



Metodika hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy pro sportovní aplikace

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní marketing

Autor práce:

Ondřej Tomsa

Vedoucí práce:

Ing. Tereza Heinisch, Ph.D.

Katedra hodnocení textilií



Zadání bakalářské práce

Metodika hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy pro sportovní aplikace

Jméno a příjmení: **Ondřej Tomsa**
Osobní číslo: T18000200
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní marketing
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši týkající se metodik a způsobů hodnocení managementu vlhkosti u první oděvní vrstvy.
2. Navrhněte experiment zohledňující různé metody hodnocení managementu vlhkosti včetně nedestruktivního testování celých oděvních výrobků.
3. Diskutujte výsledky experimentu a navrhněte vhodnou metodiku pro hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy pro sportovní aplikace.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

HES, Luboš – SLUKA, Petr. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0 (brož.).
HES, L., V. BAJZÍK a I. DOLEŽAL. A new index of thermal comfort of sport dresses and underwear in wet state. In: International conference on emerging trends in traditional & technical textiles. India, 2014, 10-14. ISBN 978-93-5156-700-4.

Vedoucí práce: Ing. Tereza Heinisch, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce: 29. října 2020
Předpokládaný termín odevzdání: 16. května 2022

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

Ing. Roman Knížek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 4. dubna 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

29. dubna 2022

Ondřej Tomsa

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí práce Ing. Tereze Heinisch, Ph.D., za poskytnuté vzorky, potřebné rady a připomínky.

Také bych chtěl poděkovat všem, kteří mě při psaní práce podporovali.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá metodikami způsobů hodnocení managementu vlhkosti u první oděvní vrstvy. Cílem práce bylo navrhnout vhodnou metodiku pro hodnocení první oděvní vrstvy celých oděvních výrobků a jednotlivých vzorků materiálů. Teoretická část je věnována popisu první oděvní vrstvy a komfortu, jeho rozdělení a popisu termofyziologického komfortu, včetně přenosových jevů a sorpčních vlastností textilií. Dále jsou popsány jednotlivé metody a přístroje pro objektivní hodnocení managementu vlhkosti.

V praktické části je navržena nová subjektivní metoda hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy pro sportovní aplikace. Subjektivní metoda je porovnána se standardními metodami a následně je vytvořena inovativní metodika zahrnující standardní metody i metodu novou.

Klíčová slova

Komfort, Permetest, Alambeta, doba sušení, Moisture Management Tester, hodnocení managementu vlhkosti

Annotation

The bachelor's thesis deals with methodologies for evaluating the management of moisture in the first garment layer. The aim of the work was to design a suitable methodology for the evaluation of the first clothing layer of entire clothing products and individual samples of materials. The theoretical part is devoted to the description of the first clothing layer and comfort, its distribution and description of thermophysiological comfort, including transfer phenomena and sorption properties of textiles. Furthermore, individual methods and devices for objective evaluation of humidity management are described.

In the practical part, a new subjective method of evaluating the moisture management of the first clothing layer for sports applications is proposed. The subjective method is compared with standard methods and subsequently an innovative methodology is created, including standard methods as well as a new method.

Key Words

Comfort, Permetest, Alambeta, Moisture management Tester, Moisture management evaluation

Obsah

Úvod	10
1 Termofyziologický komfort	11
2 Oděvní komfort	12
2.1 Psychologický komfort	12
2.2 Fyziologický komfort	12
2.3 Patofyziologický komfort	13
2.4 Senzorický komfort	13
3 Termoregulace – přenos tepla mezi člověkem a okolím	13
4 Termoregulace fyzikální	15
4.1 Termoregulace chemická	15
4.2 Termoregulace prostřednictvím oděvu	16
4.3 Přenos tepla vedením (kondukcí)	17
4.4 Přenos tepla prouděním (konvekce)	17
4.5 Přenos tepla zářením	18
4.6 Přenos tepla evaporací	18
4.7 Přenos tepla respirací	18
4.8 Následky zvýšené teploty na člověka	18
4.9 Následky snížené teploty na člověka	19
4.10 Metabolismus	19
5 Pocení	20
5.1 Žlázy	20
5.1.1 Ekrinní potní žlázy	21
5.1.2 Apokrinní potní žlázy	21
6 Odvod vlhkosti z povrchu těla	22
6.1 Difuze	22
6.2 Kapilární odvod	22
6.3 Sorpce	22
6.4 Migrace	22
7 Termofyziologický komfort a jeho hodnocení	23
7.1 Tepelná jímavost textilií	23
7.2 Tepelná vodivost	23
7.3 Propustnost vodních par	23
8 Metodiky a přístroje pro hodnocení managementu vlhkosti	24
8.1 Permetest	24
8.2 Alambeta	24
8.3 Přístroj pro měření rychlosti sušení textilií	25

8.4	Moisture Management Tester	26
9	Teorie sušení textilií	28
9.1	Proces sušení.....	29
10	Metody pro hodnocení rychlosti sušení textilií.....	31
10.1	AATCC Test Method 199-2011	31
10.1.1	Účel a použití.....	31
10.1.2	Postup sušení	31
10.2	JIS L 1096: 1999 – Drying speed	31
10.2.1	Metoda A.....	32
10.2.2	Metoda B.....	32
10.3	TNI CEN/TR 16422: Klasifikace termoregulačních vlastností	32
10.4	AATCC Test Method 195-2009 Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics 32	
10.5	AATCC Test Method 200-2017: Drying Rate of Textiles at their Absorbent Capacity	33
10.6	ISO 17616: Textiles: Determination of moisture drying rate	33
11	Experimentální část.....	34
11.1	Přehled hodnocených sportovních triček	34
11.2	Subjektivní hodnocení pocitu komfortu	37
11.3	Objektivní hodnocení vlastností týkajících se managementu vlhkosti	40
11.3.1	Hodnocení tepelné jímavosti	40
11.3.2	Hodnocení paropropustnosti	41
11.3.3	Hodnocení rychlosti sušení	42
11.3.4	Celkové hodnocení managementu vlhkosti na přístroji MMT	44
12	Zhodnocení metodik	48
12.1	Návrh metodiky pro testování celých oděvních výrobků.....	48
12.2	Návrh metodiky pro testování jednotlivých vzorků	49
13	Závěr.....	50
	Literatura.....	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
	SEZNAM TABULEK	55
	PŘÍLOHY.....	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

b	tepelná jímavost	$[\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}]$
cm	centimetr	
g	gram	
h	tloušťka materiálu	[mm]
K	Kelvin	
km	kilometr	
l	litr	
mm	milimetr	
ml	mililitr	
m	metr	
m/s	rychlost	
q	tepelný tok	$[\text{W}/\text{m}^2]$
r	odpor vedení tepla	$[\text{W}^{-1}\text{K}\cdot\text{m}^2]$
%	procenta	
a	měrná teplotní vodivost	$[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$
λ	měrná tepelná vodivost	$[\text{W}^{-1}\text{K}\cdot\text{m}^2]$
°C	stupeň Celsia	
λ	měrná tepelná vodivost	$[\text{W}^{-1}\text{K}\cdot\text{m}^2]$
%	procenta	

Úvod

Bakalářská práce se zabývá tématem hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy. Cílem práce je vytvořit metodiku, která bude schopná zhodnotit vlastnosti především první oděvní vrstvy z hlediska termofyziologického komfortu s důrazem na management vlhkosti. V současné době existuje několik metod, které se hodnocením managementu vlhkosti a s ním i souvisejícím termofyziologickým komfortem zabývají, avšak jejich výsledky nejsou komplexní. Pro účely experimentu budou proto vybrány standardní objektivní metody a bude navržena nová metoda, která zahrnuje subjektivní testování celých oděvních výrobků.

První část práce je věnována rešerši, jejíž obsahem jsou metodiky a způsoby hodnocení managementu vlhkosti u první oděvní vrstvy. Dále jsou popsány první oděvní vrstvy a komfort, jeho rozdělení a popis termofyziologického komfortu. Nedílnou součástí je i popis sorpčních vlastností textilních materiálů. Poslední část rešerše je věnována popisu jednotlivých přístrojů pro objektivní hodnocení managementu vlhkosti.

V praktické části bakalářské práce je navržena a ověřena nová metoda subjektivního hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy, pro sportovní aplikace. Dále bylo provedeno testování dle standardních metod pro hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy. Veškerá naměřená data jsou statisticky vyhodnocena. Nová subjektivní metoda je porovnána se standardními metodami, a následně je vytvořena inovativní metodika zahrnující standardní metody i metodu novou.

1 Termofyziologický komfort

Za termofyziologický komfort se považuje stav organismu, kdy jsou termofyziologické funkce organismu na optimální úrovni ve všech aspektech. Znamená to tedy, že člověk pociťuje pohodlí.

Správné fungování lidského těla souvisí především s teplotou organismu a teplotou okolního prostředí. Pro správné fungování je lidské tělo vybaveno citlivým mechanismem termoregulačního systému, který udržuje teploty hlavních orgánů a systémů v optimu. Tělesná teplota okolo 37 °C zajišťuje ideální metabolické procesy.

Pro udržení správné tepelné rovnováhy lidského těla je zapotřebí správná termoregulace, která udržuje vnitřní teplotu lidského těla ve správném intervalu. Způsobuje tedy sekreci potu, díky kterému se přebytečné teplo dostává z těla ven.. Vnitřní teplota těla zůstává konstantní tehdy, když je množství vyprodukovaného tepla tělem rovno teplu, které odevzdává do okolního prostředí.

Tělesná teplota kolísá v závislosti na fyziologickém stavu lidského těla, které může ovlivňovat teplota. Teploty jsou rozdílné podle částí lidského těla. Vysoké teploty v rozmezí 34–36 °C lze naměřit v nejvíce prokrvených částech těla. Nižších teplot v rozmezí 29–31 °C pak dosahují končetiny. Nejchladnější částí těla je špička nosu, ušní lalůčky a špičky prstů, tyto části dosahují teplot v rozmezí asi 23–28 °C a 32–34 °C. Vnitřní teplota organismu je nejvyšší a činí cca 37 °C.

Termofyziologický komfort lze hodnotit pomocí přístrojů, které přesně charakterizují daný fyzikální jev. První možnost hodnocení nemá přímý vztah k podmínkám uskutečňujícím se v systému pokožka – oděv – prostředí. Druhá možnost je měření s podmínkami, které jsou blízké fyziologickému režimu těla [4].

Termofyziologický komfort nastává při těchto podmínkách [3]:

- teplota pokožky 33–35 °C
- relativní vlhkost vzduchu $50 \pm 10 \%$
- rychlost proudění vzduchu $25 \pm 10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$
- obsah oxidu uhličitého 0,07 %
- nepřítomnost vody na pokožce

2 Oděvní komfort

Lidské tělo je ovlivňováno mnoha vnějšími faktory, příkladem je i roční období. Tyto faktory ovlivňují změny okolního tlaku, tlak par, izolace oděvu a rychlost vzduchu. Pro lidské tělo jsou nepříjemné zejména změny vnějších faktorů při fyzické aktivitě, což může mít zásadní vliv na teplotu lidského těla a kůže. Lidské tělo je uzpůsobené k tomu, aby udržovalo tělesnou teplotu konstantně v rozsahu mezi $37 \pm 0,5$ °C.

Tepelný komfort závisí na kombinaci oblečení a fyzické aktivitě. Lidské tělo převádí chemickou energii z jídla pomocí organismu do práce a tepla. Množství generovaného tepla úzce souvisí s úrovní aktivitou a oblečením, které jedinec používá. V rovnovážném stavu se tepelná energie rovná rychlosti přenosu z těla vedením, konvekcí, zářením, odpařováním a dýcháním. Proto je nezbytné tělo bránit oděvem před klimatickými vlivy. Tepelné ztráty těla a pocit pohodlí v určitých prostředích s rozdílnými teplotami ovlivňuje oblečení [8].

2.1 Psychologický komfort

Tento druh komfortu se hodnotí pouze subjektivně pomocí kulturní a sociální úrovně, protože každý člověk vnímá psychologický komfort odlišně. Jeho hodnocení závisí na hlavně na typu oděvu, pokud se jedná o oděv pro každodenní nošení, ocení pak jedinec spíše funkční komfort. Psychologický komfort tvoří styl, pohodlnost, barva a konstrukce oděvu [9].

2.2 Fyziologický komfort

Fyziologický komfort je stav těla, kdy jsou fyziologické funkce organismu jedince v optimu. V tomto stavu člověk by mohl setrvat neomezeně dlouho. Ideálním stavem organismu je stav bazálního metabolismu, při kterém probíhá pouze nejnutnější látková výměna k udržení funkce orgánů. Při poklesu teploty se dostaví pocit chladu, kterému lze zabránit vhodným oblečením. Oděv tedy za určitých podmínek pomáhá organismu udržet tepelnou bilanci [9].

