

# Porovnanie vplyvu vstupných parametrov na príkon miešacieho zariadenia pri homogenizácii kaučukových zmesí

Pavol Knapec

---

Diplomová práca  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---



## **ABSTRAKT**

V mojej diplomovej práci som zisťoval pre tri rôzne kaučukové zmesi energiu, ktorá je potrebná na ich homogenizáciu. Tento experiment som robil pre päť stupňov otáčok hnetadiel a tiež pre päť rôznych teplôt materiálu.

V ďalšej časti mojej diplomovej práce som zisťoval dynamickú viskozitu týchto kaučukových zmesí.

**Kľúčové slová :** kaučuková zmes, elastomer, miešanie, viskozita

## **ABSTRACT**

In my diplom work I tried to find energy which we must do on homogenization of three various rubber compounds. I did this experiment with five degrees of the stirrers rotation and with five different temperatures of material too.

In the other part of my diplom work I tried to find dynamic viscosity of this rubber compounds.

**The key words :** rubber compound, rubber, stirring, viscosity

## POĎAKOVANIE

Touto cestou by som rád poďakoval svojmu vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Richardovi Pospíšilovi, za obetavý prístup, pripomienky, materiály a cenné rady pri tvorbe práce.

Súhlasím s tým, že s výsledkami mojej práce môže byť naložené podľa uváženia vedúceho diplomovej práce a riaditeľa ústavu. V prípade publikácie budem uvedený ako spoluautor.

Prehlasujem, že som na celej diplomovej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval.

V Rosine, 10.11.2008

.....

Pavol Knapec

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČASŤ .....</b>	<b>8</b>
<b>1 ELASTOMERY .....</b>	<b>9</b>
1.1 DELENIE ELASTOMEROV .....	9
1.2 VLASTNOSTI ELASTOMEROV .....	9
1.2.1 <i>Mechanické správanie elastomerov.....</i>	<i>10</i>
1.3 VULKANIZÁCIA .....	10
1.3.1 <i>Vulkametrická krivka .....</i>	<i>11</i>
1.3.2 <i>Štruktúra pryže.....</i>	<i>12</i>
1.4 PRÍRODNÝ KAUČUK .....	13
1.5 SYNTETICKÉ KAUČUKY .....	14
<b>2 PRÍPRAVA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1 PLASTIKÁCIA KAUČUKU.....	17
2.2 ZLOŽENIE ZMESI .....	17
2.2.1 <i>Plastikačné činidlá.....</i>	<i>19</i>
2.2.2 <i>Vulkanizačné činidlá.....</i>	<i>19</i>
2.2.3 <i>Urýchľovače vulkanizácie.....</i>	<i>20</i>
2.2.4 <i>Plnivá.....</i>	<i>21</i>
2.2.5 <i>Zmäkčovadlá.....</i>	<i>21</i>
2.2.6 <i>Pigmenty .....</i>	<i>22</i>
2.2.7 <i>Ochranné látky proti stárnutiu a únave ( antidegradanty ).....</i>	<i>22</i>
2.3 MECHANIZMUS PLASTIKÁCIE .....	23
<b>3 SPÔSOBY MIEŠANIA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ.....</b>	<b>25</b>
3.1 MIEŠANIE KAUČUKOVEJ ZMESI NA DVOJVALCI .....	25
3.2 MIEŠANIE KAUČUKOVEJ ZMESI V HNETACOM STROJI .....	26
3.2.1 <i>Postup miešania.....</i>	<i>27</i>
3.2.2 <i>Konštrukčné riešenie hnetadiel.....</i>	<i>28</i>
3.3 VIACVÁLCE.....	29
3.3.1 <i>Malé viacválne .....</i>	<i>30</i>
3.3.2 <i>Veľké viacválne .....</i>	<i>30</i>
<b>4 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY ZDIEĽANIA TEPLA A OHREVOV.....</b>	<b>32</b>
4.1 ZDIEĽANIE TEPLA VEDENÍM(KONDUKCIA) .....	32
4.2 ZDIEĽANIE TEPLA PRÚDENÍM(KONVEKCIA).....	32
4.3 OHREV INFRAČERVENÝM ŽIARENÍM.....	33
4.3.1 <i>IR žiarenie.....</i>	<i>33</i>
4.4 DIELEKTRICKÝ OHREV (MIKROVLNNÝ).....	33
4.4.1 <i>Chovanie látok v elektromagnetickom poli.....</i>	<i>34</i>
4.5 DIELEKTRICKÝ OHREV GUMY .....	34
4.6 HISTÓRIA A TRENDY PREDOHREHU GUMY .....	35
4.6.1 <i>Predohrev pred vulkanizáciou lisovanej gumy.....</i>	<i>35</i>
<b>5 GOUGH – JOULEOV EFEKT .....</b>	<b>37</b>
5.1 PRAKTICKÉ VYUŽITIE GOUGH – JOUELOVHO EFEKTU .....	37

<b>6</b>	<b>RPA 2000 .....</b>	<b>39</b>
<b>II.</b>	<b>PRAKTICKÁ ČASŤ .....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>CIEĽ DIPLOMOVEJ PRÁCE.....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU.....</b>	<b>43</b>
8.1	ZLOŽENIE ZMESI .....	44
8.2	PRÍPRAVA MATERIÁLU NA MERANIE .....	44
<b>9</b>	<b>PRÍPRAVA LABORATÓRNEHO ZARIADENIA .....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>MERANIE NA HNETACOM STROJI A VYHODNOTENIE.....</b>	<b>48</b>
10.1	KÍZAVÝ PRIEMER .....	52
10.2	VYHODNOTENIE NAMERANÝCH DÁT .....	53
<b>11</b>	<b>MERANIE NA ZARIADENÍ RPA 2000 .....</b>	<b>64</b>
11.1	VYHODNOTENIE MERANIA .....	65
<b>12</b>	<b>ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE .....</b>	<b>68</b>
	<b>DISKUSIA VÝSLEDKOV .....</b>	<b>72</b>
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>73</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>74</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>75</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>76</b>
	<b>ZOZNAM GRAFOV .....</b>	<b>77</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>79</b>
	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>80</b>

## ÚVOD

Vývoj priemyselnej výroby napreduje veľmi rýchlo a tak je to aj v gumárenskej výrobe a v oblasti gumárenských surovín. Počet druhov gumárenských prísad používaných pri výrobe gumárenských zmesí môžeme počítat' v stovkách. Niektoré z nich môžeme zamenit', ale niektoré tieto suroviny sú nenahraditeľné vďaka svojim jedinečným vlastnostiam. Kaučukové zmesi nám umožňujú vyrábať materiály s vlastnosťami, ktoré nie je možné docieľit' použitím iných surovín.

Do procesu prípravy kaučukových zmesí vstupuje mnoho vstupných parametrov a procesov. Najdôležitejším procesom prípravy kaučukových zmesí je miešanie kaučukových zmesí. Miešanie nám musí zabezpečiť čo najlepšiu homogenizáciu celej zmesi, to znamená čo najlepšie rozptýlenie zložiek, ktoré daná zmes obsahuje. Proces miešania nám najviac ovplyvňuje celkovú spotrebu energie. Energetické hľadisko je veľmi dôležité a preto sa ním musíme zaoberať, pretože gumárenská výroba patrí medzi energeticky náročné technológie.

## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**



## 1 ELASTOMERY

Elastomery sú vysoko elastické polymery, ktoré možno za bežných podmienok i pri zaťažovaní malou silou, značne deformovať bez porušenia. Tieto deformácie majú prevažne vratný charakter. Nejpočetnejšiu skupinu tvoria kaučuky, z ktorých sa vyrába pryž. [3]

### 1.1 Delenie elastomerov

- prírodný kaučuk,
- syntetické kaučuky

[3]

### 1.2 Vlastnosti elastomerov

Kaučuk je elastomerná nezosieťovaná makromolekulárna látka, ktorá zosieťovaním prechádza v pryž.

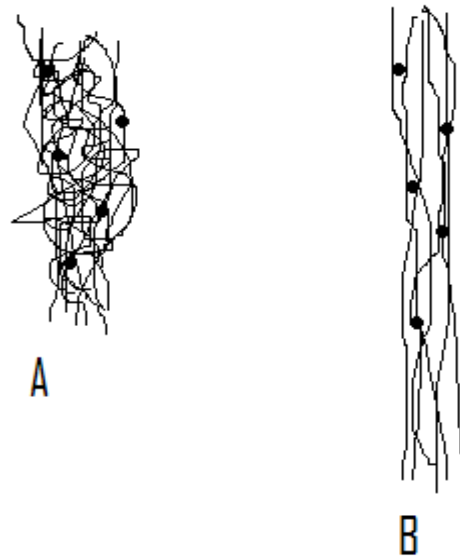
Kaučukovitý stav je definovaný ako vlastnosť hmoty deformovať sa vplyvom pomerne malých vonkajších síl o stovky percent, teda v rozsahu, aký iné materiály neumožňujú a po uvoľnení sily túto deformáciu vrátiť späť rýchlo a takmer úplne do pôvodného stavu. Látky ktoré sa takto chovajú v širokom rozsahu teplôt, sú označované ako *Elastomery*.

*Štruktúrne predpoklady pre kaučukovitú elasticitu sú:*

1. Vysoká molekulová hmotnosť polymeru ( $10^4 \div 10^6$ )
2. Prevažne lineárne reťazce,
3. Voľná otáčavosť okolo jednoduchých väzieb,
4. Riedko rozmiestnené priečne väzby (chemické alebo fyzikálne),
5. Malé medzimolekulárne sily

[3]

### 1.2.1 Mechanické správanie elastomerov



Obrázok 1 Štruktúra deformácie elastomerov

[8]

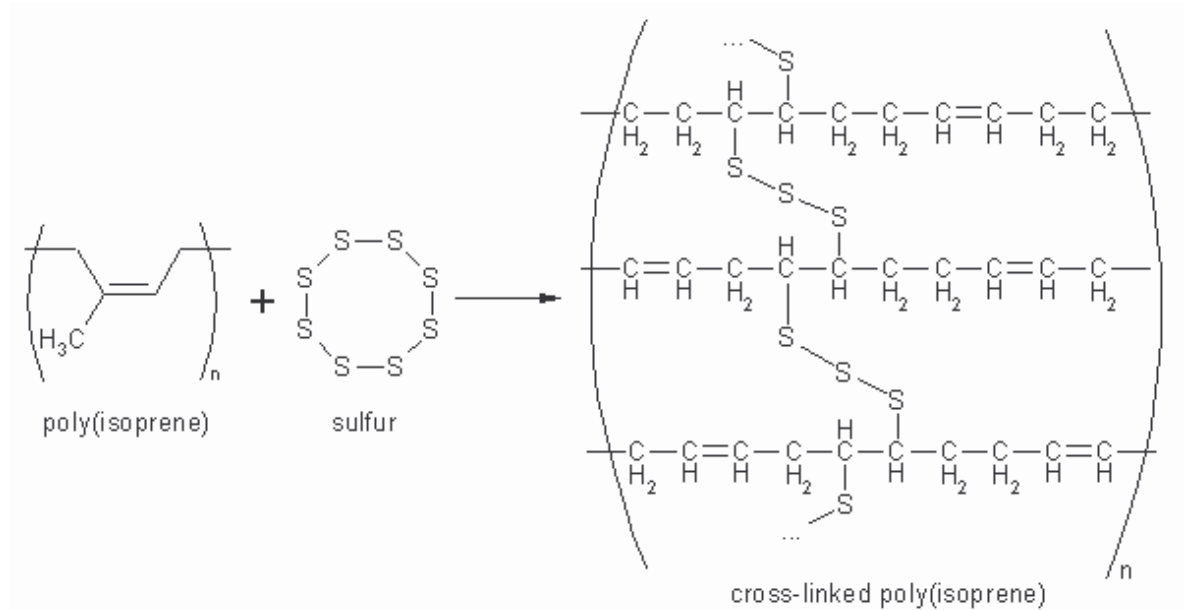
## 1.3 Vulkanizácia

Premena kaučuku na pryž prebieha pri chemickom procese **vulkanizácie**, kedy dochádza k prepojeniu lineárnych makromolekúl kaučuku takzvanými disulfidickými mostíkmi. Reakcie sa zúčastňuje vulkanizačné činidlo, najčastejšie síra pri teplote 120 – 140°C alebo chlorid sírny za normálnej teploty. Ďalšie vulkanizačné činidlá, ktoré je možné použiť sú síra, donory síry, selén, telúr, peroxidy, kovové kysličníky, reaktívne pryskyrice.

Pryž sa získava vulkanizáciou kaučukových zmesí, ktorých zloženie ovplyvňuje vlastnosti pryže. Patrí medzi elastomery, ktoré sa vyznačujú vysokou odolnosťou voči oderu a veľkou ohybnosťou.

Prvým používaným elastomerom bol prírodný kaučuk a preto najväčší úsek vývoja procesu vulkanizácie ako i štúdie o mechanizmoch vulkanizácie sa uskutočnili práve s ním. Existujú preto veľmi obsiahle poznatky o vulkanizačných systémoch pre rôzne účely. Mnohé z nich sú postupne prekonávané novými poznatkami, tak ako sú vyvíjené a uvádzané na trh ďalšie gumárske suroviny, najmä dokonalejšie urýchľovače vulkanizácie.

[3]

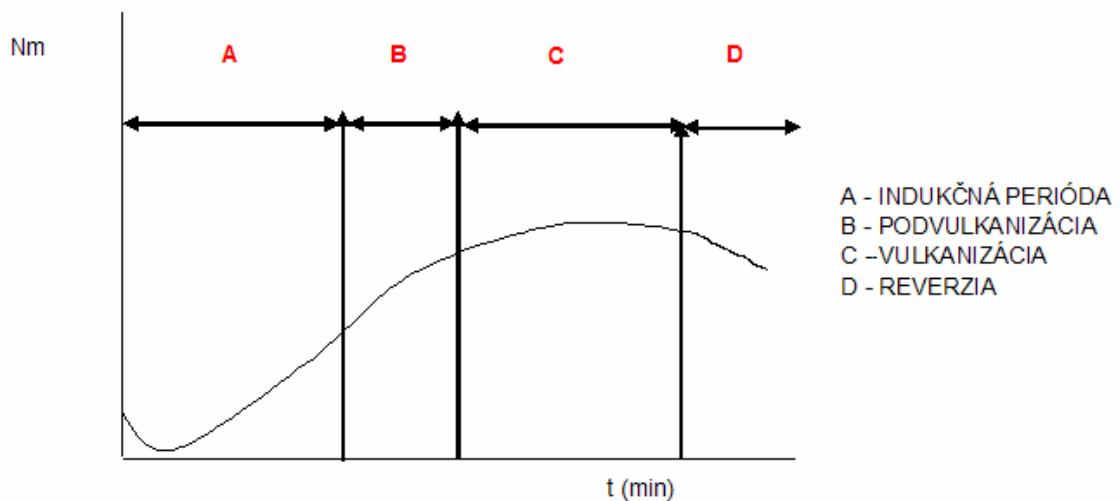


Obrázok 2 Vulkanizácia

[9]

### 1.3.1 Vulkametrická krivka

Vulkametrickou krivkou zisťujeme dobu potrebnú na vulkanizáciu. Do prístroja sa vloží vzorka na kovový podstavec, ktorý vykonáva rotačný pohyb a ktorého smer sa mení podľa nastavenej frekvencie. Vzorka sa uzatvorí do kovového lisu a vyhreje sa na požadovanú teplotu. Pryž sa stane plastická. Odpor, ktorý kladie pryž otočnému podstavcu sa zaznamenáva v čase a tento priebeh nazývame vulkametrická krivka. [2]



Obrázok 3 Všeobecný popis vulkametrickej krivka

### Popis vulkаметrickej krivky

Indukčná perióda je časový úsek, v ktorom si kaučuková zmes uchováva plastické vlastnosti, tečie a dá sa pomerne dobre tvarovať. Z praktického hľadiska výroby pneumatík je táto fáza veľmi dôležitá, pretože ovplyvňuje na jednej strane ekonomiku procesu a na druhej strane kvalitu vulkanizátu. Ak je indukčná perióda kaučukovitých zmesí v jednotlivých častiach plášt'a pneumatiky neprimerane dlhá, dochádza k nežiadúcemu zvyšovaniu spotreby energie pri vulkanizácii, k strate času, kapacít a produktivity práce. Ak je indukčná perióda naopak neprimerane krátka, vzniká riziko zmeny chovania kaučukovej zmesi a najmä tokových vlastností.

V úseku podvulkanizácie dochádza k tvorbe siete a k zmene fyzikálne - mechanických vlastností zmesi pri jej postupnom prechode na vulkanizát.

Rýchlosť vulkanizácie závisí na druhu kaučuku, zložení kaučukovej zmesi a na teplote. Všeobecne platí, že rýchlosť vulkanizácie rastie s teplotou.

Reverzia vulkanizácie je úsek vulkanizácie, v ktorom nedochádza k zmenám vo vlastnostiach vulkanizátu. Význam reverzie spočíva v tom, že sa vlastnosti vulkanizátu po určitú dobu pri tepelnom namáhaní nemenia. Táto vlastnosť, ktorá vyplýva z termickej stability siete vulkanizátu, umožňuje v pneumatickom priemysle dosiahnuť optimum vulkanizácie. [2]

### 1.3.2 Štruktúra pryže

Štruktúra vulkanizátu závisí na podmienkach vulkanizácie, tj. vulkanizačnej dobe a teplote, povahe urýchľovača, váhovitom pomere urýchľovača k síre a na prítomnosti aktivátorov, ako je napr. kyslíčnik zinočnatý a kyselina stearová. Na štruktúre vulkanizátu potom závisia jeho fyzikálne vlastnosti a správanie pri stárnutí.

Väčšina dnes bežných vulkanizačných systémov obsahuje buď elementárnu síru v kombinácii s urýchľovačom, ktorým býva buď nejaký tiol, bisulfid alebo sulfonamid, alebo sa používa donoru síry, ako napr. tetrametyltiuramdisulfidu či ditiobis – morfolínu. V oboch prípadoch sa ako aktivátorov používa kyslíčnik zinečnatý a vyššie karbónové kyseliny. Za rovnakým účelom sa pridávajú často tiež zásadité zlúčeniny dusíka.

Sieťovaním kaučuku sírovými vulkanizačnými systémami vznikajú tri základné typy priečných väzieb, a to mono-, di- a polysulfidické. Okrem toho sú hlavné reťazce modifikované mono- a disulfidickými skupinami, ďalej konjugovanými dienovými a

trienovými skupinami a zavesenými sírovými reťazcami, zakončenými zbytkami urýchľovača.

Celková koncentrácia priečných väzieb je dôležitá pre väčšinu fyzikálnych vlastností ako napr. pevnosť v ťahu, relaxáciu napätí, kríp alebo trvalú deformáciu. Dôležité sú i vzájomné pomery rôznych typov priečných väzieb (mono-, di- a poly- sulfidických). Modifikácie hlavného reťazca majú vplyv najmä na oxidovateľnosť vulkanizátu a jeho schopnosť kryštalizovať pri nízkych teplotách.

V kaučukovom uhľovodíku NR sú reaktívnymi miestami vodíky viazané na uhlíkoch nachádzajúcich sa v susedstve dvojitej väzby, teda nie viazané na samotné dvojité väzby.

Zvýšením koncentrácie urýchľovača pri súčasnom znížení koncentrácie síry klesá vo vulkanizáte obsah polysulfidických väzieb a vzrastá tak obsah mono- a disulfidických väzieb. Vzhľadom k tomu, že energie jednotlivých druhov väzieb sú rôzne, sú vulkanizáty s nižším pomerným zastúpením polysulfidických väzieb všeobecne stálejšie oproti vplyvom zvýšených teplôt, tak proti vplyvom korózneho prostredia.

Nieje teda ľahostajné, akými priečnymi väzbami sú reťazce polymeru spojené do súvislej siete. Nejde však len o ich pevnosť, ale tiež o funkčnosť a vzájomné rozmiestnenie. Zvyšovaním koncentrácie vulkanizačného činidla, účinnosti vulkanizačného systému a doby vulkanizácie vzrastá sieťová hustota. S tým je spojená zmena mnohých vlastností pryže. Charakteristickou vlastnosťou je pevnosť v ťahu. Pri zvyšovaní obsahu viazanej síry pevnosť pryže najskôr narastá. V oblasti mäkkej pryže, tj. pri obsahu viazanej síry 0,5 – 4 dsk, nastáva prvé maximum pevnosti. Ďalšie zvyšovanie obsahu síry vedie k poklesu pevnosti, minimum je asi pri 8 – 15 dsk viazanej síry. Pri obsahu viazanej síry 15 – 25 dsk nastáva opäť strmý nárast pevnosti. Dostávame sa do oblasti tvrdej pryže s vulkanizačným koeficientom 25 – 47. Pri obsahu viazanej síry 47 dsk, tj. 32 %, dosahuje sa druhého maxima pevnosti na úrovni asi 70 MPa. [2]

## 1.4 Prírodný kaučuk

Je obsiahnutý v mliečnej šťave latexu rôznych rastlín rastúcich v rovníkovom oblasi. Najväčší význam má strom kaučukovník (*Hevea Brasiliensis*), ktorý sa vyskytuje v pásme širokom asi 2000 km pozdĺž rovníku. Kaučuky sa prevažne vyskytujú v juhovýchodnej Ázii v Afrike a Južnej Amerike. [3]



Obrázok 4 Získavanie latexu

Latex sa získava zo stromu čapovaním, tj. odrezaním tenkého pásu kôry šikmým rezom, čím sa narušia steny buniek a latex sa nechá pomaly 2-3 hodiny stekať do nádoby upevnenej pod rezom. Latex sa spracováva buď zahustením, kedy sa zbaví vody a vznikne latex, látka vhodná k výrobe pryžových výrobkov namáčaním, alebo zrážaním pomocou kyseliny mravčej či octovej, vzniknú tenké listy na dne vaničky. Z jedného stromu môžeme získať 5 – 25 kg kaučuku. [3]

## 1.5 Syntetické kaučuky

Prírodný kaučukový uhlovodík je známi už dlhšie než 140 rokov, ale jeho chemická štruktúra bola vysvetlená až v druhej polovici 19. storočia. Vtedy sa podarilo pripraviť v laboratórii synteticky jeho základný článok – izoprén.

*Izoprenové kaučuky* - sú prvými synteticky pripravenými produktmi, ktoré sa vlastnosťami blížia prírodnému kaučuku.

*Chloroprenový kaučuk* - má medzi kaučukmi výnimočné postavenie, pretože spája dôležité vlastnosti: veľkú elasticitu s odolnosťou proti olejom, malú horľavosť a veľmi dobrú odolnosť proti starnutiu.

*Butadiénstyrenové kaučuky* - sú najdôležitejším druhom syntetických kaučukov a toto postavenie si udržia pravdepodobne i naďalej. Hlavným spotrebiteľom je pneumatikársky priemysel.

*Butadiennitrilové kaučuky* - sú kopolymery butadienu s akrylonitrilom. Sú to kaučuky pre špeciálne použitie.

*Etylénpropylénové kaučuky* - tieto kopolymery etylénu s propylénom majú náhodné rozdelenie jednotlivých merov v reťazcoch, čím sa ruší ich symetria a tým schopnosť kryštalizácie. Sú to kaučukovité priehľadné hmoty.

*Butylkaučuk* - polymeráciou izobuténu na polymer o vysokej molekulovej hmotnosti vzniká kaučukovitá hmota. Neobsahuje dvojné väzby a preto sa pre získanie možnosti vulkanizácie sírou k izobuténu pri polymerácii pridáva malé množstvo ( 1 – 4 % ) izoprénu.

*Akrylátové kaučuky* - do skupiny týchto kaučukov patria polymery esterov kyseliny akrylovej a ich kopolymery s inými monomermi.

