 5 prípadne 35 jednotiek Mooney je potom považovaný za čas bezpečnosti zmesi.

$M_{\min}$  = minimálna hodnota viskozity

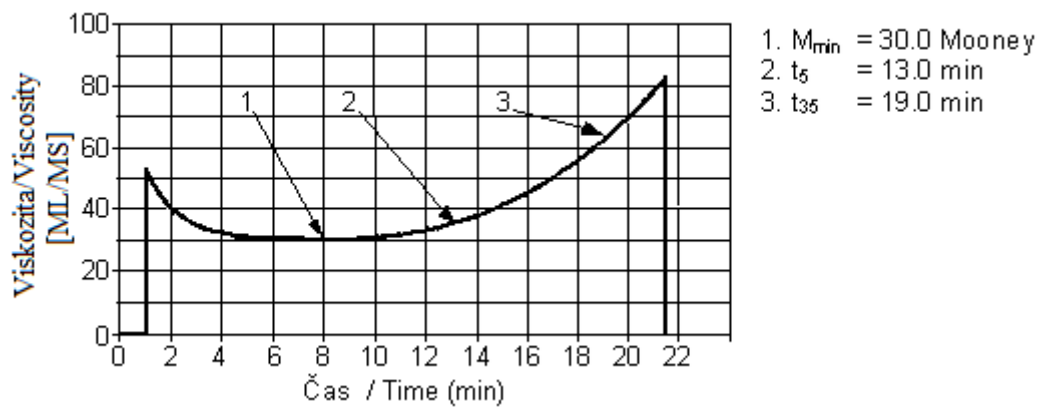
$t_1$  = čas (vrátane času predohrevu) než začne viskozita Mooney stúpať nad minimum viskozity ( $M_{\min}$ ); [min]

$t_5$  = čas (vrátane predohrevu), kedy viskozita Mooney stúpne o požadovaných 5 jednotiek Mooney nad minimum viskozity; [min]

$t_{35}$  = čas (vrátane predohrevu), kedy viskozita Mooney stúpne o požadovaných 35 jednotiek Mooney nad minimum viskozity; [min]

$t$  = čas stúpania, časová diferenciacia medzi dvomi vulkanizačnými časmi

(například  $t_{35} - t_5$ ); [min]



Obr. 19: Meranie priebehu vulkanizácie (napríklad  $t_5$  a  $t_{35}$ ) [31]

## 6 ZHRNUTIE TEORETICKEJ ČASTI

Cieľom úvodnej - teoretickej časti diplomovej práce bolo zhrnutie základných poznatkov problematiky konfekčnej lepivosti gumárenských zmesí. Konfekčná lepivosť je aj v súčasnosti ešte pomerne málo prebádaný problém a najmä v tuzemsku nie je moc autorov, ktorí by sa touto tematikou zaoberali. V zahraničí sa však konfekčnou lepivosťou zaoberalo množstvo rôznych odborníkov a práve ich publikácie boli častým zdrojom v neskoršej fáze teoretickej časti práce. Tvrdenia a hypotézy niektorých autorov boli však častokrát protichodné a názory sa miestami výrazne líšili, čo vypovedá o tom, že problematika konfekčnej lepivosti predstavuje pomerne zložitú oblasť, do ktorej spadá množstvo ďalších oblastí a opiera sa o mnohé či už fyzikálne, chemické alebo mechanické aspekty.

Teoretická časť práce je rozdelená do 4 základných kapitol. V prvej z nich je uvedené, z čoho sa kaučukové zmesi skladajú a ako sa jednotlivé zložky neskôr v hotovej zmesi správajú a ovplyvňujú jej následné vlastnosti. V ďalšej časti sú stručne popísané technológie spracovania a prípravy zmesi, ktoré majú tiež značný vplyv na výslednú lepivosť.

Tretia časť sa už zaoberá samotnou lepivosťou. Na molekulárnej úrovni skúma javy, ktoré nastávajú pri spojení dvoch materiálov. Sú v nej popísané jednotlivé mechanizmy adhézie a podmienky, pri ktorých dochádza k čo najvyššej lepivosti. Takisto sa v nej nachádza vysvetlenie pojmu konfekčná lepivosť. Najdôležitejšou časťou tejto kapitoly je rozbor vplyvu zloženia zmesi a technológie pri jej spracovaní na konfekčnú lepivosť. Ukazuje, že lepivosť môže byť výrazne ovplyvnená pomerom prírodného a syntetického kaučuku v zmesi, prídavkom plnív a živíc alebo technológiou spracovania, ako napríklad dobou hnetenia či teplotou. Teoretické závery z tejto kapitoly poskytujú dobrú základňu pre praktickú časť práce.

V závere teoretickej časti sú popísané niektoré najčastejšie používané metódy, ktorými sa meria konfekčná lepivosť. Sú tu predstavené a schematicky znázornené metódy ako napríklad odlupovací test (peel test), test čelných spojov, metóda rolling ball, Metóda X, Metóda Y a taktiež metóda merania bezpečnosti a relaxácie zmesi pomocou Viskozimetra Aplha Mooney. Práve posledné štyri uvedené metódy budú ďalej využité v praktickej časti práce.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CIELE PRÁCE A STANOVENIE HYPOTÉZ

Prakticky zameraná časť práce bude realizovaná v spoločnosti Continental Barum, s.r.o., kde sa s problematikou konfekčnej lepivosti stretávajú denno-denne, ale aj napriek tomu je tu považovaná za stále málo prebádaný jav, ktorý poskytuje obrovský priestor pre realizáciu rôznych výskumov a experimentov.

Problematickú lepivosť tu vykazujú predovšetkým určité gumárenské zmesi, ale častokrát je pôvod príliš vysokej alebo nízkej lepivosti pomerne neznámy. Spoločnosť využíva v súčasnosti na meranie lepivosti dve metodiky, ale v blízkej budúcnosti sa bude zavádzať tretia – Metóda Y, ktorá bude slúžiť predovšetkým na určenie lepivosti surových zmesí.

Cieľom experimentálnej časti bude:

- Výber najpresnejšej a najspoľahlivejšej metódy merania konfekčnej lepivosti pomocou MSA analýzy;
- Analýza vplyvu odležanosti na konfekčnú lepivosť;
- Analýza vplyvu vlhkosti/sucha na konfekčnú lepivosť;
- Analýza vplyvu teploty prostredia a technologického teplotného ovplyvnenia zmesi na konfekčnú lepivosť.

Stanovené predpoklady a hypotézy vychádzajúce z teoretických znalostí predchádzajúcich častí práce sú:

- Konfekčná lepivosť so stúpajúcou odležanosťou klesá
- Vlhké prostredie znižuje hodnotu konfekčnej lepivosti
- S rastúcou teplotou (do určitej hranice) stúpa konfekčná lepivosť (v závislosti od zloženia zmesi – NR/SBR)

V záverečnej časti budú zhodnotené namerané výsledky a vyvodené závery o vplyvoch skúmaných faktorov na hodnoty konfekčnej lepivosti. Taktiež budú navrhnuté odporúčania a kroky smerom do budúcnosti pre následné pokračovanie výskumu.

## 8 VYŠETRENIE SPÔSOBILOSTI METODÍK MERANIA KONFEKČNEJ LEPIVOSTI

Nasledujúca kapitola bude porovnávať dve hlavné metodiky merania lepidivosti využívané v spoločnosti Continental Barum, s.r.o. Pre zistenie presnosti a spoľahlivosti rôznych metodík sa v tejto spoločnosti štandardne využívajú štúdie MSA.

Prvou využívanou metodikou je tzv. Rolling ball (gulôčka), ktorá sa v nezmenenej podobe využíva už pomerne dlho a druhou je meranie lepidivosti pomocou relatívne novej metódy X, ktorej výhodou je automatizácia procesu merania a tým pádom zníženie pravdepodobnosti ľudskej chyby (napríklad pri odčítaní hodnôt).

Už na prvý pohľad, ale aj podľa skúseností pracovníkov, ktorí sa vo firme aspoň okrajovo zaoberajú lepidivosťou, je Metóda X považovaná za presnejšiu.

Opakovateľnosť, spoľahlivosť a presnosť jednotlivých metód ukážu výsledky realizovaných MSA štúdií. Na základe výsledkov analýz bude zvolená len jedna metóda, ktorá bude následne využívaná v ďalšom priebehu výskumov.

Pre meranie lepidivosti budú v celej experimentálnej časti využívané rôzne typy gumárenských zmesí. Pre účely diplomovej práce budú použité zmesi rozdelené do dvoch skupín:

- Zmes na pogumovanie textilu – označenie A
- Zmes na pogumovanie oceľového kordu – označenie B

### 8.1 MSA štúdia – Rolling ball

Metóda Rolling ball využíva kinetickú energiu gulôčky, ktorá je spustená z rampy. Podľa toho, akú vzdialenosť gulôčka po skúmanom povrchu urazí, taká je lepidivosť daného povrchu. Platí tu nepriama úmernosť, čím kratšia vzdialenosť urazená gulôčkou, tým väčšia lepidivosť skúmaného materiálu. Výsledky lepidivosti sa vyjadrujú v centimetroch.

Pre uskutočnenie štúdie spoľahlivosti metódy rolling ball bola zvolená zmes A1, ktorá sa využíva napríklad pri pogumovaní nultého nárazníku. Ide o pogumovaný polyamid, ktorý sa na plášť aplikuje pod nultým uhlom. Pogumavovanie sa zvyčajne uskutočňuje na 4 valcovej alebo prípadne 5 valcovej linke.

Vzorka bola starostlivo odobraná a zabalená do fólie, pričom bol vysoký dôraz kladený na čo najšetrnejšiu manipuláciu a to, aby vzorka prišla do kontaktu len s fóliou.

Odobraná vzorka, ktorá musela byť dostatočne veľká, bola následne nastrihaná na úzke pásiky o približných rozmeroch 10 cm x 90 cm. Ako dostatočnú základňu pre posúdenie spoľahlivosti tejto metódy sme zvolili 50 pogumovaných pásikov, ktoré boli nastrihané z jedného kusu nárazníku.

Každá manipulácia so vzorkami bola uskutočnená v rukaviciach. Vzoriek sa dotýkalo len za okraje a celkovo sa kládla vysoká pozornosť tomu, aby neboli vzorky nijako ovplyvnené. Taktiež bolo potrebné odstrániť vzdušné bavlnené nite, ktoré sú pretkané nárazníkom a plnia funkciu odvádzania vzduchu pogumovaného materiálu pri následných procesoch konfekcie a lisovania. Vzdušné nite by mohli skresľovať výsledky štúdie. (obr. 15).

Samotné meranie bolo uskutočnené v jeden deň, aby nedošlo k zmene podmienok (vplyv odležanosti, vlhkosti, teploty apod.). Za každým jedným uskutočneným meraním bola guľôčka starostlivo očistená pomocou alkoholu a handričky (obr. 18).



Obr. 20: Meranie lepidivosti pomocou metódy Rolling Ball



Obr. 21: Čistenie guľôčky alkoholom a handričkou

Výsledky analýzy je možné vidieť v nasledujúcom štandardnom MSA formulári využívanom v koncerne Continental.

	<b>Measurement System Analysis</b> Type 1 Study - $C_g/C_{gk}$ Study (Bias and Repeatability)	Area of Application: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">FML</div>																																																																																																																
Plant: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Otrokovice</div>																																																																																																																		
(Data Input in Yellow Fields)																																																																																																																		
<b>Data Acquisition</b>																																																																																																																		
<b>Measurement Gage</b>	<b>Measurement Standard</b>																																																																																																																	
Measurement System: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Rolling ball</div>	Description: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Zmes A1</div>	Date: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">17.3.15</div>																																																																																																																
Identification Number: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	Identification Number: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	Characteristic: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>																																																																																																																
Measurement Range: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	Known Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">57,902</div>	Measurement Unit: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">cm</div>																																																																																																																
Resolution: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,02</div>	Remarks: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>																																																																																																																	
Tolerance Width (TW): <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">26,94</div> <small>(as example, if Tolerance <math>\pm</math> 5, TW = 10)</small>	Process Width (PV): <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div> (if known) <small>(PV = 6 x process st. dev.)</small>																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Repeat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>54,200</td></tr> <tr><td>2</td><td>58,100</td></tr> <tr><td>3</td><td>65,500</td></tr> <tr><td>4</td><td>55,900</td></tr> <tr><td>5</td><td>55,700</td></tr> <tr><td>6</td><td>51,800</td></tr> <tr><td>7</td><td>53,300</td></tr> <tr><td>8</td><td>56,900</td></tr> <tr><td>9</td><td>60,800</td></tr> <tr><td>10</td><td>55,100</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	1	54,200	2	58,100	3	65,500	4	55,900	5	55,700	6	51,800	7	53,300	8	56,900	9	60,800	10	55,100	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Repeat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>11</td><td>61,800</td></tr> <tr><td>12</td><td>58,400</td></tr> <tr><td>13</td><td>56,900</td></tr> <tr><td>14</td><td>53,500</td></tr> <tr><td>15</td><td>62,100</td></tr> <tr><td>16</td><td>58,100</td></tr> <tr><td>17</td><td>67,500</td></tr> <tr><td>18</td><td>53,000</td></tr> <tr><td>19</td><td>60,000</td></tr> <tr><td>20</td><td>57,400</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	11	61,800	12	58,400	13	56,900	14	53,500	15	62,100	16	58,100	17	67,500	18	53,000	19	60,000	20	57,400	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Repeat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21</td><td>51,400</td></tr> <tr><td>22</td><td>63,300</td></tr> <tr><td>23</td><td>58,700</td></tr> <tr><td>24</td><td>65,200</td></tr> <tr><td>25</td><td>58,600</td></tr> <tr><td>26</td><td>56,200</td></tr> <tr><td>27</td><td>52,400</td></tr> <tr><td>28</td><td>60,100</td></tr> <tr><td>29</td><td>58,900</td></tr> <tr><td>30</td><td>64,800</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	21	51,400	22	63,300	23	58,700	24	65,200	25	58,600	26	56,200	27	52,400	28	60,100	29	58,900	30	64,800	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Repeat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31</td><td>51,400</td></tr> <tr><td>32</td><td>60,800</td></tr> <tr><td>33</td><td>64,800</td></tr> <tr><td>34</td><td>65,600</td></tr> <tr><td>35</td><td>54,800</td></tr> <tr><td>36</td><td>49,200</td></tr> <tr><td>37</td><td>55,900</td></tr> <tr><td>38</td><td>56,500</td></tr> <tr><td>39</td><td>59,200</td></tr> <tr><td>40</td><td>55,700</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	31	51,400	32	60,800	33	64,800	34	65,600	35	54,800	36	49,200	37	55,900	38	56,500	39	59,200	40	55,700	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Repeat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>41</td><td>58,500</td></tr> <tr><td>42</td><td>51,400</td></tr> <tr><td>43</td><td>56,600</td></tr> <tr><td>44</td><td>52,300</td></tr> <tr><td>45</td><td>63,500</td></tr> <tr><td>46</td><td>66,000</td></tr> <tr><td>47</td><td>54,200</td></tr> <tr><td>48</td><td>56,800</td></tr> <tr><td>49</td><td>59,100</td></tr> <tr><td>50</td><td>57,200</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	41	58,500	42	51,400	43	56,600	44	52,300	45	63,500	46	66,000	47	54,200	48	56,800	49	59,100	50	57,200
Repeat	Value																																																																																																																	
1	54,200																																																																																																																	
2	58,100																																																																																																																	
3	65,500																																																																																																																	
4	55,900																																																																																																																	
5	55,700																																																																																																																	
6	51,800																																																																																																																	
7	53,300																																																																																																																	
8	56,900																																																																																																																	
9	60,800																																																																																																																	
10	55,100																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
11	61,800																																																																																																																	
12	58,400																																																																																																																	
13	56,900																																																																																																																	
14	53,500																																																																																																																	
15	62,100																																																																																																																	
16	58,100																																																																																																																	
17	67,500																																																																																																																	
18	53,000																																																																																																																	
19	60,000																																																																																																																	
20	57,400																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
21	51,400																																																																																																																	
22	63,300																																																																																																																	
23	58,700																																																																																																																	
24	65,200																																																																																																																	
25	58,600																																																																																																																	
26	56,200																																																																																																																	
27	52,400																																																																																																																	
28	60,100																																																																																																																	
29	58,900																																																																																																																	
30	64,800																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
31	51,400																																																																																																																	
32	60,800																																																																																																																	
33	64,800																																																																																																																	
34	65,600																																																																																																																	
35	54,800																																																																																																																	
36	49,200																																																																																																																	
37	55,900																																																																																																																	
38	56,500																																																																																																																	
39	59,200																																																																																																																	
40	55,700																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
41	58,500																																																																																																																	
42	51,400																																																																																																																	
43	56,600																																																																																																																	
44	52,300																																																																																																																	
45	63,500																																																																																																																	
46	66,000																																																																																																																	
47	54,200																																																																																																																	
48	56,800																																																																																																																	
49	59,100																																																																																																																	
50	57,200																																																																																																																	
<b>Analysis</b>																																																																																																																		
Actual Value, $X_m$ : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">57,902</div>	Maximum Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">67,500</div>	Average Value, $X_g$ : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">57,902</div>																																																																																																																
Upper Reference Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">60,596</div> <small>(<math>X_m + (0.1 \times TW)</math>)</small>	Minimum Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">49,200</div>	Standard Deviation, $S_g$ : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4,489</div>																																																																																																																
Lower Reference Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">55,208</div> <small>(<math>X_m - (0.1 \times TW)</math>)</small>	Range, R: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">18,300</div>	Bias: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,000</div> <small>(<math>B_i = X_g - X_m</math>)</small>																																																																																																																
		Upper Variation Limit: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">71,370</div> <small>(<math>X_g + (3 \times S_g)</math>)</small>																																																																																																																
		Lower Variation Limit: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">44,434</div> <small>(<math>X_g - (3 \times S_g)</math>)</small>																																																																																																																
Capability Index, $C_g$ (Repeatability) $C_g = (0.2 \times TW) / (6 \times S_g)$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,20</div>	Capability Index, $C_{gk}$ (Bias and Repeatability) $C_{gk} = ((0.1 \times TW) -  B_i ) / (3 \times S_g)$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,20</div>																																																																																																																	
Minimum Tolerance, $T_{Cg}$ (Based upon Gage Repeatability) $T_{Cg} = (6 \times S_g) / 0.2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">134,68</div>	Minimum Tolerance Width for Acceptable Measurement Equipment Use (Based upon Maximum of $T_{Cg}$ and $T_{Res}$ ) <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">134,68</div>																																																																																																																	
Minimum Tolerance, $T_{Res}$ (Based upon Gage Resolution) $T_{Res} = \text{Resolution} / 0.1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,2</div>																																																																																																																		
<b>Results</b>																																																																																																																		
Acceptance Criteria: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>C_g, C_{gk}</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\geq 1.33</math></td> <td style="text-align: center;">Acceptable</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>1.0 - 1.33</math></td> <td style="text-align: center;">Marginally Acceptable</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>&lt; 1.0</math></td> <td style="text-align: center;">Needs Improvement or Restrictions</td> </tr> </table>	$C_g, C_{gk}$		$\geq 1.33$	Acceptable	$1.0 - 1.33$	Marginally Acceptable	$< 1.0$	Needs Improvement or Restrictions	Measurement System Acceptable? <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">YES</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; color: red;">X NO</div>																																																																																																									
$C_g, C_{gk}$																																																																																																																		
$\geq 1.33$	Acceptable																																																																																																																	
$1.0 - 1.33$	Marginally Acceptable																																																																																																																	
$< 1.0$	Needs Improvement or Restrictions																																																																																																																	
Restrictions or Limitations for Tolerance Width?	Actions: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>																																																																																																																	
	Metrology: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Martin Vaňko</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6.3.15</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>																																																																																																																	
	Release by QM: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>																																																																																																																	
	Name	Date																																																																																																																
	Signature																																																																																																																	