2.3 Patofyziologický komfort

Tato složka komfortu se zabývá vlivem toxických jevů na lidský organismus. Tyto vlivy ovlivňují pocit komfortu při nošení textilií. Jde o vliv působení chemických substancí, obsažených v textilních oděvech a záleží výhradně na obranné schopnosti kůže lidského těla. Pokud tato schopnost není v optimu, může vyvolat kožní onemocnění. K tomu může docházet díky alergické reakci nebo podrážení pokožky [4].

2.4 Senzorický komfort

Jedná se o mechanický a tepelný kontakt mezi oděvem a pokožkou. Závisí na tepelných vlastnostech oděvu, na splývavosti, konstrukci a velikosti oděvu. Dále je senzorický komfort tepelným kontaktem, který zajišťuje pocit tepla nebo chladu. Za určitých podmínek může mechanický kontakt způsobovat diskomfort, který se projevuje na pokožce škrábáním, lepením nebo drážděním [4].

3 Termoregulace – přenos tepla mezi člověkem a okolím

Termoregulace je nezbytná funkce lidského těla. Je to v podstatě schopnost organismu, která udržuje stálou tělesnou teplotu. Ta je nutná pro správnou činnost metabolismu. Lidské tělo nepřetržitě generuje teplo svými metabolickými procesy. Teplo se ztrácí z povrchu lidského těla konvekcí, zářením, odpařováním a dýcháním. Tělesnou teplotu udává rovnováha mezi příjmem tepla, výdajem a produkcí tepla. Tuto rovnováhu zajišťuje tělesná termoregulace. Proto není lidské tělo schopno správně fungovat bez oděvu a obydlí [8].

Lidský organismus v rámci termoregulace produkuje vodu v podobě potu. Díky změnám teploty prostředí se vytváří určitý teplotní spád mezi vnitřkem organismu a jeho povrchem. V základu se rozeznává teplota tělesného jádra a teplota povrchu těla. Tělesná teplota může být u každého jedince jiná, rozhoduje zde množství faktorů (věk, váha, pohlaví). Nejnižší tělesnou teplotu můžeme naměřit při spánku, nejvyšší pak v odpoledních hodinách [2].

Termoregulační systém lidského těla zajišťuje teplotu jádra kolem 37 °C. Pokud tělesná teplota stoupne nad tuto hodnotu, vazodilatace krevních cév aktivuje zvýšení průtoku krve do kůže, tím dojde ke zvýšení ztráty tepla. Pokud tělesná teplota stále stoupá, díky pocení se aktivují mechanismy k urychlení tepelných ztrát odpařováním potu. Pokud by ale teplota klesla pod 37 °C, aktivuje se vazokonstrikce krevních cév, to sníží průtok krve do pokožky a dojde tím ke snížení tepelných ztrát metabolické rychlosti [8].

Proces termoregulace spočívá ve fyziologických pochodech, které jsou řízené centrálním nervovým systémem. Ten udržuje teplotu na stálé a optimální tělesné teplotě, při které probíhají metabolické změny. Termoregulace se rozlišuje na chemickou a fyzikální [4].

4 Termoregulace fyzikální

Fyzikální termoregulace způsobuje odvod tepla z organismu. K tomu dochází zvětšením, nebo zmenšením výdeje tepla do okolního prostředí, ke kterému dochází díky zužování, nebo rozšiřování cév [4].

4.1 Termoregulace chemická

Jde o látkovou výměnu, která spočívá na intenzitě chemických reakcí, které tvoří teplo organismu. Při ochlazení organismu způsobí svalový třes, díky kterému se vytváří teplo v organismu. Odvíjí se od fyzikální zátěže organismu a na činnosti organismu [4].

Tepelnou rovnováhu lidského těla je možno vyjádřit touto rovnicí:

$$Q_B + Q_F = Q_V + Q_S + Q_P + Q_D + Q_O + Q_n \pm \Delta Q$$

Q_B – teplo vyprodukované člověkem [$J \cdot s^{-1}$]

Q_F – teplo přijaté z vnějšího okolí [$J \cdot s^{-1}$]

Q_V – tepelné ztráty vedením [$J \cdot s^{-1}$]

Q_S – tepelné ztráty sáláním [$J \cdot s^{-1}$]

Q_P – tepelné ztráty prouděním [$J \cdot s^{-1}$]

Q_D – tepelné ztráty dýcháním [$J \cdot s^{-1}$]

Q_O – tepelné ztráty odpařováním z povrchu kůže [$J \cdot s^{-1}$]

Q_n – ostatní formy energie [$J \cdot s^{-1}$]

ΔQ – změna tepelného stavu člověka oproti stavu tepelné pohody [$J \cdot s^{-1}$] [13]

	velmi horko	horko	teplo	pohoda	chladno	zima	velká zima
teplota kůže (°C)	nad 36,0	36,0±0,6	34,9±0,7	33,2±1,0	31,1±1,0	29,1±1,0	pod 28,1

Obrázek 1: Pocity fyzického klidu podle teploty kůže [13]

4.2 Termoregulace prostřednictvím oděvu

Lidské tělo by jen těžko fungovalo nepřetržitě bez oděvu. Člověk by mohl bez problému fungovat pouze v úzkém rozmezí teplot, a to od 26 °C do 30 °C. S oblečením je lidské tělo schopno fungovat a vykonávat různé fyzické činnosti v teplotě cca od -40°C do 40°C. Proto je oblečení důležité pro zajišťování tepelné ochrany těla při nízkých teplotách, a při vysokých teplotách vytváří příjemné mikroklima, aby člověk mohl přežít. Bez oděvu by se lidské tělo nebylo schopno vyrovnat správné funkci na delší dobu. Funkční oděv je kriticky důležitý pro lidské zdraví a pohodlí, v extrémních případech by to mohlo být pro člověka smrtelné. Oděv podporuje metabolické teplo a správnou fyzikální činnost svalů a orgánů.

Běžně oděv pokrývá přibližně 90 % těla. Proto jsou tyto charakteristiky přenosu tepla u oděvů důležité, protože lidské tělo reaguje na vnější termální prostředí pomocí oblečení. Mechanismus termoregulace přes oblečené závisí především na tepelném chování lidského těla a na přenosu tepla pomocí oděvu [8].

Oděv zajišťuje [5] [8]:

- ochranu před zimou a teplem – tepelný komfort
- možnost těla volně dýchat = zabraňuje nadměrnému ukládání tepla – prostup vzduchu, vodních par a vlhkosti
- tepelná bariéru mezi lidským tělem a okolním prostředím
- přenos tepla přes oděvní celek (vedením, prouděním, zářením) a latentní teplo různých fázových změn, jako je teplo přenášené kondenzací, odpařováním, táním
- přenos vlhkosti zahrnující vodní páru, difúzi a konvekci v prázdném prostoru v textilní struktuře.

Přenos tepla mezi člověkem a okolím

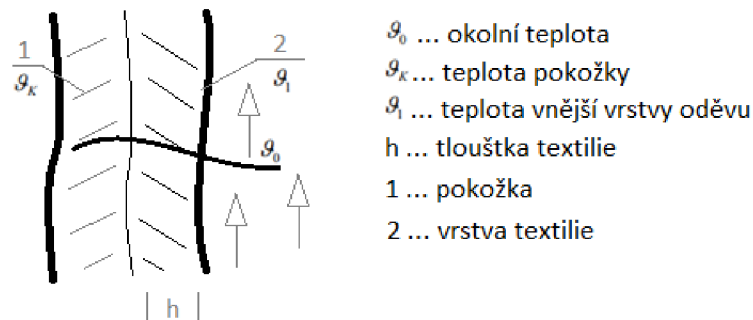
Tento tepelný přenos probíhá:

1. vedením (kondukce)
2. prouděním (konvekce)
3. zářením (radiace)
4. odpařováním (evaporace)
5. dýcháním (respirace)

Přenášení tepla mezi okolním prostředím a lidským tělem probíhá oběma směry a uskutečňuje se pomocí lidské pokožky. Pokožka je prokrvována pomocí krve. Při tomto procesu je důležitý tepelný spád mezi tělem a prostředím. Pokud se tělo potřebuje ochladit, dojde k vasodilataci (zvýšení průřezu cév = větší průtok krve). To vede k usnadnění výdeje tepla z těla do okolního prostředí. Když se tělo potřebuje naopak ohřát, tak dochází k vasokonstrikci. Díky tomu dochází k omezení průtoku krve, tím se sníží výdej tělesného tepla do okolí [4].

4.3 Přenos tepla vedením (kondukcí)

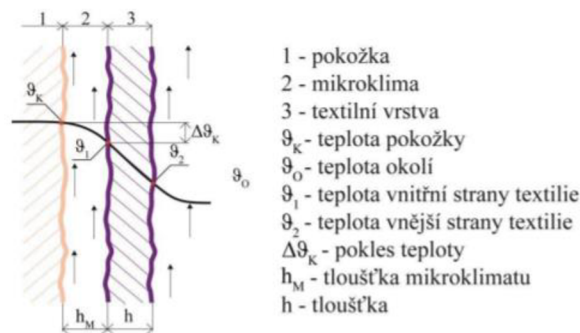
Kondukcí se z těla ztrácí až 5 % tepla, pokud je kůže v kontaktu se studenějším okolím. Vyjadřuje se pomocí Fouriérova zákona, který udává vztah mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem. Vedení tepla se uskutečňuje v pevných tělesech a v nepohybujících se kapalinách [4].



Obrázek 2 Přenos tepla kondukcí [4]

4.4 Přenos tepla prouděním (konvekcí)

Konvekce je nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a prostředím. Teplo se transportuje částicemi tekutin pohybujícími se v rychlosti [m/s]. Přenos tepla konvekcí vzniká důsledkem vzduchové vrstvy mezi oděvem a lidskou pokožkou. Tato mezera způsobuje částečné ochlazení. K proudění vzduchu dochází díky pohybu organismu v prostředí a tím se ochlazuje. Ztráta tepla se udává okolo 15 %. Rychlost ochlazování závisí na rychlosti proudícího prostředí [4].



Obrázek 3 Přenos tepla prouděním [4]

4.5 Přenos tepla zářením

Přenos tepla probíhá elektromagnetickým vlněním, které vzniká důsledkem tepelného stavu tělesa. Toto vlnění se šíří prostorem rychlostí 300 000 000 [m/s]. Podle vlnových délek se rozlišuje záření gama, rentgenové, ultrafialové, optické, ultrafialové, mikrovlnné a radiové [4].

4.6 Přenos tepla evaporací

Jde o množství výparného tepla, které se odpařuje neznatelnou evaporací (pocením). Toto množství je závislé na měrném skupenském výparném teple a na rozdílných parciálních tlacích vodních par. Pod oděvem není tento rozdíl tak velký, nejvyššímu odvod tepla probíhá na neoblečených částech těla [4].

4.7 Přenos tepla respirací

K tomuto odvodu tepla dochází dýcháním. Množství přijatého a odevzdaného tepla je dáno rozdílem vdechovaných a vydechovaných vodních par [4].

4.8 Následky zvýšené teploty na člověka

1. **Větší tvorba potu** – v reakci na metabolické a klimatické teplo tělo zvyšuje tělo tvorbu potu.
2. **Zvýšení srdeční frekvence** – závisí na tom, zda jde o pracovní nebo tepelnou zátěž, pracovní zátěž zvyšuje frekvenci více než tepelná.

3. **Nárůst teploty tělesného jádra** – tento nárůst stoupá až do té doby, kdy dojde k ustálení teploty tělesného jádra na vyšším stupni, v závislosti na velikosti tepelné pracovní zátěže.
4. **Změna krevního tlaku** – při této změně se zvyšuje systolický tlak. Ten se popisuje jako vypouštění čerstvé krve do oběhu.
5. **Zvýšení dechové frekvence** – zvýšení teploty lidského těla vede k zvýšení tepové frekvence, protože tělo potřebuje více kyslíku. Každý 1 °C vede ke zvýšení dechové frekvence o 5–6 vdechů za minutu.
6. **Změna teploty kůže** – průměrná teplota kůže se při optimálních podmínkách pohybuje v rozmezí 31–34 °C. Pokud se člověk potí, tělo vypařuje více potu a teplota kůže stoupá od 34 °C a více [11].