*Polyesterové kaučuky* - sú polymery alebo kopolymery derivátov etylénoxidu. Používajú sa v automobilovom a leteckom priemysle k výrobe hadíc, tesnení, membrán, klinových remeňov, pružných uložení apod.

*Fluorouhlíkové kaučuky* - sú špeciálnim druhom kaučuku s niektorými mimoriadnymi vlastnosťami. Sú úplne odolné proti ozónu, povetrnosti a mikroorganizmom, dobre odolávajú tiež oderu a trhaniu, v špeciálnych zmesiach odolávajú i ostrej pare.

*Polysulfidové kaučuky* - sú známe ako prvé synteticky vyrábané kaučuky a pre svoje špeciálne vlastnosti si svoje postavenie udržujú dodnes i keď sa ich výroba nerozširuje. Polysulfidové kaučuky sú úplne nasýtené, a preto výborne odolávajú ozónu a povetrnosti.

*Silikonové kaučuky* - sú rovnako špeciálnim druhom kaučukov, dnes už dosť rozšírený.

Východnou látkou pre ich výrobu sú dialkylchloridy, ktoré se získajú priamou syntézou.

[3]



## 2 PRÍPRAVA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ

Surový kaučuk, ktorý prichádza do gumárenských závodov, je nutné pred ďalším spracovaním plastikovať do určitého stupňa, aby bol schopný prijímať prísady a bol dobre spracovateľný danou technológiou. [3]

### 2.1 Plastikácia kaučuku

V priebehu plastikácie sa znižuje molekulová hmotnosť kaučuku, čo umožňuje a zlepšuje priebeh ďalších technologických operácií. Plastikáciu je treba viesť len do takého stupňa, do ktorého je nevyhnutne treba pre úspešné spracovanie. Nadmernou plastikáciou sa zhoršujú mechanické vlastnosti vulkanizátu a zhoršuje sa i odolnosť proti únave a stárnutiu.

Plastikácia na dvojvalci, v hnetiči alebo v šnekovom plastikačnom stroji vyžaduje značné množstvo energie, nákladné strojné zariadenie, veľký počet pracovných síl. Riešením ako odstrániť tieto nároky je spracovávať kaučuky regulované pri polymerácii tak, aby boli priamo spracovateľné či maximálne skrátiť dobu plastikácie. To je umožnené zavedením plastikačných činidiel. [3]

### 2.2 Zloženie zmesi

Samotná kaučuková zmes sa skladá z mnoho prímiesí. Surový kaučuk tvorí dokonca menej ako 50% celej zmesi.

- zmes kaučukov,
- vulkanizačné činidlo,
- urýchľovač vulkanizácie,
- aktivátor urýchľovača,
- plnivá - aktívne (sadze),
  - pasívne (krieda, kaolín),
- pigmenty (ak niesú plnivom sadze),

- zmäkčovadlá (pre zmäkčenie zmesí, zlepšenie pružnosti, priľnavosti, napr. minerálne oleje a stearany),
  - antioxidanty (spomaľujú stárnutie pryže spôsobené vzdušným kyslíkom  $O_3$ , slnečným žiarením).
- [3]



Obrázok 5 Gumárske prísady

- 1 – plnivá, 2 – sadze, 3 – silika, 4 – oleje, 5 – kaučuk, 6 – mastné kyseliny, 7 – pigmenty, 8 – urýchľovače, 9 – antioxidanty

### 2.2.1 Plastikačné činidlá

Je známa celá rada zlúčenín schopných urýchľovať plastikáciu kaučuku. Sú to látky najrôznejšieho zloženia : aromatické merkaptany alebo ich soli, disulfidy, fenoly, aromatické amíny, organické kyseliny a ich soli, peroxidy, deriváty močoviny, guanidiny a kovy prechodné valencie. Výber je zťažený požiadavkami. Od dokonalého plastikačného činidla sa požadujú tieto vlastnosti:

- zdravotná nezávadnosť
- nízka cena
- účinnosť pri nízkych teplotách
- musí sa dobre vmiešavať do kaučuku
- nemá ovplyvňovať priebeh vulkanizácie
- nesmie zhoršovať vlastnosti vulkanizátov a priebeh ich stárnutí
- nesmie zafarbovať vulkanizát
- musí svojou konzistenciou vyhovovať navažovaniu

[3]

### 2.2.2 Vulkanizačné činidlá

Podstatou vulkanizácie je vytvorenie chemických väzieb medzi molekulami kaučuku. K tomu, aby sa zabránilo neobmedzenému toku molekúl vzhľadom k susedným molekulám, stačí pomerne malé množstvo priečných väzieb rozmiestnených pozdĺž reťazca. Vlastnosti kaučuku sa pritom podstatne menia. Z prevažne plastického stavu prechádzajú v elastickú pryž. Zlepšujú sa vlastnosti ako pevnosť, odrazová pružnosť, odolnosť proti nízkym a vysokým teplotám, rastie tvrdosť a modul, znižuje sa ťažnosť a trvalá deformácia.

Vulkanizačné činidlá sú látky, ktoré majú schopnosť vytvárať chemickú reakciu priečnej väzby medzi molekulami kaučuku. Najbežnejšie vulkanizačné činidlá sú: síra, donory síry, selén, telúr, peroxidy, kovové kysličníky, reaktívne pryskyrice, diaminy a diizokyanáty.

[3]

### 2.2.3 Urýchľovače vulkanizácie

Význam urýchľovačov vulkanizácie spočíva nielen v zrýchlení procesu, ale aj vo zvýšení efektívnosti viazania síry a tým v zlepšení užitočných vlastností pryže (teplotovzdornosť, odolnosť proti stárnutiu). Spolu so sírou a aktivátormi vulkanizácie tvoria urýchľovače vulkanizačný systém.

Vyrábané urýchľovače môžeme rozdeliť podľa rôznych kritérií. Podľa rýchlosti vulkanizácie ich delíme na:

- pomalé (aminy, guanidiny)
- rýchle (tiazoly, sulfonamidy)
- veľmi rýchle (tiuramy a kombinácia urýchľovačov)
- ultraurýchľovače (ditiokarbamáty, xantogenáty)

Všeobecne platí, že čím aktívnejší je urýchľovač, tým menšie množstvo sa ho pridáva do zmesi, tým menšie množstvo síry vyžaduje a tým nižšie teploty je treba k dosiahnutiu optimálnych vlastností pryže.

Výber urýchľovača závisí na mnohých okolnostiach. Predovšetkým na použitom elastomere, na zložení zmesi, na uvažovanej technológii vulkanizácie a na požadovaných vlastnostiach pryže. Dobrý urýchľovač musí mať nasledujúce vlastnosti:

- bezpečný pri spracovaní danou technológiou
- rýchly pri vulkanizácii
- musí priaznivo upravovať vlastnosti kaučuku
- nesmie byť jedovatý alebo dráždivý
- nemá zafarbovať vulkanizát
- má byť ekonomický

### 2.2.4 Plnivá

Použitie plnív v kaučukových zmesiach má všeobecne dva dôvody. Prvoradým dôvodom je úprava spracovateľnosti zmesí a fyzikálne mechanických vlastností vulkanizátov. Druhý dôvod je ekonomický, použitím lacných plnív sa dosahuje podstatného zníženia ceny výrobku. Pri voľbe plniva vychádzame z uvedených záměrov a z ďalších technických požiadavkov. Pre bežnú prax vyhovuje rozdelenie do 3 skupín:

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

[3]

### 2.2.5 Zmäkčovadlá

Pri vyššom dávkovaní plnív do zmesi dochádza už v nevulkanizovanom stave k takému ztuženiu, že by spracovateľnosť bola veľmi zlá. Z toho dôvodu, je treba do zmesi pridávať zmäkčovadlá. Z hľadiska tokových vlastností nemá rozhodujúci vplyv druh použitého zmäkčovadla, dôležité je predovšetkým jeho množstvo. Ďalšie dôvody pre použitie zmäkčovadiel sú: zlepšenie disperzie plnív a prísad, zníženie teploty a spotreby energie pri miešaní, úprava fyzikálnych a mechanických vlastností pryže. Zhruba môžeme rozdeliť zmäkčovadlá do nasledujúcich skupín:

- produkty ropného pôvodu ( minerálne oleje, parafín, asfalty, vosky )
- produkty spracovania uhoľných dehtov ( oleje, pryskyrice, smoly )
- produkty spracovania dreva ( smrekový deht, kalafuna )
- syntetické zmäkčovadlá ( estery, kvapalné polymery, pryskyrice )
- látky rastlinného a živočíšneho pôvodu ( oleje, tuky, vosky )

Základné požiadavky kladené na zmäkčovadlá v gumárenskom priemysle sú:

- dobrá miešateľnosť s kaučukom
- nízka viskozita a malá závislosť viskozity na teplote

- chemická a tepelná stabilita pri spracovaní zmesí, nízka prchavosť, nejedovatosť
- nízka cena [3]

### 2.2.6 Pigmenty

Používajú sa k vyfarbeniu zmesí do rôznych odtieňov. Pôvodne boli iba minerálne pigmenty, ktoré umožňovali len obmedzený rozsah farebných odtieňov. Zavedením organických pigmentov necitlivých k vulkanizačnej teplote a síre sa možnosti vyfarbovania pryže rozšírili a zvýšila sa účinnosť vyfarbovania. Z toho dôvodu moderné organické pigmenty, aj keď sú drahšie, postupne vytlačujú anorganické pigmenty. Na pigmenty sú kladené značné požiadavky:

- musí sa v kaučuku dobre dispergovať
- nesmú sa rozpúšťať
- musia znášať vulkanizačnú teplotu v prítomnosti síry a bežných prísad kaučukových zmesí
- nesmú meniť odtieň účinkom priamej pary
- nesmú ovplyvňovať priebeh vulkanizácie
- nesmú nepriaznivo ovplyvňovať fyzikálne vlastnosti a stárnutie pryže
- musia byť stálež na svetle a odolávať poveternostným vplyvom [3]

### 2.2.7 Ochranné látky proti stárnutiu a únave ( antidegradanty )

Stárnutie elastomerov a vulkanizátov má mnoho príčin. Úlohou stabilizácie je spomaliť alebo dočasne úplne zastaviť priebeh stárnutia. K tomu účelu sa používajú tri spôsoby:

- volí sa taký polymer, ktorý v predpokladaných podmienkach najmenej stárne
- polymer sa modifikuje, prípadne sa povrchovo chráni
- pridávajú sa stabilizačné prísady – antidegradanty

Antidegradenty môžeme rozdeliť do týchto hlavných skupín:

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

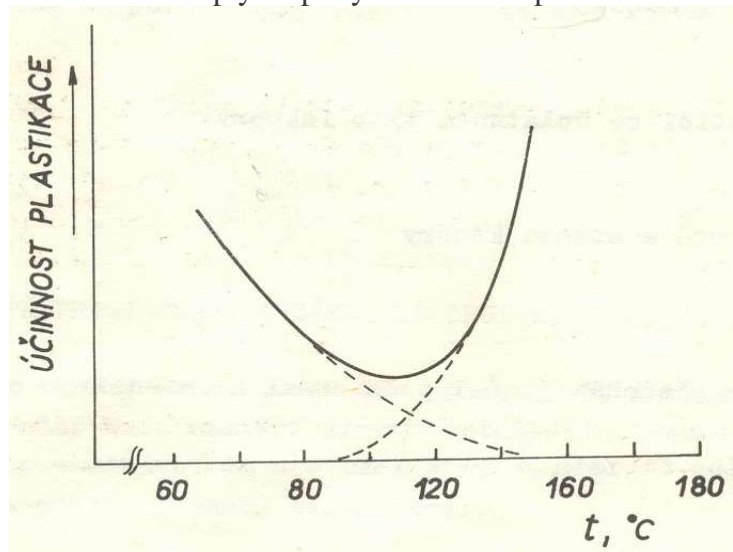
[3]

### 2.3 Mechanizmus plastikácie

Mechanizmus závisí na tom, v ktorej oblasti teplôt sa kaučuk plastikuje. Pri teplotách do 115°C prevažuje mechanické trhanie molekúl kaučuku vplyvom intenzívnych šmykových síl na dva voľné radikály, ktoré sú veľmi reaktívne a môžu sa opäť rekombinovať za vzniku stabilnej molekuly. Toto platí v inertnej atmosfére, kedy nedochádza k plastikácii. V atmosfére obsahujúcej kyslík dochádza k rýchlejšej reakcii voľných radikálov s molekulami kyslíku. Kyslík bráni rekombinácii voľných radikálov ktoré vzniknú pretrhnutím molekúl kaučuku.

Účinnosť mechanického trhania molekúl kaučuku s teplotou klesá a tým sa plastikácia spomaľuje. Konce molekúl sa ľahšie vyvliekajú z okolného zovretia, takže pri určitej teplote šmykových rýchlostiach a prístupu kyslíku odpovedá kritická molekulová hmotnosť kaučuku, ktorá sa už ďalej neznižuje ani predĺžením doby plastikácie. Zvláštny priebeh teplotnej závislosti plastikácie s minimom účinnosti v oblasti teplôt 115 - 120°C je daný tým, že v ľavej vetve krivky sa znižuje účinnosť mechanického trhania molekúl a v pravej vetve krivky sa zväčšuje účinok tepelne oxidačnej degradácie polyizoprénových reťazcov.

[2]

**Graf 1 - Vplyv teploty na účinnosť plastikácie**

[3]



### 3 SPÔSOBY MIEŠANIA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ

Príprava zmesí a zvlášť ich miešanie je jedným z najdôležitejších procesov v gumárenskom priemysle, pretože následné spracovanie zmesí, vlastnosti výrobkov a ekonomika výroby do značnej miery závisia na kvalite zmesí. Gumárenská zmes obsahuje okrem samotného kaučuku v priemere až 10 zložiek (prímesí). Každá z nich má špecifickú úlohu a preto je účelom miešania zabezpečiť čo najlepšiu homogenizáciu zmesi ( najrovnomernejšie rozptýlenie týchto zložiek v celej kaučukovej zmesi ).

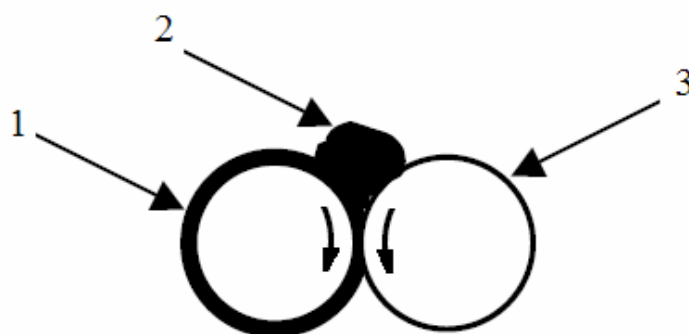
Zmesi sa miešajú buď na 2-válcoch, v hnetacích strojoch, alebo v kontinuálnych zariadeniach. V dnešnej dobe sa zmesi pripravujú hlavne v hnetičoch. [3]

#### 3.1 Miešanie kaučukovej zmesi na dvojválci

Dvojválnové válcovacie stroje, tzv. dvojválce, majú veľmi široké použitie. V gumárenskom priemysle sa používajú k miešaniu a predohrievaniu zmesí, k válcovaniu pásov, fólií a k mletiu pryžového odpadu. V plastikárskom priemysle slúžia dvojválce k príprave zmesí PVC, k želatinácii alebo plastikácii, válcovaniu fólií a pod. Podľa priemeru a pracovnej dĺžky sa delia na malé (  $D < 315$  mm ). Pracovná dĺžka býva v rozmedzí 1,4 až 3 D. Válce majú rozdielne obvodové rýchlosti. Ich pomer je označovaný ako sklz a pohybuje sa medzi 1 : 1 až 1 : 2 Väčší sklz spôsobuje zvýšené šmykové namáhanie miešaného materiálu, čo ovplyvňuje dobu miešania, dispergačný účinok i spotrebu energie. Miešacie dvojválce majú väčšinou sklz 1 : 1,05 až 1 : 1,3, mlecie až 1 : 1,2. V závislosti na druhu miešaného materiálu musia dvojválce umožňovať jednoduchú zmenu sklzu. V najjednoduchšom prípade sa toho docieli výmenou ozubených kolies, u modernejších strojov zvláštnym pohonom každého válca s možnosťou regulácie otáčok. Maximálna obvodová rýchlosť válcov sa volí s ohľadom na bezpečnosť práce. U pomalšieho válca ( väčšinou predný ) býva 0,4 až 0,47 m.s<sup>-1</sup>, u rýchlejšieho 0,47 až 0,58 m.s<sup>-1</sup>. [1]



Obrázok 6 Dvojvalec ( XK 360 )



Obrázok 7 Princíp miešania na dvojvalci

1-opásanie, 2-návalok, 3-valec

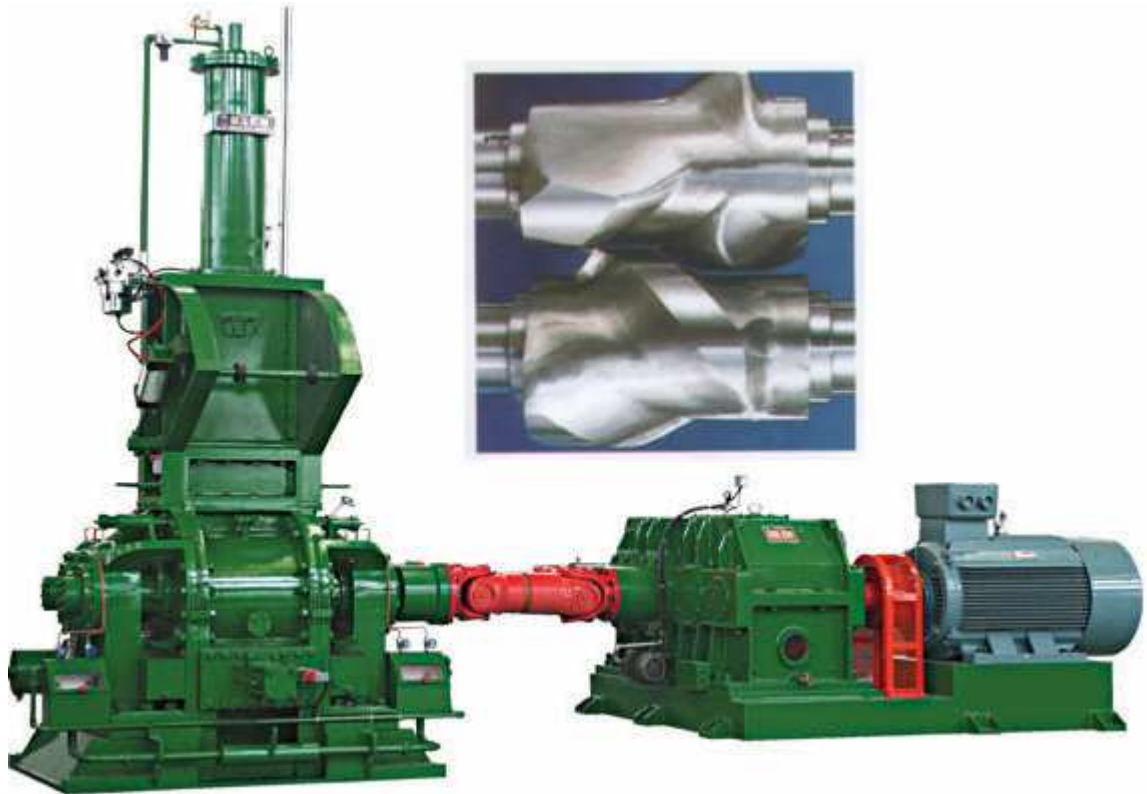
### 3.2 Miešanie kaučukovej zmesi v hnetacom stroji

Najobťažnejšie a zároveň technologicky najvýznamnejšou operáciou pri miešaní kaučuku s plnivami v hnetacom stroji je vmiešanie sadzí do kaučuku.

Ukázalo sa, že vlastnosti pryže závisia do značnej miery na podmienkach miešania kaučuku so sadzami. Miešanie, najmä za vysokých teplôt, má tiež vplyv na tvorbu viazaného kaučuku. Ďalej sa ukázalo, že vysoké tlaky pri miešaní v hnetacom stroji môžu nielen zlepšiť disperziu sadzí v kaučuku, ale tiež skrátiť dobu miešania až na 2 minúty.

Jedným zo základných činiteľov je typ hnetacieho stroja. Bežne používané stroje majú 20, 30 alebo 40 otáčiek pomalejšieho valca za minútu.

