

Obsah

Úvod.....	13
Teoretická část	14
1 Fyziologický komfort.....	15
1.1 Dělení komfortu	15
1.2. Soustava organismus – oděv – prostředí.....	16
1.3. Tepelná rovnováha organismu	17
1.4 Termoregulace	19
1.4.1 Kondukce	20
1.4.2 Konvekce	21
1.4.3 Radiace.....	22
2 Odvod vlhkosti z povrchu lidského těla.....	24
2.1 Odvod plynné vlhkosti z povrchu lidského těla.....	24
2.1.1 Přenos plynné vlhkosti vedením	24
2.1.2 Přenos plynné vlhkosti prouděním.....	25
2.2 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla	26
2.2.1 Difúze.....	26
2.2.2 Kapilární odvod.....	27
2.2.3 Sorpce.....	28
3 Hodnocení termo-fyziologického komfortu tepelným manekýnem	29
3.1 Vývoj tepelného manekýna.....	29
3.2 Kontabilita figurín.....	30
3.3 Tepelná figurína NEWTON.....	31
3.3.1 Tepelný manekýn TIMMY	32
3.4 Výpočetní hodnocení	34
4 Hodnocení tepelného a výparného odporu SGHP.....	36
4.1 Zařízení	36
4.2 Měření tepelného odporu a výpočetní hodnocení	37
4.3 Měření výparného odporu a výpočetní hodnocení.....	38
5 Hodnocení přenosu vodní páry FX 3180 CupMaster.....	40
6 Hodnocení prodyšnosti vzduchu	42
7 Hodnocení managementu kapalné vlhkosti.....	44
7.1 Princip měření	44
7.2 Hodnocení jednotlivých ukazatelů.....	45

7.2.1	Doba navlhčení [s]	45
7.2.2	Savost	45
7.2.3	Maximální rádius navlhčení	46
7.2.4	Rychlost šíření roztoku textilie	47
7.2.5	Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny	47
7.2.6	Celkový ukazatel managementu vlhkosti (OMMC)	48
7.3	Celkové vyhodnocení	49
8	Výzkumy tepelného odporu a metody hodnocení s využitím tepelného manekýna	52
	Experimentální část	58
9	Cíle práce	59
10	Tepelný manekýn	63
10.1	Oděvní soubor pro měření na tepelném manekýnovi	63
10.2	Hodnocení tepelného odporu	64
10.2.1	Tepelný odpor celého oděvu	66
10.2.2	Tepelný odpor jednotlivých zón	67
10.3	Hodnocení výparného odporu	70
10.3.1	Výparný odpor celého oděvu	71
10.3.2	Výparný odpor jednotlivých zón	72
10.4	Hodnocení hustoty tepelného toku	75
11	Sweating Guarded Hot Plate	79
11.1	Hodnocení tepelného odporu	79
11.2	Hodnocení výparného odporu	80
12	FX 3180 Cup Master	82
13	Air permeability tester	84
14	Moisture management tester	86
15	Porovnání výsledků tepelného a výparného odporu naměřených na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP	89
15.1	Porovnání výsledků korelací	89
15.2	Grafické porovnání výsledků	89
	Diskuse výsledků	92
	Závěr	95
	Zdroje	97
	Seznam obrázků	100
	Seznam tabulek	101
	Seznam příloh	102

Úvod

Základní potřeby člověka jsou potrava, ošacení a přístřeší. Po splnění první potřeby člověk hledá druhou důležitou potřebu a tou je ošacení [1].

Oděv jako takový zastává funkci ochranného systému, ve kterém dochází k prostupu tepla a vlhkosti, a který závisí na konstrukci střihu, použitém materiálu a ostatních parametrech oděvu [2].

V minulosti bylo zvykem, že si člověk oblékl s rostoucí nepřízní počasí více a více vrstev. Se vznikem funkčního oblečení vznikl třívrstvý systém, jenž tvoří pro tělo ideální prostředí chránící před náročnými klimatickými vlivy [3].

Spodní nebo funkční prádlo nemusí být nutně určeno jen do náročných klimatických podmínek. Je vhodné jej používat k fyzickým nebo sportovním aktivitám. Používat spodní/funkční prádlo doporučují nejen obchody, ale vyžadují jej i některé sporty.

Jedním z výrobců spodního a funkčního prádla je firma Pleas. Její spodní prádlo je vyráběno z bavlny nebo syntetických materiálů, jako jsou polyamid či polyester, nebo kombinací obou. Funkční prádlo je pak vyráběno kombinací syntetických materiálů, nebo kombinací přírodního a syntetického materiálu či speciálně upravených materiálů [4].

Výběr materiálu byl proto uzpůsoben účelu použití. Byly tedy zvoleny materiály, které jsou běžně určeny k výrobě spodního nebo funkčního prádla, a jsou tedy v přímém kontaktu s pokožkou.

Předpokladem materiálů je, že budou zadržovat teplo a odvádět pot od pokožky. Proto bude především hodnocen tepelný a výparný odpor. Na základě těchto hodnocení je vyhodnocen termo-fyziologický komfort.

Měření tepelného a výparného odporu jsou prováděna na dětském tepelném manekýnovi, který je zkonstruován podle desetiletého dítěte. Na tepelném manekýnovi je hodnocen tepelný tok, vzorky jsou měřeny formou oděvu. Dále je využit přístroj SGHP (Sweating Guarded Hot Plate), jenž měří tepelný a výparný odpor materiálu v ploše. Dále je hodnocena prodyšnost, propustnost vodních par a management kapalné vlhkosti.

Teoretická část

1 Fyziologický komfort

Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly [2]. Fyziologický komfort lze vyjádřit jako odezvu lidského těla na danou kombinaci oděvu a prostředí [5]. Dále je fyziologický komfort nutný k zajištění správné ochrany člověka před nebezpečným okolním prostředím. Spolu s ochranou by měl oděv rozptýlit metabolické teplo a potní páry z těla do okolního prostředí a tím přispět k termo-fyziologickému pohodlí nositele [6]. To lze vypočítat ze znalosti snadno měřitelných faktorů, jako jsou tepelný odpor a odolnost oděvu vůči vlhkosti, klimatické podmínky a úroveň fyzické aktivity [5].

1.1 Dělení komfortu

Komfort je dělen na psychologický, senzorický, termo-fyziologický a patofyziologický [2].

Psychologický komfort lze dále rozdělit podle různých hledisek, a to z hlediska klimatických, ekonomických, historických, kulturních, sociálních a individuálních podmínek.

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Tyto pocity mohou být příjemné, nebo dráždivé.

Komfort patofyziologický popisuje stav, jenž se týká působení chemických substancí zahrnutých v materiálu, z něhož je oděv zhotoven, a mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce.

Termo-fyziologický komfort je hodnocen jak pro specializované oděvy, tak i pro oděv běžné potřeby. Jeho hodnocení je důležité pro oba tyto typy, protože oba mohou omezovat rozptýl metabolického tepla a potní páry z těla do okolního prostředí, což může způsobit tepelné zatížení [6].

Termo-fyziologický komfort nastává za optimálních podmínek, které jsou:

- Teplota pokožky 33–35 °C
- Relativní vlhkost vzduchu 50 ± 10 %
- Rychlost proudění vzduchu $0,25 \pm 0,1$ m/s

- Obsah CO₂ je 0,07 %
- Nepřítomnost vody na pokožce [2].

Dále je možné rozdělit pocit fyzického komfortu do dvou kategorií:

- a) Tepelný komfort lokální.
- b) Tepelný komfort celého těla [7].

V těchto podmínkách nemusí organismus regulovat teplotu lidského organismu, tím nedochází k termoregulaci.

Je to stav, ve kterém člověk vydrží pracovat velmi dlouho; je to stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a okolím [2].

1.2. Soustava organismus – oděv – prostředí

Oděv je nedílnou součástí lidského život. Mezi jeho funkce patří především ochranná, ale také ozdobná, vyjadřuje rovněž postavení člověka ve společnosti. Dobře padnoucí a módní oblečení může dodat svému nositeli pocit důstojnosti, spokojenosti.

Primární úlohou oděvu je však vrstva/vrstvy bariér, které ochraňují tělo proti nestálému fyzickému prostředí [5].

Oděv často vytváří oděvní systém, který je složen z několika oděvních mezivrstev. V detailním pohledu je každá oděvní mezivrstva jako základní jednotka oděvního systému složena z vrstvy volného vzduchu, vrstvy textilie a z vrstvy vzduchu uzavřeného v textili. Tyto tři vrstvy nelze uvažovat nezávisle na sobě z toho důvodu, že všechny transportují teplo, vlhkost a vzduch tak, že stav a fyzikální vlastnosti jedné vrstvy ovlivňují stav a vlastnosti vrstvy druhé, resp. třetí a opačně [2].

Lidské oblečení lze považovat za otevřený systém, který je vždy ve stavu dynamické interakce s okolním prostředím ve fyzických, smyslových, psychologických a informačních prostředcích. V tomto systému existuje mnoho procesů, které probíhají interaktivně a které určují stav pohodlí nositele:

- Fyzikální procesy v oděvu a okolním prostředí, jako jsou přenos tepla a vlhkosti v oděvu, mechanické interakce mezi oděvem a tělem a odraz světla oděvem, které poskytují fyzické podněty/signály tělu.

- Fyziologické procesy v těle, jako jsou tepelná rovnováha organismu a jeho termoregulační odezvy a dynamické interakce s oblečením a prostředím, které určují fyziologický stav těla a jeho přežití v kritických podmínkách.
- Neurofyziologické procesy, tj. fyziologické mechanismy smyslového přijímacího systému těla, s jejichž pomocí jsou smyslové signály formulovány z interakcí těla s oblečením a okolním prostředím.
- Psychologické procesy jsou procesy mozku, které tvoří subjektivní vnímání smyslových vjemů z neurofyziologických senzoričtých signálů a formulují subjektivní celkové vnímání a preference hodnocením a zvážením různých smyslových vjemů proti minulým zkušenostem a vnitřním tužbám [5].

1.3. Tepelná rovnováha organismu

Lidské tělo je tepelný stroj, který vytváří své vlastní teplo, přijímá teplo z okolí a odvádí teplo do svého okolí [2].

Tepelná bilance celého těla je určena celkovými klimatickými a oděvními podmínkami. Primární složkou je zachování „pohodlné“ lokální teploty kůže [7].

Tepelná bilance organismu, která je vyjádřena v jednotkách tepelného výkonu vztaženého pro jednotku povrchu těla A neboli v jednotkách tepelného toku q [W/m^2], je vyjádřena rovnicí (1):

$$(M - L)/A_{Du} \pm q_{\text{vedením}} \pm q_{\text{prouděním}} \pm q_{\text{zářením}} - q_{\text{ins}} - q_{\text{resp}} - q_{\text{persp}} \pm q_{\text{akum}} = 0 \quad (1)$$

A_{Du} [m^2] povrch lidského těla podle Duboise,

M [W] celkový metabolický výkon,

L [W] pracovní výkon,

$q_{\text{vedením}}$ [W/m^2] přenos tepla vedením, důležitý při sezení či ležení,

$q_{\text{prouděním}}$ [W/m^2] přenos tepla prouděním, prouděním vzduchu kolem povrchu oděvu nebo pokožky,

$q_{\text{zářením}}$ [W/m^2] přenos tepla zářením, dosahuje až 30% z celkového tepelného toku,

q_{ins} ochlazování nepatrným neustálým, ale nevnímaným odpařováním z kožních pórů,

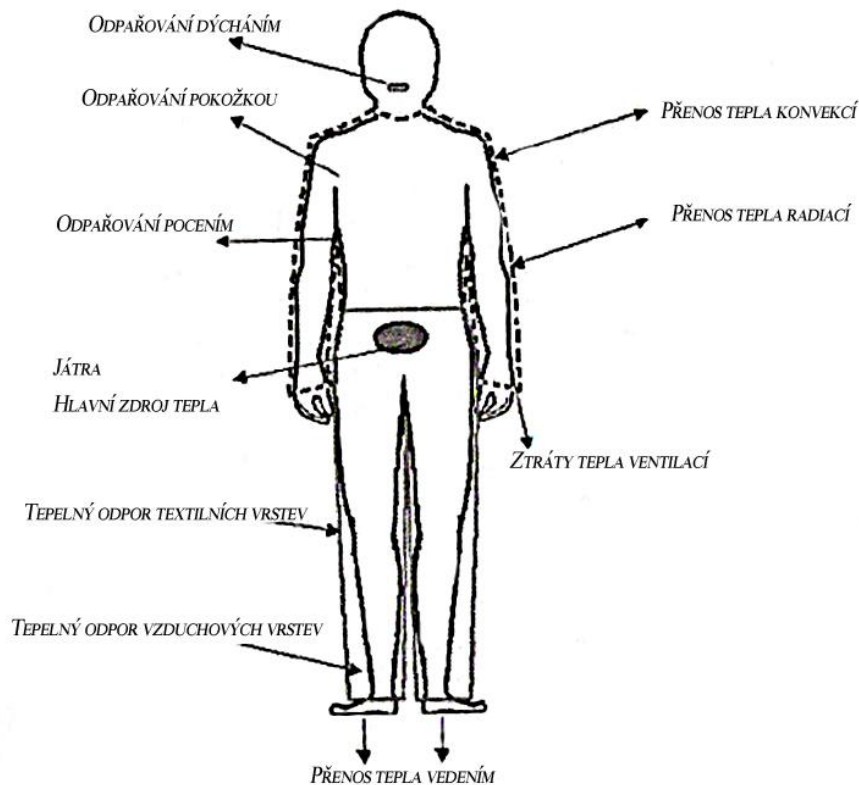
q_{resp} intenzivní ochlazování pomocí hlavních potních žláz,

q_{persp} ochlazování odparem na vnitřním povrchu plic,

q_{akum} změna akumulovaného tepla při náhlé změně teploty prostředí.

Přenos tepla prouděním, vedením a zářením je závislý na konstrukci oděvu.

Obr. 1 zobrazuje uplatněné mechanismy přenosu tepla [2].



Obr. 1.: Tepelná soustava: organismus – oděv – prostředí [2]

1.4 Termoregulace

Termoregulace vyjadřuje schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu i přesto, že produkce tepla, jeho příjem i ztráty nepřetržitě kolísají. Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je nasměrován k udržení stálosti vnitřního prostředí na principu rovnováhy mezi množstvím tepla, jež vytvoří organismus, a množstvím tepla, jež je odevzdáváno do okolního prostředí.

K přenosu tepla mezi organismem a okolím dochází následujícími způsoby:

- Kondukcí (vedením);
- Konvekcí (prouděním);
- Radiací (zářením).

[2]

1.4.1 Kondukce

Kondukcí ztrácíme teplo, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Jde o přenos tepla chodidly, zadní částí těla při sezení či spánku, ale vedení tepla je také hlavní mechanismus přenosu tepla ve slabých vrstvách v oděvních systémech.

Tok tepla vedení je vyjádřen Fourierovým zákonem (2):

$$q = -\lambda * \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

q [W/m^2] je tepelný tok,

λ [$\text{W}/\text{m}^*\text{K}$] je tepelná vodivost,

$\frac{\Delta t}{\Delta x}$ je teplotní gradient.

Tepelná vodivost různých materiálů se velmi liší. Polymery všeobecně vykazují nižší tepelnou vodivost v intervalu 0,2 – 0,4 [$\text{W}/\text{m}^*\text{K}$]. Klidný vzduch při teplotě 20 °C má tepelnou vodivost 0,026 [$\text{W}/\text{m}^*\text{K}$], zatímco tepelná vodivost vody je 0,6 [$\text{W}/\text{m}^*\text{K}$], to je asi 25× více. Proto je přítomnost vody v textiliích nežádoucí.

Dalším důležitým vztahem (3) při hodnocení tepelného komfortu je vztah pro tepelný odpor R [$\text{m}^2*\text{K}/\text{W}$] deskových materiálů, jako jsou plošné textilie, tenké vzduchové vrstvy a jiné plošné materiály o tloušťce h [m]:

$$R = h/\lambda \quad (3)$$

Tepelný odpor vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima pro $h = 5$ mm.

U silnějších vrstev se uplatňuje volné konvekce a tepelný odpor klesá.

Celkový tok tepla Q^* [W] je dán rovnicí (4):

$$Q^* = \Delta t * A_{CL}/R_{TOT} \quad (4)$$

Δt je teplotní gradient,

A_{CL} vyjadřuje plochu oděvu.

R_{TOT} je tepelný odpor, který je dán vztahem (5):

$$R_{TOT} = R_{CL} + R_E \quad (5)$$

R_{CL} je celkový tepelný odpor oděvu;

R_E je odpor tzv. vnější mezní vrstvy.

[2]

1.4.2 Konvekce

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Teplo je transportováno částicemi tekutin pohybujícími se rychlostí v [m/s]. Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelně mezní vrstva o tloušťce δ , ve které se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při tzv. laminárním proudění tekutiny a nižší v případě turbulentního proudění, kdy trajektorie drah jednotlivých částic nezachovávají svůj původní směr a vzájemně se mísí.

Tepelný tok q (6) přenášený jakýmkoli druhem proudění vyjadřuje Newtonův zákon:

$$q = \alpha_c * (t_1 - t_2) \quad (6)$$

α_c [W/m²*K] je koeficient přestupu tepla.

Teplotní spád na tepelné mezní vrstvě při přestupu tepla prouděním je důsledkem tzv. vnějšího tepelného odporu $R_{\text{mezní vrstvy}} = R_E$, který musí být zahrnut do celkového tepelného odporu R_{TOT} . R_E lze stanovit ze vztahu (7):

$$R_E = \frac{1}{\alpha} \quad (7)$$

V oděvních systémech se část tepla přenáší i zářením, což lze zahrnout lineárním koeficientem přestupu tepla zářením α_c [2].

1.4.3 Radiace

Záření představuje elektromagnetické vlnění, které se šíří prostorem o rychlosti $c = 300\,000\,000$ m/s. Tomuto záření lze přiřadit frekvenci záření o délce vlny λ podle vztahu (8):

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (8)$$

Podle vlnových délek se rozlišuje záření gama, rentgenové záření, extrémní ultrafialové, ultrafialové optické, infračervené, submilimetrové, mikrovlnné a radiové záření. Na povrch Země dopadá ultrafialové záření UVA a UVB, infračervené paprsky a viditelné světlo. Při dopadu může dojít k odrazu záření, k jeho pohlcení nebo k průchodu záření objektem. Energetická bilance je vyjádřena rovnicí (9):

$$E = E_p + E_\alpha + E_\tau \quad (9)$$

E je hustota zářivého toku dopadajícího,

E_p je hustota zářivého toku odraženého,

E_α je hustota zářivého toku absorbovaného,

E_τ je hustota zářivého toku prošlého objektem.

Úpravou rovnice a zavedením označení reflektance ρ , absorpance α a transmitance τ vznikne následující rovnice (10):

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (10)$$

Reflektance udává poměr množství světla odraženého od objektu k celkovému množství světla dopadajícího na objekt.

Absorbance udává poměr množství světla absorbovaného v objektu k celkovému množství světla, které dopadá na objekt.

Transmitance udává poměr množství světla procházejícího objektem k celkovému množství světla dopadajícího na objekt.

Tok tepla, který prostupuje skrz oděvní vrstvy pomocí infračerveného záření, představuje 25% celkového tepelného toku. Tepelný tok q [W/m^2] přenášeného IR (infračervené záření) mezi dvěma oděvními vrstvami lze vyjádřit rovnicí (11):

$$q = \sigma(T_1^4 - T_2^4) / \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \quad (11)$$

σ je radiační konstanta nabývající hodnoty $5,67 \cdot 10^{-8}$,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ jsou hodnoty emisivity,

T_1, T_2 jsou teploty.

Dále je důležitý vztah (12), který slouží k výpočtu tepelného toku, jenž je přenášen mezi objektem a rozlehlým vzdáleným okolím:

$$q = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad (12)$$

[2]

2 Odvod vlhkosti z povrchu lidského těla

2.1 Odvod plynné vlhkosti z povrchu lidského těla

Vlhkost ve formě vodní páry může být přenášena vedením a prouděním. Hnací silou je gradient mezi koncentrací nasycené páry/tlakem p_{WSAT} [Pa] na povrchu lidské pokožky a aktuální koncentrací vodní páry jejím parciálním tlakem p_{WE} [Pa] v okolním prostředí. Relativní vlhkost ϕ [%] je dána opačným poměrem těchto tlaků a násobená 100×.