Obr. 22: MSA štúdia metódy Rolling Ball



V uvedenom formulári je pomerne jasne vidieť veľký rozptyl nameraných výsledkov. Minimálna nameraná hodnota bola 49,2 cm, zatiaľ čo maximálna hodnota bola 67,5 cm. Rozdiel medzi najnižšou a najvyššou nameranou hodnotou bol 18,3 cm. Smerodajná odchýlka je 4,489 cm. A index spôsobilosti (capability index)  $C_g$  dosahuje len nízkej hodnoty 0,2. Na to, aby bola daná metóda spôsobilá, je stanovená minimálna hranica tohto indexu na hodnote 1,33, čo znamená, že cieľová spôsobilosť nebola ani zďaleka splnená.

Index  $C_g$ , ktorý vypovedá o celkovej spôsobilosti metódy je vypočítaný podľa nasledujúceho vzťahu:

$$C_g = \frac{0,2 \times TW}{6 \times S_g} \quad (6)$$

$TW$  = veľkosť tolerancie, v ktorej sa môžu pohybovať výsledky. Väčšinou je určená koncernovo, prípadne je dopočítaná ako 6 násobok smerodajnej odchýlky (+/- 3 smerodajné odchýlky)

$S_g$  = smerodajná odchýlka

$C_g$  = capability index (index spôsobilosti)

Na základe nameraných výsledkov, môžeme považovať metódu guľôčky za pomerne nepresnú. Získané hodnoty môžu byť pri tejto metóde ovplyvnené mnohými nežiaducimi faktormi.

Používané vzorky môžu byť aj napriek šetrnej manipulácii ľahko znečistené. Vzorky nie sú dokonalo rovné a často krát sú nepatrne zvlhčené, čo výrazne ovplyvňuje trajektóriu guľôčky. Takisto môže guľôčka pri prekonávaní drobných nerovností povrchu spomaliť, čím sa výrazne skráti dráha, ktorú by guľôčka za normálnych okolností urazila. Ďalšiu nepresnosť spôsobuje ľudská chyba pri odčítavaní nameranej hodnoty zo stupnice.

Metóda Rolling ball dokáže približne posúdiť lepivosť skúmaného povrchu, ale pre ďalšie účely a ciele tejto práce ju môžeme považovať za nedostatočnú.

## 8.2 MSA štúdia – Metóda X

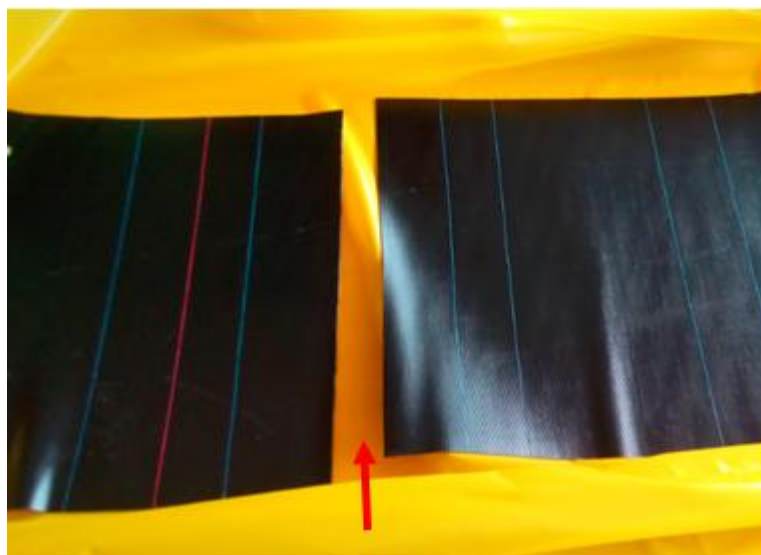
Metóda X je o niečo sofistikovanejšou metódou v porovnaní s metódou Rolling ball a v spoločnosti Continental Barum, s.r.o. sa momentálne využíva najčastejšie.

Princípom metódy je pritlačenie povrchu jednej skúmanej vzorky k povrchu druhej vzorky po definovanej dobe. Sila, ktorá je následne potrebná k separácii skúšobných vzoriek, vypovedá o veľkosti lepidlosti a je vyjadrená v Newtonoch. Sila je zaznamenaná silomerom a zobrazená prostredníctvom digitálneho displeja. Ľudský zásah je tu v porovnaní s prvou popisovanou metódou značne obmedzený a je nevyhnutný len pri manipulácii a príprave vzoriek, čo je značná výhoda.

Pre účely MSA štúdie bolo pripravených 50 vzoriek o veľkosti 2cm x 7cm (Obr. 24). Tieto vzorky boli umiestňované do ramena prístroja a po každom jednom meraní boli postupne menené. Na spodnú plošinu prístroja bola umiestnená druhá podkladová vzorka z toho istého materiálu. Táto vzorka bola dostatočne veľkého rozmeru, aby sa v priebehu 50 testovacích cyklov nemusela meniť a mohla sa iba posúvať, čím sa zabránilo prípadnému skresleniu výmenou podkladovej vzorky.

Zmes, využitá pre MSA štúdiu metódy X ostala nezmenená (zmes A1). Každá manipulácia so vzorkami prebiehala opäť v rukaviciach a celá analýza bola uskutočnená v jeden deň, aby nedošlo k skresleniu výsledkov spôsobenému napríklad faktorom času či odležanosti. Všetky vzorky boli odoberané zo strednej časti pogumovaného nárazníku, kde by mala byť lepidlosť zmesi najstabilnejšia (Obr.23)

Výsledky štúdie sú opäť v štandardnom formulári Continental.



Obr. 23: Odoberanie vzoriek zo strednej časti nárazníku



*Obr. 24: Príprava vzoriek na meranie*

	<b>Measurement System Analysis</b> Type 1 Study - $C_g/C_{gk}$ Study (Bias and Repeatability)	Area of Application: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">FML</div>																																																																																																																
Plant: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Otrokovice</div>																																																																																																																		
(Data Input in Yellow Fields)																																																																																																																		
Data Acquisition																																																																																																																		
<b>Measurement Gage</b> Measurement System: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">X method</div> Identification Number: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div> Measurement Range: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div> Resolution: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,02</div>	<b>Measurement Standard</b> Description: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Zmes A1</div> Identification Number: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div> Known Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2,977</div>	Date: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">9.3.15</div> Characteristic: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div> Measurement Unit: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">N</div> Remarks: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div>																																																																																																																
Tolerance Width (TW): <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">10,00</div> <small>(as example, if Tolerance <math>\pm</math> 5, TW = 10)</small>	Process Width (PV): <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div> (if known) <small>(PV = 6 x process st. dev.)</small>																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repeat</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2,750</td></tr><tr><td>2</td><td>3,010</td></tr><tr><td>3</td><td>3,020</td></tr><tr><td>4</td><td>2,820</td></tr><tr><td>5</td><td>2,750</td></tr><tr><td>6</td><td>3,200</td></tr><tr><td>7</td><td>3,280</td></tr><tr><td>8</td><td>2,920</td></tr><tr><td>9</td><td>2,930</td></tr><tr><td>10</td><td>2,480</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	1	2,750	2	3,010	3	3,020	4	2,820	5	2,750	6	3,200	7	3,280	8	2,920	9	2,930	10	2,480	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repeat</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>11</td><td>2,490</td></tr><tr><td>12</td><td>3,240</td></tr><tr><td>13</td><td>2,870</td></tr><tr><td>14</td><td>3,220</td></tr><tr><td>15</td><td>2,740</td></tr><tr><td>16</td><td>3,110</td></tr><tr><td>17</td><td>3,000</td></tr><tr><td>18</td><td>2,800</td></tr><tr><td>19</td><td>3,040</td></tr><tr><td>20</td><td>3,050</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	11	2,490	12	3,240	13	2,870	14	3,220	15	2,740	16	3,110	17	3,000	18	2,800	19	3,040	20	3,050	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repeat</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>21</td><td>2,570</td></tr><tr><td>22</td><td>2,930</td></tr><tr><td>23</td><td>2,670</td></tr><tr><td>24</td><td>2,680</td></tr><tr><td>25</td><td>2,870</td></tr><tr><td>26</td><td>2,740</td></tr><tr><td>27</td><td>3,120</td></tr><tr><td>28</td><td>3,160</td></tr><tr><td>29</td><td>3,340</td></tr><tr><td>30</td><td>3,230</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	21	2,570	22	2,930	23	2,670	24	2,680	25	2,870	26	2,740	27	3,120	28	3,160	29	3,340	30	3,230	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repeat</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>31</td><td>2,570</td></tr><tr><td>32</td><td>2,500</td></tr><tr><td>33</td><td>2,820</td></tr><tr><td>34</td><td>3,120</td></tr><tr><td>35</td><td>3,230</td></tr><tr><td>36</td><td>3,070</td></tr><tr><td>37</td><td>2,960</td></tr><tr><td>38</td><td>3,040</td></tr><tr><td>39</td><td>3,200</td></tr><tr><td>40</td><td>3,340</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	31	2,570	32	2,500	33	2,820	34	3,120	35	3,230	36	3,070	37	2,960	38	3,040	39	3,200	40	3,340	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repeat</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>41</td><td>3,090</td></tr><tr><td>42</td><td>2,720</td></tr><tr><td>43</td><td>2,970</td></tr><tr><td>44</td><td>3,200</td></tr><tr><td>45</td><td>2,880</td></tr><tr><td>46</td><td>3,090</td></tr><tr><td>47</td><td>3,330</td></tr><tr><td>48</td><td>3,320</td></tr><tr><td>49</td><td>3,340</td></tr><tr><td>50</td><td>3,020</td></tr> </tbody> </table>	Repeat	Value	41	3,090	42	2,720	43	2,970	44	3,200	45	2,880	46	3,090	47	3,330	48	3,320	49	3,340	50	3,020
Repeat	Value																																																																																																																	
1	2,750																																																																																																																	
2	3,010																																																																																																																	
3	3,020																																																																																																																	
4	2,820																																																																																																																	
5	2,750																																																																																																																	
6	3,200																																																																																																																	
7	3,280																																																																																																																	
8	2,920																																																																																																																	
9	2,930																																																																																																																	
10	2,480																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
11	2,490																																																																																																																	
12	3,240																																																																																																																	
13	2,870																																																																																																																	
14	3,220																																																																																																																	
15	2,740																																																																																																																	
16	3,110																																																																																																																	
17	3,000																																																																																																																	
18	2,800																																																																																																																	
19	3,040																																																																																																																	
20	3,050																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
21	2,570																																																																																																																	
22	2,930																																																																																																																	
23	2,670																																																																																																																	
24	2,680																																																																																																																	
25	2,870																																																																																																																	
26	2,740																																																																																																																	
27	3,120																																																																																																																	
28	3,160																																																																																																																	
29	3,340																																																																																																																	
30	3,230																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
31	2,570																																																																																																																	
32	2,500																																																																																																																	
33	2,820																																																																																																																	
34	3,120																																																																																																																	
35	3,230																																																																																																																	
36	3,070																																																																																																																	
37	2,960																																																																																																																	
38	3,040																																																																																																																	
39	3,200																																																																																																																	
40	3,340																																																																																																																	
Repeat	Value																																																																																																																	
41	3,090																																																																																																																	
42	2,720																																																																																																																	
43	2,970																																																																																																																	
44	3,200																																																																																																																	
45	2,880																																																																																																																	
46	3,090																																																																																																																	
47	3,330																																																																																																																	
48	3,320																																																																																																																	
49	3,340																																																																																																																	
50	3,020																																																																																																																	
Analysis																																																																																																																		
Actual Value, $X_m$ : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2,977</div>	Maximum Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">3,340</div>	Average Value, $X_g$ : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2,977</div>	Bias: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,000</div> <small>(Bi = <math>X_g - X_m</math>)</small>																																																																																																															
Upper Reference Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">3,977</div> <small>(<math>X_m + (0.1 \times TW)</math>)</small>	Minimum Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2,480</div>	Standard Deviation, $S_g$ : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,244</div>	Upper Variation Limit: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">3,708</div> <small>(<math>X_g + (3 \times S_g)</math>)</small>																																																																																																															
Lower Reference Value: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">1,977</div> <small>(<math>X_m - (0.1 \times TW)</math>)</small>	Range, R: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,860</div>	Lower Variation Limit: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2,246</div> <small>(<math>X_g - (3 \times S_g)</math>)</small>																																																																																																																
<b>Capability Index, <math>C_g</math> (Repeatability)</b> $C_g = (0.2 \times TW) / (6 \times S_g)$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">1,37</div>		<b>Capability Index, <math>C_{gk}</math> (Bias and Repeatability)</b> $C_{gk} = ((0.1 \times TW) -  B_i ) / (3 \times S_g)$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">1,37</div>																																																																																																																
<b>Minimum Tolerance, <math>T_{Cg}</math></b> <small>(Based upon Gage Repeatability)</small> $T_{Cg} = (6 \times S_g) / 0.2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">7,31</div>		<b>Minimum Tolerance Width for Acceptable Measurement Equipment Use</b> <small>(Based upon Maximum of <math>T_{Cg}</math> and <math>T_{Res}</math>)</small> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">7,31</div>																																																																																																																
<b>Minimum Tolerance, <math>T_{Res}</math></b> <small>(Based upon Gage Resolution)</small> $T_{Res} = \text{Resolution} / 0.1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,2</div>																																																																																																																		
Results																																																																																																																		
<b>Acceptance Criteria:</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>C_g, C_{gk}</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\geq 1.33</math></td> <td style="text-align: center;">Acceptable</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.0 - 1.33</td> <td style="text-align: center;">Marginally Acceptable</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>&lt; 1.0</math></td> <td style="text-align: center;">Needs Improvement or Restrictions</td> </tr> </table>		$C_g, C_{gk}$		$\geq 1.33$	Acceptable	1.0 - 1.33	Marginally Acceptable	$< 1.0$	Needs Improvement or Restrictions	Measurement System Acceptable? <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; color: green;">X</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; color: red;">NO</div> YES																																																																																																								
$C_g, C_{gk}$																																																																																																																		
$\geq 1.33$	Acceptable																																																																																																																	
1.0 - 1.33	Marginally Acceptable																																																																																																																	
$< 1.0$	Needs Improvement or Restrictions																																																																																																																	
Restrictions or Limitations for Tolerance Width?		Actions: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"></div>																																																																																																																
Release by QM:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Metrology:</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">Martin Vaňko</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">9.3.15</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Name</td> <td style="text-align: center;">Date</td> <td style="text-align: center;">Signature</td> </tr> </table>		Metrology:	Martin Vaňko	9.3.15			Name	Date	Signature																																																																																																							
Metrology:	Martin Vaňko	9.3.15																																																																																																																
	Name	Date	Signature																																																																																																															