Z technologického hľadiska je dôležitý miešací postup, doba miešania a teplota, pretože ich môže technológ meniť podľa spracovávaného materiálu. [4]



Obrázok 8 Hnetací stroj ( Banbury S 120L ), hnetadlá

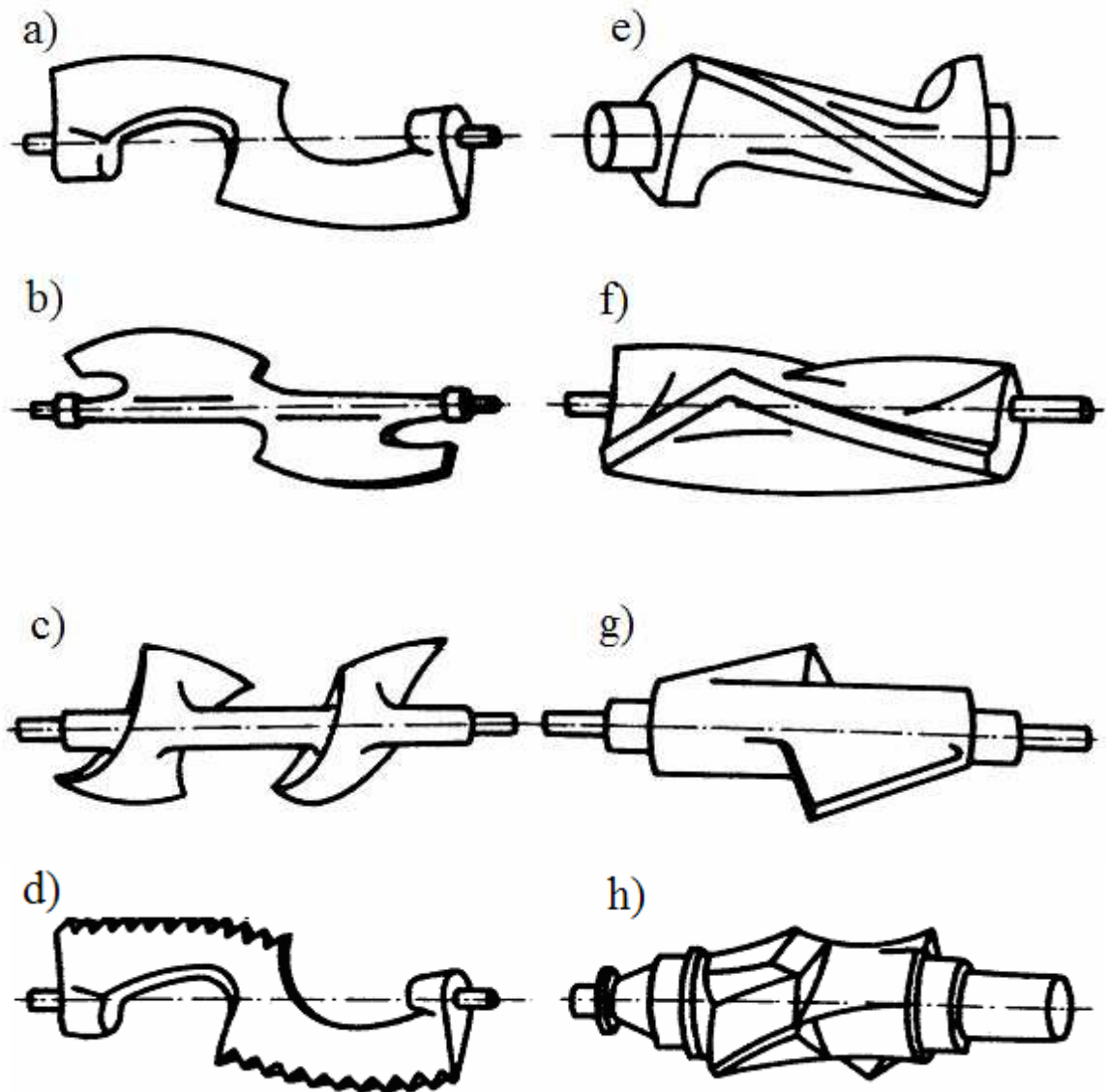
### 3.2.1 Postup miešania

V hnetacom stroji sa zmes mieša *jednostupňovo* alebo *dvojstupňovo*. Pri jednostupňovom miešaní sa do stroja vloží kaučuk a ostatné prísady okrem síry. Síra sa primiešava na dvojvalci pod hnetacím strojom. Nevýhodou tohoto postupu je, že sa síra dáva do veľmi teplej zmesi, takže sa zmes musí pred pridávaním síry určitú dobu ( 3 minúty ) na dvojvalci chladiť. Zamiešanie síry trvá najmenej ďalšie 3 minúty. Niekedy sa pre lepšiu dispergáciu síry používajú dva dvojvalce pod jedným hnetacím strojom. Potom sa musí zmes rozvažovať na dva diely. Celý postup je celkom prijateľný u hnetacích strojov s počtom otáčiek asi 20 za min., doba miešania je okolo 8 minút. U hnetacích strojov s vyšším počtom otáčiek je nutné miešať dvojstupňovo. V jednom hnetacom stroji sa zamieša *predzmes* ( kaučuková zmes, v ktorej sú zamiešané všetky prísady okrem síry ) a v druhom sa do chladnej zmesi zamieša síra alebo síra s ostatnými vulkanizačnými

prísadami. Tento spôsob má priaznivý vplyv na dispergáciu vulkanizačných prísad, pretože sa primiešavajú do chladnej zmesi. [4]

### 3.2.2 Konštrukčné riešenie hnetadiel

Hnetadlá bývajú vyrobené v tvare skrutkových plôch, ktorými je spracovávaný materiál roztieraný po vnútornom povrchu komory. Na každom hnetadle býva jedna plocha pravochodá a druhá ľavochodá. Tým dochádza k premiestňovaniu materiálu i pozdĺž osy hnetadiel. Na prácu hnetadiel má vplyv ako vôľa medzi hnetadlami navzájom, tak vôľa medzi stenou hnetacej komory a hnetadlom. Hnetadlá sú buď oceľové, kované alebo liate. Za účelom zvýšenia odolnosti proti opotrebeniu sú mnohokrát najviac namáhané hrany oceľových hnetadiel navarované tvrdým kovom – stelitom. Hnetadlá sú uložené pomocou klzných alebo valivých ložisiek, ktoré sú od hnetacej komory oddelené upchávkou. [5]



Obrázok 9 Typy miešadiel a hnetadiel

a,b,c,d – miešadlá

e,f,g,h – obdobne hnetadlá

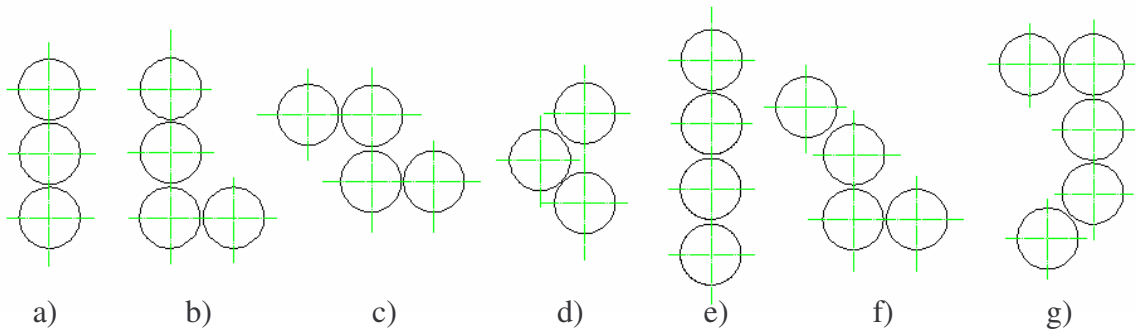
a,e – jednoduché (štandardné, univerzálne), b,f – dvojlopatkové, c,g – dvojlopatkové pre ťažko spracovateľné hmoty (u väčších strojov), d,h – jednoduché pre spracovanie vláknitých hmôt

[5]

### 3.3 Viacválne

Viacválnové stroje sú konštrukčne zložitejšie než dvojválne. Sú určené k vĺcovaniu fólií, pásov, profilov, k nánosovaniu alebo vtieraniam na podkladový materiál, k zdvojovaniu alebo k dezénovaniu.

Najbežnejšie dvojválne sú trojválne a štvorválne, ktoré môžu byť rôzne usporiadané (obr. ). Viacválne s väčším počtom válcov sa väčšinou stavajú pre špeciálne účely. Podľa rozmeru a požadovaných výkonov rozdeľujeme viacválne na malé a veľké. [1]



Obrázok 9 Príklady usporiadania viacválcov

a,c,d,e – viacválne pre válcovanie fólií

b,f – viacválne pre nánosovanie a vtieranie na podkladový materiál

g – dezénovacie viacválne

### 3.3.1 Malé viacválne

Malé viacválne majú priemer do 320 mm a dĺžku 400 až 900 mm. Vzhľadom k malým dĺžkam niesu deformácie válcov výrazne a preto sa u nich nerieši kompenzácia prehnutia. Válce sú vyrobené z tvrdennej liatiny, poprípade sú oceľové, kalené a leštené. Ukladajú sa do klzných alebo valivých ložisiek. Pohon viacválcov musí byť riešený s ohľadom na požiadavok plynulej zmeny rýchlosti válcovania od minimálnej rýchlosti pri zabiehaní až po maximálnu rýchlosť pri plynulej výrobe. Zmena sklzu medzi válcami je riešená výmenou ozubených koliesok. [1]

### 3.3.2 Veľké viacválne

Do tejto skupiny strojov sa zahrňujú prevážne trojválne a štvorválne s priermi válcov nad 450 mm a dĺžkami nad 1200 mm. Celkové riešenie stroja ovplyvňuje usporiadanie

válcov. Usporiadanie válcov má vplyv aj na prístupnosť priestoru medzi válcami ( napr. z dôvodu zásobovania ) a na tzv. plávanie válcov. Plávanie válcov sa rozumie ich presúvanie zmenou vôle medzi čapmi s ložiskovými púzdrami vplyvom síl vyvolaných v zkuse. Tím sa mení bez zásahu obsluhy hrúbka válcovaného materiálu. Tento nežiadúci jav môžeme znížiť doplnkovým zaťažením válcov alebo použitím valivých ložisiek, ktoré majú výrazne menšiu radiálnu vôľu než klzné ložiská.

Válce viacválcových strojov musia byť tuhé a odolné voči oderu. Vyrábajú sa predovšetkým z tvrdenej liatiny. Ich povrch musí byť dobre opracovaný a leštený. K temperácii válcov slúžia najčastejšie kanáliky vŕtané pod povrchom zapojené do sekcií, aby sa docielilo čo najrovnomernejšie rozloženie teploty ako na obvode, tak po celej pracovnej šírke. Vykurovacie médium ( para alebo horúca voda ) sa do válcov privádza vykurovacími hlavami. Pri zahrievaní alebo chladení je nutné teplotu válcov znižovať alebo zvyšovať pozvoľne, pretože náhle a veľké zmeny teploty môžu byť príčinou nežiaducich deformácií. Čidlá regulátorov teploty bývajú najčastejšie umiestnené na výstupe vykurovacieho média. Je nutné počítať s určitou diferenciou medzi teplotou válca a teplotou temperačného média na výstupe. Presnejšie informácie o povrchovej teplote válcov môžu poskytnúť bezdotykové čidlá.

[1]

## 4 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY ZDIEĽANIA TEPLA A OHREVOV

### 4.1 Zdieľanie tepla vedením(kondukcia)

Zdieľanie tepla vedením je sprostredkované vzájomnými zrážkami stavebných častíc hmôt – atómov a molekúl. Tým si vzájomne predávajú kinetickú energiu, čo sa navonok prejavuje vedením tepla a pri neustálenosti procese i zmenou teploty. Zdieľanie tepla vedením sa uplatňuje prednostne v látkach pevného skupenstva.

Fourierov zákon vedenia tepla:  $d\dot{Q} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \cdot dA$

A – teplozmenná plocha [  $m^2$  ]

$\lambda$  - koeficient tepelnej vodivosti [  $Wm^{-1}K^{-1}$  ]

dt – jednotková zmena teploty [  $^{\circ}C$  ]

dx – jednotkový rozmer ( hrúbka ) [ m ]

[6]

### 4.2 Zdieľanie tepla prúdením(konvekcia)

V tekutých látkach (kvapaliny a plyny) je prenos energie medzi časticami doprevádzaný premiestňovaním hmotnosti látky v priestore. Prenos tepla, doprevádzaný prúdením hmotnosti sa nazýva prestup tepla prúdením – **tepelná konvekcia**.

Základom zdieľania tepla prúdením je pohyb prostredí – prúdenie tekutín a ich kontakt s okolitými tuhými látkami (resp. tuhými stenami) s odlišnou teplotou. Tekutiny tuhým látkam tepelnú energiu predávajú, ak je ich teplota vyššia. Tekutiny tepelnú energiu z povrchu tuhej látky odvádzajú, ak je ich teplota nižšia, než teplota tuhých látok.

Newtonov ochladzovací zákon:  $dQ = \alpha \cdot (t_0 \cdots t_p) \cdot dA$

A – teplozmenná plocha [  $m^2$  ]

$t_0$  - stredná teplota tekutiny [  $^{\circ}C$  ]

$t_p$  - teplota povrchu steny u tekutiny [  $^{\circ}C$  ]

$\alpha$  - súčiniteľ prestupu tepla [  $Wm^{-2}K^{-1}$  ]

[6]



## 4.3 Ohrev infračerveným žiarením

### 4.3.1 IR žiarenie

Niekedy označované ako tepelné žiarenie (pomocou IR žiarenia sa šíri teplo žiarením, a to i vákuom, najlepším príkladom je to, že povrch Zeme je zahrievaný slnečným žiarením).

Zdrojom je každé teleso, ktoré má teplotu vyššiu než je absolútna nula. Pôvodom IR žiarenia sú zmeny elektromagnetického poľa vyvolané pohybom molekúl. Pohyb molekúl je spôsobený vnútornou energiou – závisí na teplote. Rovnako tak telesá zahriate na vyššiu teplotu sú pôvodcom silnejšieho IR žiarenia.

V súčasnej dobe sa infračervené žiarenie delí z technologického hľadiska podľa vlnového rozsahu na pásma A, B, C. Pásmo A zahŕňa rozpätie vlnových dĺžok 0,76 – 1,4 m, stredné pásmo B 1,4 – 3 m a dlhovlnné pásmo C úsek nad 3 m (to potom prechádza bez ostrej hranice, približne v pásme okolo 100 m, do oblasti rádiových vln). [6]

## 4.4 Dielektrický ohrev (mikrovlnný)

Pri dielektrickom ohreve dochádza k premene energie striedavého elektrického poľa o veľmi vysokej frekvencii na tepelnú energiu. Deje sa tak pôsobením poľa na polárne molekuly materiálu.

Dipóly molekúl sa nepretržite natáčajú podľa okamžitého smeru elektromagnetického poľa a takto menia svoju orientáciu až niekoľko miliárdkrát za sekundu. Pritom sa využíva dvoch procesov: medzimolekulárneho trenia, ku ktorému dochádza pri prekonávaní medzimolekulárnych príťažlivých síl a hysterzie, ktorá vzniká medzi pôsobiacim poľom a indukovanou elektrickou odozvou vplyvom zotrvačnosti, ktorá závisí na elektrickom náboji, hmote a tvare molekúl. Vďaka týmto javom je ohrev produktu veľmi rýchly a prebieha v celom objeme.

Princíp dielektrického ohrevu bol objavený v súvislosti s vývojom rádiolokátorov už tesne po druhej svetovej vojne, ale komerčné uplatnenie našiel až po viac než dvadsiatich rokoch. Mikrovlnami nemožno ohrievať plyny, ale veľmi rozšírené je mikrovlnné sušenie – teda využitie mikrovlnnej energie k odparovaniu, ktoré má svoje špecifické výhody.

Mikrovlnnú energiu je možné využiť tiež pre generovanie ionizovanej látky – plazmatu a menej často i k taveniu. [6]

#### 4.4.1 Chovanie látok v elektromagnetickom poli

Ide o látky obsahujúce polárne molekuly, schopné absorbovať mikrovlny. Pritom ich stratový činiteľ ovplyvňuje hĺbku vniku. Mikrovlny prechádzajú nekovovými materiálmi podobne ako svetlo rôzne tmavým farebným sklom. Kovy zostávajú v mikrovlnnom poli studené (mikrovlny sa odrážajú).

Transparentnosť (priesvitnosť): vzduch, niektoré druhy skla, polyetylén, teflón, polystyrén, ai. Tieto vlastnosti sú často silne teplotne závislé. Tak sa môže stať, že materiál zdánlivo transparentný pri izbovej teplote môže dobre absorbovať mikrovlny pri teplotách nad 1000°C. To je typické pre oxid hliníku, oxid kremíku, sklenenú keramiku a niektoré bornitridy. Navyše sú tieto vlastnosti závislé na kmitočte – napr. Suchá porcelánová hmota sa môže chovať na frekvencii 2,45 GHz ako takmer ideálne transparentná, zatiaľ čo na kmitočte okolo 30 GHz sa behom minúty môže ohriať na pečúcu teplotu. Hĺbka vniku závisí na dielektrických parametroch spracovaného materiálu a je priamo úmerná vlnovej dĺžke. Mikrovlny sú pri vstupe do materiálu týmto absorbované, takže ohrevný účinok smerom dovnútra materiálu postupne klesá. Mierou strát energie poľa pri postupe dovnútra materiálu je hĺbka vniku, definovaná ako kolmá vzdialenosť od povrchu materiálu, v ktorej dôjde k útlmu energie poľa približne na jednu tretinu. [6]

#### 4.5 Dielektrický ohrev gummy

Zahrňuje ako ohrev na rádiových frekvenciách, tak mikrovlnný ohrev. Elastomery sa vyznačujú nízkou tepelnou vodivosťou. Pri konvenčnom ohreve sa od vonkajšieho zdroja tepla najskôr ohreje povrch a vzniká tepelný gradient, ktorý zťažuje rýchle prehriatie celého objemu materiálu a môže negatívne ovplyvniť jeho vlastnosti. Oproti tomu dielektrický ohrev pôsobí súčasne do celej hĺbky materiálu. Rôzne druhy prírodnej i syntetickej gummy a používané plnivá majú odlišné dielektrické vlastnosti a tým rôzne reagujú na vysokofrekvenčné elektromagnetické pole. [6]

## 4.6 História a trendy predohrevu gummy

Pri výrobe pneumatík k nákladným automobilom sa u britskej firmy Avon Tyres asi 10 minút dielektricky predohrievajú formy na 90 °C v komorách s výkonom 1,5-3 kW. V druhom stupni je predohriata guma umiestnená vo vyhrievanom lise, kde súbežne s vulkanizáciou dôjde k tvarovaniu. Pre dávky 30 kg sa skracaie spracovanie z 2 hodín na 70 minút, pri úspore energie 40 %.

Americká firma Raytheon používa predohrev pri výrobe veľkých pneumatík. Úspora je 40-60% doby ohrevu a produktivita lisov desaťnásobná. Zlepšuje sa prilnutie ku kovu, znižuje odpad a klesajú zásoby.

Dunlop používa v prevádzkach vo Walese kontinuálne mikrovlnné žiarenie 13,5 kW pre predohrev gummy na 90 °C pred vulkanizáciou pod tlakom medzi parou vykurovaným valcom s doskou ohrievanou infračerveným žiarením.

Aplikátor britskej firmy pre tavenie gumových balíkov pred miešaním je schopný pri 45 kW a kapacite 1,5 t/hod zvýšiť teplotu v jadre z -18 °C na +32 °C. [6]

### 4.6.1 Predohrev pred vulkanizáciou lisovanej gummy

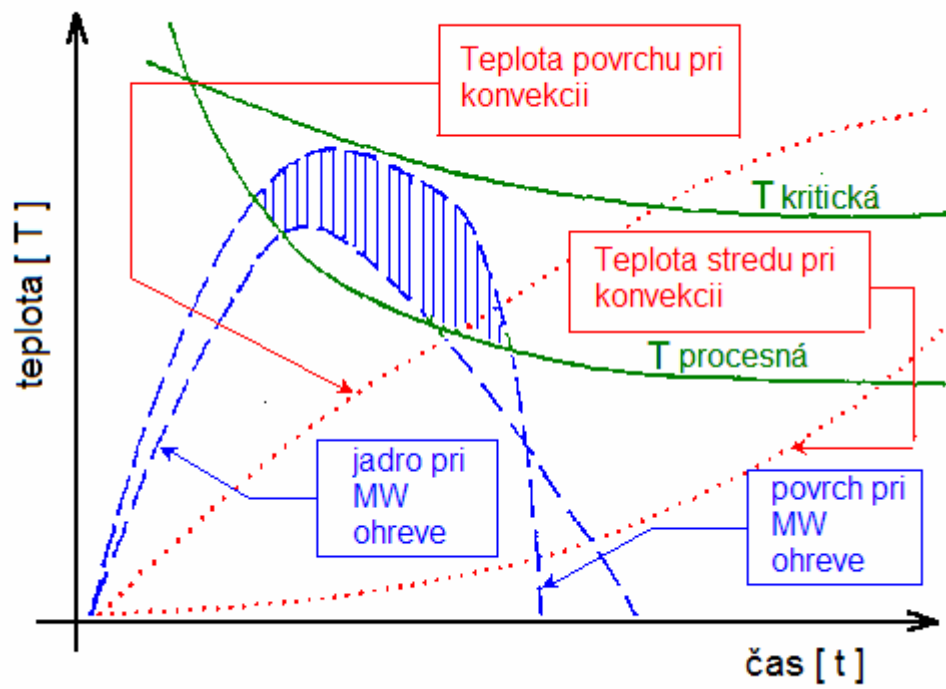
Spracovanie elastomerov vyžaduje veľmi vysoké teploty, pritom elastomery veľmi zle vedú teplo – mikrovlny tu teda hrajú veľmi dôležitú úlohu.

Vulkanizáciu je možné podstatne urýchliť, pokiaľ jej predchádza fáza predohrevu, kedy sa teplota zvyšuje na 75 až 105°C. Široké uplatnenie MW ohrevu k vulkanizácii je dôsledkom jeho mimoriadnych výhod v porovnaní s ostatnými technológiami. Z nich je najdôležitejšia vysoká rýchlosť a homogenita vulkanizácie a tým vysoká kvalita výsledného produktu, ako aj podstatná úspora energie. Pretože gumová zmes je tepelný izolant, výrazne sa uplatňuje vlastnosť MW ohrevu – súčasný ohrev do celej hĺbky materiálu. Predohriatím gumovej zmesi je možné skrátiť celkovú dobu ohrevu na vulkanizačnú teplotu asi o polovicu a výkon vulkanizačného lisu zvýšiť o jeden rád.

Pôsobenie mikrovln do celej hĺbky materiálu podstatne skracaie spracovateľské procesy, zlepšuje kvalitu spracovania a prináša úspory. Obr. 7 znázorňuje teplotnú homogenitu, šetrnosť a rýchlejší priebeh mikrovln. Zrovnanie s klasickým ohrevom ukazuje, že dielektrický ohrev je už úplne ukončený v dobe, kedy teplota v jadre materiálu

pri konvenčnom ohreve iba dosiahla potrebnej hodnoty, zatiaľčo povrch sa už nachádza v oblasti nežiaduceho prehrevu. [6]

**Graf 2** - Porovnanie ohrevov



## 5 GOUGH – JOULEOV EFEKT

Molekulová štruktúra pryže dáva rast zjavnej anomálii ktorá bola pozorovaná Goughom v roku 1805. Keď sa prúžok pryže pri napínaní zahrieva, skôr sa zmršťuje, než rozpína. Z toho vyplýva, že pokiaľ je pryž držaná stále napnutá, tak vykazuje väčšiu záťaž. Toto pozorovanie bolo potvrdené zhruba o 50 rokov neskôr Joulom, a teraz je známe ako Gough – Joulov efekt. Tento fenomén môžeme ľahko demonštrovať zavesením nožničiek, alebo iného závažia na elastický prúžok. Natiahnutie pryže bude okolo 200 až 300%. Pokiaľ je pryžový prúžok zahrievaný zápalkou závažie stúpa.

Existujú dve zrejme nezrovnalosti súvisiace s Gough – Jouleovým efektom. Pokiaľ je pryž zahrievaná rozpína sa. V skutočnosti, pokiaľ pryž nie je napínaná, naozaj sa rozpína, keď je zahrievaná. Gough – Jouleov efekt je uplatnený, keď je pryž najskôr napínaná, potom zahrievaná. Tieto dva efekty balancujú na asi 6 % predĺžení za normálnej teploty a vzťah medzi silou a predĺžením je závislý na teplote. S ďalším nárastom predĺženia Gough – Jouleov efekt prevláda.

[10]

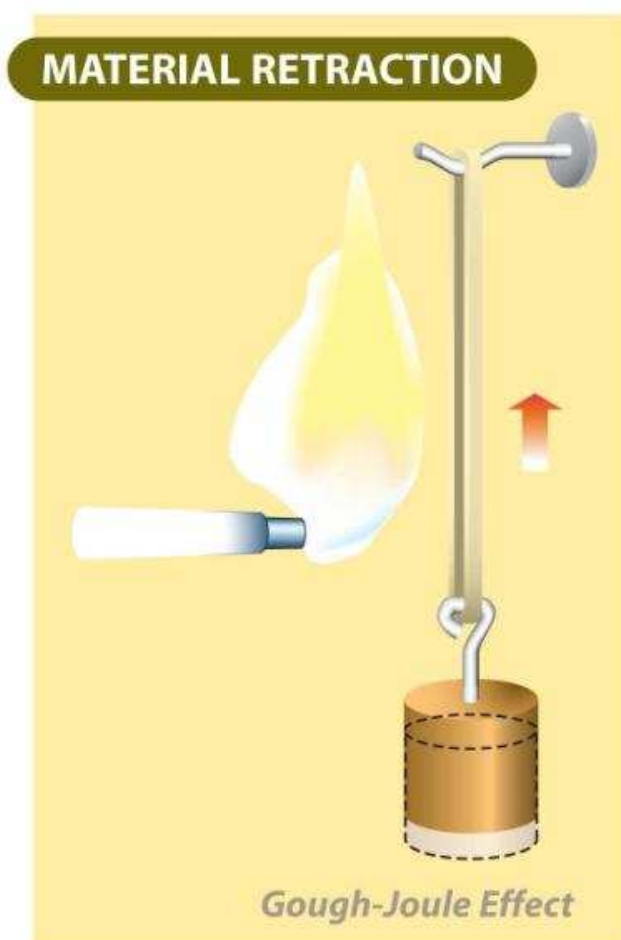
### 5.1 Praktické využitie Gough – Jouleovho efektu

Gough – Jouleov efekt má praktické využitie v designe O – krúžkových tesnení pre rotujúce osy a pre zkrutné pružiny.

Pokiaľ je O – krúžok použitý k tesneniu rotujúcej osy, objavuje sa vždy tendencia k vyrobeniu tesnenia trošku menšieho než je priemer osy, pretože by sa mohlo zaklapnúť a bude tesniť lepšie. Toto je ale chyba. Trením sa tesnenie zahrieva a pretože je pod tlakom, objavuje sa Gough – Jouleov efekt. Tesnenie sa snaží zmrštiť, vytvára viac trenia a produkuje sa viac tepla. Pryž sa preto pripaľuje a praská a nakoniec netesní. Pri vysokej rýchlosti môže osa zlihať behom niekoľkých minút.

