

Ohřev kaučuku MW technologií

Petra Loučková

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Děkuji tímto vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Dvořákovi. CSc., za odborné vedení, cenné připomínky a rady, které mi poskytoval v průběhu vypracování diplomové práce. Dále děkuji vedení a pracovníkům společnosti Barum Continental, spol. s r. o., Otrokovice a Mitas, a. s. Zlín za poskytnutí surovin, strojů a odborné konzultace.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 24. 05. 2005

.....

jméno diplomanta

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou zpracování kaučuku s cílem stanovit závislost předehřevu kaučuků mikrovlnným zdrojem na energetické spotřebě míchacího zařízení. Experiment je ověřován na vytypované elastomerní směsi.

Experiment byl prováděn na laboratorním zařízení a na výrobním zařízení. Na základě provedených experimentů a jejich diskuze je dokazováno, že předehřev kaučuku účinným energetickým zdrojem ve svém důsledku přináší ekonomické přínosy výrobě. Jako energetický zdroj předehřevu je využita mikrovlnná technologie.

V konečné fázi je diskutován vliv předehřevu kaučuku a kaučukových směsí na jejich vlastnosti.

Abstract

The diploma thesis is focused on issue of rubber processing. The aim is the defining of preheating dependence by microwave power source on energy absorption of mixing mechanism.

The experiment is realized on the specified elastomer compound. The running of experiments was practised on manufacture equipment and laboratory equipment. On the basis of run of experiments and its discussions is argued that preheating of rubber by microwave power source outperform in processing. As the power source was used microwave technology. In conclusion is solved preheating dependence of rubber on compounds properties.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 ZÁKLADY SKLADBY SMĚSÍ.....	11
1.1 CHARAKTERISTIKA KAUČUKOVÉ SMĚSI.....	11
1.2 KAUČUK	11
1.3 SKLADBA KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	11
1.3.1 Elastomer	12
1.3.2 Vulkanizační činidla	12
1.3.3 Urychlovače.....	12
1.3.4 Aktivátory	13
1.3.5 Prostředky proti stárnutí	13
1.3.6 Plniva.....	14
1.3.7 Změkčovadla	14
1.3.8 Regenerační přísady	14
1.3.9 Další přísady	15
2 SKLADBA SMĚSÍ PŘÍRODNÍHO A BUTADIENSTYRENOVÉHO KAUČUKU	16
2.1 PŘÍRODNÍ KAUČUK (PK).....	16
2.2 BUTADIENSTYRENOVÝ KAUČUK (SBR)	16
2.3 SLOŽENÍ SMĚSÍ Z KAUČUKU PŘÍRODNÍHO A BUTADIENSTYRENOVÉHO	17
2.3.1 Chemikálie, přísady – vliv na vlastnosti kaučuků PK a SBR.....	17
3 PLASTIKACE KAUČUKU	20
3.1 PLASTIKAČNÍ ČINIDLA.....	20
3.1.1 Druhy plastikačních činidel	20
3.2 PLASTIKACE PŘÍRODNÍHO KAUČUKU	21
3.3 PLASTIKACE BUTADIENSTYRENOVÉHO KAUČUKU	21
4 MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	23
4.1 ZPŮSOBY DISKONTINUÁLNÍHO MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÉ SMĚSÍ.....	23
4.1.1 Míchání směsi na dvouválci	23
4.1.2 Míchání směsi v hnětiči	23
4.2 PRINCIPY KONTINUÁLNÍHO MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	25
4.3 ROZDÍLY A ZVLÁŠTNOSTI PŘI MÍCHÁNÍ SMĚSÍ Z PŘÍRODNÍHO KAUČUKU A KAUČUKŮ SYNTETICKÝCH.....	25
4.3.1 Míchání směsi z přírodního kaučuku.....	26
4.3.2 Míchání směsi z butadienstyrenového kaučuku	26
4.4 PROBLÉMY DISPERZE.....	27

5	PRŮMYSL OVÝ MIKROVLNNÝ OHŘEV	29
5.1	PODSTATA A VÝHODY	30
5.2	FYZIKÁLNÍ PRINCIP	30
5.3	TEORIE DIELEKTRICKÉHO OHŘEVU NEVODIVÝCH MATERIÁLŮ	31
5.3.1	Princip	31
5.3.2	Základní vztahy	31
5.3.3	Aplikace dielektrického ohřevu.....	34
5.3.4	MW ohřev elastomerů	35
5.4	MIKROVLNNÁ ZAŘÍZENÍ.....	36
6	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	38
6.1	STANOVENÍ PLÁNU EXPERIMENTU	38
6.2	POUŽITÉ MATERIÁLY A SMĚSI	39
6.2.1	Přírodní kaučuk (PK)- SIR 20SED.....	39
6.2.2	Butadienstyrenový kaučuk (SBR) - Kralex	39
6.3	SMĚSI	40
6.4	STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO LABORATORNÍ ZKOUŠKY	42
6.4.1	Digitální mikrovlnné zařízení PROFESSOR MTE – 235 BX.....	42
6.4.2	Mrazicí box – Liebherr.....	43
6.4.3	Laboratorní hnětič	43
6.4.4	Viskozimetr	44
6.4.5	Deskový kondenzátor	45
6.5	PROVOZNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ.....	45
6.5.1	Váhy	45
6.5.2	Pásová váha	46
6.5.3	Batch –feeder.....	46
6.5.4	Násypky přísad	46
6.5.5	Hnětič	47
6.5.6	Dvoušnekový vytlačovací stroj (twin screw)	47
6.5.7	Dvouválec (roller die).....	48
6.5.8	Chladicí jednotka.....	48
6.5.9	Paletovací zařízení.....	49
6.6	PRŮBĚH EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	49
6.6.1	Mikrovlnný ohřev kaučuku PK SIR 20SED a SBR Kralex za normální teploty	49
6.6.2	Mikrovlnný ohřev „zmrzlého“ kaučuku PK SIR 20SED a SBR Kralex	51
6.6.3	Opakovaný ohřev PK SIR 20SED.....	54
6.6.4	Míchání kaučukových směsí v laboratorních podmínkách.....	55

6.6.5	Míchání směsi v provozu.....	61
6.7	METODY HODNOCENÍ KAUČUKŮ A KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	74
6.7.1	Stanovení dielektrických vlastností kaučuků.....	74
6.7.2	Stanovení plasticity (viskozity) vzorků kaučuků.....	77
6.7.3	Hodnocení disperze kaučukových směsí pomocí fotografické metody.....	78
6.8	ZHODNOCENÍ INVESTICE MW TECHNOLOGIE Z EKONOMICKÉHO HLEDISKA.....	78
6.8.1	Vliv mikrovln na náklady a tržby	78
6.8.2	Hlavní položky pro výpočet nákladů.....	80
6.8.3	Posouzení návratnosti.....	80
6.8.4	Výpočet celkových ročních nákladů při pořízení MW technologie	80
6.8.5	Výpočet jednotkových nákladů	81
6.8.6	Výpočet návratnosti investice.....	81
7	DISKUZE VÝSLEDKŮ	83
7.1	OHŘEV KAUČUKŮ MW TECHNOLOGIÍ	83
7.2	ROZMRAZOVÁNÍ.....	83
7.3	OPAKOVANÝ OHŘEV	84
7.4	MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH.....	84
7.5	MÍCHÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ V PROVOZU	84
7.6	VLIV PŘEDEHŘEVU KAUČUKU NA SPOTŘEBU ENERGIE PŘI MÍCHÁNÍ	85
8	ZÁVĚR	89
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK	97
	SEZNAM PŘÍLOH.....	99

ÚVOD

Plastikářská a gumárenská výroba se řadí mezi výroby s vysokou energetickou náročností. Faktem je, že do ceny výrobku se náklady na energii promítají významným podílem.

Jednou z energeticky nejnáročnějších operací gumárenských výrob je příprava materiálu. Ta se podílí z více jak poloviny na celkových energetických nákladech [17], proto je důležité hledat cesty, které by vedly ke snížení energetických nákladů, tím i ceny finálního výrobky a zvýšení konkurenceschopnosti výrobků na tuzemském i zahraničním trhu. Jednou z diskutovaných cest vedoucích ke snížení energetických nákladů je využití mikrovlnného ohřevu v procesu přípravy gumárenských směsí.

Aplikace mikrovlnného zpracování polymerů a kompozitů již byla prováděna v několika laboratořích po celém světě a to již dvě desetiletí. Podstavný vliv vytvořila v oblasti gumárenského a potravinářského průmyslu, kde zpracování prostřednictvím mikrovlnného ohřívání zaznamenal značné výhody. Narozdíl od obvyklých tepelných postupů tyto výhody spočívají v rychlém objemovém ohřevu, ne v ohřevu na povrchu, energetických úsporách, nízkých provozních nákladech, zvýšeným výkonem a redukcí degradace [19].

Předmětem úsilí diplomové práce je vyšetřit vliv mikrovlnného ohřevu kaučuků na vlastnosti kaučukových směsí.

Práce je rozdělena do několika částí. V první části je vypracována literární studie, na kterou dále navazuje experimentální část. V této části jsou zařazeny tyto zkoušky: ohřev kaučuku MW technologií, rozmrazování kaučuků MW technologií, opakovaný ohřev MW technologií. Dále pak navazují zkoušky: míchání směsí v laboratorních podmínkách, míchání směsí v provozu. Je také diskutován vliv investice na pořízení mikrovlnného zařízení z ekonomického hlediska.

Na základě experimentů je vyhodnocen vliv mikrovlnného ohřevu kaučuku na vlastnosti kaučukových směsí.

1 ZÁKLADY SKLADBY SMĚSÍ

1.1 Charakteristika kaučukové směsi

Pod pojmem směs rozumíme dvou a více složkový systém. Tyto směsi se připravují mícháním. Aby konečné výrobky měly požadované chemické a fyzikální vlastnosti, musí být jednotlivé navážky homogenně zamíchány.

Zpravidla se homogenita směsi posuzuje podle koncentrace příslušné složky v odebraných vzorcích, která by měla reprezentovat celou směs. Při posuzování homogenity směsi je důležitým pojmem mezná velikost částic [6]. Rozumí se tím nejmenší částice přidané složky po ukončení směřování. Měrná velikost může být:

- | | |
|------------------|------------|
| 1. molekulární | pod 1 nm |
| 2. koloidní | 1- 1000 nm |
| 3. mikroskopická | 1-100μm |
| 4. makroskopická | nad 100 μm |

Směs může obsahovat kteroukoliv kombinaci složek tuhých, tekutých i plyných.

1.2 Kaučuk

Kaučuk jako surovina je charakterizován neobvyklou kombinací fyzikálních vlastností:

vysoká elasticita při nepatrné tvrdosti a mimořádně velkou tažností. Pod pojmem kaučukovitý stav bývá chápána schopnost hmoty vracet se po uvolnění síly působící deformaci tahem, tlakem nebo torzní rychle do původního geometrického tvaru. Látky, které vykazují kaučukovité vlastnosti při normální teplotě, se označují jako elastomery.

Podle jiné definice jsou kaučuky makromolekulární látky schopné přecházet vulkanizací ze stavu převážně plastického do stavu převážně elastického [1].

1.3 Skladba kaučukových směsí

Při skladbě směsí je cílem vypracovat směsi, které lze zpracovávat na dosavadních zařízeních a které vulkanizací dávají pryž požadovaných vlastností; přitom je nutné mít na zřeteli i ekonomii výroby [2].

Gumárenské výrobky jsou vulkanizované směsi kaučuků, různých chemikálií a přísad. Základní složkou směsi je kaučuk, který dává směsi i pryži základní charakteristické vlastnosti. Dále se snažíme modifikovat vlastnosti kaučuku tak, aby výsledný produkt co nejlépe vyhovoval jak aplikaci, tak i požadavkům na zpracování [3].

V gumárenských směsích se koncentrace přísad označuje *dsk* (díly na sto dílů kaučuku) nebo *phr* (z anglického parts per hundred rubber) [3].

Gumárenské směsi členíme:

1. elastomer,
2. vulkanizační činidla,
3. urychlovače,
4. aktivátory,
5. prostředky proti stárnutí (antidegradanty, antiozonanty, antioxidanty)
6. plniva (ztužující, neztužující),
7. změkčovadla,
8. regenerační přísady,
9. další přísady (retardéry, plastikační činidla).

1.3.1 Elastomer

Správná volba elastomeru je založena na srovnání požadavků specifikovaných zákazníkem, aplikačních podmínkách výrobku a vlastnostech kaučuku. Při volbě kaučuku je nutno věnovat pozornost rozsahu teplot použití, odhadnout i zpracovatelnost směsi ve vztahu ke konstrukci výrobku. Pokud není k dispozici kaučuk s požadovanými zpracovatelskými vlastnostmi, může být upraven (např. mastikací), nebo se použije směs různých molekulových hmotností. Zpracování usnadňují i přísady.

1.3.2 Vulkanizační činidla

Vulkanizační činidla jsou látky schopné vytvářet chemickou reakcí příčné vazby mezi řetězcí kaučukového uhlovodíku, čímž dojde v nepříliš dlouhém čase k *sesítování*. S nástupem nových syntetických kaučuků se objevují i nové vulkanizační systémy, a tedy i nová vulkanizační činidla. Nejznámější vulkanizační činidlo je síra, oxidy kovů, reaktivní pryskyřice [1].

1.3.3 Urychlovače

Urychlovače jsou látky, jež podporují činnost vulkanizačních činidel. Vhodným výběrem urychlovačů a jejich dávkování lze vulkanizovat ve značném časovém rozsahu i rozsahu teplot a ovlivňovat různé vlastnosti pryže. Urychlovače lze přidávat samostatně jako primární nebo častěji v kombinacích. Kombinace běžných urychlovačů má zpravidla větší účinek. Nejčastěji se kombinují kyselé urychlovače s bazickými a pomalé s rychlými. Dle

rychlosti reakce je dělíme na: pomalé, rychlé, velmi rychlé, ultrarychlé a speciální. V praxi jsou nejznámější např: Vulkacit, MOZ, Thiofise, Thiotax, Sulfenax [4].

1.3.4 Aktivátory

K plnému využití síry a urychlovače je nutná přítomnost aktivátorů, které jsou součástí vulkanizačního systému.

Aktivátory vulkanizace zvyšují účinnost síťování, tj, za stejných podmínek vulkanizace zvyšují koncentraci příčných vazeb. Jako aktivátoru se používá téměř ve všech směsích kysličníku zinečnatého. Protože přírodní kaučuk obsahuje kolísavé množství mastných kyselin, je třeba přidávat některou organickou kyselinu, nejčastěji stearovou, aby byl převáděn zinek na formu rozpustnou v kaučuku. Obsah organických kyselin je třeba upravovat i u kaučuků syntetických.

1.3.5 Prostředky proti stárnutí

V průběhu stárnutí mění vulkanizáty vlastnosti obvykle v důsledku oxidačních procesů urychlovaných teplem. Odolnost vulkanizátů proti degradaci je dána především chemickou strukturou použitého kaučuku. Např. dienové kaučuky jsou (vzhledem ke své vysoké reaktivitě dvojných vazeb) napadány kyslíkem a ozonem rychleji než nasycené kaučuky. Na stárnutí mají vliv i vlastnosti sítě. Sirné systémy s nižším obsahem síry nebo produkty peroxidické vulkanizace dávají obvykle lepší odolnost proti stárnutí a zvýšeným teplotám než konvenční vulkanizační systémy.

a) antidegradanty

Při daném složení směsi můžeme průběh stárnutí zpomalit použitím tzv. antidegradantů dávkovaných zpravidla v množství 1-3 dsk. Každý antidegradant má své „spektrum účinnosti“. Často platí, že silně zabarvující antidegradanty jsou silnější.

b) antioxidanty

Antioxidanty zpomalují stárnutí tím, že se samy oxidují na bezbarvé (u nezbarvujících) nebo na barevné (u zbarvujících) produkty, které jsou obvykle relativně stálé. Antioxidanty přerušující kinetický řetězec blokuji peroxidické radikály, zatímco preventivní antioxidanty reagují již s primárně vznikajícími hydroperoxidy.

c) antiozonanty

Antiozonanty difundují na povrch vulkanizátu, kde reagují s ozonem (ozon neproniká do hloubky). K fyzikální ochraně proti ozonu se používají vosky, které vykvétají na povrch. Pro dynamicky namáhané výrobky se vosky kombinují s chemickými antiozonanty.

V praxi se nejčastěji používají tyto prostředky proti stárnutí: Santoxlex IP, Antioxidant CD, PBN fenylbetanaftylamin [3].

1.3.6 Plniva

Přítomnost plniv má významný vliv na vlastnosti vulkanizátu. Např. modul pružnosti se proti neplněným vulkanizátům obvykle zvýší cca desetinásobně. U většiny vulkanizátů zlepšují plniva také odolnost proti oděru.

a) ztužující plniva

Velikost ztužení závisí na struktuře a velikosti částic plniva a na aktivitě jeho povrchu. Ztužující plniva zlepšují fyzikálně mechanické vlastnosti, pevnost, pružnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení. Nejznámější jsou saze, které se vyrábějí z organických látek chemickými reakcemi za vysokých teplot. V závislosti na použitých surovinách, přísadách a podmínkách výroby vznikají saze s různou velikostí částic. V praxi se setkáváme s plnivem: saze (C_4), Silika (SiO_2).

b) neztužující plniva

Neztužující plniva zpravidla zvětšují objem, zlevňují výrobek. V praxi se nejvíce používají minerální plniva (např. kaolin, křída), která představují skupinu gumárenských plniv různého chemického složení a s různou aktivitou.

1.3.7 Změkčovadla

Změkčovadla jsou kapaliny nebo nízkomolekulární pryskyřice, které se rozpouštějí v daném kaučuku, snižují mezimolekulární síly mezi jeho řetězci a zvyšují jeho deformovatelnost. Používají se ke snížení viskozity a zvýšení plasticity kaučukové směsi. Při nízkých koncentracích urychlují změkčovadla dispergaci plniv ve směsi. Při vyšším dávkování snižují změkčovadla viskozitu a elasticitu směsi a tím snižují spotřebu energie při zpracování [3].

Změkčovadla usnadňují zpracovatelnost směsi, snižují tuhost, zvyšují lepivost. Mezi nejznámější produkty patří: Parafin, Cerezin, Ropné oleje, Asfalty, Dehty, Pryskyřice, Kalafuna, Smrkový dehet apod.

1.3.8 Regenerační přísady

Regenerace je pochod, jímž se stará pryž nebo vulkanizovaný odpad převádí působením mechanické a tepelné energie do stavu, v němž se může znovu mísit, zpracovávat

a vulkanizovat. Podstatou regenerace je destrukce. Dochází k trhání sítě, zkracování řetězců, při čemž vznikají i nové dvojné vazby [1].

Regenerát ve směsích často doplňuje elastomer, zřídka se ho používá samotného jako základu směsi. Použití regenerátu má vedle ekonomického významu (levnost) i mnoho technických výhod. Zkracuje se doba potřebná k míchání, protože regenerát byl během přípravy vystaven již značnému mechanickému zpracování. Obsahuje již také homogenně rozptýlené přísady (saze, plniva, aktivátory, změkčovadla). Přídavek regenerátu také urychluje vulkanizaci, usnadňuje vytlačování a válcování. Zkušenosti ukazují, že směsi s regenerátem pomaleji stárnou. Používá se do méně kvalitních směsí.

1.3.9 Další přísady

a) retardéry

Retardéry zpomalují nástup vulkanizace do 120 °C, umožňují zpracovatelnost směsí, zvyšují produktivitu. Nejpoužívanější jsou: Santogard PVI, Vulkalet G, Duslin [4].

b) plastikační činidla

Plastikační činidla zkracují dobu plastikace, odbourávají tuhost kaučuku. Mezi nejznámější patří: Peptazin, Renacit [4].

c) zvláštní přísady

Látky, které dávají vulkanizátu speciální vlastnosti. Do této skupiny zahrnujeme přísady jako jsou např. nadouvadla (výroba lehčené pryže), faktisy (zlepšují zpracovatelnost, zhoršují odolnost proti oděru – nevhodné do pneumatik), pigmenty (dávají požadované zbarvení), barviva, MoS₂ a grafit (snižují koeficient tření) [1].

2 SKLADBA SMĚSÍ PŘÍRODNÍHO A BUTADIENSTYRENOVÉHO KAUČUKU

2.1 Přírodní kaučuk (PK)

Je obsažen v latexu kaučukodárných stromů a keřů. Nejvýnosnější pro výrobu PK je druh *Hevea Brasiliensis* na plantážích okolí rovníku. Největšími producenty přírodního kaučuku jsou státy jihovýchodní Asie a to Malajsie, Indonésie, Kambodža, Vietnam, dále Brazílie, Rovníková Afrika. Výroba kaučuku začíná čepování latexu, který vytéká ze stromů do připravené misky. Po několika hodinách výtok ustane a obsah nádobek se slévá do sběrných nádob. Latex obsahuje asi 40 % kaučuku, který se z něj získá vysrážením pomocí kyseliny mravenčí nebo octové. Získané bloky PK se propírají vodou, suší, konzervují uzením. Jednotlivé druhy se liší obsahem nečistot, barvou a použitím. Mezi nejznámější druhy

patří: uzený kaučuk, světlá krepa [2].

Přírodní kaučuk lze použít ve všech případech, kde se nepožaduje odolnost pryže proti botnání (v nepolárním prostředí), zvýšená odolnost proti teplotě, některým chemickým činidlům, povětrnosti a ozónu. Jeho předností je velká pevnost neplněných a světlých pryží, výborné dynamické vlastnosti (malé hysterezní ztráty), dobrá odolnost proti nízkým teplotám. Není běžně vhodný pro rychlé vulkanizace při vyšších teplotách [15].

Nejpoužívanější přírodní kaučuky v gumárenském průmyslu přicházejí v balících o hmotnosti 35 kg od producentů Malajsie – SMR a Indonésie – SIR. Méně používány kaučuk při výrobě pneumatik je uzený kaučuk – RSS. Jednotlivé druhy se liší obsahem nečistot, barvou a použitím [4].

2.2 Butadienstyrenový kaučuk (SBR)

Butadienstyrenové kaučuky jsou nejdůležitějším druhem syntetického kaučuku a toto postavení si pravděpodobně udrží nadále.

Průmyslová výroba SBR byla umožněna zvládnutím emulzní polymerace už před druhou světovou válkou. Prvním syntetickým kaučukem tohoto typu byla německá Buna S. Polymerace se prováděla při teplotě 50 °C. Vzniklé polymery měly velkou molekulovou hmotnost, a proto byly tuhé a nedaly se přímo zpracovávat. Intenzivní výzkum v poválečném období přinesl tzv. redukčně-oxidační polymeraci. Polymerační teplotu bylo

možno snížit z původních 50°C na 5 °C při zachování dostatečné rychlosti polymerace. Při nižší teplotě vzniká polymer s pravidelnější strukturou a lepšími vlastnostmi. Tento druh emulzního SBR se nazývá studený (SBR 1500). V České republice se vyrábí pod označením Kralex [1].

Všeobecně se SBR hůře zpracovává než přírodní kaučuk, proto se do směsi přidává více změkčovadel. SBR je používán pro pryže dynamicky namáhané a pryže s vysokou strukturní pevností. SBR se často zpracovává ve směsi s kaučukem přírodním, cis-1,4-polyizoprenem nebo cis-1,4-polybutadienem. Přídavkem přírodního kaučuk se zlepšuje konfekční lepivost, vytlačovatelnost, válcování. SBR je vhodný pro výrobu běžných výrobků: podrážek, podpatků, hadic apod. Zvláště je třeba zvážit použití SBR v pláštích pneumatik. Z hlediska výkonu lze téměř 100 % použít do směsí na pláště pneumatik osobních automobilů; malá konfekční lepivost nánosů zhoršuje však výkon při konfekci. Výhodou je, že lze používat kratších vulkanizací při vyšších teplotách. Při volbě SBR se přechází na kaučuky polymerované za studena, regulované (typ 1500), které mají lepší mechanické vlastnosti, především odolnost proti opotřebení. Kaučuk teplý (typ 1000) se snáze plastikuje, poněkud lépe zpracovává, snáší větší obsah plniv a dává se mu přednost pro pryže, které mají dobře odolávat prolamování.

2.3 Složení směsí z kaučuku přírodního a butadienstyrenového

Tab. 1. Složení směsí z kaučuku přírodního a butadienstyrenového

Složení	Rozmezí složení (dsk)	Typický příklad (dsk)
Kaučuk	100	100
Síra	0,5-50	1,8-3
Urychlovač	0,3-4	1,2
Kysličník zinečnatý	1-10	3
Kyselina stearová	0-4	2,5
Antioxidant	0-3	1,5
Změkčovadlo	2-10	5
Plnivo	20-300	50-100

2.3.1 Chemikálie, přísady – vliv na vlastnosti kaučuků PK a SBR

a) vulkanizační systém

U obou druhů kaučuku se vulkanizační systém skládá nejčastěji ze síry jako vulkanizačního činidla, z organického urychlovače a ze zinkové běloby a kyseliny stearové jako aktivátorů. Se stoupajícím obsahem síry se zvětšuje sklon směsi k navulkanizování a se vzrůstající síťovou hustotou se zvětšuje modul pružnosti, strukturní pevnost a odolnost proti prolamování [1].

b) urychlovač

Nepříhlíží-li se prozatím k vlastnostem, které urychlovač pryži dodává (modul, odolnost proti stárnutí apod.), bude rozhodující pro volbu urychlovače z hlediska zpracování bezpečnost systému, z hlediska tvaru a tloušťky vulkanizační křivka, z hlediska výrobního režimu

a ekonomie optimum vulkanizace. Základními primárními urychlovači pro většinu směsí jsou thiazoly [1].

c) antioxidant

Přírodní kaučuk obsahuje přírodní antioxidanty, které ho chrání při skladování, pro dlouhodobé použití je třeba pryž z přírodního kaučuku chránit proti přirozenému stárnutí. Ke kaučuku SBR se přidává vhodný antioxidant jako stabilizátor již při výrobě, je tedy proti přirozenému stárnutí odolnější a zpravidla stačí jen chránit jej proti vnějším vlivům. Protože není znám antioxidant, který by v plné míře mohl chránit pryž proti všem vnějším nepříznivým vlivům, je někdy třeba antioxidanty kombinovat. Je třeba zdůraznit, že žádný antioxidant nechrání pryž, je-li pro daný účel špatně sestavena nebo připravena ze špatných surovin. Převulkanizovaná pryž odolává stárnutí vždy hůře.

d) plniva a plnění

Účinek plniva závisí jednak na velikosti a tvaru částic a na chemické povaze povrchu a dokonalosti disperze, jak již bylo uvedeno výše. Nejdůležitějším plnivem k dosažení dobrých mechanických vlastností jsou saze. V přírodním kaučuku zlepšují aktivní saze podstatně odolnost proti opotřebení a strukturní pevnost, v kaučuku butadienstyrenovém zlepšují kromě dynamických vlastností všechny ostatní. S rostoucími dávkami sazí se zvyšuje viskozita, sklon k navulkanizování, pevnost, tvrdost, modul, zahřívání při dynamickém namáhání a snižuje se naopak tažnost. Protože samotná neplněná pryž z PK má velmi dobré mechanické vlastnosti, mají i pryže plněné neztužujícími plnivy, jako je velmi jemně mletý vápenec nebo kaolín, použitelné vlastnosti. Některá světlá plniva mají vliv i na zpracovatelnost, tj. upravují vytlačovatelnost a válcovatelnost. Takovými plnivy jsou

např. srážený uhličitán vápenatý a srážený uhličitán hořečnatý (magnézia karbonika). Obě

tato plniva ztužují také směsi tak, že nedochází tak snadno k deformaci při volné vulkanizaci.

Jinak se projevují světlá plniva v kaučuku butadienstyrenovém. Neplněné směsi mají velmi špatné mechanické vlastnosti, a proto s výjimkou velmi jemně mletého vápence i běžná světlá plniva – jako je kaolín, srážený uhličitán apod. – zlepšují mechanické vlastnosti asi do plnění 100 dsk. Při větším plnění dochází po určité prodlevě k poklesu vlastností. Jemná ztužující plniva – jako srážený kysličník křemičitý, jemné křemičitany a uhličitany vápenaté – ztužují výrazně butadienstyrenový kaučuk, nedosahuje však takových hodnot jako

u kaučuku přírodního. tato plniva většinou zpomalují vulkanizaci a je přidávat vhodný aktivátor [1].

e) změkčovadla

Přírodní kaučuk vyžaduje menší dávky změkčovadel než obtížněji zpracovatelný kaučuk butadienstyrenový. Mimo extrémně nepolární uhlovodíky s větší molekulovou hmotností (parafín, cerezín apod.) se s přírodním kaučukem dobře mísí většina změkčovadel. Z ropných produktů jsou vhodná změkčovadla povahy naftenické až aromatické, z produktů dehtovitých je výborným změkčovadlem pro přírodní kaučuk smrkový dehet. Tato změkčovadla se dávkují v rozmezí 2-5 dsk. Ke zvýšení lepivosti se přidává kumaronová pryskyřice, fenolformaldehydové pryskyřice, kalafuna apod. Parafín v dávkách 1-2 dsk zlepšuje vytlačovatelnost směsí a chrání pryž po vykvetení na její povrch proti účinkům ozónu. Pro butadienstyrenový kaučuk jsou nejvhodnější změkčovadla ropné produkty naftenické a aromatické povahy. Smrkový dehet je pro tento kaučuk nevhodný. Aby se zvýšila lepivost, přidává se kumarová pryskyřice, Koresin, Rubresin spod.Esterů (ftalátů, adipátů nebo sebakátů) se pro vysokou cenu používá do směsí na výrobky, u nichž se vyžaduje např. velká odolnost proti nízkým teplotám [1].

3 PLASTIKACE KAUČUKU

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

V průběhu plastikace se snižuje molekulová hmotnost kaučuku, což umožňuje a zlepšuje průběh dalších operací – míchání, vytlačování, lisování, nadouvání, konfekce a přípravy roztoků. Plastikaci je třeba vést do takového stupně, kterého je nevyhnutelně třeba pro úspěšné zpracování. Nadměrnou plastikací se zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátu a zhoršuje se i odolnost proti únavě a stárnutí [2].

3.1 Plastikační činidla

Plastikace na dvouválci, v hnětiči nebo ve šnekovém plastikačním stroji vyžaduje značné množství energie, nákladné strojní zařízení, velký počet pracovních sil na úkor vlastní výroby gumárenských směsí. Nároky zmenšíme jednak zpracováním kaučuku regulovaných při polymeraci tak, aby byly přímo zpracovatelné nebo maximálně zkrátit dobu plastikace. Zavedením plastikačních činidel je možno podstatně zkrátit dobu plastikace potřebnou k dosažení požadované plasticity [2].

