

# Vplyv predohrevu kaučukových zmesí na príkone miešacieho zariadenia

Pavol Knapec

---

Bakalárska práca  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2006/2007

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavol KNAPEC**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vplyv predohrevu kaučukových zmesí na príkon miešacieho zariadenia**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literárne študium na danú tému
2. Navrhните technologický postup merania vplyvu predohrevu kaučukových zmesí na príkone miešacieho zariadenia
3. Prevedte experimentálne skúšky v laboratórných podmienkách
4. Prevedte vyhodnocovanie experimentálnych skúšiek

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ŠPAČEK, Josef. **Technologie gumárenská a plastikářská II** ISkripta 1. vyd. Brno 1980. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická.
2. FRANTA, I. A KOLEKTIV: **Gumárenská Technologie I — gumárenské suroviny**. 2. vyd. Praha 1979
3. INTERNET : [www.romill.cz](http://www.romill.cz)
4. MAŇAS, M. — TOMIS, F.: **Výrobní stroje a zařízení — gumárenské a plastikářské stroje I**. 1. vyd. Brno 1987 — VUT v Brně.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Richard Pospíšil**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

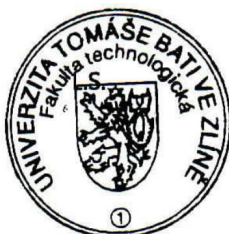
**13. února 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**31. května 2007**

Ve Zlíně dne 17. ledna 2007

  
prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.  
děkan



  
doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.  
ředitel ústavu

## **ABSTRAKT**

V mojej bakalárkovej práci som zisťoval vplyv vstupnej teploty materiálu na energiu, ktorú musíme vynaložiť na homogenizáciu gumárenskej zmesi na miešacom laboratórnom zariadení. Tento experiment som robil pri dvoch rôznych rýchlostiach otáčania miešadiel a pre každú otáčku som mal zmes predohriatú či zchladenú na päť konkrétnych teplôt.

Kľúčové slová : kaučuk, elastomerná zmes, miešanie, predohrev, hnetič,

## **ABSTRACT**

In my bachelor work I tried to find out the influence of entrance temperature of material on energy, which we must do on homogenization of rubber compound on the mixing laboratory machine. I did this experiment with two different speed of the stirrers rotation and I had compound reheated or recooled for five concrete temperatures for each of the rotation.

The key word : rubber, rubbers mixture, stirring, reheating, kneader

## **POĎAKOVANIE**

Touto cestou by som rád poďakoval svojmu vedúcemu bakalárskej 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 bakalárskej práce a riaditeľa ústavu. V prípade publikácie budem uvedený ako spoluautor.

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

V Rosine, 14.12.2006

.....

Pavol Knapec

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	8
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ</b> .....	9
<b>1 ELASTOMERY</b> .....	10
1.1 Delenie elastomerov.....	10
1.1.1 Vlastnosti elastomerov.....	10
1.2 Vznik pryže.....	11
1.3 Prírodný kaučuk.....	11
1.4 Syntetické kaučuky.....	11
<b>2 ZLOŽENIE ZMESI</b> .....	14
2.1 Plastikačné činidlá.....	14
2.2 Vulkanizačné činidlá.....	15
<b>3 PRÍPRAVA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ</b> .....	16
3.1 Plastikácia kaučuku.....	16
3.1.1 Hlavné faktory ovplyvňujúce výslednú plasticitu kaučuku.....	16
3.2 Mechanizmus plastikácie.....	17
<b>4 SPÔSOBY MIEŠANIA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ</b> .....	19
4.1 Miešanie kaučukovej zmesi na dvojvalci.....	19
4.1.1 Valce.....	20
4.2 Miešanie kaučukovej zmesi v hnetacom stroji.....	21
4.2.1 Niektoré typy hnetičov.....	22
4.3 Výrobné linky s viacvalcami.....	24
<b>5 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY ZDIEĽANIA TEPLA A OHREVOV</b> .....	26
5.1 Zdieľanie tepla vedením(kondukcia).....	26
5.2 Zdieľanie tepla prúdením(konvekcia).....	26
5.3 Ohrev infračerveným žiarením.....	26
5.3.1 IR žiarenie.....	26
5.4 Dielektrický ohrev (mikrovlnný).....	27
5.4.1 Chovanie látok v elektromagnetickom poli.....	27
5.5 Dielektrický ohrev gummy.....	28
5.6 História a trendy predohrevu gummy.....	28
5.6.1 Predohrev pred vulkanizáciou lisovanej gummy.....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČASŤ</b> .....	31
<b>6 CIEĽ BAKALÁRSKEJ PRÁCE</b> .....	32
<b>7 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU</b> .....	33
7.1 Zloženie zmesi.....	33
7.2 Vulkametrická krivka.....	34
7.3 Popis vulkametrickej krivky.....	35
<b>8 PRÍPRAVA NA SAMOTNÉ MERANIE</b> .....	37
8.1 Príprava materiálu.....	37
8.2 Príprava laboratórneho zariadenia.....	37
<b>9 POSTUP PRI MERANÍ</b> .....	40
9.1 Teplomer TESTO 110.....	43
9.2 Vyhodnotenie dát.....	43
9.2.1 Kľzavý priemer.....	44
9.3 Grafy pri otáčkach 5.0.....	45
9.4 Grafy pri otáčkach 6.0.....	49
<b>10 VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH INFORMÁCIÍ</b> .....	54
<b>ZÁVER</b> .....	56

<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>57</b>
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>58</b>
<b>ZOZNAM GRAFOV .....</b>	<b>59</b>
<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>60</b>

## ÚVOD

Vývoj v oblasti gumárenských surovin je veľmi rýchly. Počet druhov prísad používaných pri výrobe kaučukových zmesí ide do stoviek, niektoré z nich sú vzájomne zameniteľné, ale v niektorých prípadoch majú jedinečné a nenahraditeľné vlastnosti. Kaučukové zmesi umožňujú vyrábať mnoho materiálov s vlastnosťami, ktorých nie je možno docíliť žiadnym iným nekaučukovým materiálom.

Základný a najdôležitejší proces v gumárenskej technológii je miešanie. Do procesu miešania gumárenských zmesí vstupuje mnoho faktorov, ktoré ovplyvňujú celkovú spotrebu energie. Tieto faktory je nutné sledovať a posudzovať z rôznych hľadísk. Hľadisko energetické patrí medzi najdôležitejšie. Patrí sem energia samotnej zmesi, energia na teplotu komory a pohon hnetadiel. Gumárenská zmes obsahuje okrem kaučuku priemerne až desať zložiek. Účelom miešania je zaistiť čo najpresnejšie rozptýlenie týchto zložiek v kaučukovej zmesi.

Dôležitou súčasťou spracovania kaučukových zmesí je ich predohrev. Predohrev pred vulkanizáciou urýchľuje tento proces. Keďže gumavá zmes je tepelný izolant. Najväčšie využitie má mikrovlnný predohrev gúmy.



# **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.

## 1.1 Delenie elastomerov

- prírodný kaučuk,
- syntetické kaučuky

### 1.1.1 Vlastnosti elastomerov

1. Veľká dĺžka reťazcov:  $P > 1000$  (umožňuje dostatočné zapletenie),
2. Amorfná štruktúra v nedeformovanom stave v dôsledku:
  - zníženej symetrie, veľká pohyblivosť segmentov
  - zmenšenie makromolekulárnych síl,
3.  $T_g < -40^\circ\text{C}$ ,
4. Musí mať možnosť riedkeho nasiet'ovania → zábrana plastickej deformácie pri zaťažení  
→ prechod od plastickej deformácie k elastickej.

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).

## **1.2 Vznik pryže**

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.

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

## **1.3 Prírodný kaučuk**

Je obsiahnutý v mliečnej šťave latexu rôznych rastlín rastúcich v rovníkovej oblasti. 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.

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.

## **1.4 Syntetické kaučuky**

*Butadienový kaučuk* - bol prvým vyrábaným syntetickým kaučukom vôbec – za katalýzy kovovým sodíkom alebo draslíkom.

*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.

*Fluorouhlikové 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. [1]

## 2 ZLOŽENIE ZMESI :

- zmes kaučukov,
- vulkanizačné činidlo,
- urýchľovač vulkanizácie,
- aktivátor urýchľovača,
- plnivá – aktívne (sadze),
  - pasívne (krieda, kaolín),
- pigmenty (ak niesú plnivom sadze),
- zmekčovadlá (pre zmekčenie zmesí, zlepšenie pružnosti, priľnavosti, napr. minerálne oleje a stearany),
- antioxidanty (spomaľujú stárnutie pryže spôsobené vzdušným kyslíkom O<sub>3</sub>, slnečným žiarením). [4]

### 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 [1]

## 2.2 Vulkanizačné činidlá

Podstatou vulkanizácie je vytvárenie 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. [1]

### 3 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. [1]

#### 3.1 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 nevyhnutelne 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. [1]

##### 3.1.1 Hlavné faktory ovplyvňujúce výslednú plasticitu kaučuku

*Pri plastikácii na dvojvalci:*

- množstvo kaučuku na valcoch,
- priemer valcov,
- obvodová rýchlosť valcov,
- sklzový pomer,
- šírka štrbiny medzi valcami,
- teplota kaučuku,
- druh a koncentrácia plastikačného činidla,
- doba plastikácie.



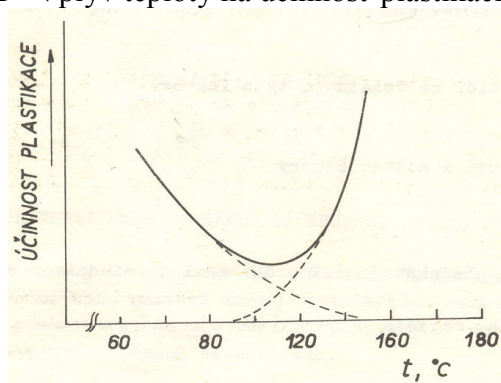
*Pri plastikácii v hnetiči:*

- rozmery hnetiča,
- geometria hnetadiel,
- šírka štrbiny medzi chrbtami rotorov a stenou komory,
- stupeň zaplnenia hnetiča,
- tlak na horný uzáver,
- otáčky hnetadiel,
- teplota kaučuku,
- druh a koncentrácia plastikačného činidla,
- doba plastikácie. [1]

### **3.2 Mechanismus 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 rýchlej 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.

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

## 4 SPÔSOBY MIEŠANIA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ

Príprava zmesí a zvlášť ich miešanie je jedným z najdôležitejších procesov v gumárenskom priemysle. Gumárenská zmes obsahuje okrem samotného kaučuku v priemere až 10 zložiek (prímesí). Každá z nich má špecifickú úlohu a preto účelom miešania je zabezpečiť čo najrovnomernejšie rozptýlenie týchto zložiek v celej kaučukovej zmesi.

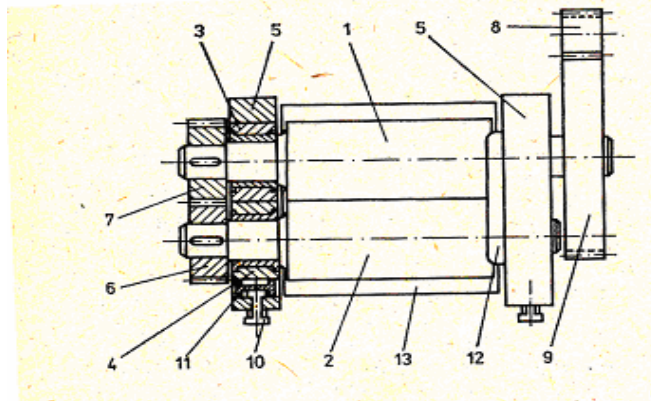
Zmesi sa miešajú buď na 2-válcoch, v hnetacích strojoch, alebo v kontinuálnych zariadeniach. Zmesi sa dnes pripravujú hlavne v hnetičoch. [1]

### 4.1 Miešanie kaučukovej zmesi na dvojvalci

Miešanie zmesí na 2-valci nie je dnes už vhodný spôsob miešania, hlavne pokiaľ sa jedná o produktivitu. Používa sa iba na prípravu špeciálnych zmesí v malých množstvách, pre farebné zmesi s vysokými nárokmi na dodržanie odtieňa a zmesí pre hubovú pryž. Inak bývajú 2-válce zaradené v linkách za periodicky pracujúce hnetiče a ich účelom je ochladenie zmesi, domiešanie vulkanizačných prísad a homogenizácia zmesi. Dvojvalce sa tiež používajú k predohrievaniu zmesí pred ďalším spracovaním. Prísady sa primiešavajú do kaučuku väčšinou na 2-valci, ktorého valce nemajú rovnakú obvodovú rýchlosť.

Zariadenie sa skladá z dvoch oceľoliatinových valcov rovnobežne horizontálne uložených, ktoré sa otáčajú rôznou rýchlosťou oproti sebe. Sklz valcov býva 1:1,2 – 1:1,1,5. Pre syntetické kaučuky s malou pevnosťou sa používa menší sklz. Valce sú duté alebo inak prispôsobené (napr. Majú navítrané otvory) pre chladenie vodou, poprípade vyhrievanie parou.

Dobu miešania je možné skrátiť pridaním zmäkčovadiel súčasne s plnivami. To skraca dobu miešania, ale dispergácia plnív v zmesi nie je dokonalá, čo zhoršuje niektoré fyzikálne vlastnosti pryží (napr. Odolnosť k opotrebeniu, pevnosť a elektrickú vodivosť).



