

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2008

ŠÁRKA NĚMCOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

KOD - 816

**MODELOVÁNÍ TRANSPORTU VLHKOSTI A
TEPLA U SENDVIČOVÝCH STRUKTUR
ODĚVNÍCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ**

**MODELLING OF MOISTURE AND HEAT
TRANSMISSION IN SANDWICH STRUCTURE OF
CLOTHING TEXTILE MATERIALS**

Vedoucí práce: Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Rozsah DP:

Počet stran: 67 s., 32 s. příloh

Počet obrázků: 45

Počet tabulek: 10

Počet příloh: 8

LIBEREC 2008

ŠÁRKA NĚMCOVÁ

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové (*bakalářské*) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 5. května 2008

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, Doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc. za poskytnuté informace, rady a připomínky. Dále za odbornou pomoc při měření Ing. Třešňákovi. A v neposlední řadě také firmám Direct Alpine s.r.o, T 12 SKI - SPORT a Jitex a.s. za poskytnutý materiál.

Abstrakt

V teoretické části se tato práce zabývá rozbořem tepla a vlhkosti u oděvních materiálů. Popisuje sendvičové struktury textilních oděvních materiálů a analyzuje přenosy tepla a vlhkosti u těchto struktur. Dále hodnotí možnosti měření tepelného odporu a odporu vůči vodním parám.

V experimentální části se zabývá měřením a modelováním tepelného odporu a odporu vůči vodním parám u jednotlivých vrstev materiálů a u složených vrstev těchto materiálů – sendvičových struktur. Následně výsledné hodnoty porovnává s teoretickým rozbořem.

Klíčová slova: sendvičová struktura, přenos, tepelný odpor, odpor vůči vodním parám

Abstract

In theoretic part this dissertation describes heat and moisture analysis in clothing materials, sandwich structure of textile clothing materials and analyses heat and moisture transmission in this sandwich structure. This dissertation evaluates possibilities of thermal and water - vapour resistance measuring.

In experimental part this dissertation is focused on measuring and modelling of thermal and water - vapour resistance in separate and composite layers of materials and confronts these results with theoretic analysis.

Key words: sandwich structure, transmission, thermal resistance, water - vapour resistance.

Seznam použitých veličin a zkratk

Q	tepelný tok [W]
q	hustota tepelného toku [W.m ⁻²]
λ	součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
α	součinitel přestupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]
w	rychlost proudění [m.s ⁻¹]
ν	kinematická viskozita [m ² .s ⁻¹]
ρ	hustota [kg.m ⁻³]
a	teplotní vodivost [m ² .s ⁻¹]
c	měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ . K ⁻¹]
g	gravitační zrychlení [m.s ⁻²]
γ	součinitel objemové roztažnosti [1.K ⁻¹]
ΔT	rozdíl teplot [K]
T	teplota [K]
l_0	určující rozměr [m]
σ	povrchové napětí [N.m ⁻¹]
α_s	součinitel sálání [W.m ⁻² .°C ⁴]
θ	kontaktní úhel (úhel smáčení)[°]
m^*	vteřinové množství páry [kg.m ⁻² .s ⁻¹]
β_p	součinitel přestupu vlhkosti prouděním [kg.m ⁻² .s ⁻¹ .Pa ⁻¹]
D_p	difúzní koeficient [kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ .Pa ⁻¹]
d	průměr [μm]
R(R _{ct})	tepelný odpor [m ² .K.W ⁻¹]
R _{et}	odpor vůči vodním parám [m ² .Pa.W ⁻¹]
W _d	propustnost vodních par [g.m ⁻² .h ⁻¹ .Pa ⁻¹]

Obr. obrázek

Tab. tabulka

č. číslo

pozn. poznámka

SS sendvičová struktura

MS model struktury

Obsah

Úvod.....	9
I. Teoretická část.....	10
1 Přenos tepla.....	11
1.1 Vedení tepla	11
1.2 Proudění tepla	13
1.3 Sálání	14
2 Přenos vlhkosti.....	17
2.1 Základní pojmy	17
2.2 Typy odvodu vlhkosti z povrchu lidského těla.....	18
2.3 Odvod vlhkosti u neoblečeného organismu.....	19
2.4 Odvod vlhkosti u oblečeného organismu.....	19
2.4.1 Přenos vlhkosti (hmoty) prouděním	20
2.4.2 Kapilární odvod vlhkosti	20
2.4.3 Difúzní odvod vlhkosti	21
2.4.4 Migrační odvod vlhkosti.....	22
2.4.5 Sorpční odvod vlhkosti	22
3 Sendvičová struktura textilních oděvních materiálů.....	23
3.1 Popis jednotlivých funkčních vrstev sendvičové struktury oblečení.....	23
3.1.1 Základní rozdělení bariérových textilií.....	25
3.1.2 Způsoby vytváření konstrukce u membránových materiálů.....	27
3.2 Přenos tepla a vlhkosti u sendvičových struktur textilních oděvních materiálů.....	28
4 Veličiny popisující tepelně – izolační vlastnosti a paropropustnost.....	31
4.1 Tepelný odpor	31
4.2 Tepelná vodivost.....	33
4.2.1 Vliv teploty a vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti.....	33
4.3 Odpor vůči vodním parám	34
4.4 Propustnost vodních par.....	34
5 Možnosti měření tepelně-izolačních vlastností a paropropustnosti.....	35
II. Experimentální část.....	38
6 Zkoumaný oděvní materiál	39
7 Měřicí zařízení	44

7.1 Togmetr.....	44
7.2 PSM 2 (PHYSIOLOGICAL SKIN MODEL).....	45
7.3 SGHP- 8.2 (SWEATING GUARDED HOTPLATE)	47
8 Vyhodnocení měření.....	49
8.1 Měření na přístroji Togmetr.....	49
8.2 Měření na přístroji PSM-2 a SGHP-8.2.....	54
8.3 Měření na přístroji SDL M018	58
8.4 Výpočet velikosti vzduchové vrstvy u modelu sendvičové struktury	59
Závěr	61
Seznam použité literatury	62
Seznam obrázků.....	64
Seznam tabulek	66
Seznam příloh	67

Úvod

V současné době dochází k zvyšování zájmu o sportovní oblečení, tvořené z funkčních oděvních vrstev. Jednotlivé vrstvy dohromady je možné chápat jako složenou – sendvičovou strukturu.

Funkční sendvičová struktura umožňuje při správném vrstvení a vhodných klimatických podmínkách zajistit co nejoptimálnější termofyziologický komfort a udržovat tak mikroklima organismu na požadované úrovni. Mikroklima se může narušit potem, zimou, zadrženým vlastním teplem vyvolaným při zvýšené tělesné aktivitě, větrem a deštěm.

Z tohoto důvodu je důležité sledovat parametry materiálu udávající jeho nepromokavost, tepelně-izolační vlastnosti, paropropustnost a umět vrstvený systém oblečení optimálně využívat v závislosti na změnách počasí a stupni pohybové aktivity. Možnost volby počtu jednotlivých vrstev je výhodou pro celoroční používání tohoto oblečení k nejrozličnějším aktivitám a sportům.

Modelování poté umožňuje získání představy, jak se budou chovat jednotlivé vrstvy dohromady, jaké budou tepelné ztráty a prodyšnost při použití různého počtu vrstev oděvních materiálů různé tloušťky a textilních struktur.

Tato práce se proto zabývá rozbořem přenosu tepla a vlhkosti u jednotlivých i složených – sendvičových struktur textilních oděvních materiálů. Modeluje s použitím funkčních oděvních vrstev tepelně – izolační vlastnosti a paropropustnost. U vybraných materiálů – používaných jako třetí oděvní vrstva - hodnotí i průnik tlakové vody.

I. Teoretická část

1 Přenos tepla

Okolní prostředí může mít velmi proměnlivou teplotu. Proto se vždy vytváří určitý teplotní spád mezi vnitřkem organismu, jeho povrchem a zevním prostředím. Pro udržení stálé tělesné teploty je důležitá termoregulace organismu. Rozlišujeme termoregulaci chemickou a fyzikální. Termoregulace chemická řídí tvorbu tepla v organismu a termoregulace fyzikální řídí tepelné ztráty. Termoregulaci lze tedy definovat jako schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, ač produkce tepla, jeho příjem i ztráty, nepřetržitě kolísají. [4]

Přenos tepla mezi organismem a okolím se uskutečňuje třemi způsoby:

- vedením (kondukcí),
- prouděním (konvekcí),
- zářením (radiací).

Základním předpokladem pro průběh výše uvedených dějů je **existence teplotního rozdílu**. Směr přenosu je vždy orientován z místa s vyšší teplotou k místům s nižší teplotní hladinou. [2]

1.1 Vedení tepla

Vedení neboli kondukce tepla je přenos energie interakcí mezi atomy a molekulami v důsledku nerovnoměrného rozložení teplot. Uplatňuje se především v pevných látkách, ale dochází k němu také v tekutinách. [2]

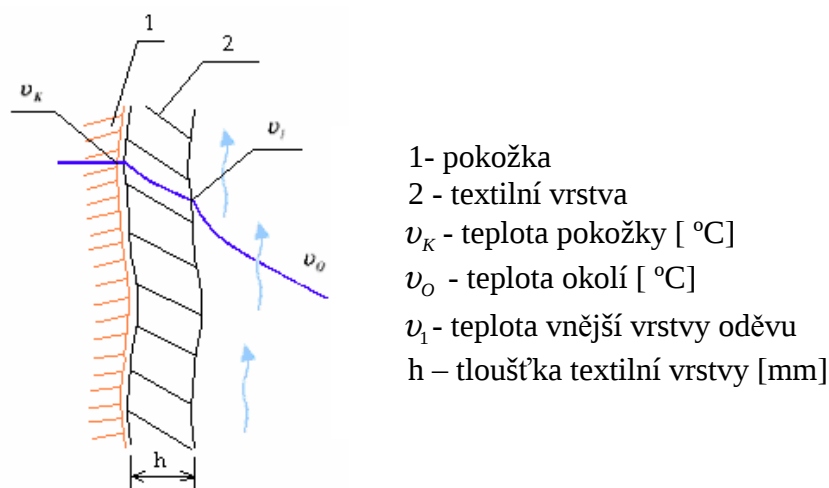
Fourierův zákon vyjadřuje úměrnost mezi hustotu tepelného toku q [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$], tepelnou vodivostí λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] a teplotním gradientem ∇T :

$$q = -\lambda \cdot \nabla T \quad (1)$$

Teplotní gradient je vektor, jehož směr je opačný než směr tepelného toku q , což je respektováno záporným znaménkem na pravé straně vztahu (1).

Tepelná vodivost různých materiálů se značně liší. U polymerů leží v intervalu 0,2 až 0,4 [W.m⁻¹.K⁻¹]. Nejnižší tepelnou vodivost mají plyny a to řádově 0,01 [W.m⁻¹.K⁻¹], zatímco tepelná vodivost kapalin je řádově 0,1 [W.m⁻¹.K⁻¹], a proto je přítomnost vody v textiliích nežádoucí. [1]

Vzhledem k tomu, že textilie je heterogenní materiál (vlákna, vzduch), nemá pojem „tepelná vodivost“ svůj obvyklý přesný význam; teplo je přenášeno skrz textilií také zářením a u tloušťky materiálu větší než 5 mm se uplatňuje volná konvekce. U oděvních systémů se tedy vedení tepla uplatňuje v tenkých vrstvách. Velký vliv na vedení tepla má i rozdílnost struktury textilie. [20]



Obr. 1 Přenos tepla kondukcí - textilní vrstva přímo naléhá na kůži a odnímá teplo kontaktním způsobem - dle [1]

Množství tepla Q_v [J.s⁻¹], které projde stěnou o ploše S [m²] za dobu t [s] :

$$Q_v = -\lambda \cdot \frac{v_k - v_1}{h} \cdot S \cdot t \quad (2)$$

zdroj : [20]

1.2 Proudění tepla

Přenos tepla prouděním se uskutečňuje při makroskopickém pohybu molekul hmoty, při němž dochází k výměně tepla mezi stěnou a tekutinou. Pokud teplotní rozložení v tekutině vyvolá rozdíly hustot nastane tzv. volná (přirozená) konvekce. Jestliže je proudění vyvoláno vnějšími silami (např. čerpadlem, ventilátorem) hovoříme o konvekci nucené. [2]

Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva v níž se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při tzv. laminárním proudění a klesá v případě proudění turbulentního, kdy trajektorie drah jednotlivých částic se vzájemně mísí. Při turbulentním proudění je přenos tepla intenzivnější. [1]

Hustotu tepelného toku q [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] přenášenou jakýmkoli druhem proudění vyjadřuje Newtonův zákon :

$$q = \alpha \cdot (t_1 - t_2), \quad (3)$$

kde α [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] je součinitel přestupu tepla. [1]

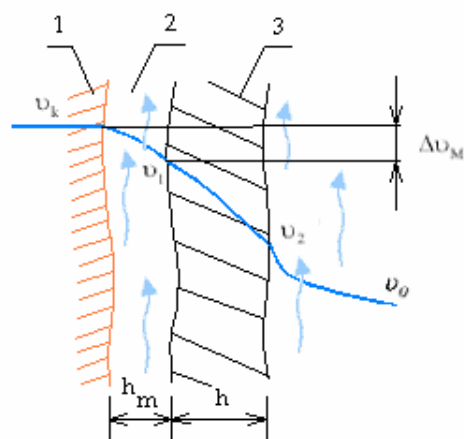
Součinitel přestupu tepla je určen podle teorie podobnosti :

- volná konvekce $\rightarrow \alpha$ je funkcí Grashofova a Prandtlůva podobnostního čísla.
- nucená konvekce $\rightarrow \alpha$ je funkcí Reynoldsova a Prandtlůva podobnostního čísla.

$$\alpha = f(\lambda, w, \nu, \rho, a, c, g, \gamma, \Delta T, T, l_0, \dots)$$

Součinitel přestupu tepla je maximální pro kondenzující páru, naopak minimální hodnoty dosahuje pro klidný vzduch. Lépe tedy izolují textilie, které mají ve své struktuře uzavřen vzduch, který se nepohybuje.

Kdežto proudící vzduch má na ztrátu tepla konvekcí zásadní vliv. Působením větru se teplota snižuje, efekt se nazývá Wind Chill. Popisuje se Wind Chill indexem, který představuje teplotu okolí vnímanou jako subjektivní pocit v případě větrného počasí. [20]



- 1- pokožka
- 2 – mikroklima
(vzduchová mezivrstva)
- 3- textilní vrstva
- v_k - teplota pokožky [°C]
- v_o - teplota okolí [°C]
- v_1 - teplota vnitřní vrstvy oděvu
- v_2 - teplota vnější vrstvy oděvu
- h - tloušťka textilní vrstvy [mm]
- h_M - tloušťka mikroklimatu [mm]

Obr. 2 Přenos tepla konvekcí – předpoklad vzduchové vrstvy tzv. mikroklima - dle [1]

Množství tepla Q_p [J.s⁻¹], které projde stěnou o ploše S [m²] dle [20] :

$$Q_p = \alpha_p \cdot S \cdot [(v_k - v_1) + (v_2 - v_o)] \quad (4)$$

1.3 Sálání

Přenos tepla zářením (sáláním) je způsoben elektromagnetickým vlněním, které se šíří v prostoru rychlostí světla $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Zářivý přenos mezi dvěma povrchy o různých teplotách probíhá nezávisle na prostředí, které prostor mezi povrchy vyplňuje. Tepelné záření se uplatňuje především v oboru vlnových délek od 10^{-7} do 10^{-4} m. [2]

Každé těleso vyzařuje elektromagnetické záření, jehož vznik souvisí s neuspořádaným pohybem elektricky nabitých částic v elektronových obalech jejich atomů. Při dopadu záření na povrch tělesa může dojít k odrazu záření, k jeho pohlcení, nebo k průchodu záření. Energetickou bilanci lze vyjádřit rovnicí :

$$Q = Q_R + Q_A + Q_D, \quad (5)$$

kde Q je tok zářivé energie dopadající, Q_R tok zářivé energie odražený, Q_A tok zářivé energie absorbovaný, Q_D tok zářivé energie prošlý objektem.

Podělíme-li rovnici (5) tokem zářivé energie dopadající na povrch, dostaneme :

$$1 = \frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_D}{Q} \quad (6)$$

Zavedením reflektance (odrazivost) R, absorpance (pohltivost) A a transmitance (průteplivost) D do rovnice (6) dostaneme formulaci 1. Kirchhoffova zákona :

$$1 = R + A + D \quad (7)$$

Absorbované světlo zvyšuje vnitřní energii molekul a mění se v teplo.

