

Chlazení profilů na vytlačovací lince

Bc. Martina Bera

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martina Bera**
Osobní číslo: **T14853**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství polymerů**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Chlazení profilů na vytlačovací lince**

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce bude posouzení vlivu všech faktorů, které ovlivňují teplotu polotovaru před uložením do přepravního prostředku a jejich matematická interpretace, tak abychom dokázali vždy maximálně využívat kapacitní možnosti vytlačovací linky.


Ing. Ivo Štěpánek, Ph.D.
vedoucí práce




doc. Ing. Karel Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Rauwendaal Ch. Understanding Extrusion, Hanser Verlag, Munich 2010, pp. 231, ISBN 978-3-446-41686-4.

MECHL, Viktor a Martin MUŠINSKÝ. Gumárenská technologie v Barum Continental, spol. s.r.o.: učebnice pro žáky zpracovatelského oboru SPŠ polytechnická - COP Zlín. 1. vyd.

Zlín: Střední průmyslová škola polytechnická - COP Zlín, 2011, 94 s. ISBN 978-80-905002-2-8.

TOMIS, František. Gumárenská a plastická technologie: Zpracovatelské procesy. 2.

přepř.vyd. Brno: VUT, 1987, 289 s. Extrusion. 2nd ed. Editor M Bauser, G Sauer, Klaus Siegert. Materials Park: ASM International, c2006, xvi, 592 s. ISBN 08-717-0837-X.

Cooling Optimizer Program: Affordable Performance Upgrades for Central A/C Systems. [online]. California: Proctor Engineering Group, 2010 [cit. 2014-06-25]. Dostupné z: <http://www.coolingoptimizer.com/>.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Antonín Blaha, CSc.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

16. ledna 2015

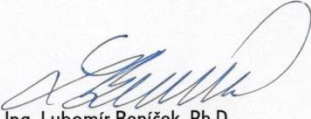
Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 2. března 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

(1) Vysoká škola 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.

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem uvedené diplomové práce je optimalizovat proces vytlačování běhounů, potřebných na výrobu pneumatik ve společnosti Continental Barum, s.r.o. tak, abychom maximalizovali produktivitu celé vytlačovací linky. Zabýváme se tedy vlivy, spojenými s vytlačováním a chlazením, a to v závislosti na receptuře vytlačované kaučukové směsi.

V teoretické části diplomové práce je popsáno složení kaučukové směsi na výrobu běhounů, požadavků na vlastnosti, její zpracování. Pozornost je také věnována samotnému procesu vytlačování a vlivům, které ovlivňují celou produkci.

Praktická část se specializuje na kaučukovou směs, která je nejčastěji zpracovávána na běhouny a u které bude nejvíce žádoucí maximalizace produktivity. S posouzením všech parametrů, ovlivňujících proces vytlačování a chlazení, se snažíme vypracovat matematickou interpretaci, která by přehledně umožnila maximalizaci produkce s ohledem na danou recepturu kaučukové směsi.

Klíčová slova:

Kaučuková směs, zpracování kaučuku, proces vytlačování, běhoun, pneumatika, tepelná vodivost, teplotní vodivost, chlazení

ABSTRACT

The aim of the thesis is to optimize the extrusion process of treads needed for tire production at Barum Continental, Ltd. and to maximize the productivity of the extrusion line. We therefore deal with influences associated with the extrusion, cooling, and depending on the recipe of the extruded rubber blend.

The theoretical part of the thesis describes the composition of rubber blend for treads processing, requirements for properties and its processing. Attention is also devoted to the extrusion process and the influences that affect the whole production.

The practical part specializes in rubber blend, which is usually processed for the treads and will be most required to maximize productivity. We also try to develop a mathematical

interpretation that would clearly allow us to maximize production with the recipe of rubber blend with an assessment of all the parameters affecting the extrusion process and cooling.

Keywords:

Rubber blend, rubber processing, extruding process, tread, tire, thermal conductivity, cooling

PODĚKOVÁNÍ

Ačkoliv cesta k dokončení studia vedla přes nesnáze a velké životní obtíže, bez věčné dobré nálady mého synka a podpory mé rodiny, které tímto za vše velmi s vděčností děkuji, bych takové překážky nikdy nezdolala. Věřím, že značná část úspěchů studia na vysoké škole patří právě jim. Oni se zejména zasloužili o tento úspěch.

Nemalý dík také patří doc. Ing. Antonínu Blahovi, CSc., za odborné vedení diplomové práce a za poskytnutí praktických znalostí v oblasti procesního inženýrství a problematiky přestupu tepla.

Rovněž bych touto cestou velice ráda poděkovala řediteli konfekce ve společnosti Continental Barum, s.r.o., Ing. Janu Smolkovi, Ing. Tomáši Maňáskovi a panu Jaromíru Plchovi za ochotu a možnost měření bakalářské i diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 KAUČUK	14
1.1 PŘÍRODNÍ KAUČUK	14
1.1.1 Struktura, vlastnosti a výskyt	14
1.1.2 Získávání kaučuku z latexu	15
1.1.3 Druhy přírodních kaučuků	15
1.2 SYNTETICKÝ KAUČUK	17
1.2.1 Struktura a vlastnosti	18
1.2.2 Druhy syntetických kaučuků	18
1.2.2.1 Isoprenové kaučuky (IR)	18
1.2.2.2 Ethylenpropylenové kaučuky (EPM, EPDM)	19
1.2.2.3 Butylkaučuky (BIIR, CIIR)	19
1.2.2.4 Olejovzdorné kaučuky (CR, NBR, ACM).....	19
1.2.2.5 Teplovzdorné kaučuky.....	20
2 PNEUMATIKA A JEJÍ ČÁSTI	21
2.1 TYPY PNEUMATIK.....	21
2.2 BĚHOUN A JEHO VLASTNOSTI	23
3 VÝROBA PNEUMATIK	24
3.1 SLOŽKY KAUČUKOVÉ SMĚSI	25
3.1.1 Plniva.....	25
3.1.2 Vulkanizační činidla.....	25
3.1.3 Urychlovače	26
3.1.4 Retardéry vulkanizace	26
3.1.5 Změkčovadla	26
3.1.6 Antioxidanty, antiozonanty	27
3.1.7 Pigmenty	27
3.1.8 Nadouvadla	27
3.2 PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI.....	28
3.2.1 Míchání na dvouválci	28
3.2.2 Kontrola kvalitní distribuce a dispergace plniv	29
3.3 VYTLAČOVÁNÍ	29
3.3.1 Popis vytlačovacího stroje.....	30
3.3.2 Jevy, provázející proces vytlačování.....	33
4 KONFEKCE VÝROBY PNEUMATIK	35
5 VULKANIZACE SUROVÉHO PLÁŠTĚ	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
6 KONCERN CONTINENTAL – BARUM, OTROKOVICE	39
7 ZADÁNÍ PRÁCE A POŽADAVKY	40
8 CHARAKTERISTIKA VYTLAČOVACÍ LINKY VL4	41

8.1	RECEPTURA A HUSTOTA SMĚSI T ₀	42
8.2	ODBĚR VODY Z CHLADÍCÍCH VAN A ANALÝZA KONCENTRACE KYSELINY SÍROVÉ	42
8.2.1	Princip měření	42
8.2.2	Postup práce	43
8.2.3	Vyhodnocení	43
9	MĚŘENÍ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH.....	44
9.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	44
9.2	ROZMĚRY VZORKŮ.....	44
9.3	VÝPOČET SKUTEČNÉ HUSTOTY VZORKŮ.....	45
9.4	MĚŘENÍ MĚRNÉHO TEPLA VZORKŮ POMOCÍ DSC ANALÝZY	47
9.4.1	Princip měření	47
9.4.2	Příprava vzorků, postup práce a vyhodnocení	47
9.5	MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI	48
9.5.1	Součinitel tepelné vodivosti	48
9.5.2	Fitchova aparatura	48
9.5.3	Princip měření	49
9.5.4	Postup práce	50
9.5.5	Způsob vyhodnocení	51
9.5.6	Výpočet koeficientu tepelné vodivosti.....	52
9.6	MĚŘENÍ TEPLOTNÍ VODIVOSTI	54
9.6.1	Princip měření	54
9.6.2	Postup práce	55
9.6.3	Výpočet rozměrové konstanty vzorku kaučukové směsi	56
9.6.4	Zpracování naměřených hodnot.....	57
9.6.5	Vyhodnocení rovnice nelineární regrese v programu Mreg.....	59
9.6.6	Výpočet teplotní vodivosti	61
10	MĚŘENÍ V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH	62
10.1	DISKUZE K VÝSLEDKŮM NAMĚŘENÝCH V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH.....	65
10.2	VÝPOČET ROZMĚROVÉ KONSTANTY SKUTEČNÉHO ROZMĚRU POLOTOVARU.....	65
10.3	VÝPOČET TEPLOTNÍ VODIVOSTI.....	66
11	CHLAZENÍ BĚHOUNU	67
11.1	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	68
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK.....	80
	SEZNAM GRAFŮ	81

ÚVOD

V současné době existuje po celém světě mnoho výrobních sektorů, předhánějící se v ceně a kvalitě vyrobené pneumatiky. A protože na každou rodinu připadá zpravidla dva i více automobilů, přibývá na trhu stále více společností, zabývajícím se tímto typem výroby.

Tradice výroby pneumatik v české republice spadá do začátku 20. století, roku 1932, kdy se Tomáš Baťa rozhodl vyměnit železniční dopravu svých výrobků za dopravu nákladní a tak zlevnit a zefektivnit dopravu ze svého areálu k zákazníkovi. Uvažoval proto o výměně klasických kol za pryžové pneumatiky, které by daleko více odolávaly otěru na vozovce a tím by se tak zlevnila doprava vyrobené obuvi.

Na výrobu pneumatik se používá především přírodní kaučuk, který je nedostatkovým zbožím a i z finančního hlediska se kombinuje s kaučukem syntetickým, který doplňuje požadovanou vlastnost výsledné směsi. Je nám známo nepřeborné množství syntetických kaučuků, avšak pro výrobu běhounů je nejvíce používán kaučuk styrenbutadienový (zkratka SBR).

Součástí této diplomové práce je studium běhounu, nejdůležitější části pneumatiky. Vytváří kontaktní plochu s vozovkou a jeho vlastnosti se pak také nejvíce podílí na celkové kvalitě pláště. Výroba běhounu začíná, jako u každého polotovaru vedoucího k celkovému spojení, mícháním kaučukové směsi na dvouválci, která je složena hned z několika přísad, mající značný vliv na chování konečné kaučukové směsi. Hlavní roli ale stále hraje kaučuk. Taktéž věnujeme velkou pozornost míchání a následné kontrole. Takto zamíchaná kaučuková směs je v podobě pásku vložena do násypky vytlačovacího stroje, kde pomocí speciální koextruzní vytlačovací hlavy, opatřené šablonou a předšablonou vzniká tvar běhounu. Tento se následně pokládá na paletový vozík, neboli rek a je odvážen na konfekční linku, kde dochází k celkovému spojení všech již vyrobených polotovarů pneumatiky a vzniku surového pláště. Zafixováním tvaru v lisu se pak hotová pneumatika ještě podrobuje testům uniformity a další kontrole kvality, odkud je pomocí vysokozdvížných vozíků uskladněna a posílána zákazníkovi.

Celý proces nejdůležitějšího kroku, tj. vytlačování, ovlivňuje řada faktorů – teplota jednotlivých úseků vytlačovací linky, rychlost vytlačování i chlazení po následné extruzi, normálová napětí, nárůst za hubicí, aj. Tyto jevy a faktory musíme umět potlačit či upravit tak, abychom dostali výrobek s neměnitelnými parametry a s co nejlepšími vlastnostmi. Jednalo-li by se o zpracování plastových výrobků, může být tato problematika vyřešena zcela na základě poznatků z reologie, tedy tokem a deformacemi při toku. To však nelze předpokládat u zcela

různých receptur kaučukových směsí, u kterých již díky jejich různorodé struktuře, nemůžeme vypracovat zcela univerzální matematickou interpretaci, či vypracovat univerzální tabulku teplot chlazení a zpracování, tak, aby byly parametry výrobku vždy stejně zachovány. Každá kaučuková směs se tedy chová, na rozdíl od polymerů, jinak.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KAUČUK

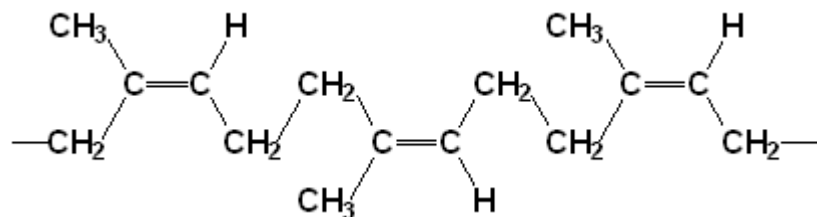
Jako kaučuk se označuje každý polymer s mimořádně vysokou elasticitou. Kaučuky také nazýváme termínem elastomery. Tyto polymery se vyznačují zcela vratnou deformací. Za normálních teplot jsou relativně měkké, tzn., že mají poměrně nízký modul pružnosti. Jsou proto vysoce ohebné a odolné vůči otěru [1;2].

Aby polymery vykazovaly takový typ elasticity, musí ovšem splňovat další podmínky ve struktuře. Polymerační stupeň takového polymeru by se měl pohybovat nad 1000, segmenty v makromolekule by se měly snadno pohybovat a měly by být schopny síťování. Teplota skelného přechodu takových polymerů by neměla být vyšší než -40°C . Se zvyšující se teplotou dochází k poklesu elasticity, která je pro nás rozhodující vlastností [2].

1.1 Přírodní kaučuk

1.1.1 Struktura, vlastnosti a výskyt

Přírodní kaučuk neboli cis - 1,4 - polyisopren (zkratka NR- natural rubber) je přírodní nasyčený amorfní elastomer. Atomy uhlíku zaujímají CIS konfiguraci, která způsobuje tzv. kudrnacení řetězce, jež znemožní přiblížení řetězců tak, aby nedocházelo k vytvoření pravidelné krystalické struktury [2;3].



Obrázek 1: Struktura cis - 1,4 - polyisoprenu [5]

Přírodní kaučuk se vyznačuje teplotou skelného přechodu -73°C , měkne při 120°C a při teplotě 200°C dochází k přechodu na hnědou kapalinu. Mezi jeho největší přednosti můžeme rozhodně zařadit vysokou odolnost vůči otěru, velkou odrazivost, nízkou změnu teploty během mechanického namáhání a zejména schopnost vulkanizace. Nespornou výhodou je také odolnost vůči zředěným kyselinám i zásadám. Odolnost vůči rozpouštědlům lze však posuzovat dle polaritý jednotlivých kaučuků. Přírodní kaučuk, jakožto nepolární, špatně odolává benzinům a naftě, vůči ketonům a alkoholům je velmi dobrá [1;4].

Dlouhodobě lze přírodní kaučuk použít v rozmezí teplot - 57° C až + 75° C. Jedná se tedy o bílou kapalnou suspenzi kaučukových částic ve vodném prostředí, která se získává z latexu pryžovitých rostlin. Nejznámější z nich je *Hevea Brasiliensis*, která se dnes pěstuje v kulturách na plantážích v okolí rovníku, tzv. čepováním, tj. prováděním šikmého zářezu v kůře stromu, pod nímž se umístí sběrná nádoba. Do této pak po kapkách stéká latex. Kaučukové částice jsou přitom chráněny proti slepování pomocí elektrické dvojvrstvy s povrchovým potenciálem, jehož snížením dosáhneme vysrážení požadovaného kaučuku z latexu [1;4].

1.1.2 Získávání kaučuku z latexu

Protože latex obsahuje asi 30 % kaučuku, 1 % proteinů, 1 % lipidů, 1 % uhlohydrátů a dalších látek v menších množstvích, je třeba kaučuk nejdříve z latexu vytěžit, a to hned několika způsoby. Největšího výtěžku dosáhneme metodou stání kaučuku po dobu dvou až pěti dnů, přičemž se na povrchu vytvoří vrstva s obsahem kaučuku až 60 %. Další užívanou metodou je odstředění, kdy lze získat nejkvalitnější kaučuk. Následuje způsob odpaření a elektrolýza, při které částice kaučuku vyplouvají u membrány [2;3].




1.1.3 Druhy přírodních kaučuků




Na trh uvádíme hned několik druhů přírodních kaučuků, které se do výrobních podniků dodávají v padesátikilových balících, zabalených do polyethylenové folie. Rozdíl je zejména ve způsobu získávání kaučukových částic z čerstvě čepovaného latexu.

Samovolným bakteriálním rozkladem latexu získáme tzv. **hnědou krepu**, avšak nejčastějším způsobem je úplné srážení neboli koagulace kyselinou mravenčí či octovou. Takovou cestou lze připravit hned několik typů přírodního kaučuku, ať už je to tzv. **světlá krepa**, **žebrované uzené listy (RSS Ribbed Smokes Sheets)**, což jsou srážené kaučukové pásy, rozdělené do několika tříd dle kvality a možného použití. Na výrobu automobilových radiálních pneumatik se používá RSS 4 a 5 (v tabulce 1 jsou uvedeny jednotlivé třídy RSS s příslušnými požadavky na kvalitu). Způsob zpracování takových listů spočívá ve vtažení vysráženého kaučuku mezi válce, kde se ztenčí na folie o tloušťce 2 až 3 mm. Tyto vyválcované folie jsou poté sušeny horkým vzduchem. Dalším typem kaučuku je **Indonéský Přírodní Kaučuk (ISNR)**, který se v průmyslu balí po pětadvacetikilových balících v polyetylenových foliích. Tak jako žebrované listy, i tento typ kaučuku má své rozdělení podle tříd jakosti [6;7;8]:

- ISNR 3 CV: Vysoce kvalitní výrobky s vynikajícími dynamickými vlastnostmi.
- ISNR 3 L: Barevné výrobky (vstříkované vršky od lahví)
- ISNR 5: Automobilové komponenty, gumové těsnění apod.
- ISNR 10: Duše, dopravníkové pásy, obuv, hydroizolační materiály, hadice a trubky.
- ISNR 20: Všechny typy automobilových pneumatik, rohože, apod.

