

# Dielektrický předeřev kaučukových směsí

Bc. David Pospěch

---

Diplomová práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Pospěch**  
Osobní číslo: **T14315**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Dielektrický přehřev kaučukových směsí**

Zásady pro vypracování:

1. Studijní část
2. Gumárenské suroviny vhodné k DE
3. Problémy DE ohřevu a vulkanizace kaučukových směsí
4. Požadavky na složení kaučukové směsi vhodné k ohřevu a vulkanizaci DE
5. Shrnutí
6. Praktická část
7. Výběr kaučukových směsí určených k výrobě plášťů pneumatik z pohledu jejich DE ohřevu
8. Posouzení DE vybraných kaučukových směsí experimentem
9. Diskuze provedených experimentů
10. Závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Špaček, J., **Technologie gumárenská a plastikářská, SNTL Praha 1, Listopad 1988 Franta a kol. – Gumárenská technologie I až IV, SNTL Praha 1975 Pospěch, D., Vliv procesních podmínek na DE ohřev kaučuku, požární rizika, BP 2014**

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

Datum zadání diplomové práce: **8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

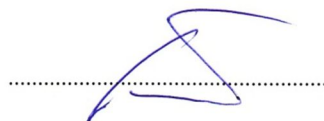
Příjmení a jméno: .....Pospěch David Bc..... Obor: ...N3909...

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....5.5.2016....



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

(1) Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

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



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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je snížení energetické náročnosti přípravy kaučukové směsi před následným zpracováním, nahrazení konvenčních způsobů přehřevu kaučukové směsi za dielektrický přehřev. V první, teoretické části se práce zabývá materiálovou podstatou věci, přibližuje vlastnosti gumárenských materiálů z pohledu aplikace dielektrického ohřevu. Druhá, praktická část je zaměřena na experimentální testy s vybranými kaučukovými směsmi a posuzování jejich dielektrických vlastností.

Klíčová slova: Dielektrický, ohřev, kaučuková směs, gumárenské materiály,

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to reduce the energy intensity of preparing rubber compound before the subsequent processing, replacing conventional methods of preheating rubber compound for the dielectric preheating. In the first, theoretical part of the thesis deals with the essence of material things closer to the properties of rubber materials from the viewpoint application of dielectric heating. The second part is focused on experimental tests with selected rubber mixtures and assessing their dielectric properties.

Keywords: Dielectric, heating, rubber compound, rubber materials

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu mé Diplomové práce p. doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi CSc. za poskytnutí odborných rad a podporu při práci. Dále chci poděkovat vedení DPM Continental Barum s r.o. za vstřícnost a podporu při studiu.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 KAUKUKOVÁ SMĚS.....</b>	<b>12</b>
1.1 GUMÁRENSKÉ MATERIÁLY .....	13
1.1.1 Elastomery .....	13
1.1.2 Plniva .....	15
1.1.3 Změkčovadla .....	17
1.1.4 Aktivátory vulkanizace .....	18
1.1.5 Stabilizátory .....	18
1.1.6 Vulkanizační činidla .....	20
1.1.7 Urychlovače vulkanizace .....	22
1.1.8 Retardéry vulkanizace.....	22
1.1.9 Další pomocné přísady.....	23
<b>2 GUMÁRENSKÉ SUROVINY VHODNÉ K DIELEKTRICKÉMU OHŘEVU .....</b>	<b>24</b>
2.1 ELASTOMERY .....	24
2.2 PLNIVA .....	25
2.3 ZMĚKČOVADLA.....	26
2.4 VULKANIZAČNÍ SYSTÉM .....	26
2.5 OCHRANNÝ SYSTÉM .....	26
2.6 OSTATNÍ ZPRACOVATELSKÉ PŘÍSADY .....	27
<b>3 PROBLÉMY DIELEKTRIKÉHO OHŘEVU KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ.....</b>	<b>28</b>
3.1 ROZDĚLENÍ NEŽÁDOUCÍCH JEVŮ PŘI DĚ OHŘEVU .....	28
3.1.1 Teplotní jevy .....	28
3.1.2 Neteplovní jevy .....	30
3.1.3 Vlhkost gumárenských materiálů .....	30
<b>4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>31</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>32</b>
<b>5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE .....</b>	<b>33</b>
<b>6 VÝBĚR KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ.....</b>	<b>34</b>
6.1 MATERIÁLOVÁ SKLADBA VYBRANÝCH KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ .....	34
<b>7 PŘÍPRAVA VZORKŮ KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ .....</b>	<b>37</b>
7.1 POUŽITÉ TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ PRO PŘÍPRAVU VZORKŮ .....	37
7.1.1 Laboratorní dvouválec .....	37
7.1.2 Hydraulický lis .....	38
7.1.3 Ostatní vybavení.....	39

7.2	ODBĚR VZORKŮ .....	39
7.3	PŘÍPRAVA POLOTOVARŮ.....	39
7.4	LISOVÁNÍ SMĚSÍ .....	40
<b>8</b>	<b>MĚŘENÍ DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ.....</b>	<b>42</b>
8.1	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ.....	43
8.2	POSTUP MĚŘENÍ.....	43
8.3	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....	44
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI.....</b>	<b>45</b>
9.1	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ.....	45
9.2	POSTUP MĚŘENÍ.....	46
9.3	VÝPOČTY TEPELNÉ A TEPLOTNÍ VODIVOSTI .....	46
<b>10</b>	<b>ZKOUŠKY DIELEKTRICKÉHO PŘEDEHŘEVU .....</b>	<b>53</b>
10.1	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ.....	53
10.2	MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	54
10.3	PRŮBĚH EXPERIMENTU .....	57
10.3.1	Kaučuková směs č. 1 .....	59
10.3.2	Kaučuková směs č. 2 .....	62
10.3.3	Kaučuková směs č. 3 .....	66
10.3.4	Kaučuková směs č. 4 .....	69
10.3.5	Kaučuková směs č. 5 .....	72
10.3.6	Kaučuková směs č. 6 .....	75
10.3.7	Kaučuková směs č. 7 .....	78
10.4	SOUHRNNÉ VÝSLEDKY.....	81
<b>11</b>	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ.....</b>	<b>83</b>
<b>12</b>	<b>EKONOMICKÁ ROZVAHA.....</b>	<b>86</b>
12.1	VÝPOČET MNOŽSTVÍ DODANÉHO TEPLA PŘI EXPERIMENTU.....	88
12.2	VÝPOČET DODANÉHO TEPLA DO STÁVAJÍCÍ KONVENČNÍ SOUSTAVY.....	89
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>97</b>

## ÚVOD

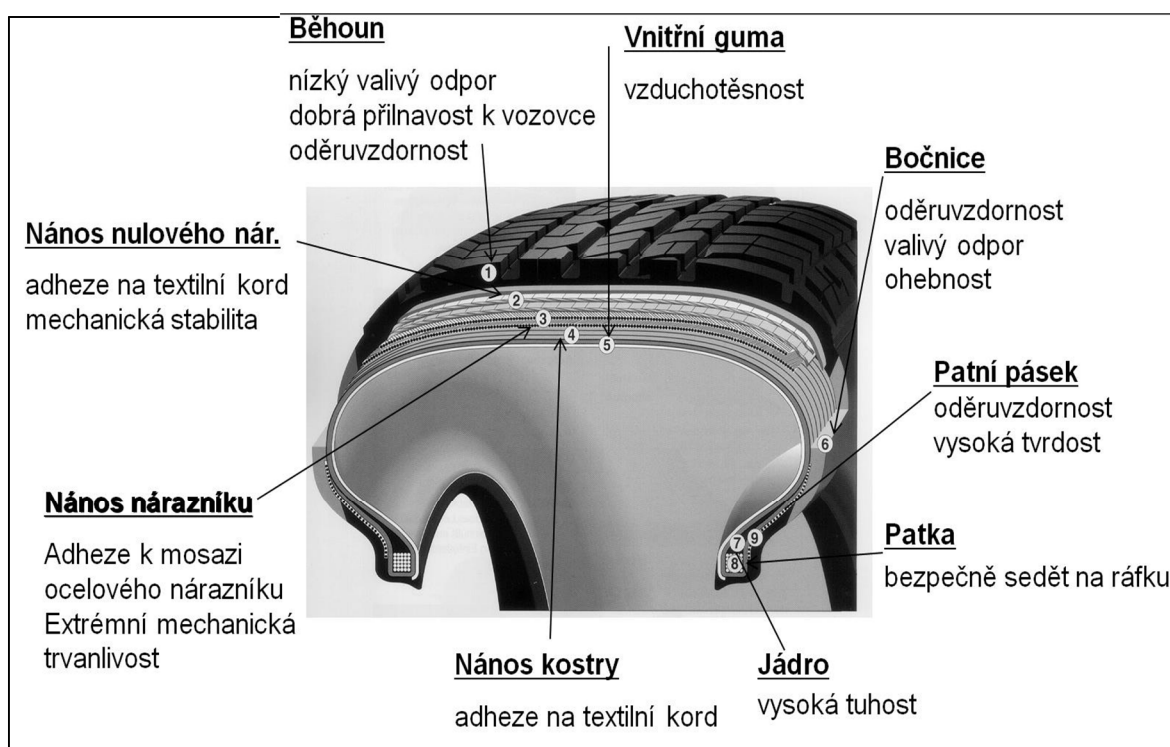
Zpracovávání kaučukových směsí v gumárenském průmyslu je energeticky velmi náročné. Je třeba si uvědomit, že pro převedení materiálu do plastického stavu, ve kterém je možné další zpracování, je třeba vynaložit obrovské množství energie. Provozy, které se zabývají zpracováváním kaučukových směsí, využívají pro jejich přípravu ve většině případů mechanickou energii, dodávanou zejména válcovými, nebo vytlačovacími stroji. Potřebná tepelná energie, která zde vzniká prostřednictvím značného tření materiálu o stěny zpracovatelských strojů, je vykoupena vysokou spotřebou elektrické energie. Samotná účinnost se u daných strojů podstatně snižuje a je zcela na místě pečlivé zvážení ekonomických aspektů. Tyto stroje nejsou příliš vhodné pro malovýrobu s častými, či dokonce cyklickými odstávkami výroby. Opětovné zprovoznění a nastavení optimálních provozních podmínek je ekonomicky velmi náročné a cena konečného produktu se tak podstatně zvyšuje, což vede v celkovém pohledu ke ztrátě konkurenceschopnosti. Tento problém si zpracovatelé velmi dobře uvědomují, a proto je stále více patrná snaha o zavádění nových technologií, které by zajistily hospodárnější využití energetických zdrojů. Jedním z řešení je využití dielektrického způsobu ohřevu připravovaných materiálů. V současné době se tato technologie využívá v mnoha zpracovatelských oborech a odvětvích. Účinnost dielektrických zařízení je nesporně vyšší, jak u konvenčních způsobů ohřevu zpracovávaných materiálů a principiálně výhodnější. Ohřívání materiálů absorbuje energii v celém objemu a tím se podstatným způsobem snižuje potřebný technologický čas celé výrobní operace a i ekonomická bilance procesu. Zavedením této technologie do gumárenských provozů, zabývajících se například výrobou pneumatik, by se nám mohly otevřít dveře k novým možnostem při značné úspoře výrobních nákladů. Je však potřebná dokonalá znalost vlastností gumárenských materiálů a stanovení optimálních provozních podmínek. V první části této práce se budeme zabývat gumárenskými materiály a jejich dielektrickými vlastnostmi, budeme hodnotit jejich schopnost absorpce elektromagnetického záření. V části druhé se pak budeme snažit o nastavení optimálních provozních podmínek, v rámci laboratorních testů, kdy budeme hodnotit dosažené vlastnosti ohřívání kaučukových směsí. Celá práce je zakončena shrnutím dosažených výsledků, stanovením potřebných provozních podmínek a také srovnáním ekonomického zatížení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



## 1 KAUČUKOVÁ SMĚS

Kaučuková směs je ve své podstatě disperze zastoupených komponentů, které svými vlastnostmi ovlivňují charakteristiku dané směsi. Skladba kaučukové směsi je přímo závislá na konkrétních požadavcích výroby. Pro jakýkoliv pryžový výrobek je rozhodující, z hlediska jeho funkčnosti a kvality, právě jeho složení. Mimo speciální směsi, které jsou navrhovány tak, aby odolávaly při využití i v extrémních podmínkách, je běžná kaučuková směs tvořena řadou typizovaných materiálů. Vlastnosti každé směsi jsou dané právě poměrem těchto materiálů a způsobem následné přípravy – homogenizace. Celý proces navrhování a zavádění nových druhů kaučukových směsí je velmi komplikovaný, zejména z toho důvodu, že jakákoliv změna složení se odrazí na konečném výsledku. Pro výrobu kvalitních gumárenských výrobků, které splňují veškeré požadované parametry, je zásadní skladba kaučukových směsí, ze kterých se tyto výrobky zpracovávají. Jednotlivé přísady ovlivňující vlastnosti směsí musí být přesně dávkovány, což zajišťují „navazovací předpisy kaučukových směsí“. Tyto předpisy jsou vydávány po předem provedených testech.



Obr. 1 Požadavky na kaučukové směsi při výrobě osobních pláštíů

## 1.1 Gumárenské materiály

Každá běžná kaučuková směs je tvořena skupinami materiálů - přísad, které mají své charakteristické vlastnosti, kterými ovlivňují finální vlastnosti dané směsi.

Jedná se o tyto skupiny materiálů:

- Elastomery
- Plniva
- Změkčovadla
- Aktivátory vulkanizace
- Stabilizátory
- Vulkanizační činidla
- Urychlovače vulkanizace
- Retardéry

Další pomocné přísady

### 1.1.1 Elastomery

Elastomery jsou zastoupeny ve směsi v podobě přírodního, či syntetického kaučuku.

Přírodní kaučuk (NR-natural rubber) je dovážen nejčastěji z oblasti jihovýchodní Asie, a to především z Thajska, Malajsie, Indonésie. Latex – primární surovina pro výrobu kaučuku, je zde stáčen z Kaučukovníků (*Hevea brasiliensis*) na rozlehlých plantážích. Po vysrážení kyselinou se suší (udí). Značení kaučuku sestává z několika zkratek a číselných hodnot. Například: STR 20 AJ – kde:

STR – označení místa produkce – standard thailand rubber

20 – označení stupně čistoty – kdy výrobce zaručuje, že v daném kaučuku se nevyskytuje více jak 0,20% nečistot.

AJ – typové označení - liší se druhem, obsahem změkčovadel, chemických přísad, atd.



*Obr. 2 Stáčení latexové hmoty*

Přírodní kaučuk je důležitou složkou směsí pro výrobu gumárenských výrobků právě pro své jedinečné vlastnosti, a to zejména pevnost, odolnost vůči nízkým teplotám, pevnost při vyšších teplotách, dynamické vlastnosti, strukturní pevnost, lepivost, elasticita a jiné.

Syntetické kaučuky jsou vyvíjeny z několika důvodů. Za prvé, jako náhrada za přírodní kaučuk (do dnešní doby není objeven syntetický kaučuk, který by mohl zcela nahradit NR). Přírodní zdroje jsou závislé na obnově plantáží (životnost kaučukovníku se pohybuje okolo cca 15 let). Kaučukovníky jsou velmi náchylné na změny teplot. Druhým důvodem je snaha o získání lepších fyzikálně-mechanických vlastností v požadovaném směru použití. Stále se vyvíjí nové druhy syntetických kaučuků s přesně definovanými vlastnostmi.

[1]

Mezi nejpoužívanější syntetické kaučuky patří:

BR – butadienový

CR – chloroprénový

BIIR- brombutylový

IIR – butylový

IR – izoprénový

NBR – akrylonitril-butadienový

SBR – buadienstirenový

EPDM – Etylen-propylen-dien

Mimo tyto standardní syntetické kaučuky se používají i mnohé další, které mají některé speciální vlastnosti.

### 1.1.2 Plniva

U většiny gumárenských směsí cca 30 hmot. % tvoří plniva. Plniva výrazným způsobem ovlivňují jak zpracovatelnost kaučukových směsí, tak i cenu a aplikační vlastnosti výrobků. Plniva jsou částicové materiály, které se do kaučukových směsí přidávají z těchto důvodů:

- Úpravy zpracovatelských vlastností směsí, hlavně snížení elasticity
- Snížení ceny, protože cena za kilogram plniva je obvykle menší než cena za kilogram kaučuku.
- Úpravy fyzikálních vlastností vulkanizátů jako je tvrdost, pevnost, tažnost, oděr, tlumení vibrací, elektrický odpor, barva, adheze, odolnost proti stárnutí, propustnost pro plyny a páry aj.

[1]

Podle účinků na vlastnosti kaučukové směsi se plniva nejčastěji dělí na:

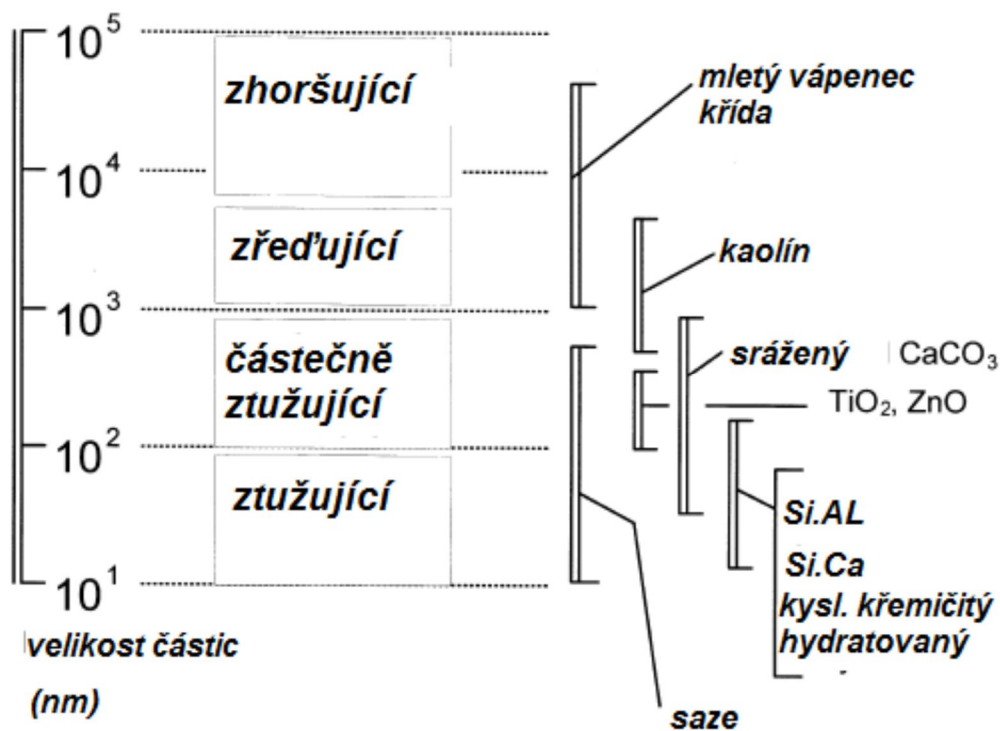
- Ztužující plniva – která obvykle zvyšují pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti oděru (například jemné saze a srážená silika, velikost částic cca 0,01 – 0,1  $\mu\text{m}$ ).
- Polo ztužující plniva, která obvykle zvyšují pevnost v tahu, strukturní pevnost, ale nezvyšují odolnost proti oděru (například hrubé saze, tvrdý kaolin a srážený  $\text{CaCO}_3$  – velikost částic 0,1 - 1  $\mu\text{m}$ ).
- Neztužující plniva, která vlastnosti vulkanizátů nezlepšují (například měkký kaolin,  $\text{CaCO}_3$ , mastek – velikost částic ca 1-10  $\mu\text{m}$ ).

[1]



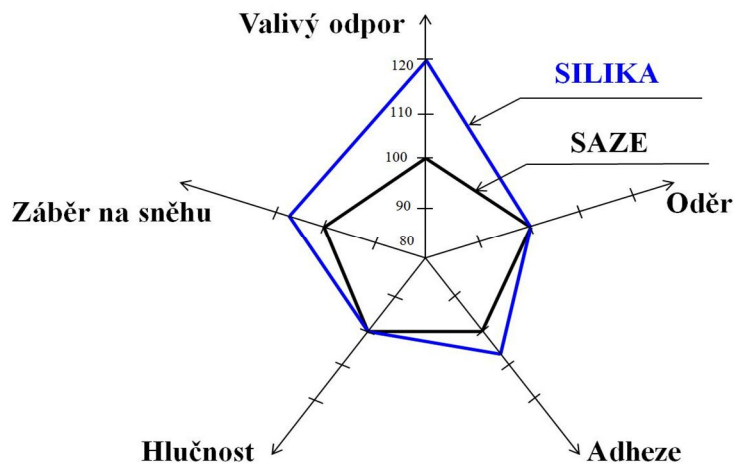
Obr. 3 Základní aktivní plnivo kaučukových směsí-saze

Částice plniva větší než 10  $\mu\text{m}$  by v kaučukové směsi být neměly, protože velké částice působí ve vulkanizátu jako koncentrátoři napětí a fungují jako místa iniciace vzniku trhlin. Přítomnost velkých částic, nebo nerozpracovaných aglomerátů plniva proto snižuje pevnost vulkanizátů. Kritický je z tohoto hlediska podíl částic nad 10  $\mu\text{m}$ .



Obr. 4 Velikost částic plniv a jejich vliv na kaučukovou směs

Rozsah ztužení závisí nejen na velikosti částic plniva, ale i na jeho struktuře a aktivitě jeho povrchu. Všechny tyto charakteristiky ovlivňují interakci (vzájemné působení) mezi kaučukem a povrchem plniva.



Obr. 5 Vlastnosti aktivních plniv v osobních pláštích

### 1.1.3 Změkčovadla

Hlavní úlohou změkčovadel je snižování mezimolekulárních sil mezi řetězci kaučuku, zvýšení plasticity a usnadnění deformace. Určité množství těchto látek je dodáváno do kaučuku již při jeho výrobě, tam tvoří hlavně ochranný systém. Další část změkčovadel se přidává ve formě olejů, vosků a pryskyřic při míchání kaučukové směsi. Při nízkých koncentracích urychlují změkčovadla dispergaci plniv, při vyšším dávkování snižují viskozitu a elasticitu nevulkanizované směsi a tím také snižují spotřebu energie v průběhu dalšího zpracování. Některá změkčovadla, především pryskyřice, také zvyšují konfekční lepivost.

[2]

Používaná změkčovadla:

Minerální oleje (obtížně mísitelné s polárními kaučuky)

Aromatické

Parafinické

Naftenické

- Parafíny – Cereziny – jedná se o lineární a rozvětvené (případně cyklické) uhlovodíky, za pokojové teploty v pevném stavu. Zlepšují povrch, snižují konfekční lepivost. Usnadňují další zpracování směsi – např. vytlačování. Rozvětvené parafíny současně pů-

sobí i jako ochranný prostředek proti stárnutí ve vulkanizátech. (uvolňují se na povrch výrobku a zabraňují tak reakcím s kyslíkem a ozónem.

- Syntetické oleje – Nižší spotřeba (díky vysoké ceně), převážně pro polární kaučuky jako je Nitril kaučuk, chloroprenový a akrylátový kaučuk aj. Polární kaučuky syntetická změkčovadla většinou výrazně změkčují a zároveň zlepšují jejich mrazuvzdornost.

- Esterová změkčovadla
- Etherová změkčovadla
- Chlorované uhlovodíky
- Polymerní změkčovadla

[2]

#### 1.1.4 Aktivátory vulkanizace

Aktivátory vulkanizace jsou anorganické, nebo organické chemikálie, které zvyšují účinnost síťování, tzn.: za stejných podmínek vulkanizace, zvyšují koncentraci příčných vazeb mezi molekulami kaučuku ve vulkanizátu. Mezi nejběžnější aktivátory patří ZnO.

Do sirných vulkanizačních systémů se používá především kombinace ZnO a stearinu. Reakcí těchto látek vzniká stearan zinečnatý, který zásadním způsobem urychluje a zefektivňuje proces sirné vulkanizace. Pro jiné způsoby vulkanizace se používají Maleinimidy, allylové sloučeniny, metakryláty, kapalné polybutadieny – pro peroxidové, radiační vulkanizační způsoby.

#### 1.1.5 Stabilizátory

Stabilizátory patří do skupiny materiálů, které tvoří ochranný systém kaučukové směsi.

Z obecného hlediska se tyto chemické látky rozdělují do třech podskupin podle jejich vlivu na kaučukovou směs:



- Antidegradanty
- Antioxidanty
- Antiozonanty

Antidegradanty tvoří ochranný systém, který je do kaučukové směsi aplikován pro zpomalení procesu stárnutí. Odolnost vulkanizátů je dána především chemickou strukturou použitého kaučuku. Kaučuky s dvojnou vazbou v základním řetězci jsou náchylnější ke stárnutí (NR, IR, SBR, BR a NBR), než kaučuky s nasyceným hlavním řetězcem (např. EPM, EPDM). Na proces stárnutí mají vliv i vlastnosti sítě. Sirné vulkanizáty s kratšími sirnými můstky, nebo produkty peroxidické vulkanizace mají z pravidla větší odolnost proti stárnutí a zvýšeným teplotám než je tomu u konvenčních sirných vulkanizátů. Podstatný vliv na míru stárnutí má i druh a dávkování plniv do kaučukové směsi. Antidegradanty jsou látky, které mimo svých ochranných vlastností, mění zbarvení směsí. V současné době nejsou známy antidegradanty, které by maximálně chránily vulkanizát proti degradačním procesům a přitom neměnily jeho zbarvení. Obvykle platí, že silně zbarvující antidegradanty jsou účinnější, než antidegradanty nezbarvující. Každý antidegradant má své pole působnosti, při jeho výběru je nutné brát v potaz použitý kaučuk, vulkanizační systém, aplikační podmínky vulkanizátu, barvu a cenu výrobku.

Mezi často používané antidegradanty patří například: IPPD, 6PPD, 7PPD, TMQ a další.

[2]

Antioxidanty jsou látky, které chrání vulkanizát před nežádoucími účinky kyslíku. Jejich funkce spočívá v tom, že sami oxidují na produkty, které jsou relativně stálé a neiniciují další degradační procesy polymeru.

Antiozonanty působí na povrchu vulkanizátu, kde reagují s ozonem. Tento do hloubky materiálu neproniká. Při výběru antiozonantu je nutné vědět, jakému namáhání bude vulkanizát vystaven. Pro statické namáhání se používá, jako ochrana proti ozonu, různých druhů vosků, které během aplikační doby migrují na povrch výrobku ve formě souvislé vrstvy. Při namáhání dynamickém by tato vrstva samotného vosku nevydržela. Proto se u

dynamicky namáhaných vulkanizátů používá směsi vosku s chemickými antiozonanty, jako jsou např. NBC (dibutildithiokarbamat niklu), ETMQ (ethoxytrimethyldihydrochinolin), nebo také PPDs (parafenylendiamin).

[2]

### 1.1.6 Vulkanizační činidla

Vulkanizace se obvykle provádí zahříváním kaučukové směsi s obsahem vulkanizačního činidla po dobu nezbytnou k zasíťování. Jako vulkanizační činidla lze použít např. elementární síru, organické peroxidy, oxidy kovů či organické pryskyřice.

Nejčastěji se využívá sirného vulkanizačního systému a to především z těchto důvodů:

- Poskytuje rozsáhlé možnosti řízení kinetiky vulkanizace
- Poskytuje značnou volnost při sestavě receptur
- Možnost řízení délky vazeb mezi řetězci kaučuku
- Možnost vulkanizace v přítomnosti kyslíku
- Dobré vlastnosti vulkanizátů za dynamického namáhání
- Ekonomické výhody

U nasycených řetězců kaučuku nelze použít sirný vulkanizační systém. V takovém případě se přistupuje k vulkanizaci pomocí peroxidů. Peroxid v tomto případě při vulkanizaci nahrazuje celý sirný vulkanizační systém (síra, ZnO, stearin a urychlovač).

Výhody použití peroxidu při vulkanizaci kaučukových směsí:

- Možnost skladování směsí bez rizika navulkanizování směsí

- Vysoká rychlost vulkanizace za vysokých teplot
- Vulkanizace bez zbarvování a vykvétání (migrace) přísad
- Nízká trvalá deformace vulkanizátů při vyšších teplotách
- Vyšší odolnost proti vysokým teplotám
- Dobré elektro vlastnosti

[1]

Nevýhody vulkanizace peroxidy:

- Omezený výběr přísad, vzhledem k jejich reakci s peroxidy
- Dlouhá doba vulkanizace při nízkých teplotách
- Složitě nastavení parametrů: zpracovatelská bezpečnost/rychlost vulkanizace
- Obvykle značný zápach vulkanizátu
- Nižší hodnoty pevnosti v tahu, odolnosti proti dalšímu trhání, odolnosti proti oděru
- Citlivost na přítomnost kyslíku při vulkanizaci
- Vysoká cena

[1]

Při vulkanizaci CR kaučuků se používá jako vulkanizační činidlo oxidů kovů. Nejčastěji je to kombinace ZnO a MgO, kde ZnO působí jako vulkanizační činidlo a MgO jako zajištění zpracovatelské bezpečnosti. Přídavek síry zvyšuje stupeň vulkanizace.

Při použití oxidů olova je možné dosáhnout dobrých výsledků v odolnosti proti vodě.