Obrázok 1 - Dvojvalec

1-zadný valec, 2-predný valec, 3,4-ložisko valcov,5-stojan, 6,7-ozubené kolieska, 8-pastorek, 9-veľké ozubené koliesko,10-stavacie skrutky, 11-bezpečnostná tlaková poistka, 12-stieracie dosky,13-vaňa,[1]

#### 4.1.1 Valce

Dĺžka valcov sa volí 2 až 3D (D – priemer valca). Najmenšie dvojvalce majú valce priemeru 200 až 315 mm, najväčšie 560 až 710 mm. Z hľadiska kapacity dvojvalcov by bolo výhodne vyrábať stroje s dlhými valcami. Avšak so zväčšovaním dĺžky valcov rastie namáhanie valca ohybom, ktoré vzhľadom k materiálu valcov a prípustnej hrúbke stien nemôže prekročiť určité hodnoty. Povrch valcov je brúsený. Iba dvojvalec pre drtenie studených pásov kaučukovej zmesi majú valce pozdĺžne rýhované.

Valce sú najčastejšie z kokilovej liatiny, aby mali veľmi tvrdý a odolný povrch. Aby sa mohli temperovať, sú duté. Priemer dutiny sa rovná 1/3 až 1/2 vonkajšieho priemeru a ich povrch musí byť hladko obrobený. Tým sa zabráni usadzovaniu nečistôt z vody a zhoršovaniu prestupu tepla. Temperovacie médium vstupuje a vystupuje hrdlom alebo vstupnou hlavou. Druhý spôsob umožňuje použitie chladiacej vody i vyhrievacej pary. Množstvo hmoty, ktoré ide na dvojvalcoch spracovávať, závisí na množstve činiteľov, ako sú rozmery valcov, veľkosť štrbiny medzi valcami, vlastnosti hmoty a hlavne technologický pochod, ktorý má byť na dvojvalci prevedený. Na dvojvalci s dĺžkou valcov 1500 mm ide spracovávať dávka objemu 30 až 55 l, na valcoch dlhých 2100 mm sa vojde dávka 120 až 150 l.

Čapy valcov sú najčastejšie uložené v klzných ložiskách mazaných tukom. Sú lacnejšie, ľahšie sa montujú a opravujú než ložiská valivé. Dvojvalce, ktoré pracujú za zťažených podmienok majú ložiská chladené vodou. [5]

## 4.2 Miešanie kaučukovej zmesi v hnetacom stroji

Najobtiažnejšie 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. Ďalej DROGIN vo svojej štúdií o vplyve miešania na disperziu sadzí ukázal, že krátke doby miešania kaučuku vedú v pryži k vyšším modulom, väčšej pevnosti v ťahu a lepšej odolnosti proti opotrebeniu než dlhšie doby miešania.

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.

### *Postup miešania:*

V hnetacom stroji sa zmes mieša *jednostupňovo* alebo *dvojstupňovo*. Pre jednostupňovom miešaní sa do stroja dá 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 )

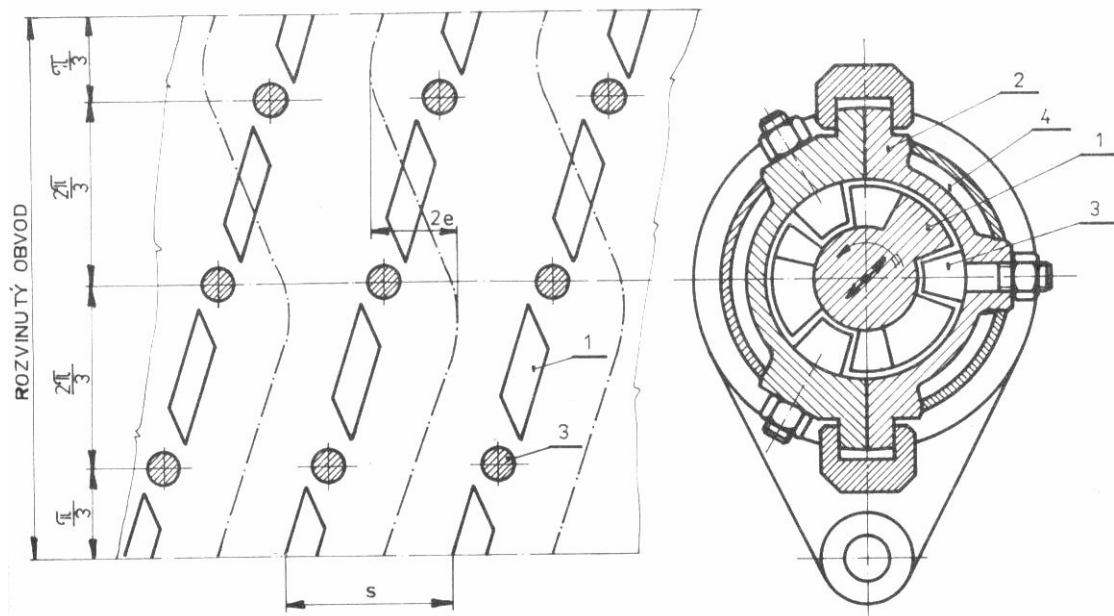
a v druhom sa do chladnej zmesi zamieša síra alebo síra s ostatnými vulkanizačnými prísadami. Tento spôsob má priaznivý vplyv na dispergáciu vulkanizačných prísad, pretože sa primiešavajú do chladnej zmesi. [ 3 ]

#### 4.2.1 Niektoré typy hnetičov

##### Hnetič KO

Tento hnetič sa používa k príprave zmesí PVC, má šnek s prerušovaným závitom, ktorý koná zložený rotačný a axiálne oscilačný pohyb. Čapy 3 zabraňujú pohybu materiálu so šnekom a vytvárajú so šnekovým závitom štrbiny s intenzívnym hnetením. Šnek 1 je poháňaný cez prevodovku. Hriadeľ 1 prechádza drážkovaným púzdom 2 a je uchytený v axiálnom uložení 5, ktoré je spojené ojnicami 4 s výstredníkmi 3. Otáčavý pohyb od remenice sa prenáša ozubenými prevodmi na výstredníkový hriadeľ a kuželovými kolieskami na púzdro 2. Hriadeľ tak dostáva súčasne rotačný a osovo posuvný vratný pohyb. Zdvih je daný veľkosťou výstrednosti  $e$ .

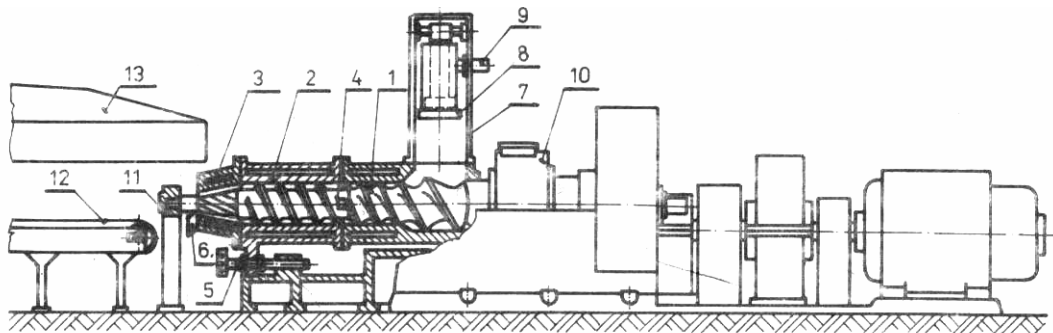
Hnetiče KO sa používajú tiež ako zásobovacie jednotky pre valcovacie stroje na fólie. [6]



Obrázok 2 - Funkcia KO hnetiča  
1-šnek, 2-pracovný valec, 3-čap, 4-temperačná komora

## Hnetič Gordon

K plastikácii prírodného kaučuku sa používa šnekový hnetič **Gordon**. Šnek 1 sa otáča v pracovnom valci 2, ktorý má chladiace komory. Šnek 1 má vrtanie pre vodné chladenie, je uložený v robustnom ložisku 10 a pomocnom ložisku 11. Asi v polovici ja závit šneku prerušený a do tohto priestoru zasahujú profily 4, ktoré prekladajú kaučuk pred vstupom do druhej časti šneku.. K nastavovaniu polohy hlavy slúži pohybová skrutka 5. Nútené podávanie kaučuku do šneku 1 zaisťuje pneumatický baran 8. K zaisteniu polohy v zdvihnutej polohe slúži západka 9. Plastikovaný kaučuk vystupuje z hlavy 3 v tvare hadice, ktorá sa ihneď rozrezáva nožom 6 a rozvinuje do pásu. Pás sa ďalej chladí na dopravníku 12. [6]

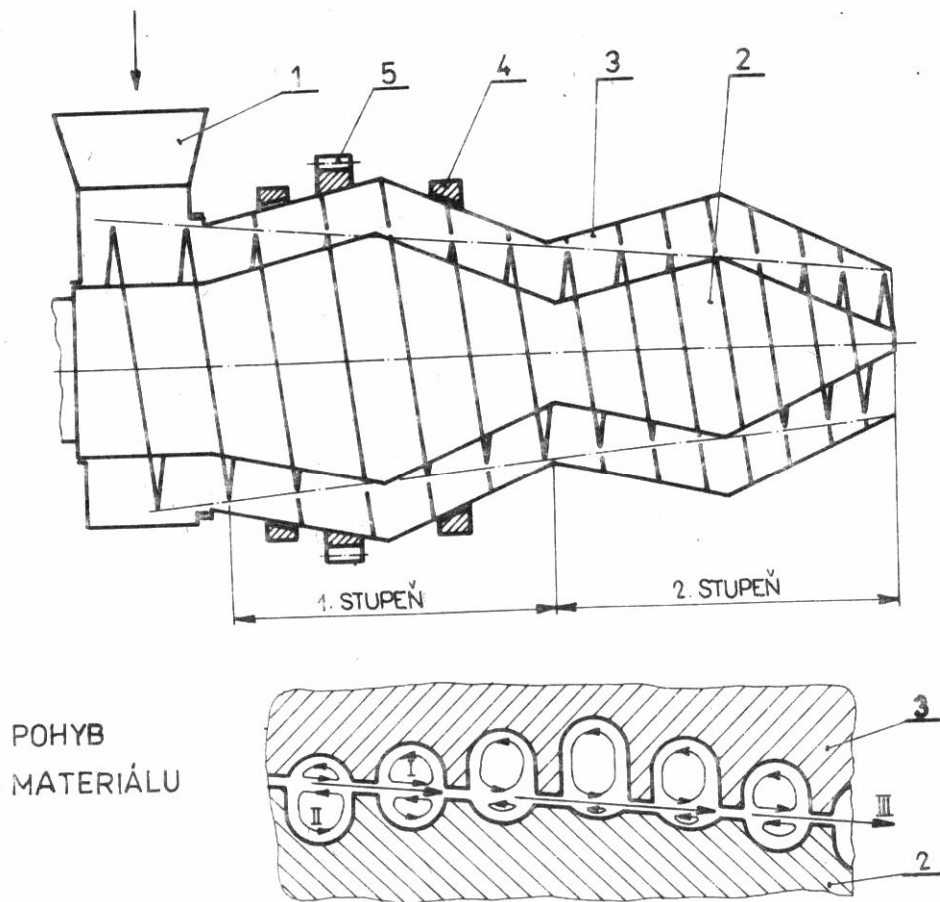


Obrázok 3 - Hnetič Gordon

1-šnek, 2-pracovný valec, 3-hlava, 4-profil, 5-pohybová skrutka, 6-nôž, 7-násypka, 8-  
baran, 9-západka, 10-ložisko, 11-pomocné ložisko, 12-dopravník, 13-odsávací kryt

## Hnetič Transfermix

Tento typ hnetiča má šnek kuželového tvaru a hĺbka šnekového profilu sa po dielcoch šneku mení. Pôvodný hlboký profil postupne mizne a jeho hĺbka sa opäť zväčšuje. Závitový profil má však také valce 3, ktoré prípadne môžu mať obrátený zmysel otáčania než šnek 2. Takéto usporiadanie šnekových profilov umožňuje intenzívne hnetanie materiálu v celej hĺbke. [6]



Obrázok 4 - Hnetič Transfermix  
1-násypka, 2-šnek, 3-valec, 4-uloženie valca, 5-pohon valca

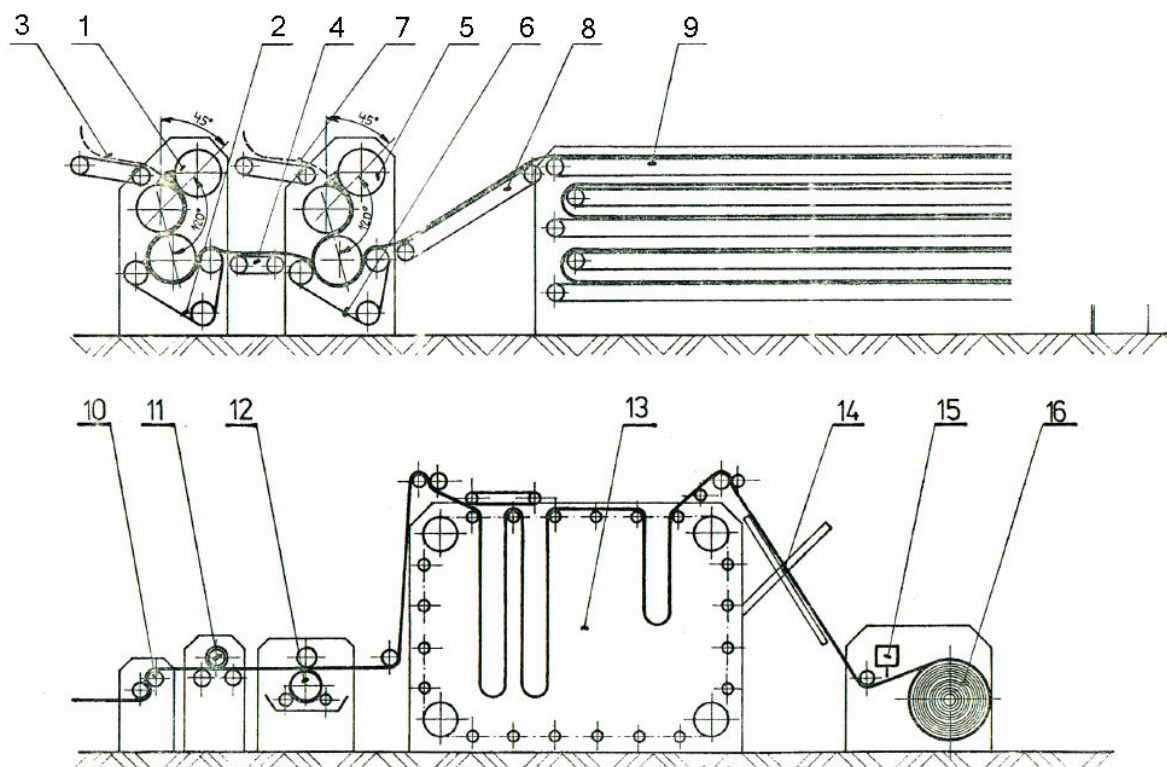
### 4.3 Výrobné linky s viacvalcami

Kontinuálna činnosť viacvalcov vyžaduje ich plynulé zásobovanie polotovarmi i plynulé odvádzanie finálneho výrobku. Mimo to, požiadavky kladené na konštrukciu viacvalcov spôsobujú, že sa viacvalce stávajú drahou investíciou, ktorá sa oplatí len pri veľkej výkonnosti stroja.

