

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Diplomová práce

**Alternativní metoda hodnocení komfortu oděvních výrobků
pomocí termovizní kamery**

**An alternative method for the evaluation of comfort clothing
products with thermovision camera**

KOD/2011/06/09/MS

LIBEREC 2011

Zuzana Hrdličková

Prohlášení

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

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Zuzaně Fléglové, Ing. Daniele Veselé za výuku s termovizní kamerou, firmě Jitex a.s. a Calma Textil s.r.o. za poskytnuté funkční materiály a své rodině za podporu při studiu.

Anotace:

Diplomová práce se zabývá oděvním komfortem. Definiuje užité vlastnosti související s oděvním komfortem. Popisuje metody hodnocení senzorického a termofyziologického komfortu.

Popisuje princip termografického měření, jeho použití a parametry ovlivňující měření. Mezi tyto parametry patří emisivita tělesa, zdánlivá odražená teplota, vzdálenost od měřeného objektu a údaje o okolní atmosféře.

V experimentální části je navržena metodika stanovení emisivity vybraných druhů oděvů, materiálů pro funkční spodní prádlo. Na základě provedeného měření je navržena metoda hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery.

Klíčová slova: oděvní komfort, termografie, termovizní kamera, emisivita tělesa, materiály pro funkční spodní prádlo

Annotation:

This thesis deals with clothing comfort. Defines the functional characteristics related to clothing comfort. It describes methods for assessing sensory and thermophysiological comfort.

It describes the principle of thermal measurements, their use and parameters affecting the measurement. These parameters include emissivity of the body, reflected apparent temperature, distance from the measurement object and data of the surrounding atmosphere.

In the experimental section, a methodology for determining emissivity of selected type of clothing, materials for functional underwear. Based on the measurement of the proposed method of evaluating the thermophysiological comfort apparel products using thermovision camera.

Keywords: clothing comfort, thermography, thermovision camera, emissivity of the body, materials for functional underwear

Počet stran: 85

Počet obrázků: 76

Počet tabulek: 15

Počet příloh: 10

Obsah

Obsah.....	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Úvod.....	11
1. Teoretická část.....	12
1.1 Oděvní komfort	12
1.1.1 Rozdělení oděvního komfortu	13
1.1.1.1 Senzorický komfort	14
1.1.1.2 Termofyziologický komfort	14
1.1.2 Užité vlastnosti ovlivňují komfort textilií	14
1.1.3 Metody hodnocení komfortu textilií	16
1.1.3.1 Hodnocení pomocí simulace psychologického vnímání oděvního komfortu	16
1.1.3.2 Metody hodnocení senzorického komfortu	17
1.1.3.2.1 Hodnocení tloušťky textilie	17
1.1.3.2.2 Hodnocení tahových vlastností	17
1.1.3.2.3 Hodnocení splývavosti textilií	17
1.1.3.2.3.1 Hodnocení stanovením koeficientu splývavosti	17
1.1.3.2.3.2 Hodnocení pomocí 3D Drape scanneru	17
1.1.3.2.4 Hodnocení omaku textilií	18
1.1.3.2.4.1 Hodnocení pomocí systému KES	18
1.1.3.2.4.2 Hodnocení pomocí systému FAST	19
1.1.3.2.4.3 Hodnocení pomocí systému KTU	20
1.1.3.2.5 Hodnocení tepelného omaku textilií	21
1.1.3.2.5.1 Hodnocení pomocí přístroje Thermo – Labo	21
1.1.3.2.5.2 Hodnocení pomocí přístroje Alambeta	21
1.1.3.3 Metody hodnocení termofyziologického komfortu	22
1.1.3.3.1 Hodnocení propustnosti vzduchu - prodyšnosti	22
1.1.3.3.2 Hodnocení propustnosti vody	22
1.1.3.3.2.1 Hodnocení pomocí úhlu smáčení	23
1.1.3.3.2.2 Hodnocení pomocí kapkové metody	23
1.1.3.3.2.3 Hodnocení pomocí sací výšky	23
1.1.3.3.2.4 Hodnocení absorpce potu	23
1.1.3.3.3 Hodnocení propustnosti vodních par	24

1.1.3.3.3.1	Hodnocení pomocí Hot plate (skin model)	24
1.1.3.3.4	Hodnocení propustnosti tepla.....	25
1.1.3.3.4.1	Hodnocení pomocí přístroje Togmeter	25
1.2	Termografie	26
1.2.1	Infračervené záření	26
1.2.1.1	Důležité zákony pro IR měření teploty	26
1.2.2	Termovizní kamera.....	26
1.2.3	Termogram	27
1.2.4	Použití termovizního měření	28
1.2.4.1	Termovizní měření ve stavebnictví	29
1.2.4.2	Termovizní měření v elektrotechnice.....	29
1.2.4.3	Termovizní měření v průmyslových aplikacích.....	30
1.2.4.4	Termovizní měření ve výzkumu a vývoji.....	31
1.2.4.5	Termovizní měření pro vojenské účely	31
1.2.5	Parametry, které ovlivňují výslednou teplotu na výstupu z termovizní kamery	32
1.2.5.1	Emisivita tělesa	32
1.2.5.2	Zdánlivá odražená teplota	34
1.2.5.3	Vzdálenost od měřeného objektu	35
1.2.5.4	Údaje o okolní atmosféře	36
2.	Experimentální část.....	37
2.1	Charakteristika použitých materiálů.....	37
2.2	Charakteristika použitých zařízení	38
2.2.1	Klimatizační komora	38
2.2.2	Termovizní kamera.....	39
2.3	Metodika stanovení emisivity	39
2.4	Hodnocení emisivity materiálů pro funkční spodní prádlo	42
2.4.1	Hodnocení emisivity jednotlivých materiálů	42
2.4.1.1	Hodnocení emisivity materiálu T1 a T2.....	42
2.4.1.2	Hodnocení emisivity materiálu T3 a T4.....	44
2.4.1.3	Hodnocení emisivity materiálu T5 a T6.....	45
2.4.1.4	Hodnocení emisivity materiálu T7 a T8.....	46
2.4.1.5	Hodnocení emisivity materiálu B1	47
2.4.2	Vyhodnocení výsledků jednotlivých materiálů	47
2.4.3	Porovnání hodnoty emisivit dle barvy	49

2.4.4 Porovnání hodnoty emisivit za umělého osvětlení a při zatemnění	50
2.5 Návrh hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery.....	51
2.6 Celkové vyhodnocení výsledků	54
Závěr.....	55
Seznam použité literatury.....	57
Seznam obrázků	60
Seznam tabulek	63
Seznam příloh.....	64

Seznam použitých zkratek a symbolů

Označení	Význam
3D.....	3-dimenzionální rozměr
KES.....	Kawabata Evalution System
FAST.....	Fabric Assurance by Simple Testing
KTU.....	KTU – Griff – Tester
HV.....	Primární omak (Hand value)
THV.....	Celkový omak (Total hand value)
IR.....	Infračervené záření
RTC.....	Kompenzace odražené teploty
a.s.....	Akciová společnost
s.r.o.....	Společnost s ručením omezeným
PP.....	Polypropylen
Ag.....	Stříbro
CO.....	Bavlna
WO.....	Vlna
PL.....	Polyester
KOD.....	Katedra oděvnictví
h.....	Tloušťka [m], [mm]
E.....	Pružnost [%]
x.....	Koeficient splývavosti [%]
R.....	Prodyšnost [m.s ⁻¹]
W _d	Propustnost vodních par [g.m ⁻² .h ⁻¹ .Pa ⁻¹]
P.....	Relativní propustnost vodních par [%]
R _{et}	Odolnost vůči vodním parám [m ² .Pa. W ⁻¹]
λ.....	Koeficient tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
R _{ct}	Tepelný odpor [m ² .K.W ⁻¹], [tog]
q _{max}	Tepelný tok [W.m ⁻² .K ⁻²]
ε, E.....	Emisivita tělesa [-]
τ.....	Propustnost atmosféry [
M.....	Intenzita vyzařování [W.m ⁻²]

$T_{\text{obj}}, T_{\text{refl}}, T_{\text{atm}}$	Teplota objektu, odražená, atmosféry [K], [°C]
H_E	Intenzita vyzařování reálného tělesa [W.m^{-2}]
H_{E0}	Intenzita vyzařování absolutně černého tělesa [W.m^{-2}]
ρ	Odrazivost záření [-]
T	Propouštěné záření [-]
RH_{atm}	Relativní vlhkost vzduchu [%]

Úvod

Diplomová práce se zabývá metodami hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery.

V teoretické části je charakterizován pojem oděvní komfort. Oděvní komfort je fyziologická a psychologická harmonie mezi člověkem a okolím. Rozděluje se na komfort funkční a psychologický. Funkční komfort se dále rozděluje na senzorický (zajišťuje vjemy a pocity při styku pokožky lidského těla a oděvu) a termofyziologický (souvisí s transportem vlhkosti a tepla přes jednotlivé vrstvy oděvu). Vlastnosti ovlivňující oděvní komfort jsou tloušťka textile, tahové vlastnosti, splývavost, omak, prodyšnost, savost, nasákavost, propustnost vodních par a tepelně izolační vlastnosti. Pro hodnocení komfortu existují přístroje, které zkoumají tyto užité vlastnosti.

Termografie je obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa, a to bezkontaktním způsobem pomocí termovizní kamery. Termovizní kamera umožňuje zobrazit infračervené záření tak, aby bylo viditelné. Termovizní měření se využívá v různých odvětvích, např.: ve stavebnictví, v elektrotechnice, v průmyslových aplikacích, ve výzkumu a vývoji, pro vojenské účely, v medicíně, k ochraně životního prostředí, atd. Při termovizním měření je důležité nastavení parametrů, které mohou ovlivnit výslednou teplotu. Jsou to emisivita, zdánlivá odražená teplota, vzdálenost od měřeného objektu a údaje o okolní atmosféře. Nejdůležitějším parametrem je emisivita tělesa, což je relativní schopnost plochy vydávat elektromagnetické záření odpovídající její teplotě. Pro stanovení emisivity existují různé metody.

V experimentální části je navržena metodika stanovení emisivity pro vybrané druhy oděvních materiálů, a to materiálů pro funkční spodní prádlo. Materiály byly poskytnuty firmami Jitex a.s. a Calma Textil s.r.o. Při experimentu je použito termovizní kamery Therma CamTM S60. Termovizní snímky jsou vyhodnoceny v programu Therma CamTM Researcher. Na základě provedeného měření je navržena metoda hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery.

Cílem diplomové práce je navrhnout a provést experiment hodnocení emisivity pro materiály pro funkční spodní prádlo a hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků.

1. Teoretická část

V teoretické části je charakterizován pojem oděvní komfort a jeho rozdělení. Jsou zde definovány užité vlastnosti související s oděvním komfortem a popsány metody hodnocení komfortu, jak senzorického, termofyziologického i psychologického vnímání oděvního komfortu.

Je zde popsán princip termovizního měření, použití termovizního měření a parametry ovlivňující tato měření.

1.1 Oděvní komfort

Oděvní komfort je fyziologická a psychologická harmonie mezi člověkem a okolím. Komfort zajišťuje příjemné pocity a pohodlí při nošení oděvu. Optimální musí být i fyziologické funkce organismu. Komfort je vnímán všemi lidskými smysly kromě chuti, v pořadí důležitosti jsou to: hmat, zrak, sluch a čich. Subjektivně je tento pocit brán jako hledisko, kdy nepřevládají pocity tepla ani chladu a je možno v tomto stavu setrvat.

Při diskomfortu mohou nastat pocity tepla nebo chladu. Pocity tepla se dostavují při větším pracovním zatížení nebo při působení teplého a vlhkého klimatu. Pocity chladu se dostavují především jako reakce na nízkou teplotu klimatu nebo nízké pracovní zatížení.

Oděvní komfort lze rozdělit na funkční a psychologický. Funkční komfort se rozděluje na senzorický a termofyziologický. Senzorický komfort zajišťuje vjemy a pocity při přímém styku pokožky lidského těla a první vrstvy oděvu. Termofyziologický komfort souvisí s transportem vlhkosti a tepla přes jednotlivé vrstvy oděvu s vlivem proudění vzduchu. Psychologický komfort vyjadřuje individualitu člověka.

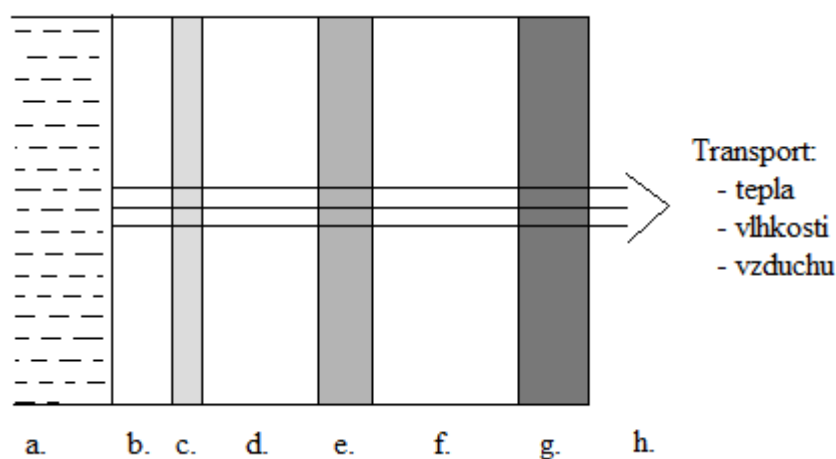
Pro pochopení subjektivního oděvního komfortu se musí brát ohled na systém organismus – oděv – prostředí, což je otevřený systém, který je vždy ve stavu dynamické interakce s okolním prostředím (Obr. 1). Vzduchový prostor mezi pokožkou a oděvní vrstvou nebo mezi dvěma oděvními vrstvami u vícevrstvého oděvu se nazývá mikroklima. Oděvní klima vzniká nepřetržitým přenosem tepla, vodní páry a oxidu uhličitého mezi pokožkou a vrstvou oděvu.

V systému organismus – oděv – prostředí se objevují vzájemně se ovlivňující procesy, které ovlivňují oděvní komfort: fyzikální, fyziologické, neurofyziologické a psychologické. Mezi fyzikální procesy patří např.: transport tepla a mechanické působení mezi oděvem a pokožkou. Mezi fyziologické procesy patří např.: metabolické procesy. Neurofyziologické

procesy zahrnují senzorické vjemy získané pokožkou – hmatem, zrakem, atd. Psychologické procesy jsou procesy mozku, které na základě předchozích zkušeností a požadavků vyhodnotí celkový pocit.

Pro stanovení oděvního komfortu je důležitá termoregulace organismu (Příloha č. 1), což je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu. Dále je důležité dosažení tepelné rovnováhy mezi tvorbou tepla v organismu tehdy, kdy okolí odebírá lidskému tělu právě tolik tepla, kolik člověk vyprodukuje (Příloha č. 2) a přestup tepla z organismu do okolí. Přestup tepla může probíhat sáláním, vedením, prouděním, odpařováním a dýcháním (Příloha č. 3).

Pro hodnocení komfortu existují metody, které zkoumají jednu nebo více vlastností týkající se oděvního komfortu, které vedou k jeho přibližnému stanovení.



Obr. 1 Schematické znázornění systému Organismus – oděv – prostředí [2]
Legenda: a. Povrch pokožky, b. Vrstva vzduchu, c. Spodní textilie, d. Vrstva vzduchu, e. Vrchní textilie I., f. Vrstva vzduchu, g. Vrchní textilie II., h. Okolní prostředí

[1, 2, 3, 4]

1.1.1 Rozdělení oděvního komfortu

a) Funkční

Funkční komfort zahrnuje vlivy dané především vlastnostmi oděvního materiálu (senzorický a termofyziologický komfort), které ovlivňují mikroklima a přímo působí na lidský organismus, ale i vliv konstrukčního řešení oděvu, vhodné pro daný účel a použití, ovlivňující komfort volnosti pohybu.

b) Psychologický

Psychologický komfort vyjadřuje individualitu člověka, závisí na kulturní a sociální úrovni. Z klimatického hlediska by měl komfort respektovat geografické klimatické podmínky. Ze sociálního hlediska komfort zahrnuje styl, módnost, barvu, věk, velikost, pohodlnost, vliv stresových situací, atd.

[1, 4]

1.1.1.1 Senzorický komfort

Pod senzorickým komfortem se rozumí vjemy získané mechanickým a tepelným kontaktem pokožky s textilií. Statický tlak v místě kontaktu závisí nejen na konstrukci a velikosti oděvu, ale také na jeho hmotnosti, splývavosti, stlačitelnosti, povrchových vlastnostech, omaku, tahových a elastických vlastnostech všech textilií, které se podílejí na vzniku kontaktního vjemu.

Senzorický komfort tedy zajišťuje vjemy a pocity při přímém styku pokožky lidského těla a oděvu. Dále jsou důležité parametry oděvu, jako je střih a velikost.

[1]

1.1.1.2 Termofyziologický komfort

Fyziologický (termofyziologický) komfort souvisí s transportem vlhkosti (vzdušné i kapalně) a transportem tepla přes jednotlivé vrstvy oděvu a s vlivem proudění vzduchu. Tento komfort je zajišťován termoregulačním systémem organismu a oděvem.

Základním kritériem stavu fyziologického komfortu je právě vyvážená tepelná bilance – stav, kdy organismus produkuje a přijímá takové množství tepla, které současně beze zbytku transportuje do okolí, prakticky bez zapojení termoregulačních mechanismů.

Tepelnou bilanci ovlivňuje okolní prostředí (teplota vzduchu, radiační teplota, vlhkost vzduchu, proudění vzduchu, atmosférický tlak a terén), osobní faktory (metabolismus, aktivita oblečení) a doplňující faktory (jídlo, pití, aklimatizace, tělesná postava, věk, pohlaví, atd.)

[1, 2, 8]

1.1.2 Užité vlastnosti ovlivňují komfort textilií

Užitečné vlastnosti se uplatňují při používání textilních výrobků, musí být takové, aby plnily všechny funkce oděvu a vyhovovaly požadavkům spotřebitele během užívání. Patří

mezi ně: trvanlivost, estetický vlastnosti, fyziologické vlastnosti, možnosti údržby a speciální vlastnosti.

Vlastnosti ovlivňující oděvní komfort jsou tloušťka textilie, tahové vlastnosti, splývavost, omak, prodyšnost, savost, nasákavost, propustnost vodních par a tepelně izolační vlastnosti.

Tloušťka textilie

Tloušťka h [m], [mm] je definována jako kolmá vzdálenost mezi přitlačnou čelistí a podkladovou deskou měřícího zařízení.

Tahové vlastnosti

Mezi tahové vlastnosti ovlivňující oděvní komfort patří síla natažené textilie, natažení a pružnost textilie. Pružnost E [%] je definována jako schopnost vrátit se po namáhání do původního stavu.

Splývavost

Splývavost je definována jako vlastnost textilie vytvářet esteticky působící záhyby při zavěšení v prostoru. Je definována koeficientem splývavosti x [%].

Omak

Omak je soubor organoleptických charakteristik, které ovlivňují pocity při styku textilie s pokožkou.

Propustnost vzduchu - Prodyšnost

Prostup vzduchu plošnou textilií, ke kterému dochází při určitém tlakovém spádu. Prodyšnost R je vyjádřena jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo definovanou plochou zkušební vzorku při stanoveném tlakovém spádu a době [m.s⁻¹].

Propustnost vody

Propustnost vody je jev, kdy voda smáčí povrch, vniká do textilie nebo proniká přes textilií. Pro stanovení oděvního komfortu je důležité hodnocení smáčivosti pomocí úhlu smáčení, hodnocení nasákavosti pomocí kapkové metody [s] a hodnocení vzlínivosti pomocí měření sací výšky [mm].

Propustnost vodních par

Prostup vodní páry je závislý na rozdílných parciálních tlacích na obou stranách textilie. Hodnotí se propustnost vodních par W_d [$\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$], relativní propustnost vodních par P [%] a odolnost vůči vodním parám R_{et} [$\text{m}^2.\text{Pa}.\text{W}^{-1}$].

Propustnost tepla

Propustnost tepla určuje množství tepla prošlého plošnou textilií při určitém tlakovém spádu. Hodnotí se koeficient tepelné vodivosti λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] a tepelný odpor R_{ct} [$\text{m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$], [tog].

[2]

1.1.3 Metody hodnocení komfortu textilií

Pro hodnocení komfortu existují přístroje, které zkoumají jednu nebo více vlastností důležitou pro jeho stanovení. Rozlišujeme hodnocení funkčního komfortu (senzorického a termofyziologického) a psychologického komfortu.

1.1.3.1 Hodnocení pomocí simulace psychologického vnímání oděvního komfortu

Tato metoda hodnocení komfortu pochází z roku 2002 a vznikla na Polytechnické univerzitě v Hong Kongu od autorů: A.S.W. Wonga, Y. Li a K.W. Yeunga. Cílem metody je simulovat psychologii smyslového vnímání oděvního komfortu pomocí deseti pocitů: navlhavosti, přilnavosti, lepkavosti, vlhkosti, váhy, pichlavosti, šustivosti, padnutí oděvu, prodyšnosti a tepelných pocitů.

Profesionální atleti byli požádáni o účast v sérii pokusů, kdy na sobě měli čtyři různé druhy oblečení a jezdili na kole v kontrolované klimatické komoře. Během pokusu vyplňovali dotazníky se subjektivními pocity o jednotlivých vlastnostech.

Výsledky ukazují, že největší příspěvek k celkovému komfortu má vlhkostní pohodlí (navlhavost, přilnavost, lepkavost, vlhkost, váha), po něm následuje hmatové pohodlí (váha, pichlavost a šustivost) a padnutí oděvu spolu s tepelnými pocity.

Při porovnávání všech čtyřech oděvů se u vlhkostního komfortu ukázal nejlepší oděv z polyesteru (P), poté z nylonu (N) a následovaly oděvy z vlny (W1, W2). Oděvy z polyesteru měly sice největší tloušťku, ale tento rozdíl nebyl při měřeních významný (Příloha č. 4).

[5]

1.1.3.2 Metody hodnocení senzorického komfortu

Mezi vlastnosti důležité pro stanovení senzorického komfortu patří např.: tloušťka, tahové vlastnosti, splývavost, omak a tepelný omak.

1.1.3.2.1 Hodnocení tloušťky textilie

Jako měřicí zařízení pro stanovení tloušťky textilie se využívá tloušťkoměru. Jedná se o univerzální zařízení, kterým se dají měřit tloušťky textilních materiálů. U tohoto zařízení lze nastavit přítlak, požadovaný podle způsobu měření tloušťky.