Reaktivní pryskyřice se používají pro některé kaučuky s nízkou koncentrací dvojných vazeb (např. pro IIR). Pro tyto účely se využívají fenolformaldehydové, bromfenolové, nebo epoxydové pryskyřice. Vulkanizováním pomocí pryskyřic se získávají výrobky odolné proti vyšším teplotám a vodní páře.

[2]

### 1.1.7 Urychlovače vulkanizace

Urychlovače vulkanizace se používají u sirných vulkanizačních systémů z důvodu urychlení reakce síry. Bez urychlovačů je vulkanizace sírou pomalá a výsledné fyzikální vlastnosti vulkanizátu nejsou vyhovující.

Hlavní výhody použití urychlovačů:

- Značně zvyšují rychlost a účinnost vulkanizace
- Vzájemnou kombinací se sírou a dávkováním lze ovlivnit průběh vulkanizace a konečný výsledek z hlediska vlastností vulkanizátu.
- Lze vulkanizovat za snížené teploty

Z hlediska použití při vulkanizaci kaučukových směsí lze urychlovače rozdělit na:

- Primární – dobrá zpracovatelská bezpečnost, střední rychlost síťování, značný vze-  
stup modulu (Thiazoly, Sulfenamidy)
- Sekundární – nízká zpracovatelská bezpečnost, vysoká rychlost síťování (DPG,  
DOTG)

Užitečné rozdělení urychlovačů je také dle gumárenské technologie, respektive dle rychlosti vulkanizace kaučukové směsi:

- Pomalé – guanidiny
- Rychlé – thiazoly, sulfonamidy
- Velmi rychlé – thiuramsulfidy
- Ultraurychlovače – dithiokarbamáty, xantháty [2]

### 1.1.8 Retardéry vulkanizace

Opakem (významově) urychlovačů jsou Retardéry. Tyto slouží a jsou používány k oddálení síťování z důvodu zajištění zpracovatelské bezpečnosti směsi. Tato bezpečnost je v podstatě časová rezerva, která zaručuje optimální zabíhavost směsi tzn. zatečení do celého prostoru formy před samotnou vulkanizací. V případě absence retardéru vulkanizace by mohlo dojít k začátku síťování před úplným zatečením směsi do prostor formy a tím k ná-

sledné produkci nekvalitního výrobku. Chemické látky zajišťující bezpečnost kaučukové směsi jsou velmi účinné, a proto se dávkuje ve velmi malém množství. Velmi často se používá chemikálie s obchodním označením Duslin.

[1]

### 1.1.9 Další pomocné přísady

Mezi pomocné přísady se řadí materiály, které se přímo nepodílí na plnění základních požadavků gumárenských výrobků, nicméně jsou důležité z hlediska speciálních vlastností, zpracovatelnosti, budoucího vzhledu vulkanizátu, nebo z důvodu jiných specifikací. Svou škálou zatupují tyto materiály početnou skupinu přísad, do které patří například:

- Pigmenty – dodávají výrobkům požadované zbarvení
- Nadouvadla – pro výrobu lehčených pryží
- Faktisy – pro jemnější povrch výrobků
- Antistatika – zajišťují antistatické vlastnosti
- Aromata – pro dodání charakteristické vůně
- Antibakteriální látky – pro zaručení zdravotní nezávadnosti
- A mnoho dalších – dle požadovaných vlastností

## 2 GUMÁRENSKÉ SUROVINY VHODNÉ K DIELEKTRICKÉMU OHŘEVU

Následující kapitola je zaměřena na hodnocení dielektrických vlastností gumárenských surovin v rámci jejich funkčních skupin.

Kaučuková směs je disperzí zastoupených surovin a jako taková je schopna absorpce mikrovlnného záření. Ne všechny použité suroviny však vykazují stejnou vlastnost při samostatném působení. Platí, že pokud vystavíme dielektrikum smíchané s transparentní látkou, nebo s dielektrikem s velmi malou relativní permitivitou elektromagnetickému vlnění, bude se tato směs ohřívat velmi nerovnoměrně, což povede k procesním problémům. Z tohoto důvodu je nutné znát dielektrické vlastnosti použitých materiálů, zajistit maximální homogenitu směsi a splnit další důležité podmínky (správné nastavení procesních podmínek, eliminace vlhkosti atd.).

### 2.1 Elastomery

Elastomery, přírodní a syntetické kaučuky lze, bez větších problémů, předehtřivat pomocí mikrovln. Je však důležité stanovení procesních podmínek a to zejména při ohřevu na vysoké teploty Syntetické kaučuky s polárními skupinami, jako NBR, CR a další, mají vysokou interakci s elektromagnetickým polem. Oproti tomu kaučuky typu EPDM a IIR, které jsou nepolární, nevstupují s vysokofrekvenčními mikrovlnami do interakce a nemohou být tedy tímto způsobem ohřívány. Nízký příjem dielektrické energie směsí se slabě polárními, popřípadě nepolárními kaučuky může být přídavkem polárních látek zvýšen. [5]

Pro předehtřev PK platí, že čím čistější je ohřívána surovina (s co nejmenším obsahem přírodních nečistot), tím kvalitnější je vliv dielektrické energie. Na DE ohřev má značný vliv i obsah dodávaných přísad a změkčovadel. Tyto látky mají daleko větší dielektrickou konstantu – relativní permitivitu, což znamená také daleko větší schopnost absorpce mikrovlnného záření. Tyto látky se přidávají více, či méně i do syntetických kaučuků podle míry požadovaných vlastností. Relativní permitivita elastomerů se v průměru pohybuje od 2,3 do 3,6. Jen pro srovnání, relativní permitivita vody je cca 81,2.

Obecně by se dalo konstatovat, že přírodní a syntetický kaučuk není ideálním dielektrikem, ale jeho přehřev pomocí mikrovln je možný.

Ztrátový faktor u vybraných druhů kaučuku:

CR	$1363,0 \times 10^{-4}$
NBR	$441,5 \times 10^{-4}$
NR	$64,5 \times 10^{-4}$
SBR	$107,0 \times 10^{-4}$
BR	$53,8 \times 10^{-4}$
IR	$21,0 \times 10^{-4}$

[7]

## 2.2 Plniva

Plniva, zejména saze zvyšují u kaučukové směsi schopnost absorpce dielektrické energie. Je však nezbytné zajistit co možná nejlepší možnou homogenitu ve směsi. Interakce plniv s mikrovlnami závisí v každém případě na jejich polaritě. Při vzniku aglomerátů je vysoké riziko vzniku horkých míst – hot spot, to znamená, že se kaučuková směs bude ohřívat velmi nerovnoměrně a tím může dojít k místnímu navulkanizování ve směsi. U bílých plniv, jako jsou například Talek (Mastek), je situace obdobná. Relativní permitivita se u plniv v průměru pohybuje okolo 4,1 – 6,4. Jejich schopnost absorpce mikrovlnného záření je v porovnání s kaučuky přibližně dvojnásobná. Znamená to, že plniva se ohřívají také daleko rychleji, což může způsobovat výše zmíněné problémy. Bílá plniva mohou navíc obsahovat krystalickou vodu, která je tak pevně vázaná, že se při evakuační teplotě neodštěpí. Může se však snadno odštěpit při ohřevu ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli. V těchto případech může docházet k nehomogennímu rozptření teplotního obrazu – vzniku horkých zón.

[5]



### 2.3 Změkčovadla

Oleje a vosky, které se do kaučukové směsi přidávají za účelem oddálení molekulárních řetězců kaučuku a tím změkčení jeho konzistence, mají také vyšší relativní permitivitu. Lze je však, díky jejich snadné rozpustnosti a mísitelnosti, velmi dobře homogenizovat v kaučukové směsi. Toto je z hlediska dielektrického ohřevu zásadní výhoda. Změkčovadla navíc přispívají k homogenitě celého systému kaučukové směsi. Hodnota relativní permitivity je vyšší u olejů – cca 2,3 – 4,6, než u vosků, kde se tato hodnota pohybuje v rozmezí od 2 do 3,3.

### 2.4 Vulkanizační systém

Nejběžnější vulkanizační systém je tvořen převážně sírou a jejími sloučeninami. Síra sama o sobě má také lepší dielektrické vlastnosti, než elastomery. Do kaučukové směsi se tato látka dávkuje (podle požadovaných vlastností) v množství cca 0,5 – 50 DSK. Pro běžné kaučukové směsi se používá obsah do 5 DSK. Vyšší plnění kaučukových směsí sírou se používá při požadavku na vyšší tvrdost směsi. Relativní permitivita se u sirných vulkanizačních systémů pohybuje, v závislosti na dalších přísadách, okolo 3,4 – 3,6. Mezi komponenty sirného vulkanizačního systému také patří ZnO a kyselina stearová v pozici aktivátorů vulkanizace. Jejich dielektrické vlastnosti jsou obdobné jako u síry. Jiná je však situace u peroxidových vulkanizačních systémů. Peroxidy mají velmi dobré dielektrické vlastnosti, avšak při běžné gumárenské výrobě se používají jen zřídka a to zejména při výrobě speciálních směsí.

### 2.5 Ochranný systém

Do této skupiny používaných surovin patří antidegradanty, antiozonanty a antioxidanty. Jejich zastoupení v kaučukové směsi je velmi důležité pro uchování požadovaných vlastností a pro ochranu finálního produktu před vnějšími vlivy. Účinné látky, chemické sloučeniny, jsou v kaučukové směsi zastoupeny ve velmi malém množství a proto je nutné je smíchat společně s tak zvaným nosičem. Takovým nosičem je zpravidla druh plniva, které nemá zásadní vliv na vlastnosti žádané směsi. Z pohledu dielektrických vlastností se tyto látky chovají obdobně jako plniva.

## **2.6 Ostatní zpracovatelské přísady**

Mezi tyto materiály patří například nadouvadla, pigmenty, faktisy a mnohé další. Jelikož se tato práce zabývá předehřevem kaučukových směsí pro následné zpracování při výrobě pneumatik, nebude se v ní s tímto druhem vstupních surovin počítat.

### 3 PROBLÉMY DIELEKTRIKÉHO OHŘEVU KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Mikrovlnný ohřev je založen na působení elektromagnetického pole na póly molekul ohřívajícího materiálu. Je to proces, při kterém se elektrická energie přeměňuje energii tepelnou. Výhodou mikrovlnné technologie, na rozdíl od konvenčních druhů ohřevu, je působení v celém objemu ohřívajícího materiálu.

Kromě těchto pozitivních vlastností, sebou DE ohřev přináší i několik negativ - nežádoucích jevů, které při aplikaci mohou nastat. Všeobecnou snahou je těmto jevům předcházet a eliminovat tak vznik potencionálních škod. Tyto škody mohou být jak na zpracovatelském zařízení, tak na zpracovávaném materiálu. Nezřídka může dojít i k ohrožení zdraví a životů obslužných pracovníků. Z těchto důvodů je nezbytné, při využívání technologie mikrovlnného záření, odhalovat a analyzovat veškeré nežádoucí jevy, které při provozu nastávají.

[3]

#### 3.1 Rozdělení nežádoucích jevů při DE ohřevu

Mikrovlnný ohřev má některé vlastnosti, které se u klasického ohřevu nevyskytují. Projevují se jako mikrovlnné efekty, což jsou takové efekty, které nelze dosáhnout klasickým ohřevem. Existují tři druhy mikrovlnných jevů:

- teplotní
- neteplotní
- vliv vlhkosti materiálů

##### 3.1.1 Teplotní jevy

Teplotní efekty jsou vyvolány přeměnou mikrovlnné energie na teplo.

Rozeznáváme následující druhy teplotních efektů:

- přehřátí
- horké a studené zóny (tzv. hot spots)

- objemový ohřev
- selektivní ohřev
- teplotní úlet
- simultánní chlazení (při mikrovlnném ohřevu)
- ostatní efekty (i zábavného charakteru, např. jiskření tužky, vypalování CD, rozsvícení výbojky a další)

Přehřátí - může být celkové, či lokální. Například polární rozpouštědla (aceton, propanol) vřou za atmosférického tlaku až o 30 až 50 °C nad bodem varu neboť dodaná mikrovlnná energie je mnohem vyšší, než odebraná energie reprezentovaná výparným teplem. Nejčastěji k přehřátí dochází v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole. Mikrovlnné pole rozptýlené v prostoru trouby není nikdy zcela homogenní, tj. existují místa s vyšší a nižší intenzitou, tzv. "hot spots", která mohou způsobit až místní přepálení zejména tuhých materiálů. V kuchyňských mikrovlnných troubách se tento jev potlačuje rotačním talířem, u průmyslových zařízení běžícím pásem, nebo oscilačními pohyby dopravníku materiálu.

Objemový ohřev - k ohřevu materiálu dochází v celém objemu, tj. zevnitř k povrchu a nikoliv přestupem tepla od povrchu dovnitř, jak je tomu u klasického ohřevu. To může přispívat k rovnoměrnosti ohřevu, záleží však na tvaru, velikosti a složení materiálu. Teplotní profil je opačný než u ohřevu klasického. Nejvyšší teplota je uvnitř a klesá směrem k povrchu. Vzhledem k objemovému ohřevu je mikrovlnný ohřev několika násobně rychlejší než ohřev klasický a nezávisí na tepelné vodivosti materiálu. To znamená, že materiály s nízkou tepelnou vodivostí lze velmi rychle ohřát v celém objemu, což klasickým ohřevem není možné.

Selektivní ohřev – k ohřevu u vícesložkového materiálu dochází jen u složky, která absorbuje mikrovlny. Neabsorbující složka se neohřívá nebo jen vedením od ohřáté složky (např. směsi voda-tuk, voda-olej, voda-chlorid uhličitý atp.). V těchto případech se ohřívá jen voda. To má dalekosáhlý význam pro provádění chemických reakcí a v dalších procesech (sušení, katalýza).

Teplotní úlet – dochází k němu jen ve výjimečných případech, kdy schopnost absorpce mikrovln prudce stoupá s teplotou (např. u práškových kovů, či oxidů). U vody tento případ nehrozí, neboť absorpce mikrovln vodou s teplotou naopak klesá. Může však dojít k přehřátí vody nad 100 °C. [3]

### 3.1.2 Neteplovní jevy

Neteplovní efekty jsou efekty vyvolané přímým účinkem mikrovlnné energie na chemickou vazbu, tj. které se nedají vysvětlit žádným z výše uvedených teplotních efektů. Jejich existence však nebyla dosud vědecky plně prokázána. [3]

### 3.1.3 Vlhkost gumárenských materiálů

Jak je uvedeno v kapitole č. 2, vodu lze ohřát za použití mikrovlnné energie velmi snadno. To znamená, že pokud je voda, a to i v podobě vlhkosti, obsažena v přehřívávané kaučukové směsi, může to mít za následek vznik lokálních horkých zón, s možností rizika navulkanizování směsi při tomto procesu přípravy. Je nutné zavést opatření k zamezení kontaktu kaučukových směsí s vlhkostí, případně zajistit jejich maximální vysušení a to před samotným mikrovlnným ohřevem.

Z tohoto hlediska je důležité zajistit minimální vlhkost i u vstupních surovin při výrobě kaučukových směsí. Většina těchto surovin je hydrofilní, absorbují do sebe i vlhkost z okolí – vzdušnou relativní vlhkost. Ta se dynamicky mění s ohledem na aktuální klimatické podmínky. Největší problémy s navlhavostí mají práškové přísady. Zde pak záleží na správném způsobu balení a skladování takových surovin. Navlhlý materiál sebou přináší řadu zpracovatelských problémů, jako jsou například separace vrstev, pórovitost, nebo horší zpracovatelské vlastnosti. Z těchto důvodů často dochází ke snížení životnosti gumárenských produktů. [4]

## 4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Kaučuková směs je komplexem mnoha použitých surovin, kde každá má své nezastupitelné místo. Svým vzájemným poměrem určují následné vlastnosti směsi, které jsou zásadní pro jejich další zpracování a použití. Skladba kaučukové směsi a vlastnosti použitých komponentů bude důležitým aspektem při výběru konkrétních druhů směsí pro laboratorní testy, při kterých budeme zjišťovat jejich dielektrický potenciál. Ne na všechny druhy kaučukových směsí je možná aplikace mikrovlnného záření. Je to dáno právě jejich skladbou. Optimální dielektrický předehřev kaučukových směsí před následným zpracováním je možný pouze za předpokladu dodržení zásadních provozních podmínek. Do této skupiny patří zejména vysoká homogenita směsí a minimální procento vlhkosti. Rozdílné elektrické vlastnosti použitých surovin hrají také důležitou roli v této oblasti.

Cílem teoretické části bylo objasnění základních požadavků na vlastnosti materiálů kaučukových směsí a upozornění na aspekty, které mohou určitým způsobem ovlivnit požadovaný výsledek.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Výsledkem praktické části této Diplomové práce bude zjištění dielektrických vlastností u vybraných kaučukových směsí, zejména relativní permitivita, která bude velmi důležitá pro následné stanovení procesních podmínek při jejich ohřevu před dalším zpracováním. Výsledky provedených experimentů a měření budou ověřeny výpočtovou dokumentací. Důležitou částí bude výběr kaučukových směsí, vzhledem k jejich materiálnímu a chemickému složení. Práce bude podložena ekonomickou studií, ve které bude definovaný rozdíl energetické náročnosti při konvenčních postupech a navrhovaným řešením předehřevu kaučukové směsi pomocí dielektrického zařízení.

## 6 VÝBĚR KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Pro účely Diplomové práce byla vybrána skupina kaučukových směsí, které se běžně zpracovávají shodnou technologií – Nánosování textilního kordu. Z této skupiny se na základě podobného materiálového složení dále vyseletovala pětice kaučukových směsí, které byly považovány za reprezentanty dané kategorie směsí. Další dvojice směsí byla zvolena z odlišné technologie zpracování a konečného použití. Jedná se o směsi pro výrobu vnitřní gumy. Tyto směsi se připravují z butylového kaučuku, který je nepolární, na rozdíl od kaučuku přírodního. Chování takových směsí, při zatížení DE ohřevem, by mělo vykazovat jisté odlišnosti.

### 6.1 Materiálová skladba vybraných kaučukových směsí

Směsi, použité pro tuto experimentální část, byly označeny číslicemi 1 - 7. Pro jejich výrobu byly použity suroviny uvedené v Tab. 1 a 2

Tab. 1 Komponenty pro výrobu kaučukových směsí č. 1,2,3,5,7

<b>Materiály pro výrobu kaučukových směsí: č. 1,2,3,5,7</b>	
<b>Kategorie materiálů</b>	<b>Obchodní název</b>
<b>Přírodní kaučuky</b>	NOKO 10
	PAKRUB 10
	SMR 10 CV/BT
	SIR 20 SBF
	SIR 20 SCX
<b>Syntetické kaučuky</b>	BUNA CB 10
	BUNA CB 25
	KER 1500
	KRALEX 1783
	SBR KRALEX 1723
	SKD - EF
<b>Aktivní plniva</b>	SKI - 3
	NEOTEX N 326
	STATEX N 660

	ULTRASIL VN 3 GRANULAT
<b>Bílá plniva</b>	TRITON 40
<b>Změkčovadla</b>	FLAVEX 595
	TERHELL PARAFIN 5998
	VARAZON 5998 (dříve SASOLWAX 5998)
<b>Vulkanizační systém</b>	CRYSTEX OT 33 AS
	MAHLSCHWEFEL 80/90 OT1
	SANTOCURE DCBS
	SULFENAX CBS/MG
	VULKACIT DM/MG-C
	VULKACIT NZ/EG
<b>Retardéry a aktivátory</b>	LIGASTAR ZN 201 (dříve LIGA ZINKSTEARAT 201)
	RADIACID 444
	SANTOGARD PVI
	ZINKOVÁ BĚLOBA S – 6
<b>Ochranný systém</b>	ANOX HB
	DUSANTOX 6PPD
<b>Pryskyřice a adheziva</b>	CYREZ 963E
	KORESIN PAST.
	NORSOLENE S95
	PENACOLITE RESIN B-19-S
	RHENOGRAN RESORCIN 80/SBR
	RIBETAK 7510 P
<b>Zpracovatelské přísady</b>	RENACIT 11/WG
	STRUKTOL 40 MS
	STRUKTOL WB 212 FLAKES

Tab. 2 Komponenty pro výrobu kaučukových směsí č. 4, 6

<b>Materiály pro výrobu kaučukových směsí č. 4 a 6</b>	
Kategorie materiálů	Název
<b>Přírodní kaučuky</b>	TSR 10 CV
<b>Syntetické kaučuky</b>	BBK 232
	RECLAIM IIR TUBE
	SBR 1500
<b>Saze, silika</b>	STATEX N 660
<b>Bílá plniva</b>	TRITON 40
<b>Změkčovadla a vosky</b>	FLAVEX 595
<b>Urychlovače a síra, peroxidy</b>	VULKACIT DM/MG-C
	SOLUBLE SULF. 80%
<b>Retardéry a aktivátory</b>	STEARIC ACID
	ZINKOVÁ BĚLOBA S – 6
	MgO COATED 80%
<b>Pryskyřice a adheziva</b>	GUM ROSIN C
	PHENOLIC RESIN
	HC RESIN LIGHT AROM.
<b>Zprac. přísady a rozpouštědla</b>	PLASTICIZER

Složení jednotlivých směsí je dáno výrobní recepturou – míchacím a navažovacím předpisem. Systém, podle kterého se propočítává podíl každé jednotlivé složky obsaženého materiálu je známý jako DSK – dílů na 100 dílů kaučuku. Pomocí jednoduchého algoritmu je možné kdykoliv recepturu pozměnit, či upravit. Každá nová (vývojová) kaučuková směs je míchána nejprve v laboratorních podmínkách. Teprve po dosažení požadovaných vlastností je receptura uvolněna pro sériovou výrobu. Poté nastává proces zkoušení míchání na hnětiči, kdy se upravují parametry strojního zařízení a dochází k odladění jednotlivých míchacích kroků (plnění hnětiče, teplotní obraz, míchací čas).

## 7 PŘÍPRAVA VZORKŮ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Vzorky sedmi vybraných kaučukových směsí, byly odebrány z palet, které splňovaly veškeré kvalitativní požadavky. Směsi byly dostatečně odležené – relaxace po míchání, s dostatečně dlouhou dobou zpracovatelnosti a byly u nich provedeny obvyklé laboratorní testy s vyhovujícím výsledkem – Statusem kvality.

### 7.1 Použité technické zařízení pro přípravu vzorků

V rámci Diplomové práce byly použity přístroje a strojní zařízení, které odpovídalo požadavkům pro dané účely. Většina zařízení byla k dispozici na UTB - Fakultě technologické ve Zlíně. Přípravy polotovarů byly provedeny ve firmě Continental Barum s.r.o. v Otrokovicích.

#### 7.1.1 Laboratorní dvouválec

Z odebraných vzorků kaučukové směsi bylo nutné vyválcování fólie o definovaných rozměrech potřebných pro následné testování. K tomuto účelu byl použit laboratorní dvouválec v Continental Barum s.r.o. v Otrokovicích.



*Obr. 6 Laboratorní dvouválec – orientační foto*

**Specifikace stroje:**

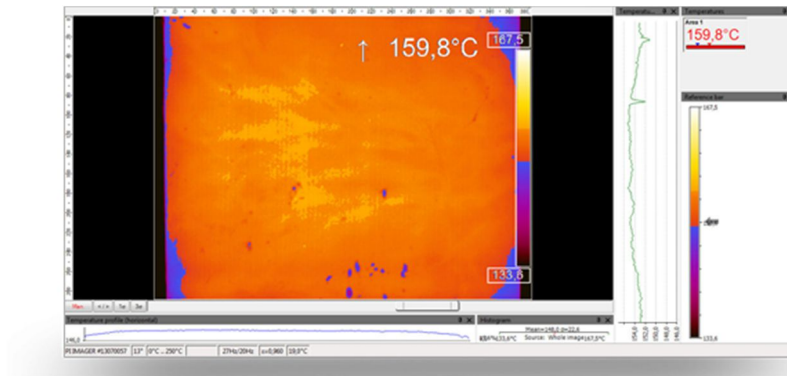
Válce s rozměry 150 x 400 mm, s povrchem z tvrdě pochromované oceli, frikce 1 : 1,2., frekvenční měniče umožňující různé rychlosti otáčení válců. Chlazení vodou – válce vrtané pod povrchem.

**7.1.2 Hydraulický lis**

Za účelem přípravy vzorků kaučukových směsí pro měření dielektrické konstanty jsme použili, hydraulický vulkanizační lis Fortune Presses. Tento hydraulický lis má výhodu ve velké lisovací síle, výborné regulaci teploty a také v rovnoměrném rozložení teploty na lisovacích plotnách, viz Obr. č.



*Obr. 7 Laboratorní hydraulický lis*



Obr. 8 Rozložení teploty na lisovacích plotnách

### 7.1.3 Ostatní vybavení

Do této kategorie použitého vybavení spadají různé pomocné pomůcky, například nože, nůžky, aluminiová fólie, atd.

## 7.2 Odběr vzorků

Kaučukové směsi byly odebírány přímo na cílových zpracovatelských provozech v Continental Barum s r. o. v Otrokovcích. Pro účely této práce postačilo odebrání vzorků směsí o rozměrech 500 x 500 mm o standardní tloušťce materiálu cca 10 mm. Vzorky byly řádně označeny tak, aby nemohlo dojít k záměně.

## 7.3 Příprava polotovarů

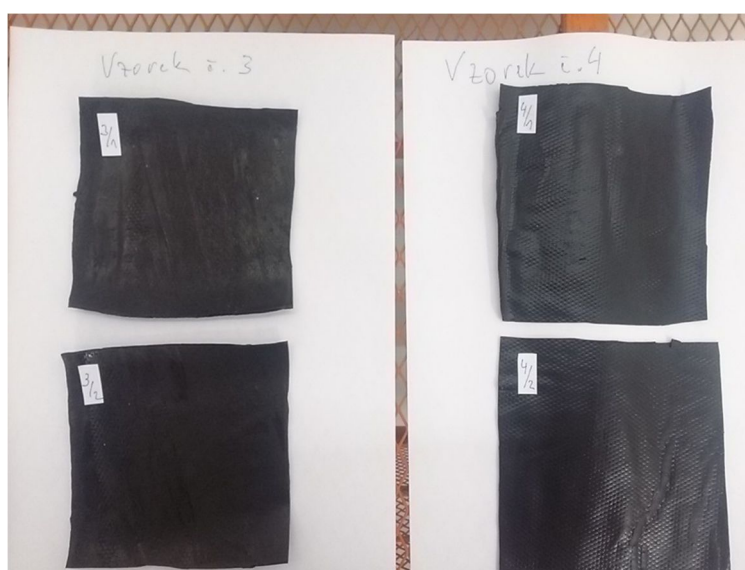
V laboratoři Continental Barum s r.o. byly vzorky směsí postupně zpracovány na laboratorním dvouválcí s délkou válců 400 mm. Z každé směsi byly vytaženy dvě fólie s rozdílnou šířkou profilu o rozměrech: 150 x 2000 x 1,5 mm a 150 x 2000 x 2,5 mm. Fólie se vychladily na vzduchu při teplotě okolí a byly zabaleny do polyamidové fólie, aby nedošlo k jejich polepení.



*Obr. 9 Vytažená fólie kaučukové směsi*

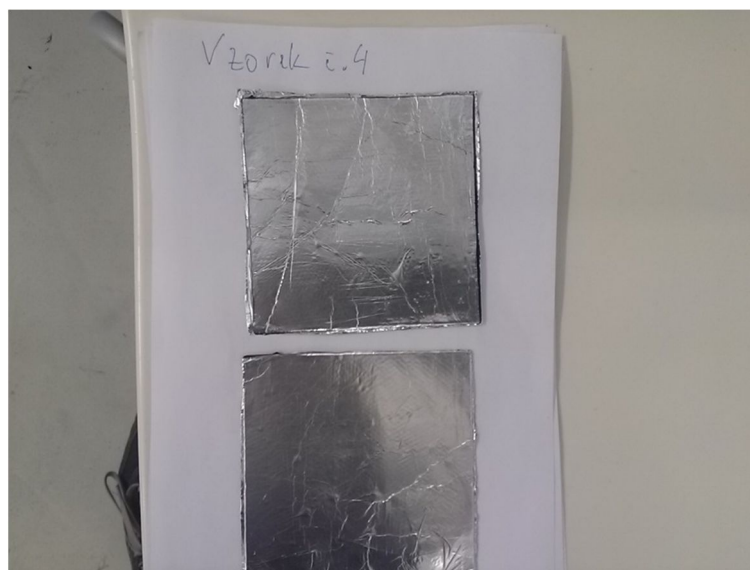
#### **7.4 Lisování směsí**

Pro měření relativní permitivity musí vzorky splňovat jisté parametry. Vzorky musí mít především konstantní výšku profilu a hladký povrch. Velmi důležitým parametrem je také homogenita směsi. Vzorky byly zabaleny do aluminiové fólie z důvodu zamezení lepivosti při lisování.