Tieto, ale i ďalšie skutočnosti si vyžadujú usporiadanie viacvalcov do výrobných liniek, v ktorých sú všetky úkony spojené s prípravou a spracovaním vlastného materiálu, mechanizované či automatizované v nepretržitom slede. Pritom treba dbať, aby celková efektívnosť výrobnéj linky bola čo najväčšia (napr. spotreba energie na jednotku množstva spracovaného materiálu má byť čo najmenšia).



Celkové riešenie a usporiadanie výrobnjej linky je ovplyvnené predovšetkým finálnym výrobkom, ďalej použitou technológiou výroby a použitým strojným zariadením. [6]



Obrázok 5 - Linka na podlahovninu

1, 5-trojvalec, 2, 6-pomocný dopravník, 3, 7-zásobovací dopravník, 4-textilný dopravník, 8-vynášací dopravník, 9-chladiace zariadenie, 10-navádzacie ústrojenstvo, 11-orezávacie ústrojenstvo, 12-dezénovacie ústrojenstvo, 13-zásobník, 14-zrkadlo, 15-priečné rezanie, 16-navíjanie

## 5 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY ZDIEĽANIA TEPLA A OHREVOV

### 5.1 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. [ 2 ]

### 5.2 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. [ 2 ]

### 5.3 Ohrev infračerveným žiarením

#### 5.3.1 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). [ 2 ]

## 5.4 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. [ 2 ]

### 5.4.1 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. Naviac 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. [ 2 ]

## 5.5 Dielektrický ohrev gúmy

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 gúmy a používané plnivá majú odlišné dielektrické vlastnosti a tým rôzne reagujú na vysokofrekvenčné elektromagnetické pole. [ 2 ]

## 5.6 História a trendy predohrevu gúmy

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 súčasne 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 gúmy 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  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [ 2 ]

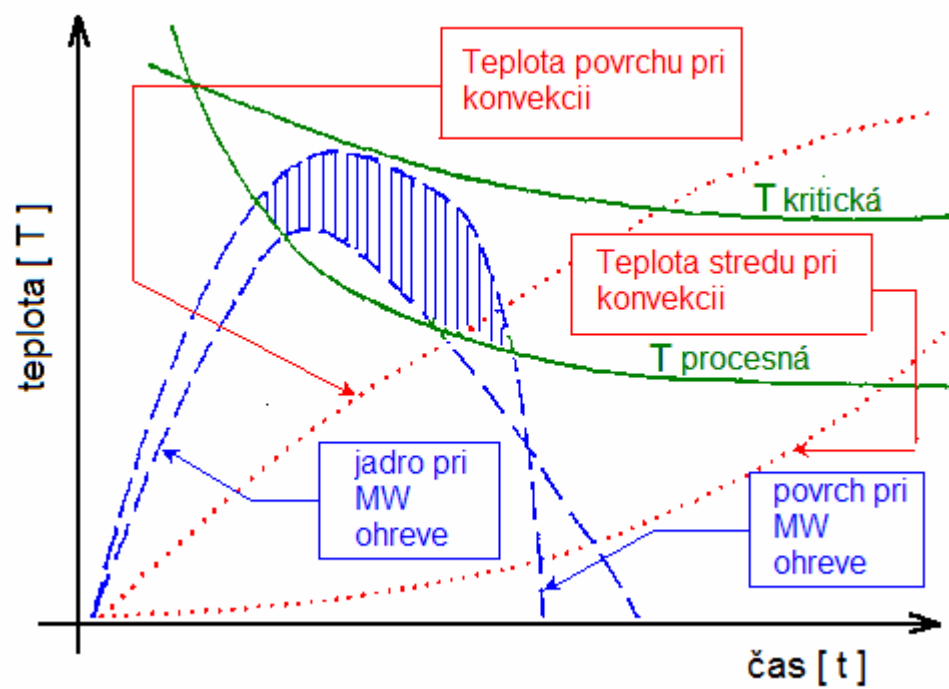
### 5.6.1 Predohrev pred vulkanizáciou lisovanej gummy

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  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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 skraca 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. [ 2 ]

Graf 2 - Porovnanie ohrevov



## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

## **6 CIEĽ BAKALÁRSKEJ PRÁCE**

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo zistiť vplyv vstupnej teploty materiálu na energiu, ktorú musíme vynaložiť na homogenizáciu kaučukovej zmesi T 426 od firmy Barum continental spol. s r.o. na hnetacom laboratórnom zariadení firmy Werner Pfleiderer LUK 1/0,5. Tento experiment som robil pri dvoch rôznych rýchlostiach otáčania hnetadiel a pre každé otáčky som mal zmes predohriatu či schladenú na päť konkrétnych teplôt. Pre každú konkrétnu situáciu - teplotu a otáčky som robil niekoľko meraní pre ich lepšiu reprodukovateľnosť.



## 7 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU

Materiál na meranie praktickej časti bakalárskej práce nám bol dodaný od firmy Barum Continental spol. s r. o. vo forme pásu o hrúbke 10 mm a šírke 500 mm. Museli sme si ho prispôbiť pre dávkovanie do hnetacieho stroja. Materiál sme rozrezali na malé kúsky približne rovnakej veľkosti ( 20 mm x 10-20 mm x 10 mm ).



Obrázok 6 - Vzorka materiálu

### 7.1 Zloženie zmesi

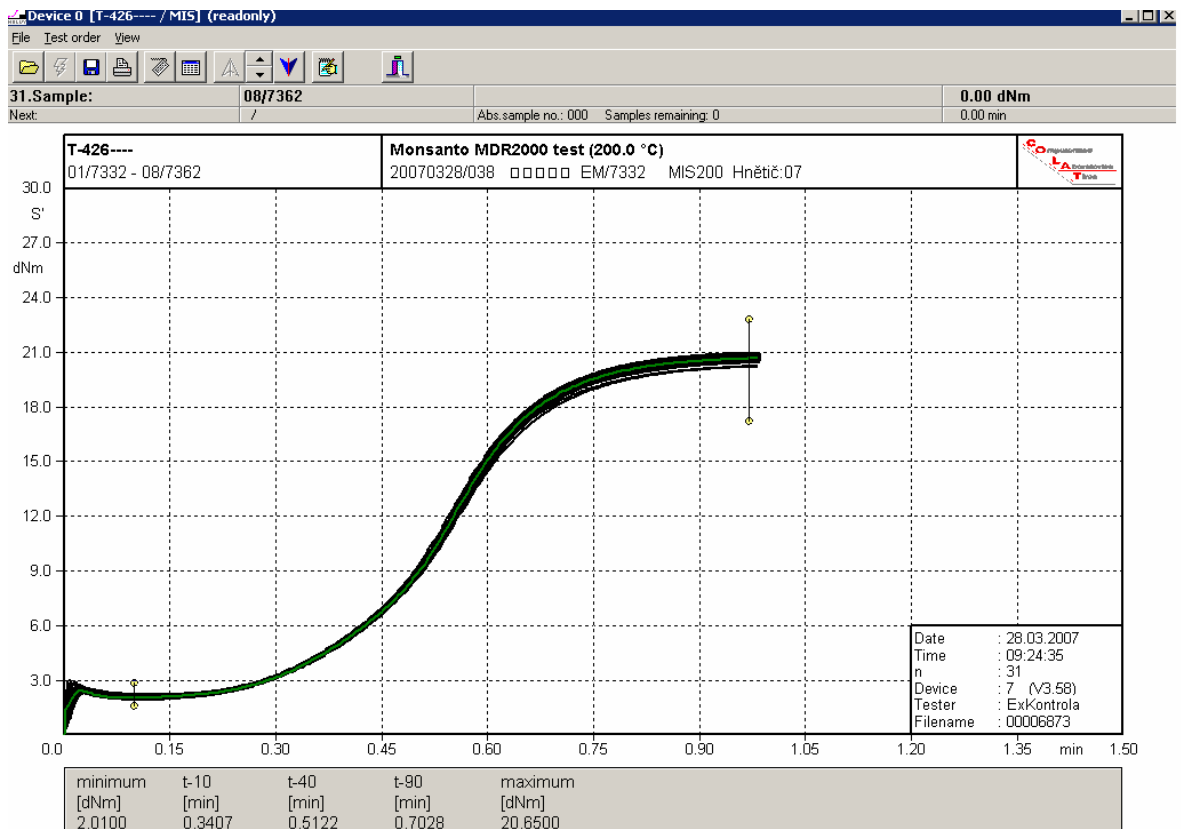
Zmes T 426 je behúňová zmes pre pneumatiky osobných automobilov. Obsahuje :

- prírodný kaučuk.....28,4 %
- syntetický kaučuk.....18,9% (butadienstyrenový)
- sadze N 336 .....36%
- ostatné spracovateľské prísady (ako vulkanizačné činidlá, retardéry.....).....16,7%

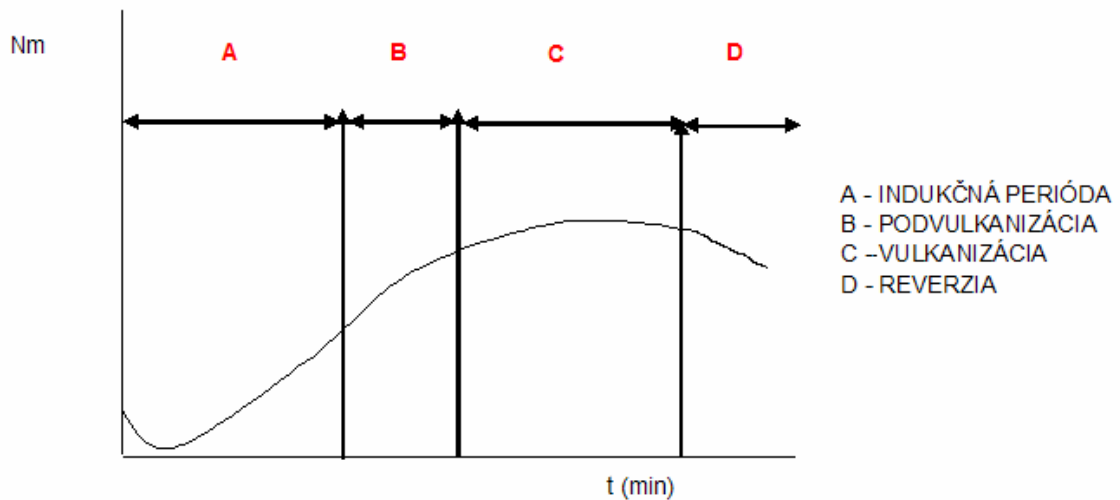
Hustota zmesi	1,145 g/cm <sup>3</sup>
Tvrdosť	73 ShA
Pevnosť	15,5 MPa

## 7.2 Vulkametrická krivka

Vulkametrickou krivkou zistujeme 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.



Obrázok 7 - Priebeh vulkametrickej krivky zmesi T 426



Obrázok 8 - Všeobecný popis vulkаметrickej krivky

### 7.3 Popis vulkаметrickej krivky

Indukčná perióda je časový úsek, v ktorom si kaučukovitá zmes uchováva plastické vlastnosti, tečie a dá sa pomerne dobre tvarovať. Z praktického hľadiska pneumatikárskej výroby 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 plášťa 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.

Úsek podvulkanizácie je časový úsek medzi indukčnou periódou a optimom vulkanizácie. V tomto veľmi významnom úseku vulkanizácie dochádza k tvorbe siete a k zmene fyzikálne - mechanických vlastností zmesi pri jej postupnom prechode na vulkanizát.

Teplotný koeficient vulkanizácie. 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.

## 8 PRÍPRAVA NA SAMOTNÉ MERANIE

### 8.1 Príprava materiálu

Na začiatku som musel odskúšať a určiť ideálne množstvo vzorku na jeden cyklus hnetenia materiálu, aby bola komora dostatočne zaplnená, ale zároveň aby vzorky v komore nebolo veľké množstvo pre hladký chod laboratórneho zariadenia. Zistil som, že ideálne množstvo vzorky pre jeden cyklus je v daných podmienkach cca 200 g materiálu. Laboratórne zariadenie pracovalo pri tejto navážke materiálu bez väčších problémov. Vzorku som najskôr predohrial resp. ochladili na požadovanú teplotu v sušiarňi resp. chladničke.