4.9 Následky snížené teploty na člověka

1. **Snížení teploty tělesného jádra** – pokud teplota klesne pod, 36 °C, zvýší se produkce tepla těla, tím dojde ke kompenzaci ztrát tepla.
2. **Zužování cév** – zamezení tepelných ztrát.
3. **Zvýšení produkce tepla ve svalech** – svalový třes.
4. **Omrzliny** – v místech kde je tělo, omrzlé je kůže studená, tvrdá nebo necitlivá [11]

4.10 Metabolismus

Metabolismus je složitý komplex chemických reakcí v lidském těle probíhající za spolupůsobení enzymů a přeměn energie. Díky metabolismu dochází k obnově tkání a k správné výživě organismu pro jeho energickou spotřebu. Zdrojem energie pro lidské tělo jsou cukry, bílkoviny a tuky přijímané potravou [7].

5 Pocení

Pocení se odborně označuje jako hidróza. Je to vodnatý výměšek ekrinních a potních žláz. Vylučování potu je přirozený fyziologický děj, který je pro lidský organismus nezbytný. Pocení lidského těla probíhá neustále, některé skutečnosti však mohou tento jev podpořit. Pot je méně koncentrovaná tělesná tekutina a jeho složení je individuální v koncentraci a biochemickém složení. Pocení lidského těla je nezbytné pro vylučování toxických látek z těla, jeho termoregulaci a hydrataci zrohovatělé vrstvy kůže.

Lidské tělo prokazuje větší vylučování potu při zvýšené fyzické aktivitě, při prožívání silných emocí nebo v reakci na teplo. Lidská kůže při teplotě 34° C uvolní do okolí 0,03l až 0,7l potu. Při odpaření potu vznikne ochlazovací efekt. U volného povrchu kůže je podmínkou dostatečný rozdíl parciálních tlaků páry.

Denně člověk dokáže vytvořit až 10 litrů potu, ale tomu tak může být jen při velké fyzické námaze. Při klidovém stavu tělo produkuje asi 200 ml potu za jeden den. Pot obsahuje okolo 99 % vody, zbylá část je tvořena solí, tuky a močovinou. Důležitým aspektem ovlivňujícím pocení je výběr materiálu oděvu. Různé látky reagují různě. Mezi žádoucí vlastnosti patří správná absorpce a postupné uvolňování vlhkosti. V teplých měsících se doporučuje nosit spíše trička z bavlny. Ideálním materiálem je hedvábí, které chladí a je vzdušné [1].

5.1 Žlázy

Jde o shluky buněk, které vyrábí a odvádí vlastní sekrety z lidského těla. Existují tři druhy žláz – potní, mazové a pachové. Mezi potní žlázy patří ekrinní a apokrinní, tyto dva základní typy potních žláz doplňují speciální žlázy. Podle výzkumů mají nejmenší počet potních žláz Eskymáci a největší počet černoši, dále je rozdílnost i mezi muži a ženami, kdy ženy mají méně potních žláz než muži. Muži mají obecně aktivnější potní žlázy než ženy, ženy mají i jemnější pokožku, proto jsou citlivější na změny teplot. O množství potních žláz rozhoduje také genetika, strava a životní styl. Potní žlázy jsou nezbytné pro vytvoření správných podmínek termofyziologického komfortu. Lidské tělo obsahuje více než 2 miliony potních žláz, které jsou rozmístěné po celém těle, avšak v některých částech těla se vyskytují ve větším množství. Nejvíce se potní žlázy vyskytují na chodidlech [1].

5.1.1 Ekrinní potní žlázy

Ekrinní potní žlázy jsou důležité pro termoregulaci a hydrataci kůže. Produkují roztok chloridu sodného, jehož ionty zpět vstřebává epitel vývodů. V největší míře se tyto žlázy vyskytují na dlani a na čele, naopak na rtech a nehtech zcela chybí. Ekrinní žlázy tvoří pot, který odpařováním odebírá z těla teplo. Studie uvádí, že pot je původně bez zápachu, ten tvoří až bakterie, které jsou na povrchu kůže. Počet těchto žláz se odhaduje mezi 2 až 5 miliony [1].

5.1.2 Apokrinní potní žlázy

Apokrinní žlázy se vyskytují zejména v okolí prsních bradavek, v podpaží a v tříselech. Tyto žlázy se aktivují u jedince až po dosažení puberty, avšak v těle jsou od narození. Apokrinní žlázy se stejně jako ekrinní žlázy skládají ze sekrečního oddílu a vývodu a jejich sekret obsahuje feromony. Tyto feromony mužských a ženských apokrinních žláz se u lidí uplatňuje v podobě hormonálního statusu [1].

6 Odvod vlhkosti z povrchu těla

Odvod vlhkosti z těla se uskutečňuje difuzí, kapilárním odvodem, migrací nebo sorpcí. Všechny odvody vlhkosti se uskutečňují v procesu transportu současně. Migrace, difuze a sorpce odvádí pot jako kapalinu, ale i jako vodní páru. Kapilární odvod odvádí pot pouze jako kapalinu [4].

6.1 Difuze

Difuze se uskutečňuje pomocí pórů lidské kůže. Vlhkost prostupuje z kůže přes textilii z míst s vyšším parciálním tlakem do míst s nižším parciálním tlakem [4].

6.2 Kapilární odvod

Vlhkost je odváděná pomocí vzlínání potu z povrchu kůže do první vrstvy textilie pomocí kapilár. Vzlínání postupuje všemi směry a pot se proto může odvádět i do dalších vrstev oděvu. Tento odvod vlhkosti z těla je tím nejrychlejším [9].

6.3 Sorpce

Sorpce se popisuje jako vzájemné působení pevného prostředí a prostředí kapalného nebo plynného. Po vniknutí vlhkosti do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna se vlhkost naváže na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře vlákna. Tento přenos vlhkosti je tím nejpomalejším způsobem [9].

6.4 Migrace

Tento odvod vlhkosti z povrchu těla vzniká díky vlivu teplotního spádu mezi oděvem a teplotou povrchu lidského těla. Vlhkost je odváděna do kapilár nebo migruje na povrchu těla [9].

7 Termofyziologický komfort a jeho hodnocení

Termofyziologický komfort úzce souvisí s přenosem vlhkosti a přenosem tepla přes jednotlivé vrstvy oděvu. Mezi základní parametry tedy patří tepelný a výparný odpor [4].

7.1 Tepelná jímavost textilií

Parametr tepelné jímavosti b [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{1/2} \text{ K}^{-1}$] charakterizuje tepelný omak a množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v průběhu akumulace tepla v jednotkovém objemu. Platí, že vyšší hodnoty tepelné jímavosti charakterizují chladnější pocit textilií. Tepelná jímavost je převážně povrchovou vlastností, může být také ovlivněna povrchovou úpravou [7].

7.2 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost udává množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času, přičemž dojde ke změně teplot, o 1 K . Tepelná vodivost znamená schopnost materiálu vést teplo. Udává rychlost, kterou se teplo šíří ze zahřáté části do chladnější látky [4].

7.3 Propustnost vodních par

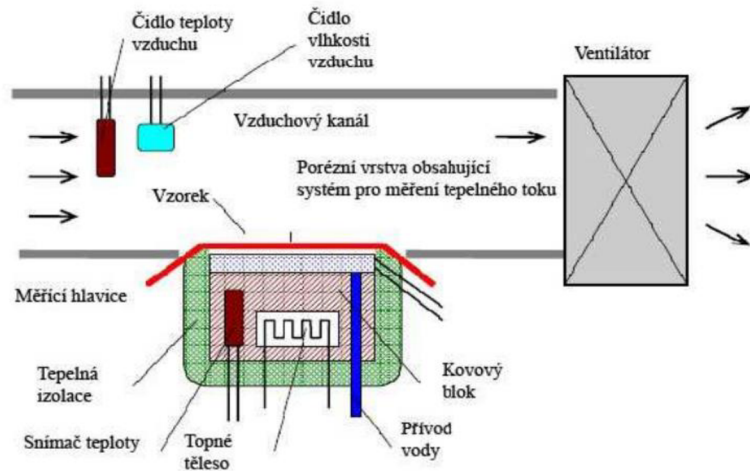
Propustnost vodních par textilií hraje zásadní roli při hodnocení fyziologického komfortu oděvu. Jde o páru, která je vypařována potem a rychlost odpařování závisí na pórovitosti textilie. Dochází tím k odpařování vlhkosti, která je důležitá při termoregulačním procesu a tím udržuje tělo ve fyziologickém komfortu [16].

8 Metodiky a přístroje pro hodnocení managementu vlhkosti

8.1 Permetest

Jedná se o rychlou a přesnou metodu měření výparného odporu a paropropustnosti, kterou lze provádět za jakýchkoliv podmínek. Permetest je svou podstatou tzv. SKIN MODEL malých rozměrů, který je založen na přímém měření tepelného toku, jenž prochází povrchem tepelného modelu lidské pokožky. V přístroji je povrch modelu porézni a bývá zavlhčován a ochlazován pocením. Na povrchu modelu je položena separační fólie, na kterou se pokládá měřený vzorek, který je ofukován z vnější strany. Tepelný tok je poté zaznamenáván speciálním snímačem, který v průběhu testování generuje hodnoty paropropustnosti materiálu.

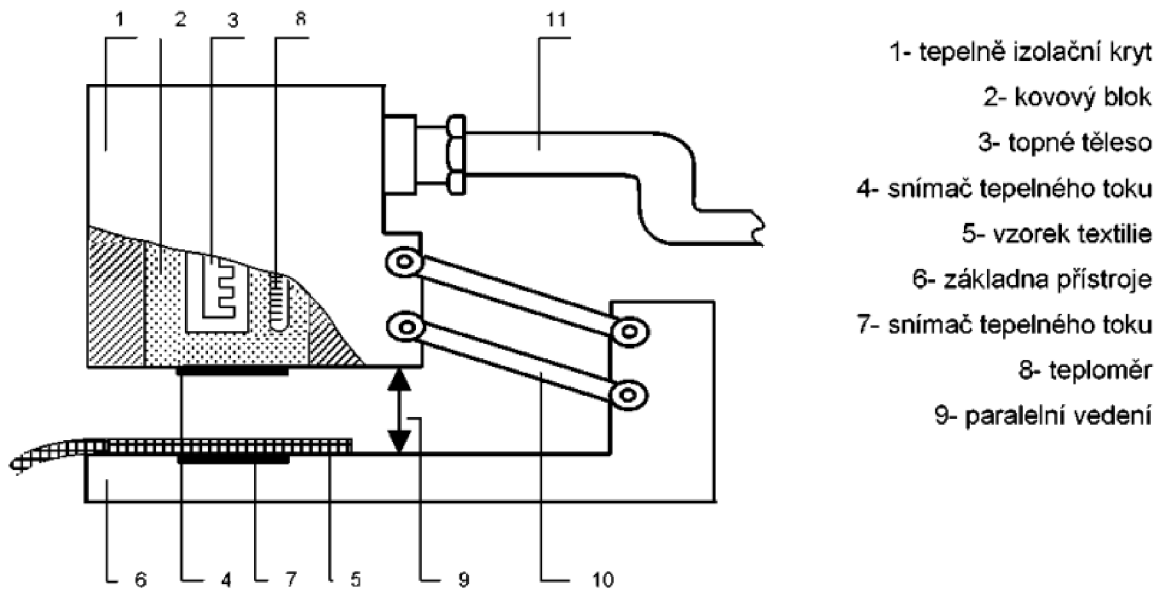
V průběhu měření malého vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na teplotě o 10 – 20 °C vyšší, než je teplota okolního vzduchu [4].



Obrázek 4 Schéma přístroje PERMETEST [4]

8.2 Alambeta

Jedná se o poloautomatický přístroj řízený počítačem, který simuluje tepelně kontaktní vjemy mezi vlhkou pokožkou a suchou textilií. Pomocí tohoto přístroje měříme následující hodnoty: tepelný tok q [W/m^2], tloušťka materiálu h [mm], měrná teplotní vodivost a [m^2s^{-1}], měrná tepelná vodivost λ [$W^{-1}K.m^2$], plošný odpor vedení tepla r [$W^{-1}K.m^2$], tepelná jímavost b [$Wm^{-2}s^{1/2}K^{-1}$].