*Obr. 10 Vzorky kaučukových směsí před lisováním*





*Obr. 11 Vylisované vzorky kaučukových směsí*

## 8 MĚŘENÍ DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ

Na ohřev kaučukové směsi pomocí dielektrické energie má vliv hned několik aspektů. Je to především polarita použitých složek, interakce, frekvence elektromagnetického pole, intenzita pole, ztrátový faktor a dielektrická konstanta materiálů. Interakce je přímo závislá na polaritě látek. Frekvence je dána zdrojem mikrovlnného zařízení (běžná frekvence je 2,4 GHz). Intenzita pole je dána napájecím výkonem. Dielektrické vlastnosti jsou závislé na teplotě. U polárních a slabě polárních sloučenin vzrůstá ztrátový faktor se zvyšující se teplotou. Dielektrický ohřev kaučukové směsi nemůže být odhadnut ze součtu ztrátových faktorů jednotlivých složek, protože značný vliv má i hustota nábojů částic materiálů. Je proto nutné měřit dielektrické vlastnosti. [5]

Měřicí zařízení jsou nabízena různými výrobci. Alternativou k nákladnému měření ztrátového faktoru je určení zvýšení teploty zkušebních tělísek při působení mikrovln v závislosti na čase. Takto získané výsledky lze snadno přenést na ohřev ve výrobním zařízení. [6]

Relativní permitivita

Jako relativní permitivita (dielektrická konstanta) se označuje podíl permitivity daného materiálu a permitivity vakua, tedy:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (1)$$

kde:

$\varepsilon_r$  - relativní permitivita [-]

$\varepsilon$  - permitivita [F.m<sup>-1</sup>]

$\varepsilon_0$  - permitivita vakua [F.m<sup>-1</sup>]

Relativní permitivita je látková konstanta, která vyjadřuje, kolikrát se elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí (též kolikrát se zvětší kapacita kondenzátoru, umístí-li se mezi elektrody dielektrikum).

Relativní permitivita je bezrozměrná veličina. [9]

## 8.1 Použité zařízení

Pro měření dielektrické konstanty byl použit měřicí přístroj Agilent 16453 A, který je umístěn v budově Centra Polymerních Systémů, spadající pod UTB ve Zlíně. Tento přístroj je schopen měřit dielektrickou konstantu ve frekvenčním rozsahu od 100 MHz do 3 GHz.



Obr. 12 Měřicí zařízení Agilent 16453 A

## 8.2 Postup měření

Z předem vylisovaných kaučukových směsí, o šířce profilu cca 1 mm, byly vystříženy od každé směsi 3 vzorky o velikosti 2 x 2 cm. Před samotným měřením byla provedena kalibrace měřicího zařízení za pomoci kalibračního vzorku. Měření spočívalo v upnutí vzorku směsi mezi elektrody přístroje. Po nastavení měřících parametrů a tloušťky vzorku se spustilo měření. Doba měření byla velmi krátká – cca 5 vteřin. Poté se výsledek zobrazil graficky a data byla uložena do textového dokumentu pro pozdější využití. Postupně byly změřeny všechny připravené vzorky kaučukových směsí.

### 8.3 Dosažené výsledky

Po změření všech vzorků kaučukové směsi byly výsledky měření zpracovány do tab. č. 3.

*Tab. 3 Hodnoty relativní permitivity kaučukových směsí*

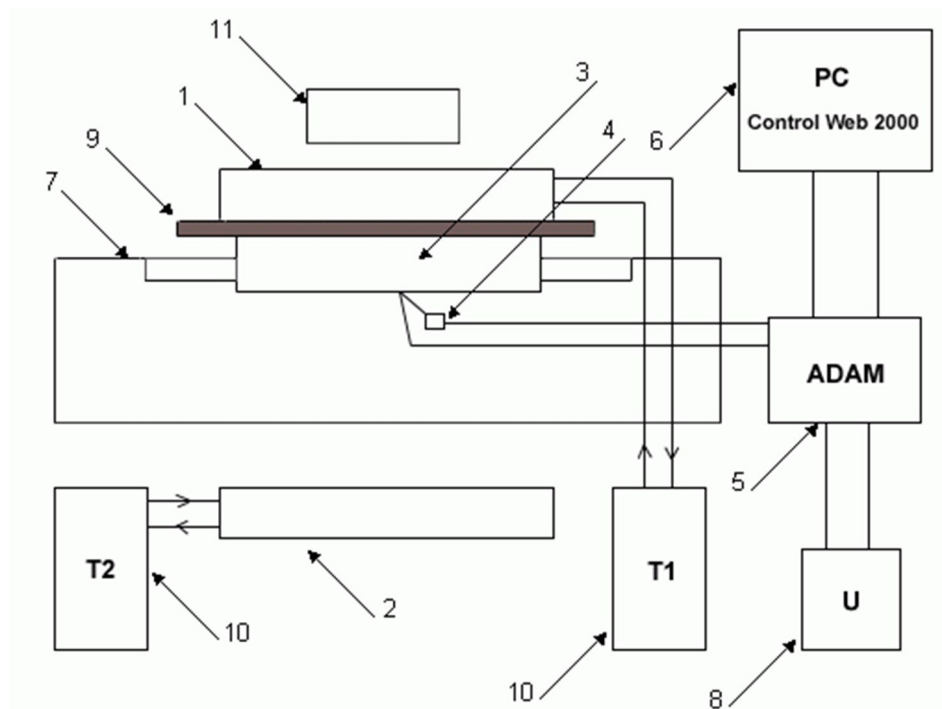
Relativní permitivita (Dielektrická konstanta) kaučukových směsí					
Směs č.	Vzorek	0,9 GHz	Průměr $\epsilon_r$	2,4 GHz	Průměr $\epsilon_r$
		$\epsilon_r$		$\epsilon_r$	
1	a	8,26101	8,35966	7,00023	7,23542
	b	8,45466		7,23663	
	c	8,36332		7,46940	
2	a	6,95722	6,89101	6,53644	6,52626
	b	6,88393		6,60468	
	c	6,83186		6,43765	
3	a	7,39286	7,26007	6,64024	6,82967
	b	7,29381		7,29381	
	c	7,09356		6,55496	
4	a	6,22706	6,18728	5,73470	5,94586
	b	6,44387		5,89672	
	c	5,89092		6,20614	
5	a	7,74223	7,77471	6,82221	6,84227
	b	7,66715		6,69291	
	c	7,91475		7,01170	
6	a	4,27581	5,03185	4,07383	4,72156
	b	5,46001		5,18937	
	c	5,35974		4,90149	
7	a	8,18869	8,12837	6,93911	7,02423
	b	8,15147		7,11361	
	c	8,04495		7,01999	

## 9 MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI

Pro využití mikrovlnné technologie při predehřevu kaučukových směsí před následnými technologickými operacemi je nezbytné vědět, jak se tyto materiály budou při ohřevu chovat. K tomu nám pomůže zjištění tepelné vodivosti. Jakým způsobem a jakou rychlostí se bude rozvádět vzniklé teplo je důležitým faktorem při stanovování procesních podmínek při ohřevu. Na základě podrobné analýzy budeme nejen schopni určit technické parametry požadovaného dielektrického zařízení, ale i konkrétní nastavení, které bude pro danou kaučukovou směs nejvýhodnější. Díky poznatkům tepelné vodivosti budeme moci ovlivnit i celkovou plynulost ohřevu směsí.

### 9.1 Použité zařízení

K měření tepelné vodivosti nestacionární metodou se používá přístroje podle Fitcha. Zařízení je zobrazeno na obr. č. 13. Tohoto přístroje se používá především k měření tepelné vodivosti fólií a desek plastů, pryží a usňových materiálů. [8]



Obr. 13 Schéma zařízení pro měření tepelné vodivosti

## 9.2 Postup měření

Princip měřicího zařízení je následující. Měřený vzorek (9) je vložen mezi mosazný válec (1), který je temperován na teplotu  $t_1$ , a mosazný měřicí válec (3), na který je připojen termočlánek typu měď-konstantan (4). Po vytemperování vzorku na teplotu  $t_2$  je odejmut mosazný válec (1) a je přiložen mosazný válec (2), který je temperován na teplotu  $t_1$ . Současně je spuštěno snímání teploty pomocí upraveného modulu Control Web 2000 na osobním počítači (6), který data převádí převodním systémem ADAM 5 přes komunikační port do osobního počítače (6). Měřená teplota postupně roste směrem k ustálené teplotě  $t_2$  a snímání dat je ukončeno. Získaný soubor obsahuje závislost času na teplotě. Dále je možno spustit vyhodnocení tohoto souboru pomocí programu NeReg02 na osobním počítači (6) nebo pokračovat v měření dalších vzorků. Součástí měřicího zařízení jsou také termostaty (10), udržující teploty  $t_1$  a  $t_2$ , stabilizovaný stejnosměrný zdroj (8), izolační kryt měřicího válce (7) a závaží (11). Část (7) slouží k tepelné izolaci měřicího válce (3), a také k zabránění tepelných ztrát do okolí. [8]

## 9.3 Výpočty tepelné a teplotní vodivosti

Postup výpočtu tepelné vodivosti:

$$-K \frac{dt}{d\tau} = \frac{S\lambda(t-t_1)}{\delta} + B(t-t_1) \quad (2)$$

Kde:

$K$  - tepelná kapacita měřicího válečku ( $J \cdot K^{-1}$ )

$S$  - plocha vzorku ( $m^2$ )

$\lambda$  - tepelná vodivost ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )

$t$  - snímaná teplota měřicího válečku ( $^{\circ}C$ )

$t_1$  - teplota temperované desky ( $^{\circ}C$ )

$t_2$  - počáteční teplota měřicího válečku ( $^{\circ}C$ )

$\delta$  - tloušťka vzorku (m)

$B$  - koeficient tepelných ztrát ( $J \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}$ )

$\tau$  - čas (s)

pro B platí:

$$B = \alpha \cdot S_z \quad (3)$$

Kde:

$\alpha$  je koeficient přestupu tepla ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$S_z$ - plocha, na níž dochází ke ztrátám ( $\text{m}^2$ )

Pravá strana rovnice (1) představuje tok tepla přes hmotu vzorku bloku 1 do měřicího válečku. Zde jsou započítány i ztráty tepla vzniklé přirozeným prouděním vzduchu kolem měřicího přístroje.

Levá strana rovnice (1) představuje akumulaci tepla v měřicím válečku.

Řešením rovnice (1) dostaneme:

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) * e^{[-(A_1+A_2)\tau]} \quad (4)$$

kde pro  $A_1$  a  $A_2$  platí vztahy:

$$A_1 = \frac{S\lambda}{\delta K} \quad (5)$$

$$A_2 = \frac{B}{K} \quad (6)$$

$$A_3 = A_1 + A_2 \quad (7)$$

Praktický výpočet:

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) * e^{[-(A_1+A_2)\tau]}$$
$$y = y_0 + ae^{(-bx)} \quad (8)$$

Z nelineární regrese získáme koeficient  $b$ .

$$A_1 = b - A_2 \quad (9)$$

Příklad výpočtu: Směs č. 1, vzorek a)

Z nelineární regrese jsme získali  $b=2,062 \cdot 10^{-3}$

$$A_1 = b - A_2 = 2,062 \cdot 10^{-3} - 0,368 \cdot 10^{-3} = 1,694 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda = \frac{A_1 \cdot \delta_1 \cdot K_1}{S} = \frac{1,694 \cdot 10^{-3} \cdot 2,418 \cdot 10^{-3} \cdot 317,5}{6,362 \cdot 10^{-3}} = 0,20442 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

Ztráty zařízení (odhad  $A_2$ ),  $A_2 = 0,000368 \text{ (s}^{-1}\text{)}$

Tepelná kapacita měřícího válečku:  $K_1 = 317,5 \text{ (J.K}^{-1}\text{)}$

Plocha měřícího válečku:  $S = 0,006362 \text{ (m}^2\text{)}$

Tepelná vodivost směsi č1(vzorek a)) je dle výpočtu  $0,20442 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$



Pro výpočet teplotní vodivosti -a- (přestup tepla) platí vztah:

$$a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho} \quad (10)$$

Kde:

$\lambda$  - tepelná vodivost ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

$C_p$  - měrné teplo při konstantním tlaku ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

$\rho$  - hustota ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$$a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho} = \frac{0,20442}{1430 \cdot 1155} = 123,766 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

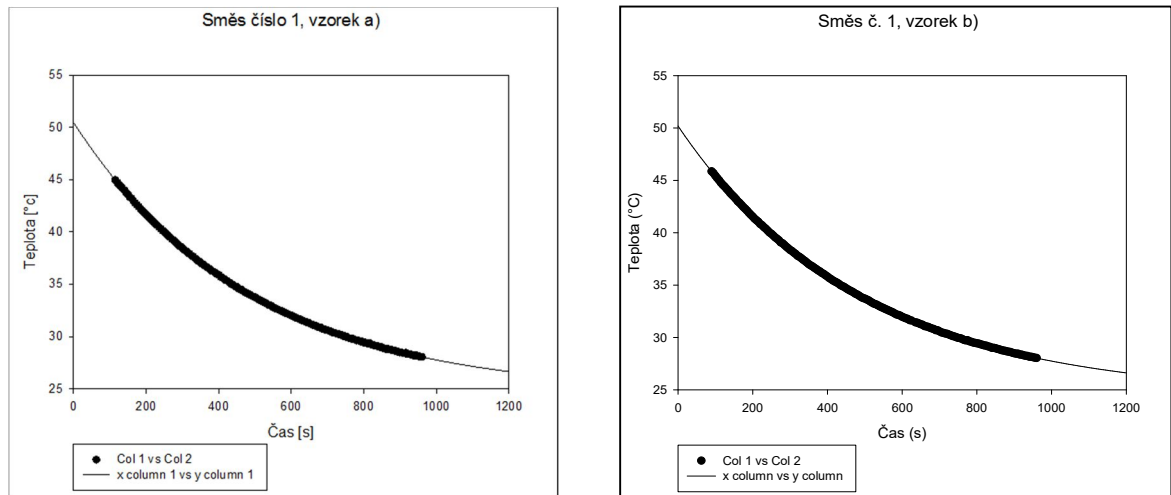
Teplotní vodivost směsi č. 1 (vzorek a) je dle výpočtu  $123,766 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulce č. 4.

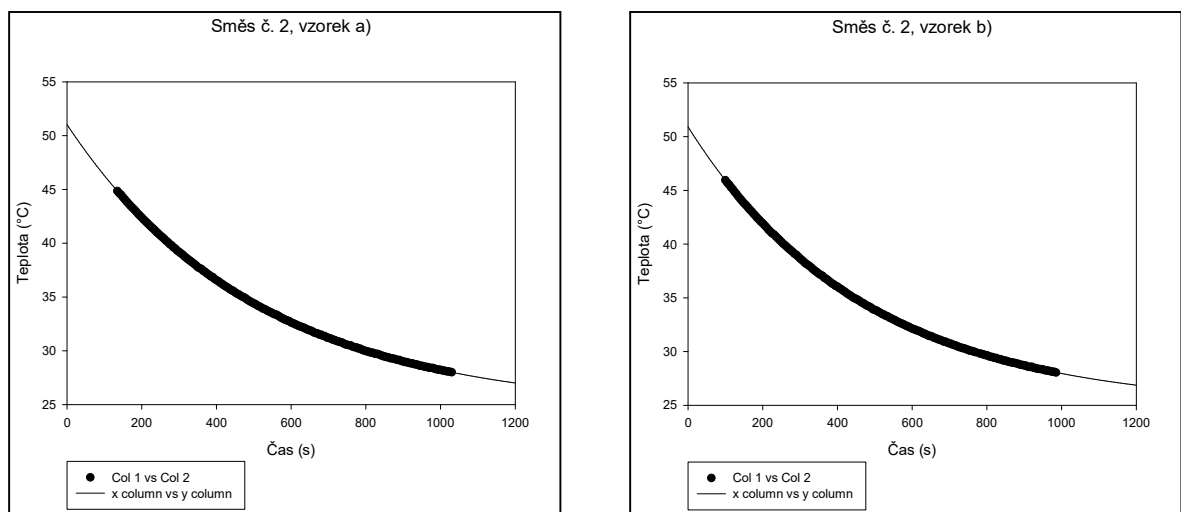
*Tab. 4 Hodnoty tepelné a teplotní vodivosti*

Směs č.	Vzorek	$A_1 (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1})$	$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	$a (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$	Průměr $a (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$
1	a	0,001694	0,204418298	1,23766E-07	1,21902E-07
	b	0,001672	0,198258937	1,20037E-07	
2	a	0,0016039	0,169372546	1,03443E-07	1,09406E-07
	b	0,0017467	0,188897972	1,15368E-07	
3	a	0,0015412	0,172134986	1,0431E-07	1,06675E-07
	b	0,0015663	0,179941084	1,09041E-07	
4	a	0,0012839	0,153136658	8,33374E-08	7,86304E-08
	b	0,0011637	0,135838013	7,39234E-08	
5	a	0,0015744	0,17230734	1,03964E-07	1,03077E-07
	b	0,0015419	0,169366033	1,0219E-07	
6	a	0,0014939	0,176618687	9,50074E-08	9,32102E-08
	b	0,0014013	0,16993681	9,1413E-08	
7	a	0,0014179	0,171454576	1,04169E-07	1,05643E-07
	b	0,0014402	0,176307351	1,07117E-07	

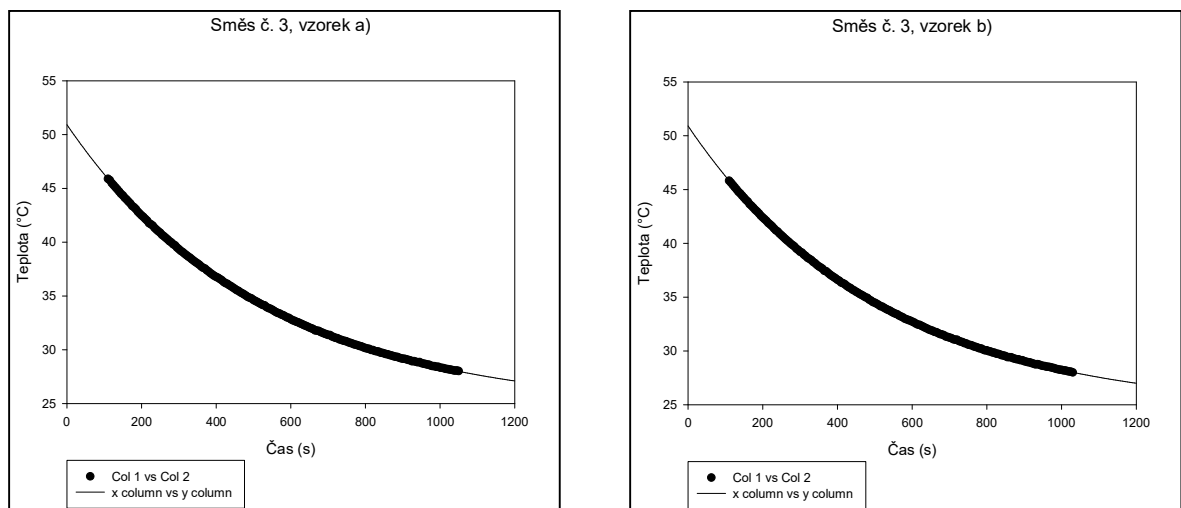
Grafické zobrazení tepelné vodivosti u kaučukových směsí:



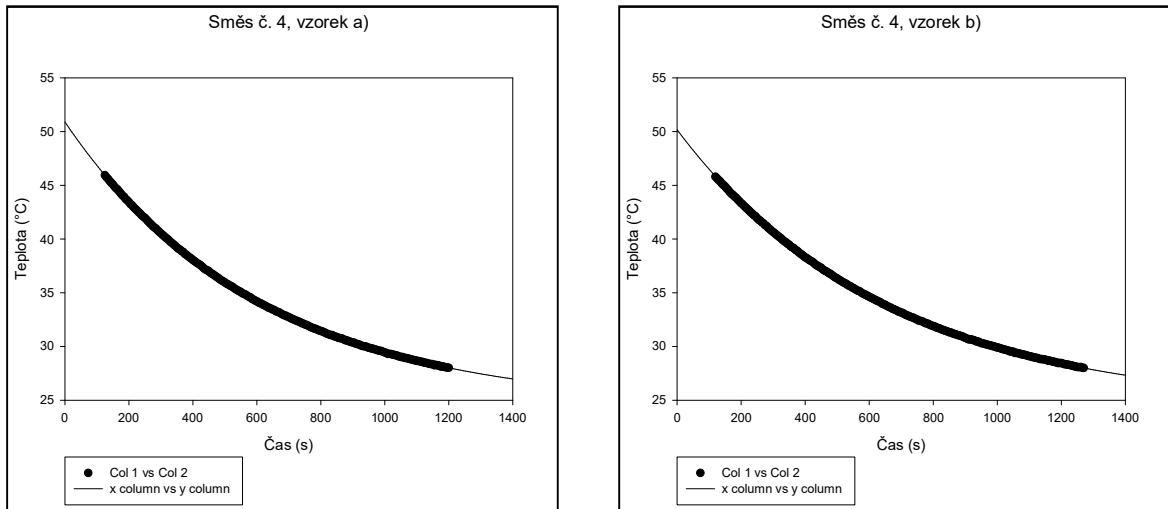
Obr. 14 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 1



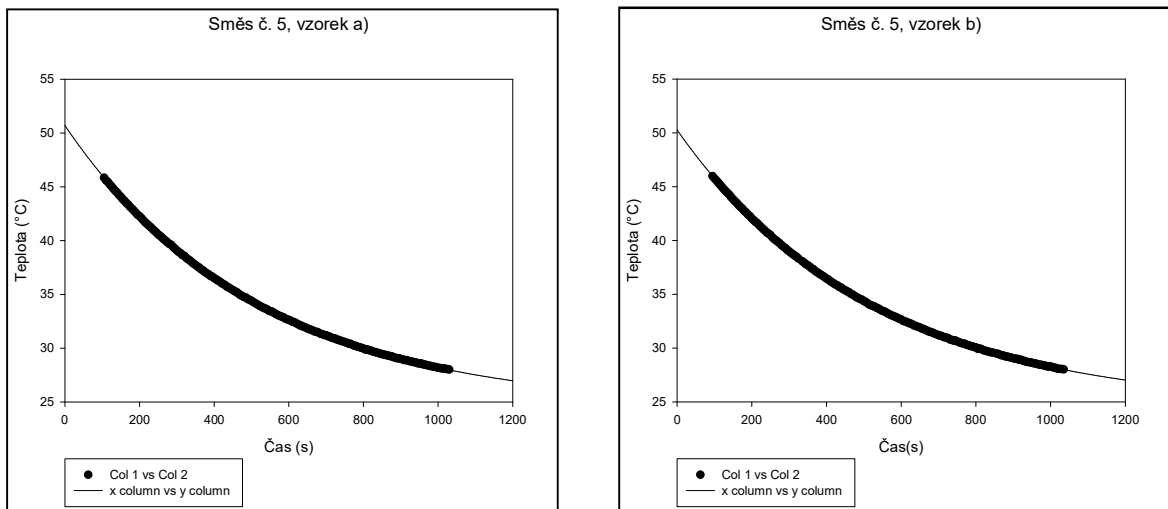
Obr. 15 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 2



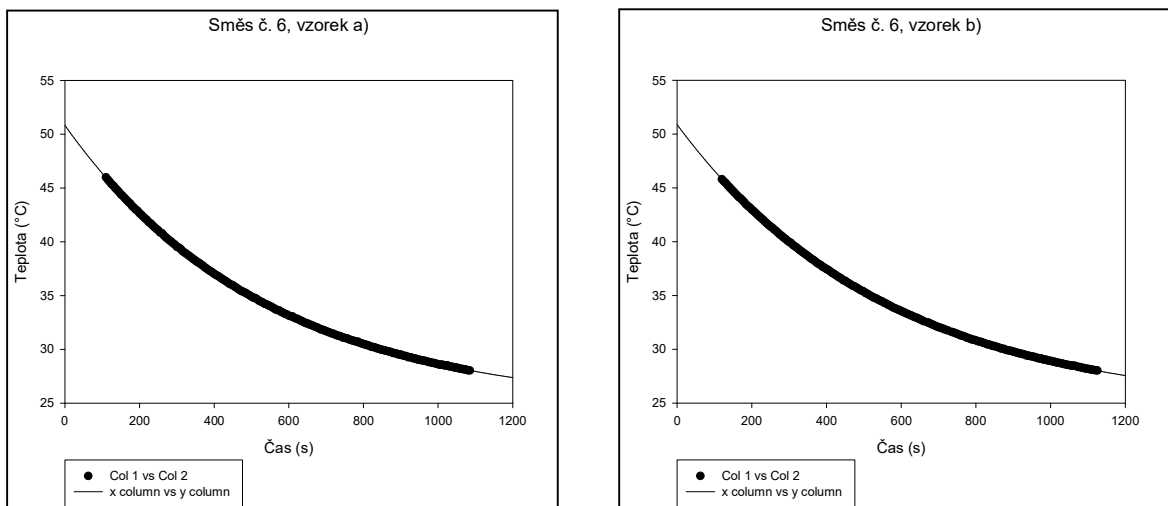
Obr. 16 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 3



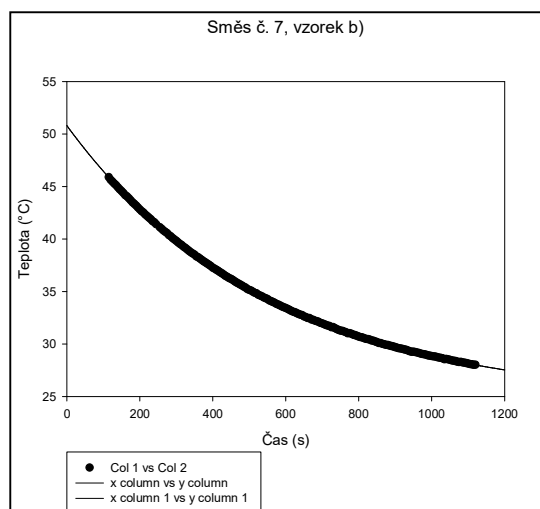
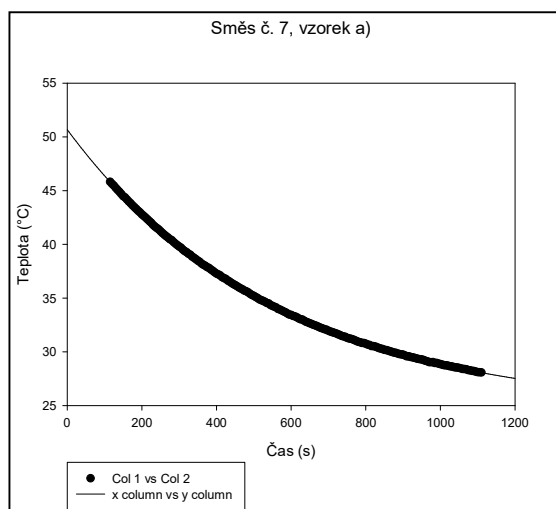
Obr. 17 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 4



Obr. 18 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 5



Obr. 19 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 6



Obr. 20 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 7

## 10 ZKOUŠKY DIELEKTRICKÉHO PŘEDEHŘEVU

Pro další experimenty a měření bylo nezbytné zjistit, jaké chování kaučukových směsí lze při samotném dielektrickém ohřevu očekávat. Z tohoto důvodu byly odebrány další vzorky vybraných směsí, které jsme, na níže popsaném dielektrickém zařízení, podrobili účinkům mikrovlnného působení. Výsledky byly pečlivě zdokumentovány.

### 10.1 Použité zařízení

Při experimentálním ohřevu kaučukových směsí bylo použito mikrovlnné zařízení, které je umístěno v laboratoři na UTB ve Zlíně. Jedná se o kombinované mikrovlnné zařízení, které se skládá ze dvou nezávislých zdrojů. Základnou (interním zdrojem) je klasické mikrovlnné zařízení, které je běžně komerčně využíváno, Profesor MTE – 235 BX o výkonu 900 W. Výhodné je variabilní nastavení výkonu v procentech. Druhý (externí) zdroj elektromagnetického záření je zařízení firmy Romill MWG – LAB o výkonu 900 W.



Obr. 21 Dielektrické laboratorní zařízení Profesor MTE-235 BX

## 10.2 Měřicí zařízení

### Digitální infračervený bezdotykový teploměr Kecheng KC-180B-1



Obr. 22 Digitální bezdotykový teploměr

#### Technická specifikace:

Zorné pole snímání.....	12 : 1
Emisivita.....	0,10 ~, 00 (přednastaveno 0,95)
Odezva .....	500 ms, 95% odpovědí
Rozsah měření teplot .....	-50°C ~ 650°C
Přesnost .....	± 2% při teplotě nad 0°C, ± 3% pod 0°C
Rozsah provozních teplot .....	0°C ~ 40°C
Rozlišení displeje .....	± 0,1° C
Výkon laseru .....	< 1 mW
Vlnová délka laseru .....	630 – 660 nm
Třída laseru .....	2
Automatické vypnutí po cca .....	30 sec
Pracovní prostředí .....	0~40°C, 0 ~ 75% vlhkost
Napájecí baterie .....	9 V (6F22, 6LR61)

Celkový odběr proudu ..... 30 mA  
Rozměry ..... 135 × 36 × 170 mm  
Hmotnost ..... cca 168 g

### Vpichový teploměr Therm 2220-12



*Obr. 23 Vpichový digitální teploměr*

Tento teploměr: THERM – 2220-12 pracuje v rozsahu teplot od  $-70^{\circ}\text{C}$  do  $500^{\circ}\text{C}$  na principu roztažnosti kovů (NiCr-Ni). Jeho nespornou výhodou je tenká vpichová jehla, která minimalizuje riziko zásadního poškození měřených vzorků.