[9, 10]

1.1.3.2.2 Hodnocení tahových vlastností

Hodnocení tahových vlastností se provádí na dynamometru - trhačce. Zkouší se vzorky ve dvou na sebe kolmých směrech, u tkanin ve směru osnovy a řádku, u pletenin ve směru řádků a sloupků.

[11]

1.1.3.2.3 Hodnocení splývavosti textilií

Pro zkoušení splývavosti se využívá různých metod. Jednou z nich je standardní metoda, při které se stanoví koeficient splývavosti na kruhovém vzorku průmětem. Další metodou je 3D Drape scanner.

1.1.3.2.3.1 Hodnocení stanovením koeficientu splývavosti

Tato metoda spočívá v upnutí zkoušeného kruhového vzorku do kruhové čelisti, kdy volné konce textilie splývají do prostoru. Splývající vzorek se promítne do roviny kruhové čelisti a plocha tohoto průmětu se porovnává s plochou původního vzorku. Výsledkem je stanovení koeficientu splývavosti [%].

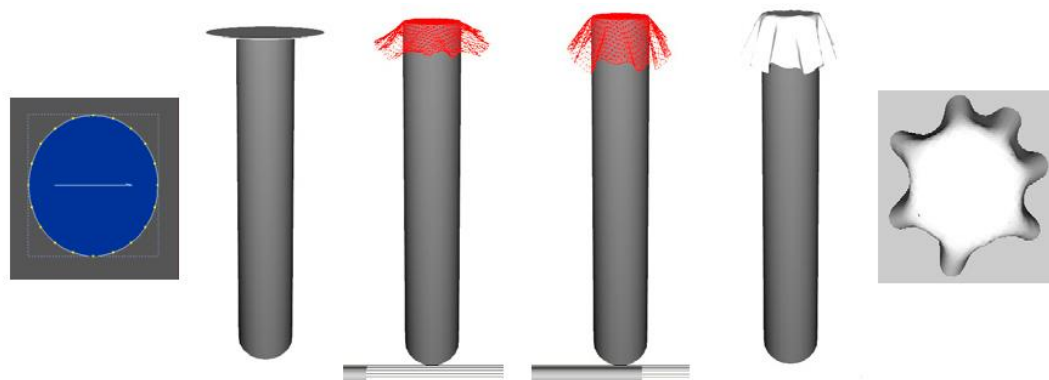
[12]

1.1.3.2.3.2 Hodnocení pomocí 3D Drape scanneru

Tato metoda byla vytvořena pro přesné 3D virtuální prezentace oděvů, což usnadní navrhování oděvů a komunikaci se zákazníkem. Metoda spočívá v několika krocích:

- měření vlastností skutečné tkaniny
- určení fyzikálních vlastností (např. délka ohybu)

- simulování splývavosti textilie v jednoduchém virtuálním softwaru
- vytvoření digitálních snímků skutečného zavěšeného materiálu pomocí 3D skenovacích technologií (Obr. 2)
- vytvoření systému a metod pro srovnávání splývajících textilií ve virtuálním prostředí



Obr. 2 Simulace splývavosti [14]

[13, 14]

1.1.3.2.4 Hodnocení omaku textilií

Omak můžeme stanovit subjektivní nebo objektivní metodou. Mezi objektivní metody patří hodnocení pomocí systému KES, FAST nebo KTU. U objektivních metod je dán předpoklad, že hmatový pocit je vyvolanými mechanickými a povrchovými vlastnostmi a konstrukčními parametry textilií. Subjektivní hodnocení omaku se stanoví na základě vyjádření subjektivních pocitů, které vyvolá textilie s pokožkou.

[2]

1.1.3.2.4.1 Hodnocení pomocí systému KES

Systém KES (Kawabata Evaluation System) je automatizovaný tester, který je určen pro měření 15 charakteristik plošných textilií v rozsahu běžného namáhání oděvních textilií při nošení.

Měření se provádí na 4 přístrojích:

KES – FB 1 – Tah, smyk (Obr. 3)

KES – FB 2 – Ohyb (Obr. 4)

KES – FB 3 – Tlak (Obr. 5)

KES – FB 4 – Povrch (Obr. 6)

Pro vyhodnocování měření na přístrojích KES je určeno několik kroků:

- měření mechanických a povrchových vlastností
- měření plošné hmotnosti
- kalkulace naměřených 16 - ti charakteristik
- výběr kategorie použití
- hodnocení primárního omaku – HV (stupnice 1 – 10; 1...slabě zastoupená vlastnost, 10...silně zastoupená vlastnost)
- hodnocení celkového omaku – THV (stupnice 0 – 5; 0...nevyhovující, 1...velmi špatný, 2...podprůměrný, 3...průměrný, 4...velmi dobrý, 5...výborný)
- hadový graf



Obr. 3 KES – FB 1 [10]



Obr. 4 KES – FB 2 [10]



Obr. 5 KES – FB 3 [10]



Obr. 6 KES – FB 4 [10]

[2, 3]

1.1.3.2.4.2 Hodnocení pomocí systému FAST

Systém FAST (Fabric Assurance by Simple Testing) byl původně vyvinut pro hodnocení vlněných tkanin. Měření se provádí na 4 přístrojích, je určen pro měření 14 charakteristik. Tyto jednoduché přístroje měří:

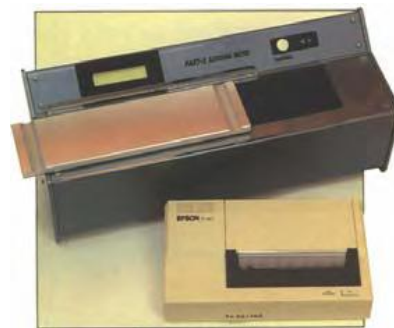
- tlak (Obr. 7)
- ohyb (Obr. 8)
- tahové vlastnosti (Obr. 9)
- rozměrové stálosti (Obr. 10)

Výsledkem tohoto systému je vykreslení grafu, který identifikuje textilii. Umožňuje včasné zjištění problému a kontrolu kvality. Výsledky mohou být použity pro:

- specifikaci textilie
- vývoj nových technologií
- posouzení stability hotových tkanin



Obr. 7 FAST 1 - tlak [15]



Obr. 8 FAST 2 - ohyb [15]



Obr. 9 FAST 3 - prodlužování [15]

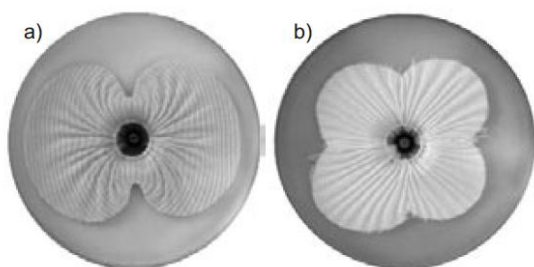


Obr. 10 FAST 4 – rozměrová stálost [15]

[2, 3, 15]

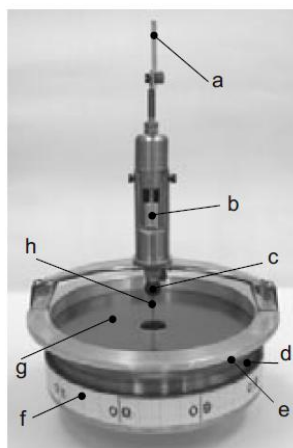
1.1.3.2.4.3 Hodnocení pomocí systému KTU

U systému KTU – Griff – Tester (Obr. 12) spočívá stanovení omaku materiálu a jeho anizotropie v protahování kruhového vzorku plošné textilie skrz krátký dutý válec o průměru cca 15 mm (Obr. 11). Přístroj obsahuje sadu 5 vyměnitelných desek a digitální kameru.



Obr. 11 Typické tvary vzorků protažené otvorem [16]

Legenda: a) pletenina
b) tkanina



Legenda: a- připevnění snímače síly, b- vodič vtlačovacího tělesa, c- vtlačovací těleso, d- deska s podložkou, e- prostor pro vzorek, f- stupnice výškového nastavení podložky, g- nosná deska, h- jehla

Obr. 12 Upínací zařízení KTU [16]

[2, 3, 16]

1.1.3.2.5 Hodnocení tepelného omaku textilií

Tepelný omak je pocit, který vnímáme pokožkou, když se krátce dotkneme nějakého objektu, např. textilie při oblékání.

[3]

1.1.3.2.5.1 Hodnocení pomocí přístroje Thermo – Labo

Přístroj, který byl vyvinut v roce 1983 Kawabatou a Yonedou. Za objektivně stanovenou veličinu zvolili maximální úroveň kontaktního tepelného toku $q_{\max}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] vypočtenou z naměřené přechodové křivky teploty.

Princip měření spočívá v přiřkládání předehřátého měděného bloku na textilní materiál. Zkoušený vzorek je umístěn na nádobě udržované na konstantní teplotě cirkulující vodou.

Nevýhodou této metody je časová náročnost měření a složitost matematického zpracování výsledků.

[3]

1.1.3.2.5.2 Hodnocení pomocí přístroje Alambeta

Poloautomatický počítačem řízený přístroj, který je zároveň s měřením schopen vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů.

Podstata měření spočívá v hodnocení úrovně tepelného toku $q_{\max}$ procházejícího horním povrchem vlhčeného vzorku, který simuluje vlhkou (zpocenou) lidskou pokožku a který je v kontaktu s povrchem měřeného vzorku. Po vzájemném kontaktu obou textilií pod definovaným přítlakem dochází v důsledku povrchové sorpce k odvodu vlhkosti z modelu

pokožky a vedení vlhkosti mimo ploch snímačů tepelného toku. Textilie o vyšší sorpci a vyšším kapilárním odvodu vlhkosti pak více zbaví model pokožky vlhkosti a vykáže sušší omak a naopak.

Přístroj měří následující parametry:

- tloušťka materiálu h [mm]
- měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
- plošný odpor vedení tepla r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{m}^2$]
- tepelný tok q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
- měrná tepelná vodivost a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]
- tepelná jímavost b [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{K}^{-1}$]

[3, 5]

1.1.3.3 Metody hodnocení termofyziologického komfortu

Mezi vlastnosti důležité pro termofyziologický komfort patří fyziologické vlastnosti: propustnost vzduchu, vody, vodních par a tepla. K hodnocení fyziologických vlastností se používají standardní metody, kde jsou tyto vlastnosti zkoumány zvlášť bez přítomnosti lidského subjektu, a modifikované metody, ve kterých je začleněn do měření lidský faktor.

1.1.3.3.1 Hodnocení propustnosti vzduchu - prodyšnosti

Pro stanovení propustnosti vzduchu se používá přístroj SDL M021S. Podstatou zkoušky je, že se měří rychlost vzduchu procházejícího kolmo plochou zkušební vzorku při stanoveném tlakovém spádu. Z naměřených dat se dále vypočítává prodyšnost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

[2, 11]

1.1.3.3.2 Hodnocení propustnosti vody

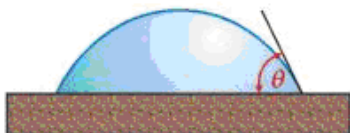
Pro stanovení propustnosti vody se používá různých metod, u kterých se zkoumá:

- smáčivost – nepromokavost – vodoodpudivost
- nasákavost
- vzlínavost

Pro hodnocení propustnosti vody v závislosti na komfortu je důležité hodnocení pomocí úhlu smáčení, pomocí kapkové metody, pomocí sací výšky a zjišťování absorpce potu.

1.1.3.3.2.1 Hodnocení pomocí úhlu smáčení

Úhel smáčení je metoda, při níž se měří vlastnosti fázového rozhraní pevná látka – kapalina – plyn. Je stanoven při přímém měření úhlu smáčení na přisedlé kapce (Obr. 13), kdy je kapka pozorována mikroskopem vybaveným goniometrickým okulárem, což umožňuje přímo odečíst úhel smáčení nebo je úhel vyhodnocován z fotografie kapky.



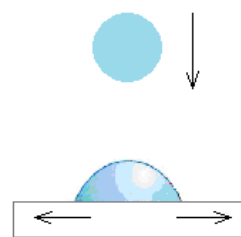
Obr. 13 Kapka při měření úhlu smáčení [17]

[17]

1.1.3.3.2.2 Hodnocení pomocí kapkové metody

Principem kapkové metody je, že se na textilií kápne byretou kapka vody (Obr. 14) a měří se čas [s], za který se kapka vsákne. Děj se pozoruje zvětšením (makroskopem).

[2, 12]

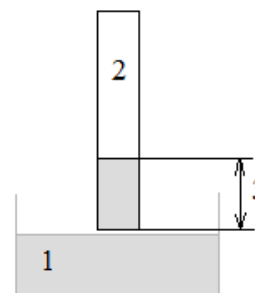


Obr. 14 Kapková metoda [12]

1.1.3.3.2.3 Hodnocení pomocí sací výšky

Při této metodě se vzorek jedním koncem ponoří do kapaliny a v předepsaných časových intervalech až do rovnovážného stavu se měří sací výška [mm], (Obr. 15).

[2, 12]



Obr. 15 Sací výška [12]
Legenda: 1- voda, 2- textilie,
3- sací výška

1.1.3.3.2.4 Hodnocení absorpce potu

Zkušební metoda pro stanovení absorpce tkanin pochází z roku 1999 a vznikla na fakultě technologií v Bostonském institutu, autory jsou A.P.D. Silva, C. Greenwood, S.C. Anand, D.H. Holtnes a N.Whatmough.

Tato metoda objektivně simuluje absorpci potu od zpoceného těla a jeho distribuci prostřednictvím odvodu po povrchu textilie.

Zkušební vzorek o rozměrech 140 x 150 mm je kladen na podpornou základnu tak, aby střed textilie byl co nejblíže středu porézní desky. Oblast absorpce je omezena na povrch porézní desky. Porézní deska má průměr 55 mm o pórozitě P40 (průměr pórů 15 – 40 μm). Deska je pevná a je součástí robustního podstavce, aby byla zajištěna stabilita.

Připojení k počítači umožňuje přesný sběr dat o absorpčních schopnostech textilie a odvodu. Výstupem ze softwaru je:

- kombinovaná křivka absorpce – odvod
- jednotlivé absorpční křivky
- křivka odvodu.

Dále jsou vygenerovány informace o absorpční schopnosti textilie a odvodu vlhkosti z fyzikálního a fyziologického hlediska. Metoda je blíže popsána v Příloze č. 5.

[7]

1.1.3.3.3 Hodnocení propustnosti vodních par

Hodnocení propustnosti vodních par se provádí pomocí přístrojů, např. Skin model a Permetest. Tento pochod je podmíněn rozdílným parciálním tlakem vodních par před a za textilií.

1.1.3.3.3.1 Hodnocení pomocí Hot plate (skin model)

K testování odolnosti proti propustnosti vodních par a tepelné odolnosti je určen přístroj Hot plate (Obr. 16), který simuluje lidskou kůži. Přístroj pracuje ve shodě s normou ISO 11092:1993. Je vyvinut tak, aby se vešel do klimatické komory, nebo je dodáván spolu s komorou (Obr. 17). U přístroje se hodnotí propustnost vodních par [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$], relativní propustnost vodních par [%] a odolnost vůči vodním parám [$\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{W}^{-1}$].



Obr. 16 Hot plate [20]



Obr. 17 Komora Hot plate [18]

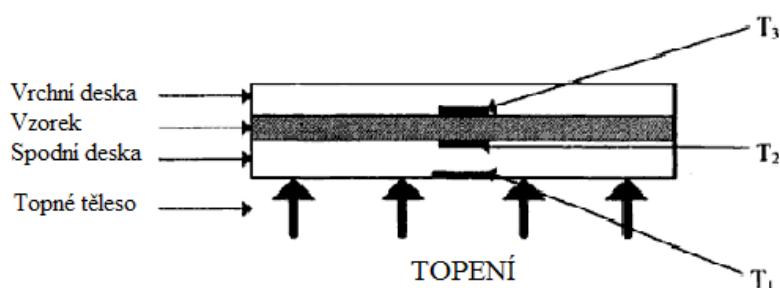
[18, 20]

1.1.3.3.4 Hodnocení propustnosti tepla

Propustnost tepla závisí na tepelně – izolačních vlastnostech. Kvalitní tepelná izolace je charakterizována nízkou tepelnou vodivostí a vysokým tepelným odporem. Měření se provádí na přístrojích: Togmeter, Alambeta (viz. 1.1.3.2.5.2) a pomocí Hot plate (viz. 1.1.3.3.3.1).

1.1.3.3.4.1 Hodnocení pomocí přístroje Togmeter

Pro hodnocení se používá přístroj SDL M 259 (Obr. 18, 19). Pro stanovení tepelného odporu a tepelné vodivosti textilií je přístroj vybaven teplotními čidly a topné těleso je ovládáno digitálním ovladačem teploty. U přístroje se hodnotí koeficient tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] a tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], [tog].



Obr. 18 Schéma Togmetru [19]

Legenda: T_1 , T_2 , T_3 – tepelná čidla



Obr. 19 Přístroj SDL M 259

[2]

[2, 19]

1.2 Termografie

Infračervená termografie je vědní obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa, a to bezkontaktním způsobem. Úkolem termografie je analýza infračervené energie vyzařované tělesem. Termografickým měřicím systémem lze zobrazit teplotní pole měřeného objektu, ale pouze na jeho povrchu. Obor termografie se rozšířil společně s rozšířením infračervených kamer neboli termovizních.

Na princip měření přišel německý fyzik Max Planck.

[22]

1.2.1 Infračervené záření

Infračervené záření (také IR) patří mezi elektromagnetické záření s vlnovou délkou 800 nm – 30 000 nm. Zdrojem tohoto záření jsou všechna tělesa, jejichž teplota se nachází nad bodem absolutní nuly – přibližně -273°C . Lidské oko není schopné toto záření vnímat. Při pohlcování infračerveného záření probíhá tepelná výměna a tělesa se zahřívají.

Využívá se u infradalekohledů, termokamer, infrazáříčů atd.

[22]

1.2.1.1 Důležité zákony pro IR měření teploty

Při infračerveném měření teploty je důležité znát určité zákony, mezi které patří Planckův, Wienův, Stefan-Boltzmannův a Kirchhoffův zákon (Příloha č. 6).

[29]

1.2.2 Termovizní kamera

Termovizní kamery umožňují zobrazit infračervené záření tělesa tak, aby jej bylo možné vidět. Při termografickém měření (Obr. 20) snímá termokamera záření nejen samotného objektu, ale také odražené záření z okolí na jeho povrch. Obě záření jsou do jisté míry zeslabována atmosférou mezi termokamerou a měřeným objektem. Kromě toho je třeba vzít v úvahu i záření atmosféry. Termokamerou jsou přijaté tři složky záření.

Tři složky záření přijaté termokamerou:

1. Vyzařování z objektu $\varepsilon M_{\text{obj}}$

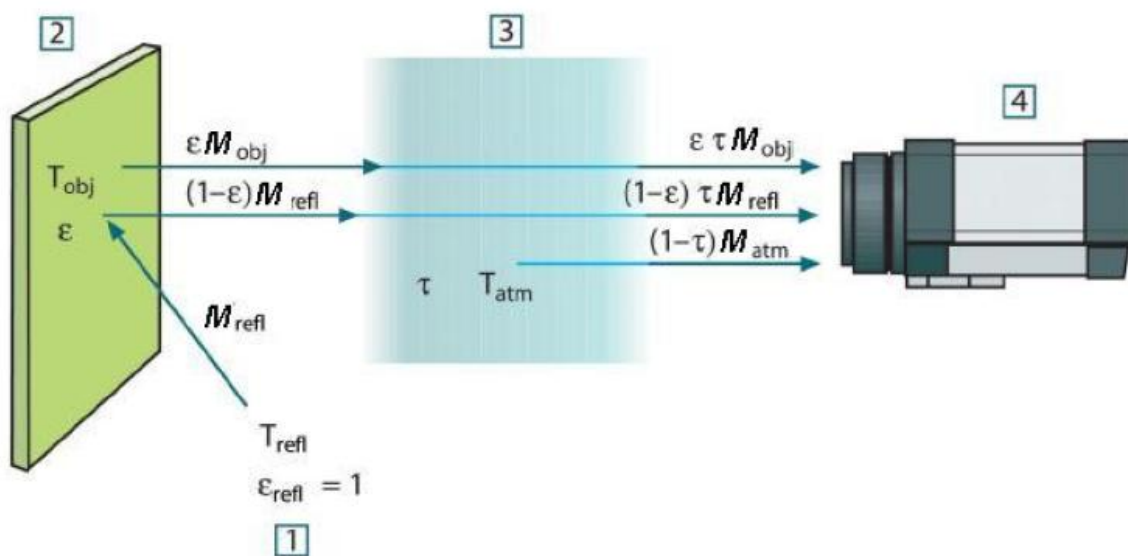
- emisivita tělesa (ε)
- propustnost atmosféry (τ)
- intenzita vyzařování objektu (M_{obj})
- teplota objektu (T_{obj}).

2. Odražené záření z okolních zdrojů $(1 - \epsilon)\tau M_{\text{refl}}$

- odrazivost objektu: při předpokladu, že okolní zdroje mají stejnou teplotu T_{refl} $(1 - \epsilon)$
- propustnost atmosféry (τ)
- odražená intenzita vyzařování (M_{refl}).

3. Emise z atmosféry $(1 - \tau)M_{\text{atm}}$

- vyzařování z atmosféry, jejichž teplota je T_{atm} $(1 - \tau)$
- intenzita vyzařování atmosféry (M_{atm}).



Obr. 20 Situace při termografickém měření [28]

Legenda: 1. Okolí, 2. Objekt, 3. Atmosféra, 4. Termokamera, ϵ – Emisivita objektu, τ – propustnost atmosféry, M – intenzita vyzařování, T – teplota, atm – atmosféra, refl – odraz, obj - objekt

[22, 23, 28]

1.2.3 Termogram

Termogram je výstup z termovizní kamery. Termovizní snímky se vizualizují za použití okem viditelných palet, které přiřazují barvu různým teplotám (různému množství tepelného toku).

Termovizní kamery mohou být:

- radiometrické
- neradiometrické (pouze zobrazující).

Radiometrické termovizní systémy umožní vypočítat teplotu na povrchu tělesa. Základem pro výpočet je množství snímaného infračerveného zářivého toku. V plně

radiometrickém termogramu lze provádět měření teplot a upravit parametry snímku i po jeho uložení.

[22]

1.2.4 Použití termovizního měření

Termovizní měření se využívá v různých odvětvích, např. ve stavebnictví, v elektrotechnice, v průmyslových aplikacích, ve výzkumu a vývoji, pro vojenské účely, v medicíně, k ochraně životního prostředí, zkoumání historických děl, atd.

Ve stavebnictví se termovizní měření využívá pro hledání úniků tepla z budov, které odhalí nedostatečné izolace, příčiny vzniku plísní, atd.