Odpar vlhkosti z povrchu kůže je odváděn tepelným tokem dle vztahu (13):

$$q = m * L \quad (13)$$

q [W/m²] je tepelný tok,

m^* [kg/m²s] je odpar vlhkosti,

L [J/kg] je výparné teplo vody.

Při teplotě 20 °C dosahuje výparné teplo hodnoty přibližně 2 400 000 J/kg. Tato hodnota výparného tepla umožňuje dosáhnout jisté úrovně termo-fyziologického komfortu dokonce i při vysokých teplotách, ale pouze pokud je relativní vlhkost ϕ nižší než 60–70 %. Když relativní vlhkost vzduchu ϕ překročí 90 %, žádný stav komfortu při teplotě vzduchu nad 35 °C není dostupný [2].

2.1.1 Přenos plynné vlhkosti vedením

K přenášení plynné vlhkosti vedením dochází v případě, pokud je oděvní systém uzavřen, mezery mezi textilními vrstvami jsou malé a oděv je málo prodyšný. Prodyšnost lze vyjádřit vztahem (14):

$$m^* = -D_p * (p_{WSAT} - p_{WE})/h \quad (14)$$

m^* [kg/m²s] je množství páry,

h [mm] je tloušťka,

D_p [kg/m²*s*Pa] je difúzní koeficient,

p_{WSAT} [Pa] je parciální tlak nasycený,

p_{WE} [Pa] je parciální tlak.

[2]

2.1.2 Přenos plynné vlhkosti prouděním

Vztah (15) pro přenos plynné vlhkosti prouděním je podobný Newtonovu zákonu pro přenos tepla konvekcí:

$$m^* = \beta_p * (p_{WSAT} - p_{WE}) \quad (15)$$

m^* [kg/m²s] množství páry,

p_{WSAT} [Pa] je nasycený parciální tlak,

p_{WE} [Pa] je parciální tlak.

kde β_p je vyjádřen vztahem (16):

$$\beta_p = \beta_c * M_W / RT \quad (16)$$

β_p [kg/m²*s*Pa] je koeficient přestupu vlhkosti prouděním,

M_W [g/mol] je molární koncentrace vodní páry,

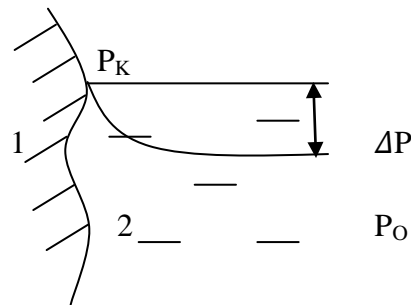
R [J/mol/m³] je obecná plynová konstanta,

T [K] je absolutní teplota vodní páry.

[2]

2.2 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Lidský organismus v rámci své termoregulační činnosti vyrábí vodu ve formě potu. Při teplotách kůže do 34 °C lidské tělo uvolňuje do okolí přibližně 0,03 l/h potu. Pokud je teplota kůže vyšší, hodnota vyprodukovaného potu může být až 0,7 l/h. Ochlazovací efekt vznikne pouze při odpařování potu. U volného povrchu kůže je jedinou podmínkou odparu dostatečný rozdíl parciálních tlaků páry. Obr. 2 zobrazuje odvod kapalné vlhkosti z volného povrchu kůže [2].



Obr. 2.: Odvod kapalné vlhkosti [2]

1 – pokožka,

2 – venkovní vzduchová vrstva,

$\Delta P = P_K - P_O$; spád parciálního tlaku,

P_K – parciální tlak páry u pokožky,

P_O – parciální tlak páry v okolním vzduchu.

U oblečeného člověka se transport vlhkosti řídí principy difúze, kapilárním principem nebo sorpcí. Všechny tři mechanismy se transportu vlhkosti zúčastňují současně. Nejrychlejší mechanismus transportu je kapilární a difúzní odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla, na posledním místě je sorpční [2].

2.2.1 Difúze

Difúzní prostup vlhkosti z povrchu kůže přes textilii je realizován díky pórům, jež svou velikostí a křivolakostí se zúčastní na kapilárním odvodu.

Vlhkost prostupuje textilií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difúzní odpor jednotlivých oděvních vrstev je sčítán, přičemž důležitou roli hraje odpor vzduchových mezivrstev. Difúzní prostup vlhkosti lze vyjádřit rovnicí (17):

$$m^* = -D_p * \frac{p_{WSAT} - p_{WE}}{h} = (p_{WSAT} - p_{WE})/R_{WP} \quad (17)$$

kde R_{WP} je vyjádřen rovnicí (18):

$$R_{WP} = h/D_p \quad (18)$$

m^* [kg/m²s] je množství páry,

h [mm] je tloušťka,

D_p [kg/m*s*Pa] je difúzní koeficient,

p_{WSAT} [Pa] je parciální tlak nasycený,

p_{WE} [Pa] je parciální tlak,

R_{WP} je odpor proti průchodu vodní páry porézním prostředím.

[2]

2.2.2 Kapilární odvod

Kapalný pot ulpívající na kůži je v kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry. Jedná se o tzv. knotový efekt. Kapilární tlak ΔP , způsobující tok kapalné vlhkosti obecně od velkých pórů, je vyjádřen rovnicí (19):

$$\Delta P = 2\gamma * \left[\left(p_r * \frac{\cos r}{r} \right) - \left(p_R * \frac{\cos R}{R} \right) \right] \quad (19)$$

ΔP [Pa] je kapilární tlak,

R je poloměr velkých pórů,

r je poloměr malých pórů,

γ je povrchové napětí vody,

$\cos_{R,r}$ je konstantní úhel,

p je zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů.

Pro dosažení intenzivního odvodu vlhkosti musí být struktura příze kompaktní a prostor mezi speciálně tvarovanými vlákny co nejmenší. Zároveň musí být adheze mezi kapalinou a vláknem dostatečně malá, aby výsledný silový účinek preferoval pohyb vlhkosti [2].

2.2.3 Sorpce

Sorpční proces odvodu kapalné vlhkosti je nejpomalejší a je podmíněn použitím textilie, která alespoň částečně obsahuje sorpční vlákna. Tento proces nejdříve předpokládá vznik vlhkosti nebo kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a poté navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře [2].

3 Hodnocení termo-fyziologického komfortu tepelným manekýnem

Obecně je termo-fyziologický komfort oblečení hodnocen pomocí různých typů tepelných figurín, jež napodobují podmínky srovnatelné s lidským tělem a simulují tvorbu metabolického tepla a potu [6]. V některých případech je tepelný manekýn schopen i omezeného jednoduchého pohybu [2]. Oděv je oblečen na figurínu, aby se vyhodnotil tepelný odpor a odolnost oděvu vůči propouštění par. Tento odpor přenosu tepla a potní páry je obecně reprezentován tepelným odporem a odpařovacím odporem daného oděvu [6].

3.1 Vývoj tepelného manekýna

Má se za to, že slovo manekýn/figurína pochází z nizozemského slova „Manneken“, malého muže. Ve francouzštině „manekýn“ mohl znamenat kloubovou dřevěnou maketu.

První figurína „Manichino“ se historicky objevila ve Florencii v Itálii zhruba koncem 15. století. Tato figurína byla použita jako referenční nástroj pro výuku základů kresby lidské postavy [7]. V polovině 18. století byly ve Francii představeny proutěné figuríny, které se používaly ve výkladech obchodů. V polovině 19. století byly ve Francii představeny první módní figuríny [6].

První termická figurína byla vyrobena pro americkou armádu na počátku 40. let 20. století [8] a použita pro výzkum vnitřního klimatu. Před zavedením figurín byla tepelná izolace textilie hodnocena pomocí jednorozměrných plochých desek s chráněným prstencem a volně dimenzovaného válce. Během druhé světové války byla vysoká poptávka po ochranném oděvu. Nebylo však prováděno žádné kvantitativní vyhodnocení oděvního komfortu. Aby se dosáhlo vyčíslitelných výsledků, bylo třeba vyvinout standardní lidské tvary pro měření ochranného výkonu a tepelné izolace oděvu [6].

Statická tepelná figurína poskytující zkušební hodnoty není vhodná pro skutečné podmínky uživatele. Figuríny byly proto konstruovány s klouby, které umožňovaly, aby figurína seděla nebo byla neustále pohyblivá, tj. prováděla „chodící“ nebo „cyklické“ pohyby.

Několik nových figurín v provozu může simulovat lidské pocení a poskytovat cenné informace o výměně tepla odpařováním.

Rostoucí frekvence používání figurín ve výzkumu vnitřního klimatu vedla k vývoji figuríny, která může simulovat dýchání.

V posledních letech došlo ke dvěma trendům vývoje. Jeden je zaměřen na komplexní, sofistikované, multifunkční tepelné figuríny pro výzkum a pokročilé testování. V opačném směru je trend směřován k jednoduchým, ale přesným a spolehlivým figurínám, které jsou levné a mohou být použity například pracovníky v oblasti hygieny nebo menších firem, které vyrábějí oděvy.

Figuríny jsou využívány ve dvou hlavních oblastech:

- 1) Stanovení vlastností přenosu tepla oděvu;
- 2) Posouzení vlivu tepelného prostředí na lidské tělo [8].

3.2 Kontabilita figurín

Termická figurína je lidská forma navržená a používaná pro hodnocení tepelného prostředí nebo výkonu oděvu v daných podmínkách. Od uvedení na trh se tepelné figuríny používají ve výzkumu a vývoji více než 90 let [6].

Figuríny se liší například velikostí, tvarem, počtem segmentů a regulačním režimem. Opakovatelnost měření tepelné izolace v jedné laboratoři pro specifický vzorek je obvykle v rozmezí 2 –4 %, zatímco reprodukovatelnost mezi laboratořemi je v rozmezí 5 –10 %. Budoucí normy však vyžadují podrobnou specifikaci figurín, měřicích přístrojů a postupů a podmínek prostředí [8]. Mezi hlavní aplikace tepelných figurín patří hodnocení termo-fyziologických vlastností komfortu [6].

Existují dvě hlavní aplikace pro figuríny, a to stanovení vlastností přenosu tepla a posouzení dopadu tepelného prostředí na lidské tělo. Tepelná figurína působí jako senzor ve tvaru lidského těla a měří konvenční, radiální a kondukční vedení tepla ve všech směrech po celé ploše nebo v definované místní ploše. S vývojem počtu segmentů figuríny lze přesnost výrazně zlepšit [6].

Odpařovací odpor se přímo neměří s žádným z aktuálně dostupných potních figurín. Měřicí technika, podmínky měření a také konstrukce potních žláz se mezi jednotlivými modely liší [8].

Americká armáda během 2. světové války nejprve vyvinula figurínu pro částečné vyhodnocení termo-fyziologického komfortu oděvu. Od té doby se figuríny vyvíjejí prostřednictvím tří generací: (1) nepohyblivé a „nepotící se“; (2) pohyblivé a „nepotící se“; (3) pohyblivé a/nebo „potící se“. Ačkoli bylo během doby vyvinuto více než 100 figurín po celém světě, k hodnocení termo-fyziologického komfortu oděvu se široce využívá sedm typů třetí generace. Jsou to: finská figurína „Coppelius“, japonská figurína „Taro“, švýcarská figurína „Sam“, hongkongská figurína „Walter“, americká figurína „Adam“, japonská figurína „Kem“ a americká figurína „Newton“. Tyto figuríny jsou vyvíjeny s různými systémy pocení, technikami hodnocení rychlosti pocení a/nebo pohyblivými technikami [6].

3.3 Tepelná figurína NEWTON

Americká tepelná figurína „Newton“ byla vyvinuta v roce 2005 společností Measurement Technology Northwest, United States. Původně byla vyvinuta společností Thermetrics ve spolupráci s Loughborough University ve Velké Británii a instalována ve Výzkumném středisku lidské environmentální ergonomiky univerzity v Loughborough [6].

Tato figurína o výšce 175 cm a hmotnosti 30 kg je replikou západního nebo asijského muže. Je konstruována pomocí tepelně vodivé kompozitní skořepiny z uhlíku a epoxidu s vloženým odporovým ohřevem drátu a senzorovými dráty. Figurína „Newton“ o ploše 1,8 m² může být rozdělena na několik segmentů, a to 20, 26 nebo 34 segmentů. Obsahuje 134 potních otvorů, které jsou rovnoměrně rozděleny. Rychlost pocení každého otvoru může být ovládána ručně. Dále je figurína schopna pohybu v místech kotníků, loktů, kolen a boků, aby umožnila jakýkoli postoj těla [6].

Dále byly vyvinuty figuríny „Netwon“ ženské a dětské postavy. Figurína „Baby Ruth“ je založena na 11 segmentech a představuje typické devítiměsíční dítě. Figurína „Tommy“ replikuje 8leté dítě a je rozdělena na 15 segmentů. Figurína „Timmy“ je rozdělena taktéž na 15 segmentů a představuje 10leté dítě [6].

3.3.1 Tepelný manekýn TIMMY

Dětská tepelná figurína je navržena tak, aby umožňovala přesné a opakovatelné měření tepelného odporu oděvu za podmínek ustáleného stavu [1].

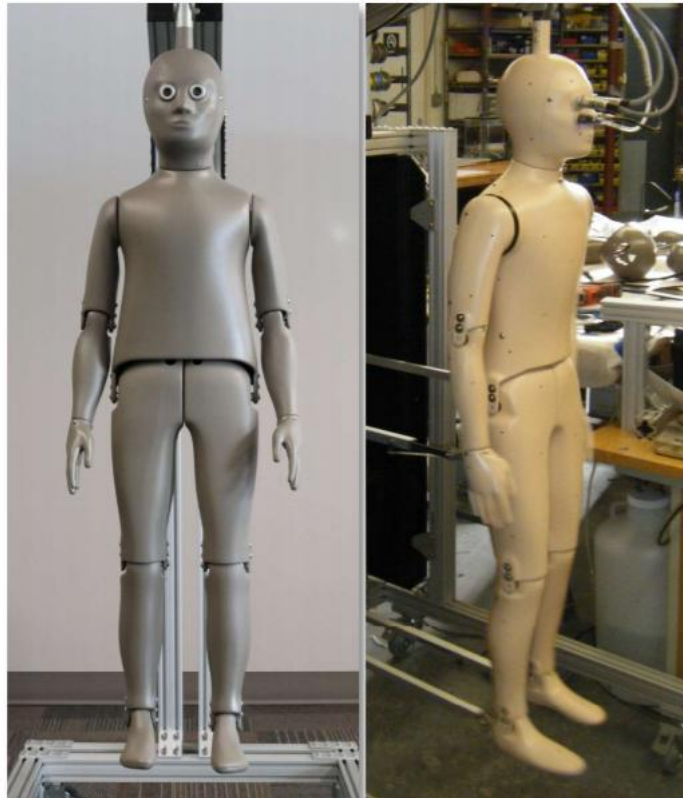
Model Thermetrics Child Thermal Manikin představuje průměrné tělesné rozměry 10letého dítěte vysokého 140 cm. Tepelný manekýn „Timmy“ obsahuje 15 tepelných zón a je vybaven plně kloubovým systémem s možností pocení a pohybu [9]. Figurína je také vybavena ohříváči a teplotními senzory, které simulují lidskou metabolickou teplotu, zatímco vyhrazený notebook Dell se softwarem ThermDAC řídí teplotu figuríny a automaticky zaznamenává data [1]. Tento manekýn je ideální pro hodnocení tepelných vlastností oděvů pro děti, doplňků a interiérového prostředí.

Je řízen podle standardu komfortu, který je v současné době používán pro hodnocení oděvů pro dospělé.

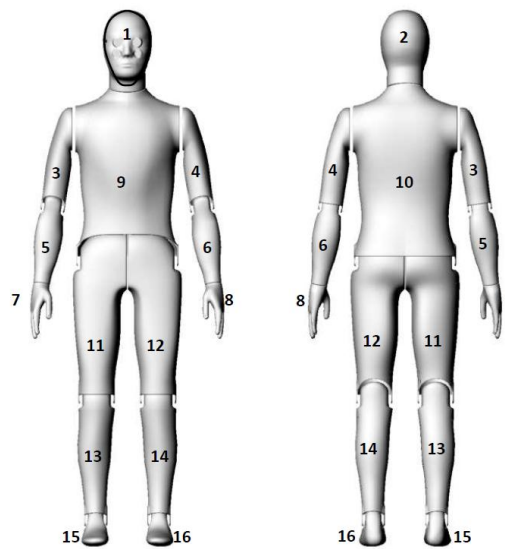
Dětská termo-figurína je vybavena:

- 15 tepelnými zónami;
- distribuovanými prvky senzorového drátu a ultra stabilním odporovým ohřevem v každé zóně;
- systémem ramen, loktů, kyčlí, kolen a kotníků;
- chodící pohyb je tvořen kompaktním motorizovaným stojanem, který také slouží jako pohodlné oblékání, zavěšení a transportní zařízení;
- systémem pocení pokožky je vybaven odnímatelným potahem kůže s počítačovým objemovým průtokem tekutiny a zásobníkem.

Systém figuríny zahrnuje přenosný počítač Dell s exkluzivním řídicím softwarem ThermDAC pro plnou regulaci teploty, který zobrazuje data v reálném čase, zaznamenává data, detekci chyb a diagnostiky [9]. Obr. 3 zobrazuje dětského tepelného manekýna TIMMYHO a obr. 4 zobrazuje schéma jeho zón.



Obr. 3.: Dětská tepelná figurína TIMMY [1]



Obr. 4.: Schéma zón tepelného manekýna [10]

3.4 Výpočetní hodnocení

Za účelem vyhodnocení tepelného odporu oděvu je třeba správně nastavit okolní podmínky figuríny nebo klimatické komory. Poté se od figuríny požaduje, aby byla oblečena příslušným oděvem, který je testován. Teplota kůže oblečené figuríny se dále stabilizuje, aby se dosáhlo ustáleného stavu, tzn. střední teplota kůže a přírůstek energie zůstávají konstantní $\pm 3 \%$.

Po dosažení ustáleného stavu se každou 1 minutu zaznamenává teplota kůže figuríny a teplota okolního vzduchu. Průměr těchto záznamů se bere po dobu 30 minut za účelem stanovení tepelného odporu. Během 30 minut se také každou 1 minutu nepřetržitě měří příkon k zahřívání figuríny.

Poté se měří tepelný odpor s povrchovou vrstvou vzduch na povrchu manekýna, a to podle následujícího vztahu (20):

$$R_t = (T_s - T_a)A/H \quad (20)$$

R_t [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor;

T_s [K] je průměrná teplota kůže;

T_a [K] je okolní teplota;

A [m^2] plocha povrchu figuríny;

H [W] je energie potřebná k zahřátí figuríny.

Zde se zdá, že značné množství zachyceného vzduchu na hranici povrchu figuríny přispívá k celkovému tepelnému odporu soupravy oblečení a vrstvy povrchového vzduchu R_T . Tedy vnitřní tepelný odpor R_{et} oděvního souboru může být označen odečtením tepelné rezistence R_a nahé figuríny od R_T na základě vztahu (21):

$$R_{cl} = R_T - \frac{R_a}{f_{cl}} \quad (21)$$

$R_{cl} [K \cdot m^2 \cdot W^{-1}]$ je vnitřní tepelná odolnost oděvu,

$R_T [K \cdot m^2 \cdot W^{-1}]$ je celkový tepelný odpor soupravy oblečení a vrstvy povrchového vzduchu,

$R_a [K \cdot m^2 \cdot W^{-1}]$ je tepelný odpor vrstvy vzduchu na povrchu nahé figuríny,

$F_{cl} [-]$ je faktor oblasti oblečení.

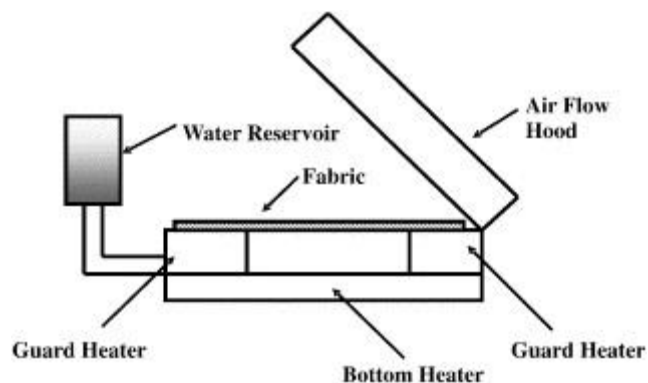
[6,10]

4 Hodnocení tepelného a výparného odporu SGHP

SGHP přístroj simuluje přenos tepla a vlhkosti z povrchu těla přes oděvní materiál do okolí. Přístroj byl navržen pro měření tepelného odporu a propustnosti vodní páry, které se vztahují k vlastnostem komfortu oděvu [11].