Tabulka 1: Požadavky na kvalitu RSS [6;7;8]

RSS 1x	Nejsou přípustné skvrny nebo šmouhy, přeuzení, neprůhledné a spálené listy. Kaučuk musí být suchý, čistý a rovnoměrně prouzený bez skvrn, puchýřků, písku, špinavého balení a přítomnosti jiné cizí látky. Bubliny o velikosti špendlíkové hlavičky v tomto případě nevadí.	RSS 1 GOLDEN 
RSS 1		RSS 1 HONEY 
RSS 2		RSS 2 

RSS 3	<p>Drobné barevné vady, malé bublinky a malé skvrny jsou v této třídě uvedeny jako přípustné. Nejsou přípustné skvrny nebo šmouhy, přeuzení, neprůhledné a spálené listy. Kaučuk musí být suchý, čistý, bez puchýřů, písku, špinavého obalu a všech ostatních cizích látek, jež jsou uvedeny jako nepřípustné.</p>	 <p>RSS 3</p>
RSS 4	<p>Bubliny, průsvitné skvrny, mírně lepkavý a lehce přeuzený kaučuk je brán jako přípustný. Nejsou přípustné skvrny nebo šmouhy, přeuzení, neprůhledné a spálené listy. Kaučuk musí být suchý,</p>	 <p>RSS 4 A</p>
RSS 5	<p>čistý, bez puchýřů, písku, špinavého obalu a všech ostatních cizích látek, jež jsou uvedeny jako nepřípustné.</p>	 <p>RSS 5 A</p>

1.2 Syntetický kaučuk

Výrobou syntetických kaučuků se v dnešní době zabývá značné množství výrobních podniků, už z toho důvodu, že mnohem lépe doplňují vlastnosti kaučuku přírodního. Kdybychom totiž použili pouze kaučuk přírodní, razantně by se zvýšila cena vyrobeného produktu a nedosáhli bychom požadovaných vlastností. Vzhledem k tomu, že je vývoj nových syntetických kaučuků velice finančně nákladný, snažíme se kombinovat stávající polymery tak, abychom získaly nové materiály se širším spektrem vlastností [1;4].

1.2.1 Struktura a vlastnosti

Hlavními představiteli syntetických kaučuků jsou kopolymery isoprenu a butadienu. Vzhledem k tomu, že jsou ve svých řetězcích umístěny dvojné vazby, stávají se tedy nenasyčenými a je potřeba použít síru jako vulkanizační činidlo. Na druhou stranu, má-li takový kaučuk nenasyčené vazby, je také náchylnější vůči oxidačním činidlům. Je třeba jej proto chránit přidáním antidegradačních činidel. Nasyčené elastomery vykazují výbornou odolnost vůči stárnutí a nepotřebují tedy nutně zásah antidegradantů. Pro zvláštní aplikace využíváme kaučuky odolávající zvýšeným teplotám či olejům. Z hlediska výroby jsou vlastnosti syntetizovaných kaučuků tím lepší, čím vyšší je jejich molekulová hmotnost, nižší zpracovatelská teplota, nižší větvení makromolekulárních řetězců a tím i nižší obsah vinylů [1;4].

1.2.2 Druhy syntetických kaučuků

Bohužel, i přes nemalou snahu člověk nedokáže získat zcela čistý elastomer, jako přírodní kaučuk. Nejčistší elastomer, který se dosud podařilo chemickou syntézou připravit, byl kaučuk s celkovým obsahem 98 % 1,4 - polyisoprenu. Problémem je však cenová dostupnost takto připraveného elastomeru. Tento je totiž dražší, než samotný přírodní kaučuk. Přírodní kaučuk se tedy často mísí s kaučuky syntetickými, ne však neomezeně. Kaučuky vyrábíme suspenzní, emulzní polymerací i polymerací v roztoku, ne však polymerací blokovou, u které není možnost míchání reakční směsi [1;4].

1.2.2.1 Isoprenové kaučuky (IR)

Butadienstyrenové kaučuky (SBR) jsou kopolymery butadienu a styrenu, jež se vyrábí jak emulzní, tak i suspenzní radikálovou polymerací. Pro výrobu pneumatik se nejvíce používá SBR, vyrobený převážně v roztoku. Tímto získáváme lepší adhezi běhounu k vozovce a vyšší odolnost vůči otěru. Značný vliv hraje také teplota. Emulzně vyráběný kaučuk se zpracovává při vyšší i nižší teplotě. Tzv. Cold E-SBR vyniká vyšší odolností vůči oděru a lepšími mechanickými a dynamickými vlastnostmi než SBR vyrobený při teplotách vyšších. Je třeba mít na paměti, že s rostoucím obsahem butadienu se snižuje adheze na mokré vozovce. Proto je obsah butadienu pro výrobu pneumatik omezen [1;4].

1.2.2.2 Ethylenpropylenové kaučuky (EPM, EPDM)

Těmito typy kaučuků jsou kopolymery etylenu a propylenu či etyldennorbornenu. Radikálovou polymerací v roztoku se tento výsledný polymer následně chová jako kaučuk. Protože mají makromolekulární řetězce zcela nasycené vazby, není možné tyto typy kaučuků vulkanizovat sírou, ale peroxidy. Kopolymer obsahující etylidennorbornen však dvojnou vazbu obsahuje, a tak jej lze vulkanizovat nejen sírou, ale i peroxidy. Jeho výhodou je také dobrá odolnost vůči povětrnostním podmínkám a v kombinaci s přírodním kaučukem také odolnost vůči praskání kaučukové směsi vlivem ozonu. Z tohoto důvodu je možné využití k výrobě bočnic pneumatik [1;4].

Obecné využití lze nalézt tam, kde požadujeme vysokou odolnost vůči stárnutí i vůči vyšším teplotám, například v potravinářském, farmaceutickém průmyslu, či k opláštění kabelů [1;4].

1.2.2.3 Butylkaučuky (BIIR, CIIR)

Butylkaučuk se průmyslově vyrábí již od čtyřicátých let 19. století. Po dvaceti letech byla provedena jeho chlorace a bromace. Tyto typy využíváme při skladbě směsí pro vnitřní vrstvy bezdušových pneumatik nebo také pro výrobu membrán na jejich vulkanizaci. Tyto membrány se ale vulkanizují fenolformaldehydovými pryskyřicemi [1;4].

1.2.2.4 Olejovzdorné kaučuky (CR, NBR, ACM)

Pro olejovzdorné kaučuky platí obecně pravidlo, že čím je polárnější olej, tím polárnější musí být kaučuk, z něhož vyrobená pryž má oleji odolávat.

Mezi olejovzdorné kaučuky patří kaučuky chloroprenové, které se ve velkém množství prodávají pod názvem firmy Du Pont, neopren. Obvykle se vyrábí emulzní polymerací. Oproti kaučukům na jedno použití je chloroprenový kaučuk odolnější vůči stárnutí, olejům a zvýšenou odolnost vůči hoření. Také odolnost vůči zředěným kyselinám i zásadám je vyšší než u přírodního a styrenbutadienového kaučuku [1;4].

Butadien-akrylonitrylový kaučuk se průmyslově vyrábí s různým obsahem akrylonitrilu, tj. 18% – 50%. Obsah akrylonitrilu pozitivně ovlivňuje především olejovzdornost celého kaučuku. S rostoucím obsahem ale také roste teplota skelného přechodu T_g , což má za následek

snížení mrazuvzdornosti. Díky odolnosti vůči olejům nachází tento kaučuk uplatnění především ve výrobě těsnění, klínových řemenů, hadic a membrán, stejně jako kaučuky akrylátové (ACN) [1;4].

1.2.2.5 Tepluvzdorné kaučuky

Mezi tepluvzdorné kaučuky patří zejména fluorouhlíkové a silikonové kaučuky, které se také označují za mrazuvzdorné. Tyto speciální druhy kaučuků můžeme v aplikacích použít v rozmezí teplot – 90° C až 200° C. Tepluvzdorné kaučuky se ale musí bezpodmínečně vyvarovat vzdušné vlhkosti, při které podléhají hydrolyze. Aplikací těchto kaučuků je letecký průmysl, kosmonautika a medicína. V medicíně taktéž můžeme uvést aplikaci silikonových kaučuků do kontaktních čoček [1;4].

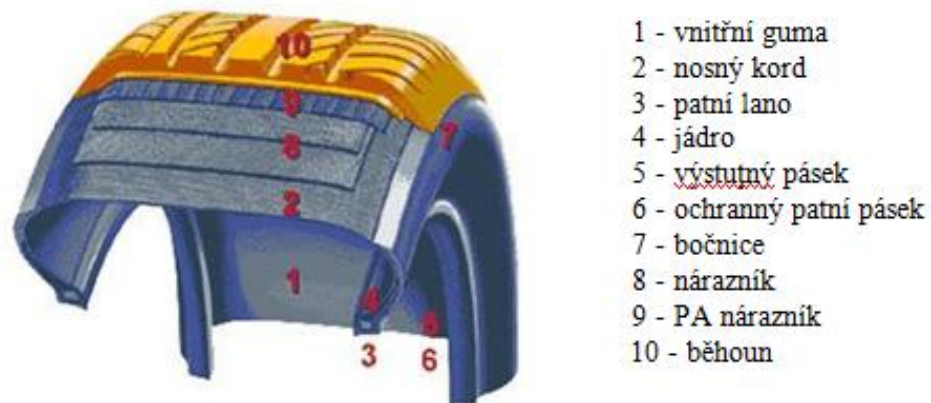
Fluorovodíkové kaučuky ze všech kaučuků nejvíce odolávají vyšším teplotám, olejům a většinou agresivních chemikálií. Vysoká olejovzdornost je příčinou vysokého obsahu fluoru, s jehož rostoucí koncentrací v makromolekulárním řetězci roste i odolnost vůči kapalinám [1;4].

2 PNEUMATIKA A JEJÍ ČÁSTI

Pojem pneumatika představuje komplexní kompozitní polymerní produkt prstencového tvaru, který se skládá z velkého počtu kaučukových směsí spolu s vlákny a s kovovými dráty. Vykazuje tak charakteristiku flexibilního membránového tlakového zásobníku (bez duše nebo s duší). Poskytuje odpružení a dobré jízdní vlastnosti [9].

Na světovém trhu existuje velké množství výrobců pneumatik, z nichž mezi nejúspěšnějšími je právě koncern Continental.

Celý řez pneumatikou je uveden na obrázku 2:



Obrázek 2: Řez pneumatikou a její jednotlivé části [9]

2.1 Typy pneumatik

V současné době se pro osobní i nákladní pláště nejvíce vyrábějí radiální pneumatiky, s výjimkou diagonálních, které produkují pneumatikárny zejména pro zemědělské stroje. Radiální pneumatika zachycuje boční síly daleko lépe a tím zůstává větší část pláště ve styku s vozovkou. Má také vyšší odolnost proti průrazu a nižší opotřebení než diagonální. I přes tyto velké výhody jsou radiální pneumatiky na vozovce hlučnější, špatně se nahušťují a vyžadují vyšší náklady na výrobu [10;11].

Tyto typy pneumatik jsou znázorněny na obrázku 3. Vlevo je diagonální struktura, která představuje sudý počet kordových vložek s úhlem řezu $30^\circ - 65^\circ$. Neobsahuje však nárazník, který by zajišťoval obvodové síly. Tuto skutečnost splňuje radiální plášť, který má na rozdíl od diagonálního lichý i sudý počet kordů, a to směrem od patky k patce s úhlem řezu $84^\circ - 90^\circ$. Radiální typ pláště je na obrázku vpravo [10;11].



Obrázek 3: Vlevo – diagonální plášť pneumatiky, Vpravo – Radiální plášť [11]

2.2 Běhoun a jeho vlastnosti

Běhoun je vnější pryžová část pneumatiky, do níž je ve formě za vulkanizace vlisován dezén. Zajišťuje přímý kontakt s vozovkou a chrání kostru před poškozením. Mezi dalšími požadavky na jeho vlastnosti je také nezbytné uvést maximální přilnavost k vozovce za všech klimatických podmínek a co nejvyšší odolnost vůči oděru [12;13].

Abychom dosáhli těchto vlastností, musíme během výroby těchto polotovarů dodržovat přísné technologické podmínky. Nesmí se tedy překročit doba ani teplota zpracovatelnosti, běhoun by měl být rozměrově stálý a vykazovat jistou konfekční lepivost pro jednodušší manipulaci na konfekci.

Pro specifické parametry běhounu pneumatiky a jeho rozličný tvar vytlačujeme koextruzí; to znamená, že použijeme dva vytlačovací jednošnekové stroje, které jsou položené horizontálně nad sebou a jejich hlavy se sdružují do předšablony s následnou šablonou, která určuje výsledný profil požadované šíře běhounu.

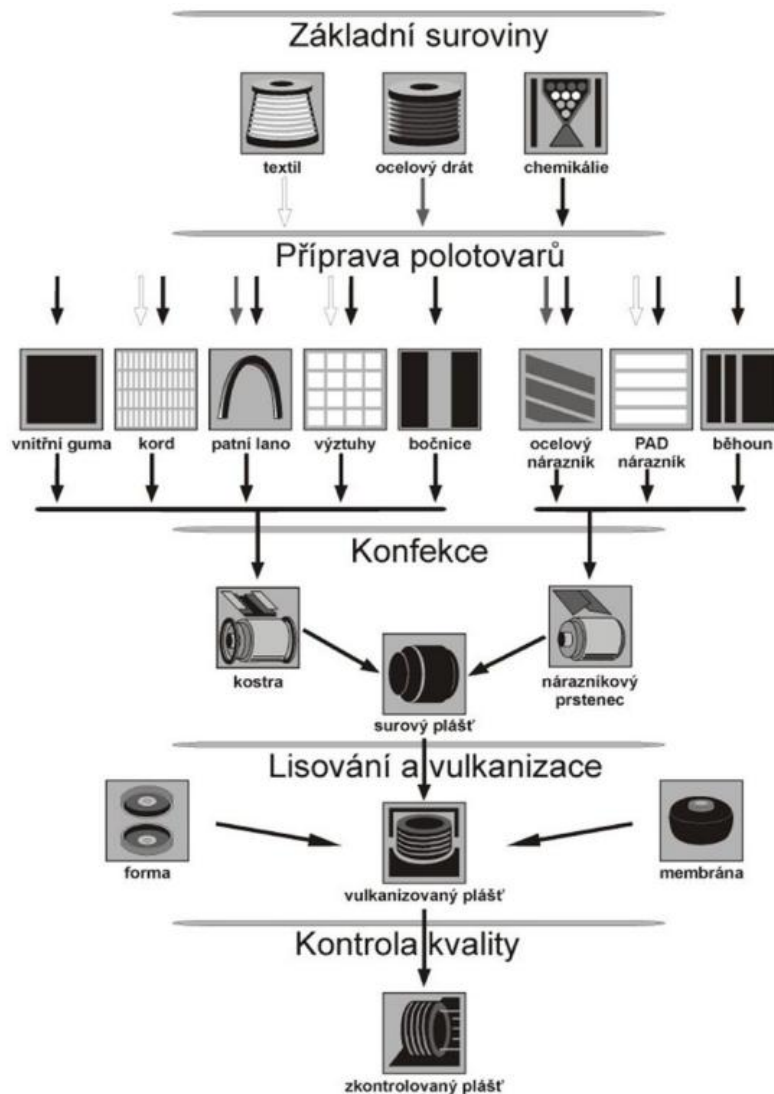


Obrázek 4: Vytlačovaný profil běhounu

3 VÝROBA PNEUMATIK

V dnešní době zaujímá výroba pneumatik hlavní světovou produkci. Nejdůležitějším krokem, vedoucím k výrobě pneumatik, je příprava kaučukové směsi a dobrá distribuce částic pomocí dvouválců. Na každý polotovar, jenž je potřeba ke kompletaci celé pneumatiky, používáme jinou kaučukovou směs. Základem této směsi je vždy přírodní kaučuk, v kombinaci s kaučukem syntetickým. V gumárenském průmyslu se pro výrobu pneumatik využívá nejvíce přírodní kaučuk a kaučuk butadienstyrenový. Také etylenpropylenové kaučuky se využívají na výrobu bočnic, díky jejich odolnosti vůči přizemnímu ozonu a následnému praskání na povrchu [1;4;10].

Ucelené schéma výroby pneumatik je znázorněno na obrázku 5.



Obrázek 5: Sled operací výroby pneumatiky

3.1 Složky kaučukové směsi

Základní vlastnosti kaučukové směsi upravujeme pomocí práškových přísad, ať už se jedná o saze, či bílá plniva, která jsou především příčinou snížení ceny výsledné pryže. Se zvyšujícím se obsahem plniv však dochází ke zvyšování pevnosti směsi a zároveň tedy i ke zhoršení zpracovatelnosti [1;4].