V elektrotechnice se využívá ke sledování elektrických vedení a důvodu vzniku jejich poškození.

Pro průmyslové odvětví existuje velká možnost použití v různých automatizovaných průmyslech (např. automobilový průmysl, slévárenství, atd.) Při nainstalování termovizní kamery je sledován objekt nepřetržitě, může se jím předcházet různým selháním a tím se zvyšuje i bezpečnost pracovníků.

V oblasti vědy a výzkumu se využívá pro měření rozložení teploty. Zjišťují se účinky fyzikální léčby a pomocí změřením rychlé změny povrchové teploty se prokázaly změny v prokrvení ve tkáních hluboko pod povrchem.

Pro vojenské účely se termovizní kamery využívá k detekci pohybu osob např. v zabezpečených systémech a pro noční vidění. Termokamery jsou montovány např. do vrtulníků, zbraní, atd.

V oblasti medicíny lze termovizní kameru použít jak v lékařské, tak veterinární oblasti. Kamera vytváří snímky zobrazující data o teplotě těla v reálném čase. Lze snadno dokumentovat dynamické odezvy na podněty.

Termovizní měření se využívá i u ochrany životního prostředí. Lze jimi zjistit kvalitu ovzduší, rozpoznat těkavé organické sloučeniny, pozorovat skládky odpadů a ekologické zátěže.

Dále lze termovizní kameru použít pro monitorování stavu populace živočichů, zkoumání historických děl (rozpozná zásah do díla), ušetření práce hasičům (usnadní nalézt únikovou cestu, usnadní orientaci v dýmu, atd.)

[31, 32, 33, 34]

1.2.4.1 Termovizní měření ve stavebnictví

Měření termovizní kamerou ve stavebnictví se využívá pro detekci tepelných ztrát (Obr. 21, 22), konstrukčních vad budov a nalezení problémů s instalacemi.

1. Detekce tepelných ztrát je způsobena:

- nedostatečnou tepelnou izolací (Obr. 23, 24)
- tepelnými mosty.

2. Detekce konstrukčních vad budov:

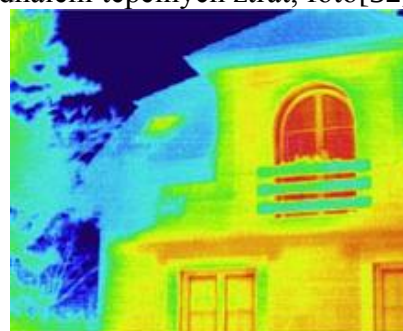
- skryté konstrukční prvky (tepelné mosty)
- vlhkost zdiva, plísně.

3. Detekce problémů s instalacemi:

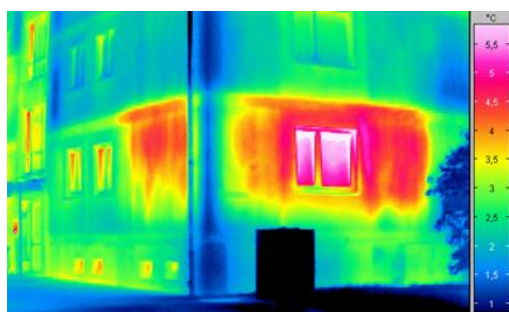
- detekce prasklých vodovodních vedení
- problémy v elektroinstalaci
- otopné systémy, podlahové topení.



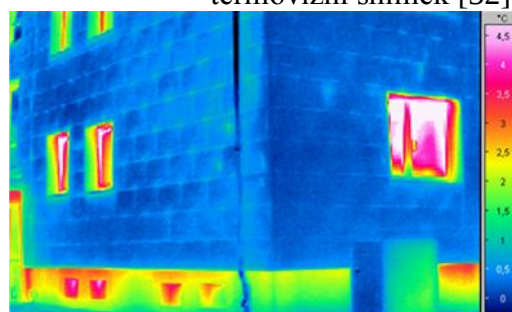
Obr. 21 Odhalení tepelných ztrát, foto[32]



Obr. 22 Odhalení tepelných ztrát, termovizní snímek [32]



Obr. 23 Termovizní snímek před zateplením[32]



Obr. 24 Termovizní snímek po zateplení [32]

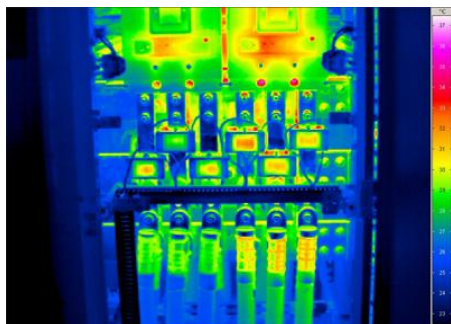
[32]

1.2.4.2 Termovizní měření v elektrotechnice

Toto měření slouží jako prostředek na identifikování a hledání problémových oblastí při výrobě, přenosu a distribuci elektrické energie (Obr. 25, 26).

Jelikož je termovizní měření bezkontaktní, používá se jako nástroj pro kontrolu během normálního provozu bez zásahu do zařízení. Při pravidelných kontrolách jsou případné závady objevované již v počátečním stadiu, což má vliv na ekonomiku provozu.

Dají se kontrolovat rozvodny a transformátory, elektromotory atd. Termovizním měřením lze odhalit špatné vinutí cívek, studené spoje, spálené kontakty, sváry, nedostatečná izolace atd.



Obr. 25 Termovizní snímek v elektrotechnice [32]



Obr. 26 Termovizní snímek v elektrotechnice [32]

[32]

1.2.4.3 Termovizní měření v průmyslových aplikacích

Termovizní měření se využívá v automobilovém, slévárenském a hutnickém průmyslu, v hydraulických a pneumatických systémech. Termografické analýzy jsou důležité zejména ve fázi vývoje nových komponentů a sestav. Analýzy mohou identifikovat kritické oblasti a optimalizovat je před vstupem do výroby.

1. Automobilový průmysl

- vyhřívání skel, sedadel (Obr. 27)
- tepelné zatížení motoru a jeho komponentů
- kontrola ložisek, brzd (Obr. 28).

2. Slévárenství a hutnický průmysl

- kontrola homogenity odlitku, tuhnutí odlitku, otevřené formy.

3. Hydraulické a pneumatické systémy

- kontrola hydraulických prvků – potrubní systémy (Obr. 29, 30), ventily, tanky
- detekce úniků, havarijních stavů potrubí.



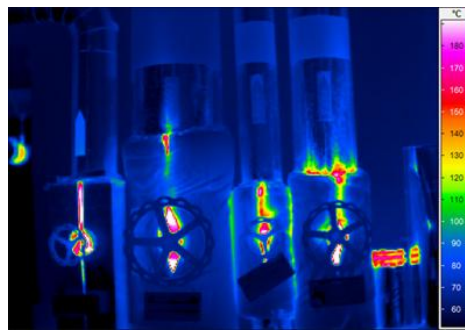
Obr. 27 Vyhřívání sedadel [35]



Obr. 28 Kontrola brzd [35]



Obr. 29 Kontrola potrubních systémů, foto [32]



Obr. 30 Kontrola potrubních systémů, termovizní snímek [32]

[32, 35]

1.2.4.4 Termovizní měření ve výzkumu a vývoji

Pomocí termovizního měření se zjišťují lokální teploty tělních orgánů (Obr. 31, 32) jako součást výzkumu a diagnózy v humánní a veterinární medicíně. Dále je to:

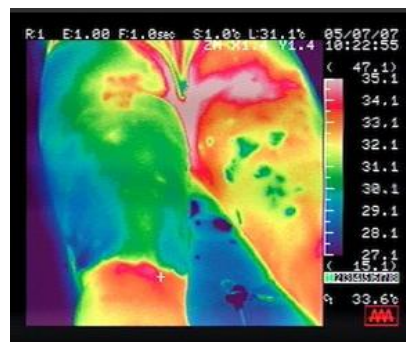
- objektivní měření vitální aktivity v biologickém výzkumu
- rychlé měření teplot při přechodových jevech ve fyzikálních experimentech

Při mnoha fyzikálních a biologických experimentech nastává požadavek zjišťovat okamžitou teplotu v jednotlivých bodech měřeného objektu. Nestačí tedy jen zjišťovat teplotu kontaktním teploměrem, který ovlivňuje naměřenou hodnotu hmotou teploměru.

Na rozdíl od konvenčních způsobů měření teploty termovizí poskytuje velký teplotní rozsah stupnice, jaký nelze dosáhnout pomocí žádného kontaktního teploměru.



Obr. 31 Termovizní snímek ruky [33]
[33]



Obr. 32 Termovizní snímek stehen [33]

1.2.4.5 Termovizní měření pro vojenské účely

Pro vojenské účely se termovizní měření využívá k detekci pohybu osob (Obr. 33) a nočnímu vidění. Tepelné zobrazovací metody pro noční vidění nevyžadují okolní světlo. Fungují na principu, že všechny objekty vyzařují infračervené záření v závislosti na jejich

teplotě. Termokamera je schopna proniknout kouřem, mlhou, atd. Existují dva typy detektorů termovizní: chlazené a nechlazené.

Existují snímky, které zobrazují barevný obraz nebo obraz v černobílé barvě, bílé objekty jsou teplé, černé objekty jsou chladné.



Obr. 33 Obraz v černobílé barvě [34]

[34]

1.2.5 Parametry, které ovlivňují výslednou teplotu na výstupu z termovizní kamery

Na výslednou teplotu má vliv emisivita tělesa, zdánlivá odražená teplota, vzdálenost od měřeného objektu a údaje o okolní atmosféře.

1.2.5.1 Emisivita tělesa ε

Velmi důležitým parametrem pro měření teploty pomocí termovizní kamery je emisivita tělesa. Emisivita je relativní schopnost plochy vydávat elektromagnetické záření odpovídající její teplotě, nabývá tedy hodnot 0 – 1.

Emisivita je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa H_E k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa H_{E0} se stejnou teplotou (1).

$$\varepsilon = \frac{H_E}{H_{E0}} \quad (1)$$

ε ...emisivita tělesa [-]

H_E ...intenzita vyzařování reálného tělesa [W.m^{-2}]

H_{E0} ...intenzita vyzařování absolutně černého tělesa [W.m^{-2}]

Emisivita závisí na úhlu vyzařování a je pod každým úhlem jiná. Obecně platí, že obvykle je emisivita přibližně konstantní v úhlu do 60° od kolmice, u většiny materiálů dokonce do 45°. Pod většími úhly pak emisivita výrazně klesá a těleso má zdánlivě nižší povrchovou teplotu.

Absolutně černé těleso má emisivitu 1, povrchy běžných těles mají emisivitu menší než 1 a lesklá tělesa (čisté kovové povrchy) mají emisivitu velmi malou (až 0,1). Lidská pokožka má emisivitu blízkou jedné.

Intenzita vyzařování jednotlivých materiálů závisí na povrchové úpravě a teplotě, v Tab. 1 jsou uvedeny hodnoty emisivity některých materiálů.

Materiál	Teplota [°C]	Emisivita [-]
Bavlněný materiál	20	0,77
Hedvábný materiál	20	0,78
Azbestová tkanina	93	0,9

Tab. 1 Hodnoty emisivit materiálů v závislosti na teplotě [24]

Emisivita je závislá na několika faktorech:

- teplota materiálu (rozdíly způsobují i rozdíly v emisivitě)
- povrchová vrstva
- vlnová délka emitované energie.

Kirchhoffův zákon

Záření, pohlcené termokamerou, sestává z vyzáření (emisivita), odražené (reflexe) a přenesené složky (transmise) infračerveného záření. Součet těchto složek je vždy roven 1 (2):

$$\varepsilon + \rho + T = 1 \quad (2)$$

ε ...emisivita [-]

ρ ...reflexe (odrazivost záření) [-]

T ...transmise (propouštění záření) [-]

Vztah mezi emisivitou a odraženým zářením:

Čím nižší emisivita:

- tím je vyšší podíl odraženého záření
- tím obtížnější je přesné stanovení měřené teploty
- tím důležitější je přesné stanovení kompenzace odražené teploty (RTC).

Pro stanovení emisivity existují různé metody:

- 1) Vyhledat emisivitu často používaných materiálů v tabulkách.
- 2) Zahřát vzorek materiálu na známou teplotu, která se určí přesným dotykovým teploměrem. Změřit teplotu tohoto tělesa infračerveným teploměrem a měnit jeho emisivitu, dokud naměřená teplota neodpovídá teplotě změřené dotykovým teploměrem.

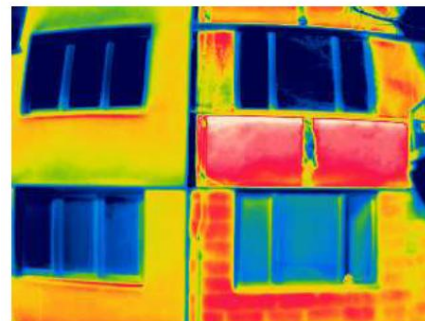
- 3) Při relativně nízké teplotě (do 260°C) nalepit na měřený objekt speciální plastovou samolepku se známou emisivitou. Infračerveným teploměrem změřit teplotu samolepky s touto emisivitou, změřit povrchovou teplotu měřeného objektu bez samolepky a přestavit na teploměru emisivitu tak, aby teploměr zobrazoval správnou teplotu.
- 4) Pokud je možno měřený povrch natřít, natře se matnou černou barvou, která má emisivitu kolem 0,95. Změřit teplotu tohoto tělesa a nastavit emisivitu, jak je popsáno výše.
- 5) Pomocí termovizní kamery lze určit emisivitu tak, že se měřený objekt zahřeje nebo ochladí pomocí kalibrovaného zdroje tepla na určitou teplotu, která je nejméně o 3K rozdílná než je teplota atmosféry (T_{atm}). Pomocí termokamery je snímán obraz povrchu, po vytvoření snímku jsou data z kamery přenesena do počítače a pomocí speciální funkce je emisivita vypočítána.

[22, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 39]

1.2.5.2 Zdánlivá odražená teplota T_{refl}

Do měřeného zářivého toku tělesa může vstoupit zdánlivá odražená teplota, což je zdánlivá teplota jiných objektů, která se odráží od povrchu měřeného objektu do termografické kamery. Může dojít ke zkreslení vyjádření povrchových teplot v různém rozložení na termogramu a tím ovlivnit naměřený výsledek. Pro správné vyhodnocení teploty vyžaduje termovizní systém nastavení určitých parametrů, a proto každý měřicí (radiometrický) termovizní systém musí být vybaven možností korekce těchto parametrů.

Při měření staveb ovlivňuje výsledky, např. pokud je v blízkosti jiná stavba, která má vyšší povrchovou teplotu. Příkladem, kdy zdánlivá odražená teplota narušuje měření, je termogram (Obr. 34), kde je patrný odraz relativně teplých větví stromu na fasádě domu. Ostatní plocha je ovlivněna vzájemným sáláním velmi studené oblohy.



Obr. 34 Vliv teploty okolních předmětů [39]

[28, 39]

1.2.5.3 Vzdálenost od měřeného objektu

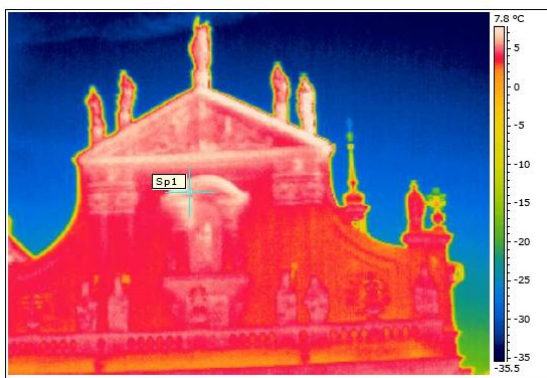
Vzdálenost je počítána od měřeného objektu k přední čočce kamery a zadává se do parametrů objektu. Tento parametr je nutný pro kompenzování vlivu na termografické měření ze dvou důvodů:

- záření objektu je pohlcováno vzduchem, který se nachází mezi objektem a kamerou
- samotný vzduch vyzařuje určité záření, které kamera detekuje a zaznamenává.

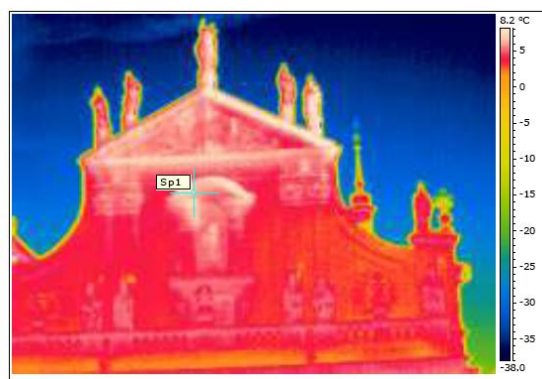
Vliv vzdálenosti mezi kamerou a objektem lze navolit pomocí parametru externí optika, který zohledňuje i případy, kdy použijeme jiný objektiv pro kameru nebo do cesty záření vložíme filtr.

Při termografickém měření budov se doporučuje měřit z kratší vzdálenosti, neboť při vzdáleném měření může být záznam nekvalitní. Podstatným údajem je rozlišení termovize, tedy počet zobrazovacích bodů, který může zásadním způsobem ovlivnit odečítání teplot a tím i vyhodnocování termogramů. Termovize snímají objekty různě velkými teplotními čidly, přičemž každému bodu je přiřazena určitá teplota. Při vzdálenějším měření se na jednom bodu zobrazí pouze průměrná teplota a měření se stává nepřesným. Doporučuje se udělat více snímků z kratší vzdálenosti. Nejkratší vzdálenost, na kterou lze měřit, je 1m.

Příkladem ovlivňování termovizního měření vzdáleností je porovnávání měření ze 2 a z 200 metrů. V případě vzdálenosti 2 metrů (Obr. 35) byla naměřena teplota v konkrétním bodě 5,7°C, v případě 200 metrů (Obr. 36) byla naměřena ve stejném bodě teplota 5,9°C a snímek byl méně kvalitní.



Obr. 35 Termovizní snímek měřený ze vzdálenosti 2 m [39]



Obr. 36 Termovizní snímek měřený ze vzdálenosti 200 m [39]

[36, 37, 38, 39]

1.2.5.4 Údaje o okolní atmosféře

Atmosféra je chápána jako prostředí mezi snímaným tělesem a termokamerou. Jedná se o veličiny teplota vzduchu T_{atm} a relativní vlhkost vzduchu RH_{atm} . Tyto parametry jsou zadávány do parametrů objektu.

Relativní vlhkost vzduchu mezi snímaným tělesem a termokamerou ovlivňuje přenos radiace v atmosféře. Vyšší hodnota relativní vlhkosti (tedy vyšší obsah páry ve vzduchu) snižuje prostupnost atmosféry pro IR záření. Význam tohoto vlivu výrazně klesá při měření, kde vzdálenost termokamery a objektu je nižší než 25 m. Relativní vlhkost vzduchu by však neměla být vyšší jak 70%. Zcela zkreslené bude měření v mlze a dešti.

Faktor teploty atmosféry mezi objektem snímkování a termokamerou ovlivňuje velikost stejnosměrné signálové radiační složky detekovaného IR signálu. Korekcí tohoto parametru se kompenzuje radiace atmosféry.

Teplota okolí má vliv na absolutní vyčíslení teploty měřeného předmětu. Pokud je chybně zadaná, pak rozdíly teplot mezi jednotlivými body na jednom termogramu zůstanou stejné, pouze dojde k jinému vyčíslení povrchové teploty.

Termografie budov se využívá převážně v chladnějších obdobích, kdy je rozdíl mezi vnější a vnitřní teplotou alespoň 15 – 20°C. Doporučuje se měřit v ranních nebo večerních hodinách, kdy není měření ovlivněno slunečním zářením. Rychlost větru by neměla být větší než 3 m.s⁻¹ a v budově by se nemělo větrat.

[37, 39, 40]

2. Experimentální část

V experimentální části je navržena metodika stanovení emisivity pro vybraný druh oděvních materiálů, a to materiálů pro funkční spodní prádlo. Je zde proveden experiment pro měření emisivity na funkčním spodním prádle, kdy je zjišťován vliv vzrůstající teploty na hodnotu emisivity.

2.1 Charakteristika použitých materiálů

Pro měření na termografické kameře bylo zvoleno měření na materiálech pro funkční spodní prádlo, které je považováno za první, transportní vrstvu ve vrstevném systému. Materiály, z kterých se funkční prádlo vyrábí, byly poskytnuty firmami Jitex a.s. a Calma Textil s.r.o. Všechny materiály obsahují zcela nebo částečně polypropylenová vlákna. Pro porovnání byl přidán i bílý materiál ze 100% bavlny (Tab. 2). Podrobný popis a vzorky materiálů jsou uvedeny v příloze č. 8.

Označení	Druh	Barva	Materiálové složení	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka [mm]
T1	osnovní pletenina	Bílá	100% PP s Ag+	100,30	0,60
T2	osnovní pletenina	Tmavě modrá	100% PP s Ag+	96,11	0,59
T3	osnovní pletenina	Bílá	50% PP, 50% CO	151,45	0,85
T4	osnovní pletenina	Zelená	50% PP, 50% CO	151,05	0,88
T5	osnovní pletenina	Bílá	100% PP	118,84	0,96
T6	osnovní pletenina	Šedá	100% PP	134,37	0,99
T7	osnovní pletenina	Bílá	50% PP, 50% CO	174,34	1,30
T8	osnovní pletenina	Černá	50% PP, 50% CO	191,94	1,36
B1	osnovní pletenina	Bílá	100% CO	135,60	0,58

Tab. 2 Přehled použitých materiálů [41, 42]

V běžných podmínkách člověk vystačí s oděvem z klasických materiálů bez zvláštních funkčních vlastností, ať už z přírodních nebo syntetických materiálů. Při zvýšené námaze nebo dlouhotrvajícím pobytu v nepříznivých podmínkách je však nutné zvolit oděv, který bude zajišťovat oděvní komfort. Oděv, který má ucelený vrstevný systém, je složen ze tří vrstev: transportní, izolační a ochranné vrstvy. Cílem vrstvení je koordinace transportu tepla a vlhkosti, a zabránění vzniku nepříjemných pocitů v podmínkách chladu nebo vlhka.

Jelikož je transportní vrstva přímo na těle, materiál musí mít největší odvod vlhkosti, aby udržel pokožku v suchu, příjemný omak a nesmí způsobovat alergii. Stabilizuje tělesnou

teplotu, zabraňuje přehřátí nebo prochladnutí organismu vlivem nahromaděné vlhkosti. Transportní vrstvou je funkční prádlo, které je vyrobeno z pleteniny.