4.1 Zařízení

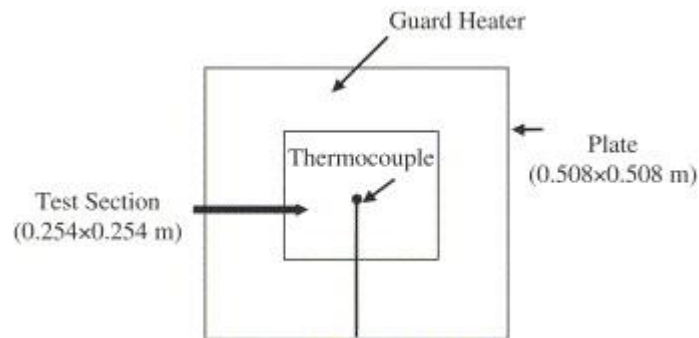
Zařízení je sestaveno z měřicí jednotky, regulátoru teploty a jednotky pro přívod vody [11]. Schéma přístroje je zobrazeno na obr. 5.



Obr. 5.: Schematický diagram SGHP [11]

Měřicí jednotka je čtvercová porézní kovová deska o tloušťce 3 mm, jež je připevněna ke kovovému bloku s topným prvkem. Testovací sekce ve středu desky je obklopena ochranným ohříváčem, který zabraňuje postrannímu úniku tepla z okrajů vzorku. Spodní ohříváč pod zkušební úsekem může zabránit ztrátě tepla směrem dolů ze zkušebního úseku a ochranného ohřívacího úseku. Toto uspořádání řídí teplo nebo vlhkost pro přenos vzhůru pouze ve směru tloušťky vzorku [11].

Na čtvercovou porézní desku je namontován textilní vzorek nebo vrstvená textilie, která je zahřívána na konstantní teplotu, blížíci se teplotě pokožky těla. Celý přístroj je umístěn v komoře, takže je možné kontrolovat podmínky prostředí [11]. Na obr. 6 je zobrazeno schéma měřicí jednotky SGHP shora.



Obr. 6.: Pohled shora na měřicí jednotku SGHP [11]

4.2 Měření tepelného odporu a výpočetní hodnocení

Po stanovení tepelného odporu vzorku je teplota vzduchu nastavena na 20 °C a relativní vlhkost je regulována na 65 %. Rychlost vzduchu je generována kapotou proudu vzduchu 1±0,05 m/s. Jakmile systém dosáhne ustáleného stavu, celkový tepelný odpor je určen dle vztahu (22):

$$R_t = \frac{A(T_s - T_a)}{H} \quad (22)$$

R_t [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je celkový tepelný odpor tkanin,

A [m^2] je plocha měřeného vzorku,

T_s [K] je povrchová teplota desky,

T_a [K] je teplota okolního vzduchu,

H [W] je elektrický výkon.

[11]

Tepelný odpor této mezní vrstvy vzduchu lze měřit provedením zkoušky na holé desce bez vzorku. Vnitřní tepelný odpor textilního materiálu R_f je získán odečtením tepelného odporu hraniční vrstvy vzduchu R_b z celkového tepelného odporu R_t . Vztah (23) je následující:

$$R_f = R_t - R_b \quad (23)$$

[11]

4.3 Měření výparného odporu a výpočetní hodnocení

Výparný odpor je měřen tak, že destilovaná voda je přiváděna na povrch porézní desky z dávkovacího zařízení. Dávkovací zařízení se aktivuje, když hladina vody v destičce je 1 mm pod povrchem destičky. Voda vstupující do měřicí jednotky se předeřívá průchodem sekci ohříváče. K měřicí jednotce je připojen hladinový spínač, který udržuje konstantní rychlost odpařování. Na desku je umístěn kus hladké bariéry, který nepropouští vodní páru. Vzduchové bubliny a vrásky pod membránou je třeba vyhladit od středu směrem k části ohříváče ochranného ohřevu. Zkušební textilie se umístí nad membránu [11].

Elektrická energie destičky je udržována při konstantní teplotě 35 °C a relativní vlhkost je regulována na 40 %. Po dosažení ustáleného stavu se celkový odpor vypočítá pomocí následujícího vztahu (24):

$$R_{et} = \frac{A(P_s - P_a)}{H} \quad (24)$$

R_{et} [$m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$] je celkový odpařovací odpor dává kapalnou bariérou, textilií a vrstvou vzduchu,

A [m^2] je plocha zkušební vzorku,

P_s [Pa] tlak vodních par na povrchu desky,

P_a [Pa] tlak vodních par ve vzduchu,

H [W] elektrický výkon.

[11]

Předpokládá se, že tlak vodních par na povrchu měřené jednotky je stejný jako tlak nasycených par při teplotě 35°C. Vnitřní výparný odpor textilie R_{ef} vyjádřený rovnicí

(25), podobně jako u vnitřního tepelného odporu, je možné získat odečtením výparného odporu kapalné bariéry a mezní vrstvou vzduchu R_{eb} , která může být měřena provedením testu na holé desce bez textilie přes kapalnou bariéru.

$$R_{ef} = R_{et} - R_{eb} \quad (25)$$

[11]

5 Hodnocení přenosu vodní páry FX 3180 CupMaster

FX 3180 CupMaster určuje plně automaticky rychlost přenosu vodní páry až pro 12 vzorků současně, a to pomocí gravimetrického měření.

Čidlo teplot/vlhkosti a čidlo pro měření rychlosti vzduchu umožňují velmi přesnou regulaci zvolených podmínek klimatu. Nádobky jsou vybaveny rychloupínacím kroužkem, který zajišťuje efektivitu přípravu vzorku, ale také jeho dobré utěsnění. Vyhřívání vnější strany měřicí komory zabraňuje kondenzaci, a to v případě výpadku proudu. Monitorování je možné pomocí VNC – Virtual Network Computing [12].

Gravimetrická metoda měření spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie na misku, který obsahuje silikagel. Miska se vzorkem se zváží před expozicí v klimatizační skříni, poté dochází k expozici a následuje výpočet relativní propustnosti dle rovnice (26):

$$P_{rel} = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \quad (26)$$

P_{rel} [%] je relativní propustnost,

G_0 [g] je hmotnost misky se vzorkem před expozicí,

G_1 [g] je hmotnost misky se vzorkem po expozici.

Propustnost absolutní je vypočítána podle rovnice (27):

$$P_{abs} = \frac{G_1 - G_0}{S * t} \quad (27)$$

P_{abs} [g/m²*h] je absolutní propustnost,

G_1 [g] je hmotnost misky se vzorkem před expozicí,

G_0 [g] je hmotnost misky se vzorkem po expozici,

S [m²] je plocha vzorku,

t [h] je čas expozice.

[2]

Přístroj FX 3180 CupMaster je zobrazen na obr. 7.



Obr. 7.: FX 3180 CupMaster [12]

6 Hodnocení prodyšnosti vzduchu

Prodyšnost vzduchu textilních materiálů se obecně chápe jako schopnost textilie propouštět vzduch za stanovených podmínek měřené na přístroji, který je zobrazen na obr. 8 [13].



Obr. 8: Air permeability tester [14]

Při vysokém fyzickém zatížení lze značnou část tepla odvést z oděvního systému ventilací, pokud je vnější vzduch chladnější a oděv dostatečně propustný pro vzduch neboli prodyšný [2].

Měří se rychlost vzduchu procházejícího kolmo danou plochou plošné textilie při stanovení tlakového spádu.

Zkušební vzorek se upne do kruhového držáku s použitím dostatečného napětí, které zabrání vzniku záhybů. Je třeba dbát na to, aby upnutá plocha textilie nebyla deformována. Je třeba se vyhnout švům, zmačkaným místům a skladům. Zapne se sací ventilátor nebo jiné zařízení, které nasává vzduch přes zkušební vzorek a průtok vzduchu se postupně seřizuje tak, aby na zkušební ploše textilie vznikl tlakový spád. Nejméně po jedné minutě nebo po dosažení ustálených podmínek se zaznamená průtok vzduchu.

Vypočítá se aritmetický průměr tlakového spádu z jednotlivých měření. Vypočítá se prodyšnost R podle rovnice (28):

$$R = \frac{q_v}{A} \times 167 \quad (28)$$

R [mm/s] je prodyšnost,

q_v [dm³/min] je průměr rychlosti průtoku vzduchu,

A [cm²] je zkoušená plocha textilie,

167 je přepočítávací faktor.

[15]

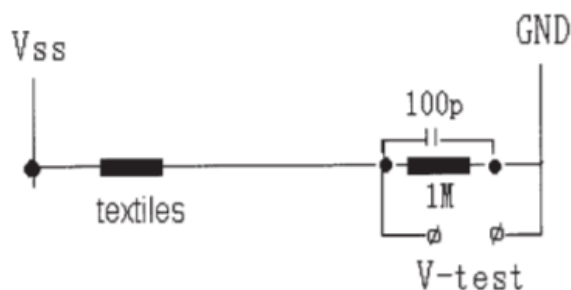
7 Hodnocení managementu kapaln  vlhkosti

M r  v cerozm rn  transport tekut  vlhkosti na pleten ch a tkaných textiliích na p řstroji Moisture management tester – MMT [16]. Měření dynamického  ř n  vlhkosti probíhá na z klad  změny elektrického odporu ve třech dimenzích – savost, jednosm rn  převod vlhkosti a rychlost  ř n . P řstroj MMT m r  dobu navlhání, savost, maxim ln  rádius navlhání, rychlost  ř n  roztoku textilií, index kumulativního jednosměrného p renosu kapaliny a celkov  ukazatel managementu vlhkosti textilie [16].

7.1 Princip měření

Když je vlhkost transportována v textilií, zm n  se kontaktn  odpor tkaniny a hodnota změny odporu bude záviset na dvou faktorech, a to na složení vody a obsahu vody v tkanině [17].

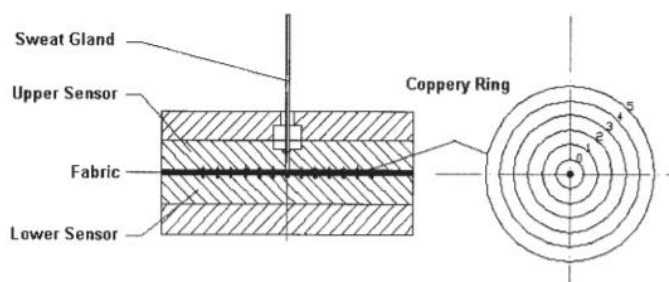
Obr. 9 zobrazuje jednoduch  model testovací metody.



Obr. 9.: Jednoduch  model testovací metody [17]

Testování je založeno na sledování změny elektrického odporu tkaniny během kontaktu s kapalinou. P ř zvy en  vlhkosti elektrick  odpor klesne. Podle těchto změn je možné kvantitativn  měřit kolísání obsahu vody v závislosti na čase na horní a dolní straně tkaniny. P řstroj monitoruje  ř n  roztoku textilií ve třech směrech, a to směrem k vn j m okrajům na horní straně textilie; p renos kapaliny textilií z horní strany do spodní strany;  ř n  směrem k vn j m okrajům na spodní straně textilie. Zji ten  hodnoty určují charakteristickou schopnost vlhkosti textilie [16].

Obr. 10 zobrazuje schéma panelu přístroje MMT.



Obr. 10.: Znázornění schématu přístroje MMT [17]

Vzorek je držen na rovině horními a dolními senzory při určitém tlaku. Předdefinovaný testovací roztok o určité hmotnosti je vložen do potní žlázy a zaveden na horní povrch textilie. Mezitím počítač zaznamenává změnu odporu mezi každým párem blízkých kovových kroužků jednotlivě na horním a dolním senzoru [17].

Odpor každého páru blízkých kovových prstenů se sníží, protože roztok může vést elektřinu, když dorazí do oblasti, kde je obklopen dvěma blízkými kovovými kroužky. Zařízení je spojeno s počítačem, takže signál je zapsán do počítače a může být okamžitě zpracován [17].

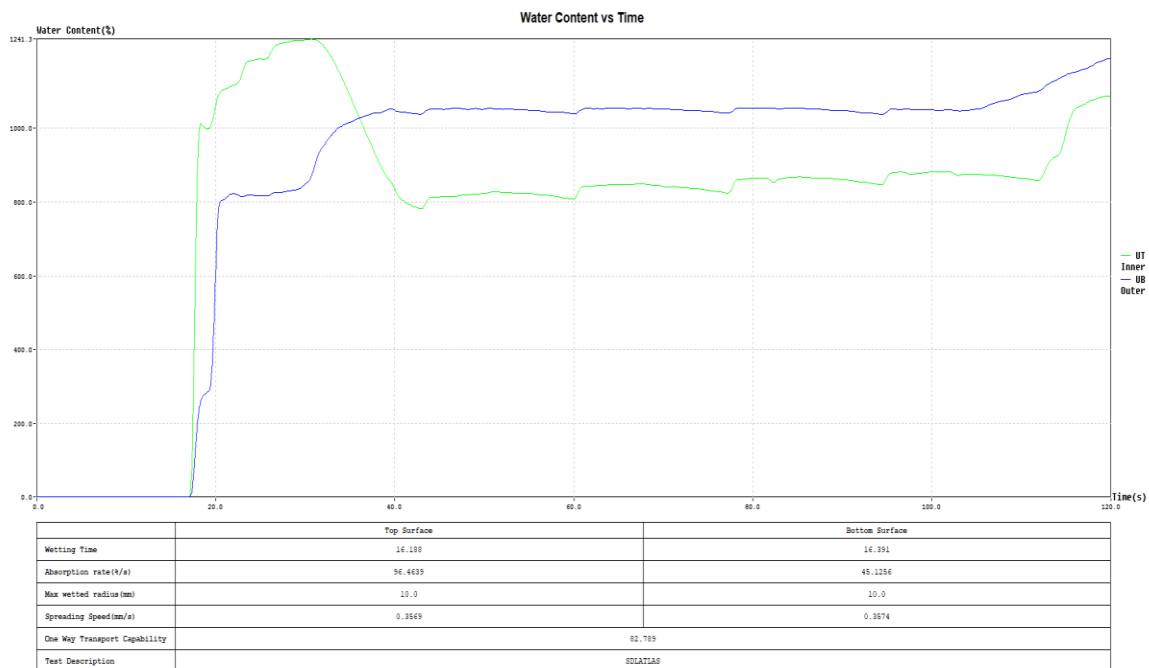
7.2 Hodnocení jednotlivých ukazatelů

7.2.1 Doba navlhčení [s]

Tento parametr je sledován na horní a spodní straně testovaného materiálového vzorku. Ukazuje dobu mezi počátkem navlhčení povrchu textilie a momentem překročení hodnoty Tan (15°), kterou dosáhne vodní sloupec objemu vody na obou stranách [16].

7.2.2 Savost

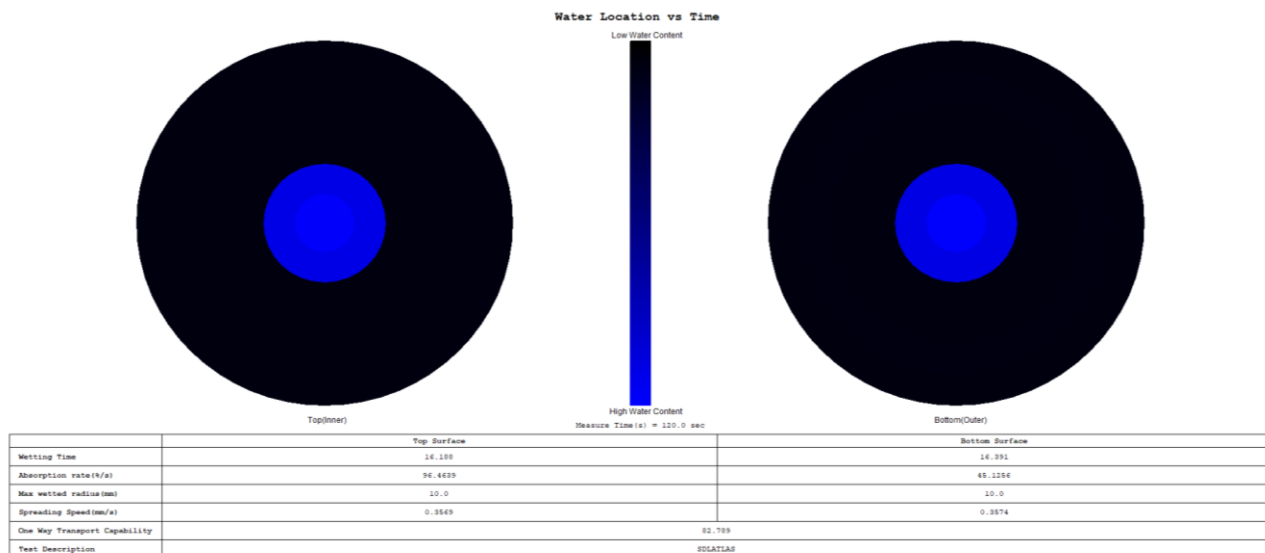
Sleduje průměrnou schopnost textilie na horní a dolní straně absorbovat vlhkost za dobu provozu. Na obr. 11 je zobrazen grafický výstup z MMT [16].



Obr. 11.: Grafický výstup z MMT [16]

7.2.3 Maximální rádius navlhčení

Je měřen maximální rádius navlhčení kruhu na horní a dolní straně textilie v momentě, kdy vodní sloupec celkového objemu vody dosáhne hodnoty vyšší než $Tan(15^\circ)$. Výstup z MMT lze vidět na obr. 12 [16].



Obr. 12.: Grafický výstup z MMT [16]

7.2.4 Rychlost šíření roztoku textilie

Jedná se o rychlost, jakou se roztok šíří od středu do maximálního poloměru navlhčení. Rychlost šíření kapaliny S_i lze vypočítat podle rovnice (29). Pro kumulativní rychlost SS platí rovnice (30).

$$S_i = \frac{R}{t_i - t_{i-1}} \quad (29)$$

$$SS = \sum_{i=1}^N \frac{R}{t_i - t_{i-1}} \quad (30)$$

S_i [mm/s] je rychlost šíření kapaliny,

R_i [mm] je poloměr kruhu navlhčení,

t [s] je čas.

[16]

7.2.5 Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny

Jedná se o rozdíl kumulativního obsahu vlhkosti mezi dolní a horní stranou textilie za celkový čas vyjádřený následující rovnicí (31):

$$AOTI = \frac{\int U_b - \int U_t}{T} \quad (31)$$

AOTI je kumulativní index jednosměrné dopravy,

U_t je čas vůči obsahu vody na horní ploše tkaniny (plocha ve styku s pokožkou),

U_b je čas vůči obsahu vody na spodní ploše tkaniny (plocha vystavená atmosféře),

T je celková doba testu.

Obsah vody lze stanovit na dvou površích textilie podle následující rovnice (32) a (33):

$$U_t = \sum_{i=0}^5 M_{ti} \quad (32)$$

$$U_b = \sum_{i=0}^5 M_{bi} \quad (33)$$

U_t je celkový obsah vody na horní ploše textilie,

U_b celkový obsah vody na spodní ploše textilie,

M_{ti} , M_{bi} označují obsah vody v oblasti mezi každým párem blízkých kovových prstenců na horní a spodní ploše. Lze zjistit dle následujícího vztahu (34):

$$M = \frac{1}{A * R_c} * \frac{V_1}{V_0 - V_1} \quad (34)$$

M je obsah vlhkosti,

R_c odpor rezistoru,

V_0 , V_1 je napětí,

A je definován kalibračním experimentem, aby se zjistil vztah mezi R_f (odpor textilie) a M .