Reflektance, absorpance a transmitance závisí také na barvě a povrchu tělesa. Pojem dokonale černé těleso se používá jak pro tělesa dokonale pohlcující, tak pro tělesa dokonale vyzařující záření. Obecněji to vyjadřuje 2. Kirchhoffův zákon : Objekt je tak dokonalým zářičem, jak dovede záření pohlcovat, a proto emisivita povrchu objektu ε je rovna absorbanci.

$$\varepsilon = A \quad (8)$$

Stefan a Boltzmann odvodili, že tzv. absolutně černé těleso emituje ve směru normály k povrchu hustotu zářivého tepelného toku :

$$\vec{q} \cdot \vec{n} = \sigma^{(s)} \cdot T^4, \quad (9)$$

kde tzv. Stefanova-Boltzmannova konstanta má hodnotu $\sigma^{(s)} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

Energie emitovaná dokonalým zářičem je tedy úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty.

[1, 18]

V oděvních systémech se část tepla přenáší zářením, neboť povrch těla jako každé těleso emituje elektromagnetické vlnění. Z míst, která nejsou chráněná oděvem dochází k odvodu cca 45 % celkového tepla. Množství přenášeného tepla Q_s [J.s⁻¹], které projde stěnou o ploše S [m²] lze vyjádřit dle [20] :

$$Q_s = \alpha_s \cdot S \cdot \left[\left(\frac{273 - v_K}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + v_0}{100} \right)^4 \right], \quad (10)$$

kde v_K - teplota pokožky [°C]

v_0 - teplota okolí [°C]

α_s – součinitel sálání [W.m⁻².°C⁴].

2 Přenos vlhkosti

Lidský organismus v rámci své termoregulační činnosti produkuje vodu ve formě potu. Při extrémní fyzické námaze je to až 35 kg/den. Přičemž odpařením 1 litru potu se odvede cca 2,4 MJ tepla. Odvod vlhkosti je tedy důležitý faktor termofyziologického komfortu. [4]

2.1 Základní pojmy

Vlhkost - je základní vlastností vzduchu. Vlhkost vzduchu udává, jaké množství vody (vodní páry) obsahuje dané množství vzduchu. Závisí především na teplotě vzduchu, neboť vzduch za určité teploty může obsahovat jen určité množství vodních par. Čím je teplota vzduchu vyšší, tím více vlhkosti pojme. Pokud teplota klesne pod rosný bod, nastává kondenzace.

Rosný bod - je teplota, při které relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %.

Relativní vlhkost - je veličina, která udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch při plném nasycení. Udává se v procentech [%]. [17]

Smáčení – hlavní charakteristikou smáčení je kontaktní úhel (úhel smáčení) θ [°], pro který platí Youngova rovnice :

$$\sigma_{SG} - \sigma_{SL} = \sigma_{LG} \cdot \cos \theta \quad (11)$$

kde σ_{SG} - povrchové napětí na rozhraní pevná látka - plyn
 σ_{SL} - povrchové napětí na rozhraní pevná látka - kapalina
 σ_{LG} - povrchové napětí na rozhraní kapalina - plyn

Pokud $0^\circ < \theta < 90^\circ$ - kapalina smáčí pevnou látku,

$\theta > 90^\circ$ - kapalina nesmáčí pevnou látku.

Povrchové napětí σ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$] – povrch kapaliny se chová vlivem kohezních sil tak, jako by byl tvořen povrchovou blanou mající snahu se stahovat a zaujmout co nejmenší plochu. Důsledkem jsou tečné síly působící v rovině povrchu kapaliny. Povrchové napětí je dané vztahem :

$$\sigma = \frac{F}{l}, \quad (12)$$

kde F je síla působící v rovině povrchu kapaliny kolmo na délku l .

Velké povrchové napětí ztěžuje proces smáčení. Povrch textilie může být smáčen kapalinou, pouze pokud má textilie vyšší povrchové napětí než kapalina. Hodnotu povrchového napětí kapalin lze snížit použitím povrchově aktivních látek. Povrchové napětí je silně závislé na teplotě a platí, že klesá s rostoucí teplotou. [3]

2.2 Typy odvodu vlhkosti z povrchu lidského těla

Základním předpokladem pro odvod vlhkosti je **rozdíl parciálních tlaků páry** na povrchu lidské pokožky a v okolním prostředí. Způsob odvodu vlhkosti je rozdílný u neoblečeného a oblečeného organismu a závisí také na formě odváděné vlhkosti (kapalná či plynná) :

Odvod plynné vlhkosti :

- prouděním,
- difúzí,
- migrací,
- sorpcí.

Odvod kapalně vlhkosti :

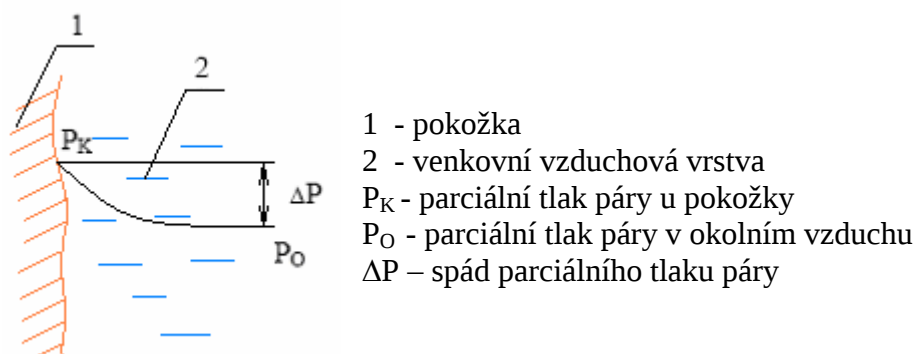
- kapilárně,

- difúzí,
- migrací,
- sorpcí.

Uvedené způsoby odvodu vlhkosti se uskutečňují současně. [1]

2.3 Odvod vlhkosti u neoblečeného organismu

U volného povrchu kůže je jedinou podmínkou odparu dostatečný rozdíl parciálních tlaků páry.



Obr. 3 Odvod vlhkosti z volného povrchu kůže odparem dle [1]

2.4 Odvod vlhkosti u oblečeného organismu

Transport vlhkosti je složitější, neboť se řídí jinými principy než u neoblečeného organismu. Pokud je navíc kontaktní textilní vrstva hydrofobní, musí spolupůsobit vhodná dynamická síla (např. vytvořená vibracemi oděvu při tělesném pohybu) nebo musí být kontaktní povrch upraven, např. povrchově aktivní látkou (smáčedlem) pro dočasný efekt, trvalé úpravy lze dosáhnout ozářením povrchu ionizujícím zářením. [1]

2.4.1 Přenos vlhkosti (hmoty) prouděním

Vztah pro přenos hmoty prouděním je podobný Newtonovu zákonu pro přenos tepla konvekcí :

$$m^* = \beta_p (p_{WSAT} - p_{WE}), \quad (13)$$

kde m^* – vteřinové množství páry [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$],
 β_p – součinitel přestupu vlhkosti prouděním [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$],
 p_{WSAT} – parciální tlak na povrchu lidské pokožky [Pa],
 p_{WE} – parciální tlak v okolním prostředí [Pa].

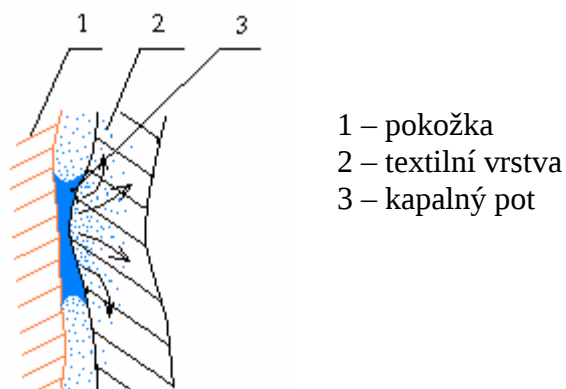
Podobně jako součinitel přestupu tepla α roste s rychlostí vzduchu, je také součinitel přestupu vlhkosti úměrný rychlosti vzduchu. [1]

2.4.2 Kapilární odvod vlhkosti

Kapalný pot ulpívající na kůži je v kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do plochy textilie všemi směry, tzv. knotový efekt. Kapilární tlak ΔP je úměrný povrchovému napětí vody γ a funkci $\cos$ kontaktního úhlu θ (charakterizující smáčecí schopnosti textilie) podle rovnice :

$$\Delta P = 2\gamma[(p_r \cdot \cos \theta_r / r) - (p_R \cdot \cos \theta_R / R)] \quad (14)$$

Kapilární tlak ΔP způsobuje tok kapalně vlhkosti obecně od velkých pórů o efektivním poloměru R k malým pórům odpovídajícího poloměru r . Termín p představuje vnitřní povrch kapilárních kanálů. [1]



Obr. 4 Kapilární odvod vlhkosti dle [1]

Intenzivní odvod vlhkosti ovlivňuje také struktura příze, tvar vláken a adheze mezi kapalinou a vláknem.

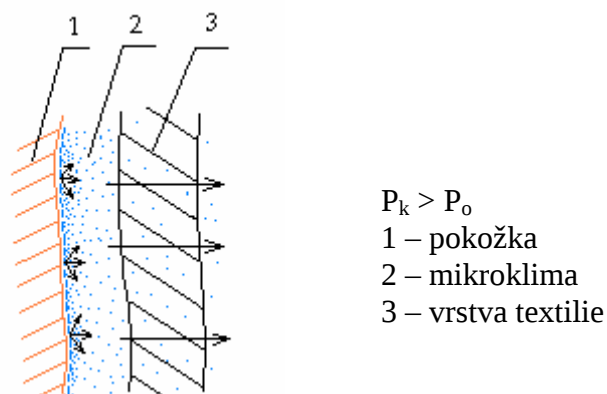
2.4.3 Difúzní odvod vlhkosti

Realizuje se jak u plynné, tak u kapalně vlhkosti, pokud je oděvní systém uzavřen a mezery mezi textilními vrstvami jsou malé. Difúzní odvod vlhkosti z povrchu kůže přes textilií nastává prostřednictvím pórů. Vlhkost prostupuje textilií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. [1]

Vteřinové množství páry m^* [kg.m⁻².s⁻¹] přenášené difúzí vrstvou klidného vzduchu je úměrné difúznímu koeficientu D_p [kg.m⁻¹.s⁻¹.Pa⁻¹] a gradientu parciálního tlaku $\Delta p_{\text{parc}}/\Delta x$ podle Fickova zákona :

$$m^* = -D_p \cdot \Delta p_{\text{parc}} / \Delta x = -D_p \cdot (p_{\text{WSAT}} - p_{\text{WE}}) / h = (p_{\text{WSAT}} - p_{\text{WE}}) / R, \quad (15)$$

kde $R_{\text{wp}} = h / D_p$ odpor proti průchodu vodní páry [1]



Obr. 5 Difúzní odvod vlhkosti dle [1]

Difúzní odpor jednotlivých oděvních vrstev se sčítá, značnou roli hraje i odpor vzduchových mezivrstev. V porézním prostředí je difúzní odpor přímo úměrný faktoru tortuosity ξ (délce kanálů) a nepřímo úměrný koeficientu porozity ϵ . Díky tedy větší porozitě mají otevřené textlie, jako např. pleteniny, přirozeně větší propustnost vodní páry než tkaniny. [1]

2.4.4 Migrační odvod vlhkosti

Předpokladem migračního odvodu vlhkosti je kondenzace vlhkosti na vodu. Ta migruje po povrchu vláken nebo je odvedena do kapilárních prostorů.

2.4.5 Sorpční odvod vlhkosti

Tento proces je nejpomalejší a je podmíněn textilií obsahující alespoň částečně sorpční vlákna. Při sorpci dochází k vniku vlhkosti či kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následně k navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Při sorpci dochází k uvolňování tepla, bobtnání vláken a změně téměř všech fyzikálních a mechanických vlastností vláken. Bobtnání vláken poté ovlivňuje propustnost textilií, neboť se zmenšují póry mezi vlákny. [1]

3 Sendvičová struktura textilních oděvních materiálů

Sendvičová struktura textilních oděvních materiálů je struktura složená z několika oděvních vrstev. Mezi jednotlivými oděvními vrstvami se *při nošení* vytváří vzduchové mezery a významně tak přispívají k lepším tepelně izolačním vlastnostem oblečení. Zjednodušeně je možné si ji představit jako složenou rovinnou stěnu, u níž dochází k přenosu tepla a vlhkosti mezi organismem a okolním prostředím.

Tato práce je zaměřena na sendvičovou strukturu tvořenou funkčními oděvními materiály, na kterou jsou kladeny požadavky co nejoptimálnějšího odvodu vlhkosti při zachování nepromokavosti a tepelně izolačních vlastností výrobku.

3.1 Popis jednotlivých funkčních vrstev sendvičové struktury oblečení

Materiály (pleteniny, tkaniny, laminované textilie) pro jednotlivé vrstvy jsou voleny podle funkce, kterou mají plnit.

Pletenina

Plošná textilie tvořená jednou a více soustav nití. Nitě nejsou v pletenině položeny rovně jako v tkanině, ale jsou uspořádané ve tvaru obloučků. Díky tomu mají větší porozitu než tkaniny. Mezi charakteristické vlastnosti patří pružnost, prodyšnost, tepelně – izolační vlastnosti. Vlastnosti pletenin ovlivňuje vazba, druh použitých nití, hustota pleteniny a povrchová úprava (např. počesání, úprava ionizujícím zářením).

Tkanina

Plošná textilie tvořená ze dvou a více soustav nití (osnovních a útkových) vzájemným provázáním v pravém úhlu. Mezi typické vlastnosti patří pevnost, tuhost, jemnost, menší pružnost. Vlastnosti tkanin ovlivňuje vazba, druh použitých nití, dostava tkaniny a povrchová úprava (např. vodoodpudivá).

Mezi základní charakteristiky tkanin a pletenin patří *porozita*. Představuje velikost pórů v textilií, jejich tvar, uspořádání a četnost. Vypovídá o celkovém množství vzduchu, který je obsažen v textilií. Zahrnuje póry :

- uvnitř vláken – „mikro“,
- uvnitř nitě vytvořené mezi vlákny – „mezo“,
- mezi osnovními a útkovými nitěmi – mezinitné póry „makro“.

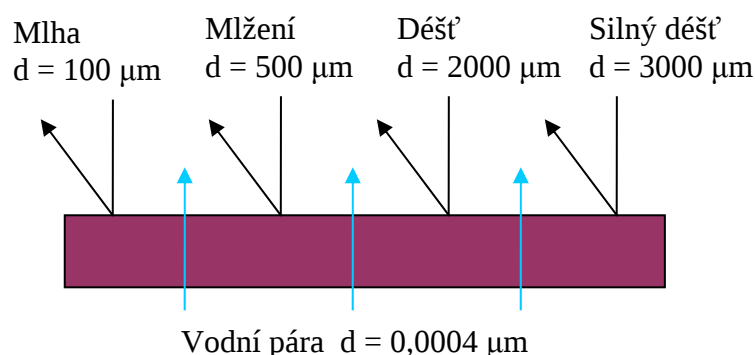
Ovlivňuje prodyšnost, propustnost pro vodní páry, transport kapalné vlhkosti, tepelně-izolační vlastnosti, filtrační schopnosti, propustnost světelných paprsků.

Jednotlivé funkční vrstvy:

1. vrstva – tzv. funkční spodní prádlo, které přímo naléhá na pokožku těla. Zajišťuje odvod vlhkosti směrem od organismu a částečně zadržuje teplo vytvořené organismem. Jako materiály se používají hydrofóbní úplety se speciálně tvarovanými vlákny např. polyester, polypropylen, polyamid, popřípadě směšové materiály s bavlnou.

2. vrstva – tzv. termoizolační, vytváří vzduchovou mezeru, která izoluje námi vytvořené teplo a nepropouští studený vzduch k tělu, současně transportuje vlhkost do dalších vrstev. Používají se počesané pleteniny např. fleece.