Materiály, z kterých se funkční prádlo vyrábí, můžeme rozdělit na hydrofilní a hydrofobní. Mezi hydrofobní materiály patří nejpoužívanější polyester (PL) a polypropylen (PP) v různých tvarech a provedeních. Mezi hydrofilní materiály patří vlna (WO) a bavlna (CO). Polypropylen má ze všech materiálů nejnížší plošnou měrnou hmotnost, nízkou tepelnou vodivost a téměř 0 % nasákavost. Je částečně odolný vůči bakteriím a plísním, přirozeně pohlcuje UV záření.

Pozn.: Jednotlivé hodnoty zjišťování plošné hmotnosti a tloušťky použitých materiálů jsou uvedeny v příloze č. 7.

[41, 42, 43, 44]

2.2 Charakteristika použitých zařízení

Při experimentu bylo použito dvou zařízení. Klimatizační komora pro zklimatizování jednotlivých vzorků na požadovanou teplotu a vlhkost. Dále pak termovizní kamera Thermo CamTM S60 pro zjištění emisivity funkčních materiálů.

2.2.1 Klimatizační komora

Klimatizační komora APT. Line KBF s programovatelnými podmínkami (Obr. 37) je dostupná v laboratoři na katedře KOD. Přístroj je vybaven dvoukanálovým multifunkčním mikroprocesorovým regulátorem pro vkládání teploty a vlhkosti a digitálním displejem s přesností na 0,1°C resp. 0,1% r.v. Vzduch je zvlhčován elektrodoým generátorem vodních par. Vnitřek komory, předehřívací komora a vnitřní část dveří jsou vyrobeny z nerezové oceli.



Obr. 37 Klimatizační komora

Parametry klimatizační komory:

- hmotnost: 160 kg
- vnější rozměry: 1034 x 1142 x 746 mm
- vnitřní rozměry: 800 x 600 x 500 mm
- vnitřní objem: 240 l
- teplotní rozsah bez regulace vlhkosti: -10°C ÷ +100°C
- teplotní rozsah s regulací vlhkosti: +10°C ÷ +90°C

2.2.2 Termovizní kamera

Termokamera Thermo CamTM S60 (Obr. 38) je dostupná na katedře KOD. Přístroj se skládá ze samotné kamery a z odnímatelného dálkového ovládání. Na kameře i na ovládání jsou stejná tlačítka A, S, C a joystick. Tlačítko A slouží k automatickému ostření obrazu. Tlačítko S slouží k zastavení, spuštění a ukládání obrazu do paměti termokamery nebo na externí paměťovou kartu. Tlačítko C má funkci Clear. Pomocí joysticku se dostaneme do hlavního menu, ovládá funkce enter, zoom a manuální ostření.



Obr. 38 Termokamera Thermo CamTM S60 [45]

Parametry termokamery:

- hmotnost: 2 kg včetně baterie a dálkového ovládání
- rozměry: 234 x 124 x 161 mm
- zorné pole/min. ohnisková vzdálenost: 24° x 18°/0,3 m
- prostorové rozlišení: 1,3 mrad
- zobrazovací frekvence: 50 / 60 Hz
- spektrální rozsah detektoru: 7.5 –13 μm
- rozlišení detektoru: 320 x 240 pixelů
- teplotní rozsahy: -40°C ÷ +120°C
0°C ÷ +500°C
+350°C ÷ +1500°C
- přesnost: $\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ z absolutní hodnoty teploty ve $^\circ\text{C}$
- laser: polovodičový diodový laser AlGaInP

[45, 46]

2.3 Metodika stanovení emisivity

Pro stanovení emisivity materiálů pro funkční spodní prádlo byla dle předchozích experimentů zvolena metoda, kdy se jednotlivé vzorky umístí do klimatizační komory a zahřívají se postupně na 4 různé teploty. Pomocí termovizní kamery se vytvoří snímky, které jsou dále přeneseny do počítače a vyhodnocovány pomocí programu ThermoCAMTM Researcher.

Příprava vzorků:

1. Připravit 9 druhů materiálů (8 materiálů pro funkční spodní prádlo, 1 materiál pro bavlněné spodní prádlo), od každého nastříhat 10 vzorků o rozměrech 10 x 10 cm.
2. Připravit pomůcky:
 - gelový polštářek Duotherm (pro udržení teploty po odběru z klimatizační komory než bude vytvořen snímek pomocí termovizní kamery)
 - 2 polystyreny: 1. o rozměrech 15 x 15 cm (pro snazší vyjmutí vzorků z klimatizační komory), 2. o rozměrech 20 x 18 cm (pro odizolování materiálů od země při měření).

Podstata zkoušky:

Podstatou zkoušky je zahřát materiály postupně na 4 různé hodnoty teplot (t_1 , t_2 , t_3 a t_4) a relativní vlhkost 65% (zachována stejná vlhkost jako je vlhkost v místnosti, aby nebylo ovlivněno měření) pomocí klimatizační komory. Pomocí termovizní kamery vytvořit snímek, v co nejkratším čase po vyjmutí z klimatizační komory.

Měření je prováděno v klimatizované místnosti o teplotě 21°C a vlhkosti 65%. Místnost je zatemněna pomocí žaluzií pro eliminaci pronikání slunečního záření, které by mohlo ovlivňovat správnost výsledků měření. Termovizní kamera je umístěna na stativu tak, aby mířila k zemi a nesvírala žádný úhel. Vzdálenost od měřeného objektu je 1 m. Výsledky jsou vyhodnoceny v programu ThermaCAMTM Researcher. Pro výpočet emisivity je nutné znát emisivitu polystyrenu pro zjištění skutečné hodnoty teploty v době snímání ($\epsilon = 0,6$).

Teplota t_1 byla zvolena tak, aby byla nejméně o 3K vyšší než je teplota atmosféry (T_{atm}), což je důležité pro výpočet emisivity pomocí programu ThermaCAMTM Researcher. Teploty t_2 a t_3 jsou zvoleny jako hodnoty nacházejícími se mezi teplotou t_1 a t_4 . Nejvyšší teplotou t_4 byla zvolena průměrná teplota pokožky (33,2°C) pro porovnání při měření oděvních výrobků na lidském těle.

Teplota $t_1 = 25^\circ\text{C}$

Teplota $t_2 = 28^\circ\text{C}$

Teplota $t_3 = 30^\circ\text{C}$

Teplota $t_4 = 33^\circ\text{C}$

Postup měření:

1. Připravit 90 vzorků, vždy 10 stejných vzorků položených na sebe (lícem nahoru).
2. Připravit gelový polštářek a polystyreny.

3. Umístit vzorky na 24 hodin do klimatizační komory, měřený vzorek umístit na připravený polystyren (15 x 15 cm) a položit přes něj gelový polštářek (Obr. 39).

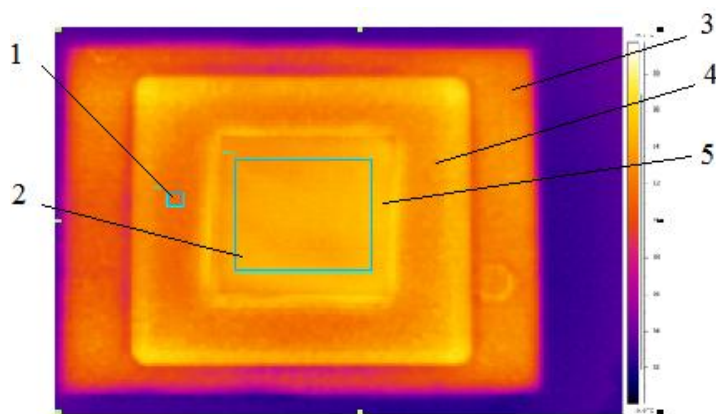


Obr. 39 Vzorky umístěné v klimatizační komoře, položené na polystyrenu a přikryté gelovým polštářkem

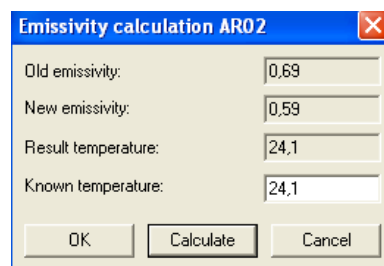
4. Zapnout termovizní kameru a nastavit parametry objektu:
- teplota atmosféry: 21°C
 - vzdálenost od měřeného objektu: 1 m
 - vlhkost: 65%
 - teplota zdánlivě odrážená: 21°C.
5. Vyjmout vzorky umístěné na polystyrenu z klimatizační komory, umístit pod objektiv termovizní kamery (Obr. 40) na polystyren (20 x 18 cm) a po odejmutí gelového polštářku vytvořit snímek.
6. Stejným způsobem naměřit všechny vzorky materiálů.
7. Přenést data z termovizní kamery do počítače.
8. Vyhodnotit pomocí programu ThermaCAMTM Researcher:
- Otevřít program ThermaCAMTM Researcher.
 - Vyvolat snímky pomocí příkazu Open Images.
 - Vytvořit 2 čtvercové obrazce (Obr. 41):
 - 1. AR01 v místě polystyrenu
 - 2. AR02 v místě materiálu.
 - Zadat hodnotu emisivity pro polystyren do nastavení obrazce AR01: 0,6.



Obr. 40 Snímání obrazu



Obr. 41 Vytvoření 2 čtvercových obrazců
Legenda: 1. - AR01, 2. AR02, 3. polystyren (20 x 18 cm), 4. polystyren (15 x 15 cm), 5. Vzorky



Obr. 42 Emissivity calculation

- e) Zadat do nastavení obrazce AR02 hodnotu emisivity stejnou jako u obrazce AR01.
 - f) Otevřít příkaz Emissivity Calculation u obrazce AR02 (Obr. 42).
 - g) Zadat průměrnou teplotu stejnou jako je průměrná teplota obrazce AR01 pro vypočítání skutečné hodnoty emisivity měřeného materiálu.
9. Jednotlivé hodnoty emisivity zapsat do tabulky a vytvořit grafy, které znázorní závislost teploty a emisivity jednotlivých vzorků.

2.4 Hodnocení emisivity materiálů pro funkční spodní prádlo

Měření pomocí termovizní kamery bylo provedeno za čtyř různých teplot (t_1 , t_2 , t_3 , t_4) pro zjištění závislosti mezi zvyšující se teplotou a hodnotou emisivity. Hodnoty teplot byly zvoleny v rozmezí 25 – 33°C. Pro každou teplotu byla vytvořena 3 měření. Jednotlivé snímky byly vyhodnocovány v programu ThermaCAMTM Researcher, kde byly zjištěny hodnoty emisivity použitých materiálů podle zvolené metodiky.

2.4.1 Hodnocení emisivity jednotlivých materiálů

Použité oděvní materiály jsou materiály určené pro funkční spodní prádlo (T1 – T8). Pro porovnání byl zvolen i materiál pro bavlněné spodní prádlo (B1). Materiály pro funkční spodní prádlo jsou osnovní pleteniny, které jsou vždy v bílé a tmavé barvě. Materiály jsou vyrobeny ze 100% PP, 50% PP a 50% CO nebo 100% CO.

U každého materiálu bylo provedeno celkem 12 měření, 3 pro každou hodnotu teploty ($t_1 = 25^\circ\text{C}$, $t_2 = 28^\circ\text{C}$, $t_3 = 30^\circ\text{C}$, $t_4 = 33^\circ\text{C}$). Jednotlivé výsledky pro každou hodnotu teploty se zprůměrovaly a byly vytvořeny grafy, které znázorňují závislost mezi teplotou a emisivitou. Do grafu byly zaneseny regresní přímky, jejichž rovnice jsou znázorněné u jednotlivých grafů. Pro znázornění jsou u každého materiálu vloženy 2 snímky z měření. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 9.

2.4.1.1 Hodnocení emisivity materiálu T1 a T2

Materiály T1 a T2 jsou osnovní pleteniny vyrobené ze 100% PP s kationty stříbra. Materiál T1 je bílé barvy, T2 modré barvy.

Materiál T1

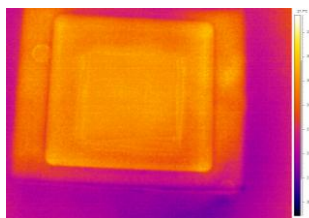
Pro teplotu t_1 (Obr. 43) byla stanovena průměrná hodnota emisivity $\bar{\epsilon} = 0,61$.

Teplota t_2 : $\bar{\epsilon} = 0,61$ (Obr. 44)

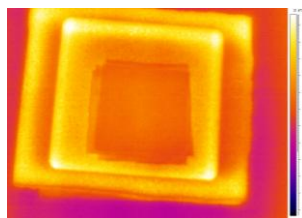
Teplota t_3 : $\bar{\epsilon} = 0,6$

Teplota t_4 : $\bar{\epsilon} = 0,61$

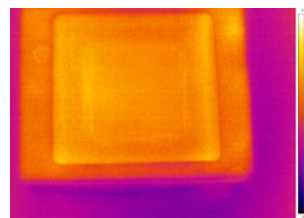
U materiálu T1 je průměrná naměřená emisivita $\bar{\epsilon}_{T1} = 0,61$. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu č. 1, kde jsou průměrné hodnoty proloženy lineární regresí. Na obr. 47 je znázorněn graf, kde jsou znázorněny jednotlivé naměřené hodnoty emisivity.



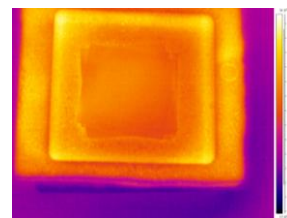
Obr. 43 Materiál T1 – 25°C



Obr. 44 Materiál T1 – 28°C



Obr. 45 Materiál T2 – 25°C



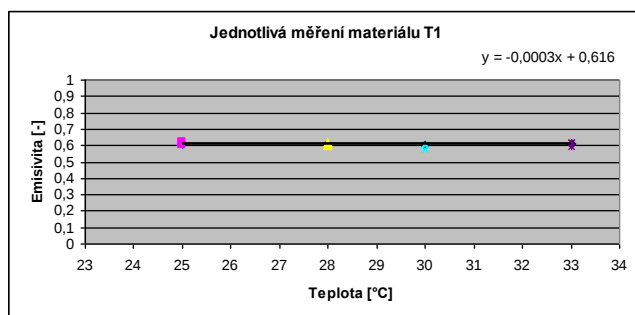
Obr. 46 Materiál T2 – 28°C

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,61	0,012	0,0001	1,9
t2	0,61	0,012	0,0001	1,9
t3	0,60	0,015	0,0002	2,6
t4	0,61	0,017	0,0003	2,9

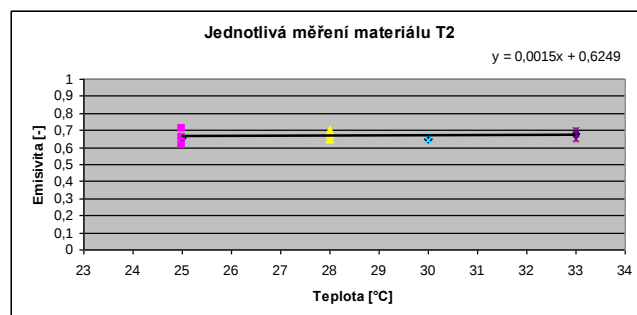
Tab. 3 Naměřené emisivity materiálu T1

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,66	0,050	0,0025	7,6
t2	0,68	0,025	0,0006	3,7
t3	0,65	0,017	0,0003	2,6
t4	0,68	0,025	0,0006	3,7

Tab. 4 Naměřené emisivity materiálu T2



Obr. 47 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T1



Obr. 48 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T2

2.4.1.2 Hodnocení emisivity materiálu T3 a T4

Materiály T3 a T4 jsou osnovní pleteniny vyrobené z 50% PP a 50% CO. Materiál T3 je bílé barvy, T4 zelené barvy.

Materiál T3

Teplota t1: $\bar{E} = 0,66$

Teplota t2: $\bar{E} = 0,67$ (Obr. 49)

Teplota t3: $\bar{E} = 0,66$ (Obr. 50)

Teplota t4: $\bar{E} = 0,67$

Průměrná emisivita: $\bar{E}_{T3} = 0,67$

Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 5. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 53.

Materiál T4

Teplota t1: $\bar{E} = 0,68$

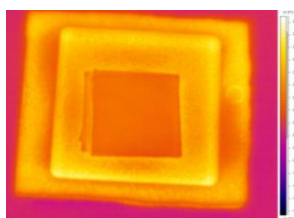
Teplota t2: $\bar{E} = 0,68$ (Obr. 51)

Teplota t3: $\bar{E} = 0,70$ (Obr. 52)

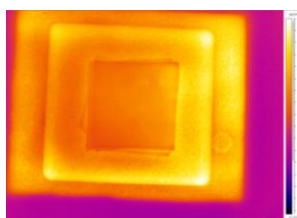
Teplota t4: $\bar{E} = 0,68$

Průměrná emisivita: $\bar{E}_{T4} = 0,69$

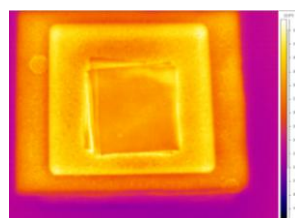
Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 6. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 54.



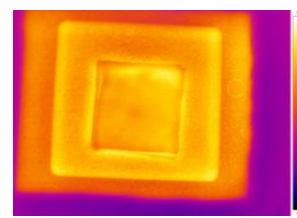
Obr. 49 Materiál T3 – 28°C



Obr. 50 Materiál T3 – 30°C



Obr. 51 Materiál T4 – 28°C



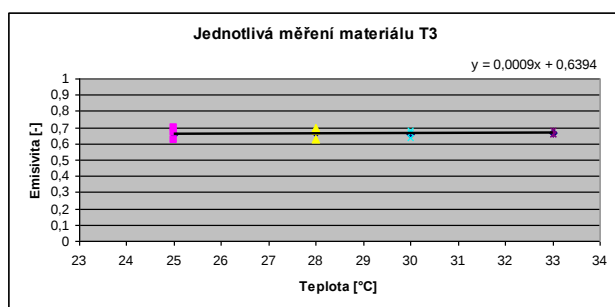
Obr. 52 Materiál T4 – 30°C

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,66	0,040	0,0016	6,1
t2	0,67	0,036	0,0013	5,4
t3	0,66	0,021	0,0004	3,2
t4	0,67	0,012	0,0001	1,7

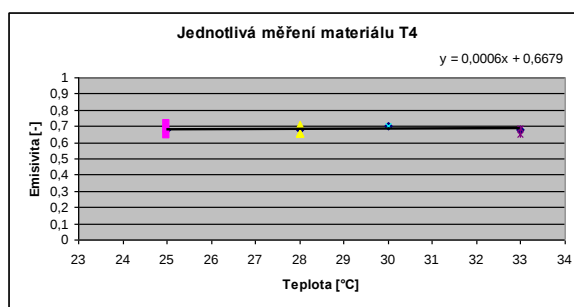
Tab. 5 Naměřené emisivity materiálu T3

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,68	0,040	0,0016	5,9
t2	0,68	0,029	0,0008	4,3
t3	0,70	0,025	0,0006	3,6
t4	0,68	0,023	0,0005	3,4

Tab. 6 Naměřené emisivity materiálu T4



Obr. 53 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T3



Obr. 54 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T4

2.4.1.3 Hodnocení emisivity materiálu T5 a T6

Materiály T5 a T6 jsou osnovní pleteniny vyrobené ze 100% PP. Materiál T5 je bílé barvy, T6 šedé barvy.

Materiál T5

Teplota t1: $\bar{\epsilon} = 0,68$

Teplota t2: $\bar{\epsilon} = 0,66$

Teplota t3: $\bar{\epsilon} = 0,62$ (Obr. 55)

Teplota t4: $\bar{\epsilon} = 0,62$ (Obr. 56)

Průměrná emisivita: $\bar{\epsilon}_{T5} = 0,65$

Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 7. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 59.

Materiál T6

Teplota t1: $\bar{\epsilon} = 0,69$

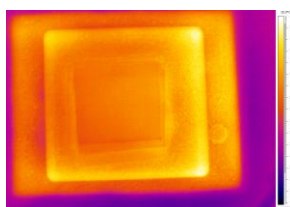
Teplota t2: $\bar{\epsilon} = 0,68$

Teplota t3: $\bar{\epsilon} = 0,69$ (Obr. 57)

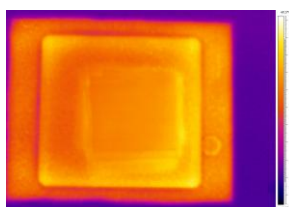
Teplota t4: $\bar{\epsilon} = 0,68$ (Obr. 58)

Průměrná emisivita: $\bar{\epsilon}_{T6} = 0,69$

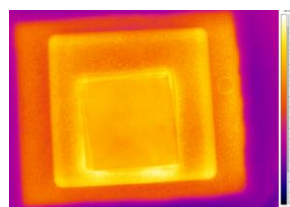
Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 8. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 60.



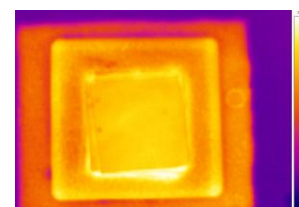
Obr. 55 Materiál T5 – 30°C



Obr. 56 Materiál T5 – 33°C



Obr. 57 Materiál T6 – 30°C



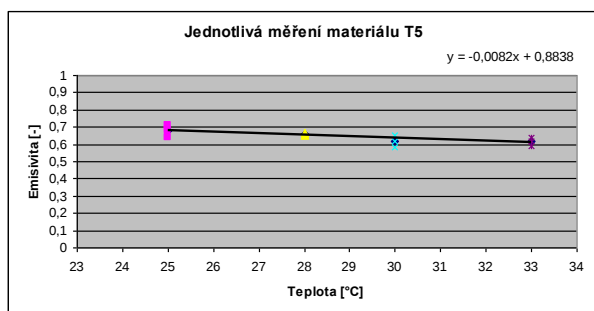
Obr. 58 Materiál T6 – 33°C

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,68	0,035	0,0012	5,2
t2	0,66	0,012	0,0001	1,7
t3	0,62	0,035	0,0012	5,6
t4	0,62	0,025	0,0006	4,0

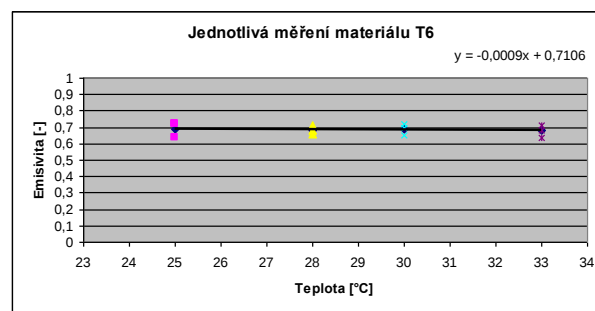
Tab. 7 Naměřené emisivity materiálu T5

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,69	0,046	0,0021	6,7
t2	0,68	0,025	0,0006	3,7
t3	0,69	0,036	0,0013	5,2
t4	0,68	0,035	0,0012	5,2

Tab. 8 Naměřené emisivity materiálu T6



Obr. 59 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T5



Obr. 60 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T6

2.4.1.4 Hodnocení emisivity materiálu T7 a T8

Materiály T7 a T8 jsou osnovní pleteniny vyrobené z 50% PP a 50% CO. Materiál T7 je bílé barvy, T8 černé barvy.

