

# Úprava košiloviny pomocí materiálů s fázovou změnou

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B3107 Textil

*Studijní obor:*

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

*Autor práce:*

**Stanislav Rydval**

*Vedoucí práce:*

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství



# Shirting finishing by Phase Change Materials

## Bachelor thesis

*Study programme:* B3107 Textile  
*Study branch:* Textile technologies, materials and nanomaterials

*Author:* **Stanislav Rydval**  
*Supervisor:* prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.  
Department of material engineering



## Zadání bakalářské práce

# Úprava košiloviny pomocí materiálů s fázovou změnou

*Jméno a příjmení:* **Stanislav Rydval**  
*Osobní číslo:* T16000331  
*Studijní program:* B3107 Textil  
*Studijní obor:* Textilní technologie, materiály a nanomateriály  
*Zadávající katedra:* Katedra technologií a struktur  
*Akademický rok:* **2018/2019**

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši na téma materiálů s fázovou změnou (Phase Change Materials, PCM) v textilních aplikacích.
2. Komerčně dostupné PCM aplikujte v laboratorních podmínkách na vhodně zvolenou košilovinu, použijte metodu klocování.
3. Pokuste se metodu nanášení PCM co nejvíce přiblížit k provozní technologii, například volbou vhodně zvolených postupů doúpravy košiloviny.
4. Pomocí objektivních i subjektivních metod sledujte změny vlastností košiloviny způsobené PCM, zaměřte se na sledování termických vlastností, pokuste se navrhnout vlastní experimentální metody.
5. Diskutujte experimentální výsledky s ohledem na možné využití PCM v oblasti košilovin.

*Rozsah grafických prací:* dle potřeby  
*Rozsah pracovní zprávy:* cca 40 stran  
*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická  
*Jazyk práce:* Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] RŮŽIČKA, Jaroslav a kolektiv. Technologie předúprav, finálních a speciálních úprav textilních materiálů. VŠCHT Pardubice, 1985. ISBN 55-718-84.  
[2] ROSHAN Paul. Functional Finishes for Textiles – Improving Comfort, Performance and Protection. Woodhead Publishing, 2015. ISBN 978-0-85709-839-9.

*Vedoucí práce:* prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.  
Katedra materiálového  
inženýrství

*Datum zadání práce:* 15. listopadu 2018  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 15. května 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka

L.S.

Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. dubna 2019



## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS/STAG se shodují.

29. prosince 2019

Stanislav Rydval



## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Otakaru Petráčkovi za to, že mi umožnil studium a mohl jsem pro účely BP používat prostředky a vybavení firmy Mileta, a.s., a za významnou podporu při studiu také Ing. Anně Turkové a Ing. Karlu Jelínkovi.

Dále chci poděkovat Ing. Drahomíru Dvorskému, CSc., za možnost využít laboratoře firmy Inotex, s.r.o. pro laboratorní aplikaci produktu a paní Žanetě Vítnerové, která mě při tom provázela.

Zároveň děkuji kolegům z úpravny za pomoc při průmyslové aplikaci produktu a Ing. Tomáši Sacherovi z firmy Rudolf Chemie Tschechien, s.r.o., za poskytnutí produktu a výraznou technickou podporu.

Velký dík patří prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D., za to, že se mé bakalářské práce ujal, za jeho čas, cenné rady a náměty.

V neposlední řadě děkuji svým blízkým, za jejich obrovskou trpělivost, která mi byla při studiu oporou.



## Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá ověřením možnosti použití prostředků s fázovou změnou (PCM) při výrobě košilovin.

Zaměřuje se zejména na využití těchto prostředků v rámci finálních úprav, týkajících se fyziologického komfortu. Zjišťuje, zda existuje potenciál k dosažení měřitelných a pocitově akceptovatelných výsledků, kterými by se dalo zvýšení fyziologického komfortu vyjádřit.

Experimentální část je rozdělena na aplikaci PCM v laboratoři, a na základě jejích výsledků nanesení těchto prostředků na vybranou košilovinu v běžných průmyslových podmínkách.

Závěrem vyhodnocuje vliv PCM na vlastnosti textilie a jejich využitelnost v reálných podmínkách technologií úprav tkaných textilií.

## Klíčová slova

Košilovina

Materiály s fázovou změnou

Klocování

Diferenciální skenovací kalorimetrie

Fyziologický komfort



## Annotation

This bachelor thesis deals with the verification of possibility of using phase change materials (PCM) in shirting production.

It mainly focuses on PCM application during the final treatments, concerning physiological comfort. It determines if there is a potential to achieve measurable and emotionally acceptable results which would be possible to express the improvement of physiological comfort with.

The experimental part is divided into application of PCM in laboratory, and on basis of its results, application of these agents on selected shirting fabric in regular industrial conditions.

Finally, it evaluates the influence of PCM on fabric features and their using by the real treatment technologies of woven fabrics.

## Key words

Shirting

Phase change materials

Padding

Differential Scanning Calorimetry

Physiological comfort



## OBSAH

Zásady pro vypracování:.....	3
Seznam odborné literatury:.....	4
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>13</b>
<b>1. REŠERŠNÍ ČÁST .....</b>	<b>14</b>
1.1 <i>Základní použité textilní pojmy .....</i>	<i>14</i>
1.1.1 Značení textilních vláken.....	14
1.1.2 Jemnost.....	14
1.1.3 Tkanina .....	15
1.1.4 Košilovina .....	15
1.1.5 Fyziologický komfort .....	16
1.1.6 Klocování.....	16
1.1.7 Termofixace .....	17
1.1.8 Sanforizace.....	17
1.1.9 Kalandrování .....	17
1.2 <i>Materiály s fázovou změnou (PCM) .....</i>	<i>17</i>
1.2.1 Hlavní požadavky na vlastnosti PCM.....	19
1.2.1.1 Fyzikální.....	19
1.2.1.2 Chemické.....	19
1.2.1.3 Ekonomické.....	20
1.2.2 Rozdělení PCM .....	20
1.2.2.1 Anorganické – hydratované anorganické soli.....	20
1.2.2.2 Organické uhlovodíky .....	20
1.2.3 Výhody PCM [11] .....	22
1.2.4 Nevýhody PCM [11] .....	22
1.2.5 PCM v textilních aplikacích .....	22
1.2.6 Mikrokapsle s PCM .....	25
1.2.7 Enkapsulace – zapouzdření PCM .....	25
1.2.7.1 Fyzikální metody enkapsulace .....	25
1.2.7.2 Fyzikálně-chemické metody enkapsulace .....	26
1.2.7.3 Chemické metody enkapsulace.....	26
1.3 <i>Outlast® Technologies LLC. ....</i>	<i>26</i>
1.4 <i>Diferenční (diferenciální) skenovací kalorimetrie .....</i>	<i>27</i>
1.4.1 Vlastnosti, které se touto metodou zkoumají, jsou následující [14]: .....	27
1.4.1.1 Termodynamické (teplota, teplo, entalpie, hmotnost, objem) .....	27
1.4.1.2 Materiálové (tvrdost, Youngův modul) .....	27
1.4.1.3 Chemické složení nebo struktura .....	27
<b>2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>28</b>
2.1 <i>Formulace experimentu .....</i>	<i>28</i>
2.2 <i>PCM použitý v experimentu .....</i>	<i>28</i>
2.3 <i>Výběr a příprava vzorků košiloviny.....</i>	<i>29</i>
2.3.1 Výběr vzorků .....	29
2.3.2 Příprava vzorků k laboratorní zkoušce .....	30
2.3.3 Aplikace PCM v laboratoři.....	30
2.3.4 Přístroje použité pro laboratorní aplikaci .....	30
2.3.5 Test přivažku .....	31
2.3.6 Příprava klocovací lázně.....	32
2.3.7 Nanášení lázně s PCM .....	34
2.3.8 Termofixace .....	35
2.4 <i>Vyhodnocení vzorků po laboratorní aplikaci PCM.....</i>	<i>36</i>
2.4.1 Přístroje použité pro sledování termických vlastností vzorků košiloviny, laboratorně upravených produktem s PCM:.....	36
2.4.1.1 Vyhřívací deska s IR kamerou.....	37
2.4.1.2 Termosenzitivní pigment.....	39
2.4.2 Měření zbytkového formaldehydu .....	40



2.5	<i>Průmyslová aplikace PCM</i> .....	42
2.5.1	Stroje použité při průmyslové aplikaci .....	42
2.5.2	Klocování, termofixace .....	43
2.5.3	Sanforizace, kalandrování .....	43
2.6	<i>Vyhodnocení po průmyslové aplikaci</i> .....	43
2.6.1	Objektivní metody měření .....	44
2.6.1.1	Diferenciální skenovací kalorimetrie u vzorku z průmyslové aplikace PCM .....	44
2.6.1.2	Fotografie z mikroskopu .....	44
2.6.2	Subjektivní hodnocení .....	45
2.6.2.1	Testování hotového výrobku lidmi .....	45
2.6.3	Hodnocení hotového výrobku .....	46
2.6.4	Souhrn subjektivních odpovědí hodnotitelů z běžného nošení košil: .....	46
2.6.4.1	Hodnotitel 1: .....	46
2.6.4.2	Hodnotitel 2: .....	46
2.6.4.3	Hodnotitel 3: .....	47
2.6.4.4	Hodnotitel 4: .....	47
2.6.4.5	Hodnotitel 5: .....	47
3.	ZÁVĚR.....	48
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>49</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>		<b>50</b>
<b>ZDROJE A LITERATURA .....</b>		<b>51</b>
PŘÍLOHA A: SOUBOR IR FOTOGRAFIÍ – POROVNÁNÍ KE VZORKU BEZ PCM .....		53
PŘÍLOHA B: SOUBOR IR FOTOGRAFIÍ – POROVNÁNÍ KONCENTRACÍ PCM .....		54
PŘÍLOHA C: FORMALDEHYD V LABORATORNÍ APLIKACI .....		62
PŘÍLOHA D: FORMALDEHYD A DSC V PRŮMYSLVÉ APLIKACI .....		63
PŘÍLOHA E: TESTY V LABORATOŘI RUDOLF GMBH .....		65
PŘÍLOHA F: MIKROSKOPICKÉ POROVNÁNÍ .....		66



## ÚVOD

Lidské tělo si do určité míry umí poradit s okolními vlivy a také je regulovat. Abychom se ale cítili komfortně i v prostředí, které se této schopnosti vymyká, musíme použít další prostředky, které nám v tomto pomáhají.

Jedním z takových základních prostředků je i oblečení. Bariéra mezi tělem a vnějším prostředím, jejíž vlastnosti primárně umožňují vyrovnávat se se změnami okolních podmínek, kterým jsme vystaveni. Mezi ty nejvýznamnější lze jistě řadit teplotu, tedy její výši a kolísání.

Abychom lidskému tělu zajistili podmínky pro správné fungování, vliv horní hranice rozmezí teploty eliminujeme tím, že mu umožníme odvádět teplo do okolního prostředí, a tím ho udržet v komfortním teplotním rozmezí. Teplo se odvádí například zářením nebo vypařováním, zejména však vedením nebo prouděním [4]. V případě oblečení je možné všechny tyto způsoby odvodu tepla ovlivnit vhodnou kombinací parametrů textilie, počínaje výběrem samotného materiálu (přírodní, syntetický), přes zvolený způsob výroby (ne/tkaní, pletení) až po finální úpravu textilie.

Snaha o vytvoření ideální varianty oblečení, které bude, zjednodušeně řečeno, v horku chladit a v chladu hřát, vede k neustálému hledání materiálů a vyvíjení nových výrobních postupů, které by toho byly schopny dosáhnout.

Výrobků, které pomáhají udržovat fyziologický komfort, je na trhu velké množství. Pominu-li ty úzce specializované, jako např. ochranné oděvy, určené do náročných podmínek, jde zejména o sportovní nebo funkční oblečení. Z velké části se však jedná především o pleteniny.

Záměrem ale bylo ověření úpravy těchto vlastností u tkanin, konkrétně košilovin, jež už svým charakterem (materiál, konstrukce, apod.) omezují možnosti, kterými lze při výrobě ovlivnit parametry potřebné k odvodu tepla. Košile nadále zůstávají nedílnou součástí šatníku především mužů a kromě estetických požadavků musí splňovat i další, vyplývající z jejich, často celodenního, používání. Udržení komfortu během této doby, ať už je používána formálně nebo jako prvek pro volnočasové aktivity, je tedy velmi důležitým faktorem.



Naskytla se mi příležitost vyzkoušet produkt určený pro finální úpravy textilií, který je založen na bázi materiálů s fázovou změnou. Ty jsou schopny v průběhu změny svého skupenství nebo vnitřní struktury přijímat nebo odevzdávat energii (v našem případě chladit, respektive hřát).

Tato práce nemá ambice měnit od základů zavedené způsoby výroby košilovin, ale klade si za cíl zjistit potenciál využití materiálů s fázovou změnou během finální úpravy košiloviny. Ne z pohledu řešení následků, kdy je již potřeba odvádět nebo maskovat pot, ale z pohledu prevence před samotným pocením. V oblečení přece chceme nejen dobře vypadat, ale také se i skvěle cítit...





---

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PCM	Phase Change Materials (materiály s fázovou změnou)
DSC	Differential Scanning Calorimetry (Diferenční skenovací kalorimetrie)
$N_e$	Number english (číslo anglické, jednotka jemnosti příze – počet 840 yardových délek na jednu libru příze)
tex	tex (jednotka jemnosti příze – hmotnost jednoho kilometru příze v gramech)
CO	Cotton (označení bavlny)
LI	Linen (označení lnu)
$T_m$	Melting temperature (teplota tání)
PEG	Polyethylenglykol
TPP	Textilní podpůrné (pomocné) prostředky
l	Délka
m	Hmotnost
yd	Yard (jednotka délky)
lb	Libra (jednotka hmotnosti)
g	Gram (jednotka hmotnosti)
$T_g$	Glass transition temperature (teplota skelného přechodu nebo také teplota zesklnění)
IR	Infrared (infračervený – např. světlo)
ppm	Parts per million ( $1 \times 10^{-6}$ z celku)
rpm	Revolutions per minute (otáčky za minutu)



## 1. REŠERŠNÍ ČÁST

### 1.1 Základní použité textilní pojmy

#### 1.1.1 Značení textilních vláken

V textilním zboží se uvádí, že se u nás textilní vlákna dříve značila podle normy ČSN 80 00 00, ve které platila jednoduchá základní pravidla kombinující malá a velká písmena, např. dvě malá písmena značila přírodní vlákna, dvě velká přírodní polymery a tři velká písmena syntetické polymery.

V současnosti platí nový způsob, daný směrnicí EU 71/307/EEC a ČSN 80 00 52, který značení přízí sjednotil na dvě velká písmena, tvořená převážně z anglických názvů [1]. Z nejvíce používaných například:

Přírodní

- CO – Cotton – Bavlna
- LI – Linen – Lněná příze, někdy se nepřesně používá výraz FLAX, který ale v angličtině značí rostlinu lnu
- WO – Wool – Vlna

Minerální

- GF – Glass fiber – Skleněné vlákno

Syntetické

- PP – Polypropylen
- PA – Polyamid

Pro doplnění můžeme ještě zmínit, že chemická vlákna bývají značena až čtyřmi velkými písmeny.

#### 1.1.2 Jemnost

Jemnost je parametr, který používáme k definici vztahu hmotnosti délkového útvaru textile (např. vlákna, přásta, pramenu, příze,...) k jeho délce.

V našem textilním průmyslu je nejběžněji používanou jednotkou jemnosti tex (nebo jeho mocninové odvozeniny). V tomto případě je vztah mezi hmotností a délkou určen



podle vzorce:

$$T [\text{tex}] = \frac{m [\text{g}]}{l [\text{km}]} \quad (1)$$

Existuje ale i řada dalších jednotek jemnosti, z nichž se při zpracování bavlny a následné produkci výrobků z tohoto materiálu, často používá  $N_e$  – číslo anglické. Pro něj platí vztah:

$$N_e = \frac{n [840\text{yd}]}{1 [\text{lb}]} \quad (2)$$

Mezi výše zmíněnými jednotkami jemnosti platí převodní vztah:

$$N_e = \frac{590,541}{T [\text{tex}]} \quad (3)$$

Dále v této práci bude použita pouze jednotka  $N_e$ , kterou výrobci košilovin používají.

### 1.1.3 Tkanina

Tkaninu přesně definuje norma ČSN 80 0021 tak, že: se jedná o plošnou textilii z jedné nebo více soustav podélných nití a z jedné nebo více soustav příčných nití, provázaných vzájemně v kolmém směru. Soustava v podélném směru se nazývá osnova a v příčném směru útek [2].

### 1.1.4 Košilovina

Jedná se o hustě, po osnově i útku, dostavenou<sup>1</sup> plošnou textilii-tkaninu s hmotností většinou okolo nebo lehce převyšující 100 g.m<sup>-2</sup>. Vyrobená je z jemných až velmi jemných přízí (typicky do  $N_e$  100/1 - jednoduchá<sup>2</sup>, případně do  $N_e$  200/2 – dvojmo skaná<sup>3</sup>). Většinou bývá pestře nebo jinak barevně tkaná v základních vazebních technikách<sup>4</sup>, vyráběná zejména na listových tkacích strojích, v menší míře ve složitějších

<sup>1</sup> Dostava – počet útkových resp. osnovních nití na jeden centimetr

<sup>2</sup> Jednoduchá příze – vyrobená předem (postupným zakrucováním jednotlivých vláken daného materiálu)

<sup>3</sup> Skaná příze – dvě nebo více přízí (nití) dohromady vzájemně spojených zakrucováním

<sup>4</sup> Vazební technika – způsob vzájemného provázání osnovních a útkových nití



kombinacích vazeb i na strojích žakárských.

Pro její výrobu jsou z přírodních materiálů nejběžněji používanými bavlna a len, u kterého se většinou jedná o vazby plátnové, kde jsou dostavy nižší a čtvercové, tzn. stejná dostava v osnově i útku<sup>5</sup>. Jemnost příze, pokud ji vyjádříme v jednotce tex, je v tomto případě vyšší než u bavlny.

### 1.1.5 Fyziologický komfort

Cíl práce souvisí s pojmem fyziologický komfort. Nezdáhal bych se přitom tvrdit, že je alfa a omegou celého snažení vyrobit oděv, ve kterém ho chceme dosáhnout. Co si pod tím ale můžeme představit?

Komfort je stav organismu, kdy se cítíme pohodlně a vlivy, které na nás působí, nepřináší nepříjemné vjemy, jako je například pocit nadměrného tepla nebo chladu. Kromě chuti vnímáme tento stav všemi smysly a můžeme ho definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů [3].

Nejdůležitější pro udržení fyziologického komfortu je tedy schopnost zachovat management tepla funkční jak během aktivity, tak i během odpočinku. Spotřebovávanou energii, lidské tělo přeměňuje na teplo a pro udržení bezpečného a efektivního rozsahu své teploty, ho odvádí do okolí [4].