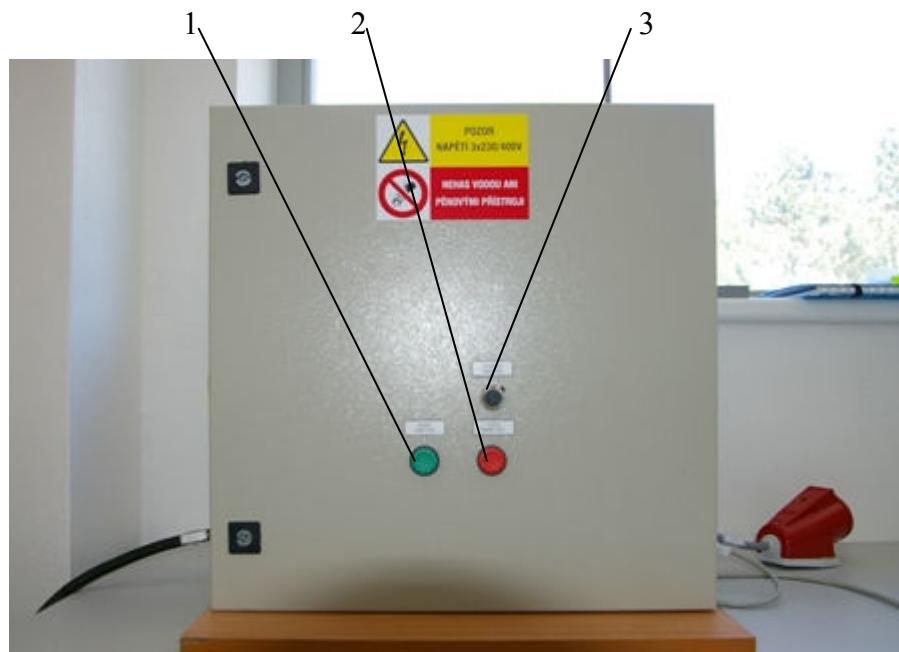
Obrázok 9 - Sušiareň typu Binder ED

### 8.2 Príprava laboratórneho zariadenia

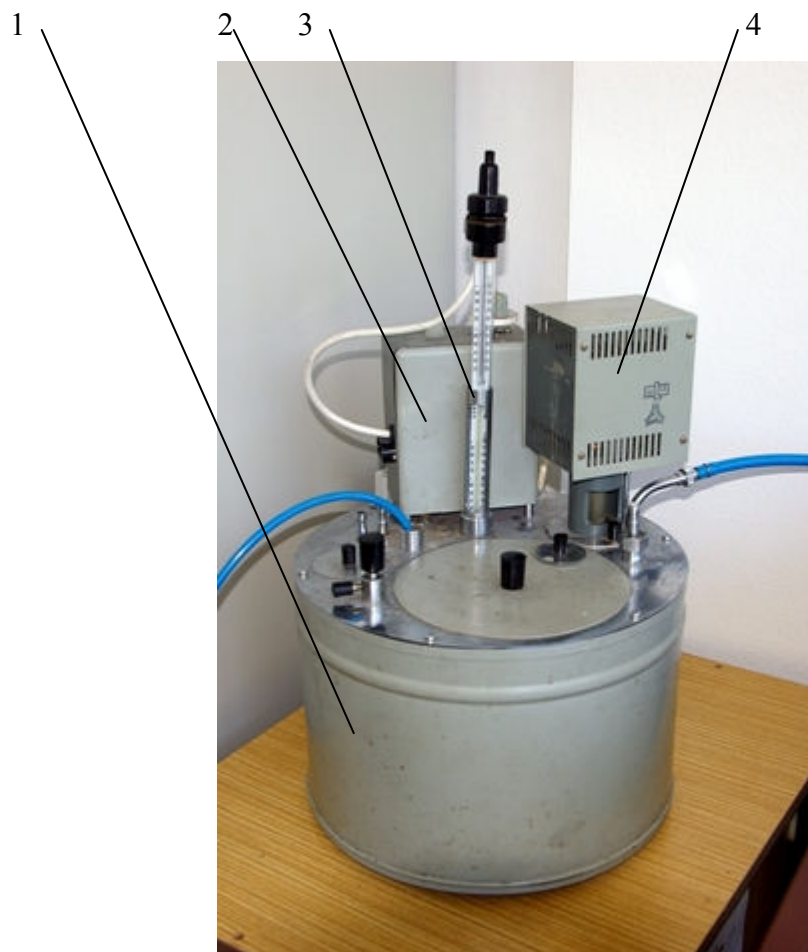
Pred samotným spracovávaním vzorky v hnetacom zariadení som si musel dané zariadenie pripraviť. Príprava spočívala v temperácii pracovnej komory na 80°C, ktorá prebiehala cca 1 – 1,5 hod. . K laboratórnemu zariadeniu bol nainštalovaný frekvenčný menič firmy EDTS ( electric drives & technology systems ) vid'. obr. 12, ktorý mi slúžil na ovládanie hnetacieho zariadenia, konkrétne na samotné zapnutie resp. vypnutie hnetenia a

na ovládanie otáčok motora hnetacieho zariadenia. V priebehu času som vyhodnocoval 4 veličiny:

- otáčky motora [  $\text{min}^{-1}$  ]
- výstupné napätie na motore [ V ]
- zaťaženie motora [ % ]
- prúd prechádzajúci motorom [ A ]



Obrázok 10 - Frekvenčný menič  
1 – zapnutie motora, 2 – vypnutie motora,  
3 – regulácia otáčok



Obrázok 11 - Temperačné zariadenie na ohrev pracovnej komory  
1 – nádoba na vodu, 2 – vyhrievacie zariadenie, 3– teplomer, 4 – miešadlo s čerpadlom

## 9 POSTUP PRI MERANÍ

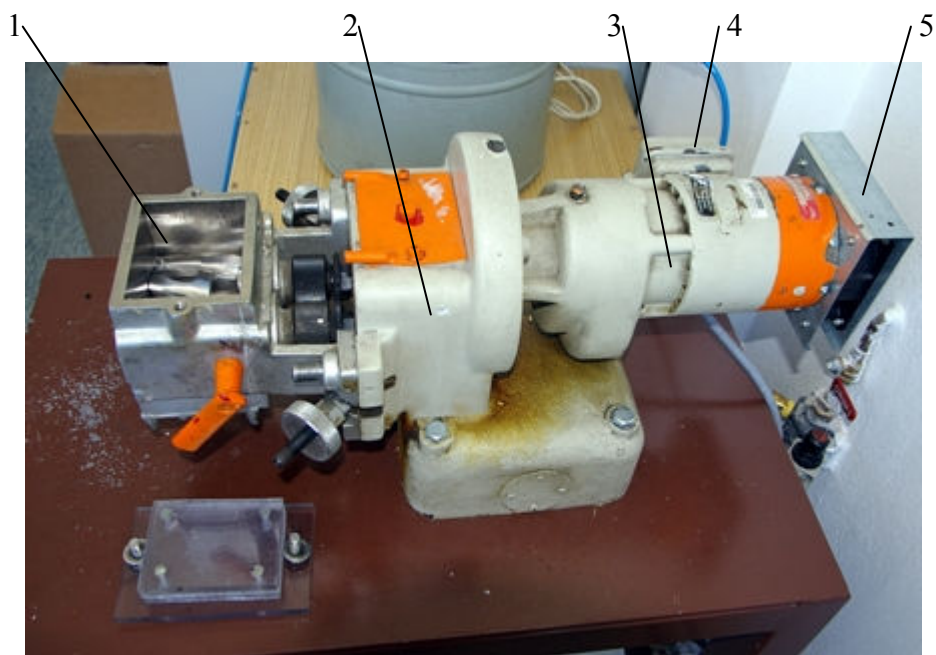
- naváženie vzorky, ktorý bol predohriaty resp. ochladený na požadovanú teplotu pomocou digitalnych váh s odchylkou  $\pm 0,1\text{g}$  ( laboratórne zariadenie muselo byť už vytemperované )



Obrázok 12 - Digitálne váhy firmy Denver Instrument

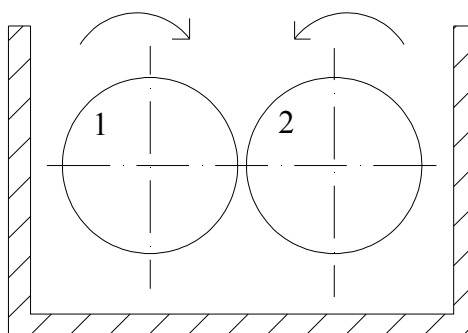
- vloženie vzorky do komory hnetacieho zariadenia





Obrázok 13 - Hnetacie zariadenie firmy Werner Pfleiderer LUK 1/0,5  
 1 – komora, 2- prevodovka, 3 – motor, 4 – prívod elektrickej energie,  
 5 – ventilátor

Hodnoty regulátoru otáčok na frekvenčnom meniči	1. hnetadlo ot. / min	2. hnetadlo ot. / min	priemerné ot. / min
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>



Obrázok 14 - Zmysel otáčania hnetadiel

- potom následovalo uzatvorenie hnetacej komory pomocou víka, ktoré bolo pevne pripevnené k telu hnetacej komory
- na frekvenčnom meniči sme nastavili regulátorom otáčiek vid' obr.12 požadovanú hodnotu a tlačítkom štart sme spustili chod stroja. Súčasne sme spustili program EASY DRIVE, ktorý nám kontinuálne snímal hodnoty aktuálneho zaťaženia motora v závislosti na čase. Samotný cyklus merania prebiehal cca 7 min. Experiment bol ukončený stlačením tlačítka STOP na frekvenčnom meniči vid'. Obr.12 a ukončením náhrávania hodnôt v programe EASY DRIVE. Potom sme vzorku z hnetacej komory vybrali a zmerali teplotu vzorky pomocou teplomeru TESTO 110 s vpichovacím teplotným čidlom.



Obrázok 15 - Teplomer TESTO 110

1 – zapichovacie teplotné čidlo, 2 – vyhodnocovacie zariadenie

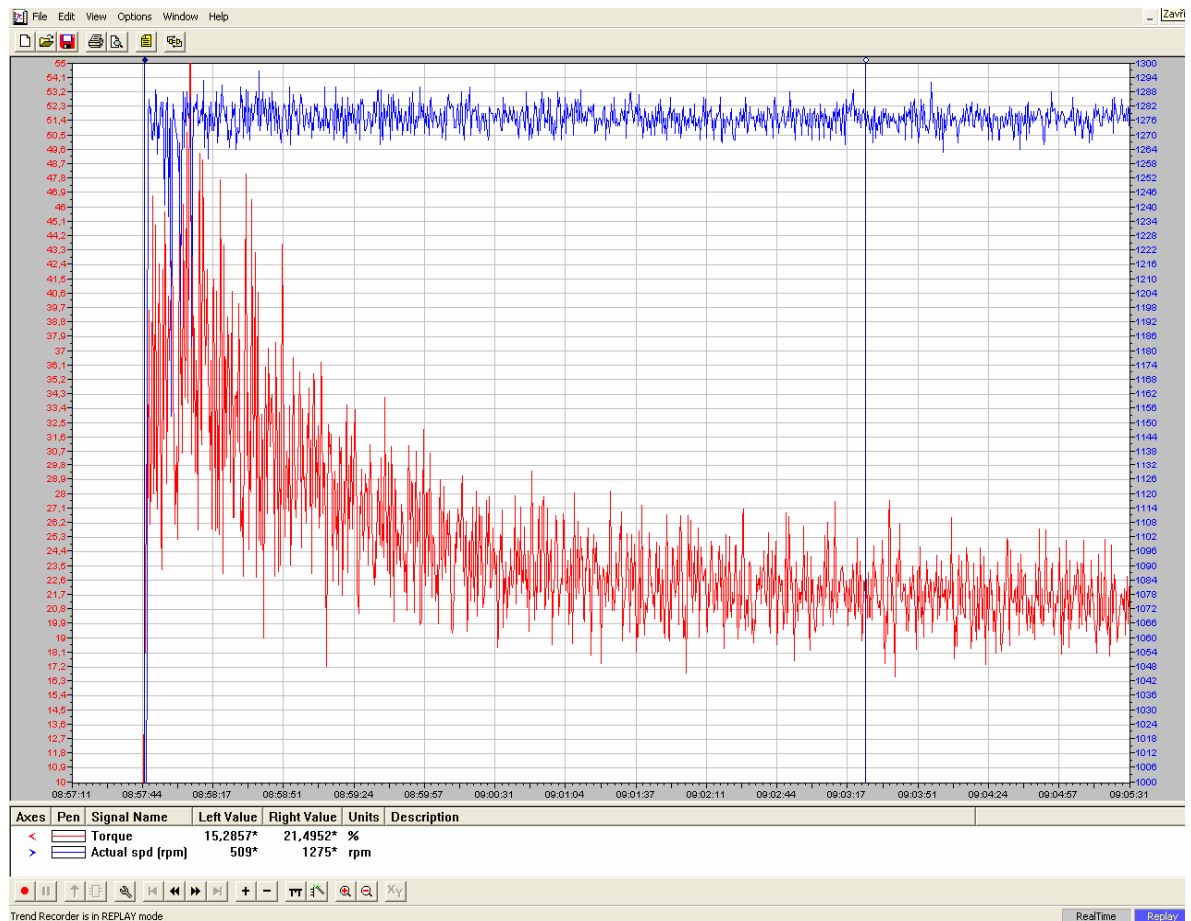
## 9.1 Teplomer TESTO 110

Merací rozsah: - 50 °C – 150 °C

Presnosť:  $\pm 0.2$  °C ( - 20 – 80 °C)  $\pm 0.3$  °C (zbytok rozsahu)

## 9.2 Vyhodnotenie dát

Výstupom z programu EASY – DRIVE bol graf, v ktorom je možnosť vyhodnocovania otáčiek motora a krútiaceho momentu.