**Termovizní kamera Flir T335**

*Obr. 24 Termovizní kamera Flir T335*

Tato termokamera Flir T335 byla zapůjčena od firmy Profi Plast s.r.o. Je určena pro profesionální náměry. Velkou předností této kamery je velký 3.5“ LCD dotykový displej, laser pro přesné zaměření a stupeň krytí IP54 (ochrana proti stříkající vodě a prachu). Dále nabízí funkci obraz v obraze, kde dochází k propojení reálného snímku s termosnímkiem přímo v přístroji, zvukový záznam po dobu 60 vteřin, použití Extech přístrojů (např. klešťový ampérmetr) přes Bluetooth a integrovaný digitální fotoaparát 3,1Mpx s osvětlovací diodou. Tento model nabízí řadu vyhodnocovacích a měřících funkcí (až 5 bodů a 5 oblastí měření s MIN/MAX/průměr, izotermie či automatickou detekci teplých a studených bodů ve vybrané oblasti).



**Technická specifikace:**

Rozlišení detektoru	320 x 240
Typ detektoru	nechlazený mikrobolometr
Frekvence	9Hz, 30Hz
Teplotní rozsahy	-20°C až 150°C 0°C až 350°C 200°C až 650°C
Citlivost detektoru	0,05°C
Přesnost	2°C nebo 2%
Ostření	automatické / manuální
Zoom	1-2x digitální zoom
Stupeň krytí	IP 54
Hmotnost	880 g (včetně baterie)

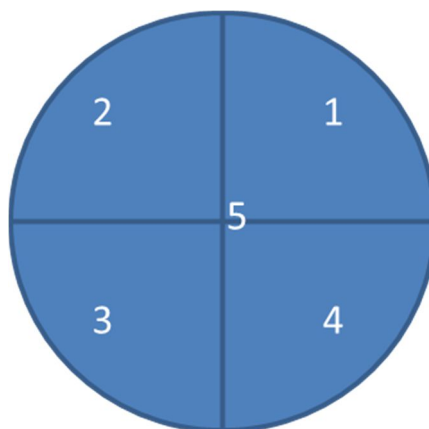
**10.3 Průběh experimentu**

Experiment byl založen na ohřívání jednotlivých vzorků kaučukových směsí v mikrovlnné komoře. U prvních zkoušek byl nastaven výkon zdroje na 30 %, doba ohřevu byla stanovena na 20 s. Po několika cyklech byla patrná velmi silná reakce směsi na působení mikrovln. Pro další testování byly zvoleny mírnější parametry. Při běžném zpracování kaučukové směsi nepřekračuje zpracovatelská teplota hodnotu cca 95 °C. Z tohoto důvodu byl zvolen výkon externího zdroje pouze 20 %, základní zdroj zůstal nečinný. Čas ohřevu byl ponechán na 20 s. Pro zkoušky mikrovlnného ohřevu bylo určeno šest vzorků od každé směsi. U každého vzorku bylo provedeno měření teploty před vložením do mikrovlnné komory, dále bezprostředně po ohřevu a následně v časovém intervalu po 20 s. Celkem byl tedy každý vzorek podroben čtyřem sériím měření teploty – Vstupní (počáteční) teplota, v čase 0 s po ohřevu, po 20 s a po 40 s z důvodu zajištění informace o rozvodu tepla kaučukovou směsí. Měření se provádělo dle připravené orientační mapy pozic, viz Obr. č. 17.

Před samotnými testy, byla provedena zkouška měřících aparátů z důvodu zajištění spolehlivosti a důvěryhodnosti naměřených výsledků. Zkouška spočívala v měření teploty vody v nádobě při současném použití všech dostupných měřidel, viz kapitola 8.2. Pro zvýšení důvěryhodnosti byl společně s připravenými přístroji použit i laboratorní rtuťový teploměr. Výsledek této zkoušky byl vyhodnocen pozitivně. Rozdíly naměřených hodnot se lišily minimálně, a to v řádech desetin °C, což bylo pro dané účely plně postačující. Touto zkouškou byla minimalizována možnost vzniku systematické chyby při následném měření.



*Obr. 25 Zkouška spolehlivosti měřících přístrojů*

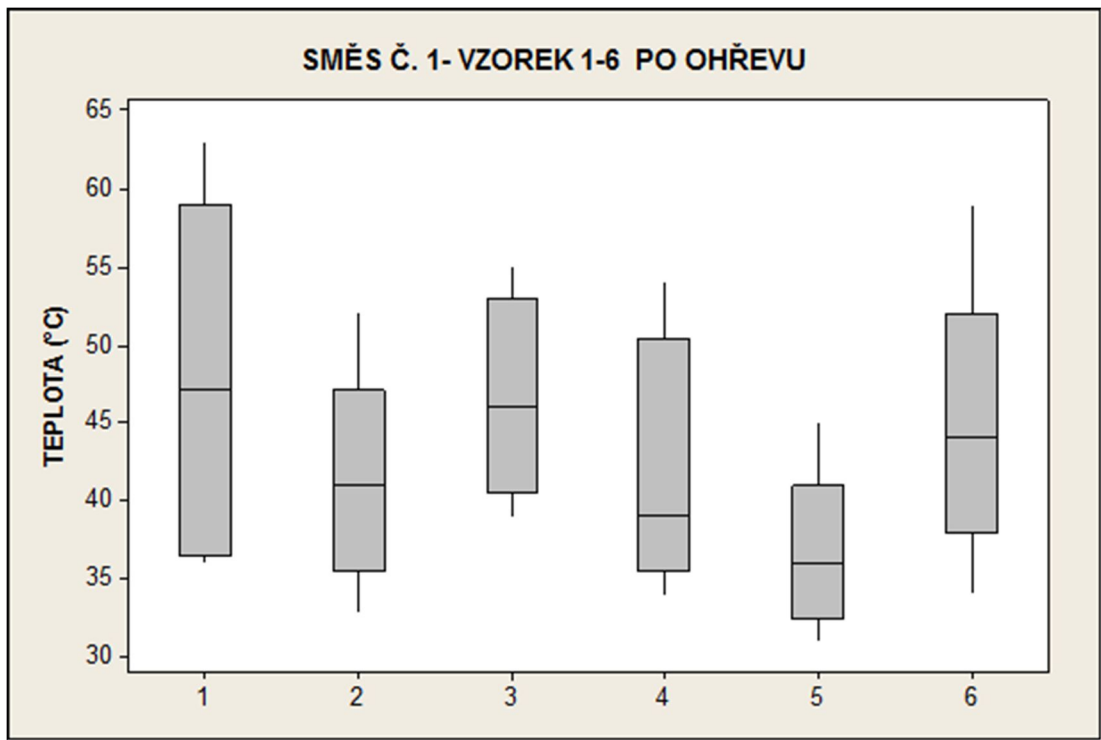


*Obr. 26 Orientační mapa pozic měření*

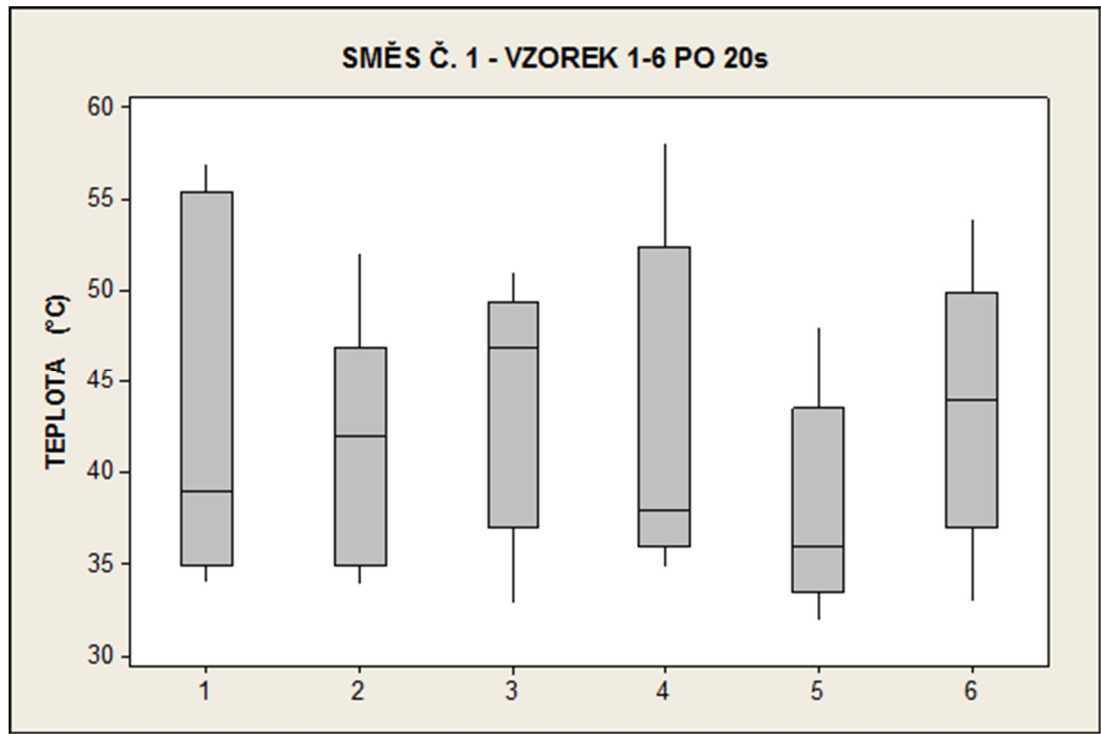
10.3.1 Kaučuková směs č. 1

Tab. 5 Naměřené hodnoty – směs č. 1

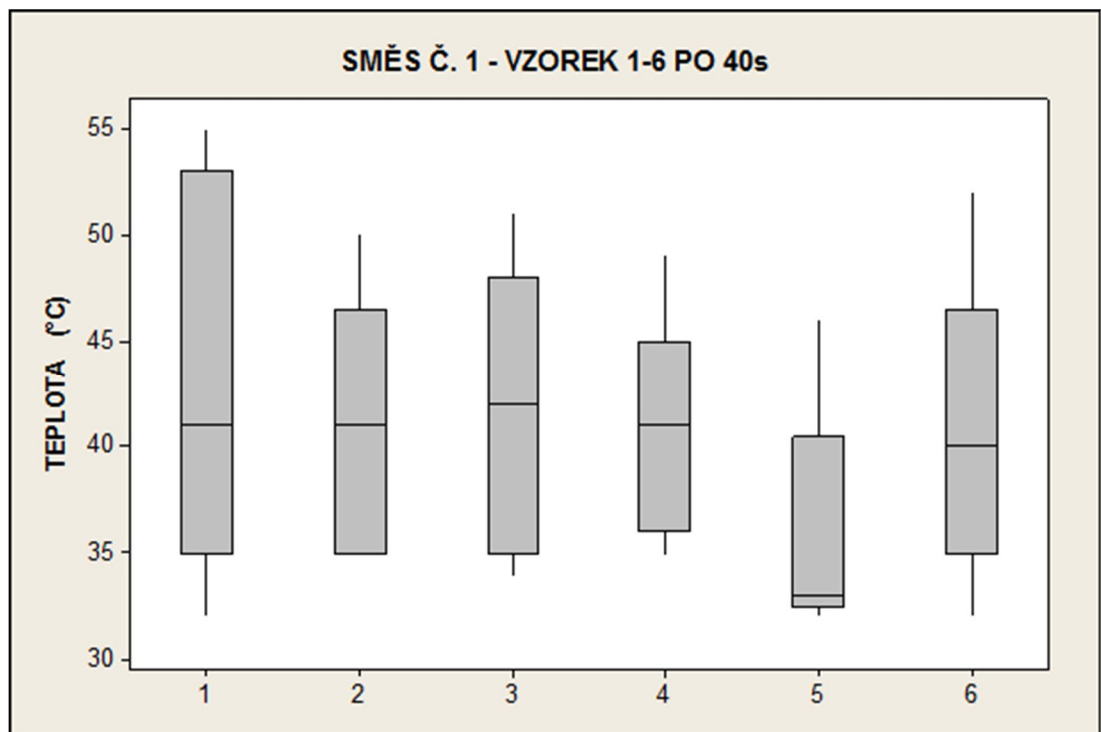
Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talíře (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20 s					Pozice měření - 40 s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 1	1	16,7	20	20	47	36	55	37	63	54	39	34	36	57	38	41	51	32	55	27,2
	2	22,4	20	20	33	41	38	42	52	34	42	36	42	52	35	43	41	35	50	27,6
	3	17,2	20	20	42	51	46	39	55	33	41	48	47	51	45	36	34	42	51	28,3
	4	18,3	20	20	39	37	34	47	54	35	37	38	47	58	37	41	35	41	49	26,4
	5	19,8	20	20	37	31	34	36	45	39	32	36	35	48	33	32	35	33	46	26,5
	6	19,4	20	20	42	44	34	45	59	44	41	33	46	54	40	38	32	41	52	27,4
Průměr		18,96			43,16					42,3					40,46					27,23
Směrodatná odhyška		1,57			6,79					6,56					5,47					0,53



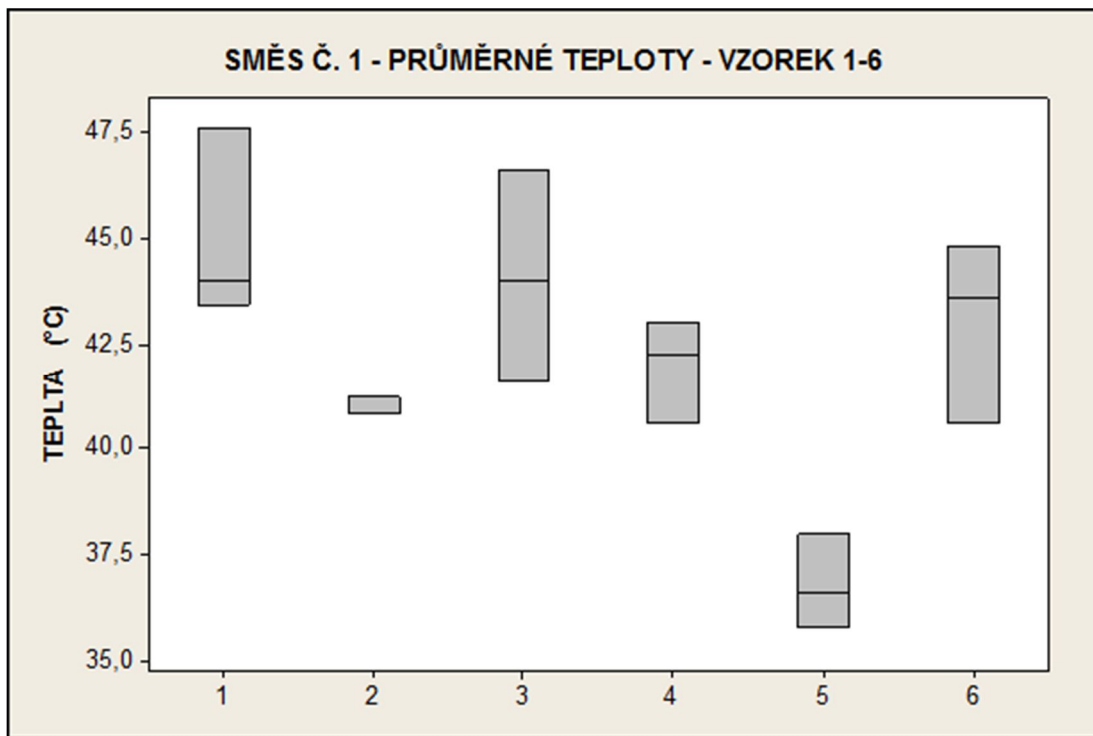
Obr. 27 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 po ohřevu



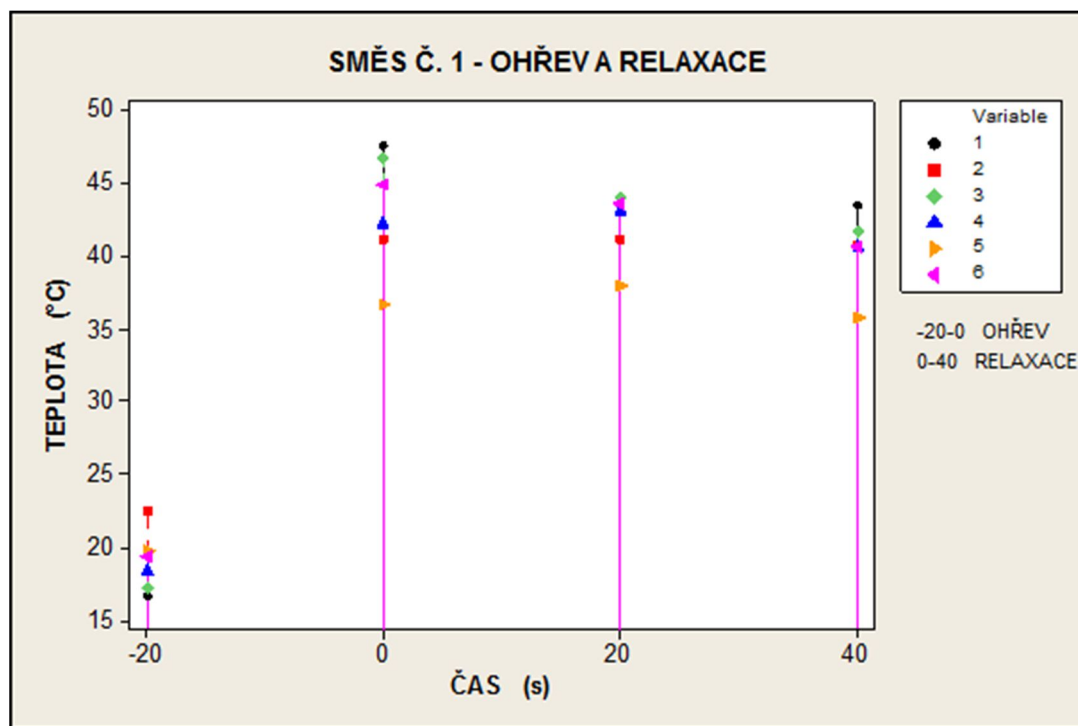
Obr. 28 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 po 20 s



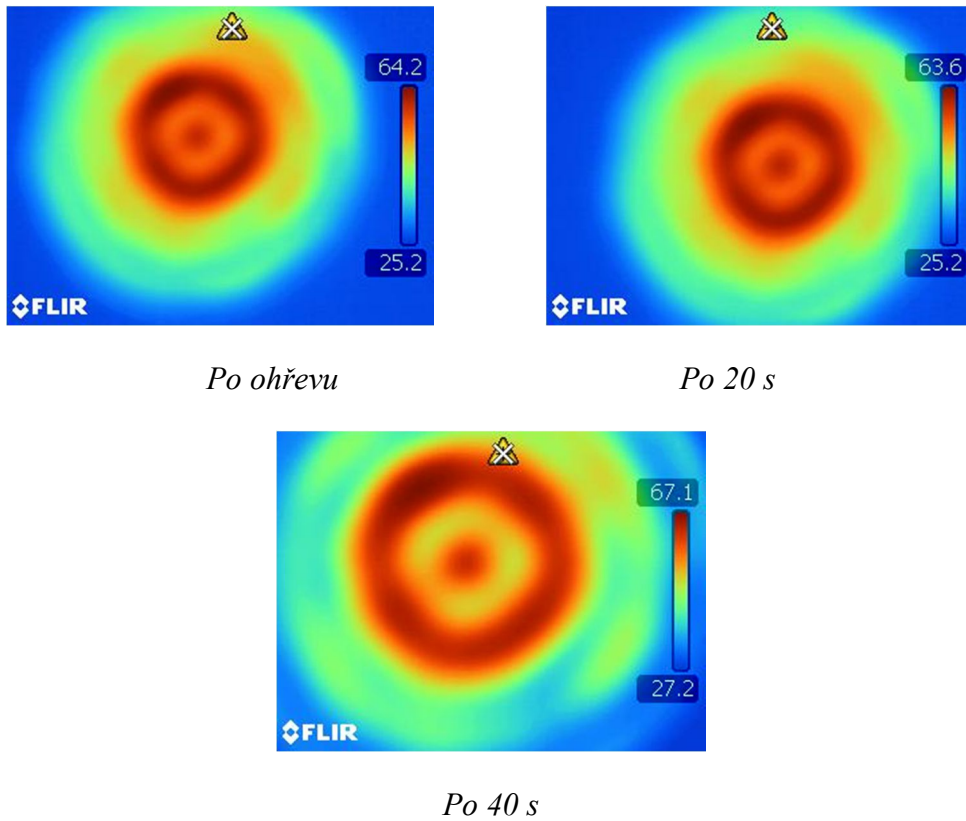
Obr. 29 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 po 40 s



Obr. 30 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 průměrné teploty



Obr. 31 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1

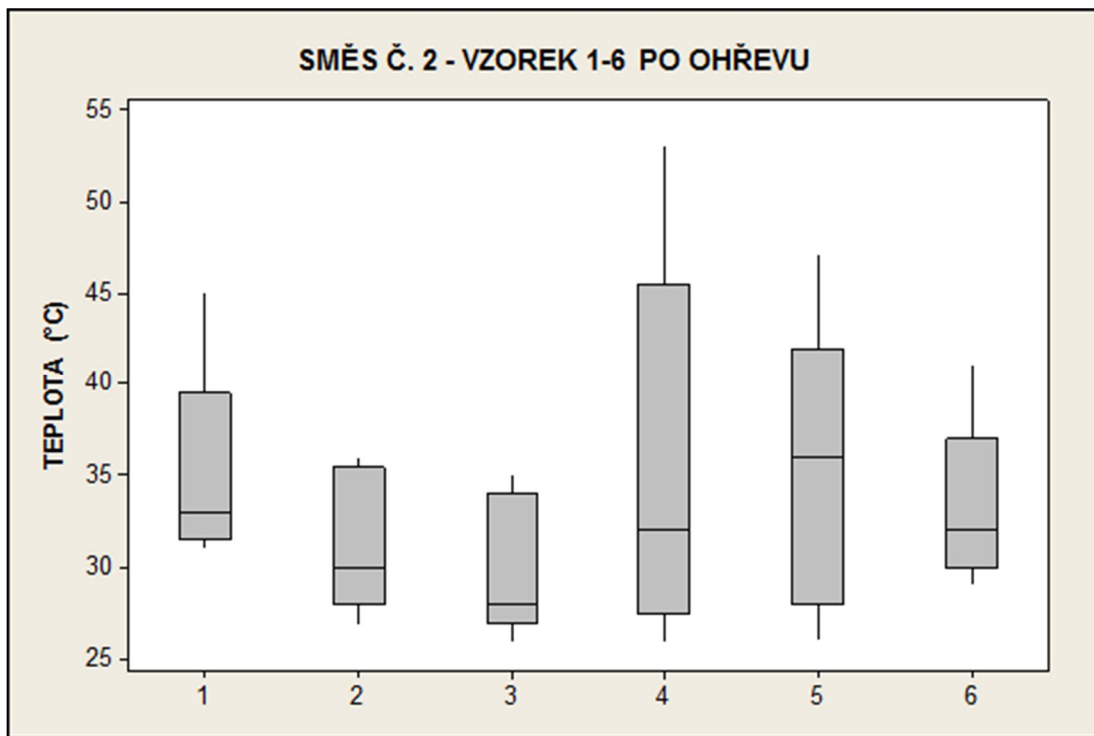


Obr. 32 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 1

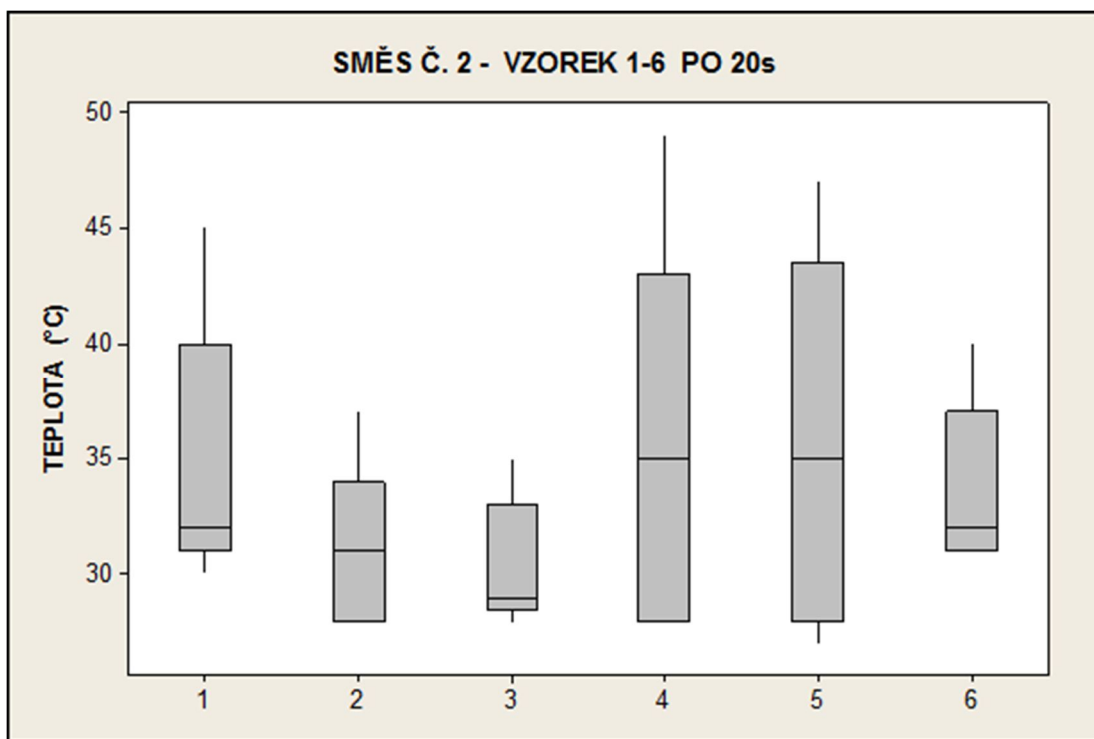
### 10.3.2 Kaučuková směs č. 2

Tab. 6 Naměřené hodnoty – směs č. 2

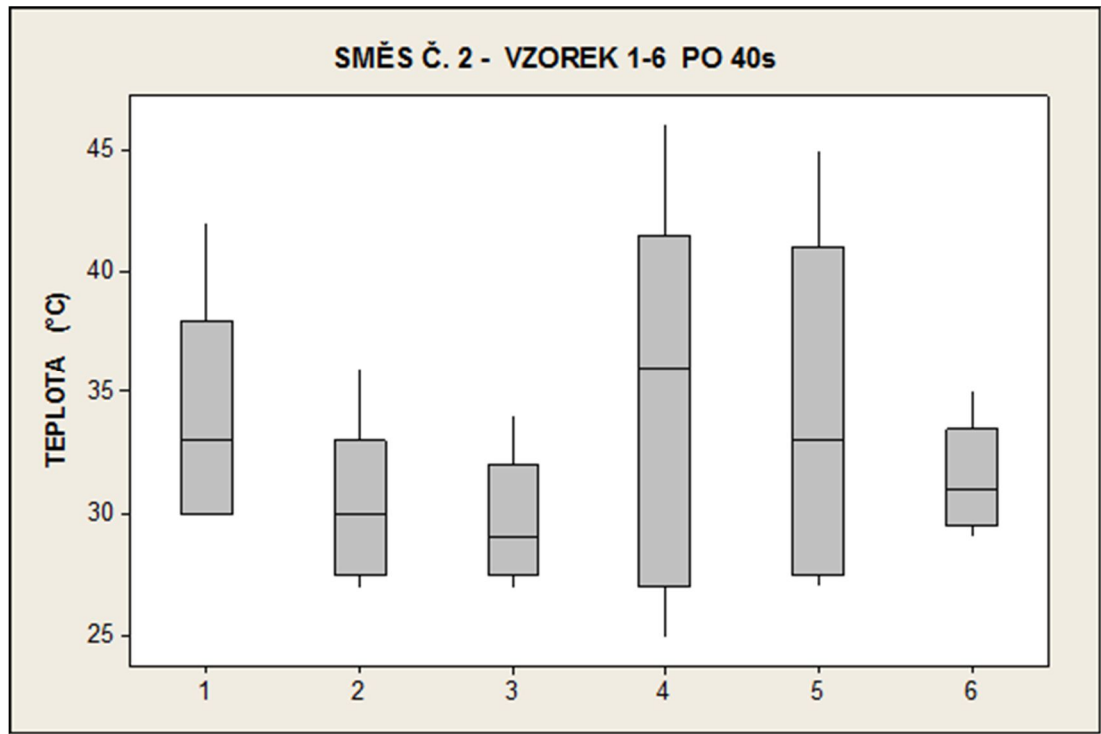
Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talíře (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20s					Pozice měření - 40 s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 2	1	18,7	20	20	32	34	31	33	45	32	35	30	32	45	30	33	30	34	42	27,4
	2	16,1	20	20	36	30	27	29	35	28	31	28	31	37	28	30	27	30	36	27,1
	3	13,1	20	20	33	28	28	26	35	31	29	29	28	35	30	29	28	27	34	28,2
	4	14,2	20	20	38	26	29	32	53	37	28	28	35	49	36	25	29	37	46	27,8
	5	13,7	20	20	37	30	26	36	47	35	29	27	40	47	37	28	27	33	45	27,2
	6	15,4	20	20	33	32	31	29	41	34	31	32	31	40	32	30	31	29	35	26,8
Průměr		15,2			33,4					33,46					32,26					27,42
Směrodatná odchylka		1,53			4,64					4,49					4,05					0,39