3.1.1 Druhy plastikačních činidel

V současné době je známa celá řada sloučenin, vyznačujících se plastikačním účinkem. Jsou to látky nejrůznějšího složení, jako aromatické merkaptany a jejich soli, disulfidy, fenoly, aromatické aminy, organické kyseliny a jejich soli, peroxidy, nitrosloučeniny a deriváty kyseliny dithiokarbamidové, její soli, deriváty močoviny [2].

Z tohoto přehledu by mohl vzniknout dojem, že nároky na vlastnosti plastikačních činidel jsou poměrně malé. Ve skutečnosti je však výběr vhodných plastikačních činidel ztížen řadou požadavků. Od dokonalého plastikačního činidla se požadují tyto vlastnosti:

- zdravotní nezávadnost,
- levná cena,
- účinnost při pokud možno nízkých teplotách,
- musí se dobře vmíchat do kaučuku,
- nemá ovlivňovat průběh vulkanizace,
- nesmí zhoršovat fyzikálně mechanické vlastnosti vulkanizátu a jejich stárnutí,
- nesmí měnit barvu vulkanizátu vlivem světelného záření,

- musí vyhovovat konzistencí navažovací technologii.

Všechny tyto požadavky znesnadňují výběr plastikačních činidel, neboť současně s vhodnými technologickými vlastnostmi musí být splnění podmínky jejich výroby a hlavně toxikologické požadavky.

3.2 Plastikace přírodního kaučuku

Přírodní kaučuk se do gumárenských závodů v 100 až 113 g balících rozměrů přibližně 600 x 500 x 400 mm. Dříve než se kaučuk použije k přípravě směsí, musí být zahřátím zrušena krystalizace (zvláště v zimním období) a kaučuk po rozsekání zplastikován. Při použití kaučuku ztuhlého krystalizací k plastikaci je nebezpečí, že dojde k vážnému poškození stroje nebo k jeho většímu opotřebení a nadměrné spotřebě elektrické energie. U kaučuku, který jednou zmrzl, trvá zrušení krystalizace při 20 až 25 °C velmi dlouho. Krystalizace se proto ruší zahříváním při 50 až 80 °C. Dříve se kaučuk rozehtával v komorách vyhřívaných párou. Zmrzlý kaučuk je také možno ohřívat dielektrických ohřevem.

Rozehtátý a rozsekaný přírodní kaučuk se plastikuje na válcích, v šnekových hnětacích strojích nebo v hnětacích strojích.

V současné době se dává přednost plastikaci přírodního kaučuku ve šnekových plastikátorech a především v hnětacích strojích.

Pro plastikaci přírodního kaučuku v hnětacím stroji se osvědčila plastikační činidla typu disulfidů pro svůj mírnější účinek při povrchové oxidaci horkého kaučuku na vzduchu po vypuštění ze stroje.

Na trhu je dostupný již plastikovaný přírodní kaučuk. Plastikace u zpracovatele je tak odstraněna nebo podstatně zkrácena a spotřeba elektrické energie je menší [2].

3.3 Plastikace butadienstyrenového kaučuku

Mechanická plastikace kopolymerů butadienu se styrenem je ve srovnání s plastikací přírodního kaučuku málo účinná. Velmi se však rozšířil způsob plastikace, používající tepelně oxidačního odbourávání. Tepelné odbourávání je založeno na působení vzdušným kyslíkem na kaučuk za zvýšených teplot. Jeho průběh je podmíněn teplotou a parciálním tlakem kyslíku. Používá se dvou způsobů odbourávání.

V prvním případě se odbourává v uzavřených tlakových kotlích, zpravidla při tlaku vzduchu několik atmosfér, s prouděním vzduchu a určitými dávkami surového kaučuku, stejnoměrně navrstveného na plechy do výšky 30 mm. Plechy se klouzkují nebo postřikují

apretačním roztokem, aby se zabránilo nalepování. Rychlost proudění vzduchu je 3-4 m/s, rovnoměrně v celém kotli.

V druhém případě se kaučuk odbourává nepřetržitě, přičemž se z technických důvodů pracuje za normálního tlaku (1at) a dobrého proudění vzduchu, obvykle se souvislým pásem. Hranice odbouratelnosti je definována jako hodnota plasticity defo, která odpovídá nejnižší hodnotě elastického podílu deformace v závislosti na době odbourávání při dané teplotě. Kromě teploty má na průběh odbourávání vliv přístup kyslíku a jeho tlak. Přístup kyslíku je dán povrchem kaučuku, jeho pórovitostí a rychlosti difúze k vnitřním vrstvám [2].

4 MÍCHÁNÍ KAUKOVÝCH SMĚSÍ

Míchání je základní a nejdůležitější proces v gumárenské technologii. Na rozdíl od plastikářské technologie, kde se většina základních surovin zpracovává přímo nebo jen s malým množstvím příměsí, obsahuje gumárenská směs kromě výchozího kaučuku průměrně až deset složek. Každá z těchto složek má svůj specifický úkol, a proto účelem míchání je zajistit co nejstejnějším jejich rozptýlení čili disperzi kaučukové směsi [2].

4.1 Způsoby diskontinuálního míchání kaučukové směsi

Kaučukové směsi se míchají v hnětiči nebo na dvouválci (barevné směsi, zkušební směsi). Pro přípravu polotovarů se směsi míchají v hnětiči. Jejich výhodou je, že se mohou zařadit do výrobních míchacích linek a částečně nebo úplně automatizovat celý výrobní cyklus míchání. Hnětiče zvyšují bezpečnost práce, produktivitu a minimalizují negativní vlivy na životní prostředí [2].

4.1.1 Míchání směsi na dvouválci

Používá se jen výjimečně, především pro laboratorní, poloprovozní a speciální účely. Není vhodné míchat směsi vysoce plněné, zejména sazemi z hlediska znečišťování pracovního prostředí. Míchání směsi na dvouválci je navíc značně neekonomické, zdlouhavé, zvyšuje riziko úrazu a znečišťuje více životní prostředí [2].

4.1.2 Míchání směsi v hnětiči

Hnětací stroje jsou nejužívanějším strojním zařízením pro přípravu kaučukových směsí. Míchání u moderně řízených strojů počítačem je zcela automatické. Hnětacích strojů se začalo v gumárenském průmyslu používat po roce 1920. Jejich zavedením se sledovalo především zvýšení produktivity při míchání směsí. V nynějším gumárenském průmyslu se využívá hnětacích strojů k těmto operacím.

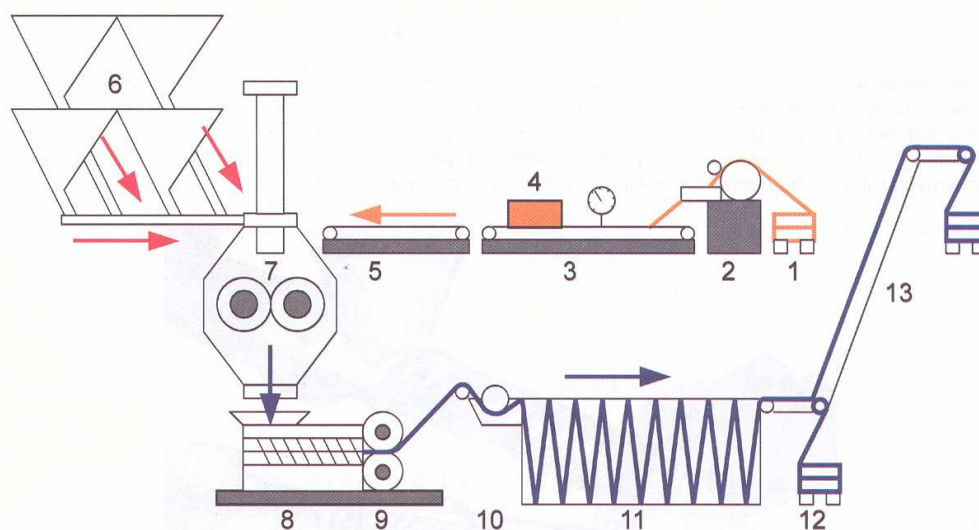
- k míchání směsí,
- k plastikaci přírodního a syntetického kaučuku,
- k regeneraci pryžového odpadu.

Další využití hnětacích strojů je v průmyslu zpracování plastických hmot.

Hlavní hnětení nastává mezi rotory a stěnou komory, kde v důsledku sbíhavé šterbiny mezi rotorem a stěnou komory dochází k největšímu stříhovému účinku. Šířka této šterbiny se pohybuje kolem 6-7 mm. Rozdílná rychlost obou rotorů a jejich profil umožňuje neustále převrácení míchané směsi uvnitř pracovního prostoru ve všech směrech.

Hlavní části hnětacího stroje

- hnětací komora se zařízení pro vstřikování tekutých přísad
- hnětadla (rotory), uložena v hnětací komoře
- hnací motor s převodovou skříní
- násypka
- horní přítlačný klín
- spodní uzávěr
- chladič systém
- váhový dopravník
- řídicí a ovládací zařízení

*Míchací linka pro míchání základů směsí*

- | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--|
| 1. paleta se základ. směsí | 6. násypky přísad | 10. smáčecí vana se separační suspenzí |
| 2. podavač (Millfeeder) | 7. hnětič | 11. chladička plástů |
| 3. pásová váha | 8. vytlačovací stroj (extruder) | 12. skládání plástu na paletu |
| 4. kaučuk | 9. zásobovací dvouválec | 13. dopravník plástu do II. etáže |
| 5. plnicí dopravník | | |

Obr. 1. Míchací linka pro míchání základů směsí

4.2 Principy kontinuálního míchání kaučukových směsí

Kaučuk zplastikovaný v hnětacích strojích padá do peletizéru nebo do šnekového vytlačovacího stroje granulačního s čištěním, v němž se převádí do formy pelet nebo se plastifikuje v plastikátoru s peletizační hlavou. Vysušené a ochlazené pelety se mechanicky nebo pneumaticky dopravují do centrálního zásobníku u hnětacího stroje. Míchání směsi se řídí automaticky. Zamíchaný základ směsi se zpracovává rovněž přes peletizér, pelety se dopravují automaticky do zásobníku umístěného u hnětacího stroje pro domíchávání směsi. Komplettní směs se pak zpracovává na dvouválci, na šnekovém vytlačovacím stroji pásů. Uvnitř tohoto nepřetržitého pochodu může existovat mnoho technických i organizačních variant, zejména vzhledem k úloze centrálního stanoviště.

Jiný způsob kontinuálního míchání směsi, představuje tzv. rotomil. Stroj se podobá vytlačovacímu stroji, avšak šnek je zde nahrazen dutým profilovaným tělesem, rotorem, na jehož obvodu jsou drážky spirálně vedené pod určitým úhlem k ose rotoru. Objem těchto drážek nesmí být míchanou směsí zcela naplněn, jinak by nastávalo nedostatečné přepouštění směsi z jedné drážky do druhé přes šterbinu mezi výstupky rotou a pláštěm stroje. Šířka šterbiny, rychlost otáčení rotoru a teplota jsou ovladatelné parametry. Kaučuk musí být ve formě pelet pro plynulé vážení, práškové přísady je třeba předem smíchat a dávkovat plynule a postupně. Plnicí otvory jsou minimálně dva, první pro kaučuk, druhý pro plnivo. Stroj je vhodný pro plastikaci přírodního kaučuku nebo pro ohřívání směsí plynule zpracovávaných na jiném stroji.

4.3 Rozdíly a zvláštnosti při míchání směsí z přírodního kaučuku a kaučuků syntetických

Bylo již řečeno, že míchání směsí je základním technologickým pochodem v gumárenské výrobě a jeho výsledek je ovlivněn různými faktory. Mnohé z těchto vlivů jsou známy a lze je ovládat. Velmi variabilním faktorem při míchání je složení samotné směsi. Druh, množství a vlastnosti kaučuku, plniv, popř. změkčovadel a ostatních složek podmiňují různost vzájemných vztahů fyzikální nebo chemické povahy a různou tepelnou bilanci procesu. Hlavní rozdíly a zvláštnosti při míchání se vyskytují především u směsí na bázi různých kaučuků se ztužujícími typy plniv. Způsob míchání musí být zaměřen na dosažení maximálního stupně disperze, má-li se dosáhnout plně požadovaných vlastností vulkanizátu.

4.3.1 Míchání směsi z přírodního kaučuku

Přírodní kaučuk přichází do gumárenského závodu tuhý a pro přímé zpracování se nehodí. Pro příjem plniva stačí již krátká doba plastikace, avšak potřebná plasticita kaučuku je ovlivněna i způsoby dalšího zpracování zamíchané směsi (válcováním, nánosováním, vtíráním nebo natíráním).

Je třeba vzít v úvahu, že plastikace přírodního kaučuku pokračuje i během míchání a dalšího zpracování a má příslušný negativní vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti vulkanizátu. V některých případech může dojít i k tzv. ztrátě „nervu“, tj. k podstatnému úbytku elastického podílu deformace. Říkáme, že kaučuk je předplastikován. Je to provázeno

např. deformovatelnosti polotovarů vlastní vahou a dále značným poklesem fyzikálně mechanických vlastností.

Míchání směsí na dvouválci za použití přírodního kaučuku probíhá prakticky bez potíží. Míchá se při teplotě 60-70 °C, aby nedocházelo k dalšímu lámání: přírodní kaučuk lépe drží na teplém válci, a proto se více chladí zadní válec.

Míchání směsi v hnětacím stroji probíhá rovněž bez potíží. Vysoká teplota dosahovaná v moderních vysokovýkonných typech hnětacích strojů neovlivňuje znatelněji vlastnosti směsi, protože působí jen krátkou dobu [2].

4.3.2 Míchání směsi z butadienstyrenového kaučuku

Při míchání směsi z butadienstyrenového kaučuku na dvouválcích je vytvoření souvislého pláště kolem předního válce obtížnější. V důsledku malé pevnosti kaučuků plást snadno praská, a proto se zpočátku musí pracovat z užší šterbinou mezi válci. Teprve po zpevnění plástu např. zamícháním části plniv je možno šterbinu povolovat. Tím se doba míchání prodlužuje. Teplo vyvíjené při míchání je podstatně vyšší než u přírodního kaučuku, což vyžaduje účinnější chlazení. Skluz válců se volí menší. Směsi z butadienstyrenového kaučuku se míchají na válcích teplých 40-50 °C, kaučuk se méně trhá a na válci lépe drží, chladí se víc přední válec. Doba míchání v hnětacím stroji se proti přírodnímu kaučuku neprodlužuje, neboť použitý kaučuk má již vhodnou plasticitu a není třeba čekat na zpevnění plástu.

Směsi z butadienstyrenového kaučuku nastavené olejem, které se míchají v hnětacích strojích, vypadávají obvykle v menších kusech. Určitého zlepšení lze dosáhnout změkčením celkové navážky směsi nebo použitím vysokovýkonných hnětacích strojů. Zamíchaná směs se zpracovává na válcích při užší šterbině, popř. s menším skluzem [2].

4.4 Problémy disperze

- saze

Závažným problémem při míchání je disperze ztužujících sazí. Musí být dokonalá, protože saze mají podstatný vliv zejména na pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti opotřebení vulkanizátu. Obecně lze konstatovat, že čím jsou saze jemnější, tím hůře dispergují, protože mají větší sklon k aglomeraci částec.

V odborné literatuře se vyskytuje mnoho teoretických úvah zabývajících se vztahem kaučuk-plnivo. Jsou zaměřeny především na saze, o jejichž velikosti, tvaru a struktuře je nejvíce známo. Tyto tři vlastnosti jsou významné při vmíchávání sazí do kaučuku. Obecně sférický tvar částice sazí umožňuje jejich dobré rozptýlení ve hmotě, jak potvrzuje dobrá dispergace

u termických sazí. U těchto sazí jsou soudržné síly mezi částčkami nevelké, takže se může plně projevit jak jejich velikost, tak i tvar. S poklesem velikosti částic vzrůstají i soudržné síly, částčky se shlukují a tvoří se aglomeráty různé velikosti a tvarů, jež ztěžují dispergaci těchto ztužujících typů sazí.

Předpokládá se, že v prvních fázích míchání působí stříhové a tlakové síly na kaučuk, zatímco saze mají snahu se zhutňovat.

- neztužující plniva

Neztužující druhy bílých plniv, s velikostí částec kolem $1\mu\text{m}$, nečiní při míchání potíže. Obtížnost dispergace stoupá se zvětšující se jemností plniva, tj. se stoupajícími ztužujícími schopnostmi.

Potížím se předchází přípravou předsměsí, předpracováním, volí se vhodný druh změkčovadel s větším dispergačním účinkem nebo se povrch částec předem upravuje olejem nebo mastnými kyselinami, čímž se zmenší schopnost aglomerace a zlepší se disperze.

- změkčovadla

Mísitelnost změkčovadla s kaučukem je dána především jeho molekulovou strukturou a chemickou povahou. Obecně roste snášenlivost změkčovadla s jeho stupněm nenasytenosti a rovněž přítomnosti polárních skupin. Netvoří-li obě složky homogenní směsnou fázi, dochází postupně k migraci změkčovadel na povrchu směsi nebo do sousední směsi u vícevrstvého systému, s negativním vlivem na jeho pevnost.

- vulkanizační činidla

velmi důležitým problémem při míchání kaučukové směsi je dispergování vulkanizačních přísad, hlavně síry. Stupeň disperze je ovlivněn množstvím síry, druhem použitého kaučuku

a teplotou směsi v okamžiku jejího přidávání. Během míchání dochází snadno k aglomeraci částecek síry nebo při vysoké teplotě k jejich spékání. Potíže se odstraňují buď použitím síry v předsměsi, přidáváním síry přímo do kaučuku. Ostatní složky kaučukové směsi obvykle nečiní potíže.

Dalším faktorem, který ovlivňuje dispergaci jednotlivých složek směsi, je pořadí přidávání přísad neboli postup míchání.

- shrnutí obecným poznatků

I když neexistuje univerzální předpis, neboť se zde projevuje značná závislost na složení směsi, na druhu kaučuku a na strojním zařízení, vedou praktické zkušenosti k některým obecným poznatkům.

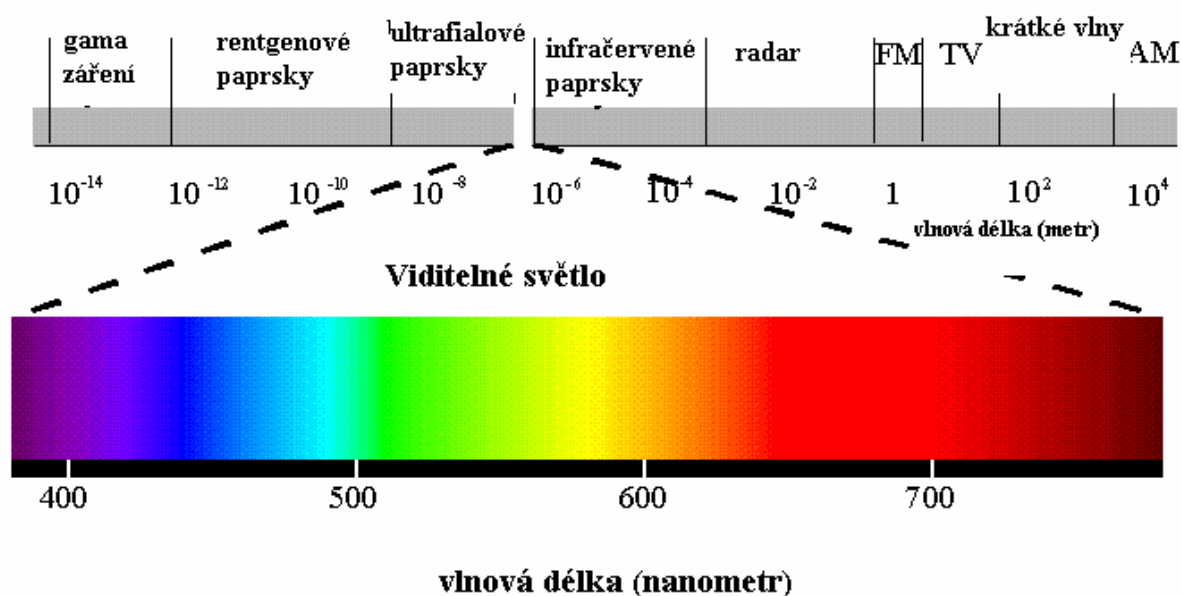
1. Ztužující druhy sazí se přidávají v prvním stadiu míchání.
2. Změkčovadla se v tomto případě přidávají až po sazích nebo s poslední dávkou sazí: neztužující druhy plniv se vesměs přidávají v kombinacích se změkčovadly.
3. Kysličník zinečnatý, kyselina stearová (podporuje dispergaci), parafín, kalafuna a prostředky proti stárnutí se do kaučuku přidávají nejdříve.
4. Vulkanizační činidla, event. retardéry, se přidávají v konečném stadiu míchání, přičemž je nutno brát v úvahu teplotu směsi.

Způsob míchání, doba a teplota míchání, odležení, způsob přepracování směsi, použité strojní zařízení apod. nejsou také bez vlivu na disperzi.

Poslední z hlavních faktorů ovlivňujících stupeň dispergace zamíchané směsi je použité strojní zařízení (hnětací stroj, dvouválec) [2].

5 PRŮMYSL OVÝ MIKROVLNNÝ OHŘEV

Mikrovlnný ohřev (MW) představuje progresivní technologii se stále širším spektrem průmyslových a potravinářských aplikací. Výrobou zařízení pro průmyslové účely se zabývají desítky firem v USA, Japonsku, Velké Británii, Německu, Francii, Itálii, Švédsku a v dalších zemích. Ve světovém průmyslu prakticky již neexistuje zpracovatelský obor, kde by se mikrovlny neprosadily. Uplatňují se buďto jako efektivnější technologie nahrazující konvenční ohřevná zařízení nebo, a to častěji, se pořizují proto, že umožňují zcela novou kvalitu zpracování. Přestože ve vyspělých zemích se technologie MW používá v širokém spektru aplikací, úroveň informovanosti o jejich možnostech a výhodách je u potenciaálních zákazníků ve střední Evropě prozatím nízká. Přesto informace o aplikacích MW technologie se zájmem posuzuje již značný počet představitelů významných zpracovatelských podniků. Kromě zvýšení kvality a tím i prodejnosti konkurenceschopných výrobků, nedosažitelných jinými technologiemi, umožňuje MW ohřev zkrácení výrobní doby a snížení výrobních nákladů [7].



Obr. 2. Oblasti spektra elektromagnetického záření [10]

5.1 Podstata a výhody

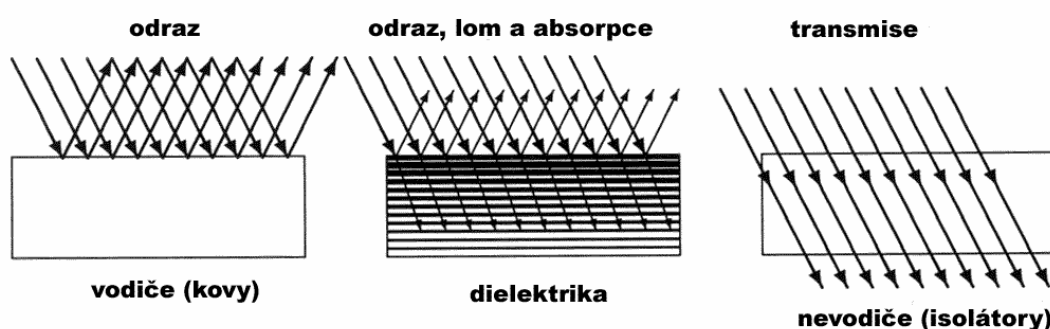
Podstatou MW ohřevu, podobně jako v komerčních MW troubách v domácnostech, je přeměna energie střídavého elektromagnetického pole na tepelnou energii působením na polární molekuly materiálu.

Výhodou mikrovln oproti konvenčnímu ohřevu je současný ohřev materiálu v celém objemu. Ze všech druhů ohřevu je pouze dielektrickým ohřevem (tj. ohřevem na vysokých kmitočtech včetně mikrovln) vyvolat vyšší teplotu uvnitř vzorku než na povrchu.

Dalšími podstatnými výhodami jsou rovněž rychlost a dokonalost prohřátí a absorpce téměř veškeré MW energie v ohřívaném materiálu. Vysoká homogenita rozložení teploty, rychlý náběh na potřebnou teplotu v celém objemu, přesná regulace teploty a vysoká energetičnost, typická pro MW ohřev, zpravidla není současně dosažitelná jinými způsoby ohřevu.

Gumárenská výroba je všeobecně považována za energeticky náročnou a proto se právě energie stává z velké části jednou z důležitých položek výrobní ceny [8] gumárenských výrobků. MW ohřev gumárenských směsí je prostředkem značné úspory energie i času.

Pro MW ohřev jsou nejvhodnější materiály s pokud možno vysokou hodnotou tzv. ztrátového činitele, jaký má např. voda nebo jiné polární molekuly, např. soli, uhlík apod., přítomné i v malých množstvích. Materiály bez bipolárního elektrického náboje, jako např. některé plasty, na mikrovlny nereagují [7].

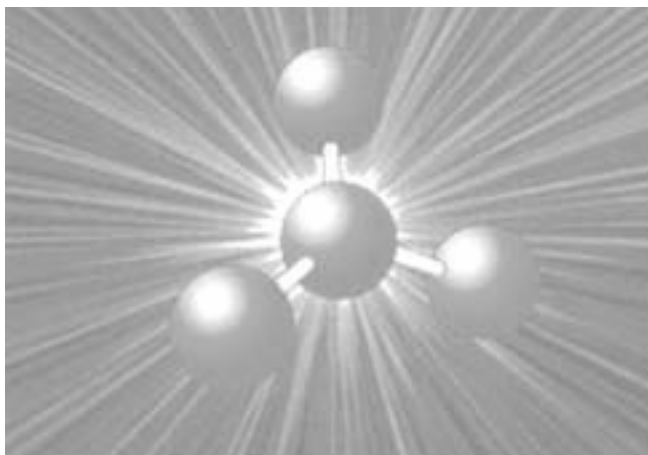


Obr. 3. Reakce rozlišných materiálů na mikrovlny (9)

5.2 Fyzikální princip

Dielektrický (DE) ohřev, jenž zahrnuje jednak mikrovlnný (MW) ohřev, jednak ohřev na radiových frekvencích (RF), je založen na transformaci energie střídavého elektromagnetického pole na tepelnou energii v materiálech s nerovnoměrným rozložením elektrických nábojů v molekulách tzv. polárních materiálů - dielektrik.

Ve střídavém elektromagnetickém poli o velmi vysokém kmitočtu se dipóly polárních molekul natáčí tak, aby jejich póly sledovaly okamžitý směr pole (mění se až několik miliardkrát za vteřinu). Uplatňují se přitom dva jevy: mezimolekulární tření při překonávání mezimolekulárních přitažlivých sil a hystereze mezi působícím polem a indukovanou elektrickou odezvou vlivem setrvačnosti, jež závisí na elektrickém náboji, hmotě a tvaru molekul. Tak se produkt zdánlivě ohřívá sám. Výsledkem je velmi rychlý ohřev materiálu, často během několika sekund nebo minut. Je běžné, že mikrovlny působí i řádově rychleji než konvenční ohřev [7].



Obr. 4. Molekuly při MW ohřevu

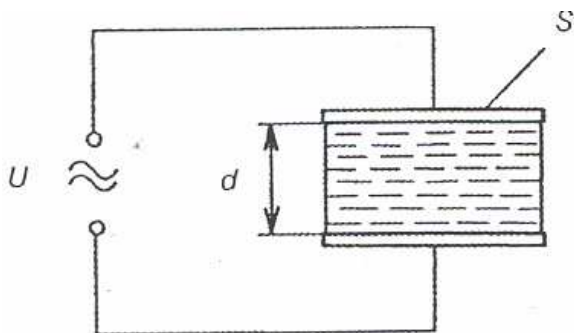
5.3 Teorie dielektrického ohřevu nevodivých materiálů

5.3.1 Princip

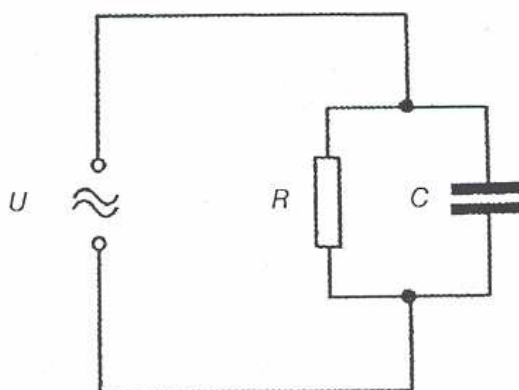
Elektricky nevodivé látky lze ohřívat ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli tepelnou energií, která vzniká na základě dielektrických ztrát těchto látek. Elektricky nevodivé látky obsahují polarizované molekuly a disociované kladné a záporné ionty. Molekuly a ionty se chovají jako elektrické dipóly a snaží se sledovat rychlé změny polarizace elektrického pole. V důsledku vzájemného tření částic vzniká tzv. dielektrické teplo [11].

5.3.2 Základní vztahy

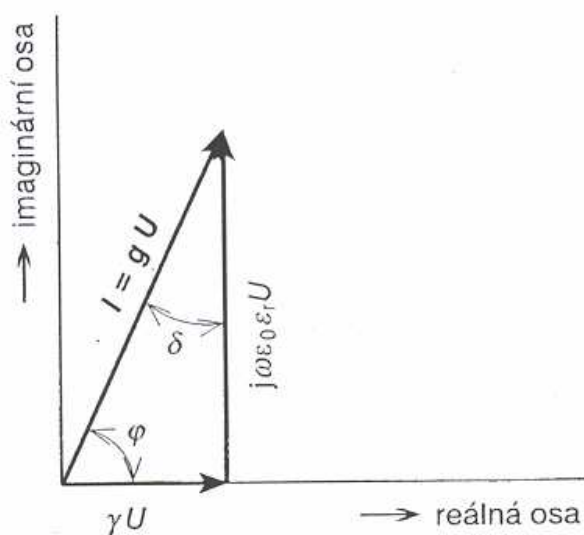
Na Obr.4 je naznačena deskový kondenzátor, jehož dielektrikum je tvořeno elektricky nevodivou látkou, která je charakterizována relativní permitivitou ϵ_r (-) a ztrátovým činitelem $\tan \delta$ (-). Ztrátový činitel $\tan \delta$ lze odvodit z náhradního schématu Obr.5 a z fázového diagramu na Obr.6



Obr. 5. Deskový kondenzátor s vloženým dielektrikem



Obr. 6. Náhradní schéma kondenzátoru se ztrátovým dielektrikem



Obr. 7. Fázový diagram dielektrických ztrát

Kapacita kondenzátoru C je dána vztahem:

$$C = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot S \cdot d^{-1} \quad (F, F.m^{-1}, -, m^2, m) \quad (1)$$

kde

ε_o je permitivita vakua ($8,859 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$),

ε_r relativní permitivita materiálu (relativní permitivita je poměr kapacity C kondenzátoru vyplněného dielektrikem a kapacity C_o stejného kondenzátoru s vakuem),

S plocha desky kondenzátoru (m^2),

d vzdálenost desek (m).