3.1.1 Plniva

Plniva zaujímají přes 30 % celkového složení pneumatiky. Se zvyšujícím se podílem plniv v kaučukové směsi zároveň roste odolnost vůči otěru, která je v produkci pneumatik velice žádaná. Na druhou stranu ale některá plniva zvyšují pevnost celé směsi, což, jak je uvedeno výše, zhoršuje zpracovatelské podmínky pro míchání a distribuci.

Nejběžnějšími plnivy k produkci pneumatik můžeme uvést saze, kaolin, siliku, křídu, vápenec, a další. Záleží však na velikosti částic daných plniv. Pro výrobu pneumatik se nejvíce využívají saze; proto mají tyto výrobky vždy černou barvu. Důvodem je také to, že saze fungují jako vynikající absorbér UV záření a chrání tak gumárenské výrobky před Sluncem [1;4].

3.1.2 Vulkanizační činidla

Mezi vulkanizační činidla řadíme zpravidla ty látky, které jsou schopny vytvářet mezi kaučukovými řetězci příčnou vazbu. Existuje zde hned několik látek; prakticky se ale osvědčily jen některé; například elementární síra, která je na rozdíl od síry krystalické vhodnější z důvodu lépe snášenlivá a nemigruje na povrch při dlouhodobějším skladování. Tento prvek je těžen v blízkém Polsku; část síry se ale také získá jako vedlejší produkt chemických reakcí [1;4].

Síra slouží především jako vulkanizační činidlo nenasycených kaučuků. Pro nasycené kaučuky se pro vulkanizaci používají peroxidy. Jako doplňky k síře pak můžeme volit například selen nebo telur pro zvýšení odolnosti vůči vyšším teplotám [1;4].

3.1.3 Urychlovače

Bez užití urychlovačů je vulkanizace značně pomalá a též není možné dosáhnout požadovaných mechanických charakteristik. S pomocí urychlovačů můžeme řídit rychlost vulkanizace, snižovat teplotu procesu a tím je možné přidávat i organická barviva či vyrábět transparentní výrobky. Na trhu existuje celá řada urychlovačů, jež se dělí do skupin dle rychlosti. Mezi prvními byl anilín, který byl skrze svou toxicitu později nahrazen jinými látkami; zůstal však základní surovinou pro jejich výrobu [1;4].

Mezi nejběžněji používané urychlovače vulkanizace patří aminy, thiomocoviny, merkaptidy, a další, z nichž má většina ve struktuře benzenové jádro.

Rychlost vulkanizace také značně ovlivňují přísady. Alkalické přísady, jako je například mletý vápenec, vulkanizační reakci urychlují, zatímco kyselé přísady, zahrnující siliku, vulkanizaci zpomalí [1;4].

3.1.4 Retardéry vulkanizace

Retardéry vulkanizace slouží zejména k prodloužení zpracovatelské bezpečnosti gumárenských směsí. Jedná se zejména o látky kyselé povahy, například kyselina benzoová a její anhydridy. V některých směsích ale mohou fungovat spíše jako aktivátory vulkanizace. Proto se více používají inhibitory vulkanizačních reakcí, které jsou schopny podstatně snížit zpracovatelské teploty směsi již ve velmi malých koncentracích a přitom nezpomalují vlastní vulkanizační reakci [1;4].

3.1.5 Změkčovadla

Jako změkčovadla používáme kapaliny či pryskyřice s molární hmotností kolem 300 g/mol, které usnadňují zpracování kaučuku a některá také zlepšují konfekční lepivost směsi. Nezbytnou podmínkou však je, aby byly s daným kaučukem dobře mísitelné. Tuto skutečnost zajišťuje polarita změkčovadla a také kaučuku [1;4].

3.1.6 Antioxidanty, antiozonanty

Antioxidanty chrání kaučukovou směs před stárnutím tak, že sami oxidují na relativně stálé produkty. Antiozonanty pak působí jako vynikající ochrana před působením přízemního ozonu, neblaze působící na kvalitu bočnic u pneumatik. Odolnost proti ozonu zlepšíme například přidáním vosků, které na povrchu vulkanizátu vytvoří tvrdou vrstvu, bránící průniku tohoto negativního vlivu [1;4].

3.1.7 Pigmenty

Pigmenty jsou přídavky, sloužící k výslednému zbarvení nejen gumárenských směsí. Důležitá je dobrá distribuce těchto částic v kaučuku, při níž jsou tlakem částice pigmentu rozpadnuty a rovnoměrně vmíchány do směsi [1;4]. Příklad práškových pigmentů je na obrázku 6.



Obrázek 6: Prášková forma pigmentů [14]

3.1.8 Nadouvadla

Nadouvadly jsou obvykle nízkomolekulární uhlovodíky, sloužící k výrobě lehčených hmot, tedy i kaučuků. Tyto látky se při vulkanizační reakci rozpadají na plynné produkty, obvykle na dusík či oxid uhličitý. V současné době se nejvíce používají organická nadouvadla, která umožňují výrobu od velmi jemných pórů, až po mikroporézní pryže [1;4].

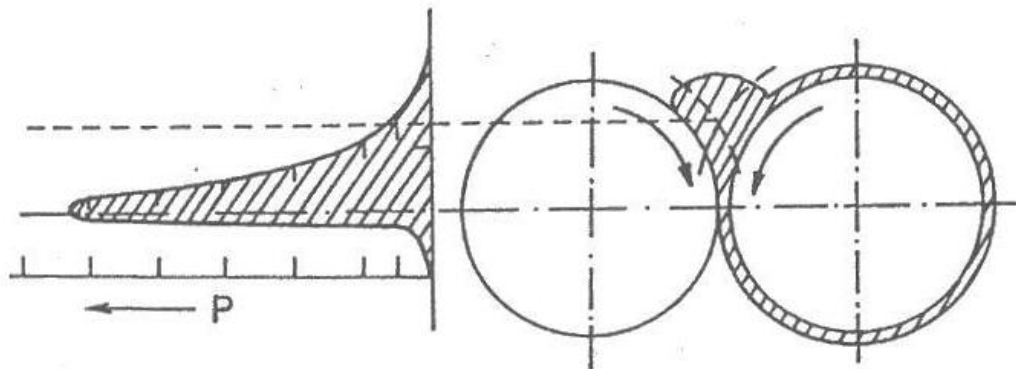
3.2 Příprava kaučukové směsi

3.2.1 Míchání na dvouválci

Míchání na dvouválci patří k nejstaršímu způsobu zpracování kaučukových směsí; také je zároveň méně bezpečný, pomalý a méně účinný. Přesto je ale stále hojně používán, jelikož má významný vliv na konečnou vlastnost směsi. Nezáleží tedy jen na chemickém složení, ale i na stupni distribuce těchto přísad uvnitř matrice. Navíc umožňuje odstranit disipační teplo, které se při míchání směsi tvoří, a to pomocí válců, které jsou zevnitř temperovány vodou či párou [1;4;10].

Celou směs tvoří kaučuky, plniva, změkčovadla a gumárenské suroviny. Kaučuky jsou při laboratorních teplotách dosti tuhé. Při procesu míchání, kdy jsou válce zahřáté, začnou vlivem vysokých smýkacích rychlostí válců vykazovat viskoelastické chování. Jako další složku použijeme plniva ve formě prášků. Pro přidání dalších aditiv do směsi je podmínkou, aby byla tato plniva rovnoměrně rozptýlena a rozpadnuta. Při přidávání změkčovadel, což obvykle tvoří kapaliny nebo pasty, by měla být zajištěna co největší plocha styku mezi změkčovadlem a kaučukem tak, aby došlo k co nejlepšímu a nejrychlejšímu vstřebání této kapaliny kaučukem. Při celém procesu musíme zajistit dobré rozložení všech složek v celém objemu a také co nejkratší dobu míchání. Neměli bychom tedy překračovat zpracovatelskou bezpečnost směsi, což je doba do začátku vulkanizačního procesu, kdy se mezi kaučukovými řetězci začnou tvořit sírové můstky. Z tohoto důvodu je žádoucí, abychom všechny přísady zpracovali co nejdříve [1;4;10].

Zařízení se pro přípravu kaučukové směsi skládá ze dvou horizontálně položených válců, mezi kterými je štěrbina pro průchod materiálu. Tato štěrbina je nastavitelná, stejně jako odlišné rychlosti obou válců, točících se proti sobě. Díky velkým smykovým rychlostem a chladičí vodou ve válcích redukuje disipační teplo, které je následkem přeměny mechanické energie, vzniklé při smýkání kaučuku, na tepelnou. Tím se také zajistí vysoká viskozita celé směsi, žádoucí pro další manipulaci. Výsledná směs se pak z válce seřezává většinou ve formě pásu a je takto připravena pro následující operace. Princip míchání je také znázorněn na obrázku 7.



Obrázek 7: Schéma principu míchání na dvouválci

3.2.2 Kontrola kvalitní distribuce a dispergace plniv

Proces míchání je doprovázen několika kroky. Předehříváme kaučuk, abychom u něj dosáhli viskoelastického stavu, vmícháme změkčovadla a plniva, u nichž postupně dochází k tzv. bourání aglomerátů (odborným názvem dispergace) a v závěru operace se vlivem míchání všechna paliva homogenně rozprostřou v celém obsahu kaučuku (distribuce). Pokud tedy usilujeme o to, aby měla výsledná směs všude stejné vlastnosti, musíme usilovat o dokonalou dispergaci a rovněž distribuci. Naopak, vlivem špatné dispergace a distribuce dosáhneme větší spotřeby energie při dalším zpracování, méně stabilní směsi či rozsáhlejší výrobě zmetků [1;4;10].

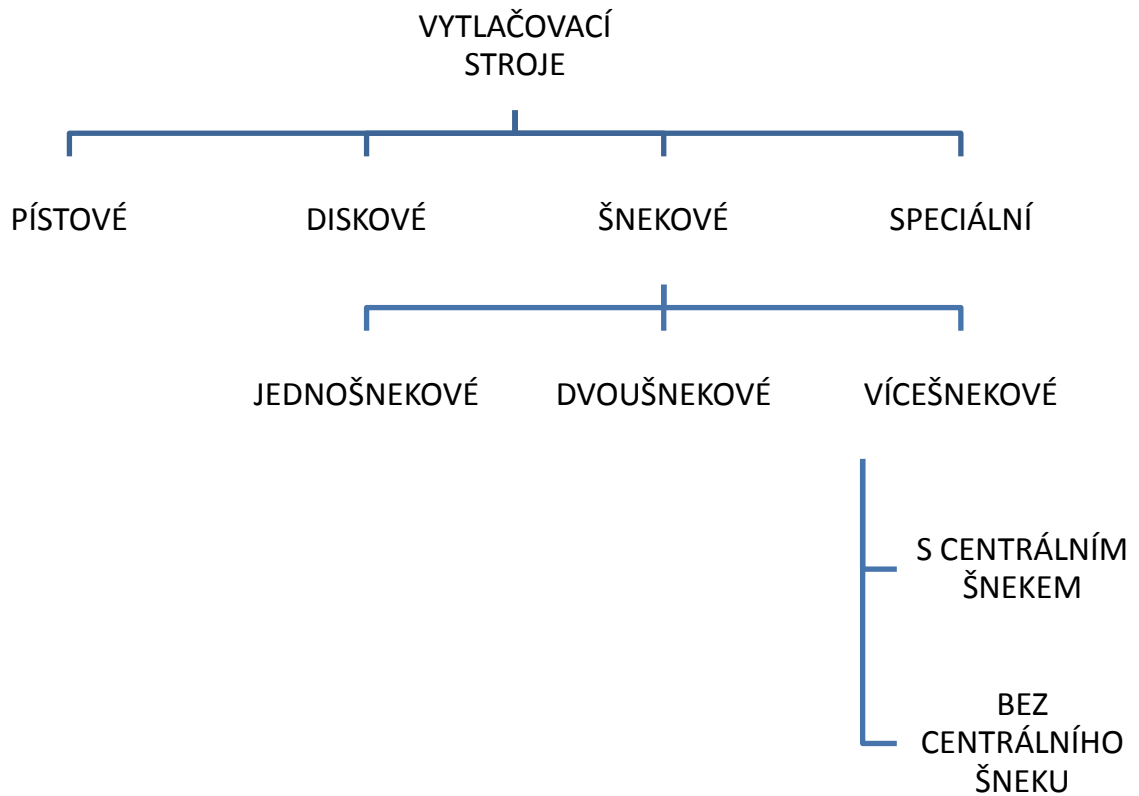
Pro kontrolu velikosti, tvaru částic plniv a jejich distribuce se používají mikroskopické metody. Hlavní nevýhodou je však spotřeba většího množství vzorků a samotná kontrola je možná až po důkladném smíchání všech složek.

3.3 Vytlačování

Většina polotovarů se pro výrobu pneumatik vyrábí technologií vytlačování. Jedná se o relativně jednoduchý tvářecí způsob materiálu přes otvor do volného prostoru. Podmínkou je vytlačovat homogenně, bez bublin a bez orientace výrobku [15].

V průmyslu se objevuje několik typů vytlačovacích strojů, ze kterých se nejvíce pro výrobu běhounů pneumatik nejvíce používá jednošnekový stroj (jednotlivé typy vytlačovacích strojů jsou uvedeny na obrázku 8). Šnekové stroje slouží k ohřevu kaučukové směsi na tvářecí teplotu. Jelikož je tato směs předehřívána na dvouválci, není tedy třeba, aby směs

delší dobu setrvala ve vytlačovacím stroji. Tím tak bude méně tepelně namáhána a udrží si požadované vlastnosti [15].



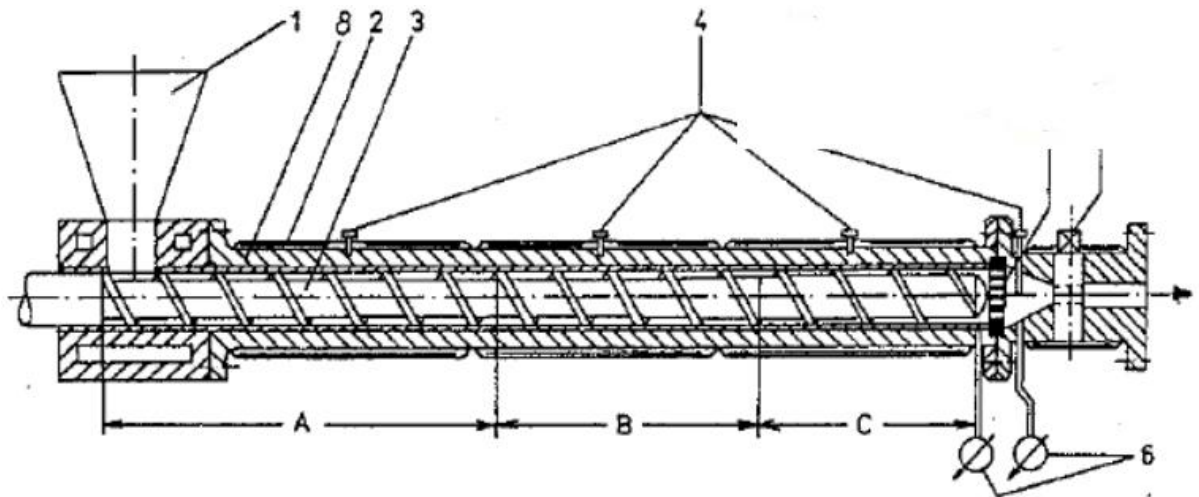
Obrázek 8: Typy vytlačovacích strojů

3.3.1 Popis vytlačovacího stroje

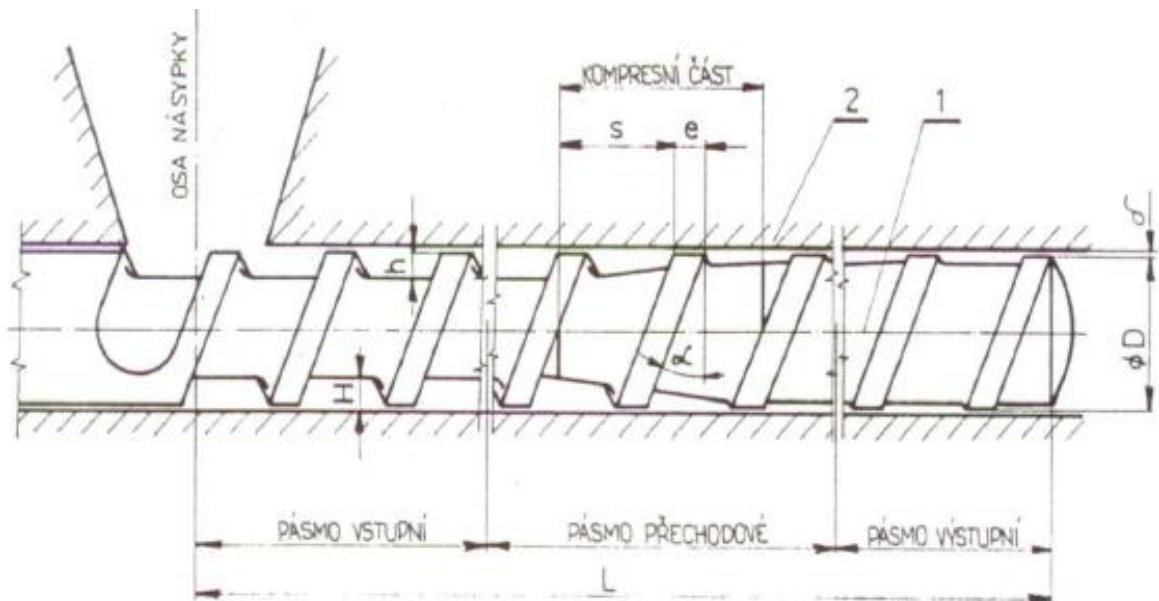
Účelem vytlačování je roztavit tuhý materiál, který se pak dopravuje jednotlivými zónami šnekového stroje a tento pomocí hubice tvarovat na požadovaný tvar, což zajišťuje vytlačovací stroj.