Materiál T7

Teplota t1: $\bar{\epsilon} = 0,66$

Teplota t2: $\bar{\epsilon} = 0,64$

Teplota t3: $\bar{\epsilon} = 0,61$ (Obr. 61)

Teplota t4: $\bar{\epsilon} = 0,61$ (Obr. 62)

Průměrná emisivita: $\bar{\epsilon}_{T7} = 0,63$

Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 9. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 65.

Materiál T8

Teplota t1: $\bar{\epsilon} = 0,67$

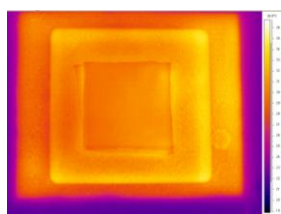
Teplota t2: $\bar{\epsilon} = 0,67$

Teplota t3: $\bar{\epsilon} = 0,68$ (Obr. 63)

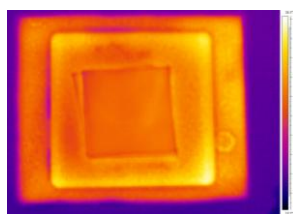
Teplota t4: $\bar{\epsilon} = 0,64$ (Obr. 64)

Průměrná emisivita: $\bar{\epsilon}_{T8} = 0,67$

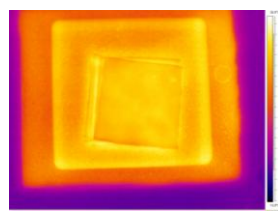
Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 10. Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 66.



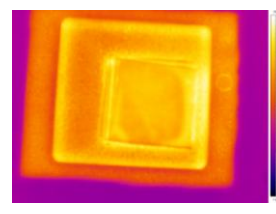
Obr. 61 Materiál T7 – 30°C



Obr. 62 Materiál T7 – 33°C



Obr. 63 Materiál T8 – 30°C



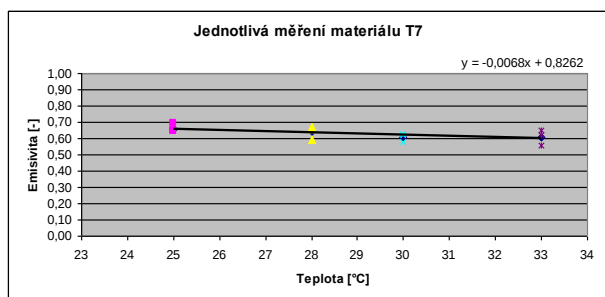
Obr. 64 Materiál T8 – 33°C

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,66	0,026	0,0007	3,9
t2	0,64	0,044	0,0019	6,8
t3	0,61	0,026	0,0007	4,3
t4	0,61	0,046	0,0021	7,5

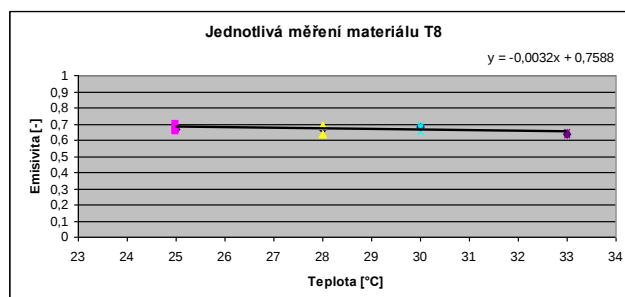
Tab. 9 Naměřené emisivity materiálu T7

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,67	0,029	0,0008	4,3
t2	0,67	0,029	0,0008	4,3
t3	0,68	0,025	0,0006	3,7
t4	0,64	0,010	0,0001	1,6

Tab. 10 Naměřené emisivity materiálu T8



Obr. 65 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T7



Obr. 66 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T8

2.4.1.5 Hodnocení emisivity materiálu B1

Materiál B1 je osnovní pletenina bílé barvy, vyrobena ze 100% CO.

Teplota t1: $\bar{E} = 0,6$ (Obr. 67)

Teplota t2: $\bar{E} = 0,56$

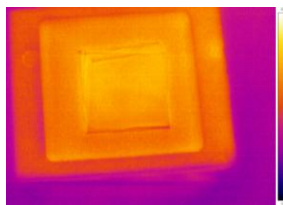
Teplota t3: $\bar{E} = 0,53$

Teplota t4: $\bar{E} = 0,51$ (Obr. 68)

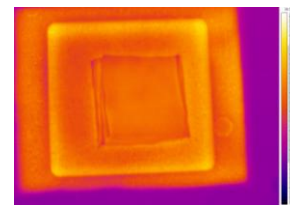
Průměrná emisivita: $\bar{E}_{B1} = 0,55$

Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 11.

Závislost naměřených hodnot teploty a emisivity je zobrazena v grafu na obr. 69.



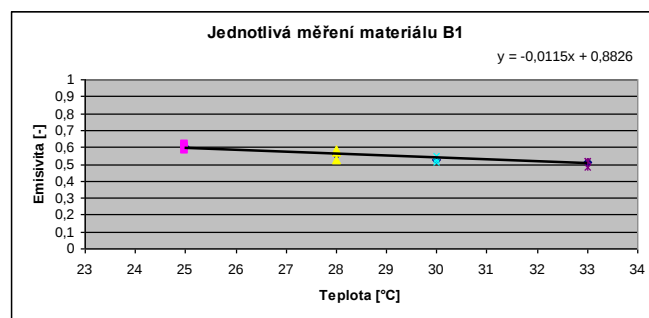
Obr. 67 Materiál B1 – 25°C



Obr. 68 Materiál B1 – 33°C

	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1	0,60	0,020	0,0004	3,3
t2	0,56	0,031	0,0009	5,5
t3	0,53	0,020	0,0004	3,8
t4	0,51	0,023	0,0005	4,5

Tab. 11 Naměřené emisivity materiálu B1



Obr. 69 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu B1

2.4.2 Vyhodnocení výsledků jednotlivých materiálů

9 druhů materiálů (8 materiálů pro funkční spodní prádlo a 1 materiál pro bavlněné spodní prádlo) bylo postupně nasnímáno pomocí termovizní kamery za 4 různých teplot (t1 = 25°C, t2 = 28°C, t3 = 30°C, t4 = 33°C). Materiály pro funkční prádlo jsou snímány vždy v bílé a tmavé barvě. Po proložení jednotlivých naměřených hodnot regresní přímkou, lze konstatovat, že při zvyšování teploty ve stanoveném rozmezí teplot není ovlivněna hodnota emisivity. V následující tabulce jsou uvedeny průměrné výsledky měření při určité teplotě (Tab. 12).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	B1
t1 [25°C]	0,61	0,66	0,66	0,68	0,68	0,69	0,66	0,67	0,60
t2 [28°C]	0,61	0,68	0,67	0,68	0,66	0,68	0,64	0,67	0,56
t3 [30°C]	0,60	0,65	0,66	0,70	0,62	0,69	0,61	0,68	0,53
t4 [33°C]	0,61	0,68	0,67	0,68	0,62	0,68	0,61	0,64	0,51

Tab. 12 Průměrné hodnoty emisivity za různých teplot [-]

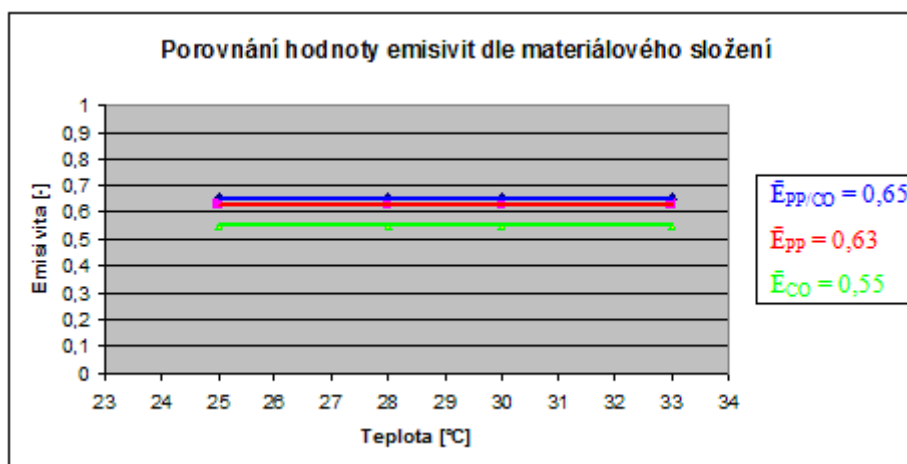
Z jednotlivých měření bylo zjištěno, že nejmenší emisivitu má materiál B1 (100% CO). Tento materiál má v průměru o 16,6% menší emisivitu než materiály pro funkční spodní prádlo.

Z materiálů pro funkční spodní prádlo (T1 – T8) mají bílé materiály v průměru o 6% menší emisivitu než materiály barevné. Barva je tedy důležitý faktor, který ovlivňuje emisivitu u funkčních materiálů.

Lze konstatovat, že plošná hmotnost, ani tloušťka neovlivňují hodnotu emisivity u zvoleného druhu materiálů.

U materiálů pro funkční spodní prádlo lze stanovit hodnotu emisivity podle materiálového složení. Pro materiály ze 100% PP byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,63. Pro materiály z 50% PP a 50% CO byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,65. Pro materiály ze 100% CO byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,55. Průměrné hodnoty byly stanoveny pouze z bílých materiálů, jelikož bylo stanoveno, že barva je důležitý faktor pro hodnotu emisivity. Průměrné hodnoty emisivity podle materiálového složení jsou znázorněny v grafu na obr. 70.

Ke stanovení průměrných hodnot pro materiály ze 100% PP bylo použito hodnot z měření materiálu T1 a T5. Ke stanovení průměrných hodnot pro materiály z 50% PP a 50% CO bylo použito hodnot z měření materiálu T3 a T7. Ke stanovení průměrných hodnot pro materiály ze 100% CO bylo použito hodnot z měření materiálu B1. Správnost výsledků může být ovlivněna přesností termovizní kamery, která je výrobcem stanovena $\pm 2^{\circ}\text{C}$.



Obr. 70 Graf pro porovnání hodnoty emisivit dle materiálového složení

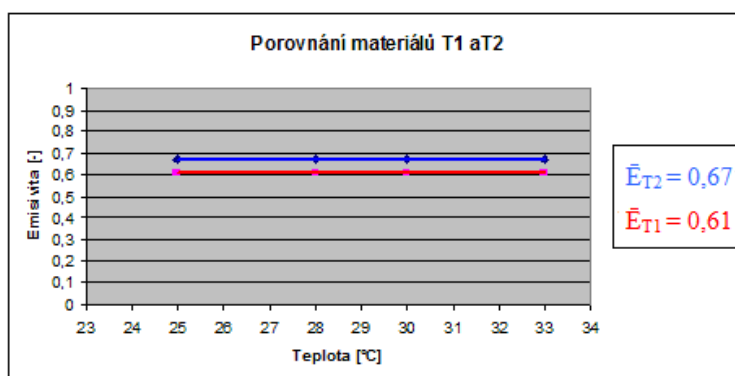
2.4.3 Porovnání hodnoty emisivity dle barvy

Během experimentu bylo hodnoceno, zda má při měření materiálů pro funkční spodní prádlo barva vliv na hodnotu emisivity. Proto jsou mezi sebou porovnávány materiály, které mají stejné materiálové složení, vazbu a liší se pouze barvou. Jednotlivé materiály jsou proměřeny vždy v bílé barvě a v tmavějším odstínu (např. zelená, modrá, šedá, černá). Barevně odlišené průměrné hodnoty emisivity E v rozmezí teplot 25 – 33°C jsou uvedeny v tab. 13.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	B1
t1 [25°C]	0,61	0,66	0,66	0,68	0,68	0,69	0,66	0,67	0,60
t2 [28°C]	0,61	0,68	0,67	0,68	0,66	0,68	0,64	0,67	0,56
t3 [30°C]	0,60	0,65	0,66	0,70	0,62	0,69	0,61	0,68	0,53
t4 [33°C]	0,61	0,68	0,67	0,68	0,62	0,68	0,61	0,64	0,51
$\bar{E}$ [-]	0,61	0,67	0,67	0,69	0,65	0,69	0,63	0,67	0,55

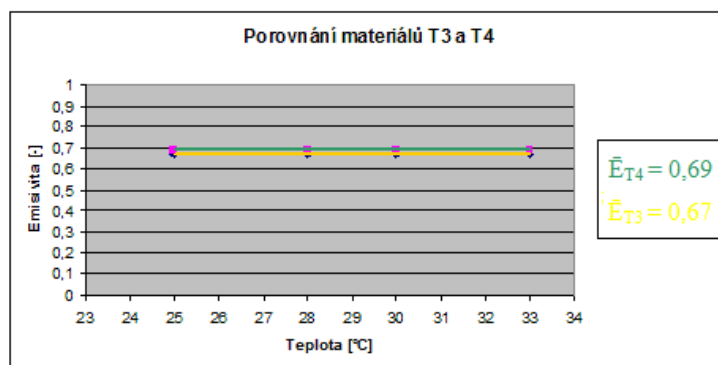
Tab. 13 Průměrné hodnoty emisivity za různých teplot [-]

Při porovnávání materiálů T1 a T2, z nichž materiál T1 je bílé barvy a materiál T2 modré barvy, bylo zjištěno, že bílý materiál má o 9 % nižší emisivitu než materiál barevný. Průměrné hodnoty emisivity jsou zaneseny do grafu na obr. 71.



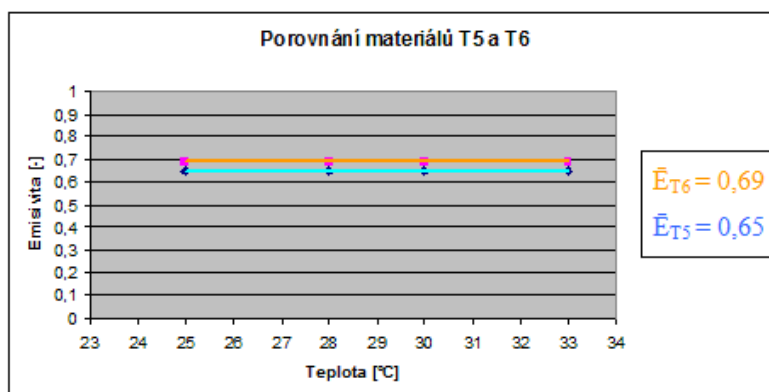
Obr. 71 Graf pro porovnání materiálů T1 a T2

Při porovnávání materiálů T3 a T4, z nichž materiál T3 je bílé barvy a materiál T4 zelené barvy, bylo zjištěno, že bílý materiál má o 2,9 % nižší emisivitu než materiál barevný. Průměrné hodnoty emisivity jsou zaneseny do grafu na obr. 72.



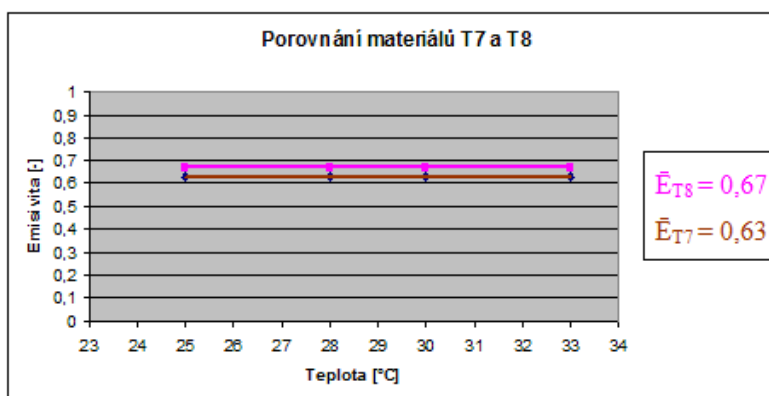
Obr. 72 Graf pro porovnání materiálů T3 a T4

Při porovnávání materiálů T5 a T6, z nichž materiál T5 je bílé barvy a materiál T6 šedé barvy, bylo zjištěno, že bílý materiál má o 5,8 % nižší emisivitu než materiál barevný. Průměrné hodnoty emisivity jsou zaneseny do grafu na obr. 73.



Obr. 73 Graf pro porovnání materiálů T5 a T6

Při porovnávání materiálů T7 a T8, z nichž materiál T7 je bílé barvy a materiál T8 černé barvy, bylo zjištěno, že bílý materiál má o 6 % nižší emisivitu než materiál barevný. Průměrné hodnoty emisivity jsou zaneseny do grafu na obr. 74.



Obr. 74 Graf pro porovnání materiálů T7 a T8

Bylo stanoveno, že bílé materiály z funkčního spodního prádla mají v průměru o 6 % menší hodnotu emisivity než materiály barevné. Barva tedy hodnotu emisivity ovlivňuje a je to jeden z důležitých faktorů.

2.4.4 Porovnání hodnoty emisivit za umělého osvětlení a při zatemnění

Z důvodu omezeného měření v laboratoři nemohlo být zatemněno při všech měřeních. Proto byla naměřena při zatemnění pouze teplota t1 (25°C). V tab. 14 jsou uvedeny jednotlivé hodnoty emisivity za umělého osvětlení, kdy byly zatažené žaluzie v místnosti, ale rozsvícené zářivky. V tab. 15 jsou uvedeny jednotlivé hodnoty emisivity při zatemnění. Průměrné

hodnoty všech měření jsou u měření za umělého osvětlení o 1,5% nižší než u měření při zatemnění. Z měření vyplývá, že umělé osvětlení zářivkami má na hodnotu emisivity nepatrný vliv.

	<i>měření č.1 [-]</i>	<i>měření č.2 [-]</i>	<i>měření č.3 [-]</i>	<i>Průměr [-]</i>	<i>Směrodatná odchylka [-]</i>	<i>Rozptyl [-]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>
T1	0,60	0,62	0,62	0,61	0,012	0,0001	1,9
T2	0,71	0,66	0,61	0,66	0,050	0,0025	7,6
T3	0,70	0,67	0,62	0,66	0,040	0,0016	6,1
T4	0,72	0,68	0,64	0,68	0,040	0,0016	5,9
T5	0,64	0,68	0,71	0,68	0,035	0,0012	5,2
T6	0,64	0,72	0,72	0,69	0,046	0,0021	6,7
T7	0,65	0,64	0,69	0,66	0,026	0,0007	3,9
T8	0,70	0,65	0,66	0,67	0,029	0,0008	4,3
B1	0,58	0,62	0,60	0,60	0,020	0,0004	3,3

Tab. 14 Hodnoty emisivit - světlo

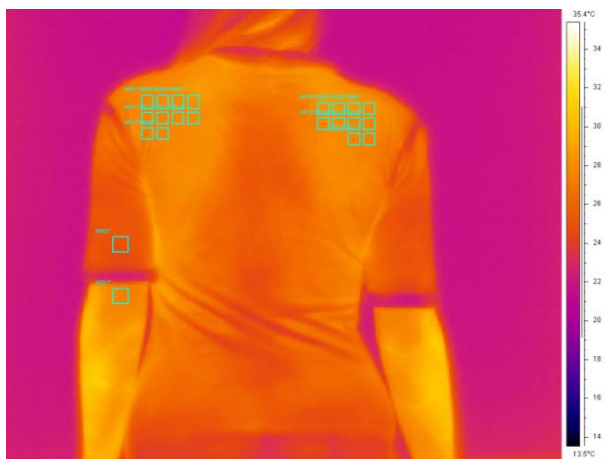
	<i>měření č.1 [-]</i>	<i>měření č.2 [-]</i>	<i>měření č.3 [-]</i>	<i>Průměr [-]</i>	<i>Směrodatná odchylka [-]</i>	<i>Rozptyl [-]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>
T1	0,62	0,65	0,63	0,63	0,015	0,0002	2,4
T2	0,65	0,65	0,70	0,67	0,029	0,0008	4,3
T3	0,69	0,68	0,65	0,67	0,021	0,0004	3,1
T4	0,65	0,70	0,69	0,68	0,026	0,0007	3,8
T5	0,66	0,68	0,70	0,68	0,020	0,0004	2,9
T6	0,70	0,72	0,70	0,71	0,012	0,0001	1,6
T7	0,71	0,70	0,65	0,69	0,032	0,0010	4,6
T8	0,69	0,70	0,71	0,70	0,010	0,0001	1,4
B1	0,66	0,63	0,56	0,62	0,051	0,0026	8,2

Tab. 15 Hodnoty emisivit - tma

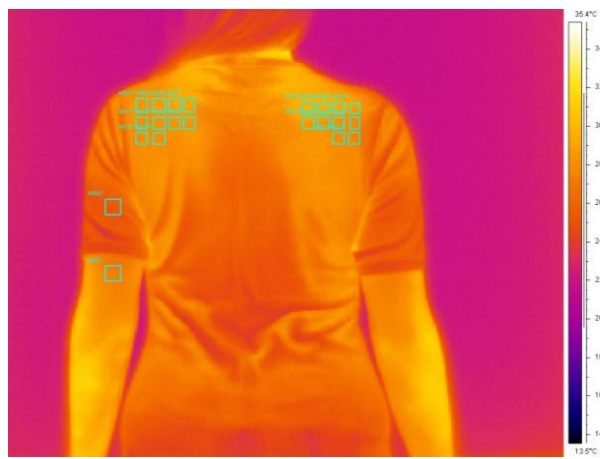
2.5 Návrh hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery

Pro hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery byly zvoleny 2 výrobky – funkční spodní prádlo, které je vyrobeno z materiálu T1 (Obr. 75) a materiálu T5 (Obr. 76). Oba výrobky mají stejný střih, jsou bílé barvy, mají stejné materiálové složení (100% PP) a mají stejnou konfekční velikost. Měření probíhalo za stejných klimatických podmínek (teplota 21°C, vlhkost 65%), na stejném subjektu. Vzdálenost od měřeného subjektu je 3 m.

U materiálů pro funkční spodní prádlo s materiálovým složením 100% PP byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,63.