Kapacita kondenzátoru tvaru jednotkové krychle bude:

$$C = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r$$

(2)

Z náhradního schématu plyne výsledná vodivost:

$$G = R^{-1} + j \cdot \omega \cdot C \quad (3)$$

Výsledná vodivost jednotkové krychle je:

$$g = (\rho^{-1} + j \cdot \omega \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r) = (\gamma + j \cdot \omega \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r) \quad (4)$$

kde

$\rho \ (\Omega.m)$ je rezistivita (měrný odpor),

$\gamma \ (S.m^{-1})$ konduktivita (měrná vodivost).

Mezi proudem obvodu I a napětím U platí vztah:

$$I = gU = (\gamma + j \cdot \omega \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r)U \quad (5)$$

Z fázového diagramu lze odvodit ztrátový činitel:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\gamma}{\omega \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r} \quad (-, Sm^{-1}, s^{-1}, Fm^{-1}, -) \quad (6)$$

Hodnoty ε_r a $\operatorname{tg} \delta$ nejdou konstantní, ale mění se s frekvencí a závisejí na teplotě, vlhkosti apod.

Příkon, který se mění v teplo, je dán vztahem:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (W, V, A, -) \quad (7)$$

Pro malé úhly δ přibližně platí : $\cos \varphi = \sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi \quad (-)$

Efektivní hodnota svorkového napětí U kondenzátoru při průchodu sinusového proudu o efektivní hodnotě I je:

$$U = \frac{I}{\omega \cdot C} \quad (V, A, s^{-1}, F) \quad (8)$$

Efektivní hodnota proudu I , který prochází kondenzátorem o kapacitě C po připojení na svorkové sinusové napětí U je:

$$I = \omega \cdot C \cdot U \quad (A, s^{-1}, F, V) \quad (9)$$

Příkon kondenzátoru lze pak vyjádřit vztahem:

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \operatorname{tg} \delta \quad (W, s^{-1}, F, V, -) \quad (10)$$

Dosazením do tohoto výrazu se získá praktický vztah:

$$P = 2\pi f \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot S \cdot d^{-1} \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (W, Hz, F \cdot m^{-1}, -, m^2, m, V, -) \quad (11)$$

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že čím je větší frekvence f (Hz), tím menší je potřebná intenzita elektrického pole E (V/m), tj. napěťový gradient Ud^{-1} .

5.3.3 Aplikace dielektrického ohřevu

Dielektrický ohřev se často používá v dřevozpracujícím průmyslu. Při výrobě překližek z vrstev natřených umělou pryskyřicí se obvykle využívá frekvence asi 1MHz. Sušičky dřevěných dílů mají hliníkové dopravní pásy, na kterých se materiál posunuje pod stojící elektrodou, která je připojena na zdroj vysokofrekvenčního napětí s frekvencí okolo 10 MHz.

Ve sklářském průmyslu se dielektricky slepují vrstvená skla. Suší se i jemná keramika a různé formy. Aplikací dielektrického ohřevu se zkrátí polymerizace plastů z několika hodin na několik minut. Podobně se doba sušení látek z umělého hedvábí zkrátí z deseti dnů na několik desítek minut.

V potravinářském průmyslu se dielektricky suší a konzervuje mouka i jiné potraviny.

V posledních několika letech se i u nás velmi rozšířily mikrovlnné trouby, které podstatně zrychlují přípravu pokrmů. Používají se k rozmrazování potravin, pro přípravu zeleniny, ryb, drůbeže, hotových jídel i dietní stravy [11].

Samostatnou kapitolou je využití dielektrického ohřevu v lékařství. Diatermie umožňuje cílené prohřívání tkání a přináší pacientům často významnou úlevu.

5.3.4 MW ohřev elastomerů

Přírodní guma (NR) a butadienstyrenová guma (SBR) se vyznačují velmi nízkými ztrátami a tím slabou reakcí na DE ohřev.

Ke zlepšení mechanických vlastností a dosažení požadovaných fyzikálně-chemických parametrů se proto používají některé jemné substance - vhodná plnidla, např. uhlík. Slouží i ke zvýšení polárního efektu a usnadňují DE ohřev.

Mezi nízkoztrátové elastomery patří etylen-propylenový kaučuk (EPDM).

Naproti tomu některé přírodní elastomery mají vysoké dielektrické ztráty, jako je chlorobutadienový kaučuk (CR) a nitrilo-butadienový kaučuk (NBR). Není-li struktura makromolekuly zcela symetrická, vyznačuje se tato permanentním dipólmomentem.

Při uvedení molekul do pohybu, např. působením tepla nebo elektromagnetického pole, se uplatňují dvě různé tzv. relaxační frekvence, s rozdílnými mechanismy:

- relaxace α na nízkých kmitočtech, způsobovaná mikrobrownovým pohybem uvnitř řetězce,
- relaxace β na vyšších frekvencích, způsobovaná změnami orientace dipólů a torzním pohybem řetězců.

Při zvýšení teploty se zvyšuje relaxační frekvence α . Dielektrické ztráty rostou, vzniká nebezpečí lavinového tepelného efektu. Současně se zvyšuje relaxační frekvence α , a přibližuje se frekvenci β . Proces proto vyžaduje přesné řízení, jež zařízení na principu DE ohřevu umožňují v potřebné míře zabezpečit [12].

Tab. 2. Relativní permitivity a činitele ztrát některých materiálů [11]

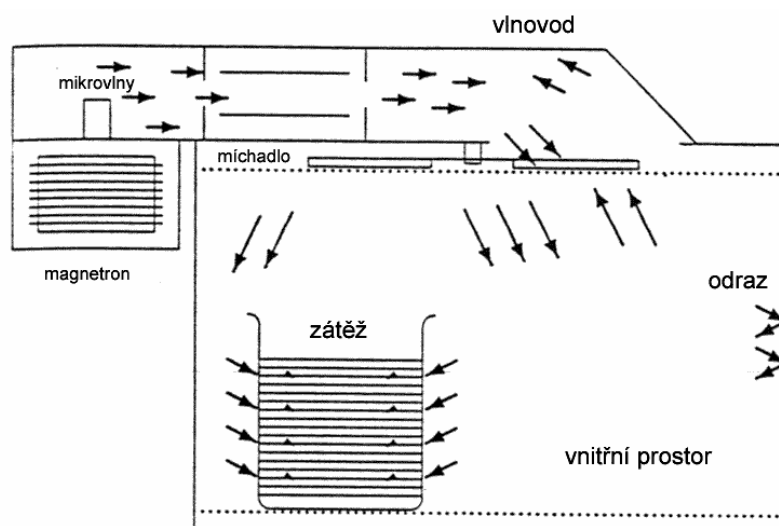
Materiál	$\epsilon_r (-)$	$\text{tg } \delta (-)$
vzduch	1,0	0
voda	80,0	1,0
sklo	4,5-8,0	0,002-0,015
polyamid	3,0-4,0	0,015-0,004
kaučuk syntetický	2,7-2,9	0,005-0,1
kaučuk přírodní	2,1-2,3	0,004-0,005

5.4 Mikrovlnná zařízení

Mikrovlny podobně jako světelné nebo rozhlasové vlny zaujímají část elektromagnetického spektra.

Ve věku moderní technologie jich využíváme k dálkovému přenosu telefonu, televizních programů, radarových zařízení a počítačových informací ať už na zemi či prostřednictvím satelitů. Ale nejznámější jsou nám jako zdroj energie k ohřívání nebo vaření jídla. Od roku 1990, kdy tento přístroj vtrhl na náš trh, jej má víc jak 90% rodin v ČR. Každá mikrovlnná trouba obsahuje takzvaný magnetron, speciální elektronku, v níž magnetická a elektrická pole působí na elektrony tak, aby produkovala záření v mikrovlnném spektru okolo 2450 megahertzů (MHz). Takto vyprodukované mikrovlnné záření působí na molekuly ohřívaneho produktu. Všechny energetické vlny mění svou polaritu z pozitivní na negativní, a to při každém cyklu vlny. U mikrovln k těmto změnám dochází nesčetněkrát za sekundu. Molekuly - obzvlášť molekuly vody - mají pozitivní a negativní "konce", obdobně jako severní a jižní pól magnetu. Jsou tedy dvoupólové - bipolární. Běžné typy mikrovlnek mají příkon asi 1000 wattů střídavého proudu. Magnetronem generované mikrovlny bombardující produkt nutí bipolární molekuly, aby ve snaze přizpůsobit se jejich frekvenci rotovaly miliónkrát za vteřinu. "Zmítání" molekul přímo uvnitř produktu vyvolá třecí teplo, které ho vaří zevnitř. Násilím vyvolané molekulární tření ovšem současně značně poškozuje strukturu všech okolních molekul; nezřídka je úplně roztrhá nebo přinejmenším značně deformuje.

Pro porovnání. Zatímco tvorba tepla přicházejícího ze Slunce spočívá na principu pulsujícího stejnosměrného proudu (DC), mikrovlnné trouby užívají k jeho vytvoření střídavý proud (AC). Magnetron v troubě navíc produkuje špičky vlnových délek energie ve velmi zúžené frekvenci energetického spektra, zatímco sluneční přichází v širokém kmitočtovém pásmu [9].



Obr. 8. Schéma mikrovlnného zařízení

6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6.1 Stanovení plánu experimentu

Při hledání a sestavování plánu experimentu byla věnována pozornost efektivnímu provedení experimentu. Plán experimentu zahrnuje: cíl experimentu, program experimentu a v poslední řadě analýzu získaných výsledků.

1. Cíl experimentu

- využití MW technologie pro ohřev kaučuku a kaučukových směsí a jeho vlivu na vlastnosti směsí,
- zhodnocení efektivnosti MW ohřevu v gumárenském průmyslu, z hlediska úspory elektrické energie,
- zhodnocení návratnosti investice při pořízení mikrovlnného zařízení.

2. Program experimentu

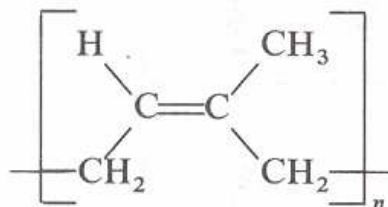
- volba kaučukových surovin a směsí na základě příslušných navažovacích předpisů,
- popis zvolených strojů a zařízení,
- MW ohřívání přírodního a syntetického kaučuku,
- rozmrazování kaučuku,
- opakovaný ohřev kaučuků MW technologií,
- míchání kaučukových směsí podle zvolených vstupních teplot v laboratorních podmínkách,
- míchání kaučukových směsí podle zvolených vstupních teplot v provozu.

3. Analýza výsledku

- stanovení relativní permitivity nepolárních materiálů (kaučuk),
- měření plasticity (viskozity) kaučukových směsí,
- hodnocení disperze gumárenských směsí na základě fotografické metody.

6.2 Použité materiály a směsi

6.2.1 Přírodní kaučuk (PK)- SIR 20SED

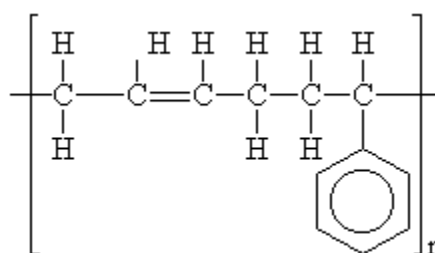


Obr. 9. Chemický vzorec přírodního kaučuku

- Teplota skelného přechodu $T_g = -73 \text{ }^\circ\text{C}$,
- měkne při $120 \text{ }^\circ\text{C}$,
- při $200 \text{ }^\circ\text{C}$ přechází na hnědou kapalinu, dále se rozkládá,
- dá se chlorovat na chlorkaučuk.

Přírodní kaučuk má všeobecné použití pro svou vysokou odolnost proti oděru, velkou odrazivost. Málo se zahřívá při dynamickém namáhání, má výbornou „konfekční lepivost“ a dobře vulkanizuje [5].

6.2.2 Butadienstyrenový kaučuk (SBR) - Krallex



Obr. 10. Chemický vzorec butadienstyrenového kaučuku

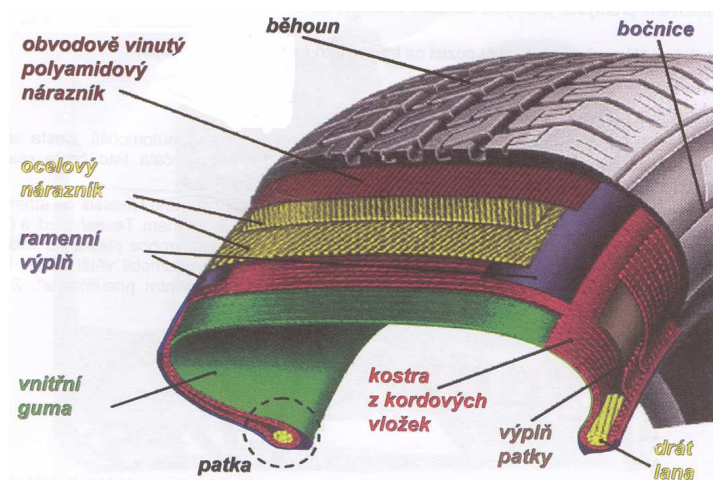
- Teplota skelného přechodu se snižuje s obsahem styrenu, SBR (23 % styrenu) $T_g = -50 \text{ }^\circ\text{C}$, SBR (40 % styrenu) $T_g = -30 \text{ }^\circ\text{C}$,
- používá se pro běhouny pneumatik a pro technickou pryž.

6.3 Směsi

Pro výrobu klíčových polotovarů jakou jsou běhoun, vnitřní guma, jádra lan, nárazníková poduška, meziguma, patní pásek, nánosové vrstvy a různé druhy výplní potřebujeme různé druhy kaučukových směsí. Hlavní složkou je kaučuk, do kterého jsou přimíchány přísady pro získání specifických užitečných vlastností.

Na Obr. 11 je zobrazen průřez pláště pneumatiky, jehož hlavní části jsou:

- **kostra** - základní nosná část, vyrobená z kovových vložek (textil nebo ocel. materiál),
- **běhoun** - pryžová část z kaučukové směsi o požadované tloušťce do níž je vlisován dezén. Zajišťuje přímý kontakt s vozovkou, chrání kostru před poškozením. Musí mít maximální přilnavost k vozovce za každého počasí, co nejvyšší životnost a odolnost proti oděru.
- **bočnice** - chrání kostru v boční části, musí být odolná proti prolamování a povětrnostním vlivům. Nese popisky rozměru.
- **patka** - zaručuje pevné usazení pláště na ráfku, hlavní částí je neprotažitelné ocelové patní lano, kolem něhož jsou přehnuty kraje kordových vložek kostry. Proti mechanickému poškození je chráněna textilním nebo pryžovým páskem.
- **nárazník** - je uložen mezi kostrou a běhounem, zajišťuje obvodovou pevnost pláště a odolnost proti průrazu. Může být textilní, ocelový nebo v jejich kombinaci.
- **vnitřní guma** - folie nebo profil ze speciální plyněpropustné kaučukové směsi (halobutyl). Zabraňuje prostupování síry při vulkanizaci, vyrovnává nerovnosti uvnitř pláště, zajišťuje plyněpropustnost (bezdušový plášť).
- **další části** – rameno pláště, meziguma, výplně.



Obr. 11. Hlavní části pláště pneumatiky

Při experimentu byly použity následující druhy směsí:

- **Základ směsi A**

Směs s tímto označením je určena na bočnice pláště pneumatik dodávkových automobilů do 3,5 tun. Navažovací předpis pro míchání směsi A je uveden v Tab. 3.

Tab. 3. Navažovací předpis základové směsi A

číslo přísady	dsk	název materiálu	tolerance (± kg)	navážka (kg)
1	40	STR 20 BD	0,5	126,00
2	30	SBR 1500	0,5	94,50
3	20	HIGH CIS BR TI	0,5	63,00
4	10	TSR CV 60	0,5	31,50
5	5	GR 555	0,5	15,70
6	2	6 PPD	0,035	6,30
7	2	PHENOLIC RESIN	0,030	6,30
8	2	STEARIC ACID	0,020	6,30
9	2	OZONE PROTECT WAX I	0,030	6,30
10	2,5	ZINC OXIDE INDIRECT	0,040	7,870
11	32	N339	0,5	100,700
12	2	77 PD	0,080	6,30
13	8	AROMATIC OIL	0,080	25,20
celkem	157,50			495,970

- **Směs B**

Směs B slouží na nános nárazníku osobních pneumatik. Konkrétně směs s označením B1 je plastikát této směsi, která se dále zpracovává na základovou směs B2, jak je patrné z Tab. 4,5.

Tab. 4. Navažovací předpis plastikátu B1

číslo přísady	dsk	název materiálu	tolerance (± kg)	navážka (kg)
1	100,00	SMR 10 MR/9	0,5	175,00
2	0,160	PEPTISER DBD/BOOSTE	0,005	0,280
3	20,00	ZINC OXIDE INDIRECT	0,040	5,250
4	15,00	N 326	0,550	26,30
celkem	118,160			206,830

- **Základová směs B2**

Navažovací předpis pro míchání základové směsi B2, jejíž složkou je také plastikát směsi B je uveden v Tab. 5.

Tab. 5. Navažovací předpis základové směsi B2

číslo přísady	dsk	název materiálu	tolerance (± kg)	navážka (kg)
1	118,160	Plastikát směsi B 460	1,5	144,00
2	1,00	PLASTICIZER 60	0,025	1,220
3	4,00	ZINC OXIDE INDIRECT	0,040	4,880
4	47,00	N 326	0,5	57,30
5	2	AROMATIC OIL	0,080	2,450
celkem	172,160			209,850

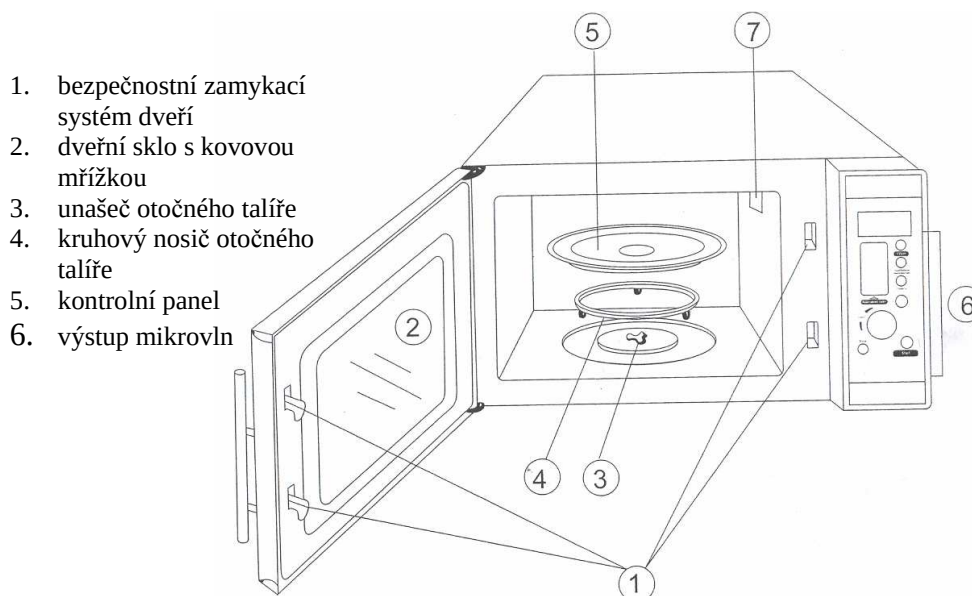
6.4 Stroje a zařízení pro laboratorní zkoušky

6.4.1 Digitální mikrovlnné zařízení PROFESSOR MTE – 235 BX

Základní parametry:

- obsah 23 litrů,
- výkon 900 W, příkon 1400 W,
- frekvence mikrovln 2450 Hz,
- vnitřní rozměry 215 (výška) x 350 (šířka) x 330 (hloubka) mm,
- vnější rozměry 305 (výška) x 508 (šířka) x 420 (hloubka) mm.

Vyobrazení a popis jednotlivých částí mikrovlnného zařízení PROFESSOR MTE – 235BX je znázorněn na Obr. 12

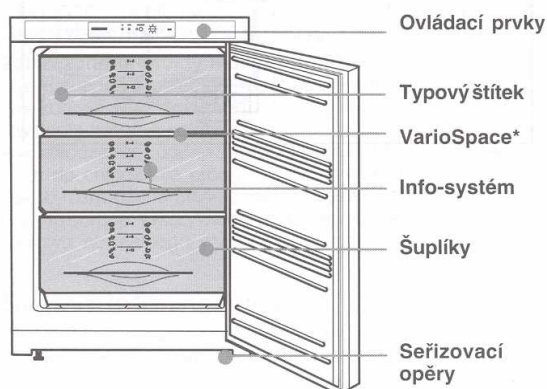


Obr. 12. Vyobrazení a popis mikrovlnné trouby PROFESSOR MTE –235 BX

6.4.2 Mrazící box – Liebherr

Základní parametry :

- příkon 0,94 kWh
- výkon 0,79 kWh
- obsah 57,2 l



Obr. 13 Mrazící box Liebherr

6.4.3 Laboratorní hnětič

Základní parametry:

Pro míchání směsí v menších objemech byl zvolen laboratorní hnětič Buzuluk Komárov :

- typ 03 551,
- obsah 2,5 l.



Obr. 14. Laboratorní hnětič

6.4.4 Viskozimetr

Výrobce ALPHA Technologies. Model MOONEY MV 2000. Přístroj slouží k měření viskozity (plasticity) kaučukových směsí.

Základní parametry:

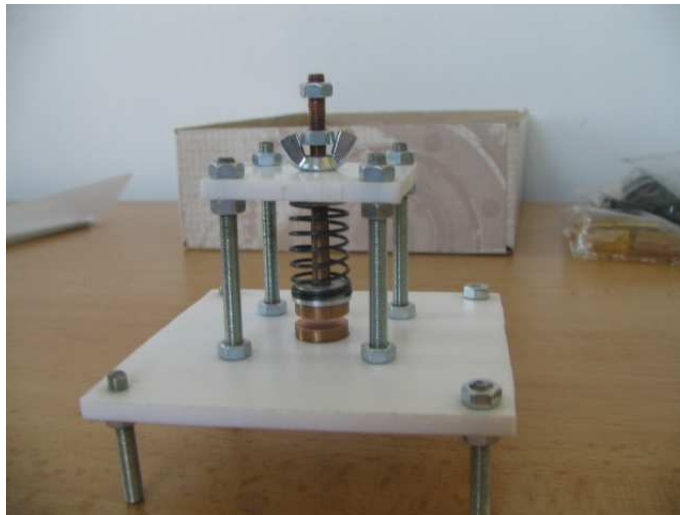
- rotor $\varnothing$ 38 mm,
- stator $\varnothing$ 49 mm,
- rychlost 2 ot/min.



Obr. 15. Viskozimetr MOONEY MV 2000

6.4.5 Deskový kondenzátor

Ke stanovení hodnoty relativní permitivity kaučuku PK SIR 20SED a SBR Krallex byl použit deskový kondenzátor.



Obr. 16. Deskový kondenzátor

6.5 Provozní stroje a zařízení

Experimenty míchání kaučuků a kaučukových směsí byly provedeny na výrobních linkách, které jsou tvořeny zařízeními dle schéma v příloze P1:

1. paleta se základovou směsí
2. podavač (batch-feeder)
3. pásová váha
4. plnicí dopravník
5. násypky přísad
6. hnětič
7. vytlačovací stroj (twin screw nebo extruder)
8. zásobovací dvouválec (roller die)
9. smáčecí vana se separační suspenzí
10. dopravník plástu do II. etáže

6.5.1 Váhy

Jednotlivé složky směsi, které se míchají v hnětiči se navažují na vahách, podle předpisu. Rozlišujeme váhu na polymery (PO), váhu na saze (SZ), váhu na chemikálie (CH), váhu na olej (OL) a váhu pro oxid zinečnatý (ZN).

Tab. 6. Parametry jednotlivých vah

Váha	PO	SZ	CH	OL	ZN
max. navážení (kg)	250	120	5	40	10
min. navážení (kg)	0,2	3	0,4	1	0,5
tolerance ($\pm$ kg)	0,5	0,2	0,020	0,050	0,020

6.5.2 Pásová váha

Pásová váha je určena pro navažování kaučuků a batchů. Mechanicky se na pásovou váhu nakládají kaučuky, strojově sazový batch pomocí zařízení nazývaného batch – feeder. Na Obr. 17 je zobrazena váha s nasekanou předsměsí z batch-feederu.

6.5.3 Batch –feeder

Zásobovací zařízení slouží pro navažování sazových batchů nebo základových směsí na pásovou váhu.

Batch (předsměs) se naseká na batch - feederu na požadovanou váhu. Konkrétní batch-feeder s pásovou váhou ukazuje Obr.17.



Obr. 17. Batch – feeder

6.5.4 Násypky přísad

Šnekovým nebo pásovým zařízením se přísady dopravují z násypky na váhu. Z váhy padají pomocí pryžového nebo kovového skluzu do hnětiče.

6.5.5 Hnětič

Technologicky se gumárenské směsi připravují ve dvou až třech míchacích stupních, podle požadavku technologie.

Experimenty byly realizovány pouze na míchacích linkách pro základové směsi.

V příloze P1 je uvedeno schéma hnětičové linky H0 (GK 320E) a H1 (PX 620), kde se míchají základové směsi a předsměsi, které se následně používají pro výrobu finálních směsí na hnětičích II. stupně.

Míchání základových směsí bylo prováděno na hnětičích (Tab. 7.)

Tab. 7. Parametry hnětiče pro míchání základových směsí

číslo hnětiče	H1	H0
typ hnětiče	PX 620	GK 320 E
princip míchání	tangenciální	intermix ¹⁾
objem (l)	620	320
otáčky (ot/min)	variabilní, dle míchacího předpisu (viz Příloha P 5,8,9)	variabilní, dle míchacího předpisu (viz Příloha P 5,8,9)
hlavní pohon (kW)	3000	1900
tlak (atm)	9	220

- 1) Novější typy hnětičů využívají principu míchání intermix, kdy je směs promíchána pouze mezi rotory (lepší homogenita, vhodné pro směsi s plnivý typu silika), narozdíl od tangenciálního míchání, kdy je směs promíchávána mezi rotory a komorou hnětiče.



Obr. 18. Hnětič

6.5.6 Dvoušnekový vytlačovací stroj (twin screw)

Dvoušnekový vytlačovací stroj přemíchává směs a přes širokou hubici ji vytlačuje do dvouválce.

6.5.7 Dvouválec (roller die)

Dvouválec zpracovává zamíchanou směs na požadovanou tloušťku a šířku.

Parametry dvouválce jsou: (660 x 2100 mm) s frikcí 1,07.



Obr. 19. Dvouválec (roller die)

6.5.8 Chladicí jednotka

Chladicí jednotka je tvořena smáčecí vanou, ve které je separační suspenze pro vytvoření separační vrstvy. V další části chladicí jednotky jsou rozmístěny vzduchové ventilátory, které ochlazují pláсты směsi zavěšené na tyčích. Výkon chladicí jednotky je 10 tun za hodinu.



Obr. 20. Pláсты směsi zavěšené na tyčích v chladicím zařízení

6.5.9 Paletovací zařízení

Na konci chladicí jednotky je umístěno paletovací zařízení, které ukládá vyrobenou směs na palety. Směs na paletách je skladována nebo ihned dovážena k dalšímu zpracování k míchacím jednotkám.

6.6 Průběh experimentální části

6.6.1 Mikrovlnný ohřev kaučuku PK SIR 20SED a SBR Kralex za normální teploty

Postup měření při ohřívání kaučuku MW technologií:

Jednotlivé vzorky ve tvaru krychle z přírodního a butadienstyrenového kaučuku o rozměrech přibližně 100 x 100 x 100 mm a průměrné hmotnosti $m = 400$ g byly ohřívány v mikrovlnném zařízení PROFESSOR MTE-235 (Obr.12)

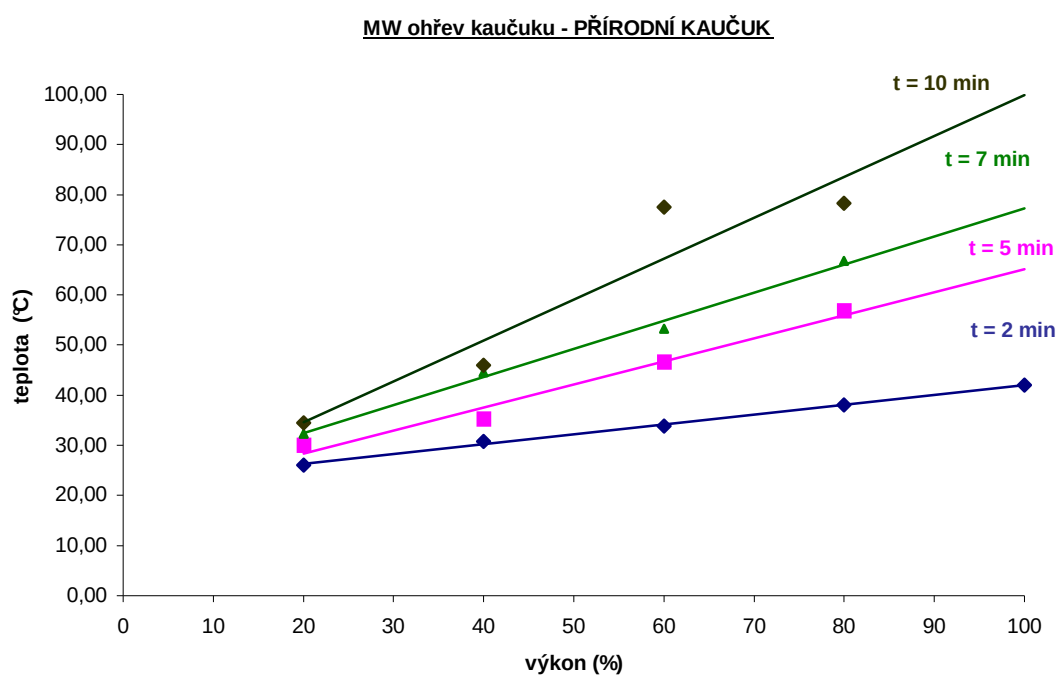
Každý vzorek byl zahříván ve zvoleném čase $t = 2, 5, 7, 10$ min při výkonu $P = 20, 40, 60, 80, 100$ %.

Vzorky byly ohřívány třikrát, kdy po každém ohřevu se vzorek ochladil na vstupní teplotu T_1 (°C). Po uplynutí stanovené doby ohřevu mikrovlnným zdrojem byla změřena teplota T_2 (°C) ve třech místech vzorku a zprůměrována.