Obr. 25: MSA štúdia Metódy X

Z uvedených nameraných hodnôt je vidieť, že rozptyl medzi jednotlivými hodnotami nie je až taký markantný ako v prípade prvej testovanej metódy. Najvyššia nameraná hodnota je 3,34 N a najnižšia 2,48 N. Rozptyl medzi najvyššou a najnižšou hodnotou je 0,86 N. Smerodajná odchýlka nameraných hodnôt je 0,244 N. Najdôležitejšou hodnotou je index spôsobilosti  $C_g$ , ktorý dosahuje hodnotu 1,37, čím je splnené nastavené kritérium minimálnej povolenej hodnoty 1,33.

Výsledky analýzy môžeme považovať za úspešné a metódu X za pomerne spoľahlivú, čo umožní jej využitie pri ďalších výskumoch.

### 8.3 Zhodnotenie MSA štúdií

Po realizácii MSA štúdií, ktorých cieľom bolo overenie spoľahlivosti a presnosti dvoch metodík merania lepivosti, je na základe výsledkov pomerne jednoznačne možné vybrať spoľahlivejšiu metódu. Zvolená metóda bude ďalej využitá pri nasledujúcich meraniach a výskumoch.

Ako spoľahlivejšiu metódu môžeme označiť Metódu X. MSA štúdia potvrdila jej prijateľnú presnosť, keď  $C_g$  index (index spôsobilosti) vyšiel nad minimálnou požadovanou hodnotou.

Naopak metóda Rolling Ball sa ukázala ako pomerne nepresná a vo výsledkoch MSA štúdie sa ani zďaleka nepriblížila požadovanej hodnote.

Na základe uvedených výsledkov, je pre ďalšiu realizáciu pokusov týkajúcich sa lepivosti vybraná Metóda X.

Ďalšia metóda – Metódu Y, nie je bohužiaľ momentálne možné využiť a hodnotiť. Táto metóda ešte nie je v spoločnosti oficiálne zavedená a aktuálne sa čaká na dokúpenie dodatočných komponentov zariadenia potrebného k meraniu.

## 9 VPLYV ODLEŽANOSTI ZMESI B1 NA KONFEKČNÚ LEPIVOSŤ

V nasledujúcej časti bude skúmaný vplyv odležanosti zmesi na jej konfekčnú lepiivosť. Pre tento výskum sa vybrala zmes s označením B1. Táto zmes je silikovou zmesou a používa sa na pogumovanie ocelových kordov a tento pogumovaný komplet je využívaný vo výrobe plášťov pre nákladné vozidlá a vozidlá určené k špeciálnym účelom (vyžitie v priemysle, napr. v baniach, pre armády apod.).

Zmes B1 nebola vybraná náhodne, ale zámerne kvôli problematickej lepiivosti, ktorá súvisí s nastavením doby odležanosti.

Aktuálne sú doby odležanosti a teda horizontu, v ktorom sa zmes musí spracovať nastavené nasledovne:

Tab. 5: Prehľad doby spracovania zmesi B1

Zmes B1 - doby spracovania vo výrobe		
	Minimálna hodnota	Maximálna hodnota
Spracovanie zmesi	12 hodín	21 dní
Spracovanie po pogumovaní	24 hodín	21 dní
Spracovanie po narezaní	0 hodín	5 dní

V súčasnosti nastáva problém s príliš vysokou lepiivosťou v prípade, že zmes je spracovaná v kratšej dobe ako 24 hodín. To znamená, že nastavená hranica 12 hodín sa momentálne javí ako nedostačujúca. Podľa procesných inžinierov, by ideálny stav mohol nastať až pri 48 hodinách. Navýšenie minimálnej hodnoty odležanosti by však mohlo priniesť problémy s plánovaním a logistikou.

Zmes, ktorá nebola odležaná viac ako 24 hodín spôsobuje svojou lepiivosťou pri pogumovaní značné problémy (lepí sa na valce, problémy pri orezávaní pretokov apod.).

Naopak, spracovanie pogumovaného ocelového kordu by podľa skúseností malo byť do 10 dní. Ak sa tento čas prekročí, lepiivosť začína byť nedostačujúca a spôsobuje pri konfekcii problémy.

Už podľa uvedených informácií je vidieť, že odležanosť je pomerne zásadným faktorom vplývajúcim na lepiivosť. Je dôležité aby časový horizont, v ktorom sa má daná zmes alebo pogumovaný kord spracovať, bol nastavený správne a navyše sa všetko dokázalo zosúladiť s plánovaním výroby.

A aj preto je cieľom ďalšej časti práce práve analýza vývoja lepidosti v čase. Výsledky meraní nám ukážu ako by mali byť nastavené minimálne a maximálne doby spracovania zmesí a konfekčných polotovarov.

Vzhľadom na to, že zariadenie potrebné k meraniu pomocou Metódy Y nie je zatiaľ v prevádzke, nebude bohužiaľ možné zmerať lepidosť surovej zmesi a tak bude výskum zameraný hlavne na vývoj lepidosti pogumovaného kordu.

Pri meraní sa bude využívať Metóda X. Na každé meranie bude použitých 50 vzoriek, čo by malo poskytnúť dostatočnú relevanciu a znížiť vplyv prípadných nevhodných vzoriek (okrajové časti kordu alebo zmesi majú mierne odlišnú lepidosť oproti iným častiam; niektoré vzorky môžu byť nedopatrením, či už pri odoberaní alebo pri manipulácii znehodnotené apod.).

Tesne po odoberaní vzorky, keď sa lepidosť mení najzásadnejšie, budú prebiehať merania v častejších intervaloch. Neskôr sa už bude merať menej často a to spravidla jedenkrát denne.

VZOREK A 111

Průvodka polotovaru

Druh polotovaru	: Pogum. oceľ. kord
Druh kordu	: M0410
Výrobce kordu	: Bekaert Slatina
Konstrukce kordu	: 1+8x0,35
Druh směsi	: B
Délka v metrech	: 28
Šířka v cm	: 114,0
Množství v m2	: 29
Číslo balíku/Navíječka	: 3 / P
Datum/Čas výroby	: 19.03.2015 01:14
Předák / Směna	: Horka Michal / III. směna
Min odleželost[hod]	: 24
Zpracovat do	: 10.04.2015
Zpracoval	:

M0410 0031903150114Horka Mich0283CLNS1

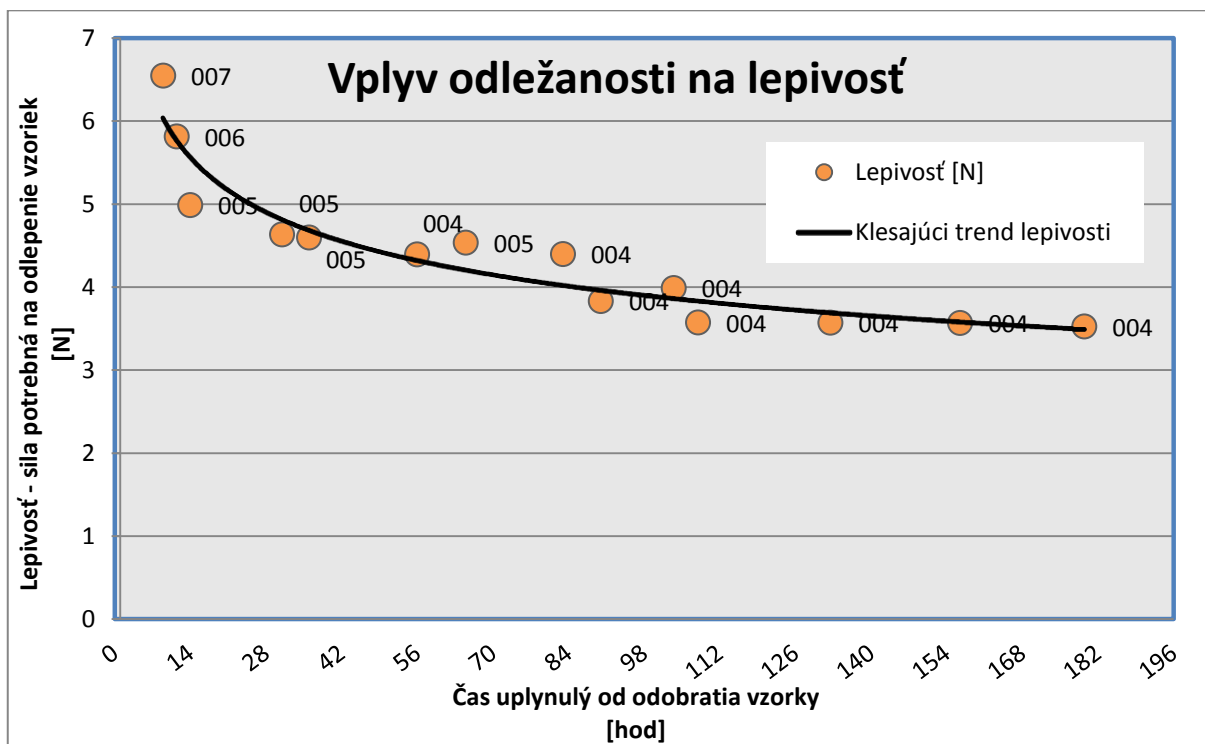
Vyrobena a zkontrolovano  
v souladu s KP22400001

Obr. 26: Sprievodka materiálu použitého na meranie (zmes B1)

Výsledky meraní sú uvedené v nasledujúcej Tab. 6 a Grafe 4.

Tab. 6: Vplyv odležanosti na lepivosť

Zmes B1 (oceľový nárazník) – Meranie konfekčnej lepivosti [N]						
Uplynulá doba od odobrania vzorky		Priemerná lepivosť (50 vzoriek) [N]	Maximum [N]	Minimum [N]	Variačný rozptyl	Smerodajná odchýlka
hodiny	dni					
9	0,4	6,55	8,78	4,83	3,95	0,88
11,5	0,5	5,82	7,19	4,44	2,75	0,54
14	0,6	4,99	6,51	4,12	2,39	0,55
31	1,3	4,64	5,79	3,21	2,58	0,67
36	1,5	4,6	5,66	3,03	2,63	0,58
56	2,3	4,4	5,56	3,36	2,20	0,55
65	2,7	4,54	5,34	3,54	1,80	0,48
83	3,5	4,4	5,57	3,00	2,57	0,59
90	3,8	3,83	5,27	2,44	2,83	0,62
103,5	4,3	3,99	5,24	3,16	2,08	0,47
108	4,5	3,58	5,02	2,61	2,41	0,63
132,5	5,5	3,57	4,90	2,22	2,68	0,59
156,5	6,5	3,57	4,47	1,96	2,51	0,58
179,5	7,5	3,52	4,67	1,92	2,75	0,72
510	21,3	2,00	4,06	0,78	3,28	0,99



Graf 4: Vplyv odležanosti na lepivosť



Uskutočnené merania potvrdili hypotézu, že lepivosť s plynúcim časom klesá. Najdramatickejší pokles lepivosti bol preukázaný hneď v úvodných hodinách po odobraní vzorky.

Hodnota lepivosti výrazne klesala približne prvých 24 hodín. Následný pokles bol už len pozvoľný. Klesajúci trend bol až na drobné výnimky stále zachovaný.

Maximálna doba dokedy je pogumovaný oceľový kord potrebné spracovať, je nastavená na 21 dní. Po uplynutí tejto doby bola nameraná hodnota lepivosti už len 2,00 N, čo je oproti hodnote lepivosti pri minimálnej dobe spracovateľnosti až o 137,5% menej. Môžeme konštatovať, že táto hodnota lepivosti by bola pravdepodobne už nedostačujúcou pri procese konfekcie pneumatík, kde je vyžadovaná dostatočná lepivosť potrebná pri spájaní polotovarov a mohlo sa tak vyhnúť použitiu tzv. cementu (zmes chemikálií a benzínu), ktorý sa zvykne používať na oživovanie lepivosti a je nežiaduci či už z pohľadu procesu alebo takisto životného prostredia.

Výsledky uskutočnenej analýzy ukázali, že odležanosť je faktorom, ktorý výrazne pôsobí na hodnotu konfekčnej lepivosti. So stúpajúcou odležanosťou lepivosť preukázateľne klesá.

Tiež sa ukázalo, že nastavená hodnota minimálnej odležanosti zmesi B1 pred spracovaním na pogumovacej linke je opodstatnená. Po 24 hodinách nie je pokles lepivosti už taký razantný. Naopak skrátenie tejto doby, by predstavovalo riziko príliš vysokej lepivosti, ktorá so skracovaním doby odležanosti pod 24 hodín výrazne stúpa.

## 10 VPLYV VLHKOSTI NA KONFEKČNÚ LEPIVOSŤ

Ďalším faktorom, u ktorého je možné predpokladať zaznamenateľný vplyv na hodnotu konfekčnej lepidivosti, je vlhkosť.

Ako už bolo v kapitole 3.2.2. zmienené, vplyv vlhkosti na konfekčnú lepidivosť bude značne závisieť od hygroskopicity danej zmesi. Podľa teoretických prameňov je zmes pri vysokej hygroskopicity schopná jednoduchšie viazať v okolí molekúl vodu, čím je obmedzovaný molekulový kontakt a mechanizmus interdifúzie, ku ktorému dochádza pri vzájomnom spojení dvoch osobitných telies. Obmedzený kontakt a interdifúzia teda znamenajú horšie vzájomné prepojenie skúmaných telies a tým pádom aj zhoršenú lepidivosť. Mikroskopický pohľad vzájomného kontaktu dvoch materiálov pri zlepovaní na obr. 7 ukazuje, že absorbované čiastočky vzduchu a vlhkosti znižujú priestor na molekulový kontakt lepených materiálov.

Pre potvrdenie alebo vyvrátenie tejto hypotézy sme použili pogumovaný textilný nárazník zo zmesi A1. Pre uskutočnenie meraní boli odobrané dve vzorky. Jedna so vzoriek bola umiestená do relatívne suchého prostredia s priemernou nameranou vlhkosťou 40% (Obr.27). Druhá zo vzoriek bola umiestnená do prostredia s pomerne vysokou hodnotou vzdušnej vlhkosti oscilujúcej okolo 60%.