Pokud zabráníme přenosu tepla a vlhkosti a do cesty postavíme bariéru ve formě nesprávně nakonfigurovaného oblečení, proces narušíme a vystavíme tak tělo snížení komfortu, např. v podobě přehřátí a pocení. Zcela zásadní je tedy zachovat a podporovat přenos tepla a vlhkosti od těla i přes jednotlivé vrstvy oblečení.

Základními parametry oděvních textilií, ovlivňujících fyziologický komfort, jsou materiál, tvar jeho vláken, samotná konstrukce textilie a finální úpravy.

### 1.1.6 Klocování

Klocování, nebo-li také foulardování, je nejrozšířenějším způsobem napouštění. Textilie prochází korytem s klocovací lázní a po promočení je přebytečná lázeň odmačknuta dvěma, proti sobě přitlačovanými, pneumatickými válci.

<sup>5</sup> Osnova, útek – podélná soustava rovnoběžně uložených nití - osnova, která se provazuje příčnou soustavou nití - útkem



Řízením přítlaku válců je možné regulovat potřebnou zbytkovou vlhkost. Ta se pohybuje v rozmezí 60 – 100 % hmotnosti textilie [13].

Patří mezi finální operace zušlechťování, například barvení, nemačkové úpravy apod.

### **1.1.7 Termofixace**

Finální úprava, která zajišťuje rozměrovou stabilitu výrobku. Z technologického hlediska je termofixace zajištěna kontaktem s horkým kovem, vzduchem, vzduchem ve směsi s párou nebo vysokofrekvenčním ohřevem případně infrazářením [13].

### **1.1.8 Sanforizace**

Řízené kompresivní srážení tkanin a pletenin, které odstraňuje mechanickým vysrážením napětí v podélném směru, vzniklé v procesu výroby [13].

### **1.1.9 Kalandrování**

Finální úprava vzhledu textilie, ve které dochází průchodem textilie mezi dvěma válci ke zploštění průřezu příze a k zaplnění mezivazebních prostorů. Efektem je zvýšený lesk a hladkost [13].

## **1.2 Materiály s fázovou změnou (PCM)**

Materiály s fázovou změnou, zkráceně PCM (z angl. **Phase Change Materials**) nejsou v podstatě ničím novým. Začátek jejich zkoumání se datuje už k počátku minulého století, kdy Alan Tower Waterman na univerzitě v Yale pozoroval některé zvláštnosti ve vodivosti molybdenitu  $\text{MoS}_2$ , kdy zjistil, že ji lze postupně měnit [9].

Jsou to materiály fungující na principu změny vnitřní struktury nebo změny skupenství, která probíhá v úzkém rozmezí kolem teploty tání a celý proces je reversibilní.

Se vzrůstající teplotou jsou během tání schopny absorbovat a naopak s klesající teplotou během tuhnutí zpětně uvolňovat, tepelnou energii. Jde o nejúčinnější způsob, jak tepelnou energii „skladovat“.





Obrázek 1: Schéma principu PCM (energy.co.kr)

Ze čtyř druhů fázových změn ...

pevná látka ↔ kapalina

kapalina ↔ plyn

pevná látka ↔ plyn

pevná látka ↔ pevná látka

... je z praktických důvodů nejčastěji používanou změna fáze prvního řádu, tedy pevná látka ↔ kapalina, která má největší hustotu akumulace<sup>6</sup> energie.

Přestože změny fáze na plyn mají vysokou hodnotu latentního tepla<sup>7</sup>, téměř se, s ohledem na velký objem, který plyn zabírá, ke skladování energie nepoužívají. Taková zařízení jsou díky své velikosti a složitosti nepraktická a nákladná.

Fázová změna pevná látka ↔ pevná látka, kdy se materiál mění z jedné krystalické formy na druhou, má pro běžné využití zase příliš malou hodnotu latentního tepla [10].

Tím, že PCM dokážou energii uchovat, je můžeme označit za jakési levné akumulátory latentního tepla a díky této schopnosti nacházejí uplatnění v řadě oborů.

V závislosti na oblasti použití jsou PCM vybírány podle jejich entalpie<sup>8</sup> a teploty fázového přechodu. Pro ty s nízkou teplotou (-20 až -10 °C) je předpoklad použití například pro skladování potravin, zatímco materiály s teplotou fázového přechodu vyšší (2 až 15 °C) se používají v aplikacích komfortu - typicky klimatizacích.

Ještě vyšší teplota potom umožňuje použití PCM pro ochranu elektronických zařízení, případně v kombinaci se solárními panely, ke skladování sluneční energie. Dále třeba ve stavebnictví, kde slouží k vytápění či naopak chlazení budov a samozřejmě k výrobě ochranných a funkčních textilií [6]. Zde slouží k ochraně lidského těla proti krajním hodnotám teploty a jejím výkyvům.

<sup>6</sup> Hustota akumulace – jaký objem a hmotnost PCM je potřeba k uložení určitého množství energie

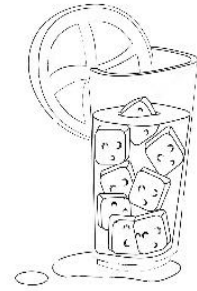
<sup>7</sup> Latentní teplo (entalpie fázového přechodu) – teplo dodané nebo odebrané látce během fázové změny, kdy nemění teplotu látky. Značí se  $\Delta H$  a udává se v  $[\text{kJkg}^{-1}]$

<sup>8</sup> Entalpie – veličina, která vyjadřuje energii uloženou v uzavřeném termodynamickém systému, udává se v Joulech [J]



Nejjednodušší, levné a zároveň účinné přírodní PCM jsou voda a led<sup>9</sup>. Během svého rozpouštění (změny fáze z pevné na kapalnou), absorbují kostky ledu tepelnou energii vody a tím ji chladí.

Led je během tání schopen absorbovat  $335 \text{ kJkg}^{-1}$ . Dále už je to však pouze  $4 \text{ kJkg}^{-1}$ . To ukazuje, že mnohem více energie je absorbováno nebo se uvolní během změny fáze uložením nebo uvolněním latentního tepla než měrného skupenského tepla dalším zahříváním [10].



Obrázek 2: Ilustrační  
(depositphotos.com)

Bohužel, jak jistě všichni víme, tato změna fáze probíhá při teplotě  $0^\circ\text{C}$ , což je mimo komfortní teplotní zónu člověka, a pokud zrovna nejste otužilec ☺, činí ji nevhodnou k aplikacím určeným k přímému kontaktu s tělem.

Avšak existují i další PCM, které mají teplotu změny fáze příznivější, jako například dnes nejpoužívanější parafín. Díky vývoji nových, synteticky vyrobených materiálů (zejména polymerů), bylo dosaženo podobného efektu, jako mají voda a led, běžně ale s produkty, jejichž vlastnosti jsou upraveny ke konkrétním účelům a tomu přizpůsobeným teplotním rozsahům fázové změny.

## 1.2.1 Hlavní požadavky na vlastnosti PCM

### 1.2.1.1 Fyzikální

- požadovaná teplota fázové změny
- velká změna entalpie
- dobrá tepelná vodivost

### 1.2.1.2 Chemické

- chemická stabilita

<sup>9</sup> Jde samozřejmě o stejnou látku. Pro názornost rozděleno úmyslně.



- nízká toxicita
- kompatibilita s jinými materiály

### 1.2.1.3 Ekonomické

- příznivá cena a tedy dostupnost
- možnost recyklace

## 1.2.2 Rozdělení PCM

### 1.2.2.1 Anorganické – hydratované anorganické soli

Ke stabilizaci soli se v různém poměru používají aditiva, kterými lze ovlivnit termofyzikální vlastnosti PCM (latentní teplo a bod tání). Právě pro svoji vysokou hodnotu latentního tepla a vhodného bodu tání jsou hojně používány jak pro skladování tepelné energie (Glauberova sůl), tak například jako ochrana proti silnému sálavému teplu (heptahydrát síranu hořečnatého) [10]. Jsou cenově dostupné s vysokou tepelnou vodivostí a hustotou akumulace za malé změny objemu. Jsou však korozivní a objevují se zde problémy s fázovou segregací během tání [6].

### 1.2.2.2 Organické uhlovodíky

Jsou cenově dostupné se širokým rozsahem použitelných teplot, chemicky stabilní a dobře kombinovatelné s jinými materiály. Teplota tání je přímo úměrná počtu uhlíků v řetězci, takže se dá upravit pro specifickou aplikaci. Dělí se do těchto kategorií [10]:

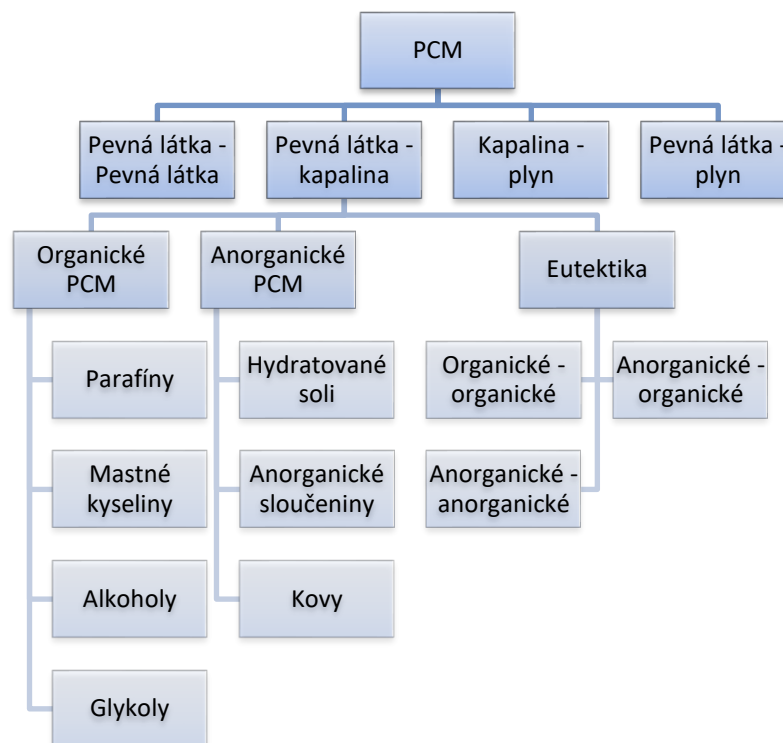
- parafínové vosky – nejčastěji používaný materiál, netoxické, levné, velký rozsah použití vzhledem k rozsahu teplot tání, hořlavé
- polyethylenglykoly (PEG) – lineární dimethyletherové řetězce s koncovými hydroxylovými skupinami. Jejich nevýhodou je vysoká cena, ale jsou chemicky a tepelně stabilní, netoxické a nekorozivní. Kombinací PEG s různými molárními hmotnostmi lze také ovlivnit teplotu tání [5].
- mastné kyseliny a jejich deriváty – díky živočišnému a rostlinnému původu (přírodní tuky) jsou biodegradibilní. Kromě změny délky uhlíkového řetězce, lze





měnit hodnotu teploty tání i vytvořením eutektických<sup>10</sup> směsí těchto sloučenin.

- polyalkoholy a jejich deriváty



Obrázek 3: Rozdělení PCM [12]

Tabulka 1: Vybrané příklady běžně používaných PCM [10]

Typ PCM	Příklad	Latentní teplo $\Delta H$ [Jg <sup>-1</sup> ]	Teplota tání [°C]
Hydratované anorganické soli	Dekahydrát síranu sodného Glauberova sůl ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )	254 – 189,4	32,4
	Heptahydrát síranu hořečnatého ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	200	85
Organické uhlovodíky	Parafíny $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ (n=16-30)	200	18-65
Mastné kyseliny	Kyselina kaprylová [CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH]	148-149	16-17
	Kyselina kaprinová [CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH]	153-163	30-32
	Kyselina laurová [CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH]	180	44

<sup>10</sup> Eutektikum – směs dvou tuhých látek



### 1.2.3 Výhody PCM [11]

- možnost přesunu spotřeby elektrické energie ze špičky mimo ni
- úspora provozních nákladů na skladování tepla
- odvod tepla z elektronických zařízení
- zvýšení tepelného komfortu v budovách
- bezpečná přeprava biomedicínských zásilek
- tepelná ochrana potravin
- zajištění bezpečnosti při exotermických chemických reakcích

### 1.2.4 Nevýhody PCM [11]

- pokles tlaku v systémech využívajících k přenosu tepla transport tekutinou
- riziko kontaminace v důsledku prasknutí mikrokapslí

### 1.2.5 PCM v textilních aplikacích

Dříve bývalo běžné řešit fyziologický komfort objemem. Stručně řečeno, čím větší, tím lepší. Objemná textilie v sobě zachytila více vzduchu jako izolantu, ale pokud bylo člověku horko, jediným řešením bylo odložení oděvu. V poslední dekádě minulého století se začaly prosazovat materiály s fázovou změnou. Umožňovaly zachovat a zlepšit tepelné vlastnosti textilie se současným udržením jejího objemu na rozumné míře, která zaručovala volnost pohybu [6] a zároveň další rozšíření možností v designu výrobků. Estetickými a neméně důležitými mechanickofyzikálními vlastnostmi, kterých se také dosahuje trvalými finálními úpravami, se ale zabývat nebudeme.

V otázce používání PCM pro modifikaci vlastností textilie jsou hlavními dva směry. Jedná se o buď finální úpravu nanášením na povrch plošné textilie, případně na vlákna příze nebo o úpravu samotného vlákna. Obojí potom v kombinaci s konstrukcí textilie.

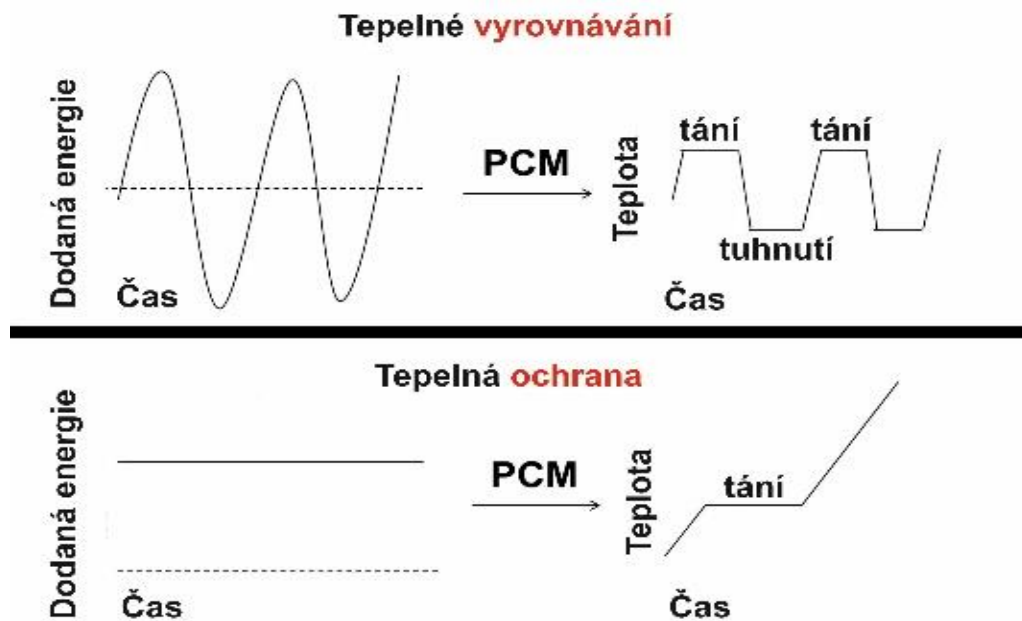
Každá z těchto variant má své výhody i nevýhody. Implementace PCM přímo do struktury vláken je dle mého názoru efektivnější, naproti tomu ji lze použít pouze u syntetických materiálů. Naopak v případě finální úpravy příze nebo plošné textilie je



můžeme použít i u přírodních materiálů a podle mého názoru, je tato technologie také dostupnější.

Úpravu pomocí PCM řadíme mezi ochranné, zde zajišťující zachování fyziologického komfortu. Jde zejména o dvě základní funkce – jednou je vyrovnávání kolísání teploty, tou druhou po určitou dobu působící ochrana před teplotami mimo komfortní zónu člověka. Na Obrázek 4 je vidět, jakým způsobem PCM ovlivňují vrcholové hodnoty kolísání teploty tím, že je změnou fáze sráží zpět do komfortní zóny. Toho se využívá nejen při výrobě funkčního oblečení, ale také oděvů do náročných prostředí, kde chrání svého uživatele.

Oděvy vyráběné s použitím PCM mohou mít i další potencionální výhodu. Jejich schopnost, udržovat tělo v komfortní teplotní zóně, snižuje potřebu změny teploty okolního prostředí, a tím mohou být nápomocny snižování energetických nároků na udržování teploty v prostoru [4].



Obrázek 4: Funkce PCM v textilních aplikacích [5]



PCM jsou aktivní právě během fázové změny a přestanou být, když je fázová změna kompletní, takže funkčnost PCM zabudovaného do textilií je dočasná. To znamená, že je účinnou bariérou tepelné energie jen do té doby, dokud není během fázové změny latentní tepelná energie zcela absorbována nebo uvolněna, což vidíme ve druhé části Obrázek 4.

Potíže v podobě časově omezeného časového úseku, po který probíhá přenos tepelné energie, ještě dále prohlubuje poměrně malé množství PCM obsaženého v textilií. Hodnota latentního tepla je přitom přímo úměrná množství PCM, a proto je velmi důležité vhodným způsobem kombinovat parametry textilie tak, aby byla schopna pojmout tohoto materiálu co nejvíce.

Jak množství PCM ovlivňuje účinnost aplikace v textilií, ukazuje Tabulka 2.

Tabulka 2: Příklady trvání účinku PCM v poměru k jeho množství obsaženého v textilií za předpokladu, že nedochází k další absorpci tepla z okolí a ostatní podmínky jsou konstantní

Hmotnost oblečení [g]	Poměr a množství PCM v oblečení		Latentní teplo $\Delta H$ [Jg <sup>-1</sup> ]	Aktivita a spotřeba metabolismu [W]	Poměr chladícího efektu ke spotřebě metabolismu [%]	Trvání účinku chladícího/hřejivého efektu [min.]
	[%]	[g]				
800	20	160	200	Odpočinek	30	32,4
				115		
				Nízká	30	9,9
				180		
				Mírná	30	6
				295		
				Vysoká	30	4,3
415						
Velmi vysoká	30	3,4				
				520		

Výběr použitých PCM závisí na jejich účinné tepelné izolaci<sup>11</sup>, kdy jsou schopny udržet pocit tepelné pohody uživatele, bez ohledu na jeho aktivitu a vnější prostředí. Účinnost PCM vložených do textilie je tedy také závislá na rozdílu mezi tělesnou teplotou a teplotou okolního prostředí. Ideálně by měl produkt účinkovat v rozmezí 19-37 °C [6].