3. vrstva – tzv. ochranná proti vlivům počasí. Používají se bariérové textilie - polopropustné, tzn. schopné propouštět vlhkost produkovanou organismem a zabráňující průchodu vlhkosti z okolí. Současně odolávají působení větru. [15]



Obr. 6 Princip bariérových textilií dle [1]

3.1.1 Základní rozdělení bariérových textilií

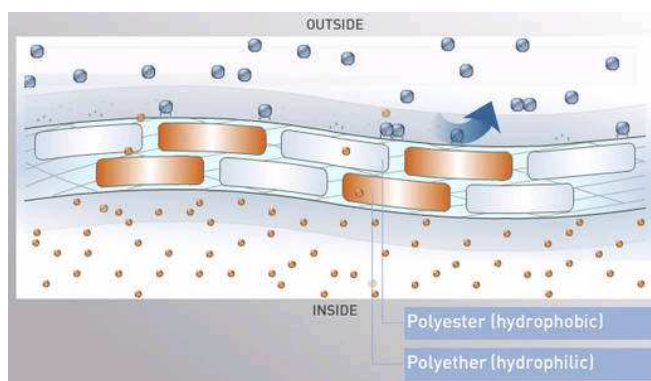
- *Tkaniny s hustou dostavou a vodoodpudivou úpravou (waterrepellent)* – až 7000 nití/cm. Velikost póru $< 10 - 3 \mu\text{m}$, jsou vyráběny z mikrovláknových polyesterových a polyamidových přízí. Charakterizuje je nejlepší prodyšnost, ale nejnižší odolnost proti působení vody.
- *Tkaniny se zátěrem (waterresistant)* – zátěrem se vytvoří tzv. klimatická membrána. Jedná se o trvalou impregnaci nanášenou na materiál v různě silných vrstvách. Zátěry mohou být prodyšné a neprodyšné. Jako základní tkanina se nejčastěji používá polyamid a je opatřena zátěrem polyuretanovým nebo nánosem PVC. Obecně mají horší poměr nepromokavost/prodyšnost než membrána. Oproti membráně se liší mnohem větší tloušťkou nanášené vrstvy.
- *Tkaniny s membránou (waterproof/ breathable)* – membrána je tenká vrstva polymerního materiálu, tzv. fólie. Vyrábí se samostatně a následně se laminuje na základní materiál. Rozlišujeme dva druhy membrán :
 - a) *Mikroporézní, hydrofobní membrány* – průměr pórů $0,1 - 3 \mu\text{m}$. Póry jsou rozmístěny chaoticky a tvoří lomené dráhy pro zajištění větruvzdornosti. Jsou propustné pro molekuly páry, ale nikoli pro zkondenzované kapky vody.



Obr. 7 Mikroporézní membrána Goretex

- b) *Neporézní hydrofilní membrány* – membrána nemá žádné otvory. Přenos vlhkosti je založen na fyzikálně – chemickém principu, principu difúze, kdy se vlhkost na určitou dobu stává součástí membrány. Membrána odvádí vodu nejen ve formě vodní páry, ale i zkondenzovanou. Lze je označit přívlastkem chytré membrány. Molekuly v membráně reagují při tělesné zátěži, kdy se více potíme na rostoucí tělesnou teplotu rychlejším

pohybem. Takže se vzdálenosti mezi molekulami zvětšují a schopnost propouštět páru úměrně narůstá.[1,14]



Obr. 8 Membrána sympatex (kopolymer – 70 % polyester - hydrofóbní a 30% polyether – hydrofilní) dle [22]

Membránové materiály poskytují nejlepší odolnost proti vodě při zachování dobré prodyšnosti.

- *Fleece materiály s membránou* – jedná se o materiály, kde na vysoce prodyšnou membránu je z jedné nebo z obou stran nalamovaná tenká vrstva fleece. Vzhledem k mimořádné prodyšnosti nedochází ke kondenzaci vodní páry. Použitá membrána je 100 % větruvzdorná a částečně odolná proti vodě, ale za cenu zhoršení prodyšnosti. Tyto materiály se používají se jako 2. izolační a současně i ochranná vrstva, přičemž použití 3. vrstvy odpadá. [14]

Jednotlivé materiály lze dále specifikovat označením *Soft Shell* nebo *Hard Shell* :

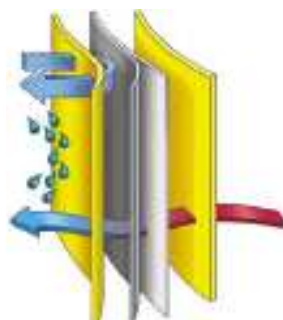
Hard Shell (tvrdý obal) – označení pro klasickou svrchní vrstvu, zajišťující určitou míru nepromokavosti, prodyšnosti a větruvzdornosti. Patří sem tkaniny se zátěrem nebo membránou.

Soft shell (měkký obal) - materiál který poskytuje ochranu a komfort pro většinu klimatických podmínek. Jedná se o spojení více vrstev - syntetický úplet s vodoodpudivou úpravou na straně vnější a fleece zajišťující teplo a transport vlhkosti na straně vnitřní. Případně je mezi vrstvy vložena membrána, nejčastěji větruvzdorná.

Vyniká vysokou mechanickou odolností a zároveň je elastický, takže neomezuje v pohybu.[14]

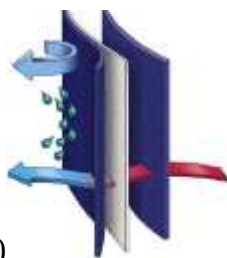
3.1.2 Způsoby vytváření konstrukce u membránových materiálů

- *Volně vložená membrána* – membrána je volně vložena mezi vnější materiál a podšívku. Tak se zachovávají její parametry. Prodyšnost je omezena jen vnějším materiálem.



Obr. 10 Volně vložená membrána dle [20]

- *Dvouvrstvý laminát* – membrána je pomocí laminace (nanášení polyuretanového pojiva v ploše nebo bodově) spojena buď s vnější textilií, zevnitř je zpravidla volně vložena podšívka, nebo je membrána spojena s podšívkou. Laminováním se sníží parametry nepromokavosti a prodyšnosti. Zlepší se odolnost vůči poškození.



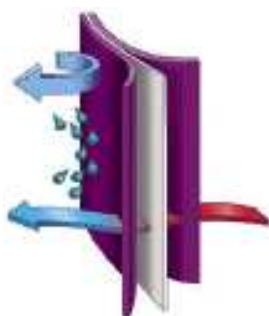
a)



b)

Obr. 11 Dvouvrstvý laminát a) vnější materiál s membránou, b) podšívka s membránou dle [20]

- *Dvou a půl – vrstvý laminát* - membrána nalaminována na vnější textilií je opatřena potiskem, nevyžaduje další podšívkování.
- *Třívrstvý laminát* – membrána je zalaminována mezi vnější textilií a podšívkou a tvoří s nimi tak jeden celek. Nejlépe odolává mechanickému poškození. Je však nejtěžší. [20]



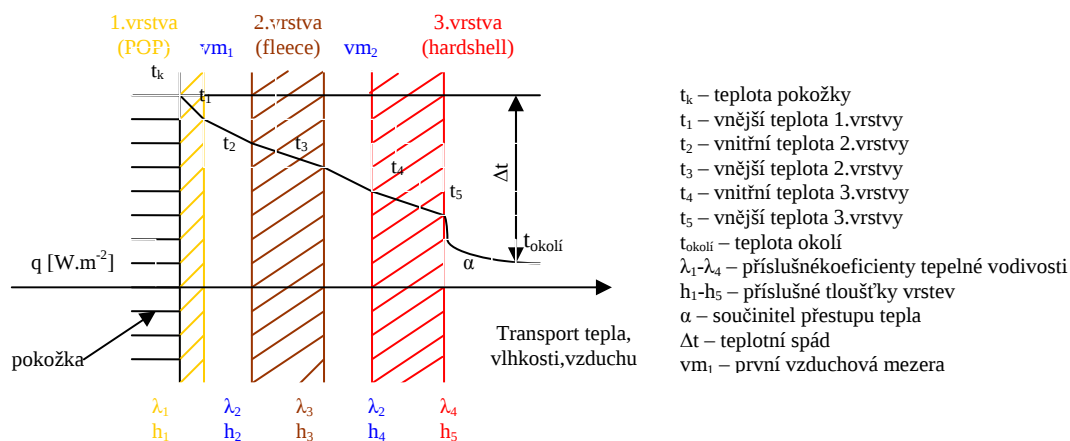
Obr. 12 Třívrstvý laminát dle [20]

3.2 Přenos tepla a vlhkosti u sendvičových struktur textilních oděvních materiálů

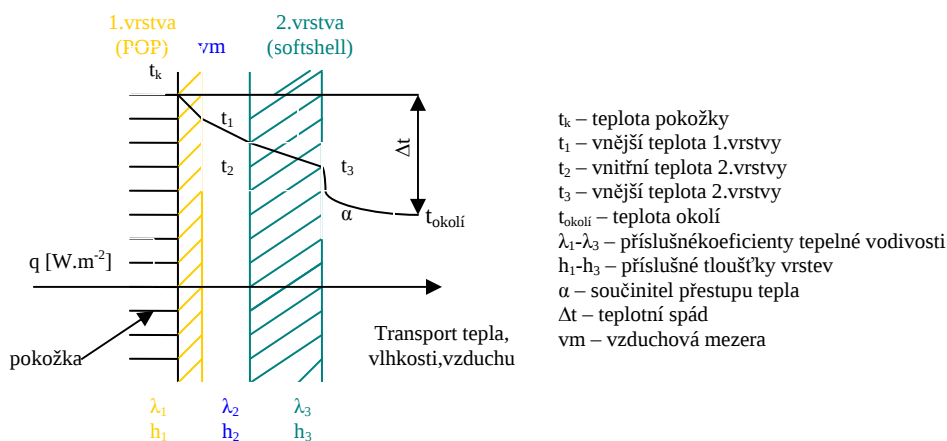
Modelový příklad sendvičové struktury je uveden na obr. 14 a 15. Zobrazené modely představují **vrstvení oděvu na postavě**. Modely mají následující parametry :

- 1.vrstva přímo naléhá na pokožku,
- tloušťka vzduchových mezer a jednotlivých materiálů < 5 mm,
- přenos nehomogenní vrstvou,
- stacionární charakter transportu.

Samotný rozbor přenosu tepla a vlhkosti u zobrazených sendvičových modelů je popsán v tab. 1 a 2 a dále je proveden výpočet jejich tepelných ztrát.



Obr. 13 Model sendvičové struktury s použitím hardshellu



Obr. 14 Model sendvičové struktury s použitím softshellu

Tab. 1 Přenos tepla u zobrazených modelů

Vedení	1.,2.,3. vrstva, vzduchové mezery
Proudění	Poslední vrstva - okolí
Sálání	Mezi 1. a 2. vrstvou, mezi 2. a 3. vrstvou

Tab. 2 Přenos vlhkosti u zobrazených modelů

Proudění	Poslední vrstva – okolí
Difúze	1.,2.,3. vrstva, vzduchové mezery
Kapilární odvod	1.,2.,3. vrstva (předpoklad kondenzace vlhkosti)
Migrační odvod	1.,2.,3. vrstva (předpoklad kondenzace vlhkosti)
Sorpce	1.vrstva, pokud je částečně ve směsi s bavlnou

Výpočet tepelných ztrát zobrazených modelů dle (1) a (3) :

Model sendvičové struktury s použitím hardshellu (obr. 13) :

$$q_{1.vrstvy} = \frac{\lambda_1}{h_1}(t_k - t_1)$$

$$q_{vm_1} = \frac{\lambda_2}{h_2}(t_1 - t_2)$$

$$q_{2.vrstvy} = \frac{\lambda_3}{h_3}(t_2 - t_3)$$

$$q_{vm_2} = \frac{\lambda_2}{h_4}(t_3 - t_4)$$

$$q_{3.vrstvy} = \frac{\lambda_4}{h_5}(t_4 - t_5)$$

$$q_{proud.} = \alpha(t_5 - t_{okolí})$$

$$q_{cel} = \frac{(t_k - t_{okolí})}{\frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \frac{h_3}{\lambda_3} + \frac{h_4}{\lambda_2} + \frac{h_5}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha}} = \frac{\Delta t}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e} \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

Model sendvičové struktury s použitím softshellu (obr. 14) :

$$q_{cel} = \frac{(t_k - t_{okolí})}{\frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \frac{h_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha}} = \frac{\Delta t}{R_1 + R_2 + R_3 + R_e} \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

Představu o velikosti vzduchových mezer mezi jednotlivými vrstvami oděvu lze získat měřením délky obvodu těchto vrstev po jejich oblečení na vhodnou krejčovskou figurínu. Z rozdílu jednotlivých obvodů lze určit průměrnou šířku vzduchové mezery. Vzduchové mezery za bezvětrí představují 22 - 40 % celého odporu oděvu. [1]

4 Veličiny popisující tepelně – izolační vlastnosti a paropropustnost

Pro popis tepelně - izolačních vlastností se používá tepelný odpor a tepelná vodivost. Kvalitní tepelná izolace je charakterizována vysokým tepelným odporem a nízkou tepelnou vodivostí.

Paropropustnost lze popsat pomocí odporu vůči vodním parám a propustností vodních par.

4.1 Tepelný odpor

Tepelný odpor R (R_{ct}) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] – je rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu dělený výsledným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu.[13]

Vztah pro výpočet tepelného odporu dle [20] :

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{h}{\lambda}, \quad (16)$$

kde h – tloušťka textilie [m]

ΔT – rozdíl teplot na povrchu textilie [K]

Q – množství přivedeného tepla [J]

λ – koeficient tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Tepelný odpor závisí na mnoha faktorech:

- vazbě textilie → tloušťce textilie, prodyšnosti (objemové hmotnosti, porozitě, povrchové úpravě),
- vlhkosti,
- délce a zkadeření vláken.

Maximální hodnoty dosahuje pro tloušťku 5 mm, u silnějších vrstev se uplatňuje volná konvekce a odpor klesá. [1]

Celkový tepelný odpor oblečení R_{CL} závisí na odporu a počtu jednotlivých vrstev :

$$R_{CL} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (17)$$

Totální tepelný odpor R_{TOT} zahrnuje i odpor tzv. vnější mezní vrstvy R_E , který závisí na rychlosti proudění vnějšího vzduchu :

$$R_{TOT} = R_{CL} + R_E, \quad (18)$$

kde $R_E = 1/\alpha$. [1]

Další používané jednotky tepelného odporu :

TOG - praktická jednotka tepelného odporu

$$1[TOG] = 0,1[m^2.K.W^{-1}] \quad [20]$$

CLO - vedlejší jednotka tepelného odporu odpovídající tepelnému odporu tzv. business suitu (oblečení zahrnující spodní prádlo, kalhoty, košili, vestu i sako).

$$1[CLO] = 0,155[m^2.K.W^{-1}], \text{ pozn.: nezahrnuje však } R_E. \quad [1]$$

4.2 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost – schopnost látky vést teplo za stacionárních podmínek, kdy je tepelný tok ustálen tak, že se rozložení teplot uvnitř látky s časem nemění.

Je vyjádřena *součinitelem tepelné vodivosti* λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] - množstvím tepla, které projde přístrojem za jednotku času přes jednotku plochy vztaženo na jednotku tloušťky textilie, pokud existuje rozdíl teploty mezi dvěma stranami textilie.

Z rovnice (14) vyplývá : $\lambda = h/R$. [20]

4.2.1 Vliv teploty a vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti

S rostoucí teplotou součinitel tepelné vodivosti vzduchu, vodní páry, vody a také izolačních materiálů lineárně roste. S rostoucím podílem páry ve vzduchu však dle [25] součinitel tepelné vodivosti vlhkého vzduchu zpočátku mírně roste, poté však klesá (viz. příloha č. 8).

Tepelná vodivost vody λ_{vody} je přibližně 25krát větší než λ_{vzduchu} (tab. 3), což má vliv na tepelně-izolační vlastnosti vlhkého materiálu. Při vedení tepla ve vlhkých materiálech tepelná vodivost dosahuje hodnoty větší než nejlépe vodivá látka (v tomto případě voda). Proto je z hlediska termofyziologického komfortu žádoucí volit takové materiály, které vlhkost (vodu) nezadržují a umožňují její transport do okolí. [24]

Tab. 3 Hodnoty koeficientu tepelné vodivosti vybraných materiálů dle [5]

látka	λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Vzduch (20 °C)	0,02512
PU pěna	0,030
Bavlna	0,071
Polypropylen	0,172
Polyester	0,218
Polyamid	0,240
Elastan	0,147
Teflon	0,244
Voda	0,606
Hliník	229,0

4.3 Odpor vůči vodním parám

Odpor vůči vodním parám R_{et} [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$] – je rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. [13]

Ovlivňuje ho porézní charakter textilie, vazba, dostava, povrchová úprava.