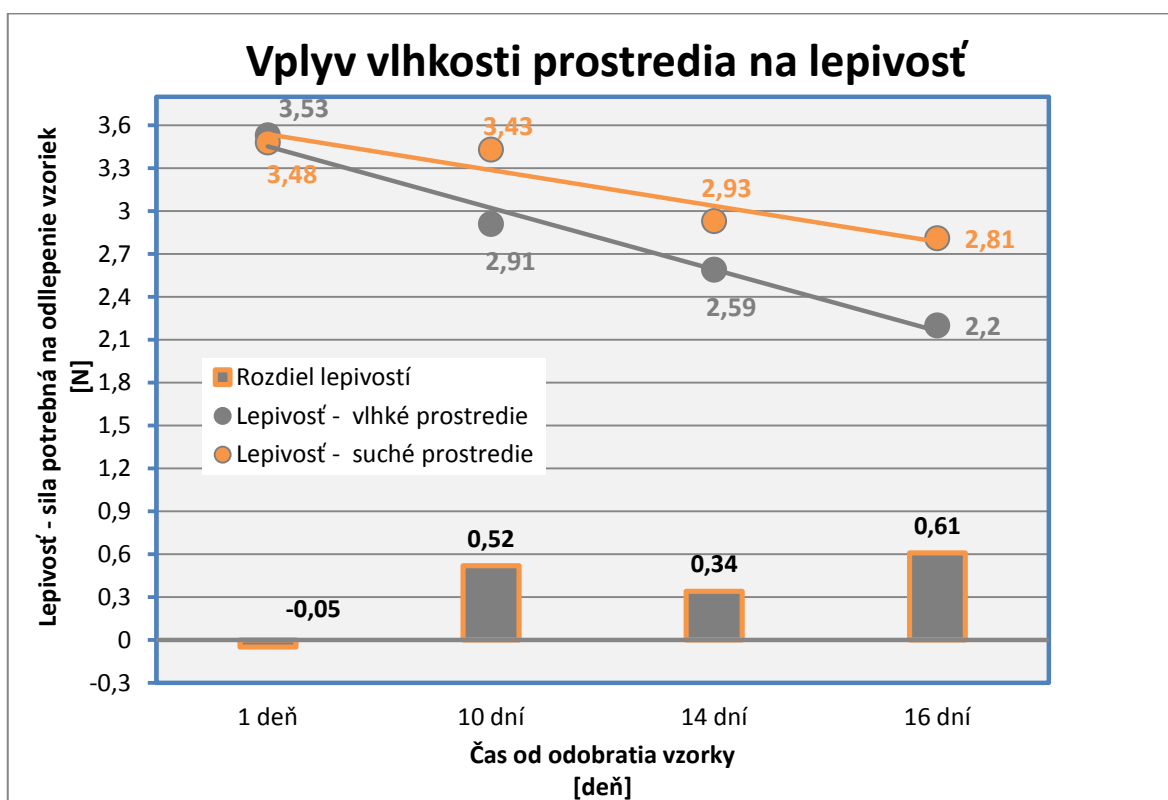
Obr. 27: Sprievodka materiálu použitého na meranie (zmes A1)

Všetky merania odobraných vzoriek opäť prebiehali pomocou metódy X. Z každého prostredia bolo odobraných 50 testovaných vzoriek. Vzorky z vlhkého prostredia boli testované vždy v rovnakom čase ako vzorky z prostredia suchého, aby nedošlo k skresleniu výsledkov vplyvom času (odležanosti). Takéto meranie bolo uskutočnené postupne štyrikrát a to vždy v rozdielnom čase uplynulom po odobraní vzorky, aby bolo možné pozorovať vývoj rozdielov v lepivostiach vzoriek s plynúcim časom. Opakované meranie taktiež umožní porovnať vývoj lepivosti vzhľadom na rozdielnu odležanosť a potvrdiť tak výsledky meraní v predchádzajúcej kapitole a potvrdenie hypotézy o klesajúcej lepivosti so stúpajúcou odležanosťou.

Výsledky meraní sú uvedené v nasledujúcej Tab. 7 a Grafe 5.

Tab. 7: Porovnanie lepivosti v podmienkach s vysokou a nízkou vlhkosťou

Zmes A1 - pogumovaný PAD (nulový) nárazník				
Uplynulý čas od odobratia vzorky	1 deň	10 dní	14 dní	16 dní
Lepivosť - vlhké prostredie [N]	3,53	2,91	2,59	2,2
Lepivosť - suché prostredie [N]	3,48	3,43	2,93	2,81
Rozdiel lepivostí [N]	-0,05	0,52	0,34	0,61



Graf 5. Vplyv vlhkosti prostredia na lepivosť

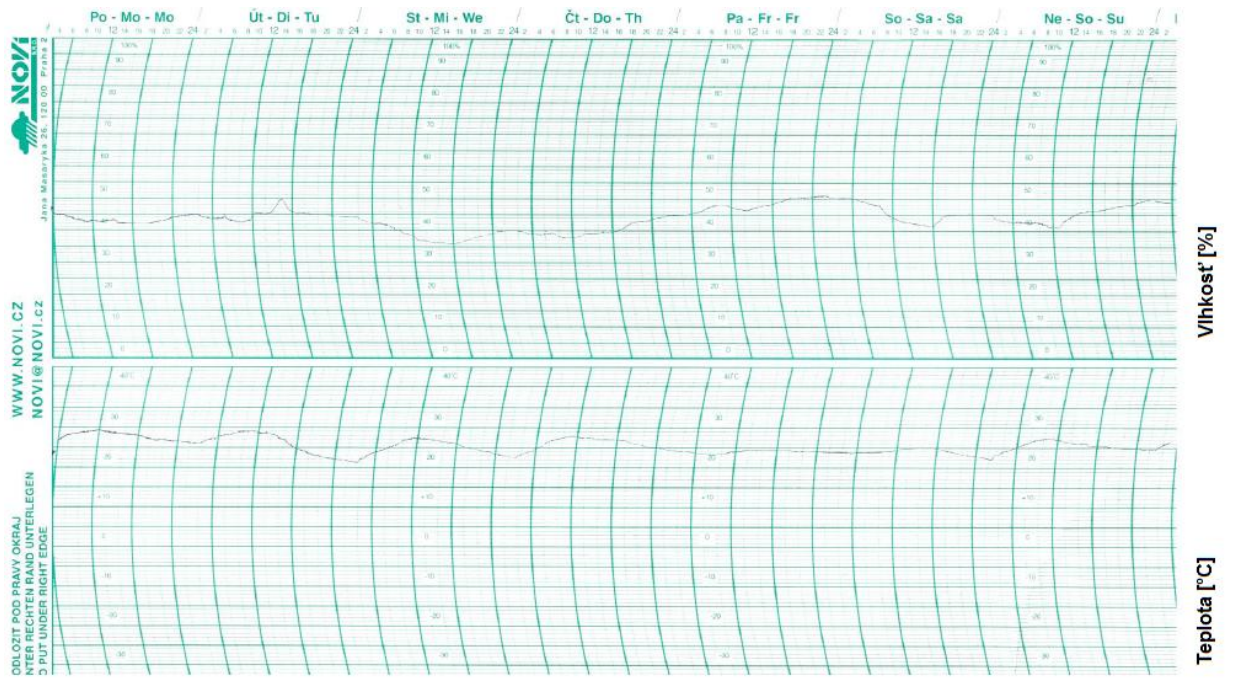
Uskutočnené merania opäť potvrdili hypotézu, v ktorej sa predpokladalo, že zvýšená vlhkosť prostredia znižuje konfekčnú lepivosť polotovarov. Hneď v prvom meraní sa síce toto tvrdenie ešte nepotvrdilo, keď bol rozdiel medzi hodnotami lepivosti nameranými u vzoriek zo suchého prostredia a z vlhkého prostredia takmer zanedbateľný. Prvé meranie bolo uskutočnené iba 30 hodín po odobraní vzoriek, čo znamená, že vzorky boli kondicionované v daných prostrediach pomerne krátku dobu.

Ďalšie meranie sa uskutočnilo po 10 dňoch a výsledky z tohto merania už potvrdili predpoklad, že lepivosť vzoriek vo vlhkom prostredí bude nižšia. Rozdiel hodnôt lepivosti vzoriek z vlhkého a suchého prostredia bol 0,52 N. Na výsledkoch je tiež možné vidieť celkový pokles hodnôt lepivosti oproti hodnotám z prvého merania.

Tretie a štvrté meranie uskutočnené po 14 respektíve 16 dňoch od odobrania vzorky potvrdilo výsledky z druhého merania. Rozdiel medzi lepivosťou vzoriek suchého a vlhkého prostredia ostal v priemere podobný ako pri predchádzajúcom meraní. Pri meraní po 14 dňoch bol nameraný rozdiel 0,34 N a v poslednom meraní bol rozdiel lepivostí 0,61 N. Obidve merania taktiež potvrdili klesajúci trend hodnôt konfekčnej lepivosti so stúpajúcou odležanosťou.

Celkovo môžeme zhodnotiť vplyv vlhkosti prostredia na lepivosť ako negatívny, čím sa potvrdila stanovená hypotéza. Efekt vlhkosti prostredia sa podľa výsledkov neprejaví hneď okamžite, ale až po určitom odležaní sledovaných vzoriek v daných prostrediach. Lepivosť vzoriek odležaných vo vlhkom prostredí bola u 2 až 4 merania v priemere o 16% nižšia než u vzoriek odležaných v suchom prostredí.

Výsledky nám taktiež potvrdili klesajúcu lepivosť so stúpajúcou odležanosťou, ktorá už bola preukázaná v predchádzajúcej kapitole.



Obr. 28: Záznam merania vlhkosti (týždňový cyklus)

## 11 VPLYV TEPLoty NA KONFEKČNÚ LEPIVOSŤ

Ďalším veľmi dôležitým faktorom, ktorý z celá určite vplýva na konfekčnú lepiivosť je teplota. Teplota vo výrobe a teda v procese od prípravy zmesi cez spracovanie, skladovanie až po samotnú konfekciu pneumatík nie je určite konštantná. Túto dlhú cestu sprevádzajú mnohé výkyvy, ktoré sú spôsobené či už technológiou alebo teplotou prostredia, ktorá sa sezónne mení.

### 11.1 Vplyv teploty prostredia

Ako teplotné maximum okolia, s ktorým prichádzajú polotovary počas roka do styku bola určená teplota 35°C. Najnižšia teplota, ktorej môžu byť zmesi a polotovary behom roku vystavené je 20°C.

Vplyv teploty na lepiivosť sa bude opäť merať pomocou metódy X. Merania sa uskutočnia na vzorke odobranej z pogumovaného textilného nárazníku zo zmesi A1.

Každé meranie sa uskutoční na 60 vzorkách, čo zaisťujú dostatočnú presnosť. Po pripravení vzoriek sa vzorky umiestnia do sušičky, kde budú po dobu minimálne 2 dní vystavené stanovenej teplote.

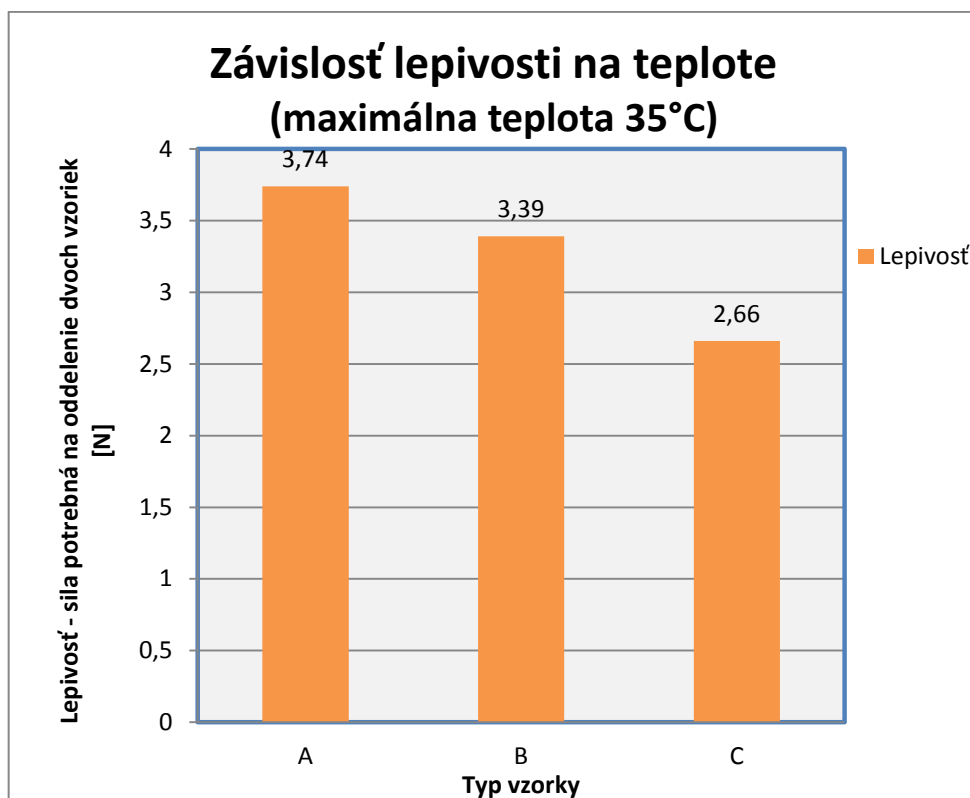
Po takomto teplotnom ovplyvnení bude prebiehať meranie lepiivosti. Polovica, teda 30 vzoriek, bude testovaných bezprostredne po vytiahnutí zo sušičky. Druhá polovica vzoriek bude kondiciovaná pri konštantnej izbovej teplote cca 22,5°C. Kondicionovanie bude prebiehať po dobu minimálne 4 hodín.

V prvej fáze meraní sa bude testovať vplyv teploty na lepiivosť u vzoriek, ktoré boli vystavené teplote 35 °C. Zohrievanie vopred narezaných vzoriek bude po dobu 4 dní.

Vzorky môžeme pri tomto meraní rozdeliť do 3 skupín:

- vzorky skupiny A – lepiivosť meraná pri teplote 35°C (hneď po vytiahnutí zo sušičky);
- vzorky skupiny B – lepiivosť temperovanej vzorky meraná až po kondicionovaní na izbovú teplotu;
- vzorky skupiny C – kontrolné vzorky, ktoré neboli temperované.

Namerané výsledky sú zobrazené v nasledujúcom grafe.



Graf 6: Závislosť lepivosti na teplote pri maximálnej teplote

Tab. 8: Závislosť konfekčnej lepivosti na teplote [35°C]

Meranie konfekčnej lepivosti pomocou Metódy X [N]			
50 meraných vzoriek	A	B	C
Priemer	3,74	3,39	2,66
Maximum	4,44	4,81	3,67
Minimum	3,12	2,32	2,08
Rozptyl	1,32	2,49	1,59
Smerodajná odchýlka	0,39	0,52	0,40

Namerané výsledky už na prvý pohľad preukazujú do akej miery môže vplývať teplota na lepivosť konfekčných polotovarov. Lepivosť u vzoriek hneď po odobraní zo sušičky dosiahla priemernú hodnotu 3,74 N. Hodnoty lepivosti u vzoriek, ktoré boli zvýšenej teplote vystavené po dobu 4 dní a následne prirodzene vychladnuté na teplotu prostredia, boli v priemere o veľkosti 3,39 N, čo je 0,35 N menej ako u vzoriek skupiny A. Posledná časť vzoriek – kontrolné vzorky, ktoré neboli teplotne ovplyvnené, dosiahli hodnotu lepivosti 2,66 N, čo je podľa predpokladu výrazne najmenej.