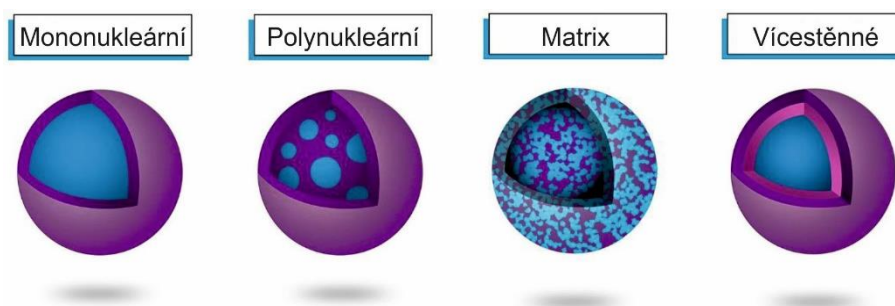
<sup>11</sup> Účinná tepelná izolace - izolační účinněk během změny fáze PCM



## 1.2.6 Mikrokapsle s PCM

To, že PCM mění svůj stav z pevného na kapalný a naopak, ale představuje i určitou nevýhodu. Nelze je totiž na textilii nanášet samostatně, ale pouze v nezbytném uzavřeném pouzdru (mikrokapsli), které odděluje PCM od okolí. Důvodem je zabránění jeho rozpuštění v době, kdy se bude nacházet v kapalném stavu. Pouzdro musí být také schopno absorbovat změnu objemu uloženého PCM během fázového přechodu, nesmí s ním reagovat a jeho velikost a výběr použitého materiálu také určují úspěšnost při aplikaci a funkčnost finální úpravy při následném používání textilie.

Vlastnosti a způsob aplikace těchto mikrokapslí s PCM je tedy zásadní.



Obrázek 5: Morfologie různých typů mikrokapslí [11]

## 1.2.7 Enkapsulace – zapouzdření PCM

Mikrokapsulace PCM umožňuje překonat problémy spojené s konvenčními PCM, které jsou korozivní nebo zabránit jejich rozpadu nebo únikům a rozpuštění v transportní tekutině. Další výhodou mikrokapsulace je možnost vyrobit pokročilé PCM s větší plochou pro přenos tepla, sníženou reaktivitou s vnějším prostředím a řízenými změnami objemu během změny fáze.

Metod enkapsulace existuje mnoho, ale dají se shrnout do třech hlavních oblastí [11]:

### 1.2.7.1 Fyzikální metody enkapsulace

Nanášení tenkého polymerního povlaku na pevné částice nebo kapičky kapaliny. Nemají vliv na životní prostředí, ale nejsou schopny produkovat mikrokapsle menší než 100  $\mu\text{m}$ , např. potahováním vzduchovou suspenzí, odstředivým vytlačováním, odpařováním rozpouštědla, disperzí pevných látek v kapalinách, elektrostatickým



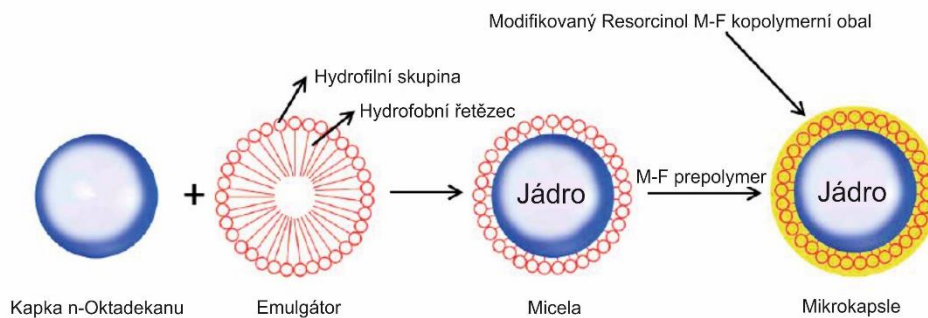
srážením,...

### 1.2.7.2 Fyzikálně-chemické metody enkapsulace

Iontová gelace, koacervace, sol-gel, separace fází,...

### 1.2.7.3 Chemické metody enkapsulace

Některé druhy polymerizací (in situ, suspenzní, emulzní, mezifázová), zesíťování suspenze...



Obrázek 6: Příkl. výroby PCM in-situ polymerizací (Zhang H. & Wang X., 2009\_@Elsevier B.V).

## 1.3 Outlast® Technologies LLC.

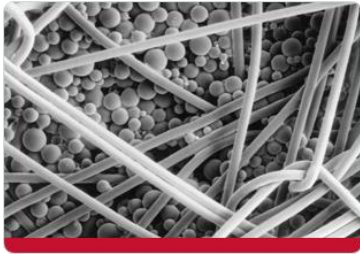
Předním výrobcem produktů s PCM v textilním odvětví je americká společnost Outlast® Technologies LLC.

Technologie Outlast® byla původně vyvinuta pro NASA, aby chránila astronauty před kolísáním teploty ve vesmíru, ale nyní nabízí také textilie pro široký sortiment využití, zejména povlečení. Dále jsou to například oblečení, obuv, bytový textil a další.

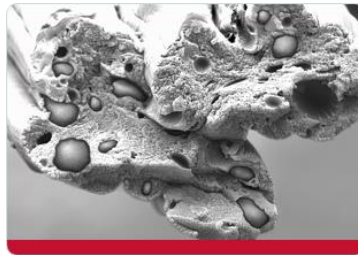
Můžeme říci, že aplikace na textilie, které používá firma Outlast®, definují použití PCM v tomto oboru a jsou v zásadě tři [7]:

- **Povrstvování textilií** (Obrázek 7), které nejsou v kontaktu s kůží, např. svrchních oděvů, sedáků kancelářských židlí, vrchní části obuvi,...
- **Implementace přímo do syntetických vláken** (Obrázek 8) při jejich výrobě, používaných pro výrobky, které se nosí v kontaktu s kůží, např. čepice, ponožky,...
- **Nanášení mikrokapslí na textilii** tiskem nebo nanosováním (Obrázek 9)





Obrázek 7: Povrstvování textilií (outlast.com)



Obrázek 8: Implementace PCM do syntetických vláken (outlast.com)



Obrázek 9: Nanášení PCM na textilií tiskem (outlast.com)

## 1.4 Diferenční (diferenciální) skenovací kalorimetrie

Tato metoda byla použita pro objektivní měření výsledků finální úpravy pomocí PCM. Jedná se o nejnámější experimentální metodu termické analýzy, v níž se porovnáním teplot měřeného vzorku a referenčního vzorku zjišťují tepelné projevy zkoumaného materiálu. Z nich lze potom určit hodnotu tepelného toku během termických změn.

Princip spočívá ve sledování těchto změn u vzorku zkoumaného materiálu v závislosti na teplotě a času během jeho rovnoměrného a konstantního zahřívání nebo chlazení. Přitom je důležité vybrat referenční materiál tak, aby v něm v rozsahu zkoumaných teplot neprobíhaly žádné fyzikální změny, tzn. aby byl v tomto teplotním rozsahu inertní.

Měřené fázové přechody mohou být například  $T_g$ , tání, krystalizace, tepelná kapacita

### 1.4.1 Vlastnosti, které se touto metodou zkoumají, jsou

následující [14]:

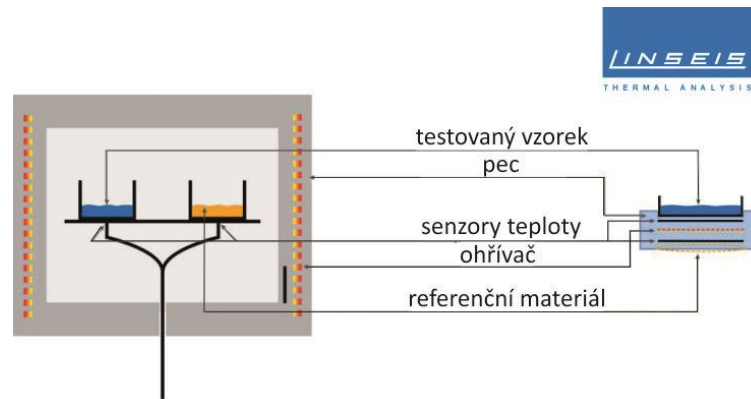
1.4.1.1 Termodynamické (teplota, teplo, entalpie, hmotnost, objem)

1.4.1.2 Materiálové (tvrdost, Youngův modul)

1.4.1.3 Chemické složení nebo struktura







Obrázek 10: Schéma DSC - porovnání konvenční a čipové technologie (linseis.com)

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1 Formulace experimentu

Cílem experimentu bylo ověření chladivého účinku u košiloviny, na kterou se během finální úpravy nanese produkt s PCM.

Stanovený postup spočíval ve výběru vhodných vzorků košiloviny, jejich přípravě pro laboratorní aplikaci a po nanesení PCM v laboratoři, v následném otestování vzorků metodami zaměřenými na výsledné tepelné vlastnosti.

S ohledem na tyto vlastnosti a na základě zjištěných poznatků, měly být vybrány vzorky s nejlepšími výsledky, které by stanovily podmínky pro další postup, kterým byla průmyslová aplikace na běžných produkčních strojích.

Posledními kroky by byly další zkoušky výsledných vlastností finální úpravy po průmyslové aplikaci, jejich vyhodnocení a výroba výsledného produktu – košile. Ten měl být poskytnut hodnotitelům, kteří by subjektivně posuzovali výsledky chladivé úpravy při běžném nošení této části oděvu.

### 2.2 PCM použitý v experimentu

Pro experimentální část jsem měl k dispozici Produkt RUCO<sup>®</sup>-THERM PCM 28, vyrobený firmou Rudolf GmbH. Ta s výrobou začala poměrně nedávno, kdy vypršela





platnost patentů Outlast® Technologies LLC.

PCM je v něm zapouzdřený v melaminoformaldehydových mikrokapslích, které ho chrání a tím umožňují téměř neomezený počet cyklů fázové změny. Číslo 28 v názvu znamená teplotu tání PCM ve stupních Celsia, která fázovou změnu určuje. Součástí mikrokapslí už je také binder<sup>12</sup>, který zajišťuje stálost efektu v praní. Podle výrobce je nejvhodnějším a preferovaným aplikačním procesem „pad process“, tedy napouštěním na foulardu - klocováním [8].

## 2.3 Výběr a příprava vzorků košiloviny

### 2.3.1 Výběr vzorků

Ve výběru košilovin se kladl důraz na co nejvyšší plošnou hmotnost tkaniny. Důvodem byl předpoklad, že taková tkanina bude schopna absorbovat větší množství produktu s PCM a tím jeho účinnost zvýší.

Díky specifickým vlastnostem košilovin ale nebyl výběr k testování příliš široký. Největší překážkou se ukázaly být jejich finální úpravy a další technologické a obchodní požadavky, které v mnoha případech neumožňovaly použít vybraný produkt PCM.

I přes tato omezení se podařilo, z nevelkého počtu variant vhodných k testování, vybrat zástupce artiklů kombinující materiál, typ příze i mírně rozdílnou plošnou hmotnost. Seznam vzorků s jejich vybranými parametry je uveden v Tabulka 3.

Tabulka 3: Seznam vzorků košilovin určených k testování a jejich základní parametry

Číslo vzorku	Osnova			Útek			Vazba	Hmotnost [gm <sup>-2</sup> ]
	Materiál	Ne	Tex	Materiál	Ne	Tex		
1	CO	100/2	6 x 2	CO	100/2	6 x 2	kepr 3:1	119
2	CO	80/2	7,4 x 2	CO	40/1	14,5	kepr 3:1	118
3	CO	40/1	14,5	CO	40/1	14,5	kepr 2:1	132
4	CO	40/1	14,5	CO	40/1	14,5	kepr 2:1	132
5	CO	100/2	6 x 2	CO	100/2	6 x 2	kepr 3:1	119
6	CO	80/2	14,5	CO	40/1	14,5	kepr 3:1	118
7	CO	100/2	6 x 2	CO	100/2	6 x 2	kepr 3:1	119
8	LI	23/1	25,5	LI	23/1	25,5	plátno	128
9	LI	23/1	25,5	LI	23/1	25,5	plátno	128

<sup>12</sup> Binder – pojídlo



### 2.3.2 Příprava vzorků k laboratorní zkoušce

Pro potřeby zkoušky jsem připravil celkem 11 sad vzorků, které obsahovaly vždy po jednom zástupci každého z artiklů v Tabulka 3.

Všechny vzorky byly nastříhány na šíři, která odpovídala aktuálně nastaveným parametrům laboratorního termofixačního stroje (36 cm). K přesné identifikaci vzorků během celé doby testování byl zvolen jednoduchý systém číslování ve tvaru X.Y, kde X znamená pořadové číslo vzorku v rámci jedné sady a Y číslo sady (například 3.5 značí třetí vzorek z páté sady).

Dvě sady vzorků sloužily k testům ověření správného nastavení přístrojů, a proto zůstaly ponechány odděleně. Vzorky v ostatních sadách byly sešity vždy v jeden souvislý díl, na obou koncích opatřený dostatečně dlouhou tkaninou (1,5 m) pro snazší a přesnější přechody mezi jednotlivými kroky. Tato forma také umožnila následný kontinuální proces nanášení a fixování celé sady během jedné operace.

### 2.3.3 Aplikace PCM v laboratoři

Dle doporučení výrobce, byl pro nanášení na košilovinu zvolen způsob napouštěním v klocovací lázni a následnou termofixací (viz body 1.1.6 a 1.1.7).

Klocovací lázeň byla disperze s produktem PCM, který se po nanášení vlivem teploty při následné fixaci průchodem pecí termofixačního přístroje, pojí na vláknech přize.

Do úvahy připadaly také další způsoby nanosování (tisk, nástřik, apod.). Od nich jsem však byl, kvůli nedostatku času a vyšších finančních nákladů, prozatím nucen ustoupit.

### 2.3.4 Přístroje použité pro laboratorní aplikaci

1. Elektrická ruční vrtačka Narex EV 13 E-2H3, 0-3.000 rpm
2. Laboratorní váhy VEB Wägetechnik Rapido 751.05
3. Sušicí pec Mathis LABdryer LTE
4. Foulard Ernst Benz AG\_KLF-HV500 E.EX



## 5. Termofixační rám Ernst Benz AG\_KTF-V500



Obrázek 11: Vrtačka  
Narex EV 13 E-2H3



Obrázek 12: Laboratorní váhy  
VEB Wägetechnik Rapido 751.05



Obrázek 13: Sušící pec LAB dryer  
LTE



Obrázek 14: Foulard Ernst Benz  
AG\_KLF-HV500 E.EX



Obrázek 15: Termofixační rám Ernst Benz AG\_KTF-V500

### 2.3.5 Test přivažku<sup>13</sup>

Očekávaný přivažek se měl pohybovat mezi 60 - 80% původní hmotnosti vzorku. K ověření tohoto předpokladu jsem na začátku, ještě před samotnými zkouškami, provedl několik testů s vodou. Ta pochopitelně neodpovídá parametrům skutečné lázně, přesto takto získané informace byly pro prvotní nastavení klocovacího přístroje, s již skutečnou lázní s PCM, zásadní pomocí.

K testování přivažku byl vybrán jeden vzorek z každého ze zastoupených materiálů.

<sup>13</sup> Konstantní zbytková vlhkost



Po jejich zvážení v suchém stavu na kalibrovaných laboratorních vahách (Obrázek 12), namočení ve vodní lázni a odmačkem na foulardu, se vzorky znovu zvážily a zjištěná hodnota přívažku sloužila ke korekci nastavení rychlosti otáčení a přítlaku válců foulardu. Poté byly vzorky opět vysušeny v laboratorní peci.

Z počátku byl přívažek příliš malý, ale opakování tohoto postupu umožnilo dosáhnout pozvolnými korekcemi optimálního nastavení přístroje a tím získání požadované hodnoty přívažku.

V Tabulka 4 je zaznamenán postup výše popsanych kroků.

Tabulka 4: Zkoušky klocování vodou pro nastavení foulardu

Vzorek	Pořadí testu	Válce foulardu		Hmotnost po usušení [g]	Hmotnost po odmačku [g]	Přívažek	
		přítlak [bar]	rychlost otáčení [m.min <sup>-1</sup> ]			[g]	[%]
		1.6	1			2,0	2,0
	2	1,5	1,5	25,85	33,40	7,55	29,21
	3	1,0	1,0	26,10	36,58	10,48	40,15
	4	0,5	1,0	25,90	43,39	17,49	67,53
	5	0,6	1,0	26,33	42,78	16,45	62,48
9.6	6	1,5	1,5	17,02	31,78	14,76	86,72
Příliš malý přítlak válců. Lázeň mezi nimi v místě, kde nebyla tkanina, volně protékala.							
Původní hmotnost vzorku							

### 2.3.6 Příprava klocovací lázně

Před samotným nanášením na košilovinu bylo ještě nutné připravit klocovací lázeň. Mikrokapsle produktu RUCO<sup>®</sup>-THERM PCM 28 dispergují ve vodném roztoku, jehož součástí jsou i další složky TPP<sup>14</sup>, jako smáčedlo, měkčidlo, odpeňovač a další... Přesné složení je předmětem firemního know-how.

Lázeň se připravovala ve třech základních koncentracích PCM produktu – 150, 200 a 250 g.l<sup>-1</sup>. K navážení všech složek lázně byly opět použity kalibrované laboratorní váhy VEB Wägetechnik Rapido 751.05 (Obrázek 12).

Nejproblémovějším se ukázalo důkladné rozmíchání produktu ve vodě. Při

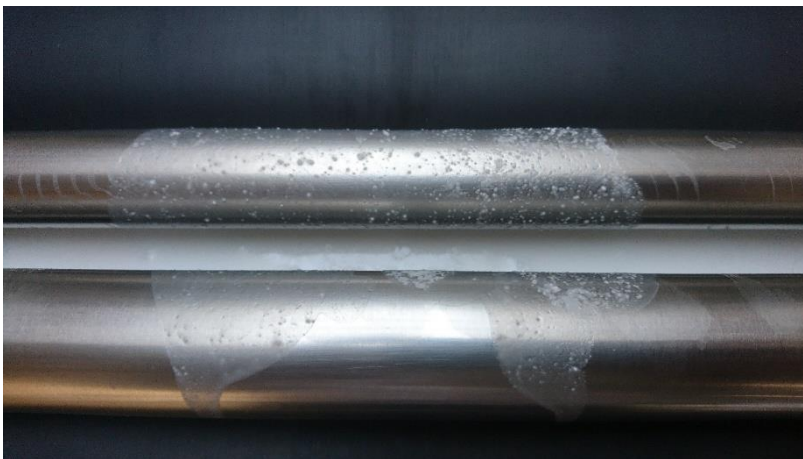
<sup>14</sup> TPP – Textilní podpůrné (pomocné) prostředky – chemické látky, které se používají v textilní výrobě.





nedostatečném promíchání lázně se neustále tvořily malé aglomerace v podobě krupiček a naopak, při příliš intenzivním míchání se i přes přítomnost odpěňovače určité množství pěny vytvořilo, což vedlo k nerovnoměrnému nánosu na tkaninu. Ten v některých případech vypadal opravdu hrozivě (Obrázek 16 – Obrázek 18).