[17]

7.2.6 Celkový ukazatel managementu vlhkosti (OMMC)

Celková kapacita řízení vlhkosti je index označující celkovou schopnost textilie řídit transport tekuté vlhkosti, která zahrnuje tři aspekty výkonu, a to rychlost absorpce vlhkosti na spodní straně, jednosměrná schopnost přenosu tekutiny a maximální šíření rychlosti spodní strany. Celková kapacita řízení vlhkosti je definována dle vztahu (35):

$$OMMC = C_1 * AR_b + C_2 * AOTI + C_3 * SS_b \quad (35)$$

OMMC je celková kapacita řízení vlhkosti,

C_1 , C_2 a C_3 jsou váhy indexů absorpční rychlosti AR_b ,

AOTI je kumulativní index jednosměrné dopravy,

SS_b je rychlost rozmetání.

[18]

7.3 Celkové vyhodnocení

Indexy a stupně hodnocení jsou určeny na základě tab. 1 a tab. 2 zobrazuje rozdělení textilie do několika typů na základě indexů a stupňů [16].

Tab. 1.: Indexy a stupně hodnocení [16]

Stupeň / Index		1	2	3	4	5
Doba navlhčení [s]	Horní strana	≥ 120	20~119	5~19	3~5	< 3
		Žádné navlhčení	Pomalé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
	Dolní strana	≥ 120	20~119	5~19	3~5	< 3
		Žádné navlhčení	Pomalé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
Savost [%/s]	Horní strana	0~10	10~30	30~50	50~100	> 100
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
	Dolní strana	0~10	10~30	30~50	50~100	> 100
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
Maximální rádius navlhčení [mm]	Horní strana	0~7	7~12	12~17	17~22	> 22
		Žádné navlhčení	Malé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
	Dolní strana	0~7	7~12	12~17	17~22	> 22
		Žádné navlhčení	Malé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
Rychlost šíření kapaliny [mm/s]	Horní strana	0~1	1~2	2~3	3~4	> 4
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
	Dolní strana	0~1	1~2	2~3	3~4	> 4
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny R [-]		< -50	-50~100	100~200	200~400	> 400
		Velmi slabá	Slabá	Dobrá	Velmi dobrá	Výborná
OMMC [-]		0~0,2	0,2~0,4	0,4~0,6	0,6~0,8	$> 0,8$
		Velmi slabá	Slabá	Dobrá	Velmi dobrá	Výborná

Tab. 2.: Typy textilií [16]

Voděodolné textilie	Dochází k velmi pomalé absorpci tekutiny, kapalina se šíří pomalu, nedochází k jednosměrnému přenosu
Vodu odpuzující textilie	Nedochází k navlhčení, absorpci ani šíření kapaliny
Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie	Dochází k pomalé absorpci a šíření tekutiny v textilií, jednosměrný přenos kapaliny textilií je slabý
Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie	Dochází ke střednímu až rychlému namočení a absorpci, dochází ke slabému jednosměrnému přenosu a pomalému šíření kapaliny textilií
Rychlé absorbující a rychle schnoucí textilie	Dochází ke střednímu až rychlému namočení, absorpci, jednosměrný přenos kapaliny textilií je slabý, rychlost a oblast šíření kapaliny je velká
Vodě propustné textilie	Oblast šíření kapaliny textilií je malá a jednosměrný přenos roztoku je výborný
Textilie s managementem vlhkosti	Dochází ke střednímu až rychlému namočení a absorpci, rychlost a oblast šíření kapaliny je velká na spodní straně textilie

8 Výzkumy tepelného odporu a metody hodnocení s využitím tepelného manekýna

Konarska M. a spol.: Srovnávací hodnocení tepelného odporu měřené na tepelném manekýnovi a na dobrovolnících

Cílem tohoto výzkumu bylo porovnat tepelný odpor ochranného zdravotnického oděvu na tepelné figuríně a na dobrovolnících. Byly měřeny tři oděvní soubory zobrazené na obr. 13, které představovaly jednorázové lékařské oděvy vyrobené podle požadavků normy EN ISO 9001:2001, EN 13795-2:2004, EN 13795-3:2004.



Obr. 13.: Ukázka tří oděvních zdravotnických souborů [19]

Měření probíhalo v klimatické komoře za podmínek teploty od -40 až $+70$ °C, relativní vlhkost od 20–70 % a rychlosti vzduchu od 0,1–3 m/s. Měření v klimatické komoře probíhalo jak na tepelném manekýnovi, tak na dobrovolnících. Obě měření (na tepelném manekýnovi a na dobrovolnících) byla prováděna za stejných klimatických podmínek.

K určení tepelného odporu na tepelném manekýnovi byl vypočítán celkový tepelný odpor a tepelný odpor vzduchové vrstvy na povrchu tepelného manekýna. Zkoušky byly prováděny na stojící ženské tepelné figuríně, přičemž teplota všech 16 segmentů byla nastavena na 34 °C. Každý ze tří oděvních souborů byl měřen 4krát.

Měření na dobrovolnících se zúčastnilo 7 dobrovolníků mužského pohlaví. Charakteristika dobrovolníků byla založena na váze [kg], výšce [m], na ploše pokožky [m^2 – podle Hardy a DuBois] a věku.

Hodnoty měření jednoho oděvního souboru byly převedené do jedné hodnoty a poté byly porovnány mezi sebou. Výsledky získané měřením na tepelném manekýnovi a na dobrovolnících byly rozdílné a rozdíl tepelného odporu na nich měřený byl 13 %. Rozdíly můžou být způsobeny rozdílnou výškou dobrovolníků a tepelného manekýna, i přestože byla dodržována závislost výšky na ploše pokožky a pro získání výsledků na tepelném manekýnovi byla zvolena rozdílná velikost oděvního souboru.

Výsledky získané na tepelném manekýnovi jsou přesnější, chyba měření byla 2 %. Chyba měření u dobrovolníků byla 12–18 % [19].

Celcar D. a spol.: Vlastnosti tepelného a výparného odporu oděvního systému hodnoceno pomocí potního tepelného manekýna za různých okolních podmínek

Cílem výzkumu bylo zkoumat tepelný odpor a přenos vodní páry pánského „obchodního“ oděvního systému pomocí potního tepelného manekýna.

Hodnoceno bylo 10 kombinací pánského „obchodního“ oděvního systém za 3 různých okolních podmínek. Oděvní soubor se skládal ze spodního prádla, trička, vesty, pánského obleku, pánského kabátu. Okolní podmínky byly stanoveny takto: 1. na teplotu 10 °C, relativní vlhkost 50 %; 2. na teplotu 25 °C, relativní vlhkost 50% a 3. teplota –5 °C. Podmínky pocení byly stanoveny na 0 a 50 g/m²h.

Hodnocení tepelného odporu oděvního souboru 1 – 5 bylo provedeno za podmínek 10 °C/50 % a 25 °C/50 % a porováno mezi sebou. Hodnocení tepelného odporu oděvního souboru 6 – 10 bylo provedeno za podmínek 10 °C/50 % a –5 °C a výsledky byly vzájemně porovnány. Došlo k porovnání výsledků hodnot celého oděvního souboru. V prvním případě byl tepelný odpor vyšší o 10 % za podmínek 10 °C/50 % oproti 25 °C/50 %. V druhém případě byl rozdíl 20 %, vyšší tepelný odpor byl za podmínek –5 °C než za podmínek 10 °C/50 %. Zároveň byly hodnoty tepelného odporu v druhém případě celkově vyšší než v prvním případě.

Přenos vodní páry byl vyšší za podmínek 10 °C/50 % než za podmínek 25 °C/5 % a -5 °C. To znamená, že se přenos vodní páry zvyšoval s vyšší teplotou komory. Vysvětlení rozdílu mezi podmínkami 10 °C a 25 °C je v parciálním tlaku vody – s vyšším množstvím vodní páry ve vzduchu při 25 °C je gradient mezi povrchem figuríny a okolím nižší než při 10 °C, a proto přenos vodní páry je nižší, když je teplota vyšší.

Vliv na výsledky nejen tepelného odporu, ale i přenosu vodní páry, má i materiálové složení jednotlivých částí oděvního souboru [20].

Oliveira A. V. M. a spol.: Měření tepelného odporu: srovnávací analýza metod výpočtu

Cílem výzkumu bylo porovnat výsledky získané globální metodou, sériovými a paralelními metodami výpočtu. Podle již dřívějších studií Nilssona (1997), Anttonena (2000) a Holméra (2001) je paralelní metoda stabilnější indikací izolace souboru.

Rovnice (36) výpočtu globální metodou

$$I_T = \frac{\sum(f_i \times \bar{T}_{sk,i}) - T_0}{\sum(f_i \times \dot{Q}_{s,i})} \quad (36)$$

Rovnice (37) výpočtu paralelní metodou

$$\frac{1}{I_T} = \sum f_i \times \left(\frac{\dot{Q}_{s,i}}{\bar{T}_{sk,i} - T_0} \right) = \sum f_i \times \frac{1}{I_{T,i}} \quad (37)$$

Rovnice (38) výpočtu sériovou metodou

$$I_T = \sum_i \left(f_i \frac{\bar{T}_{sk,i} - T_0}{\dot{Q}_{s,i}} \right) = \sum_i f_i \times I_{T,i} \quad (38)$$

I_T [m²°C/W] je celkový tepelný odpor oděvu,

T_0 [°C] je teplota okolí,

T_{sk} [°C] je průměrná teplota tepelného manekýna,

Q_s [W/m²] je tok tepla získané plošným vážením,

f_i představuje vztah mezi povrchovou plochu segmentu figuríny A_i a celkovou povrchovou plochu figuríny A ($f_i=A_i/A$).

Bylo měřeno celkem 9 oděvních souborů s označením 0 – 8. Oděvní soubory byly sestaveny jako denní oděv a pracovní oděv. Pracovní oděv byl sestaven jako ochrana před chladem. Výsledky byly získány na tepelném manekýnovi „Maria“, v klimatické komoře podle ISO 9920 (2007). Oděvní soubory nepokrývaly hlavu a ruce, tudíž i to může mít vliv na výsledky.

Soubor označen „0“ byl soubor s nejjednodušším tepelným odporem. Soubory 0 – 8 mají vyšší tepelný odpor v horní části těla.

Výsledky hodnot celého oděvního souboru tepelného odporu mezi metodami sériovou a globální vykazaly rozdíl 37,2 %. Rozdíl výsledků mezi globální a paralelní metodou byl –6,6 %. Paralelní metoda představuje vždy nejnižší výsledky hodnot, metoda sériová nejvyšší výsledky a metoda globální představuje hodnoty vždy střední. Tato vlastnost byla společná pro všechny zkoušky.

Dále byl hodnocen rozdíl tepelného odporu mezi souborem označeným „0“ a „8“, vypočítané sériovou metodou pro každou část těla. V obou případech bylo zřejmé, že vyšší hodnoty tepelného odporu jsou naměřeny v horní části těla (trup a horní končetiny). Soubor označen „0“ byl mnohem více homogenní než soubor označený „8“.

Na základě výsledků získaných kalkulací bylo zjištěno, že nejvýhodnější metoda je metoda globální.

Ve studiích, kde je do společného souboru přidán ochranný oděv jako ochrana proti chladu, lze dojít k závěru, že nesoulad mezi metodami výpočtu se zvyšuje s přidáním tepelným odporem oděvu.

Při nerovnoměrném rozložení oděvu vedou výsledky získané sériovou metodou často k chybnému vnímání účinné tepelné izolace a rozdíl mezi výpočtovými metodami se zvyšuje [21].

Fišer J. a spol.: Stanovení tepelného odporu rukavic pomocí tepelného manekýna

Cílem experimentu bylo testování tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna NEWTONA a klimatické komory FSI.

Bylo měřeno 5 párů rukavic určených do chladného prostředí. Měření bylo prováděno na páru části rukou na tepelném manekýnovi. Teplota tepelného manekýna byla 34 °C, teplota okolí 20 °C ± 1 °C, relativní vlhkost vzduchu se pohybovala v rozmezí 30–45 % ± 5 %. Rychlost vzduchu byla vypuštěna. Kvůli tomuto faktoru byl upraven vztah (39) pro celkový tepelný odpor R_{ct} .

$$I_{TR} = I_T - I_\alpha = \frac{T_{HAND} - T_A}{Q_{HAND-T}} - \frac{T_{HAND} - T_A}{Q_{HAND-\alpha}} [m^2\text{K}/W] \quad (39)$$

I_{TR} [m^2K/W] je celkový tepelný odpor,

I_T [m^2K/W] je tepelný odpor se vzorkem,

I_α [m^2K/W] je tepelný odpor se vzorkem,

T_{HAND} [°C] je teplota ruky,

T_A [°C] je teplota okolí,

Q_{HAND-T} [W/m^2] je množství energie dodané do oblasti ruky s nasazenou rukavicí,

$Q_{HAND-\alpha}$ [W/m^2] je množství energie dodané do oblasti ruky bez rukavice.

Hodnoty byly zaznamenávány každých 5 s v průběhu 4 hodinového testu. Pro statistické hodnocení byl vybrán 10minutový reprezentativní interval. Výsledkem byla průměrná hodnota tepelných rukavic I_{TR} .

Každý pár rukavic byl měřen 3×. Pro každý vzorek bylo tedy získáno 6 nezávislých měření. Vyhodnocena byla průměrná hodnota s kombinovanou nejistotou typu C s rozšířením na 2σ (95 % pravděpodobnost).

Nejvyšší tepelný odpor byl u vzorku č. 5, který měl zároveň nejnižší procentuální nejistotu. Nejistota v procentech se pohybovala do 4 %.

Experimentem byla dosažena dobrá opakovatelnost měření, svědčí o tom nízké hodnoty nejistot [22].

Experimentální část

9 Cíle práce

Cílem práce je testovat termo-fyziologické vlastnosti materiálů (tepelný odpor, výparný odpor, hustota tepelného toku, propustnost vodních par a prodyšnost), které jsou určeny k nošení jako první vrstva oděvu, tedy materiálu, který je v kontaktu s pokožkou. A to jak v tradiční rovině (bavlna) tak ve funkční a používanými směšovými materiály. Všechny materiály jsou vyrobeny firmou Pleas a.s. Experiment byl koncipován souhrnně pro sledování termo-fyziologického komfortu systému oděvu (1. vrstva – 2. vrstva – 3. vrstva). V rámci této diplomové práce bude testován termo-fyziologický komfort první vrstvy systému oděvu s ohledem na materiálové složení. Požadavek na materiál je, aby zadržoval tělesné teplo a odváděl pot z pokožky.

Dále je cílem ověřit netradiční možnosti testování a porovnat výsledky s tradičními testovacími metodami.

Porovnání výsledků získaných z tepelného manekýna může být provedeno jako celek, nebo jako jednotlivé části manekýna. Jsou k dispozici dvě hlavní metody hodnocení výsledků získané z tepelného manekýna – „metoda celého oděvu“ a „metoda jednotlivých zón“. „Metoda jednotlivých zón“ má ukázat detailněji výsledky získané z jednotlivých tepelných zón tepelného manekýna.

Ve spojení s cílem byly stanoveny následující kroky:

- Výběr materiálů, které se používají jako 1. vrstva oděvního systému.
- Zhotovení zkušebních vzorků, které jsou předpokladem pro měření na dětském tepelném manekýnovi.
- Vlastní měření na dětském tepelném manekýnovi.
- Vlastní měření na přístrojích SGHP, FX 3180 CupMaster a Air permeability tester.
- Vyhodnocení a analyzování výsledků.

Tepelný manekýn

Jsou provedena 2 měření každého ze vzniklých vzorků (tričko s dlouhým rukávem) na tepelném dětském manekýnovi, a to z důvodu časové náročnosti testu. Je měřen tepelný odpor, výparný odpor a hustota tepelného toku podle normy ISO 11092, ČSN EN 31092 nebo ČSN EN ISO 15831. Následně jsou získané údaje vyhodnoceny podle vzorců (viz kap. 3.4).

Výsledky jsou statisticky vyhodnoceny a porovnány mezi sebou.

SGHP

Jsou provedena 3 měření každého materiálu na „skin modelu“ SGHP. Je měřen tepelný a výparný odpor podle normy ISO 11092 nebo ČSN EN 31092.

Získané údaje jsou vyhodnoceny podle vzorců (viz kap. 4.2 a 4.3).

Výsledky jsou statisticky vyhodnoceny a porovnány mezi sebou.

FX 3180 CupMaster

Měření propustnosti vodních par na přístroji FX 3180 CupMaster podle normy JIS L 1099:2012, metoda A2.

Jsou provedena 4 měření každého materiálu.

Získané údaje jsou vyhodnoceny a statisticky porovnány.

Air permeability tester

Měření prodyšnosti vzduchu podle normy ČSN EN ISO 9237. Je provedeno 10 měření každého vzorku.

Prodyšnost je vypočítána podle vzorce (28) viz kap. 6.

Výsledky jsou statisticky vyhodnoceny a porovnány.

MMT

Měření managementu kapalné vlhkosti na přístroji MMT. Je provedeno celkem 5 měření každého vzorku. Hodnoceny jsou doba navlhčení, savost, maximální rádius navlhčení, rychlost šíření kapaliny, index kumulativního jednosměrného přenosu kapaliny textilií a celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie.

Výsledky jsou vyhodnoceny podle tab. 1 a tab. 2 (viz kap. 7.2).

Požadavky na materiál

Materiál je určen pro výrobu oděvu, který je v kontaktu s pokožkou. Je požadován vyšší tepelný odpor, který by výrobek (materiál) byl schopný zadržovat za klidných podmínek. Dále je vyžadováno, aby materiál dobře odváděl pot od pokožky.

Materiálové vzorky




Výběr materiálu byl uzpůsoben účelu použití. Byly tedy zvoleny materiály, které jsou běžně určeny k výrobě spodního nebo funkčního prádla, a jsou tedy v přímém kontaktu s pokožkou. Výběr byl zvolen tak, aby vzorky zastupovaly rozmanitá složení materiálů. Je zde zastoupen materiál ze 100% bavlny, 100% syntetického materiálu a směsový materiál. Materiály jsou používány pro výrobu tílek, košilek nebo termo-prádla.

Tloušťka materiálu byla měřena na tloušťkoměru. V tabulce je průměrná hodnota z 5 měření.

Tab. 3 zobrazuje vlastnosti materiálů.

V příloze A je zdokumentována obrazová analýza materiálových vzorků. Tato analýza zobrazuje vizuální pórovitost materiálů. Vzorek A má největší pórovitost. Vzorek B má velmi malou pórovitost, v porovnání se vzorkem A jsou póry menší. Vzorek C má pórovitost velmi nepravidelnou.

Tab. 3.: Dokumentace materiálových vzorků

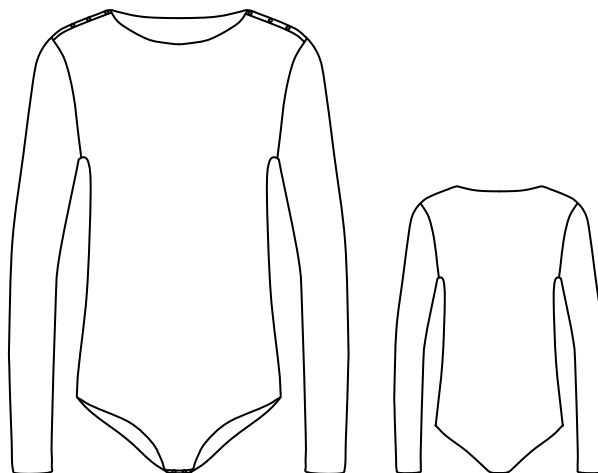
Označení	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
Fotografická dokumentace			
Konstrukce	Jednolící	Jednolící	Jemné žebro
Složení [%]	BA 100	PA / EL 84/16	PP/PA/CMD/BA 36/28/18/18
Plošná hmotnost [g/m ²]	155	155	145
Jemnost příze	Nm 50/1 BA	DT 85f92 PA DT 33 f1x1, EL	Nm 85/1Z Nexten/CMD/BA 40/30/30% dtex 70f72 PP micro dtex 11f7 PA 6.6
Hustota řádku [x oček/1cm]	14	19	16
Hustota sloupku [x oček/1cm]	20	32	17
Tloušťka [mm]	0,7	0,56	0,87

10 Tepelný manekýn

Testování bylo prováděno na tepelném manekýnovi Timmym od firmy Thermetrics. Tepelný manekýn představuje postavu 10letého dítěte a měří tepelný odpor, clo, hustotu tepelného toku a výparný odpor. Pro testování bylo důležité naměřit hodnoty tepelného a výparného odporu, hustoty tepelného toku podle normy ČSN EN ISO 15831.