Podmínkou správného a kontinuálního vytlačování je dobré stlačení směsi na požadovaný tvářecí tlak. Tento tlak se vyvozuje šnekem, který je nedílnou součástí vytlačovacího stroje.

Pro výrobu polotovarů, sloužících k následné konfekci pneumatiky, používá jednoduchý, relativně krátký vytlačovací šnekový stroj, jehož schéma je na obrázku 9. Samotné jádro vytlačovacího stroje tvoří šnek, válcové těleso spirálovitého tvaru, schopné stlačit, dopravit a homogenizovat právě zpracovávané polymery s aditivami i kaučuky a jejich směsi. Parametry vytlačovacího stroje jsou na obrázku 10. [15].



Obrázek 9: Schéma vytlačovacího stroje: 1 - Násypka, 2 - Elektrické odporové topení, 3 - Šnek, 4 - Termočlánky, 5 - Regulační ventil tlak, 6 - Snímače tlaku, 7 - Lamač, 8 - Pouzdro; A – Vstupní část, B – přechodová část, C – Výstupní část [15]



Obrázek 10: Parametry jednošnekového vytlačovacího stroje: 1 – Šnek, 2 – Pracovní válec, D – průměr šneku, L – délka šneku, s – Stoupání závitu, e – Vodící plocha závitu, h – Hloubka šnekového profilu, δ – Poloviční vůle, α – Úhel stoupání závitu [15]

Na obrázku 10 jsou znázorněny jednotlivé zóny vytlačovacího stroje. Úkolem vstupního pásma, tedy počáteční zóny, je dávkovat zpracováváný materiál bez fluktuací. Tokový kanál vytlačovacího stroje je v této části hluboký, pojme tedy větší množství materiálu. Intenzita, jakou bude materiál dopravován, závisí na třecím koeficientu mezi materiálem, válcem a šnekem. Je zjištěno, že maximální výkon podává stroj tehdy, je-li válec drsný a naopak šnek uvnitř stroje hladký. S vyšší výkonností stroje roste zároveň i tlak [16].

Materiál je dopravován k pásmu přechodovému, které obsahuje kompresní sekci. Zde je kanál užší, materiál je přitlačován k vyhřívané stěně válce a následně taven. V tomto pásmu by měl být všechn materiál roztaven [16].

Výstupní pásmo slouží jen k míchání a dopravě taveniny k vytlačovací hlavě s předšablonou a šablonou. Vytlačovací hlava musí být navržena tak, aby v případě koextruze zajistila maximální tlakový spád 35 MPa, v důsledku nízkého smykového napětí a nesmí obsahovat místa, ve kterých dochází ke kumulaci materiálu [16].

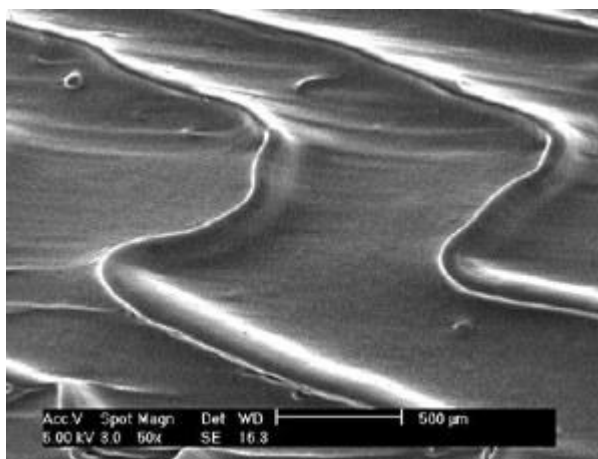
3.3.2 Jevy, provázející proces vytlačování

Samotná konstrukce vytlačovacího stroje musí splňovat některá kritéria. Pokud tyto nebudou dodrženy, vznikají jevy, které výrazně ovlivní vzhled a vlastnosti taženého profilu. Mezi podmínky můžeme zařadit:

- Maximální smykové napětí
- Minimální zdržná doba
- Maximální tlakový spád
- Smykové napětí na stěně v rozmezí 30 kPa – 140 kPa

Je-li napětí na stěně menší než 30 kPa, zdržná doba materiálu je ve vytlačovacím stroji příliš velká. Tím dojde k jeho postupné degradaci. Měli bychom tedy dobře znát teplotní stabilitu námi zpracovávané kaučukové směsi. Tento jev se nazývá **Channeling**. Pro jeho eliminaci se obvykle zmenší průměr tokového kanálu [16].

Při vyšším napětí než je 140 kPa dochází k jevu **Shark skin (žraločí kůže)**. Při tomto jevu je povrch extrudátu zvrásněný a není tedy zajištěna jeho rozměrová stabilita. Při výskytu tohoto jevu se doporučuje snížit napětí na stěně. Toho docílíme například zvětšením tokového kanálu či zvýšením teploty [16]. Tento jev je znázorněn na obrázku 11.



Obrázek 11: Následek jevu Shark skin [17]

Dalším úkazem je **Die Drool (Slintající hlava)**, nastávající při nahromadění materiálu u vytlačovací hlavy. Tím je hlava znečištěna (materiál tepelně degraduje a znehodnocuje extrudát) a dochází ke zbytečným prodlevám při jejím čištění. Řešením je zaoblení nebo zkosení hran hlavy [16].

Mezi dalším, velice rozšířeným jevem, je **narůstání za hubicí**. Faktory, které ovlivňují průběh narůstání, jsou teplota, poměr normálových, elongačních napětí a rychlostní přerozdělení. Vlivem nucené změny tvaru kaučukové směsi z volného prostoru do úzké štěrbině vytlačovacího stroje [16].

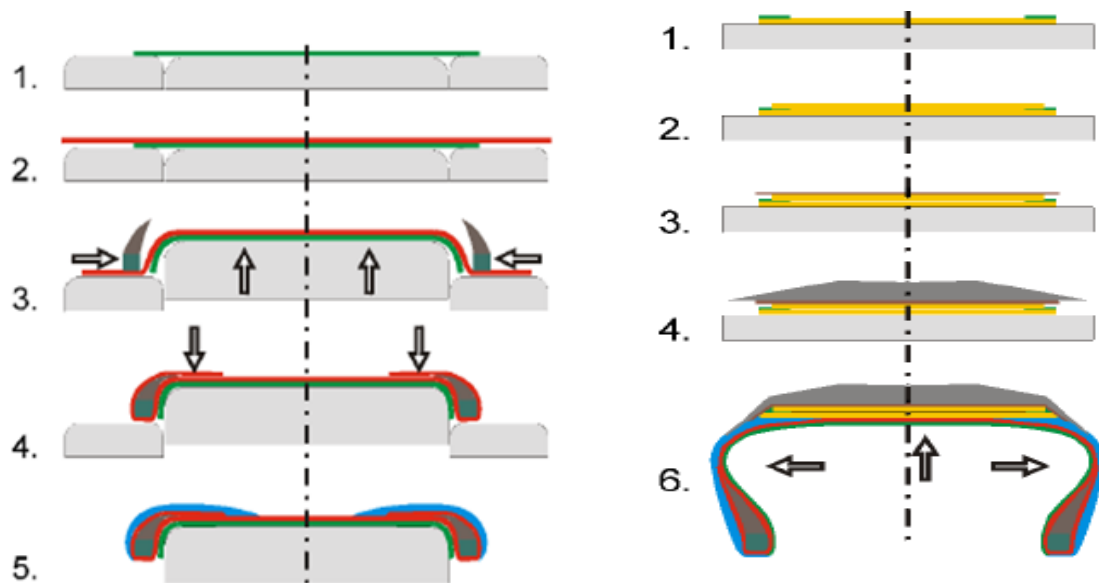
4 KONFEKCE VÝROBY PNEUMATIK

Jakmile jsou všechny polotovary připraveny, následuje jejich závěrečná montáž v oddělení konfekce, kde dochází ke vzniku finálního tvaru surového pláště. Jedná se o nejdůležitější a zároveň nejnáročnější operace v celém procesu výroby.

Konfekce pláštěů pneumatik probíhá ve dvou stupních výroby. Nejdříve je potřeba vyrobit kostru pláště, na kterou se pak ve druhém stupni konfekce navijí jednotlivé nárazníky s běhounem a dokončí se tak celý proces výroby surového (nezvulkanizovaného) pláště [10;18;19;20]. Jednotlivé kroky, vedoucí k výrobě pláště pneumatiky jsou znázorněny na obrázku 12.

Pracovník konfekce prvního stupně nejdříve umístí patní lana s jádrem, každé na jednu stranu konfekčního bubnu. Následuje navinutí vnitřní gumy z kazety na konfekční buben, která je řezána pomocí horkého nože pod určitým úhlem tak, aby obalila celý konfekční buben po obvodu a v místě střetu byl spoj zafixován. Jakmile je navinuta vnitřní guma, následuje nosný kord neboli kostra, dochází k bombírování (tvarování), na buben se narazí apexy a přehne se kord přes lana. Bočnice se automaticky navinou na plášť a provede se fixace rádem. V dalším kroku se bočnice zavalují a narážecí dojedou do základní polohy. Tímto je ukončen první stupeň konfekce a hotová kostra míří ke stupni druhému [10;18;19;20].

Jakmile je umístěna kostra na konfekční buben druhého stupně konfekce, může se na ni začít navíjet první nárazník. Spoj je opět prováděn automaticky, pracovník kontroluje pouze soudržnost spoje – oba konce musí být těsně u sebe, ale nesmí se překrývat. Následuje navíjení druhého a polyamidového nárazníku a navinutí běhounu, kde je spoj zafixován nátěrem technického cementu. Dalším a posledním krokem druhého stupně konfekce je zavalení všech částí pláště pneumatiky na konfekčním bubnu a hotový plášť se dopravníkem transferuje k emulgačnímu stroji, kde je vystříkán vnitřek pláště pro následnou vulkanizaci v mechanických nebo hydraulických lisech. Surové pláště jsou stříkány z důvodu snadnějšího klouzáni membrány po vnitřním povrchu pláště, zabránění přilepení pláště k membráně a lepšího úniku vzduchu mezi membránou a pláštěm. [8,11]. Hotové pláště pneumatik jsou poté vozíky převáženy k lisům. Tam teprve dochází k dokončení posledního kroku výroby [10;18;19;20].

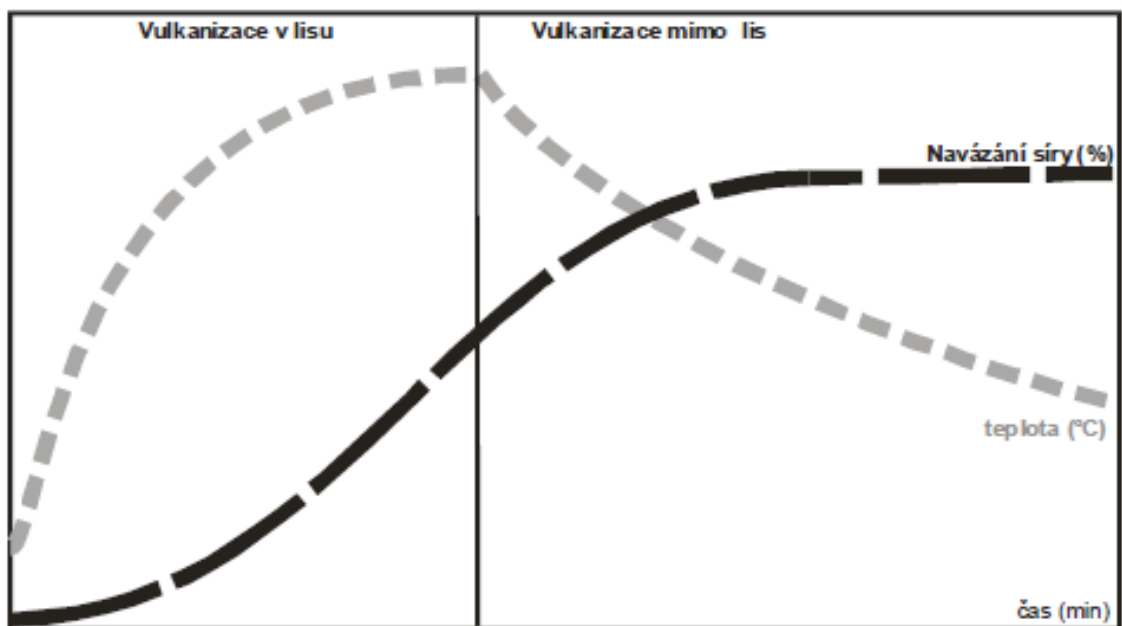


Obrázek 12: Sled operací výroby surového pláště na prvním a druhém stupni konfekce [10]

5 VULKANIZACE SUROVÉHO PLÁŠTĚ

Pod tímto pojmem rozumíme proces, při kterém dochází v hydraulickém lisu (vlivem horké páry a vyššího tlaku) k propojení kaučukových řetězců sířovacími činidly, s následnou přeměnou kaučuku v pryž. Tímto procesem plášť pneumatiky dosáhne požadovaných mechanických, fyzikálních i chemických vlastností. K udržení tvaru pláště přispívá vulkanizační membrána, která se během celého procesu rozpíná a tlačí surový plášť ke stěně formy lisu [10;21].

Vulkanizace je značně závislá na teplotě. Lisujeme tak dlouho, dokud doba vulkanizace nedosáhne zpravidla 90 %. I po vyjmutí téměř hotového pláště z lisu pneumatika stále pracuje a dobíhá navázání síry s kaučukem. Po vychladnutí na pásovém dopravníku hotovou pneumatiku přebírají pracovníci výstupní kontroly [10;21]. Celý průběh vulkanizace je na obrázku 13.



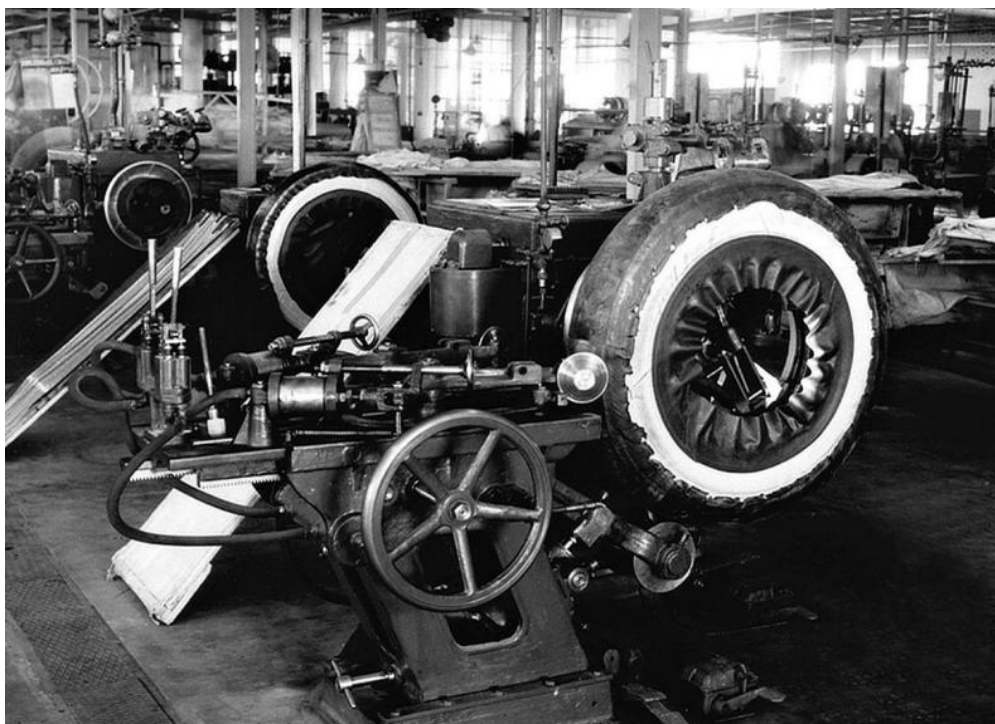
Obrázek 13: Vulkanizační křivka [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 KONCERN CONTINENTAL – BARUM, OTROKOVICE

Výroba pneumatik v Otrokovicích spadá do roku 1972, kdy zde otevřel Tomáš Baťa novou pneumatikárnu. Název Barum byl spojen z firem Baťa, Rubena a Mitas. Dříve v roce 1932 začal Baťa s výrobou pneumatik ve zlínském areálu, ten ale nestačil svými kapacitami uspokojit celou výrobu a tak se výroba přesunula do Otrokovic a o osmnáct let později byla pneumatikárna zaregistrována jako akciová společnost Barum Otrokovice. Zanedlouho byl také podpisem stvrzen kontrakt s německým koncernem Continental AG a roku 1993 vznikla společnost Continental Barum, s.r.o. [22].

V současné době se společnost Continental Barum pyšní nejnovějšími výrobními technologiemi a stroji jak s manuální, tak i robotickou obsluhou a je největším výrobcem pneumatik v celé Evropě.