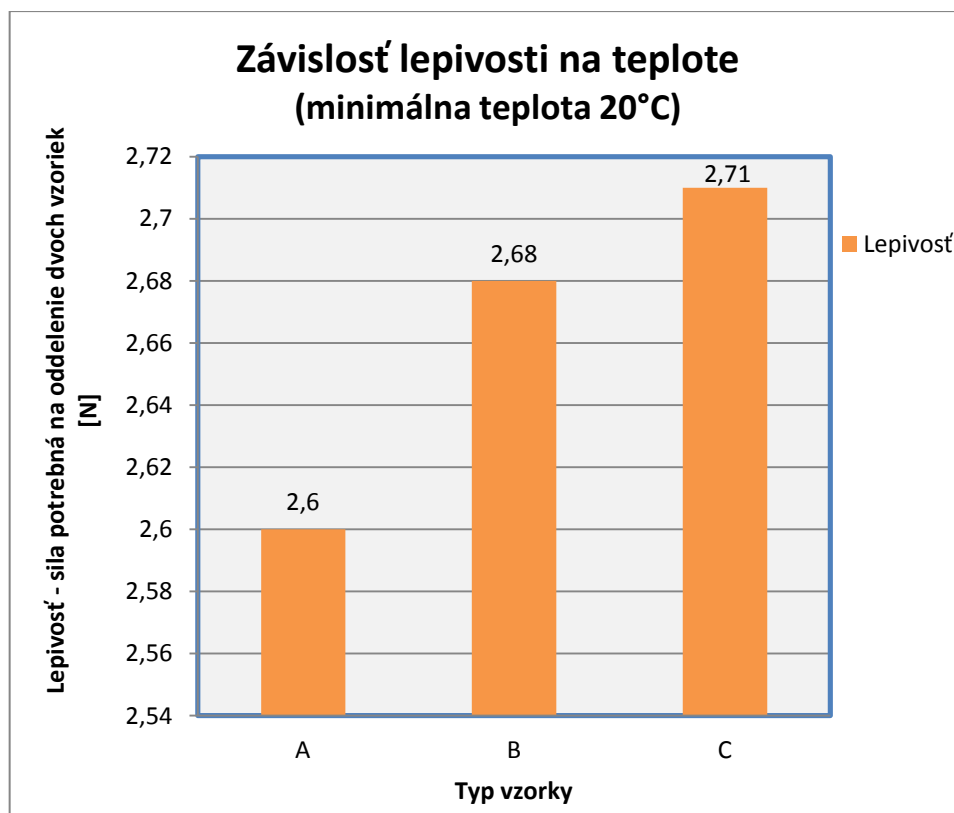
Na základe uvedených výsledkov, môžeme konštatovať, že s navyšovaním teploty stúpa lepivosť. Pri zvýšení teploty z izbovej hodnoty 22,5°C na 35°C došlo k navýšeniu hodnoty

lepivosti o takmer 30%. Pozitívny vplyv na zvýšenie lepivosti, avšak nie až taký výrazný, má teplotné ovplyvnenie danej vzorky a následné vychladnutie na izbovú teplotu. Každým spracovaním, technologickým procesom a manipuláciou je kaučuková zmes alebo polotovar teplotne ovplyvnený a takéto ovplyvnenie má následne vplyv na samotnú konfekčnú lepivosť, aj napriek tomu, že sú polotovary pri konfekcii v bežnej teplote prostredia.

V ďalšej fáze bude testovaná minimálna možná teplota, s ktorou teoreticky môžu prichádzať skúmané materiály do kontaktu. Po konzultácii s kompetentnými osobami bola hodnota minimálnej teploty nastavená na 20°C. Rozdiel medzi izbovou teplotou kontrolnej vzorky, ktorá sa pohybuje v rozmedzí od 22°C – 23°C je len veľmi malý, takže v nameraných výsledkoch sa teplotný rozdiel ani nemusí prejaviť.

Opäť budú vzorky rozdelené do troch skupín.

- vzorky skupiny A – lepivosť meraná pri teplote 20°C (hneď po vytiahnutí zo sušiarne);
- vzorky skupiny B – lepivosť tepelne ovplyvnených vzoriek (chladených na 20°C) meraná až po kondicionovaní na izbovú teplotu;
- vzorky skupiny C – kontrolné vzorky, ktoré neboli tepelne ovplyvnené



Graf 7: Závislosť lepivosti na teplote u minimálnej teploty



Tab. 9: Závislosť konfekčnej lepivosti na teplote [20°C]

Meranie konfekčnej lepivosti pomocou metódy X [N]			
50 meraných vzoriek	A	B	C
Priemer	2,6	2,68	2,71
Maximum	3,27	3,38	3,64
Minimum	1,77	1,79	1,88
Rozptyl	1,5	1,59	1,76
Smerodajná odchýlka	0,39	0,47	0,49

Výsledky hodnôt lepivosti vzoriek schladených na minimálnu reálnu teplotu prostredia vo výrobe sú len málo odlišné od hodnôt, ktoré dosiahli kontrolné vzorky o izbovej teplote približne 22,5°C. Samotný rozdiel medzi teplotou, na ktorú boli vzorky skupiny A schladzované a izbovou teplotou vzoriek skupiny C, je len okolo 2,5°C. Rozdiel vo výsledkoch konfekčnej lepivosti týchto dvoch skupín je 0,11 N, čo znamená, že lepivosť pri 20°C bola o 4% nižšia ako pri teplote 22,5°C. U vzoriek skupiny B, ktoré boli tiež schladené na 20°C, ale následne kondiciované na bežné podmienky a izbovú teplotu, bola nameraná lepivosť v priemere 2,68 N, čo je takmer rovnaká hodnota ako u vzoriek, ktoré neboli teplotne ovplyvnené.

Celkovo sa však opäť potvrdila priama úmernosť – so stúpajúcou (klesajúcou) teplotou, stúpa (klesá) konfekčná lepivosť.

Pri pohľade na obidva teplotné extrémny (20°C a 35°C) je rozdiel medzi nameranými hodnotami konfekčných lepivostí 1,14 N.

Teploty v prvej časti experimentu predstavovali bežné teploty okolia, ktoré môžu počas v priebehu roku kolísať. V lete bude určite teplota vo výrobe o niečo vyššia ako je tomu v zime.

## 11.2 Vplyv teploty technologického procesu

V ďalšej časti skúmania vplyvu teploty na konfekčnú lepivosť budeme sledovať teploty, ktorým sú materiály vystavované počas technologického procesu. Konkrétne sa budeme sústrediť na technológiu pogumovania.

V spoločnosti Continental Barum, s.r.o. sa v súčasnosti používajú na pogumovanie textilných a oceľových kordov tri pogumovacie linky. Technológie týchto liniek sú zásadne

odlišné, čo znamená, že aj teplotné namáhanie gumárenských zmesí nanášaných na oceľ či textil bude rozdielne, čo sa samozrejme neskôr prejaví aj v hodnotách konfekčnej lepivosti.

Cieľom nasledujúceho výskumu bude teda určenie, ktorá z troch rozdielnych technológií, je pre zmes najmenej namáhavá a ako sa rozdiel v technológiách prejaví na konfekčnej lepivosti.

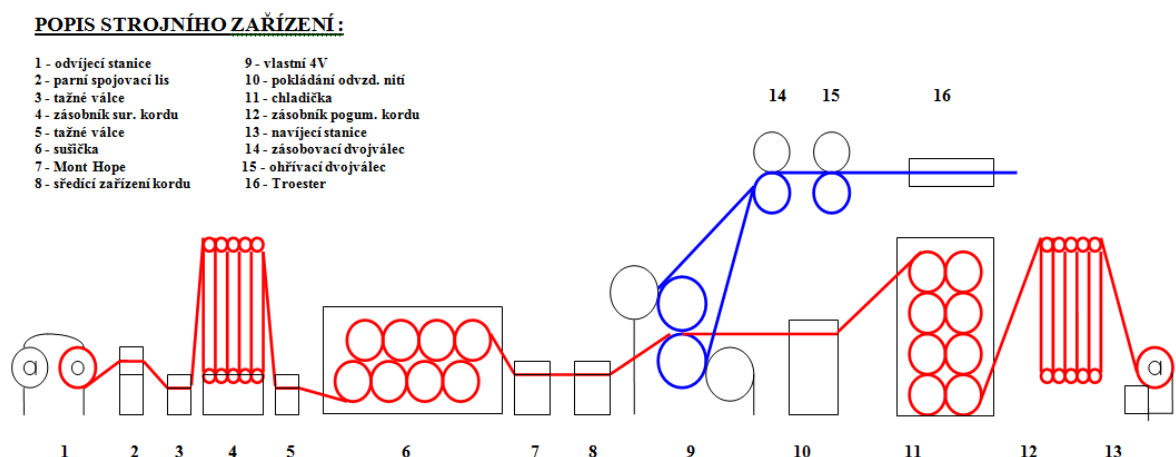
Teplotné namáhanie na jednotlivých linkách budeme posudzovať podľa tzv. bezpečnosti zmesi na zariadení viskozimeter Mooney MV 2000 od spoločnosti Alpha Technologies.

Rozdiely medzi linkami a ich stručný popis bude uvedený v nasledujúcich kapitolách.

### 11.2.1 Gumovacia linka 4V Buzuluk

Na gumovacej linke 4V Buzuluk sa pogumovávajú textilné kordy (UH, viskóza, polyester, polyamid a ségl). Balíky textilného kordu prichádzajú zo skladu, sú u odvíjania (1) skontrolované a rozbalené. Balíky sa plynule napojujú (2) jeden na druhý, čím sa vytvorí nekočné pás kordu. Na sušičke (6) sa kord zbaví zbytkovej vlhkosti a takto vysušený prichádza do štrbín štvorvalca – 4V (9), kde dochádza k pogumovaniu. Po nagumovaní sú na kord pokladané odzdušňovacie nite (10), kord je kartáčovaný a perforovaný. Ďalej je kord vedený cez chladičku (11) do zásobníku (12) a odtiaľ cez ťažné valce do navijacej stanice (13), kde je namotaný do zábalovej vložky. Tam je kord označený sprievodkou a odoslaný zákazníkovi.

#### Mapa procesu - gumovanie textilného kordu



Obr. 29: Schéma procesu gumovania textilného kordu na linke 4V Buzuluk

### 11.2.2 Gumovacia linka 4V Berstorff

Na gumovacej linke Berstorff sa uskutočňuje pogumovanie oceľového kordu gumárenskou zmesou. Oceľový kord sa zo skladu privezie do cievočnice (7), jednotlivé cievky sa nahodia na trne, kord sa pretiahne keramickými prievlakmi a prevlečie hrebeňom. Hrebeň aj s drôtom sa zafixuje do hydrauliky štvorvalca a kord potom vstupuje cez ryhovaný valec do vlastného štvorvalca (8).

Zmes na paletách sa privedie k tzv. millfeedrom (2, 3), kde sa naseká a ďalej homogenizuje a ohrieva na dvojvalcoch (4, 5, 6). Takto upravená zmes je prichystaná pre pogumovanie oceľového kordu. Zo zásobovacieho dvojvalca je dopravníkmi vedená do štrbín štvorvalca (8), kde dochádza k samotnému pogumovaniu kordu.

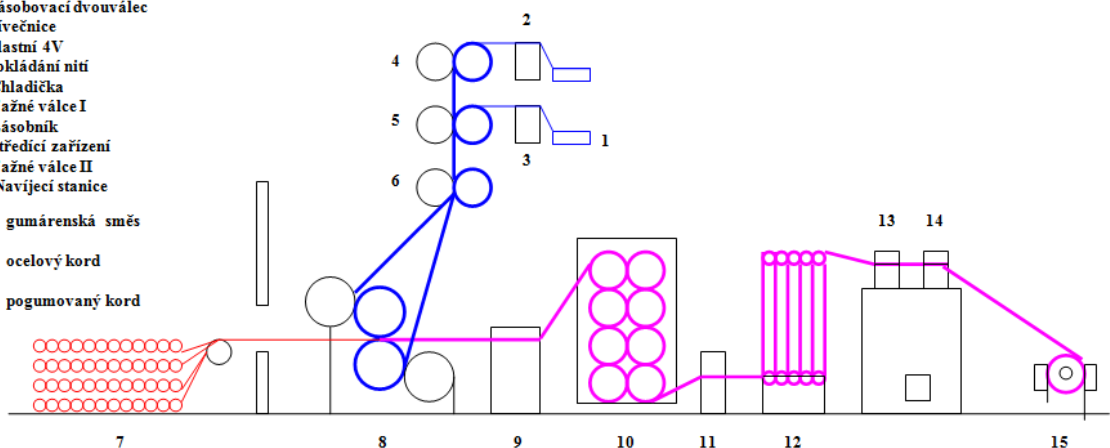
Za štvorvalcom sú na čerstvo pogumovaný kord nanášané od vzdušňovacie nite (9), kord je ťahaný cez chladičku (10) pomocou ťažných valcov (11) do zásobníku (12). Nakoniec je kord vedený cez strediacie zariadenie (13) a druhé ťažné valce (14) do navijacej stanice (15), kde je namotávaný do balíkov, opatrený sprievodkou a odoslaný do zakladača, kde je už plne k dispozícii zákazníkovi, ktorý si jednotlivé balíky odoberá podľa systému FIFO.

### Mapa procesu - gumovanie oceľového kordu

#### POPIS STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

- 1 - Palety gum. směsí
- 2 - Millfeeder č. 1
- 3 - Millfeeder č. 2
- 4 - Ohřívací dvouválec
- 5 - Ohřívací dvouválec
- 6 - Zásobovací dvouválec
- 7 - Cívečnice
- 8 - Vlastní 4V
- 9 - Pokládání nití
- 10 - Chladička
- 11 - Těžné válce I
- 12 - Zásobník
- 13 - Středící zařízení
- 14 - Těžné válce II
- 15 - Navíjecí stanice

- gumárenská směs
- oceľový kord
- pogumovaný kord



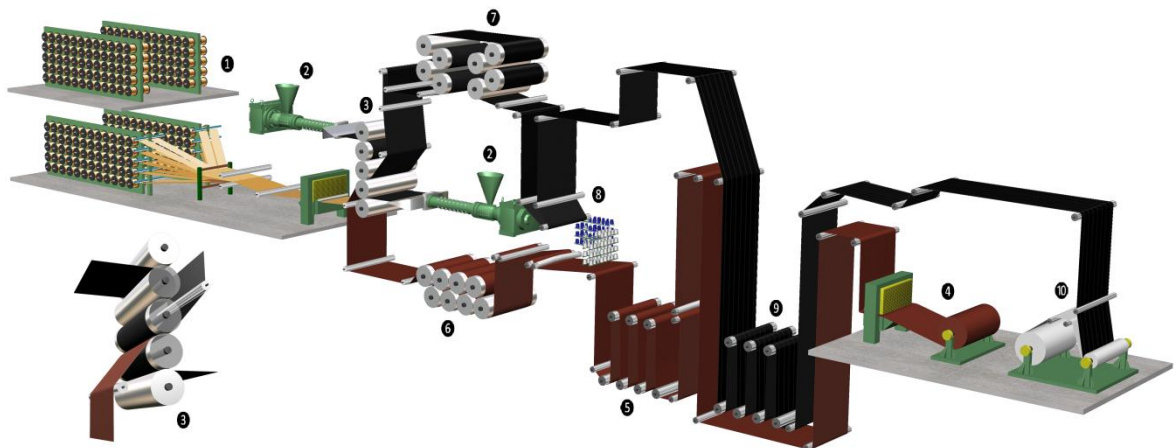
Obr. 30: Schéma procesu gumovania oceľového kordu na linke 4V Berstorff

### 11.2.3 Gumovacia linka combi 5V

Na kombinovanej päťvalcovej linke je možné pogumovávať textil a aj oceľ. Najväčší rozdiel oproti 4V linkách je v plastikácii zmesi, ktorá sa deje pomocou extruderu, kde je zmes pod tlakom a vysokou teplotou cez šablónu vytlačovaná.

U pogumovania ocele, je oceľový kord odvíjaný z veľkej cievočnice (1) a cez prievlaky, hrebeň a navádzacie valčeky navedený do päťvalca (3), kde nastáva pogumovanie kordu. Princíp päťvalca je v detailne zobrazený na obrázku pod číslom (3). Pogumovaný kord následne prechádza cez chladiace a hladiace valce (7), cez ťažné valce, vyrovnávací zásobník (9) až do navíjacej stanice (10), kde je navinutý do balíkov a poslaný do medzioperačného skladu. V priebehu procesu sú na kord nanesené odvodušňovacie nite (8), ktorých úlohou je zaistiť odvedenie vzduchu pri procese zavaľovania na konfekcii a pri lisovaní. Taktiež odvádzajú elektrický náboj a pomáhajú s identifikáciou kordu. Modré nite zvyčajne označujú spodnú časť kordu a biele časť vrchnú.

Pogumovanie textilu začína u odvíjacej stanice (4) a pokračuje cez vyrovnávací zásobník (5) a temperované valce (6), ktoré odstraňujú zbytkovú vlhkosť a takisto hľadajú, šponujú a vyrovnávajú materiál. Následne je textilná dostava navedená do 5valca, kde už pokračuje rovnakou trajektóriou ako oceľový kord.



Obr. 31: Schéma kombinovanej gumovacej linky 5V

Popis strojného zariadenia:

- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Cievočnica                 | 5. Zásobník – textil              |
| 2. Extruder                   | 6. Temperované a hladiace valce   |
| 3. Päťvalec                   | 7. Chladiace valce                |
| 4. Odvíjacia stanica – textil | 8. Nanášanie odvodušňovacích nití |

9. Zásobník – pogumovaný kord

10. Navíjacia stanica

#### 11.2.4 Teplota pri gumovaní na gumovacích linkách

Vzhľadom na rozdielnosť technológie medzi jednotlivými linkami, budú aj teploty a teda teplotné namáhania pôsobiace na surové gumárenské zmesi rozdielne.