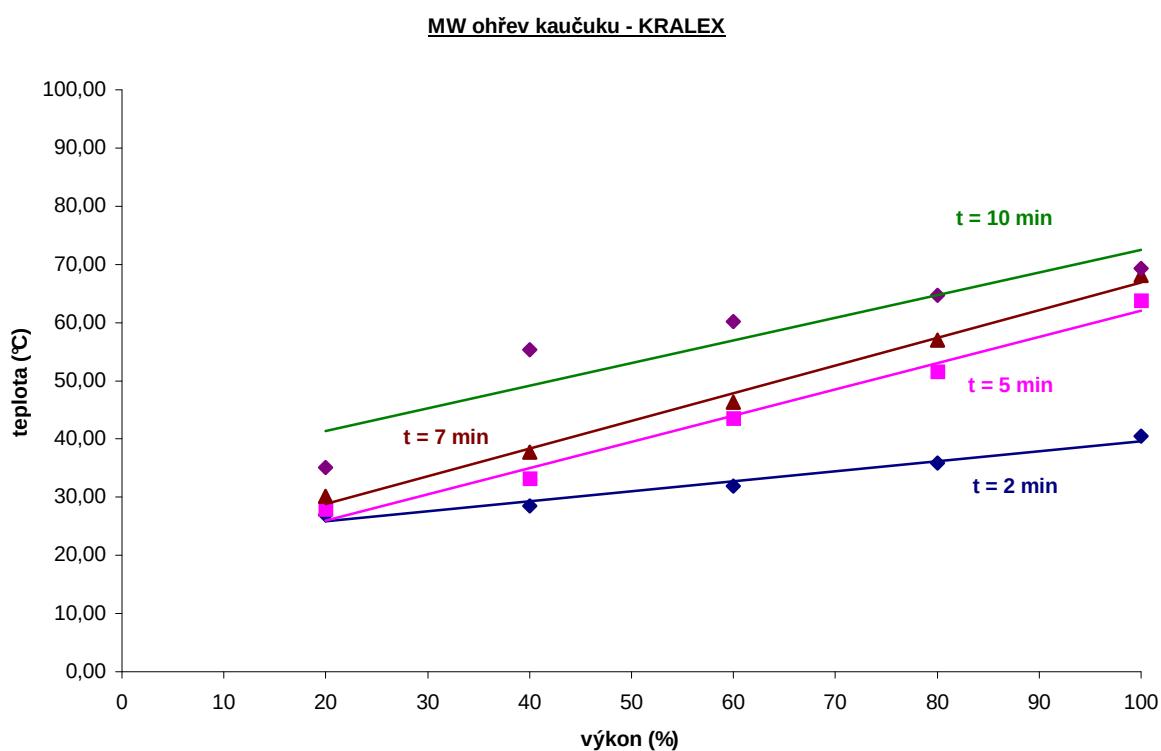
Podmínky měření:

- průměrná vstupní teplota vzorků (teplota kaučuku před ohřevem) $T_1 = 18$ °C
- homogenizace kaučukových vzorků, tj vložení vzorku do mikrovlnného zařízení a po stanovenou dobu $t_h = 1$ min ohříván při 100 % (900W) výkonu.

Veškeré naměřené a vypočtené hodnoty mikrovlnného ohřevu přírodního kaučuku SIR 20SED a butadienstyrenového kaučuku Kralex jsou uvedeny v příloze P 2,3.



Obr. 21. MW ohřev přírodního kaučuku – SIR 20SED



Obr. 22. Mikrovlnný ohřev butadienstyrenového kaučuku – Kralex

6.6.2 Mikrovlnný ohřev „zmrzlého“ kaučuku PK SIR 20SED a SBR Kralex

Experiment podchlazení kaučuku do teplot $T_1 = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ nám simuloval dobu skladování kaučuku a podmínky skladování. Skutečností je, že některé kaučuky při rychlém podchlazení nebo dlouhodobém skladování mění svojí vnitřní strukturu. Experimentem bylo potvrzeno, že při rychlém podchlazení přírodního kaučuku dochází ke krystalizaci, což se projevilo změnou barvy (Obr.23-vlevo). Podchlazený syntetický SBR Kralex nekrystalizuje, zůstal tedy nezměněn, jak je patrné z Obr.24.



Obr. 23. Srovnání kaučuků PK SIR 20SED– důsledek krystalizace



Obr. 24. Srovnání kaučuků SBR Kralex

Postup měření

Vzorky kaučuků byly po stanovenou dobu umístěny do mrazícího boxu a ochlazeny na průměrnou teplotu $T_1 = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Poté byly jednotlivé vzorky ohřívány po stanovenou dobu $t = 10, 20, 30, 40, 50\text{ min}$ v mikrovlnném zařízení při maximálním výkonu 100 % (900 W).

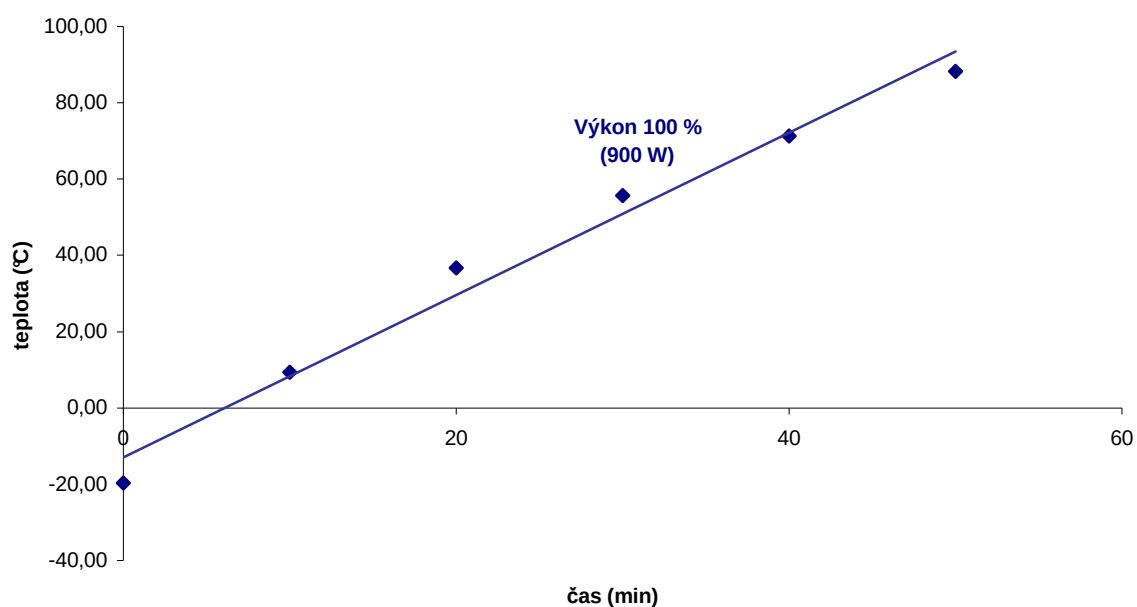
U každého vzorku byla naměřena výstupní teplota $T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$ ve třech místech a zprůměrována.

Naměřené a vypočtené hodnoty uvádí Tab. 8,9. Průběh rozmrazování u jednotlivých typů vzorků je patrný z Obr.25,26.

Tab. 8. Rozmrazování PK SIR 20SED

Označení vzorku	Výkon (%)	Výkon (W)	čas (min)	výstupní teplota T_2 (°C)			Průměr
				A	B	C	
5			0	-19	-23	-17	-19,67
6	100	900	10	7	10	11	9,33
11	100	900	20	35	38	37	36,67
7	100	900	30	52	59	56	55,67
23	100	900	40	75	68	71	71,33
13	100	900	50	88	90	87	88,33
Průměrná hodnota				51,4	53	52,4	52,27

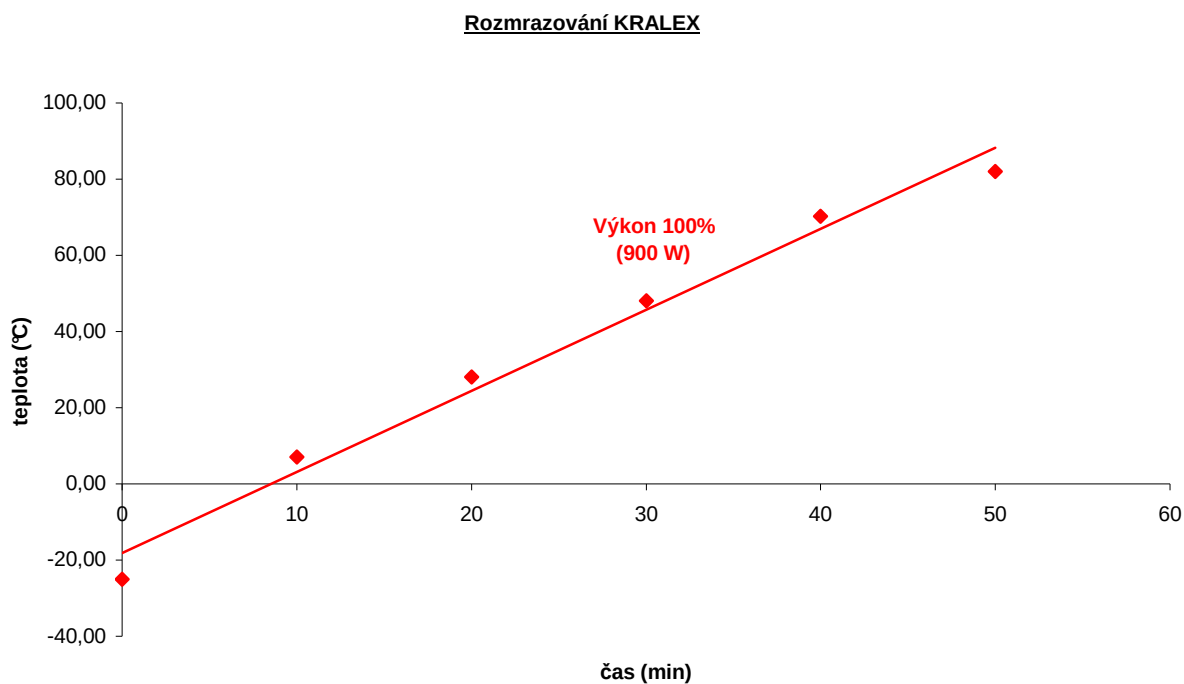
Rozmrazování přírodního kaučuku



Obr. 25. Rozmrazování PK SIR 20SED

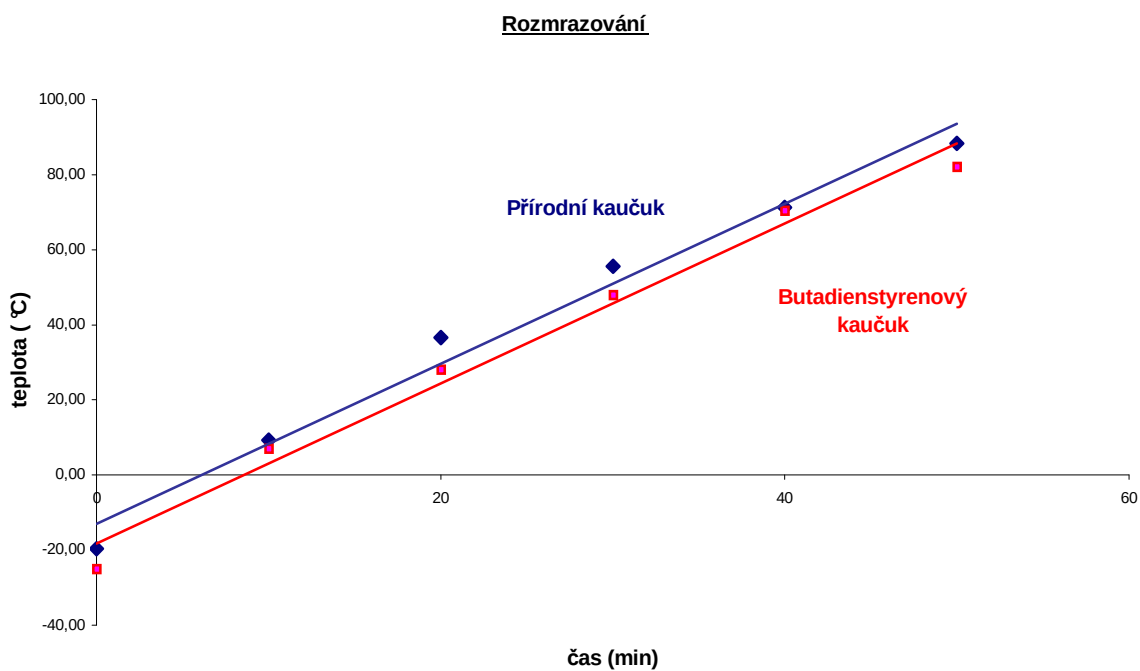
Tab. 9. Rozmrazování SBR –Kralex

Označení vzorku	Výkon (%)	Výkon (W)	čas (min)	Teplota (°C)			Průměr
				A	B	C	
12			0	-25	-27	-23	-25,00
21	100	900	10	5	7	9	7,00
7	100	900	20	28	26	30	28,00
25	100	900	30	50	48	46	48,00
24	100	900	40	70	68	73	70,33
27	100	900	50	80	82	84	82,00
Průměrná hodnota				46,6	46,2	48,4	47,07



Obr. 26. Rozmrazování SBR Kralex

Pro srovnání průběhů dílčích experimentů rozmrazování pro uvedené typy kaučuků byl sestaven graf (Obr. 27.).



Obr. 27. Srovnání rozmrazování SBR a PK

6.6.3 Opakovaný ohřev PK SIR 20SED

K posouzení vlivu zatěžování kaučuku mikrovlnným zdrojem na jeho vlastnosti byly provedeny experimenty opakovaných ohřevů a ochlazení vzorků jednotlivých kaučuků.

Vzorky o rozměrech 50 x 50 x 50 mm (Obr. 28) byly vloženy do mikrovlnného zařízení o průměrné vstupní teplotě $T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ohřívány po dobu $t = 8\text{ min}$.

Po každém ohřátí byl vzorek ochlazen na průměrnou teplotu $T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a znovu ohřívány.

Z takto ohřátých kaučuků byl vyseknut zkušební vzorek o hmotnosti $m\text{ (g)}$ pro stanovení plasticity (6.8.2).



Obr. 28. Vzorky přírodního kaučuku PK SIR 20SED

Tab. 10. Opakovaný ohřev PK SIR 20SED

označení vzorku	počet ohřevů MW technologií	Výkon P (W)	čas ohřevu t (min)	hmotnost m (g)	Viskozita Mooney 100 ⁰ C ML(1+4')
1	3	900	8	24,38	93,3
2	3	900	8	23,70	87,4
3	3	900	8	24,30	83,2
průměr				24,13	87,97
4	10	900	8	23,40	85,6
5	10	900	8	24,17	91,4
6	10	900	8	25,62	90,8
průměr				24,40	89,27
7	20	900	8	24,26	91,0
8	20	900	8	24,60	88,5
9	20	900	8	23,70	87,4
průměr				24,19	88,97

Tab. 11. Opakovaný ohřev SBR Kralex

označení vzorku	počet ohřevů MW technologií	Výkon P (W)	čas ohřevu t (min)	hmotnost m (g)	Viskozita Mooney 100°C ML(1+4')
1	3	900	8	24,3	53,4
2	3	900	8	24,90	53
3	3	900	8	24,17	53,2
průměr				24,46	53,20
4	10	900	8	24,86	53,4
5	10	900	8	25,01	53,4
6	10	900	8	24,89	53,3
průměr				24,92	53,37
7	20	900	8	24,66	53,4
8	20	900	8	24,22	53,3
9	20	900	8	24,94	53,2
průměr				24,61	53,30

6.6.4 Míchání kaučukových směsí v laboratorních podmínkách

1. Příprava směsi.

Základ směsi A byl připraven podle příslušného navažovacího předpisu. Hmotnostní díly jednotlivých surovin byly přepočítány na celkovou hmotnost 2,4 kg, která odpovídá objemu komory hnětiče 2,5 l (Tab.12.). Experiment byl prováděn s bloky kaučuku o rozměrech přibližně 100 x 100 x 100 mm. Pro experiment bylo použito celkem 18 vzorků, které byly předeřívány MW technologií na vstupní teploty $T_1 = 20, 30, 40, 60, 80$ °C.

Tab. 12. Přepoččet surovin na celkovou hmotnost 2,4 kg

Základová směs A	dsk	navážka (kg)
STR 20 BD	40	0,61
SBR 1500	30	0,46
HIGH CIS BR TI	20	0,30
TSR CV 60	10	0,15
GR 555	5	0,08
6PPD	2	0,03
PHENOLIC RESIN	2	0,03
STEARIC ACID	2	0,03
OZONE PROTECT WAX I	2	0,03
ZINC OXIDE INDIRECT	2,5	0,04
N339	32	0,49
77PD	2	0,03
AROMATIC OIL	8	0,12
součet	157,5	2,40

2. Míchací postup

První fáze míchání spočívala v zamíchání jednotlivých druhů kaučuků. Po čase 20 s byly přidány chemikálie a přísady. Za další 120 s byly do komory hnětiče přidány saze a oleje. Celkový míchací čas byl stanoven na 240 s.

3. Hodnocení směsi A

Při experimentu byly zaznamenány hodnoty uvedené v Tab. 13.

Průběh změny proudu I (A) a teploty T (°C) míchání byl zapisován zapisovacím zařízením stroje, aby mohl být stanoven příkon hnacího motoru.

Spotřeba proudu u jednotlivých vzorků byla přepočítána na příkon P (W) podle vztahu a vynesena do grafu (Obr.29-35).

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ (W)}, \quad (12)$$

kde

U je napětí přitékající do stroje (380 V),

I spotřeba proudu pro daný vzorek (A).

Na základě grafického záznamu a výše uvedeného vztahu byla vypočítána celková práce stroje, tedy spotřeba elektrické energie pohonu hnětiče podle vztahu:

$$E = P \cdot t \text{ (J)}, \quad (13)$$

kde

P je výkon zjištěný z předchozí rovnice (W),

t míchací čas (s).

Ze zamíchaných směsí byly odebrány vzorky pro stanovení plasticity (6.8.2)

Velikost energie, kterou musíme dodat kaučuku k jeho ohřátí na určitou teplotu lze teoreticky stanovit ze vztahu:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (\text{J}) \quad (14)$$

kde

Q je množství tepla dodaného látce k ohřátí z teploty T_1 (°C) na teplotu T_2 (°C), (J)

m hmotnost látky (kg),

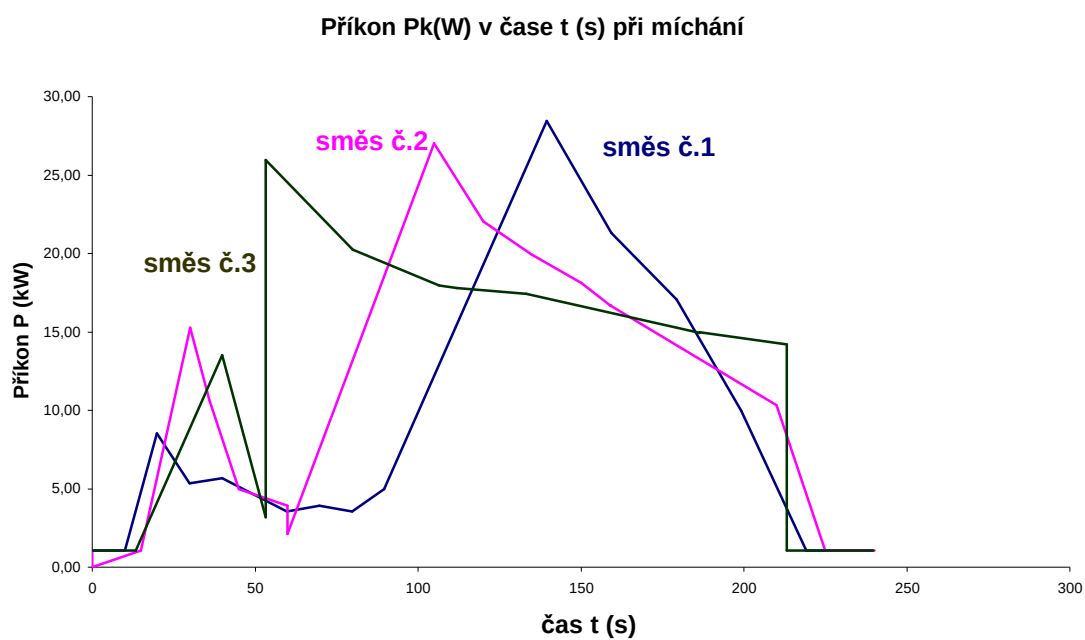
c_p měrné teplo látky (J/kg/°C),

ΔT rozdíl vstupní teploty T_1 (°C) a výstupní teploty T_2 (°C) látky.

Tab. 13. Celkový přehled naměřených a vypočtených hodnot základové směsi A

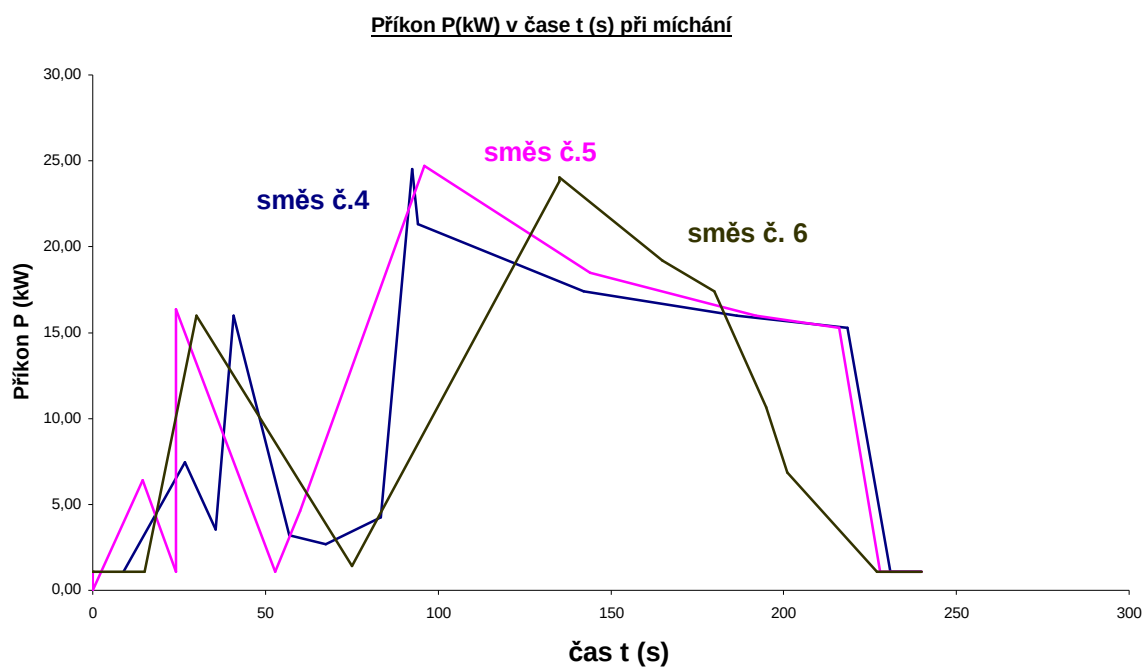
Označení směsi	předehřev MW technologií t = (min)	teplota před mícháním T_1 (°C)	teplota výpustě T_2 (°C)	průměrný příkon P(kW)	Energie E (kWs)	viskozita Mooney (100°C) ML(1+4')
1	-	9	147	7,35	1764	44,9
2	-	9	140	11,40	2736	50,9
3	-	9	143	11,75	2820	50,6
průměr			143,33	10,17	2440	48,80
4	4	20	153	8,87	2129	45,0
5	4	20	173	9,60	2304	47,3
6	4	20	147	8,97	2153	50,0
průměr			157,67	9,15	2195	47,43
7	5	30	153	8,47	2033	50,5
8	5	30	147	9,06	2174	50,6
9	5	30	147	8,47	2033	48,1
průměr			149,00	8,67	2080	49,73
10	6	40	153	8,50	2040	49,9
11	6	40	156	7,14	1714	48,0
12	6	40	156	7,80	1872	49,7
průměr			155,00	7,81	1875	49,20
13	9	60	155	7,23	1735	48,6
14	9	60	146	7,60	1824	50,2
15	9	60	151	8,01	1922	50,3
průměr			150,67	7,61	1827	49,70
16	12	80	157	7,06	1694	50,2
17	12	80	160	6,88	1651	49,6
18	12	80	163	7,90	1896	46,8
průměr			160,00	7,28	1747	48,8

- Směsi č.1,2,3 míchané za teploty $T_1 = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez mikrovlnného předehřevu (Tab. 12).



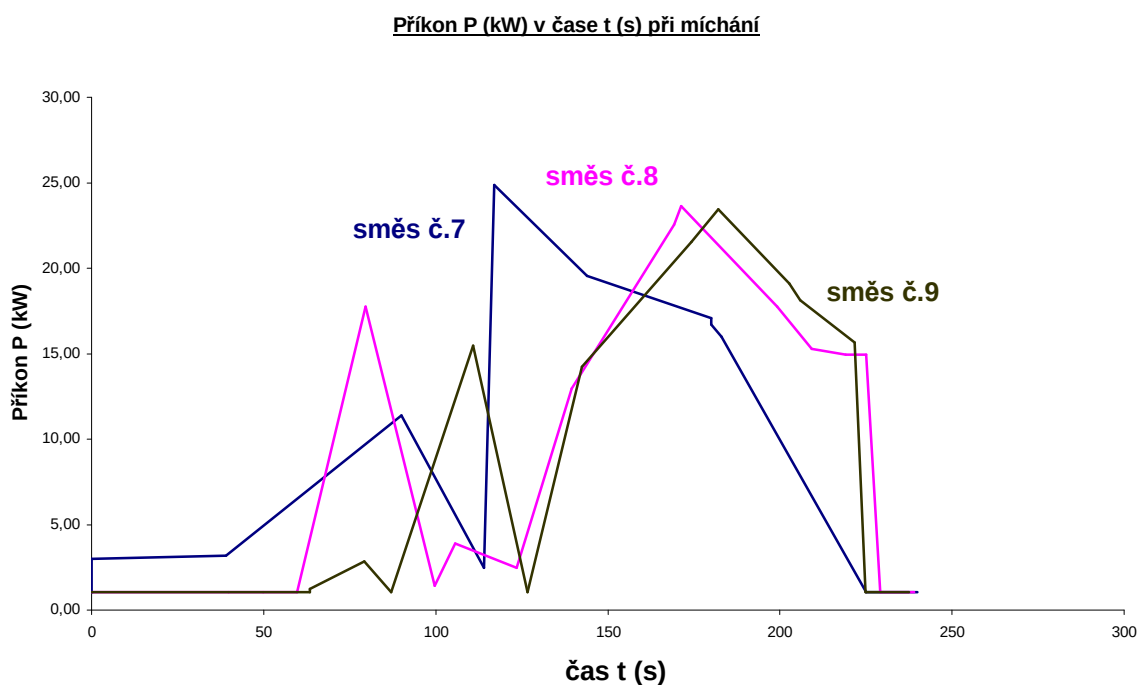
Obr. 29. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 1,2,3

- Směsi č. 4,5,6 předehřáté na teplotu $T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Materiál se předehříval po dobu 5 min MW technologií.



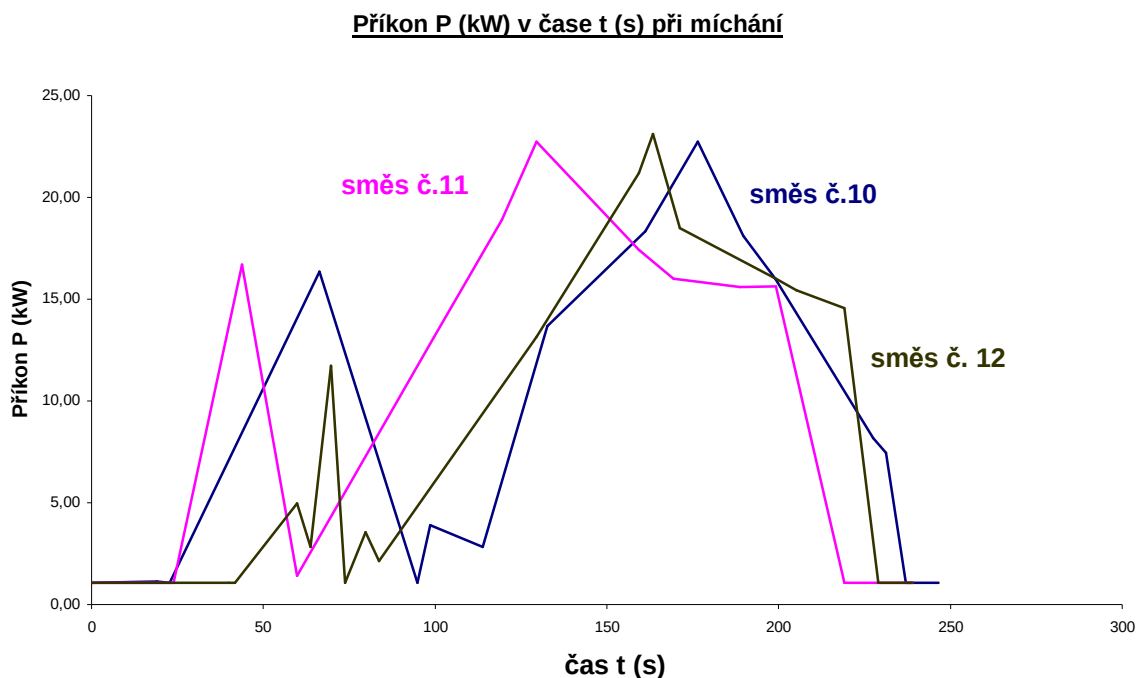
Obr. 30. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 4,5,6

- Směsi č. 7,8,9 předeřáté na teplotu $T_1 = 30^{\circ}\text{C}$ po dobu 8 min MW technologií (viz kap. 6.4).