Obrázek 16 - Náhodný graf nameraných hodnôt z programu EASY DRIVE

Hodnoty získané programom EASY DRIVE som exportoval do softwaru Microsoft Excel. Tieto hodnoty som upravil pomocou kľzavého priemeru/255. Dané úpravy boli

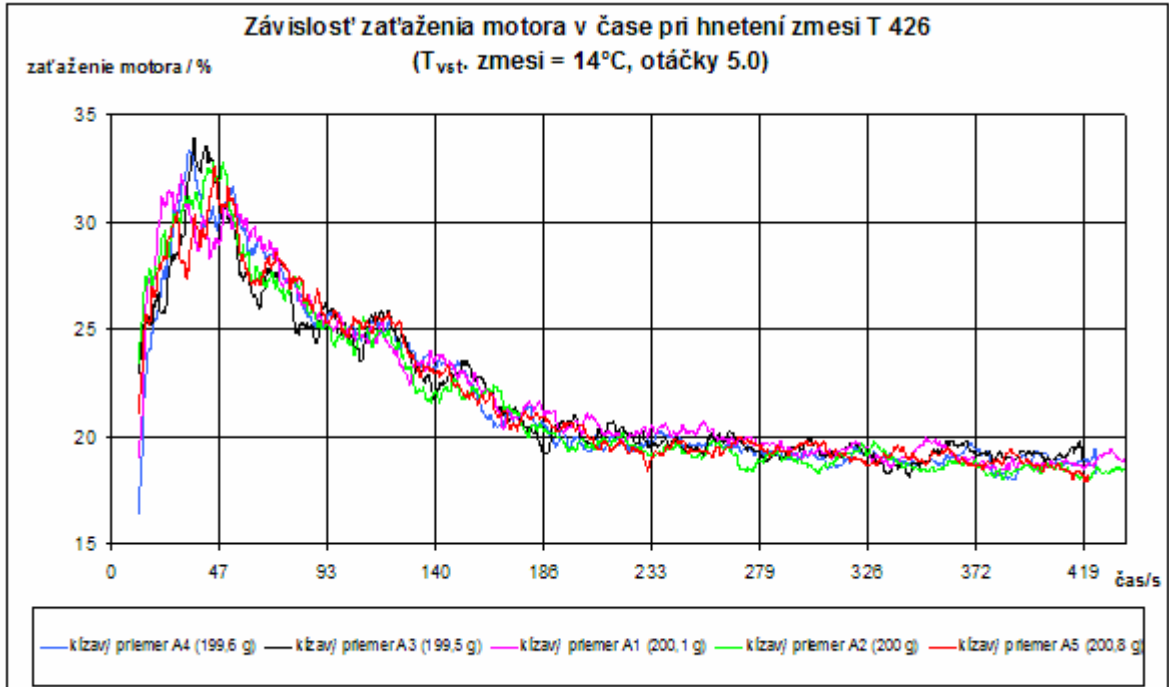
nutné z hľadiska veľkého množstva hodnôt, ktoré boli zaznamenané softwarom EASY DRIVE. Tento software zaznamenával cca 20 hodnôt za sec.

### **9.2.1 Kľzavý priemer**

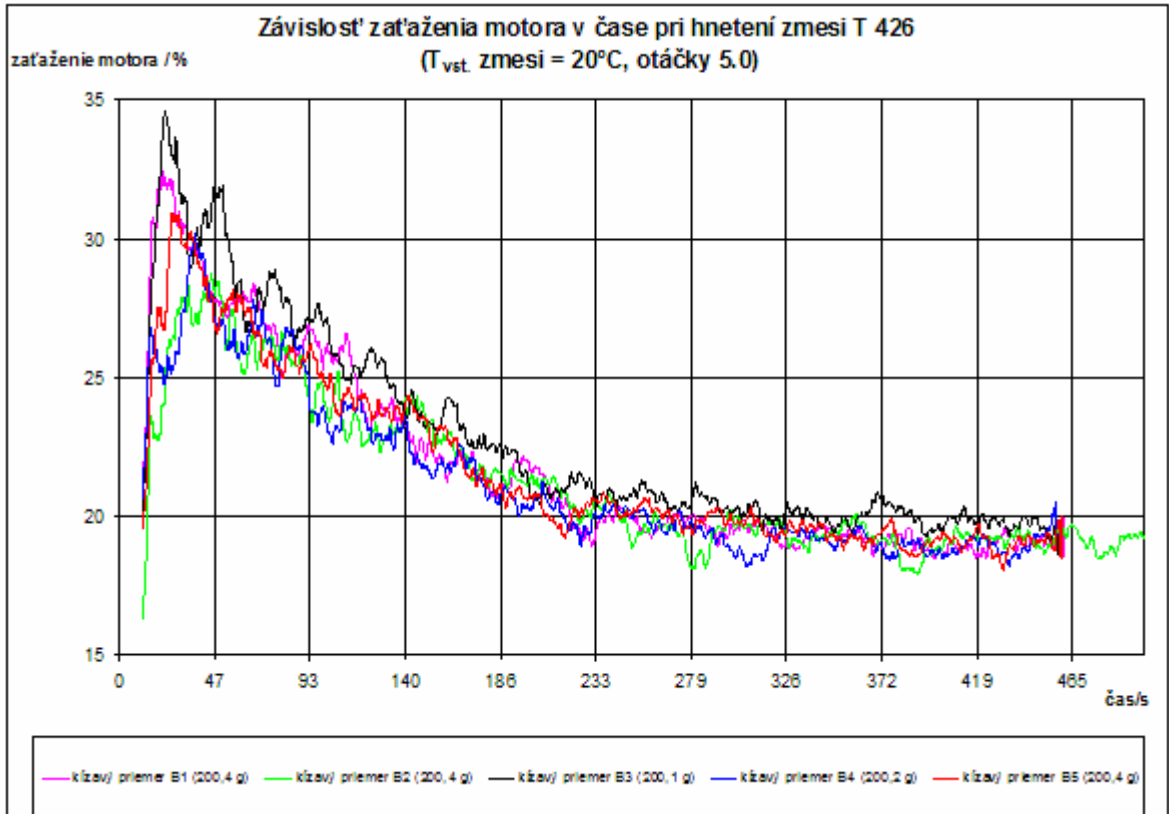
Rada priemerov vypočítaných z časti datovej rady. V grafe kľzavý priemer vyhladí kolísanie dát a zobrazí vzorok alebo trend zreteľnejšie.

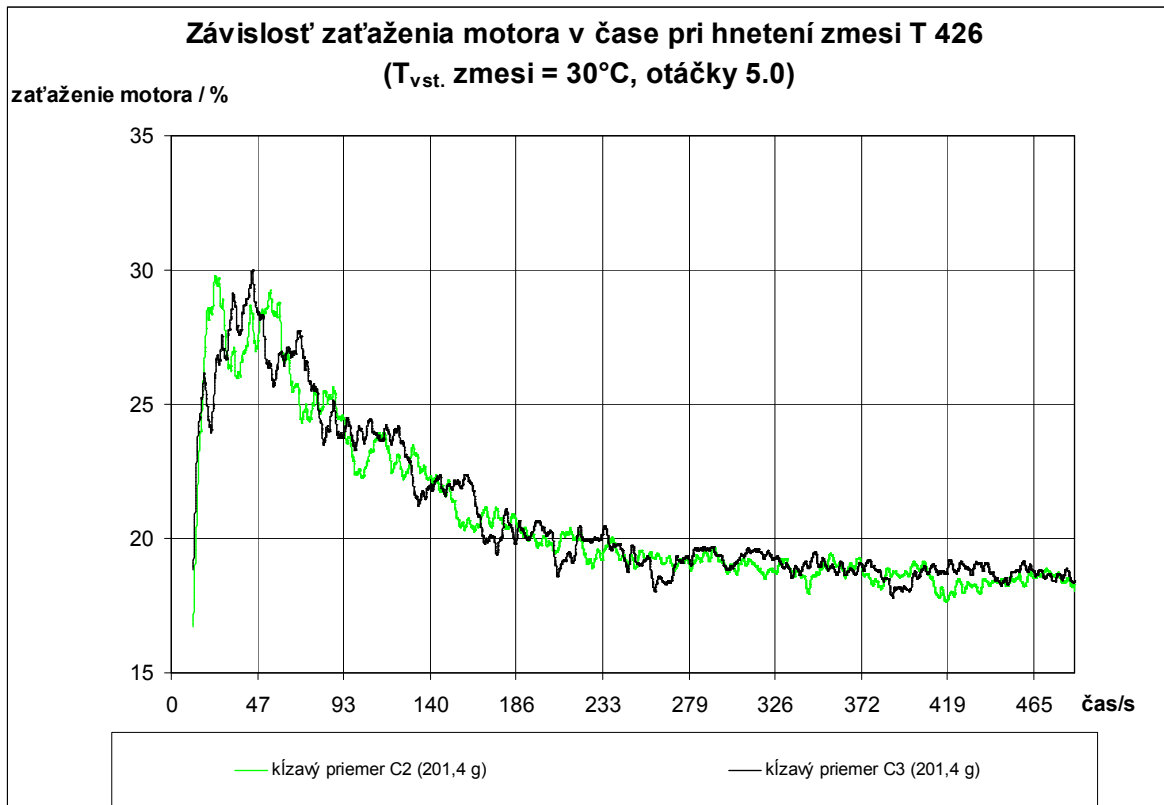
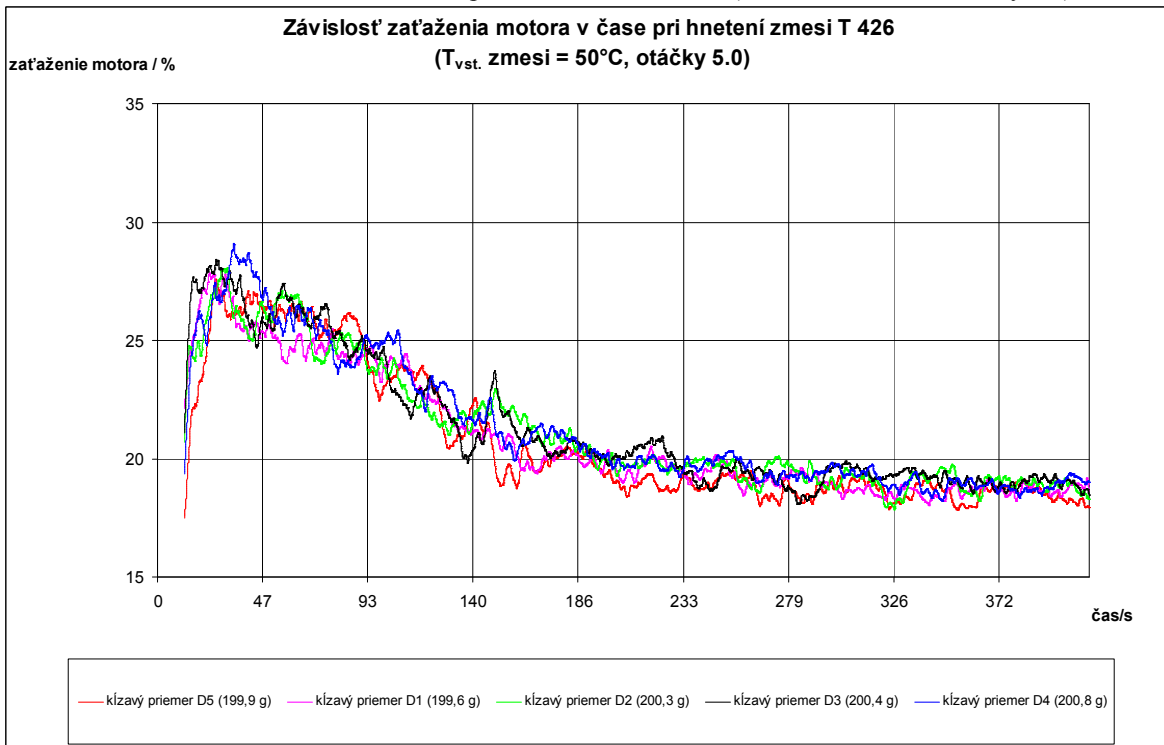
### 9.3 Grafy pri otáčkach 5.0