Správny postup je vytvoriť vnútorný priemer tesnenia okolo 5% väčšieho než je priemer osy. Tesnenie potom bude pod obvodovou kompresiou v svojej pracovnej polohe. Krivka tepla sa ustáli po miernom zvýšení teploty a ďalej už neporastie.

[10]



Obrázok 10 Gough – Joulov efekt

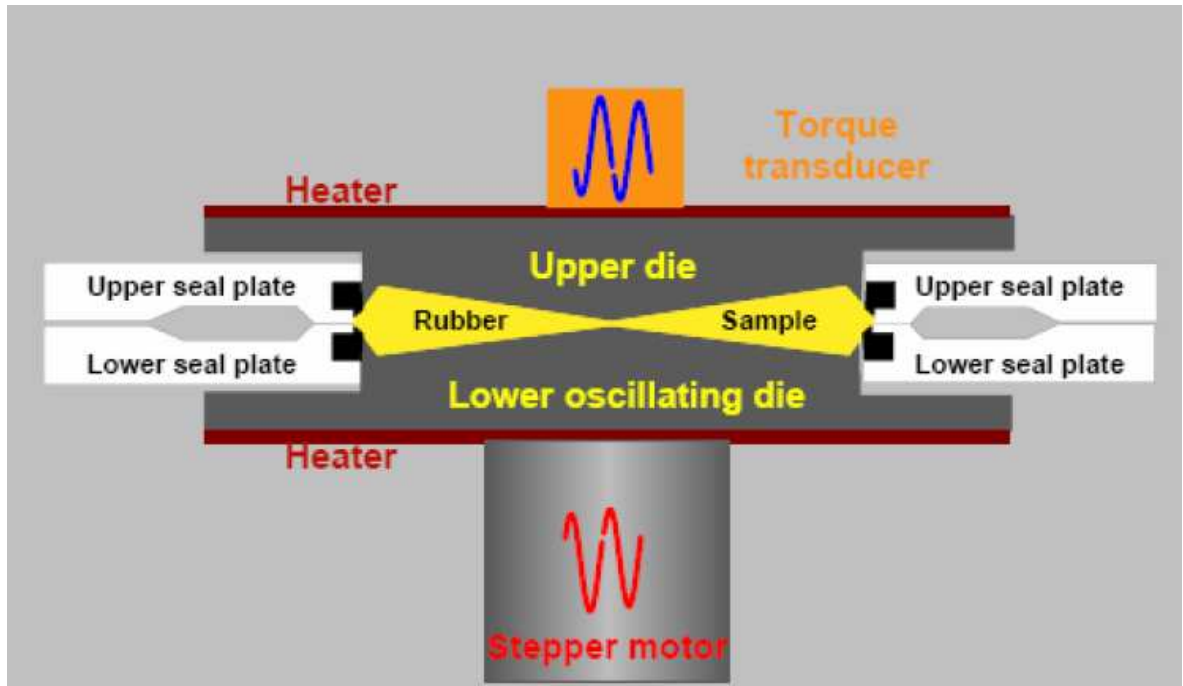
## 6 RPA 2000

RPA 2000 je přístroj, na kterom můžeme měřit dynamické vlastnosti kaučukových směsí vulkanizovaných, ale aj nevulkanizovaných. Měraný je komplexný krútiaci moment ( $S^*$ ) ako odozva vzorky na šmykové namáhanie. Z neho je ďalej vypočítaná rada parametrov predovšetkým šmykový modul materiálu ( $G$ ) a strátový činiteľ ( $\text{tg } \delta$ ).

Přístroj můžeme využiť k stanoveniu reologického (tokového) správania kaučukov, ku kontrole ich kvality a predpovedi spracovateľských problémov, k meraniu vulkanizačných charakteristík kaučukových zmesí či testovaniu dynamickej únavy pryže. [7]



Obrázok 11 RPA 2000



Obrázok 12 Pracovná komora RPA 2000

#### Možnosti merania na RPA 2000:

- 1) **Meranie vstupných surovín** – dynamická viskozita, komplexný model vs. frekvencia a uhol deformácie
- 2) **Meranie nevulkanizovaných zmesí** – kvalita miešacieho procesu, disperzia použitých plnív, spracovateľnosť
- 3) **Meranie vulkanizačných charakteristík** – izotermná vulkanizácia, vulkanizačné charakteristiky
- 4) **Meranie vlastností výsledných vulkanizátov** – tuhosť, hysterzné straty [7]

V našom prípade sa budeme zaoberať meraním dynamickej viskozity v závislosti na vstupnej teplote materiálu.

Dynamická viskozita:  $\eta = \frac{\tau}{\gamma}$  [Pa · s], kde  $\tau$  - šmykové napätie

$\gamma$  - šmyková deformácia



## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

## **7 CIEĽ DIPLOMOVEJ PRÁCE**

Cieľom mojej diplomovej práce bude zistiť vplyv vstupných parametrov na príkon miešacieho zariadenia. To znamená vplyv vstupných parametrov na energiu vynaloženú na homogenizáciu kaučukovej zmesi. V našom prípade budeme tento vplyv zisťovať pre 3 gumárenské zmesi od spoločnosti Barum continental spol. s r.o. . Konkrétne sa bude jednať o zmes prírodného kaučuku, syntetického kaučuku a zmes prírodného a syntetického kaučuku. Ďalej budeme robiť merania dynamickej viskozity na prístroji RPA 2000.

## 8 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU

Na meranie nám boli dodané 3 druhy materiálu od spoločnosti Barum continental s. r. o. vo forme pásov o hrúbke 10 mm a šírke 0,5 m. Zmes **final NR (B)** – prírodný kaučuk, zmes **final NR/SR (A)** – zmes prírodného a syntetického kaučuku a zmes **final SR (C)** – syntetický kaučuk. Tieto materiály sme si museli upraviť pre dávkovanie do hnetacej komory. Materiál sme nakrájali na malé kúsky približne rovnakej veľkosti.



*Obrázok 13 Materiál pripravený do hnetacej komory*

## 8.1 Zloženie zmesi

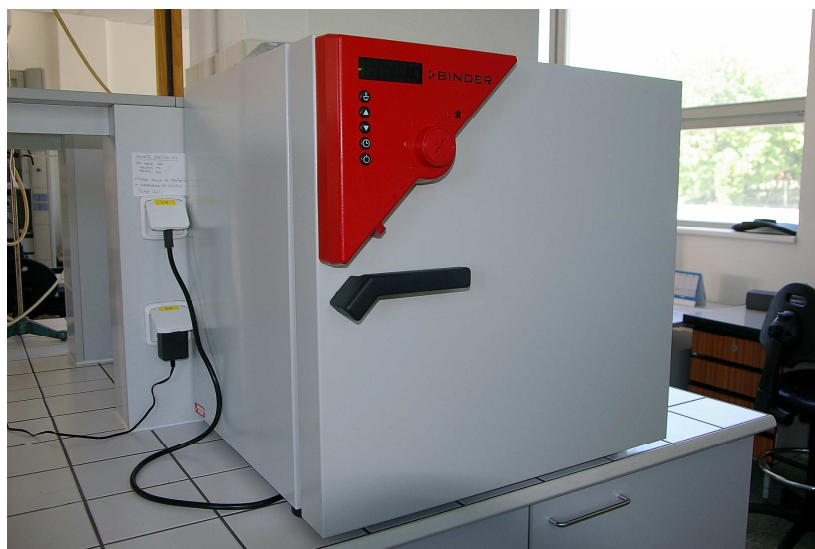
Tabuľka č. 1 Charakteristika zmesi

	NR	NR/SR	SR
<b>Prírodný kaučuk</b>	58,2	29,4	-
<b>Syntetický kaučuk</b>	3,1	19,6	48,2
<b>sadze</b>	28,8	36,8	36,2
<b>zmäkčovadlá</b>	1,5	6,1	10,1
<b>aktivátory</b>	4,6	3,2	1,4
<b>spracovateľské prísady</b>	2,1	4	3,2
<b>vulkanizačné činidlá</b>	1,7	0,9	0,9
<b>suma</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Pevnosť (MPa)</b>	22	15	15
<b>Ťažnosť (%)</b>	480	300	430
<b>Modul 300% (MPa)</b>	12	11	11
<b>Tvrdosť (ShA)</b>	60	72	65
<b>Odrážová pružnosť (%)</b>	46	37	31
<b>Viskozita (°ML)</b>	70	58	68

## 8.2 Príprava materiálu na meranie

Na začiatku ešte pred samotným meraním som musel určiť ideálnu navážku materiálu na jeden cyklus, tak aby bol zabezpečený plynulý chod laboratórneho zariadenia. Zistil som, že ideálne množstvo na jeden cyklus je 40 g nakrájaného materiálu. Pri tomto množstve materiálu pracovalo laboratórne zariadenie bez väčších problémov a merania boli úspešné.

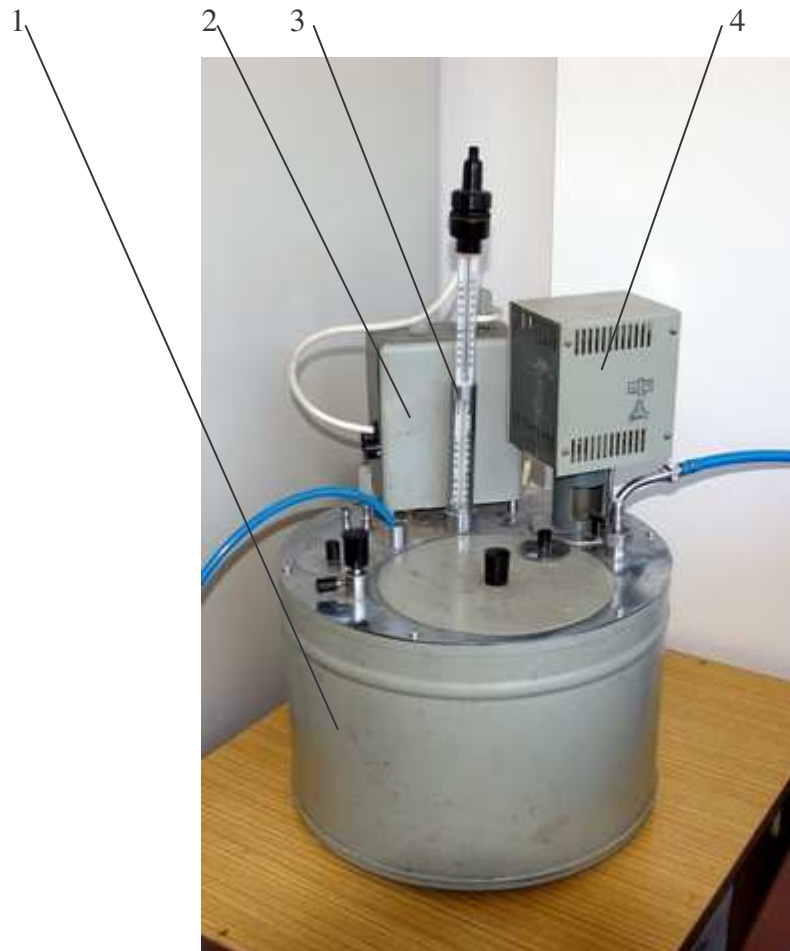
Materiál som ešte pred samotným meraním ohrieval v sušiarňi resp. ochladzoval v chladničke na požadovanú teplotu ( 4, 15, 44 a 67 °C ). Tieto merania prebiehali pri konštantných otáčkach. Pri zisťovaní závislosti vplyvu rýchlosti otáčania hnetadiel na parametre stroja bola teplota vzorky 23°C.



*Obrázok 14 Sušiareň BINDER ED*

## 9 PRÍPRAVA LABORATÓRNEHO ZARIADENIA

Príprava laboratórneho zariadenia spočívala v prvom rade vo vytemperovaní pracovnej komory na 80°C. Táto teplota trvala približne 90 minút a zabezpečná bola teplotným zariadením vid' obr. 15.



Obrázok 15 - Teplotné zariadenie na ohrev pracovnej komory

1 – nádoba na vodu, 2 – vyhrievacie zariadenie, 3 – teplomer, 4 – miešadlo s čerpadlom

K laboratórnemu zariadeniu bol pripojený frekvenčný menič spoločnosti EDTS ( electric drives & technology systems ) vid' obr. 16. Tento slúžil k ovládaniu laboratórneho zariadenia. Ovládanie spočívalo v samotnom zapnutí resp. vypnutí ako aj v nastavení otáčok motora laboratórneho zariadenia.



*Obrázok 16 - Frekvenčný menič*

1 – zapnutie motora, 2 – vypnutie motora,  
3 – regulácia otáčok motora

## 10 MERANIE NA HNETACOM STROJI A VYHODNOTENIE

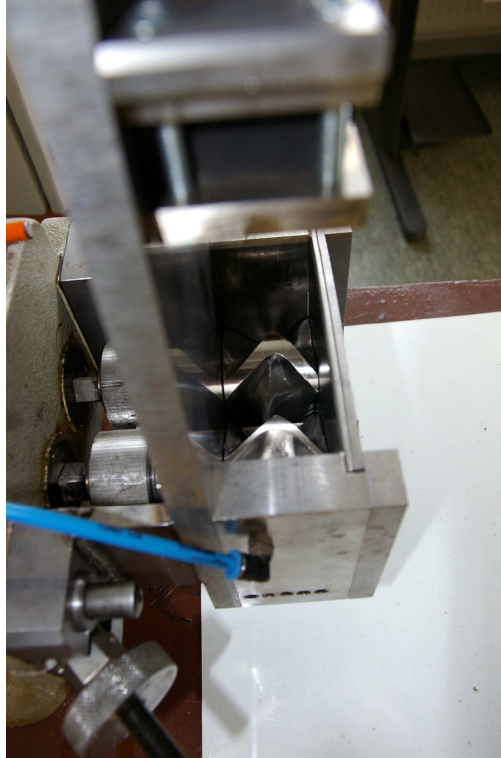
- 1) Vzorku, ktorá bola predohriata resp. ochladená som si navážil na digitálnych váhach. Hmotnosť jednej navážky bola približne 40 g. Komora laboratórneho zariadenia už musela byť vytemperovaná na 80°C.



Obrázok 17 – Digitálne váhy DENVER INSTRUMENT ( $\pm 0,1$  g)

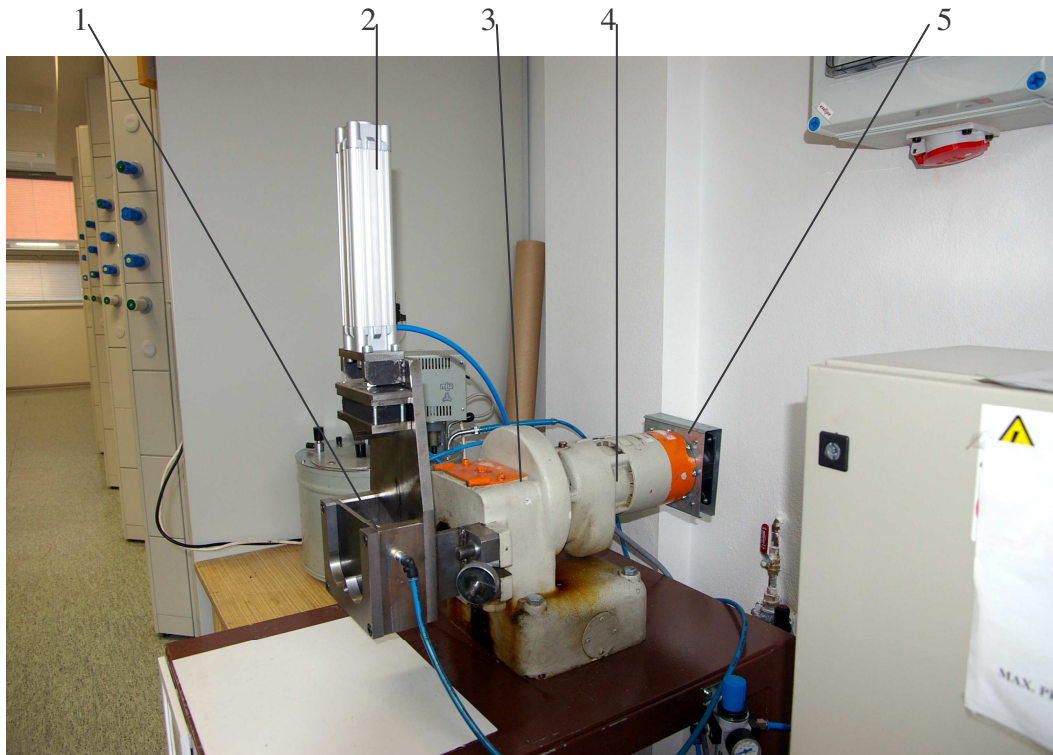
- 2) Navážku 40 g materiálu som vložil do hnetacej komory laboratórneho zariadenia a komoru som uzavrel pomocou víka ktoré bolo upevnené k pneumatickému uzatváraciemu zariadeniu.





*Obrázok 18 – Komora laboratórneho zariadenia*

- 3) Po uzatvorení komory laboratórneho zariadenia následovalo nastavenie požadovanej hodnoty otáčok motora na frekvenčnom meniči, spustenie laboratórneho zariadenia a zároveň spustenie programu EASY DRIVE na PC, ktorý bol pripojený k frekvenčnému meniču. Program EASY DRIVE zaznamenával zaťaženie motora v čase.



Obrázok 19 – Laboratórne zariadenie Werner Pfeleiderer LUK 1/0,5

1 – pracovná komora, 2 – uzatváracie pneumatické zariadenie, 3 – prevodovka, 4 – motor,  
5 – ventilátor

Tabuľka č. 2 - Prepočtová tabuľka otáčok hnetadiel

Hodnoty regulátoru otáčok na frekvenčnom meniči	1. hnetadlo ñ (min <sup>-1</sup> )	2. hnetadlo ñ (min <sup>-1</sup> )	priemerné ñ (min <sup>-1</sup> )
1	5,5	8,5	<b>7</b>
2	10,5	16	<b>13,25</b>
3	15,5	23,5	<b>19,5</b>
4	20,5	31	<b>25,75</b>
5	25,5	38,5	<b>32</b>
6	30,5	46	<b>38,25</b>
7	35,5	53,5	<b>44,5</b>
8	40,5	61	<b>50,75</b>
9	45,5	68,5	<b>57</b>

4) Jeden cyklus merania trval 400 sekúnd. Po skončení cyklu som vypol laboratórne zariadenie, taktiež zastavil zaznamenávanie zaťaženia motora programom EASY DRIVE a vzorku vybral z komory laboratórneho zariadenia. Následne som odmeral výstupnú teplotu vzorky zapichovacím teplomerom TESTO 110 s vpichovacím teplotným čidlom ( Merací rozsah: - 50 °C – 150 °C, presnosť: ±0.2 °C ( - 20 – 80

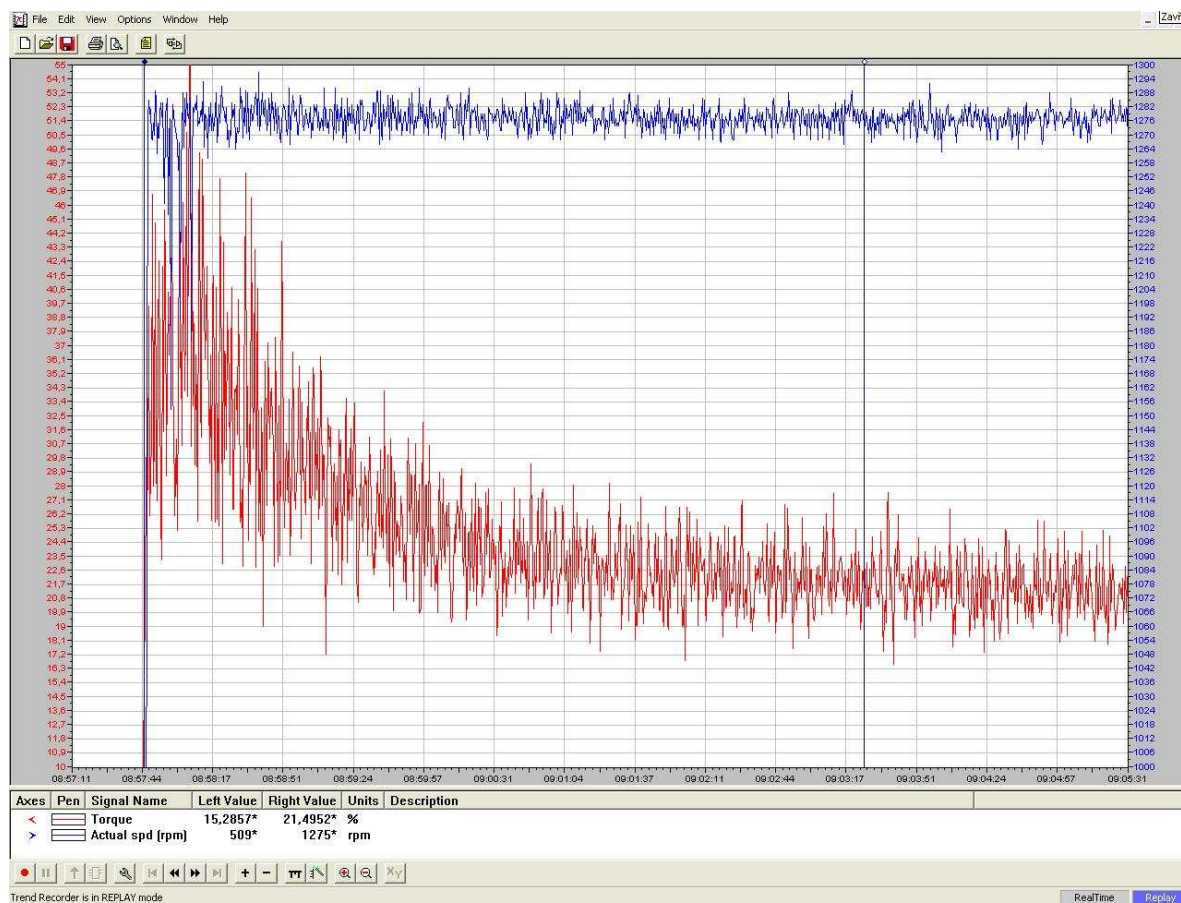
°C)  $\pm 0.3$  °C (zbytok rozsahu) ). Pre každú zmes a pre každé vstupné parametre som vždy robil 4 merania.



Obrázok 20 – Teplomer TESTO 110

1 – zapichovacie teplotné čidlo, 2 – vyhodnocovacie zariadenie

- 5) Ďalším krokom bolo vyhodnotenie nameraných informácií. Bolo potrebné upraviť a spracovať namerané hodnoty. Program EASY DRIVE dokázal zaznamenať približne 21 hodnôt za sekundu, preto bolo nutné grafy z tohoto programu upraviť. Úprava spočívala v exportovaní výstupných dát do programu Microsoft Excel. Tieto data sme si rozdelili do stĺpcov a vytvorili sme graf závislosti zaťaženia motora v čase. Krivku ktorá nám vznikla sme upravili kľavým priemerom 255.