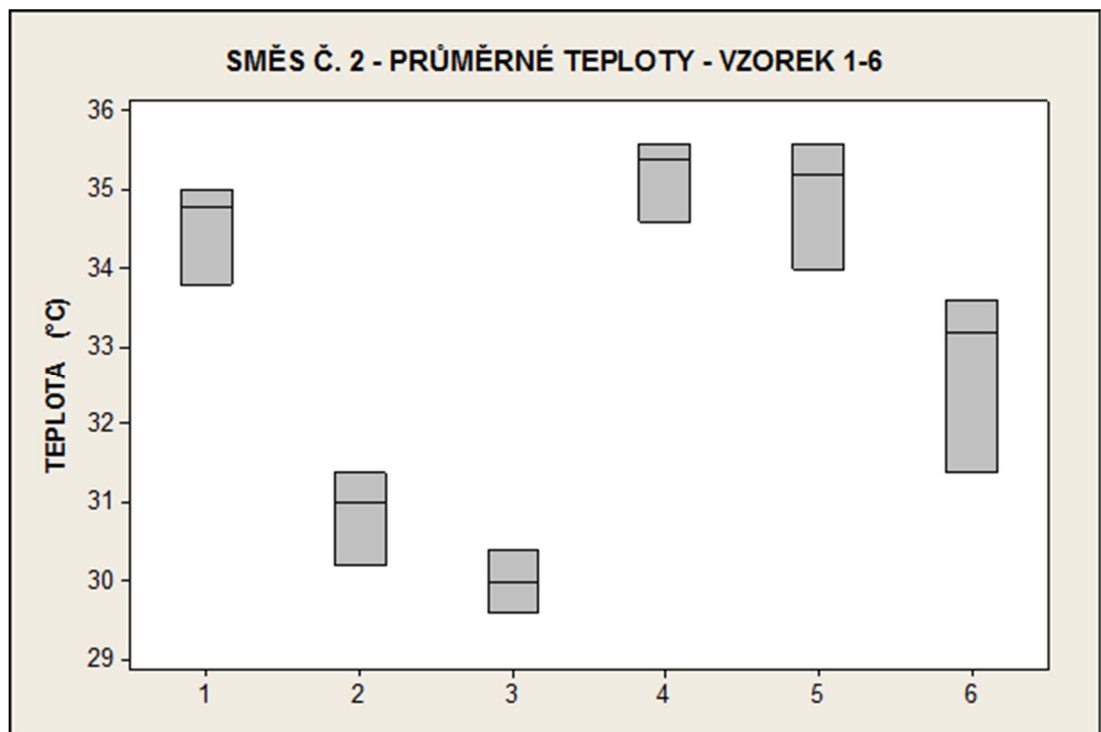
Obr. 33 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 po ohřevu



Obr. 34 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 po 20 s

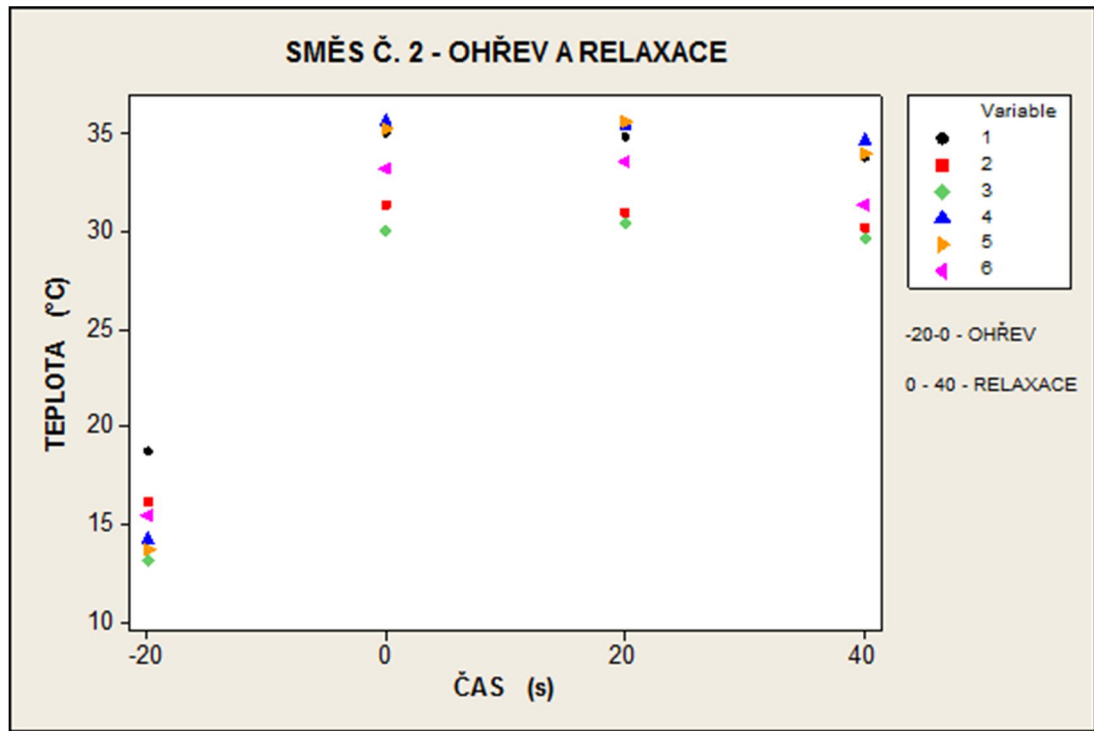


Obr. 35 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 po 40 s

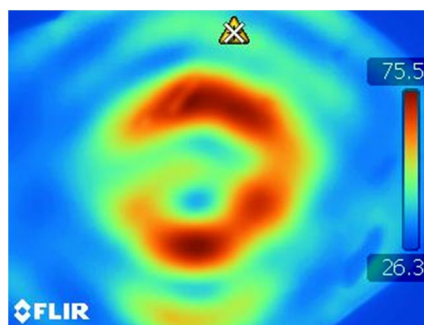
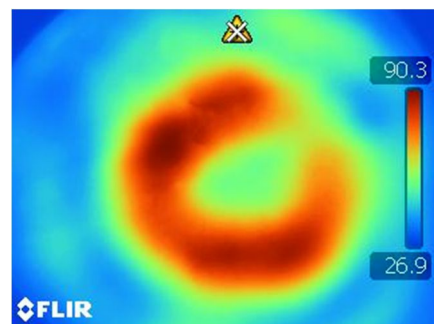
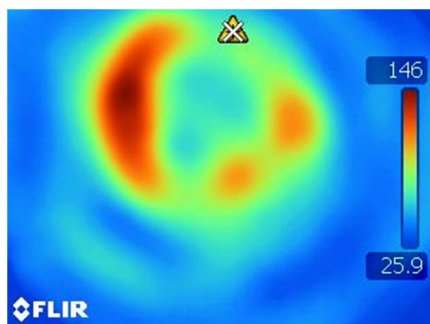


Obr. 36 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 průměrné hodnoty





Obr. 37 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2

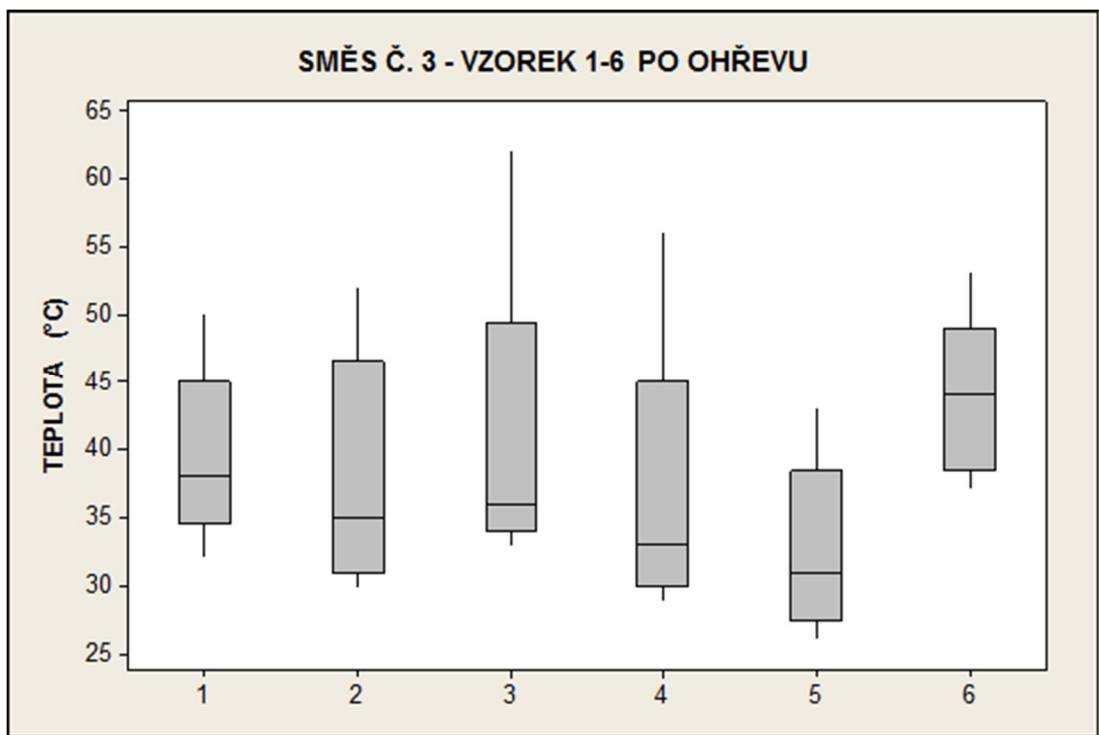


Obr. 38 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 2

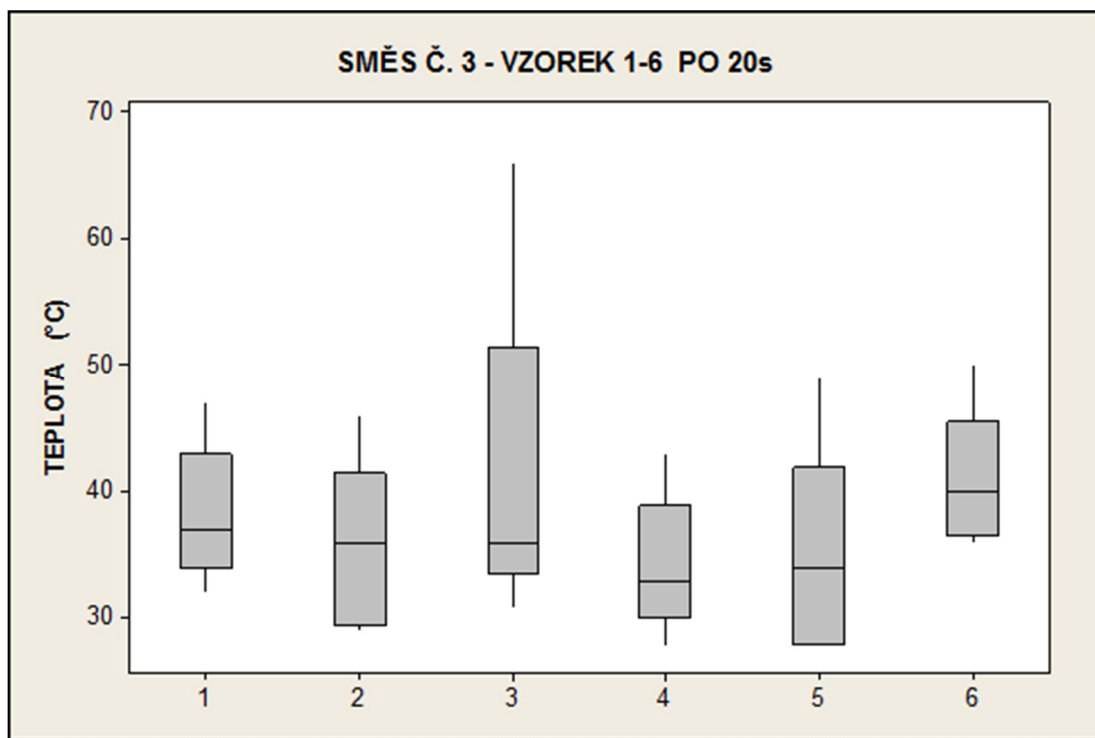
10.3.3 Kaučuková směs č. 3

Tab. 7 Naměřené hodnoty – směs č. 3

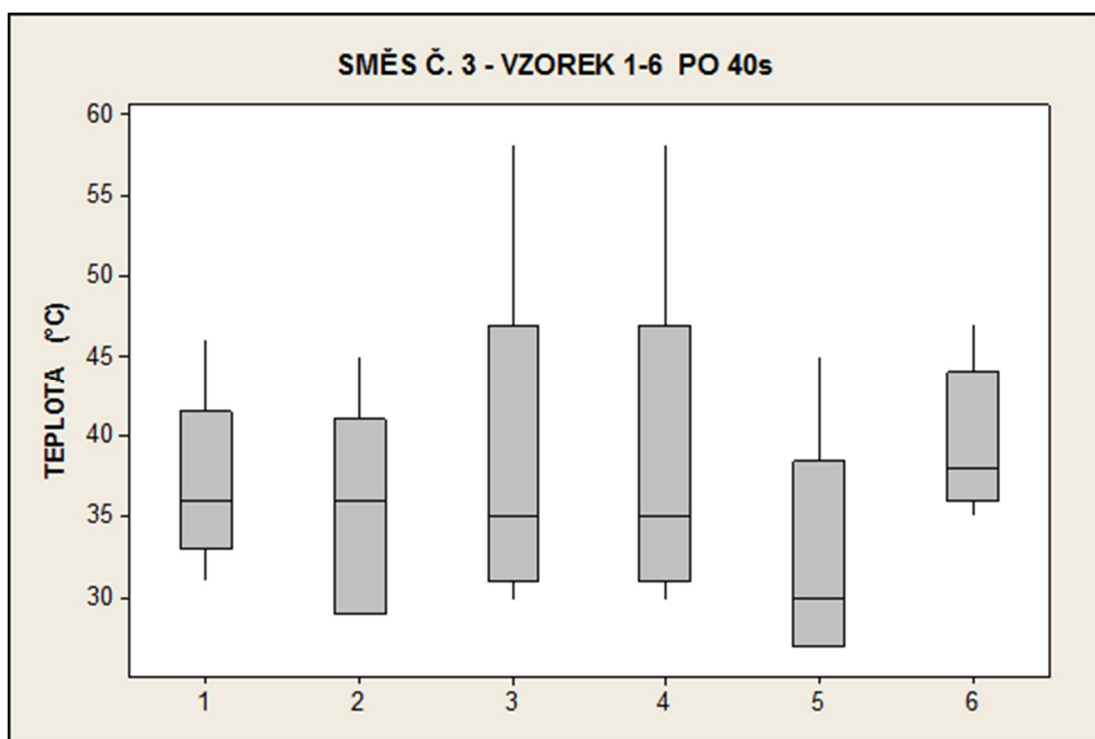
Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talíře (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20s					Pozice měření - 40s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 3	1	15,9	20	20	40	37	32	38	50	39	36	32	37	47	35	37	31	36	46	29,2
	2	15,8	20	20	35	30	32	41	52	36	29	30	37	46	36	29	29	37	45	24,9
	3	16,4	20	20	37	33	35	36	62	36	31	36	37	66	36	30	35	32	58	25,2
	4	15,4	20	20	31	33	29	34	56	33	32	28	35	43	30	33	28	33	48	27,1
	5	15	20	20	31	26	29	34	43	34	28	28	35	49	30	27	27	32	45	25,4
	6	15,7	20	20	44	45	37	40	53	41	40	36	37	50	41	37	35	38	47	26,7
Průměr		15,70			36,50					37,46					36,10					26,42
Směrodatná odchylka		0,33			6,83					5,99					5,46					1,25



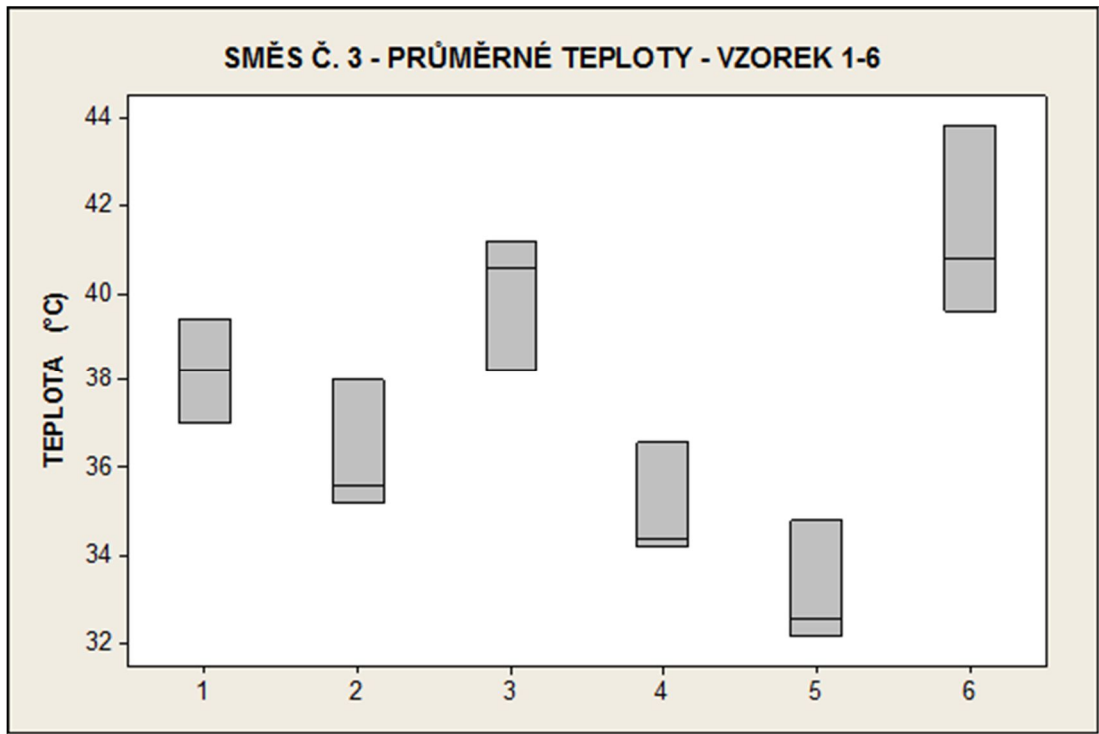
Obr. 39 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 po ohřevu



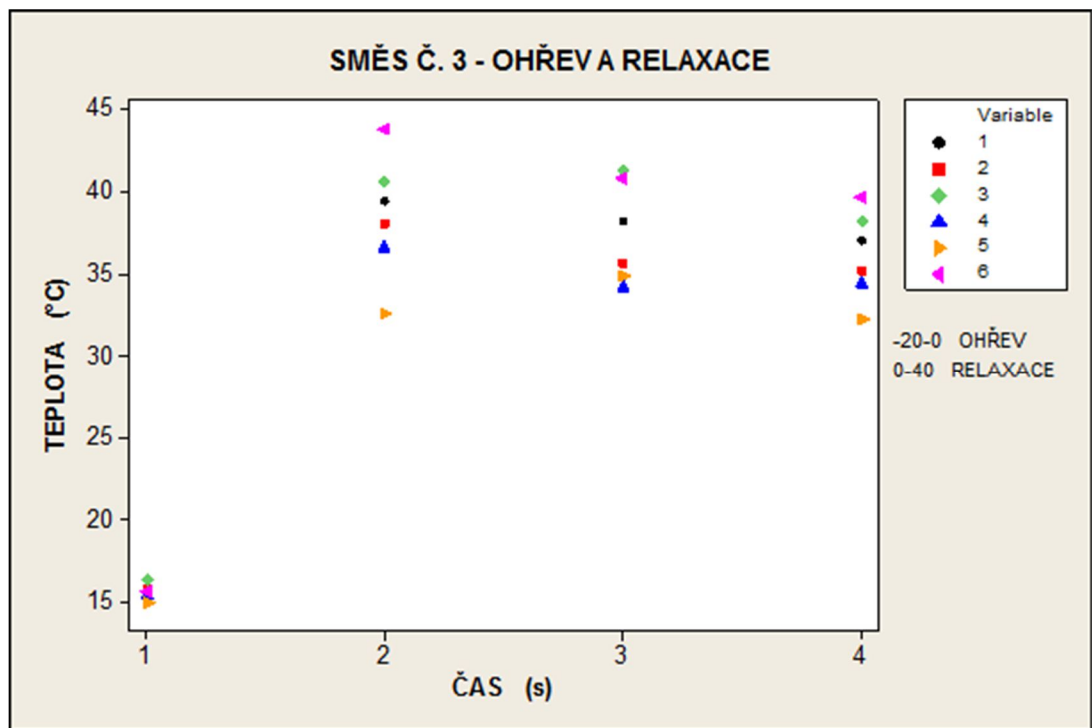
Obr. 40 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 po 20 s



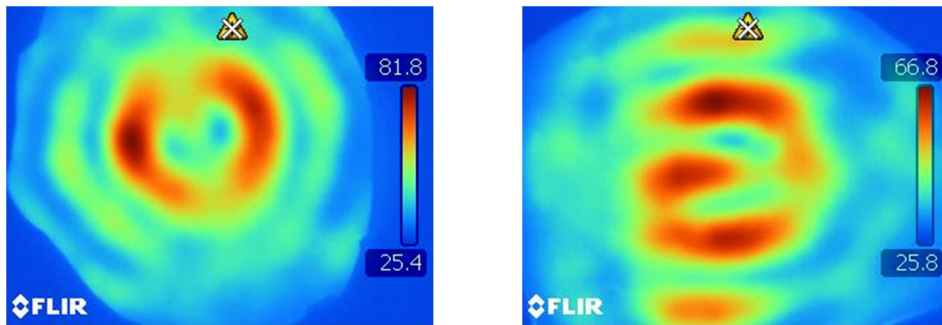
Obr. 41 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 po 40 s



Obr. 42 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 průměrné hodnoty



Obr. 43 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3



Po 20 s

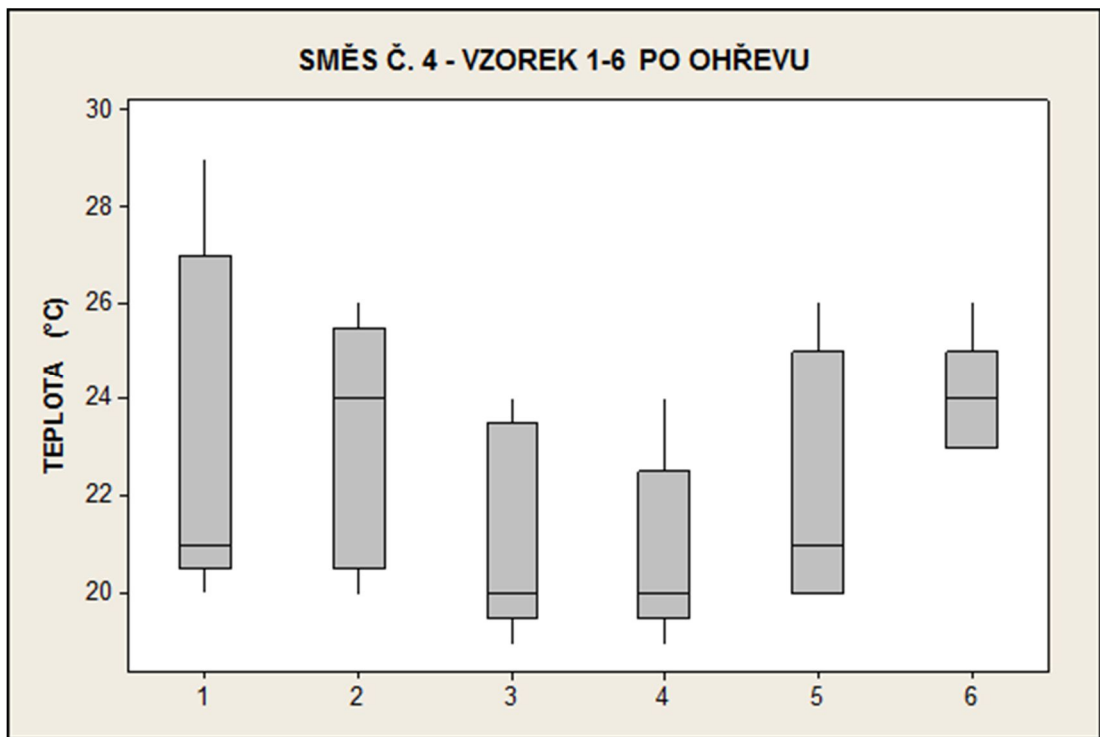
Po 40 s

Obr. 44 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 3

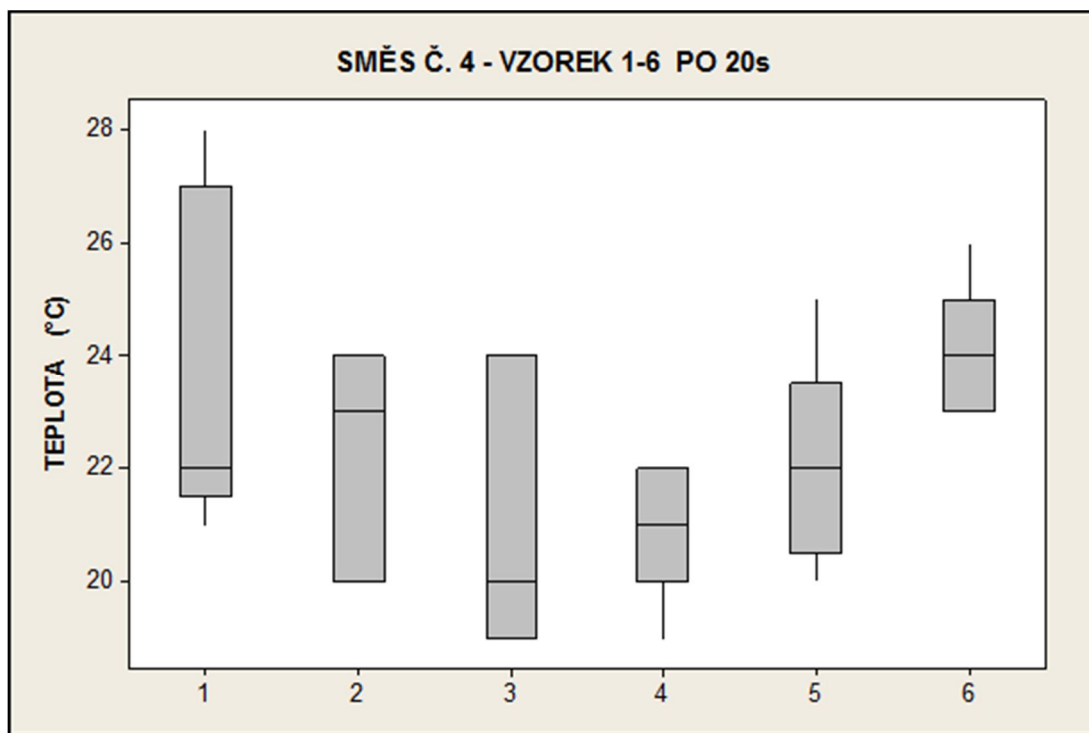
### 10.3.4 Kaučuková směs č. 4

Tab. 8 Naměřené hodnoty – směs č. 4

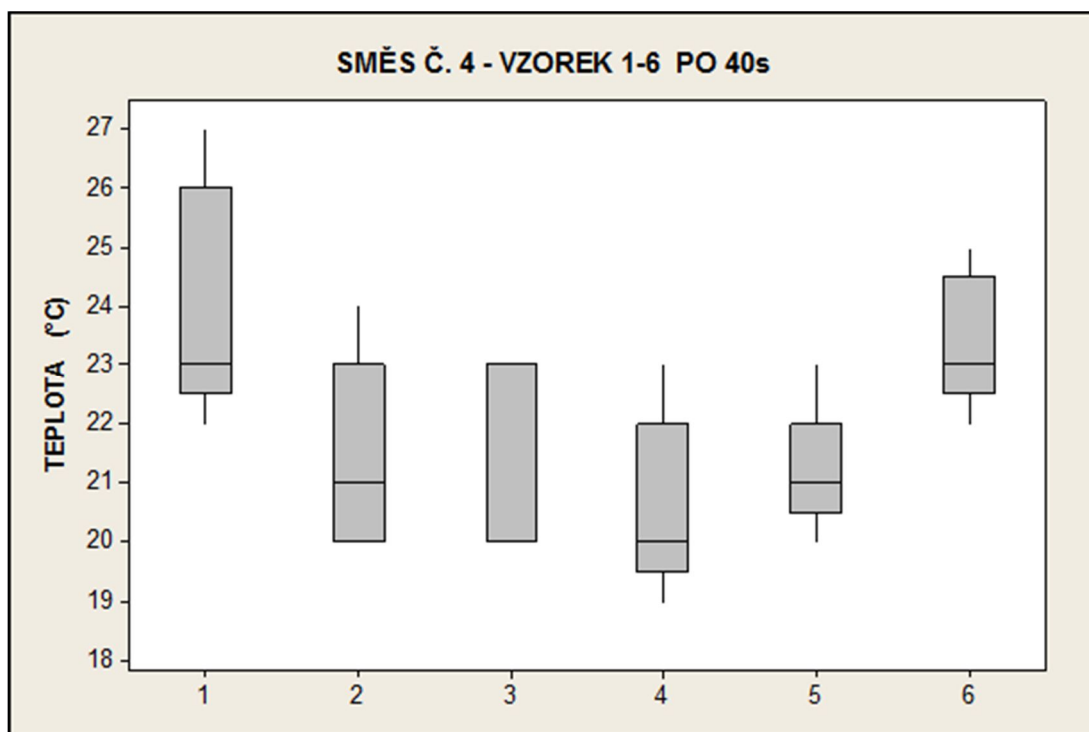
Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talifu (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20s					Pozice měření - 40s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 4	1	12,3	20	20	21	25	21	20	29	22	26	22	21	28	23	25	23	22	27	26,4
	2	11,6	20	20	20	24	25	21	26	20	23	24	20	24	20	21	22	20	24	28,9
	3	9,7	20	20	19	23	20	20	24	19	24	20	19	24	20	23	20	20	23	27,6
	4	9,5	20	20	20	21	19	20	24	21	22	21	19	22	19	21	20	20	23	28,2
	5	9,8	20	20	20	24	21	20	26	22	22	20	21	25	21	21	20	21	23	29,7
	6	13,6	20	20	24	23	23	24	26	24	23	23	24	26	23	22	23	24	25	32,1
Průměr		11,08			22,43					22,36					21,96					28,82
Směrodatná odchylka		1,42			2,23					1,82					1,57					1,42