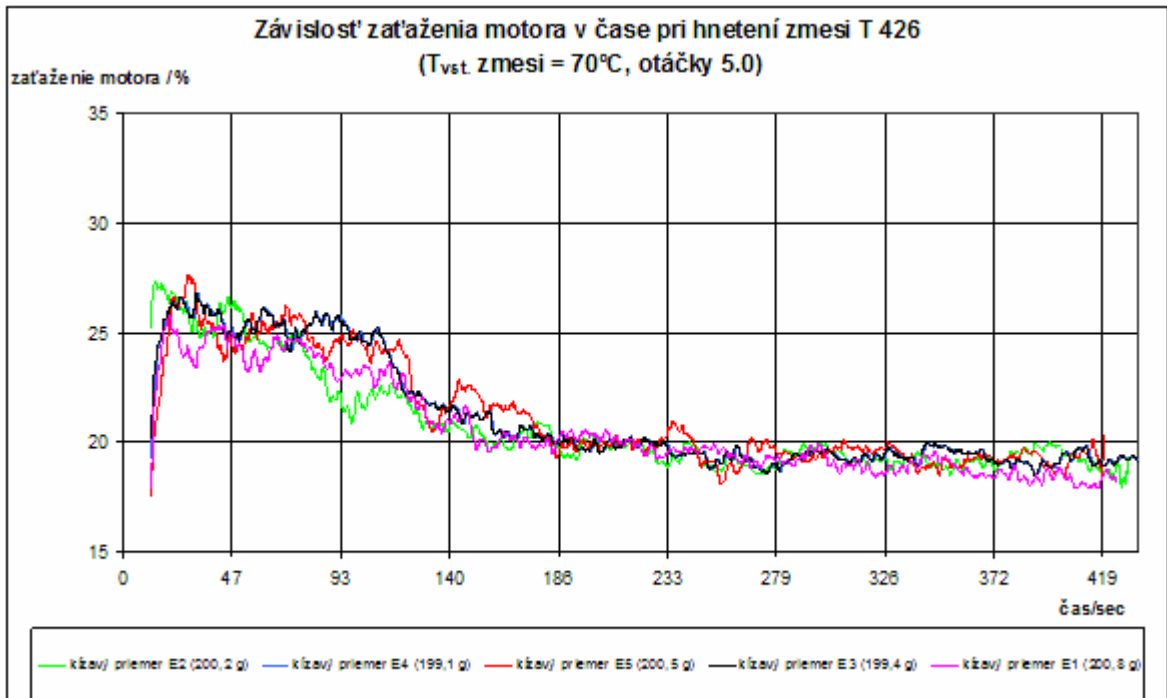
**Graf 3** - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 14^{\circ}\text{C}$ , otáčky 5.0)



**Graf 4**- Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 20^{\circ}\text{C}$ , otáčky 5.0)

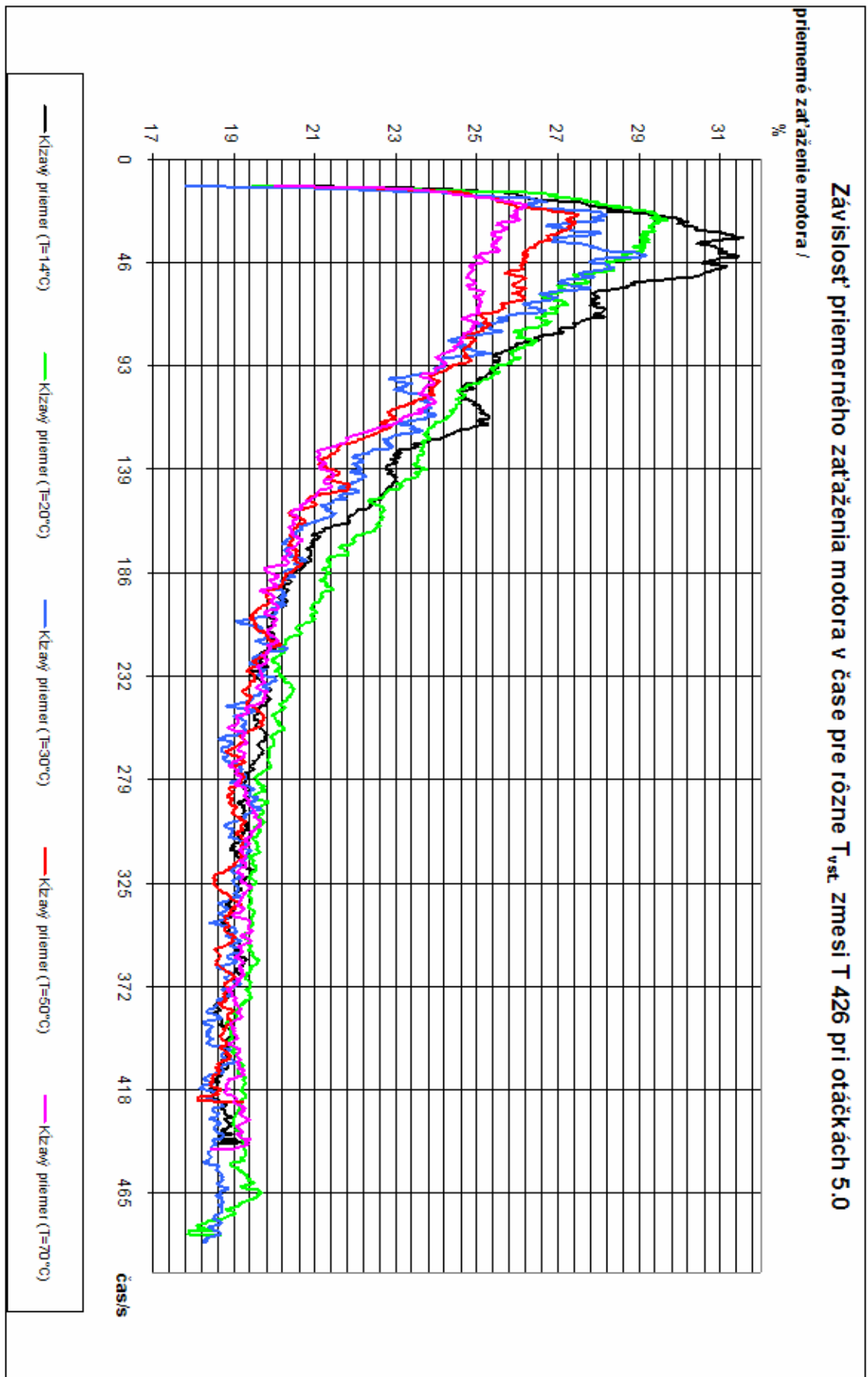


**Graf 5** - Závislost' zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 30^{\circ}\text{C}$ , otáčky 5.0)**Graf 6** - Závislost' zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 50^{\circ}\text{C}$ , otáčky 5.0)

**Graf 7** - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 70^{\circ}\text{C}$ , otáčky 5.0)

Z daných závislostí vyplýva, že priebehy kriviek sú podobné, pre každú konkrétnu vstupnú teplotu zmesi T 426. Preto som z týchto závislostí vytvoril krivku z priemernými hodnotami zaťaženia motora pre každú vstupnú teplotu materiálu. Tieto závislosti som vyniesol do jedného grafu pre porovnanie daných kriviek.

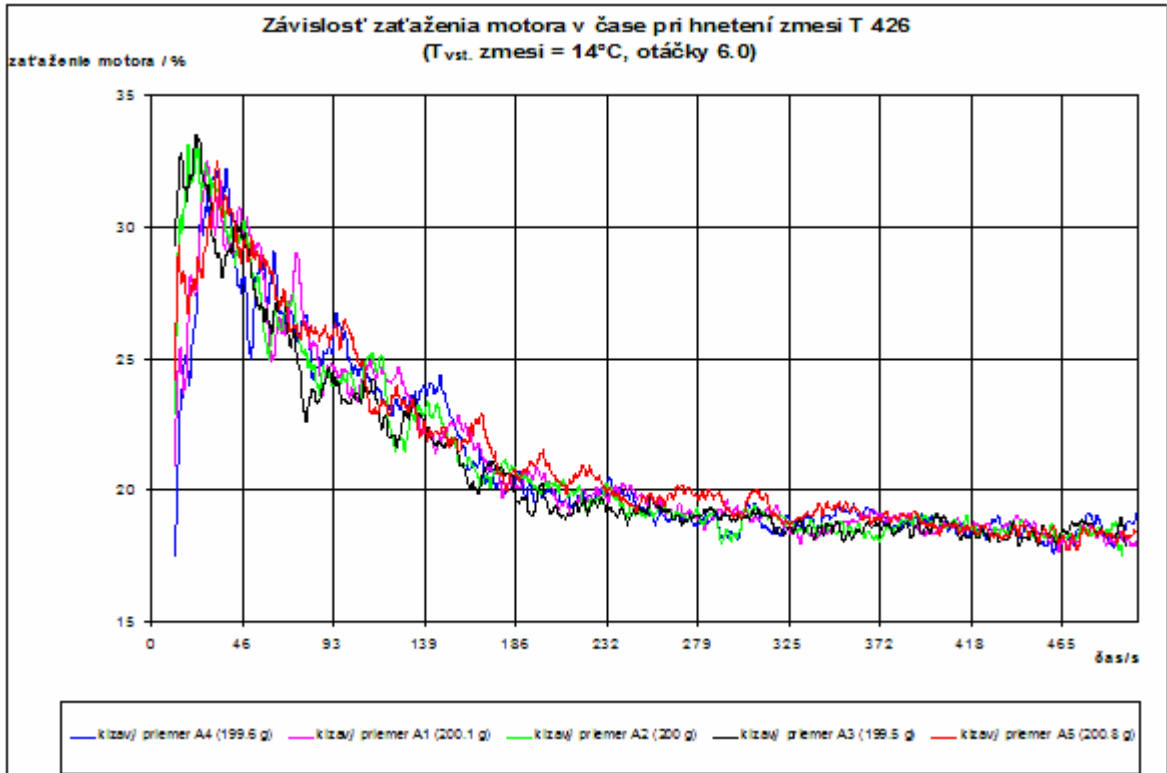
**Graf 8** - Závislost' priemerného zaťaženia motora v čase pre rôzne  $T_{vst.}$  zmesi T 426 pri otáčkach 5.0