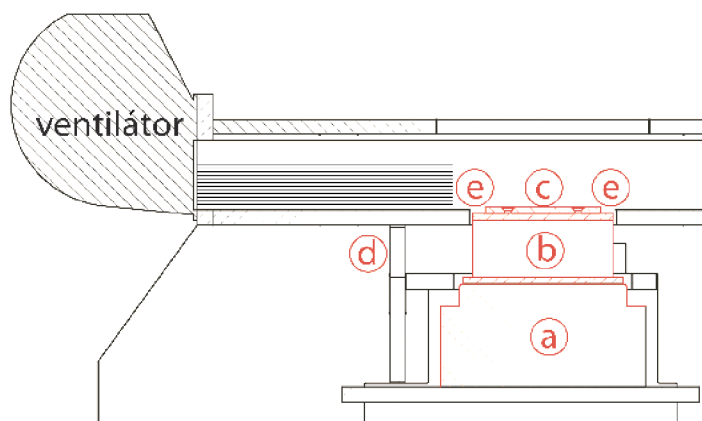


Obrázek 5 Schéma přístroje Alambeta [4]

8.3 Přístroj pro měření rychlosti sušení textilií

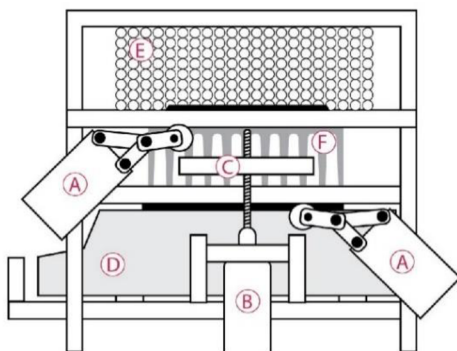
Tento přístroj se používá pro záznam průběhu sušení s regulací rychlosti proudění nad měřenou textilií. Přístroj sleduje a zaznamenává úbytky vlhkosti v textilií v pravidelných časových intervalech. K testování na doby sušení dochází za přesně definovaných podmínek, z naměřených dat lze poté jednoduše určit dobu sušení.

Testovaný materiál zasahuje celou svojí plochou do měřicího kanálu a je umístěn na zvedacím mechanismu, který slouží pro přesný záznam hmotnosti v daných časových intervalech [15].



Obrázek 6 Schéma řezu přístroje pro měření rychlosti sušení [15]

A - koncová čidla, B - zvedací mechanismus,
 C - rám zvedacího mechanismu, který zvedá měřicí člen,
 D - analytické váhy, E - usměrňovač proudění,
 F - hliníkové žebro



Obrázek 7 (a) schéma z boku přístroje a (b) fotografie přístroje [15]

8.4 Moisture Management Tester

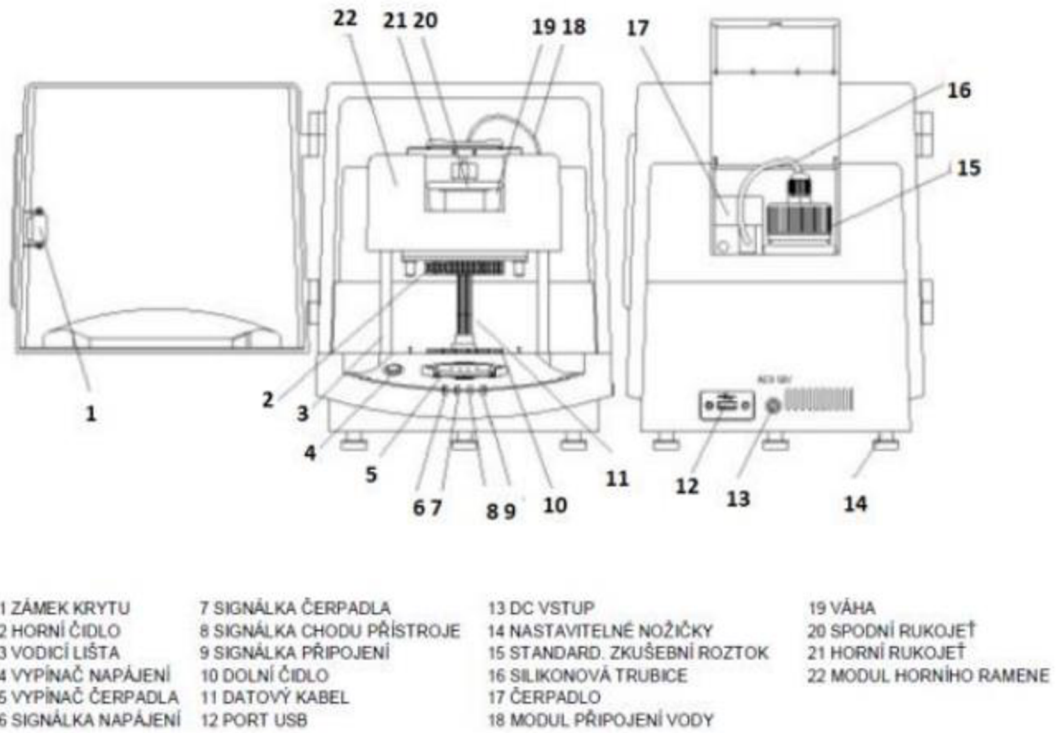
Přístroj Moisture Management Tester (MMT) se používá pro měření transportu kapalné vlhkosti v textilních materiálech. Přístroj umožňuje měřit transport kapalné vlhkosti ve více dimenzích. Dynamické šíření vlhkosti v textiliích je možné měřit ve třech směrech z rubní i lící strany. Dále lze pomocí MMT měřit dobu pohlcování vlhkosti textilie z obou stran a rychlost šíření vlhkosti z obou stran.

Po nanesení syntetického roztoku na horní stranu textilie se sleduje šíření vlhkosti materiálem ve třech směrech:

- šíření vlhkosti roztoku směrem k vnějším okrajům na horní straně textilie
- přenos roztoku z lící strany na rubní
- šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na lící straně textilie.

Po naměření hodnot vlhkostních parametrů se následně vypočítá celková schopnost managementu vlhkosti u testovaného vzorku [13].

Popis částí přístroje



Obrázek 8 Moisture Management Tester [13]

9 Teorie sušení textilií

Sušení textilií znamená přechod vlhkosti z kapalně fáze do plynné fáze z materiálu (difuze). V praxi se nejčastěji využívá proces odstraňování vody z materiálu odpařením do proudu předehřátého vzduchu.

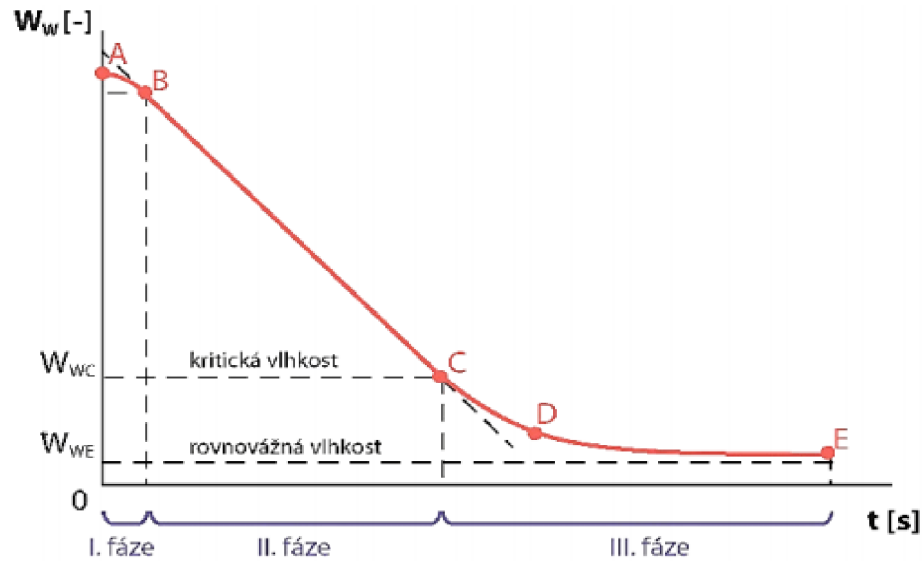
Během tohoto vnějšího procesu přechází voda obsažená z materiálu z povrchu do proudu vzduchu. Vlhkost se dělí na vlhkost neodstranitelnou a vlhkost volnou. Odstranitelnou vlhkost lze v daných podmínkách odstranit, neodstranitelná zůstává v materiálu nekonečně dlouho.

Sušení probíhá za sdílení hmoty a sdílení tepla současně. Jde o sdílení hmoty s hybnou silou rovnou rozdílu koncentrace sdílené složky. Pomocí této hybné síly se vyjadřuje rychlost děje [6].

Rychlost sušení ovlivňují tyto faktory [6]:

- materiálové složení textilního materiálu
- počáteční a konečný obsah vlhkosti v materiálu
- konstrukce sušícího zařízení

Rychlost procesu sušení závisí na vnějších podmínkách (relativní teplota vzduchu, teplota a rychlost proudění). V průmyslové sušárně bude průběh procesu odlišný než při sušení textilií přímo v klimatických podmínkách laboratoře. Průběh sušení lze rozdělit do tří částí.



Obrázek 9 Popis fází sušení [6]

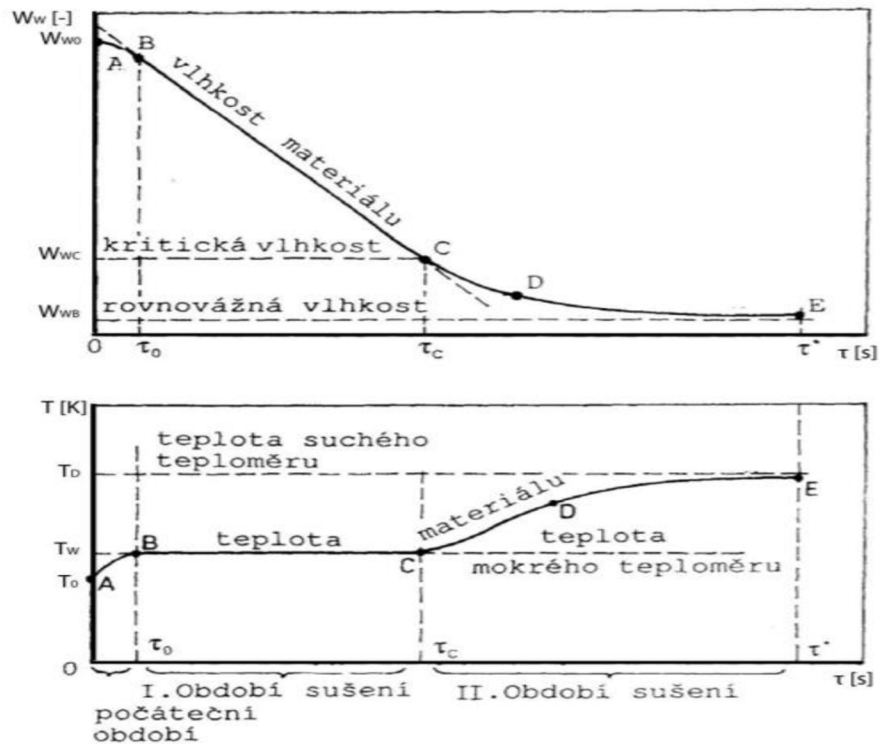
9.1 Proces sušení

(I. fáze) Počáteční období sušení

Materiál se nejprve ohřeje na teplotu, kdy je teplota vody taková, že při ní je teplo potřebné k vypařování vody do vzduchu odebíráno přestupem tepla konvekcí z okolního vzduchu. Z povrchu se poté začne odpařovat vlhkost a tím dojde ke snížení vlhkosti v materiálu [6].

(II. fáze) Období konstantní rychlosti sušení

Sušení má konstantní dobu vypařování nevázané vlhkosti v materiálu. Během této fáze klesá hmotnost a teplota vlhkosti v materiálu. Tenze vodních par je na povrchu materiálu stejně velká, jako tenze par nad čistou vodou o stejné teplotě [6].



Obrázek 10 Kvalitativní závislosti obsahu vlhkosti v materiálu [6]

(III. fáze) Období klesající rychlosti sušení

V tomto období dosáhne sušící křivka bodu C (Obrázek 10), kde se přestane povrch materiálu pokrývat vrstvou kapaliny.

Dochází ke zpomalení sdílené hmoty, dráha difundující páry je složitější, díky tomu má větší odpor proti difuzi. Bod E udává teplotu materiálu, která se rovná téměř hodnotě vzduchu, kterým je textilie sušena, a vlhkost je téměř rovna rovnovážné vlhkosti. Sdílení tepla a hmoty se zastavuje, jelikož nelze materiál v daných podmínkách více sušit.

Výběr průběhu sušení je třeba stanovit pro každý materiál experimentálně. Závisí na podmínkách sušení a na materiálu textilie. Ze získaných dat lze získat informace o rychlosti sušení dle vlhkosti materiálu [6].