Obrázok 21 – Graf z programu EASY DRIVE

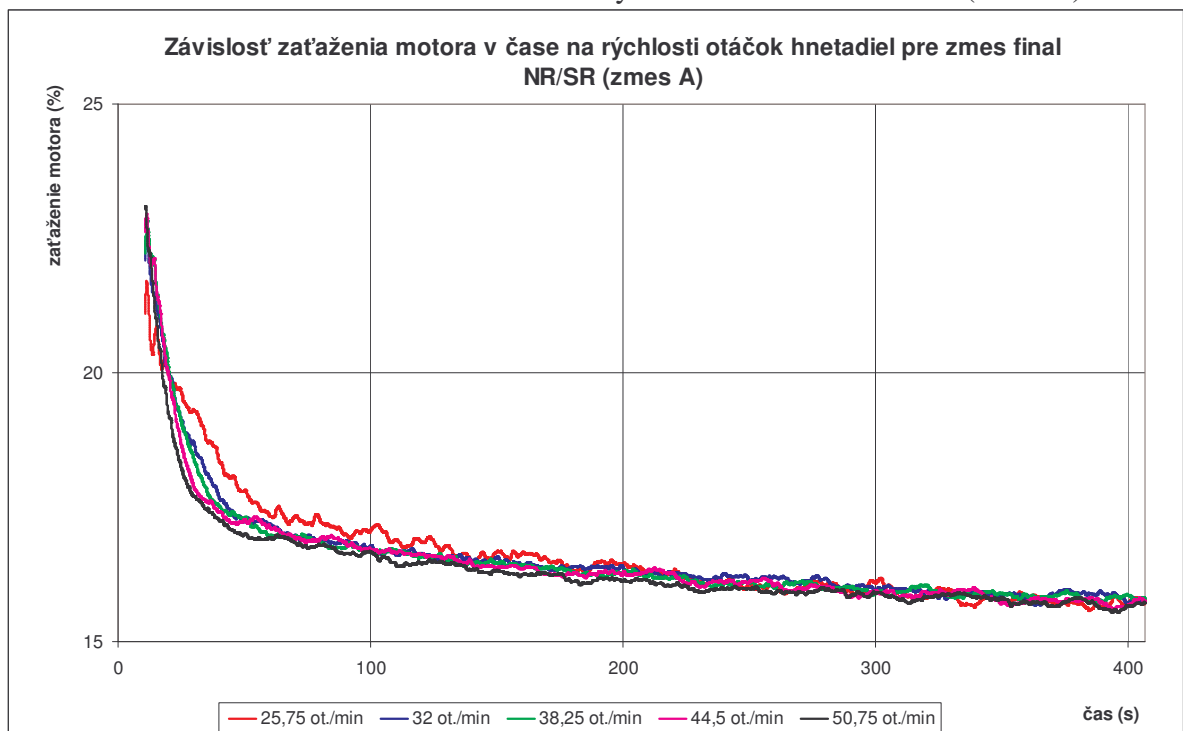
## 10.1 Kľavý priemer

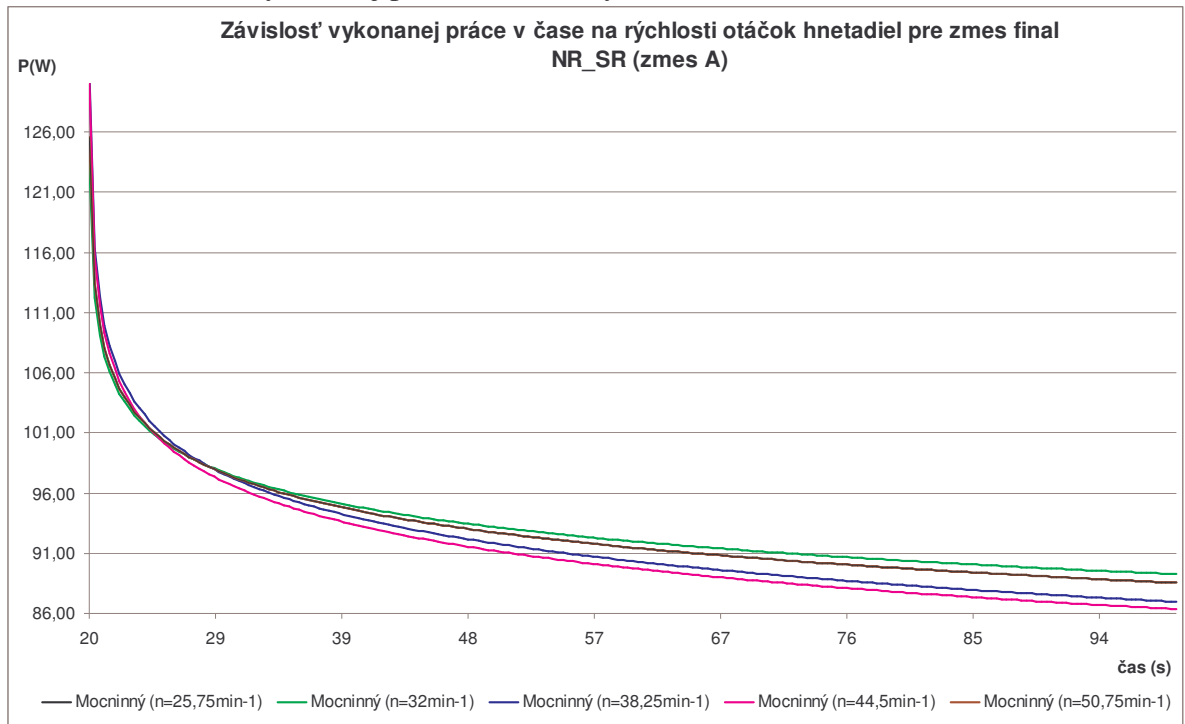
Rada priemerov vypočítaných z časti datovej rady. V grafe kľavý priemer vyhladí kolísanie dát a zobrazí vzorku alebo trend zreteľnejšie.

## 10.2 Vyhodnotenie nameraných dát

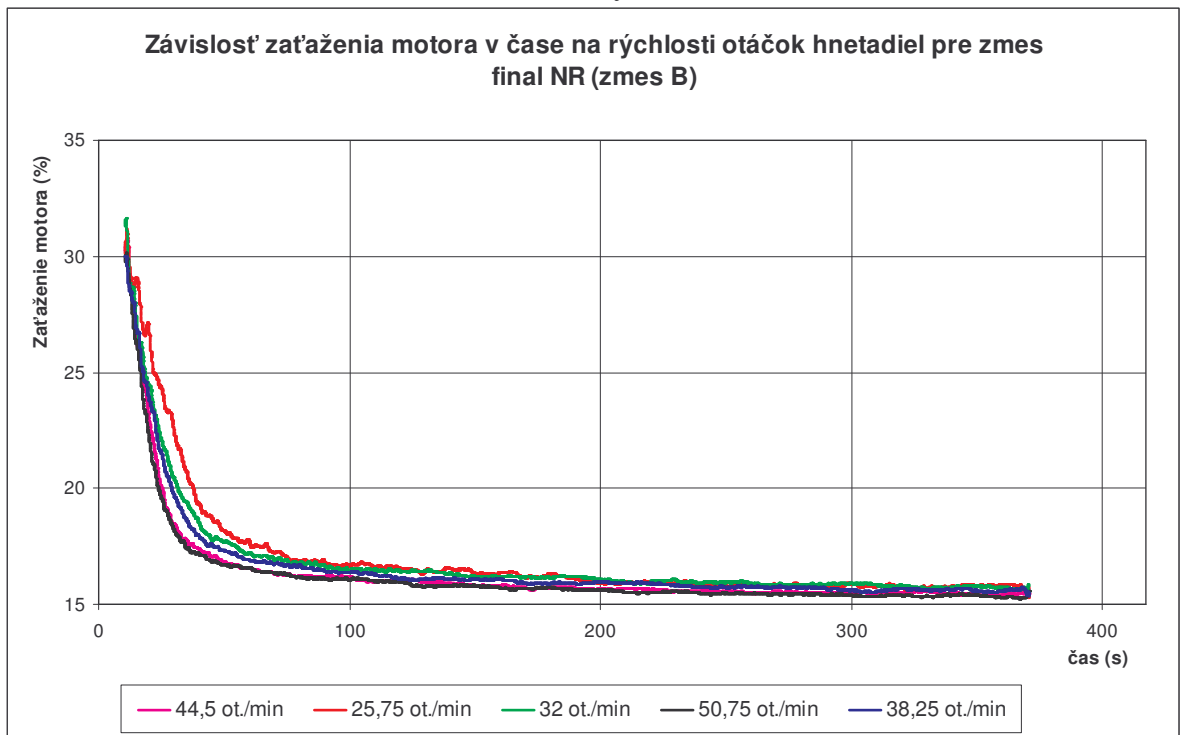
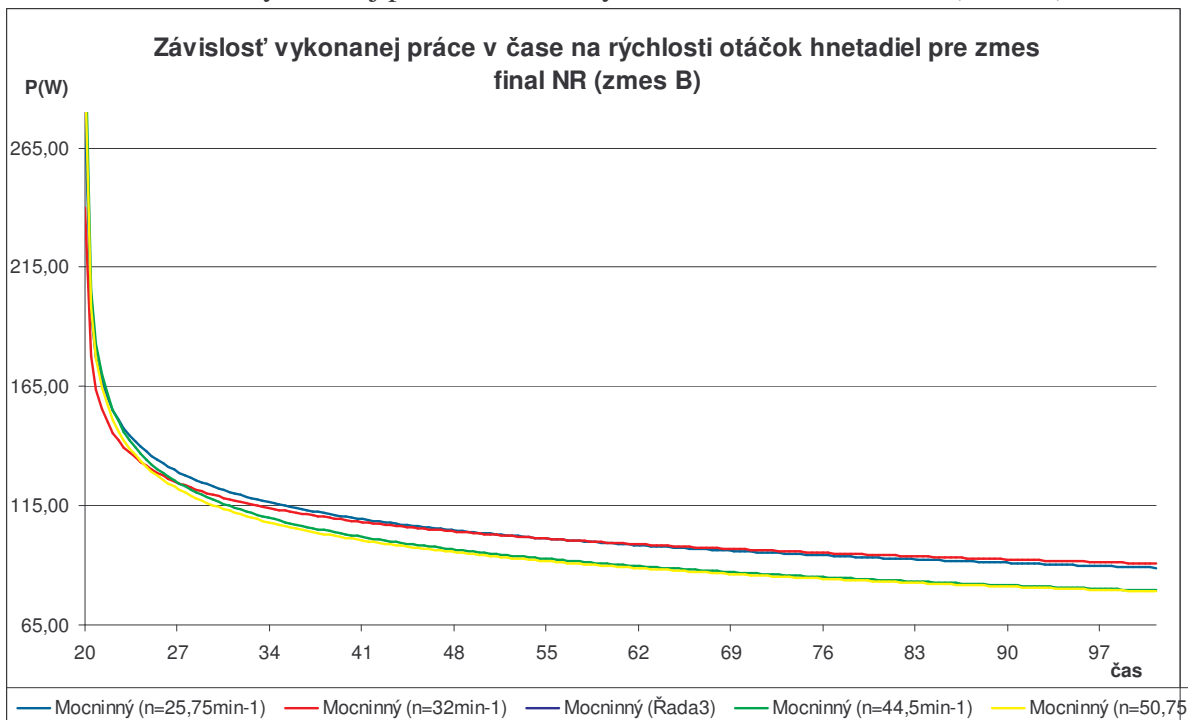
- 1) Vytvoril som grafy závislosti zaťaženia motora v čase pre každú rýchlosť otáčok a pre každú vstupnú teplotu materiálu. Pre každú zmes som vytvoril jeden graf pre všetky vstupné teploty a graf pre všetky stupne otáčok hnetadiel. Jedna krivka v nasledujúcich grafoch je tvorená zo štyroch meraní ako priemerná hodnota. Je upravená kľzavým priemerom 255. Následne bol vytvorený graf kde boli tieto krivky prevedené do mocninného trendu aby sme dokázali vypočítať a znázorniť tak množstvo vykonanej práce. Do úvahy sme však brali úsek od 20 sekundy do 100 sekúnd merania, pretože v tejto časovej oblasti bola zmena závislosti najmarkantnejšia a aj rozdiely medzi jednotlivými priebehmi zaťaženia motora boli v tejto oblasti najväčšie.

**Graf 3** - Závislosť zaťaženia motora v čase na rýchlosti otáčania hnetadiel (zmes A)

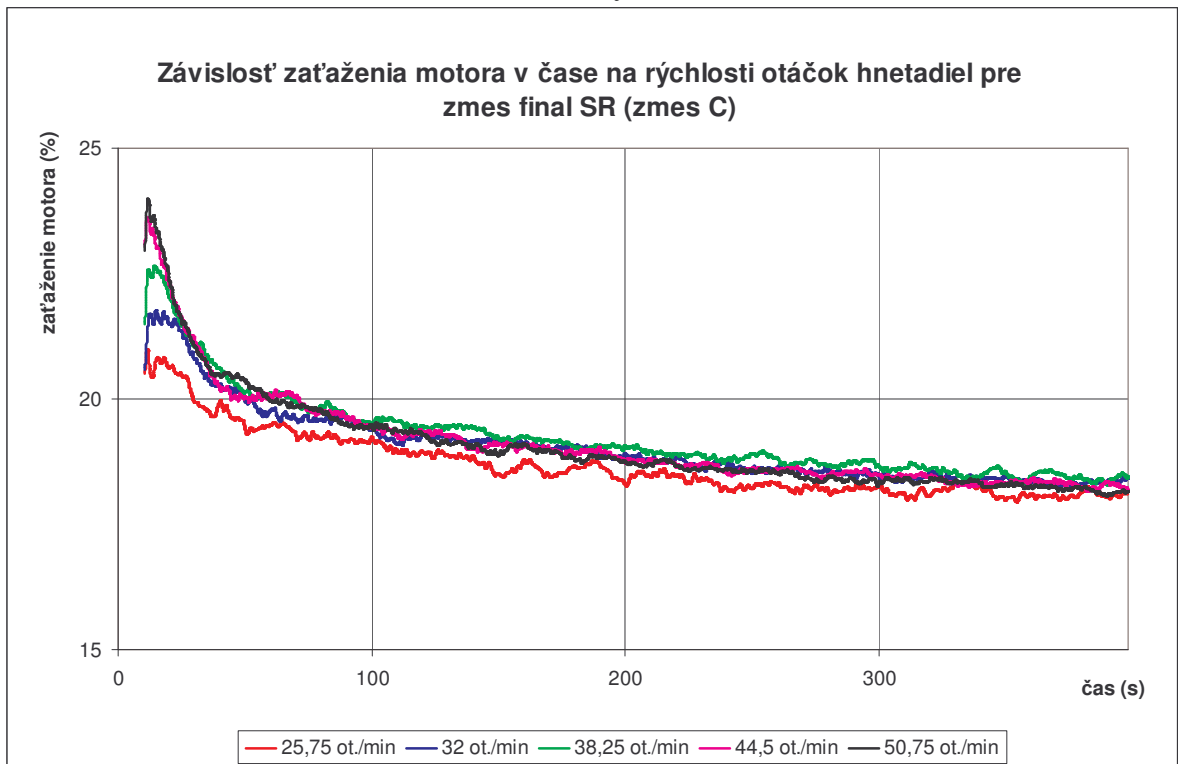
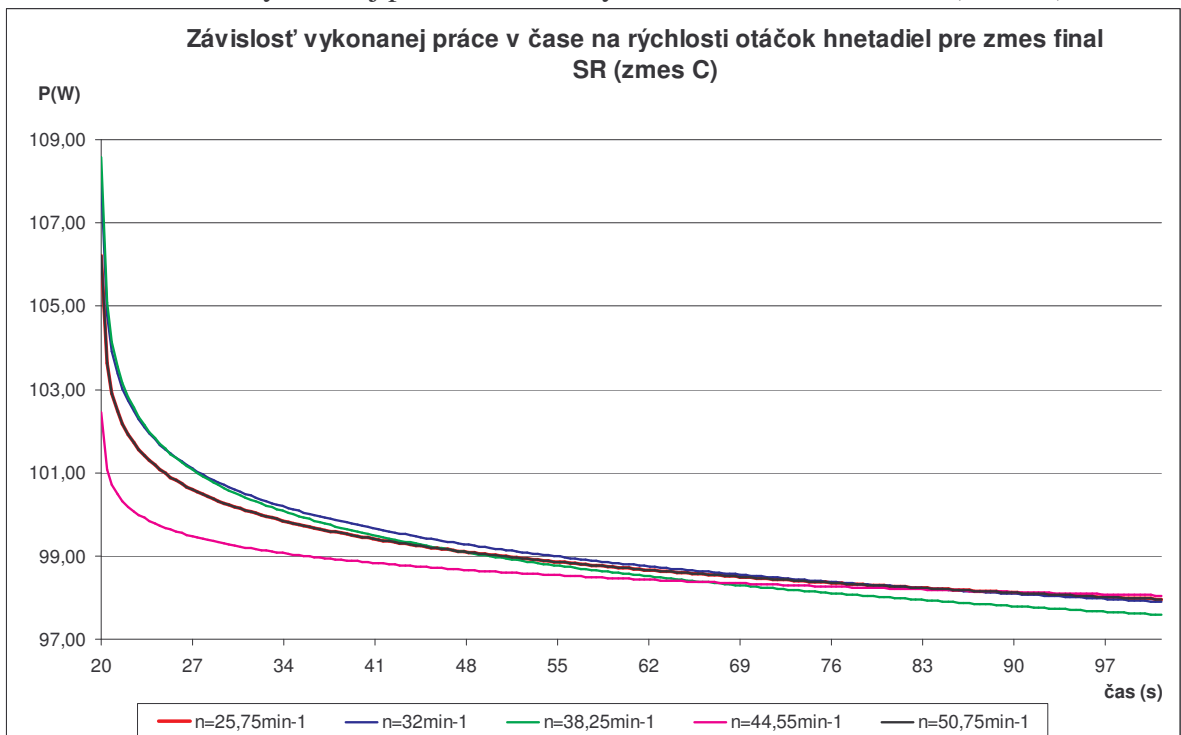


**Graf 4 -** Závislost vykonanej práce v čase na rýchlosti otáčania hnetadiel (zmes A)

Graf č. 3 nám znázorňuje priemerné hodnoty namerané pre zmes final NR\_SR (zmes A), ako závislosť zaťaženia motora v čase. Graf č. 4 nám znázorňuje mocninný trend pre túto zmes, kde sme prepočítali zaťaženie motora z predchádzajúceho grafu na výkon motora vo Watoch.

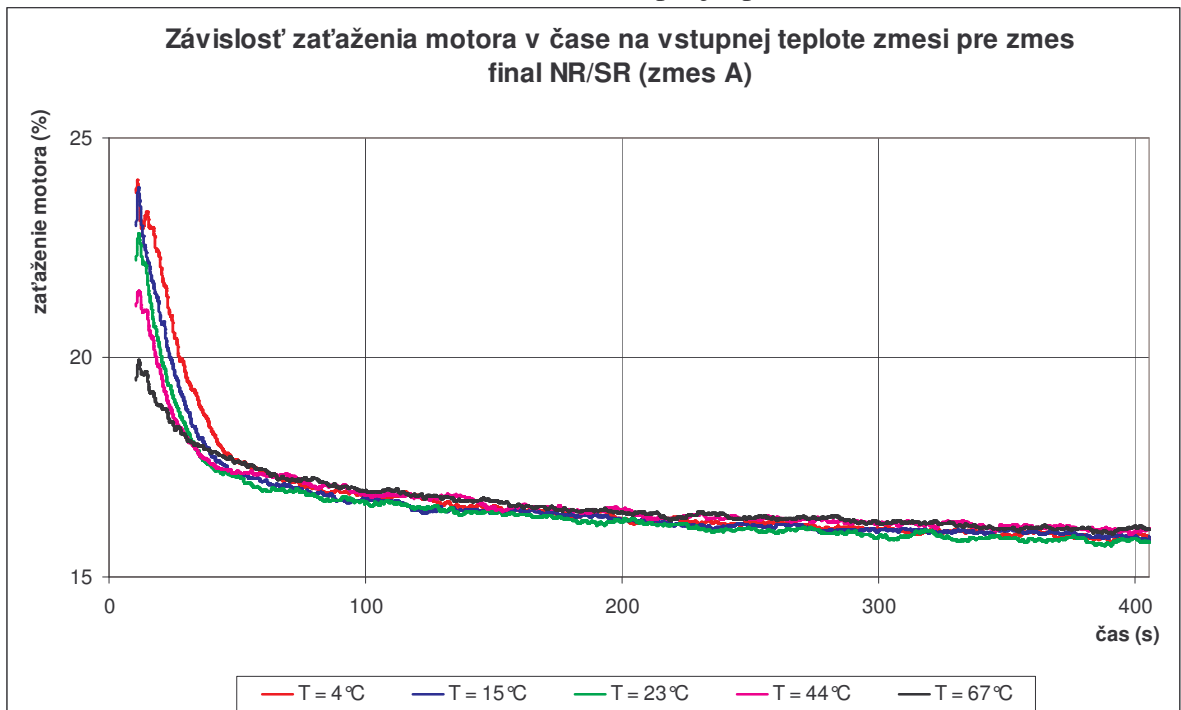
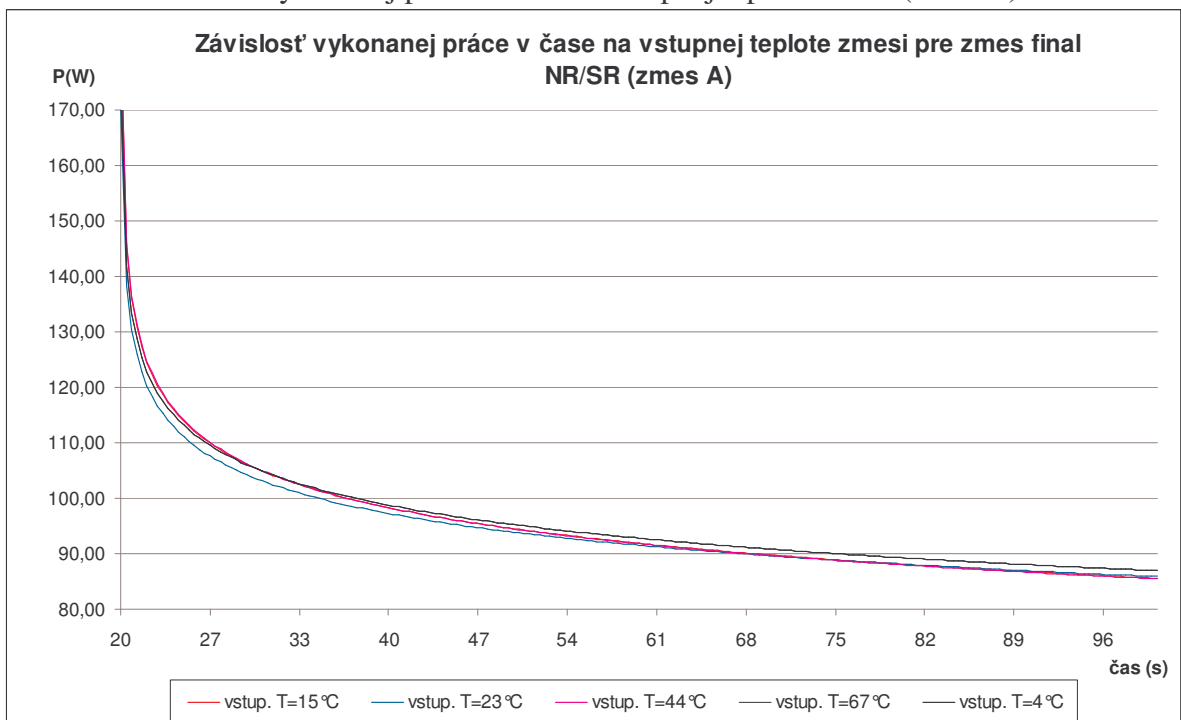
**Graf 5** - Závislost' zaťaženia motora v čase na rýchlosti otáčania hnetadiel (zmes B)**Graf 6** - Závislost' vykonanej práce v čase na rýchlosti otáčania hnetadiel (zmes B)

Graf č. 5 nám znázorňuje priemerné hodnoty namerané pre zmes final NR (zmes B), ako závislost' zaťaženia motora v čase. Graf č. 6 nám znázorňuje mocninný trend pre túto zmes, kde sme prepočítali zaťaženie motora z predchádzajúceho grafu na výkon motora vo Watoch.