10.1 Oděvní soubor pro měření na tepelném manekýnovi

Za účelem měření na tepelném manekýnovi bylo vyrobeno tričko s dlouhým rukávem. Byla zvolena konstrukce, která odpovídá skutečnému výrobku, a to přesněji výrobku termoprádla. Tričko je konstruováno s hlavicovým rukávem, se zapínáním na kovové stiskací knoflíky v oblasti ramen a rozkroku. Tato konstrukce byla zvolena, aby simulovala tričko zastrčené do pasu. Zapínání v těchto oblastech bylo zvoleno pro lepší oblékání tepelného manekýna. Bylo použito pouze jedno reprezentativní stříhové řešení vzorku, a to z důvodu časové náročnosti měření. Technický náčrt je zobrazen na obr. 14. Velikost trička je 140, což odpovídá velikosti tepelného manekýna – 10letý chlapec. Vznikly tři vzorky z každého materiálu. Charakteristika materiálů je popsána v kapitole č. 9. Obr. 15 zobrazuje měřené vzorky na tepelném manekýnovi TIMMYM.



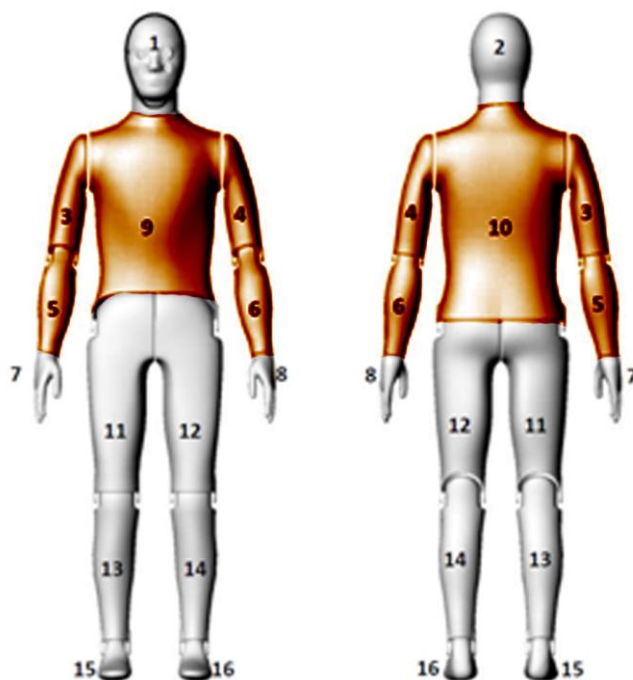
Obr. 14.: Technický náčrt trička



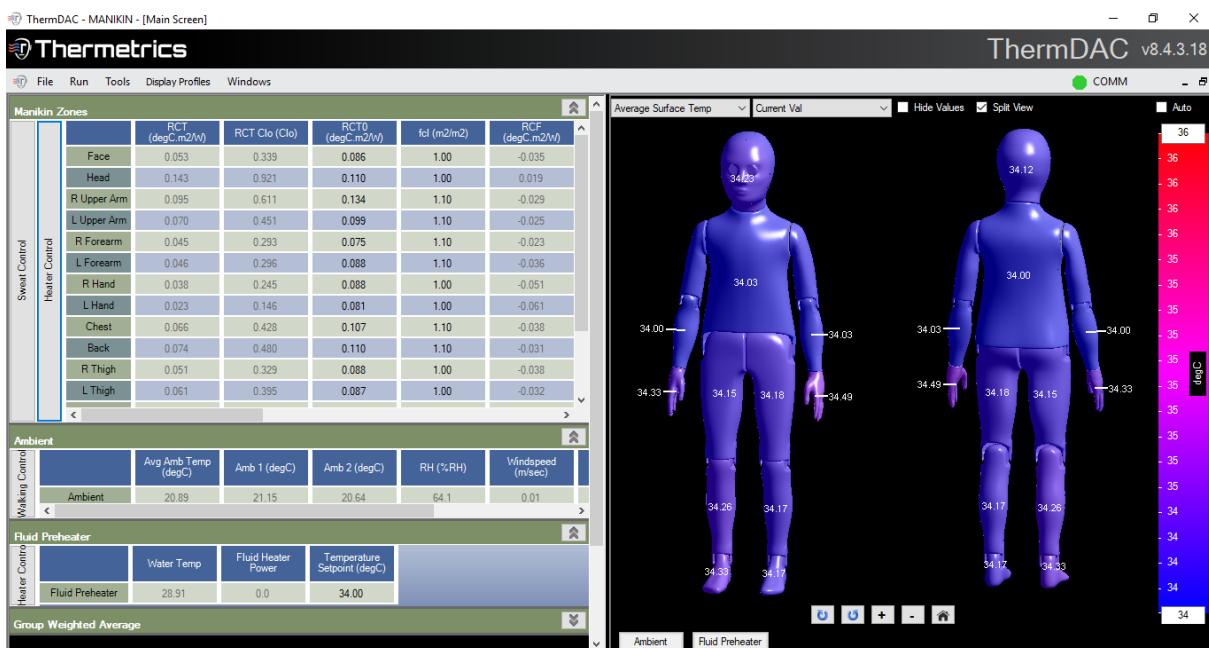
Obr. 15.: Měřené vzorky – vzorek A, vzorek B, vzorek C

10.2 Hodnocení tepelného odporu

Testování tepelného odporu probíhalo v laboratoři s řízenou klimatizací. Teplota vzduchu byla $19,5 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ °C}$, relativní vlhkost $58,9 \% \pm 1 \%$, rychlost vzduchu $0,02 \text{ m/s} \pm 0,5 \text{ m/s}$. Byla provedena 2 měření každého vzorku. Data každého měření byla sbírána každou minutu po dobu 2 hodin. Výsledkem je průměrná hodnota. Teplota tepelného manekýna byla nastavena na 34 °C . K měření byly sledovány zóny 3, 4, 5, 6, 9 a 10, tedy zóny pravého a levého předloktí, pravé a levé paže, a zóny zadní a přední strany hrudníku. Tyto zóny jsou vyobrazeny na obr. 16. Nastavení tepelného manekýna bylo v programu ThermDAC, který vytváří zprávu z měření a vypočítává základní parametry. Pracovní prostředí softwaru tepelného manekýna je zobrazeno na obr. 17.



Obr. 16.: Sledované zóny tepelného manekýna



Obr. 17.: Ukázka pracovního prostředí softwaru pro ovládání tepelného manekýna – tepelný odpor

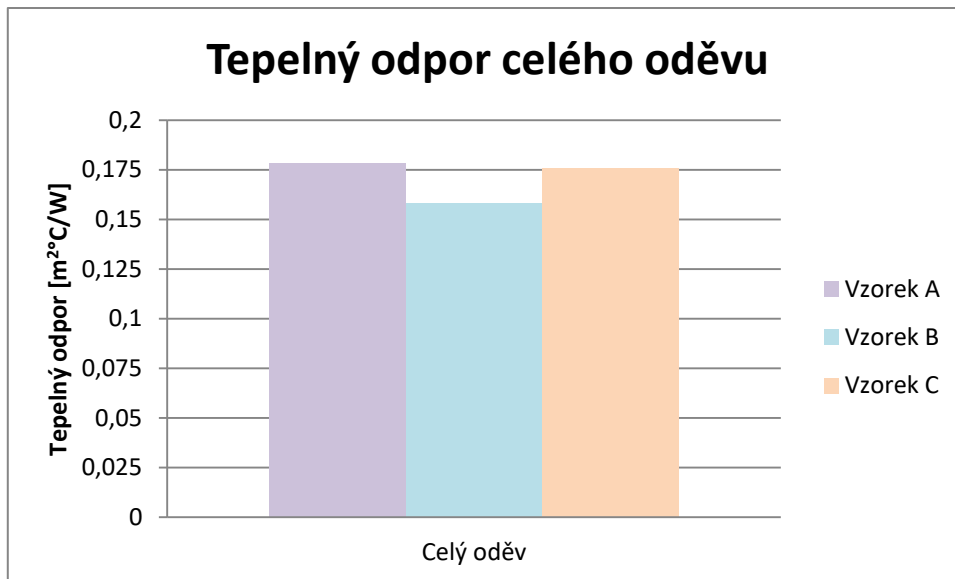
10.2.1 Tepelný odpor celého oděvu

V této metodě byl tepelný odpor R_{CT} [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$] vyjádřen jako střední hodnota tepelného odporu jednotlivých zón. Tab. 4 ukazuje získané hodnoty tepelného odporu, střední hodnotu, směrodatnou odchylku, variační koeficient a číselné porovnání tepelného odporu materiálových vzorků.

Tab. 4.: Výsledky tepelného odporu R_{CT} [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$] celého oděvu naměřené na tepelném manekýnovi

	Tepelný odpor [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$]		
	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek B
Hrud'	0,202	0,184	0,220
Záda	0,221	0,204	0,198
Pravá paže	0,212	0,178	0,193
Pravé předloktí	0,118	0,115	0,129
Levá paže	0,176	0,146	0,174
Levé předloktí	0,143	0,125	0,141
Střední hodnota	0,178	0,158	0,176
Směrodatná odchylka	0,041	0,035	0,035
Variační koeficient [%]	23	22	20

Obr. 18 zobrazuje graf, který vizuálně porovnává tepelný odpor jednotlivých materiálů.



Obr. 18.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu celého oděvu

Dle tab. 4 a obr. 18 lze vidět, že materiál s označením vzorek A (100%BA) má nejvyšší tepelný odpor, nejnižší odpor má materiál s označením vzorek B (84%PA/16%EL).

Významnost/nevýznamnost rozdílů výsledků tepelného odporu celého oděvu byla určena tak, že materiál s nejvyšším tepelným odporem (vzorek A) byl zvolen jako 100 %. Rozdíl do 5 % byl zvolen jako nevýznamný.

Rozdíl tepelného odporu mezi vzorkem A a vzorkem B je 11 %, rozdíl tepelného odporu mezi vzorkem A a vzorkem C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA) je 1 %, zde je rozdíl nevýznamný. Použitím této metody bylo jasně ukázáno, že vzorek A a vzorek C nejlépe zadržují tělesné teplo.

Důvodem vysoké hodnoty variačního koeficientu je velká rozdílnost hodnot tepelného odporu mezi jednotlivými zónami tepelného manekýna.

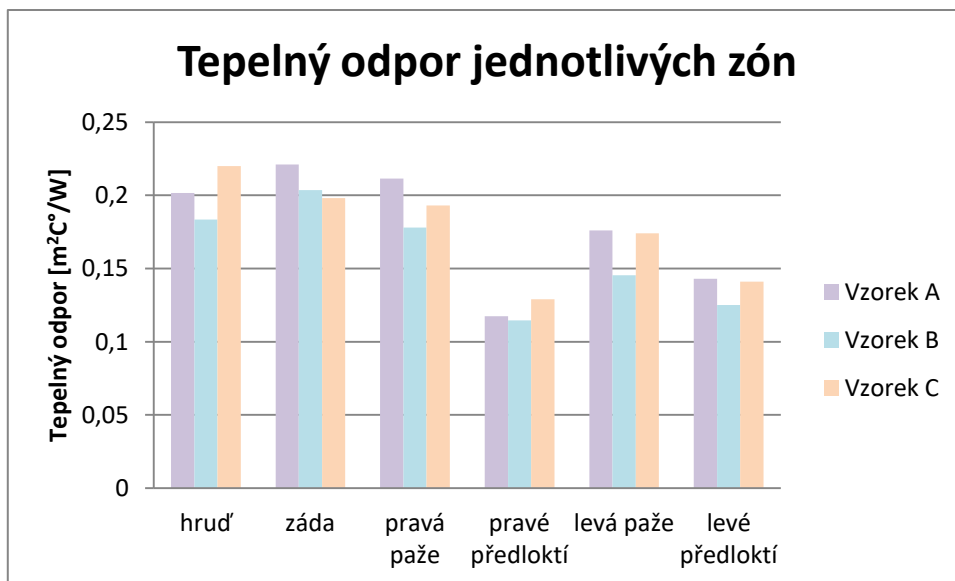
10.2.2 Tepelný odpor jednotlivých zón

Tento způsob porovnává hodnoty tepelného odporu R_{CT} [m² °C/W] materiálových vzorků u jednotlivých zón tepelného manekýna. Tab. 5 zobrazuje výsledky tepelného odporu materiálových vzorků, jejich směrodatnou odchylku, variační koeficient a číselné porovnání materiálových vzorků a zón tepelného manekýna mezi sebou.

Tab. 5.: Výsledky tepelného odporu R_{CT} [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$] jednotlivých zón naměřené na tepelném manekýnovi

	Tepelný odpor [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$]		
	Vzorek A	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Hrud'	0,202	0,002	1
Záda	0,221	0,007	3
Pravá paže	0,212	0,004	1,7
Pravé předloktí	0,118	0,002	1,8
Levá paže	0,176	0,004	2,4
Levé předloktí	0,143	0,007	5
	Tepelný odpor [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$]		
	Vzorek B	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Hrud'	0,184	0,005	2,7
Záda	0,204	0,001	0,4
Pravá paže	0,178	0,001	0,8
Pravé předloktí	0,115	0,002	1,9
Levá paže	0,146	0,002	1,5
Levé předloktí	0,125	0,003	2,3
	Tepelný odpor [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$]		
	Vzorek C	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Hrud'	0,220	0	0
Záda	0,198	0	0
Pravá paže	0,193	0,007	3,7
Pravé předloktí	0,129	0,007	5,5
Levá paže	0,174	0,007	4,1
Levé předloktí	0,141	0,014	10

Obr. 19 zobrazuje graf vizuálního porovnání naměřených hodnot materiálů a zón tepelného manekýna.



Obr. 19.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu jednotlivých zón

Tento způsob nám dává podrobný rozbor nejen hodnot tepelného odporu R_{CT} materiálů, ale zobrazuje odchylky výsledků jednotlivých zón tepelného manekýna.

Trend, který byl zjištěn u předchozí metody, tedy nejvyšší tepelný odpor u materiálu s označením vzorek A (100%BA), nejnižší tepelný odpor u materiálu s označením vzorek B (84%PA/16%EL) je prokázán v zóně pravé paže, levé paže a levého předloktí. V zónách pravého předloktí a hrudi je tepelný odpor nejvyšší u materiálu s označením vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA), nejnižší tepelný odpor v těchto zónách je u materiálu s označením vzorek B. Zóna zad zobrazuje nejvyšší výsledky tepelného odporu u materiálu s označením vzorek A, nejnižší u materiálu s označením vzorek C. Možným důvodem, proč přístroj vykazuje tyto hodnoty, je nestálost klimatických podmínek.

Významnost/nevýznamnost rozdílů tepelného odporu jednotlivých zón tepelného manekýna byl vypočítán tak, že vzorek A byl určen jako 100 %. Rozdíl do 5 % byl zvolen jako nevýznamný.

Rozdíl výsledků tepelného odporu jednotlivých zón mezi vzorkem A a vzorkem B se pohybuje mezi 3–17 %, pouze v oblasti pravého předloktí je rozdíl nevýznamný. Rozdíl výsledků tepelného odporu jednotlivých zón mezi vzorkem A a vzorkem C se pohybuje mezi –10 až +10%. Pouze v zónách levé paže a levého předloktí je rozdíl nevýznamný.

Variační koeficient je v toleranční hranici 5–6 %, kromě materiálu s označením vzorek C v oblasti levého předloktí. U vzorku C byly naměřeny stejné hodnoty v oblasti zad a hrudníku, proto je směrodatná odchylka a variační koeficient 0.

Protože byl u metody jednotlivých zón očekáván stejný průběh výsledků jako u předchozí metody, je možné, že metoda jednotlivých zón nám může ukázat případné nestandardní nastavení přístroje nebo chyby měření za předpokladu nedosažení stálosti klimatických podmínek.

10.3 Hodnocení výparného odporu

Aby mohl být testován výparný odpor, musel být nejdříve testován tepelný odpor. Testování výparného odporu probíhalo v laboratoři s řízenou klimatizací. Teplota vzduchu byla $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$, relativní vlhkost $62,5\% \pm 2\%$, rychlost vzduchu $0,03\text{ m/s} \pm 0,01\text{ m/s}$. Tok pocení byl nastaven na 200 ml/h/m^2 . Byla provedena 2 měření každého vzorku. Data každého měření byla sbírána každou minutu po dobu 2 hodin. Výsledkem je průměrná hodnota. Teplota tepelného manekýna byla nastavena na 34 °C . K testování byly sledovány zóny 3, 4, 5, 6, 9 a 10 – zóny pravého a levého předloktí, pravé a levé paže, a zóny zad a hrudi. Sledované zóny jsou zobrazeny na obr. 16. Tepelný manekýn byl nastaven v programu ThermDAC, který vytváří zprávu z měření a vypočítá základní parametry. Pracovní plocha softwaru je vidět na obr. 20.



Obr. 20.: Ukázka pracovního prostředí softwaru pro ovládání tepelného manekýna – výparný odpor

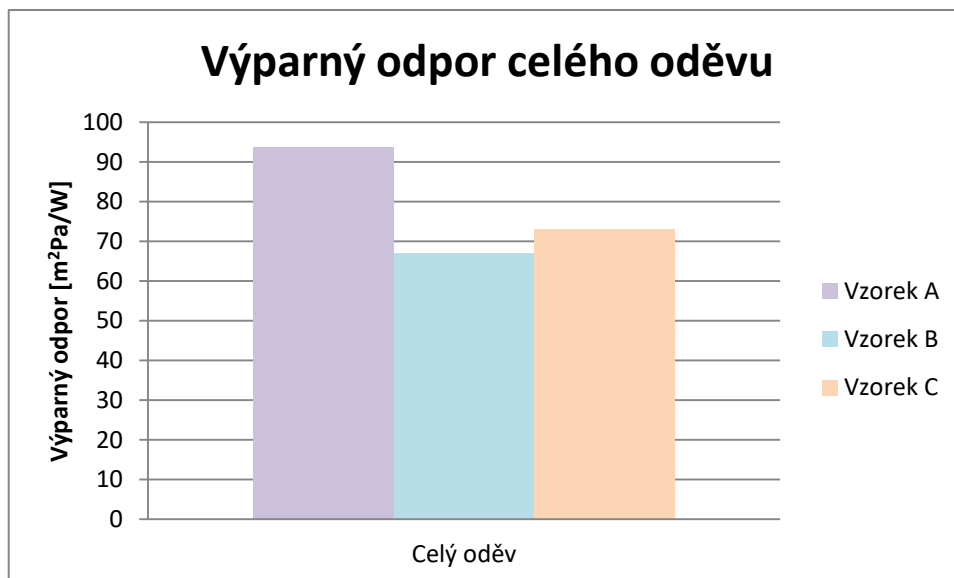
10.3.1 Výparný odpor celého oděvu

V této metodě byly výsledky výparného odporu R_{ET} [m^2Pa/W] porovnány tak, že hodnoty výparného odporu jsou vyjádřeny střední hodnotou. Tab. 6 ukazuje získané hodnoty výparného odporu, střední hodnotu, směrodatnou odchylku a variační koeficient. Zároveň zobrazuje číselné srovnání výparného odporu jednotlivých materiálů.

Tab. 6.: Výsledky výparného odporu R_{ET} [m^2Pa/W] celého oděvu naměřené na tepelném manekýnovi

	Výparný odpor [m^2Pa/W]		
	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
Hrud'	85,115	64,030	70,185
Záda	112,825	88,955	96,705
Pravá paže	100,145	69,865	78,145
Pravé předloktí	86,820	56,600	59,375
Levá paže	95,335	69,845	74,785
Levé předloktí	81,355	53,335	58,920
Střední hodnota	93,599	67,105	73,019
Směrodatná odchylka	11,691	12,665	14,024
Variační koeficient [%]	12,5	19	19

Obr. 21 zobrazuje graf porovnání materiálových vzorků.



Obr. 21.: Grafické zobrazení výsledků výparného odporu celého oděvu

Dle tab. 6 a obr. 21 lze vidět, že materiál s označením vzorek A (100%BA) má nejvyšší výparný odpor, nejnižší výparný odpor má materiál s označením vzorek B (84%PA/16%EL).