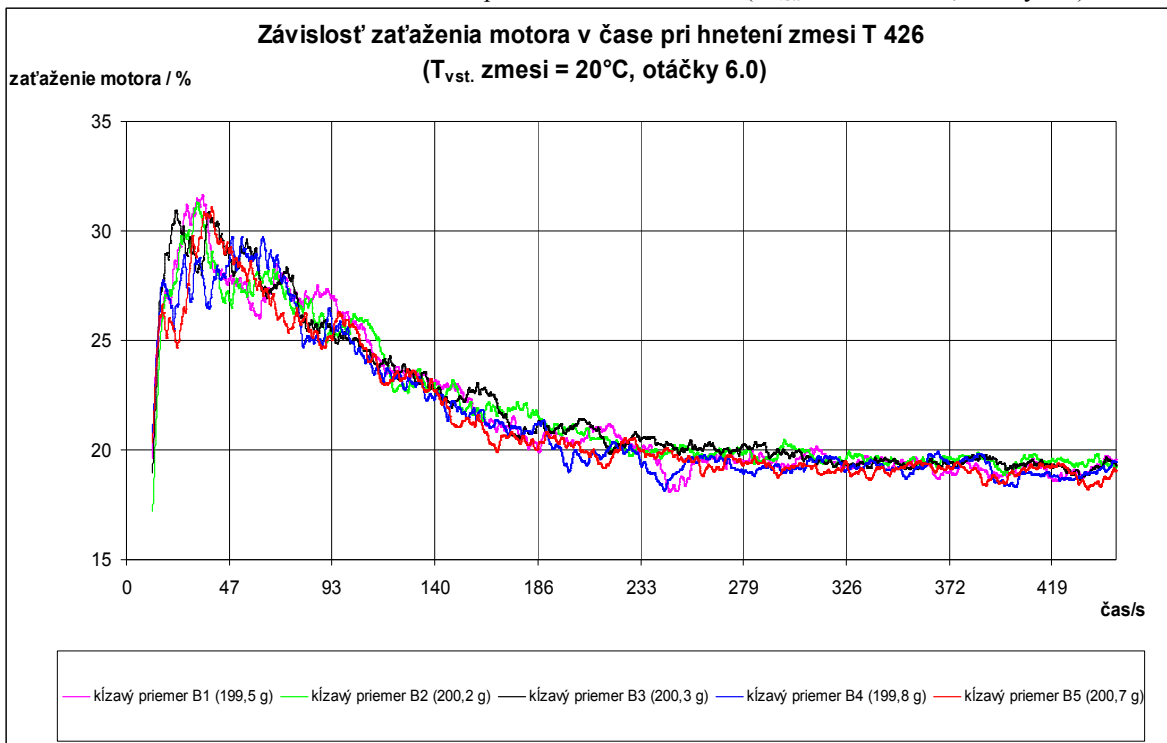


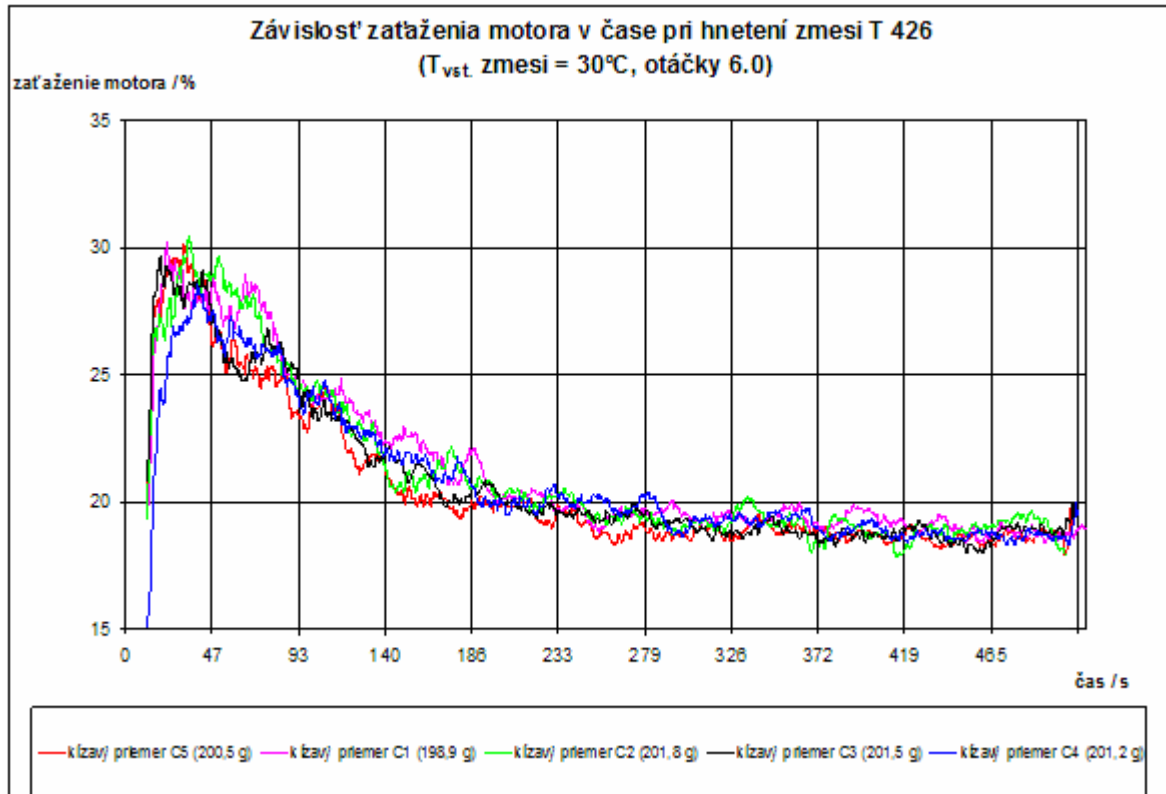
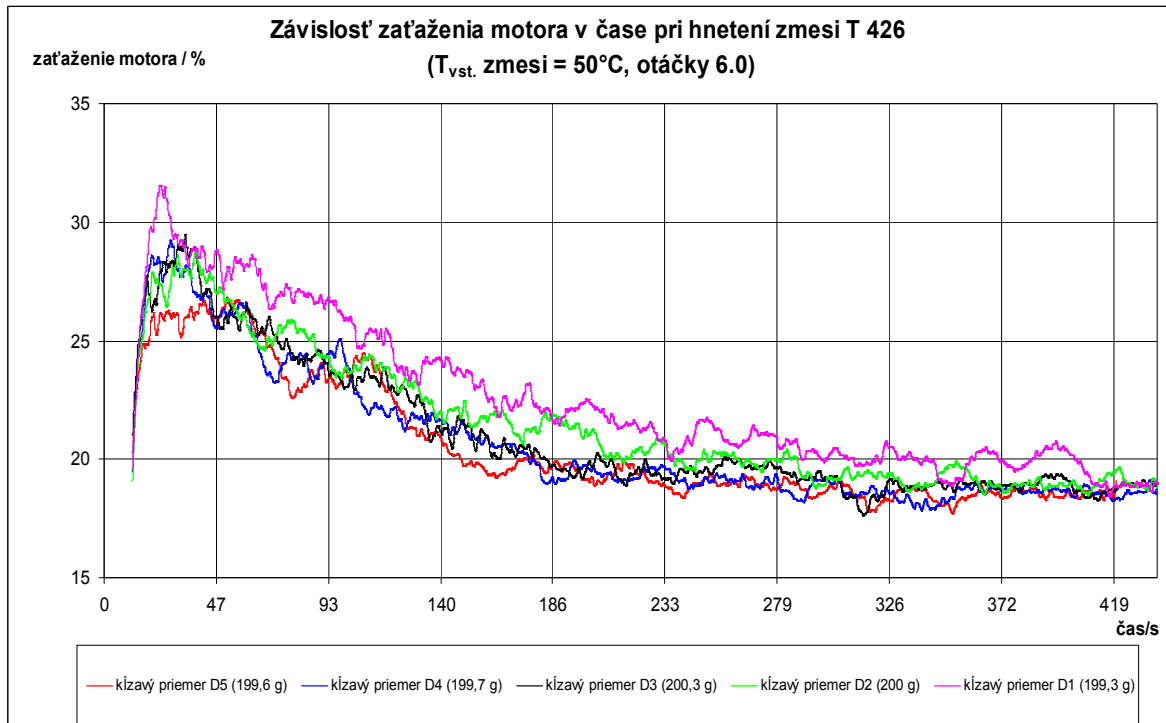
## 9.4 Grafy pri otáčkach 6.0

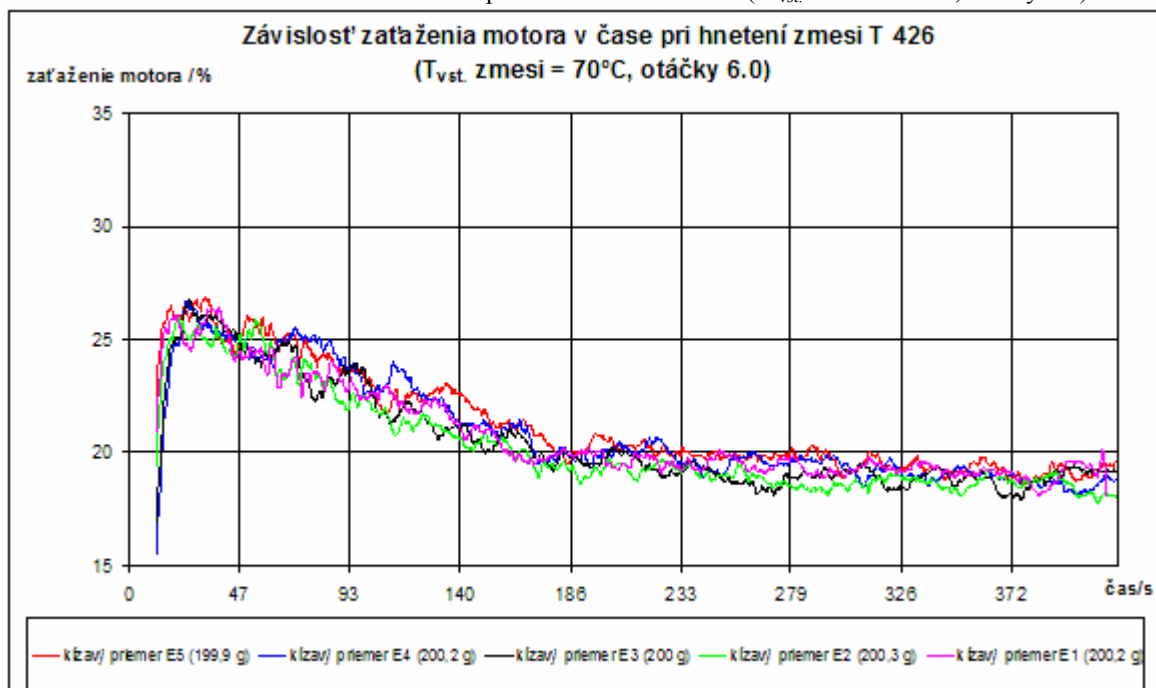
**Graf 9** - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 14^{\circ}\text{C}$ , otáčky 6.0)



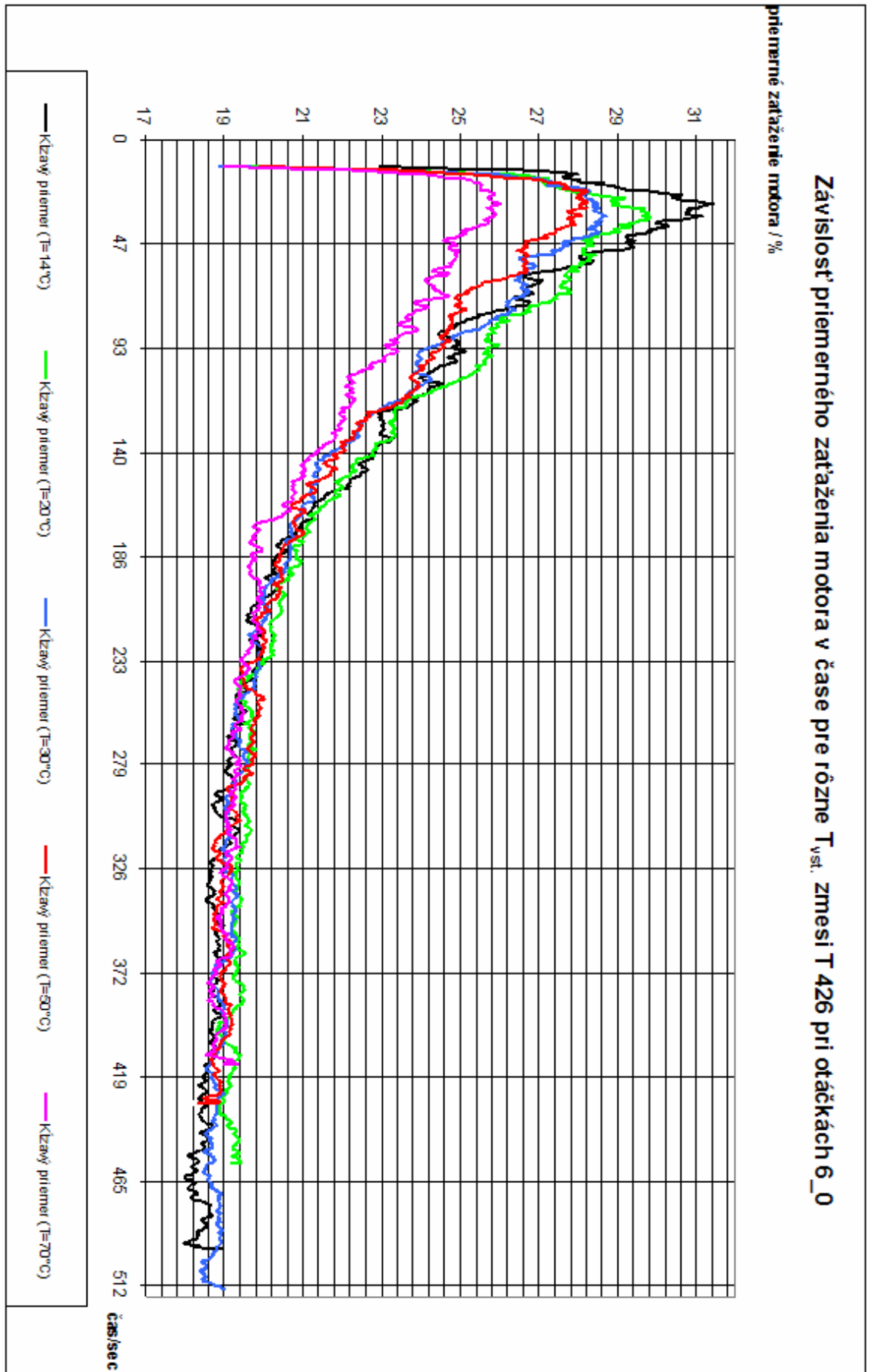
**Graf 10** - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 20^{\circ}\text{C}$ , otáčky 6.0)



**Graf 11** - Závislost' zařažení motoru v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst.}$  zmesi = 30°C, otáčky 6.0)**Graf 12** - Závislost' zařažení motoru v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst.}$  zmesi = 50°C, otáčky 6.0)

**Graf 13** - Závislost' zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{\text{vst. zmesi}} = 70^{\circ}\text{C}$ , otáčky 6.0)