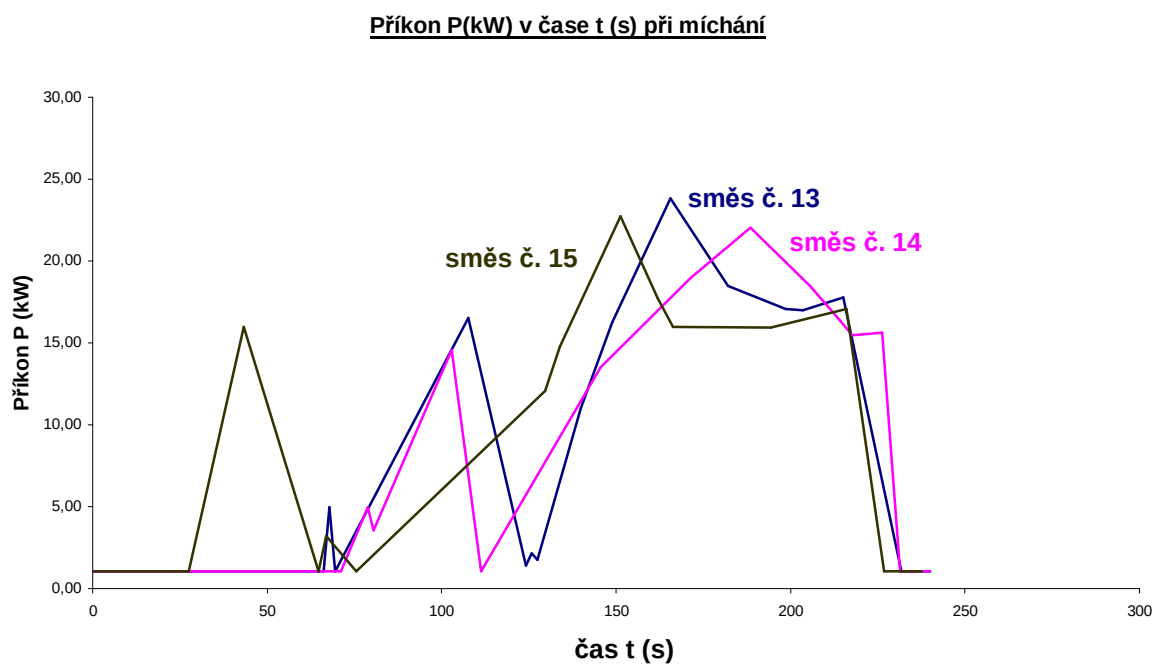
Obr. 31. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 7,8,9

- Směsi č. 10,11,12 předeřáté na teplotu $T_1 = 40^\circ \text{C}$ po dobu 10 min MW technologií.



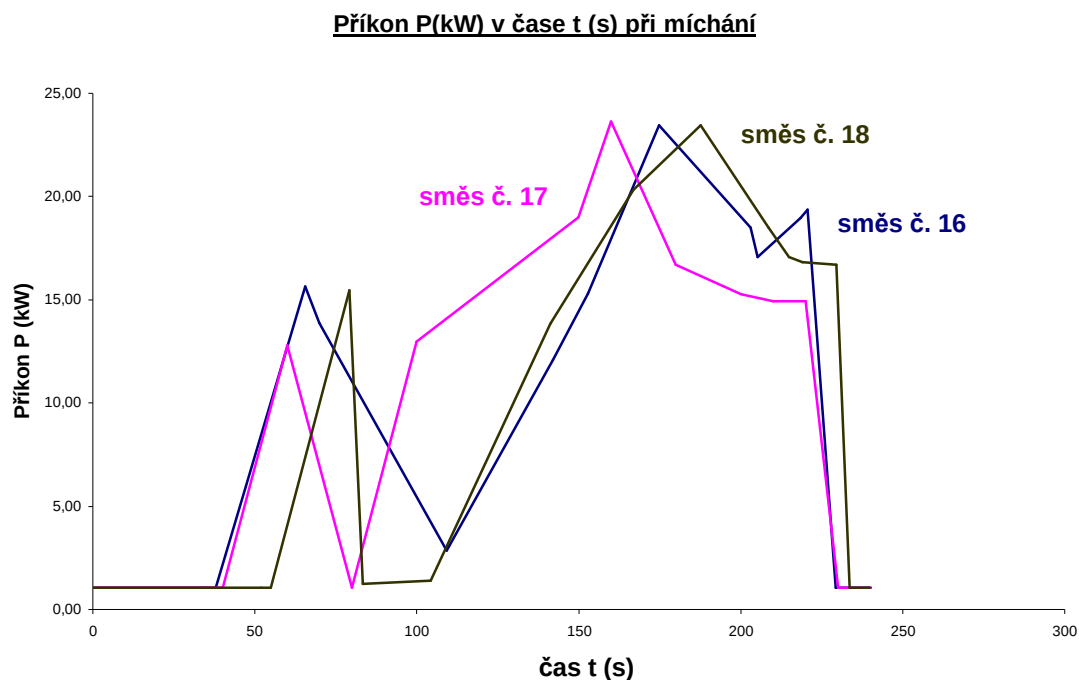
Obr. 32. Porovnání příkon stroje v čase při míchání směsí č. 10,11,12

- Směsi č. 13,14,15 předeřáté na teplotu $T_1 = 60^\circ \text{C}$ po dobu 13 min MW technologií (viz kap.6.4).



Obr. 33. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 13,14,15

- Směsi č. 16,17,18 předeřáté na teplotu $T_1 = 80^\circ \text{C}$ po dobu 15 min MW technologií.



Obr. 34. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 16,17,18

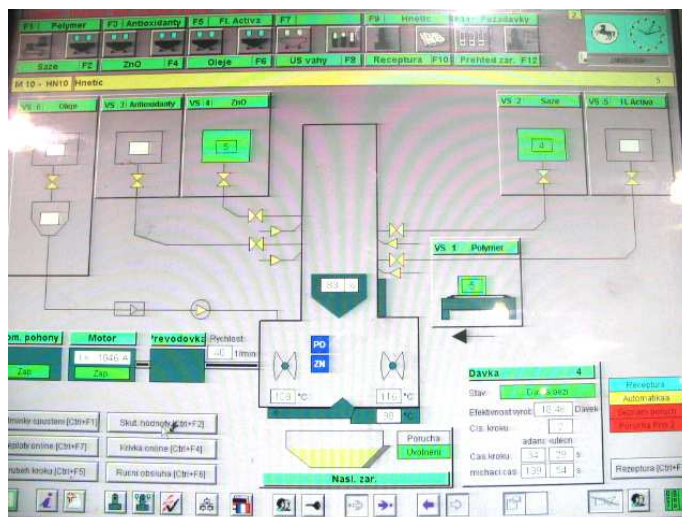
6.6.5 Míchání směsi v provozu

- **Základová směs A (viz kap. 9.3)**

1. Postup experimentu:

Jednotlivé druhy kaučuků (Tab. 14,15) byly temperovány v peci horkým vzduchem na vstupní teploty $T_1 = 20, 40, 60^\circ \text{C}$. Skutečné teploty jednotlivých druhů kaučuků (P 4) byly zaznamenány pomocí teploměru a zprůměrovány (Tab.14).

Stanovené množství kaučuku a sáčky s předem vychystanými navážkami chemikálií (P 5) se naskládaly na pásovou váhu, které obsluha ještě jednou kontrolně převážila. Tyto komponenty jely na vstupní dopravník, kde se dávkuje do hnětiče. Zároveň se do hnětiče dávkuje přísady z automatického navažování (především oleje a saze nebo silika). V hnětiči je dávka zamíchána podle míchacího předpis. Celý proces míchání řídí počítač (Obr.35).



Obr. 35 Dotykový display

Když je dávka zamíchána, otevře se spodní uzávěr hnětiče a směs sklouzne do dvoušnekového vytlačovacího stroje (twin screw) nebo extruderu, kde se homogenizuje. Ten ústí do dvouválce (roller die), který směs válcuje na požadovanou tloušťku. Z dvouválce už vychází směs jako plást, která pokračuje dále smáčecí vanou, kde je směs ošetřena separační suspenzí proti vzájemného slepení plástů, a pokračuje do chladicího zařízení. Základová směs je skládána na paletu buď v I. etáži za chladicím zařízením, a nebo je vedena přes dopravník zpět do II. etáže a poskládána na paletu až zde. Tím je odbouráno převážení směsi výtahem a směs je prakticky okamžitě k dispozici pro míchání směsi v dalším stupni. Celý proces je znázorněn v příloze P 1.

Tab. 14. Porovnání žádaných a skutečných průměrných teplot kaučuků před mícháním

Typ kaučuku	Temperována na teplotu T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	Skutečná průměrná teplota na paletě T_{1s} ($^{\circ}\text{C}$)
STR 20	20	28,00
	40	50,83
	60	61,13
SKD II	20	22,61
	40	44,33
	60	55,60
SMR 20 CV	20	29,17
	40	50,11
	60	57,17
KRALEX	20	29,33
	40	43,92
	60	58,60

2. Vlastní měření

V průběhu míchání kaučukových směsí byly zaznamenány:

- teploty T_2 ($^{\circ}\text{C}$) směsi A pod hnětičem po výstupu směsi z vytlačovacího stroje přes zásobovací dvouválec (Tab.16.).
- teploty hnětiče nastavené T_v ($^{\circ}\text{C}$) a při vypuštění směsi T_{vs} ($^{\circ}\text{C}$),
- příkon hnětiče P (kW) a spotřeba elektrické energie E (kWh) u směsí předeřátých na vstupní teplotu $T_1 = 20, 40, 60$ $^{\circ}\text{C}$. Uvedené hodnoty příkonu a spotřeby elektrické energie na Obr. 36-38 byly vyjádřeny v procentech (Tab. 15).

Tab. 15 Procentuální vyjádření příkonu P (kW) a energie E (kWh)

procentuální vyjádření (%)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
100	6800	50
50	3400	25
25	1700	12,5
10	680	5

Tab. 16. Naměřené hodnoty v průběhu míchání v hnětiči H0 GK320 E

označení směsi $A^{1)}$	teploty pod hnětičem T_2 ($^{\circ}\text{C}$)			teplota hnětiče	
	max	min	střední hodnota	nastavena T_v ($^{\circ}\text{C}$)	při vypuštění směsi T_{vs} ($^{\circ}\text{C}$),
40	147	142	143	148	149
40	147	140	143	148	149
40	152	128	146	148	149
20	149	135	144	148	149
20	151	141	145	148	149
20	151	144	145	148	149
60	153	146	148	148	148
60	151	147	148	148	149
60	150	144	147	148	149

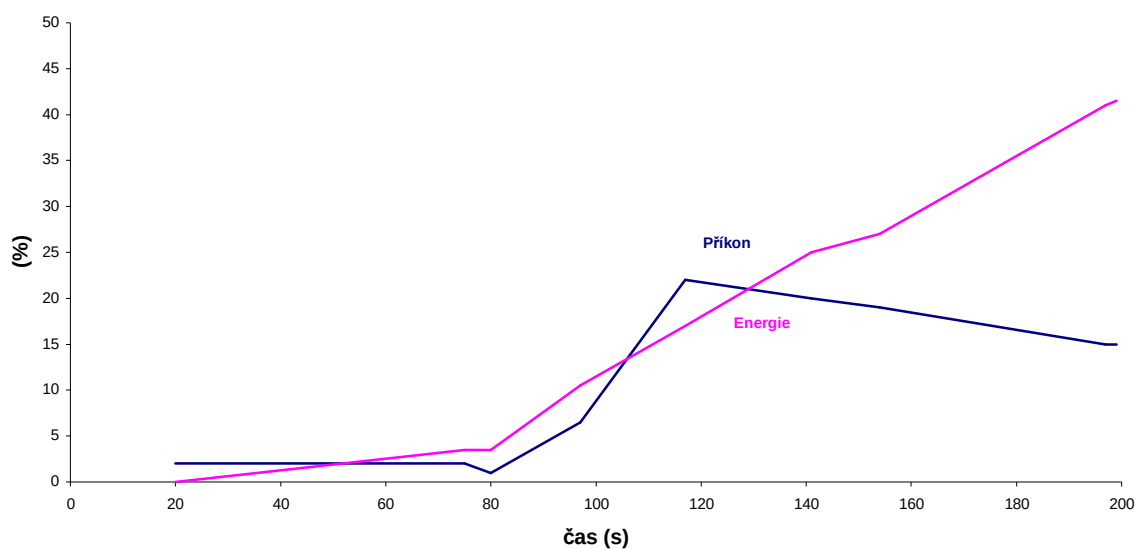
¹⁾ Označení směsí je zvoleno podle teplot kaučuků, na které byly temperovány v peci.

- Směs A předeřátá na teplotu $T_1 = 20\text{ °C}$

Tab. 17 Naměřené hodnoty příkonu P (kW) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
20	136	0
75	136	3,5
80	68	3,5
97	442	10,5
117	1496	17
141	1360	25
154	1292	27
197	1020	41
199	1020	41,5

Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předeřáté na $T = 20\text{ °C}$

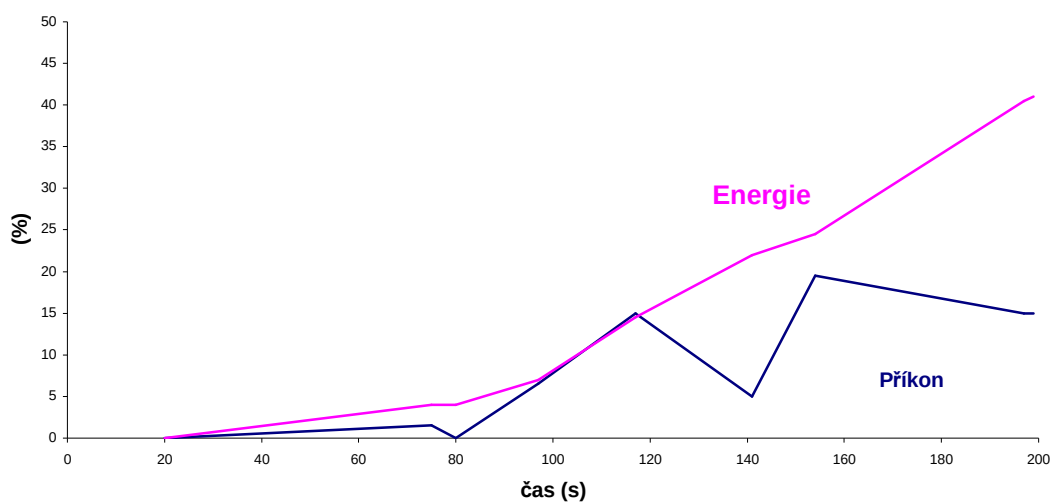
Obr. 36 Spotřeba el. energie a příkon stroje při míchání směsi předeřáté na $T_1 = 20\text{ °C}$

- Směs A předeřřátá na teplotu $T_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tab. 18 Naměřené hodnoty příkonu P (kW) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
20	272	1,6
75	102	4
80	0	4
97	442	7
117	1020	14,5
141	340	22
154	1326	24,5
197	1020	40,5
199	1020	41

Příkon a spotřeba el energie stroje při míchání směsi předeřřáté na $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

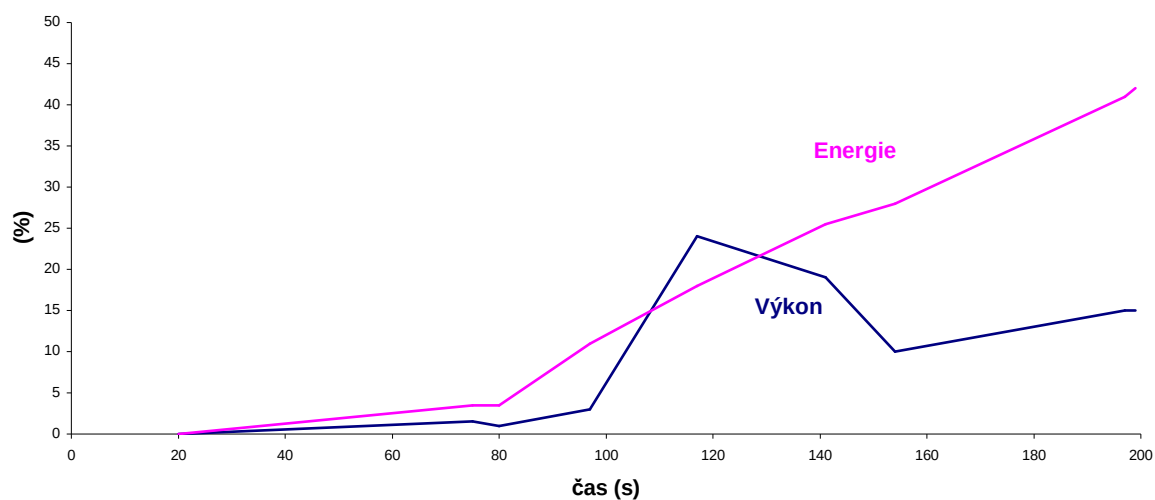
Obr. 37 Příkon a spotřeba el.energie stroje při míchání směsi předeřřáté na $T_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Směs A předeřátá na teplotu $T_1 = 60\text{ °C}$

Tab. 19 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
20	68	0
75	102	3,5
80	68	3,5
97	204	11
117	1632	18
141	1292	25,5
154	680	28
197	1020	41
199	1020	42

Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předeřáté na
 $T = 60\text{ °C}$

Obr. 38 Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předeřáté na $T_1 = 60\text{ °C}$

3. Hodnocení základové směsi A (Tab.20.)

- plasticita základové směsi (6.8.2)
- hustota směsi

Tab. 20. Hodnocení základové směsi A

základová směs S 156	Plasticita 100°C (ML) 1+4'	hustota (g/cm³)
20 ¹⁾	58,7	1,036
40	57,4	1,041
60	57,1	1,037

• **Směs B**

- plastikát směsi B s označením B1
- základ směsi B s označením B2

1. Příprava směsi

- navažovací a míchací postupy jsou uvedeny v příloze P 7.
- směs byla temperována v peci po dobu dvou dnů na teploty T_1 (°C)

2. Postup experimentu

Temperovaný plastikát směsi B byl zamíchán podle konkrétního míchacího postupu. Zamíchaný plastikát je součástí základu směsi. Tato směs je opět temperována na teploty T_1 (°C) (Tab.22) a zamíchána v hnětiči. Míchací proces je shodný s mícháním směsi A (6.7.1).

Tab. 21. Míchání plastikátu směsi B

označení vzorku/druh směsi	průměrná teplota na paletě T_1 (°C)	průměrná teplota pod hnětičem T_2 (°C)	viskozita Mooney (100 °C) (1+4')
1 /B1	40	125	86,5
2/ B1	20	126	85,5
3/ B1	60	122	76,6

Tab. 22 Míchání základu směsi B –460 (2-B460)

označení vzorku/druh směsi	průměrná teplota na paletě T_1 (°C)	průměrná teplota pod hnětičem T_2 (°C)	viskozita Mooney (100 °C) (1+4')
1 /B2	40/60 ¹⁾	124	98,7
2/ B2	20/40	126	104,2
3/ B2	60/20	125	99,3

¹⁾ Kombinace teplot – T_1 (°C) plastikátu směsi B (B1)/ T_1 (°C) základu směsi

B (B2)

3. Vlastní měření

V průběhu experimentu byly zaznamenávány u směsi B tyto hodnoty:

- teplota směsi T_1 (°C) směsi na paletě (Tab17,18),
- teplota směsi T_2 (°C) směsi pod hnětičem při výstupu směsi z extruderu přes zásobovací dvouválec,
- příkon stroje P (kW) a spotřeba elektrické energie E (kWh) při míchání v čase t (s) (Obr.37-42). Procentuální vyjádření výkonu i energie je uvedeno v Tab. 23.

Tab. 23 Procentuální vyjádření příkonu P (kW) a spotřeba el. energie E (kWh)

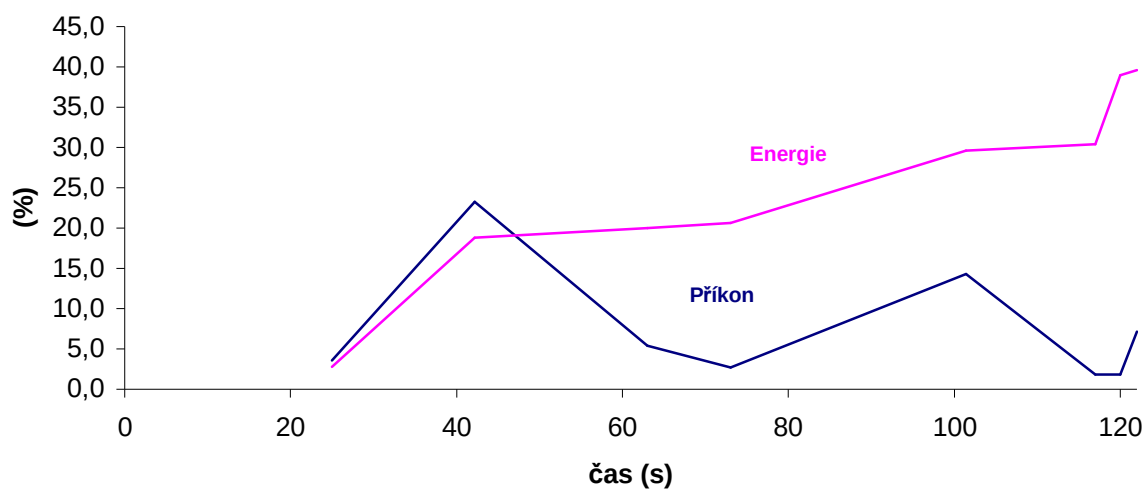
procentuální vyjádření (%)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
100	3800	50
50	1900	25
25	950	12,5
10	475	5

- **Plastikát B1 předeřtý na teplotu $T_1 = 20$ °C**

Tab. 24 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
25	126	2,8
42,2	252	18,8
63	1637	20,0
73	378	20,6
101,4	189	29,6
117	1007	30,4
120	126	39,0
122	126	39,6

Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na teplotu $T = 20^\circ\text{C}$



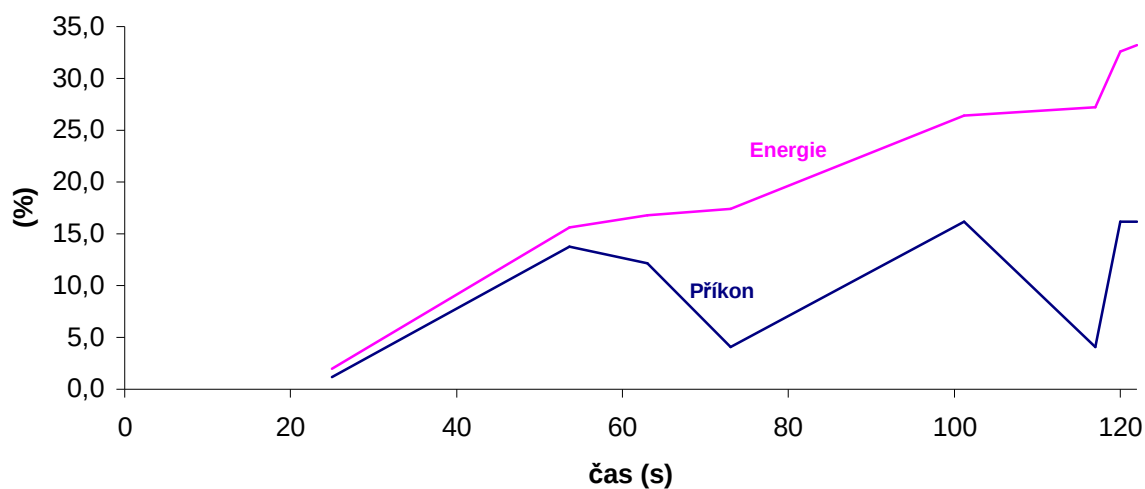
Obr. 39 Příkon a spotřeba el.energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 20^\circ\text{C}$

- Plastikát B1 předehřátý na teplotu $T_1 = 40^\circ\text{C}$**

Tab. 25 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
25	252	2
53,6	1637	15,6
63	378	16,8
73	189	17,4
101,2	1007	26,4
117	126	27,2
120	126	32,6
122	504	33,2

Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na teplotu $T = 40^\circ\text{C}$



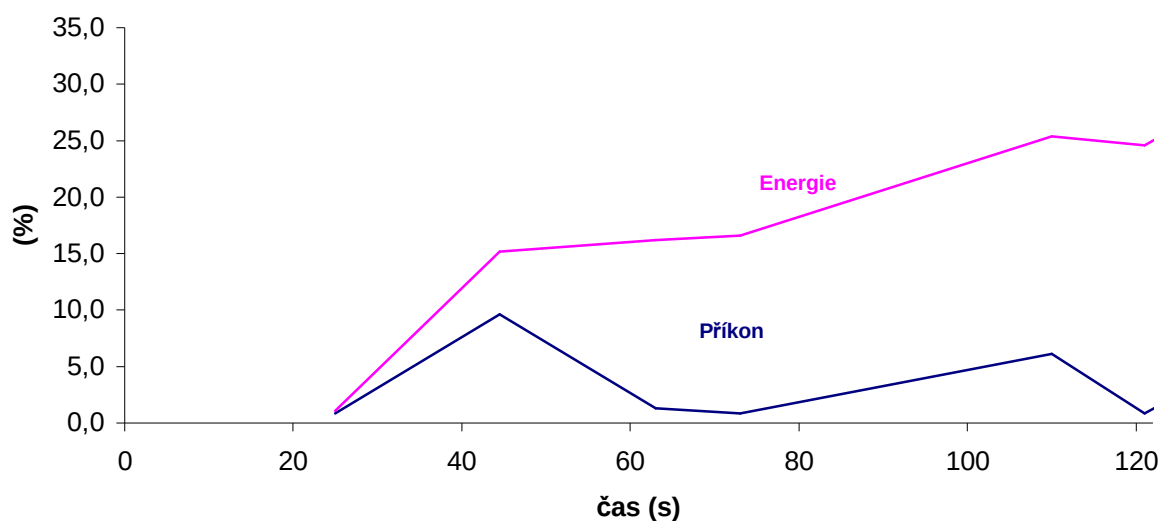
Obr. 40 Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 40^\circ\text{C}$

• **Plastikát B1 předehřátý na teplotu $T_1 = 60^\circ\text{C}$**

Tab. 26 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
25	0,9	1,1
44,5	9,6	13,7
63	1,3	12,1
73	0,9	4,0
110	6,1	16,2
121	0,9	4,0
134	6,1	16,2
136	6,1	16,2

Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na teplotu $T = 60^{\circ}\text{C}$



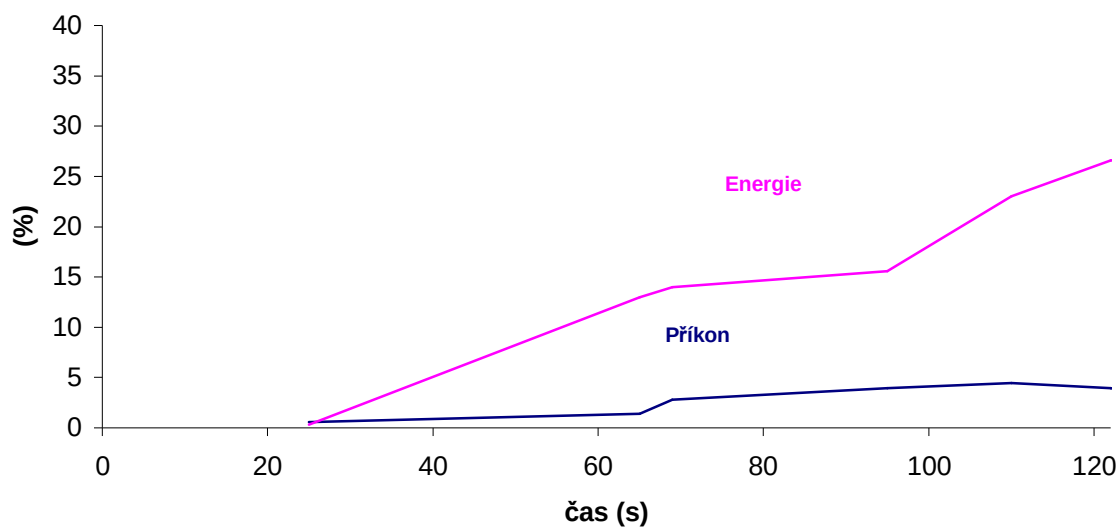
Obr. 41 Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 60^{\circ}\text{C}$

- Základová směs B2 předehřátá na teplotu $T_1 = 20^{\circ}\text{C}$**

Tab. 27 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	příkon P (kW)	energie E (kWh)
25	38	1,8
65	95	13
69	190	14
95	266	15,6
110	304	23
122	266	26,6
132	152	27,2
148	380	33,2
150	380	34

**Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předeřáté na
teplotu $T = 20^{\circ}\text{C}$**



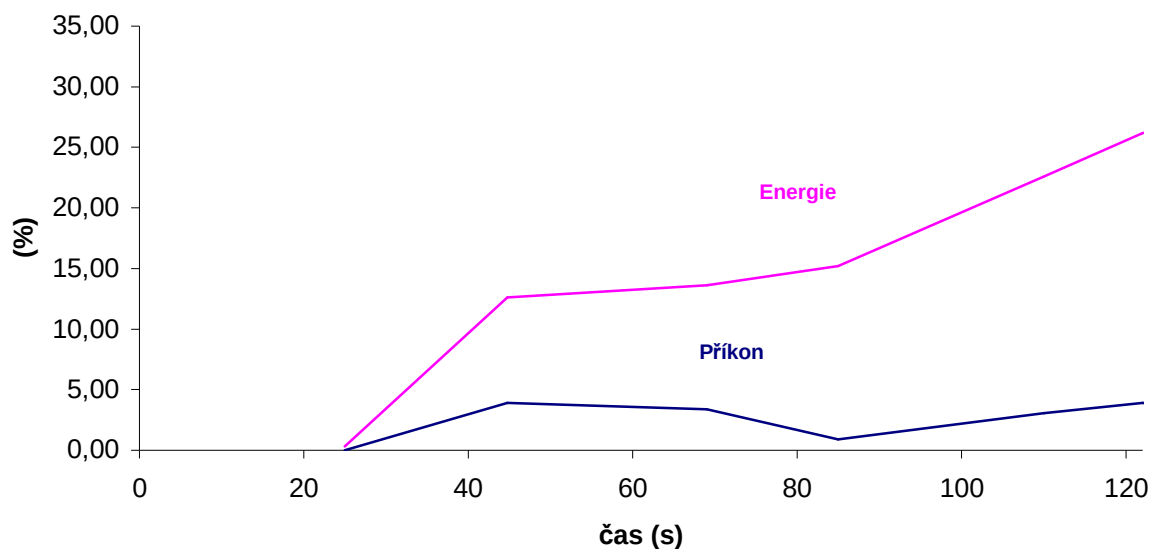
Obr. 42 Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předeřáté na $T_1 = 20^{\circ}\text{C}$

• **Základová směs B2 předeřátá na teplotu $T_1 = 40^{\circ}\text{C}$**

Tab. 28 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a spotřeba energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	výkon P (kW)	energie E (kWh)
25	76	1,6
44,7	266	12,6
69	228	13,6
85	59	15,2
110	209	22,6
122	266	26,2
132	190	26,8
145	342	31,4
147	342	32,2

VPříkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na teplotu $T = 40^\circ\text{C}$



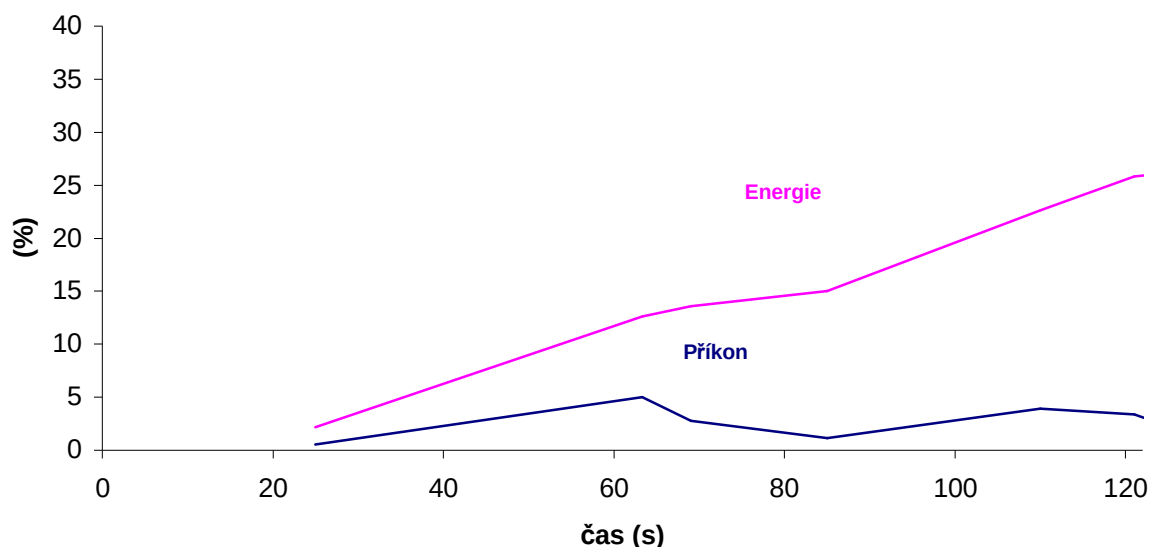
Obr. 43 Příkon a spotřeba el. energie při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 40^\circ\text{C}$

• **Základová směs B2 předehřátá na teplotu $T_1 = 60^\circ\text{C}$**

Tab. 29 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi

čas míchání t (s)	výkon P (kW)	energie E (kWh)
25	76	1,6
63	342	12,6
69	190	13,6
85	76	15,0
110	266	22,6
121	228	25,8
131	38	26,6
151	266	34,0
153	266	34,6

Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi přehřáté na teplotu $T = 60^\circ\text{C}$



Obr. 44 Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi přehřáté na $T_1 = 60^\circ\text{C}$

Směsi (A, B) byly posouzeny na základě dat získaných z energovelínu. Je vyhodnocena spotřeba elektrické energie a příkon hnětacího stroje pro stejné míchací časy.