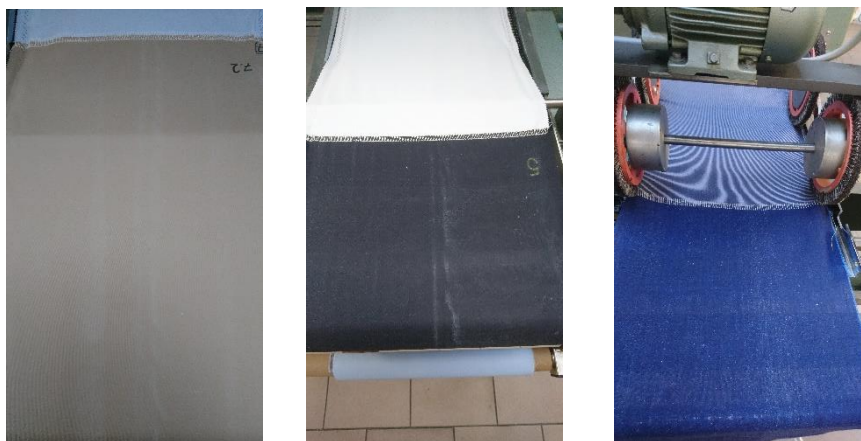
Dle informace z produktového listu, kde výrobce doporučuje předředění produktu a teprve následně přidání do finálního roztoku, jsem postup mírně upravil a po odzkoušení různých způsobů míchání se jako nejvhodnější varianta ukázala kombinace nádoby s velkou rezervou objemu a malé míchací metličky, umístěné při okraji nádoby. Otáčky byly nastaveny nižší tak, aby nezpůsobovaly víření lázně, zasahující do hloubky a umožnilo se tím prodloužení času míchání. Výsledné hodnoty byly 1.100 rpm po dobu 30 minut.



Obrázek 16: Krupičky produktu PCM při nedostatečném promíchání lázně



Obrázek 17: Pěna vytvořená při míchání



Obrázek 18: Stopy produktu z nedokonalě promíchané klocovací lázně

Přesto se nepodařilo dosáhnout úplně dokonalého rozmíchání a klocovací lázeň byla před použitím ve foulardu ještě přefiltrována. Z těchto důvodů také nelze finální roztok skladovat a je nezbytné jej ihned po přípravě spotřebovat.



### 2.3.7 Nanášení lázně s PCM

Před samotným nanášením na laboratorních přístrojích bylo ještě nutné potvrdit jejich nastavení, které vycházelo ze zkoušek přivažku s vodou.

Dvě sady nesešitých vzorků, jsem tedy ještě použil k testování a kontrole přivažku již ostré klocovací lázně. Dvě proto, abych měl možnost porovnat výsledky přivažku v obou krajních koncentracích ( $150 \text{ g.l}^{-1}$  a  $250 \text{ g.l}^{-1}$ ), zda se nějak zásadně nebudou lišit. To se nepotvrdilo a výsledky u obou koncentrací byly téměř shodné. Podrobnosti jsou uvedeny v Tabulka 5 a Tabulka 6.

Tabulka 5: Výsledky testů klocování lázní s PCM s koncentrací  $150 \text{ g.l}^{-1}$

Vzorek	foulard		hmotnost vzorku		přivažek		
	přítlak [bar]	rychlost $\text{m.min}^{-1}$	vstup [g]	výstup [g]	[g]	[%]	pro materiál [%]
1.6	0,6	1	26,33	44,54	18,21	69,16	bavlna: 67,78
2.6	0,6	1	26,18	45,56	19,38	74,03	
3.6	0,6	1	27,39	45,20	17,81	65,02	
4.6	0,6	1	26,92	43,50	16,58	61,59	
5.6	0,6	1	27,74	44,77	17,03	61,39	
6.6	0,6	1	25,91	46,00	20,09	77,54	
7.6	0,6	1	26,55	44,00	17,45	65,73	
8.6	1,5	1,5	16,70	31,24	14,54	87,07	len: 84,75
9.6	1,5	1,5	16,50	30,10	13,60	82,42	
celkový průměr					17,19	71,55	

Tabulka 6: Výsledky testů klocování lázní s PCM s koncentrací  $250 \text{ g.l}^{-1}$

Vzorek	foulard		hmotnost vzorku		přivažek		
	přítlak [bar]	rychlost $\text{m.min}^{-1}$	vstup [g]	výstup [g]	[g]	[%]	pro materiál [%]
1.7	1,5	1,5	27,00	44,00	17,00	62,96	bavlna: 67,47
2.7	0,6	1	26,33	45,27	18,94	71,93	
3.7	0,6	1	27,79	46,17	18,38	66,14	
4.7	0,6	1	27,45	45,97	18,52	67,47	
5.7	0,6	1	26,78	43,98	17,20	64,23	
6.7	0,6	1	25,92	45,54	19,62	75,69	
7.7	0,6	1	26,65	43,68	17,03	63,90	
8.7	1,5	1,5	26,68	49,40	22,72	85,16	len: 84,77
9.7	1,5	1,5	21,70	40,01	18,31	84,38	
celkový průměr					18,64	71,32	



### 2.3.8 Termofixace

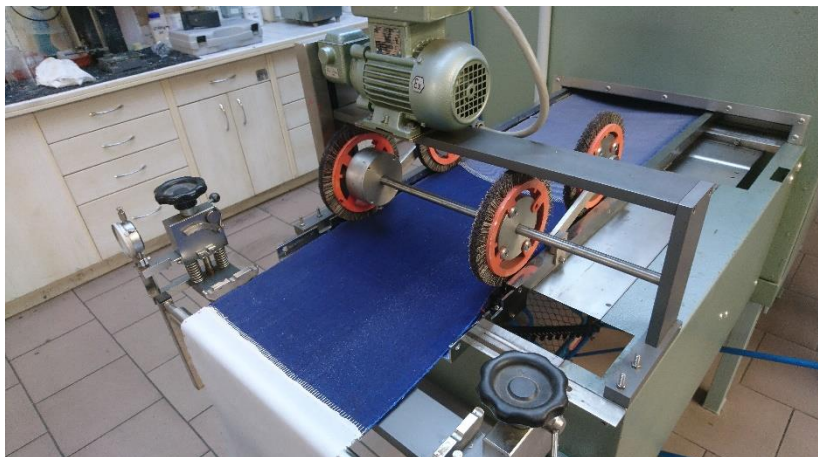
Kromě rozměrové stabilizace má i další význam a tím je aktivace pojidla obsaženého v produktu s PCM, které mikrokapsle přichytí ke struktuře textilie.

Posledním krokem úpravy košiloviny v laboratoři tedy byla už jen samotná kontinuální provozní zkouška, která se přibližovala způsobu průmyslové aplikace, kdy sady sešitých vzorků procházely najednou a bez prodlevy klocováním i termofixací.

Při termofixaci byly vzorky košiloviny vystaveny teplotě 140-145 °C po dobu 120 s. To odpovídalo rychlosti průchodu strojem 0,47 m.min<sup>-1</sup> a také doporučením výrobce, který uvádí, že po tuto dobu by měly mikrokapsle s PCM bez problému odolat i teplotám o něco vyšším (>150°C).



Obrázek 19: Kontrolní panel termofixačního stroje během fixace košiloviny



Obrázek 20: Vzorky košiloviny na vstupu do termofixačního stroje



Obrázek 21: Vzorky na výstupu z termofixace



## 2.4 Vyhodnocení vzorků po laboratorní aplikaci PCM

### 2.4.1 Přístroje použité pro sledování termických vlastností vzorků košiloviny, laboratorně upravených produktem s PCM:

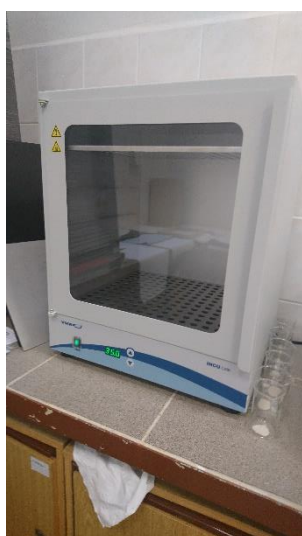
1. Termokamera FLIR E-6390
2. Laboratorní topná deska Harry Gestigkeit PZ 28-1
3. Laboratorní sušárna-pec Venticell 55
4. Inkubátor VWR INCU-Line IL56



Obrázek 22: Termokamera FLIR E-6  
(flir.com)



Obrázek 23: Topná deska Harry Gestigkeit PZ 28-1  
(wietec.de)



Obrázek 24: Inkubátor VWR  
INCU-Line IL56



Obrázek 25: Sušící pec  
Venticell 55

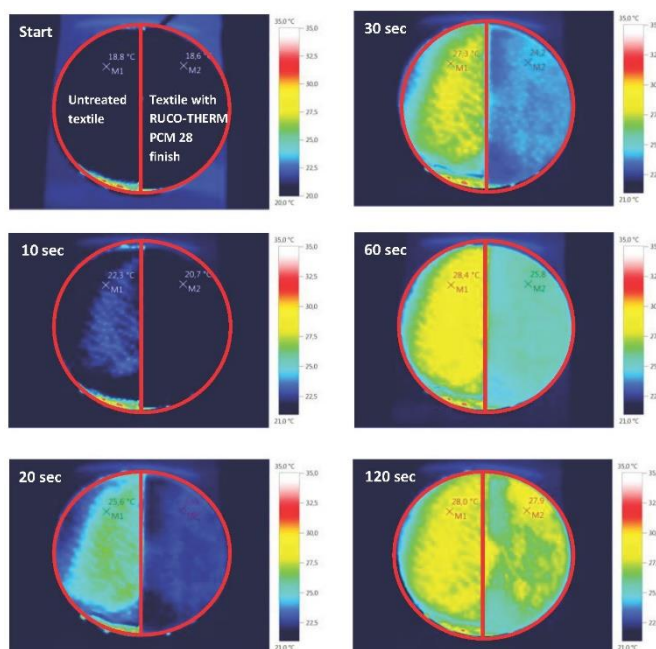




### 2.4.1.1 Vyhřívání deska s IR kamerou

Metoda spočívá ve sledování teplotních změn vzorku košiloviny s PCM, přiloženému k topné desce, pomocí infrakamery.

Touto metodou prezentuje svůj produkt RUCO<sup>®</sup>-THERM PCM 28 v propagačním letáku i firma Rudolf GmbH. Pro tento účel však používá pleteninu, která je jimi preferovanou cílovou textilií. Ta je schopna pojmout do své struktury více mikrokapslí a v případě matracoviny, se kterou jsou výsledky dále v této práci také srovnávány, ani není určena k přímému kontaktu s tělem. Použití většího množství produktu tedy umožňuje dosáhnout podstatně lepších výsledků (viz Obrázek 26) při zachování standardu zdravotní nezávadnosti.



Obrázek 26: Porovnání neupravené a upravené textilie snímané IR kamerou (Rudolf GmbH)

Samotná zkouška tedy probíhala podobně. Na rovnoměrně vyhřívávanou desku se testovaná košilovina položila a termokamerou se sledoval termoregulační účinek PCM ve vztahu ke změně teploty vzorku za určitý čas.

Pro správnou funkci bylo nutné zajistit na topné desce umístění vzorků v napnutém stavu. K tomu sloužil dvoudílný dřevěný rámeček, do kterého se košilovina upínala.



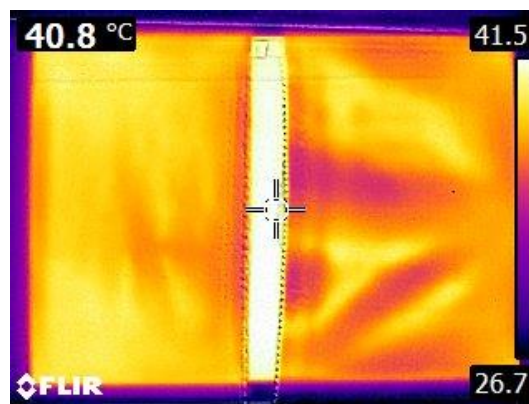


Obrázek 27: Příprava k testování termokamerou a topnou deskou

Aby pozorované změny bylo možné porovnat již z jednoho snímku termokamerou, v první části zkoušky se porovnával vývoj teploty obou vzorků (upraveného i neupraveného) v jediném kroku, tedy umístěné na topné desce vedle sebe. Přitom se muselo dbát na udržení volné strany vzorku v napnutém stavu, což by jinak znemožňovalo relevantní měření. Fotografie níže zachycují, jak zásadně by tím výsledky byly ovlivněny.



Obrázek 28: Vliv špatně přiloženého vzorku na topnou desku



Obrázek 29: Vliv špatně přiloženého vzorku na topnou desku - IR pohled

Ještě během zkoušky došlo ke snížení původně nastavené teploty povrchu topné desky ze 40 °C na 33 °C. Vyšší teplota nebyla nezbytná; při té nižší změny probíhaly pomaleji a bylo jednodušší je termokamerou zachytit.

Soubor výsledných fotografií z první části zkoušky je uveden v příloze A. Snímky byly zachyceny každých 5 sekund. Je na nich patrný účinek úpravy PCM, kdy se u upraveného vzorku pozvolna mění barevné spektrum zobrazované infrakamerou, zatímco u neupraveného je téměř konstantní po celou dobu. Také teplota je dle referenční stupnice



vyšší než v případě vzorku s PCM.

Druhá část zkoušky probíhala snímáním infrakamerou každého jednotlivého vzorku zvlášť. Postupně byly měřeny vzorky jednotlivých artiklů ze tří sad, která každá byla upravena klocovací lázní s rozdílnou koncentrací PCM. Pořízené snímky mají časový interval snímání opět 5 sekund, což ale není podstatné, neboť chladicí efekt vymizel prakticky ihned už v prvním intervalu. Zajímavé ze shromážděných snímků je však to, že lehce lepších výsledků docílí úprava s nejnižší koncentrací PCM. To by mohlo být zohledněno při výběru varianty postupu pro průmyslovou aplikaci.

Soubory snímků z druhé části zkoušky, rozdělené podle jednotlivých artiklů, obsahuje příloha B.

Výsledky potvrzují, že vzhledem k malému množství PCM a nevýraznému účinku, se mi tato metoda jeví jako nevhodná.

#### 2.4.1.2 Termosenzitivní pigment

U této zkoušky byly použity tři termosenzitivní pigmenty, každý s jinou reakční teplotou - Matsui New Vermilion 27, Ito Green 32 a Matsui Orange 37. Podstatou bylo zjistit, jakým způsobem budou jednotlivé pigmenty, nanesené na košilovinu s PCM, reagovat při jejím zahřívání.

Ke zkoušce jsem použil celkem čtyři vzorky košiloviny. Jeden vzorek bez úpravy PCM a dále jeden vzorek od každé testované koncentrace PCM (150, 200 a 250  $\text{g l}^{-1}$ ). Na každý jsem nanas tenkou vstvu všech třech termosenzitivních pigmentů a takto připravené vzorky vložil do sušící pece s nastavenou teplotou 50°C.



Obrázek 30: Test s termosenzitivními pigmenty – začátek testu



Obrázek 31: Test s termosenzitivními pigmenty – konec testu



Reakce u pigmentu Ito Green 32 nebyly dobře čitelné, a proto jsem ho dále nesledoval. Další dva pigmenty reagovaly na stejnou teplotu podle očekávání. Nejkratší dobu si udržely vybarvení na vzorku upraveném s nejnižší koncentrací produktu PCM (150  $\text{g l}^{-1}$ ) a naopak nejdéle na vzorku s PCM o koncentraci nejvyšší (250  $\text{g l}^{-1}$ ).

Tabulka 7: Záznam reakcí termosenzitivních pigmentů v závislosti na působení teploty v čase

čas [s]	Pigment				Koncentrace PCM na košilovině [ $\text{g l}^{-1}$ ]		
	Matsui New Verhllion 27		Matsui Orange 37		150	200	250
	začátek reakce	zcela vyčerpán	začátek reakce	zcela vyčerpán			
5	x				x		
8		x			x		
8	x					x	
10	x						x
12		x				x	
18		x					x
16			x		x		
21			x			x	
24			x				x
28				x	x		
31				x		x	
41				x			x

Opakovanými zkouškami byla dokázána účinnost produktu PCM, avšak nejnižší koncentrace měla z pohledu využití v praxi nevýznamný účinek, protože se prakticky shodoval s výsledky na čtvrtém, neupraveném vzorku.

Částečně mohlo mít vliv i to, že pigment byl nanesen ručně a ne v přesně definované a rovnoměrné vrstvě. To by ale znamenalo pouze zpřesnění časových údajů – výsledky by tím ovlivněny nebyly.

## 2.4.2 Měření zbytkového formaldehydu

Touto zkouškou se nezaměřujeme na žádnou z termických vlastností přímo, ale přesto s nimi úzce souvisí. Tím, že se jako nosiče PCM používá melaminoformaldehydových mikrokapslí, zde samozřejmě existuje riziko zvýšeného výskytu volného formaldehydu. Upravené vzorky proto byly odeslány do laboratoře ke zjištění, jaká je jeho hodnota.

Výsledky přibližuje Tabulka 8 a příloha C.




Tabulka 8: Výsledky testů volného formaldehydu (zdroj: Rudolf GmbH)

sample	content of formaldehyde acc. to DIN EN ISO 14184-T1 (Jap.Law112) ppm
3.9	117
10.9	105
11.9	37
3.10	119
10.10	110
11.10	41
3.11	116
10.11	103
11.11	48

Množství volného formaldehydu bylo u bavlněných vzorků podstatně vyšší než u lněných, což jistě povede k dalšímu zkoumání příčin tohoto stavu. Jednou z teorií by mohla být i samotná metoda zjišťování, kdy extrakce vody může být díky změkčovadlům a přímým barvivům, zakalená a tím zkreslit výsledky směrem do "pozitiva" [15].