**Graf 14** - Závislost' priemerného zaťaženia motora v čase pre rôzne  $T_{vst.}$  zmesi T 426 pri otáčkach 6.0

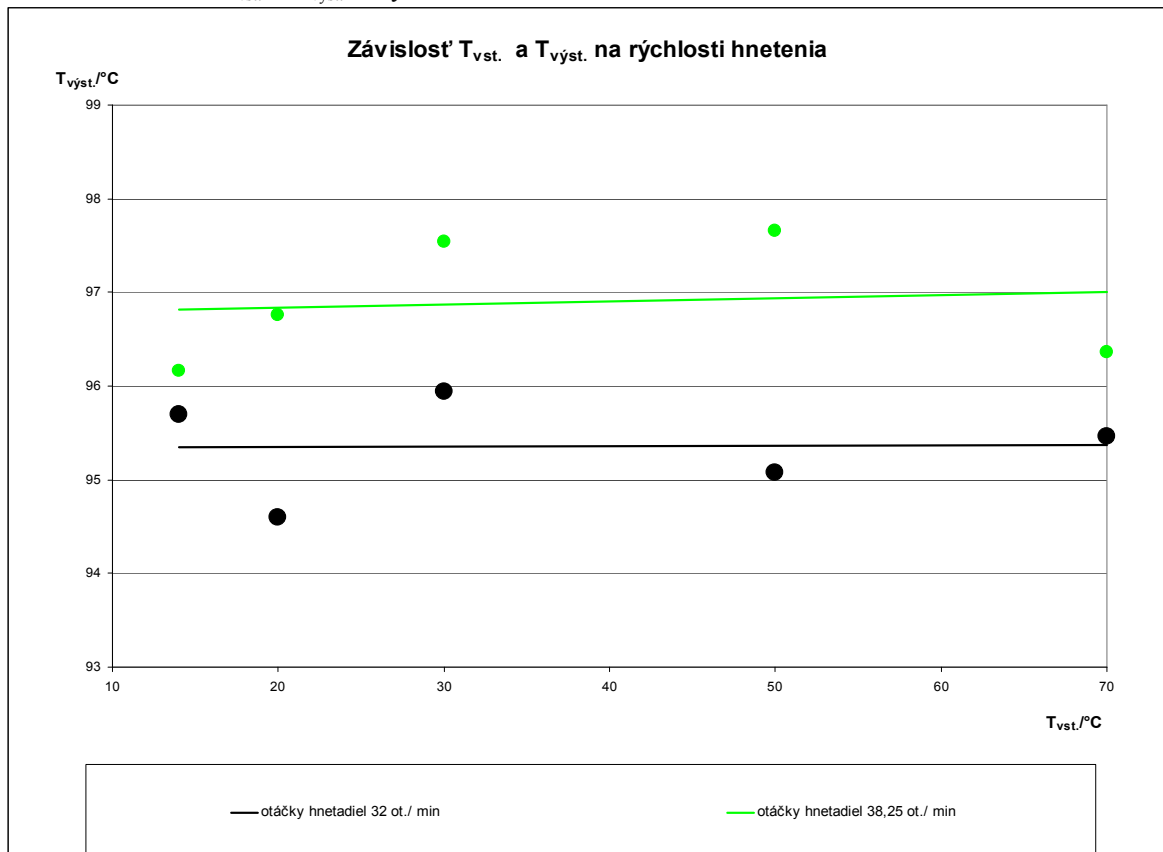


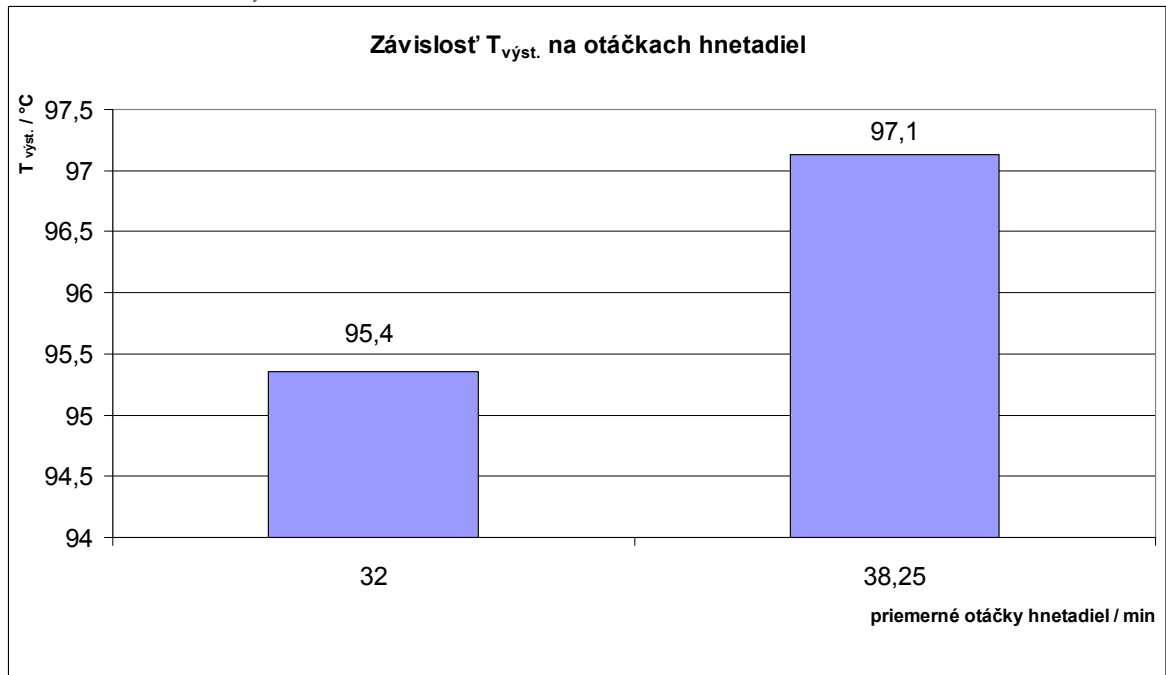
Experiment som robil pre dve konkrétne rýchlosti otáčania hnetadiel. Tieto rýchlosti som vybral, podľa skorších meraní, kedy sa tieto rýchlosti javili ako najlepšie z hľadiska stability celého procesu a behom miešania nedochádzalo k žiadnym väčším problémom.

## 10 VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH INFORMÁCIÍ

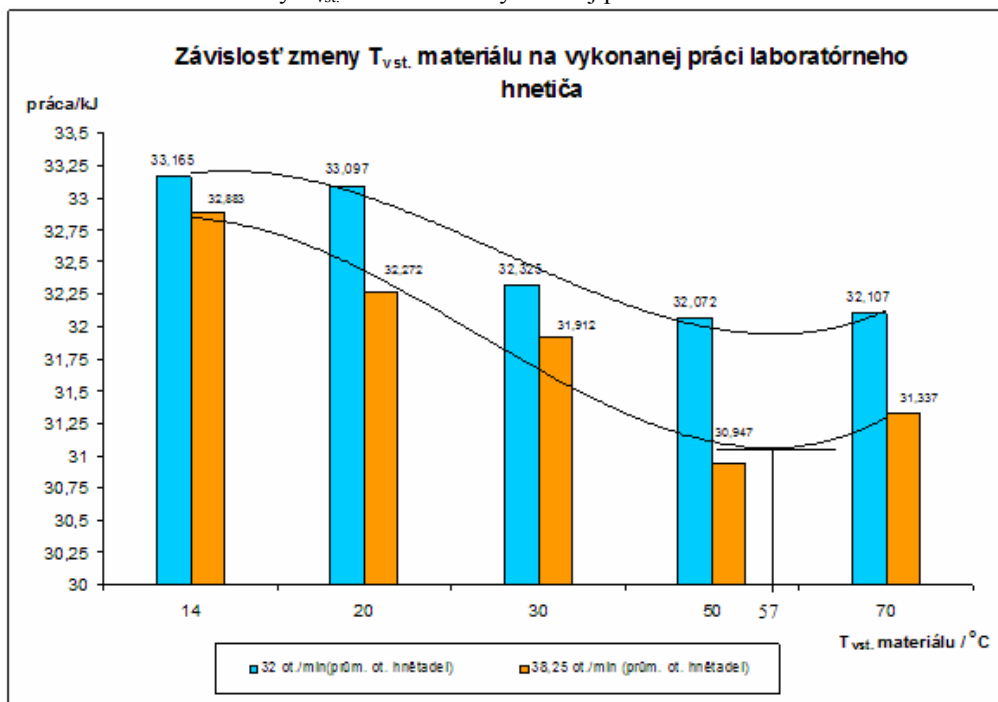
Z meraní výstupných teplôt zmesí pri dvoch rôznych otáčkach som získal graf, z ktorého je poznateľ, že výstupná teplota materiálu nie je závislá na vstupnej teplote materiálu, ale závislá na rýchlosti otáčania hnetadiel

**Graf 15** - Závislosť  $T_{vst.}$  a  $T_{výst.}$  na rýchlosti hnetenia



**Graf 16** - Závislosť  $T_{\text{výst.}}$  na otáčkach hnetadiel

Grafy č.8 a č.14 som použil na získanie hodnôt vykonanej práce motora hnetiča pri homogenizácii zmesi. Z týchto grafov som si vzal úsek od maximálnej hodnoty zaťaženia motora po dobu merania 300s. Celková práca vykonaná po túto dobu bola vynesená do grafu č.17.

**Graf 17** - Závislosť zmeny  $T_{\text{vst.}}$  materiálu na vykonanej práci laboratórneho hnetiča

## ZÁVER

Vo svojej bakalárskej práci som sa zaoberal vplyvom predohrevu kaučukových zmesí na príkone miešacieho zariadenia.

V úvode som popísal druhy kaučukov. V ďalšej časti práce som popísal ich prípravu a spôsob spracovania a uviedol som príklady niektorých strojov na ich spracovanie.

Praktickú časť práce som vykonával na laboratórnom hnetacom stroji firmy Werner – Pfleiderer. Kaučukové zmesi boli dodané z firmy Barum, vrátane ich parametrov.

Vyhodnocovanie nameraných výsledkov som prevádzal pomocou programu EASY DRIVE.

Z výsledkov meraní sa dá konštatovať, že vstupná teplota zmesi nemá vplyv na teplotu výstupnú pri homogenizácii v hnetiči. Ďalej môžeme povedať, že rýchlosť hnetenia má vplyv na teplotu výstupnej zmesi. Zistil som, že pri priemerných otáčkach hnetadiel 32 ot./min bola priemerná výstupná teplota zmesi 95,4°C s odchylkou 0,5°C a pri otáčkach 38,25 ot./min bola hodnota výstupnej teploty 97,2°C s odchylkou 0,7°C.

Z grafu závislosti zmeny vstupnej teploty materiálu na vykonanej práci hnetiča môžem konštatovať, že minimálna práca sa vykoná na homogenizáciu zmesi T 426 pri vstupnej teplote zmesi 57°C a tento záver môžem uplatniť na obe rýchlosti otáčiek hnetadiel, ktoré som si zvolil pre náš experiment. To znamená pri priemerných otáčkach hnetadiel 32 ot./min ( otáčky 1. hnetadla 25,5 ot./min a otáčky 2. hnetadla 38,5 ot./min ) a 38,25 ot./min ( otáčky 1. hnetadla 30,5 ot./min a otáčky 2. hnetadla 46 ot./min). Pri zvyšovaní vstupnej teploty materiálu už nedochádzalo k úspore energie pri homogenizácii zmesi, preto už nebolo žiadúce dodávať energiu zmesi pred vstupom do miešacej komory.

Ďalším výrazným faktorom ovplyvňujúcim energetickú náročnosť procesu miešania gumárenskej zmesi je spotrebovaná energia motora pre samotné miešanie. Je dôležité zaistiť vhodné otáčky hnetadiel a čas samotného miešania, aby sme pri homogenizácii zmesi dosiahli maximálnu úsporu energie. Problémom zaistenia vhodných otáčiek hnetadiel sa vo svojej bakalárskej práci zaoberal kolega František Židek a výsledky jeho práce dávajú ucelenejší pohľad na riešenú problematiku.



**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] ŠPAČEK, Josef. Technologie gumárenská a plastikářská II [Skripta]. 1. vyd. Brno 1980. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická.
- [2] INTERNET : [www.romill.cz](http://www.romill.cz)
- [3] ŠTĚPÁN, M.: *Gumárenská technologie VI – teoretické základy*, SNTL Praha, 1965.
- [4] FRANTA, I. A KOLEKTIV: *Gumárenská Technologie I – gumárenské suroviny*. 2. vyd. Praha 1979
- [5] JAHELKA, M.: *Gumárenské a plastikářské stroje*. SNTL Praha, 1969.
- [6] MAŇAS, M. – TOMIS, F.: *Výrobní stroje a zařízení – gumárenské a plastikářské stroje I*. 1. vyd. Brno 1987 – VUT v Brně.

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

[ min <sup>-1</sup> ]	Otáčky za minútu	
A	Ampér	
g	Gram	
IR	Infrared - Infračervené	
kW	Kilowatt	
mm	Milimetre	
MW	Mikrovlnný	
s	Sekunda	
T 426	Typ používanej zmesi	
T výst.	Teplota výstupná	
T <sub>g</sub>	Teplota skelného prechodu	[°C]
T <sub>vst.</sub>	Teplota vstupná	
V	Volt	

**ZOZNAM GRAFOV**

Graf 1 - Vplyv teploty na účinnosť plastikácie.....	18
Graf 2 - Porovnanie ohrevov .....	30
Graf 3 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 14^{\circ}C$ , otáčky 5.0) .....	45
Graf 4- Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 20^{\circ}C$ , otáčky 5.0) .....	45
Graf 5 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 30^{\circ}C$ , otáčky 5.0) .....	46
Graf 6 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 50^{\circ}C$ , otáčky 5.0) .....	46
Graf 7 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 70^{\circ}C$ , otáčky 5.0) .....	47
Graf 8 - Závislosť priemerného zaťaženia motora v čase pre rôzne $T_{vst. zmesi}$ T 426 pri otáčkach 5.0 .....	48
Graf 9 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 14^{\circ}C$ , otáčky 6.0) .....	49
Graf 10 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 20^{\circ}C$ , otáčky 6.0) .....	49
Graf 11 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 30^{\circ}C$ , otáčky 6.0) .....	50
Graf 12 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 50^{\circ}C$ , otáčky 6.0) .....	50
Graf 13 - Závislosť zaťaženia motora v čase pri hnetení zmesi T 426 ( $T_{vst. zmesi} = 70^{\circ}C$ , otáčky 6.0) .....	51
Graf 14 - Závislosť priemerného zaťaženia motora v čase pre rôzne $T_{vst. zmesi}$ T 426 pri otáčkach 6.0 .....	52
Graf 15 - Závislosť $T_{vst.}$ a $T_{výst.}$ na rýchlosti hnetenia.....	54
Graf 16 - Závislosť $T_{výst.}$ na otáčkach hnetadiel .....	55
Graf 17 - Závislosť zmeny $T_{vst.}$ materiálu na vykonanej práci laboratórneho hnetiča .....	55

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

Obrázok 1 - Dvojvalec .....	20
Obrázok 2 - Funkcia KO hnetiča .....	22
Obrázok 3 - Hnetič Gordon .....	23
Obrázok 4 - Hnetič Transfermix .....	24
Obrázok 5 - Linka na podlahovninu .....	25
Obrázok 6 - Vzorka materiálu .....	33
Obrázok 7 - Priebeh vulkаметrickej krivky zmesi T 426 .....	34
Obrázok 8 - Všeobecný popis vulkаметrickej krivky .....	35
Obrázok 9 - Sušiareň typu Binder ED .....	37
Obrázok 10 - Frekvenčný menič .....	38
Obrázok 11 - Temperačné zariadenie na ohrev pracovnej komory .....	39
Obrázok 12 - Digitálne váhy firmy Denver Instrument .....	40
Obrázok 13 - Hnetacie zariadenie firmy Werner Pfleiderer LUK 1/0,5 .....	41
Obrázok 14 - Zmysel otáčania hnetadiel .....	41
Obrázok 15 - Teplomér TESTO 110 .....	42
Obrázok 16 - Náhodný graf nameraných hodnôt z programu EASY DRIVE .....	43