Obr. 75 Oděvní výrobek z materiálu T1



Obr. 76 Oděvní výrobek z materiálu T5

Postup měření:

1. Měřený subjekt si oblékne oděvní výrobek – funkční spodní prádlo a po dobu 1 hodiny tráví bez nadměrné aktivity v klimatizované místnosti.
2. Nasnímat subjekt termovizní kamerou ze vzdálenosti 3 metrů.
3. Vyhodnotit pomocí programu ThermoCAMTM Researcher:
 - a) Otevřít program ThermoCAMTM Researcher.
 - b) Vyvolat snímky pomocí příkazu Open Images.
 - c) Vytvořit 22 čtvercových obrazců:
 - AR01 v místě pokožky ruky
 - AR02 v místě materiálu a ruky
 - AR03 – AR22 v oblasti lopatek.
 - d) Zadat hodnotu emisivity pro lidskou pokožku do nastavení obrazce AR01: 0,98.
 - e) Zadat do nastavení obrazce AR02 hodnotu emisivity stejnou jako u obrazce AR01.
 - f) Otevřít příkaz Emissivity Calculation u obrazce AR02. Zadat průměrnou teplotu stejnou jako je průměrná teplota obrazce AR01 pro vypočítání skutečné hodnoty emisivity měřeného materiálu.
 - g) U obrazců AR03 – AR22 nastavit shodnou hodnotu emisivity jako u obrazce AR02. V jednotlivých místech se nám vypočte průměrná teplota v oblasti lopatek.
4. Jednotlivé hodnoty zapsat do tabulky.

Výsledky měření

Pomocí příkazu Emissivity Calculation byla stanovena emisivita funkčního spodního prádla z materiálu T1 a T5. Při zprůměrování těchto hodnot byla zjištěna průměrná hodnota emisivity pro materiály z funkčního spodního prádla.

Emisivita oděvního výrobku z materiálu T1 = 0,6.

Emisivita oděvního výrobku z materiálu T5 = 0,66.

Průměrná emisivita oděvního výrobku ze **100% PP = 0,63.**

Pomocí předchozí metodiky (stanovení emisivity jednotlivých materiálů) bylo zjištěno, že průměrná hodnota emisivity materiálů ze 100% PP je 0,63 ($\bar{E}_{T1} = 0,61$, $\bar{E}_{T5} = 0,65$), což odpovídá zjištěné průměrné hodnotě emisivity oděvních výrobků z tohoto materiálu. Jednotlivé hodnoty jsou o necelé 2% rozdílné, což může být způsobeno tím, že při měření oděvního výrobku je pouze jedna vrstva materiálu a při stanovení emisivity materiálů z funkčního spodního prádla je počet vrstev roven deseti. Tento počet byl stanoven na základě proměňování různého počtu materiálů na sobě a deset vrstev bylo zvoleno jako optimální pro zvolenou metodiku.

Při měření oděvních výrobků z materiálu T1 a T5 byla stanovena teplota v oblasti ruky (AR01, AR02) 27,7°C. Při porovnávání teplot v oblasti lopatek na levé a pravé části těla bylo zjištěno, že průměrná teplota v této oblasti je u materiálu T1 a materiálu T5 nepatrně odlišná ($t_{T1} = 32,3^\circ\text{C}$, $t_{T5} = 32,1^\circ\text{C}$). Tento rozdíl může být ovlivněn přesností termovizní kamery, která je výrobcem stanovena $\pm 2^\circ\text{C}$. Jednotlivé teploty v obrazech, které jsou umístěny v oblasti lopatek, jsou zobrazeny v příloze č. 10.

Při termovizním měření oděvních výrobků byla touto metodou stanovena průměrná emisivita funkčního spodního prádla ze 100% PP ($\bar{E}_{PP} = 0,63$). Díky zjištěné emisivitě lze stanovit na snímku funkčního spodního prádla pořízeného termovizní kamerou hodnotu teploty a to v jakémkoli místě, na kterém je prádlo oblečeno. Díky tomuto měření jsme schopni zjistit, jak se ve funkčním spodním prádle člověk cítí a jestli jsou dostatečně zabezpečeny tepelně – izolační vlastnosti. Tento návrh hodnocení termofyziologického komfortu nezabezpečuje správnost výsledků při lidské námaze, kdy se člověk potí. Díky tomuto měření lze zjistit, zda funkční spodní prádlo je dostatečnou ochranou při transportu tepla přes první, transportní vrstvu.

2.6 Celkové vyhodnocení výsledků

Cílem experimentu bylo určení hodnoty emisivity materiálů pro funkční spodní prádlo. Pro určení emisivity byly navrženy a provedeny 2 metodiky. První metodikou bylo stanovení emisivity pro materiály z funkčního spodního prádla. Druhou metodikou bylo navrženo stanovení emisivity pro výrobky z funkčního spodního prádla.

U metody stanovení emisivity pro materiály z funkčního spodního prádla bylo provedeno měření za 4 různých teplot v rozmezí 25 – 33°C. Bylo nasnímáno 8 materiálů pro funkční spodní prádlo a pro porovnání 1 materiál pro bavlněné spodní prádlo. U materiálů pro funkční spodní prádlo byly vždy 2 materiály stejné, lišily se pouze barvou, bílý a barevný. Rozmezí teplot bylo zvoleno z důvodu toho, že pomocí výpočtu v programu ThermaCAMTM Researcher musí být hodnota emisivity rozdílná nejméně o 3K než je teplota atmosféry, která v laboratoři činila 21°C. Teplota 33°C byla zvolena z důvodu toho, že teplota lidské pokožky se pohybuje průměrně okolo 33°C a zvolení vyšší teploty by nebylo objektivní vůči měření na lidském těle.

Při porovnávání jednotlivých materiálů byla stanovena u každého materiálu průměrná hodnota emisivity. Bylo zjištěno, že materiály pro funkční spodní prádlo mají v průměru o 16,6% vyšší emisivitu než materiál bavlněný. Po proložení jednotlivých naměřených hodnot regresní přímkou, lze konstatovat, že při zvyšování teploty ve stanoveném rozmezí teplot není ovlivněna hodnota emisivity.

Během experimentu bylo hodnoceno, zda má na emisivitu materiálů pro funkční spodní prádlo vliv barva. Bylo stanoveno, že bílé materiály mají v průměru o 6% menší emisivitu než materiály barevné. Barva je tedy jedním z důležitých faktorů, které ovlivňují emisivitu materiálů pro funkční spodní prádlo. Emisivitu naopak neovlivňuje plošná hmotnost a tloušťka.

Bylo hodnoceno, zda má na emisivitu materiálů pro funkční spodní prádlo vliv materiálové složení. Pro 100% PP byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,63. U směsi 50% PP a 50% CO byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,65. Emisivita u 100% PP je stanovena o 3% nižší než u směsového materiálu. Pro 100% CO byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,55. Průměrné hodnoty byly stanoveny pouze z bílých materiálů, jelikož bylo stanoveno, že barva je důležitý faktor pro hodnotu emisivity. Správnost výsledků může být ovlivněna přesností termovizní kamery, která je výrobcem stanovena $\pm 2^\circ\text{C}$.

Z důvodu omezeného měření v laboratoři bylo měření prováděno za umělého osvětlení. Pro porovnání, jak umělé osvětlení ovlivňuje měření, bylo pro teplotu t_1 (25°C)

vytvořeno měření při zatemnění. Osvětlení mělo nepatrný vliv na měření, za umělého osvětlení byla emisivita o 1,5% nižší než u měření při zatemnění.

V dalších experimentech by mohlo být proměřeno více barevných odstínů, jaký vliv mají různé odstíny na nárůst emisivity. Zvolit širší rozsah teplot, zda emisivita zachovává stejné hodnoty. Teploty, které jsou o 3K rozdílné než je teplota atmosféry, ale klesajícího charakteru, tedy pod 18°C. Proměřit více materiálů s různým materiálovým složením a další vrstvy ve vrstevném systému. Tento experiment se zabývá pouze 1. vrstvou – materiálů pro funkční spodní prádlo.

U metody stanovení emisivity pro výrobky z funkčního spodního prádla pomocí termovizní kamery byly nasnímány 2 výrobky – funkční spodní prádlo stejného střihu, barvy, materiálového složení (100% PP) a stejné konfekční velikosti. Pro výrobky z funkčního spodního prádla s materiálovým složením 100% PP byla zjištěna průměrná hodnota emisivity 0,63. Díky zjištěné emisivitě lze stanovit na snímku funkčního spodního prádla, pořízeného termovizní kamerou, hodnotu teploty a to v jakémkoli místě, na kterém je prádlo oblečeno. V experimentu na oděvním výrobku byla podrobně zjišťována pouze teplota v oblasti lopatek. Díky tomuto měření jsme schopni zjistit, jak se ve funkčním spodním prádle člověk cítí a jestli jsou dostatečně zabezpečeny tepelně – izolační vlastnosti. Tento návrh hodnocení termofyziologického komfortu nezabezpečuje správnost výsledků při lidské námaze, kdy se člověk potí. Lze zjistit, zda funkční spodní prádlo je dostatečnou ochranou při transportu tepla přes první, transportní vrstvu.

U obou metodik stanovení emisivity vybraných materiálů z funkčního spodního prádla byla stanovena stejná hodnota emisivity. Pro stanovení emisivity lze tedy použít obě metody. Druhou metodou lze porovnávat funkční spodní prádlo od různých výrobců z hlediska transportu tepla.

Závěr

V této diplomové práci bylo zabýváno metodou hodnocení komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery. Cílem práce bylo stanovit metodiku pro měření emisivity vybraných druhů materiálů a navrhnout metodu hodnocení termofyziologického komfortu.

V teoretické části byl charakterizován pojem oděvní komfort, který se rozděluje na funkční a psychologický. Funkční komfort se dále rozděluje na senzorický a termofyziologický. Oděvní komfort ovlivňují užité vlastnosti, které jsou hodnoceny pomocí různých metod.

Druhá polovina teoretické části se zabývá oborem termografie, což je bezkontaktní způsob analýzy rozložení teplotního pole na povrchu tělesa. Termovizní měření se využívá v různých odvětvích, např. ve stavebnictví, v elektrotechnice, v průmyslových aplikacích, ve výzkumu a vývoji, v medicíně, k ochraně životního prostředí, pro vojenské účely, atd. Při měření termovizní kamerou je důležité nastavení parametrů, které ovlivňují výsledky měření. Jsou to emisivita tělesa, zdánlivá odražená teplota, vzdálenost od měřeného objektu a údaje o okolní atmosféře. Emisivita je nejdůležitějším z těchto parametrů, je to relativní schopnost plochy vydávat elektromagnetické záření odpovídající teplotě. Pro její stanovení existují různé metody.

V experimentální části byly navrženy metodiky stanovení emisivity pro vybrané druhy oděvu, a to funkční materiály. Materiály byly poskytnuty firmami Jitex a.s. a Calma Textil s.r.o. Funkční materiály byly nasnímány pomocí termovizní kamery Therma CamTM S60. Snímky byly vyhodnocovány v programu Therma CamTM Researcher. Během experimentu bylo hodnoceno, zda má na emisivitu materiálů pro funkční spodní prádlo vliv barva a materiálové složení. Barva je jedním z důležitých faktorů. Bylo stanoveno, že bílé materiály mají v průměru o 6% menší emisivitu než materiály barevné. Emisivitu naopak neovlivňuje plošná hmotnost a tloušťka. Z důvodu omezeného měření v laboratoři bylo měření prováděno za umělého osvětlení. Osvětlení mělo nepatrný vliv na měření, za umělého osvětlení byla emisivita o 1,5% nižší než u měření při zatemnění. Pro 100% PP byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,63. U směsi 50% PP a 50% CO byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,65. Pro 100% CO byla stanovena průměrná hodnota emisivity 0,55. Správnost výsledků může být ovlivněna přesností termovizní kamery, která je výrobcem stanovena $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Na základě provedeného měření byla navržena metoda hodnocení termofyziologického komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery, a zároveň druhá metoda stanovení emisivity u materiálů z funkčního spodního prádla. Průměrná hodnota emisivity u tohoto měření odpovídala průměrné hodnotě emisivity u první metodiky stanovení emisivity pro vybrané druhy materiálů. Díky tomuto měření jsme schopni zjistit, jak se ve funkčním spodním prádle člověk cítí a jestli jsou dostatečně zabezpečeny tepelně – izolační vlastnosti.

Seznam použité literatury:

- [1] HALASOVÁ, A. Vybrané kapitoly z fyziologie odívání. Liberec, 2004, elektronická skripta (online), (cit. 2010-08-01), dostupné na:
<http://www.skripta.ft.tul.cz>
- [2] FLÉGLOVÁ, Z. Zpracovatelské a užité vlastnosti, elektronická skripta (online), (cit. 2010-08-01), dostupné na:
<http://www.skripta.ft.tul.cz>
- [3] HES, Luboš – SLUKA, Petr. Úvod do komfortu textilií, Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2005
- [4] PAKOSTOVÁ, V., Odborné poradenství v oboru textil (online), (cit. 2010-11-16), dostupné na:
<http://pakostova.pellican.cz/publikace.php>
- [5] Interní norma alambeta (online), (cit. 2010-11-20), dostupné na:
http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-303-01_01.pdf
- [6] Informaworld – článek 1 (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
http://pdfserve.informaworld.com/144645_778487049_910028477.pdf
- [7] Informaworld – článek 2 (online), (cit. 2010-10-01), dostupné na:
http://pdfserve.informaworld.com/560146_778487049_910027573.pdf
- [8] Tepelná pohoda a nepohoda (online), (cit. 2010-11-16), dostupné na:
<http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [9] Tloušťkoměr (online), (cit. 2010-12-08), dostupné na:
<http://www.zkusebni-technika.cz/images/pictures/tloustkomer.jpg>
- [10] Vybavení laboratoře (online), (cit. 2010-12-08), dostupné na:
<http://www.kod.tul.cz>
- [11] Měřicí přístroje (online), (cit. 2010-12-08), dostupné na:
<http://www.directalpine.cz/a263-testovani>
- [12] KOVAČIČ, V. Textilní zkušebnictví, Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2001
- [13] 3D Drape Scanner (online), (cit. 2010-12-08), dostupné na:
http://www.ncsu.edu/project/ntcprojects/projects/F02-S08/abstract_ITAA-Nov03.pdf
- [14] 3D Drape Scanner (online), (cit. 2010-12-08), dostupné na:
<http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/Bref0605/F02-NS08-05e.pdf>

- [15] Systém FAST (online), (cit. 2010-12-10), dostupné na:
http://www.iafnet.com/files/iaf_06_presentations/06.%20George%20Stylios.pdf
- [16] Systém KTU (online), (cit. 2010-12-10), dostupné na:
http://www.fibtex.lodz.pl/50_10_35.pdf
- [17] Úhel smáčení (online), (cit. 2010-12-13), dostupné na:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html
- [18] Hot plate (online), (cit. 2011-01-10), dostupné na:
<http://www.ts-rc.eu>
- [19] Physical testing of textiles (online), (cit. 2010-12-14), dostupné na:
<http://books.google.cz/books>
- [20] Hot plate (online), (cit. 2011-01-10), dostupné na:
http://www.tradekorea.com/product-detail/P00057038/Sweating_Guarded_Hotplate.html#
- [21] ČSN EN 31092 (80 0819). Praha: ÚNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996
- [22] Termografie (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://cs.wikipedia.org>
- [23] Termokamera (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://www.pro-pasiv.cz/termokamera>
- [24] Emisivita (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://www.newport.cz/techinfo/emisnekovy.html>
- [25] Emisivita (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://amper.ped.muni.cz/LW-infrared/omitky06.pdf>
- [26] Emisivita (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/infraredthermometer.html>
- [27] Emisivita (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/2-7/rp/vlcek.pdf>
- [28] Situace při termografickém měření (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbtlaboratore/BMT-priprava_lab_v4.pdf
- [29] Zákony pro IR měření teploty (online), (cit. 2010-09-01), dostupné na:
<http://www.omega.com/techref/iredtempmeasur.html>
- [30] Emisivita (online), (cit. 2010-09-03), dostupné na:
<http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>

- [31] Použití termografie (online), (cit. 2010-12-13), dostupné na:
<http://www.tmvss.cz/Aplikace/Termovize/>
- [32] Použití termografie (online), (cit. 2010-12-13), dostupné na:
<http://www.vaseenergie.cz/termografie/termovizni/mereni/>
- [33] Použití termografie ve výzkumu a vývoji (online), (cit. 2010-12-13), dostupné na:
<http://termoviznimereni.ic.cz/>
- [34] Použití termografie pro vojenské účely (online), (cit. 2010-12-13), dostupné na:
<http://www.hownightvisionworks.com/>
- [35] Použití termografie pro automobilový průmysl (online), (cit. 2011-01-11), dostupné na:
<http://www.jtm-partners.cz/sluzby/termovizni-mereni>
- [36] FLIR system, ThermaCAM Reporter - user's manual, Professional Edition. Version 8.1, publ.No. 1558567, Language English, 2007.
- [37] Údaje o termokameře (na papíře)
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=2604>
- [38] Vyzařování těles v IR oblasti (online), (cit. 2011-01-18), dostupné na:
euler.fd.cvut.cz/new/ctrl.php?act=show,file,873
- [39] Parametry ovlivňující termografické měření (online), (cit. 2011-01-18), dostupné na:
http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Efekt_infrakamera_final.pdf
- [40] Parametry ovlivňující termografické měření (online), (cit. 2011-01-18), dostupné na:
http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_1.5/Mohapl_Martin_C_L.pdf
- [41] Firma Jitex a.s.(online), (cit. 2011-03-18), dostupné na:
www.jitex.cz
- [42] Firma Calma Textil s.r.o. (online), (cit. 2011-03-18), dostupné na:
www.calmawear.cz
- [43] Funkční prádlo (online), (cit. 2011-03-18), dostupné na:
<http://www.treking.cz/testy/funkcni-pradlo.htm>
- [44] Funkční prádlo (online), (cit. 2011-03-18), dostupné na:
http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8485/02_2007.pdf
- [45] Bezkontaktní měření teploty, (cit. 2011-03-16), dostupné na:
<http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/cviceni>
- [46] FLIR SYSTEMS. ThermaCAM TM S60 – User's manual. FLIR Systems AB. Sweden: Publ. No. 1557538, 2004.

Seznam obrázků:

Obr. 1 Schematické znázornění systému Organismus – oděv – prostředí	13
Obr. 2 Simulace splývavosti.....	18
Obr. 3 KES – FB 1	19
Obr. 4 KES – FB 2	19
Obr. 5 KES – FB 3	19
Obr. 6 KES – FB 4	19
Obr. 7 FAST 1 - tlak.....	20
Obr. 8 FAST 2 - ohyb.....	20
Obr. 9 FAST 3 - prodlužování	20
Obr. 10 FAST 4 – rozměrová stálost.....	20
Obr. 11 Typické tvary vzorků protažené otvorem	20
Obr. 12 Upínací zařízení KTU	21
Obr. 13 Kapka při měření úhlu smáčení.....	23
Obr. 14 Kapková metoda	23
Obr. 15 Sací výška	23
Obr. 16 Hot plate.....	24
Obr. 17 Komora Hot plate.....	24
Obr. 18 Schéma Togmetru.....	25
Obr. 19 Přístroj SDL M 259.....	25
Obr. 20 Situace při termografickém měření.....	27
Obr. 21 Odhalení tepelných ztrát, foto.....	29
Obr. 22 Odhalení tepelných ztrát, termovizní snímek	29
Obr. 23 Termovizní snímek před zateplením.....	29
Obr. 24 Termovizní snímek po zateplení	29
Obr. 25 Termovizní snímek v elektrotechnice	30
Obr. 26 Termovizní snímek v elektrotechnice	30
Obr. 27 Vyhřívání sedadel	30
Obr. 28 Kontrola brzd	30
Obr. 29 Kontrola potrubních systémů, foto.....	31
Obr. 30 Kontrola potrubních systémů, termovizní snímek	31
Obr. 31 Termovizní snímek ruky	31
Obr. 32 Termovizní snímek stehen	31

Obr. 33 Obraz v černobílé barvě	32
Obr. 34 Vliv teploty okolních předmětů	34
Obr. 35 Termovizní snímek měřený ze vzdálenosti 2 m.....	35
Obr. 36 Termovizní snímek měřený ze vzdálenosti 200 m.....	35
Obr. 37 Klimatizační komora.....	38
Obr. 38 Termokamera Therma CamTM S60	39
Obr. 39 Vzorky umístěné v klimatizační komoře, položené na polystyrenu a přikryté gelovým polštářkem	41
Obr. 40 Snímání obrazu	41
Obr. 41 Vytvoření 2 čtvercových obrazců	41
Obr. 42 Emissivity calculation	41
Obr. 43 Materiál T1 - 25°C	43
Obr. 44 Materiál T1 - 28°C	43
Obr. 45 Materiál T2 - 25°C	43
Obr. 46 Materiál T2 - 28°C	43
Obr. 47 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T1	43
Obr. 48 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T2	43
Obr. 49 Materiál T3 - 28°C	44
Obr. 50 Materiál T3 - 30°C	44
Obr. 51 Materiál T4 - 28°C	44
Obr. 52 Materiál T4 - 30°C	44
Obr. 53 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T3	44
Obr. 54 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T4	44
Obr. 55 Materiál T5 - 30°C	45
Obr. 56 Materiál T5 - 33°C	45
Obr. 57 Materiál T6 - 30°C	45
Obr. 58 Materiál T6 - 33°C	45
Obr. 59 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T5	45
Obr. 60 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T6	45
Obr. 61 Materiál T7 - 30°C	46
Obr. 62 Materiál T7 - 33°C	46
Obr. 63 Materiál T8 - 30°C	46
Obr. 64 Materiál T8 - 33°C	46
Obr. 65 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T7	46

Obr. 66 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu T8	46
Obr. 67 Materiál B1 – 25°C	47
Obr. 68 Materiál B1 – 33°C	47
Obr. 69 Graf závislosti emisivity na teplotě u materiálu B1	47
Obr. 70 Graf pro porovnání hodnoty emisivit dle materiálového složení.....	48
Obr. 71 Graf pro porovnání materiálů T1 a T2	49
Obr. 72 Graf pro porovnání materiálů T3 a T4.....	49
Obr. 73 Graf pro porovnání materiálů T5 a T6.....	50
Obr. 74 Graf pro porovnání materiálů T7 a T8.....	50
Obr. 75 Oděvní výrobek z materiálu T1.....	52
Obr. 76 Oděvní výrobek z materiálu T5.....	52

Seznam tabulek:

Tab. 1 Hodnoty emisivit materiálů v závislosti na teplotě	33
Tab. 2 Přehled použitých materiálů.....	37
Tab. 3 Naměřené emisivity materiálu T1	43
Tab. 4 Naměřené emisivity materiálu T2.....	43
Tab. 5 Naměřené emisivity materiálu T3	44
Tab. 6 Naměřené emisivity materiálu T4.....	44
Tab. 7 Naměřené emisivity materiálu T5.....	45
Tab. 8 Naměřené emisivity materiálu T6.....	45
Tab. 9 Naměřené emisivity materiálu T7.....	46
Tab. 10 Naměřené emisivity materiálu T8.....	46
Tab. 11 Naměřené emisivity materiálu B1.....	47
Tab. 12 Průměrné hodnoty emisivity za různých teplot.....	47
Tab. 13 Průměrné hodnoty emisivity za různých teplot.....	49
Tab. 14 Hodnoty emisivit - osvětlení	51
Tab. 15 Hodnoty emisivit - zatemnění	51

Seznam příloh:

Příloha č. 1 - Termoregulace	65
Příloha č. 2 - Tepelná rovnováha.....	67
Příloha č. 3 - Transport tepla	68
Příloha č. 4 - Simulace psychologického vnímání oděvního komfortu	72
Příloha č. 5 - Souběžné stanovení absorpce textilie: nová zkušební metoda	74
Příloha č. 6 - Zákony pro IR měření teploty.....	77
Příloha č. 7 - Plošná měrná hmotnost a tloušťka použitých materiálů.....	79
Příloha č. 8 - Přehled použitých materiálů	80
Příloha č. 9 - Jednotlivé naměřené hodnoty při měření materiálů.....	82
Příloha č. 10 - Teploty pro oděvní výrobek z materiálu T1 a T5	84

Příloha č. 1 - Termoregulace

Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, jeho příjem i ztráty nepřetržitě kolísají.