Významnost/nevýznamnost rozdílů výsledků výparného odporu celého oděvu byla určena tak, že materiál s nejvyšším výparným odporem (vzorek A) byl zvolen jako 100 %. Rozdíl do 5 % byl zvolen jako nevýznamný.

Rozdíl výparného odporu mezi vzorkem A a vzorkem B je 28 %, rozdíl výparného odporu mezi vzorkem A a vzorkem C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA) je 22 %. Rozdíl výparného odporu je významný.

Vzorek A nejvíce zadržuje výparný odpor, pro odvod plynné vlhkosti z těla je tento materiál nevhodný.

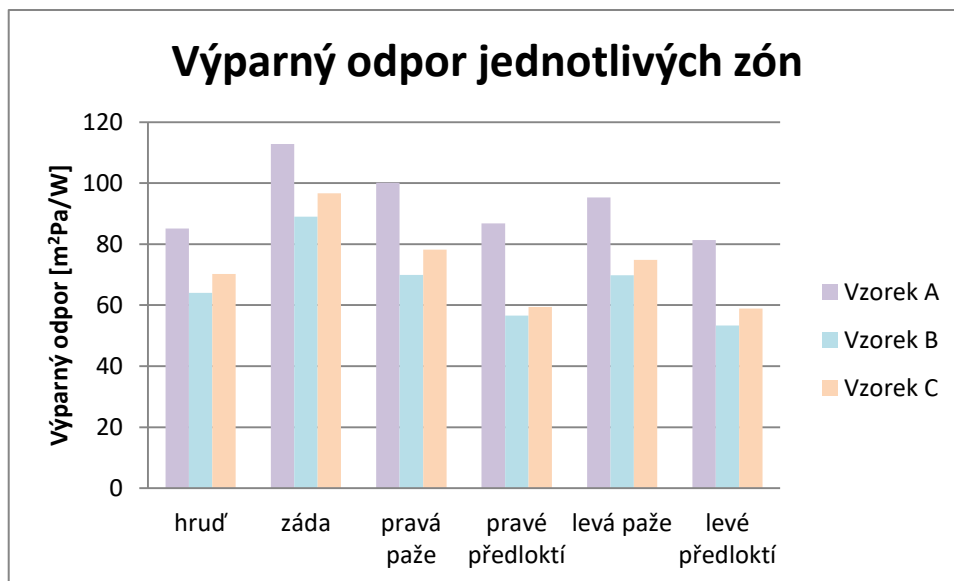
10.3.2 Výparný odpor jednotlivých zón

Tato metoda porovnává hodnoty výparného odporu R_{ET} [m²Pa/W] materiálových vzorků u jednotlivých zón tepelného manekýna. Tab. 7 zobrazuje výsledky výparného odporu materiálových vzorků, jejich směrodatnou odchylku, variační koeficient a číselné porovnání materiálových vzorků a zón tepelného manekýna.

Tab. 7.: Výsledky výparného odporu R_{ET} [m^2Pa/W] jednotlivých zón naměřené na tepelném manekýnovi

	Výparný odpor [m^2Pa/W]		
	Vzorek A	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Hrud'	85,115	3,868	4,5
Záda	112,825	0,969	0,9
Pravá paže	100,145	3,232	3,2
Pravé předloktí	86,820	2,277	2,6
Levá paže	95,335	3,062	3,2
Levé předloktí	81,355	0,884	1,1
	Výparný odpor [m^2Pa/W]		
	Vzorek B	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Hrud'	64,030	2,093	3,3
Záda	88,955	0,743	0,8
Pravá paže	69,865	1,223	1,8
Pravé předloktí	56,600	3,239	5,7
Levá paže	69,845	0,262	0,4
Levé předloktí	53,335	3,019	5,7
	Výparný odpor [m^2Pa/W]		
	Vzorek C	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Hrud'	70,185	0,87	1,2
Záda	96,705	1,718	1,8
Pravá paže	78,145	3,67	4,7
Pravé předloktí	59,375	1,308	2,2
Levá paže	74,785	1,945	2,6
Levé předloktí	58,920	0,622	1,1

Obr. 22 zobrazuje graf porovnání naměřených hodnot materiálů a zón tepelného manekýna.



Obr. 22.: Grafické zobrazení výsledků výparného odporu jednotlivých zón

Trend, který byl zjištěn u předchozí metody, tedy že nejvyšší výparný odpor u materiálu s označením vzorek A (100%BA) a nejnižší výparný odpor u materiálu s označením vzorek B (84%PA/16%EL), je zde prokázán.

Metoda jednotlivých zón dává podrobný rozbor hodnot výparného odporu R_{ET} materiálových vzorků jednotlivých zón tepelného manekýna.

Pokud se zaměříme na jednotlivé zóny, pak zóny horních končetin mají stejný průběh a to takový, že výparný odpor materiálů v oblasti paží je vyšší než v předloktí, výparný odpor je vyšší v pravé horní končetině než v levé horní končetině. V zóně hrudi je nižší výparný odpor než v zóně zad, a to u všech tří materiálových vzorků.

Trend výsledných hodnot probíhal u obou metod stejně, nejvyšší výparný odpor byl u materiálu s označením vzorek A, nejnižší materiál s označením vzorek B.

Významnost/nevýznamnost rozdílů výparného odporu jednotlivých zón tepelného manekýna byl vypočítán tak, že vzorek A byl určen jako 100 %. Rozdíl do 5 % byl zvolen jako nevýznamný.

Rozdíl výsledků výparného odporu jednotlivých zón mezi vzorkem A a vzorkem B se pohybuje mezi 21–35 %, rozdíl. Rozdíl výsledků výparného odporu jednotlivých zón mezi vzorkem A a vzorkem C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA) se pohybuje mezi

14–32 %. Rozdíl výsledků výparného odporu mezi vzorkem B a vzorkem C se pohybuje mezi 3–8 %, rozdíl je spíše nevýznamný.

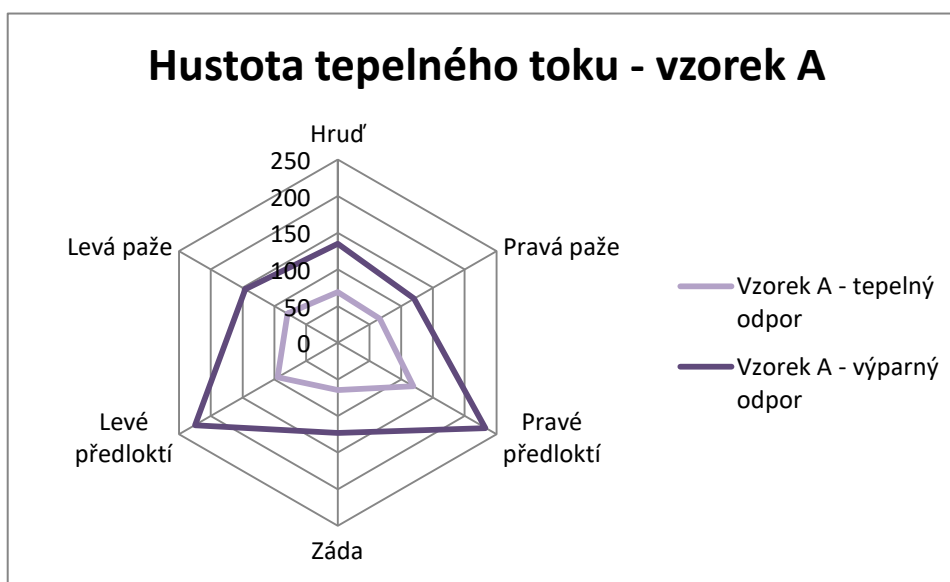
10.4 Hodnocení hustoty tepelného toku

Hustota tepelného toku [W/m^2] byla testována za podmínek, které jsou vypsány v kapitolách 10.2 a 10.3.

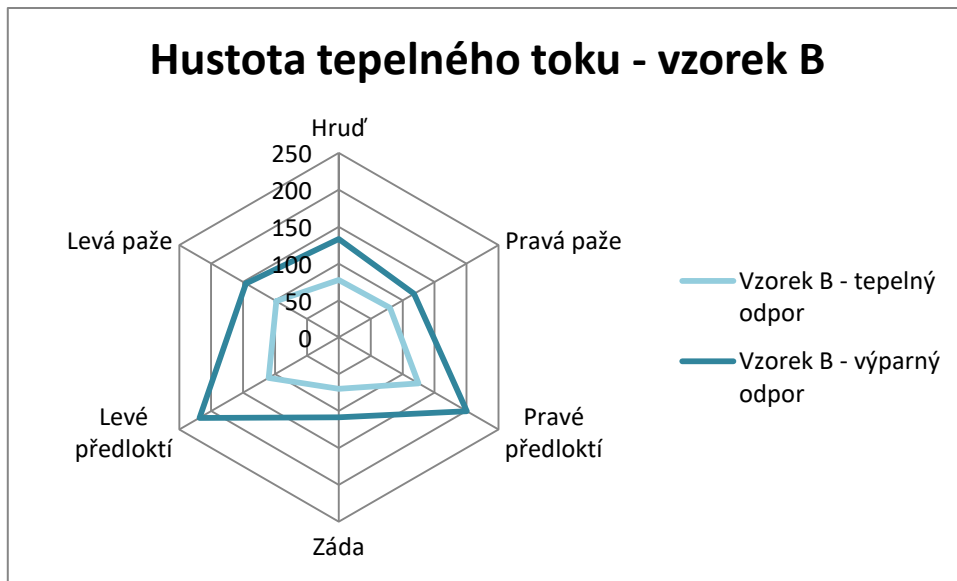
Výsledky hustoty tepelného toku jsou zobrazeny v tab. 8. Tepelný tok byl vyšší pro vyjádření výparného odporu. Vizualní zobrazení je vidět na obr. 23. 24. a 25.

Tab. 8.: Výsledky hustoty tepelného toku q [W/m^2]

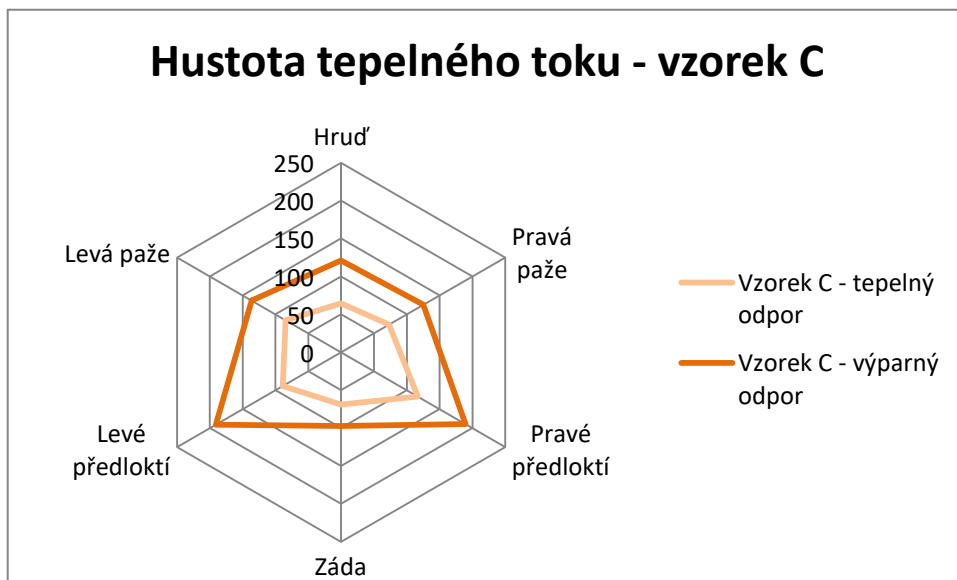
Zóny	Hustota tepelného toku pro výpočet tepelného odporu [W/m^2]			Hustota tepelného toku pro výpočet výparného odporu [W/m^2]		
	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
Hrud'	69,2	77,8	64,3	135,1	133,5	121,1
Pravá paže	65,9	80,0	72,9	120,3	117,8	125,3
Pravé předloktí	119	124,8	116,7	232,8	200,3	189,5
Záda	64,7	70,0	69,1	123,0	108,6	97,2
Levé předloktí	94,6	110,2	89,0	225,1	218,4	191,0
Levá paže	79,2	97,9	84,5	145,6	145,8	136,3



Obr. 23.: Porovnání hustoty tepelného toku – vzorek A



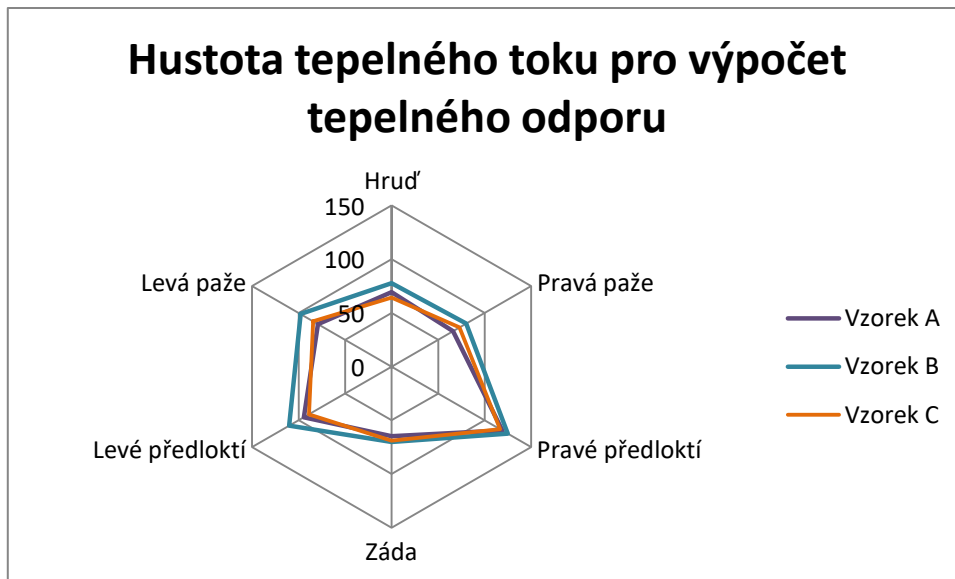
Obr. 24.: Porovnání hustoty tepelného toku – vzorek B



Obr. 25.: Porovnání hustoty tepelného toku – vzorek C

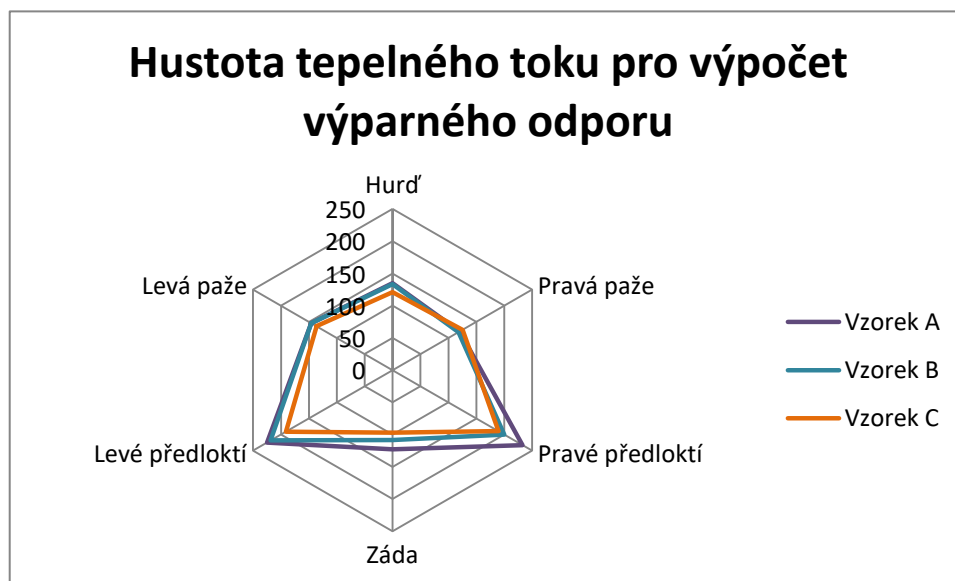
Podle tepelných zón je tepelný tok během měření tepelného odporu nejvíce vychýlen v zóně pravého předloktí, a to u všech tří materiálů. Tepelný tok se během měření výparného odporu, podle tepelných zón, nejvíce vychyluje v zónách levého a pravého předloktí, a to opět u všech tří materiálů. Může to být způsobeno okolními podmínkami, nebo chybou přístroje. Bylo by vhodné provést kontrolní měření, aby byly eliminovány výchyly ve zmíněných zónách. To však z důvodu časové náročnosti není možné.

Obr. 26 zobrazuje porovnání hustoty tepelného toku pro výpočet tepelného odporu.



Obr. 26.: Porovnání hustoty tepelného toku pro výpočet tepelného odporu

Na obr. 27 je zobrazena hustota tepelného toku pro výpočet výparného odporu.



Obr. 27.: Porovnání hustoty tepelného toku pro výpočet výparného odporu

Hustota tepelného toku pro výpočet tepelného odporu je nejvyšší u materiálu s označením vzorek B (84%PA/16%EL), nejnižší u materiálu s označením vzorek A (100%BA) a vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA). Hustota tepelného toku pro výpočet výparného odporu je nejvyšší u vzorku A a vzorku B, nejnižší u materiálu s označením vzorek C.

Nejvíce propouští teplo vzorek A a vzorek B. Vzorek C nejvíce zadržuje teplo, proto je použitelnější pro spodní vrstvu.

Surová data tepelného odporu, hustoty tepelného toku pro výpočet tepelného odporu, výparného odporu a hustoty tepelného toku pro výpočet výparného odporu se nachází v příloze B a v příloze C.

11 Sweating Guarded Hot Plate

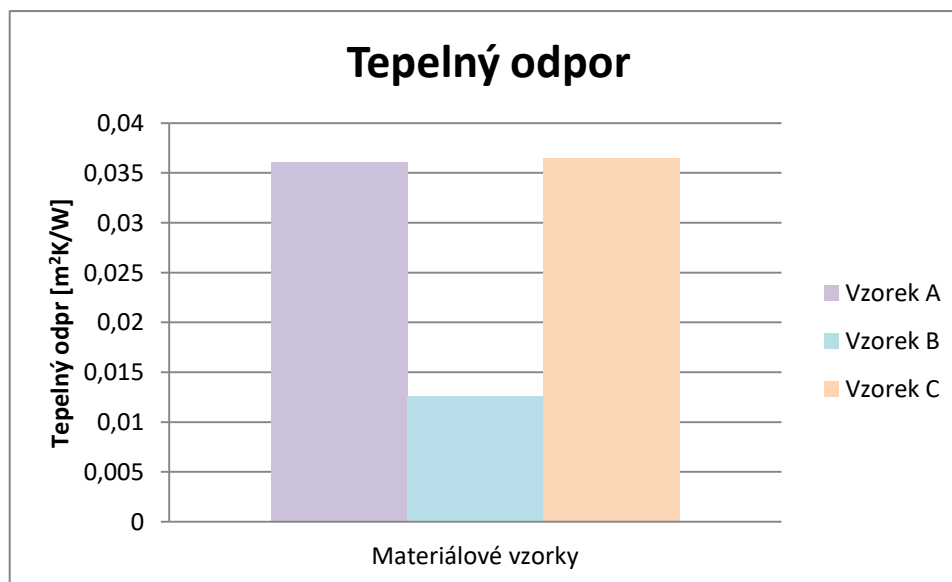
11.1 Hodnocení tepelného odporu

Tepelný odpor hodnocený na přístroji „skin modelu“ SGHP byl měřen podle normy ČSN EN ISO 11092. Pro hodnocení tepelného odporu se stanoví teplota „holé desky“ T_m na 35 °C, teplota vzduchu T_a je stanovena na 20 °C, relativní vlhkost vzduchu RH 65 % a rychlost vzduchu v_a je stanovena na 1 m/s. Měření bylo prováděno na vyhřívané desce. Hodnoceny byly tři vzorky z každého materiálu.

Výsledky měření tepelného odporu, střední hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient jsou zobrazeny v tab. 9. Vizualní porovnání lze vidět na obr. 28.

Tab. 9: Výsledky tepelného odporu R_{CT} [m^2K/W]

Tepelný odpor [m^2K/W]			
	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
	0,039	0,011	0,036
	0,033	0,013	0,037
	0,037	0,014	0,037
Střední hodnota	0,036	0,013	0,036
Směrodatná odchylka	0,003	0,001	0,001
Variační koeficient	7,6	10,7	1,8



Obr. 28.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu

Podle výsledků tab. 9 a obr. 28 lze vidět, že nejvyšší tepelný odpor vykazuje materiál s označením vzorek A (100%BA) a vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA). Nejnižší tepelný odpor byl naměřen u materiálu s označením vzorek B (84%PA/16%EL).