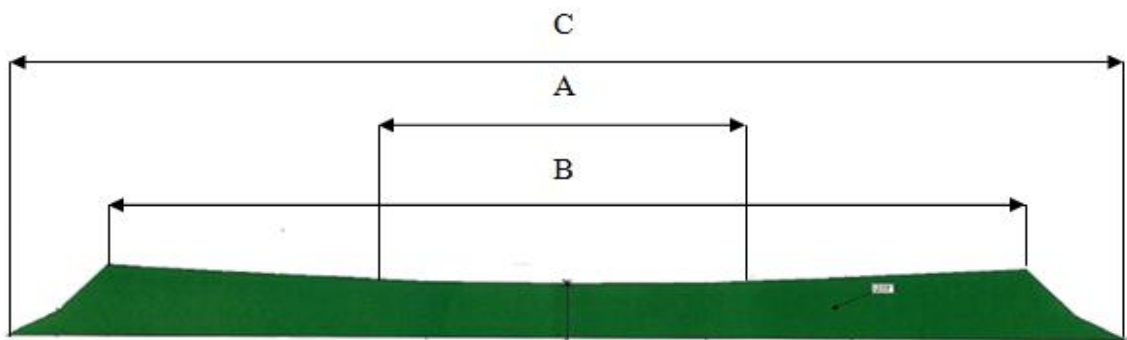


Obrázek 14: Konfekční stroje Baťa v roce 1932 [22]

7 ZADÁNÍ PRÁCE A POŽADAVKY

V divizi konfekce výrobního areálu Continental Barum, je několik vytlačovacích linek na výrobu běhounů. Největší produkci zaujímá běhoun pro nákladní pneumatiky o rozměru R. Profil běhounu je uveden na obrázku 15. Spodní i horní část je zhotovena ze směsi T0. U vytlačovací linky 4 (označení VL4) je dána rychlost vytlačování. Protože se jedná o nejčastěji vyráběný rozměr, je žádoucí, aby byl výkon linky maximální. Zároveň je nutné, aby si extrudát zachoval stejné rozměrové i konfekční vlastnosti.

Cílem diplomové práce je navrhnout možnosti změn rychlosti vytlačování profilů na vytlačovací lince VL4, která slouží k výrobě polotovarů běhounů pneumatik.

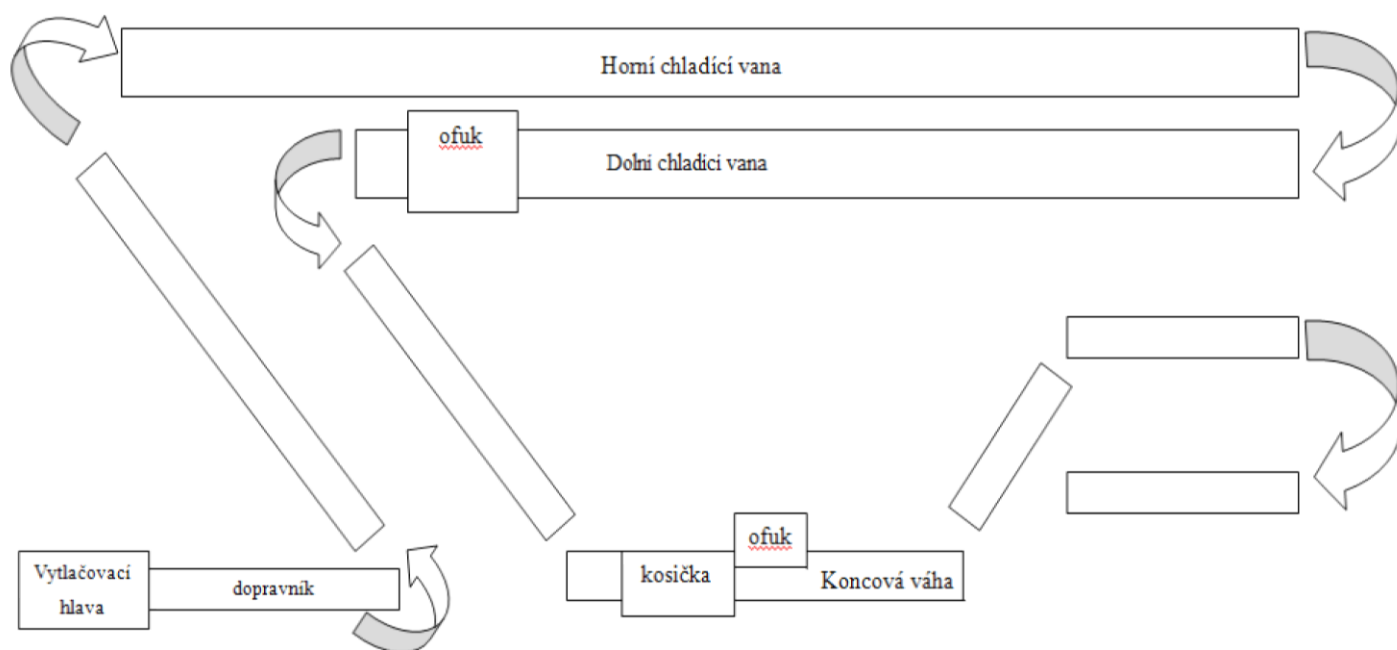


Obrázek 15: Profil výrobku

8 CHARAKTERISTIKA VYTLAČOVACÍ LINKY VL4

Pro výrobu běhounu je vyválnovaná směs na paletách přepravena ke dvouválci, kde je plastikována a seřezána ve formě pásků, odkud je pásovými dopravníky převedena do násypky vytlačovacího stroje. Pokud je polotovár běhounu zhotoven ze dvou různých směsí, používají se oba vytlačovací stroje, umístěny nad sebou se společnou vytlačovací hlavou, jež je opatřena ocelovou předšablonou a šablonou. Rozměr běhounu, který byl bodem naší práce, byl vyráběn pouze z jedné kaučukové směsi. Byl tedy potřeba jen horní vytlačovací stroj. Díky předešlému ohřevu směsi na dvouválci je možno vynechat vstupní zónu vytlačovacího stroje.

Z vytlačovací hlavy je extrudát tažen dopravním pásem přes barvy, které přesně popisují rozměry běhounu vždy pro danou pneumatiku. Není tedy možná záměna při konfekci surového pláště. Odtud je běhoun tažen do horní a spodní vytlačovací vany, které jsou umístěny pod sebou. Délka těchto van je asi padesát metrů. Voda ve vanách je mírně okyselená kyselinou sírovou, aby se zamezilo výskytu bakterií. Takto mírně okyselená voda má také příznivý vliv na konfekční lepivost běhounu. V chladících vanách je běhoun čiřen protiproudem. Při opouštění spodní chladící vany dochází k odstranění přebytečné vody odfukem a takto ochlazený extrudát se dále dopravuje ke koncové váze, konečnému ofuku a kosičce. Následně jsou hotové běhouny ukládány do reků – vozíků a odváženy na konfekci.



Obrázek 16: Schéma linky VL4

8.1 Receptura a hustota směsi T0

Protože z interních důvodů není možné uvést přesnou recepturu zpracovávané směsi, společnost dodala jen recepturu obecnou:

- Kaučuk 49 %
- Saze 25 %
- Zpracovatelské přísady 1,5 %
- Ostatní chemikálie 7 %
- Ostatní přísady 17,5 %

Hustota směsi byla stanovena na hodnotu $1,1 \text{ g/cm}^3$.

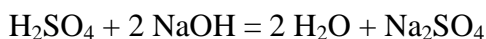
8.2 Odběr vody z chladících van a analýza koncentrace kyseliny sírové

Z horní chladící vany byl odebrán vzorek vody. Pro okyselení vody, která napomáhá lepší konfekční lepivosti a současně zabraňuje množení bakterií, se používá anorganická kyselina o koncentraci 38 %. Nebylo ale známo, jaké je celkové zředění lázně. Přílišná koncentrace by mohla výrazně ovlivnit následné vlastnosti extrudátu a celého procesu. Z následujícího laboratorního měření byla zjištěna koncentrace této kyseliny ve vodě chladících van.

8.2.1 Princip měření

Principem měření je stanovení bodu ekvivalence pomocí indikátoru v okamžiku barevného přechodu. Pomocí chemické reakce mezi titračním činidlem s kyselinou sírovou dochází ke zbarvení roztoku. První kapka titračního činidla, která způsobí trvalé zbarvení roztoku je rovna tzv. bodu ekvivalence. Bod ekvivalence odpovídá přebytku titračního činidla, z něhož se pomocí vztahů zjišťuje skutečná koncentrace roztoku kyseliny. Aby byla změna dobře viditelná, používá se jako indikátor fenolftalein, který se z původního bezbarvého roztoku změní ve fialový [23].

Chemický zápis reakce:



8.2.2 Postup práce

Do titrační baňky bylo odpipetováno 10 ml okyselené vody z chladících van a bylo přidáno několik kapek fenolftaleinu. Následovala titrace roztokem 0,001 M NaOH. Titrace byla skončena v okamžiku, když se poslední kapkou přidávaného louhu z byrety, zbarvil bezbarvý roztok do fialova (vlivem nadbytku iontů OH) [23].

8.2.3 Vyhodnocení

Vztah pro výpočet koncentrace H_2SO_4 v roztoku:

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{c_{\text{NaOH}} * V_{\text{ekv}} * f}{V_{\text{vzorek}}}$$

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{0,001 * 10 * 2}{12} = 98 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,2 \text{ g/l} = \underline{0,02 \%}$$

kde:

$c_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – hmotnostní koncentrace kyseliny sírové ve vzorku chladící vody [$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$]

c_{NaOH} - molární koncentrace titračního činidla [$\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$]

V_{ekv} – spotřeba titračního činidla v bodě ekvivalence [cm^3]

f - faktor reakce = 2 [1]

V_{vzorek} – objem vzorku [cm^3]

Závěr:

Ze spotřeby NaOH byla tedy stanovena koncentrace kyseliny sírové a roztok byl vyhodnocen jako 0,02%. Tuto koncentraci tedy lze při dalších měřeních zanedbat.

9 MĚŘENÍ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH

U polymerních materiálů má teplota zásadní vliv na následné vlastnosti. Neexistuje však jednoznačná definice odolnosti vůči daným teplotám. Proto vše posuzujeme tepelnými vlastnostmi materiálu. Tyto jsou charakterizovány pomocí tepelných konstant, jako je měrné teplo, teplotní a tepelná vodivost.

9.1 Příprava vzorků

Ve výrobní hale přípravy polotovarů byl uřezán vzorek běhounu směsi T0 (v místě největší tloušťky). Uřezaný kus polotovaru běhounu byl rozválcován na dvouválci, lisován (nebyla překročena bezpečnost směsi) a následně byly vyseknuty 2 vzorky kruhového průřezu. Takto připravený vzorek (vzorek 2 a 3) je na obrázku 17. Vzorek 1 byl pouze vylisován.



Obrázek 17: Připravený vzorek k měření

9.2 Rozměry vzorků

Jednotlivé vzorky byly následně zváženy a měřeny jejich průměr. Tloušťka vzorku byla měřena pomocí digitálního mikrometru. Z celkových měření byl vypočten jejich průměr. Rozměry vzorků jsou uvedeny v tabulce 2.

tabulka 2: Rozměry jednotlivých vzorků

		Lisovaný vzorek	Válcovaný a lisovaný vzorek 1	Válcovaný a lisovaný vzorek 2
hmotnost [g]		25,386	27,089	26,139
průměr [mm]		85	88	86
tloušťka [mm]	měření 1	3,715	3,68	3,529
	měření 2	3,671	3,699	3,516
	měření 3	3,707	3,633	3,465
	měření 4	3,688	3,523	3,423
	měření 5	3,706	3,636	3,416
	měření 6	3,702	3,673	3,451
	měření 7	3,701	3,67	3,529
	měření 8	3,590	3,685	3,548
	měření 9	3,591	3,699	3,529
	měření 10	3,687	3,562	3,562
	průměr [mm]	3,686	3,646	3,497

9.3 Výpočet skutečné hustoty vzorků

Pomocí jednotlivých hodnot byla u všech vzorků spočtena skutečná hustota (společnost Continental Barum dodala hustotu směsi 1,1 g/cm³).

Lisovaný vzorek:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} * v \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi * (8,5 \cdot 10^{-3})^2 * 3,686 \cdot 10^3}{4} = \underline{2,092 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{25,386 \cdot 10^{-3}}{2,092 \cdot 10^{-3}} = \underline{1,213 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

Válcovaný a lisovaný vzorek 1:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} * v$$

$$V = \frac{\pi * (8,8 \cdot 10^{-3})^2 * 3,646 \cdot 10^3}{4} = \underline{2,218 \cdot 10^{-5} m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{25,305 \cdot 10^{-3}}{2,218 \cdot 10^{-5}} = \underline{1,141 \cdot 10^3 kg \cdot m^{-3}}$$

Válcovaný a lisovaný vzorek 2:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} * v$$

$$V = \frac{\pi * (8,6 \cdot 10^{-3})^2 * 3,497 \cdot 10^3}{4} = \underline{2,141 \cdot 10^{-5} m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{25,373 \cdot 10^{-3}}{2,141 \cdot 10^{-5}} = \underline{1,185 \cdot 10^3 kg \cdot m^{-3}}$$

kde:

V – objem [m³]

d – průměr vzorku [m]

v – tloušťka vzorku [m]

ρ – hustota [kg.m⁻³]

Závěr:

Společnost dodala přibližnou hustotu měřené kaučukové směsi $1,1 \cdot 10^3 kg/m^3$. Měřením byla stanovena přesná hustota jednotlivých vzorků:

Vzorek 1 (pouze vylisován): $1,213 \cdot 10^3 kg \cdot m^3$

Vzorek 2 : $1,141 \cdot 10^3 kg \cdot m^3$

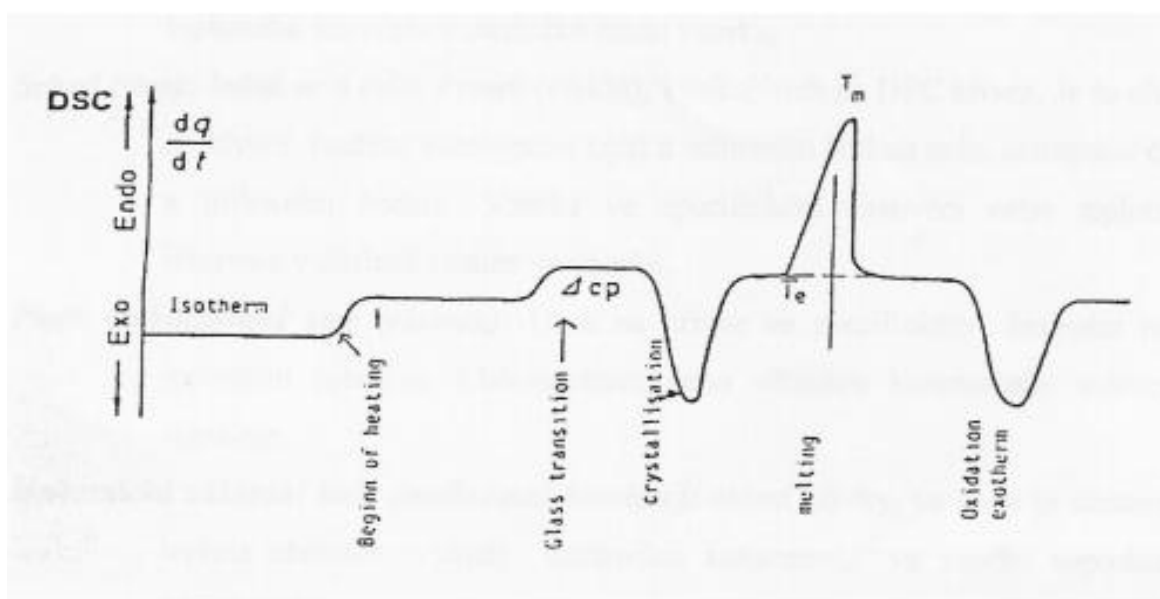
Vzorek 3: $1,185 \cdot 10^3 kg \cdot m^3$

9.4 Měření měrného tepla vzorků pomocí DSC analýzy

Měrné teplo je definováno jako množství tepla, kterým se teplota definované hmoty zvýší o 1 K. Symbolem měrného tepla je C_p , jednotkou je $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$. Měrné teplo se stanovuje pomocí kalorimetrických analýz, jako je například DSC metoda [24].

9.4.1 Princip měření

Diferenciální skenovací kalorimetrie (zkratka DSC – Differential Scanning Kalorimetry) je jednou z metod termické analýzy. Principem této metody je pozorování změn fyzikálních i chemických při ohřevu a chlazení ve dvou vyhřívaných termostatech. V prvním termostatu je miska (pánvička) s analyzovaným materiálem, ve druhém je miska prázdná. Tato slouží jako porovnávací standard tepelných změn. Pokud dojde k tepelným změnám ve vzorku (tání, tuhnutí, skelný přechod, apod.), vzorek teplo buď spotřebuje (endotermická reakce) nebo uvolňuje (exotermická reakce) [24].