10 Metody pro hodnocení rychlosti sušení textilií

Měření probíhá pomocí několika metodik, ty nejznámější metody a normy jsou popsány v následující části. Pomocí těchto metod lze v laboratořích otestovat rychlost a celkovou dobu sušení textilií. Používané metody a normy nemají jednotný způsob hodnocení celkových dob sušení a nastavení klimatických podmínek [12].

10.1 AATCC Test Method 199-2011

10.1.1 Účel a použití

Metodu lze použít pro měření doby sušení pro tkaniny, pleteniny a netkané textilie. Sušení lze provádět při teplotách podobných lidské pokožce nebo i při jiných teplotách. K měření se používá gravimetrický analyzátor [12].

10.1.2 Postup sušení

Vzorek textilie je nejprve navlhčen ponořením do deionizované vody, poté sušen při dané teplotě. K sušení dochází až do chvíle, kdy dojde ke koncovému bodu sušení. Následně se vzorek suší po dobu 5 minut ve vertikálním směru. Tato metoda se používá pouze pro savé textilie a určuje vlastnosti zadržování vlhkosti u zušlechtěných a nezušlechtěných materiálů.

Vzorky textilií jsou klimatizovány podle normy ASTM D 1776, poté se zapne analyzátor vlhkosti na 37 °C. Ke klimatizování dochází po dobu 30 minut tak, aby byla na vrchní straně zkušební strana. Klimatizované a zvážené vzorky se následně ponoří do destilované vody na 1 minutu. V dalším kroku se vzorek uchytí do vertikálního stojánku, v něm je sušen po dobu 5 minut. Po tomto procesu se vzorek znovu zváží a vypočítá se rozdíl mezi těmito hodnotami. Výsledná hodnota udává procentuální zvlhčení vzorku materiálu. V normě jsou uvedeny otestované materiály dle normy, ale není u nich uvedena hmotnost, pouze chemické složení a doba sušení [12].

10.2 JIS L 1096: 1999 – Drying speed

Tato norma se používá k vyhodnocení rychlosti schnutí, lze ji rozlišit na dvě metody. [15]

10.2.1 Metoda A

Měření probíhá jednoduchým přístrojem, ten měří hmotnost vzorku, která je zaznamenávána pomocí grafu v průběhu procesu sušení. Na jednoduchý aparát se zavěsí vzorek, který je měřen za standardních podmínek. Tři vzorky jsou ponořeny do vody o teplotě 20 ± 2 °C. Vzorky se poté vyndají a zavěsí na aparát. Konec měření nastává ve chvíli, kdy se hmotnost vzorku nemění [15].

10.2.2 Metoda B

V metodě B se ze vzorků textilií odečítá hmotnost. Vzorky se nejprve zvaží a poté se ponoří do vodní lázně. Po 3 nebo více hodinách se z ní vzorek vyndá a za 10 minut po vytažení z lázně se vzorek opět zvaží a zjistí se množství volné vlhkosti v textilií [15].

10.3 TNI CEN/TR 16422: Klasifikace termoregulačních vlastností

Při této metodice dochází k převodu a vyrovnání kapalného potu pomocí ohřívání materiálu a proudění vzduchu během procesu sušení, které simuluje efekt sušení přímo na pokožce. U toho zařízení se využívá výparného a tepelného odporu.

Testování se provádí na vyhřívané destičce o teplotě 35 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu 30 %. Potící se pokožku simuluje polyesterová tkanina, na kterou se položí vzorek a po 15 minutách se vzorek vyjme. Poté se vzorek zvaží a z dané hodnoty se určuje množství odpařené vlhkosti.

Měření je rychlé a nenáročné, na druhou stranu výsledek měřené nevyovídá o průběhu sušení [15].

10.4 AATCC Test Method 195-2009 Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics

Tato metoda je využívána pro měření, hodnocení a klasifikaci vedení kapalné vlhkosti u tkaných, pletených nebo netkaných materiálů. Získané výsledky jsou založeny na voděodolnosti, vodoodpudivosti a absorpci vody s ohledem na strukturu textilie, vnitřní strukturu vláken a kapilárnost jednotlivých vláken.

Vzorek je při této metodě umístěn mezi dvě horizontální elektrická čidla, která jsou opatřena jehlami. Na textilií se aplikuje zkušební roztok, ten se pak šíří třemi směry. Jednotlivé změny jsou zaznamenávány během měření. Po zapsání měřených hodnot se počítá ze změn elektrického odporu a vlastností dynamického přenosu kapalná vlhkost [15].

10.5 AATCC Test Method 200-2017: Drying Rate of Textiles at their Absorbent Capacity

V této metodě je zahrnutý vliv rychlosti proudění na dobu sušení textilií, a je omezena na maximální dobu nasákavosti 30 sekund.

Rychlost této metodiky se vyhodnocuje na základě rychlosti odpařování vlhkosti. Princip spočívá v měření teploty navlhčené textilie pomocí infračervené sondy. Poté se textilie zavlhčí vypočítaným množstvím vody. Během testování se zaznamenává teplota vzorku až do původní teploty. Měřené hodnoty se poté nanesou do grafu. Doba sušení je dopočítána pomocí rozdílů mezi koncovým časem a počátkem měření [15].

10.6 ISO 17616: Textiles: Determination of moisture drying rate

Jde o normu používanou k popisu průběhu rychlosti sušení vlhkosti v materiálu. Využívá se často k zobrazení sušících charakteristik textilií potem, proto je vhodná pro použití u sportovních materiálů.

Pomocí pipety se aplikuje kapka vody na testovaný vzorek textilie, následně se měří čas až do doby, kdy je kontaktní úhel mezi kapkou vody a textilií menší než 45°. Pro stanovení hmotnosti vzorků se využívají váhy, které jsou zakrytované, aby nedošlo k narušení okolním vzduchem. Poté se vzorek položí na váhu, a nechá se schnout. Hmotnost vzorku se měří každých 5 minut po dobu jedné hodiny. Poté se test ukončí a vyhodnotí se sušící křivky [15].

11 Experimentální část

Cílem této práce bylo vytvořit metodiku pro hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy pro sportovní oděvy. V současné době existuje více metod, jak lze jednotlivé vlastnosti týkající se managementu vlhkosti hodnotit. Mezi ně patří například testování paropropustnosti, tepelných vlastností, omaku a transportu vlhkosti. Všechny tyto vlastnosti ovlivňují pocit komfortu, který je nejen u sportovních oděvů zcela zásadním. V experimentální části práce byl proto navržen experiment, který zohledňuje skutečné subjektivní hodnocení komfortních vlastností celých výrobků během zátěže s vlastnostmi, které byly naměřeny pomocí standardních metodik.

11.1 Přehled hodnocených sportovních triček

Klimatex KEVIN

- pánské tričko určené pro veškeré sportovní účely
- materiálové složení: 95 % polyester, 5 % elastan



Obrázek 11 Klimatex Kevin [16]

Klimatex GATOR

- pánské tričko určené pro sportovní účely
- materiálové složení: 100% polyester



Obrázek 12 Klimatex Gator [16]

Klimatex BRIAN

- použití: běh, turistiku, in-line, fitness
- materiálové složení: 90 % polyester 10 % elasthan



Obrázek 13 Klimatex Brian [16]

Klimatex Croul

- celoročně vhodné jako samostatná vrstva na běhání nebo cyklistiku
- materiálové složení: 71 % polypropylen, 21 % polyamid, 8 % elastan



Obrázek 14 Klimatex Croul [16]

Klimatex AZAL

- určené pro veškeré sportovní aktivity
- materiálové složení: 95 % polyester, 5 % elastan



Obrázek 15 Klimatex Azal [16]

Klimatex KRYSTOF

- lze využít jako první vrstvu pro širokou škálu aktivit
- materiálové složení: 90 % polyester 10% elasthan



Obrázek 16 Klimatex Krystof [16]

11.2 Subjektivní hodnocení pocitu komfortu

Pro dosažení optimálního komfortu uživatele oděvů jsou důležité materiálové vlastnosti textilií, které jsou měřeny na přístrojích. Pro ověření úrovně komfortních vlastností první vrstvy oděvu lze využít fyzické aktivity probanda při laboratorním experimentu. Základem je monitorování a zaznamenávání jeho subjektivních hodnocení. Z výsledků měření a vyhodnocení dotazníku lze pak určit míru komfortu či diskomfortu u jednotlivých vzorků oděvů a poté je porovnat s přímo naměřenými materiálovými vlastnostmi. Tento způsob používá většina výrobců sportovních oděvů a často je pro ně i jediným vodítkem při výběru těch nejlepších materiálů pro jejich kolekce.

Tato část práce je zaměřena na testování vlastností u oděvů určených pro sport, kde bylo cílem zjistit subjektivní pocit komfortu uživatele během fyzické aktivity, při které docházelo k výraznému pocení a tedy i zavlhčení oděvu. Testování proběhlo na třech různých respondentech, každý z nich testoval 6 různých sportovních oděvů. Respondenti byli vybráni tak, aby měli podobné tělesné a fyzické parametry. Všichni vybraní probandi byli sportovci.

Experiment probíhal v klimatizované laboratoři na Technické univerzitě v Liberci, kde bylo cílem zjistit procentuální přírůstky vlhkosti u všech sportovních oděvů při zátěžovém testu. Vzorky byly před samotným měřením klimatizovány po dobu 24 hodin pro zajištění shodných vlastností všech vzorků. Nejprve došlo ke zvážení všech vzorků před fyzickou aktivitou a poté k jejich zvážení po aktivitě. Následně se podle rozdílů hmotností dopočítaly jednotlivé přírůstky. Fyzická zátěž probíhala na rotopedu, kde jednotliví probandi po dobu 30 minut udržovali tepovou frekvenci v rozmezí 120–140 tepů za minutu. Teplota v klimatizované laboratoři byla v rozmezí 20 ± 2 °C a relativní vlhkost vzduchu 50 ± 5 %. Ujetá vzdálenost se u každého respondenta pohybovala v rozmezí 18–21 km.

Probandi po zátěžovém testu na cyklistickém trenažéru museli vyplnit protokol, ve kterém popisovali, jak se cítili v daném tričku. Na otázky v protokolu probandi odpovídali pomocí číselné škály. Hodnocení jednotlivých dresů je uvedeno v příloze 1. Bodové hodnocení dle pocitu komfortu z dané vlastnosti:

- 1 = velmi nízký pocit komfortu
- 2 = nízký pocit komfortu
- 3 = střední pocit komfortu
- 4 = dobrý pocit komfortu
- 5 = velmi dobrý pocit komfortu

Režim probanda

Pro udržení objektivních podmínek testu bylo nutné, aby jednotliví probandi dodržovali stejný režim jak v den testu, tak den před testováním z hlediska spánku, stravy odpočinku a příjmu tekutin. Laboratorní testování každý proband zahájil dopoledne, kdy byl nalačno. Příjem tekutin byl u každého cca 5 dcl vody.

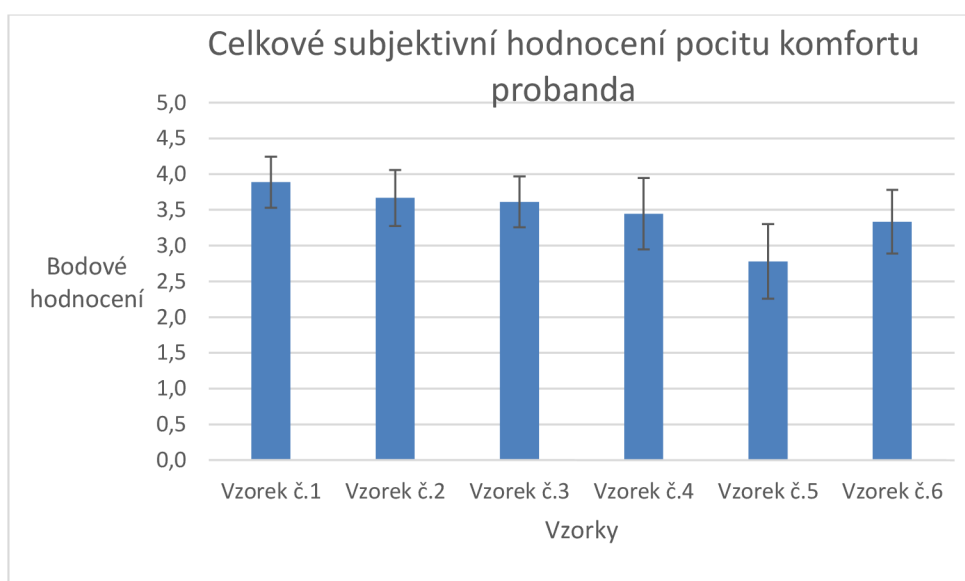
Dotazníkové šetření se primárně soustředilo na šest hodnotících oblastí vnímání oděvního komfortu probandem. Otázky byly vybrané tak, aby odpovídaly těmto parametrům:

- A) lepivost za mokra
- B) škrábavost za sucha
- C) škrábavost za mokra
- D) pocit chladu za mokra
- E) stříhové řešení dresu
- F) množství zbývajícího potu na pokožce po skončení fyzické aktivity.