Termoregulace organismu

Termoregulace organismu je samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na zajišťování rovnováhy mezi množstvím tepla vytvořeného a množstvím tepla odevzdávaného do okolního prostředí => **zachování stálé tělesné teploty**.

Je řízena centrálním nervovým systémem za účasti žláz s vnitřní sekrecí prostřednictvím termoregulačního ústředí v hypotalamu.

Hypotalamus je řídicím centrem termoregulace, nacházejí se v něm termoreceptory citlivé na změny vnitřní teploty. Další informace získává hypotalamus prostřednictvím krve a z termoreceptorů kůže a míchy.

Termoregulace:

1. Chemická

- řídí tvorbu tepla uvolňovaného při oxidačních dějích látkové proměny (metabolismus)
- svalový třes (třesová termogeneze), netřesová termogeneze

2. Fyzikální

- zabezpečuje předávání tepla vznikajícího v organismu do okolního prostředí (sálání, vedení, proudění, pocení)
- prokrvení povrchu těla – kůže, podkoží

Termoregulační chování (Tab. 1): odívání, obydlí, potrava, svalová aktivita

Termoregulační mechanismus	Požadovaný efekt	Aktivace
• Zvýšený svalový tonus • Svalový třes • Chemická termoregulace • Zvýšený příjem potravy (včetně zvýšení chuti k jídlu při pobytu v chladném prostředí) • Termoregulační chování	Zvýšení produkce tepla	Chlad
• Vazokonstrikce – omezení průtoku krve periferními částmi těla • Snížení výdeje tepla povrchem těla (vhodný oděv, schoulení)	Snížení tepelných ztrát	

• Snížení svalového tonu • Snížení tělesné aktivity • Snížený příjem potravy (včetně nechutenství v teplém prostředí nebo horečce) • Snížení sekrece hormonu THS (štítná žláza)	Snížení produkce tepla	Teplo
• Vazodilatace – rozšíření cév, zvyšuje průtok krve • Pocení • Intenzivní dýchání • Termoregulační chování	Zvýšení výdeje tepla	

Tab. 1 Termoregulační mechanismy

Vliv změny teploty na termoregulaci

b) Vliv nízkých teplot

- zvýšení tvorby tepla uvnitř organismu a snížení jeho výdeje pokožkou
- chemická termoregulace
- fyzikální termoregulace – vazokonstrikce (krev se stáhne do nitra organismu)
- termoregulační chování:
 - tepelně izolační schopnosti podkožního tuku a použitého oděvu
 - zvyšování počtu vrstev oblečení
 - zvýšení svalové aktivity
 - přívod energeticky bohatých surovin

c) Vliv vysokých teplot

- fyzikální termoregulace – vazodilatace (rozšíření cév), pocení, odpařování
- chemická termoregulace – zanedbatelná
- termoregulační chování:
 - snižování počtů vrstev oblečení
 - materiály s dobrou tepelnou vodivostí
 - světlé odstíny oděvů

[1,2]

Příloha č. 2 - Tepelná rovnováha

Tepelná rovnováha je dosažena tehdy, když okolí odebírá lidskému tělu právě tolik tepla, kolik člověk vyprodukuje. Člověk při různých činnostech produkuje teplo, proto musí být zajištěn odvod člověkem produkované teplo do prostoru tak, aby nedošlo k výraznému zvýšení teploty těla => udržování stálé tělesné teploty.

Rovnováha mezi tvorbou tepla v organismu (metabolismus + okolí) a přestupem tepla z organismu do okolí (sálání, vedení, proudění, odpařování a dýchání).

Základním předpokladem pro transport tepla je existence teplotního gradientu.

$$Q_{to} + Q_{tz} = Q_s + Q_v + Q_p + Q_o + Q_d + Q_{op} + Q_{ov} \pm \Delta Q$$

Q_{to} ...*tvorba tepla v organismu* [$J.s^{-1}$]

Q_{tz} ...*vnější tepelné zatížení* [$J.s^{-1}$]

Q_s*tepelné ztráty sáláním* [$J.s^{-1}$]

Q_v*tepelné ztráty vedením* [$J.s^{-1}$]

Q_p*tepelné ztráty prouděním* [$J.s^{-1}$]

Q_o*tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti z povrchu pokožky* [$J.s^{-1}$]

Q_d*tepelné ztráty v důsledku odpařování vlhkosti z horních cest dýchacích* [$J.s^{-1}$]

Q_{op} ...*tepelné ztráty odpařováním potu* [$J.s^{-1}$]

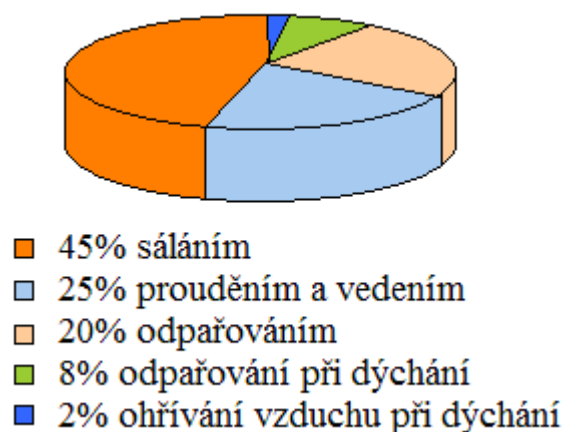
Q_{ov} ...*tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu* [$J.s^{-1}$]

ΔQ ...*změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné pohody – deficit tepla* [$J.s^{-1}$]

[2]

Příloha č. 3 - Transport tepla

Transport tepla (Obr. 1) mezi organismem a okolním prostředím probíhá sáláním, vedením, prouděním, odpařováním a dýcháním.



Obr. 1 Transport tepla [2]

[2]

1. Ztráty tepla sáláním (radiací, vyzařováním)

Povrch těla nepřetržitě emituje teplo ve formě elektromagnetického vlnění. Z míst, které nejsou chráněny oděvem, je odvod přibližně 45% celkového tepla.

$$Q_s = \alpha_s \cdot S \cdot [(273 + v_k)^4 - (273 + v_o)^4]$$

Q_s ...množství tepelných ztrát [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]

α_s ...koeficient sálání [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^4$]

v_k ...teplota povrchu kůže (teplota povrchu oděvu) [$^\circ\text{C}$]

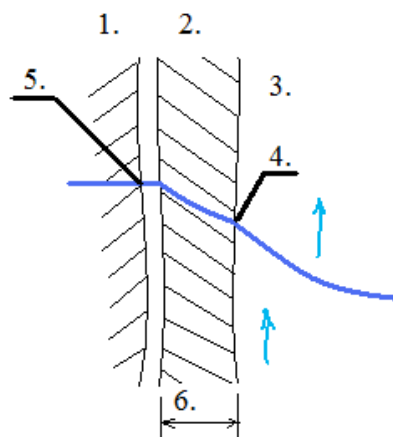
v_o ...teplota okolního prostředí [$^\circ\text{C}$]

S ...plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

[2]

2. Ztráty tepla vedením (kondukcí)

Textilní vrstva přiléhá svou plochou přímo na kůži a odnímá teplo kontaktním způsobem (Obr. 2).



Obr. 2 Vedení (kondukce) [2]

Legenda: 1. Pokožka, 2. Textilní vrstva, 3. Teplota okolního prostředí, 4. Teplota venkovní vrstvy oděvu, 5. Teplota pokožky, 6. Tloušťka textilní vrstvy

$$Q_v = \lambda \cdot \frac{v_k - v_1}{h} \cdot S \cdot t$$

Q_v ...množství tepla, které projde stěnou o ploše S za dobu t [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]

λ ...součinitel tepelné vodivosti soustavy vrstev oděvu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

v_k ...teplota pokožky [$^{\circ}\text{C}$]

v_1 ...teplota venkovní vrstvy oděvu [$^{\circ}\text{C}$]

h ...tloušťka textilní vrstvy [mm]

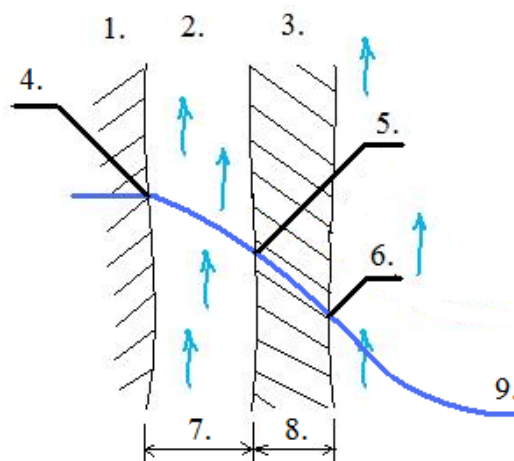
S ...plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

t ...čas, za který dochází k odvodu tepla [s]

[2]

3. Ztráty tepla prouděním (konvekce)

Předpoklad vzduchové mezivrstvy mezi pokožkou a první oděvní vrstvou tzv. mikroklima, ve kterém dochází k částečnému proudění a poklesu teploty (Obr. 3).



Obr. 3 Proudění (konvekce) [2]

Legenda: 1. Pokožka, 2. Mikroklima, 3. Textilní vrstva, 4. Teplota pokožky, 5. Teplota vnitřní strany textilie, 6. Teplota vnější strany textilie, 7. Tloušťka mikroklima, 8. Tloušťka textilie, 9. Teplota okolního prostředí

$$Q_p = \alpha_p \cdot S \cdot (v_1 - v_o)$$

Q_p ...množství tepelných ztrát [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]

α_p ...součinitel přestupu tepla prouděním [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

v_o ...teplota okolního prostředí [$^{\circ}\text{C}$]

v_1 ...teplota vnější strany textilie [$^{\circ}\text{C}$]

S ...plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

[2]

4. Ztráty tepla odpařováním (evaporace)

K tepelným ztrátám odpařováním dochází při přehřátí organismu. Odparné teplo Q_o je teplo, které odchází z povrchu kůže neznatelným pocením (Obr. 4).

$$Q_o = \Delta i \cdot m_k \cdot S \cdot (P_k - P_o)$$

Q_o ...množství tepelných ztrát [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]

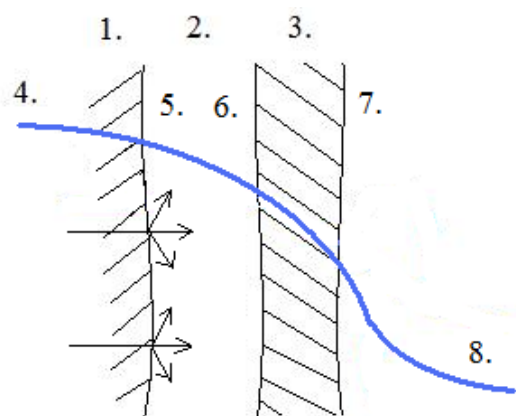
Δi ...měrné výparné skupenské teplo [J]

m_k ...permeabilita kůže [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$]

p_k ...parciální tlak vodních par povrchu kůže [Pa]

p_o ...parciální tlak vodních par okolí [Pa]

S ...plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]



Obr. 4 Odpařování (evaporace) [2]

Legenda: 1. Pokožka, 2. Mikroklima, 3. Textilní vrstva, 4. Teplota pokožky, 5. Parciální tlak vodních par povrchu kůže, 6. Parciální tlak vodních par povrchu textilie, 7. Parciální tlak vodních par okolí, 8. Teplota okolního prostředí

[2]

5. Ztráty tepla dýcháním (respirace)

Tepelné ztráty dýcháním jsou dány rozdílem množství vodních par vdechovaných a vydechovaných.

$$Q_d = \Delta i \cdot (W_{ex} - W_a) \cdot \frac{1}{t}$$

Q_d ...množství tepelných ztrát [$J \cdot s^{-1}$]

Δi ...měrné výparné skupenské teplo [J]

W_{ex} ...množství vodních par vdechovaných [kg]

W_a ...množství vodních par vydechovaných [kg]

t ...čas [s]

[2]

Příloha č. 4 - Simulace psychologického vnímání oděvního komfortu

Cílem je simulovat psychologii smyslového vnímání oděvního komfortu pomocí deseti pocitů: navlhavosti, přilnavosti, lepkavosti, vlhkosti, váhy, pichlavosti, šustivosti, padnutí oděvu, prodyšnosti a tepelných pocitů.

Dvacet dva profesionálních atletů bylo požádáno o účast v sérii pokusů, kdy na sobě měli čtyři různé druhy oblečení a jezdili na kole v kontrolované klimatické komoře. Technické parametry čtyř oděvů, které prodávaly na trhu jako sportovní oblečení, jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2). Poté byly oděvy použity ke zkoušce, kde byly pětkrát vyprány v pračce za standardních podmínek a umístěny do kontrolované místnosti s teplotou 20 ± 2 °C a vlhkost 65 ± 3 % po dobu 24 hodin.

Značení	Materiál	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka pleteniny [mm]	Konstrukce pleteniny	Design
W1	Vlna	205	0,90	interlok	*
W2	Vlna	210	0,90	interlok	*
P	Polyester	255	0,98	interlok	*
N	Nylon	275	0,93	interlok	*

* Dlouhé rukávy a vysoký límec

Tab. 2 Technické parametry použitých oděvů [6]

Každý z testovaných osob se před hodnocením vysprchoval, oblékl si nylonové šortky a 20 minut před testem si odpočinul. Zkušební podmínky byly kontrolovány na teplotě 15 ± 2 °C a vlhkosti 65 ± 3 % při rychlosti vzduchu kolem 0,5 m/s. Poté po dobu 90 minut jezdil na kole a byl požádán, aby udržoval tepovou frekvenci na 70 % maxima, které bylo odhadnuto před samotným pokusem. Během pokusu každá z osob subjektivně vyplňovala dotazník s hodnocením jednotlivých pocitů v období před jízdou, po 30, 60 a 90 minutách. Pomocí faktorové analýzy byly vytvořeny modely 3- a 5-Faktor.

V modelu 5-Faktor tvoří pocit navlhavosti, přilnavosti, lepkavosti a vlhkosti, první faktor, který se týká vlhkostního pohodlí. Pichlavost a šustivost tvoří druhý faktor, který se vztahuje k hmatovému pohodlí. Váha spadá jak do prvního, tak do druhého faktoru. Zbývající pocity, padnutí oděvu, prodyšnost a tepelné pocity byly klasifikovány jako tři individuální faktory.

V modelu 3-Faktor je prodyšnost přesunuta do prvního faktoru, druhý faktor zůstává stejný a třetí tvoří padnutí oděvu a tepelné pocity.

Oba modely ukazují, jaký je příspěvek jednotlivých pocitů k celkovému komfortu. V modelu 5-Faktor (Tab. 3) přispívá první faktor přibližně 41 % k celkovému komfortu. Druhý faktor přispívá přibližně 20 % celkovému komfortu a u třech individuálních faktorů každý přispívá přibližně 10 % k celkovému komfortu. V modelu 3-Faktor (Tab. 4) přispívá první faktor 41 %, druhý 20 % a třetí 12 %.

Výsledky ukazují, že největší příspěvek k celkovému komfortu má vlhkostní pohodlí (navlhavost, přilnavost, lepkavost, vlhkost, váha), po něm následuje hmatové pohodlí (váha, pichlavost a šustivost) a padnutí oděvu spolu s tepelnými pocity.

Při porovnávání všech čtyřech oděvů se u vlhkostního komfortu ukázal nejlepší oděv z polyesteru (P), poté z nylonu (N) a následovaly oděvy z vlny (W1, W2). Oděvy z polyesteru měly sice největší tloušťku, ale tento rozdíl nebyl při měřeních významný.

Pocity	Faktory				
	1	2	3	4	5
<i>Navlhavost</i>	0,931	-	-	-	-
<i>Přilnavost</i>	0,928	-	-	-	-
<i>Lepkavost</i>	0,898	-	-	-	-
<i>Vlhkost</i>	0,913	-	-	-	-
<i>Váha</i>	0,619	0,455	-	-	-
<i>Pichlavost</i>	-	0,908	-	-	-
<i>Šustivost</i>	-	0,918	-	-	-
<i>Padnutí oděvu</i>	-	-	0,976	-	-
<i>Prodyšnost</i>	-	-	-	0,932	-
<i>Tepelné pocity</i>	-	-	-	-	0,973
% z rozptylu	40,895	19,739	10,141	9,699	8,944

Tab. 3 Model 5-Faktor [6]

Pocity	Faktory		
	1	2	3
<i>Navlhavost</i>	0,918	-	-
<i>Přilnavost</i>	0,897	-	-
<i>Lepkavost</i>	0,878	-	-
<i>Vlhkost</i>	0,907	-	-
<i>Váha</i>	0,609	0,486	-
<i>Pichlavost</i>	-	0,898	-
<i>Šustivost</i>	-	0,897	-
<i>Padnutí oděvu</i>	-	-	0,700
<i>Prodyšnost</i>	- 0,552	-	-
<i>Tepelné pocity</i>	-	-	0,794
% z rozptylu	41,634	20,734	11,898

Tab. 4 Model 3-Faktor [6]

Příloha č. 5 - Souběžné stanovení absorpce textilie: nová zkušební metoda

Pot je přirozeným výstupem při vykonávání namáhavé činnosti. Absorpce potu do oděvu a jeho přeprava skrz textilií ovlivňuje komfort oděvu. Pro měření absorpce a odvod vody se používají 2 metody: vertikální pás a testy pomocí porézní desky. Tyto metody poskytují pouze část informací o absorpčních schopnostech textilie. Z tohoto důvodu byla vytvořena testovací metoda, která získá mnohem širší informace o absorpčních schopnostech textilie. Testovací metoda je založena na principu ploché porézní desky. Na ní byly vypracovány pokusy související s parametry absorpce, které se srovnávají s pocením osob vykonávající vysoce namáhavé sporty.

Tato zkušební metoda objektivně simuluje absorpci potu od zpoceného těla a jeho distribuci prostřednictvím odvodu po povrchu textilie.

Zkušební vzorek o rozměrech 140 x 150 mm je kladen na podpornou základnu tak, aby střed textilie byl co nejbližší středu porézní desky. Oblast absorpce je omezena na povrch porézní desky. Porézní deska má průměr 55 mm o pórozitě P40 (průměr pórů 15 – 40 μm). Deska je pevná a je součástí robustního podstavce, aby byla zajištěna stabilita. Válcová hmotnost 592 g odpovídá tlaku 25,3 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. Perforovaná deska pokrytá buněčnou hydrofobní pěnou je připojena k základu. Přístroj je zobrazen na obr. 5.

Připojení k počítači umožňuje přesný sběr dat o absorpčních schopnostech textilie a odvodu. Výstupem ze softwaru je:

- kombinovaná křivka absorpce – odvod
- jednotlivé absorpční křivky
- křivka odvodu.

Dále jsou vygenerovány informace o absorpční schopnosti textilie a odvodu vlhkosti z fyzikálního a fyziologického hlediska.

Fyzikální hledisko

a) pro absorpci

BMA (Bulk Material Absorption) – celková absorpční kapacita [$\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]

BAR (Bulk Absorption Rate) – množství absorbované vody za sekundu [$\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]

BAT (Bulk Absorption Time) – čas potřebný do doby, než se voda absorbuje do textilie [s]

b) pro odvod

AWW (Amount of Water Wicked) – množství odvedené vody [$\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]

SWTR (Surface-water Transport Rate) - množství vody odvedené za sekundu [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]

WT (Widing Time) – čas odvodu [s]

Fyziologické hledisko

a) pro absorpci

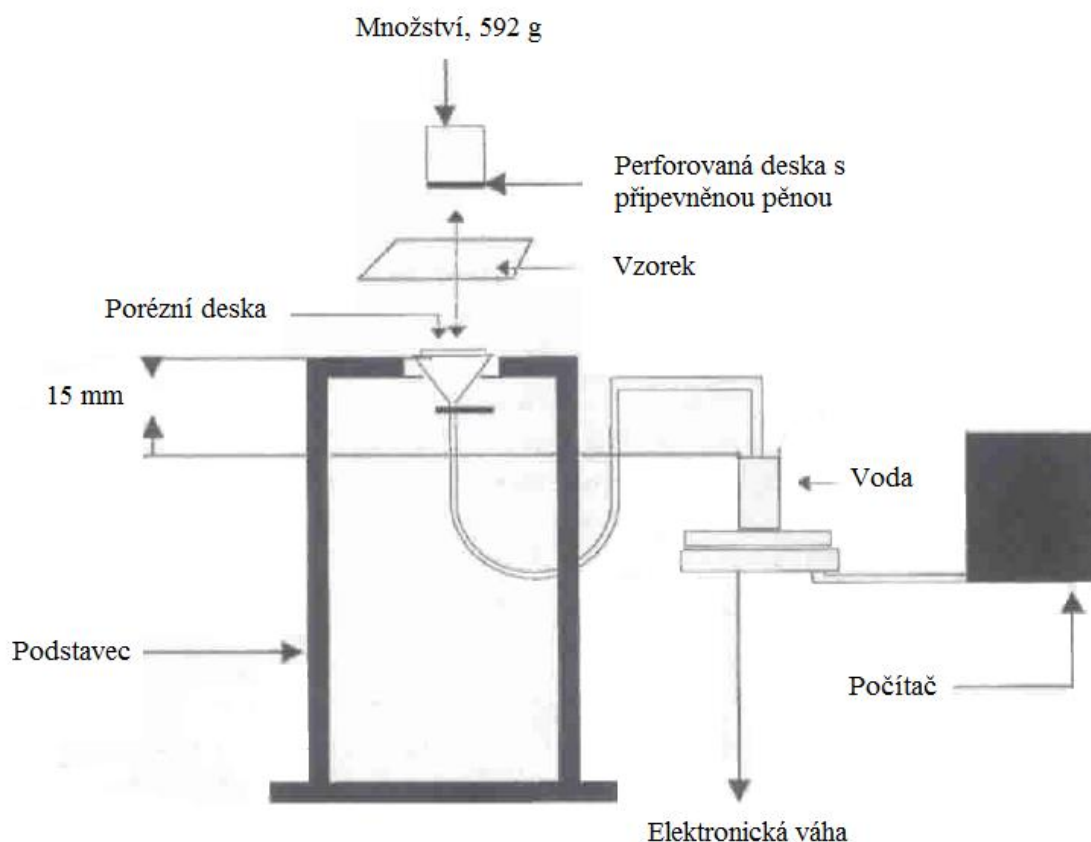
BAC (Bulk Absorption Capacity) – optimální množství vody nahromaděné na m^2 textilie [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

BAR (Bulk Absorption Rate) – míra absorbované vody na m^2 za sekundu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

b) pro odvod

SWAC (Surface-water Accumulation Capacity) – akumulční kapacita povrchu vody na m^2 [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

SWTR (Surface-water Transport Rate) - množství vody odvedené na m^2 za sekundu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]



Obr. 5 Přístroj pro měření absorpce [7]

Novou zkušební metodou bylo zkoušeno 6 druhů textilií. První z nich byla bělená bavlněná tkanina o jemnosti 16 tex. Další byly polyesterové pleteniny v 5 různých provedeních o jemnosti 72 tex (Tab. 5, 6).