Přestože se nejedná o vyloženě nebezpečnou situaci, která je řešitelná, je nutné vyšší volného formaldehydu i nadále sledovat, abychom se u této úpravy nedostali do konfliktu s limity, které stanovují její hranici pro zajištění zdravotní nezávadnosti, při používání textilie. V každém případě tyto hodnoty, podle „Japonského zákona 112“<sup>15</sup> překračují dle normy OEKO-TEX®<sup>16</sup> povolené limity, které jsou stanoveny takto:

Tabulka 9: Limity stanovené pro volný formaldehyd dle standardu OEKO-TEX (oeko-tex.com)

 OEKO-TEX® CONFIDENCE IN TEXTILES STANDARD 100	Formaldehyd [mg/kg] (Japanese LAW 112)
Limit I - děti	20 (ppm)
Limit II - přímý kontakt s kůží	75 (ppm)
Limit III - nepřímý kontakt s kůží	300 (ppm)
Limit IV - dekorační účely	300 (ppm)

<sup>15</sup> Japonský zákon 112 (Japanese law 112) – metoda, při které se pro stanovení volného formaldehydu používá extrakce vody s následným odečtem na spektrofotometru [15].

<sup>16</sup> OEKO-TEX® - Evropská norma, jejíž značka potvrzuje, že textilie neobsahuje zdraví škodlivé látky [15].





## 2.5 Průmyslová aplikace PCM

### 2.5.1 Stroje použité při průmyslové aplikaci

1. Fixační rám Babcock
2. Sanforizační stroj Monforts Monfortex
3. Kalandr Ramisch Kleinewefers



Obrázek 32: Fixační rám Babcock



Obrázek 33: Sanforizační stroj Monforts



Obrázek 34: Kalandr Ramisch Kleinewefers

Z mého pohledu byla průmyslová aplikace, díky rutinně zvládaným procesům operátory na jednotlivých strojích, nejjednodušší částí celého experimentu. Na základě získaných informací během dosavadního průběhu testování, byla jako nejvhodnější varianta zvolena koncentrace přípravku  $200 \text{ gl}^{-1}$ . Žádná z dalších složek receptury se neměnila.



### 2.5.2 Klocování, termofixace

Klocování s termofixací probíhalo na stroji Babcock se dvěma koryty pro klocovací lázeň. Obě koryta byla použita a podobně, jako v laboratoři, byla lázeň po namíchání před napuštěním koryt ještě přefiltrována.

Na první dvojici foulardových válců byl nastaven tlak  $370 \text{ Ncm}^{-1}$ , na druhé potom o něco méně,  $200 \text{ Ncm}^{-1}$ . Zkontrolovaná konstantní zbytková vlhkost byla 65% a také teplota ve fixační části a doba průchodu strojem odpovídaly hodnotám z laboratoře – tedy  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  a 120 s.

Vzhledem k relativně malé délce testovací tkaniny, byla tato operace během pár okamžiků dokončena.

### 2.5.3 Sanforizace, kalandrování

Obě operace proběhly s běžným nastavením strojů pro daný typ košiloviny. Ke kalandrování se ještě vrátím v hodnocení výsledků, ale pro tuto chvíli nemá význam se tomu více věnovat.

## 2.6 Vyhodnocení po průmyslové aplikaci

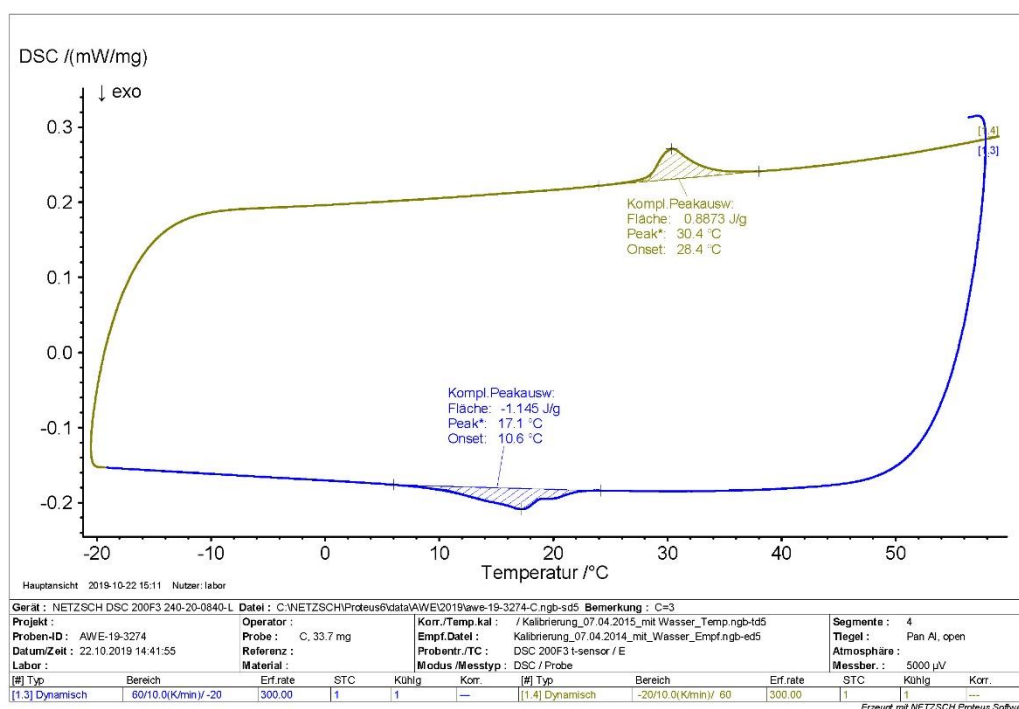
Potvrdilo se, že účinnost úpravy pomocí PCM je přímo úměrná objemu (parametrům konstrukce) dané textilie, která je schopna pojmout a udržet větší množství mikrokapslí. Jak už bylo zmíněno, struktura košiloviny takové konfiguraci příliš neodpovídá (tloušťka, hustota,...), a proto nejsou výsledky s ohledem na tepelnou izolaci tak zřetelné. Tloušťka by byla v pořádku, ale poréznost, která by podporovala transport vlhkosti, je nízká. Nicméně i tak z následného průzkumu mezi respondenty, kterým byl poskytnut hotový výrobek k odzkoušení vyplývá, že požadovaných vlastností tepelného komfortu bylo částečně dosaženo (viz subjektivní hodnocení testování).



## 2.6.1 Objektivní metody měření

### 2.6.1.1 Diferenciální skenovací kalorimetrie u vzorku z průmyslové aplikace PCM

U vzorku z průmyslové aplikace hodnota tepelné kapacity košiloviny po úpravě produktem s PCM ( $0,9 \text{ Jg}^{-1}$  – viz Obrázek 35) bohužel zaostala za očekáváním. Podle mého názoru a jak napovídají zkoušky, které provedl s danou textilií sám výrobce, je možné, že došlo k destrukci části mikrokapslí při kalandrování. Tato finální úprava ale patří u košilovin ke stěžejním, takže ji není možné vynechat. Přesto si myslím, že zde určitý potenciál ve zkoumání nastavení strojních parametrů tak, aby se našel vhodný kompromis k úspěšnějšímu použití PCM, určitě je.



Obrázek 35: Výsledná křivka DSC analýzy průmyslově upraveného vzorku produkty s PCM

### 2.6.1.2 Fotografie z mikroskopu

Fotografie vláken, na kterých jsou přichyceny mikrokapsle dokazují, jak moc obtížné je u košiloviny ve srovnání s objemnou pleteninou (kterou matracovina je) proniknout do její struktury (více v příloze F).





## 2.6.2 Subjektivní hodnocení

### 2.6.2.1 Testování hotového výrobku lidmi

Kromě objektivních laboratorních měření, ať už je jejich replikovatelnost či způsob jakýkoli, je velmi důležité i subjektivní hodnocení samotného výrobku.

Neměl jsem možnost testování hotové košile na figuríně, ale význam hodnocení respondentů, kterým jsem košili poskytl, také nelze nijak snižovat nebo podceňovat. V laboratoři lze totiž testovat různé výrobky stejným způsobem, ale u lidských jedinců, pohybujících se, na rozdíl od laboratoře, v různých prostředích, je tomu přesně naopak. Stejný výrobek bude mít vždy jiný „postup“ testování i hodnocení a jeho super výsledky v laboratoři nakonec vůbec nemusí znamenat stejné výsledky a úspěch v reálném životě.

Jak poznamenává Ross [4], lidé v podmínkách vyžadujících chlazení nemají většinou tělo stoprocentně pokryto, takže bude obtížné posoudit chladicí technologii, pokud zároveň nezohledníme chladicí účinek obnažené kůže.

„V horkém počasí nosíme kraťasy a krátké rukávy a necháváme tak exponované oblasti kůže. Exponovaná kůže má dramatičtější chladicí účinek než oblasti pokryté textilem a pocit pohodlí v těchto oděvech může mít v naší mysli větší účinek než jejich chladicí vlastnosti.“

U tohoto způsobu je nereálné zajistit konstantní podmínky pro testování hotových výrobků tak, aby bylo možné porovnávat účinky upravené textilie pomocí PCM s tou, která takto upravena nebyla.

Abyste měli spotřebitelé alespoň nějakou možnost vyjádřit subjektivní hodnocení svého pocitu, přistoupil jsem v rámci experimentu k metodě, kdy jsem nechal několik košil vyrobit přesně z jedné poloviny s PCM a z druhé poloviny bez něho, jak znázorňuje Obrázek 36. Zároveň jsem neprozradil, která polovina je ta s předpokládanými chladivými účinky.

Úkolem pro hodnotitele bylo vyjádřit svůj pocit termofyziologického komfortu a také správně určit polovinu s uprovou PCM.

Sady košil byly ušity testovaným osobám na míru (made-to-measure), aby co nejlépe odpovídaly tělesným proporcím jednotlivých nositelů a správně seděly na těle, což je důležité pro správné vnímání materiálu a jeho vlastností, včetně chladivého efektu.

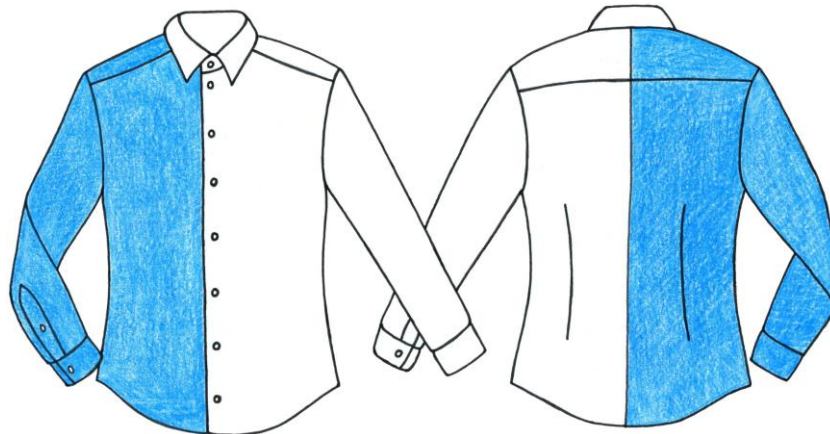
Testování košil probíhalo v zimních měsících. Testované osoby v košilích docházely



do zaměstnání, konkrétně kanceláří.

### 2.6.3 Hodnocení hotového výrobku

Všechny shodně zhodnotily materiál jako velmi příjemný na omak, spíše silnější/s vyšší plošnou hmotností, což je pro zimní měsíce pochopitelné. Košile se málo mačkaly (non iron-úprava). Údržba žehlením byla podle všech velmi snadná.



Obrázek 36: Schéma oblastí materiálu s PCM na testovaných košilích

Tři z hodnotitelů jasně pocítovali rozdíl mezi levou a pravou polovinou především na pažích. Rozdílný pocit na pravé resp. levé polovině trupu nebyl příliš výrazný.

Větší chladivý efekt byl pocítován při chůzi ve srovnání se sezením.

### 2.6.4 Souhrn subjektivních odpovědí hodnotitelů z běžného

#### nošení košil:

##### 2.6.4.1 Hodnotitel 1:

"Obvykle se hodně potím a nosit košili v teplém prostředí je trošku noční můra. Úplně jsem možnému chladivému efektu u bavlněné košile nevěřil, ale po vyzkoušení se mi zdá, že to funguje. Není to sice jako u funkčního oblečení na sport, ale rozdíl proti obyčejné košili tam podle mého byl."

##### 2.6.4.2 Hodnotitel 2:

"V klidu/v sedě jsem chladivý efekt příliš nepocítoval, ale při pohybu (rychlejší chůzi)



venku už rozdíl proti "normální" bavlněné košili cítit byl."

#### **2.6.4.3 Hodnotitel 3:**

"Tato bavlněná košile byla velmi příjemná na omak, málo se mačkala, po vyprání se velmi snadno žehlila.

U dělené verze bych řekl, že opravdu jedna polovina byla chladivější. V košili kompletně ušité ze speciálně upravené tkaniny bych řekl, že jsem se potil méně než obvykle."

#### **2.6.4.4 Hodnotitel 4:**

"Úplně bych neřekl, že, co se týká těla, by jedna polovina chladila více a druhá méně. Na rukách resp. rukávech jsem občas něco pocítil, ale neřekl bych, že to funguje."

#### **2.6.4.5 Hodnotitel 5:**

"V teplém dni mi bylo v košili poměrně teplo, protože je spíše silnější, (normálně bych si oblékl tenčí/lehčí). U dělené verze bych řekl, že na jedné straně lehký chladivý efekt cítit byl. Košili ušitou celou z chladivého materiálu jsem měl na sobě druhý den, kdy nebylo takové teplo, takže to, že mi bylo fajn, nemusela být zásluha té košile."



### 3. ZÁVĚR

Přestože vývoj nových technologií a produktů PCM neustále pokračuje, v procesu výroby oděvních textilií jsou zatím možnosti opravdu značně omezené. Důvodem jsou velmi malé hmotnostní poměry PCM k hmotnosti textilie a tím pochopitelně nižší hodnoty latentního tepla. U 30% hmotnostního poměru, který byl v použitém produktu, to může být až například do  $10 \text{ kJkg}^{-1}$ , přestože hodnota původního čistého produktu PCM je přes  $200 \text{ kJkg}^{-1}$ .

Lepších hodnot lze dosáhnout přímou integrací do vláken, kdy při nižším poměru bylo dosaženo minimálně stejné hodnoty latentního tepla. To ale bohužel není, v případě bavlněné nebo lněné košiloviny, dost dobře možné. Zatím...

Potvrdilo se také, že mnohem větší možnosti skýtá použití s pleteninami, které jsou díky svému objemu schopny pojmout, na rozdíl od tkaniny, větší množství PCM produktu.

Také se ukázalo, že nezbytné finální úpravy košilovin, mohou být nepřekonatelnou překážkou a že nebezpečí pro PCM může znamenat i tak běžná operace, jako je kalandrování, což dokazují uvedené výsledky laboratorních zkoušek.

Ano, očekávání byla určitě větší, ale neřekl bych, že je to úplně slepá ulička. Věřím, že se v budoucnu podaří pro mikrokapsle vyvinout materiál, jenž nebude zdravotně závadný a tím zmizí další z mnoha překážek, které omezují množství produktu, které je prozatím možné na textilií nanést. To by otevřelo dveře dalším technologiím nánosování, jakou je například tisk.

Pokud zhodnotím námahu a čas, který jsem touto prací strávil, rozhodně si nemyslím, že by byl strávený zbytečně. Cestou jsem došel na spoustu křižovatek, na kterých bych se už nyní, po nabytých zkušenostech, rozhodl trochu jinak a možná bych byl úspěšnější. Zatím jsem ale přesvědčen, že v případě košilovin by se jednalo o více než funkční, spíše marketingovou záležitost.



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma principu PCM (energy.co.kr) .....	18
Obrázek 2: Ilustrační (depositphotos.com).....	19
Obrázek 3: Rozdělení PCM [12].....	21
Obrázek 4: Funkce PCM v textilních aplikacích [5] .....	23
Obrázek 5: Morfologie různých typů mikrokapslí [11].....	25
Obrázek 6: Příkl. výroby PCM in-situ polymerizací (Zhang H. & Wang X., 2009_@Elsevier B.V).26	
Obrázek 7: Povrstvování textilií (outlast.com) .....	27
Obrázek 8: Implementace PCM do syntetických vláken (outlast.com) .....	27
Obrázek 9: Nanášení PCM na textilií tiskem (outlast.com).....	27
Obrázek 10: Schéma DSC - porovnání konvenční a čipové technologie (linseis.com).....	28
Obrázek 11: Vrtačka Narex EV 13 E-2H3 (archiv autora) .....	31
Obrázek 12: Laboratorní váhy VEB Wägetechnik Rapido 751.05 (archiv autora) .....	31
Obrázek 13: Sušící pec LAB dryer LTE (archiv autora).....	31
Obrázek 14: Foulard Ernst Benz AG_KLF-HV500 E.EX (archiv autora) .....	31
Obrázek 15: Termofixační rám Ernst Benz AG_KTF-V500 (archiv autora) .....	31
Obrázek 16: Krupičky produktu PCM při nedostatečném promíchání lázně (archiv autora) .....	33
Obrázek 17: Pěna vytvořená při míchání (archiv autora) .....	33
Obrázek 18: Stopy produktu z nedokonalé promíchané klocovací lázně .....	33
Obrázek 19: Kontrolní panel termofixačního stroje během fixace košiloviny (archiv autora) ...	35
Obrázek 20: Vzorky košiloviny na vstupu do termofixačního stroje (archiv autora) .....	35
Obrázek 21: Vzorky na výstupu z termofixace (archiv autora) .....	35
Obrázek 22: Termokamera FLIR E-6 (flir.com) .....	36
Obrázek 23: Topná deska Harry Gestigkeit PZ 28-1 (wietec.de).....	36
Obrázek 24: Inkubátor VWR INCU-LineLL56 (archiv autora) .....	36
Obrázek 25: Sušící pec Venticell 55 (archiv autora).....	36
Obrázek 26: Porovnání neupravené a upravené textilie snímané IR kamerou (Rudolf GmbH) .	37
Obrázek 27: Příprava k testování termokamerou a topnou deskou (archiv autora) .....	38
Obrázek 28: Vliv špatně přiloženého vzorku na topnou desku (archiv autora).....	38
Obrázek 29: Vliv špatně přiloženého vzorku na topnou desku - IR pohled (archiv autora) .....	38
Obrázek 30: Test s termosenzitivními pigmenty – začátek testu (archiv autora).....	39
Obrázek 31: Test s termosenzitivními pigmenty – konec testu (archiv autora) .....	39
Obrázek 32: Fixační rám Babcock (archiv autora).....	42
Obrázek 33: Sanforizační stroj Monforts (archiv autora).....	42
Obrázek 34: Kalandr Ramisch Kleinewefers.....	42
Obrázek 35: Výsledná křivka DSC analýzy průmyslově upraveného vzorku produkty s PCM ....	44
Obrázek 36: Schéma oblastí materiálu s PCM na testovaných košilích (archiv autora) .....	46