3. Hodnocení směsi B

- plasticita plastikátu směsi B1,
- plasticita základu směsi B2.

6.7 Metody hodnocení kaučuků a kaučukových směsí

6.7.1 Stanovení dielektrických vlastností kaučuků

Stanovení relativní permitivity slouží k charakterizaci polymerních materiálů. Dielektrické vlastnosti polymerů jsou charakterizovány dielektrickými ztrátami a dielektrickou konstantou [5], které jsou spojeny s chemickou konstitucí (tj. velikostí a počtem polárních skupin a jejich dipólmomentem) a pohyblivostí dipólů, popř. přítomných iontů. Z hlediska uvedených vlastností lze rozdělit materiály v podstatě do dvou skupin – na nepolární a polární.

Dipólmoment:

$$\bar{\mu} = Q \cdot \bar{l} \quad (D - \text{Debay}) \quad (14)$$

kde

Q je elektrický náboj (C),

$\bar{l}$ vzdálenost mezi náboji dipólů (m).

Nepolární dielektrika mohou vykazovat po vložení do elektrického pole indukovaný dipólmoment. Tento moment je pak úměrný intenzitě elektrického pole, proto mu také říkáme deformační dipólmoment – m :

$$m = \alpha \cdot E \quad (15)$$

kde

α je polarizovatelnost (deformibilita)

E intenzita elektrického pole (V/m)

Celý proces se nazývá polarizace dielektrika. Může mít různý mechanismus:

- posuv elektronů vůči kladným jádrům – elektronová polarizace,
- vzájemný posuv atomů v molekule – atomová polarizace [5].

Postup měření:

Vzorky kaučuků PK SIR 20SED a SBR Kralex příslušného průměru $\varnothing$ (mm) a tloušťky d (mm) (Tab. 19) byly vloženy mezi desky kondenzátoru, tím jsme znásobili kapacitu kondenzátoru faktorem ϵ_r označovaným relativní permitivita.

Tab. 30. Naměřené hodnoty vzorků PK SIR a SBR Kralex

	PK	SBR
průměrná tloušťka vzorku d (mm)	2,618	3,017
plocha elektrod (mm²)	176,63	176,63
průměr vzorku $\varnothing$ (mm)	15	15,5

Podstatou zkoušky je vyrovnání obvodu s kondenzátorem naplněných zkoušených materiálem s obvodem se srovnávacím kondenzátorem zapojeným v můstku [18].

Během zkoušky počítač zaznamenal tyto hodnoty pro frekvence f 500 Hz – 1GHz :

- frekvence f (Hz),
- impedance Z ,
- kapacita kondenzátoru C (F),
- vodivost σ (S/m),
- fázový úhel $\text{tg}\delta$ (-).

Tab. 31. Relativní permitivita při frekvenci 500 Hz- 1 GHz

Butadienstyrenový kaučuk

frekvence f (Hz)	relativní permitivita ϵ_r (-) vzorku
500	2,94
1000	2,94
2000	2,94
3320	2,74
4000	2,42
5000	2,15
6000	1,96
7000	1,84
8000	1,69
9000	1,58
10000	1,79
20000	1,57
30000	1,55
40000	1,55
50000	1,57
60000	1,47
70000	1,54
80000	1,52
90000	1,52
100000	1,52

Přírodní kaučuk

frekvence f (Hz)	relativní permitivita ϵ_r (-) vzorku
500	3,09
1000	3,09
2000	3,09
3320	3,09
4000	2,94
5000	2,45
6000	2,04
7000	1,82
8000	1,77
9000	1,82
10000	1,81
20000	1,68
30000	1,56
40000	1,52
50000	1,53
60000	1,58
70000	1,59
80000	1,52
90000	1,55
100000	1,50

Hodnocení zkoušky:

Na základě naměřených hodnot byla stanovena relativní permitivita ϵ_r (Tab.20) obou vzorků pomocí následujícího vztahu:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S/d \quad (F) \quad (16)$$

kde

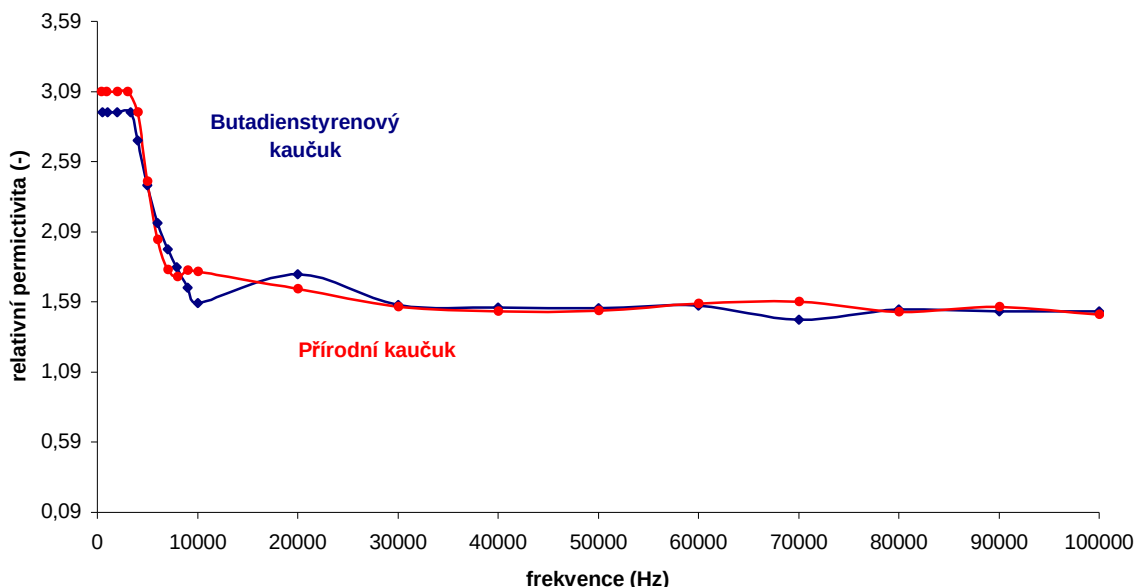
C je kapacita kondenzátoru (F),

ϵ_0 permitivita vakua ($8,854 \cdot 10^{-12}$),

ϵ_r relativní permitivita (-),

S plocha elektrod (m^2),

d vzdálenost elektrod (m).

Průběh permitivity v oblasti elektrických kmitočtůObr. 45 Relativní permitivita ϵ_r (-) vzorků kaučuků při frekvencích f 500 Hz – 1GHz

Relativní permitivita závisí na frekvenci elektrického pole a na teplotě. Udává poměr množství energie, které může být v kondenzátoru s daným dielektrikem uskladněno, a množství energie uskladnitelné ve stejném kondenzátoru, jehož dielektrikem je vakuum.

6.7.2 Stanovení plasticity (viskozity) vzorků kaučuků

Zkouška byla provedena na viskozimetru MOONEY 2000MV (Obr.15) pro jednotlivé směsi (6.3).

Postup zkoušky:

Z připravených kaučuků a kaučukových směsí (viz kap.6.5) byl vyseknut polotovár ve tvaru kotouče o $\varnothing = 45 - 50$ mm a tloušťce 6-8 mm.

Vzorek se umístil mezi viskózní fólií (celofán) a vložil do přístroje. Po uzavření stroje se materiál předehtřival 1 min na teplotu měření (u viskozity 100°C) bez otáčení rotoru. Po vyhřátí se rotor roztočil a byla odečítána hodnota ML (jednotky Mooney).

$$\bullet \quad 100 \text{ jednotek Mooney} = 0,846 \text{ kp.m} \rightarrow 9,80665 \text{ (J)} \quad (17)$$

Viskozita Mooney je hodnota na křivce při 100 °C odečtená po 4 min od spuštění rotoru. Podstatou zkoušky je stanovení kroucího momentu při vzájemném protáčení rotoru a komory naplněné zkoušeným materiálem.

Viskozita Mooney (ML) je odpor, který za podmínek uspořádání zkoušky vzniká v uzavřené komoře naplněné zkoušeným materiálem při jejím vzájemném protáčení s uvnitř centricky umístěným rotorem.

6.7.3 Hodnocení disperze kaučukových směsí pomocí fotografické metody

Pro hodnocení disperze pomocí fotografické metody byly použity vzorky směsi B, které byly součástí míchacího procesu (6.5.5):

- plastikát směsi B (B1),
- základ směsi B (B2).

Postup zkoušky

Nařezané vzorky o tloušťce cca 5 mm byly vloženy pod mikroskop. Mikroskopem vybaveným digitálním fotografickým přístrojem Nikon byly získány fotografie vzorku zvětšeného 50x. K porovnání vzorků nám posloužily standardní snímky, na kterých byly znázorněny směsi o určité kvalitě disperze.

Z každého zkušebního vzorku byly zhotoveny 2 snímky. Z těchto dvou fotografií byl vybrán pouze jeden na základě kvality snímku.

Pořízené fotografie jsou uvedeny v příloze P 10.

6.8 Zhodnocení investice MW technologie z ekonomického hlediska

6.8.1 Vliv mikrovln na náklady a tržby

1. Zkrácení výrobní doby, třeba až o 70-85 %.
2. Zkrácení časů potřebných na vlastní operaci, ale také na naplnění a vyprázdnění je hlavním faktorem zvýšení výrobní kapacity.
3. Úspory elektrické energie jsou proti konvenčním metodám běžně v rozmezí 25-50 % .
 - Přeměnu elektrické energie ze sítě na ohřátí produktu charakterizuje celková účinnost „sít’ – produkt“ mezi 65-75 %. Přitom účinnost u konvenčních způsobů ohřevu je 35-50%. Tato výhoda je dána tím, že mikrovlny působí pouze na ohřívání materiál. Výkon vyzářený MW generátorem se přemění v teplo i z více než 90%. Proto se obvykle dosahují, proti konvenčním metodám, úspory běžně v rozmezí 15-40%, ale často i více,
 - u MW ohřevu odpadá potřeba dalšího podpůrného příslušenství

a podpůrných systémů na elektrickou energii.

4. energetická náročnost nejvýznamněji ovlivní úsporu celkových přímých provozních nákladů.

5. Menší nároky na prostor a kratší doba instalace.

- Postačí pouze 1/5 až 1/10 podlažní plochy konvenčního zařízení; není nutno kupovat nové pozemky, stavět nové budovy a pevně v nich instalovat rozměrné pece.
- Doba instalace je kratší až o 85 % než u klasických systémů; přizpůsobit starou výrobu na novou, případně i s několikanásobkem původní kapacity lze provést s ohledem na minimální úpravy velmi pohotově.

6. Nenáročná údržba.

- Obvykle postačí k sanitaci doba zhruba 8x kratší ve srovnání s klasickými systémy.
- V průměru se ušetří až 7 hodin týdně zkrácením neproduktivní doby, potřebné k náběhu při prvním naplnění konvenčního zařízení po odstávce.
- Nároky na čas, jakož i na pracovní kapacitu při opravách jsou významně nižší oproti konvenčním zařízením, jež jsou rozměrnější se složitějšími a poruchovějšími mechanismy.

7. Investiční náklady

- Jsou přibližně stejné jako u konvenčních zařízení. Pořizovací cenu silně ovlivňuje požadavek na zpracovatelskou kapacitu. Pro typické aplikace lze použít přibližné odhady - například při sušení se vychází z výkonové potřeby 0,67 kW na odpaření 1 kg vody za hodinu. Obecně platí, že kolem 90 % energie mikrovlnného (MW) generátoru se využije na ohřátí produktu. Na základě toho se pak volí potřebný výkon generátoru. Investiční náklady na MW systém určují amortizaci, jež představuje hlavní složku nákladů. Pokud se zařízení používá např. jen po jeden měsíc v roce, efektivnost aplikace se snižuje. Naopak čím delší doba provozu (nejlépe nepřetržitý provoz), tím rychlejší amortizace [7].

6.8.2 Hlavní položky pro výpočet nákladů

1. **Investice – pořízení.**
2. **Elektrická náročnost.**
3. **Periodická výměna zdrojových jednotek - magnetronů**, což jsou náhradní díly, jenž je třeba vyměnit jakmile dojde k takové míře jeho opotřebení, že je ukončena jeho životnost.
4. **Mzdy.** Přesto, že mikrovlnná (MW) zařízení pracují zpravidla v automatickém režimu, bývá součástí kalkulace úvazek operátora, resp. jeho poměrná část. Pokud je zapotřebí vkládat a vyjímat produkt, zahrne se do tohoto výrobního uzlu rovněž mzda obsluhy.

6.8.3 Posouzení návratnosti

1. Proveďte se výpočet jednotkových nákladů, charakterizující zvýšení ceny za jednotku produktu, a to v důsledku pořízení a provozu investice. Je základem cenové kalkulace výrobku.
2. Ty se porovnají s ekvivalentními údaji o dosavadní technologii a vyčíslí se úspory a zvýšení produktivity.
3. Prognóza zvýšení tržeb vychází jednak ze zvýšení výrobní kapacity, jednak z odhadovaného nárůstu prodeje v případě, že existuje předpoklad poptávky po výrobku nové kvality [7].

6.8.4 Výpočet celkových ročních nákladů při pořízení MW technologie

Tab. 32. Výpočet celkových ročních nákladů při pořízení MW zařízení

TYP LINKY		MW Výkon (kW)	100 kW
		pořizovací cena (tis. Kč)	10 000 tis.Kč
1. Roční odpis		1/6 ceny investice	1167 tis.Kč
2. Provozní roční náklady		provozní doba 6000 h/rok	2200 tis.Kč
Z toho:	el. energie	2,50 Kč/kWh	1200 tis.Kč
	voda	20 Kč/m ³	100 tis.Kč
	náhradní díly	v cenové úrovni roku 2000	800 tis.Kč
	servis	jako nakupovaná služba	100 tis.Kč
Celkové roční náklady		1+2	4167 tis.Kč

- Odpisová doba je ve 2. skupině i přesto, že skutečná životnost zařízení je zhruba dvojnásobná.
- Nejsou řešeny otázky daní.

- Nezahrnuje další využití ohřáté vody či její získání z vlastních zdrojů.
- Nepostihuje pozitivní faktory na straně tržeb.
- Není zahrnuta celá řada dalších podmínek, posuzovaných případ od případu.

6.8.5 Výpočet jednotkových nákladů

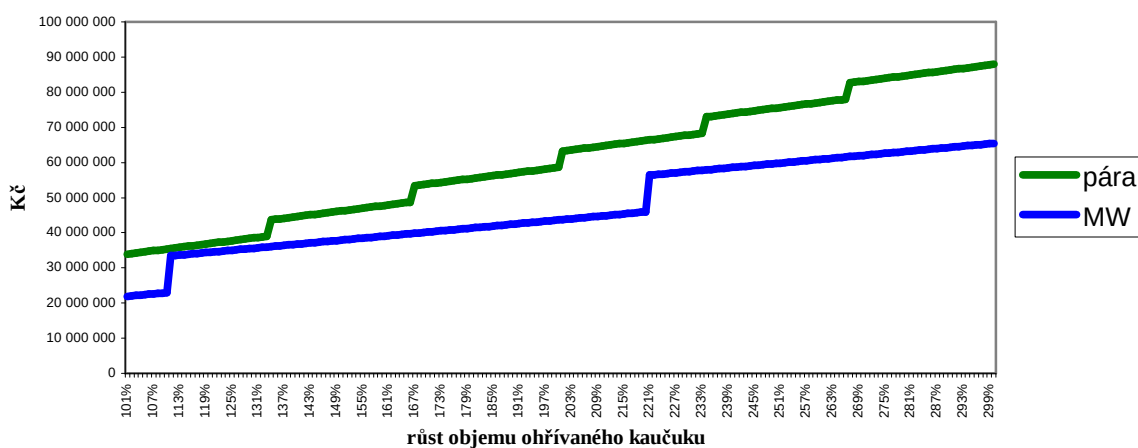
Výpočet je proveden na základě získaných a vypočtených hodnot uvedených v Tab. 33., kde byl zjišťován čas potřebný k ohřevu 1 kg kaučuku o $\Delta T = 20, 30, 40, 50$ °C.

Tab. 33 Předpoklad jednotkových nákladů (Kč/kg):

rozdíl teplot ΔT (°C)	průměrná energie potřebná k ohřevu 1 kg kaučuku o 1(°C) Q (kJ/kg .K)	čas potřebný k ohřátí 1 kg t (s)	výkonnost aplikace (kg/h)	jednotkové náklady (Kč/kg)
20	1,92	0,25	14 400	0,047¹⁾
30	1,92	0,54	6667	0,10
40	1,92	0,97	3711	0,18
50	1,92	1,10	3273	0,21

¹⁾ Výpočet byl proveden na základě sdělených údajů na stránce www.romill.cz

Náklady ohřevu kaučuku při růstu objemu výroby se započtením investičních nákladů nové válcovny



Obr. 46. Náklady ohřevu kaučuku při růstu výroby [17]

6.8.6 Výpočet návratnosti investice

Při rozhodování o dlouhodobých investicích musí tedy podnik zvážit jejich cíl a zpracovat více variant jeho řešení. Jedním z ukazatelů, podle kterých se výsledná varianta vybírá, je ukazatel efektivity investic.

Ukazatel efektivnosti se stanoví jako poměr ročního odpisu a ročního přínosu z investice k pořizovací ceně investice.

$$E = \frac{\text{roční odpis} + \text{roční přínos z investice}}{\text{pořizovací cena HIM}} \quad (17)$$

Dalším důležitým ukazatelem rozhodování o investici nákupu je ukazatel návratnosti investice v letech.

$$N = \frac{\text{pořizovací cena HIM}}{\text{roční přínos z investice} + \text{roční odpis}} \quad (18)$$

Výpočet efektivnosti investice

- pořizovací cena = Kč 10 000 000,--
- roční odpis = Kč 1 167 000,-- (doba odepisování 6 let, 2.odpisová skupina)
- roční zisk = Kč 1 000 000,-- (10 % z pořizovací ceny)

$$E = \frac{1\,167\,000 + 1\,000\,000}{10\,000\,000} = 0,27 \text{ Kč}$$

$$N = \frac{10\,000\,000}{1\,000\,000 + 1\,167\,000} = 4,61$$

Při zhodnocení výsledku výpočtu ukazatele efektivnosti můžeme konstatovat, že jedna koruna vynaložená na pořízení recyklační linky přinese Kč 0,27.

Ukazatel návratnosti nám vypovídá o tom, za jak dlouho dojde k vyrovnání peněžních prostředků vložených do investice. Z uvedeného výpočtu vyplývá, že návratnost investice je přibližně 4 roky.

Výpočty uvedené v této kapitole jsou pouze orientační.

7 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Účelem experimentů bylo stanovit vliv mikrovlnného ohřevu na vlastnosti kaučukových směsí a potvrdit energetické úspory míchacího procesu. Vlastnosti kaučukových směsí byly sledovány na přírodním a syntetických kaučucích podle doporučení výrobce pneumatik. Z toho důvodu byly pro experimenty vybrány dvě směsi, z nichž jedna obsahuje více typů kaučuků (přírodní a syntetický) a druhá obsahuje pouze přírodní kaučuk. Složení jednotlivých směsí, navažovací a míchací předpis jsou uvedeny v přílohách P 5,7.

Jednotlivé zkoušky, jejich podmínky a parametry jsou popsány v kapitole 6.5.

Vyhodnocení výsledků se rozděluje do několika oblastí.

7.1 Ohřev kaučuků MW technologií

Z naměřených hodnot (P 2,3) a grafů (Obr.21,22) lze konstatovat, že ohřev kaučuků MW technologií proběhl v celém objemu v závislosti na měněných podmínkách (výkon, čas) a má lineární průběh. Můžeme tedy říci, že s rostoucím výkonem se zvyšuje i výstupní teplota kaučuků. Hodnoty u přírodního kaučuku SIR 20SED a syntetického butadienstyrenového kaučuku Krallex se příliš nelišily.

Pro hodnocení nepolární látky (kaučuku) v elektrickém poli byla stanovena relativní permitivita obou vzorků.

Při měření relativní permitivity ϵ_r (6.6) se naše hodnoty lišily od tabulkových hodnot. Je to zřejmě způsobeno skutečností, že odebrané vzorky z dodaného kaučuku nebyly zcela homogenní. Obsahovaly velké množství poruch (vzduch), což mohlo ovlivnit nesoulad mezi tabulkovými hodnotami dielektrických ztrát a skutečně naměřenými hodnotami.

Jak je patrné z grafu (Obr.36) se vzrůstem frekvence relativní permitivita klesá. Při velmi vysokých frekvencích se uskutečňují změny pole tak rychle, že je dipóly nemohou více sledovat a relativní permitivita klesá až na nejnižší hodnotu označovanou ϵ_∞ , která je dána pouhou deformační polarizací [18].

7.2 Rozmrazování

Rozmrazování kaučuků PK SIR 20SED a syntetického kaučuku SBR Krallex (6.5) probíhalo lineárně. Podobně jako v předchozí kapitole, lze na základě vyhodnocení (Obr.26-28) říci, že výstupní teplota sledovaných vzorků vzrůstá v závislosti na čase, jak bylo předpokládáno.

Průběh rozmrazování obou typů kaučuků je v podstatě shodný.

7.3 Opakovaný ohřev

Pro experiment byly opět použity vzorky výše uvedených kaučuků. Postup zkoušky je uveden v kap.6.5.

Podle Tab. 10 a Tab. 11 je patrné, že se plasticita přírodního kaučuku a syntetického kaučuku při opakovaném ohřevu v zásadě nemění. Hodnota plasticity přírodního kaučuku je přibližně 90ML – 4, hodnota plasticity syntetického kaučuku 53ML - 4. Přírodní kaučuk má viskozitu vyšší vzhledem ke své vyšší molekulové hmotnosti.

Na základě výsledků lze konstatovat, že opakovaný ohřev kaučuku MW technologií neovlivňuje reologické vlastnosti materiálu.

7.4 Míchání kaučukových směsí v laboratorních podmínkách

Zkoušky byly na základě výběru Barum Continental, spol. s.r.o. provedeny s elastomerní směsí, která byla připravena a následně zamíchána podle uvedeného navažovacího a míchacího předpisu. U každé směsi bylo míchání provedeno třikrát za sebou. Při míchání předeřtých vzorků MW technologií byla zaznamenána spotřeba elektrického proudu pohonu hnětacího stroje a teplota komory stroje.

Jak bylo předpokládáno, při každém přidání přísady, vzrostla spotřeba elektrické energie [P 6].

7.5 Míchání kaučukových směsí v provozu

Experiment míchání zahrnoval:

a) Míchání směsi A

Tab.15. ukazuje naměřené hodnoty teplot pod hnětičem T_2 (°C). Se zvyšující se vstupní teplotou T_1 (°C) vzrůstá i hodnota T_2 .

Ze zamíchaných směsí byly odebrány vzorky pro stanovení hustoty a plasticity směsi. Jak je patrné z Tab.16. předeřev směsi konvenčním způsobem na různé vstupní teploty T_1 neovlivnil plasticitu směsi.

V příloze P6 jsou zaznamenány skutečné hodnoty příkonu (kW), energie (kWh), rychlost otáček rotoru (ot/min) a teplota (°C) za míchací čas t (s).

Z hlediska úspory elektrické energie můžeme říci, že zvýšením vstupní teploty kaučuku na $T_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ došlo k poklesu spotřeby elektrické energie. Avšak při vstupní teplotě kaučuku $T_1 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ se hodnota spotřeby elektrické energie potřeby zvýšila.

b) Míchání směsi B

Další elastomerní směsí, se kterou byl proveden experiment ve výrobě byla směs, která obsahuje 100% PK k ověření disperze směsi a hodnot plasticity.

Vlivu přehřevu kaučuku a kaučukových směsí na spotřebu elektrické energie při míchání jednotlivých elastomerních směsí je uveden v kap. 7.6.

Plastikát směsi i jeho základ nevykazoval při stanovení hodnot plasticity žádné odchylky.

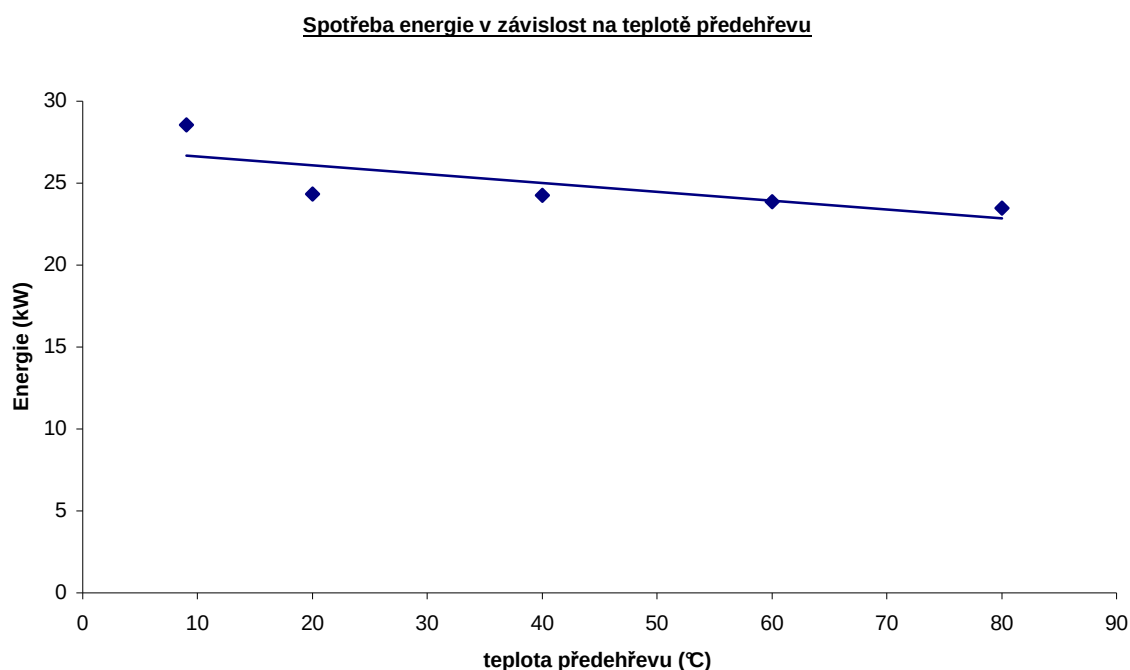
U směsi byl posuzován vliv přehřevu na disperzi kaučuků a kaučukových směsí pomocí fotografické metody (6.6)

Jak je vidět z pořízených fotografií (P 10) přehřev neovlivňuje disperzi kaučukových směsí.

7.6 Vliv přehřevu kaučuku a kaučukových směsí na spotřebu elektrické energie při míchání

- **Míchání směsi A v laboratorních podmínkách**

Tab.10 ukazuje, že nejvyšší maximální výkon, tedy i spotřeba elektrické energie byla zjištěna u nepřehřátých kaučuků se vstupní teplotou $T_1 = 9^{\circ}\text{C}$. Postupně při zvyšování vstupních teplot T_1 pomocí mikrovlnného ohřevu na hodnoty 20,30,40,60,80 $^{\circ}\text{C}$ můžeme zaznamenat pokles spotřeby elektrické energie.



Obr. 47 Pokles spotřeby energie v závislosti na vstupní teplotě kaučuk

- **Míchání směsi A v provozu**

Na základě hodnot uvedených v Tab.17-19 byla stanovena průměrná hodnota spotřeby elektrické energie při teplotách předehřevu $T = 20, 40, 60$ °C. Lze konstatovat, že spotřeba elektrické energie má se vzrůstem teploty předehřevu klesající trend.

Tab. 34 Průměrné hodnoty spotřeby energie

Teplota předehřevu T_1 (°C)	průměrná spotřeba energie E (kWh)
20	18,8
40	17,5
60	19,2

- **Míchání směsi B v provozu**

Jak již bylo zmíněno v kap. 6.6.5 míchání směsi B zahrnuje míchání plastikátu této směsi B1 a základu směsi B.