4.4 Propustnost vodních par

Propustnost vodních par W_d [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$] – vlastnost textilního materiálu závislá na odporu vůči vodním parám a teplotě :

$$W_d = \frac{1}{R_{et} \cdot \Phi T_m}, \quad (19)$$

kde ΦT_m – latentní (skupenské) teplo odpařování vody při teplotě měřící jednotky T_m . [13]

Hodnocení paropropustnosti metodou měření R_{et} či MVRT uvádí tab. 4 :

Tab. 4 Hodnocení paropropustnosti dle [16]

R_{et} [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$]	Paropropustnost	MVRT [g/m^2 za 24 hod]
0 – 6	Velmi dobrá	Nad 20 000
6 – 13	Dobrá	9 000 – 20 000
13 – 20	Uspokojivá	5 000 – 9 000
20 – 30	Nevyhovující	Pod 5 000

5 Možnosti měření tepelně-izolačních vlastností a paropropustnosti

Možnosti měření tepelně-izolačních vlastností a paropropustnosti jsou uvedeny níže. Jedná se o objektivní metody hodnocení vlastností plošných textilií za stacionárních podmínek.

Gravimetrická metoda

Vyhodnocené veličiny	Princip měření	Zhodnocení
$P_{rel} [\%]$ <i>relativní propustnost</i> $P_{abs} [kg \cdot m^{-2} \cdot hod^{-1}]$ <i>absolutní propustnost</i>	Zjišťování úbytku vody, která projde vzorkem za určitou dobu při rozdílu parciálních tlaků vodních par na obou stranách vzorku, vážením.	Zdlouhavost (až 6 hod), nízká přesnost (časová nelineární sorpce vysoušedla).



PSM-2 (SKIN MODEL)

Obr. 15 PSM-2

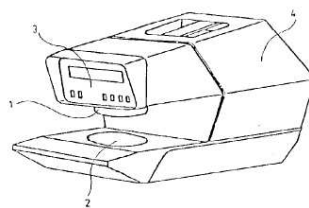
Vyhodnocené veličiny	Princip měření	Zhodnocení
$R_{et} [m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}]$ <i>odpor vůči vodním parám</i> $W_d [g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot Pa^{-1}]$ <i>propustnost vodních par</i>	Zkouška pocení vyhřívanou porézní destičkou. Tepelný tok přiváděný do desky s cílem udržet původní teplotu je mírou paropropustnosti textilie	Časová náročnost – půl hodiny.
Pozn. : Lze provádět i zkoušku za nestacionárních podmínek. Měří se jí regulační účinek z parní fáze. Čidla registrují časový průběh teploty a vlhkosti podle nastaveného režimu impulsů pocení. [1]		



Permetest

Obr. 16 Permetest

Vyhodnocené veličiny	Princip měření	Zhodnocení
$P [\%]$ <i>relativní propustnost vodních par,</i> <i>(s použitím software Ret,Rct)</i>	Přímé měření výparného tepelného toku, jehož hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie a nepřímo úměrná výparnému odporu.	Krátká doba měření 2-5 min, možnost provádět měření v jakýchkoliv běžných klimatických podmínkách, nedestruktivní.
Pozn. : Umožňuje měřit i tepelný odpor, takto stanovená hodnota je však jen přibližná. (Odečítá se odpor vnější mezní vrstvy pro hladký měřicí povrch, zatímco povrch realné textilie je odlišný.)		



Alambeta

Obr. 17 Alambeta

Vyhodnocené veličiny	Princip měření	Zhodnocení
λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] <i>koeficient tepelné vodivosti</i> a [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] <i>koeficient teplotní vodivosti</i> b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$] <i>koeficient tepelné jímavosti</i> r [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] <i>plošný odpor vedení</i> h [mm] <i>tloušťka</i>	Měření časového průběhu tepelných toků od neustáleného až do ustáleného stavu, které procházejí v důsledku rozdílných teplot spodního a horního povrchu zkoušenou textilií při přítlaku měřicí hlavice 400Pa.	Nedestruktivní, měří vzorky o tloušťce 0,5 – 8 mm, časová náročnost – 10 až 100 sekund.



SDL M259 (Togmetr)

Obr. 18 Togmetr

Vyhodnocené veličiny	Princip měření	Zhodnocení
R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] <i>tepelný odpor</i> k [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] <i>tepelná vodivost</i>	Měření toku tepla skrz plochu vzorku textilie, která je v kontaktu s materiálem o známé tepelné odolnosti, v důsledku stacionárního gradientu teploty.	Zdlouhavost měření – 2 až 4 hodiny, vysoká přesnost, ale také citlivost na výkyvy teploty a vlhkosti.



Potící torzo

Obr. 19 Potící torzo

(Válec velikosti lidského trupu, jehož jednotlivé vrstvy modelují lidské tělo.)

Princip měření	Zhodnocení
Simulace přenosu tepla a vlhkosti z lidského trupu. Stanovení odpařeného a kondenzovaného množství vody vážením.	Proměření až čtyř oděvních vrstev, lze simulovat stav organismu v klidu i při zátěži, časová náročnost – přibližně 4 hodiny.

Tepelný a potící se manekýn



Obr. 20 Tepelný a potící se manekýn

(Počítačem řízený topný a potící se systém napodobující termoregulační funkce organismu.)

Princip měření	Zhodnocení
Snímání teploty a měření elektrického příkonu $P[W]$, vynaloženého pro simulaci rozložení tepla v lidském těle, a měření ztrát vlhkosti pomocí počítače.	Schopen i omezeného pohybu, simulace různých klimatických podmínek a zátěže, nákladné.

[1,19]

II. Experimentální část

6 Zkoumaný oděvní materiál

Pro modelování transportu tepla a vlhkosti byl použit funkční oděvní materiál. Tento materiál poskytly firmy T12 SKI – SPORT , Direct Alpine s.r.o. a Jitex a.s. Přehledný popis zkoumaných materiálů uvádí tab. 5 a 6.

Tab. 5 Přehledný popis zkoumaných oděvních materiálů

Č. mat.	Zařazení v sendviči	Složení a typ materiálu	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Vodní sloupec [mm]
1	1. vrstva	PP (pletenina)	1,55	135	---
2	2. vrstva	64% PES+24% PA+12% Spandex (pletenina)	3,54	241	---
3	3. vrstva	PES (tkanina) + PU (membrána) + PES (pletenina)	0,57	173	26 173
4	3. vrstva	PA (tkanina) + PU (membrána)	0,50	168	19 300
5	3. vrstva	93% PA + 7% SPANDEX (tkanina) + PU (membrána)	0,52	182	17 700
6	3. vrstva	PES (pletenina)	0,44	52	---
7	3. vrstva	PA (tkanina) + PU (zátěr) + potisk	0,29	92	14 400
8	3. vrstva	PA (tkanina) + PU (zátěr)	0,46	158	17 400
9	2. vrstva	PA (tkanina) + PU (membrána) + PA (pletenina)	2,44	267	18 100
10	2. vrstva	86% PES + 14% SPANDEX (tkanina) + PU (membrána) + PES (pletenina)	2,14	395	15 700

Tab. 6 Složení sendvičových struktur

Č. sendviče	Složení sendviče
1	materiál č. : 1 + 2 + 3
2	materiál č. : 1 + 2 + 6 + 4
3	materiál č. : 1 + 2 + 6 + 5
4	materiál č. : 1 + 2 + 7
5	materiál č. : 1 + 2 + 6 + 8
6	materiál č. : 1 + 9
7	materiál č. : 1 + 10

Podrobný popis zkoumaných materiálů dle [6, 7, 8, 9]:

Materiál č. 1



Obr. 21 Úplet Prolen dle [23]

- Úplet z profilovaných polypropylenových vláken (PROLENVEL)
- Nenavlhavý
- Odolný vůči bakteriím a plísním
- Vynikající izolační vlastnosti
- Samozhášející efekt

Materiál č. 2

- Fleece - Polartec Powerstretch – kartáčovaný úplet
- Výrobce Polartec

Materiál č. 3

- 3-vrstvý laminát : tkanina s úpravou KUDOS XR (nejefektivnější trvalá vodoodpudivou úpravou firmy Toray) a vazbou RIPSTOP + PU membrána DERMIZAX – ZR + podšívka
- Výrobce : Toray, Japonsko
- Vlastnosti : nepromokavost, prodyšnost, větruvzdornost
- Udávané parametry : vodní sloupec – 20 000 mm a výše

propustnost vodních par – 38 000 g/m²/24 hod

Material č.4

- 2-vrstvý laminát : tkanina s trvalou vodoodpudivou úpravou + hydrofilní PU membrána OMNICALIMA
- Výrobce : Concordia Textiles, Waregem
- Vlastnosti : nepromokavost, prodyšnost, větruvzdornost, odolnost vůči zašpinění
- Udávané parametry : vodní sloupec – nad 10 000 mm

prodyšnost – $8 < R_{et} < 18$

propustnost vodních par – cca 15000 g/m²/24 hod

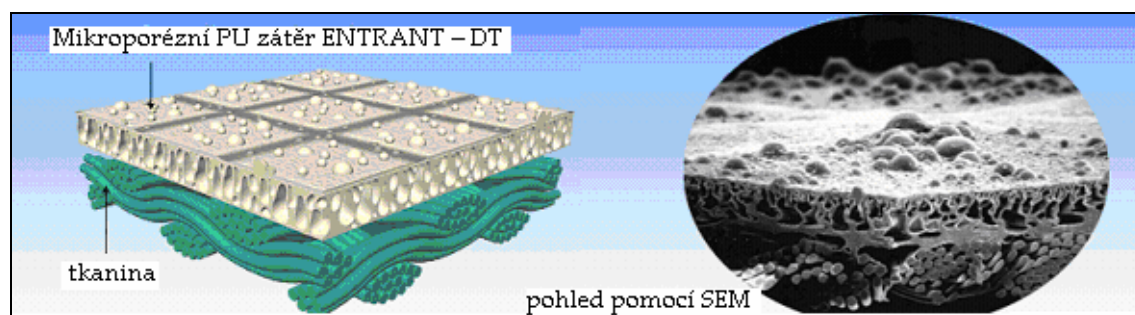
Material č. 5

- 2-vrstvý laminát : tkanina s trvalou vodoodpudivou úpravou + PU membrána
- Výrobce : Long Advance INT'L CO., LTD, Taiwan
- Vlastnosti : nepromokavost, prodyšnost, větruvzdornost, odolnost vůči zašpinění

Material č.6

- Podšívkovina – PES pletenina

Material č.7



Obr. 22 ENTRANT - DT dle [6]

- 2 ½ vrstvý materiál : tkanina s trvalou vodoodpudivou úpravou vazbou RIPSTOP (proti páráni) + mikroporézní PU zátěr ENTRANT – DT s TM úpravou (potisk – nevyžaduje další podšívkování)
- Výrobce : Toray, Japonsko
- Vlastnosti : nepromokavost, prodyšnost, větruvzdornost
- Udávané parametry : vodní sloupec – 10 000 mm a výše dle typu materiálu

propustnost vodních par – 8 000 – 13 000 g/m²/24 hod a

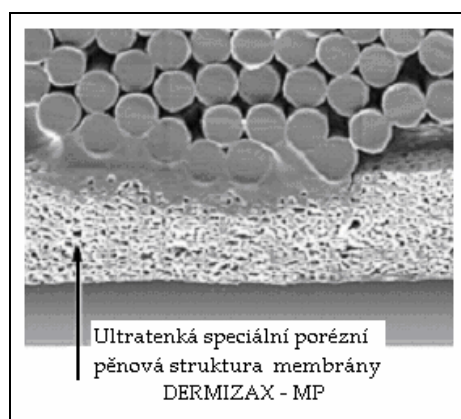
výše dle typu materiálu.

Materiál č.8

- Tkanina se zátěrem (PU)
- výrobce : Radici Tessuti, Itálie
- vlastnosti : nepromokavost, prodyšnost
- udávané parametry : vodní sloupec – 6 000 mm

prodyšnost – $13 < R_{et} < 20$

Materiál č. 9



Obr. 23 DERMIZAX – MP dle [6]

- 3-vrstvý laminát (softshell) : tkanina s úpravou KUDOS XR (nejefektivnější trvalá vodoodpudivou úpravou firmy Toray) a vazbou RIPSTOP + porézní PU membrána DERMIZAX – MP + podšívka (fleece)
- výrobce : Toray, Japonsko
- vlastnosti : vysoká nepronikavost a prodyšnost, větruvzdornost
- udávané parametry : vodní sloupec – 20 000 mm a výše

propustnost vodních par – nad 10 000 g/m²/24 hod

Materiál č. 10

- 3-vrstvý laminát (softshell) – 4WayTex : tkanina s trvalou vodoodpudivou úpravou a vazbou RIPSTOP + PU membrána + podšívka (fleece)
- výrobce : Long Advance INT'L CO., LTD, Taiwan
- vlastnosti : vysoká nepronikavost a prodyšnost, větruvzdornost
- udávané parametry : vodní sloupec – 10 000 mm

propustnost vodních par – 10 000 g/m²/24 hod

7 Měřicí zařízení

Pro popis parametrů materiálů byly použity elektronické digitální váhy a přístroj SDL M018. Podmínky měření a naměřené hodnoty na těchto dvou přístrojích jsou uvedeny v příloze č. 2 a 3.

Pro experimentální měření byly použity přístroje tloušťkoměr SDL M034A, Togmetr, PSM-2, SGHP-8.2. Podmínky měření a naměřené hodnoty z těchto přístrojů jsou uvedeny v příloze č. 4 – 7.

7.1 Togmetr

Přístroj na obr. 24 byl použit pro měření tepelného odporu a tepelné vodivosti u jednotlivých materiálů a u sendvičových struktur, složených z těchto materiálů. Z důvodu velké časové náročnosti bylo provedeno pouze jedno měření u každého zkušebního vzorku.



Obr. 24 Přístroj SDL M 259 dle [20]

Norma: ISO 5085 část 1, standard BS 4745

Princip měření: Měření toku tepla skrz danou plochu vzorku textilie, která je v kontaktu s materiálem o známé tepelném odporu, v důsledku stacionárního gradientu teploty. Z důvodu přesnosti byla použita metoda se dvěma deskami.

Výsledkem měření jsou veličiny **tepelný odpor** a **tepelná vodivost**.

Zkušební vzorky: Kruh o průměru 330 mm; vzorky klimatizovány po 24 hod.

Popis zkušebního zařízení: Přístroj Togmeter je vybaven vyhřívanou (dolní) deskou a studenou (horní) deskou. K deskám jsou připojena teplotní čidla CH1 a CH3. Další teplotní čidlo CH2 snímá teplotu v prostoru mezi oběma deskami (umístěn vzorek plošné textilie). Pro přesné umístění horní studené desky je přístroj dále vybaven třemi šrouby s ručičkovými tloušťkoměry umístěnými na dotykových šroubovatelných ploškách. Přístroj je uložen ve speciální skřínce s řízeným tokem vzduchu.

Postup měření: Měření se provádí v klimatizované laboratoři. Tloušťka vzorku při tlaku 7 Pa se použije k nastavení vzdálenosti mezi horní a dolní deskou. Po ustálení teploty (cca 2-3 hod) se zaznamenají hodnoty teplotních čidel s přesností na 0,1° C.

Protokol o zkoušce: Uveden v příloze č. 5.

Tepelný odpor zkušebního vzorku $R[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$ je dán:

$$R = R_s \left(\frac{T_2' - T_3'}{T_1' - T_2'} - \frac{R_C}{R_s} \right),$$

kde R_stepelný odpor „standardu“ : $0,112 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

R_Ckontaktní odpor (vyhřívané a studené desky) :

$$R_C = R_s \left(\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2} \right)$$

T_1, T_2, T_3 teploty zaznamenané čidly CH1, CH2 a CH3 při měření R_C

T_1', T_2', T_3' teploty zaznamenané čidly CH1, CH2 a CH3 při měření R

7.2 PSM 2 (PHYSIOLOGICAL SKIN MODEL)

Přístroj na obr. 25 byl použit pro měření odporu vůči vodním parám u jednotlivých materiálů a u sendvičových struktur, složených z těchto materiálů. Byly provedeny tři měření u každého zkušebního vzorku.



Obr. 25 Přístroj PSM – 2 dle [20]

Norma: ČSN EN 31092 (80 0819), ISO 11092

Princip měření: Zkouška pocení vyhřívanou porézní destičkou. Tepelný tok přiváděný do desky s cílem udržet původní teplotu je mírou paropropustnosti textilie.