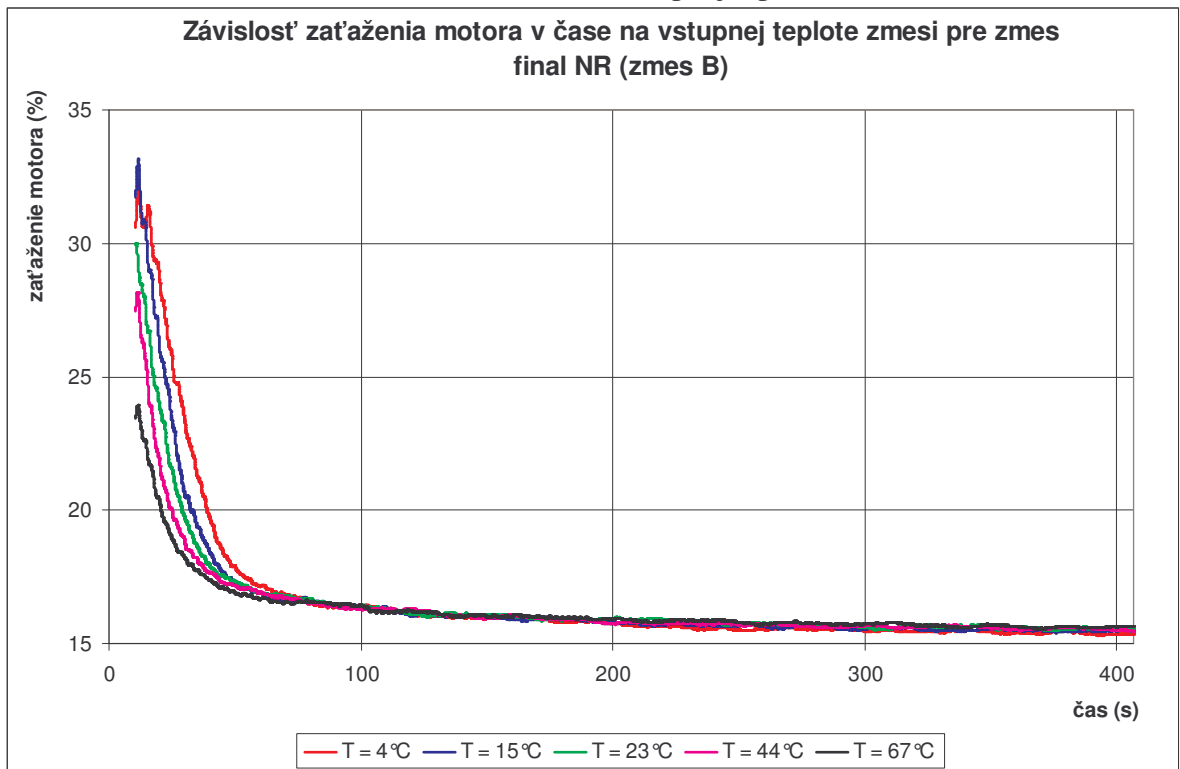
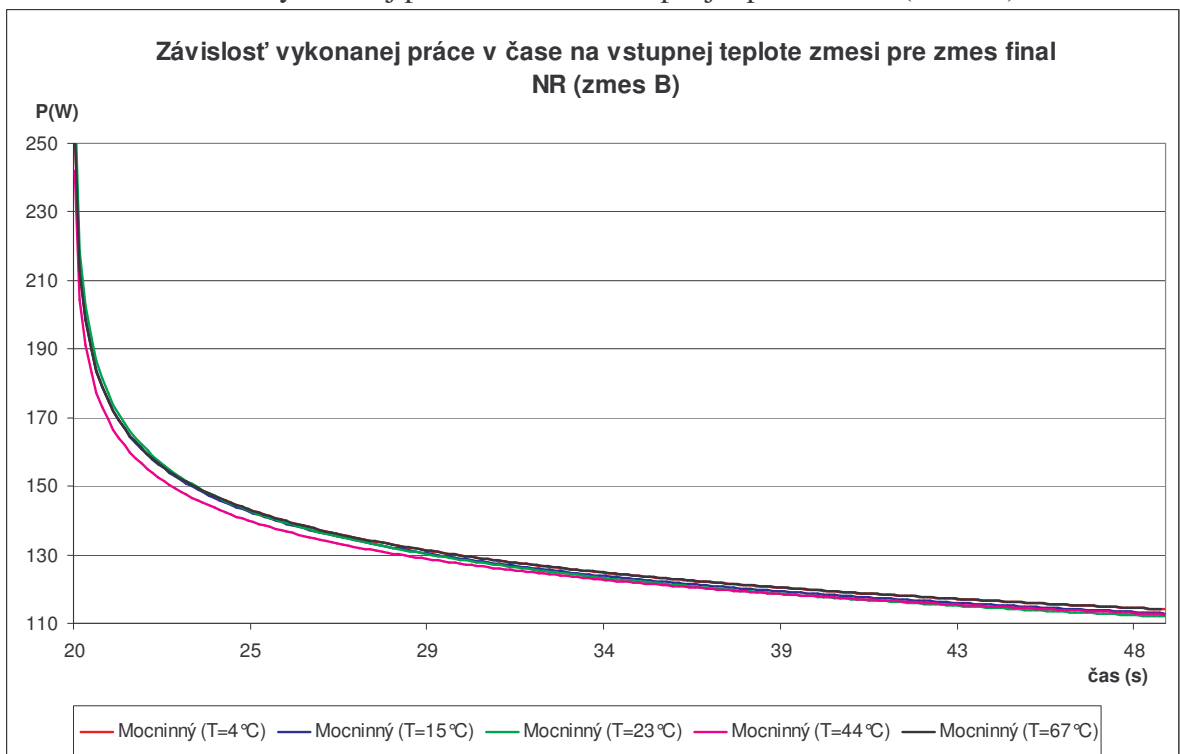
**Graf 7** - Závislost' zaťaženia motora v čase na rýchlosti otáčania hnetadiel (zmes C)**Graf 8** - Závislost' vykonanej práce v čase na rýchlosti otáčania hnetadiel (zmes C)

Graf č. 7 nám znázorňuje priemerné hodnoty namerané pre zmes final SR (zmes C), ako závislosť zaťaženia motora v čase. Graf č. 8 sme upravili tak ako v predchádzajúcich prípadoch.

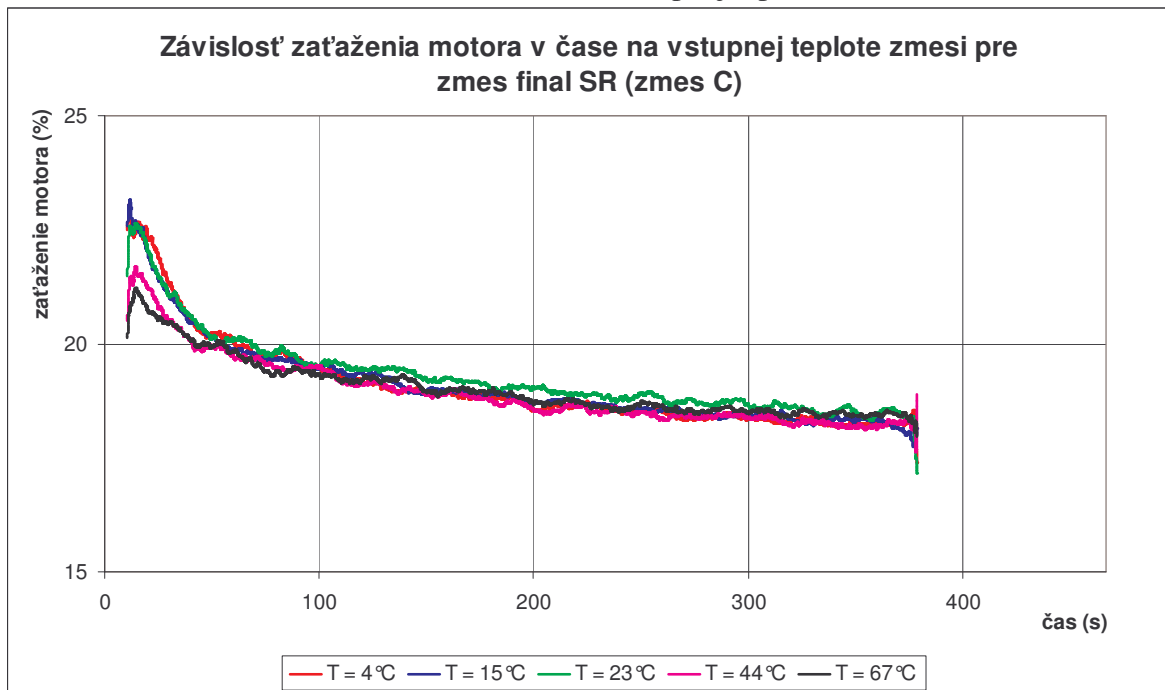
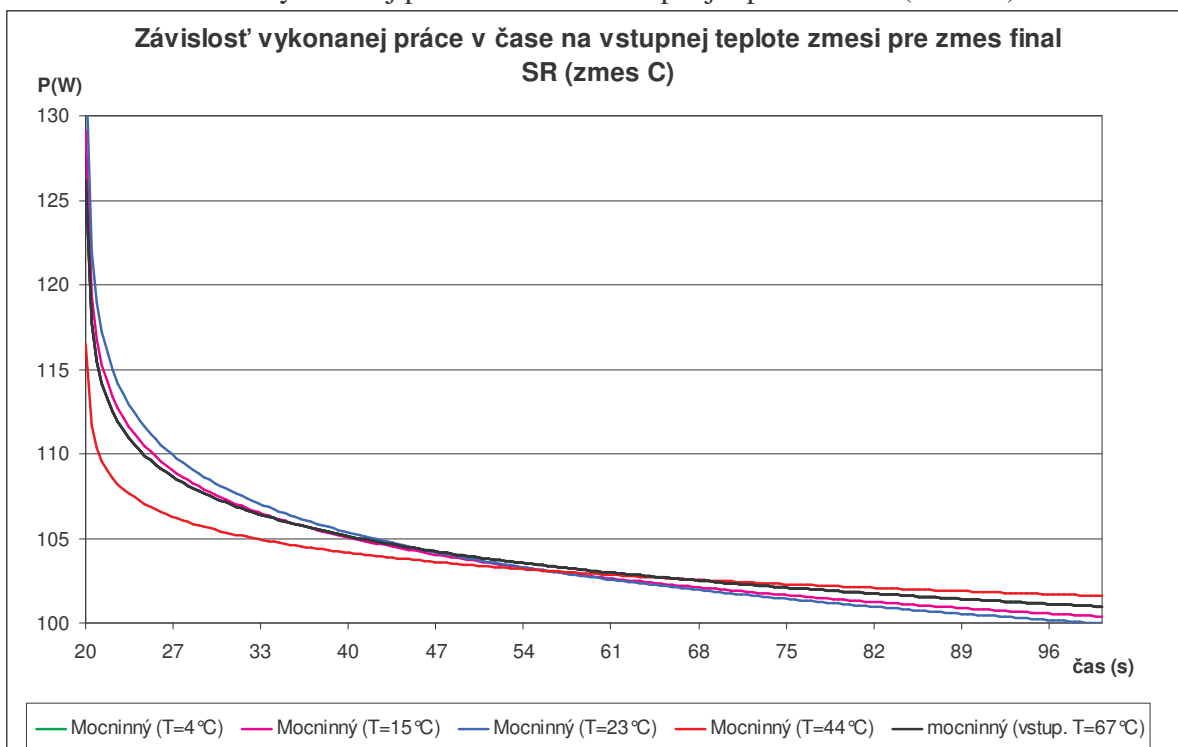


**Graf 9** - Závislost' zaťaženia motora v čase na vstupnej teplote zmesi (zmes A)**Graf 10** - Závislost' vykonanej práce v čase na vstupnej teplote zmesi (zmes A)

Tak ako u zmeny otáčok aj tu je graf č. 9 závislosťou priemerného zaťaženia motora v čase, ale skúmame tu vplyv vstupnej teploty materiálu. Následne graf. č. 10 je upravený mocninným priemerom ako v prípade zmeny otáčok.

**Graf 11 - Závislost' zat'azenia motora v čase na vstupnej teplote zmesi (zmes B)****Graf 12 - Závislost' vykonanej práce v čase na vstupnej teplote zmesi (zmes B)**

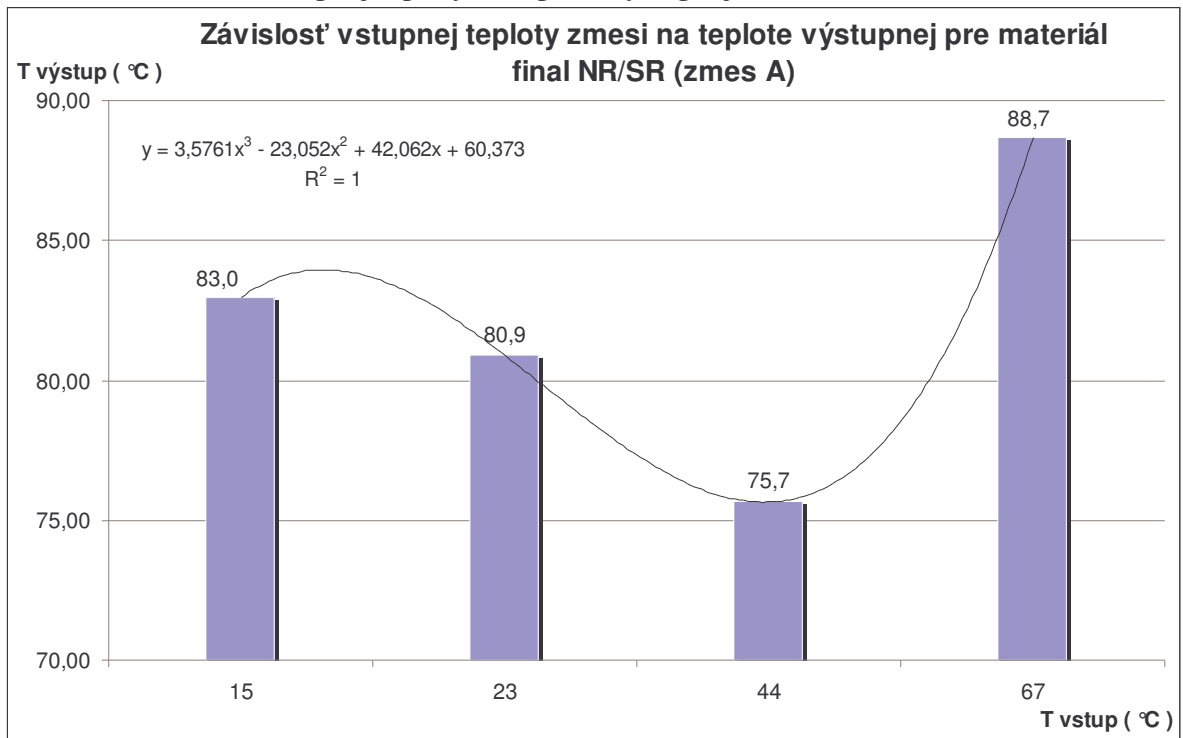
Graf č. 11 nám znázorňuje priemerné hodnoty namerané pre zmes final NR (zmes B). Graf č. 12 je upravený obdobným spôsobom ako v predchádzajúcich prípadoch.

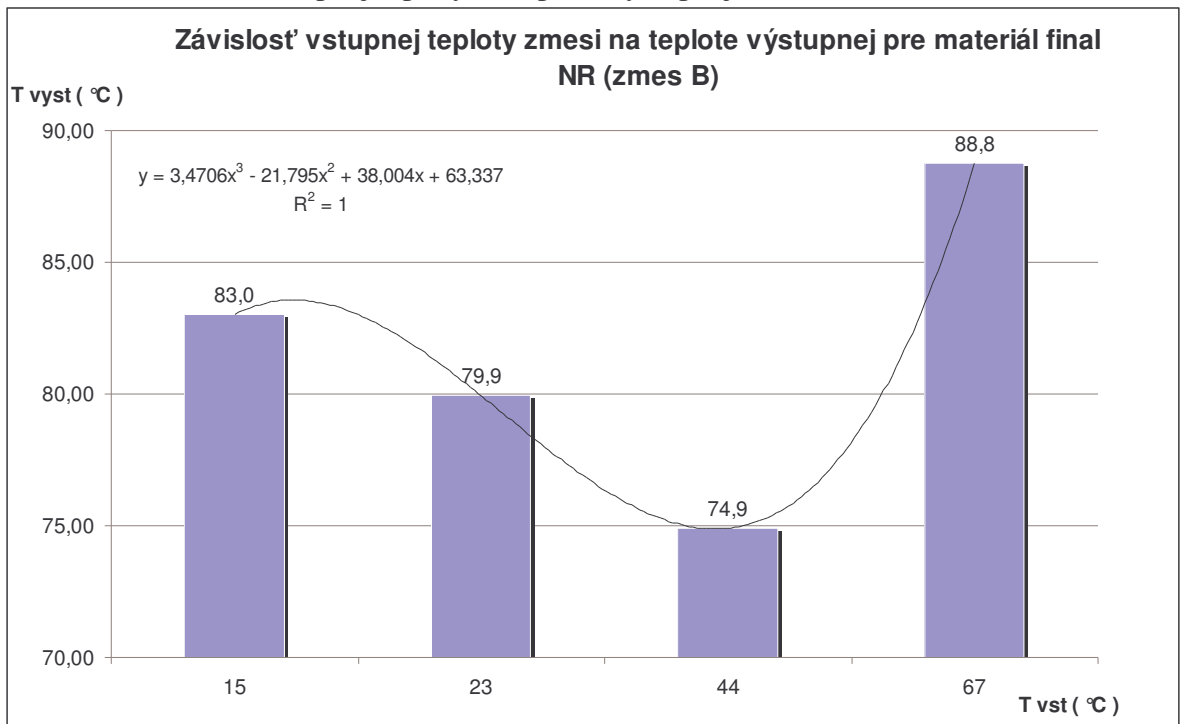
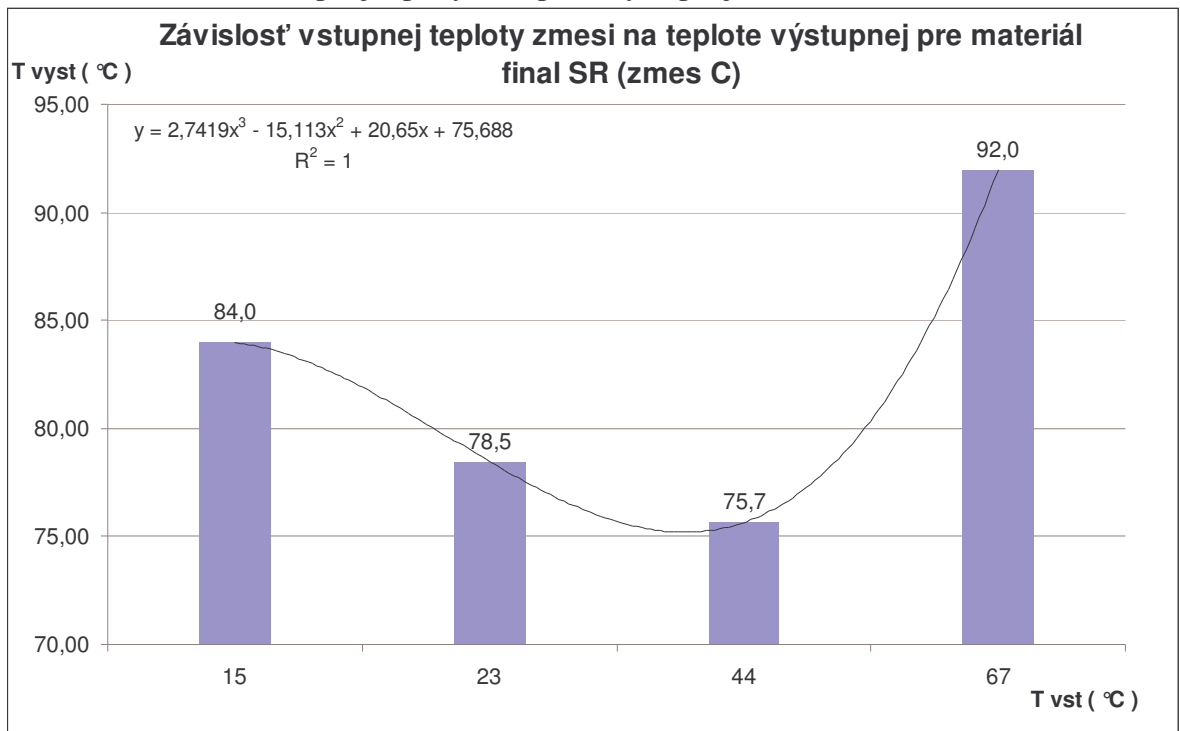
**Graf 13 -** Závislost' zat'azenia motora v čase na vstupnej teplote zmesi (zmes C)**Graf 14 -** Závislost' vykonanej práce v čase na vstupnej teplote zmesi (zmes C)

Graf č. 13 nám znázorňuje priemerné hodnoty namerané pre zmes final SR (zmes C). Z týchto grafov pozorujeme, že vplyv zmeny otáčok a zmeny vstupnej teploty na vykonanú prácu stroja je veľmi malý a väčší vplyv na vykonanú prácu má samotné zloženie zmesi.

- 2) Z nameraných výstupných teplôt materiálu som vytvoril závislosť vstupnej teploty materiálu na teplote výstupnej. Z danej závislosti vidieť, že závislosť výstupnej teploty nie je priamo úmerná teplote vstupnej a nedochádza tak k lineárnemu nárastu výstupnej teploty materiálu. Teplotu 4°C sme do tohoto vyhodnotenia nezaradili z dôvodu, že takto ochladená zmes sa v praxi nikdy nepoužíva na hnetenie.