Tabulka 1 Výsledky subjektivního testování hodnotitelů

	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4	Vzorek č. 5	Vzorek č. 6
Lepivost za mokra	3,7	2,7	2,7	2,3	2,7	3,3
Škrábavost za sucha	4,3	4,3	4,3	4,7	4,3	4,3
Škrábavost za mokra	3,7	4,7	3,3	4,0	3,3	4,3
Pocit chladu za mokra	4,7	3,3	4,3	2,7	1,3	2,3
Střihové řešení dresu	2,7	3,0	3,0	4,3	3,0	3,3
Množství zbývajícího potu na těle	4,3	4,0	4,0	2,7	2,0	2,3
Průměrná hodnota	3,8	3,7	3,5	3,5	2,7	3

Každý proband vyplnil dotazník hned po dokončení testování jednotlivých vzorků, jak je uvedeno v tabulce 1, ve které je znázorněná průměrná hodnota bodového hodnocení od všech tří dotazovaných probandů pro danou vlastnost. Jednotlivá bodová hodnocení pro každou vlastnost od každého probanda jsou uvedena v příloze 1. Poté byl vytvořen celkový průměr ze všech hodnocených vlastností vzorků u všech probandů. Výsledná data zobrazuje graf na obrázku 17.



Obrázek 17 Graf porovnání subjektivního hodnocení probandů

Z naměřených hodnot je patrné, že statisticky významný rozdíl je patrný pouze mezi vzorkem 1 a 5, u ostatních vzorků jsou rozdíly statisticky nevýznamné. Z toho lze usoudit, že subjektivní hodnocení pocitu komfortu není pro celkové hodnocení managementu vlhkosti dostatečné. Je tedy nutné tuto metodiku doplnit i objektivním testováním, jak je uvedené v následujících kapitolách.

11.3 Objektivní hodnocení vlastností týkajících se managementu vlhkosti

Mezi nejpoužívanější metodiky, které se standardně používají pro hodnocení managementu vlhkosti, patří tyto:

- hodnocení výparného odporu
- testování tepelných charakteristik především tepelné jímavosti
- testování managementu vlhkosti na přístroji MMT
- hodnocení sušících křivek a doby sušení.

Všechny tyto vlastnosti úzce souvisí s termofyziologickým komfortem. Pro účely našeho experimentu bylo tedy provedeno měření vzorků na těchto přístrojích: Permetest, Alambeta, přístroj pro měření sušících křivek a MMT.

Naměřená data jsou uvedena v následujících kapitolách.

11.3.1 Hodnocení tepelné jímavosti

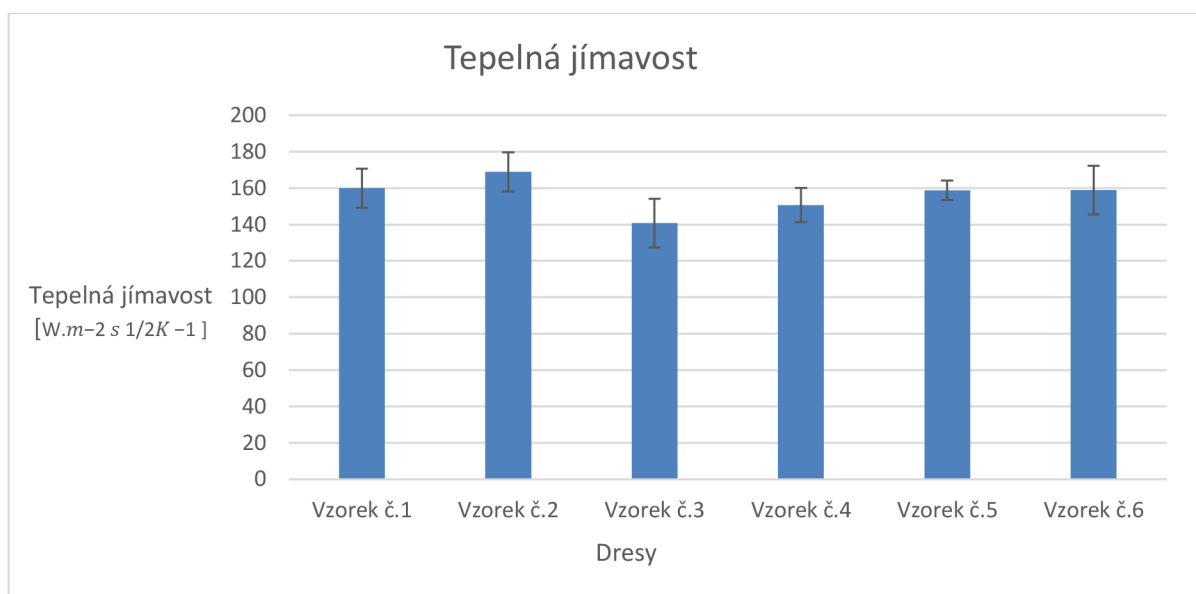
Tepelná jímavost je vlastnost, která charakterizuje tepelný omak. Ten představuje množství tepla, které proteče při rozdílu 1K jednotkou plochy za jednotku času. K tomu dochází díky akumulaci tepla v jednotkovém objemu. Materiál, který má větší tepelnou jímavost, pocítujeme jako chladnější než materiál s menší tepelnou jímavostí. Také lze pomocí této hodnoty predikovat, zda se jedná o suché či vlhké vzorky [14].

Postup měření

Experiment byl proveden na šesti vzorcích materiálu vystřižených ze sportovních triček. Vzorky byly o rozměrech 10 x 10 cm. Do přístroje byly vloženy tak, aby na nich nebyly žádné přehyby, zvlnění nebo nečistoty. Každý ze vzorků byl měřen sedmkrát. Po ukončení každého testování musel být vzorek přemístěn tak, aby nedocházelo k měření

stejného místa, které bylo zahřáté z předešlého testování. Pokud by totiž bylo měřeno zahřáté místo, mohlo by to značně ovlivnit měřené parametry.

Každý z měřených vzorků byl položen lícem na spodní část přístroje. Přístroj simuluje lidskou pokožku tak, že měřící bod uprostřed měřící plochy se nachází pod středem snímače tepelného toku. Teplota kontaktní měřící plochy je 35° C což simuluje teplotu lidské pokožky. K samotnému měření dochází po spuštění hlavice, poté snímač tepelného toku měří jednotlivé parametry textilie. Tyto parametry jsou poté zaznamenávány pomocí přístroje.



Obrázek 18 Graf porovnání tepelné jímavosti u jednotlivých vzorků

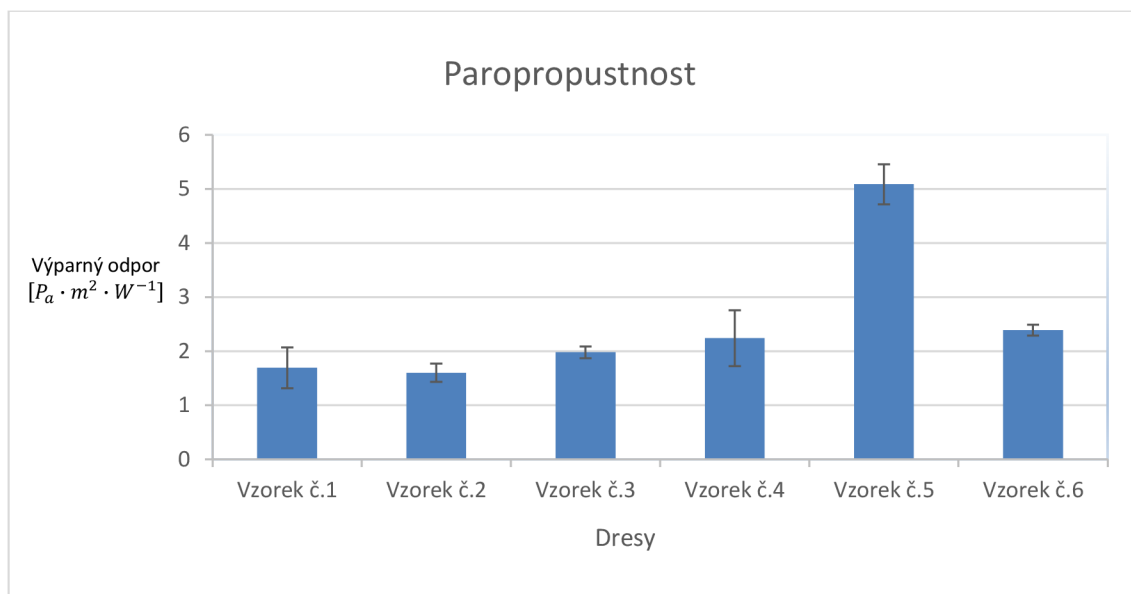
U naměřených dat nejsou patrné významné statistické rozdíly. Tepelná jímavost u všech vzorků je tedy téměř totožná a charakterizuje suchý a teplý omak.

11.3.2 Hodnocení paropropustnosti

Pro hodnocení paropropustnosti byl použit přístroj Permetest. Toto měření probíhalo v klimatizované laboratoři Katedry hodnocení textilií. Na přístroji bylo měřeno šest vzorků, každý z nich byl měřen desetkrát. Pro měření pomocí Permetestu nebylo potřeba vzorky upravovat, protože jde o nedestruktivní měření a lze do něj vkládat i celé oděvy.

Postup měření

Měřené dresy byly nejprve zváženy a poté začalo měření za sucha. Vzorky byly vkládány na měřicí hlavici přístroje v neporušeném stavu bez přehybů nebo nečistot. Každý vzorek byl vložen do přístroje tak aby rubní lící stranou navrchu. Naměřené hodnoty byly poté zaznamenány pomocí počítače.



Obrázek 19 Graf porovnání materiálů z hlediska paropropustnosti

Z naměřených dat jsou patrné výrazné rozdíly mezi jednotlivými vzorky. Největší výparný odpor má vzorek č.5., což označuje nízkou paropropustnost. Dále na grafu vidíme, že rozdíly v chybových úsečkách jsou velice malé. Pokud bychom porovnali naměřená data se subjektivním hodnocením jednotlivých probandů, můžeme konstatovat, že je totožné. U obou metod tedy vzorek č.5 vykazuje nejhorší vlastnosti.

11.3.3 Hodnocení rychlosti sušení

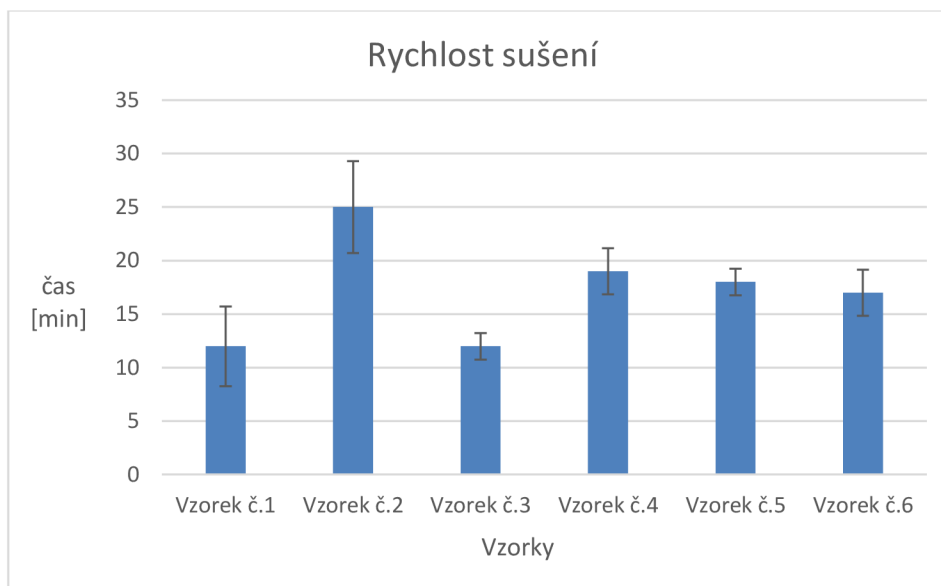
Cílem testování bylo zjistit rychlost sušení vybraných materiálů, které se používají pro sportovní trička, u kterých je právě rychlost sušení a vnímání pocitu tepelného komfortu stěžejní. Během zátěže dochází k významnému pocení a je tedy žádoucí, aby i po skončení sportovního výkonu došlo k rychlému návratu do původního stavu před zavlhčením.