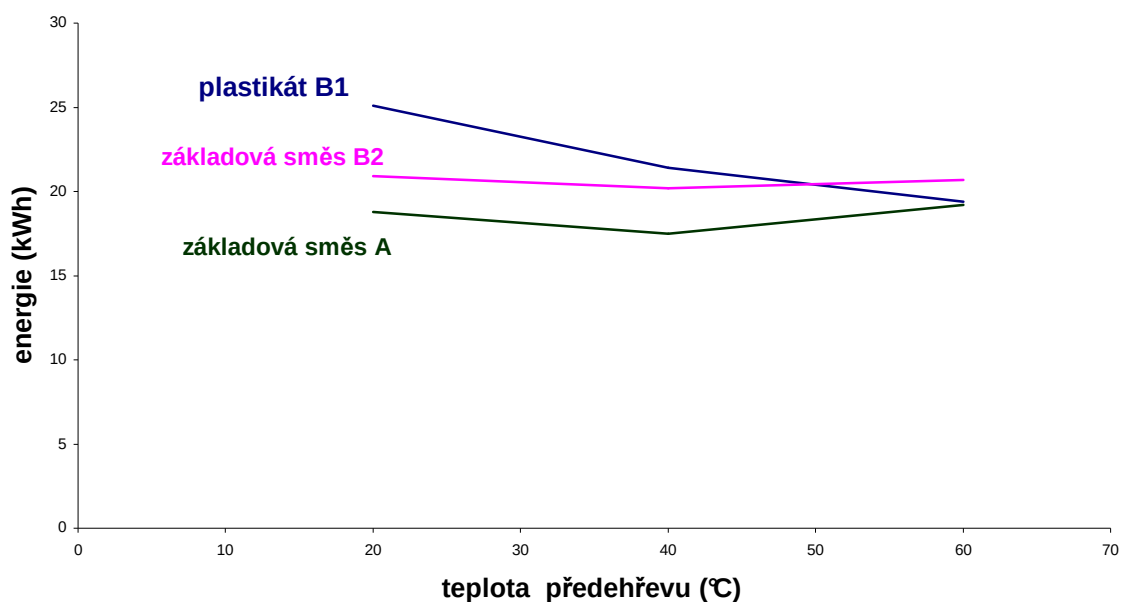
Tab. 35 Průměrné hodnoty spotřeby energie plastikátu B1

Teplota předehřevu T_1 (°C)	průměrná spotřeba energie E (kWh)
20	25,1
40	21,4
60	19,4

Tab. 36 Průměrné hodnoty spotřeby energie základové směsi B2

Teplota předehřevu T_1 (°C)	průměrná spotřeba energie E (kWh)
20	20,9
40	20,2
60	20,7

Spotřeba elektrické energie při míchání předehřátých směsí



Obr. 48 Spotřeba energie sledovaných směsí

Ze sledovaných směsí se výraznější pokles spotřeby elektrické energie projevil při míchání plastikátu B1.

Průměrné hodnoty spotřeby elektrické energie v Tab.35 nám dokazují, že při zvýšení vstupní teploty kaučuku o 20 °C můžeme zaznamenat 15-20 % pokles spotřeby elektrické energie pohonu hnětiče. Při míchání základových směsí není pokles tak výrazný.

Tab. 37 Spotřeba MW energie na ohřátí 1 kg kaučuku o 1 °C (jednotková práce)

MW příkon P (kW)	MW výkon P (kW)	Doba ohřevu t (s)	Hmotnost m (kg)	Poč. teplota t ₀ (°C)	Kon. teplota t _{prům} (°C)	Jedn.práce c _p kJ/(kg.°C)
0,9	0,21	120	0,417	18	42	1,24
0,9	0,14	300	0,443	18	56,78	1,81
0,9	0,11	420	0,367	18	66,78	2,43
0,9	0,12	600	0,406	18	87,56	2,20
průměr						1,92

Výpočet v Tab. 23 byl proveden na základě získaných hodnot zkoušky mikrovlnného ohřevu PK pro příkon MW zařízení 100 % (900W) v jednotlivých časech t (s).

Výkon MW zařízení, který se podílel na ohřevu kaučuku byl stanoven na základě výpočtů dle přílohy P 11, podle skutečné měrné tepelné kapacity c_p (kJ/kg°C).

Se zvyšující se dobou ohřevu vzrůstá spotřeba energie (jednotková práce).

Tab. 38. Čas potřebný k ohřevu 1 kg kaučuku o uvedené teploty T (°C) při výkonu komory 100kW

Hmotnost kaučuku na paletě m (kg)	výkon MW komory P (kW)	rozdíl teplot ΔT (°C)	čas ohřevu kaučuku t (s)
1	100	20	0,25
1	100	30	0,54
1	100	40	0,97
1	100	50	1,10

Čas potřebný k ohřátí 1 kg kaučuku o rozdíly teplot ΔT = 20,30,40,50 °C při výkonu komory MW zařízení 100 kW je uveden v Tab. 24. Se vzrůstajícím rozdílem teplot stoupá i doba ohřevu.

8 ZÁVĚR

Obsah diplomové práce je tématicky rozdělen do tří základních částí, aby byla dodržena kontinuita a zachována samostatnost jednotlivých částí.

Cílem zpracování první části bylo studium odborné literatury, zaměřené na obecné poznatky o gumárenských směsích, zpracovatelských procesech gumárenských směsí a v poslední řadě na aplikaci použití mikrovlnné technologie v gumárenském průmyslu.

Získané teoretické poznatky studiem literatury jsou aplikovány ve druhé části, kdy vlastní experimentální částí předchází plánování experimentů. Plánování experimentů je rozděleno do tří základních částí:

1. Cíl experimentu

Cílem jednotlivých zkoušek bylo:

- vyšetřit vliv mikrovlnného ohřevu na vlastnosti gumárenských směsí,
- zhodnotit využití MW technologie s ohledem na energetické úspory při míchání gumárenských směsí,
- stanovit ekonomickou stránku využití mikrovlnného ohřevu při zpracování gumárenských směsí.

2. Program experimentu

Experiment byl proveden v oblasti ohřevu kaučuku MW technologií, od teplot pod bodem mrazu až po teploty, při kterých je reálné kaučuky ohřívat. Jednotlivé dílčí experimenty byly realizovány:

- v laboratorních podmínkách,
- přímo ve výrobě gumárenských směsí.

Na základě uskutečněných experimentů byla řešena otázka vlivu ohřevu kaučuků a kaučukových směsí MW technologií na vlastnosti směsí. Konkrétně byly sledovány reologické vlastnosti a disperze surovin v kaučuku a kaučukových směsích.

3. Analýza výsledků

Bylo prokázáno, že nepolární materiál (kaučuk) je možné ohřívat MW energií. Předehřátí kaučuku snižuje jeho viskozitu, která se příznivě projeví ve snížení spotřeby energie hnětačného stroje bez změny fyzikálních vlastností směsí a bez změny disperze kaučukové směsi.

Ekonomickým zhodnocením byla dokázána rentabilita investice, která při průměrném zisku 10 % činí 4 roky. Veškeré ekonomické výpočty uvedené v této práci jsou pouze orientační a ukazují směr postupu hodnocení ekonomické stránky dané problematiky.

Přesto, že experimentální práce byly prováděny na určených typech směsí lze konstatovat aplikovatelnost výsledků na směsi podobného složení. Pokud by bylo nutno aplikovat tyto výsledky na směsi připravené z jiných typů kaučuků je doporučeno podle uvedené metodiky v diplomové práci provést ověřovací experimenty.

V práci není zkoumán vliv předehřevu mikrovlnným zdrojem na vnitřní strukturu kaučuků.

Vliv předehřevu kaučuku na fyzikální vlastnosti vulkanizátu je obsahem navazující diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FRANTA, Ivan. *Gumárenské suroviny I. : Gumárenské suroviny*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství technické literatury, 1979.
- [2] FRANTA, Ivan. *Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. 2. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1969. 606 s.
- [3] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie*. Přednášky.
- [4] BARUM CONTINENTAL, spol. s. r. o. *Gumárenská technologie*. Učební texty. 2004.
- [5] STOKLASA, Karel. *Vlastnosti polymerních materiálů : Dielektrické vlastnosti*. [s.73.], 78 s. Přednášky
- [6] HORÁK, David. *Využití variabilního pohonu hnětiče při míchání kaučukových směs*. 2000. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Zapletal.
- [7] *Romill-Krmivářské stroje : Průmyslový mikrovlnný ohřev* [online]. 2000 [cit. 2005-04-03]. Dostupný z WWW: <www.romill.cz>.
- [8] DVOŘÁK, Zdeněk, SVOBODA, Ivan. Vývoj spotřeby energií na přípravě gumárenských směsí : Nové směry v gumárenství. *Sborník přednášek*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati , 2003. s. 37. ISBN 80-7318-149-5.
- [9] *Elektromagnetické pole* [online]. [1999] [cit. 2005-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrotechnika.cz/zaklady/prncp040426.html>>.
- [10] *Spectrum of electromagnetic waves* [online]. [2000] [cit. 2005-05-01]. Dostupný z WWW: <www.google.com>.
- [11] ČERNÝ, Václav. Elektrický ohřev. *Elektro*. 2003, č. 3, s. 57.
- [12] MLEZIVA, Josef, ŠNUPÁREK , Jaromír. *Polymery : výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. vyd. Praha : Sobotáles, 2000. 537 s. ISBN 80-85920-72-7
- [13] *Fyzikální vzorce : elektromagnetické vlnění* [online]. [2000] [cit. 2005-04-05]. Dostupný z WWW: <www.fyzika.smolula.cz>.
- [14] DVOŘÁK, Zdeněk. *Ohřev kaučuku MW zdrojem*. Přednášky
- [15] STOKLASA, Karel. *Polymerní materiály*. Přednášky

-
- [16] MIKULČÁK, Jiří, a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 206 s. SBN 14-257-89.
- [17] DVOŘÁK, Zdeněk; SVOBODA, Ivan. *Fenomén energie a jejich podíl na výrobě gumárenských výrobků*. Přednášky
- [18] PAVLÍNEK, *Kontrolní a zkušební metody*. Přednášky
- [19] CHEN, M., et al. Basic Ideas of microwave processing of polymers. *Polymer engineering and science*. 1993, vol. 33, no. 17, s. 21.
- [20] DVOŘÁK, Zdeněk. *Výpočty jednotkové práce*. Soubory výpočtů.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MW	-	mikrovlny (microwave)
dsk	-	hmotnostní díly
PK	-	přírodní kaučuk
SBR	-	styrenbutadienový kaučuk
°C	-	stupeň Celsia
atm	-	atmosférický tlak
DE	-	dielektrický ohřev
RF	-	radiová frekvence
ϵ_r	-	relativní permitivita (-)
ϵ_0	-	permitivita vakua ($8,854 \cdot 10^{-12}$)
$\text{tg } \delta$	-	fázový úhel
C	-	kapacita kondenzátoru (F)
S	-	plocha (m^2)
d	-	vzdálenost desek kondenzátoru (m)
g	-	vodivost jednotkové krychle (S/m)
G	-	výsledná vodivost (S/m)
ω	-	úhlová rychlost (s^{-1})
ρ	-	rezistivita (měrný odpor) ($\Omega \cdot \text{m}$)
γ	-	konduktivita (měrná vodivost) (S/m)
I	-	proud (A)
U	-	napětí (V)
P	-	výkon (W)
A	-	práce (J)
NR	-	přírodní kaučuk
EPDM	-	etylen – propylenový kaučuk

CR -	chlorobutadienový kaučuk
NBR -	nitrobutadienový kaučuk
α -	relaxace při nízkých kmitočtech
β -	relaxace při vysokých kmitočtech
DC -	stejnoseměrný proud
AC -	střídavý proud
T _g -	teplota skelného přechodu (°C)
$\varnothing$ -	průměr
T -	teplota (°C)
m -	hmotnost (kg)
ML -	jednotky Mooney
$\bar{\mu}$ -	dipólmoment polární látky (C.m)
Q -	náboj (C)
l -	vzdálenost nábojů (m)
m -	dipólmoment nepochárních látek (V.m)
kp -	kilopond
E -	intenzita elektrického pole (V.m)
E -	efektivnost
N -	návratnost
ϵ_{∞} -	deformační polarizace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Míchací linka pro míchání základů směsí	24
Obr. 2. Oblasti spektra elektromagnetického záření [10]	29
Obr. 3. Reakce rozlišných materiálů na mikrovlny (9).....	30
Obr. 4. Molekuly při MW ohřevu.....	31
Obr. 5. Deskový kondenzátor s vloženým dielektrikem.....	32
Obr. 6. Náhradní schéma kondenzátoru se ztrátovým dielektrikem.....	32
Obr. 7. Fázový diagram dielektrických ztrát	32
Obr. 8. Schéma mikrovlnného zařízení	37
Obr. 9. Chemický vzorec přírodního kaučuku.....	39
Obr. 10. Chemický vzorec butadienstyrenového kaučuku	39
Obr. 11. Hlavní části pláště pneumatiky	40
Obr. 12. Vyobrazení a popis mikrovlnné trouby PROFESSOR MTE –235 BX.....	43
Obr. 13 Mrazicí box Liebherr	43
Obr. 14. Laboratorní hnětič.....	44
Obr. 15. Viskozimetr MOONEY MV 2000	44
Obr. 16. Deskový kondenzátor	45
Obr. 17. Batch – feeder	46
Obr. 18. Hnětič.....	47
Obr. 19. Dvouválec (roller die).....	48
Obr. 20. Plásky směsi zavěšené na tyčích v chladicím zařízení.....	48
Obr. 21. MW ohřev přírodního kaučuku – SIR 20SED.....	50
Obr. 22. Mikrovlnný ohřev butadienstyrenového kaučuku – Krallex	50
Obr. 23. Srovnání kaučuků PK SIR 20SED– důsledek krystalizace	51
Obr. 24. Srovnání kaučuků SBR Krallex.....	51
Obr. 25. Rozmrazování PK SIR 20SED	52
Obr. 26. Rozmrazování SBR Krallex	53
Obr. 27. Srovnání rozmrazování SBR a PK	53
Obr. 28. Vzorky přírodního kaučuku PK SIR 20SED	54
Obr. 29. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 1,2,3	58
Obr. 30. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 4,5,6	59
Obr. 31. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 7,8,9	59
Obr. 32. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 10,11,12	60

Obr. 33. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 13,14,15	60
Obr. 34. Porovnání příkonu stroje v čase při míchání směsí č. 16,17,18	61
Obr. 35. Dotykový display	62
Obr. 36. Spotřeba el. energie a příkon stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 20^\circ\text{C}$. 64	
Obr. 37. Příkon a spotřeba el.energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 40^\circ\text{C}$. 65	
Obr. 38. Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 60^\circ\text{C}$. 66	
Obr. 39. Příkon a spotřeba el.energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 20^\circ\text{C}$. 69	
Obr. 40. Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 40^\circ\text{C}$ 70	
Obr. 41. Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 60^\circ\text{C}$ 71	
Obr. 42. Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 20^\circ\text{C}$ 72	
Obr. 43. Příkon a spotřeba el. energie při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 40^\circ\text{C}$ 73	
Obr. 44. Příkon a spotřeba el. energie stroje při míchání směsi předehřáté na $T_1 = 60^\circ\text{C}$ 74	
Obr. 45. Relativní permitivita ϵ_r (-) vzorků kaučuků při frekvencích f 500 Hz – 1GHz 77	
Obr. 46. Náklady ohřevu kaučuku při růstu výroby [17]..... 81	
Obr. 47. Pokles spotřeby energie v závislosti na vstupní teplotě kaučuk..... 86	
Obr. 48. Spotřeba energie sledovaných směsí 87	

SEZNAM TABULEK

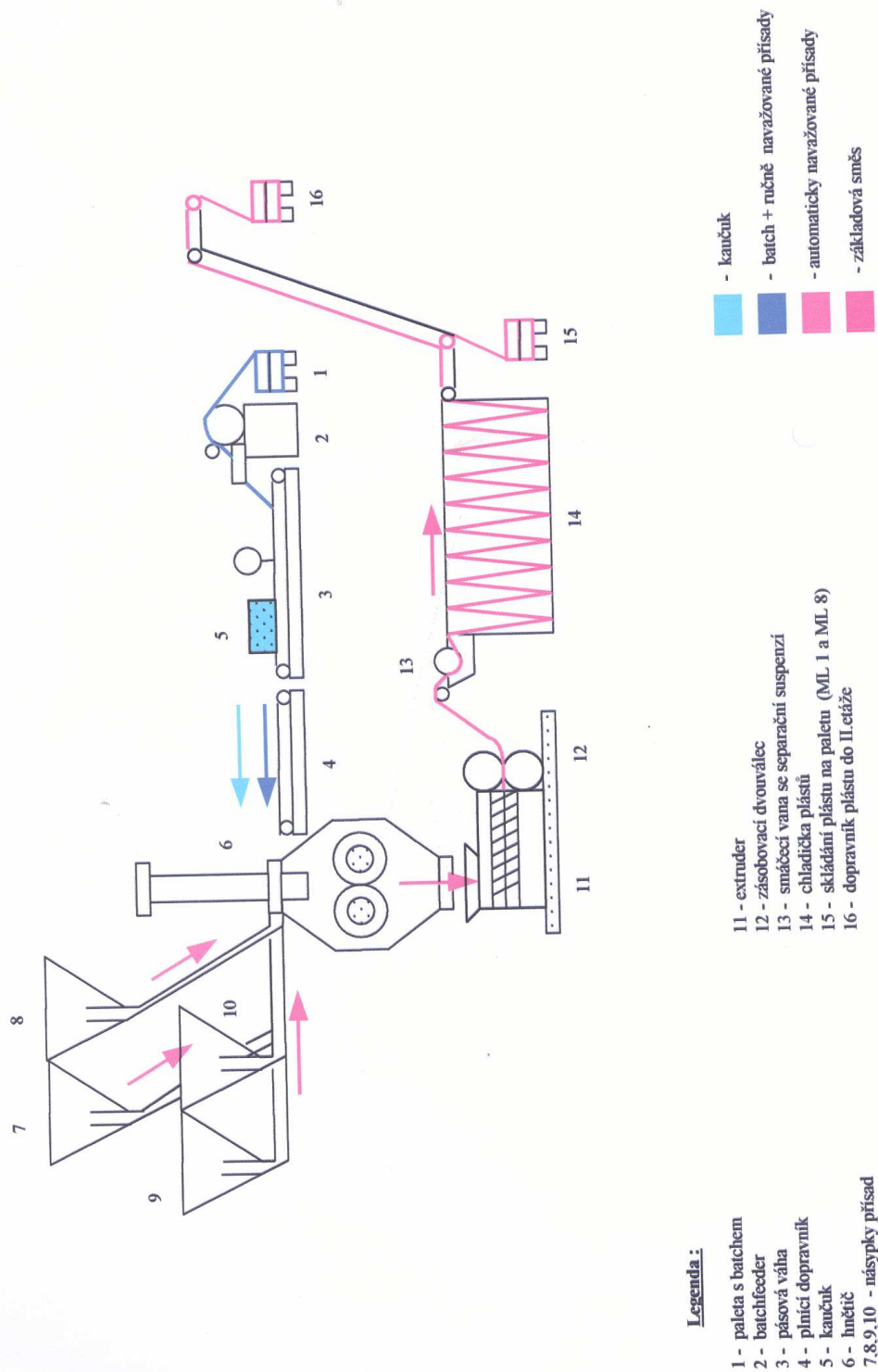
Tab. 1. Složení směsí z kaučuku přírodního a butadienstyrenového.....	17
Tab. 2. Relativní permitivity a činitele ztrát některých materiálů [11].....	35
Tab. 3. Navažovací předpis základové směsi A	41
Tab. 4. Navažovací předpis plastikátu B1	41
Tab. 5. Navažovací předpis základové směsi B2.....	42
Tab. 6. Parametry jednotlivých vah	46
Tab. 7. Parametry hnětiče pro míchání základových směsí.....	47
Tab. 8. Rozmrazování PK SIR 20SED	52
Tab. 9. Rozmrazování SBR –Kralex	52
Tab. 10. Opakovaný ohřev PK SIR 20SED.....	54
Tab. 11. Opakovaný ohřev SBR Kralex	55
Tab. 12. Přepočtení surovin na celkovou hmotnost 2,4 kg.....	56
Tab. 13. Celkový přehled naměřených a vypočtených hodnot základové směsi A.....	57
Tab. 14. Porovnání žádaných a skutečných průměrných teplot kaučuků před mícháním...	62
Tab. 15 Procentuální vyjádření příkonu P (kW) a energie E (kWh)	63
Tab. 16. Naměřené hodnoty v průběhu míchání v hnětiči H0 GK320 E.....	63
Tab. 17 Naměřené hodnoty příkonu P (kW) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	64
Tab. 18 Naměřené hodnoty příkonu P (kW) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	65
Tab. 19 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	66
Tab. 20. Hodnocení základové směsi A	67
Tab. 21. Míchání plastikátu směsi B.....	67
Tab. 22 Míchání základu směsi B –460 (2-B460)	67
Tab. 23 Procentuální vyjádření příkonu P (kW) a spotřeba el. energie E (kWh).....	68
Tab. 24 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	68
Tab. 25 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	69
Tab. 26 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	70
Tab. 27 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	71
Tab. 28 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a spotřeba energie E (kWh) při míchání směsi	72
Tab. 29 Naměřené hodnoty příkonu P (W) a energie E (kWh) při míchání směsi.....	73
Tab. 30. Naměřené hodnoty vzorků PK SIR a SBR Kralex	75
Tab. 31. Relativní permitivita při frekvenci 500 Hz- 1 GHz.....	76
Tab. 32. Výpočet celkových ročních nákladů při pořízení MW zařízení	80

Tab. 33 Předpoklad jednotkových nákladů (Kč/kg):	81
Tab. 34 Průměrné hodnoty spotřeby energie	86
Tab. 35 Průměrné hodnoty spotřeby energie plastikátu B1.....	87
Tab. 36 Průměrné hodnoty spotřeby energie základové směsi B2	87
Tab. 37 Spotřeba MW energie na ohřátí 1 kg kaučuku o 1 °C (jednotková práce).....	88
Tab. 38. Čas potřebný k ohřevu 1 kg kaučuku o uvedené teploty T (°C) při výkonu komory 100kW.....	88

SEZNAM PŘÍLOH

P 1	Schéma výrobní linky pro míchání základových směsí
P 2	Tab. I Mikrovlnný ohřev přírodního kaučuku SIR 20SED
P 3	Tab. II Mikrovlnný ohřev butadienstyrenového kaučuku Kralex
P 4	Tab. III Skutečné teploty kaučuku na paletě
P 5	Navažovací předpis a míchací postup základové směsi S 156A
P 6	Vyhodnocení spotřeby energie – zpráva z energovelínu, směs S 156A
P 7	Navažovací předpis a míchací postup plastikátu směsi B- 460 (1-B460)
P 8	Navažovací předpis a míchací postup základu směsi B-460 (2-B460)
P 9	Vyhodnocení spotřeby energie – zpráva z energovelínu, směs B-460
P 10	Vyhodnocení disperze (fotografie směsi B –460)
P 11	Výpočet měrné tepelné kapacity (20)

Příloha P 1

Schéma výrobní linka pro míchání základových směsíSchéma hnětičových linek

Příloha P 2

Tab. I Mikrovlnný ohřev přírodního kaučuku SIR 20SED

vzorek č.	čas (min)	hmotnost (g)	výkon (%)	výkon (W)	pořadí ohřevu	teplota (°C)			
						místo A	místo B	místo C	
10	2	397	20	180	1	23	24	23	
					2	25	28	28	
					3	27	28	28	
Průměr						25,00	26,67	26,33	26,00
9	2	443	40	360	1	27	28	27	
					2	33	32	34	
					3	30	32	34	
Průměr						30,00	30,67	31,67	30,78
8	2	382	60	520	1	28	30	29	
					2	32	36	34	
					3	38	38	40	
Průměr						32,67	34,67	34,33	33,89
7	2	414	80	720	1	34	33	35	
					2	34	40	38	
					3	39	44	45	
Průměr						35,67	39,00	39,33	38,00
6	2	417	100	900	1	38	40,0	41,0	
					2	45	44	46	
					3	43	40	41	
Průměr						42,00	41,33	42,67	42,00
11	5	455	20	180	1	30	29	27	
					2	29	30	29	
					3	30	32	34	
Průměr						29,67	30,33	30,00	30,00
13	5	390	40	360	1	38	37	37	
					2	36	37	36	
					3	31	33	32	
Průměr						35,00	35,67	35,00	35,22
14	5	476	60	520	1	39	39	38	
					2	43	46	45	
					3	53	58	59	
Průměr						45,00	47,67	47,33	46,67
15	5	450	80	720	1	51	50	53	
					2	49	42	49	
					3	47	54	53	
Průměr						49,00	48,67	51,67	49,78
4	5	443	100	900	1	65	68	66	
					2	59	57	53	
					3	43	50	50	
Průměr						55,67	58,33	56,33	56,78
21	7	456	20	180	1	30	32	32	
					2	31	33	32	
					3	32	31	38	
Průměr						31,00	32,00	34,00	32,33
20	7	352	40	360	1	42	44	44	
					2	44	46	45	

					3	43	46	47	
Průměr						43,00	45,33	45,33	44,56
19	7	510	60	520	1	53	55	55	
					2	60	63	64	
					3	40	45	44	
Průměr						51,00	54,33	54,33	53,22
18	7	368	80	720	1	60	58	58	
					2	55	59	57	
					3	40	52	46	
Průměr						51,67	56,33	53,67	53,89
22	7	367	100	900	1	63	60	66	
					2	42	43	41	
					3	101	102	83	
Průměr						68,67	68,33	63,33	66,78
26	10	401	20	180	1	30	32	32	
					2	33	33	32	
					3	37	41	40	
Průměr						33,33	35,33	34,67	34,44
25	10	501	40	360	1	43	49	46	
					2	42	46	45	
					3	46	49	48	
Průměr						43,67	48,00	46,33	46,00
24	10	482	60	520	1	73	85	76	
					2	88	92	88	
					3	66	65	65	
Průměr						75,67	80,67	76,33	77,56
23	10	520	80	720	1	68	72	75	
					2	89	96	91	
					3	67	72	75	
Průměr						74,67	80,00	80,33	78,33
28	10	406	100	900	1	82	84	80	
					2	90	93	92	
					3	87	92	88	
Průměr						86,33	89,67	86,67	87,56

Příloha P 3

Tab. II. Mikrovlnný ohřev butadienstyrenového kaučuku - KRALEX

vzorek č.	čas (min)	hmotnost (g)	výkon (%)	výkon (W)	pořadí ohřevu	teplota (°C)			
						místo A	místo B	místo C	
1	2	432	20	180	1	27	31	28	
					2	25	25	26	
					3	26	27	28	
Průměr						26,00	27,67	27,33	27,00
2	2	511	40	360	1	27	29	28	
					2	28	27	27	
					3	29	31	30	
Průměr						28,00	29,00	28,33	28,44
3	2	412	60	520	1	27	31	32	
					2	31	32	32	
					3	31	36	35	
Průměr						29,67	33,00	33,00	31,89
4	2	510	80	720	1	35	38	36	
					2	33	35	34	
					3	35	39	38	
Průměr						34,33	37,33	36,00	35,89
5	2	498	100		1	39	40	40	
					2	35	37	39	
					3	41	47	46	
Průměr						38,33	41,33	41,67	40,44
6	5	433	20	180	1	24	26	27	
					2	27	28	27	
					3	34	30	28	
Průměr						28,33	28,00	27,33	27,89
7	5	413	40	360	1	29	30	31	
					2	31	34	34	
					3	36	39	35	
Průměr						32,00	34,33	33,33	33,22
8	5	471	60	520	1	36	43	51	
					2	36	42	43	
					3	52	46	43	
Průměr						41,33	43,67	45,67	43,56
9	5	389	80	720	1	51	50	54	
					2	45	54	52	
					3	52	53	53	
Průměr						49,33	52,33	53,00	51,56
10	5	513	100	900	1	61	56	66	
					2	63	65	66	
					3	64	66	67	
Průměr						62,67	62,33	66,33	63,78
11	7	513	20	180	1	25	23	25	
					2	28	31	33	
					3	32	36	38	
Průměr						28,33	30,00	32,00	30,11
12	7	619	40	360	1	37	42	41	

					2	34	37	37	
					3	37	38	37	
Průměr						36,00	39,00	38,33	37,78
13	7	498	60	520	1	42	47	49	
					2	46	46	47	
					3	45	47	48	
Průměr						44,33	46,67	48,00	46,33
14	7	489	80	720	1	41	44	47	
					2	62	68	54	
					3	64	66	67	
Průměr						55,67	59,33	56,00	57,00
15	7	476	100	900	1	52	64	62	
					2	68	70	72	
					3	75	76	74	
Průměr						65,00	70,00	69,33	68,11
16	10	460	20	180	1	35	33	32	
					2	34	37	37	
					3	36	35	37	
Průměr						35,00	35,00	35,33	35,11
17	10	494	40	360	1	45	45	44	
					2	59	62	60	
					3	60	61	62	
Průměr						54,67	56,00	55,33	55,33
18	10	565	60	520	1	57	60	61	
					2	58	60	60	
					3	59	62	65	
Průměr						58,00	60,67	62,00	60,22
19	10	494	80	720	1	59	66	70	
					2	62	64	70	
					3	63	60	68	
Průměr						61,33	63,33	69,33	64,67
21	10	469	100	900	1	61	61	60	
					2	75	72	73	
					3	73	74	75	
Průměr						69,67	69,00	69,33	69,33

Příloha P4

Tab. III Teplota kaučuku na paletě

teplota pece 20 °C				
typ - kaučuku	počet měření	teplota (°C)		
		hloubka		
		1 cm	3 cm	5 cm
STR 20	1	28	28	28
	2	28	30	27
	3	26	28	29
průměr		28,00		
SKD II	1	21	22	22
	2	25	23	23
	3	24	23	21
	4	23	24	22
	5	22	20	20
	6	25	24	23
průměr		22,61		
SMR 20 CV	1	26	27	28
	2	27	29	27
	3	28	30	27
	4	32	34	35
průměr		29,17		
KRALEX	1	31	29	28
	2	28	30	30
	3	29	29	30
	4			
průměr		29,33		

teplota pece 40 °C				
typ - kaučuku	počet měření	teplota (°C)		
		hloubka		
		1 cm	3 cm	5 cm
STR 20	1	38	46	57
	2	43	47	52
	3	57	61	62
	4	46	53	60
	5	38	45	49
	7	40	49	60
	8	45	51	57
	9	46	56	62
průměr		50,83		
SKD II	1	36	43	46
	2	37	39	45