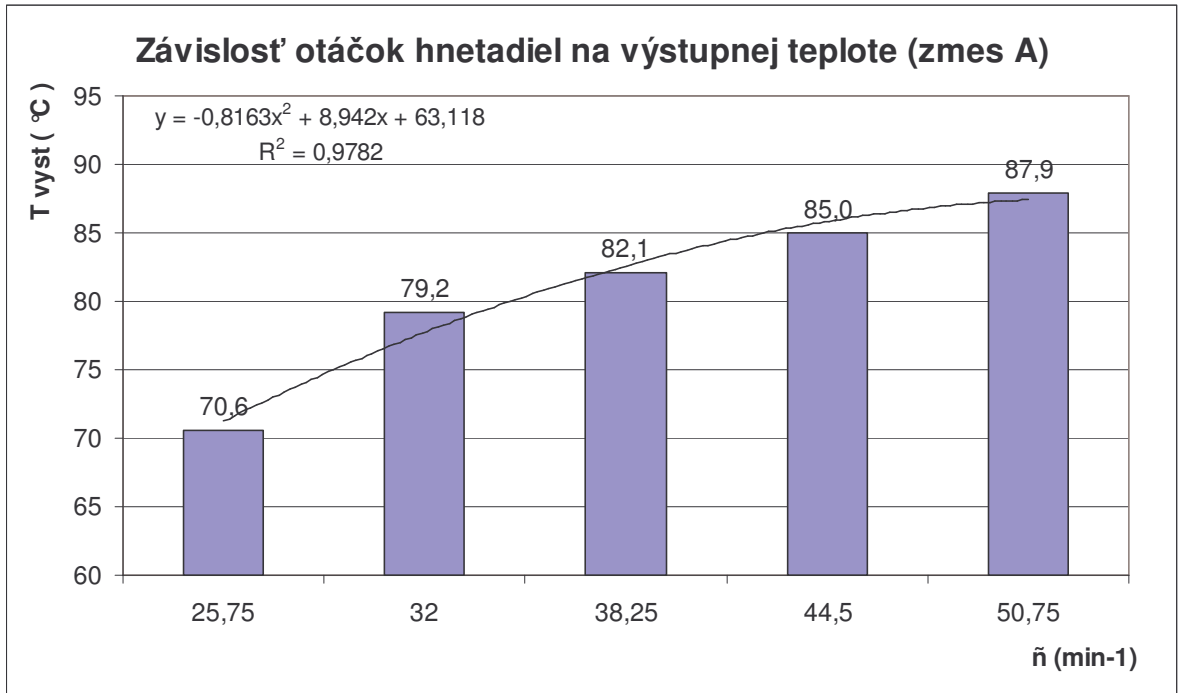
**Graf 15 -** Závislosť vstupnej teploty na teplote výstupnej (zmes A)



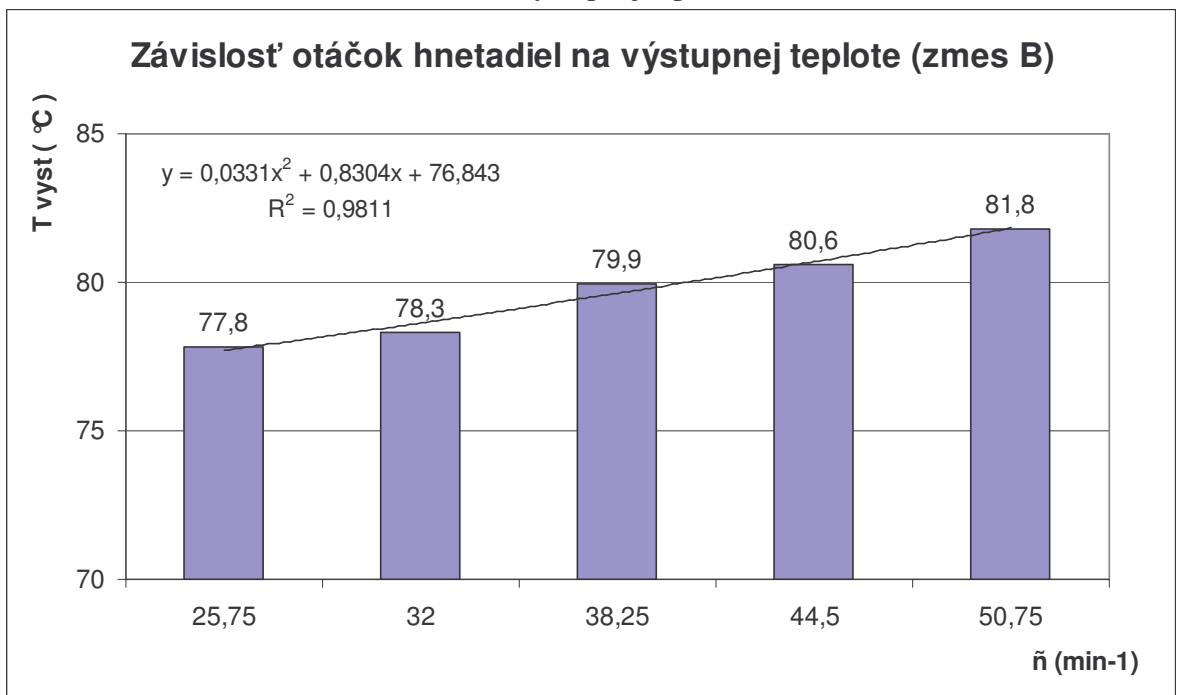
**Graf 16 - Závislost' vstupnej teploty na teplote výstupnej (zmes B)****Graf 17 - Závislost' vstupnej teploty na teplote výstupnej (zmes C)**

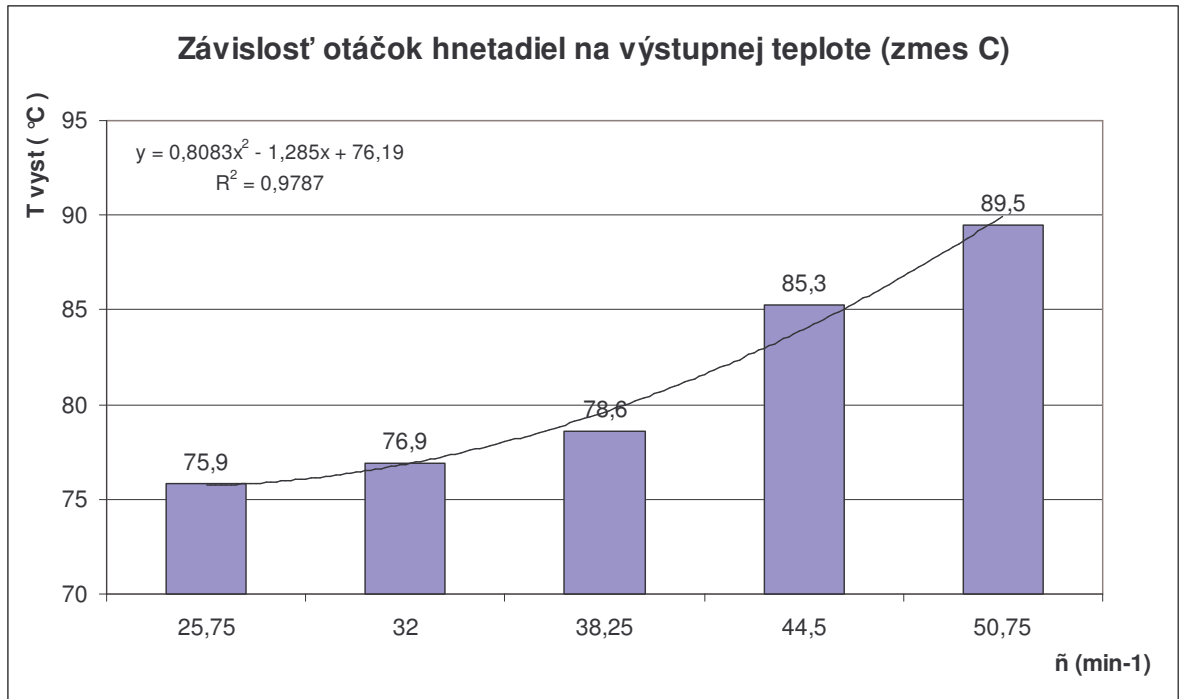
- 3) Z nameraných výstupných teplôt materiálu som potom vytvoril závislosť vstupných otáčok hnetadiel na výstupnej teplote. Z danej závislosti vyplýva, že výstupná teplota materiálu rastie so zvyšujúcimi sa otáčkami.

**Graf 18** - Závislosť otáčok hnetadiel na výstupnej teplote (zmes A)



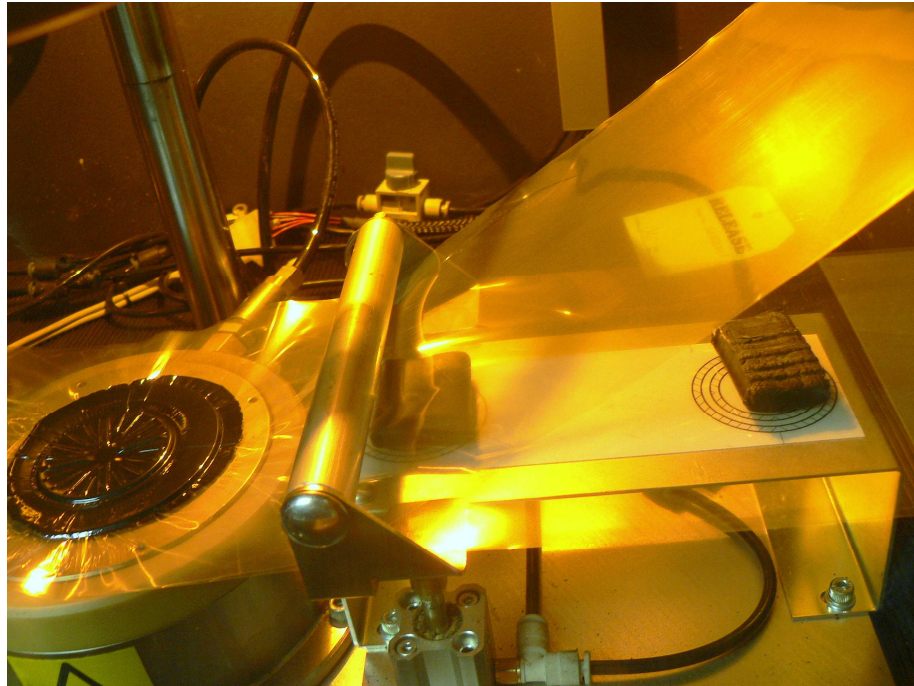
**Graf 19** - Závislosť otáčok hnetadiel na výstupnej teplote (zmes B)



**Graf 20 - Závislost' otáčok hnetadiel na výstupnej teplote (zmes C)**

## 11 MERANIE NA ZARIADENÍ RPA 2000

- 1) Pripravili sme si vzorku, ktorú sme vysekli na vysekávacom zariadení. Vzorka bola vyseknutá v podobe kvádra s veľkosťou primeranou pracovnej komore zariadenia.



*Obrázok 22 – Vzorka s pracovnou komorou prístroja RPA 2000*

- 2) Vzorku sme umiestnili na pás, ktorým bola dopravená do pracovnej komory zariadenia. Pracovná komora bola vytemperovaná na 100 °C. Softwarom, ktorý je súčasťou zariadenia sme si naštudovali daný proces, ktorý sme chceli simulovať. V našom prípade to bolo hnetenie. Naštudovali sme si teda simuláciu kde bola vzorka postupne namáhaná oscilačným krútiacim momentom so zvyšujúcou sa frekvenciou oscilácie od 0,1 Hz až do 15,9 Hz.



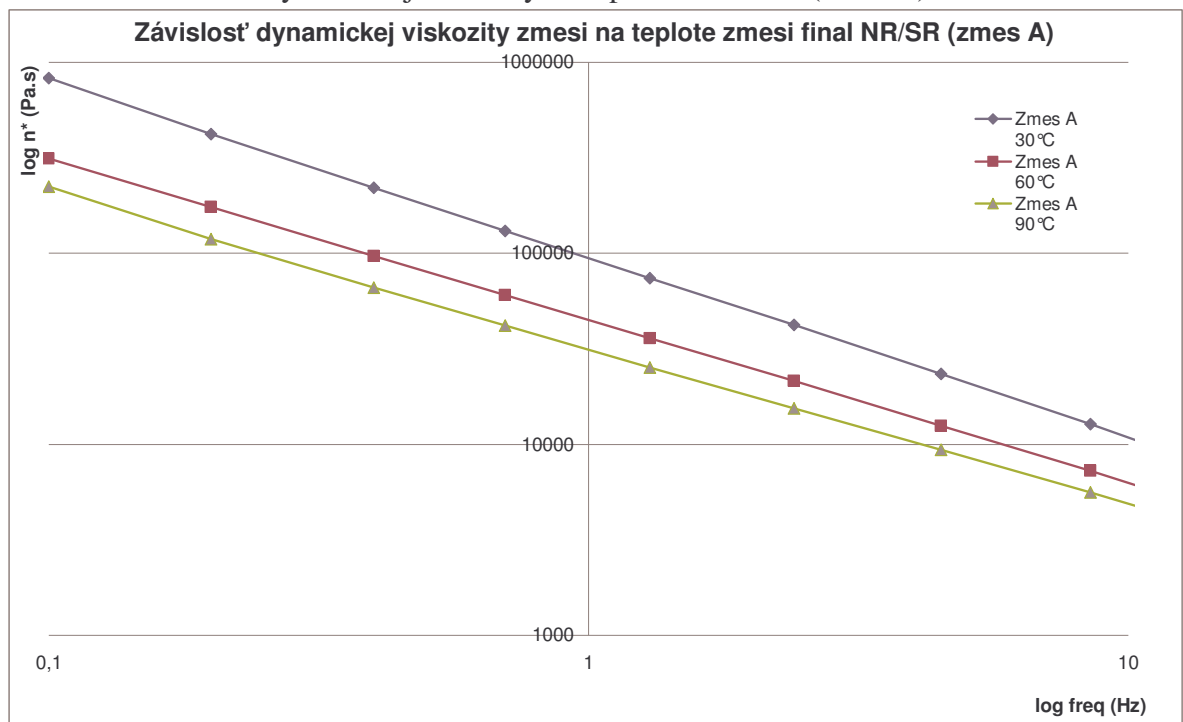


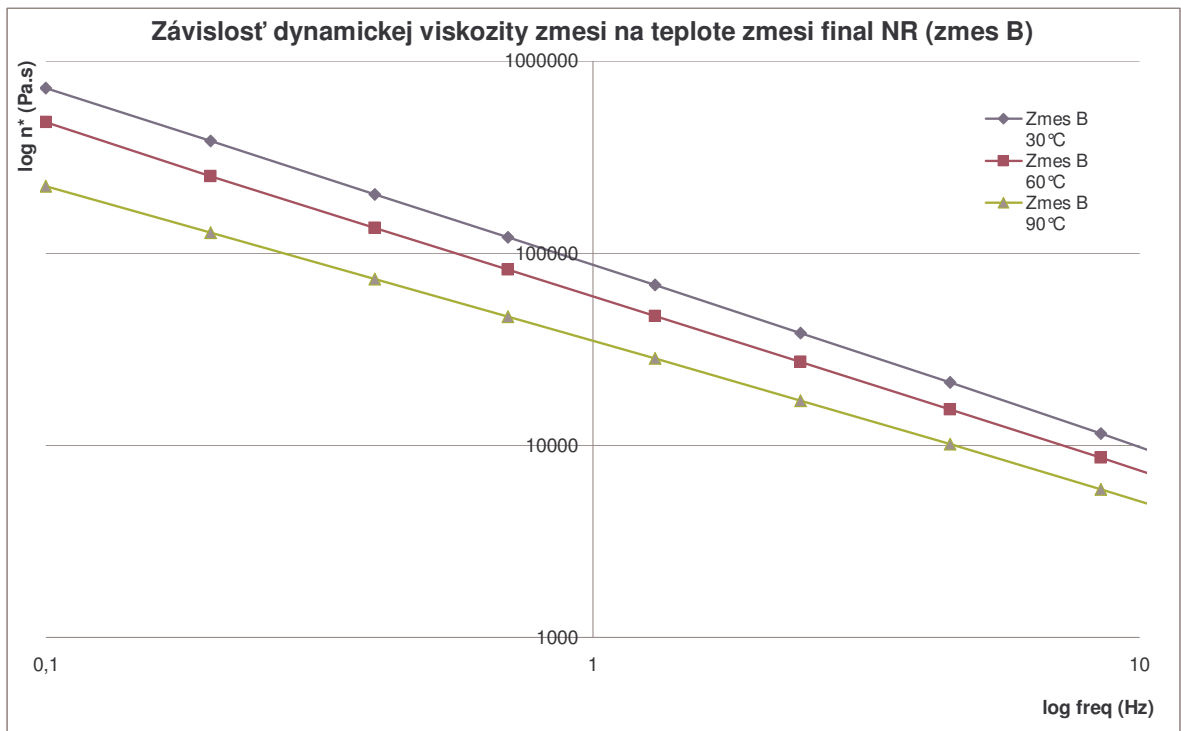
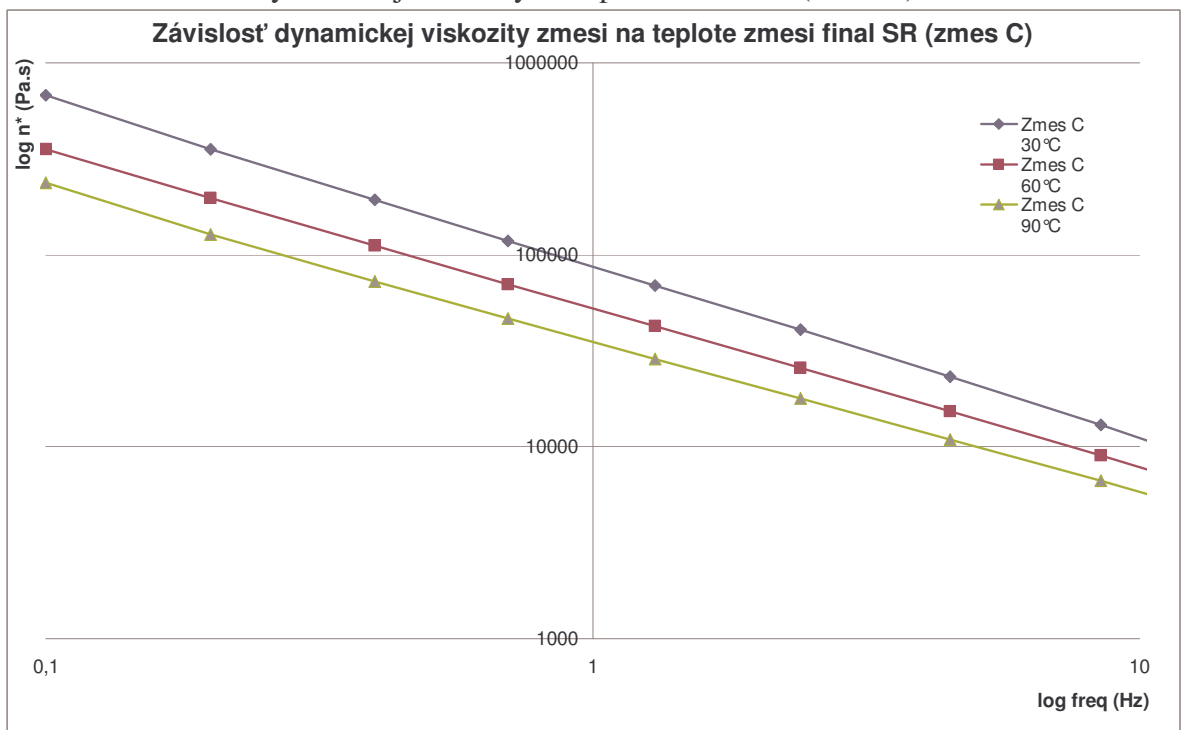
Obrázok 23 – Pracovný priestor prístroja RPA 2000

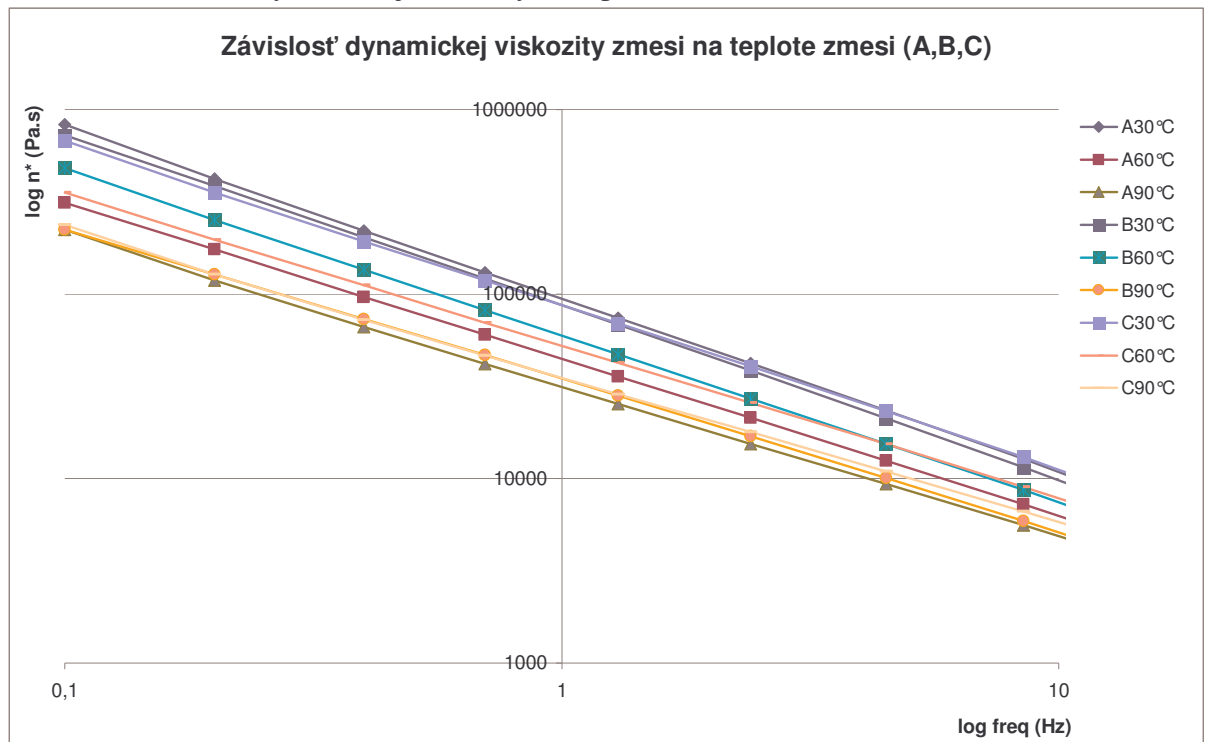
- 3) Toto meranie trvalo približne 5 minút a výsledkom boli hodnoty dynamickej viskozity pri stúpajúcej frekvencii, ktorú sme potom vyniesli do grafov.

### 11.1 Vyhodnotenie merania

Graf 21 - Závislosť dynamickej viskozity na teplote materiálu (zmes A)



**Graf 22-** Závislost' dynamickej viskozity na teplote materiálu (zmes B)**Graf 23-** Závislost' dynamickej viskozity na teplote materiálu (zmes C)

**Graf 24-** Závislost' dynamickej viskozity na teplote materiálu (zmesi A,B,C)

Do grafov sme vyniesli závislosť nameranej dynamickej viskozity na teplote zmesi pri stúpajúcej frekvencii kde sme zobrali úsek od 0,1 Hz do 10 Hz. Grafy som vytvoril pre každú zmes a posledný graf č. 24 nám porovnáva všetky 3 zmesi.

## 12 ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE

V tejto časti som zostavil tabuľky nameraných výstupných teplôt pre každú zmes a taktiež tabuľku hmotností navážky pri meraní na laboratórnom hnetiči. Vypočítal som hodnotu priemernej výstupnej teploty pre všetky vstupné podmienky merania a smerodatnú odchylku. Tiež som vypočítal priemernú hmotnosť navážky pre všetky vstupné podmienky aj so smerodatnou odchylkou.