Výsledkem měření jsou veličiny **odpor vůči vodním parám, propustnost vodních par a tepelný odpor.**

Zkušební vzorky: Rozměr 28 x 28 cm; vzorky klimatizovány po 24 hod.

Popis zkušebního zařízení: Přístroj PSM 2 tvoří měřicí jednotka s regulací teploty a přívodem vody, tepelný chránič s kontrolou teploty a zkušební prostor. Hlavní částí měřicí jednotky je porézní kovová destička modelující lidskou kůži.

Postup měření odporu vůči vodním parám: Měření se provádí v klimatizované laboratoři a je řízeno pomocí počítačového softwaru. Zkušební vzorek se upevní pomocí dvou rámečků s vložením celofánové membrány ve zkušebním prostoru. Zde je udržována přesná teplota testovací podložky 35 °C. Po spuštění měření prochází vodní pára podložkou a testovanou textilií do vzduchového kanálu s kontaktním prouděním vzduchu .

Protokol o zkoušce: Uveden v příloze č. 6.

Řízení měření, monitorování podmínek, výpočet a uložení výsledku testu se provádějí pomocí počítače. (Výsledná hodnota odporu vůči vodním parám již nezahrnuje odpor horní mezní vrstvy měřeného vzorku.)

7.3 SGHP- 8.2 (SWEATING GUARDED HOTPLATE)

Přístroj na obr. 26 byl použit pro měření odporu vůči vodním parám a tepelného odporu u vybraných sendvičových struktur. Bylo provedeno jedno měření u každého zkušební vzorku a dvě kontrolní měření Ret.



Obr. 26 Přístroj SGHP-8.2

Norma: ISO 11092, ASTM F1868

Princip měření: Zkouška pocení vyhřívanou porézní destičkou. Pracuje na stejném principu jako PSM-2.

Zkušební vzorky: Rozměr 30.5 x 30.5 +/- 1 cm; vzorky klimatizovány po 24 hod.

Popis zkušebního zařízení: Přístroj tvoří vytápěný blok složený ze tří samostatně vyhřívaných zón (aktivní pole – porézní kovová destička, dvě ochranná pole), nádržka s destilovanou vodou, vzduchový ventilátor (pro dosažení polo-turbulentního proudu vzduchu je sklopný ochranný kryt namontován nad sestavu vytápěného bloku), senzory pro měření teploty, relativní vlhkosti a rychlosti vzduchu. Přístroj je umístěn v klimatické komoře. Součástí zařízení je systém pro řízení a záznam dat – ThermDAC software. Software poskytuje kontrolní činnost, zaznamenávání dat, okamžité (reálné) hodnoty, číslíkové a grafické zobrazení průběhu měřených veličin.

Postup měření: Měření se provádí v klimatizované laboratoři a je řízeno počítačovým softwarem. Nejdříve je nutné nastavit klimatickou komoru dle podmínek měření (viz. příloha č. 7). Zkušební vzorek se upevní pomocí pásky ve zkušebním prostoru. Zde je udržována přesná teplota testovací destičky 35 °C. Při měření Ret je potřeba ještě

zvlhčit destičku, nastavit hladinu vody v destičce, pod vzorek vložit celofánovou membránu a utěsnit ji gumovou hadičkou po obvodu porézní destičky.

Vyhodnocení zkoušky: Uvedeno v příloze č. 7

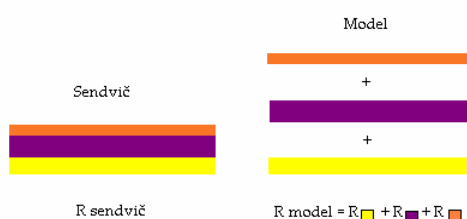
Regulace teplot a snímání dat je prováděna pomocí řídicího software ThermDAC. Výsledná hodnota vypočítaná systémem zahrnuje hodnotu Ret0 vlastní desky, proto je nutno tuto hodnotu od výsledku odečíst.

Zhodnocení:

- Velká časová náročnost.
- Pro automatické ukončení testu je třeba dosáhnout ustáleného stavu, teplotních a vlhkostních podmínek v tolerančním intervalu a to po dobu 30 min, pokud tomu tak není, čas je resetován na 0.
- Pro snadnější dosažení automatického ukončení testu je vhodné zvolit maximální toleranční intervaly teploty, relativní vlhkosti a rychlosti vzduchu, které uvádí příslušná norma (viz. příloha č. 7).
- U mokrého testu je důležité přesně nastavit hladinu vody v teplé desce. Pokud je hladina nízká, celofán se vysuší a oloupává povrch destičky. Jestliže je hladina příliš vysoká, voda začne vytékat ven, může dojít ke smočení vzorku a tím znehodnocení testu.

8 Vyhodnocení měření

Vyhodnocení měření zahrnuje výsledky získané měřením na výše popsaných přístrojích a modeluje přenos tepla a vlhkosti u sendvičových struktur. Modelování jednotlivých vlastností materiálu je vždy provedeno měřením dané vlastnosti u složených vrstev – sendviče a poté u jednotlivých vrstev obsažených v daném sendviči, kde jsou jednotlivé hodnoty materiálů sčítány (dle rovnice (17)) a porovnány se sendvičovou strukturou.

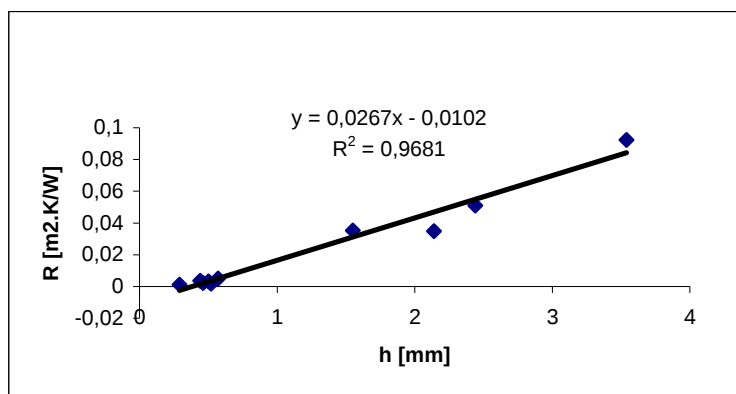


Obr. 27 Modelování

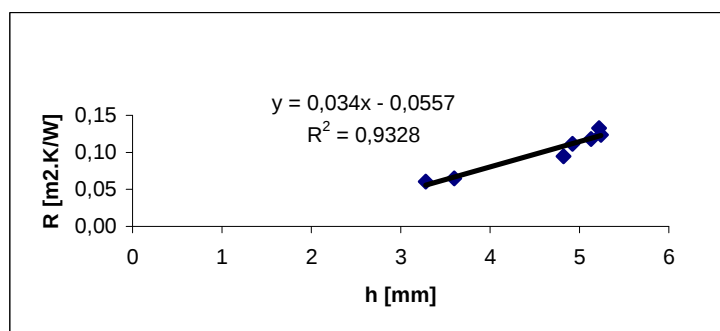
8.1 Měření na přístroji Togmetr

Na tomto přístroji bylo provedeno měření tepelného odporu jednotlivých a složených – sendvičových vrstev. Vyhodnocení měření je provedeno na obr. 28 – 36.

Obr. 28 a 29 ukazuje přímou lineární závislost tepelného odporu materiálu na jeho tloušťce dle rovnice (16).

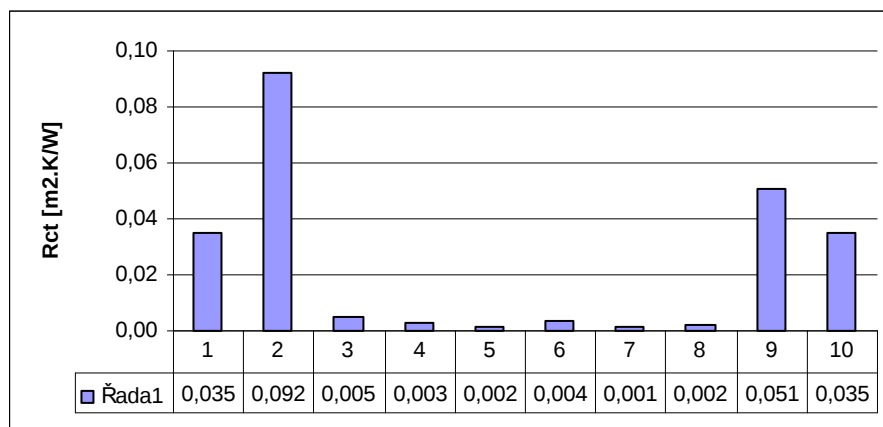


Obr. 28 Závislost tepelného odporu na tloušťce jednotlivých materiálů

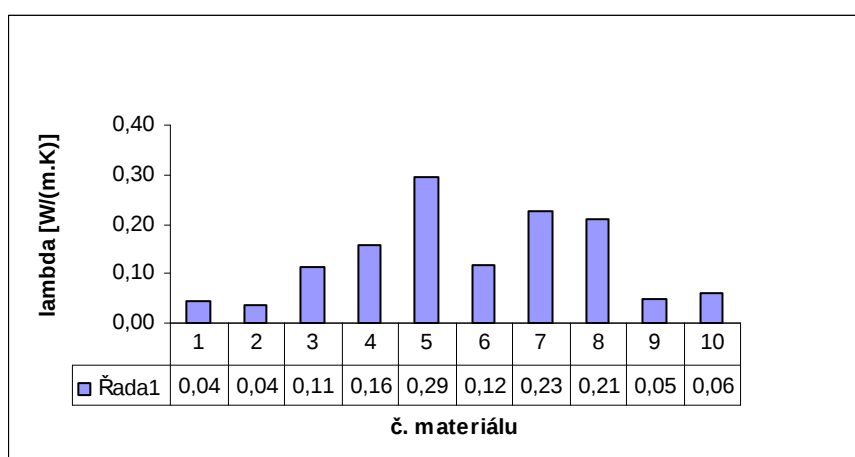


Obr. 29 Závislost tepelného odporu na tloušťce materiálů u sendvičových struktur

Na obr. 30 a 31 je porovnán tepelný odpor a tepelná vodivost jednotlivých materiálů. Z grafu je zřejmé, že největšího tepelného odporu a nejnižší tepelné vodivosti a tím i nejlepších tepelně-izolačních vlastností bylo dosaženo u pletených (počesaných) materiálů (materiály č. 1, 2, 9, 10).



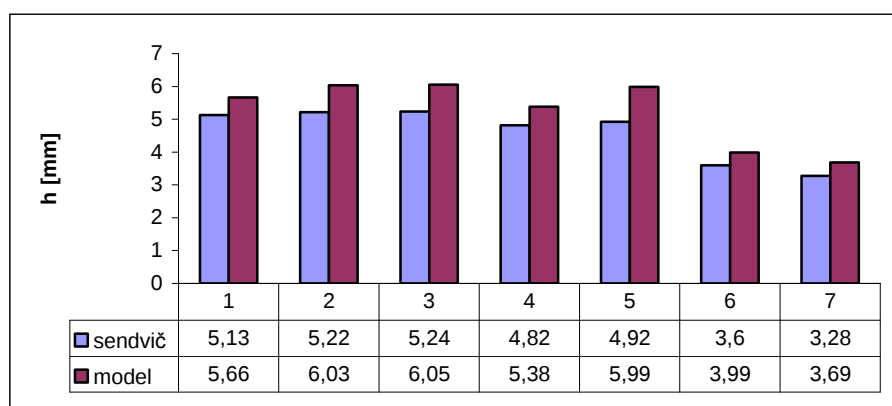
Obr. 30 Porovnání tepelného odporu jednotlivých materiálů



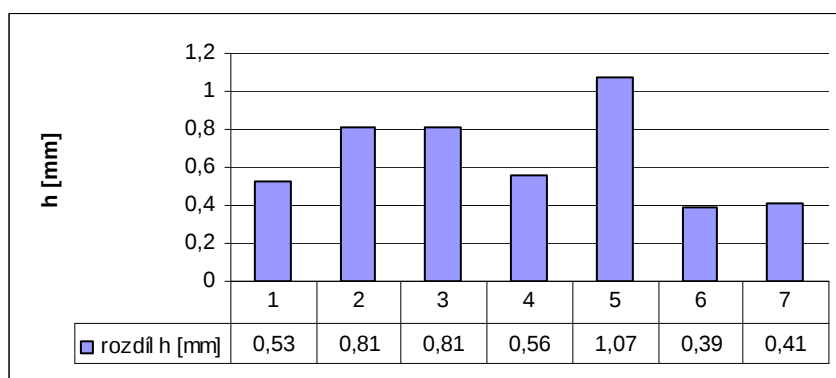
Obr. 31 Tepelná vodivost jednotlivých materiálů

Modelování tepelně-izolačních vlastností je zobrazeno na obr. 32 – 36. Graf na obr. 32 porovnává tloušťku vrstev naměřenou na přístroji SDL M034A při přítlaku 7 Pa u sendvičové struktury (SS) a modelu této struktury (MS). Na obr. 33 je vidět velikost rozdílu tloušťky SS a MS, přičemž největší rozdíl byl naměřen u čtyřvrstvých materiálů (mat. č. 2,3,5). Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben strukturou textilního materiálu, kdy jednotlivá vlákna u sendviče proniknou do sousední vrstvy a tím dojde i k zmenšení celkové tloušťky sendviče. K tomuto závěru dospěla také Martina Promerová ve své

diplomové práci v r. 1988 u vrstev netkaných textilií pod vedením Prof. Ing. Luboše Hese, DrSc.



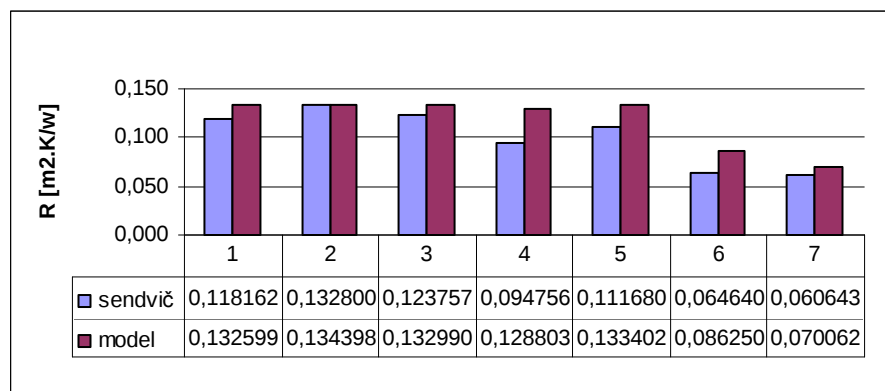
Obr. 32 Porovnání tloušťky



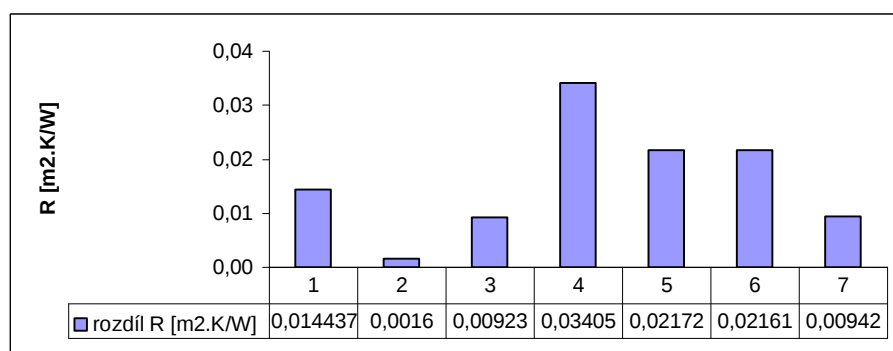
Obr. 33 Rozdíl tloušťky sendviče a modelu

Graf na obrázku 34 porovnává tepelný odpor u SS a MS. Výsledné hodnoty ukazují na nižší tepelný odpor SS. Obr. 35 ukazuje velikost rozdílu tepelného odporu. Na obr. 36 je porovnávána tepelná vodivost, vypočítaná dle vztahu (16), která vzhledem k tloušťce sendviče vychází větší nebo menší než u MS.