---

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vybrané příklady běžně používaných PCM [10] .....	21
Tabulka 2: Příklady trvání účinku PCM v poměru k jeho množství obsaženého v textilií za předpokladu, že nedochází k další absorpci tepla z okolí a ostatní podmínky jsou konstantní .	24
Tabulka 3: Seznam vzorků košilovin určených k testování a jejich základní parametry .....	29
Tabulka 4: Zkoušky klocování vodou pro nastavení foulardu .....	32
Tabulka 5: Výsledky testů klocování lázní s PCM s koncentrací 150 g.l <sup>-1</sup> .....	34
Tabulka 6: Výsledky testů klocování lázní s PCM s koncentrací 250 g.l <sup>-1</sup> .....	34
Tabulka 7: Záznam reakcí termosenzitivních pigmentů v závislosti na působení teploty v čase 40	
Tabulka 8: Výsledky testů volného formaldehydu (zdroj: Rudolf Chemie) .....	41
Tabulka 9: Limity stanovené pro volný formaldehyd dle standardu OEKO-TEX (oeko-tex.com)	41



## ZDROJE A LITERATURA

- [1] Textilní zbožíznalství 1, Zkratky textilních vláken, Technická univerzita Liberec, leden 2014, [vid. 2020-05-16]  
Dostupné z: <https://turbo.cdv.tul.cz/mod/page/view.php?id=854>
- [2] TUMAJER, Petr, Martin BÍLEK a Josef DVOŘÁK. *Základy tkaní a tkací stroje*. Technická univerzita Liberec, červen 2015, ISBN 978-80-7494-215-0
- [3] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. 1. vydání. Technická univerzita Liberec, 2005, ISBN 80-708-3926-0.
- [4] ROSS, Charles a Alece DAVIES. *Beating the heat with cooling fabric technologies*. June 2018, [vid. 2020-05-17]  
Dostupné z: <https://www.wtin.com/article/2018/june/110618/beating-the-heat-with-cooling-fabric-technologies/>
- [5] WIENER, Jakub et al. *Structures containing PCM and nanofibres*. Technická univerzita Liberec a Zhejiang Sci-Tech University Hangzhou, China, 2019
- [6] SALAÛN, Fabien. *Phase Change Materials for Textile Application, Textile Industry and Environment*. April 2019, Ayşegül Körlü, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.85028. [vid. 2020-05-18]  
Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/textile-industry-and-environment/phase-change-materials-for-textile-application>
- [7] Internetové stránky firmy Outlast® Technologies LLC. [vid. 2020-04-29]  
Dostupné z: <http://outlast.com>
- [8] RUCO-THERM PCM 28, *Produktový a bezpečnostní list*, Rudolf GmbH
- [9] MHADHBI, Mohsen. *Phase Change Materials and Their Applications*. August 2018, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.79432. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/phase-change-materials-and-their-applications/introductory-chapter-phase-change-material>
- [10] GAO, C.T. *Phase-change materials (PCMs) for warming or cooling in protective clothing*. Lund University, Sweden, Elsevier Ltd 2014, [vid. 2020-05-14], DOI: 10.1533/9781782420408.2.227
- [11] JURKOWSKA, Małgorzata a Ireneusz Szczygieł. *Review on properties of*



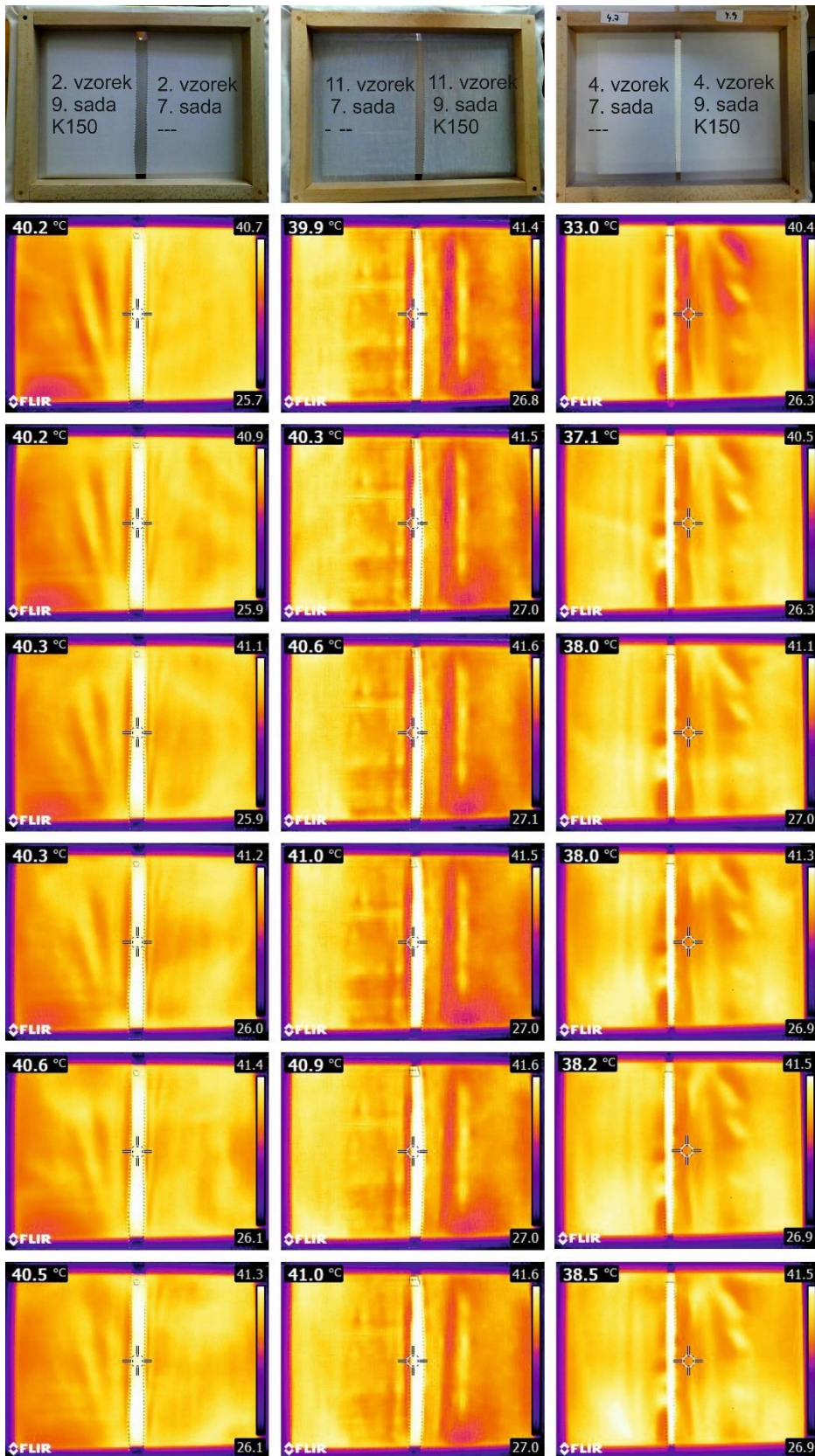
- microencapsulated phase change materials slurries (mPCMS)*. April 2016, Applied Thermal Engineering, DOI :10.1016/j.applthermaleng.2015.12.051, Institute of Thermal Technology, Silesian University of Technology, Poland, Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.051>
- [12] SU, Weiguang (UNNC: The University of Nottingham Ningbo China), DARKWA, Jo (University of Nottingham) a Georgios KOKOGIANNAKIS, *Review of solid-liquid phase change materials and their encapsulation technologies*, August 2015, Renewable & Sustainable Energy Reviews, DOI:10.1016/j.rser.2015.04.044 [vid. 2020-05-14]  
Dostupné z: <https://scinapse.io/papers/2034217076>
- [13] RŮŽIČKA, Jaroslav et al. *Technologie předúprav, finálních a speciálních úprav textilních materiálů*. VŠCHT Pardubice, 1985. ISBN 55-718-84.
- [14] KOPECKÝ, Jan. *Určení kinetických parametrů reakcí pomocí DSC měření*. VUT Brno, 2018. Diplomová práce
- [15] CHOUDHURY, Asim, Kumar, Roy. *Principles of Textile Finishing*. (str.281-282), Woodhead Publishing, 2017, ISBN: 978-0-08-100646-7, DOI: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04207-4>





## PŘÍLOHA A: Soubor IR fotografií – porovnání ke vzorku bez PCM

Souhrn IR fotografií ze zkoušky topnou deskou – kombinované snímky



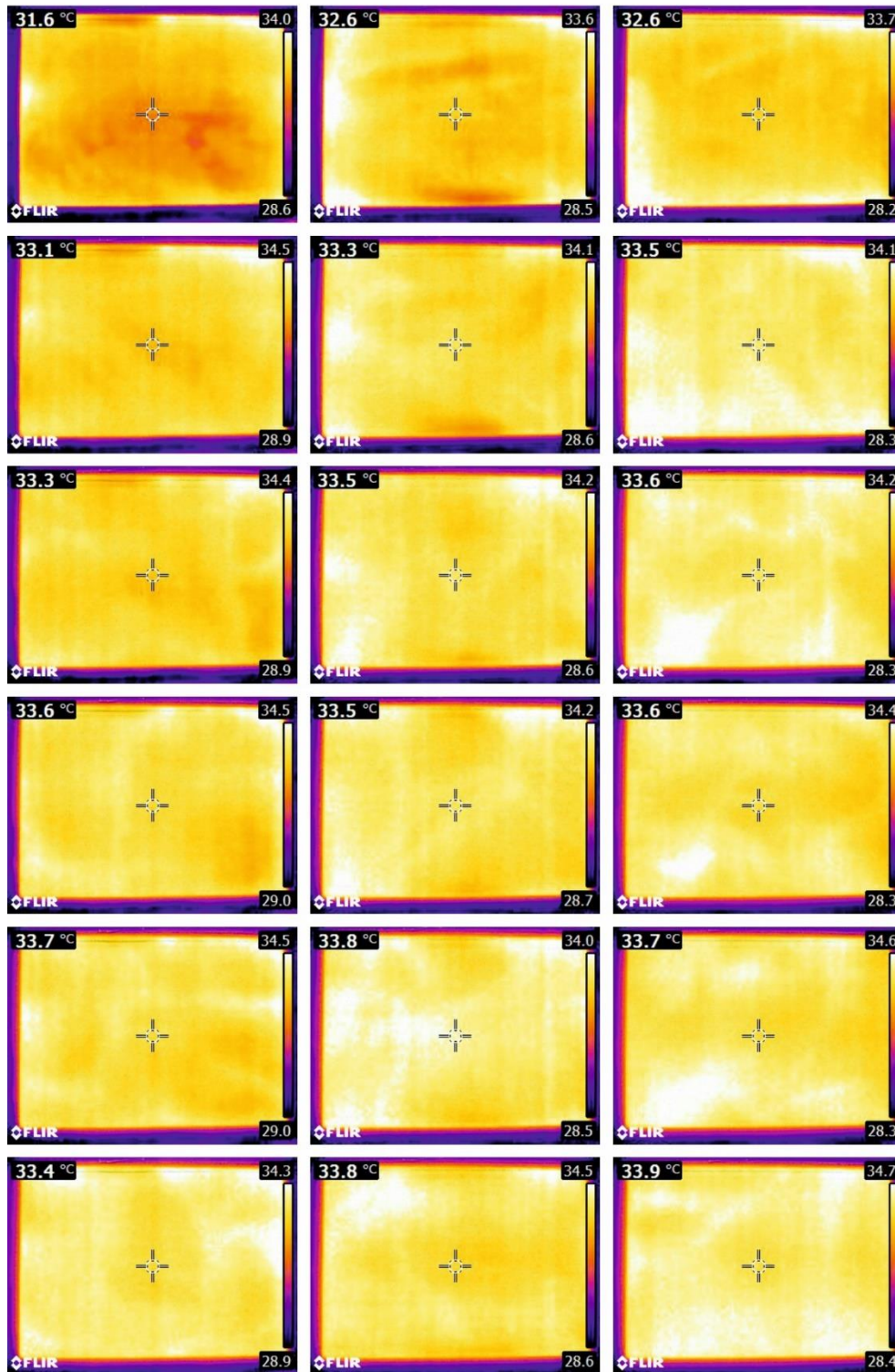
**PŘÍLOHA B: Soubor IR fotografií – porovnání koncentrací PCM**

Soubor IR fotografií ze zkoušky topnou deskou – porovnání použitých koncentrací klocovací lázně s PCM