Typ textilie	Absorpční parametry			Odvodové parametry		
	BMA [g.g ⁻¹]	BAR [g.g ⁻¹ .s ⁻¹]	BAT [s]	AWW [g.g ⁻¹]	SWTR [g.g ⁻¹ .s ⁻¹]	WT [s]
Bavlněná tkanina	1,80	0,460	3	0,86	0,0068	126
PES pletenina A	0,42	0,025	18	0,65	0,0100	65
PES pletenina B	1,06	0,320	3,3	1,60	0,0397	40
PES pletenina C	0,47	0,084	5,6	0,64	0,0091	71
PES pletenina D	1,65	0,500	3,3	1,70	0,0332	51
PES pletenina E	0,46	0,150	3,3	2,2	0,0495	44

Tab. 5 Hodnoty pro fyzikální parametry [7]

Typ textilie	Absorpční parametry		Odvodové parametry	
	BAC [g.m ⁻²]	BAR [g.m ⁻² .s ⁻¹]	SWAC [g.m ⁻²]	SWTR [g.m ⁻² .s ⁻¹]
Bavlněná tkanina	1,80	0,460	0,86	0,0068
PES pletenina A	0,42	0,025	0,65	0,0100
PES pletenina B	1,06	0,320	1,60	0,0397
PES pletenina C	0,47	0,084	0,64	0,0091
PES pletenina D	1,65	0,500	1,70	0,0332
PES pletenina E	0,46	0,150	2,20	0,0495

Tab. 6 Hodnoty pro fyziologické parametry [7]

[7]

Příloha č. 6 – Zákony pro IR měření teploty

1. Planckův vyzařovací zákon

Planckův vyzařovací zákon vyjadřuje závislost intenzity záření I absolutně černého tělesa na frekvenci ω (1).

$$dI = \frac{\hbar}{\pi^2 c^2} \cdot \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1} d\omega \quad (1)$$

ω ...úhlová frekvence záření [rad.s⁻¹]

I ...intenzita záření [W]

T ...teplota absolutně černého tělesa [K]

$\hbar$...Planckova konstanta [$\hbar = 6,626 \cdot 10^{-34}$ W]

c ...rychlost světla ve vakuu [$2,998 \cdot 10^8$ m.s⁻¹]

k ...Boltzmannova konstanta [$k = 1,3806 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹]

[22]

2. Wienův posunovací zákon

Maxima zářivosti (zářivého toku) dokonale černého tělesa se s rostoucí teplotou posouvají k menším (viditelným) vlnovým délkám (2).

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (2)$$

λ_{max} ...vlnová délka maxima vyzařování [mm]

Tteplota tělesa [K]

bWienova konstanta [$b = 2,898$ mm.K]

[22]

3. Stefan – Boltzmannův zákon

Tento zákon popisuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. Říká, že intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa (3).

$$I = \sigma T^4 \quad (3)$$

I ...celková intenzita záření [W.m^{-2}]

σ ...Stefan – Boltzmannova konstanta [$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$]

T ...termodynamická teplota [K]

[22]

4. Kirchhoffův zákon

Záření, pohlcené termokamerou, sestává z vyzáření (emisivita), odražené (reflexe) a přenesené složky (transmise) infračerveného záření. Součet těchto složek je vždy roven 1 (4):

$$\varepsilon + \rho + T = 1 \quad (4)$$

ε ...emisivita [-]

ρ ...reflexe (odrazivost záření) [-]

T ...transmise (propouštění záření) [-]

Vztah mezi emisivitou a odraženým zářením:

Čím nižší emisivita:

- tím je vyšší podíl odraženého záření
- tím obtížnější je přesné stanovení měřené teploty
- tím důležitější je přesné stanovení kompenzace odražené teploty (RTC)

[23]

Příloha č. 7 – Plošná hmotnost a tloušťka použitých materiálů

Jednotlivá měření plošné hmotnosti jsou zobrazeny v tab. 7. Jednotlivá měření tloušťky jsou zobrazeny v tab. 8.

Plošná hmotnost					
Vzorek	T1	T2	T3	T4	T5
<i>měření č.1</i>	0,9902	0,9478	1,5271	1,5311	1,1538
<i>měření č.2</i>	1,0389	0,9663	1,5445	1,5030	1,2187
<i>měření č.3</i>	0,9799	0,9691	1,4719	1,4974	1,1927
Průměr [g/cm²]	1,0030	0,9610	1,5145	1,5105	1,1884
Sm. odchylka [g/cm²]	0,0315	0,0116	0,0379	0,018	0,0366
Rozptyl [(g/cm²)²]	0,000992	0,000135	0,001436	0,000324	0,001340
Var. koeficient [%]	3,1	1,2	2,5	1,2	2,8
Průměr [g/m²]	100,30	96,11	151,45	151,05	118,84

Vzorek	T6	T7	T8	B1
<i>měření č.1</i>	1,3498	1,6822	1,9124	1,2898
<i>měření č.2</i>	1,3838	1,7997	1,9403	1,3892
<i>měření č.3</i>	1,2975	1,7482	1,9056	1,3890
Průměr [g/cm²]	1,3437	1,7433	1,9194	1,3560
Sm. odchylka [g/cm²]	0,0430	0,0589	0,0184	0,0570
Rozptyl [(g/cm²)²]	0,001849	0,003469	0,000339	0,003287
Var. koeficient [%]	3,2	3,4	1,0	4,2
Průměr [g/m²]	134,37	174,34	191,94	135,6

Tab. 7 Měření plošné hmotnosti

Tloušťka					
Vzorek	T1	T2	T3	T4	T5
<i>měření č.1</i>	0,60	0,60	0,86	0,89	0,94
<i>měření č.2</i>	0,58	0,59	0,85	0,86	0,97
<i>měření č.3</i>	0,61	0,58	0,83	0,89	0,97
Průměr [mm]	0,59	0,59	0,84	0,88	0,96
Sm. odchylka [mm]	0,015	0,010	0,015	0,017	0,017
Rozptyl [mm²]	0,000234	0,0001	0,000234	0,000289	0,000289
Var. koeficient [%]	2,6	1,7	1,8	2,0	1,8

Vzorek	T6	T7	T8	B1
<i>měření č.1</i>	0,98	1,31	1,35	0,58
<i>měření č.2</i>	0,98	1,27	1,38	0,57
<i>měření č.3</i>	1	1,32	1,36	0,59
Průměr [mm]	0,99	1,3	1,36	0,58
Sm. odchylka [mm]	0,0115	0,0260	0,0153	0,0082
Rozptyl [mm²]	0,000132	0,000676	0,000234	0,000067
Var. koeficient [%]	1,2	2,0	1,1	1,4

Tab. 8 Měření tloušťky na tloušťkoměru

Příloha č. 8 – Přehled použitých materiálů

Označení	T1	T2	T3	T4
Název materiálu	Colin	Colin	André	André
Výrobce	Calma Textil s.r.o.	Calma Textil s.r.o.	Calma Textil s.r.o.	Calma Textil s.r.o.
Materiálové složení	100% POP s Ag+	100% POP s Ag+	50% POP, 50% CO	50% POP, 50% CO
Barva	Bílá	Tmavě modrá	Bílá	Zelená
Druh	Osnovní pletenina	Osnovní pletenina	Osnovní pletenina	Osnovní pletenina
Plošná hmotnost [g/m ²]	100,3	96,11	151,45	151,05
Tloušťka [mm]	0,59	0,59	0,84	0,88
Počet sloupců /1cm	20	20	22	23
Počet řádků /1cm	27	25	15	15
Údržba	Praní při 40°C		Praní při 40°C	
Popis	Lehký úplet z čistého jemnovláknenného POP hedvábí s Ag kationty. POP vlákna nepohlcují vlhkost, ale odvádějí ji po svém povrchu k odpařování přímo do okolního prostředí nebo do další vrstvy. Ag kationty navíc zamezují množení bakterií. Výrobky z této pleteniny jsou použitelné jako prádlo i vrchní ošacení v první vrstvě a doporučují se pro všechny druhy sportů.		Dvouvrstvá „integrováná“ pletenina zabezpečuje výborné odvádění vlhkosti od pokožky přes vnitřní polypropylenovou vrstvu do vnější sávé bavlněné vrstvy. Výrobky z tohoto úpletu mají všestranné použití během celého roku, nosí se jako jediná vrstva v teplém prostředí nebo první vrstva na pokožce v chladnějším prostředí.	
Výrobek				
Vzorek				

Označení	T5	T6	T7	T8
Název materiálu	IBID 701 TEX	IBID 701 TEX	IDOK 707 TEX	IDOK 707 TEX
Výrobce	Jitex a.s.	Jitex a.s.	Jitex a.s.	Jitex a.s.
Materiálové složení	100% POP	100% POP	50% POP, 50% CO	50% POP, 50% CO
Barva	Bílá	Šedá	Bílá	Černá
Druh	Osnovní pletenina	Osnovní pletenina	Osnovní pletenina	Osnovní pletenina
Plošná hmotnost [g/m ²]	118,84	134,37	174,34	191,94
Tloušťka [mm]	0,96	0,99	1,30	1,36
Počet sloupců /1cm	13	12	22	20
Počet řádků /1cm	12	12	13	13
Údržba	Praní při 40°C		Praní při 40°C	
Popis	Materiál je vyroben z profilovaných polypropylenových vláken, které je nenavlhavé, odolné vůči bakteriím a plísním, má vynikající izolační vlastnosti, samozhášející efekt a jednoduchou údržbu.		Materiál je konstruován tak, že funkční vlákna jsou na vnitřní straně, což zabezpečuje kontakt s pokožkou. Funkční vlákna mohou odvádět vlhkost do horní bavlněné vrstvy, ze které se pot dále odpařuje. Bavlna navíc působí hřejivě.	
Výrobek				
Vzorek				

[41, 42]

Příloha č. 9 – Jednotlivé naměřené hodnoty při měření materiálů

Při měření materiálů byla pro každou teplotu provedena 3 měření. Jednotlivé naměřené hodnoty materiálu jsou uvedeny v následujících tabulkách (T1 – Tab. 9, T2 – Tab. 10, T3 – Tab. 11, T4 – Tab. 12, T5 – Tab. 13, T6 – Tab. 14, T7 – Tab. 15, T8 – Tab. 16, B1 – Tab. 17).

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,60	0,62	0,62	0,61	0,012	0,0001	1,9
t2 [28°C]	0,60	0,62	0,60	0,61	0,012	0,0001	1,9
t3 [30°C]	0,58	0,60	0,61	0,60	0,015	0,0002	2,6
t4 [33°C]	0,62	0,62	0,59	0,61	0,017	0,0003	2,9

Tab. 9 Naměřené teploty a emisivity materiálu T1

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,71	0,66	0,61	0,66	0,050	0,0025	7,6
t2 [28°C]	0,70	0,68	0,65	0,68	0,025	0,0006	3,7
t3 [30°C]	0,64	0,67	0,64	0,65	0,017	0,0003	2,6
t4 [33°C]	0,68	0,70	0,65	0,68	0,025	0,0006	3,7

Tab. 10 Naměřené teploty a emisivity materiálu T2

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,70	0,67	0,62	0,66	0,040	0,0016	6,1
t2 [28°C]	0,70	0,63	0,68	0,67	0,036	0,0013	5,4
t3 [30°C]	0,68	0,67	0,64	0,66	0,021	0,0004	3,2
t4 [33°C]	0,66	0,66	0,68	0,67	0,012	0,0001	1,7

Tab. 11 Naměřené teploty a emisivity materiálu T3

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,72	0,68	0,64	0,68	0,040	0,0016	5,9
t2 [28°C]	0,71	0,66	0,66	0,68	0,029	0,0008	4,3
t3 [30°C]	0,72	0,67	0,70	0,70	0,025	0,0006	3,6
t4 [33°C]	0,65	0,69	0,69	0,68	0,023	0,0005	3,4

Tab. 12 Naměřené teploty a emisivity materiálu T4

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,64	0,68	0,71	0,68	0,035	0,0012	5,2
t2 [28°C]	0,67	0,65	0,65	0,66	0,012	0,0001	1,7
t3 [30°C]	0,62	0,58	0,65	0,62	0,035	0,0012	5,6
t4 [33°C]	0,59	0,62	0,64	0,62	0,025	0,0006	4,0

Tab. 13 Naměřené teploty a emisivity materiálu T5

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,64	0,72	0,72	0,69	0,046	0,0021	6,7
t2 [28°C]	0,71	0,66	0,68	0,68	0,025	0,0006	3,7
t3 [30°C]	0,65	0,70	0,72	0,69	0,036	0,0013	5,2
t4 [33°C]	0,68	0,71	0,64	0,68	0,035	0,0012	5,2

Tab. 14 Naměřené teploty a emisivity materiálu T6

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,65	0,64	0,69	0,66	0,026	0,0007	3,9
t2 [28°C]	0,67	0,66	0,59	0,64	0,044	0,0019	6,8
t3 [30°C]	0,58	0,63	0,62	0,61	0,026	0,0007	4,3
t4 [33°C]	0,56	0,65	0,62	0,61	0,046	0,0021	7,5

Tab. 15 Naměřené teploty a emisivity materiálu T7

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,70	0,65	0,66	0,67	0,029	0,0008	4,3
t2 [28°C]	0,64	0,69	0,69	0,67	0,029	0,0008	4,3
t3 [30°C]	0,65	0,70	0,68	0,68	0,025	0,0006	3,7
t4 [33°C]	0,64	0,65	0,63	0,64	0,010	0,0001	1,6

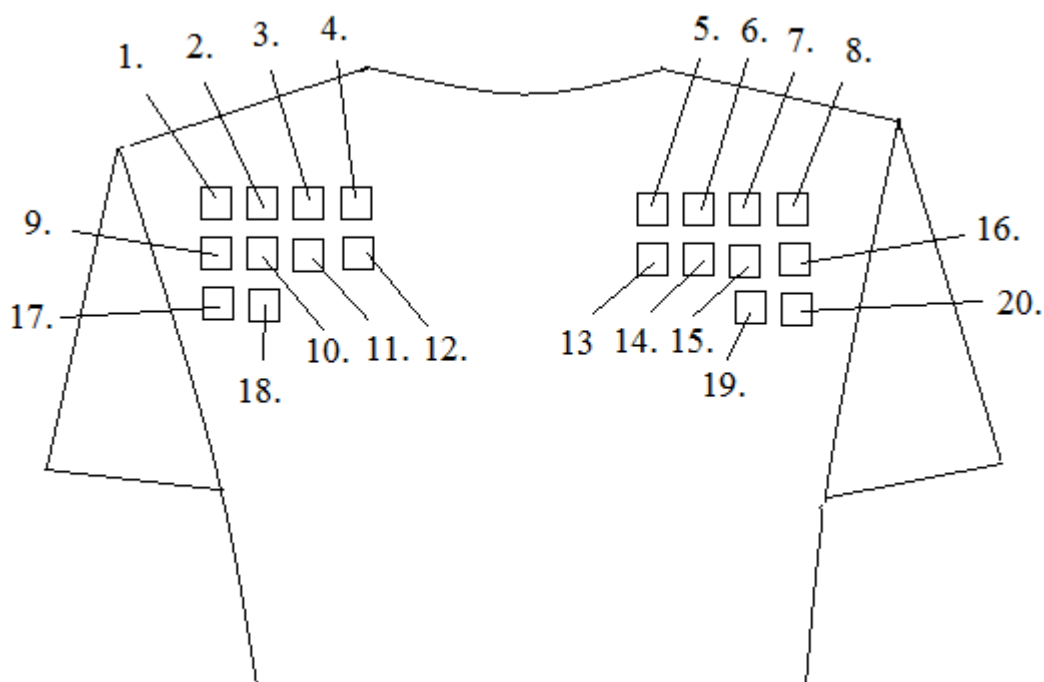
Tab. 16 Naměřené teploty a emisivity materiálu T8

	<i>měření č.1</i> [-]	<i>měření č.2</i> [-]	<i>měření č.3</i> [-]	Průměr [-]	Směrodatná odchylka [-]	Rozptyl [-]	Variační koeficient [%]
t1 [25°C]	0,58	0,62	0,60	0,60	0,020	0,0004	3,3
t2 [28°C]	0,57	0,59	0,53	0,56	0,031	0,0009	5,5
t3 [30°C]	0,51	0,53	0,55	0,53	0,020	0,0004	3,8
t4 [33°C]	0,48	0,52	0,52	0,51	0,023	0,0005	4,5

Tab. 17 Naměřené teploty a emisivity materiálu B1

Příloha č. 10 – Teploty pro oděvní výrobek z materiálu T1 a T5

V programu Thermo CamTM Researcher bylo vytvořeno na každém výrobku 20 obrazců (Obr. 6), které měly různé hodnoty teplot. U všech obrazců byla zadána emisivita materiálu, u materiálu T1 (Tab. 18) emisivita 0,59, u materiálu T5 (Tab. 19) hodnota 0,67.



Obr. 6 Umístění jednotlivých 20 obrazců

Legenda: 1. AR01, 2. AR02, 3. AR03, 4. AR04, 5. AR05, 6. AR06, 7. AR07, 8. AR08, 9. AR09, 10. AR10, 11. AR11, 12. AR12, 13. AR13, 14. AR14, 15. AR15, 16. AR16, 17. AR17, 18. AR18, 19. AR19, 20. AR20,

Levá strana těla					Pravá strana těla				
Obrazec	Min [°C]	Max [°C]	Max – Min [°C]	Průměrná teplota [°C]	Obrazec	Min [°C]	Max [°C]	Max – Min [°C]	Průměrná teplota [°C]
AR03	31,6	32,5	0,9	32,1	AR07	32,2	33,7	1,5	32,9
AR04	32,2	33,2	1,0	32,8	AR08	32,4	33,7	1,3	33,1
AR05	32,0	32,8	0,8	32,3	AR09	32,5	33,6	1,1	33,2
AR06	32,0	32,8	0,8	32,4	AR10	32,5	33,6	1,1	33,2
AR11	31,1	32,5	1,3	31,8	AR15	31,7	33,1	1,4	32,3
AR12	31,6	32,3	0,6	31,9	AR16	32,2	32,8	0,6	32,5
AR13	31,7	32,5	0,8	32,2	AR17	31,6	32,6	1,0	32,1
AR14	32,1	32,7	0,5	32,2	AR18	31,6	32,6	0,9	32,0
AR19	30,7	32,5	1,8	31,6	AR21	31,4	32,0	0,6	31,7
AR20	31,6	32,1	0,5	31,9	AR22	31,6	32,4	0,7	31,9
Průměr	31,7	32,6	0,9	32,1	Průměr	32,0	33,0	1,0	32,5

Směrodatná odchylka	0,47	0,30	0,40	0,34	Směrodatná odchylka	0,43	0,62	0,32	0,57
Rozptyl	0,218	0,092	0,158	0,117	Rozptyl	0,185	0,381	0,104	0,328
Variační koeficient [%]	1,5	0,9	44,1	1,1	Variační koeficient [%]	1,3	1,9	32,0	1,8

Tab. 18 Teploty pro oděvní výrobek z materiálu T1

Levá strana těla					Pravá strana těla				
Obrazec	Min [°C]	Max [°C]	Max – Min [°C]	Průměrná teplota [°C]	Obrazec	Min [°C]	Max [°C]	Max – Min [°C]	Průměrná teplota [°C]
AR03	31,8	32,3	0,6	32,0	AR07	31,7	33,4	1,7	32,7
AR04	31,4	33,1	1,8	32,3	AR08	32,1	33,7	1,6	32,9
AR05	32,0	32,7	0,6	32,3	AR09	32,7	33,9	1,2	33,4
AR06	32,3	33,2	0,9	32,7	AR10	33,0	33,9	0,9	33,5
AR11	31,2	31,7	0,5	31,5	AR15	31,9	33,1	1,3	32,4
AR12	31,5	32,0	0,5	31,7	AR16	31,6	32,6	1,0	32,1
AR13	31,6	32,3	0,7	31,9	AR17	30,8	32,4	1,6	31,6
AR14	31,7	32,5	0,8	32,0	AR18	30,4	31,6	1,2	31,0
AR19	31,0	31,8	0,9	31,4	AR21	29,8	31,3	1,5	30,7
AR20	31,2	31,7	0,5	31,5	AR22	30,9	31,5	0,5	31,2
Průměr	31,6	32,3	0,8	31,9	Průměr	31,5	32,7	1,3	32,2
Směrodatná odchylka	0,38	0,52	0,37	0,42	Směrodatná odchylka	1,01	1,01	0,37	0,99
Rozptyl	0,142	0,270	0,137	0,176	Rozptyl	1,023	1,024	0,137	0,980
Variační koeficient [%]	1,2	1,6	46,3	1,3	Variační koeficient [%]	3,2	3,1	28,5	3,1

Tab. 19 Teploty pro oděvní výrobek z materiálu T5