Významnost/nevýznamnost rozdílů tepelného odporu byl vypočítán tak, že vzorek A byl určen jako 100 %. Rozdíl do 5 % byl zvolen jako nevýznamný.

Vzorek A a vzorek C mají stejnou hodnotu tepelného odporu. Rozdíl hodnot mezi vzorkem A a vzorkem B je 64 %.

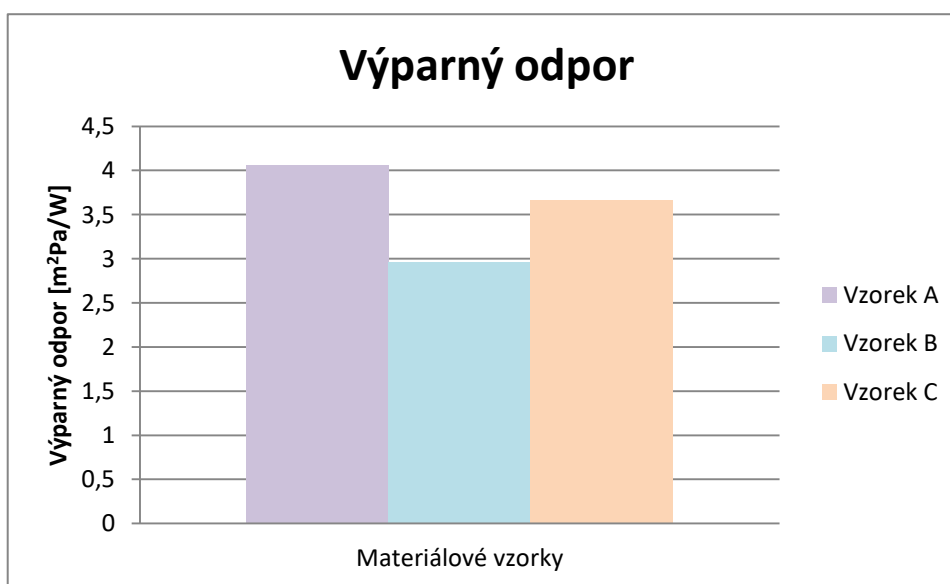
11.2 Hodnocení výparného odporu

Při hodnocení výparného odporu zůstává povrch porézní desky stále vlhký pomocí dávkovacího zařízení na vodu. Na porézní desku byla umístěna celofánová hladká membrána, která propouští vodní páry, ale nepropouští vodu. Pro hodnocení výparného odporu se stanoví teplota „holé desky“ T_m a teplota vzduchu T_a je stanovena na 35 °C, rychlost vzduchu v_a je stanovena na 1 m/s a relativní vlhkost vzduchu RH 40 %, která byla konstantně udržována. Hodnoceny byly tři vzorky z každého materiálu.

Výsledky měření výparného odporu, střední hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient jsou zobrazeny v tab. 10. Vizuální porovnání lze vidět na obr. 29.

Tab. 10.: Výsledky výparného odporu R_{ET} [m^2Pa/W]

Výparný odpor [m^2Pa/W]			
	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
	4,620	3,621	3,731
	3,672	2,525	3,881
	3,901	2,743	3,386
Střední hodnota	4,064	2,963	3,666
Směrodatná odchylka	0,495	0,581	0,253
Variační koeficient	12,2	19,6	6,9



Obr. 29.: Grafické zobrazení výsledků výparného odporu

Dle tab. 8 a obr. 29 lze vidět, že nejvyšší výparný odpor byl naměřen u materiálu s označením vzorek A (100%BA), nejnižší výparný odpor byl naměřen u materiálu s označením vzorek B (84%PA/16%EL).

Významnost/nevýznamnost rozdílů výparného odporu byl vypočítán tak, že vzorek A byl určen jako 100 %. Rozdíl do 5 % byl zvolen jako nevýznamný.

Rozdíl výparného odporu mezi vzorkem A a vzorkem B je 27 %. Rozdíl výparného odporu mezi vzorkem A a vzorkem C je 9,8 %.

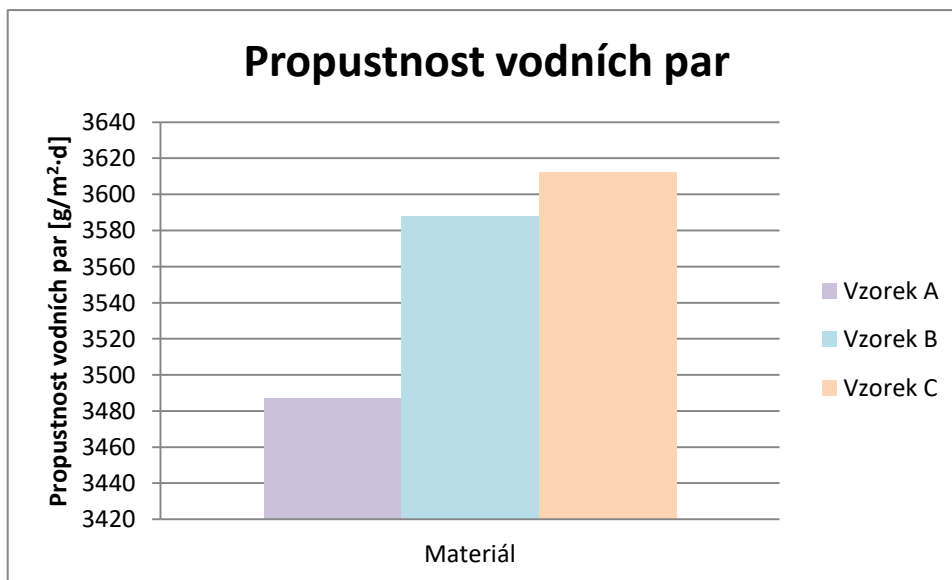
12 FX 3180 Cup Master

Testování probíhalo na přístroji FX 3180 CupMaster, který měří gravimetrickou metodou. Přístroj hodnotí propustnost vodních par podle normy JIS L 1099:2012, metody A2. Byly testovány čtyři vzorky z každého materiálu. Vzorek má půdorys kruhu o ploše 50 cm². Zkušební miska je předem vyhřátá na 40 °C. Vzorky byly předem klimatizovány. Teplota zkušební komory byla 40 °C, vlhkost 50 %, rychlost vzduchu 0,8 m/s.

Výsledky jsou zobrazeny v tab. 11, vizuální zobrazení je na obr. 30.

Tab. 11.: Výsledky propustnosti vodních par WVTR [g/m²d]

Materiál	1	2	3	4	Propustnost vodních par [g/m ² ·d]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Vzorek A	3465	3513	3486	3484	3487	19,7	0,6
Vzorek B	3501	3645	3642	3563	3588	69,2	1,9
Vzorek C	3664	3603	3573	3609	3612	37,9	1,1



Obr. 30.: Grafické zobrazení propustnosti vodních par

Podle výsledků se propustnost vodních par nejlépe projevuje u materiálu s označením vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA), nejhůře u materiálu s označením vzorek A (100%BA). Důvodem je vlastnost materiálového složení.

13 Air permeability tester

Testování probíhalo na přístroji air permeability tester od firmy SDL ATLAS Ltd., podle normy ČSN EN ISO 9237. Byly testovány tři materiály vždy po 10 měřeních. Z výsledků byla vypočítána střední hodnota, z níž byla vypočítána prodyšnost podle rovnice (28) – viz kapitola 6. Velikost každého vzorku byla 20 cm². Pro měření prodyšnosti byl stanoven tlakový spád 100 Pa.

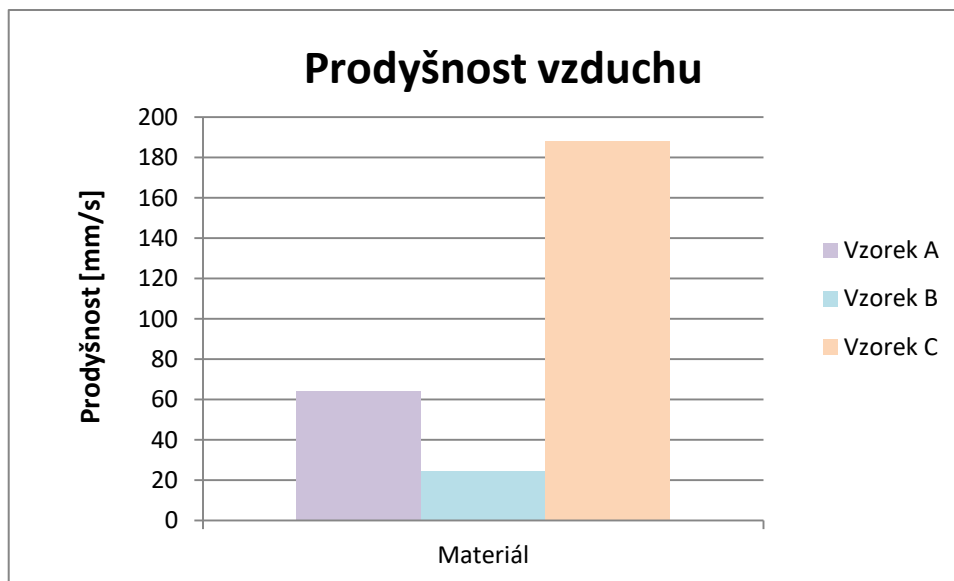
Tab. 12 zobrazuje naměřené hodnoty. Tab. 13 zobrazuje střední hodnotu a vypočítanou prodyšnost. Obr. 31 zobrazuje grafické porovnání prodyšnosti R.

Tab. 12.: Naměřené hodnoty průtoku vzduchu q_v [ml/s]

Měření průtoku vzduchu [ml/s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vzorek A	120	140	130	130	130	120	130	140	120	120
Vzorek B	40	50	40	50	50	50	50	60	50	50
Vzorek C	390	380	360	390	360	360	380	360	390	380

Tab. 13.: Střední hodnota a vypočítaná prodyšnost vzduchu R [mm/s]

	Střední hodnota [ml/s]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]	Prodyšnost vzduchu R [mm/s]
Vzorek A	128	7,888	6,2	64
Vzorek B	49	5,677	11,6	25
Vzorek C	375	13,54	3,6	188



Obr. 31.: Grafické porovnání výsledků prodyšnosti vzduchu

Podle tab. 13 a podle obr. 31 lze vidět, že nejvyšší prodyšnost byla naměřena u materiálu s označením vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA), zatímco nejnižší u materiálu s označením vzorek B (84%PA/16%EL). Materiál s označením vzorek A (100%BA) vykazuje sice vyšší prodyšnost než materiál s označením vzorek B, je však mnohem nižší než u materiálu s označením vzorek C. Dá se předpokládat, že na výsledky prodyšnosti může mít vliv kromě vlastností materiálového složení, i vazební struktura. Materiály s označením vzorek A a vzorek B jsou vyrobeny jedolící vazbou, zatímco vzorek C je vyroben vazbou jemného žebra. Další parametr, který může ovlivnit hodnotu prodyšnosti, je hustota řádku a hustota sloupku.

14 Moisture management tester

Testování managementu kapalné vlhkosti probíhalo na přístroji Moisture Management Tester – MMT. Byly testovány tři materiály o velikosti 8 × 8cm vždy po 5 měřeních. Na horní stranu vzorku byla čerpána kapka roztoku (0,21 g), který představoval kapku potu. Doba provozu čerpadla byla nastavena na 20 s, celková doba měření byla 120 s. Klimatizační podmínky měření byly – teplota 20 °C ± 1 °C, relativní vlhkost vzduchu 65 % ± 3 %.

Tab. 14 zobrazuje management kapalné vlhkosti pro vzorek A, tab. 15 pro vzorek B a tab. 16 pro vzorek C. Hodnoty byly převedeny na stupeň podle tab. 1, kde je hodnocení založeno na 5 stupňové škále, kde 1 – nejhorší, 5 – nejlepší.

Tab. 14.: Management kapalné vlhkosti – vzorek A

Materiál		Vzorek A (100%BA)					Slovní hodnocení	
Sledované oblasti		Průměr	Stupeň hodnocení					
			1	2	3	4		5
Doba navlhčení [s]	Horní	32,103		●				Pomalá
	Dolní	15,628			●			Střední
Savost [%/s]	Horní	89,291					●	Rychlá
	Dolní	30,706			●			Střední
Max rádius navlhčení [mm]	Horní	6	●					Žádné navlhčení
	Dolní	6	●					Žádné navlhčení
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	Horní	0,277	●					Velmi pomalá
	Dolní	0,345	●					Velmi pomalá
Jednosměrný přenos kapaliny textilií [%]		113,84			●			Dobrá
OMMC [-]		0,204	●					Dobrá

Tab. 15.: Management kapalné vlhkosti – vzorek B

Materiál		Vzorek B (84%PA/16%EL)						
Sledované oblasti		Průměr	Stupeň hodnocení					Slovní hodnocení
			1	2	3	4	5	
Doba navlhčení [s]	Horní	99,544		●				Pomalá
	Dolní	15,628			●			Střední
Savost [%/s]	Horní	43,811			●			Střední
	Dolní	211,176					●	Velmi rychlá
Max rádius navlhčení [mm]	Horní	1	●					Žádné navlhčení
	Dolní	5	●					Žádné navlhčení
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	Horní	0,056	●					Velmi pomalá
	Dolní	0,32	●					Velmi pomalá
Jednosměrný přenos kapaliny textilií [%]		557,633					●	Výborná
OMMC [-]		0,641					●	Velmi dobrá

Tab. 16.: Management kapalné vlhkosti – vzorek C

Materiál		Vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA)						
Sledované oblasti		Průměr	Stupeň hodnocení					Slovní hodnocení
			1	2	3	4	5	
Doba navlhčení [s]	Horní	10,994			●			Střední
	Dolní	120	●					Žádné navlhčení
Savost [%/s]	Horní	127,251					●	Velmi rychlá
	Dolní	0	●					Velmi pomalá
Max rádius navlhčení [mm]	Horní	7	●					Žádné navlhčení
	Dolní	0	●					Žádné navlhčení
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	Horní	0,484	●					Velmi pomalá
	Dolní	0	●					Velmi pomalá
Jednosměrný přenos kapaliny textilií [%]		-1313,465	●					Velmi slabá
OMMC [-]		0	●					Velmi slabá

Grafické výstupy z přístroje MMT se nachází v příloze D.

Vzorek A (100%BA) dle tab. 14 a grafických výstupů v příloze D charakterizuje typ pomalu absorbující a pomalou schnoucí textilie (viz tab. 2). Vzorek A odpovídá typu textilie.

Vzorek B (84%PA/16%EL) dle tab. 15 a grafických výstupů v příloze D charakterizuje typ vodě propustné textilie (viz tab. 2). Vzorek B odpovídá typu textilie.

Vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA) dle tab. 16 a grafických výstupů v příloze D charakterizuje typ voděodolné textilie (viz tab. 2). Vzorek C zcela neodpovídá předpokládanému chování. Je možné, že důvodem je materiálové složení a struktura materiálu.

15 Porovnání výsledků tepelného a výparného odporu naměřených na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP

Tato kapitola se zaměřuje na teoretické porovnání výsledků tepelného a výparného odporu, které byly naměřené na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP.

Výsledné hodnoty tepelného odporu jsou v kapitolách 10.2 a 11.1. Hodnoty výparného odporu jsou v kapitolách 10.3 a 11.2.

15.1 Porovnání výsledků korelací

Pro porovnání výsledků byl použit korelační vztah (40)

$$CORREL(X, Y) = \frac{\sum(X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (40)$$

V tomto případě je však tato metoda nevhodná, a to z důvodu malého množství dat, které dává relevantní výsledky. Výsledky jsou pouze v hodnotách +1 a -1, nebo +1 a +1; viz příloha E.

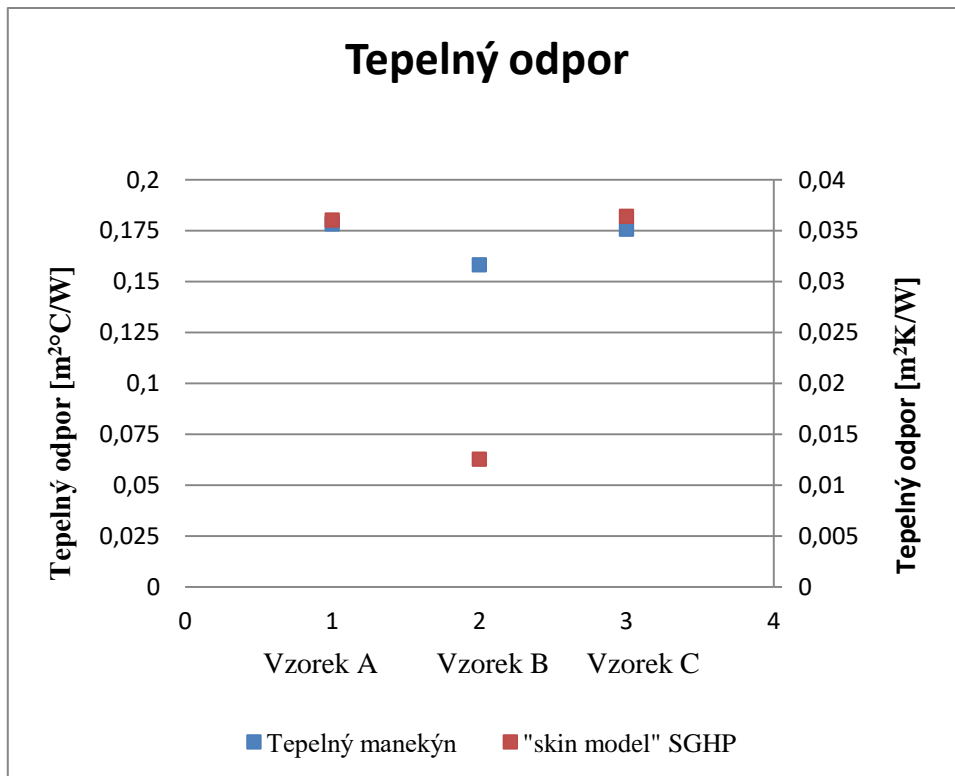
Podle tohoto zjištění byla zvolena jiná metoda.

15.2 Grafické porovnání výsledků

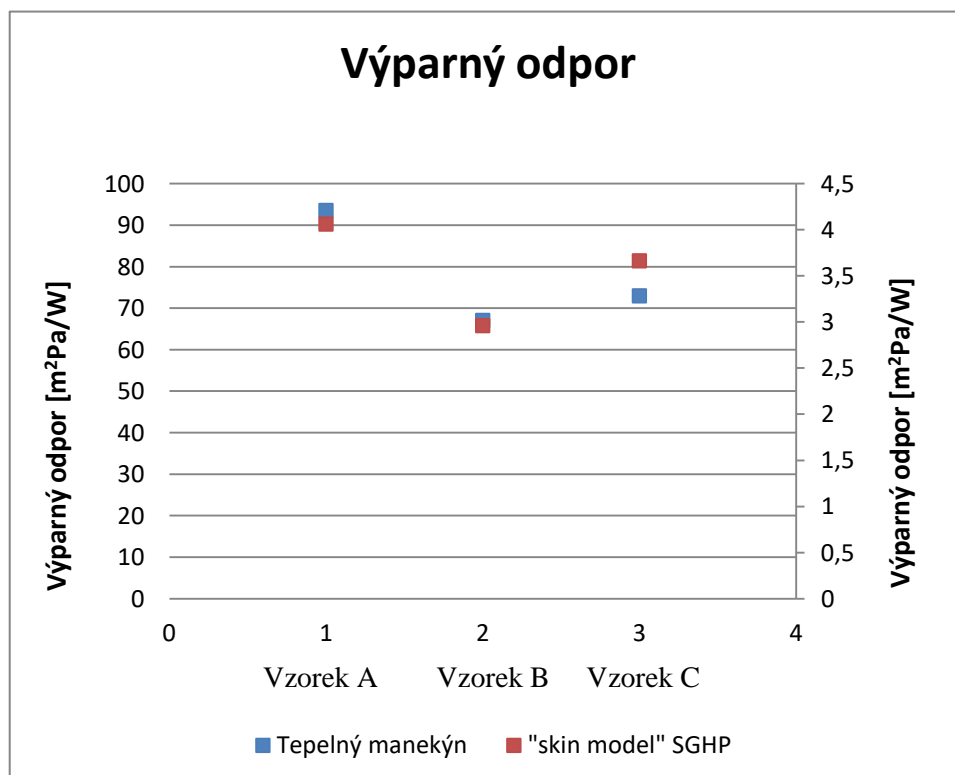
Tato metoda porovnání výsledků je založena na vizuálním porovnání. Očekává se stejný, nebo podobný průběh výsledků. Pokud tedy materiál s označením vzorek A vykazoval ze všech materiálů nejvyšší výsledky tepelného odporu naměřené na tepelném manekýnovi, očekává se, že bude vykazovat nejvyšší výsledky tepelného odporu ze všech materiálů naměřené na „skin modelu“ SGHP.