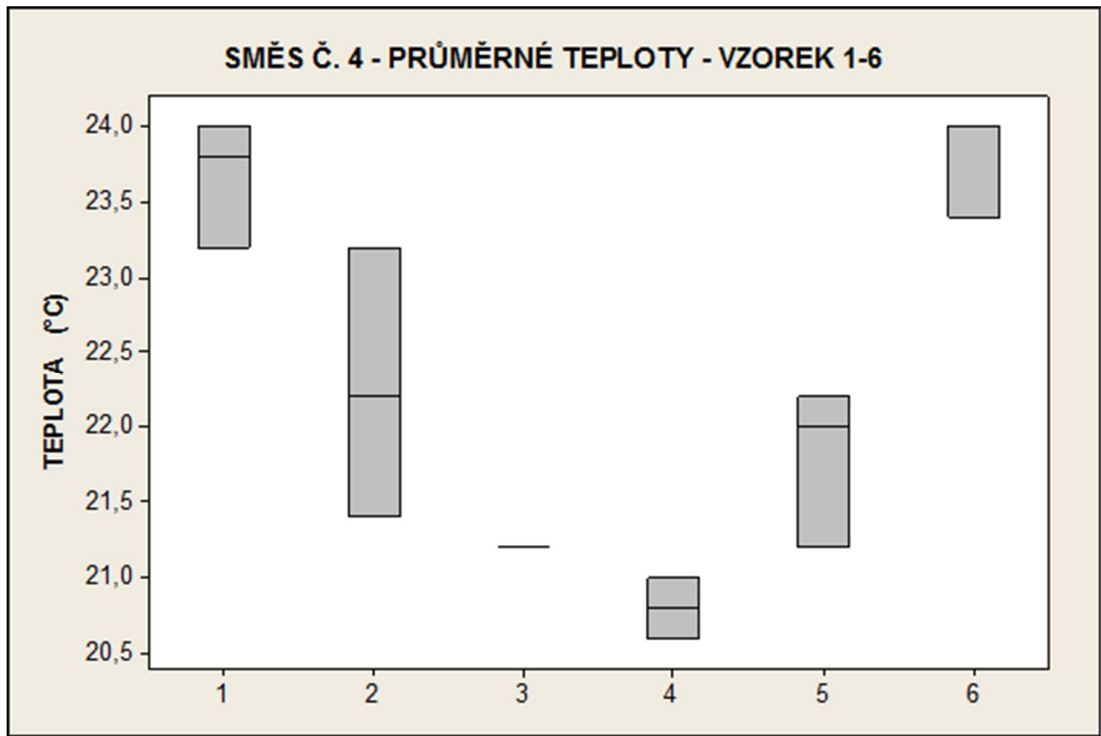
Obr. 45 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 po ohřevu



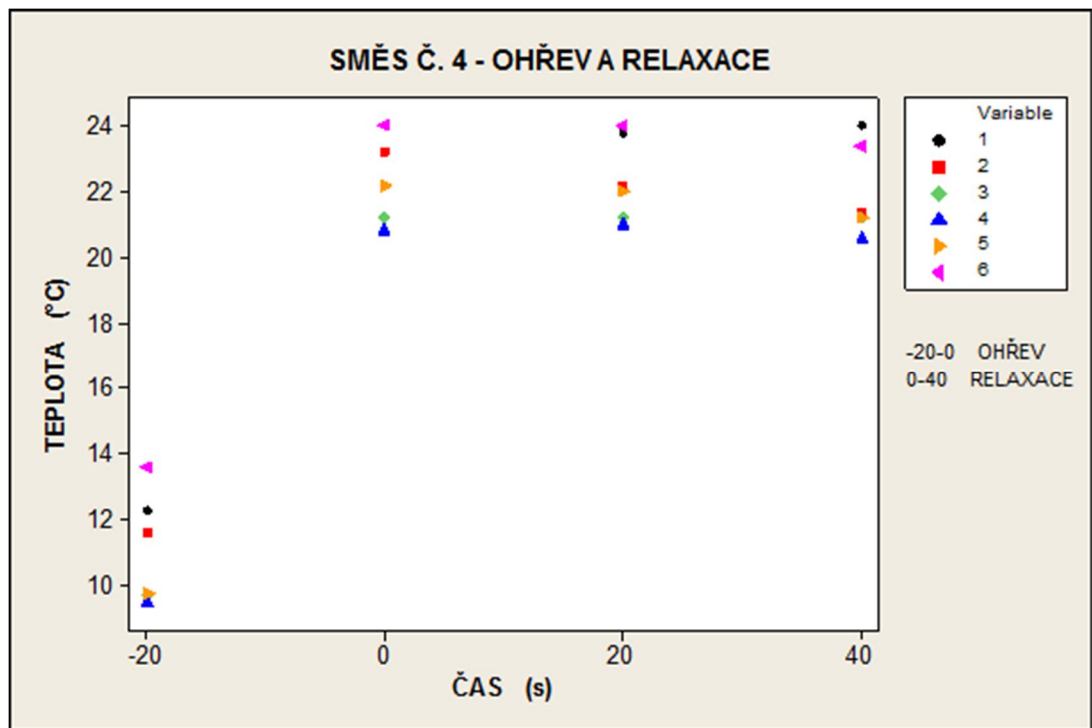
Obr. 46 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 po 20 s



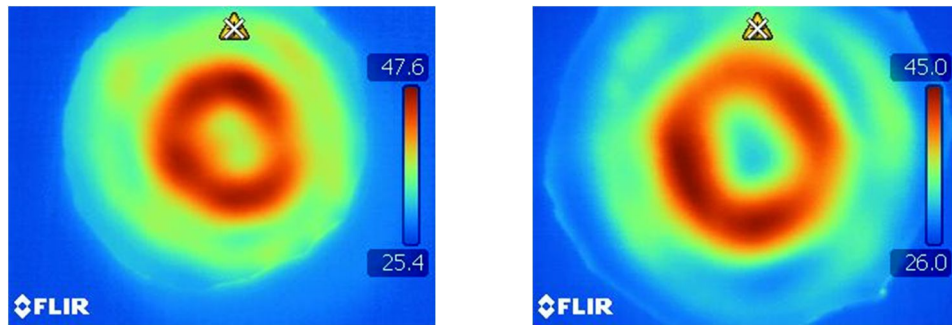
Obr. 47 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 po 40 s



Obr. 48 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 průměrné hodnoty



Obr. 49 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4



Po 20 s

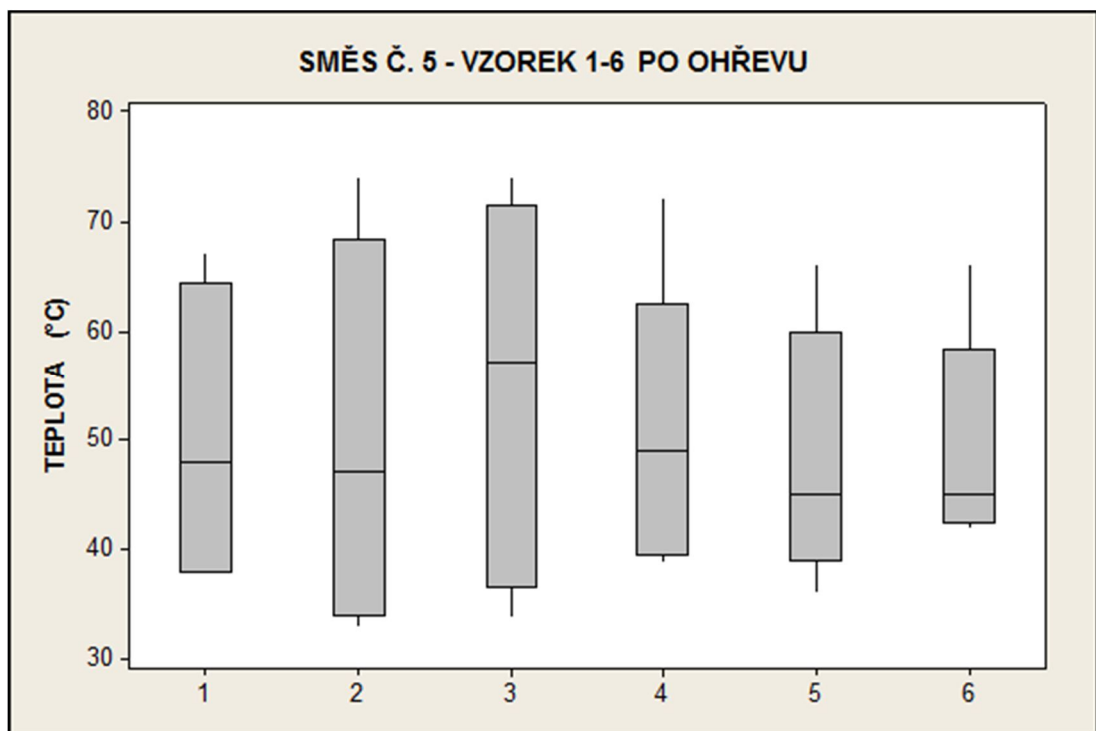
Po 40 s

Obr. 50 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 4

### 10.3.5 Kaučuková směs č. 5

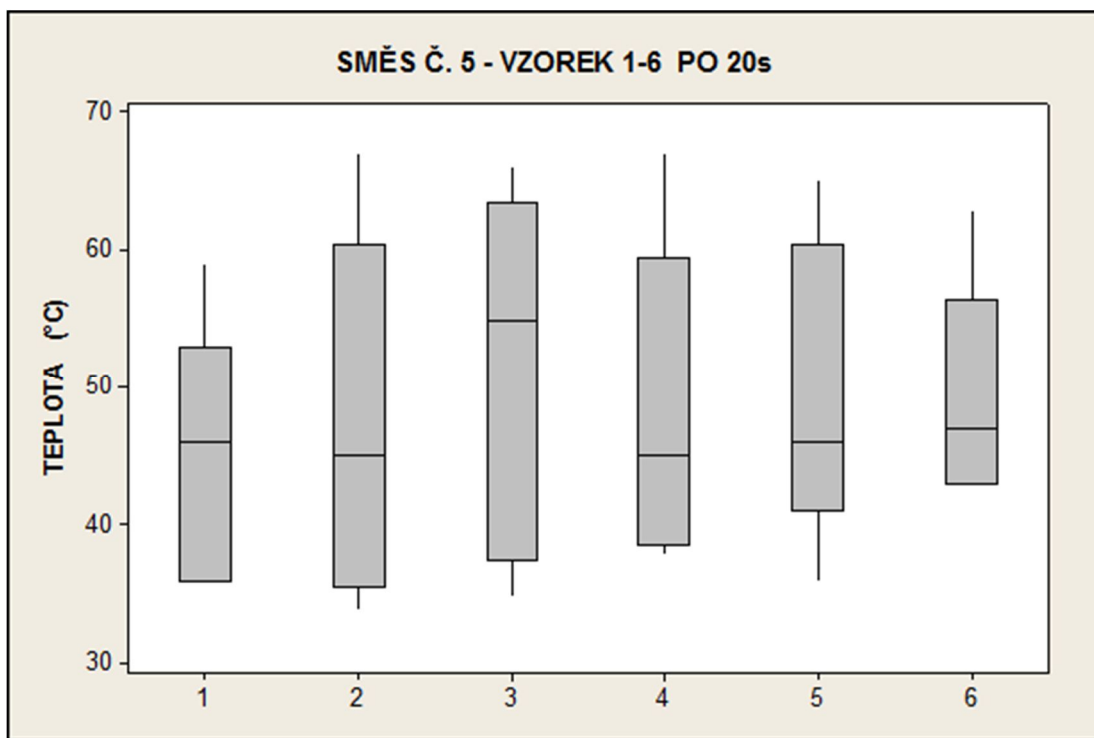
Tab. 9 Naměřené hodnoty – směs č. 5

Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talifu (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20s					Pozice měření - 40s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 5	1	14,2	20	20	62	38	38	48	67	46	36	36	47	59	49	34	36	46	57	31,5
	2	11,9	20	20	63	35	33	47	74	54	37	34	45	67	46	38	33	46	64	30,6
	3	12,1	20	20	74	39	34	57	69	66	40	35	55	61	63	38	33	52	54	29,8
	4	10,9	20	20	53	39	40	49	72	52	38	39	45	67	47	39	41	44	63	31,2
	5	11,8	20	20	54	45	36	42	66	56	46	36	46	65	51	42	35	45	66	29,7
	6	11,6	20	20	45	42	43	51	66	47	43	43	50	63	46	39	41	48	59	29,6
Průměr		12,08			50,7					48,46					46,5					30,4
Směrodatná odchylka		0,71			11,26					8,89					7,67					0,70

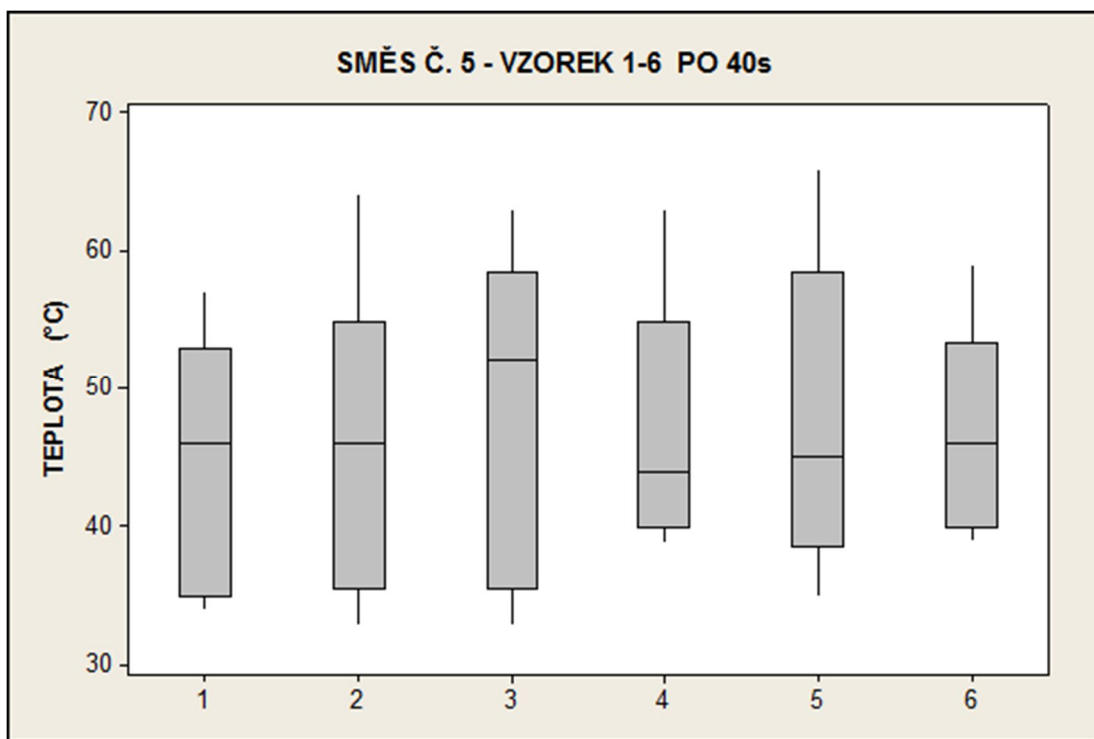


Obr. 51 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 po ohřevu

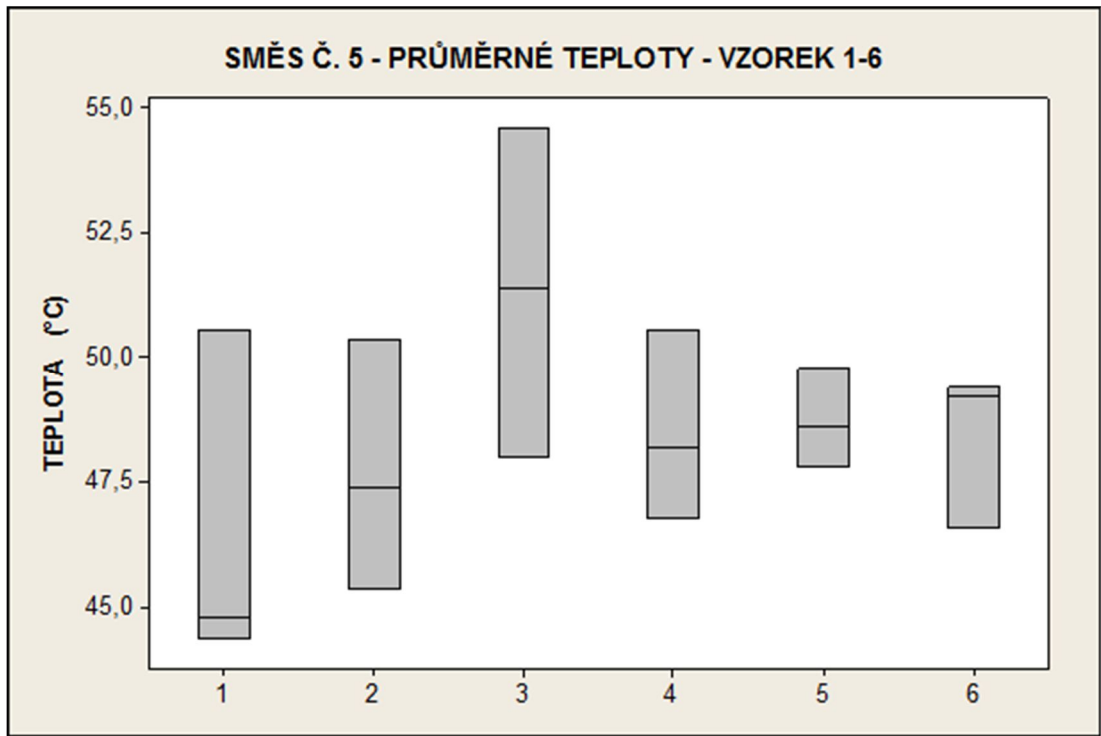




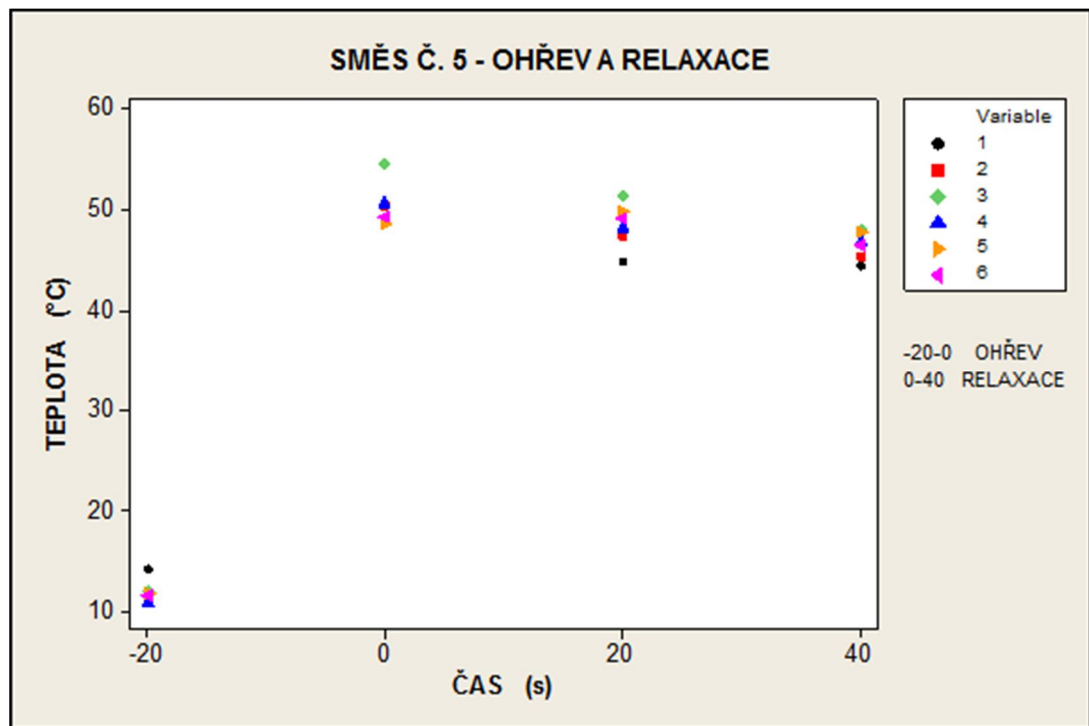
Obr. 52 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 po 20 s



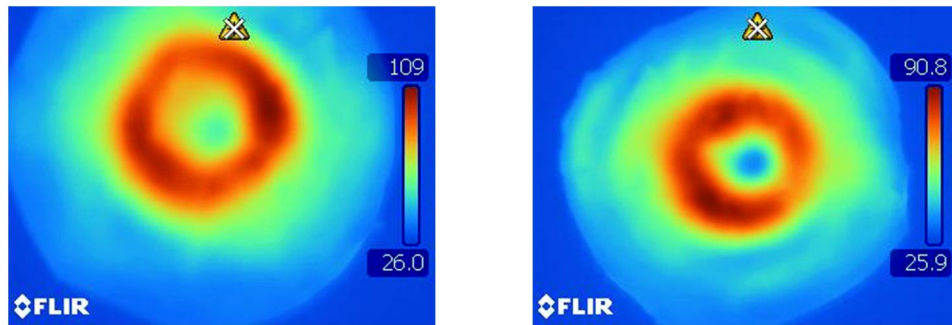
Obr. 53 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 po 40 s



Obr. 54 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 průměrné hodnoty



Obr. 55 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5



Po 20 s

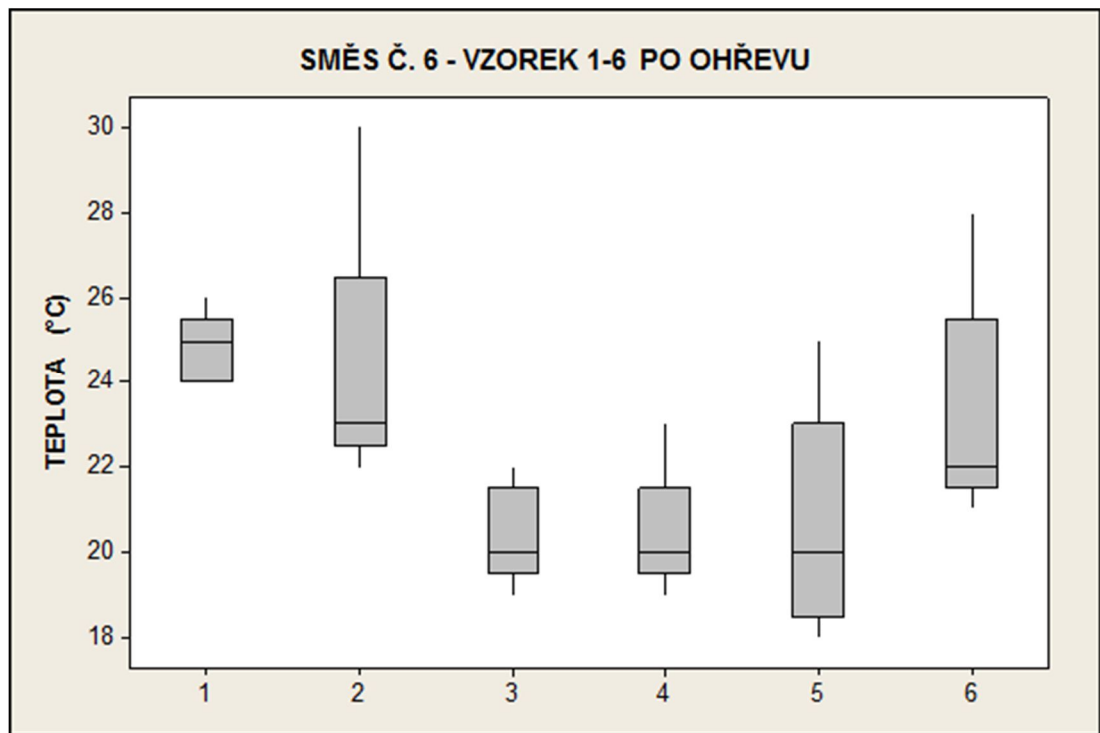
Po 40 s

Obr. 56 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 5

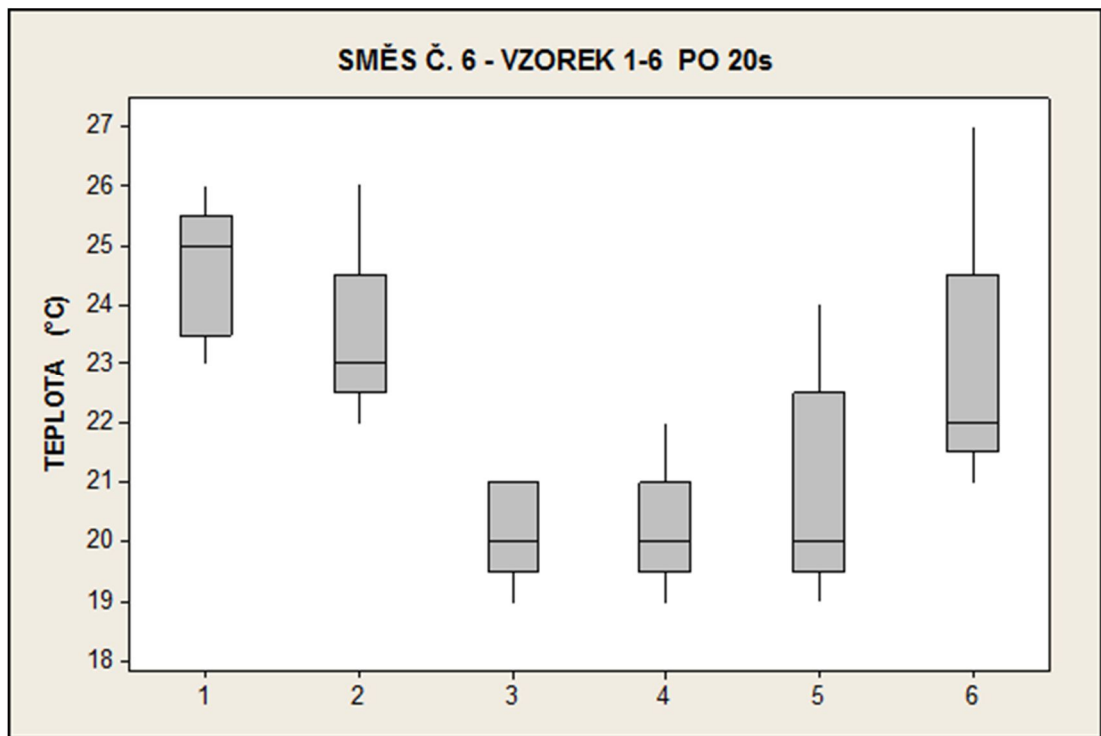
### 10.3.6 Kaučuková směs č. 6

Tab. 10 Naměřené hodnoty – směs č. 6

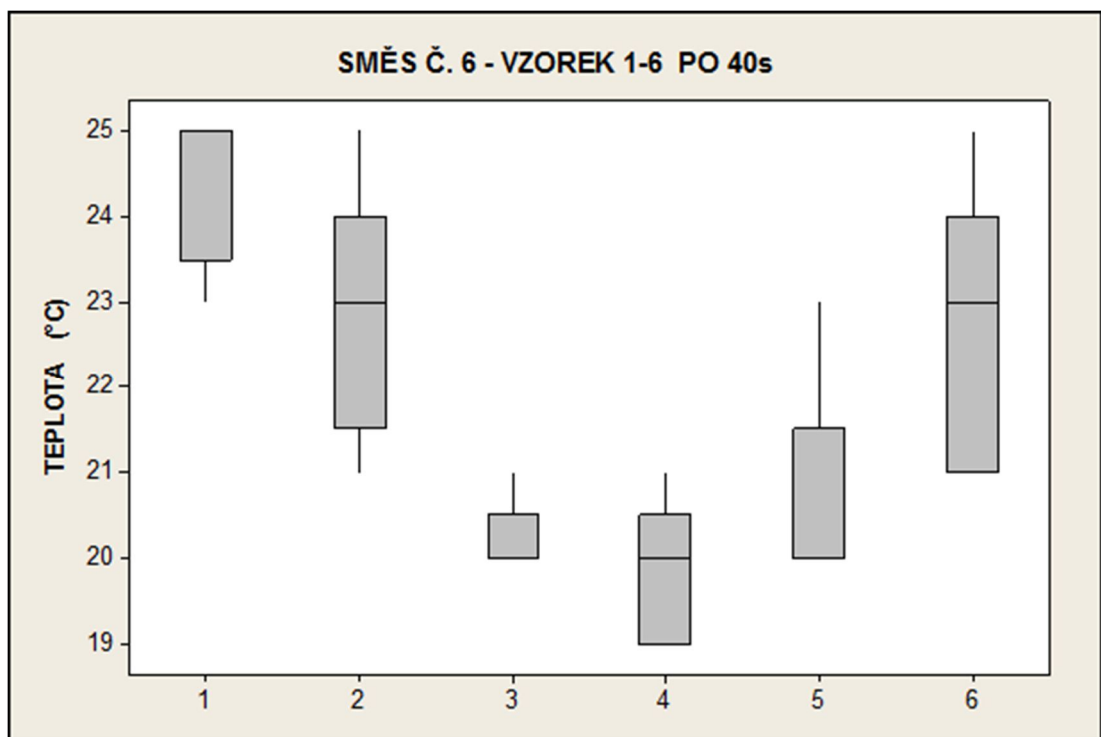
Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talifu (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20s					Pozice měření - 40s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 6	1	16,4	20	20	24	25	25	24	26	23	24	25	25	26	23	24	25	25	25	30,1
	2	13,3	20	20	23	23	23	22	30	23	23	23	22	26	22	23	23	21	25	30,8
	3	13,8	20	20	20	20	22	19	21	20	19	21	20	21	20	20	21	20	20	31,1
	4	11,8	20	20	20	20	23	19	20	20	20	22	19	20	19	19	21	20	20	31,4
	5	11	20	20	19	18	21	20	25	19	20	21	20	24	20	20	20	20	23	32,6
	6	12,3	20	20	23	21	22	22	28	22	21	22	22	27	21	21	23	23	25	32,4
Průměr		13,1			22,26					22					21,73					31,4
Směrodatná odchylka		1,40			2,17					1,80					1,76					0,73