Obrázek 18: Příklad záznamu z DSC analýzy

9.4.2 Příprava vzorků, postup práce a vyhodnocení

Z kaučukové směsi T0 bylo pomocí diferenční skenovací kalorimetrie měřeno měrné teplo. Vzorek byl podroben ohřevu z $30^{\circ} C$ na $90^{\circ} C$ rychlostí $10 K/min$. Pomocí funkce

v počítači byly ihned vypočteny hodnoty měrného tepla při obou teplotách. Tyto jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Vyhodnocení měrného tepla kaučukové směsi pomocí DSC analýzy

T	60	90
C _p	1329	1395
	1425	1497
	1396	1440
	1478	1535

kde:

T – teplota [°C]

C_p – měrné teplo [J . g⁻¹ . K⁻¹]

9.5 Měření tepelné vodivosti

Tepelná vodivost se ve fyzice označuje jako schopnost daného materiálu vést teplo. Vyjadřuje rychlost šíření tepla z jedné části materiálu do části chladnější. Tato veličina je dána součinitelem tepelné vodivosti.

9.5.1 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti materiálu je dán jako množství tepla, které projde za jednotku času vzorkem tak, aby byl na jednotkovou délku jednotkový spád. Je rovněž předpokládáno, že se teplo šíří pouze jedním směrem. Symbolem této veličiny je λ , jednotkou je W . m⁻¹ . K⁻¹ [25].

9.5.2 Fitchova aparatura

K měření se především u pryžových, usňových výrobků a desek z plastů používají měřicí přístroje podle Fitcha, jehož aparatura je na obrázku 19. Přístroj je válcového typu a je dvoudílný. V jeho spodní části je uprostřed uložen měděný váleček s přesně opracovanou

horní plochou, která nepatrně přesahuje nad horní izolační desku spodní části přístroje. Uvnitř válečku je pevně uložený spoj termoelektrického článku, konec je vyvedený na svorky upevněné na plášti. Celý prostor okolo válečku je tepelně izolovaný proti ztrátám tepla do okolí. Horní část přístroje je vyrobena ve formě měděné válcové nádoby s plošně přesným měděným dnem, ve kterém je opět uložen druhý konec termočlánku [26].

9.5.3 Princip měření

Fitchova metoda je nejvíce používaná laboratorní metoda měření tepelné vodivosti při nestacionárních podmínkách. Principem této metody je teplo, proudící z ohřívací nádoby přes měřený vzorek do měrného válce. Na měřicím přístroji sledujeme rozdíl teplot dna ohřívací nádoby a měrného válce v regulární fázi za stanovenou dobu [26].

Pomocí termostatu se vytemperuje ohřívací nádoba Fitchova přístroje na danou teplotu. Na měrný válec se položí zkušební těleso a ručním ovládním se sníží ohřívací nádoba tak, aby tlak mezi dnem nádoby a měrným válcem, působícím na zkušební těleso odpovídal tlaku, při kterém byla naměřena tloušťka zkušebního tělesa. Před vlastním měřením tepelné vodivosti se zjistí doba náběhu k dosažení lineární závislosti změny rozdílu teplot na čase pro zkoušený materiál. Po nastavení příslušného tlaku a po uplynutí doby náběhu zkoušky se zaznamená výchylka milivoltmetru a po uplynutí 2 minut výchylka druhá. Ohřívací nádoba se opět zvedne nahoru a po ochlazení prstence na teplotu prostředí a měrného válce na zjištěnou hodnotu je přístroj připraven k dalšímu měření [27].



Obrázek 19: Aparatura přístroje v laboratorních podmínkách univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, fakulty technologické

9.5.4 Postup práce

Pro měření tří připravených vzorků byly termostaty vytemperovány na teplotu 45° C a 25° C. Byla puštěna chladicí voda. Při měření byl použit software LabView Signal Express. Mosazný váleček o teplotě 45° C byl postaven na měřicí váleček. Bylo nutno vyčkat, dokud se na obrazovce počítače neobjevila teplota přibližně 45° C. Připravený vzorek byl ohřát na měděném válečku na teplotu 45° C. Mosazný váleček byl poté odstraněn, na měřicí váleček byl položen vzorek, na něhož byl umístěn mosazný váleček o teplotě 25° C. Vše bylo zatíženo závažím [27].

Po třiceti minutách měření byl získán graf a z dat souboru hodnota koeficientu tepelných ztrát. Dány v potaz jsou i ztráty zařízení (odhad A_2): $A_2 = 0,000368 \text{ s}^{-1}$, tepelná kapacita měřicího válečku: $K_1 = 94,107 \text{ J.K}^{-1}$ a plocha měřicího válečku: $S = 1,9635 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Tyto hodnoty jsou konstanty [27].

9.5.5 Způsob vyhodnocení

Pro odvození matematického modelu popisující závislost teploty měřícího válečku na čase vycházíme z následující bilance tepla.

$$-K \frac{dt}{d\tau} = \frac{S * \lambda * (t - t_1)}{\delta} + B * (t - t_1) \quad (3)$$

kde:

K – tepelná kapacita měřícího válečku [J. K⁻¹]

S – plocha vzorku [m²]

λ – tepelná vodivost [W. m⁻¹.K⁻¹]

t – snímaná teplota měřícího válečku [°C]

t_1 – teplota temperační desky 1 [°C]

t_2 – počáteční teplota měřícího válečku [°C]

δ – tloušťka vzorku [m]

B – koeficient tepelných ztrát [J. s⁻¹. K⁻¹]

t – čas [s]

pro B platí:

$$B = \alpha * S_z \quad (4)$$

kde:

α – koeficient přestupu tepla (W. m⁻².K⁻¹)

S_z – plocha, na níž dochází ke ztrátám (m²)

Do matematických vztahů jsou započítány i ztráty tepla, vzniklé přirozeným prouděním vzduchu kolem měřícího přístroje.

Řešením rovnice 3 dostaneme vztah:

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) * \exp(-(A_1 + A_2) * \tau) \quad (5)$$

kde pro A_1 a A_2 platí vztahy:

$$A_1 = \frac{S * \lambda}{\delta * K} \quad (6)$$

$$A_2 = \frac{B}{K} \quad (7)$$

$$A_3 = A_1 + A_2 \quad (8)$$

Praktický výpočet:

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) * e^{-(A_1 + A_2)\tau} \quad (9)$$

$$y = y_0 + ae^{(-bx)} \quad (10)$$

Z nelineární regrese získáme koeficient b:

$$A_1 = b - A_2 \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{A_1 \delta K_1}{S} \quad (12)$$

9.5.6 Výpočet koeficientu tepelné vodivosti

Lisovaný vzorek:

Z nelineární regrese byl získán koeficient $b = 1,20 \cdot 10^{-3}$

$$A_1 = b - A_2 = 1,20 \cdot 10^{-3} - 3,68 \cdot 10^{-4} = 0,832 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda = \frac{A_1 \delta K_1}{S} = \frac{0,832 \cdot 10^{-3} * 3,686 \cdot 10^{-3} * 317,5}{\frac{\pi 0,085^2}{4}} = \frac{0,0002028}{0,006362} = \underline{\underline{0,1530 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}}}$$

Válcovaný a lisovaný vzorek 1:

Z nelineární regrese byl získán koeficient $b=1,38 \cdot 10^{-3}$

$$A_1 = b - A_2 = 1,38 \cdot 10^{-3} - 3,68 \cdot 10^{-4} = 1,012 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda = \frac{A_1 \delta K_1}{S} = \frac{1,012 \cdot 10^{-3} * 3,646 \cdot 10^{-3} * 317,5}{\frac{\pi 0,085^2}{4}} = \underline{0,1822 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}}$$

Válcovaný a lisovaný vzorek 2:

Z nelineární regrese byl získán koeficient $b=1,42 \cdot 10^{-3}$

$$A_1 = b - A_2 = 1,42 \cdot 10^{-3} - 3,68 \cdot 10^{-4} = 1,052 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda = \frac{A_1 \delta K_1}{S} = \frac{1,052 \cdot 10^{-3} * 3,497 \cdot 10^{-3} * 317,5}{\frac{\pi 0,085^2}{4}} = \underline{0,1836 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

Konstanty:

$$A_2 - 3,68 \cdot 10^{-4} \text{ [1]}$$

$$K_1 - \text{tepelná kapacita měřícího válečku} = 317,5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S - \text{plocha vzorku} = 6,362 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Z měření byly vypočteny koeficienty tepelné vodivosti u jednotlivých vzorků:

$$\text{Lisovaný vzorek: } \lambda = \underline{0,1530 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\text{Válcovaný a lisovaný vzorek 1: } \lambda = \underline{0,1822 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\text{Válcovaný a lisovaný vzorek 2: } \lambda = \underline{0,1836 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

9.6 Měření teplotní vodivosti

K popisu sdílení tepla vedením používáme dva parametry na sobě závislé – tepelná vodivost, kterou jsme se zabývali v kapitole 9.5 a teplotní vodivost [28]. Tyto dva pojmy spolu souvisí matematickým vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{c_p * \rho} \quad (13)$$

kde:

a - teplotní vodivost [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

λ - tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ρ – hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

c_p - měrné teplo za stálého tlaku [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Protože hustota a měrné teplo jsou dobře měřitelné, stanovuje se pro každou látku buď teplotní vodivost, nebo tepelná vodivost a druhá se podle vztahu (13) dopočítá.

9.6.1 Princip měření

Při měření teplotní vodivosti je měřený vzorek v termostatu vytemperován na konstantní teplotu; poté je umístěn do termostatu druhého a vytemperován na jinou také konstantní teplotu. Nejčastěji pomocí termočlánku jsme schopni měřit teplotní závislost v určitém místě na čase. Teplotní vodivost získáváme následným vyhodnocením této závislosti [28].

Teplota T_1 je teplota prvního termostatu, T_2 je teplota termostatu druhého. Tělísko má tvar hranolku o rozměrech $2b_1 \times 2b_2 \times 2b_3$ [28].

Přibližné řešení, které platí pro průběh teploty blížící se ustálenému tvaru, má tvar:

$$\frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^3 * \cos \frac{\pi x}{2b_1} * \cos \frac{\pi y}{2b_2} * \cos \frac{\pi z}{2b_3} * \exp\left(\frac{-at}{K}\right) \quad (14)$$

kde:

T – měřená teplota v určitém momentu křivky [$^{\circ}\text{C}$]

T_1 – teplota termostatu během chlazení [$^{\circ}\text{C}$]

T_2 – teplota termostatu během ohřevu [$^{\circ}\text{C}$]

b_1 – délka hranolu [mm]

b_2 – šířka hranolu [mm]

b_3 – výška hranolu [mm]

Rozměrová konstanta vzorku [m^2] je vypočtena podle vztahu:

$$K = \left[\left(\frac{4}{\pi} \right)^2 * \left(\frac{1}{b_1^2} + \frac{1}{b_2^2} + \frac{1}{b_3^2} \right) \right]^{-1} \quad (15)$$

Vztah (15) platí s dostatečnou přesností pro $0 < \frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} \leq 0,5$.

9.6.2 Postup práce

Termostaty byly vytemperovány na teploty $T_1 = 26^{\circ}\text{C}$ a $T_2 = 96^{\circ}\text{C}$, což přibližně odpovídá aktuálním provozním podmínkám.

Zkušební tělísko bylo vytemperováno v termostatu, kde je i druhý konec termočlánku. Na zapisovači byla nastavena nulová poloha, tělísko bylo přeneseno do druhého termostatu a bez zapnutí zapisování byl podle maximální výchylky nastaven rozsah voltmetru. Vlastní měření bylo provedeno dvakrát pro rostoucí teplotu a dvakrát pro klesající teplotu. Rychlost posuvu papíru byla $3 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ [28]. Laboratorní zařízení v prostorách univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, fakulty technologické, je znázorněn na obrázku 20.



Obrázek 20: Měřící zařízení teplotní vodivosti

9.6.3 Výpočet rozměrové konstanty vzorku kaučukové směsi

U vzorku hranolu kaučukové směsi byly změřeny jeho rozměry:

$$b_1 = 55,975 \text{ mm (délka hranolu)}$$

$$b_2 = 27,175 \text{ mm (šířka hranolu)}$$

$$b_3 = 11,888 \text{ mm (tloušťka hranolu)}$$

Dle vztahu 15 byla vypočtena hodnota rozměrové konstanty vzorku:

$$K = \frac{1}{\left[\left(\frac{\pi}{2} \right)^2 * \left(\frac{1}{b_1^2} + \frac{1}{b_2^2} + \frac{1}{b_3^2} \right) \right]}$$

$$K = \frac{1}{\left[2,4674 * \left(\frac{1}{(55,975 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{(27,175 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{(11,888 \cdot 10^{-3})^2} \right) \right]}$$

$$K = \frac{1}{21587,78} = \underline{4,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}$$

Rozměrová konstanta vzorku hranolu kaučukové směsi byla výpočtem stanovena na hodnotu $4,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$.

9.6.4 Zpracování naměřených hodnot

Po skončení měření jsme obdrželi záznam ze zapisovače měřícího přístroje, na kterém byly odečteny hodnoty teplot v určitém čase, přičemž rychlost posuvu papíru byla přednastavena na $3 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ [28]. Z těchto hodnot byla pro jednotlivá měření vytvořena tabulka 4, ve které jsou uvedeny hodnoty vnášené do grafu 1 linearizované regrese, kde:

T – měřená teplota v určitém momentu křivky [$^{\circ}\text{C}$]

T_1 – teplota termostatu během chlazení = 26°C

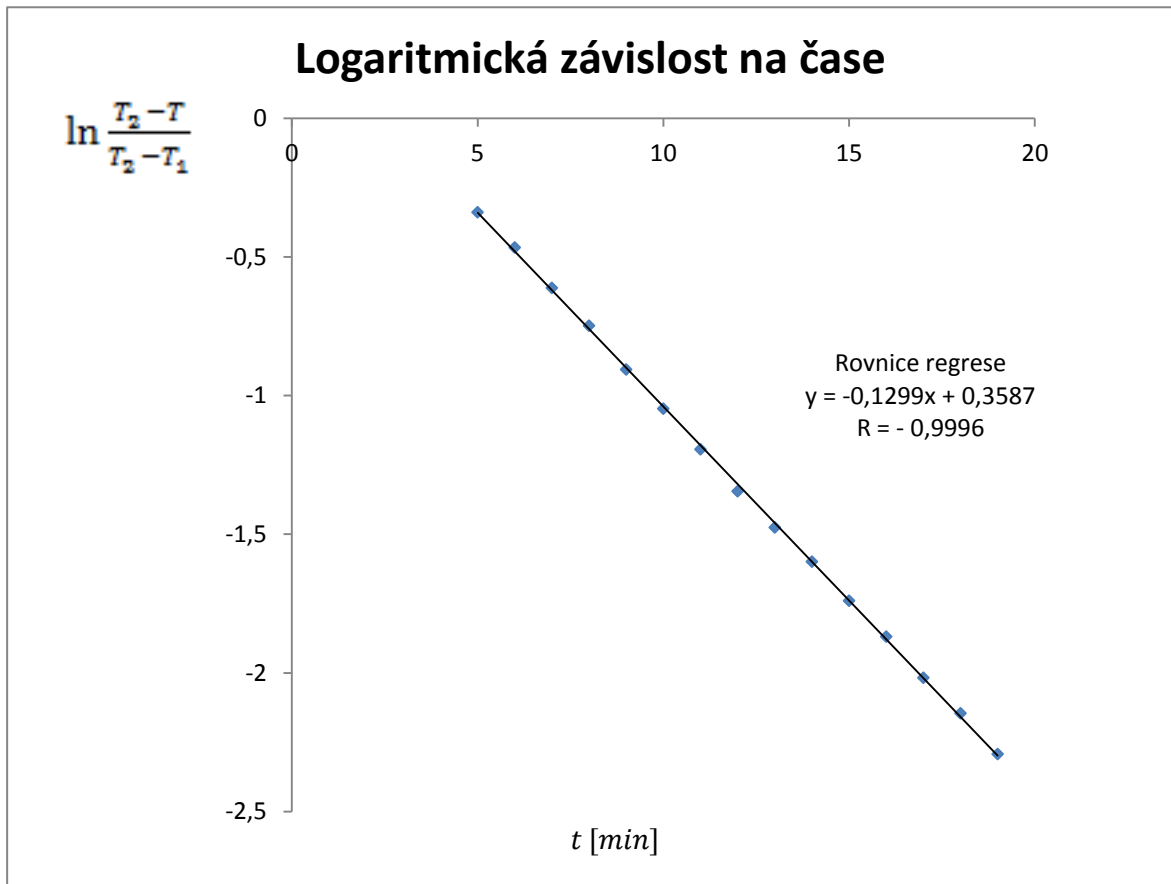
T_2 – teplota termostatu během ohřevu = 96°C

Pro správné vyhodnocení měření byly do grafu vkládány hodnoty $\leq \frac{T_2 + T_1}{2}$, což odpovídá teplotě 61°C . Z rovnice regrese byla následně vypočtena přibližná hodnota parametru $a_5 = -0,1299$.