Postup měření

Před samotným měřením byly z šesti vybraných triček vystříženy vzorky o rozměrech 9×9 cm, ty byly následně ponechány na dobu delší než 24 hodin v klimatizované laboratoři.

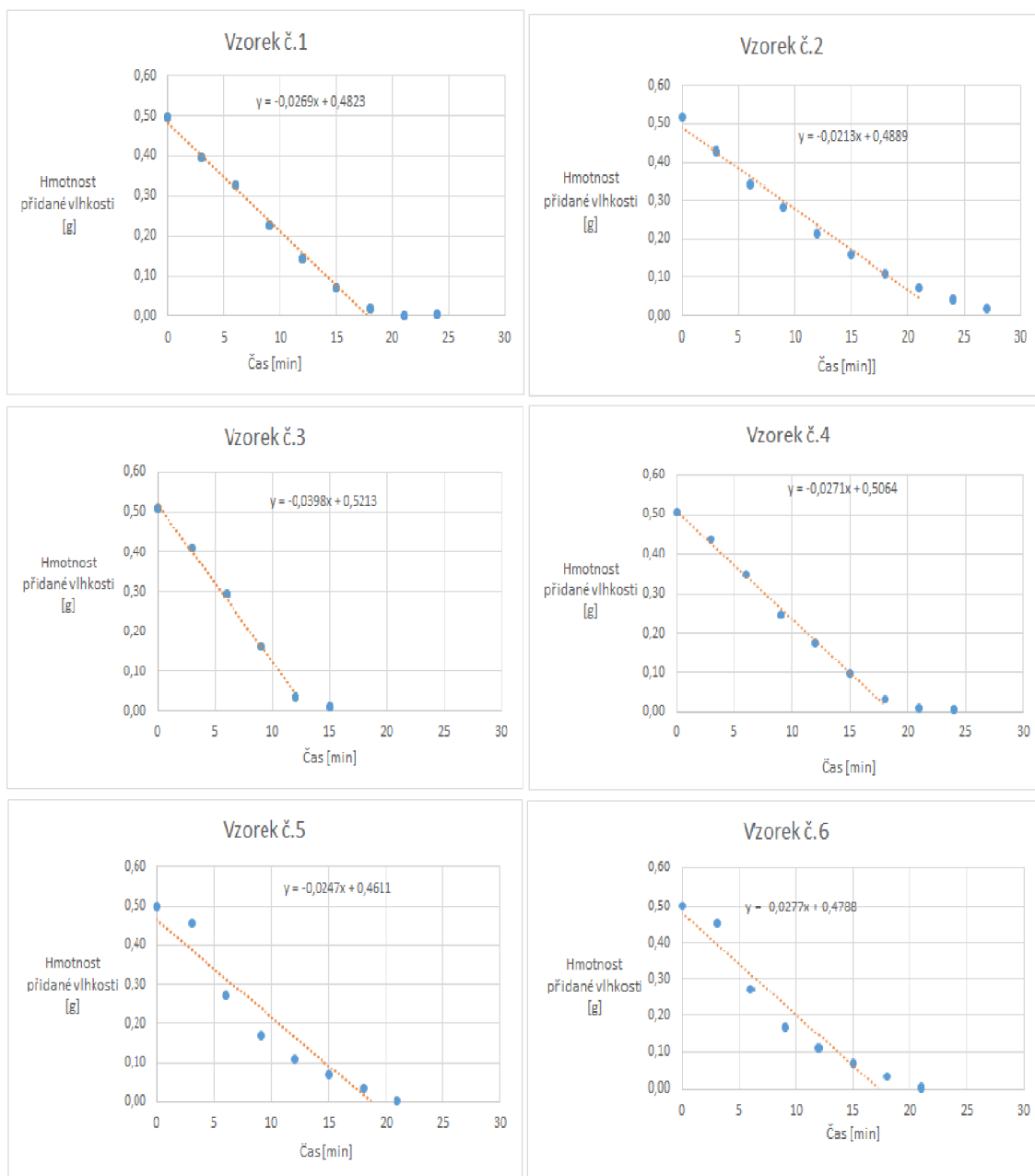
Teplota v klimatizované laboratoři byla v rozmezí $20 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost vzduchu $50 \pm 5\%$. Zvážený klimatizovaný vzorek byl poté umístěn na měřicí jednotku.

Na vzorek se pomocí pipety nanoslo množství vody, které odpovídalo hmotnosti 0,5 g. Vzorek umístěný v přístroji byl v průběhu testování každé tři minuty vážen. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do počítače připojeného na tento přístroj.



Obrázek 20 Graf Porovnání rychlosti sušení jednotlivých vzorků

Dle naměřených hodnot lze určit, že nejrychlejší dobu sušení mají vzorky č.1. a č.3. Mezi nimi nejsou statisticky významné rozdíly. Nejhorší čas vykazoval vzorek č. 2.



Obrázek 21 Sušící křivky jednotlivých vzorků

11.3.4 Celkové hodnocení managementu vlhkosti na přístroji MMT

Měření managementu vlhkosti u vybraných vzorků probíhalo na přístroji Moisture management tester v klimatizované laboratoři na Technické univerzitě v Liberci.

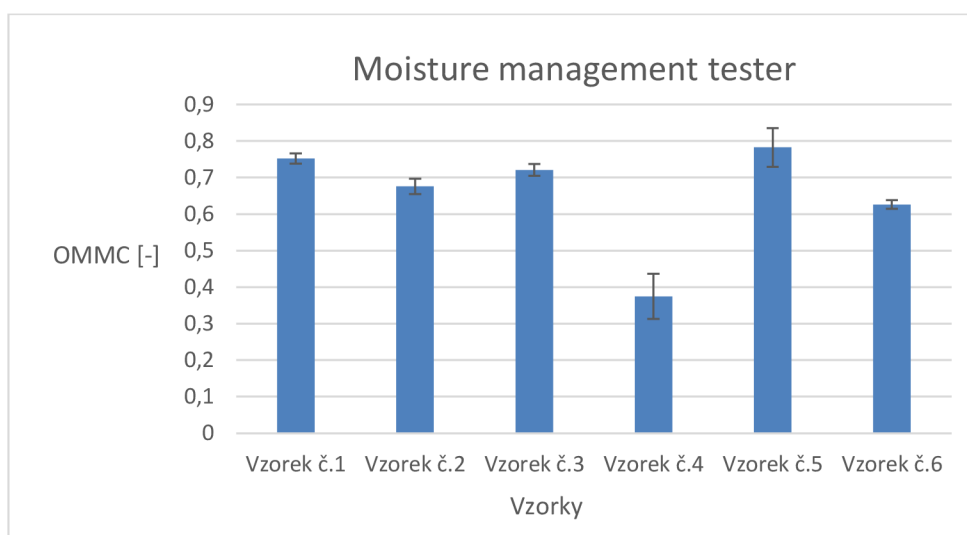
Cílem tohoto experimentálního měření bylo zjistit dynamické šíření vlhkosti u vzorků sportovních triček.

Postup měření

Pro tento experiment bylo zapotřebí nastříhat vzorky z šesti vybraných sportovních triček na konkrétní rozměr 10×10 cm. Z každého trička byly vystřiženy 3 vzorky, ty byly následně klimatizovány v laboratoři po dobu 24 hodin a více.

V den testu byla nejprve ověřena funkčnost přístroje MMT. Poté byl přístroj spuštěn a došlo k přečerpání roztoku pomocí hadičky. Následně se po otevření krytu přístroje zvedlo čidlo do aretované pozice a poté se po dobu dvou minut odstraňovaly vzduchové bubliny z přečerpávací hadičky pomocí tlačítka „Pump“.

Po tomto cyklu mohlo dojít k samotnému měření. Nejprve se vzorek vložil vnější stranou na dolní čidlo a spustilo se horní čidlo přístroje. Samotné měření trvalo více než dvě minuty. Pomocí počítače propojeného s MMT se uložily veškerá potřebná data pro vyhodnocení tohoto experimentu.



Obrázek 22 Graf porovnání vzorků pomocí MMT

Z naměřených dat jsou patrné výrazné rozdíly mezi jednotlivými vzorky. Nejnižších hodnot dosahuje vzorek č.4. Dle chybových úseček můžeme odvodit, že byly mezi měřenými vzorky velké odchylky.

Vzorek	Maximální rádius zavlhčení
Vzorek č. 1	
Vzorek č. 2	
Vzorek č. 3	
Vzorek č. 4	
Vzorek č. 5	
Vzorek č. 6	

Obrázek 23 Maximální rádius zavlhčení vzorků

Tabulka 2 Porovnání vzorků měřených pomocí přístroje Permetest

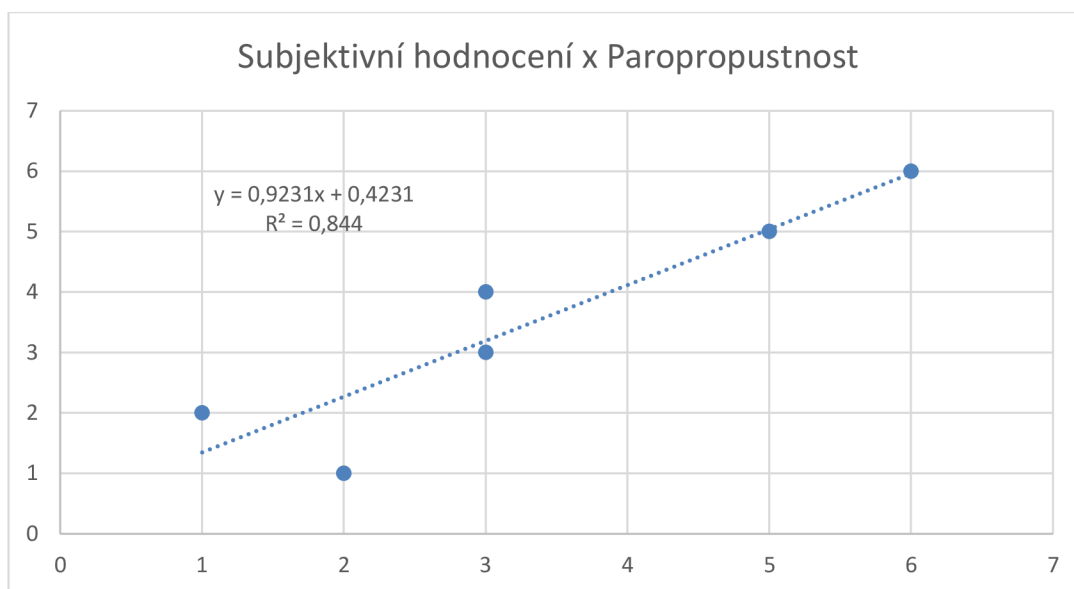
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4	Vzorek č. 5	Vzorek č. 6
	0,7453	0,6597	0,7083	0,6408	0,8281	0,6343
	0,7644	0,6808	0,7236	0,2289	0,7472	0,6241
	0,747	0,6865	0,7309	0,2546	0,7716	0,6199
OMMC - průměr	0,7522	0,6757	0,7209	0,3748	0,7823	0,6261
Směrodatná odchylka	0,0106	0,0142	0,0115	0,2307	0,0415	0,0074
IS	0,0141	0,0209	0,016	0,0616	0,0531	0,0118

12 Zhodnocení metodik

Po provedení a vyhodnocení všech zvolených metodik hodnocení managementu vlhkosti byla provedena korelační analýza, ze které lze určit pomocí Pearsonova korelačního koeficientu míru lineární závislosti mezi jednotlivými metodami pro destruktivní i nedestruktivní testování oděvů.

12.1 Návrh metodiky pro testování celých oděvních výrobků

Na základě provedené korelační analýzy lze doporučit pro testování celých výrobků metodu testování paropropustnosti na přístroji Permetest doplněnou o subjektivní testování pomocí zátěžového testu prováděný širší skupinou probandů podobných fyzických parametrů.