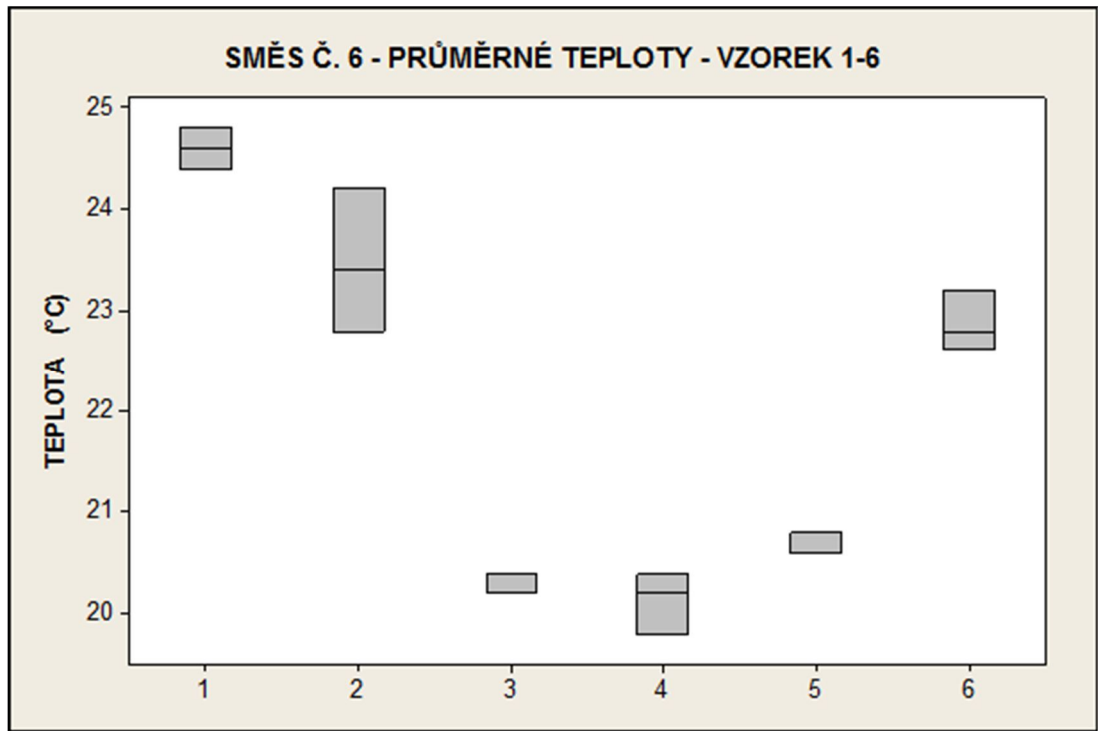
Obr. 57 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 po ohřevu



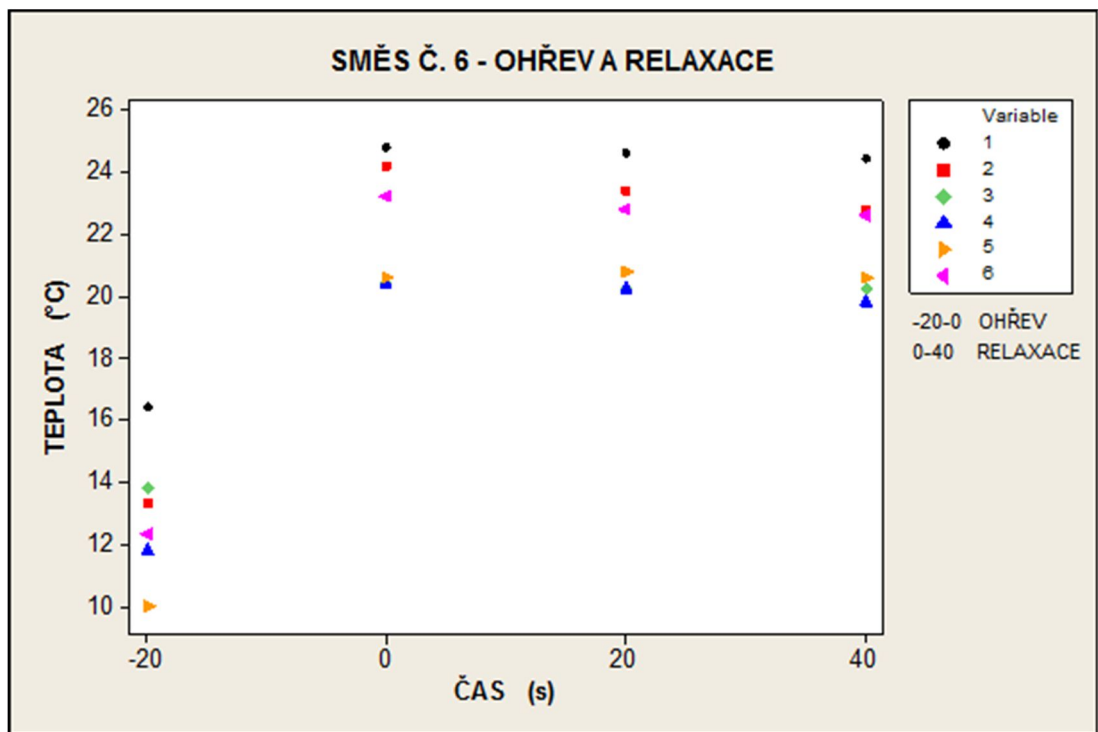
Obr. 58 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 po 20 s



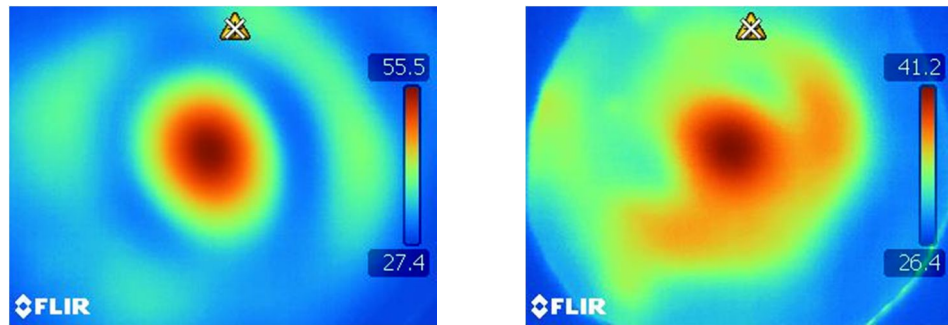
Obr. 59 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 po 40 s



Obr. 60 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 průměrné hodnoty



Obr. 61 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6



Po 20 s

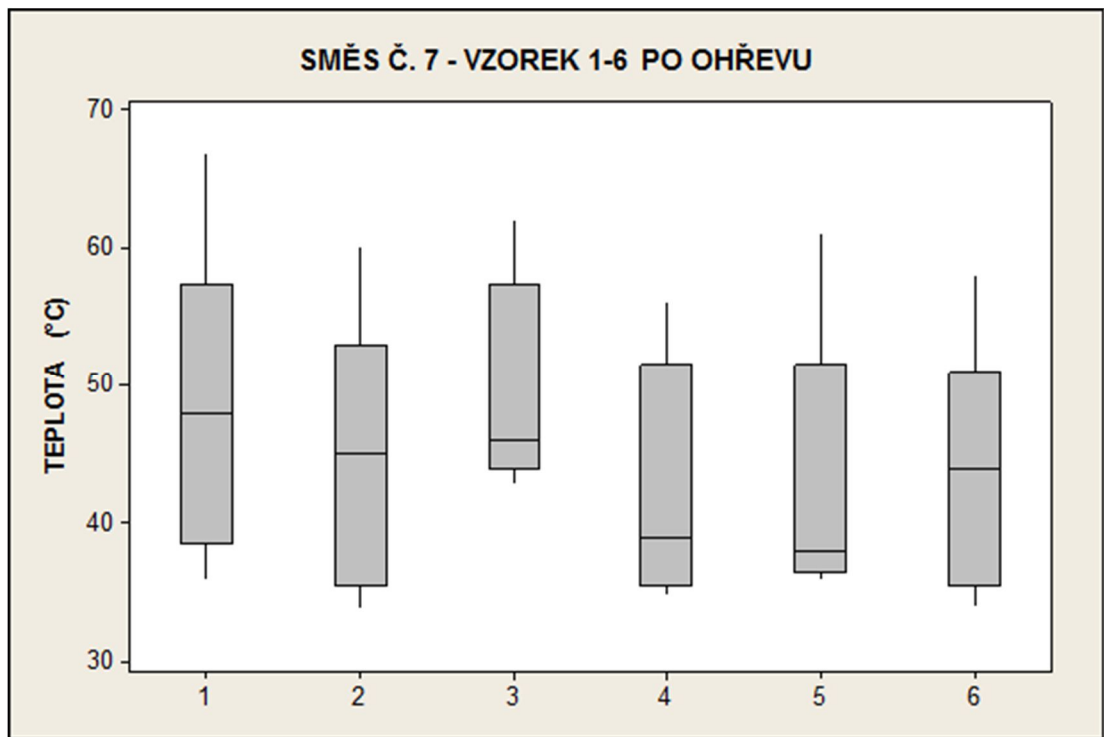
Po 40 s

Obr. 62 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 6

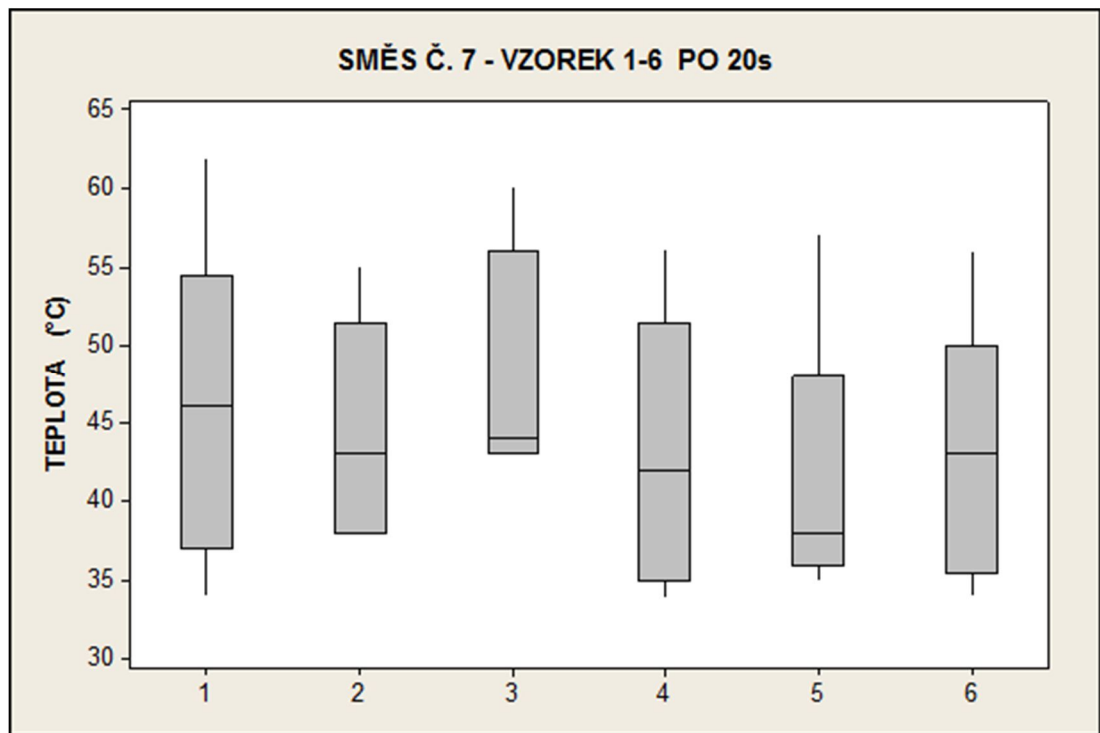
### 10.3.7 Kaučuková směs č. 7

Tab. 11 Naměřené hodnoty – směs č. 7

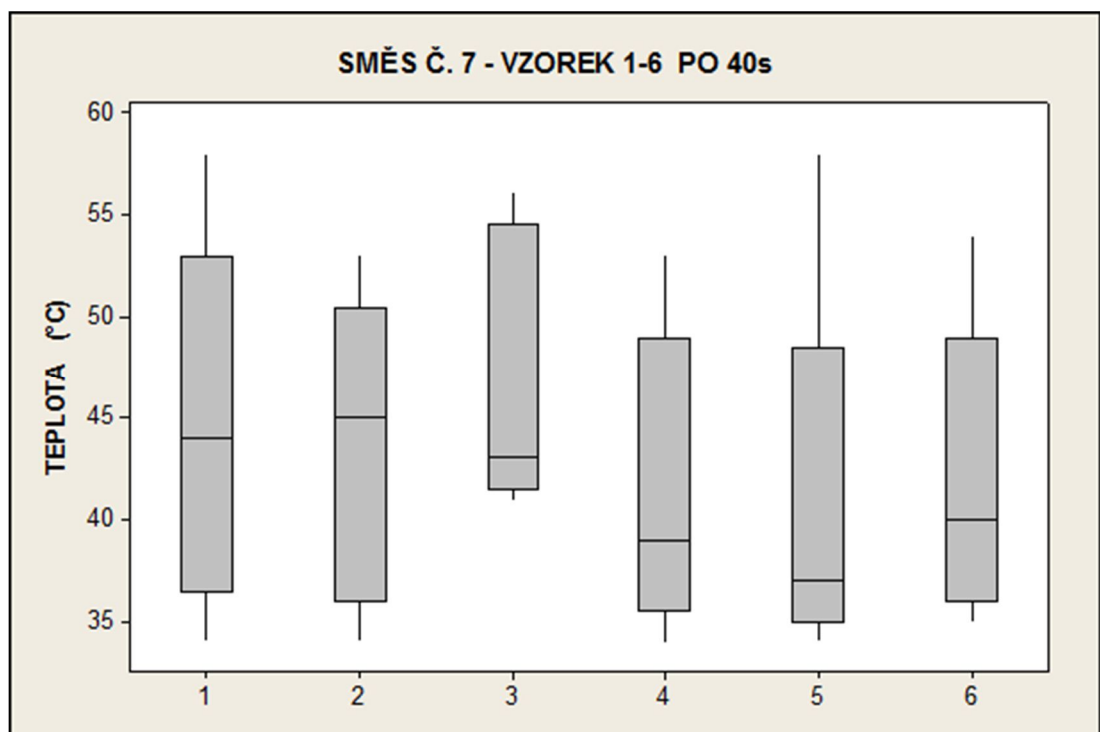
Směs	Vzorek	Vs. T (°C)	Výkon (%)	Doba ohřevu (s)	Teplota (°C)															Teplota talifu (°C)
					Pozice měření - 0s					Pozice měření - 20s					Pozice měření - 40s					
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Směs č. 7	1	12,3	20	20	48	36	41	48	67	46	34	40	47	62	44	34	39	48	58	28,4
	2	15,5	20	20	46	34	37	45	60	48	38	38	43	55	48	34	38	45	53	28,9
	3	14	20	20	53	46	45	43	62	52	44	43	43	60	53	43	41	42	56	29,7
	4	13,6	20	20	47	35	36	39	56	47	34	36	42	56	45	34	37	39	53	30,2
	5	13,7	20	20	36	37	38	42	61	38	37	35	39	57	37	36	34	39	58	29,8
	6	13,2	20	20	44	37	34	44	58	44	37	34	43	56	44	37	35	40	54	31,2
Průměr		13,72			45,16					44,26					43,26					29,7
Směrodatná odchylka		0,69			7,33					6,60					6,44					0,70



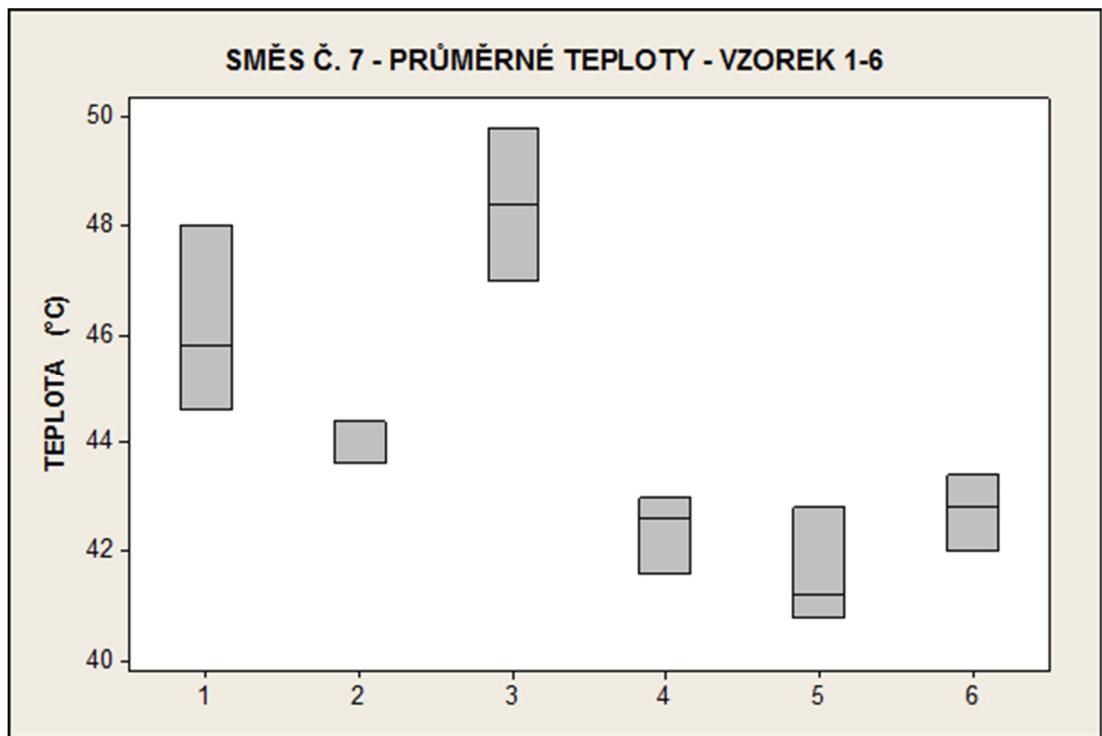
Obr. 63 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 po ohřevu



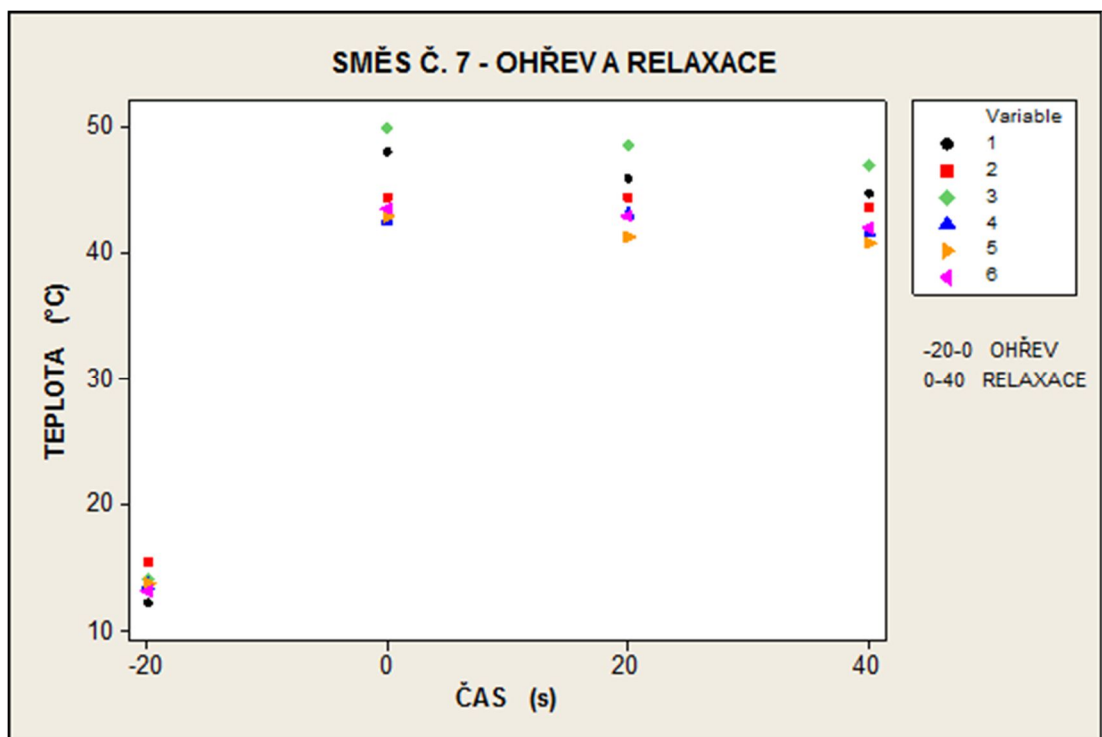
Obr. 64 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 po 20 s



Obr. 65 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 po 40 s

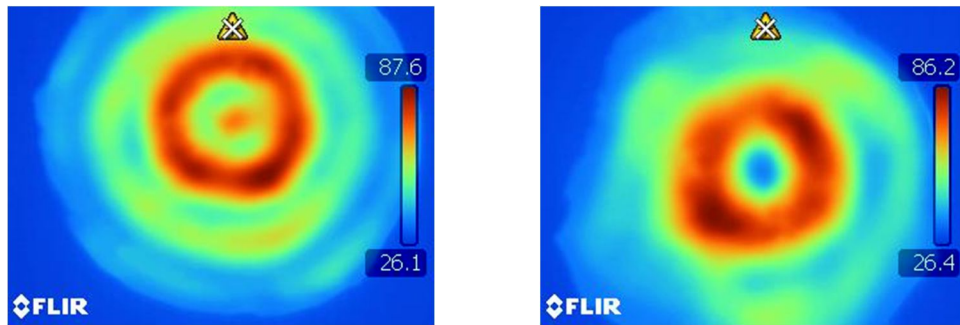


Obr. 66 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 průměrné hodnoty



Obr. 67 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7





Po 20 s

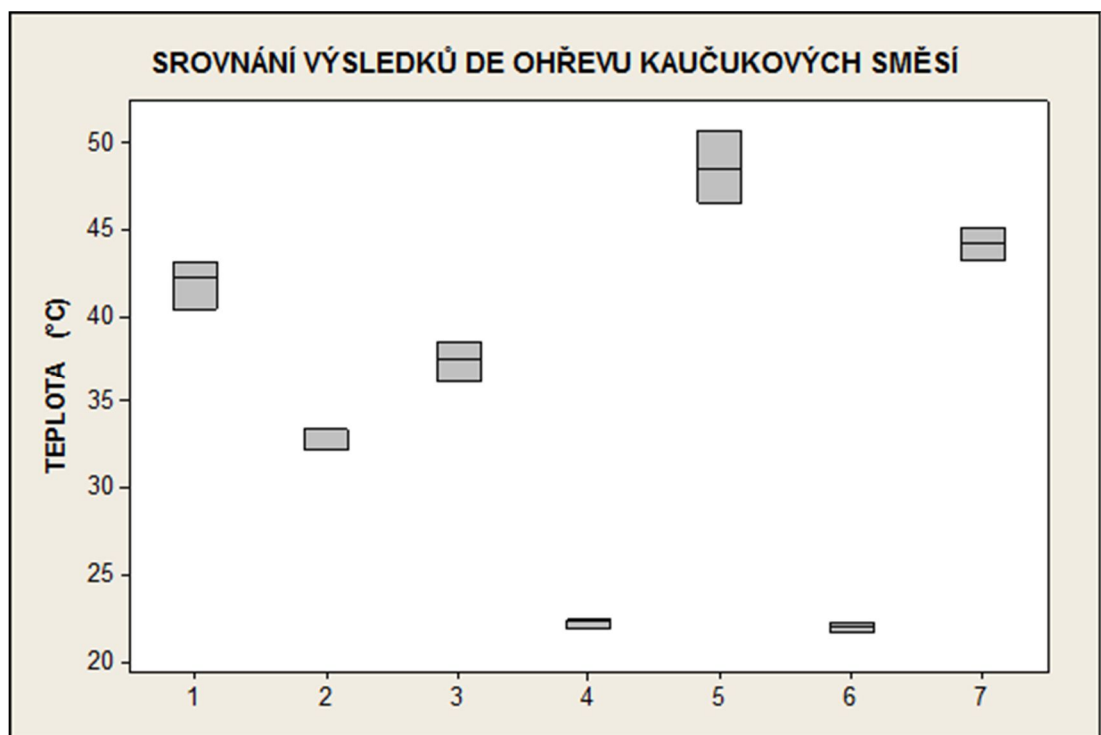
Po 40 s

Obr. 68 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 7

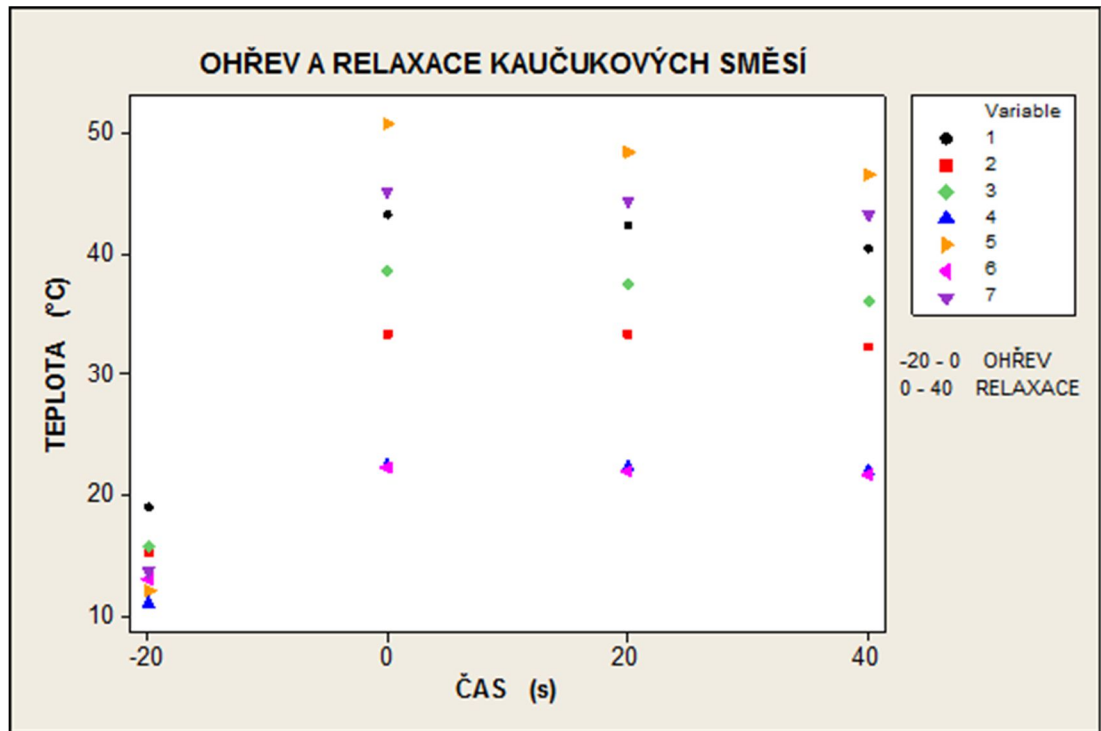
### 10.4 Souhrnné výsledky

Tab. 12 Průměrné hodnoty naměřených teplot – směs č. 1-7

(°C)	Směs č. 1	Směs č. 2	Směs č. 3	Směs č. 4	Směs č. 5	Směs č. 6	Směs č. 7	Průměr	Sm. odchylka
Vstupní teplota	18,96	15,20	15,70	11,08	12,08	13,10	13,71	14,26	2,02
Po ohřevu	43,16	33,40	38,50	22,43	50,70	22,26	45,16	36,52	8,99
Po 20 s	42,30	33,46	37,46	22,36	48,46	22,00	44,26	35,76	8,41
Po 40 s	40,46	32,26	36,10	21,96	46,50	21,73	43,26	34,61	7,97



Obr. 69 Grafické porovnání výsledků ohřevu – směs č. 1-7



Obr. 70 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1-7

## 11 DISKUSE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ

Cílem této práce bylo, na základě experimentů, prozkoumání reálného potenciálu u vybraných kaučukových směsí v oblasti dielektrického přehřevu před následným zpracováním. Za tímto účelem byly provedeny testy a měření, která odpovídala potřebným požadavkům.