Tabulka 4: Vyhodnocení hodnot z grafu měřicího přístroje

t	T	$\frac{T_2 - T}{T_2 - T_1}$	$\ln \frac{T_2 - T}{T_2 - T_1}$
[min]	[°C]	[1]	[1]
0	96,000	1,000	0,000
3	88,800	0,897	-0,109
4	81,400	0,791	-0,234
5	75,890	0,713	-0,339
6	69,940	0,628	-0,466
7	63,980	0,543	-0,611
8	59,140	0,473	-0,748
9	54,300	0,404	-0,906
10	50,570	0,351	-1,047
11	47,220	0,303	-1,194
12	44,240	0,261	-1,345
13	42,010	0,229	-1,475
14	40,150	0,202	-1,599
15	38,290	0,176	-1,740
16	36,800	0,154	-1,869
17	35,310	0,133	-2,017
18	34,190	0,117	-2,146
19	33,070	0,101	-2,293
20	31,960	0,085	-2,463
21	30,840	0,069	-2,672
22	30,100	0,059	-2,838
23	29,720	0,053	-2,935
24	29,350	0,048	-3,040
25	28,610	0,037	-3,289
26	28,230	0,032	-3,446
27	27,860	0,027	-3,628
28	27,490	0,021	-3,850
29	27,120	0,016	-4,135
31	26,740	0,011	-4,550

Graf 1: Grafická závislost přirozeného logaritmu poměru měřených teplot v čase



9.6.5 Vyhodnocení rovnice nelineární regrese v programu Mareg

V programu Mareg byly pomocí tvaru regrese funkce ze vztahu 16 vypočteny přesné parametry a_3 , a_4 , a_5 .

Nejprve byla vložena tabulka teplot a k nim příslušných časů. Poté byla zadána rovnice nelineární regrese:

$$T = a_3 + a_4 * \exp(a_5 * t) \quad (16)$$

kde:

T – teplota [$^{\circ}$ C]

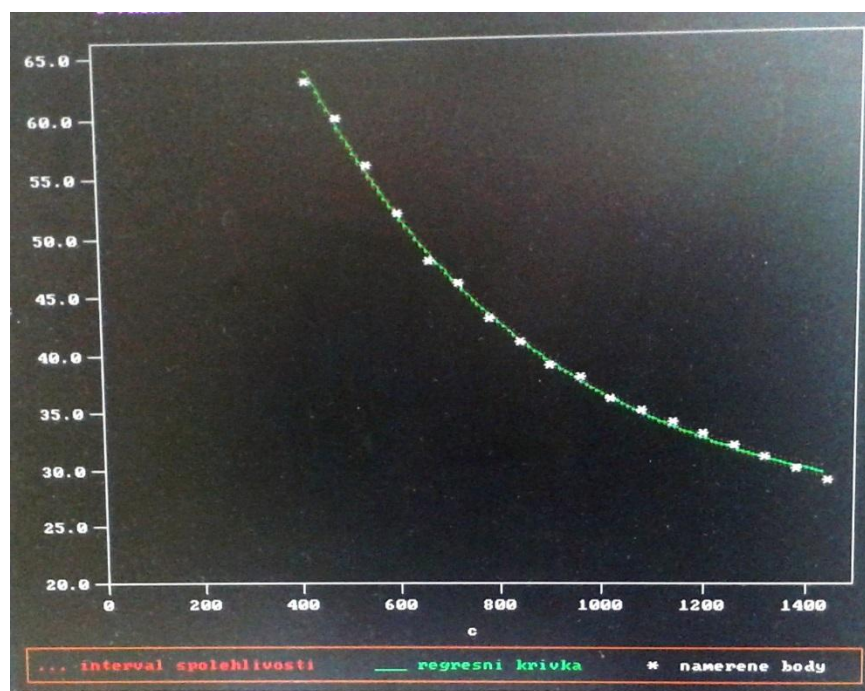
t – čas měření [min]

Za parametr a_3 byla dosazena teplota 26°C ($a_3 = 26$)

Za parametr a_4 byla dosazena teplota 96°C ($a_4 = 96$)

Za parametr a_5 byla dosazena hodnota vypočtená z rovnice regrese ($a_5 = -0,1299$)

Po zadání těchto parametrů byla vyhodnocena nelineární rovnice regrese s výsledky, grafickým znázorněním a vypočtenými parametry, uvedenými v tabulce 5.



Obrázek 21: Grafické znázornění měření v programu Mareg

Tabulka 5: Srovnání naměřených a vypočtených hodnot parametrů nelineární regrese

Číslo měření	Parametr		
	a_3	a_4	a_5
1	26,2813	92,7301	-0,1249
2	25,7516	96,958	-0,129
3	25,7516	96,958	-0,129

9.6.6 Výpočet teplotní vodivosti

Dle výsledků laboratorního měření byla vypočtena výsledná hodnota tepelné vodivosti:

$$a_5 = -\frac{a}{K} \quad (17)$$

$$a = a_5 * K$$

$$a = 0,129 * 4,63. 10^{-5} = 5,973. 10^{-6} m^2. min^{-1} = \underline{9,955. 10^{-8} m^2. s^{-1}}$$

kde:

a_5 – koeficient získaný z rovnice grafu lineární regrese, upřesněný v programu nelineární regrese [min^{-1}]

a – teplotní vodivost [$m^2. min^{-1}$]

K – rozměrová konstanta vzorku [m^2]

Dle vztahu 13 byla také vypočtena teplotní vodivost v závislosti na koeficientu tepelné vodivosti, hustoty vzorku a měrného tepla:

$$a = \frac{\lambda}{c_p * \rho}$$

$$a = \frac{0,1822}{1410 * 1,8. 10^3} = \underline{7,206. 10^{-8} m^2. s^{-1}}$$

Výsledky koeficientů teplotních vodivostí byly následně porovnány a byla vypočtena odchylka od těchto měření:

$$9,955. 10^{-8} \neq 7,206. 10^{-8}$$

Odchylka tohoto měření činila 19 %.

10 MĚŘENÍ V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH

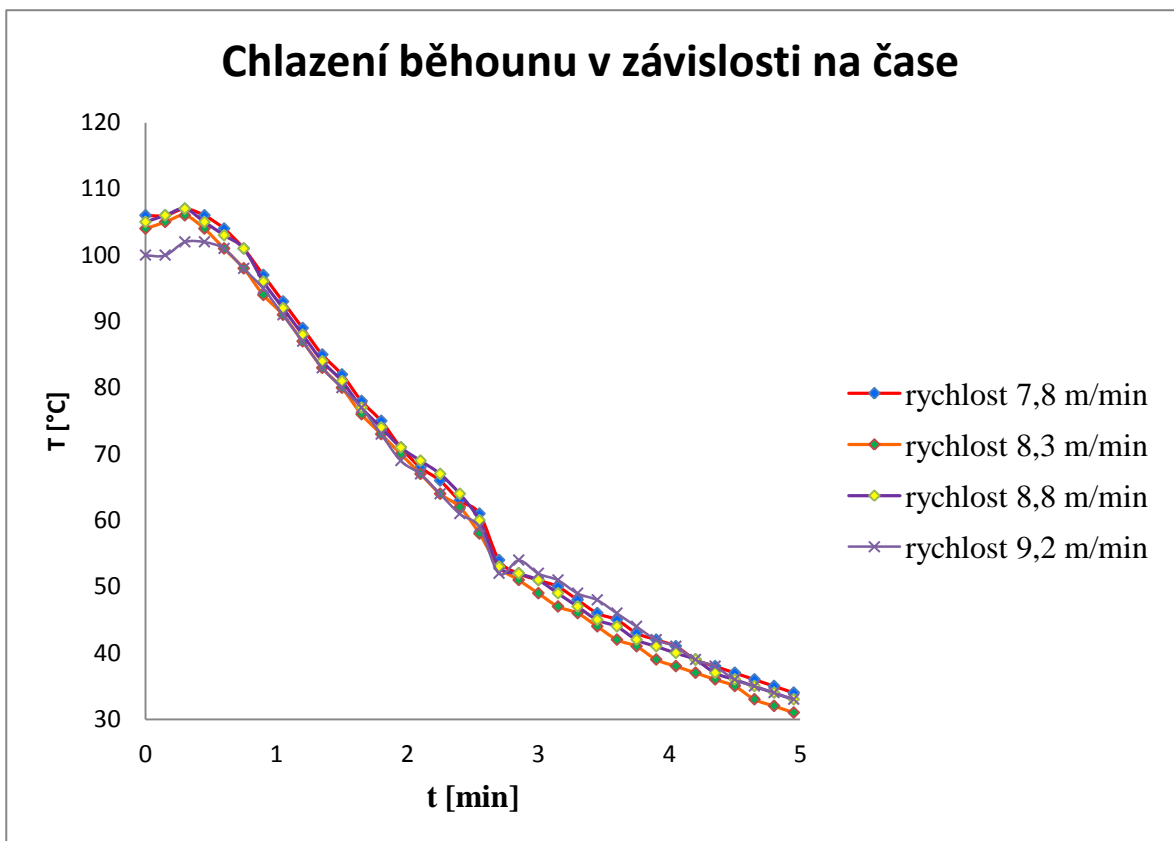
V hale přípravy polotovarů společnosti Continental Barum byl zaměstnanci čtyřikrát proveden cyklus měření poklesu teploty vytlačeného polotovaru běhounu. Tímto měřením byla získána grafická závislost postupného chlazení tohoto výrobku v čase při různých rychlostech vytlačovací linky VL4. Měření byla provedena kalibrovaným vpichovým teploměrem, v místě největší tloušťky polotovaru. Hodnoty z měření jsou uvedeny v tabulce 6 s příslušným grafem 2.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty teplot v jednotlivých pozicích při různých rychlostech vytlačovací linky VL4

	Čas [min]	Rychlost vytlačování (m.min ⁻¹)			
		7,8	8,3	8,8	9,2
		Teplota [°C]			
Vstup do 1.vany	0	106	104	105	100
	0,15	106	105	106	100
	0,3	107	106	107	102
	0,45	106	104	105	102
	0,6	104	101	103	101
	0,75	101	98	101	98
	0,9	97	94	96	95
	1,05	93	91	92	91
	1,2	89	87	88	87
	1,35	85	83	84	83
	1,5	82	80	81	80
	1,65	78	76	77	77
	1,8	75	73	74	73
	1,95	71	70	71	69
	2,1	68	67	69	67
	2,25	66	64	67	64
2,4	63	62	64	61	
Výstup z 1.vany	2,55	61	58	60	59
	2,7	54	53	53	52
	2,85	52	51	52	54
	3	51	49	51	52
	3,15	50	47	49	51
	3,3	48	46	47	49
	3,45	46	44	45	48
	3,6	45	42	44	46
	3,75	43	41	42	44
	3,9	42	39	41	42
	4,05	41	38	40	41
	4,2	39	37	39	39
	4,35	38	36	37	38
	4,5	37	35	36	36
4,65	36	33	35	35	
4,8	35	32	34	34	
Výstup z 2.vany	4,95	34	31	33	33

Teplota na panelu [°C]	Vana 1	16	17	18	16
	Vana 2	16	16	16	11
	Teplota za hlavou [°C]	116	115	115	109
Teplota odkládání do reků [°C]	31	29	29	24	

Graf 2: Grafická závislost teploty běhounu na čase





Obrázek 22: Vpichový teploměr

10.1 Diskuze k výsledkům naměřených v provozních podmínkách

V provozu byla měřena postupná změna teploty vytlačeného polotovaru vpichovým teploměrem. Vzhledem k výsledku znázorněného v grafu 2 v porovnání s výsledkem laboratorního měření bylo měření v provozních podmínkách značně ovlivněno vodivostí vpichového teploměru. Záznam z měření v provozu se od laboratorního měření značně liší a není tedy zahrnut do výsledného experimentu.

10.2 Výpočet rozměrové konstanty skutečného rozměru polotovaru

V laboratoři byl měřen vzorek hranolu kaučukové směsi a pomocí těchto rozměrů byla následně dle vztahu 15 spočtena rozměrová konstanta K . Abychom co nejpřesněji interpretovali průběh teploty v běhounu při provozních podmínkách, zanedbáme při výpočtech šířku a tloušťku polotovaru.

$$K_p = \frac{1}{\left[\left(\frac{\pi}{2} \right)^2 * \left(\frac{1}{b_1^2} \right) \right]}$$

$$K_p = \frac{1}{\left[2,4674 * \left(\frac{1}{(55,975 \cdot 10^{-3})^2} \right) \right]} = \underline{1,269 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

kde:

K_p – provozní rozměrová konstanta kaučukové směsi běhounu [m^2]

Rozměrová konstanta měřeného polotovaru v provozu by měla tedy odpovídat hodnotě $1,269 \cdot 10^{-3} m^2$.

10.3 Výpočet teplotní vodivosti

Stejně jako v laboratorních podmínkách byl stanoven koeficient teplotní vodivosti a následně teplotní vodivost, byl vypočten i v provozních podmínkách:

$$a_{5p} = a_5 * \frac{K}{K_p}$$

$$a_{5p} = 0,129 * \frac{4,63 \cdot 10^{-5}}{1,269 \cdot 10^{-3}}$$

$$a_{5p} = \underline{4,707 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}}$$

kde:

a_{5p} – provozní koeficient regrese kaučukové směsi běhounu [min^{-1}]

$$a_p = a_5 * K_p$$

$$a_p = 4,707 \cdot 10^{-3} * 1,269 \cdot 10^{-3} = \underline{5,973 \cdot 10^{-6} m^2 \cdot \text{min}^{-1}}$$

kde:

a_p – provozní teplotní vodivost kaučukové směsi [$m^2 \cdot \text{min}^{-1}$]

Koeficient teplotní vodivosti pro daný polotovar má hodnotu $5,973 \cdot 10^{-6} m^2 \cdot \text{min}^{-1}$.

11 CHLAZENÍ BĚHOUNU

K tomu, abychom porozuměli procesu chlazení na vytlačovací lince VL4, slouží obrázek grafu 23, znázorňující průběh vnitřní teploty běhounu průřezem celé linky. Spodní křivka interpretuje průběh teploty v laboratorních podmínkách, horní křivka simulaci procesu v provozních podmínkách.

Křivky jsou si velmi podobné i z hlediska chlazení. Veličinou, simulující okrajové podmínky děje a popisující nestacionární vedení tepla s účinkem okolí (v tomto případě se jedná o dostatečné chlazení vodou) je Biotovo kritérium. Dle vztahu 18 (kde je koeficient přestupu tepla vody roven $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, měrná tepelná vodivost vzorku byla v předchozích měřeních vypočtena s výsledkem $0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a za charakteristický rozměr polotovaru byla započtena délka běhounu) vyplývá, že je výsledek téměř desetinásobně vyšší než 100, což odpovídá velmi dobrému čerání chladicí vody kolem vytlačovaného polotovaru. Také v laboratoři jsme co nejlíže napodobili proudění chladicí vody kolem vzorku tak, aby výsledek co nejvíce odpovídal reálnému procesu.

$$Bi = \frac{\alpha * l}{\lambda} \quad (18)$$

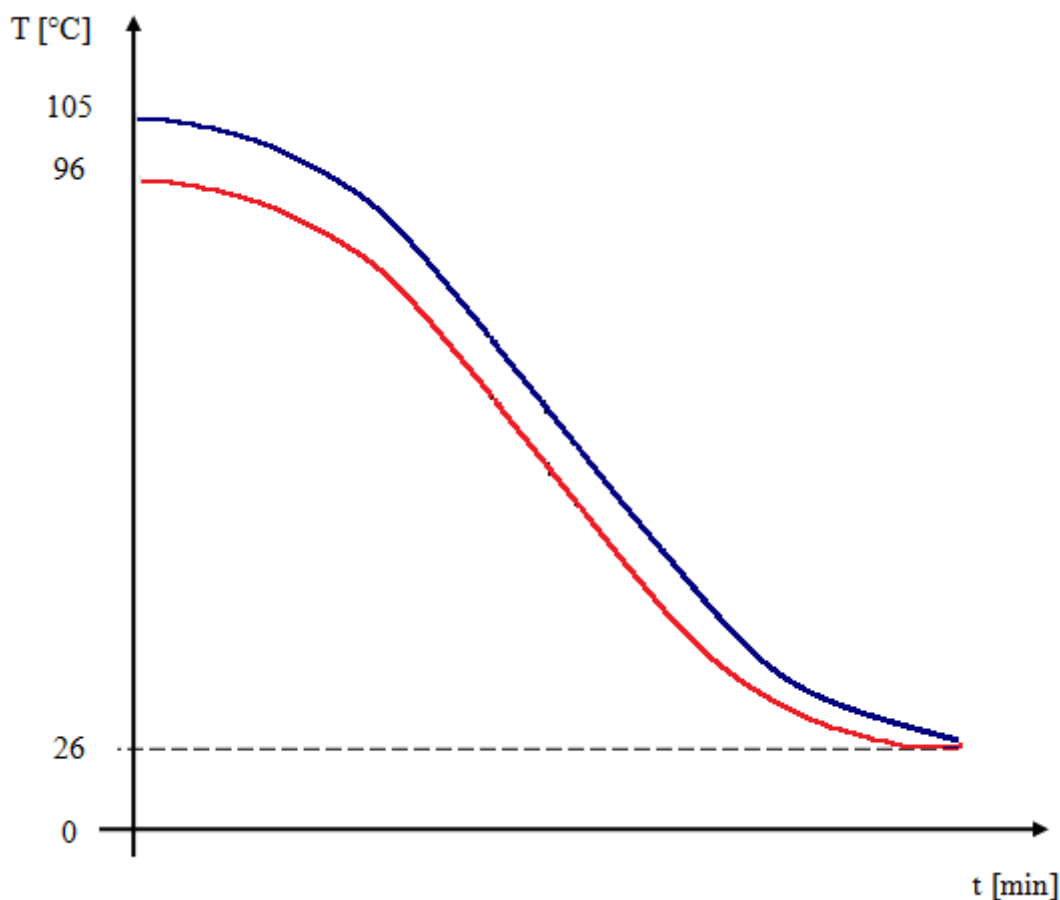
$$Bi = \frac{1000 * 0,176}{0,18} = \underline{\underline{978 [1]}}$$

kde:

α – koeficient přestupu tepla vody [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

l – charakteristický rozměr polotovaru [m]

λ – měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]



Obrázek 23: Znárodnění křivek z laboratorního (červená) a provozního (modrá) měření

11.1 Výsledky a diskuze

Při odkládání vytlačených běhounů do reků má být podle zadání teplota 40°C . Integrální střední teplota mezi horní a spodní hranicí teplot ohřevu a chlazení kaučukové směsi je $65,5^{\circ}\text{C}$, což odpovídá přibližně pěti minutám chlazení. Dle spodní osy x na obrázku 24, je doba při rychlosti vytlačování $10\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ rovna přibližně délce padesáti metrů chladících van.