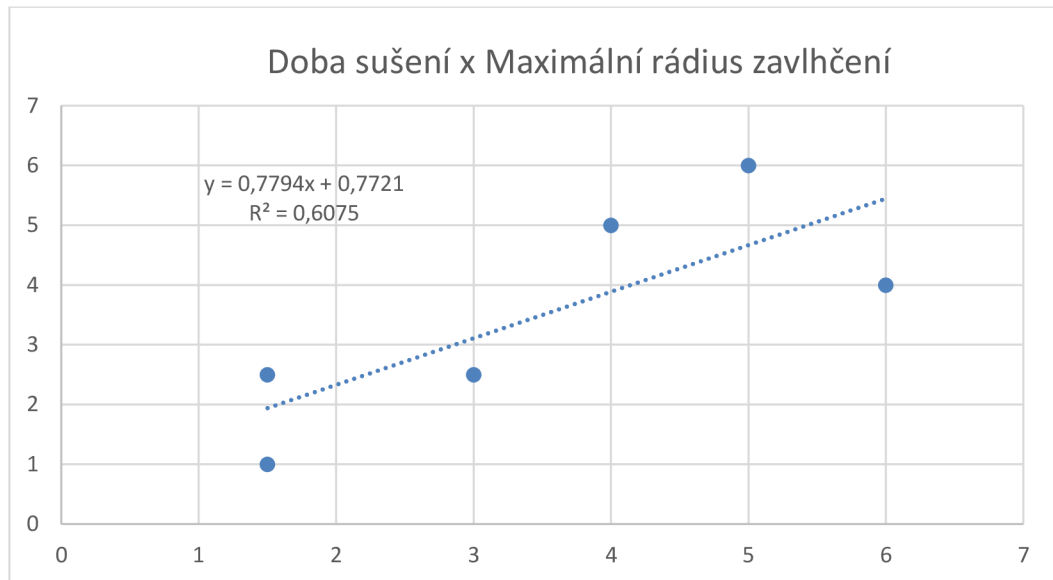
Obrázek 24 Graf porovnání subjektivního hodnocení s hodnocením paropropustnosti

Z grafu lze určit silnou kladnou závislost mezi naměřenými daty (0,918671). Proto je vhodné využít kombinace těchto dvou metod.

U subjektivního testování je výhoda možnosti nastavit si vlastní škálu hodnocených vlastností dle potřeby výzkumu, na rozdíl od objektivního testování, kde jsou testované parametry pevně dané. Zároveň by bylo možné rozšířit tuto metodu i například o simulaci sušení celého dresu přímo na těle nositele po absolvované zátěži. Proband by však musel zůstat po určitou dobu ve vlhkém dresu, což není vhodné především ze zdravotního hlediska.

12.2 Návrh metodiky pro testování jednotlivých vzorků

Pokud jsou k dispozici pouze vzorky malých rozměrů, nelze použít předešlou kombinaci metod. Vzhledem k silné lineární závislosti mezi metodou testování doby sušení a testování maximálního rádiusu zavlhčení pomocí přístroje Moisture management tester lze navrhnout testování vzorků kombinací těchto dvou metod.



Obrázek 25 Graf porovnání hodnocení doby sušení s maximálním rádiusem zavlhčení

Z grafu lze určit vysokou kladnou závislost (0,779412). Proto je pro testování nastříhaných vzorků vhodně použít kombinaci těchto dvou metod.

Závislosti mezi ostatními naměřenými daty dle jednotlivých metod jsou uvedeny v příloze 2, u všech testovaných dat byla míra lineární závislosti nízká či střední, proto je nelze považovat za příliš důležitá.

13 Závěr

V úvodu této práce bylo poukázáno na často nedostatečné informace o hodnocení managementu vlhkosti pro sportovní oděvy, které jsou mnohdy při koupi rozhodující.

Cílem této práce byl tedy návrh vhodné metodiky hodnocení managementu vlhkosti první oděvní vrstvy pro sportovní aplikace zahrnující nedestruktivní testování.

V první experimentální části je navrhnout subjektivní experiment. Pro hodnocení bylo vybráno 6 sportovních triček od firmy Klimatex. K testování bylo využito 3 probandů podobných fyzických parametrů, kteří po provedení zátěžového testu vyplnili dotazník. Při subjektivním testování u všech probandů vyšel jako nejvhodnější vzorek č.1. Nejhorší vlastnosti vykazoval vzorek č.5.

Z naměřených výsledků vyplývá, že subjektivní hodnocení má své výhody, mezi ně patří možnost nastavení vlastní škály zkoumaných parametrů a pravdivý subjektivní názor probanda. Tyto skutečnosti je ale potřeba mít i laboratorně podložené, protože nelze spoléhat jen na osobní hodnocení probandů, jelikož každý nositel má rozdílné pocity. Z testování lze odvodit, že pro různé situace je možnost zvolit pouze subjektivní nebo pouze objektivní testování a někdy je zapotřebí kombinace metod.

V druhé části byl popsán objektivní způsob testování pomocí destruktivních i nedestruktivních metod pomocí přístrojů Alambeta, přístroj na měření doby sušení, Permetest a Moisture management testeru. Tyto metody byly použity pro testování fyziologických vlastností – výparný odpor, tepelná jímavost, OMMC (celkový ukazatel managementu vlhkosti) a doba sušení.

Na základě naměřených dat a výsledků z experimentální části lze tedy doporučit kombinaci subjektivního testování a testování paropropustnosti na přístroji Permetest, tento postup lze ale použít pouze v případě, kdy je možnost testování celých oděvních výrobků. V případě kdy není možnost testování celých oděvů, ale pouze vzorků, lze doporučit kombinaci metod testování doby sušení a měření maximálního rádiusu zavlhčení.

Pokud by byl nově testovaný výrobek určen pro jiné než sportovní účely, musely by být jinak specifikované dotazníkové otázky a musely by být přidány další týkající se komfortu oděvu. To už není záležitostí této bakalářské práce, ale předmětem dalšího potenciálního výzkumu.

Literatura

- [1] OREL, Miroslav. Anatomie a fyziologie lidského těla: pro humanitní obory. Praha: Grada, 2019. Psyché (Grada). ISBN 978-80-271-05311.
- [2] HÜBSCHMANN, Karel. Kůže, orgán lidského těla. Praha: Academia, 1972. Nové obzory vědy, Sv. 13.
- [3] TREKING, [online]. [cit.28.3.2022]. Dostupné z: <https://www.treking.cz/testy/termopradlo.htm>
- [4] HES, Luboš a Petr SLUKA. Úvod do komfortu textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.TUL, Katedra oděvnictví, Komfort [online] [cit. 28. 3. 2022]. 2012. dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska6_2012.pdf
- [5] HOLEČEK, Oldřich. Sušení [online] [cit. 10. 3. 2022]. Praha: Ústav chemického inženýrství, 2011 Dostupné z: <http://www.vscht.cz/uchi/ped/labchi/S.pdf>
- [6] AXAMIT, Petr. Fyziologie odívání I: Výbor z výzkumných prací SVÚT, Svazek 5. Liberec: Státní výzkumný ústav textilní Liberec, 1980. 118 s.
- [7] APURBA DAS, R. Alagirusamy Science in clothing comfort, 2010. New Delhi : Woodhead Pub. India, ISBN 978-1-84569-789-1
- [8] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar, 2003. Oděvní materiály. Liberec: Technická univerzita. ISBN 80-708-3682-2.
- [9] HORNÍČEK, Petr, 2002. Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla [online] [cit. 28. 3. 2022]. Technická univerzita v Liberci
- [10] JIRÁK, Zdeněk a Bohumil VAŠINA. Fyziologie a psychologie práce. 2. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. isbn978-80-7368-610-9.

- [11] AATCC Test Method 199-2011. Drying Time of Textiles: Moisture Analyzer Method. USA: AATCC Committee RA63
- [12] PEŠÁNOVÁ, T. Hodnocení kombinovaného přestupu tepla a vlhkosti. Liberec, 2016. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta Textilní. Vedoucí práce Ing. Petra Komárková, Ph.D.
- [13] HLOCH, S., SODOMKA, L., VALÍČEK, J., RADVANSKÝ, A.: Struktura, vlastnosti, diagnostika a technologie textilií. 1. vyd. Prešov 2006. ISNB 80- 8073-668-5
- [14] HEINISCH, K problematice sušících křivek jako parametru komfortu, Liberec, 2020. Dizertační práce
- [15] STANĚK, Jaroslav. Nauka o textilních materiálech. Díl 1., Část 4., Vlastnosti délkových a plošných textilií. 1. vyd. Liberec: VŠST, 1988.
- [16] Sportisimo [online] [cit. 28. 3. 2022]. Dostupné z: https://www.sportisimo.cz/klimatex/?vse=1&gclid=Cj0KCQjw4PKTBhD8ARIsAHChzRIUOtbLzC7ClObYId_fvA4ceehRcpbHt3ubEsNOq9KjEBhhsQRgGQ0aAt5MEALw_wcB

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Pocity fyzického klidu podle teploty kůže [13]	15
Obrázek 2 Přenos tepla kondukcí [4].....	17
Obrázek 3 Přenos tepla prouděním [4]	18
Obrázek 4 Schéma přístroje PERMETEST [4]	24
Obrázek 5 Schéma přístroje Alambeta[4].....	25
Obrázek 6 Schéma řezu přístroje pro měření rychlosti sušení [15].....	25
Obrázek 7 (a) schéma z boku přístroje a (b) fotografie přístroje [15]	26
Obrázek 8 Moisture Management Tester [13].....	27
Obrázek 9 Popis fází sušení [6]	29
Obrázek 10 Kvalitativní závislosti obsahu vlhkosti v materiálu [6].....	30
Obrázek 11 Klimatex Kevin [16].....	34
Obrázek 12 Klimatex Gator [16]	35
Obrázek 13 Klimatex Brian [16]	35
Obrázek 14 Klimatex Croul [16]	36
Obrázek 15 Klimatex Azal [16].....	36
Obrázek 16 Klimatex Krystof [16]	37
Obrázek 17 Graf porovnání subjektivního hodnocení probandů.....	39
Obrázek 18 Graf porovnání tepelné jímavosti u jednotlivých vzorků.....	41
Obrázek 19 Graf porovnání materiálů z hlediska paropropustnosti	42
Obrázek 20 Graf Porovnání rychlosti sušení jednotlivých vzorků	43
Obrázek 21 Sušící křivky jednotlivých vzorků.....	44
Obrázek 22 Graf porovnání vzorků pomocí MMT.....	45
Obrázek 23 Maximální rádius zavlhčení vzorků	46
Obrázek 24 Graf porovnání subjektivního hodnocení s hodnocením paropropustnosti. 48	
Obrázek 25 Graf porovnání hodnocení doby sušení s maximálním rádiusem zavlhčení49	

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výsledky subjektivního testování hodnotitelů.....	39
Tabulka 2 Porovnání vzorků měřených pomocí perimetru	47

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 1

Vzorek č.1	Hodnotitel 1	Hodnotitel 2	Hodnotitel 3
Lepivost za mokra	4	3	4
Škrábavost za sucha	5	5	3
Škrábavost za mokra	4	3	4
Pocit chladu za mokra	5	4	5
Přiléhavost	3	2	3
Množství potu na těle	5	4	4

Vzorek č.2	Hodnotitel 1	Hodnotitel 2	Hodnotitel 3
Lepivost za mokra	2	3	3
Škrábavost za sucha	5	4	4
Škrábavost za mokra	5	4	5
Pocit chladu za mokra	4	3	3
Přiléhavost	3	4	2
Množství potu na těle	5	3	4

Vzorek č.3	Hodnotitel 1	Hodnotitel 2	Hodnotitel 3
Lepivost za mokra	2	3	3
Škrábavost za sucha	4	4	5
Škrábavost za mokra	3	4	3
Pocit chladu za mokra	4	4	5
Přiléhavost	3	2	4
Množství potu na těle	5	3	4

Vzorek č.4	Hodnotitel 1	Hodnotitel 2	Hodnotitel 3
Lepivost za mokra	2	2	3
Škrábavost za sucha	4	5	5
Škrábavost za mokra	5	3	4
Pocit chladu za mokra	3	3	2
Přiléhavost	5	4	4
Množství potu na těle	2	3	3

Vzorek č.5	Hodnotitel 1	Hodnotitel 2	Hodnotitel 3
Lepivost za mokra	2	3	3
Škrábavost za sucha	4	4	5
Škrábavost za mokra	3	3	4
Pocit chladu za mokra	1	1	2
Přiléhavost	3	3	3
Množství potu na těle	2	2	2

Vzorek č.6	Hodnotitel 1	Hodnotitel 2	Hodnotitel 3
Lepivost za mokra	3	3	4
Škrábavost za sucha	4	4	5
Škrábavost za mokra	4	4	5
Pocit chladu za mokra	2	3	2
Přiléhavost	4	3	3
Množství potu na těle	2	2	3

PŘÍLOHA 2