Pro splnění účelu diplomové práce byly vybrány kaučukové směsi, a to ze dvou různých technologických operací a konečného využití. První skupina kaučukových směsí se zpracovává při nánosování textilního kordu, druhá skupina, halobutylových směsí, pak při výrobě vnitřní nepropustné vrstvy při výrobě pneumatik. Celkem bylo vyselektováno sedm kaučukových směsí, Z toho pět z oblasti nánosování a zbylé dvě z výroby VG. Směsi byly voleny tak, aby je bylo možné považovat za jisté reprezentanty obou skupin.

Prvním, základním experimentem bylo měření dielektrické konstanty – relativní permitivity. Hodnota relativní permitivity je důležitá pro posouzení vlivu mikrovlnného záření na daný subjekt a jejich vzájemné interakce. Měření probíhalo na speciálním přístroji, který je napojen na počítač vyhodnocující okamžité výstupy měření. Před vlastním měřením bylo nutné připravit zkušební tělíska. Aby výsledky měření nebyly zkresleny, musel být povrch zkušebních tělísek velmi rovný a hladký. Profilová tloušťka tělísek se pohybovala okolo 1 mm s rozměry 20 x 20 mm. Samotné měření sestávalo z vložení tělíska mezi dvě elektrody přístroje. Poté se do počítače zadaly požadované parametry měření, jako je síla materiálu a požadovaný způsob měření. Každá z kaučukových směsí byla několikrát přeměřena, a to ve frekvenčních pásmech 0,9 a 2,45 GHz. Výsledky poukázaly na jisté odlišnosti mezi kaučukovými směsmi pro nánosování a halobutylovými směsmi pro výrobu vnitřní gumy. U halobutylových směsí se hodnoty relativní permitivity pohybovaly v nižším rozmezí. To znamená, že vzájemná interakce mezi tímto druhem směsí a mikrovlnným zářením bude menší. Naopak u první skupiny kaučukových směsí, naměřené hodnoty poukázaly na značnou interakci s dielektrickým působením. Zásadní vliv na hodnoty relativní permitivity má hned několik aspektů. Je to především materiálové složení kaučukové směsi. V halobutylových směsích je totiž obsažen syntetický kaučuk, který je nepolární, a tedy reaguje odlišným způsobem, než například přírodní kaučuk, který je polární. Další podmínkou pro správné výsledky měření je homogenita kaučukových směsí. Každá kaučuková směs je disperzí zastoupených surovin s různými užitnými vlastnostmi, a každá taková

surovina má i jiné dielektrické parametry. Snaha o co možná nejlepší homogenitu kaučukové směsi, je klíčová.

Z důvodných předpokladů nehomogenního chování předeřáté kaučukové směsi bylo nutné provést měření a výpočet tepelné a teplotní vodivosti. Pro tyto účely byly nachystány zkušební tělíska kruhovitěho tvaru o průměru 90 mm a síle materiálu cca 2 mm. Vzorky byly vylisovány na vulkanizačním lise a vyseknuty na požadovaný průměr. Měření spočívalo v ochlazování měřeného mosazného válce přes měřený vzorek kaučukové směsi zatížené chladícím válcem. Snímala se snižující se teplota. Přes PC software je proces monitorován a data lze ukládat pro pozdější analýzu. Průběžně byly změřeny vzorky od každé kaučukové směsi a to celkem ve dvou opakováních. Dosažené hodnoty tepelné vodivosti byly použity pro výpočty teplotní vodivosti. Výsledky tohoto měření lze užitečně využít při navrhování konkrétního dielektrického zařízení. Na jejich základě je možné rozhodnout umístění a potřebný výkon zdroje mikrovlnného záření. Dle výsledků výpočtů vyplynulo, že teplotní vodivost, která vypovídá o charakteru teplotního pole a jeho chování v daném materiálu, je u kaučukových směsí (č. 1, 2, 3, 5, 7) v podstatě srovnatelná. U předeřátých kaučukových směsí je tedy možné předpokládat podobný teplotní vývoj. U halobutylových směsí (č. 4, 6) se tato veličina liší o celý řád. To znamená, že teplota se v takovém druhu kaučukové směsi rozkládá podstatně pomaleji. Z toho vyplývá, že při potenciálním předeřevu halobutylové směsi, pomocí dielektrického zařízení, bude třeba vynaložit mnohem více energie na dosažení požadované teploty. Je také pravděpodobné, že bude docházet k daleko pomalejšímu rozložení teploty u případných horkých zón v exponovaném materiálu, což se sebou může přinášet i další technologické, nebo procesní problémy. V celkovém pohledu, dle dosažených hodnot, lze usuzovat, že pomocí vhodného rozmístění zdrojů mikrovlnného záření, lze zajistit rovnoměrné rozložení teplotního pole.

Po provedení a vyhodnocení měření dielektrické konstanty a tepelné a teplotní vodivosti byl proveden experiment ohřevu kaučukových směsí pomocí mikrovlnného zařízení. Pro tento účel byly odebrány vzorky kaučukových směsí o přibližné hmotnosti 500 g. Do mikrovlnného zařízení se vzorky kaučukové směsi vkládaly postupně na dobu 20 s, a to při minimálním výkonu cca 200W. Teploty byly sledovány již od vstupu do mikrovlnné komory, dále bezprostředně po ohřevu. Z důvodu rozložení teploty se vzorky měřili ještě po 20 a 40 vteřinách. Zaznamenané hodnoty se zapisovali pro pozdější rozbor teplotního pole u jednotlivých kaučukových směsí.

Díky tomuto experimentu vyšla najevo rozdílná interakce jednotlivých kaučukových směsí s mikrovlnami. Výsledky jednoznačně prokazují vysoký potenciál kaučukových směsí č. 1, 2, 3, 5, a 7 pro předehřev, před následným zpracováním, pomocí dielektrické technologie. Nárůst teploty je velmi rychlý. S použitím minimálního výkonu bylo velmi snadné dosáhnout i běžných zpracovatelských teplot. Byly zde však patrné i situace, kdy docházelo k lokálnímu nárůstu teploty. K tomuto zjištění pomohla termovizní kamera Flir T335, která tyto lokace objevila. Na pořízených snímcích je zobrazena barevná stupnice odpovídající patřičnému teplotnímu rozsahu. Je zde vidět, že maximální teploty vysoce překračují průměrné hodnoty naměřené jak infračerveným snímačem Kecheng KC-180B-1, tak i digitálním teploměrem s vpichovou sondou Therm 2220-12. Dle mého názoru je to způsobeno provedením umístění přívodu mikrovlnného záření - vlnovodu, tedy uprostřed nad rotujícím talířem. Toto ostatně dokladují i pořízené snímky termovizní kamerou, kde se nejvyšší naměřené hodnoty teplot zobrazují v kruzích a více méně ve středové části posuzovaných vzorků kaučukové směsi. Při použití ve zpracovatelském provozu by se tento problém minimalizoval z důvodu kontinuálního procesu předehřevu. Zavedením kontinuálního tubusového dielektrického zařízení s vhodně rozmístěnými mikrovlnnými zdroji by dané záření rovnoměrně působilo po celé ploše procházejícího pásu kaučukové směsi. U halobutylových směsí byla interakce s mikrovlnami velmi malá. Halobutylové směsi z důvodu nepolarity kaučuku, s mikrovlnami reagovaly snížene. Toto se odrazilo na výstupní teplotě, která byla, oproti ostatním směsím, mnohem nižší. Za jisté zvýšení teploty byly zodpovědné polární složky, obsažené v dané směsi. Případný dielektrický předehřev takového druhu kaučukových směsí, by byl víceméně neefektivní.

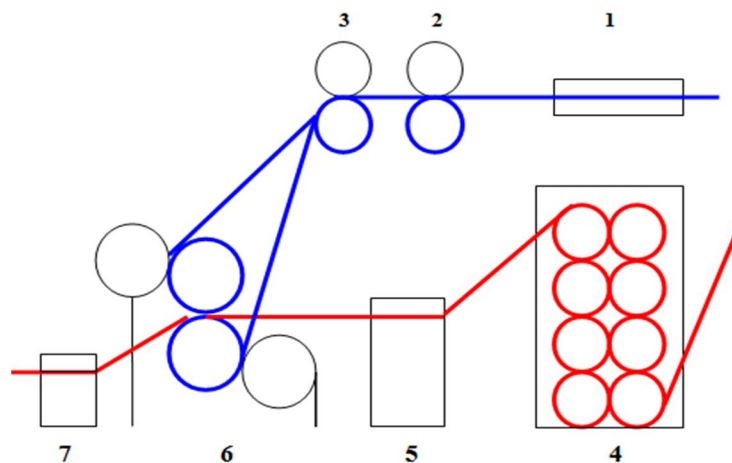
## 12 EKONOMICKÁ ROZVAHA

Pro zjištění ekonomického přínosu dielektrického předehřevu kaučukových směsí pro nánosování, je nezbytné porovnání s energetickou náročností u konvenčního způsobu přípravy těchto materiálů.

Běžným, doposud stále používaným, způsobem se procesní a zpracovatelská teplota kaučukové směsi, před dalším zpracováním, dosahuje pomocí šnekového vytlačovacího stroje. Používají se stroje s různými energetickými příkony, podle objemu zpracovávané směsi. Za vytlačovacím strojem se obvykle nachází homogenační a následně zásobovací dvouválec, kterým se reguluje plynulost dané výroby. Klasickým způsobem využití šnekového vytlačovacího stroje je zapojení do linky nánosování textilního kordu při výrobě pneumatik obr. 71.

Popis části nánosovací linky:

- 1 – Vytlačovací stroj
- 2 – Homogenační dvouválec
- 3 – Zásobovací dvouválec
- 4 – Chladicí zařízení
- 5 – Pokládání od vzdušňovacích nití
- 6 – Nánosovací čtyřválec
- 7 - Středící zařízení kordu



Obr. 71 Schéma toku materiálu při nánosování

Pro účely porovnání energetické náročnosti ohřevu kaučukové směsi, byly využity informace o energetické náročnosti použitých strojů a zařízení. Jako příklad jsou v tabulkách č. 13 a 14 uvedeny získané informace pro hlavní stroje.

Tab. 13 Získané informace o předpokládané spotřebě elektrické energie pro vytlačovací stroj

HOD	Šnekový vytlačovací stroj												Suma [kWh]
	Minuty - kWh												
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45	45 - 50	50 - 55	55 - 60	
0-1	122	118	124	122	122	120	125	126	124	116	126	124	122
1-2	119	126	128	126	118	116	122	122	121	121	122	121	121
2-3	125	125	122	122	122	121	119	114	114	113	115	119	119
3-4	116	125	121	88	84	90	83	85	80	86	77	84	93
4-5	88	88	113	20	16	16	14	17	16	30	168	174	63
5-6	125	184	149	173	172	168	166	164	163	164	163	168	163
6-7	168	170	174	186	187	185	190	176	179	164	172	20	164
7-8	77	138	136	114	131	132	133	132	130	132	131	131	126
8-9	131	132	132	132	133	134	132	133	134	132	133	133	133
9-10	134	134	138	138	142	145	145	119	146	118	134	146	137
10-11	144	142	140	139	142	142	142	122	91	120	121	120	130
11-12	126	127	127	132	131	127	127	127	127	130	128	127	128
12-13	126	89	132	133	131	131	128	130	128	128	125	131	126
13-14	126	142	178	160	164	160	162	162	161	160	160	161	158
14-15	168	168	169	168	168	164	168	124	154	169	169	169	163
15-16	166	143	169	163	170	170	169	126	148	161	166	160	159
16-17	160	161	158	161	160	156	161	155	150	200	120	154	158
17-18	154	154	148	154	124	152	154	154	152	114	152	149	147
18-19	152	150	151	150	151	122	152	151	152	151	155	119	147
19-20	154	161	163	166	166	157	150	88	139	138	137	133	146
20-21	92	137	133	132	131	131	132	126	100	124	122	85	120
21-22	17	97	163	120	155	150	149	151	134	151	143	151	132
22-23	150	152	143	154	152	140	150	156	43	17	64	85	117
23-24	109	119	127	124	124	115	125	127	127	130	126	116	122
Mn	17	88	113	20	16	16	14	17	16	17	64	20	63
Max	168	184	178	186	187	185	190	176	179	200	172	174	164
Suma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3197

V tabulce č. 14 je uvedena orientační spotřeba elektrické energie v rámci deseti dní. Jsou zde patrné procesní i technologické přestávky, ale i celkové odstávky linky. V průměru se spotřeba vytlačovacího stroje pohybuje okolo cca 3 000 kWh za jeden pracovní den (24 hodin).

Dielektrické zařízení vyhovující danému účelu musí kapacitně pokrýt stejně velký výrobní objem za stejný procesní čas. Toto zařízení musí být kontinuální, z důvodu plynulosti výroby. Z materiálového toku kaučukové směsi výrobní linkou byl zjištěn požadavek zásobovacího zařízení s výkonem 100 kg/ min, tj. při rychlosti pohybu dopravníku 5,5 m/s, při šířce pásu kaučukové směsi cca 800 mm. Pro ohřev kaučukové směsi takového objemu je nutno dodat určité množství tepla. Tímto se dále budeme zabývat v kapitole č. 12.2.

Tab. 14 Získané informace o předpokládané spotřebě elektrické energie pro vytlačovací stroj

HOD	Šnekový vytlačovací stroj										Celkem
	Dny [kWh]										
	Pá	So	Ne	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0-1	127	128	130	131	85	125	122	124	126	112	1210
1-2	115	129	129	129	114	128	122	124	129	129	1247
2-3	99	131	130	132	131	79	119	129	125	125	1201
3-4	93	109	97	110	129	39	93	116	108	128	1020
4-5	37	68	46	31	89	125	63	111	66	126	762
5-6	130	135	126	18	134	117	163	90	149	107	1169
6-7	137	141	131	19	134	97	164	133	100	128	1184
7-8	134	133	150	19	132	97	126	134	132	128	1184
8-9	151	136	155	19	103	17	133	146	133	7	999
9-10	156	137	137	19	17	96	137	135	138	134	1105
10-11	89	141	136	19	14	135	130	135	132	141	1073
11-12	123	176	137	19	9	133	128	130	128	131	1113
12-13	53	175	71	19	25	148	126	18	125	80	839
13-14	18	157	18	19	119	158	158	18	122	8	795
14-15	19	151	19	19	120	163	163	19	154	9	835
15-16	19	150	19	19	142	172	159	19	166	9	873
16-17	19	156	19	19	103	148	158	19	144	9	793
17-18	19	156	19	19	74	146	147	19	148	9	754
18-19	19	133	19	19	144	151	147	19	144	9	803
19-20	19	132	19	19	135	140	146	19	93	9	731
20-21	27	127	22	23	125	110	120	19	123	13	709
21-22	129	127	137	130	128	116	132	120	119	130	1268
22-23	128	127	135	150	107	122	117	125	113	130	1255
23-0	125	131	114	127	115	123	122	129	126	133	1245
Min	18	68	18	18	9	17	63	18	66	7	709
Max	156	176	155	150	144	172	164	146	166	141	1268
Suma	1 981	3 287	2 113	1 246	2 428	2 884	3 197	2 050	3 042	1 941	24 170
Průměr	83	137	88	52	101	120	133	85	127	81	1 007

## 12.1 Výpočet množství dodaného tepla při experimentu

Pro zjištění energetické náročnosti bylo nutné vypočítat podíl dodaného tepla při experimentálním dielektrickém ohřevu.

Vzorec výpočtu:

$$Q = c_p \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \quad (11)$$

Kde

Q – množství dodaného tepla (J)

$c_p$  – měrná tepelná kapacita (J/kg °C)

m – hmotnost materiálu (kg)

t – teplota (°C)

V tabulce č. 15 jsou uvedeny výsledky výpočtů množství dodaného tepla při laboratorních testech ohřevu kaučukových směsí pomocí dielektrického zařízení a odpovídající spotřeba elektrické energie.



Tab. 15 Vypočtené hodnoty dodaného tepla a spotřebované energie

Směs č.	m (kg)	$c_p$ (kJ/kg °C)	$t_1$ (°C)	$t_2$ (°C)	Q (kJ)	Energie (kWh)
1	0,458	1,43	18,96	43,16	15,850	0,00440
2	0,363	1,43	15,2	33,4	9,447	0,00262
3	0,619	1,43	15,7	38,5	20,182	0,00561
4	0,354	1,43	11,08	22,43	5,746	0,00160
5	0,323	1,43	12,08	50,7	17,838	0,00496
6	0,369	1,43	13,1	22,26	4,833	0,00134
7	0,383	1,43	13,71	45,16	17,225	0,00478

## 12.2 Výpočet dodaného tepla do stávající konvenční soustavy

Vezmeme-li v úvahu parametry procesních podmínek, zmíněné v kapitole č. 12, při konvenčním předehřevu kaučukové směsi, tak dodané teplo je potom, při zvýšení teploty materiálu o 50 °C:

$$Q = c_p \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q = 1,43 \cdot 105,4 \cdot 50$$

$$Q = 7537,3 \text{ kJ} / \text{min} .$$

$$Q = 452237500 \text{ J} / \text{hod} .$$

Vynaložená práce za hodinu je pak:

$$A = 200 \cdot 1000 \cdot 3600$$

$$A = 720000000 \text{ J}$$

Účinnost vytlačovacího stroje dostaneme ze vztahu:

(12)

$$\eta = Q / A$$

$$\eta = 452237500 / 720000000$$

$$\eta = 0,6281 = 62,81\%$$

Výpočet potřebného množství zdrojů mikrovlnného záření do navrhovaného DE zařízení, které materiálu dodá stejné množství tepla je potom:

(13)

$$i = P_0 \cdot \eta$$

$$i = 200 \cdot 0,6281$$

$$i = 125,62ks$$

Pro zajištění dodání potřebného množství tepla do odpovídajícího objemu kaučukové směsi je zapotřebí 126 kusů zdrojů mikrovlnného záření o výkonu 1kW.

Vzhledem k současnému umístění výrobní linky a její morální a technické novosti, se o realizaci v dohledné době neuvažuje.

Výhledově lze uvažovat o začlenění této technologie pro teplé zásobování vytlačovacích strojů.

## ZÁVĚR

Smyslem této diplomové práce byla snaha o úsporu energie při zpracování kaučukové směsi, což je sama o sobě velmi energeticky náročná oblast výrobního průmyslu. Data získaná z provedených laboratorních testů a měření, odpovídala našim představám. Ohřev odebraných vzorků kaučukových směsí probíhal velmi efektivně. Veškerá měření potvrzovala značný potenciál pro interakci s mikrovlnami. Avšak při přepočtu výkonu na velkoobjemovou výrobu se tyto očekávání nepotvrdily. Energetická náročnost, při zpracovávání velkého množství materiálu, značně narůstá. I přes to je celková úspora energie cca 40 %. Z pohledu výsledků této diplomové práce, lze usuzovat, že dielektrický předehřev kaučukových směsí před následnými technologickými operacemi je vhodnou a energeticky zajímavou alternativou ke konvenčnímu způsobu zpracování pomocí mechanické energie. Musíme však zohlednit i celkové náklady na pořízení dielektrického zařízení s potřebným výkonem, které nejsou nijak malé. Návratnost této investice je závislá na objemu výroby a celkovém využití. Přínosy dielektrického způsobu ohřevu kaučukové směsi jsou nesporné a můžeme je vidět i v jiných aspektech. Pracoviště vybavené touto technologií bude jistě splňovat i jiné, důležité požadavky, např. ergonomii rozvržení pracoviště. Nynější zpracovatelské stroje jsou známy svou velikostí. V případě dielektrického zařízení se jedná i úsporu důležitého pracovního prostoru. V oblasti bezpečnosti práce a hygienických předpisů, se s běžnými vytlačovacími stroji potýkáme s vysokou hlučností. Při využívání mikrovlnného zařízení žádná hlučnost, která by byla v rozporu s hygienickými normami, nevzniká. Dielektrická zařízení jistě mají svá pozitiva. Je však otázkou, pro jaké účely jsou tato zařízení rentabilní. Při zakládání nového výrobního provozu je dielektrický předehřev kaučukové směsi jistě zajímavou variantou.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. :Zpracovatelské procesy gumárenské -vydání 2016, přednášky, elektronická podpora UTB FT UVI
- [2] FRANTA, Ivan. : Gumárenská technologie II., Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. SNTL 1969. 537 str.
- [3] POSPĚCH, David. :Vliv procesních podmínek na DE ohřev kaučuku, požární rizika. BP 2014, UTB FT Zlín.
- [4] ŠKUTEK, Bohumil.: Sezónní stabilita vlastností kaučukových směsí. DP 2015, UTB FT Zlín.
- [5] ROTHEMEYER,F. – SOMMER, F. :Kautshuktechnologie. Munchen Carl Hanser Verlag 2006
- [6] BERTEAUD, A. J., Gummy Fasern Kunststoffe, 52, 1999, č. 3 s. 172
- [7] CEJPKOVÁ, Libuše. : Vliv MV ohřevu gumárenské směsi na fyzikální a chemické vlastnosti vulkanizátu. DP 2005, UTB FT Zlín
- [8] Poznatky a zápisy z přednášek předmětu: *Procesní inženýrství II.*
- [9] KARTOUSEK, Jan.: Studie rozložení teplotních polí v dielektricky ohřívaných kaučucích. DP 2008, UTB Zlín

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$f$  - frekvence mikrovlnného pole (2450 MHz),

$\epsilon'$  - permitivita vakua, ( $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ ),

$\epsilon''$  - imaginární část komplexní relativní permitivity,

$E$  - intenzita elektrického pole uvnitř materiálu (V/m),

$V$  – objem materiálu ( $\text{m}^3$ )

$\lambda_0$  – vlnová délka ve vakuu (m)

$P_0$  - příkon (W)

$Q$  - teplo (J)

$\eta$  – účinnost (%)

$\Delta T$  - změna teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

$m$  – hmotnost (kg)

$t$  - čas (s)

$K$  - tepelná kapacita měřícího válečku ( $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$S$  - plocha vzorku ( $\text{m}^2$ )

$\lambda$  - tepelná vodivost ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$t$  - snímaná teplota měřícího válečku ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\delta$  - tloušťka vzorku (m)

$B$  - koeficient tepelných ztrát ( $\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$C_p$  - střední měrné teplo při konstantním tlaku ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$\rho$  - hustota ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$a$  – teplotní vodivost ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\alpha$  - je koeficient přestupu tepla ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$S$  - plocha, na níž dochází ke ztrátám ( $\text{m}^2$ )

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

*Obr. 1 Požadavky na kaučukové směsi při výrobě osobních pláštíků*

*Obr. 2 Stáčení latexové hmoty*

*Obr. 3 Základní aktivní plnivo kaučukových směsí-saze*

*Obr. 4 Velikost částic plniv a jejich vliv na kaučukovou směs*

*Obr. 5 Vlastnosti aktivních plniv v osobních pláštích*

*Obr. 6 Laboratorní dvouválec – orientační foto*

*Obr. 7 Laboratorní hydraulický lis*

*Obr. 8 Rozložení teploty na lisovacích plotnách*

*Obr. 9 Vytažená fólie kaučukové směsi*

*Obr. 10 Vzorky kaučukových směsí před lisováním*

*Obr. 11 Vylisované vzorky kaučukových směsí*

*Obr. 12 Měřicí zařízení Agilent 16453 A*

*Obr. 13 Schéma zařízení pro měření tepelné vodivosti*

*Obr. 14 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 1*

*Obr. 15 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 2*

*Obr. 16 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 3*

*Obr. 17 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 4*

*Obr. 18 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 5*

*Obr. 19 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 6*

*Obr. 20 Závislost teploty na čase u kaučukové směsi č. 7*

*Obr. 21 Dielektrické laboratorní zařízení Profesor MTE-235 BX*

*Obr. 22 Digitální bezdotykový teploměr*

*Obr. 23 Vpichový digitální teploměr*

*Obr. 24 Termovizní kamera Flir T335*

*Obr. 25 Zkouška spolehlivosti měřících přístrojů*

- Obr. 26 Orientační mapa pozic měření*
- Obr. 27 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 po ohřevu*
- Obr. 28 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 po 20 s*
- Obr. 29 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 po 40 s*
- Obr. 30 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1 průměrné teploty*
- Obr. 31 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1*
- Obr. 32 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 1*
- Obr. 33 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 po ohřevu*
- Obr. 34 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 po 20 s*
- Obr. 35 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 po 40 s*
- Obr. 36 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2 průměrné hodnoty*
- Obr. 37 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 2*
- Obr. 38 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 2*
- Obr. 39 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 po ohřevu*
- Obr. 40 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 po 20 s*
- Obr. 41 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 po 40 s*
- Obr. 42 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3 průměrné hodnoty*
- Obr. 43 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 3*
- Obr. 44 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 3*
- Obr. 45 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 po ohřevu*
- Obr. 46 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 po 20 s*
- Obr. 47 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 po 40 s*
- Obr. 48 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4 průměrné hodnoty*
- Obr. 49 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 4*
- Obr. 50 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 4*
- Obr. 51 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 po ohřevu*

- Obr. 52 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 po 20 s*
- Obr. 53 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 po 40 s*
- Obr. 54 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5 průměrné hodnoty*
- Obr. 55 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 5*
- Obr. 56 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 5*
- Obr. 57 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 po ohřevu*
- Obr. 58 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 po 20 s*
- Obr. 59 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 po 40 s*
- Obr. 60 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6 průměrné hodnoty*
- Obr. 61 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 6*
- Obr. 62 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 6*
- Obr. 63 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 po ohřevu*
- Obr. 64 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 po 20 s*
- Obr. 65 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 po 40 s*
- Obr. 66 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7 průměrné hodnoty*
- Obr. 67 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 7*
- Obr. 68 Snímky pořízené termovizní kamerou – směs č. 7*
- Obr. 69 Grafické porovnání výsledků ohřevu – směs č. 1-7*
- Obr. 70 Grafické znázornění naměřených hodnot – směs č. 1-7*
- Obr. 71 Schéma toku materiálu při nánosování*



**SEZNAM TABULEK**

*Tab. 1 Komponenty pro výrobu kaučukových směsí č. 1,2,3,5,7*

*Tab. 2 Komponenty pro výrobu kaučukových směsí č. 4, 6*

*Tab. 3 Hodnoty relativní permitivity kaučukových směsí*

*Tab. 4 Hodnoty tepelné a teplotní vodivosti*

*Tab. 5 Naměřené hodnoty – směs č. 1*

*Tab. 6 Naměřené hodnoty – směs č. 2*

*Tab. 7 Naměřené hodnoty – směs č. 3*

*Tab. 8 Naměřené hodnoty – směs č. 4*

*Tab. 9 Naměřené hodnoty – směs č. 5*

*Tab. 10 Naměřené hodnoty – směs č. 6*

*Tab. 11 Naměřené hodnoty – směs č. 7*

*Tab. 12 Průměrné hodnoty naměřených teplot – směs č. 1-7*

*Tab. 13 Získané informace o předpokládané spotřebě elektrické energie pro vytlačovací stroj*

*Tab. 14 Získané informace o předpokládané spotřebě elektrické energie pro vytlačovací stroj*

*Tab. 15 Vypočtené hodnoty dodaného tepla a spotřebované energie*