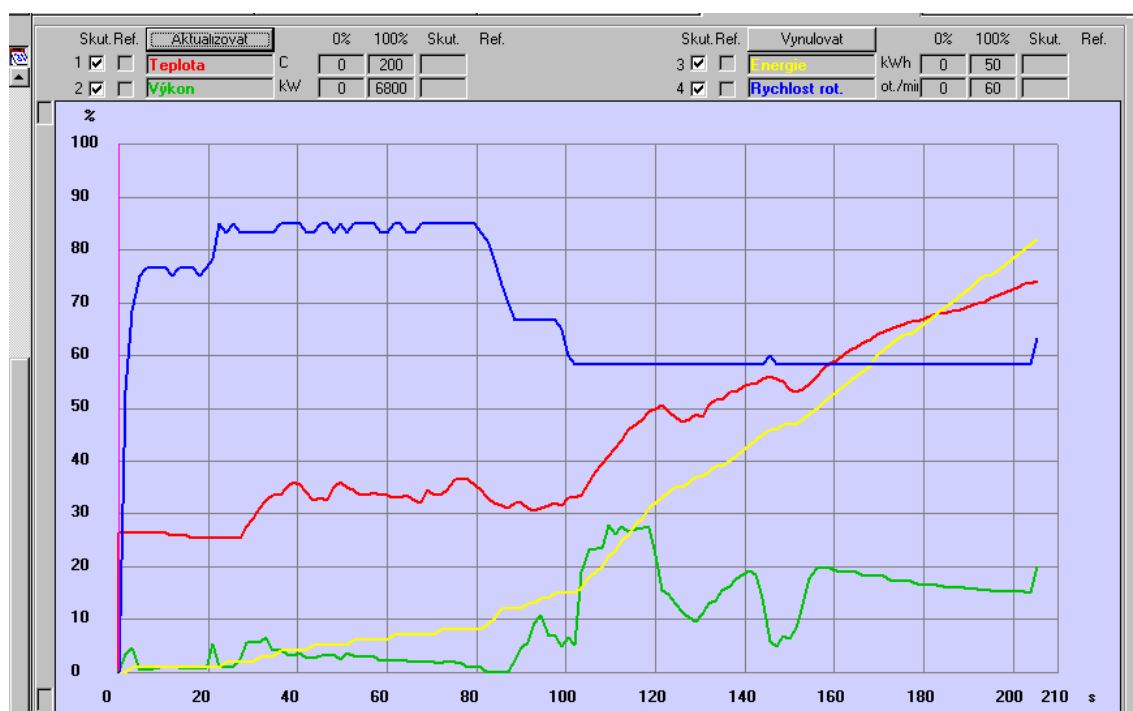
	3	48	53	53
	4	32	38	44
	5	47	56	61
	6	36	40	44
průměr		44,33		
SMR 20 CV	1	37	43	51
	2	37	47	53
	3	52	63	68
	4			
průměr		50,11		
KRALEX	1	43	49	51
	2	43	45	48
	3	35	39	44
	4	41	43	46
průměr		43,92		

teplota pece 60 °C				
typ - kaučuku	počet měření	teplota (°C)		
		hloubka		
		1 cm	3 cm	5 cm
STR 20	1	56	61	61
	2	57	63	64
	3	56	62	64
	4	57	62	64
	5	59	64	67
	6			
průměr		61,13		
SKD II	1	55	58	61
	2	55	58	58
	3	52	57	59
	4	48	52	53
	5	50	57	61
průměr		55,60		
SMR 20 CV	1	49	57	60
	2	54	58	60
	3	54	59	60
	4	55	58	62
průměr		57,17		
KRALEX	1	53	61	63
	2	54	60	65
	3	56	60	64
	4	52	57	60
	5	53	59	62
průměr		58,60		

Příloha P 6

Vyhodnocení spotřeby energie z energovelínuSměs A přehřátá na 40°C

Krok Čís.	Stav			Klát		Rotory		PP 1		PP 2		PP 3		PP 4		PP 5		PP 6	
	ZH	DA	Zásah	Klát Tlak v %		Rotory Ryc. 1/min		Čas v s		Energie kWh		Teplota ve °C		Obrátky		Krouťicí moment		Int.hor uzáve	
				Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut
1					6	45	45	20 (20)	20 (20)				70		15		10		
2				100	100	50	51	75 (55)	75 (55)		3,5		75		46		23		
3					7	50	50	80 (5)	80 (5)		3,5		71		4		13		
4					6	40	40	97 (17)	97 (17)		10,5		73		11		66		
5				100	99	35	35	117 (20)	117 (20)		17,0		95		12		443		
6				100	100	35	35	137 (20)	141 (24)		25,0		111		14		368		
7				100	89	35	35	150 (13)	154 (13)		27,5		111		7		330		
8				100	100	35	35	160 (10)	197 (43)		41,0	148	148		25		283		
9					42	40	40	162 (2)	199 (2)		41,5		149		1		308		
vyprázdnění (FV)								183 (21)	220 (21)										



Směs A přehřátá na 60°C

Krok Čís.	Stav			Klát		Rotory		PP 1		PP 2		PP 3		PP 4		PP 5		PP 6		PP 7		PP 8	
	ZH	DA	Zásah	Klát Tlak v %		Rotory řyc.1/min		Čas v s		Energie kWh		Teplota ve °C		Obrátky		Kroučicí moment		Int.horn. uzáveru		Viskosita		Tepelná historie	
				Rec	Skut	Rec	škut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	škut	Rec	škut	Rec	škut	Rec	škut	Rec	škut	Rec	Skut
1					6	45	45	20 (20)	20 (20)			104		14		9							
2				100	99	50	50	75 (55)	75 (55)		3,5	76		46		27							
3					7	50	50	80 (5)	80 (5)		3,5	73		4		12							
4					6	40	40	97 (17)	97 (17)		11,0	76		11		100							
5				100	100	35	35	117 (20)	117 (20)		18,0	98		12		471							
6				100	103	35	35	137 (20)	142 (25)		25,5	114		14		374							
7				100	88	35	35	150 (13)	155 (13)		28,0	117		7		333							
8				100	102	35	35	160 (10)	195 (40)		41,0	148	148	23		286							
9					34	40	40	162 (2)	197 (2)		42,0	149		1		290							
vyprázdnění (FV)								183 (21)	218 (21)														

Příloha P 7

Navažovací předpis směsí B (plastikát B1)

[illegible]

Příloha P 8

Navazovací předpis směsi B (základová směs B2)

[illegible]

Vyhodnocení směsi B z energovelínu

Směs B1, předehřev na teplotu $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

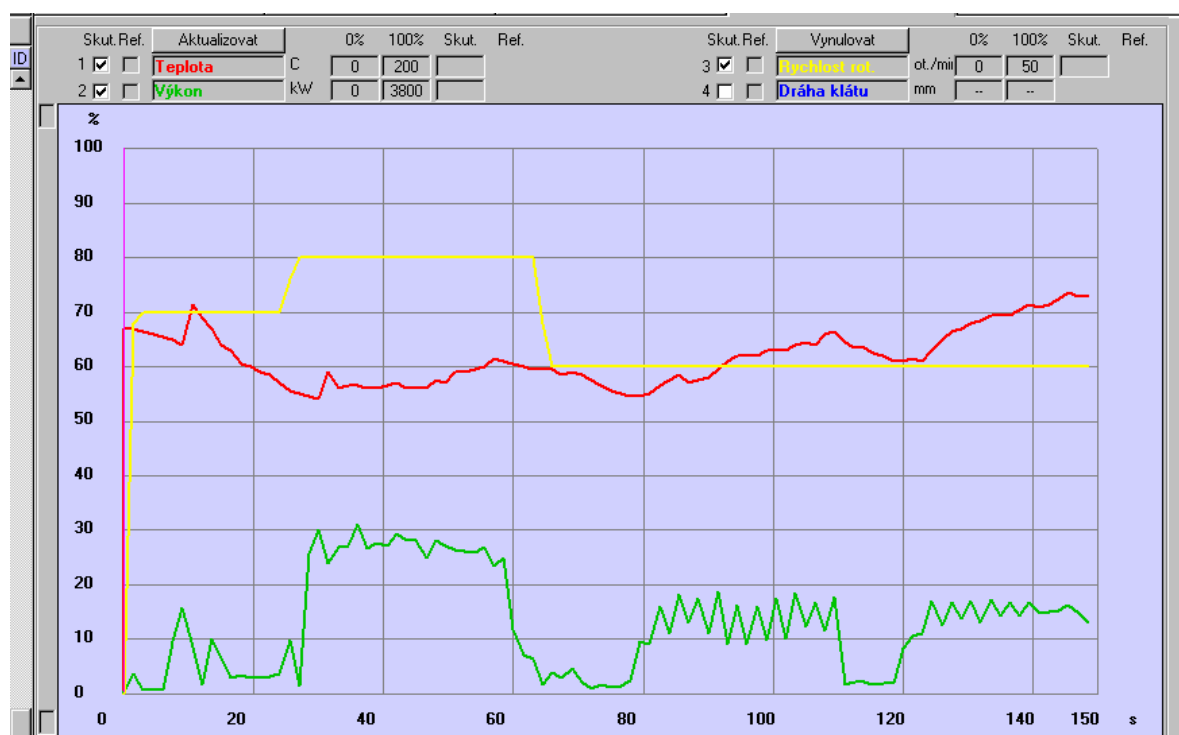
Skut. Ref. Aktualizovat 0% 100% Skut. Ref. Skut. Ref. Vynulovat 0% 100% Skut. Ref.

1	☒	☐	Teplota	C	0	200	
2	☒	☐	Výkon	kw	0	3800	

3	☒	☐	Rychlost rot.	ot./min	0	50	
4	☐	☐	Dráha klátu	mm	--	--	

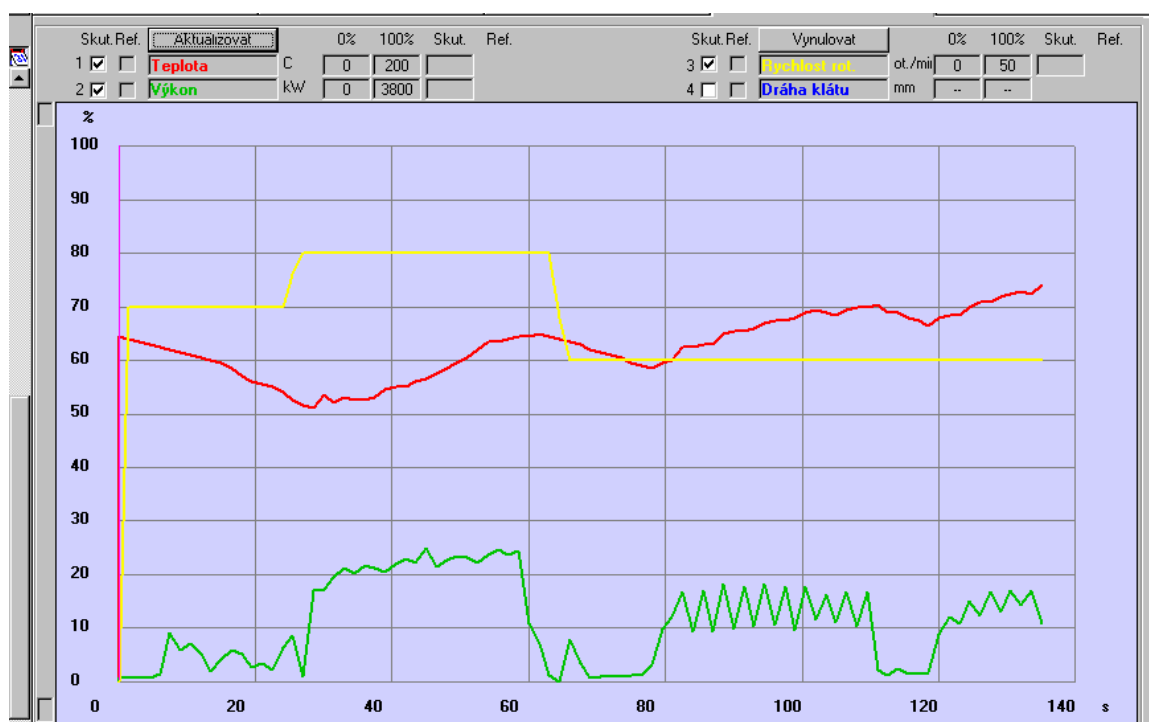
Plastikát B1, přehřev na teplotu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Krok Cís.	Stav			Klát		Rotory		PP 1		PP 2		PP 3		PP 4		PP 5		PP 6	
	ZH	DA	Zásah	Klát Tlak v %		Rotory řyc. 1/min		Cas v s		Energie kWh		Teplota ve $^{\circ}\text{C}$		Obrátky		Krouticí moment		Int.hor uzáve	
				Rec	Skut	Rec	řkut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	řkut	Rec	řkut	Rec	řkut	Rec	řkut
1						35	35	25 (25)	25 (25)		2,8		114		7		34		
2				100	81	40	40	59 (34)	59 (34)		18,8		122		11		220		
3						40	40	63 (4)	63 (4)		20,0		119		1		60		
4						30	30	73 (10)	73 (10)		20,6		114		2		5		
5				100	83	30	30	110 (37)	110 (37)		29,6		133		9		205		
6				100	26	30	30	117 (7)	121 (11)		30,4		124		2		120		
7				100	81	30	30	120 (3)	148 (27)		39,0	148	148		7		187		
8					10	30	30	122 (2)	150 (2)		39,6		145				139		
vyprázdnění (FV)								139 (17)	166 (16)										



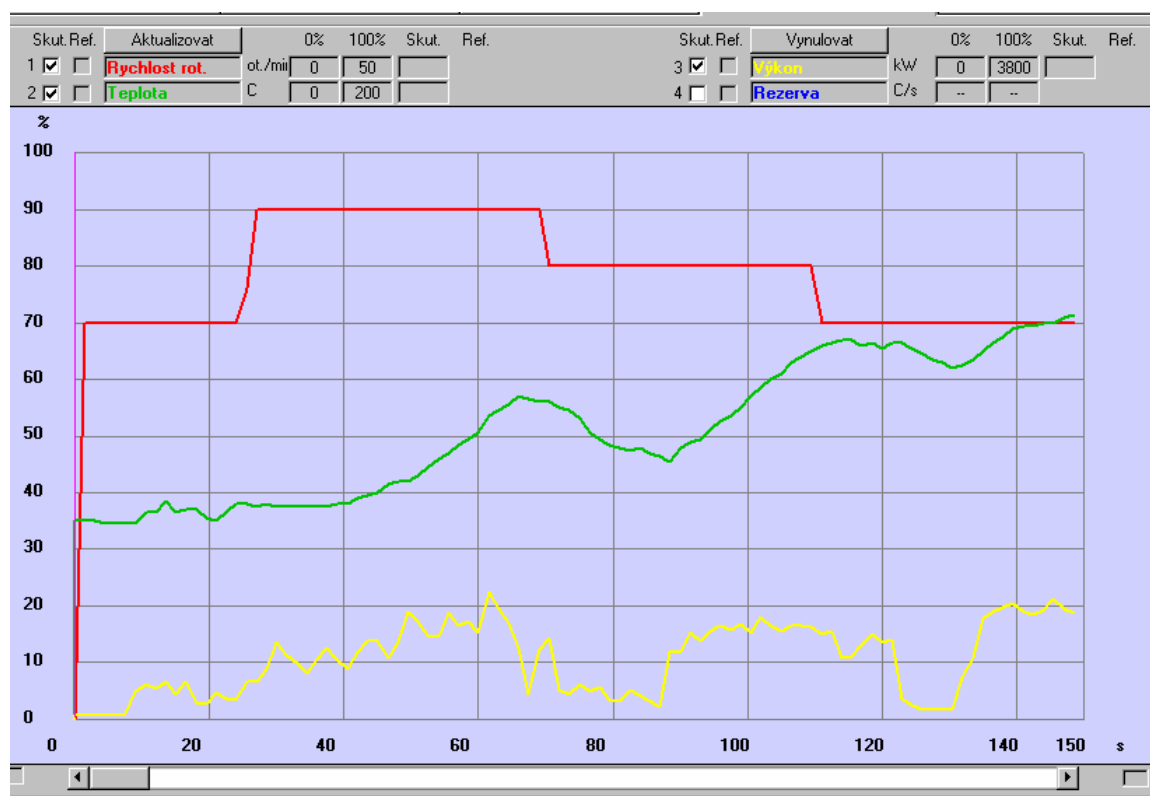
Plastikát B1, přehřev na teplotu $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Krok Čís.	Stav			Klát		Rotory		PP 1		PP 2		PP 3		PP 4		PP 5		PP 6	
	ZH	DA	Zásah	Klát Tlak v %		Rotory řyc. 1/min		Cas v s		Energie kWh		Teplota ve $^{\circ}\text{C}$		Obrátky		Krouticí moment		Int.hor uzáve	
				Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	Skut
1						35	35	25 (25)	25 (25)		2,0		107		7		40		
2				100	85	40	40	59 (34)	59 (34)		15,2		129		11		214		
3						40	40	63 (4)	63 (4)		16,2		129		1		37		
4						30	30	73 (10)	73 (10)		16,6		122		2		15		
5				100	82	30	30	110 (37)	110 (37)		25,4		140		9		193		
6				100	24	30	30	117 (7)	121 (11)		26,2		137		3		98		
7				100	64	30	30	120 (3)	134 (13)		30,0	148	148		3		160		
8					15	30	30	122 (2)	136 (2)		30,4		146				144		
vyprázdnění (FV)								139 (17)	152 (16)										

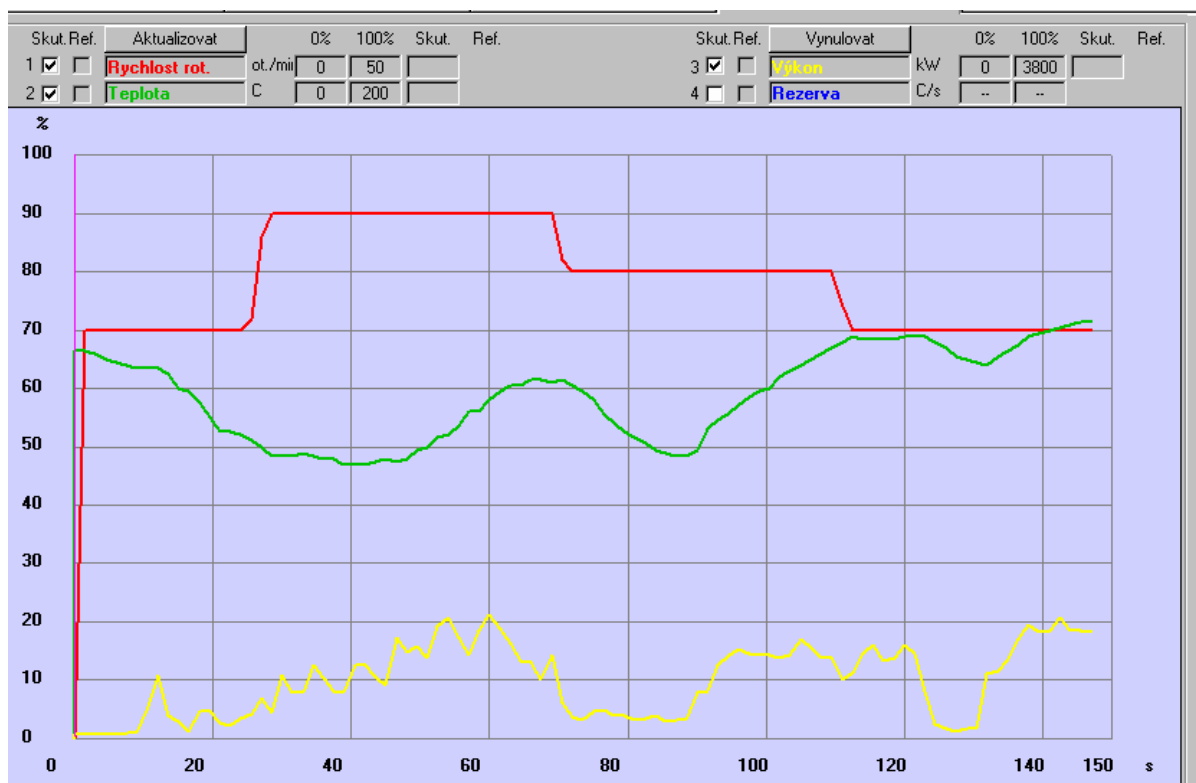


Základová směs B2 předeheřtá na 40°C

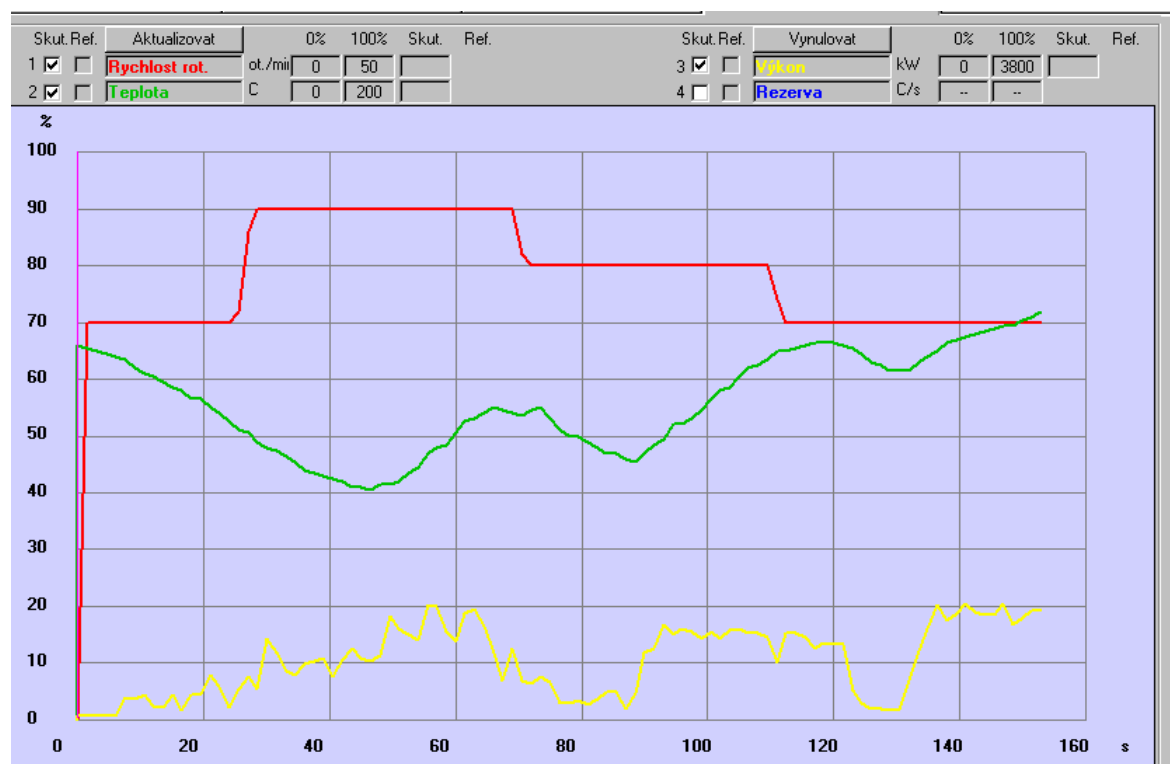
Krok Čís.	Stav			Klát		Rotory		PP 1		PP 2		PP 3		PP 4		PP 5	
	ZH	DA	Zásah	Klát Tlak v %		Rotory řyc.1/min		Cas v s		Energie kWh		Teplota ve °C		Obrátky		Krouticí moment	
				Rec	Skut	Rec	škut	Rec	Skut	Rec	Skut	Rec	škut	Rec	škut	Rec	škut
1						35	35	25 (25)	25 (25)		1,8		76		7		41
2				100	81	45	45	65 (40)	65 (40)		13,0		112		15		128
3						45	45	69 (4)	69 (4)		14,0		112		1		79
4						40	40	85 (16)	85 (16)		15,6		96		5		16
5				100	88	40	40	110 (25)	110 (25)		23,0		130		8		141
6				100	82	35	35	120 (10)	122 (12)		26,6		133		3		149
7				100	38	35	35	130 (10)	132 (10)		27,2		124		3		102
8				100	92	35	35	132 (2)	148 (16)		33,2	143	143		4		185
9					1	35	35	134 (2)	150 (2)		34,0		143				172
	vyprázdení (FV)							151 (17)	166 (16)								



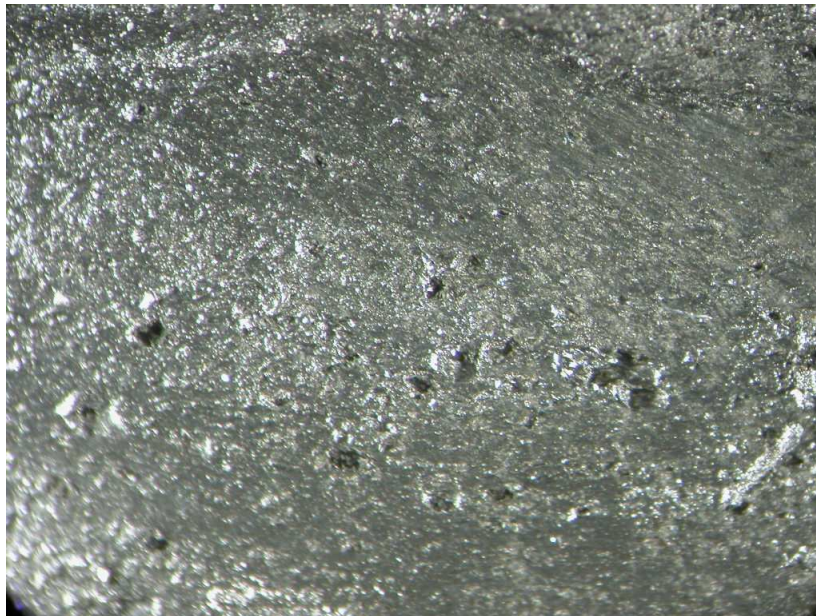
Základová směs B2, předehřev na teplotu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

[illegible]

Základová směs B2, předehřev na teplotu $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

[illegible]

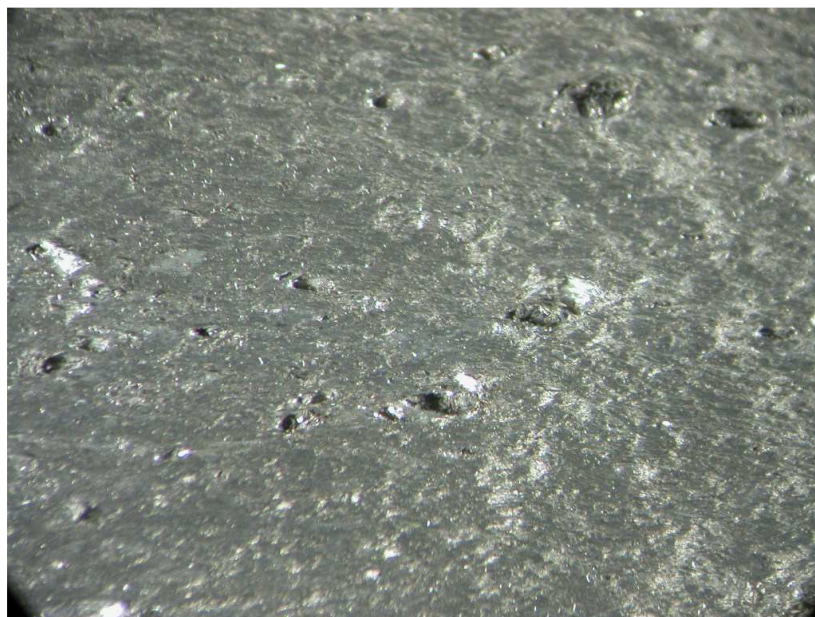
Fotografie disperze kaučuků a kaučukových směsí



Obr.1 Plastikát směsi B (B1) předeheřtá na teplotu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$



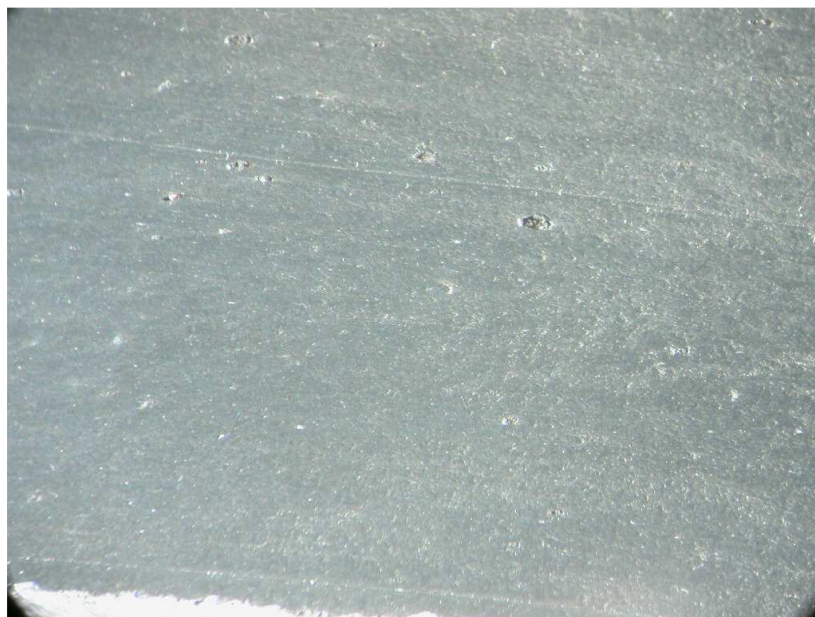
Obr.2 Plastikát směsi B(B1) předeheřtý na teplotu $T = 40^{\circ}\text{C}$



Obr.3 Plastikát směsi B (B1) přehřátý na teplotu $T = 60^{\circ}\text{C}$



Obr.4 Základ směsi B (B2)– přehřev plastikátu směsi B-460 (1-B460) na teplotu $T = 20^{\circ}\text{C}$ s následným přehřevem základu směsi B 460 (2-B460) na teplotu $T = 40^{\circ}\text{C}$



Obr.5 Základ směsi B (B2) – předeřev plastikátu B1 na teplotu $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ s následným předeřevem základová směs B2 na teplotu $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr.6 Základ směsi B – předeřev plastikátu B1 na teplotu $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ s následným předeřevem základové směsi B2 na teplotu $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Příloha P 11

Výpočet měrné tepelné kapacity

kaučuk	čas ohřevu	teplota T1	teplota T2	delta t	práce MV	hmotnost	účinnost	jenotková práce = měrné teplo
	s	°C	°C	°C	W.s	kg		kJ/ (kg * °C)
BIIR	600	21	69,14	48,14	3000000,00	21,20	0,7144	2,9394
SIR20 SED	600	21	72,71	51,71	3000000,00	23,20	0,8397	2,5008
SBR1712	300	19	43,38	24,38	1500000,00	23,80	0,8123	2,5851
SMR10	600	21	62,52	41,52	3000000,00	25,00	0,7267	2,8899
SMR20	600	21	67,79	46,79	3000000,00	25,20	0,8254	2,5443
								2,6919

měrné teplo
teoreticky

2,1 kJ/kg/°C

kaučuk	účinnost	jenotková práce = měrné teplo
	-	kJ/ (kg * °C)
BIIR	0,7144	2,9394
SIR20 SED	0,8397	2,5008
SBR1712	0,8123	2,5851
SMR10	0,7267	2,8899
SMR20	0,8254	2,5443