Teplota zmesí v priebehu procesu pogumovania musí byť pravidelne monitorovaná, pretože pri prekročení stanovených limitov hrozí predčasné navulkanizovanie zmesi. Predčasne navulkanizovaná zmes je už ďalej nepoužiteľná, na linke sa musí zastaviť výroba a firmu to stojí veľké peniaze.

Rozmedzie teplôt, v ktorých by sa mala teplota zmesi v procese pogumovania pohybovať je pre jednotlivé zmesi a jednotlivé linky mierne odlišné.

Na všetkých pogumovacích linkách je teplota v pravidelných intervaloch meraná pomocou laserového teplomeru. Merania vykonávajú operátori. Teplota je meraná na začiatku procesu, uprostred a na záver už pri hotovom pogumovanom korde.

Teplota zmesí sa na 4V linkách pohybuje zvyčajne v rozmedzí 85°C – 95°C (obr. 27) pričom maximálna tolerovaná hranica je 99°C. Ak je teplota 99°C presiahnutá, musia byť uskutočnené nápravné opatrenia.

### Continental Barum s.r.o. | Příprava materiálu

Vaňko Martin [Odhlásit](#)

**Datum:** 2015-04-27 **Čas:** 07:41 **Směna:** I.

**Linka:** 4V textil **Činnost:** teplota směsi **Směs\*:** B00458 **Hodnota:** 80 **Úsek měření:** začátek

**Poznámka/Opatření:**

Úsek měření	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	Opatření
konec											x														Smazat
střed												x													Smazat
začátek										x															Smazat
konec											x														Smazat
střed												x													Smazat
začátek											x														Smazat
konec												x													Smazat
střed													x												Smazat
začátek													x												Smazat
konec													x												Smazat
střed														x											Smazat
začátek															x										Smazat
konec																x									Smazat

Obr. 32: Evidencia nameraných teplôt u 4V liniiek

Na kombinovanej 5V linke sú teploty tesne pred pogumovaním a na výstupe veľmi podobné. Najväčší rozdiel však nastáva pri plastikácii zmesi, ktorá je u 5V linky realizovaná pomocou extruderu, zatiaľ čo u 4V liniiek pomocou kalandru. Pri plastikácii zmesi pomocou extruderu je teplota za stáleho tlaku v extrudri až okolo 115°C - 120°C.

Nielen rozdielne teploty, ale aj odlišné mechanické namáhanie zmesí pri uvedených technológiách dáva predpoklad, že pri meraniach sa budú hodnoty konfekčnej lepidivosti u jednotlivých liniiek mierne líšiť.

Vzhľadom na to, že je pomerne problematické odobrať úplne identické vzorky v jednom čase na 4V a 5V linke a nesynchronne odobranie vzoriek by do meraní vnieslo až príliš veľa nepresností (rozdielna odležanosť zmesi, zmes vyrobená v iný deň v inom miešacom cykle a dávke apod.), rozhodlo sa, že pre vyšetrovanie rozdielnosti technológie sa bude v prvom kroku posudzovať bezpečnosť zmesi, u ktorej sa prejaví do akej miery boli skú-

mané vzorky danou technológiou namáhané. Na základe výsledkov bezpečnosti bude ďalej možné vyvodiť závery o vplyve pogumovania na lepivosť.

### 11.2.5 Meranie bezpečnosti zmesi pomocou Mooney viskozimetru

Pre porovnanie rozdielnych technológií a ich vplyvu na lepivosť budeme využívať zmesi, ktoré sú spracovávané tak ako na 4V linke, tak aj na 5V.

V aktuálnej výrobe je iba jedna zmes pre oceľ, ktorá je spracovávaná na 4V linke Berstorff a zároveň na kombinovanej 5V linke. Ide o zmes s označením B2.

Rovnaká situácia je aj u zmesí slúžiacich na pogumovanie textilu. Spomedzi všetkých zmesí bola aktuálne vytipovaná len jedna spoločná zmes s označením A2.

Na uvedených dvoch zmesiach budú prebiehať merania bezpečnosti zmesi. Pre porovnanie bezpečnosti zmesi pred a po tepelnom namáhaní sa odoberú vždy vzorky na jednotlivých linkách pred tepelným ovplyvnením a po tepelnom ovplyvnení (či už extrudrom u 5V alebo kalandrom u 4V).

Meranie bezpečnosti sa na každej zmesi uskutoční 10 krát. Merania tej istej zmesi, ale z rozdielnej pogumovacej linky budú prebiehať vždy v rovnakom čase, aby nedošlo k ovplyvneniu výsledkov faktorom času. U každej zmesi sa uskutoční najskôr 10 meraní surovej zmesi, ktorá bola odobraná u oboch liniek ešte pred vstupom do plastikačného procesu. A vzápätí bude prebiehať testovanie už tepelne ovplyvnených zmesí.

Merania bezpečnosti zmesi a teda času, ktorý uplynie, kým sa začne zmes navulkanizovať bude realizované pomocou zariadenia Viskozimeter Mooney MV 2000 (obr. 29). Spoločnosť Continental Barum, s.r.o. má k dispozícii hneď niekoľko týchto zariadení, čo nám umožní uskutočniť meranie rovnakej zmesi v jednom čase. Všetky tieto zariadenia sú na dennej báze používané a ich presnosť je každý deň testovaná pomocou etalónu, vďaka čomu môžeme vylúčiť prípadnú chybu spôsobenú využitím viacerých zariadení a nie jedného.

Vzorky musia byť pred samotným meraním patrične upravené (obr.28). Na každé meranie sú potrebné dve vzorky kruhovitého tvaru o minimálnom priemere 45 mm a hrúbke 5 až 15 mm. Stanovený tvar je vyseknutý pomocou vysekávacieho zariadenia. Uprostred jednej zo vzoriek je navyše uprostred vyseknutý otvor o priemere 10 mm určený pre osu rotoru. Vzorky zmesí s vysokým obsahom plnív by nemali byť hrubšie ako 10 mm. Povrch vzorky

nesmie byť nijako znečistený a obsahovať výkvet. Takisto musí byť odstránený prípadný postrek.

Po upravení vzoriek na požadovaný tvar a hrúbku, sú vzorky umiestnené do komory viskozimetra. Prikryjú sa fóliou, komora sa uzavrie a meranie sa môže začať. Zariadenia sú prepojené s počítačom a tak je možné v špeciálnom software vidieť celý priebeh merania, grafy a samotné výsledky meraní.



*Obr. 33: Príprava vzoriek*



*Obr. 34: Viskozimeter Mooney MV 2000 od spoločnosti Alpha Technologies*



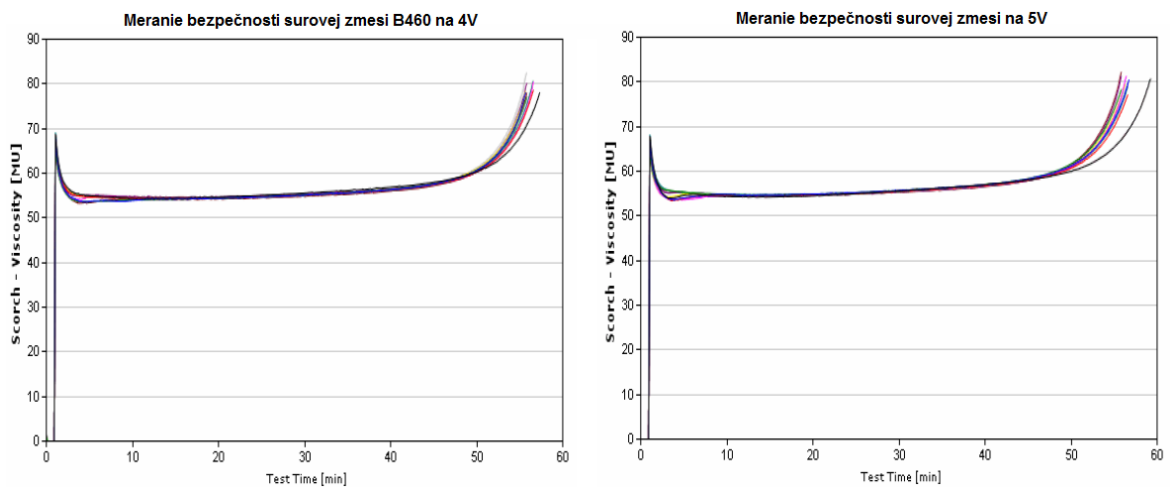


Obr. 35: Umiestnenie vzoriek do viskozimetra

### **Meranie bezpečnosti zmesi B2**

V prvej fáze testovania bezpečnosti zmesi B2 bola meraná bezpečnosť surovej zmesi. Vzorky boli odobrané priamo u 4V a 5V liniek. Vzhľadom na to, že zmes v tejto fáze ešte nebola teplotne a mechanicky namáhaná, výsledky meraní by mali byť veľmi podobné. Avšak gumárenská zmes je samozrejme veľmi premenlivá, takže každá dávka a dokonca aj každá paleta môže byť mierne odlišná.

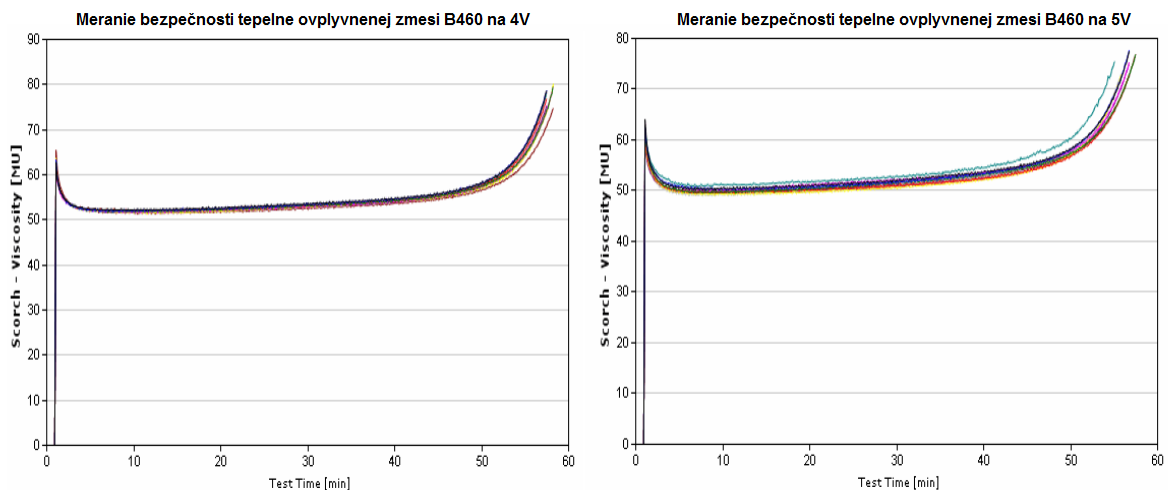
Porovnanie nameraných výsledkov surovej zmesi B2 u 4V a u 5V linky je znázornené na nasledujúcich grafoch.



Obr. 36: Porovnanie bezpečnosti surovej zmesi u 4V a 5V linky

Nameraná bezpečnosť surových zmesí bola veľmi podobná, čo vypovedá o stálosti zmesi a o presnosti oboch meracích zariadení. Presné výsledky všetkých meraní sú uvedené v sumárnej Tab. 8

U porovnaní vzoriek, ktoré už boli ovplyvnené danou technológiou je možné predpokladať určité rozdiely vo výsledkoch. Meranie bezpečnosti zmesi by malo ukázať, na ktorej linke dochádza k väčšiemu namáhaniu zmesi, čo sa prejaví v čase  $t_5$ , ktorý hovorí o dobe, ktorá uplynula, kým stúpila viskozita zmesi o 5 jednotiek Mooney oproti minimálnej hodnote viskozity. Porovnanie bezpečnosti tepelne ovplyvnenej zmesi u technologicky odlišných liniek je znázornené na nasledujúcom grafe.



Obr. 37: Porovnanie bezpečnosti tepelne ovplyvnených zmesí u liniek 4V a 5V

Meranie tepelne ovplyvnenej zmesi B2 jednoznačne nepotvrdilo vplyv rozdielnej technológie na bezpečnosť zmesi. V nameraných výsledkoch je vidieť iba pomerne malý rozdiel. Priemerný čas  $t_5$  desiatich tepelne ovplyvnených vzoriek z linky 5V je o 3,45 minúty kratší ako u linky 4V, čo znamená, že bezpečnosť 5V linky je o 3,45 minúty nižšia. Nameraný rozdiel však nie je uspokojujúci a dostatočne veľký, aby bolo možné konštatovať, že rozdiel namáhania zmesi je medzi 4V a 5V linkou zásadný. Taktiež nie je možné z nameraných výsledkov vyvodit' závery pre lepidlosť.

Tab. 10: Meranie bezpečnosti zmesi B2

Zmes B2	Meranie surovej zmesi		Meranie tepelne ovplyvnenej zmesi	
	4V	5V	4V	5V
Linka	4V	5V	4V	5V
Meranie č.	t <sub>5</sub> [min]	t <sub>5</sub> [min]	t <sub>5</sub> [min]	t <sub>5</sub> [min]
1.	47,4	47,9	48,28	45,32
2.	48,17	48,06	48,38	43,55
3.	48,53	47,95	47,7	46,23
4.	48,53	48,35	48,38	42,78
5.	48,22	47,13	48,34	45,6
6.	48,43	46,4	49,3	44,18
7.	48,75	46,03	48,18	46,17
8.	47,15	47,57	48,43	44,5
9.	47,32	45,72	47,55	45,27
10.	48,35	47,75	47,83	44,28
Počet vzoriek	10	10	10	10
Minimum	47,15	45,72	47,55	42,78
Maximum	48,75	48,35	49,3	46,23
Priemer	48,09	47,29	48,24	44,79
Smerodajná od.	0,576	0,923	0,489	1,127

Tab. 11: Vplyv technológie na bezpečnosť zmesi

Rozdiel medzi 4V a 5V v t <sub>5</sub> [min]	
surová zmes	tepelne ovplyvnená zmes
0,80	3,45

Tab. 12: Vplyv tepelného ovplyvnenia na bezpečnosť zmesi

Rozdiel medzi surovou a tepelne ovplyvnenou zmesou v t <sub>5</sub> [min]	
4V	5V
-0,15	2,5

Pre potvrdenie získaných výsledkov sa v zapätí uskutočnilo ďalšie meranie, pri ktorom boli vzorky liniek umiestnené na stanovené teploty a čas do sušiarne. Po vytiahnutí zo sušiarne a kondicionovaní na bežnú teplotu sa na týchto vzorkách merala bezpečnosť, ktorá bola porovnávaná s hodnotami surovej zmesi. Avšak ani v tomto prípade výsledky nepreukazujú očakávaný prepád času, v ktorom stúpne hodnota Mooney o 5 jednotiek.

Tab. 13: Vplyv tepelného namáhania zmesi na bezpečnosť zmesi

Zmes B2	Surová zmes	10 min sušička [115°C] + 1 krát prejde cez kalander	10 min sušička [115°C] + 2 krát prejde cez kalander
čas $t_5$ [min]	43,8	43,22	44,87

Získané dáta opäť potvrdili minimálny vplyv krátkodobého pôsobenia teploty a mechanického namáhania na hodnotu bezpečnosti zmesi. Dá sa predpokladať, že bezpečnosť zmesi by sa výraznejšie menila až pri dlhodobejšom a intenzívnejšom zaťažovaní zmesi. Zmes, na ktorej sa experiment realizoval sa považuje za pomerne stabilnú a vo výrobe u nej nie sú problémy s predčasným navulkanizovaním a teda bezpečnosťou. Bohužiaľ iná spoločná zmes na pogumovanie oceli nebola momentálne k dispozícii.

### *Meranie bezpečnosti zmesi A2*

Na základe výsledkov u zmesi B2, ktoré nepreukázali zásadný vplyv technológie a pôsobenia teploty na bezpečnosť zmesi bolo rozhodnuté, že sa u zmesi A2 nebude pokračovať rovnakým spôsobom.