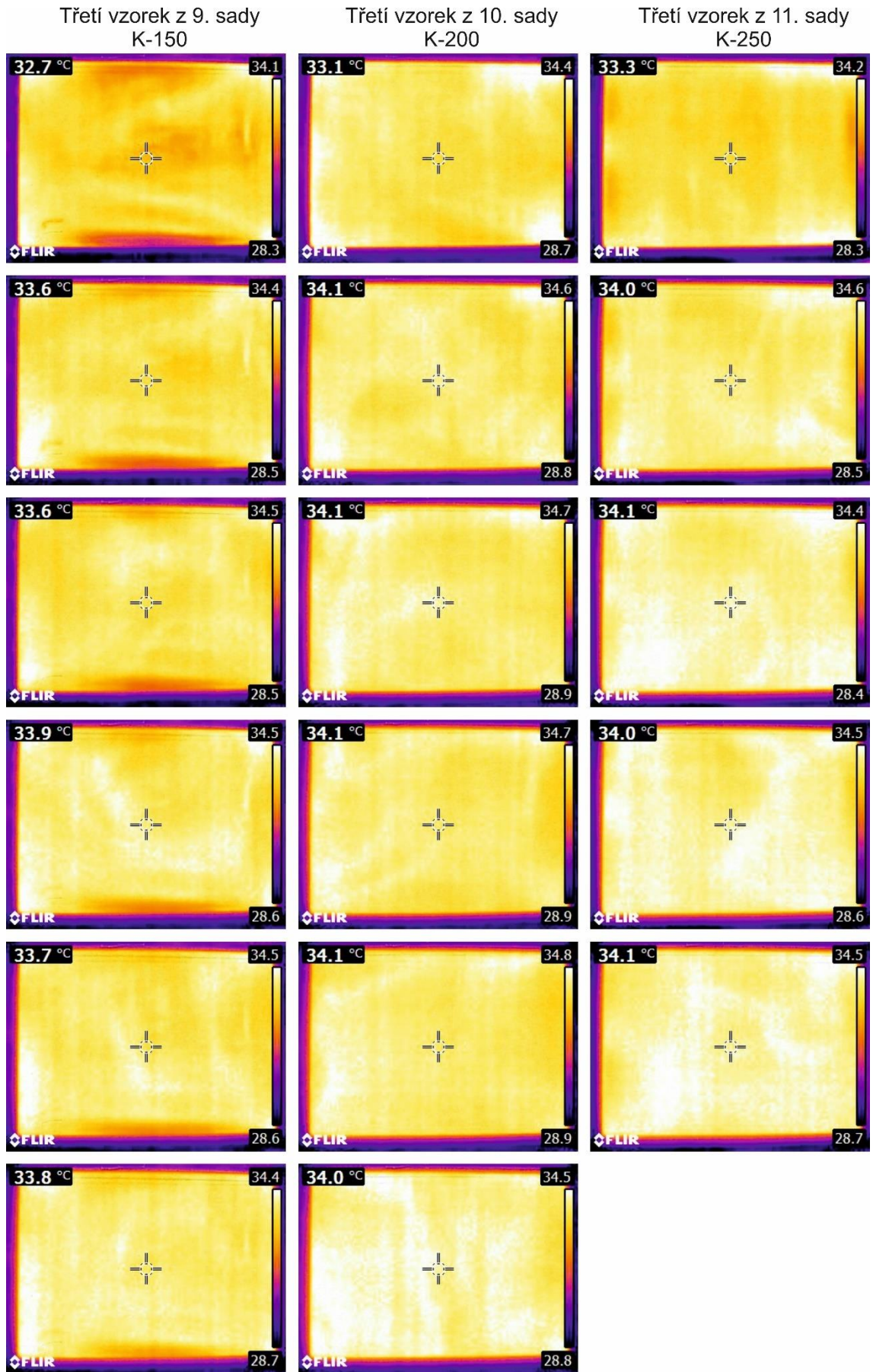
Druhý vzorek z 9. sady  
K-150

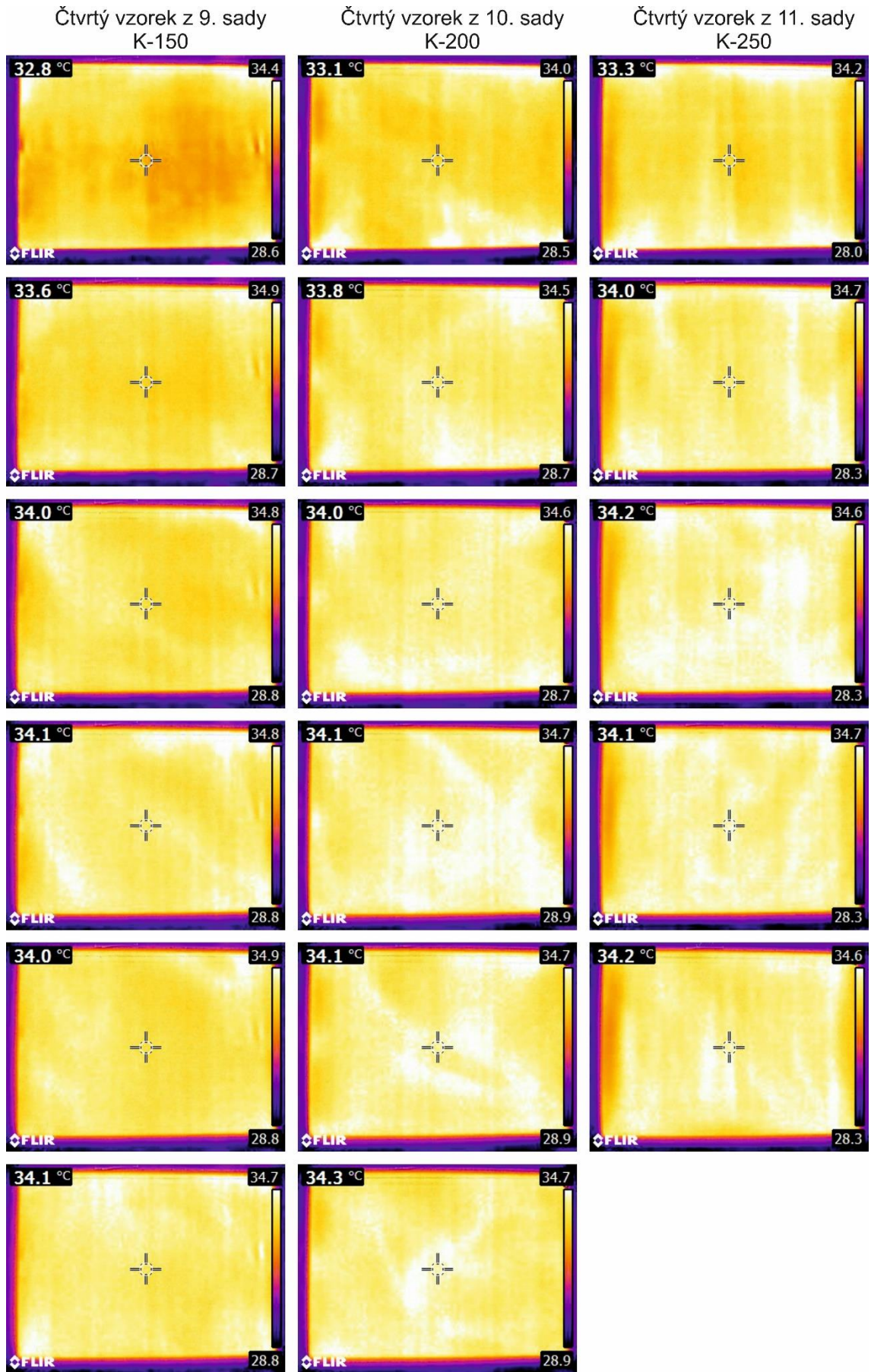
Druhý vzorek z 10. sady  
K-200

Druhý vzorek z 11. sady  
K-250







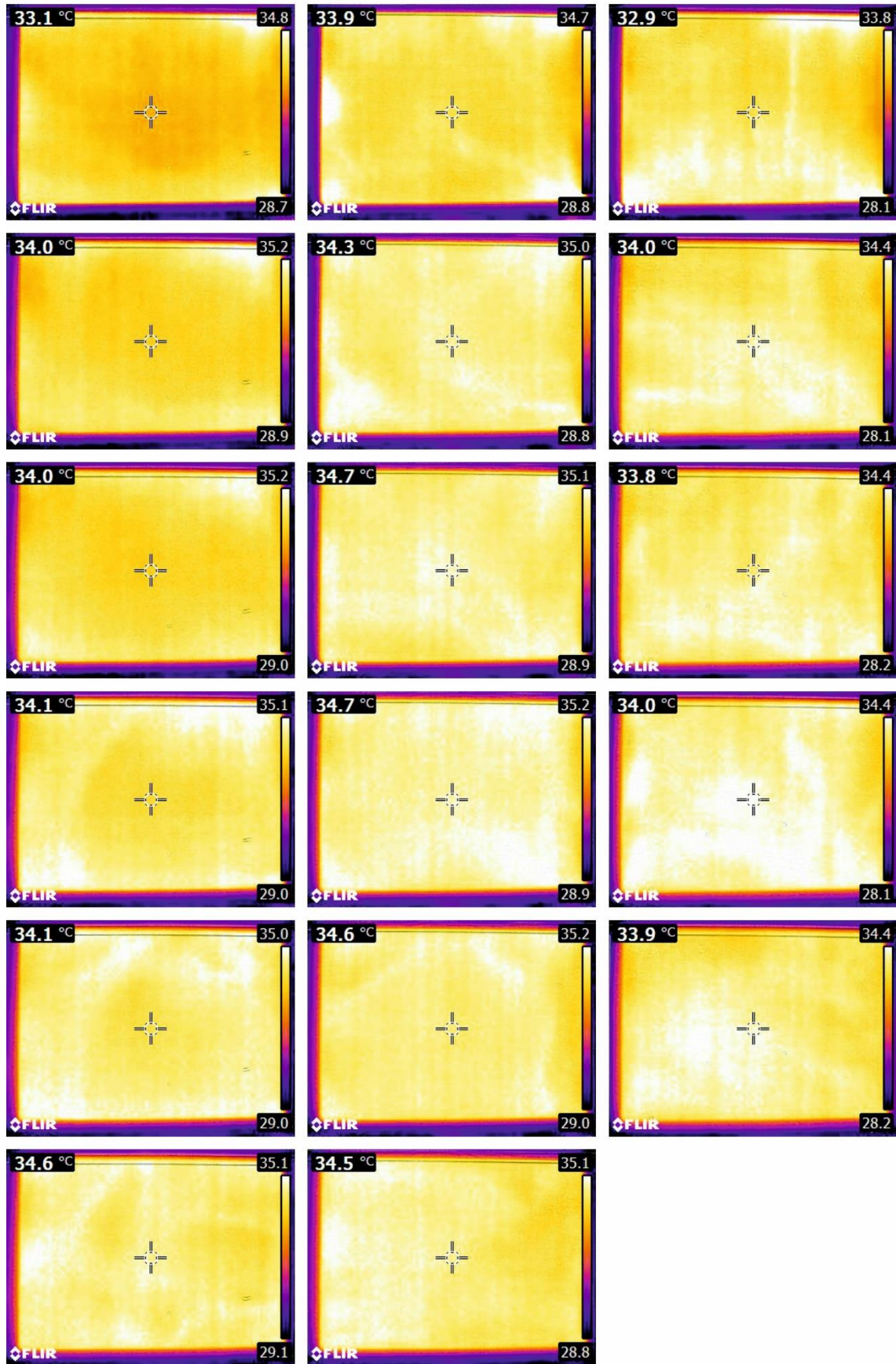




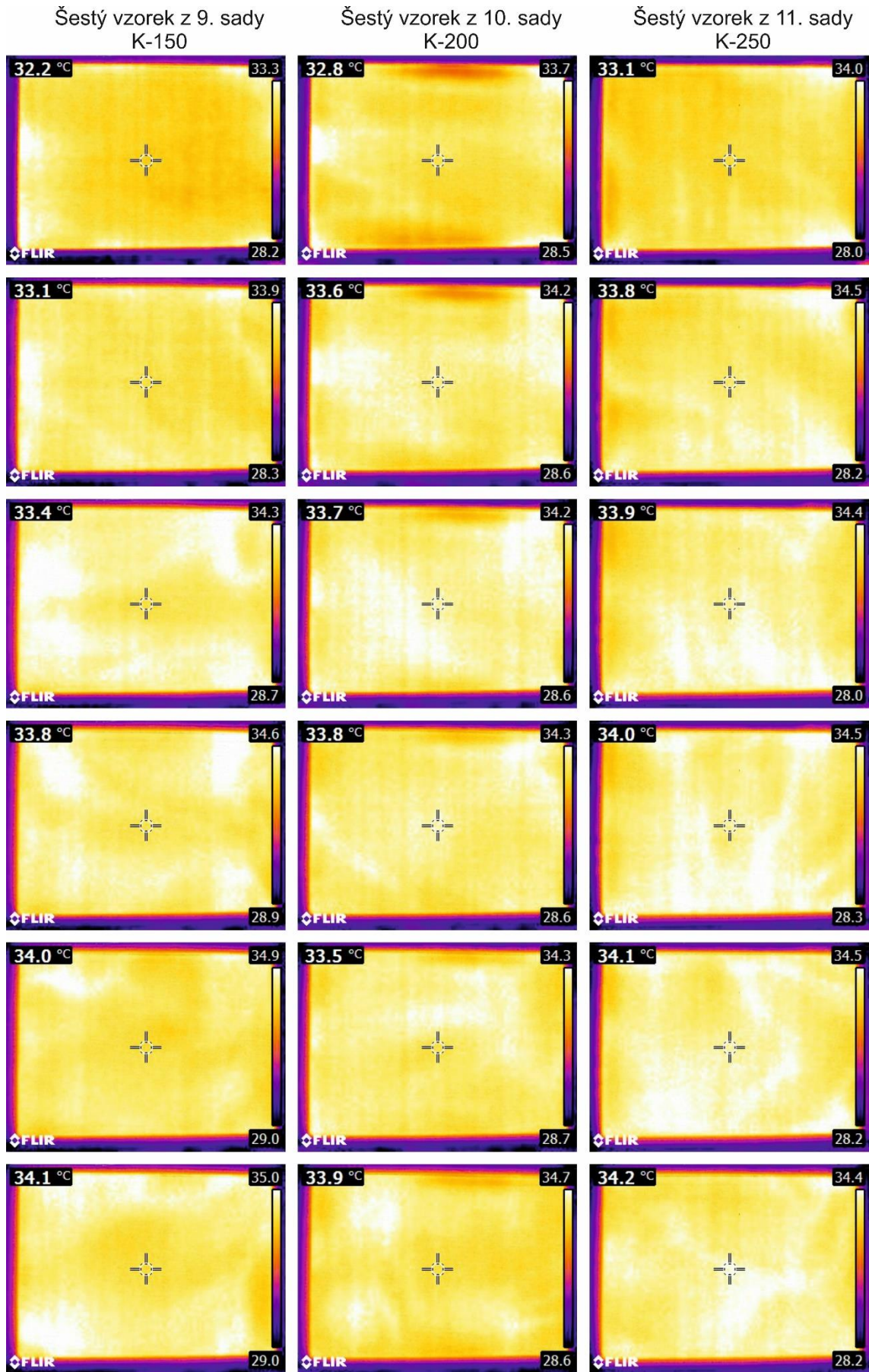
Pátý vzorek z 9. sady  
K-150

Pátý vzorek z 10. sady  
K-200

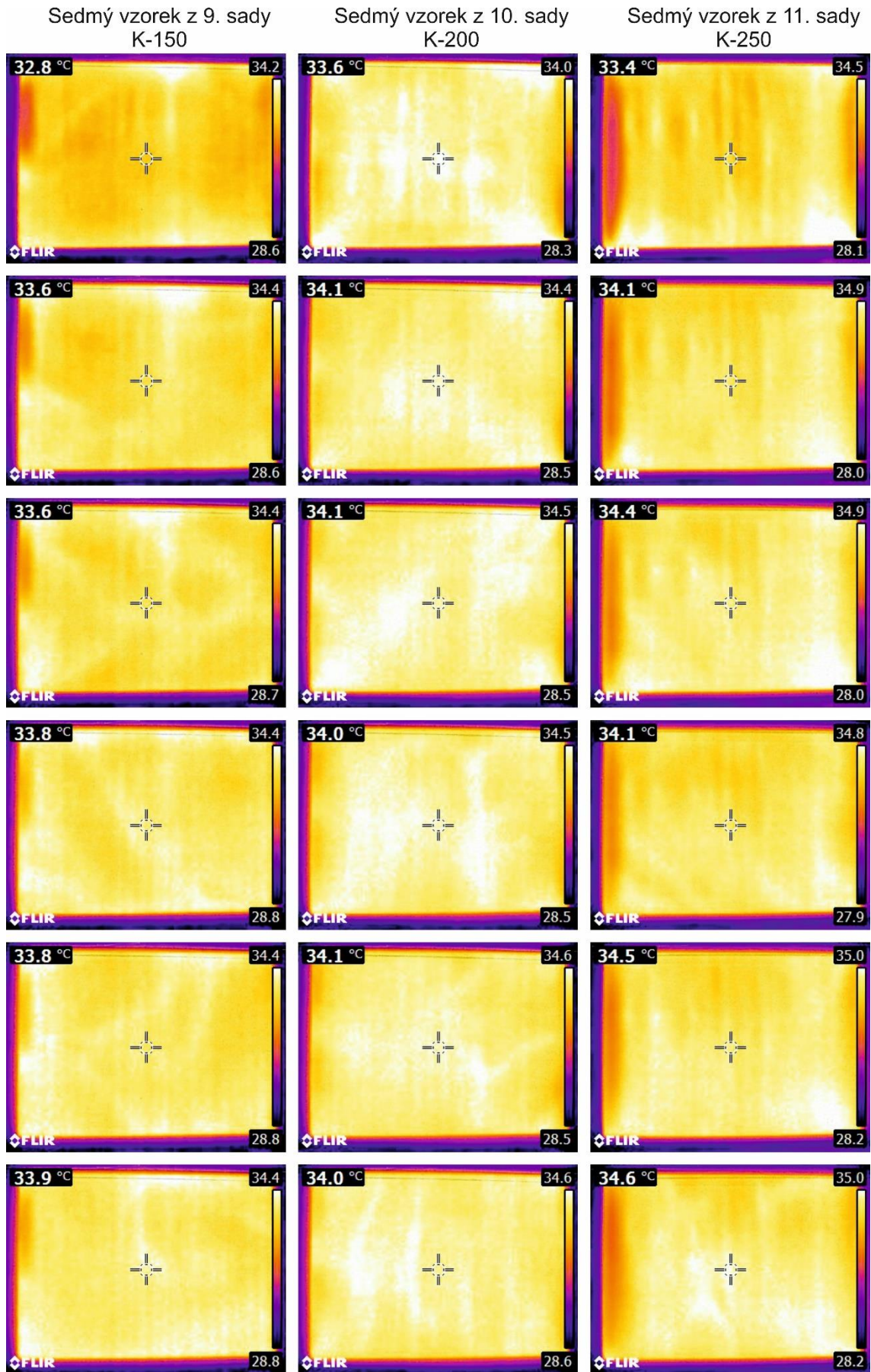
Pátý vzorek z 11. sady  
K-250



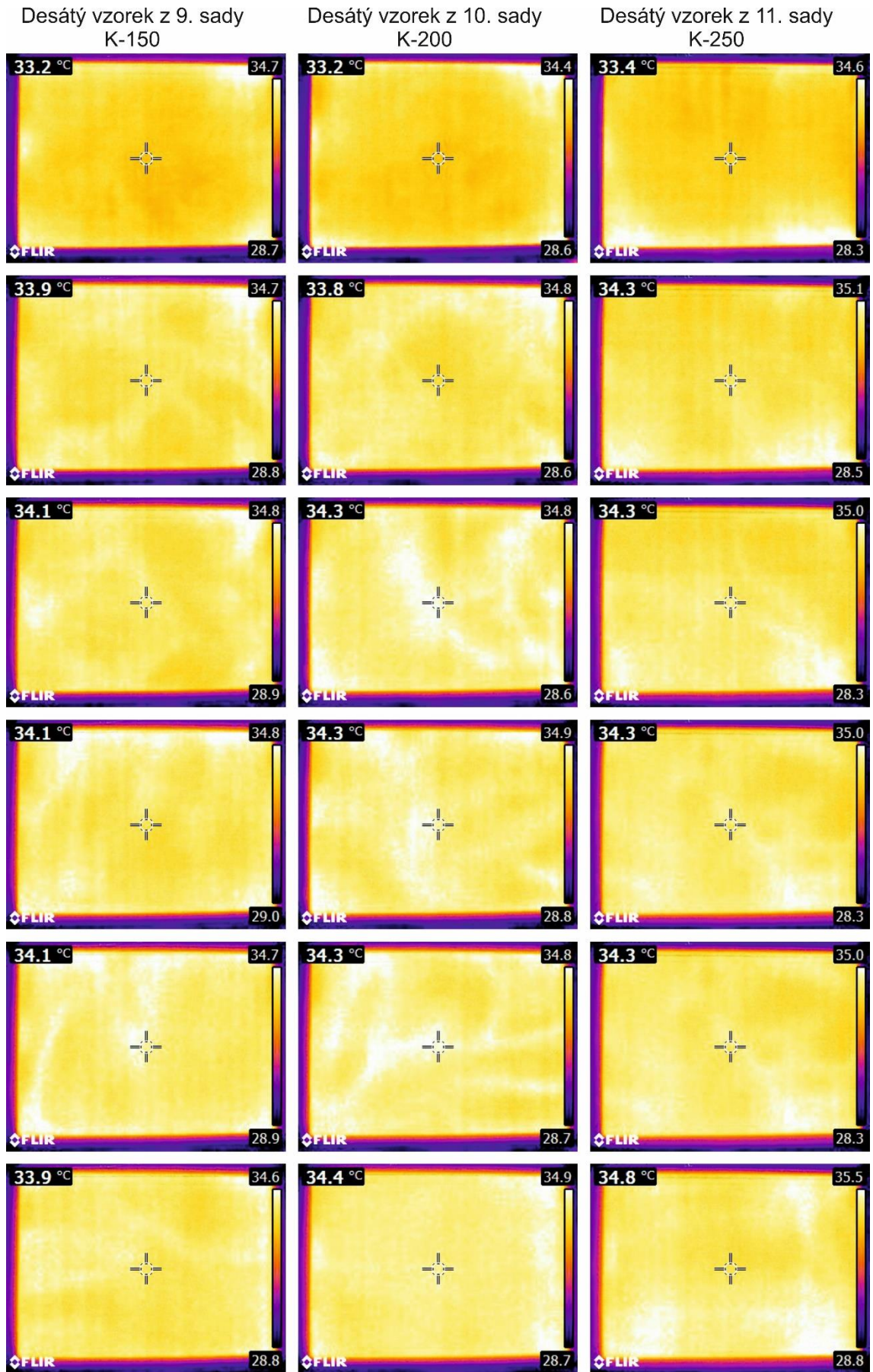




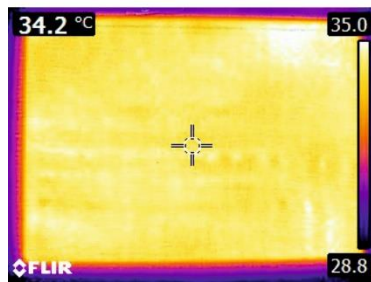
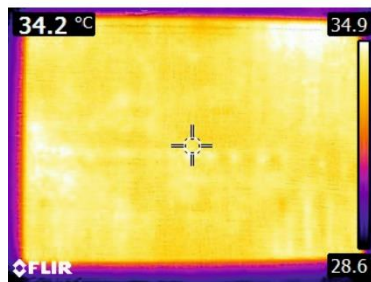
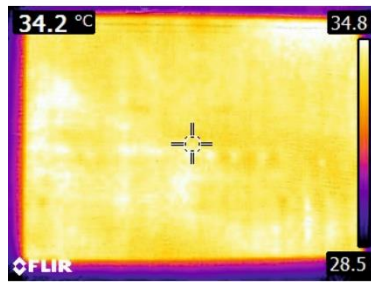
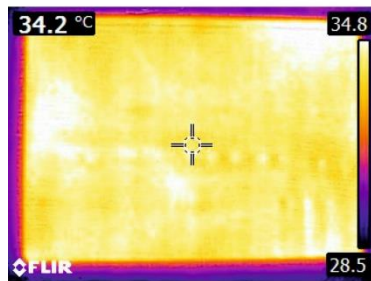
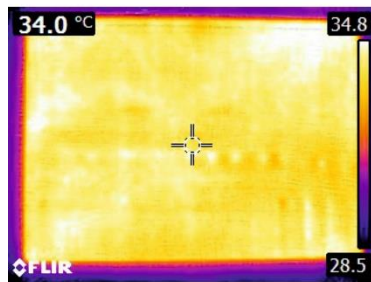
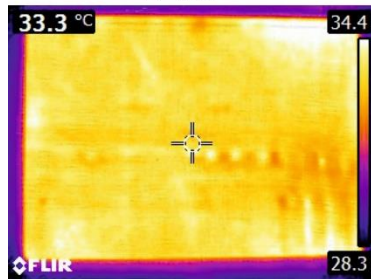
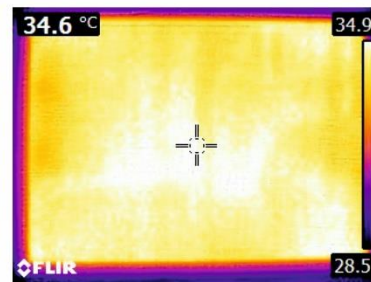
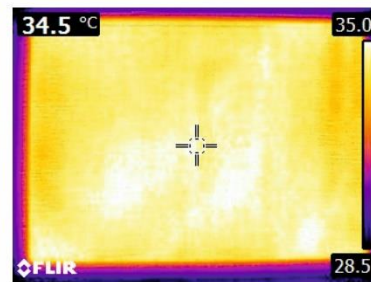
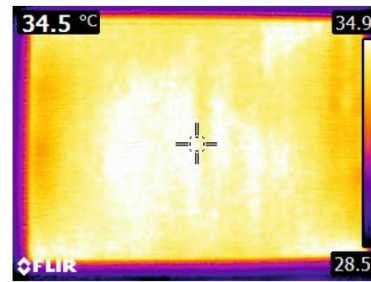
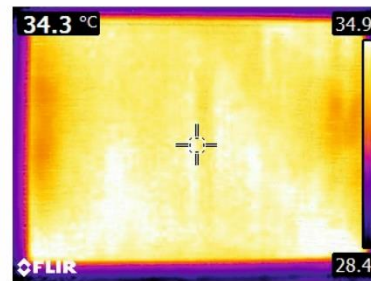
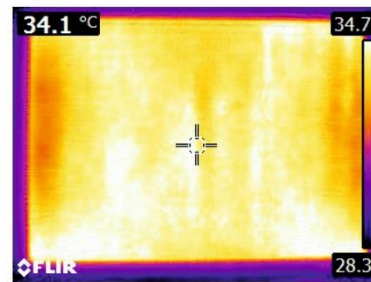
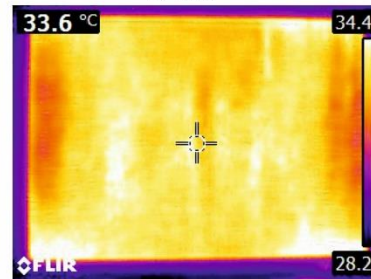
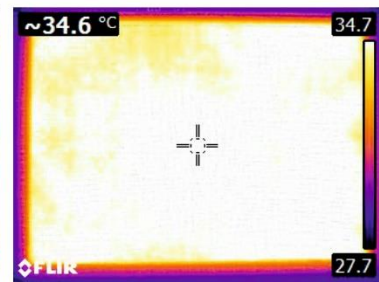
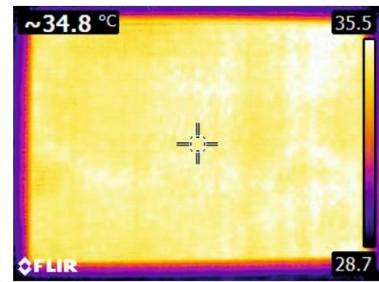
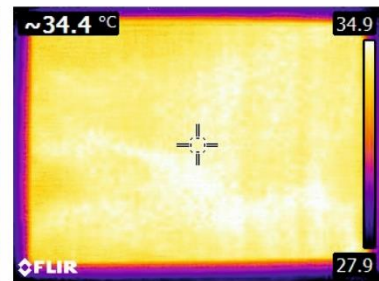
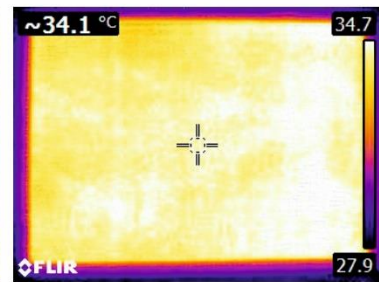
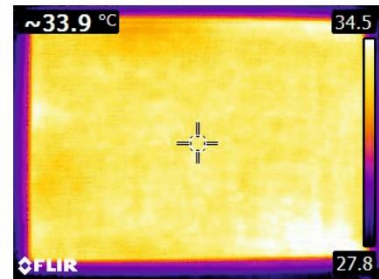










Jedenáctý vzorek z 9. sady  
K-150Jedenáctý vzorek z 10. sady  
K-200Jedenáctý vzorek z 11. sady  
K-250

**PŘÍLOHA C: Formaldehyd v laboratorní aplikaci**

Analýza volného formaldehydu u vzorků upravených PCM v laboratoři.

**Technical Service Report  
SLT-19-1245-0** Date: 11.04.2019**Recipient** Stanislav Rydval, Tschechische Republik**Representation** Rudolf Chemie Czech Republic  
**Material** 6 CO and 3 FLAX-woven fabrics**Subject** content of formaldehyde

sample	content of formaldehyde acc. to DIN EN ISO 14184-T1 (Jap.Law112)
	ppm
3.9	117
10.9	105
11.9	37
3.10	119
10.10	110
11.10	41
3.11	116
10.11	103
11.11	48

Best regards

RUDOLF GMBH  
i.V. Rosmarie Rüdiger

Rosmarie Rüdiger Tel: +49 8171 53 172 E-Mail:Rosi.Ruediger@rudolf.de

Rudolf GmbH Altvaterstr. 58-64 82538 Geretsried / Germany  
Fon: +49 8171 53-0 Fax: +49 8171 53-191 E-Mail:dolf@rudolf.de

**PŘÍLOHA D: Formaldehyd a DSC v průmyslové aplikaci**

Analýza volného formaldehydu a DSC analýza u vzorku z průmyslové aplikace PCM.

**Technischer Service Bericht**  
**AWE-19-3274-0** Datum: 23.10.19 GrG



**Empfänger** Mileta A.G., Tschechische Republik

**Btl./Vertr.** Rudolf Chemie Tschechien S.R.O

**Material** 3 CO Gewebe, Art. Oslo, weiß  
 A) unausgerüstet(?)  
 B) Feuchtvernetz + Endausrüstung  
 C) Feuchtvernetz + Endausrüstung mit **RUCO-THERM PCM 28**

**Aufgabe** Überprüfung der thermoregulierenden Ausrüstung

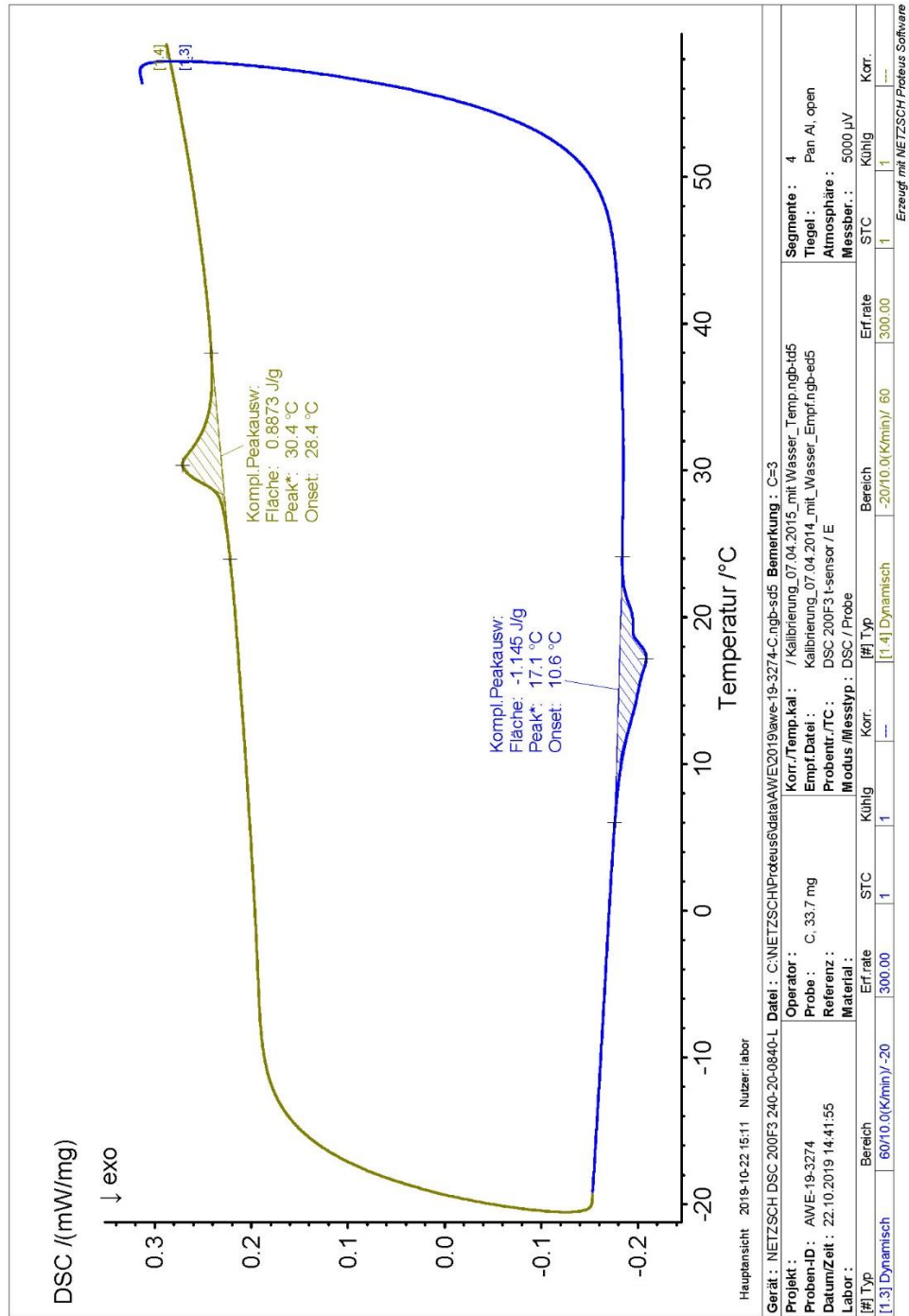
Versuchsnummer MR	A)	B)	C)	
<b>DSC-Messung</b> Differential Scanning Calorimeter				
Schmelztemperatur onset °C	-	-	28,4	°C
Umwandlungsenergie	-	-	0,9	J/g
<b>Formaldehydbestimmung</b> DIN EN ISO 14184-1 / Japanese Law 112	30	42	74	ppm

Mit freundlichen Grüßen

Georg Grieshammer Tel: +49 8171 53 3812 E-Mail: georg.griesshammer@rudolf.de

Rudolf GmbH Altvaterstr. 58-64 82538 Geretsried / Germany  