Při poslední měřené rychlosti vytlačování $9,2\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a délce chladících van cca 50 m je tedy zřejmé, že byla vytlačovací linka VL4 speciálně dimenzována pro tento vytlačovaný rozměr. Do výpočtu tedy zahrňme jako maximální možnou tloušťku vytlačovaného polotovaru 24 mm, skutečnou maximální tloušťku a výkon vytlačovací linky.

Podělíme-li dle vztahu 19 umocněnou maximální možnou tloušťku vytlačovaného polotovaru na této lince a aktuální tloušťku polotovaru, dostáváme tomu ekvivalentní rychlost vytlačování:

$$\boxed{\left(\frac{h_{max}}{h_{act}}\right)^2 = v_{max}} \quad (19)$$

$$\left(\frac{24}{24}\right)^2 = 1,0 = \underline{10 \text{ m. min}^{-1}}$$

kde:

h_{max} – maximální tloušťka rozměru polotovaru, která lze na lince VL4 vyrobit =24 mm

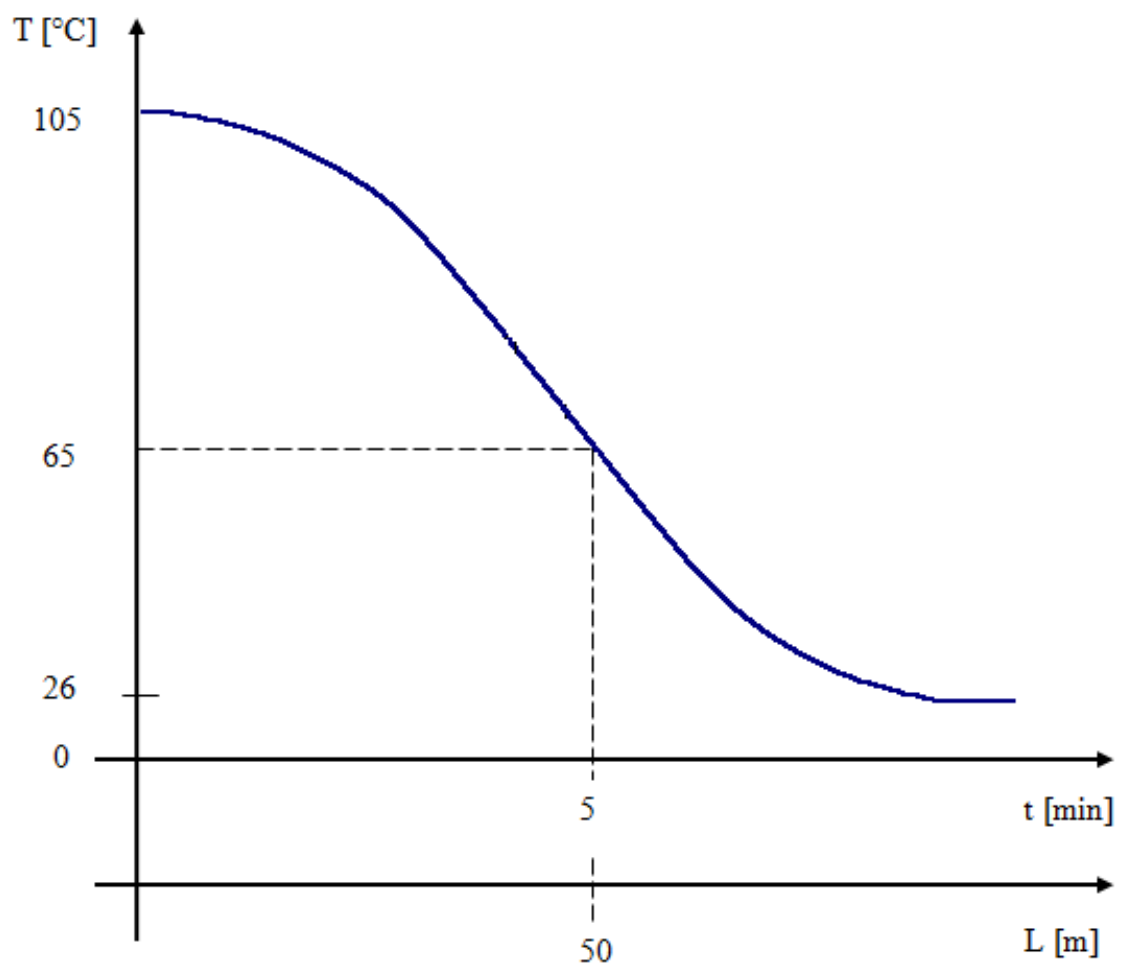
h_{act} – maximální tloušťka právě vytlačovaného polotovaru [mm]

v_{max} – maximální možná rychlost vytlačovací linky [m. min^{-1}]

Z výsledku vyplývá, že pro rozměr A je rychlost vytlačovací linky rovna 10 m. min^{-1} . Aby byla zachována rozměrová stálost výrobku, rychlost vytlačování by neměla přesáhnout tuto hodnotu.

Pro menší rozměry běhounů nákladních pneumatik však lze rychlost vytlačování zvýšit. Vytlačujeme-li například běhoun o maximální tloušťce 20 mm, bude rychlost vytlačování dle vztahu 19 rovna 1,4, což odpovídá 14 m. min^{-1} .

Co se týče závislosti jednotlivých receptur kaučukových směsí, používaných na výrobu běhounu, bylo z vodivostních charakteristik zjištěno, že jednotlivé přísady (například silika, vápenec, síran barnatý, apod.), které se ve směsích používají, mají podobnou vodivost a nebudou tedy ovlivňovat výsledné hodnoty tepelně vodivostních charakteristik vyrobeného polotovaru.



Obrázek 24: Interpretace výsledků

ZÁVĚR

Závěrem diplomové práce předkládám výsledky, naměřené ve společnosti Continental Barum, s.r.o. a laboratoři univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Z připravených vzorků kaučukové směsi pro běhoun nákladních pneumatik byly naměřeny teplotně vodivostní charakteristiky, ze kterých byla prezentována grafická závislost chlazení polotovaru běhounu na čase. Z výsledků těchto měření byla zjištěna závislost doby a teploty chlazení na délky chladicího zařízení.

Teoretickými úvahami a následně výpočty bylo zjištěno, že se křivka v provozních podmínkách příliš měnit nebude. V laboratoři se také podařilo zajistit velice podobné podmínky chlazení a čerání vody, která při měření kolem běhounu proudila. Toto bylo následně ověřeno kritériem podle Biota.

Matematickou interpretací provozního procesu byl uveden vztah 19 k výpočtu rychlosti vytlačování, v závislosti na rozměrech polotovaru. Přísady do kaučukových směsí na výrobu běhounu nebudou mít pravděpodobně na výpočet velký vliv. Tímto byly splněny veškeré požadavky diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie: Gumárenské výrobky* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.utb.cz/file/36218_1_1/download
- [2] STOKLASA, CSc, Doc. Ing.Karel. *Makromolekulární chemie II: Polymerní materiály*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: www.vitani-prvnacku.ic.cz
- [3] STOKLASA, CSc, Doc. Ing.Karel. *Makromolekulární chemie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: www.vitani-prvnacku.ic.cz
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk 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.
- [5] *Co je co: Kaučuk* [online]. 1999, 2015 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.cojeco.cz/obrazek.php?cesta=http://www.cojeco.cz/attach/image/max/e7/e87f/e7e87f32ee9fdbf9611619a60dce64b9.gif>
- [6] E-notes/study smarter: Tire - quality control. [online]. [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.enotes.com/tire-reference/tire>
- [7] Indian natural rubber. [online]. [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.indiannaturalrubber.com>
- [8] Stema spol. s.r.o.: Kaučuky přírodní. [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <http://www.stema.otrokovice.cz/kaucuky-prirodni.htm>
- [9] *Řez pneumatikou*. [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.pneupneu.cz/pneu_rezpneumatikou.php
- [10] MECHL, Viktor a Martin MUŠINSKÝ. *Gumárenská technologie v Barum Continental, spol. s.r.o.: učebnice pro žáky zpracovatelského oboru SPŠ polytechnické - COP Zlín*. 1. vyd. Zlín. ISBN 978-80-905002-2-8.
- [11] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. *Pneuservis v Rokytnici, Poradce při výběru pneumatik, OMV dealer*[online]. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>
- [12] MARCÍN, Jiří. *Pneumatiky*. Vydalo SNTL – Státní nakladatelství technické literatury Praha 1976

- [13] *The pneumatic tire* [online]. U.S. Department of transportation, 2006 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: http://www.nhtsa.gov/staticfiles/safercar/pdf/PneumaticTire_HS-810-561.pdf
- [14] Jiangu Yuxing Industry And Trade Co, Ltd: Rubber and plastic color pigment. [online]. 2004 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://asianironoxide.en.alibaba.com/product/495800623-210412510/rubber_and_plastic_color_pigment.html
- [15] MĚŘÍNSKÁ, Dagmar. Vytlačování. *Univerzita Tomáš Bati* [online]. Fakulta technologická [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/36173>
- [16] Mañas, M., Vlček, J. *Aplikovaná reologie*. Zlín : VUT, 2001.
- [17] University of Cambridge: Department of Chemical Engineering and Biotechnology. *Dawn Sharkskin* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.ceb.cam.ac.uk/data/images/groups/polymer/alumni/dawn-sharkskin.jpg/view>
- [18] JOHNSON, Peter S. *Rubber processing*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2001, xiii, 145 p. ISBN 15-699-0309-3
- [19] SOMMER, John G. *Engineered rubber products*. Cincinnati: Hanser, c2009, ix, 181 p. ISBN 15-699-0433-2
- [20] WHITE, James Lindsay a Burak ERMAN. *Rubber processing: technology, materials, principles*. 3rd ed. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, c1995, xix, 586 p. ISBN 15-699-0165-1
- [21] PÍZA, Tomáš. *Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik* [online]. Brno, 2008. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=710. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Brandejs, CSc.
- [22] MUŠÍNSKÝ, Martin. Spolupráce Barum s regionálními školami: Historie výroby pneumatik v Otrokovicích. In: [online]. Barum Continental, s.r.o. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.konferenceub.cz/wp-content/uploads/2014/07/Spoluprace_Barum_Continental_se_skolami.pdf
- [23] *Stanovení koncentrace složky v roztoku pomocí indikátoru* [online]. FS ČVUT [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/cvlab/LUB3.pdf>

- [24] *Tepelné vlastnosti: Měrné teplo* [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_12.pdf
- [25] *Součinitel tepelné vodivosti λ* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.prirodnistavba.cz/popup/soucinitel-tepelne-vodivosti-33e.html>
- [26] BITTNER, Jiří. *Měření tepelných vlastností materiálů*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/1810/bittner_2006_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Petr Urbanec.
- [27] BLAHA, Antonín. *Teplotní vodivost: Návod k laboratorní úloze*. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/36160>
- [28] BLAHA, Antonín. *Tepelná vodivost: Návod k laboratorní úloze*. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/36161>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VL4	Vytlačovací linka číslo 4 ve společnosti Barum Continental, s.r.o.
SBR	Styrenbutadienový kaučuk
NR	Přírodní kaučuk
ACN	Akrylátový kaučuk
%	Procento
° C	Stupeň celsia
RSS	Žebrované uzené listy
ISNR	Indonéský přírodní kaučuk
Tg	Teplota skelného přechodu
UV	Ultrafialové záření
MPa	Megapascal
kPa	Kilopascal
s.r.o.	Společnost s ručeným omezeným
cm	Centimetr
dm	Decimetr
m	Metr
hod	Hodina
g	Gram
kg	Kilogram
W	Watt
J	Joul
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
NaOH	Hydroxid sodný
H ₂ O	Voda

OH ⁻	Hydroxidový aniont
M	Molarita [mol.dm ⁻³]
S	Plocha vzorku [m ²]
λ	Tepelná vodivost [W. M ⁻¹ .K ⁻¹]
t_1	Teplota temperační desky 1 [°C]
t_2	Počáteční teplota měřicího válečku [°C]
δ	Tloušťka vzorku [m]
B	Koeficient tepelných ztrát [J.s ⁻¹ . K ⁻¹]
t	Čas [s]
α	Koeficient přestupu tepla [W. M ⁻² .K ⁻¹]
S_z	Plocha, na níž dochází ke ztrátám [m ²]
K_1	Tepelná kapacita měřicího válečku [J.K ⁻¹]
K	Rozměrová konstanta vzorku [m ²]
a	Teplotní vodivost [m ² . S ⁻¹]
ρ	Teplotní vodivost [m ² . S ⁻¹]
c_p	Měrné teplo za stálého tlaku [J. Kg ⁻¹ .K ⁻¹]
T	Měřená teplota v určitém momentu křivky [°C]
T_1	Teplota termostatu během chlazení [°C]
T_2	Teplota termostatu během ohřevu [°C]
b_1	Délka hranolu [mm]
b_2	Šířka hranolu [mm]
b_3	Výška hranolu [mm]
a_5	Koeficient získaný z rovnice grafu lineární regrese [min ⁻¹]
K_p	Provozní rozměrová konstanta kaučukové směsi běhounu [m ²]
a_{5p}	Provozní koeficient regrese kaučukové směsi běhounu [min ⁻¹]

α	Koeficient přestupu tepla vody [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
l	Charakteristický rozměr polotovaru [m]
h_{max}	Maximální tloušťka rozměru polotovaru, která lze na lince VL4 vyrobit [mm]
h_{act}	Maximální tloušťka právě vytlačovaného polotovaru [mm]
v_{max}	Maximální možná rychlost vytlačovací linky [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
V	Objem [m^3]
d	Průměr vzorku [m]
v	Tloušťka vzorku [m]
DSC	Diferenciální skenovací kalorimetrie
Bi	Biotovo kritérium

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura cis - 1,4 - polyisoprenu [5]	14
Obrázek 2: Řez pneumatikou a její jednotlivé části [9].....	21
Obrázek 3: Vlevo – diagonální plášť pneumatiky, Vpravo – Radiální plášť [11].....	22
Obrázek 4: Vytlačovaný profil běhounu.....	23
Obrázek 5: Sled operací výroby pneumatiky.....	24
Obrázek 6: Prášková forma pigmentů [14].....	27
Obrázek 7: Schéma principu míchání na dvouválcí	29
Obrázek 8: Typy vytlačovacích strojů	30
Obrázek 9: Schéma vytlačovacího stroje: 1 - Násypka, 2 - Elektrické odporové topení, 3 - Šnek, 4 - Termočlánky, 5 - Regulační ventil tlak, 6 - Snímače tlaku, 7 - Lamač, 8 – Pouzdro; A – Vstupní část, B – přechodová část, C – Výstupní část [15]	31
Obrázek 10: Parametry jednošnekového vytlačovacího stroje: 1 – Šnek, 2 – Pracovní válec, D – průměr šneku, L – délka šneku, s – Stoupání závitu, e – Vodící plocha závitu, h – Hloubka šnekového profilu, δ – Poloviční vůle, α – Úhel stoupání závitu [15]	32
Obrázek 11: Následek jevu Shark skin [17]	33
Obrázek 12: Sled operací výroby surového pláště na prvním a druhém stupni konfekce [10].....	36
Obrázek 13: Vulkanizační křivka [10].....	37
Obrázek 14: Konfekční stroje Baťa v roce 1932 [22].....	39
Obrázek 15: Profil výrobku	40
Obrázek 16: Schéma linky VL4.....	41
Obrázek 17: Připravený vzorek k měření	44
Obrázek 18: Příklad záznamu z DSC analýzy	47
Obrázek 19: Aparatura přístroje v laboratorních podmínkách univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, fakulty technologické	50
Obrázek 20: Měřicí zařízení teplotní vodivosti	56
Obrázek 21: Grafické znázornění měření v programu Mareg	60
Obrázek 22: Vpichový teploměr.....	65
Obrázek 23: Znázornění křivek z laboratorního (červená) a provozního (modrá) měření.....	68

Obrázek 24: Interpretace výsledků 70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Požadavky na kvalitu RSS [6;7;8].....	16
tabulka 2: Rozměry jednotlivých vzorků.....	45
Tabulka 3: Vyhodnocení měrného tepla kaučukové směsi pomocí DSC analýzy	48
Tabulka 4: Vyhodnocení hodnot z grafu měřicího přístroje.....	58
Tabulka 5: Srovnání naměřených a vypočtených hodnot parametrů nelineární regresí.....	60
Tabulka 6: Naměřené hodnoty teplot v jednotlivých pozicích při různých rychlostech vytlačovací linky VL4	63

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Grafická závislost přirozeného logaritmu poměru měřených teplot v čase 59

Graf 2: Grafická závislost teploty běhounu na čase 64