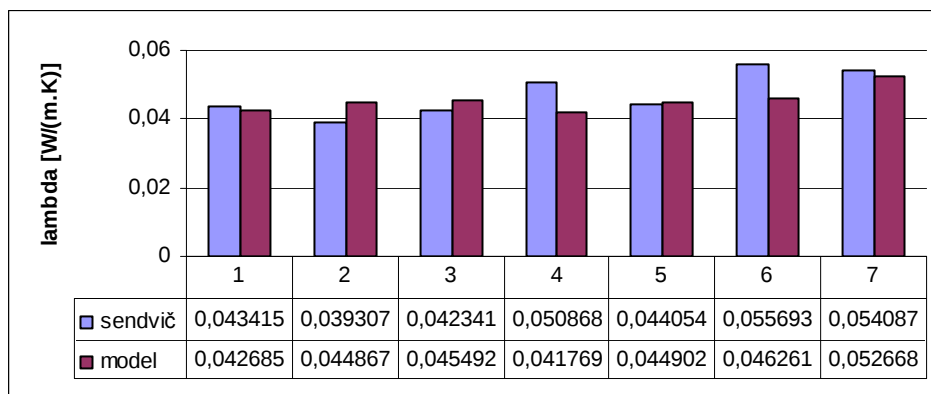
Nejlepších tepelně-izolačních vlastností dosáhl sendvič č. 2 složený ze tří vrstev (PP pletenina, PES pletenina, třívrstvý laminát s membránou DERMIZAX-ZR). Vrstvení s použitím softshellu mělo výrazně menší tepelný odpor než v případě hardshellu.



Obr. 34 Porovnání tepelného odporu



Obr. 35 Rozdíl tepelného odporu sendviče a modelu

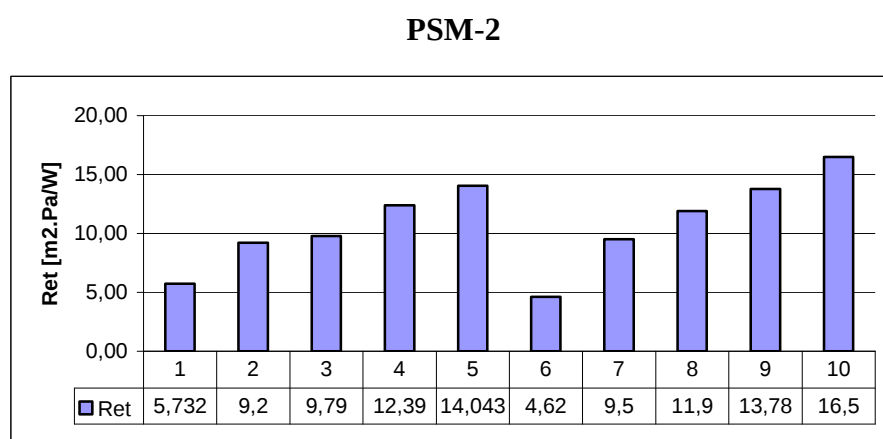


Obr. 36 Porovnání tepelné vodivosti

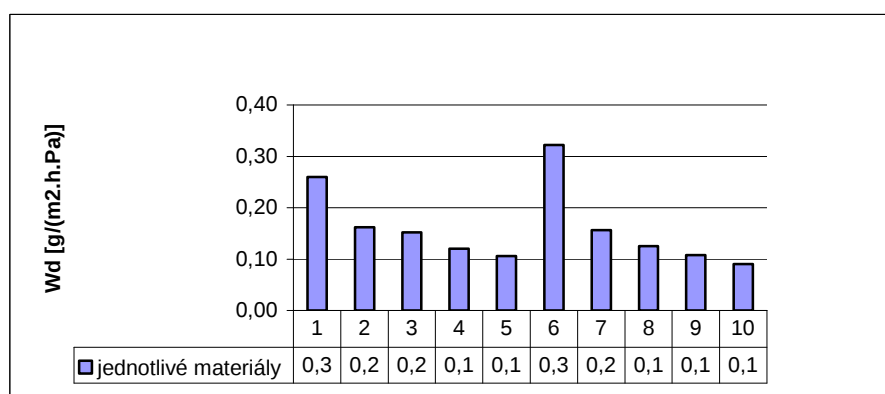
8.2 Měření na přístroji PSM-2 a SGHP-8.2

Na těchto přístrojích bylo provedeno měření odporu vůči vodním parám u jednotlivých a složených – sendvičových struktur. Vyhodnocení měření na přístroji PSM-2 je uvedeno na obr. 37 – 41.

Porovnání R_{et} jednotlivých materiálů na obr. 37 bylo pro snadnější představivost převedeno pomocí rovnice (19) na propustnost vodních par uvedenou na obr. 38. Nejlepší paropropustnost byla naměřena u samotných pletených materiálů. Tab. 7 hodnotí prodyšnost membrán a zátěrů přibližně na stejné úrovni, softshellové materiály dosáhly nejnižší prodyšnosti.

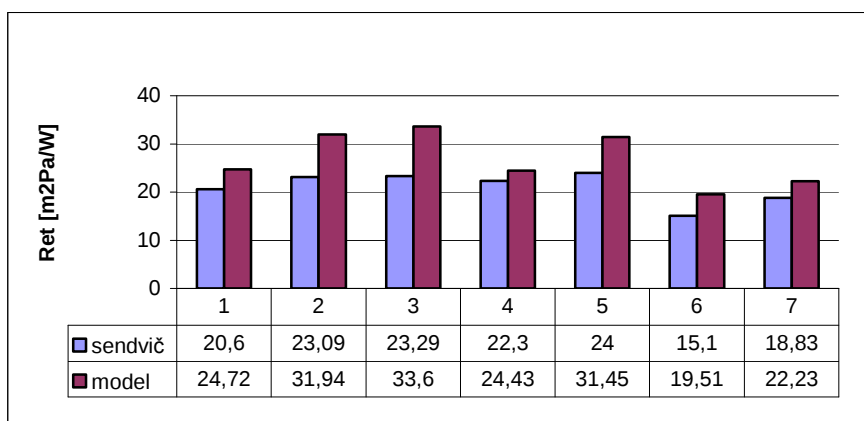


Obr. 37 Porovnání R_{et} jednotlivých materiálů

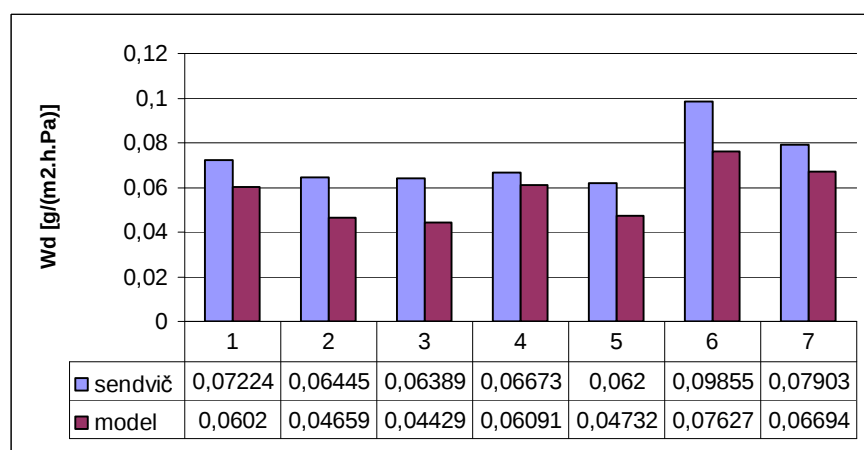


Obr. 38 Porovnání propustnosti vodních par jednotlivých materiálů

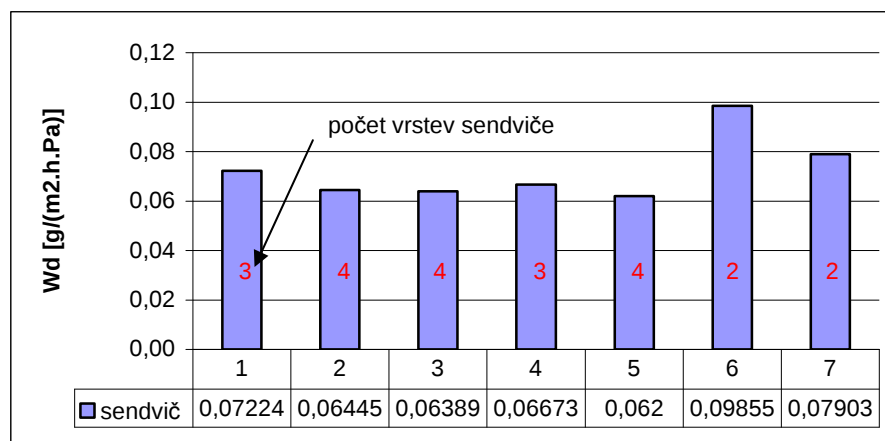
Modelování R_{et} je zobrazeno na obr. 39. Pro snadnější představivost bylo převedeno pomocí rovnice (19) na propustnost vodních par uvedenou na obr. 40. Výsledné hodnoty ukazují na vyšší propustnost vodních par u SS. Z grafu na obrázku 41 vyplývá, že vrstvení zhoršuje propustnost vodních par. Nejlepší paropropustnosti dosáhl dvouvrstvý sendvič č. 6 (PP pletenina, softshell – třívrstvý laminát s membránou DERMIZAX-MP). U sendvičů s použitím hardshellu nejlepší výsledek získal sendvič č. 1 (PP pletenina, PES pletenina, třívrstvý laminát s membránou DERMIZAX –ZR).



Obr. 39 Porovnání odporu vůči vodním parám



Obr. 40 Porovnání propustnosti vodních par



Obr. 41 Porovnání propustnosti vodních par u sendvičů

Tab. 7 Hodnocení paropropustnosti u jednotlivých materiálů dle [16]

č. materiálu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Paropropustnost	****	***	***	***	**	****	***	***	**	**

Legenda :

- **** velmi dobrá
- *** dobrá
- ** uspokojivá
- * nevyhovující

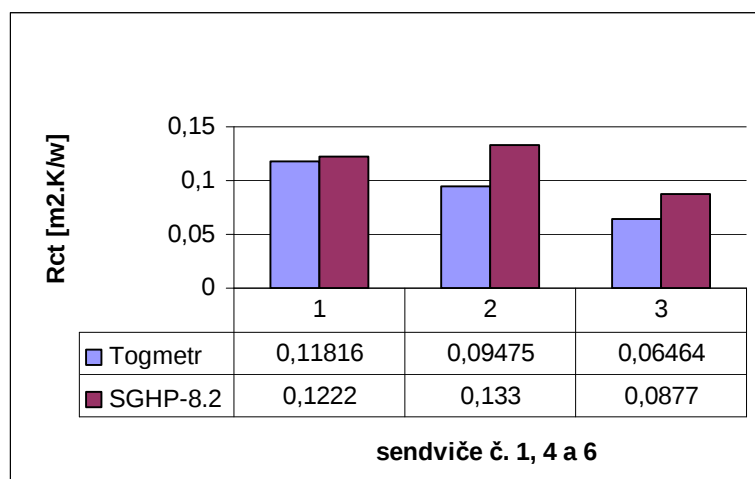
Paropropustnost udávanou výrobcí a naměřenou na přístroji PSM-2 hodnotí tab. 8.

Tab. 8 Porovnání paropropustnosti

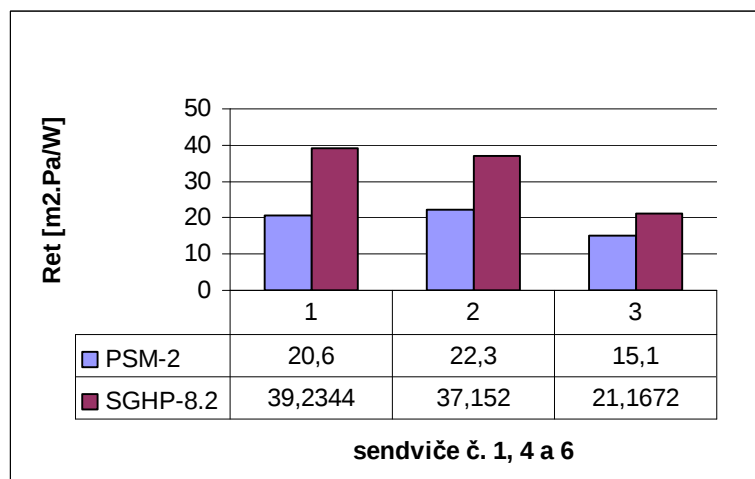
Materiál	Paropropustnost naměřená	Paropropustnost udávaná výrobcí
č. 3	***	****
č. 4	***	***
č. 7	***	***
č. 8	***	**
č. 9	**	****
č. 10	**	***

SGHP-8.2

Porovnání R_{ct} a R_{et} měřených na přístrojích togmetr a PSM-2 s přístrojem SGHP-8.2 uvádí obrázek 42 a 43. V obou případech byly naměřeny hodnoty na SGHP-8.2 vyšší než u zbývajících přístrojů. Přičemž hodnoty R_{et} byly téměř dvojnásobně větší.



Obr. 42 Porovnání tepelného odporu u přístroje Togmetr a SGHP-8.2



Obr. 43 Porovnání odporu vůči vodním parám u přístroje PSM-2 a SGHP-8.2

8.3 Měření na přístroji SDL M018

Výsledné hodnoty měření nepromokavosti pomocí výšky vodního sloupce u vybraných materiálů jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 Měření výšky vodního sloupce

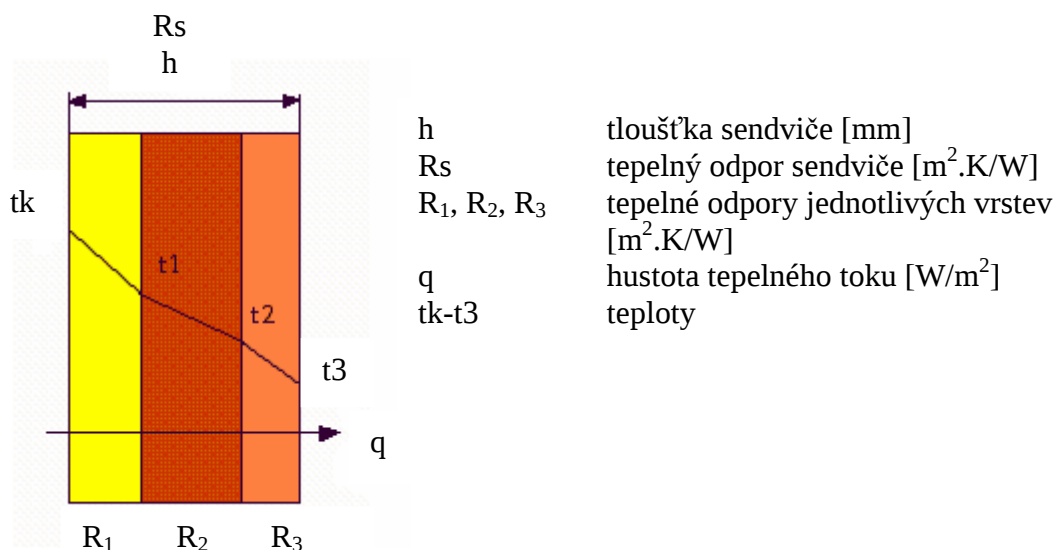
Materiál	Vodní sloupec, při kterém došlo k destrukci vzorku [mm]	Vodní sloupec udávaný výrobcí [mm]
č. 3 (membrána)	26 173	20 000 a výše
č. 4 (neporézní membrána)	19 300	nad 10 000
č. 5 (membrána)	17 700	neuvedeno
č. 7 (mikroporézní zátěr)	14 400	10 000 a výše
č. 8 (zátěr)	17 400	6 000
č. 9 (mikroporézní membrána)	18 100	20 000 a výše
č. 10 (membrána)	15 700	10 000

Hodnoty nepromokavosti uváděné výrobcí, až na materiál č. 8 a 9, odpovídají skutečnosti. Z výše uvedené tabulky dále vyplývá, že membrány jsou mnohem odolnější vůči průniku vody než zátěry. Lepších výsledků bylo dosaženo u materiálů s trvalou vodoodpudivou úpravou KUDOS XR (materiál č. 3, 9). Je nutné přihlížet také k tomu, že výsledky jsou ovlivněny malým počtem měření, vzhledem k velké časové náročnosti. Dále u většiny materiálů, nebylo možné stanovit klasický vodní sloupec (udávaný při průniku prvních tří kapek), neboť již došlo k destrukci vzorku (obr. 33 – 35).