 Fon: +49 8171 53-0 Fax: +49 8171 53-191 E-Mail: [rudolf@rudolf.de](mailto:rudolf@rudolf.de)







**PŘÍLOHA E: Testy v laboratoři Rudolf GmbH**

Technická zpráva z úpravy artiklu Oslo produktem PCM v laboratořích výrobce.

**Technischer Service Bericht**  
**AWE-19-3274-0** Datum: 28.10.19 GrG

<b>Empfänger</b>	Stanislav Rydval, Tschechische Republik		
<b>BtL./Vertr.</b>	Rudolf Chemie Tschechien S.R.O		
<b>Material</b>	3 CO Gewebe, Art. Oslo, weiß A) Feuchtvernetzt, appreturbereit B) Feuchtvernetzt + Endausrüstung C) Feuchtvernetzt + Endausrüstung mit <b>RUCO-THERM PCM 28</b>		
<b>Aufgabe</b>	Überprüfung der thermoregulierenden Ausrüstung		
<b>Prozess</b>	Foulevardieren	Temperatur: Flottenaufnahme <sup>1)</sup>	20 °C 55 %
	Trocknen	Temperatur Dauer	120 °C 2 min
	Kondensieren	Temperatur Dauer	150 °C 2 min

Versuchsnummer SK238	1	3	4	2	U	
<b>RUCOFIN GWA NEW</b>	35	35	35	35	-	g/l
<b>RUCO-LUB KMN 400</b>	20	20	20	20	-	g/l
<b>RUCOFIN WSE NEW</b>	35	35	35	35	-	g/l
<b>RUCO-THERM PCM28</b>	200	200	200	200	-	g/l
kalandert 150°C, matt	-	1 t	2 t	4 t	-	
<b>DSC-Messung</b> Differential Scanning Calorimeter						
Schmelztemperatur onset °C	28,1	28,4	28,1	28,1	-	°C
Umwandlungsenergie	2,6	1,8	1,5	1,4	-	J/g

<sup>1)</sup> Die angegebenen Einsatzmengen in den Ausrüstungsrezepturen beziehen sich auf die genannte Nassaufnahme. Sollte die Nassaufnahme unter betrieblichen Bedingungen abweichen, so sind die Einsatzmengen entsprechend anzupassen.

Mit freundlichen Grüßen

Georg Griebhammer Tel: +49 8171 53 3812 E-Mail: georg.griesshammer@rudolf.de

Rudolf GmbH Altvaterstr. 58-64 82538 Geretsried / Germany  
Fon: +49 8171 53-0 Fax: +49 8171 53-191 E-Mail: [rudolf@rudolf.de](mailto:rudolf@rudolf.de)

## PŘÍLOHA F: Mikroskopické porovnání

Mikroskopické porovnání produkčního vzorku košiloviny se vzorkem matracoviny, provedené laboratoří výrobce PCM -100 násobné zvětšení:

SLT-19-3274

Datum:

11.11.2019

Kunde:

Mileta (Rudolf Tschechien)

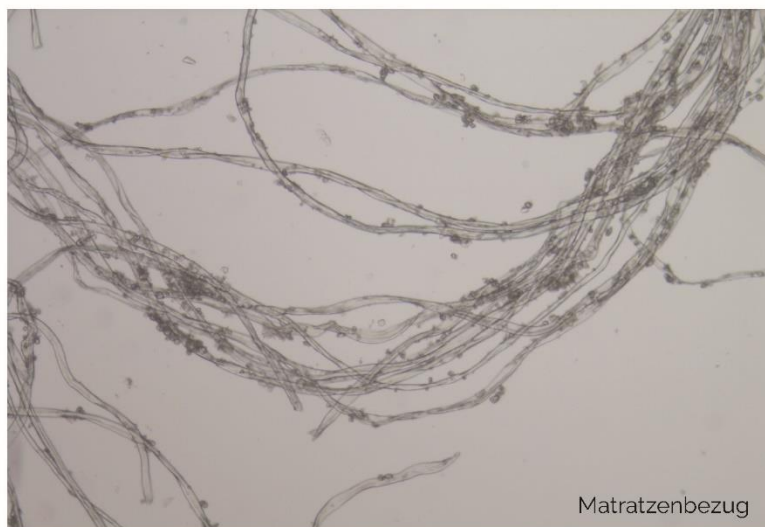
Material:

CO-Hemdenstoff, CO-Matratzenbezug

Vergleich nach Ausrüstung mit **RUCO-THERM PCM 28**

**RUDOLF  
GROUP**  
BETTER CHEMISTRY

Soll-Zustand bei Matratzenbezug vs. Ist-Zustand bei Hemdenstoff (Mileta-AR)



193274T1.jpg



193274M1.jpg



200 násobné zvětšení:

SLT-19-3274

Datum:

11.11.2019

Kunde:

Mileta (Rudolf Tschechien)

Material:

CO-Hemdenstoff, CO-Matratzenbezug

Vergleich nach Ausrüstung mit **RUCO-THERM PCM 28**

**RUDOLF  
GROUP**  
BETTER CHEMISTRY

Soll-Zustand bei Matratzenbezug vs. Ist-Zustand bei Hemdenstoff (Mileta-AR)



193274T2.jpg



193274M2.jpg





400 násobné zvětšení:

SLT-19-3274

Datum:

11.11.2019

Kunde:

Mileta (Rudolf Tschechien)

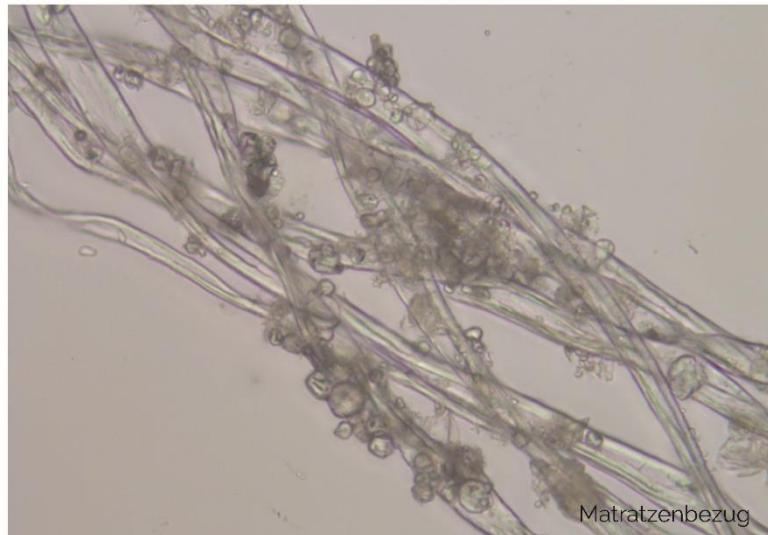
Material:

CO-Hemdenstoff, CO-Matratzenbezug

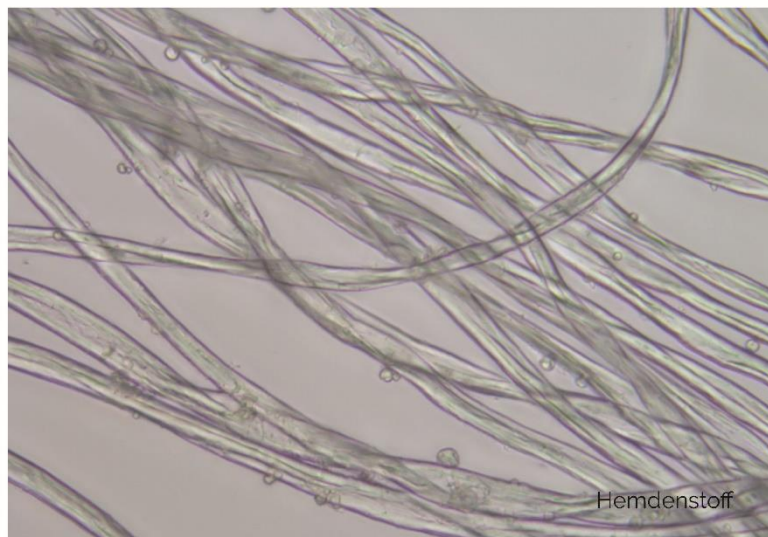
Vergleich nach Ausrüstung mit **RUCO-THERM PCM 28**

**RUDOLF  
GROUP**  
BETTER CHEMISTRY

Soll-Zustand bei Matratzenbezug vs. Ist-Zustand bei Hemdenstoff (Mileta-AR)



193274T3.jpg



193274M3.jpg