#### **11.2.6 Porovnanie konfekčnej lepivosti u 4V a 5V linky**

Keďže meranie bezpečnosti zmesi nepreukázalo vplyv rozdielnej technológie na hodnotu bezpečnosti zmesi, bolo potrebné stanoviť iný postup, ktorý by tieto výsledky potvrdil alebo vyvrátil.

Po dohode s plánovačmi výroby gumovania, boli vybrané 2 spoločné zmesi pre štvorvalcovú a päťvalcovú linku, na ktorých sa bude pomocou metódy X merať konfekčná lepivosť. Taktiež boli dohodnuté správne načasovania odobratia vzoriek, tak aby nedošlo k ovplyvneniu výsledkov. Dávka zmesi sa bude v tomto meraní považovať za konštantnú, vzhľadom na to, že každá miešaná dávka musí prejsť prísnyimi limitmi, čo vylučuje prípadnú variabilitu. Stabilitu zmesi potvrdilo aj meranie bezpečnosti v predchádzajúcej kapitole.

Každé meranie konfekčnej lepivosti sa uskutoční v čase minimálnej odležanosti daného pogumovaného kordu a opäť bude realizované na 50 vzorkách.

***Meranie konfekčnej lepivosti textilného kordu (zmes A3)***

Ako spoločná zmes pre obidve linky u pogumovania textilu bola vybraná zmes s označením A3. Textilný kord pogumovaný uvedenou zmesou má nastavenú minimálnu dobu odležania len 2 hodiny.

*Tab. 14: Porovnanie lepivosti zmesi A3 u 4V a 5V*

Zmes A3 - pogumovaný textil		
Technológia	4V	5V
<b>Lepivosť [N]</b>		
<b>Priemer</b>	6,02	6,09
<b>Maximum</b>	7,68	7,47
<b>Minimum</b>	4,65	4,52
<b>Rozptyl</b>	3,03	2,95
<b>Smerodajná odchýlka</b>	0,69	0,84

Namerané hodnoty konfekčnej lepivosti u oboch liniek sú veľmi podobné a nedá sa o nich jednoznačne prehlásiť, žeby preukazovali vplyv technológie pogumovania na konfekčnú lepivosť. Rozdiel medzi lepivosťou u 5V linky a 4V linky na textil je iba 0,07 N, čo znamená, že nameraná konfekčná lepivosť u 4V linky je o 1,15% nižšia.

***Meranie konfekčnej lepivosti oceľového kordu (zmes B2)***

Spoločnou zmesou pre obidve pogumovacie linky u pogumovania ocele je opäť zmes B2, ktorá už bola skúmaná v predchádzajúcich meraniach bezpečnosti zmesi. Minimálna doba odležania pre pogumovaný oceľový kord je u tejto zmesi 12 hodín.

*Tab. 15: Porovnanie lepivosti zmesi B2 u 4V Berstorff a 5V*

Zmes B2 - pogumovaný textil		
Technológia	4V	5V
<b>Lepivosť [N]</b>		
<b>Priemer</b>	2,50	3,49
<b>Maximum</b>	3,08	4,30
<b>Minimum</b>	1,90	2,28
<b>Rozptyl</b>	1,18	2,02
<b>Smerodajná odchýlka</b>	0,24	0,35

Výsledky merania ukázali viditeľný rozdiel medzi hodnotami konfekčnej lepivosti oceľového kordu odobraného u 4V linky a hodnotami 5V linky. Hodnota rozdielu predstavuje

0,99 N, čo znamená, že konfekčná lepivosť skúmaných vzoriek odobraných u 4V oceleovej linky je o 28,4 % nižšia.

Uvedené výsledky potvrdili predpoklad, že by konfekčná lepivosť pogumovacej linky 5V mala byť v porovnaní s lepivosťou technologicky odlišnej 4V linky Berstorff vyššia. Je však potrebné upozorniť, že namerané výsledky môžu byť ovplyvnené mnohými nežiaducimi faktormi, ktoré z nášho experimentu nebolo možné vylúčiť. Medzi ne patrí napríklad to, že vzorky neboli z jednej dávky, prípadne palety zmesi a spracovaná zmes nemusela byť odležaná rovnaký čas.

### ***Zhrnutie nameraných výsledkov***

Na základe doposiaľ získaných dát nie je možné jednoznačne tvrdiť, že gumovanie na kombinovanej 5V linke zvyšuje konfekčnú lepivosť pogumovaných materiálov. Tento rozdiel bol momentálne preukázaný len na jednej zmesi u oceleového kordu. U zmesi, ktorou sú pogumované textilné kordy sa tento rozdiel nepotvrdil a jeho hodnota bola len zanedbateľná.

Každopádne je veľmi pravdepodobné, že rozdielnosť technológie vplyva na hodnotu konfekčnej lepivosti a preto by bolo do budúcnosti určite dobré pokračovanie v podobných meraniach, čím bude základňa nameraných dát oveľa širšia a umožní lepšie vyvodenie záverov. Taktiež je veľmi pravdepodobné, že v budúcnosti sa budú na 5V postupne zavádzať ďalšie zmesi, ktoré budú spoločnými aj pre 4V linky a tak bude možné porovnávať lepivosť aj na ďalších zmesiach.

## 12 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A ZÁVEREČNÁ DISKUSIA

Pre vypracovanie experimentálnej časti diplomovej práce boli stanovené štyri základné ciele.

- Výber najpresnejšej a najspoľahlivejšej metódy merania konfekčnej lepivosti pomocou MSA analýzy;
- Analýza vplyvu odležanosti na konfekčnú lepivosť;
- Analýza vplyvu vlhkosti/sucha na konfekčnú lepivosť;
- Analýza vplyvu teploty prostredia a technologického teplotného ovplyvnenia zmesi na konfekčnú lepivosť.

Prvou a možno najkľúčovejšou úlohou bolo vybranie najspoľahlivejšej metódy merania konfekčnej lepivosti. Nesprávne vybranie metódy by pravdepodobne negatívne ovplyvnilo všetky nasledujúce merania, ktoré by neboli dostatočne presné a tak by mohli byť výsledky a závery z nich vyplývajúce skreslené.

V spoločnosti Continental Barum, s.r.o. sa v súčasnosti využívajú k meraniu lepivosti len dve metódy. V blízkej budúcnosti sa k týmto dvom metódam pridá tretia – Metóda Y, ktorá je momentálne vo vývoji a bude slúžiť hlavne k meraniu lepivosti surovej zmesi, čo bude určite veľmi užitočné vzhľadom na to, že podľa teoretických prameňov, lepivosť surovej zmesi, pevnosť za surova a konfekčná lepivosť medzi sebou značne korelujú.

Po uskutočnení MSA analýz obidvoch metód bola jednoznačne ako presnejšia označená Metóda X, zatiaľ čo metóda Rolling ball sa ukázala ako pomerne nepresná. Minimálna hranica indexu spoľahlivosti  $C_g$ , ktorá bola nastavená na hodnotu 1,33 bola u metódy X prekročená, čo vypovedá o dostatočnej presnosti a relevancii budúcich nameraných výsledkov. Pre ďalšie pokračovanie výskumu bola metóda Rolling ball vylúčená a postupovalo sa už len pomocou metódy X.

Následne bola praktická časť diplomovej práce zameraná na vyšetrenie vplyvu určených faktorov na konfekčnú lepivosť.

V prvej fáze bol skúmaný vývoj konfekčnej lepivosti vzhľadom na stúpajúcu odležanosť. Pre výskum bol použitý oceľový kord pogumovaný zmesou B1. Výsledky meraní jasne preukázali klesanie konfekčnej lepivosti so stúpajúcou odležanosťou. Najväčší prepád lepivosti nastáva v prvých hodinách a dňoch po pogumovaní kordu. Neskôr je už pokles lepivosti len pozvoľný. Najkľúčovejšie je preto pre firmu stanovenie optimálnej minimál-

nej, ale aj maximálnej doby spracovania zmesi. Pri príliš krátkej minimálnej dobe spracovania môžu nastávať problémy s moc vysokou konfekčnou lepivosťou a to obzvlášť v kombinácii s ďalšími faktormi ovplyvňujúcimi konfekčnú lepivosť ako je napríklad teplota, či prípadne technológia predchádzajúcich výrobných stupňov. Naopak, pri spracovaní daného polotovaru na konfekcii až v dobe maximálnej odležanosti, môže nastať, že hodnota konfekčnej lepivosti je nedostačujúca a spoje konfekčných polotovarov je nutné komplikovane oživovať gumárenským cementom, čo je z procesného hľadiska, ale aj z hľadiska životného prostredia nežiaduce.

Ďalším faktorom, ktorého vplyv na konfekčnú lepivosť bol skúmaný, je vlhkosť prostredia. Po odobraní vzorky pogumovaného textilného nárazníku, bola časť odobranej vzorky umiestnená do relatívne vlhkého prostredia a časť do prostredia suchého. Následne bola na uvedených vzorkách meraná konfekčná lepivosť. Meranie sa uskutočnilo štyrikrát a to v rozdielnu dobu, ktorá uplynula od odobratia vzoriek. Výsledky meraní pomerne jasne preukázali nižšie hodnoty lepivosti vzoriek, ktoré boli vystavené vlhkému prostrediu. Tento rozdiel sa postupne v čase prehľboval. Kaučuková zmes vo vlhkom prostredí do určitej miery absorbuje vlhkosť a tak nie je adhézia pri kontakte až taká účinná.

Tretím skúmaným faktorom, bol vplyv teploty na konfekčnú lepivosť. V prvej časti bol výskum zameraný na vplyv teploty prostredia na hodnoty lepivosti. V priebehu roku sa teploty vo výrobe menia, v lete dosahuje teplota určite vyššie hodnoty ako v zime a tak je dôležité vedieť do akej miery dokáže kolísanie teploty ovplyvniť hodnoty konfekčnej lepivosti.

Namerané hodnoty konfekčnej lepivosti u vzoriek vystavených vyššej teplote boli pozorovateľne vyššie ako hodnoty vzoriek vystavených minimálnej reálnej teplote vo výrobe, z čoho sa dá vyvodiť záver, že v letnom období bude konfekčná lepivosť o niečo vyššia.

Posledné merania boli zamerané na zistenie vplyvu rozdielnej technológie pogumovacích liniek na konfekčnú lepivosť. U výskumu sa vychádzalo zo skúseností, ktoré vypovedali o väčších problémoch s lepivosťou u polotovarov pogumovaných na päťvalcovej kombinovanej linke. Toto tvrdenie taktiež podporuje fakt, že u 5V linky je zmes homogenizovaná prostredníctvom extruderu, kde na ňu pôsobí o dosť vyššia teplota ako je tomu pri kalandrovaní na štvorvalcových linkách.

Ukázalo sa ako pomerne náročné zaistiť pre výskum objektívne podmienky a odobrať u obidvoch porovnávaných liniek vzorky, ktoré nie sú ovplyvnené inými faktormi ako na-



príklad rozdielna odležanosť, dávka zmesi apod. V prvej fáze bolo rozhodnuté testovať odlišnosť technológie pogumovacích liniek na bezpečnosti zmesi pomocou Mooney viskozimetra. Predpokladalo sa, že sa odlišné teplotné a mechanické namáhanie na linkách rozdielne prejaví na hodnote bezpečnosti zmesi. Predpoklad sa však bohužiaľ nepodarilo potvrdiť a tak bolo následne rozhodnuté, že sa bude pokračovať v priamom meraní konfekčnej lepivosti za podmienky, že stabilita zmesi sa bude považovať za konštantnú.

Merania pogumovaného textilného kordu nepreukázali zásadný rozdiel v hodnotách konfekčnej lepivosti v porovnaní vzoriek odobraných u obidvoch liniek. Viditeľný rozdiel nastal u vzoriek oceľového kordu, kde lepivosť vzoriek odobraných u 5V linky výrazne prevýšila lepivosť vzoriek 4V pogumovacej linky. Na základe nameraných výsledkov nie je momentálne možné vyvodiť jednoznačné závery a pre potvrdenie zistení by bolo potrebné merania viacnásobne opakovať a prípadne rozšíriť o vzorky inej zmesi.

Vytýčené ciele práce sa podarilo splniť, ale určite tu ostáva mnoho priestoru pre pokračovanie meraní a výskumov aj smerom do budúcnosti. Problematika konfekčnej lepivosti je veľmi široká a zasahuje do nej množstvo rôznych faktorov.

Vzhľadom na široké spektrum aspektov spadajúcich pod tému konfekčnej lepivosti, nebolo v rámci diplomovej práce ani zďaleka možné obsiahnuť úplne všetko. Diplomová práca sa napríklad nezaoberala zložením zmesi a vplyvom zloženia zmesi na hodnoty lepivosti. Podľa skúseností a informácií nadobudnutých v teoretickej časti, má zloženie zmesí zásadný vplyv na výslednú konfekčnú lepivosť, takže by bolo určite zaujímavé sledovanie vývoja lepivosti s postupným menením zloženia zmesi. Odhalené súvislosti by sa následne mohli aplikovať na problematiku zmesi a riešiť sa tak príliš vysoká alebo nedostatočná lepivosť a to nielen v procese konfekcie surových plášťov.

Medzi odporúčenia a opatrenia, ktorými by išlo do istej miery eliminovať problémy súvisiace s konfekčnou lepivosťou by sa mohli zaradiť:

- Klimatizačná komora – vzhľadom na rast konfekčnej lepivosti so stúpajúcou teplotou, ktorý bol v experimentálnej časti potvrdený, by bolo možné riešiť problémy príliš vysokej lepivosti a to predovšetkým v letných obdobiach klimatizačnou komorou, ktorá by umožnila udržiavať hodnotu lepivosti na prijateľnej hranici. Uvedené zariadenie sa momentálne do spoločnosti Continental Barum, s.r.o. plánuje zakúpiť.

- Plávajúca minimálna doba odležania – rozdielna minimálna, prípadne maximálna doba odležania v závislosti od ročného obdobia by umožnila predísť sezónnym výkyvom v konfekčnej lepivosti.
- Analýza vlhkosti prostredia vo výrobe – výsledky analýzy ukázali, že vlhkosť preukázateľne znižuje schopnosť adhézie gumárenských zmesí. Predchádzanie prostrediu s nadmernou vlhkosťou môže pomôcť v prípadoch príliš nízkej lepivosti. Podobné účinky ako vlhkosť má aj mastnota a ďalšie nežiaduce častice vo vzduchu.
- Analýza zmáčavosti gumárenských zmesí a polotovarov – schopnosť materiálu absorbovať molekuly vody je rozdielna. Test zmáčavosti by pomohol lepšiemu pochopeniu vplyvu vlhkosti na lepivosť a ukázal by, ktoré materiály môžu byť vlhkosťou ovplyvnené najviac.
- Pri chladení nevyužívať priamy kontakt s vodou – každý kontakt s vodou môže nepriamo ovplyvniť povrchové vlastnosti konfekčných polotovarov a teda aj lepivosť. Povrch materiálu dokáže vodu absorbovať, čím sa znižuje konfekčná lepivosť a navyše voda obsahuje rôzne spektrum ďalších látok a jej čistota nemusí byť vždy sto-percentne zaručená.
- Zdokonalenie a spresnenie metódy Rolling ball – metóda Rolling ball môže byť vďaka jej jednoduchšej prenosnosti využívaná aj vo výrobe a to aj priamo na linke, čo o metóde X nie je možné tvrdiť. Pravidelné meranie lepivosti priamo vo výrobe by pomohlo získať množstvo informácií o konfekčnej lepivosti a vplyvoch na ňu pôsobiacich. Spresnenie metódy by mohlo spočívať napríklad v:
  - nainštalovaní mantinelov pre obmedzenie pohybu guľôčky mimo žiadanej trajektórie alebo vytvorení koľajnice pre pohyb guľôčky;
  - úprave tvaru spúšťacej rampy na rampu tvaru U (podľa vzoru z francúzskej fabriky Sarreguemines (Obr. 37), čo by zabránilo utekaniu guľôčky u menej lepivých materiálov do vzdialeností mimo mierky.
- Výskum vplyvu zloženia zmesi na konfekčnú lepivosť.
- Spolupráca a benchmarking s ďalšími pobočkami koncernu Continental a spolupráca so spoločnosťami pracujúcimi v gumárenskom odvetví.