Obr. 44 Destrukce mat. č. 3, č. 4 a č. 5

8.4 Výpočet velikosti vzduchové vrstvy u modelu sendvičové struktury



Obr. 45 Složená rovinná stěna

Tepelný odpor MS je větší než u SS. Předpokládá se, že rozdíl tepelného odporu je způsoben větším obsahem vzduchu u MS. U SS je obsah vzduchu menší díky zaplnění póru jednotlivými vlákny sousedních vrstev. Tepelná vodivost vzduchu λ_v je při teplotě 33 °C rovna $0,0264 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Hustota tepelného toku MS q_M , počítaná dle vztahu pro složenou rovinnou stěnu (obr. 42), zahrnuje odpor SS R_s a odpor vrstvy vzduchu R_v :

$$q_M = \frac{\Delta t}{R_s + R_v}, \text{ kde } R_v = \frac{h_v}{\lambda_v}$$

Velikost vzduchové vrstvy h_v lze poté vypočítat:

$$h_v = \left(\frac{\Delta t}{q_M} - R_s \right) \lambda_v, \text{ kde } \frac{\Delta t}{q_M} = R_M, \quad R_M = \sum R_j$$

$$h = \Delta R_{ct(\text{model-sendvič})} \cdot \lambda_{\text{vzduch}(t=33^\circ\text{C})},$$

kde R_M – tepelný odpor MS

R_j – tepelný odpor jednotlivých vrstev.

Výsledné hodnoty vzduchové vrstvy a porovnání se skutečným rozdílem tloušťky SS a MS uvádí tab. 10. Hodnoty vypočítané vrstvy vzduchu řádově odpovídají rozdílu tloušťky SS a MS.

Tab. 10 Porovnání velikosti vrstvy vzduchu a rozdílu tloušťky SS a MS

Č. sendviče	Δh u SS a MS [mm]	Vypočítaná vrstva vzduchu [mm]
1	0,53	0,38
2	0,81	0,04
3	0,81	0,24
4	0,56	0,89
5	1,07	0,57
6	0,39	0,57
7	0,41	0,25

Závěr

Cílem této práce bylo modelovat transport tepla a vlhkosti u sendvičových struktur textilních oděvních materiálů pomocí měření hodnot R_{ct} a R_{et} u jednotlivých vrstev materiálů a složených vrstev těchto materiálů. Pro hodnocení byly vybrány funkční oděvní materiály.

Měřením bylo ověřeno, že tepelný odpor závisí přímo úměrně na tloušťce materiálů. Nejlepších tepelně-izolačních vlastností bylo dosaženo u pletených (počesaných) materiálů. Modelování R_{ct} ukázalo, že SS má menší tepelný odpor než MS, ačkoli se předpokládal opačný výsledek. Patrně je to způsobeno strukturou textilií, kdy jednotlivá vlákna u SS proniknou do sousedních vrstev a tím dojde ke zmenšení tloušťky SS a také vrstvy uzavřeného vzduchu. Výpočet velikosti vzduchové vrstvy uvnitř MS přibližně odpovídá rozdílu tloušťky MS a SS. Lepších tepelně-izolačních vlastností bylo dosaženo u vícevrstvých struktur s použitím hardshellu.

Nejlepší paropropustnosti bylo dosaženo u pletených materiálů, které mají větší porozitu než tkaniny, nejnižší u třívrstvého laminátu (softsellu). Modelování R_{et} ukázalo, že SS má menší odpor vůči vodním parám než MS, což souvisí opět s menší tloušťkou SS. Vrstvení jednotlivých materiálů vedlo ke zhoršení propustnosti vodních par. Jako nejlepší se ukázalo vrstvení s použitím membrány Dermizax. Porovnání paropropustnosti udávané výrobcí se mírně lišilo od naměřených hodnot. K výrazně odlišným výsledkům došlo při měření R_{et} na přístroji PSM-2 a SGHP-8.2; R_{ct} bylo naměřeno vyšší také u SGHP-8.2 než u togmetru.

Hodnocením nepromokavosti bylo zjištěno, že membrány jsou odolnější proti prostupu vody než zátěry. Lepších výsledků bylo dosaženo u materiálů s trvalou vodoodpudivou úpravou KUDOS XR.

Seznam použité literatury

- [1] Hes, L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií, Technická univerzita v Liberci 2005
- [2] Šesták, J., Rieger, F.: Přenos hybnosti, tepla a hmoty, ČVUT Praha 2005
- [3] Wagner, J.: Fyzika (Přehled pro textilní fakultu), Liberec 1979
- [4] Trefný, Z., Trefný, M.: Fyziologie člověka II., Univerzita Karlova Praha 1993
- [5] Ražnjevic, K.: Termodynamické tabulky, Alfa Bratislava 1984
- [6] <http://www.torayentrant.com/index.html>
- [7] <http://www.concordiatextiles.com>
- [8] <http://www.radicitessuti.it>
- [9] <http://www.directalpine.cz>
- [10] ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie - Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků.
- [11] ČSN EN 12127 (80 0849): Textilie - Plošné textilie - Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků.
- [12] ČSN EN 20811 (80 0818): Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody.
- [13] ČSN EN 31092 (80 0819): Textilie. Zjišťování fyziologických vlastností. Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou).
- [14] <http://www.ioutdoor.cz/cislo/2004-katal/ukazka3/>
- [15] <http://www.tatry.cz/turistika/vht/vybaveni/obleceni.php>
- [16] <http://www.highpoint.cz/clanky/kdy-bunda-opravdu-dycha1.html>
- [17] <http://www.boneco-cr.cz/o-vzduchu.php>
- [18] http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm
- [19] Šínová, K.: Fyziologické vlastnosti moderních materiálů pro sportovní účely, diplomová práce, Liberec 2006
- [20] Glombíková, V.: Fyziologické vlastnosti textilií, Liberec 2006, elektronická skripta,
https://skripta.ft.tul.cz/database/list_pre.cgi?predmet=71&skripta=118&pro=
- [21] ISO 5085 – 1: Textiles – Determination of thermal resistance – Part 1 Low thermal resistance.

- [22] <http://www.sympatex.com/index.php?id=48&L=2>
- [23] <http://www.jitex.cz/bodycomfort.php>
- [24] Sýkora, K.: Základy sdílení tepla, SNTL Praha 1961
- [25] Chýský, J.: Vlhký vzduch, SNTL Praha 1963

Pozn.: Norma ČSN EN 31092 (80 0819) uvádí nesprávné označení pro veličiny tepelný odpor a odpor vůči vodním parám.

Seznam obrázků

Obr. 1 Přenos tepla kondukcí - textilní vrstva přímo naléhá na kůži a odnímá teplo kontaktním způsobem	12
Obr. 2 Přenos tepla konvekcí – předpoklad vzduchové vrstvy tzv. mikroklima	14
Obr. 3 Odvod vlhkosti z volného povrchu kůže odparem	19
Obr. 4 Kapilární odvod vlhkosti	21
Obr. 5 Difúzní odvod vlhkosti	22
Obr. 6 Princip bariérových textilií	24
Obr. 7 Mikroporézní membrána Goretex	25
Obr. 8 Membrána sympatex (kopolymer – 70 % polyester - hydrofóbní a 30% polyether – hydrofilní)	26
Obr. 10 Volně vložená membrána	27
Obr. 11 Dvouvrstvý laminát a) vnější materiál s membránou, b) podšívka s membránou	27
Obr. 12 Třívrstvý laminát	28
Obr. 13 Model sendvičové struktury s použitím hardshellu	29
Obr. 14 Model sendvičové struktury s použitím softshellu	29
Obr. 21 Úplet Prolen	40
Obr. 23 DERMIZAX – MP	42
Obr. 24 Přístroj SDL M 259	44
Obr. 25 Přístroj PSM – 2	46
Obr. 26 Přístroj SGHP-8.2	47
Obr. 28 Závislost tepelného odporu na tloušťce jednotlivých materiálů.....	50
Obr. 29 Závislost tepelného odporu na tloušťce materiálů u sendvičových struktur	50
Obr. 30 Porovnání tepelného odporu jednotlivých materiálů.....	51
Obr. 31 Tepelná vodivost jednotlivých materiálů	51
Obr. 32 Porovnání tloušťky	52
Obr. 33 Rozdíl tloušťky sendviče a modelu	52
Obr. 34 Porovnání tepelného odporu.....	53
Obr. 35 Rozdíl tepelného odporu sendviče a modelu	53
Obr. 36 Porovnání tepelné vodivosti	53
Obr. 37 Porovnání R_{et} jednotlivých materiálů	54

Obr. 38 Porovnání propustnosti vodních par jednotlivých materiálů	54
Obr. 39 Porovnání odporu vůči vodním parám	55
Obr. 40 Porovnání propustnosti vodních par	55
Obr. 41 Porovnání propustnosti vodních par u sendvičů.....	56
Obr. 44 Destrukce mat. č. 3, č. 4 a č.5.....	58
Obr. 45 Složená rovinná stěna	59

Seznam tabulek

Tab. 1 Přenos tepla u zobrazených modelů	29
Tab. 2 Přenos vlhkosti u zobrazených modelů	30
Tab. 3 Hodnoty koeficientu tepelné vodivosti vybraných materiálů.....	33
Tab. 4 Hodnocení prodyšnosti	34
Tab. 5 Přehledný popis zkoumaných oděvních materiálů	39
Tab. 6 Složení sendvičových struktur.....	39
Tab. 7 Hodnocení prodyšnosti u jednotlivých materiálů.....	56
Tab. 8 Porovnání prodyšnosti	56
Tab. 9 Měření výšky vodního sloupce.....	58
Tab. 10 Porovnání velikosti vrstvy vzduchu a rozdílu tloušťky SS a MS.....	60

Seznam příloh

Příloha 1	Vzorník použitých materiálů
Příloha 2	Měření plošné hmotnosti
Příloha 3	Měření na přístroji SDL M018
Příloha 4	Měření na přístroji SDL M034A
Příloha 5	Měření na přístroji Togmetr
Příloha 6	Měření na přístroji PSM-2
Příloha 7	Měření na přístroji SGHP-8.2
Příloha 8	Součinitel tepelné vodivosti vlhkého vzduchu

Příloha 1 – Vzorník použitých materiálů

Počet stran: 2

Příloha 2 – Měření plošné hmotnosti

Počet stran: 3

Měření plošné hmotnosti

Číslo normy: 80 0849

Datum měření: 10.12.07

Podmínky zkoušení: teplota – 20,38 °C

relativní vlhkost – 33 %

Zkušební zařízení: elektronické digitální váhy Kern EG – citlivost 0,001 g

Tab. 1 Materiál č.1

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	1,340
2	100	1,373
3	100	1,357
4	100	1,342
5	100	1,356
Průměrná hmotnost [g]		1,354

Průměrná plošná hmotnost $M = 135 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 2 Materiál č.2

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	2,411
2	100	2,416
3	100	2,430
4	100	2,420
5	100	2,394
Průměrná hmotnost [g]		2,414

Průměrná plošná hmotnost $M = 241 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 3 Materiál č.3

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	1,732
2	100	1,737
3	100	1,723
4	100	1,736
5	100	1,732
Průměrná hmotnost [g]		1,732

Průměrná plošná hmotnost $M = 173 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 4 Materiál č.4

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	1,680
2	100	1,673
3	100	1,670
4	100	1,659
5	100	1,657
Průměrná hmotnost [g]		1,668

Průměrná plošná hmotnost $M = 168 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 5 Materiál č.5

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	1,811
2	100	1,817
3	100	1,809
4	100	1,833
5	100	1,828
Průměrná hmotnost [g]		1,820

Průměrná plošná hmotnost $M = 182 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 6 Materiál č.6

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	0,517
2	100	0,515
3	100	0,524
4	100	0,513
5	100	0,512
Průměrná hmotnost [g]		0,516

Průměrná plošná hmotnost $M = 52 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 7 Materiál č.7

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	0,927
2	100	0,920
3	100	0,924
4	100	0,924
5	100	0,925
Průměrná hmotnost [g]		0,924

Průměrná plošná hmotnost $M = 92 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 8 Materiál č.8

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	1,576
2	100	1,587
3	100	1,573
4	100	1,567
5	100	1,595
Průměrná hmotnost [g]		1,580

Průměrná plošná hmotnost $M = 158 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 9 Materiál č.9

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	2,668
2	100	2,700
3	100	2,648
4	100	2,686
5	100	2,665
Průměrná hmotnost [g]		2,673

Průměrná plošná hmotnost $M = 267 \text{ g.m}^{-2}$

Tab. 10 Materiál č.10

Číslo vzorku	Plocha vzorku [cm ²]	Hmotnost vzorku [g]
1	100	3,938
2	100	3,983
3	100	3,896
4	100	3,987
5	100	3,951
Průměrná hmotnost [g]		3,951

Průměrná plošná hmotnost $M = 395 \text{ g.m}^{-2}$

Příloha 3 – Měření na přístroji SDL M018, prostup tlakové vody

Počet stran: 3

Měření výšky vodního sloupce

Norma: 80 0818

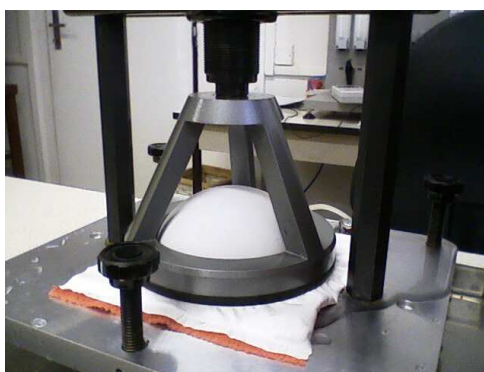
Použité ovzduší: normální ovzduší pro mírné pásmo

Teplota vody: 21 °C

Směr působení tlaku vody na vzorek: zespodu

Rychlost zvyšování tlaku vody: 60 cm/min

Zkoušená strana vzorku: vnější



Obr. 1 Měřicí přístroj SDL M018, prostup tlakové vody.

Jednotlivé výsledky:

Tab. 1 Materiál č. 3 (hardshell – membrána dermizax – ZR)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	2615	destrukce vzorku
2	2620	destrukce vzorku
3	2616	destrukce vzorku
4	2618	destrukce vzorku
Průměrná hodnota	2617,3	256 670 Pa
Směrodatná odchylka	2,2	210 Pa



Obr. 2 Destrukce materiálu č. 3.

Tab. 2 Materiál č. 4 (hardshell – membrána Omniclima)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	1925	3 kapky + destrukce vzorku
2	1920	4 drobné kapky + destrukce vzorku
3	1980	1 kapka + destrukce vzorku
4	1911	2 kapky + destrukce vzorku
Průměrná hodnota	1930	189 300 Pa
Směrodatná odchylka	30	2900 Pa



Obr. 3 Destrukce materiálu č. 4.

Tab. 3 Materiál č. 5 (hardshell – membrána Long Advance)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	1881	destrukce vzorku
2	1860	drobné kapky + destrukce vzorku
3	1760	destrukce vzorku
4	1570	destrukce vzorku
Průměrná hodnota	1770	174 000 Pa
Směrodatná odchylka	140	13 000 Pa



Obr. 4 Destrukce materiálu č.5.

Tab. 4 Materiál č. 7 (hardshell – zátěr Entrant - DT)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	1488	1 kapka + destrukce vzorku
2	1427	2 kapky + destrukce vzorku
3	1505	2 kapky + destrukce vzorku
4	1331	2 kapky + destrukce vzorku
Průměrná hodnota	1440	141 000 Pa
Směrodatná odchylka	70	6000 Pa

Tab. 5 Materiál č. 8 (hardshell – zátěr Entrant - DT)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	1777	1 kapka + destrukce vzorku
2	1676	1 kapka + destrukce vzorku
3	1770	1 kapka + destrukce vzorku
4	1733	2 kapky + destrukce vzorku
Průměrná hodnota	1740	171 000 Pa
Směrodatná odchylka	40	3000 Pa

Tab. 6 Materiál č. 9 (softshell – membrána dermizax – MP)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	1842	destrukce vzorku
2	1761	destrukce vzorku
3	1846	2 kapky + destrukce vzorku
4	1786	1 kapka + destrukce vzorku
Průměrná hodnota	1810	178 000 Pa
Směrodatná odchylka	40	3000 Pa

Tab. 7 Materiál č. 10 (softshell – membrána 4waytex)

Číslo vzorku	[cm] vodního sloupce	Poznámky
1	1522	1 kapka + destrukce vzorku
2	1569	destrukce vzorku
3	1623	destrukce vzorku
4	1548	destrukce vzorku
Průměrná hodnota	1570	154 000 Pa
Směrodatná odchylka	40	3000 Pa

Příloha 4 – Měření na přístroji SDL M034A

Počet stran: 4

Měření tloušťky

Číslo normy: 80 0844

Datum měření: 29.1.08

Podmínky měření: teplota - 22 °C
relativní vlhkost – 31 %

Zkušební zařízení: tloušťkoměr SDL M034A

Plocha přitlaku: 100 cm²

Zátěž vzorku: 7 g

Vyhodnocení výsledků: pomocí počítače a instalovaného software

Výsledné hodnoty byly dále použity při měření na přístroji Togmetr.