Obr. 32 zobrazuje vizuální porovnání výsledků tepelného odporu naměřené na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP.

Obr. 33 zobrazuje vizuální porovnání výsledků výparného odporu, které byly naměřeny na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP.



Obr. 32.: Grafické porovnání tepelného odporu



Obr. 33.: Grafické porovnání výparného odporu

Podle obr. 32 lze vidět, že očekávání nebylo úplně splněno. Materiál s označením vzorek B (84%PA/16%EL) vykazuje jinou závislost výsledků tepelného odporu naměřených na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP než je tomu u jiných materiálů. Jedním z důvodů může být nedostatečný počet měření.

Obr. 33, který zobrazuje výsledky výparného odporu, ukazuje, že očekávání bylo splněno. Závislost výsledků mezi přístroji a materiály je obdobná.

Diskuse výsledků

Tato kapitola blíže pojednává o výsledcích měření termo-fyziologických vlastností materiálů.

Výsledky získané měřením na tepelném manekýnovi

Na tepelném manekýnovi byl hodnocen tepelný odpor, výparný odpor a hustota tepelného toku. Nejvyšší hodnota tepelného odporu celého oděvu, byla naměřena u vzorku A (100%BA), nejnižší u vzorku B (84%PA/16%EL). Rozdíl tepelného odporu mezi vzorky A a C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA) byl nevýznamný. Tepelný odpor jednotlivých zón pak detailně ukazuje výsledky na tepelném manekýnovi. Byl očekáván stejný průběh výsledků, který byl zjištěn u hodnocení tepelného odporu celého oděvu. Avšak některý průběh výsledků byl rozdílný. Tato metoda nám může ukázat nestandardní nastavení přístroje nebo nestálost klimatizovaných podmínek během měření. Nejvyšší hodnota výparného odporu celého oděvu byla naměřena u vzorku A, nejnižší pak u vzorku B. V tomto případě byl nejnižší rozdíl výparného odporu mezi vzorkem B a C. Výparný odpor jednotlivých zón ukazuje očekávaný průběh výsledků. Lze tedy předpokládat, že během měření tepelného odporu opravdu došlo k nestálosti klimatických podmínek. U hodnot hustoty tepelného toku byl očekáván symetrický průběh (např.: levá vs. pravá paže). Hodnota hustoty tepelného toku pro výpočet tepelného odporu byla vychýlena v oblasti pravého předloktí u všech zkoušených materiálů. Během měření hustoty tepelného toku pro výpočet výparného odporu došlo k vychýlení v pravém i levém předloktí. Celkově byla hustota tepelného toku vyšší pro výpočet výparného odporu a to u všech měřených vzorků. Nejvyšší hodnota hustoty tepelného toku pro výpočet tepelného odporu byla u vzorku A a C, nejnižší u vzorku B. Nejvyšší hodnota hustoty tepelného toku pro výpočet výparného odporu byla u vzorku C. Materiál s označením vzorek A a vzorek B nejvíce propouští teplo, materiál s označením vzorek C nejvíce izoluje.

Z výsledků tepelného odporu vyplývá, že materiály A a C jsou vhodné pro použití v oděvním systému 1. vrstvy bez dalších vrstev, protože zabraňují ztrátě tepla. Po přidání dalších vrstev by mohl vzniknout diskomfort. Ovšem u výsledků výparného

odporu se očekává, že oděv nebude bránit odvodu par od pokožky. Proto jsou vhodnou volbou materiály B a C pro použití v oděvním systému 1. vrstvy bez dalších vrstev.

Zatímco u materiálů s označením vzorek A a vzorek B byl podobný průběh výsledků (tepelný a výparný odpor), materiál C vykazuje jiný poměr výsledků vůči ostatním. Dá se předpokládat, že důvodem jsou vlastnosti materiálového složení – materiál C obsahuje modálová viskózová vlákna – a struktura materiálu.

Výsledky získané měřením na „skin modelu“ SGHP

Nejvyšší tepelný odpor měřený na přístroji „skin modelu“ SGHP, byl u vzorku C, avšak rozdíl tepelného odporu mezi vzorkem C a A byl nevýznamný. Nejnižší tepelný odpor byl naměřen u vzorku B. Nejvyšší výparný odpor byl naměřen u vzorku A, nejnižší u vzorku B. Hodnota výparného odporu vzorku C se pohybovala přibližně u střední hodnoty rozdílu hodnot výparného odporu mezi vzorkem A a B.

Lze říct, že trend, který byl zjištěn u výsledků tepelného a výparného odporu měřených na tepelném manekýnovi, byl zde potvrzen.

Výsledky získané měřením na FX 3180

Nejvyšší hodnota propustnosti vodních par, která byla měřena na přístroji FX 3180 CupMaster, byla naměřena u vzorku C, nejnižší pak u vzorku A.

Z těchto výsledků lze soudit, že vzorek C nejlépe odvádí pot od pokožky v rámci 1. vrstvy oděvního systému bez dalších vrstev. Vliv na výsledek může mít složení materiálu a struktura. Vzorek C obsahuje modálová viskózová vlákna a jeho vazba je jemné žebro. Vzorek A a vzorek B jsou vyrobeny jedolící vazbou.

Výsledky získané měřením na air permeability tester

Nejvyšší hodnota prodyšnosti měřena na přístroji air permeability tester byla u vzorku C, nejnižší u vzorku B. Hodnota prodyšnosti u vzorku A byla přibližně 2,5× vyšší než u vzorku B.

Podle výsledných hodnot může mít vliv na prodyšnost vlastností materiálového složení a hustota sloupku/řádku materiálu. Podle práce Havlové [13], která odkazuje na další práce s touto tematikou, může vazba materiálu prodyšnost ovlivnit.

Výsledky získané měření na MMT

Podle tab. 14. a grafických výstupů v příloze D vzorek A (100%BA) charakterizuje typ pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie, vzorek B (84%PA/16%EL) charakterizuje typ vodě propustné textilie a vzorek C (36%PP/28%PA/18%CMD/18%BA) charakterizuje typ voděodolné textilie. Vzorek A a vzorek B odpovídají zvolenému typu textilie. Vzorek C zcela neodpovídá předpokládanému chování. Je možné, že důvodem je materiálové složení a struktura materiálu.

Porovnání výsledků získaných měření na tepelném manekýnovi a „skin modelu“ SGHP

Byla hodnocena statistická spojitost mezi výsledky tepelného a výparného odporu naměřenými na tepelném manekýnovi a na „skin modelu“ SGHP. Nejdříve byla hledaná závislost korelační analýzou. Ta však byla nevhodná, kvůli malému množství dat.

Dále byla použita grafická metoda, která vizuálně zobrazovala výsledky obou přístrojů. Byl dán předpoklad, že průběh výsledků bude stejný nebo alespoň podobný. Zatímco tento předpoklad byl splněn u výsledků výparného odporu, u výsledků tepelného odporu byla zjištěna rozdílnost u vzorku B. Jedním z důvodů může být nedostatečný počet měření. Dalším možným důvodem je, že tento experiment není primárně uzpůsoben pro porovnání výsledků z tepelného manekýna a „SGHP“.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo hodnocení termo-fyziologických vlastností materiálů, jež jsou používány k výrobě oděvů, jež jsou v kontaktu s pokožkou. Materiály jsou vyrobeny firmou Pleas a.s., která se zabývá výrobou spodního, spacího a funkčního prádla. Výběr materiálů byl zvolen tak, aby měly podobné konstrukční vlastnosti, ale rozdílné složení. Jako kritérium bylo stanoveno, aby materiál zadržoval teplo a zároveň odváděl kapalnou vlhkost do okolního prostředí.

Úvod se zabývá základními podmínkami oděvu, jakož i spodního oděvu. Zabývá se historickými předpoklady nošení oděvu jako ochranného prostředku proti nepříznivým klimatickým podmínkám. Popisuje základní kritérium, podle něhož by měl být zvolen spodní oděv a za jakých okolních podmínek. Dále zmiňuje, které termo-fyziologické vlastnosti budou hodnoceny a na kterých přístrojích.

Experimentální část se zabývá hodnocením tepelného odporu, výparného odporu a hustoty tepelného toku na tepelném manekýnovi, tepelného odporu a výparného odporu na „skin modelu“ SGHP, propustnosti vodních par na FX 3180 CupMaster a prodyšnosti na air permeability tester. Dále byla statisticky zjišťována spojitost výsledků tepelného odporu mezi přístroji tepelný manekýn a „skin model“ SGHP, a výsledky výparného odporu na výše zmíněných přístrojích.

Podle výsledků shrnutých v kapitole Diskuse výsledků a kritérií, lze říci, že vzorek C (36%PP/26%PA/18%CMD/18%BA) nejlépe splňuje daná kritéria pro použití materiálu jako 1. vrstvy systému oděvu bez dalších vrstev. Jako druhý materiál, který nejvíce splňuje daná kritéria, je vzorek A (100%BA). U statistického porovnávání výsledků tepelného/výparného odporu mezi přístroji byl očekáván stejný, popř. podobný průběh. Ten byl téměř splněn, kromě porovnání výsledků tepelného odporu u vzorku B (84%PA/16%EL).

První předpoklad – zadržovat tělesné teplo – splňuje materiál s označením vzorek A (100%BA) a vzorek C (36%PP/26%PA/18%CMD/18%BA). Druhý předpoklad - odvádět pot z pokožky – nejvíce splňuje materiál s označením vzorek B. Z hlediska tepelného toku a propustnosti vodních par vykazoval nejlepší hodnoty vzorek C. Z hlediska prodyšnosti vzduchu nejlepší hodnoty vykazoval materiál s označením vzorek B.

Podle výsledků vyplývá, že je vhodné vzorek A (100%BA) a vzorek C (36%PP/26%PA/18%CMD/18%BA) používat v oděvním systému 1. vrstvy bez dalších vrstev. Po přidání dalších vrstev systému oděvu by mohl vzniknout diskomfort a to z hlediska přehřátí a následného ochlazování potem, protože vzorek A vykazuje typ textilie pomalu absorbující a pomalou schnoucí; a vzorek C typ voděodolné textilie. Dá se tedy předpokládat, že pro třívrstvý oděvní systém je naopak vhodnou volbou vzorek B (84%PA/16%EL).

Tato práce může být použita pro další výzkumy, jež by se zabývaly hodnocením termo-fyziologických vlastností materiálů po přidání 2. a 3. Vrstvy, snímání okolních klimatických podmínek během měření na tepelném manekýnovi, zda dochází ke změně okolní teploty, vlhkosti vzduchu a/nebo rychlosti vzduchu. Pro stejný experiment lze naměřit více hodnot tepelného odporu a výparného odporu z tepelného manekýna a „skin modelu“ SGHP a dále statisticky vyhodnotit, popř. stanovit jiný experiment přímo uzpůsobený pro porovnání výsledků získaných z tepelného manekýna a SGHP. Je také možné zaměřit se na vlastnosti CMD (modálová viskózová vlákna) obsažené v materiálu s označením vzorek C a jejich vliv na termo-fyziologické vlastnosti.

Zdroje

- [1] APURBA, D.; ALAGIRUSAMY, R.: Věda v oděvním komfortu, Woodhead Publishing, India Pvt. Ltd., 2010, ISBN: 978-81-908001-5-0
- [2] HES, L.; SLUKA, P.: Úvod do komfortu textilií, Liberec 2005, ISBN 80-7083-929-0
- [3] Popis funkčního prádla dostupné na:
<https://www.lidl-shop.cz/funkcni-obleceni>
- [4] Popis funkčního a spodního prádla dostupné na:
<https://www.pleas.cz/>, informace v rámci exkurze ve firmě Pleas a.s.
- [5] THE TEXTILE INSTITUTE: Věda v oděvním komfortu, The Textile Institute 2001, ISBN: 1-870372-24-7
- [6] NAYAK, R.; PADHYE, R.: Manekýni pro textilní hodnocení, The Textile Institute, 2017. The Textile Institute book series. ISBN 978-0-08-100909-3
- [7] HAKAN, O. N.: Hodnocení komfortního klimatu pomocí metod termální figuríny a počítačových simulačních modelů; ISBN 91-7045-703-4, ISSN 0346-7821; ISBN 91-7283-693-8
- [8] HOLMER, I.: Historie tepelného manekýna a aplikace, Accepted: 14 January 2004/Published online: 8 June 2004, _Springer-Verlag 2004
- [9] Tepelný manekýn Timmy dostupný na:
www.thermetrics.com/products/full-body-manikins/timmy
- [10] Operativní manuál pro dětského tepelného manekýna; Advanced Thermal Measurement Technology; A subsidiary of Measurement Technology NW
- [11] JIANHUA, H.: Metoda hodnocení vyhřívání desky, School of Textile and Material, Wuhan University of Science and Engineering, Wuhan, Hubei 430073, China, březen, 2006

- [12] ARTEC TESTNOLOGY: TexTest INSTRUMENTS, FX 3180 CupMaster: Water Vapor Transmission Rate Tester dostupný na:
<http://www.artec-testapparatuur.nl/content/artec/producten/pdf/Water-Vapor-Transmission-Rate-Tester.pdf>
- [13] HAVLOVÁ, M.: Prodyšnost, propustnost vodních par a vybrané struktury parametrů tkaných tkanin, Liberec 2020
- [14] Obrázek přístroje pro měření prodyšnosti dostupné na:
www.scientificservices.eu
- [15] Norma ČSN EN ISO 9237: Zjišťování prodyšnosti plošných textilií, 1996
- [16] MOISTURE MANAGEMENT TESTER Přístroj pro sledování a měření vlhkosti. Navod k použití. Rev. 4.1 (11/10). (SN: 808G0007) SDL Atlas Ltd.
- [17] JUNYAN HU; YI LI; KWOK-WING YEUNG; ANTHONY S.W. WONG; WEILING XU: Tester pro řízení kapalně vlhkosti: Metoda pro charakterizaci látkové kapaliny, Institute of Textile and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, leden 2005
- [18] ÖNER E.; ATASAGUN H.G.; OKUR A.; BEDEN A.R.; DURUR G.: Hodnocení managementu kapalně vlhkosti pletených textilií, leden 2013
- [19] KONARSKA, M.; SOLTYSKI, K.; SUDOL-SZOPINSKA, I.; CHOJNACKA, A.: Porovnání tepelné izolace oděvu hodnocené na tepelném manekýnu a na dobrovolnících, Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Department of Ergonomy, June 2007
- [20] CELCAR, D.; MEINANDER, H.; GERŠÁK, J.: Vlastnosti přenosu tepla a vlhkosti oděvního systému hodnocené pomocí termální figuríny za různých podmínek prostředí, International Journal of Clothing Science and Technology, 2008
- [21] VIRGÍLOP, A. M. O.; GASPAR A. R.; QUINTELA D. A.: Měření izolace oděvu s figurínou pracující v regulačním režimu tepelné pohody: komparativní analýza metod výpočtu, Department of Mechanical Engineering, Superior Institute of Engineering, Polytechnic Institute of Coimbra, 2008

[22] FIŠAR, J.; PIDROVÁ, K.; TOMA, R.: Stanovení tepelného odporu rukavic pomocí tepelného manekýna; FSI VUT v Brně

Seznam obrázků

- Obr. 1.: Tepelná soustava: organismus – oděv – prostředí [2]
- Obr. 2.: Odvod kapalné vlhkosti [2]
- Obr. 3.: Dětská tepelná figurína TIMMY [1]
- Obr. 4.: Schéma zón tepelného manekýna [10]
- Obr. 5.: Schematický diagram SGHP [11]
- Obr. 6.: Pohled shora na měřicí jednotku SGHP [11]
- Obr. 7.: FX 3180 CupMaster [12]
- Obr. 8.: Air permeability tester [14]
- Obr. 9.: Jednoduchý model testovací metody [17]
- Obr. 10.: Znázornění schématu přístroje MMT [17]
- Obr. 11.: Grafický výstup z MMT [16]
- Obr. 12.: Grafický výstup z MMT [16]
- Obr. 13.: Ukázka tří oděvních zdravotnických souborů [19]
- Obr. 14.: Technický nákres trička
- Obr. 15.: Měření vzorky – vzorek A, vzorek B, vzorek C
- Obr. 16.: Sledované zóny tepelného manekýna
- Obr. 17.: Ukázka pracovního prostředí softwaru pro ovládání tepelného manekýna – tepelný odpor
- Obr. 18.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu celého oděvu
- Obr. 19.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu jednotlivých zón
- Obr. 20.: Ukázka pracovního prostředí softwaru pro ovládání tepelného manekýna – výparný odpor
- Obr. 21.: Grafické zobrazení výsledků výparného odporu celého oděvu
- Obr. 22.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu jednotlivých zón
- Obr. 23.: Porovnání hustoty tepelného toku – vzorek A
- Obr. 24.: Porovnání hustoty tepelného toku – vzorek B
- Obr. 25.: Porovnání hustoty tepelného toku – vzorek C
- Obr. 26.: Porovnání hustoty tepelného toku pro výpočet tepelného odporu
- Obr. 27.: Porovnání hustoty tepelného toku pro výpočet výparného odporu
- Obr. 28.: Grafické zobrazení výsledků tepelného odporu
- Obr. 29.: Grafické zobrazení výsledků výparného odporu
- Obr. 30.: Grafické zobrazení propustnosti vodních par
- Obr. 31.: Grafické porovnání výsledků prodyšnosti vzduchu
- Obr. 32.: Grafické porovnání tepelného odporu
- Obr. 33.: Grafické porovnání výparného odporu

Seznam tabulek

- Tab. 1.: Indexy a stupně hodnocení [16]
Tab. 2.: Typy textilií [16]
Tab. 3.: Dokumentace materiálových vzorků
Tab. 4.: Výsledky tepelného odporu R_{CT} [$m^2\text{°C}/W$] celého oděvu naměřené na tepelném manekýnovi
Tab. 5.: Výsledky tepelného odporu R_{CT} [$m^2\text{°C}/W$] jednotlivých zón naměřené na tepelném manekýnovi
Tab. 6.: Výsledky výparného odporu R_{ET} [$m^2\text{Pa}/W$] celého oděvu naměřené na tepelném manekýnovi
Tab. 7.: Výsledky výparného odporu R_{ET} [$m^2\text{Pa}/W$] jednotlivých zón naměřené na tepelném manekýnovi
Tab. 8.: Výsledky hustoty tepelného toku q [W/m^2]
Tab. 9.: Výsledky tepelného odporu R_{CT} [$m^2\text{°K}/W$]
Tab. 10.: Výsledky výparného odporu R_{ET} [$m^2\text{Pa}/W$]
Tab. 11.: Výsledky propustnosti vodních par WVTR [$g/m^2/d$]
Tab. 12.: Naměřené hodnoty průtoku vzduchu q_v [ml/s]
Tab. 13.: Střední hodnoty a vypočítaná prodyšnost vzduchu R [mm/s]
Tab. 14.: Management kapalné vlhkosti – vzorek A
Tab. 15.: Management kapalné vlhkosti – vzorek B
Tab. 16.: Management kapalné vlhkosti – vzorek C

Seznam příloh

Příloha A – Obrazová analýza materiálových vzorků

Příloha B – Hodnoty tepelného odporu a tepelného toku pro výpočet tepelného odporu naměřené na tepelném manekýnovi

Příloha C – Hodnoty výparného odporu a tepelného toku pro výpočet výparného odporu naměřené na tepelném manekýnovi

Příloha D – Číselné a grafické výstupy z přístroje MMT

Příloha E – Korelační analýza