Tabuľka č. 3 – Tabuľka výstupných teplôt pri zmene  $T$  vstup. zmes A

otáčky 38,25 ě (min-1)		zmes A				
T vstup	4	15	23	44	67	
T výst	68,2	76,7	79,9	69	87	
	69,4	77,3	81,2	71,7	89	
	65,4	79,7	81,3	73,7	90	
	66,5	79,1	80,6	76,8	88	
	71,4	81,2	82,6	75,9	89,5	
	67,5	82,4	82,3	74,7	89	
	70,3	83,4	82,7	73,4	88	
	69,1	83,2	86	78,5	90,5	
	68,5	85,2	84,5	77	89	
	66,8	82,3	78,5	76,9	87	
	68,1	82,6	80,2	81,1	88	
	66,2	83,4	81,5	79,1	89	
Priemer	<b>68,11667</b>	<b>81,375</b>	<b>81,775</b>	<b>75,65</b>	<b>88,66667</b>	
Smodch	<b>1,685642</b>	<b>2,517315</b>	<b>1,954109</b>	<b>3,215717</b>	<b>1,047484</b>	

Tabuľka č. 4 – Tabuľka výstupných teplôt pri zmene  $T$  vstup. zmes B

otáčky 38,25 ě (min-1)		zmes B				
T vstup	4	15	23	44	67	
T výst	70,5	82,9	79,2	73,3	87	
	77,5	83,8	81,3	74,8	88	
	73,3	83,5	80,8	75	89,5	
	71,1	83,8	80,9	75,9	89	
	72	83,9	79,7	77,8	90	
	73,9	84,7	78,4	76,3	90	
	72,1	81,8	78,2	74,3	86	
	73,6	81	79,6	73	88	
	72,7	81,3	81,7	74,6	88,5	
	69,1	82,1	79,6	74,4	88	
	71	83,9	80,3	75,4	91	
	71,8	83,5	79,5	74	90	
Priemer	<b>72,38333</b>	<b>83,01667</b>	<b>79,93333</b>	<b>74,9</b>	<b>88,75</b>	
Smodch	<b>2,028067</b>	<b>1,134191</b>	<b>1,047484</b>	<b>1,268858</b>	<b>1,376893</b>	

Tabuľka č. 5 – Tabuľka výstupných teplôt pri zmene  $T$  vstup. zmes C

otáčky 38,25 ě (min-1)		zmes C				
T vstup	4	15	23	44	67	
T vyst	76,2	84,6	77,7	74,2	92	
	74,4	84	79,1	71,7	91	
	78,1	83,8	78,5	72,5	90	
	73	81,8	76,8	74,2	90	
	77,8	80,8	78,9	78,7	93	
	79,7	83,9	78	78,5	92	
	72,9	84,8	77,6	78,4	92	
	74,7	83,8	77,4	75,5	93	
	73,7	84,6	79,4	73,7	93	
	71,6	83,2	76,9	75,8	92	
	73,9	86,7	79,8	80,5	93	
	70,1	85,6	81,5	74,1	92,5	
	Priemer	<b>74,675</b>	<b>83,96667</b>	<b>78,46667</b>	<b>75,65</b>	<b>91,95833</b>
Smodch	<b>2,69324</b>	<b>1,500185</b>	<b>1,302775</b>	<b>2,653457</b>	<b>1,083307</b>	

Tabuľka č. 6 – Tabuľka výstupných teplôt pri zmene otáčok hnetadiel zmes A

T = 23 °C		zmes A				
otáčky hnetadiel	25,75	32	38,25	44,5	50,75	
T vyst	63,6	73,4	79,9	84,2	86	
	63,9	72,8	81,2	87	86,4	
	61,8	76	81,3	86,7	88,2	
	70,1	73,8	80,6	83,9	87,9	
	73,6	82,8	82,6	86,3	90,9	
	74,6	82,2	82,3	86	90,8	
	67,8	73,8	82,7	83,5	87,1	
	74,4	80,7	86	87	88,1	
	73,4	76,7	84,5	85,4	88,4	
	67,8	77,6	78,5	82,6	87,6	
	72,4	80,5	80,2	84,7	86	
	72,6	80,7	81,5	83	87,5	
	Priemer	<b>69,66667</b>	<b>77,58333</b>	<b>81,775</b>	<b>85,025</b>	<b>87,90833</b>
Smodch	<b>4,390583</b>	<b>3,520851</b>	<b>1,954109</b>	<b>1,51884</b>	<b>1,531589</b>	

Tabuľka č. 7 – Tabuľka výstupných teplôt pri zmene otáčok hnetadiel zmes B

T = 23°C		zmes B				
otáčky hnetadiel	25,75	32	38,25	44,5	50,75	
T vyst	78,9	74,1	79,2	78,6	80,7	
	78,1	78,2	81,3	79,4	82,1	
	78,8	78,8	80,8	79,2	81,8	
	76,2	78,1	80,9	79,1	78,4	
	78,4	78,4	79,7	78,2	80,5	
	75	79,2	78,4	77	81,3	
	75,7	76,4	78,2	80,9	81,9	
	77,1	78,6	79,6	80,3	81,5	
	76,8	76,6	81,7	81,8	80,7	
	77,2	77,1	79,6	79,2	80	
	78,1	79,4	80,3	79,1	83,2	
	80,7	79,2	79,5	78	85,1	
Priemer	<b>77,58333</b>	<b>77,84167</b>	<b>79,93333</b>	<b>79,23333</b>	<b>81,43333</b>	
Smodch	<b>1,507113</b>	<b>1,480123</b>	<b>1,047484</b>	<b>1,243204</b>	<b>1,596524</b>	

Tabuľka č. 8 – Tabuľka výstupných teplôt pri zmene otáčok hnetadiel zmes C

T = 23°C		zmes C				
otáčky hnetadiel	25,75	32	38,25	44,5	50,75	
T vyst	75	73,9	77,7	83,6	90,1	
	75,4	78,7	79,1	82,5	91,6	
	76,8	75	78,5	81,3	92,5	
	76,4	73,1	76,8	83,4	90,9	
	75,9	72,6	78,9	84,2	88,8	
	78,3	74	78	85,1	90,4	
	75,6	72,9	77,6	86,1	88,6	
	75,8	75,2	77,4	87,6	88,4	
	74,5	79,1	79,4	87,5	87,7	
	75,4	77,2	76,9	87,6	87,1	
	76,3	76,7	79,8	85,8	89,2	
	74,9	76,4	81,5	88,9	88,6	
Priemer	<b>75,85833</b>	<b>75,4</b>	<b>78,46667</b>	<b>85,3</b>	<b>89,49167</b>	
Smodch	<b>0,971647</b>	<b>2,127205</b>	<b>1,302775</b>	<b>2,252036</b>	<b>1,597777</b>	

Tabuľka č. 9 – Tabuľka hmotností navážky pre všetky zmesi pri zmene otáčok hnetadiel

	otáčky hnetadiel				
Vstupné podmienky	<b>25,75</b>	<b>32</b>	<b>38,25</b>	<b>44,5</b>	<b>50,75</b>
Hodnoty navážky	39,8	40,4	39,8	40,5	40
	40,3	40,1	39,7	40,3	40,3
	40,5	39,5	39,7	40,4	39,7
	39,8	40,1	40,3	40	40,2
	40	40,4	40,5	39,9	40,2
	40	39,5	40,3	39,5	39,8
	40,3	40	39,6	40,1	40
	40,1	39,8	40,5	40	40
	40,3	40,2	40,5	39,8	40,1
	40,4	40,5	40,1	39,5	39,9
	40,3	39,8	39,8	39,9	40,1
	40,4	39,8	40,2	40,4	40,1
Priemer	<b>40,18333</b>	<b>40,00833</b>	<b>40,08333</b>	<b>40,025</b>	<b>40,03333</b>
Smodch	<b>0,226691</b>	<b>0,322641</b>	<b>0,331243</b>	<b>0,319179</b>	<b>0,164992</b>

Tabuľka č. 10 – Tabuľka hmotností navážky pre všetky zmesi pri zmene T vstup.

	T vstup				
Vstupné podmienky	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>44</b>	<b>67</b>
Hodnoty navážky	39,7	40	39,8	39,8	40,2
	40,2	39,6	39,7	39,8	39,8
	40,3	40,5	39,7	40,1	40,3
	40,1	39,8	40,3	39,6	40,2
	40,4	40	40,5	40,2	40
	40,5	40,2	40,3	40,1	40,1
	40,2	39,8	39,6	40,3	40,4
	39,8	39,7	40,5	39,8	40,3
	40,4	39,9	40,5	40,4	39,8
	40,4	39,9	40,1	40,2	39,6
	39,8	40,3	39,8	39,9	40
	40,2	40,3	40,2	40,5	39,8
Priemer	<b>40,16667</b>	<b>40</b>	<b>40,08333</b>	<b>40,05833</b>	<b>40,04167</b>
Smodch	<b>0,256038</b>	<b>0,261406</b>	<b>0,331243</b>	<b>0,266015</b>	<b>0,239647</b>

## DISKUSIA VÝSLEDKOV

Vo svojej diplomovej práci som sa zaoberal vplyvom vstupných parametrov na príkon miešacieho zariadenia pri homogenizácii zmesí, ktoré nám dodala spoločnosť Barum Continental s.r.o. a to vrátane ich charakteristiky. Merania som vykonával pre 3 konkrétne zmesi a to prírodný kaučuk final NR, syntetický kaučuk final SR a kombinácia prírodného kaučuku so syntetickým final NR/SR.

Merania som vykonával v laboratórnych podmienkach UTB na hnetacom zariadení Werner Pfleiderer LUK 1/0,5, ktoré má hnetaciu komoru prispôbenú na miešanie kaučukov. Výsledky, ktoré boli dosiahnuté pri meraní som spracoval do grafov, ktoré sú uvedené v tejto diplomovej práci. Výsledkom týchto meraní bolo zistenie závislosti vykonanej práce na vstupných otáčkach hnetadiel a vstupnej teplote zmesí. Pri meraní závislosti vykonanej práce na otáčkach hnetadiel zmesi final NR sa pohyboval výkon motora približne od 65 – 265W, u zmesi final SR sa tieto hodnoty pohybovali v rozmedzí 97 – 109 W a pri kombinácii zmes final NR/SR od 86 – 126W. Pri meraní závislosti vykonanej práce na vstupnej teplote materiálu boli namerané hodnoty pre final NR 110 – 250 W, pre zmes final SR 100 – 130 W a pre zmes NR/SR 80 – 170 W.

Taktiež som zisťoval závislosť výstupnej teploty na otáčkach hnetadiel a na vstupnej teplote materiálu. Namerané hodnoty výstupnej teploty pri vplyve vstupnej teploty materiálu boli pre zmes final NR v rozmedzí 74,9 – 88,8 °C, zmes final SR 75,7 – 92°C a pre zmes final NR/SR 75,7 – 88,7 °C. Pri vplyve otáčok hnetadiel boli tieto hodnoty pre zmes final NR 77,8 – 81,8 °C, zmes final SR 75,9 – 89,5 °C a pre zmes final NR/SR 70,6 – 87,9 °C.

Ďalším meraním, ktoré som na týchto troch zmesiach vykonal bolo meranie dynamickej viskozity na prístroji RPA 2000 v laboratórnych podmienkach.

Je vidieť, že rozdiel viskozity u zmesi final NR/SR vid' graf č. 21 je markantnejší medzi teplotami 30°C a 60°C oproti poklesu viskozity medzi 60°C a 90°C. U zmesi final NR vid' graf č. 22 je väčší pokles viskozity medzi 60°C a 90°C a u zmesi final SR je tento pokles medzi teplotami skoro rovnaký.

Graf č. 24 popisuje závislosť dynamickej viskozity na teplote pre všetky 3 zmesi. Vidíme že pri teplote 30°C je hodnota dynamickej viskozity najvyššia pre všetky 3 zmesi a naopak pri teplote 90°C má dynamická viskozita najnižšiu hodnotu.



## ZÁVER

V úvode mojej diplomovej práce som popisoval kaučuky a ich rozdelenie. V ďalšej časti som sa zaoberal spracovateľskými prísadami kaučukových zmesí, samotným spracovaním a takžiež som uviedol druhy ohrevu kaučukov. Spomenul som aj stroje na spracovanie kaučukových zmesí, ich rozdelenie a popis. Taktiež som venoval časť diplomovej práce popisu prístroja RPA 2000 a veličinám, ktoré sa na tomto prístroji merajú.

Praktickú časť diplomovej práce som vykonával na laboratórnom zariadení Werner Pfleiderer LUK 1/0,5. Vyhodnotenie výsledkov som vykonával pomocou programu EASY DRIVE.

Z výsledkov sa dá konštatovať, že najväčší výkon hnetacieho zariadenia bol spotrebovaný pri hnetení prírodného kaučuku s označením final NR, z čoho vyplýva, že tento materiál je najmenej poddajný a veľmi húževnatý čo je spôsobené jeho dlhšími reťazcami v porovnaní so syntetickou zmesou final SR a preto najväčšie zaťaženie motora laboratórneho zariadenia bolo pri miešaní prírodnej zmesi. Množstvo energie potrebné pre homogenizáciu kombinácie final NR/SR je dané pomerom zložiek a tieto výsledky potvrdzujú danú závislosť. Čím viac prírodnej zložky tým väčšia je spotrebovaná energia laboratórneho zariadenia. Vplyv vstupných parametrov a to otáčok hnetadiel a vstupnej teploty materiálu bol pri meraní zanedbateľný a tak prevyšoval vplyv vlastností jednotlivých zmesí.

Čo sa týka vplyvu otáčok hnetadiel na výstupnú teplotu pozorujeme tu nárast výstupnej teploty s rastúcimi otáčkami hnetadiel čo spôsobuje teplo, ktoré je vytvorené v komore disipáciou. Vplyv vstupnej teploty na teplotu výstupnú pri homogenizácii zmesí vykazuje z grafov určitú optimálnu výstupnú teplotu zmesi, čo sa môže v praxi využiť z hľadiska úspor energie. Tento efekt bol nameraný aj v prevádzkových podmienkach a bude predmetom ďalšieho hlbšieho skúmania v budúcnosti.

Z meraní na prístroji RPA 2000 vyplýva, že viskozita materiálu s rastúcou teplotou klesá, čo je všeobecne známe. U výsledných grafov je vidieť, že viskozita kaučukov sa mení aj v závislosti na zložení zmesi. Tento vplyv však nie je natoľko podstatný ako vplyv teploty materiálu.

Každé jednotlivé meranie obsahovalo približne 9000 hodnôt. Vypočítali sme ku každej sade meraní, ktorá sa vzťahovala k rovnakým vstupným podmienkam smerodatnú odchylku, ktorá sa pohybovala okolo 5 – 7 %, čo je pre dynamický proces prijateľné.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] MAŇAS Miroslav, Výrobní stroje a zařízení I, Zlín 2007. UTB Zlín, Fakulta technologická
- [2] KNAPEC Pavol, Bakalárska práca – Vplyv predohrevu kaučukových zmesí na príkon miešacieho zariadenia, Zlín 2007. UTB Zlín, Fakulta technologická
- [3] ŠPAČEK, Josef. Technologie gumárenská a plastikářská II [Skripta].1. vyd. Brno 1980. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická.
- [4] ŠTĚPÁN, M.: *Gumárenská technologie VI – teoretické základy*, SNTL Praha, 1965.
- [5] KŘÚMAL, Martin, Bakalárska práca – Konstrukční řešení míchací komory, Zlín 2007. UTB Zlín, Fakulta technologická
- [6] internet, [www.romill.cz](http://www.romill.cz)
- [7] WILCZYNSKY, Ondřej, prezentácia RPA 2000
- [8] internet, [www.nationmaster.com](http://www.nationmaster.com)
- [9] internet, [www.chemistrydaily.com](http://www.chemistrydaily.com)
- [10] internet, [www.rlhudson.com](http://www.rlhudson.com)

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

[ min <sup>-1</sup> ]	Otáčky za minútu
A	Ampér
g	Gram
IR	Infrared - Infračervené
W	Watt
mm	Milimetre
MW	Mikrovlnný
s	Sekunda
NR	Natural rubber (prírodný kaučuk)
SR	Syntetic rubber (sintetický kaučuk)
NR/SR	Kombinácia prírodného a syntetického kaučuku
T <sub>vst.</sub>	Teplota vstupná
T <sub>výst.</sub>	Teplota výstupná
T <sub>g</sub>	Teplota skelného prechodu
°C	Stupeň celzia
Hz	Herz
m <sup>2</sup>	Meter štvorcový

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>OBRÁZOK 1 ŠTRUKTÚRA DEFORMÁCIE ELASTOMEROV</i> .....	10
<i>OBRÁZOK 2 VULKANIZÁCIA</i> .....	11
<i>OBRÁZOK 3 VŠEOBECNÝ POPIS VULKAMETRICKEJ KRIVKA</i> .....	11
<i>OBRÁZOK 4 ZÍSKAVANIE LATEXU</i> .....	14
<i>OBRÁZOK 5 GUMÁRENSKÉ PRÍSADY</i> .....	18
<i>OBRÁZOK 6 DVOJVALEC ( XK 360 )</i> .....	26
<i>OBRÁZOK 7 PRINCÍP MIEŠANIA NA DVOJVALCI</i> .....	26
<i>OBRÁZOK 8 HNETACÍ STROJ ( BANBURY S 120L ), HNETADLÁ</i> .....	27
<i>OBRÁZOK 9 TYPY MIEŠADIEL A HNETADIEL</i> .....	29
<i>OBRÁZOK 9 PRÍKLADY USPORIADANIA VIACVÁLCOV</i> .....	30
<i>OBRÁZOK 10 GOUGH – JOULOV EFEKT</i> .....	38
<i>OBRÁZOK 11 RPA 2000</i> .....	39
<i>OBRÁZOK 12 PRACOVNÁ KOMORA RPA 2000</i> .....	40
<i>OBRÁZOK 13 MATERIÁL PRIPRAVENÝ DO HNETACEJ KOMORY</i> .....	43
<i>OBRÁZOK 14 SUŠIAREŇ BINDER ED</i> .....	45
<i>OBRÁZOK 15 - TEMPERAČNÉ ZARIADENIE NA OHREV PRACOVNEJ KOMORY</i> .....	46
<i>OBRÁZOK 16 - FREKVENČNÝ MENIČ</i> .....	47
<i>OBRÁZOK 17 – DIGITÁLNE VÁHY DENVER INSTRUMENT ( ± 0,1 G )</i> .....	48
<i>OBRÁZOK 18 – KOMORA LABORATÓRNEHO ZARIADENIA</i> .....	49
<i>OBRÁZOK 19 – LABORATÓRNE ZARIADENIE WERNER PFLEIDERER LUK 1/0,5</i> ....	50
<i>OBRÁZOK 20 – TEPLOMER TESTO 110</i> .....	51
<i>OBRÁZOK 21 – GRAF Z PROGRAMU EASY DRIVE</i> .....	52
<i>OBRÁZOK 22 – VZORKA S PRACOVNOU KOMOROU PRÍSTROJA RPA 2000</i> .....	64
<i>OBRÁZOK 23 – PRACOVNÝ PRIESTOR PRÍSTROJA RPA 2000</i> .....	65

**ZOZNAM GRAFOV**

GRAF 1 - VPLYV TEPLoty NA ÚČINNOSŤ PLASTIKÁCIE.....	24
GRAF 2 - POROVNANIE OHREVOV .....	36
GRAF 3 - ZÁVISLOSŤ ZAŤAŽENIA MOTORA V ČASE NA RÝCHLOSTI OTÁČANIA HNETADIEL (ZMES A).....	53
GRAF 4 - ZÁVISLOSŤ VYKONANEJ PRÁCE V ČASE NA RÝCHLOSTI OTÁČANIA HNETADIEL (ZMES A).....	54
GRAF 5 - ZÁVISLOSŤ ZAŤAŽENIA MOTORA V ČASE NA RÝCHLOSTI OTÁČANIA HNETADIEL (ZMES B).....	55
GRAF 6 - ZÁVISLOSŤ VYKONANEJ PRÁCE V ČASE NA RÝCHLOSTI OTÁČANIA HNETADIEL (ZMES B).....	55
GRAF 7 - ZÁVISLOSŤ ZAŤAŽENIA MOTORA V ČASE NA RÝCHLOSTI OTÁČANIA HNETADIEL (ZMES C).....	56
GRAF 8 - ZÁVISLOSŤ VYKONANEJ PRÁCE V ČASE NA RÝCHLOSTI OTÁČANIA HNETADIEL (ZMES C).....	56
GRAF 9 - ZÁVISLOSŤ ZAŤAŽENIA MOTORA V ČASE NA VSTUPNEJ TEPLOTE ZMESI (ZMES A) .....	57
GRAF 10 - ZÁVISLOSŤ VYKONANEJ PRÁCE V ČASE NA VSTUPNEJ TEPLOTE ZMESI (ZMES A) .....	57
GRAF 11 - ZÁVISLOSŤ ZAŤAŽENIA MOTORA V ČASE NA VSTUPNEJ TEPLOTE ZMESI (ZMES B) .....	58
GRAF 12 - ZÁVISLOSŤ VYKONANEJ PRÁCE V ČASE NA VSTUPNEJ TEPLOTE ZMESI (ZMES B) .....	58
GRAF 13 - ZÁVISLOSŤ ZAŤAŽENIA MOTORA V ČASE NA VSTUPNEJ TEPLOTE ZMESI (ZMES C) .....	59
GRAF 14 - ZÁVISLOSŤ VYKONANEJ PRÁCE V ČASE NA VSTUPNEJ TEPLOTE ZMESI (ZMES C) .....	59
GRAF 15 - ZÁVISLOSŤ VSTUPNEJ TEPLoty NA TEPLOTE VÝSTUPNEJ (ZMES A) .....	60
GRAF 16 - ZÁVISLOSŤ VSTUPNEJ TEPLoty NA TEPLOTE VÝSTUPNEJ (ZMES B) .....	61

GRAF 17 - ZÁVISLOSŤ VSTUPNEJ TEPLoty NA TEPLOTE VÝSTUPNEJ (ZMES C) .....	61
GRAF 18 - ZÁVISLOSŤ OTÁČOK HNETADIEL NA VÝSTUPNEJ TEPLOTE (ZMES A) .....	62
GRAF 19 - ZÁVISLOSŤ OTÁČOK HNETADIEL NA VÝSTUPNEJ TEPLOTE (ZMES B) .....	62
GRAF 20 - ZÁVISLOSŤ OTÁČOK HNETADIEL NA VÝSTUPNEJ TEPLOTE (ZMES C) .....	63
GRAF 21 - ZÁVISLOSŤ DYNAMICKEJ VISKOZITY NA TEPLOTE MATERIÁLU (ZMES A) .....	65
GRAF 22- ZÁVISLOSŤ DYNAMICKEJ VISKOZITY NA TEPLOTE MATERIÁLU (ZMES B) .....	66
GRAF 23- ZÁVISLOSŤ DYNAMICKEJ VISKOZITY NA TEPLOTE MATERIÁLU (ZMES C) .....	66
GRAF 24- ZÁVISLOSŤ DYNAMICKEJ VISKOZITY NA TEPLOTE MATERIÁLU (ZMESI A,B,C).....	67

**ZOZNAM TABULIEK**

<i>TABUĽKA Č. 1 CHARAKTERISTIKA ZMESI .....</i>	44
<i>TABUĽKA Č. 2 - PREPOČTOVÁ TABUĽKA OTÁČOK HNETADIEL .....</i>	50
<i>TABUĽKA Č. 3 – TABUĽKA VÝSTUPNÝCH TEPLÔT PRI ZMENE T VSTUP. ZMES A. ....</i>	68
<i>TABUĽKA Č. 4 – TABUĽKA VÝSTUPNÝCH TEPLÔT PRI ZMENE T VSTUP. ZMES B. ....</i>	68
<i>TABUĽKA Č. 5 – TABUĽKA VÝSTUPNÝCH TEPLÔT PRI ZMENE T VSTUP. ZMES C. ....</i>	69
<i>TABUĽKA Č. 6 – TABUĽKA VÝSTUPNÝCH TEPLÔT PRI ZMENE OTÁČOK HNETADIEL ZMES A .....</i>	69
<i>TABUĽKA Č. 7 – TABUĽKA VÝSTUPNÝCH TEPLÔT PRI ZMENE OTÁČOK HNETADIEL ZMES B .....</i>	70
<i>TABUĽKA Č. 8 – TABUĽKA VÝSTUPNÝCH TEPLÔT PRI ZMENE OTÁČOK HNETADIEL ZMES C .....</i>	70
<i>TABUĽKA Č. 9 – TABUĽKA HMOTNOSTÍ NAVÁŽKY PRE VŠETKY ZMESI PRI ZMENE OTÁČOK HNETADIEL .....</i>	71
<i>TABUĽKA Č. 10 – TABUĽKA HMOTNOSTÍ NAVÁŽKY PRE VŠETKY ZMESI PRI ZMENE T VSTUP. ....</i>	71

## **ZOZNAM PRÍLOH**

PRÍLOHA Č. 1 – VYHODNOTENIE DYNAMICKEJ VISKOZITY ZMES A

PRÍLOHA Č. 2 – VYHODNOTENIE DYNAMICKEJ VISKOZITY ZMES B

PRÍLOHA Č. 3 – VYHODNOTENIE DYNAMICKEJ VISKOZITY ZMES C