*Obr. 38: Úprava metody Rolling ball vo fabrike Sarreguemines*

## ZÁVĚR

Cieľom diplomovej práce bolo čo najlepšie spoznanie problematiky konfekčnej lepivosti a hľadanie jej súvislosti s prostredím a technológiou, ktoré ju výrazne ovplyvňujú. Oblasť konfekčnej lepivosti ešte nie je ani zďaleka detailne preskúmaná a popísaná a preto poskytuje enormný priestor pre rôzne výskumy, experimenty a bádanie. Rovnako aj táto diplomová práca mala obrovské pole pôsobnosti a ani zďaleka v nej nebolo možné podchytiť všetky problémy a námety pre výskum. Limitujúcim faktorom bolo takisto to, že tretia z metód merania lepivosti – Metóda Y ešte nebola dostupná. Táto metóda by sa dala využiť predovšetkým u merania lepivosti surovej zmesi, čo s ostatnými dvomi metódami nie je možné. Meranie lepivosti surovej zmesi by zjednodušilo a možno aj spresnilo realizáciu poslednej časti výskumu, kde sa skúmal vplyv rozdielnej technológie pogumovania na konfekčnú lepivosť.

Diplomová práca je rozdelená do dvoch základných častí – teoretická a praktická časť.

Teoretická časť zhromažďuje základné poznatky o problematike konfekčnej lepivosti a faktoroch, ktoré na ňu vplyvajú. Taktiež ukazuje najbežnejšie metódy merania konfekčnej lepivosti a celkovo zhŕňa všetky potrebné informácie, ktoré sú neskôr využité v praktickej časti.

V experimentálnej časti je pomocou MSA analýzy vybraná najspoľahlivejšia metóda merania lepivosti, ktorá je následne aplikovaná pre všetky ďalšie výskumy, v ktorých bol postupne skúmaný vplyv odležanosti, vlhkosti, teploty a výrobných technológií na hodnoty konfekčnej lepivosti.

Ukázalo sa, že so zvyšujúcou sa odležanosťou klesá konfekčná lepivosť, pričom jej pokles je spočiatku pomerne strmý a neskôr už len pozvoľný. Tiež bolo potvrdené, že vzorky umiestnené do vlhkého prostredia vykazujú nižšiu lepivosť. Zvýšená teplota naopak pôsobí na konfekčnú lepivosť pozitívne a zvyšuje jej hodnoty. Vplyv technológie sa stopercentne nepodarilo dokázať, ale namerané výsledky potvrdzujú domnienku o zvýšenej lepivosti u päťvlacovej pogumovacej linky oproti štvorvalcovej, no vo výskume by bolo vhodné ešte pokračovať, získať väčšie množstvo dát a prípadne počkať na zavedenie novej metódy merania surovej zmesi využívajúcej princíp trhacieho zariadenia – metódy Y.

V poslednej časti práce sa nachádza zhrnutie výsledkov, záverečná diskusia a taktiež niekoľko odporúčení do budúcnosti pre úspešný „boj“ s konfekčnou lepivosťou.

Vytýčené ciele práce sa podarilo splniť a diplomová práca priniesla množstvo zaujímavých výsledkov, na ktorých rozvinutí a prípadnom potvrdení treba ešte ďalej pracovať a smerom do budúcnosti poskytuje obrovský priestor na jej nadviazanie a rozšírenie.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DUCHÁČEK, V., Z. HRDLIČKA. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009, 199 s. ISBN 978-80-7080-713-2.
- [2] KUTA, A. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999, 203 s. ISBN 80-708-0367-3.
- [3] DVOŘÁK, Z. Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2013 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z : <<http://www.utb.cz/file/41195>>
- [4] Organic Raw materials: RUBBER TREES ARE NOT BOUNCY [online]. 2010 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: <<http://naturallysaferproducts.com/tag/organic-raw-materials/>>
- [5] MARCÍN, J. *Vulkanizace*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1972, 159 s. ISBN 04-624-72.
- [6] ŠPAČEK, J. *Technologie gumárenská a plastikářská II*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987. ISBN 05-014-87.
- [7] MALÁČ, J. *Gumárenská technologie*. 1. vyd. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. 156 s.
- [8] KVÍTEK, L., A. PANÁČEK. ZÁKLADY KOLOIDNÍ CHEMIE [online]. Olomouc, 2007 [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <<http://fch.upol.cz/skripta/kol/koch.pdf>> Skripta. Univerzita Palackého.
- [9] WAKE, William Charles. *Adhesion and the formulation of adhesives*. London: Applied Science, 1976, xii, 325 s. ISBN 0-85334-660-7.
- [10] HAMED, G. R. Rubber Chemistry and Technology: Tack and Green Strength of Elastomeric Materials [online]. 1981 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3535821>>
- [11] HAMED, G. R. Rubber Chemistry and Technology: Tack and Green Strength of NR, SBR and NR/SBR Blends [online]. 1981 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3535813>>
- [12] VAKULA, V. L. a S.S. VOYUTSKII. Rubber Chemistry and Technology: Effects of Self-Diffusion and Inter-Diffusion in Polymer Systems [online]. 1964 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3535821>>
- [13] BRUZZONE, M., A. CARONARO a L. GARGANI. Rubber Chemistry and Technology: Crystallizable Trans-Butadiene-Piperylene Elastomers [online]. 1978 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3535777>>
- [14] KIU, K. H. STUDY OF ADHESION PROPERTIES OF NATURAL RUBBER, EPOXIDIZED NATURAL RUBBER, AND ETHYLENE-PROPYLENE DIENE

TERPOLYMER-BASED ADHESIVES. Malaysia, 2007. Dostupné z: <[http://eprints.usm.my/9470/1/STUDY\\_OF\\_ADHESION\\_PROPERTIES\\_OF\\_NATURAL\\_RUBBER,\\_EPOXIDIZED\\_NATURAL\\_RUBBER,\\_AND\\_ETHYLENE-PROPYLENE\\_DIENE\\_TERPOLYMER-BASED\\_ADHESIVES.pdf](http://eprints.usm.my/9470/1/STUDY_OF_ADHESION_PROPERTIES_OF_NATURAL_RUBBER,_EPOXIDIZED_NATURAL_RUBBER,_AND_ETHYLENE-PROPYLENE_DIENE_TERPOLYMER-BASED_ADHESIVES.pdf)>. Master degree thesis. UNIVERSITI SAINS MALAYSIA.

[15] CROWTHER, B. Handbook of Rubber Bonding. Shawbury: iSmithers Rapra Publishing, 2001. ISBN 1-85957-394-0.

[16] BROWN, Roger. Physical testing of rubber. 4th ed. New York, NY: Springer, 2006, viii, 387 s. ISBN 0387282866.

[17] ČSN 63 0002. Gumárenská terminologie. 2005. Dostupné z: <<http://www.nlnorm.cz/terminologicky-slovník/27792>>

[18] WOOL, R. P. Rubber Chemistry and Technology: Molecular Aspects of Tack [online]. 1984 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3536010>>

[19] SALAMONE, J. C. Polymeric Materials Encyklopedia. Florida: CRC Press, 1996. ISBN 0-8493-2470-X.

[20] BECKWITH, R. K., L. M. WELCH, J. F. NELSON, A. L. CHANEY a E. A. MCCRACKEN. Rubber Chemistry and Technology: Tack of Butyl and Natural Rubbers [online]. 1950 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3547098>>

[21] HAMED, G. R. a P. S. WU. Rubber Chemistry and Technology: Relationship between the Cohesive Strength and Tack of Elastomers: Part IV, Carbon Black Filled Styrene-Butadiene Rubber [online]. 1995 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3538739>>

[22] BUSSEMAKER, O. K. F. Rubber Chemistry and Technology: Tack in Rubber [online]. 1964 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3540398>>

[23] KUMAR, K. D., A. H. TSOU a A. K. BHOWMICK. Interplay between Bulk Viscoelasticity and Surface Energy in Autohesive Tack of Rubber-Tackifier Blends. In: Baidu [online]. 2010 [cit. 2015-01-17]. ISBN DOI:10.1002/polb.21985. Dostupné z: <<http://wenku.baidu.com/view/70f9d61e6bd97f192279e9f3.html>>

[24] SKEWIS, J. D. Rubber Chemistry and Technology: Self-Diffusion Coefficients and Tack of Some Rubbery Polymers [online]. 1966 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3544835>>

[25] HAMED, G. R. a C. H. SHIEH. Rubber Chemistry and Technology: Flow Criterion for Elastomer Tack [online]. 1982 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3535943>>

[26] MARK, J. E., B. ERMAN a R. MICHAEL. The Science and Technology of Rubber. 4. vyd. Waltham: Elsevier Inc., 2013. ISBN 978-0-12-394854-6.

[27] FORBES, W. G. a L. A. MCLEOD. Rubber Chemistry and Technology: Dependence of Tack Strength on Molecular Properties [online]. 1959 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3542393?=>>

[28] Structural Bonding Alternatives for Plastics. NASHETT, R. B. Plastics Decorating [online]. 2015 [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <<http://www.plasticsdecorating.com/stories/080814/assembly.shtml#.VLu3xEeG8Xo>>

[29] SKEIST, I.: Handbook of adhesives. 3rd ed. New York: Chapman & Hall, 1989. 779 p. ISBN 0-412-09681-1.

[30] BUSSEMAKER, O. K. F. a W. V. C VAN BEEK. Rubber Chemistry and Technology: A New Type of Tackmeter [online]. 1964 [cit. 2015-01-17]. ISSN 0035-9475. Dostupné z: <<http://rubberchemtechnol.org/doi/abs/10.5254/1.3540313>>

[31] Interné dokumenty spoločnosti Continental Barum, s.r.o.

[32] ČSN EN 923+A1 - Lepidla - Termíny a definice. In: Nlfnorm [online]. 2008 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <<http://www.nlfnorm.cz/terminologicky-slovník/17744>>

[33] Loop tack resistance testing machine instrument tester. Alibaba [online]. 2007 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <[http://www.alibaba.com/product-detail/Loop-tack-resistance-testing-machine-instrument\\_2013305167.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Loop-tack-resistance-testing-machine-instrument_2013305167.html)>

[34] How to Perform an Adhesive Loop Tack Strength Test – ASTM D6195. 2014. Admet [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <<http://admet.com/blogposts/how-to-perform-an-adhesive-loop-tack-strength-test-astm-d6195/>>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

NR	Natural rubber (přírodní kaučuk)
SR	Synthetic rubber (syntetický kaučuk)
IR	Izoprénový kaučuk
BR	Polybutandiénový kaučuk
SBR	Styren-butadiénový kaučuk
dsk	Počet díelov na sto díelov kaučuku
MSA	Measurement system analysis (analýza systému merania)
4V	Štvorvalec
5V	Päťvalec
FIFO	First In First Out
PAD	Polyamid

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Zber prírodného kaučuku [4]</i> .....	14
<i>Obr. 2: Vplyv obsahu síry na pevnosť v ťahu a ťažnosť pryže [3]</i> .....	15
<i>Obr. 3: Účinnosť plastifikácie v závislosti na teplote [3]</i> .....	20
<i>Obr. 4: Miešanie zmesi na dvojvalci (1 – valec, 2 – návalok, 3 – skus) [3]</i> .....	21
<i>Obr. 5: Hnetací stoj Banbury [3]</i> .....	23
<i>Obr. 6: Štruktúra elektrickej dvojvrstvy podľa Sterna [8]</i> .....	25
<i>Obr. 7: Znárodnenie rozhrania povrchov dvoch kaučukov po rýchlom zlepení malým tlakom [14]</i> .....	27
<i>Obr. 8: Ťahová skúška zmesi rôzneho pomeru NR/SBR s 50 dsk sadzí (rýchlosť merania je 50 mm.min<sup>-1</sup> [11]</i> .....	32
<i>Obr. 9: Vplyv doby hnetenia NR a hrúbky materiálu na lepivosť (plné značky) a pevnosť (prázdne značky)[25]</i> .....	39
<i>Obr. 10: Metóda odtrhávania čelných spojov [28]</i> .....	43
<i>Obr. 11: Odlupovací test [21]</i> .....	44
<i>Obr. 12: Odlupovací test, (a) z pevnej podložky, (b) z podobnej flexibilnej podložky [29]</i> .....	44
<i>Obr. 13: Prístroj Ketjen tackmeter pre meranie lepivosti [30]</i> .....	44
<i>Obr. 14: Schéma zariadenia [31]</i> .....	45
<i>Obr. 15: Skúšobný prístroj [31, 33]</i> .....	46
<i>Obr. 16: Typický tvar ťahových kriviek slučkového testu behom odtrhávania [31] (a - Adhezívne odlepenie, b - Kombinácia adsorpcie a interdifúzie - kohezívne odlepenie)</i> .....	47
<i>Obr. 17: Zariadenie pre trhaciu skúšku a konštrukcia testovacej slučky [31,34]</i> .....	47
<i>Obr. 18: Viskozita Mooney a relaxácia ML (1+4) 100°C [31]</i> .....	49
<i>Obr. 19: Meranie priebehu vulkanizácie (napríklad t<sub>5</sub> a t<sub>35</sub>) [31]</i> .....	50
<i>Obr. 20: Meranie lepivosti pomocou metódy Rolling Ball</i> .....	55
<i>Obr. 21: Čistenie guľôčky alkoholom a handričkou</i> .....	55
<i>Obr. 22: MSA štúdia metódy Rolling Ball</i> .....	56
<i>Obr. 23: Odoberanie vzoriek zo strednej časti nárazníku</i> .....	58
<i>Obr. 24: Príprava vzoriek na meranie</i> .....	59
<i>Obr. 25: MSA štúdia Metódy X</i> .....	60
<i>Obr. 26: Sprievodka materiálu použitého na meranie (zmes B1)</i> .....	63

---

<i>Obr. 27: Sprievodka materiálu použitého na meranie (zmes A1).....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 28: Záznam merania vlhkosti (týždňový cyklus).....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 29: Schéma procesu gumovania textilného kordu na linke 4V Buzuluk.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 30: Schéma procesu gumovania ocelového kordu na linke 4V Berstorff .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 31: Schéma kombinovanej gumovacej linky 5V .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 32: Evidencia nameraných teplôt u 4V liniek .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 33: Príprava vzoriek.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 34: Viskozimeter Mooney MV 2000 od spoločnosti Aplha Technologies .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 35: Umiestnenie vzoriek do viskozimetra .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 36: Porovnanie bezpečnosti surovej zmesi u 4V a 5V linky.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 37: Porovnanie bezpečnosti tepelne ovplyvnených zmesí u liniek 4V a 5V .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 38: Úprava metódy Rolling ball vo fabrike Sarreguemines .....</i>	<i>91</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1: Porovnanie lepivosti zmesí s rozdielnym pomerom NR/SBR (vlastné spracovanie)[11] .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 2: Vplyv rôznych typov živíc na lepivosť (vlastné spracovanie)[22] .....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 3: Vplyv drsnosti povrchu na lepivosť (vlastné spracovanie) [11] .....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 4: Vplyv pridania konfekčnej živice na zníženie lepivosti v čase (vlastné spracovanie) [10] .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 5: Prehľad doby spracovania zmesi B1 .....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 6: Vplyv odležanosti na lepivosť .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 7: Porovnanie lepivosti v podmienkach s vysokou a nízkou vlhkosťou .....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 8: Závislosť konfekčnej lepivosti na teplote [35°C] .....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 9: Závislosť konfekčnej lepivosti na teplote [20°C] .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 10: Meranie bezpečnosti zmesi B2 .....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 11: Vplyv technológie na bezpečnosť zmesi .....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 12: Vplyv tepelného ovplyvnenia na bezpečnosť zmesi .....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 13: Vplyv tepelného namáhania zmesi na bezpečnosť zmesi.....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 14: Porovnanie lepivosti zmesi A3 u 4V a 5V .....</i>	<i>85</i>
<i>Tab. 15: Porovnanie lepivosti zmesi B2 u 4V Berstorff a 5V .....</i>	<i>85</i>

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1: Vplyv molekulovej hmotnosti prírodného kaučuku na lepidosť a pevnosť (vlastné spracovanie)[10]</i> .....	33
<i>Graf 2: Vplyv teploty na relatívnu lepidosť NR a SBR (vlastné spracovanie)[10]</i> .....	37
<i>Graf 3: Vplyv doby hnetenia na molekulovú hmotnosť (vlastné spracovanie)</i> .....	38
<i>Graf 4: Vplyv odležanosti na lepidosť</i> .....	64
<i>Graf 5: Vplyv vlhkosti prostredia na lepidosť</i> .....	67
<i>Graf 6: Závislosť lepidivosti na teplote pri maximálnej teplote</i> .....	71
<i>Graf 7: Závislosť lepidivosti na teplote u minimálnej teploty</i> .....	72