Tab. 1 Sendvič č.1

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	5,12	5,16	5,14	5,09	5,12
		Tloušťka [mm]		Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota		5,13		7,01	
Směrodatná odchylka		0,02		0,00	
Variační koeficient		0,46		0,00	

Tab. 2 Sendvič č.2

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	5,18	5,19	5,25	5,25	5,21
		Tloušťka [mm]		Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota		5,22		7,01	
Směrodatná odchylka		0,03		0,00	
Variační koeficient		0,56		0,00	

Tab. 3 Sendvič č.3

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	5,27	5,25	5,25	5,22	5,21
		Tloušťka [mm]		Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota		5,24		7,01	
Směrodatná odchylka		0,02		0,00	
Variační koeficient		0,42		0,00	

Tab. 4 Sendvič č.4

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	4,91	4,83	4,78	4,81	4,78
		Tloušťka [mm]		Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota		4,82		7,01	
Směrodatná odchylka		0,05		0,00	
Variační koeficient		0,99		0,00	

Tab. 5 Sendvič č.5

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	4,80	4,89	4,92	5,00	5,01
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	4,92			7,01	
Směrodatná odchylka	0,08			0,07	
Variační koeficient	1,57			0,00	

Tab. 6 Sendvič č.6

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	3,66	3,61	3,60	3,57	3,54
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	3,60			7,01	
Směrodatná odchylka	0,04			0,00	
Variační koeficient	1,12			0,00	

Tab. 7 Sendvič č.7

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	3,34	3,29	3,27	3,26	3,25
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	3,28			7,01	
Směrodatná odchylka	0,03			0,00	
Variační koeficient	0,97			0,00	

Tab. 8 Materiál č.1

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	1,57	1,56	1,56	1,54	1,54
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	1,55			7,01	
Směrodatná odchylka	0,01			0,00	
Variační koeficient	0,77			0,00	

Tab. 9 Materiál č.2

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	3,50	3,57	3,54	3,54	3,55
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	3,54			7,01	
Směrodatná odchylka	0,02			0,00	
Variační koeficient	0,64			0,00	

Tab. 10 Materiál č.3

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	0,57	0,56	0,57	0,57	0,57
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	0,57			7,01	
Směrodatná odchylka	0,00			0,00	
Variační koeficient	0,70			0,00	

Tab. 11 Materiál č.4

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	0,51	0,49	0,49	0,49	0,51
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	0,50			7,01	
Směrodatná odchylka	0,01			0,00	
Variační koeficient	1,97			0,05	

Tab. 12 Materiál č.5

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	0,51	0,52	0,53	0,52	0,52
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	0,52			7,01	
Směrodatná odchylka	0,01			0,01	
Variační koeficient	1,22			0,11	

Tab. 13 Materiál č.6

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	0,43	0,43	0,44	0,46	0,44
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	0,44			7,02	
Směrodatná odchylka	0,01			0,01	
Variační koeficient	2,49			0,11	

Tab. 14 Materiál č.7

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	0,29			7,02	
Směrodatná odchylka	0,00			0,01	
Variační koeficient	1,71			0,16	

Tab. 15 Materiál č.8

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	0,46			7,01	
Směrodatná odchylka	0,00			0,00	
Variační koeficient	1,07			0,07	

Tab. 16 Materiál č.9

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	2,45	2,45	2,45	2,42	2,42
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	2,44			7,01	
Směrodatná odchylka	0,01			0,00	
Variační koeficient	0,60			0,00	

Tab. 17 Materiál č.10

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]	2,19	2,19	2,14	2,06	2,11
	Tloušťka [mm]			Tlak [Pa]	
Průměrná hodnota	2,14			7,01	
Směrodatná odchylka	0,05			0,00	
Variační koeficient	2,32			0,00	

Příloha 5 – Měření na přístroji Togmetr

Počet stran: 1

Měření tepelného odporu a tepelné vodivosti

Číslo normy: ISO 5085-1, část 1, standard BS4745

Datum měření: 29.1.08 – 5.2.2008

Podmínky měření: teplota - 21 °C
relativní vlhkost – 65 %

Zkušební zařízení: Togmetr SDL M 259, dvoudesková metoda

Tepelná odolnost „standardu“: $R_s = 0,112 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Kontaktní odolnost: $R_c = 0,0272 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Tab. 1 Měření jednotlivých materiálů

č. materiálu	$T_1[^\circ\text{C}]$	$T_2[^\circ\text{C}]$	$T_3[^\circ\text{C}]$	$R[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$	$h[\text{mm}]$	$\lambda [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
1	38,1	32,9	30,0	0,035261	1,55	0,0440
2	38,3	33,8	29,0	0,092266	3,54	0,0384
3	38,0	32,1	30,4	0,005071	0,57	0,1124
4	38,0	32,1	30,5	0,003172	0,50	0,1576
5	37,9	32,1	30,6	0,001765	0,52	0,2946
6	37,9	32,1	30,5	0,003696	0,44	0,1191
7	37,9	32,0	30,5	0,001274	0,29	0,2276
8	37,8	31,7	30,1	0,002177	0,46	0,2113
9	38,0	32,7	29,0	0,050988	2,44	0,0479
10	38,0	32,4	29,3	0,034800	2,14	0,0629

Tab. 2 Měření sendvičů

č. sendviče	$T_1[^\circ\text{C}]$	$T_2[^\circ\text{C}]$	$T_3[^\circ\text{C}]$	$R[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$	$h[\text{mm}]$	$\lambda [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
1	39,4	34,7	28,6	0,11862	5,13	0,0434
2	38,5	34,3	28,3	0,132800	5,22	0,0393
3	39,2	34,6	28,4	0,123757	5,24	0,0423
4	38,3	33,8	28,9	0,094756	4,82	0,0509
5	40,0	35,0	28,8	0,111680	4,92	0,0441
6	38,2	33,2	29,1	0,064640	3,60	0,0557
7	38,2	33,1	29,1	0,060643	3,28	0,0541

Příloha 6 – Měření na přístroji PSM-2

Počet stran: 3

Měření odporu vůči vodním parám

Číslo normy: ČSN EN 31092 (80 0819)

Datum měření: 20.-28.2.2008

Podmínky měření: Teplota membrány: 35°C

Teplota chrániče: 35°C

Teplota vzduchu: 35°C

Rychlost vzduchu: 1 m/s

Vlhkost vzduchu: 40%

Zkušební zařízení: PSM-2

Tab. 1 Naměřené hodnoty získané z přístroje PSM-2

Materiál č.1		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,04 °C H = 28,56 W Ret = 5,974 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,99 °C H = 29,79 W Ret = 5,727 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 29,75 W Ret = 5,736 m ² *Pa/W
Materiál č.2		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,96 °C H = 16,60 W Ret = 10,278 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 18,20 W Ret = 9,373 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 18,90 W Ret = 9,025 m ² *Pa/W
Materiál č.3		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 17,29 W Ret = 9,870 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,02 °C H = 17,58 W Ret = 9,702 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 18,28 W Ret = 9,332 m ² *Pa/W
Materiál č.4		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 13,12 W Ret = 13,001 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,97 °C H = 13,58 W Ret = 12,566 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 13,96 W Ret = 12,221 m ² *Pa/W
Materiál č.5		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 12,15 W Ret = 14,047 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 12,16 W Ret = 14,038 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,00 °C H = 12,97 W Ret = 13,161 m ² *Pa/W
Materiál č.6		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,00 °C H = 38,31 W Ret = 4,454 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,00 °C H = 37,17 W Ret = 4,590 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,02 °C H = 36,62 W Ret = 4,659 m ² *Pa/W

Materiál č.7		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 17,53 W Ret = 9,731 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,04 °C H = 18,61 W Ret = 9,170 m ² *Pa/W	T _m = 34,98 °C T _s = 34,99 °C T _a = 34,98 °C H = 19,91 W Ret = 8,563 m ² *Pa/W
Materiál č.8		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,00 °C H = 15,82 W Ret = 10,783 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 14,64 W Ret = 11,655 m ² *Pa/W	T _m = 35,01 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,02 °C H = 13,96 W Ret = 12,223 m ² *Pa/W
Materiál č.9		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,99 °C H = 12,53 W Ret = 13,616 m ² *Pa/W	T _m = 35,01 °C T _s = 35,01 °C T _a = 34,98 °C H = 12,23 W Ret = 13,951 m ² *Pa/W	T _m = 35,01 °C T _s = 35,05 °C T _a = 35,03 °C H = 11,13 W Ret = 15,282 m ² *Pa/W
Materiál č.10		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,04 °C H = 10,64 W Ret = 16,031 m ² *Pa/W	T _m = 34,99 °C T _s = 35,01 °C T _a = 35,01 °C H = 11,58 W Ret = 14,713 m ² *Pa/W	T _m = 35,02 °C T _s = 35,01 °C T _a = 34,99 °C H = 10,06 W Ret = 16,967 m ² *Pa/W
Sendvič č.1		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 8,20 W Ret = 20,805 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,99 °C H = 8,37 W Ret = 20,367 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,96 °C H = 7,94 W Ret = 21,481 m ² *Pa/W
Sendvič č.2		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,99 °C H = 7,01 W Ret = 24,324 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 7,42 W Ret = 22,992 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 7,36 W Ret = 23,192 m ² *Pa/W
Sendvič č.3		
T _m = 35,01 °C T _s = 35,01 °C T _a = 34,99 °C H = 8,23 W Ret = 20,738 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 7,27 W Ret = 23,454 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 7,38 W Ret = 23,118 m ² *Pa/W
Sendvič č.4		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,02 °C H = 7,71 W Ret = 22,141 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,99 °C H = 7,60 W Ret = 22,455 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 7,89 W Ret = 21,629 m ² *Pa/W

Sendvič č.5		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 7,14 W Ret = 23,882 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,98 °C H = 6,97 W Ret = 24,455 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 7,10 W Ret = 24,034 m ² *Pa/W
Sendvič č.6		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,03 °C H = 10,69 W Ret = 15,955 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,02 °C H = 11,50 W Ret = 14,837 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 11,17 W Ret = 15,269 m ² *Pa/W
Sendvič č.7		
T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 34,99 °C H = 9,01 W Ret = 18,926 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,01 °C H = 9,18 W Ret = 18,064 m ² *Pa/W	T _m = 35,00 °C T _s = 35,00 °C T _a = 35,02 °C H = 9,11 W Ret = 18,726 m ² *Pa/W

Tab. 2 Výsledné hodnoty odporu vůči vodním parám u jednotlivých materiálů

č. materiálu	Ret [m ² .Pa/W]
1	5,732 ± 0,006
2	9,20 ± 0,24
3	9,79 ± 0,11
4	12,39 ± 0,24
5	14,043 ± 0,006
6	4,62 ± 0,04
7	9,5 ± 0,3
8	11,9 ± 0,4
9	13,78 ± 0,23
10	16,5 ± 0,6

Tab. 3 Výsledné hodnoty odporu vůči vodním parám u sendvičů

č. sendviče	Ret [m ² .Pa/W]
1	20,6 ± 0,3
2	23,09 ± 0,14
3	23,29 ± 0,23
4	22,30 ± 0,22
5	24,0 ± 0,1
6	15,1 ± 0,3
7	18,83 ± 0,14

Příloha 7 – Měření na přístroji SGHP-8.2

Počet stran: 7

Měření tepelného odporu a odporu vůči vodním parám

Číslo normy: ISO 11092

Datum měření: 1.-4.4.2008

Podmínky měření:

Teplota okolí 21°C
Relativní vlhkost okolí 65 %

Rct

Teplota desky 35 ± 0,5 °C
Teplota vzduchu 20 ± 0,5 °C
Relativní vlhkost 65 ± 4 %
Rychlost vzduchu 1 ± 0,1 m/s

Ret

Teplota desky 35 ± 0,5 °C
Teplota vzduchu 35 ± 0,5 °C
Relativní vlhkost 40 ± 4 %
Rychlost vzduchu 1 ± 0,1 m/s

Toleranční limity:

± 0,1 °C pro teplotu destičky
± 0,1 °C pro teplotu vzduchu
± 3 % pro relativní vlhkost
± 0,05 m/s pro rychlost vzduchu

Tab. 1 Rct0

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	34.99	34.98	34.98
Temp CV(%)	0.16%	0.27%	0.17%
Min Temp(C)	34.67	34.49	34.73
Max Temp(C)	35.04	35.01	35.03
Ht Flux (W/m^2)	252.6	350.3	44.7
Ht Flux CV(%)	9.66%	9.41%	20.59%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	20.55	63.3	1
Amb CV(%)	1.66%	3.04%	0.58%
Amb Min	19.72	59	0.98
Amb Max	20.87	65.4	1.01
Rct (m2 C/W)	0.0576		
Rct (Clo)	0.3719		
Coef Var	8.94%		
R Min (m2 C/W)	0.0392		
Max (m2 C/W)	0.079		

Tab. 2 Rct sendvič č. 1

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	35	35
Temp CV(%)	0.00%	0.00%	0.01%
Min Temp(C)	35	35	35
Max Temp(C)	35	35	35
Ht Flux (W/m^2)	83.3	163.2	39.3
Ht Flux CV(%)	0.32%	0.25%	0.50%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	20.02	64.1	1
Amb CV(%)	0.24%	0.49%	0.52%
Amb Min	19.94	63.6	0.99
Amb Max	20.1	64.9	1.01
Rct (m2 C/W)	0.1798		
Rct (Clo)	1.1602		
Coef Var	0.27%		
R Min (m2 C/W)	0.1788		
R Max (m2 C/W)	0.1807		

Rct vzorku = 0.1798 - 0.0576 = **0.1222 m2.K/W**

Pozn.: automatický konec testu

Tab. 3 Rct sendvič č. 4

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	35	35
Temp CV(%)	0.00%	0.00%	0.01%
Min Temp(C)	35	35	35
Max Temp(C)	35	35	35
Ht Flux (W/m^2)	79	177	41
Ht Flux CV(%)	0.25%	0.21%	0.45%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	19.94	64.9	1
Amb CV(%)	0.11%	0.53%	0.61%
Amb Min	19.91	64.3	0.99
Amb Max	19.98	65.9	1.01
Rct (m2 C/W)	0.1906		
Rct (Clo)	1.2301		
Coef Var	0.24%		
R Min (m2 C/W)	0.1895		
R Max (m2 C/W)	0.1913		

Rct vzorku = 0.1906 - 0.0576 = **0.133 m2.K/W**

Pozn.: Automatický konec testu

Tab. 4 Rct sendvič č. 6

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	34.99	34.99
Temp CV(%)	0.08%	0.15%	0.12%
Min Temp(C)	34.85	34.69	34.77
Max Temp(C)	35.06	35.03	35.03
Ht Flux (W/m^2)	105.5	197.5	39.2
Ht Flux CV(%)	13.16%	10.59%	16.69%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	20.17	64.5	1
Amb CV(%)	0.50%	0.67%	0.88%
Amb Min	19.86	63.7	0.95
Amb Max	20.24	66	1.01
Rct (m2 C/W)	0.1453		
Rct (Clo)	0.9377		
Coef Var	30.44%		
R Min (m2 C/W)	0.0842		
R Max (m2 C/W)	0.4731		

$$\text{Rct vzorku} = 0.1453 - 0.0576 = \mathbf{0.0877 \text{ m2.K/W}}$$

Tab. 5 Ret0

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	33.95	34	33.65
Temp CV(%)	7.56%	6.98%	8.80%
Min Temp(C)	25.3	25.88	24.58
Max Temp(C)	35.26	35.13	35.07
Ht Flux (W/m^2)	753.1	889.7	123.5
Ht Flux CV(%)	31.57%	18.55%	131.22%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	34.65	38.9	1
Amb CV(%)	1.44%	2.19%	0.58%
Amb Min	32.89	38.2	0.99
Amb Max	34.98	41.6	1.01
Ret (m2 Pa/W)	4.721		
Coef Var	33.63%		
R Min (m2 C/W)	0.9629		
R Max (m2 C/W)	6.0983		

Tab. 6 Ret sendvič č. 1

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	35	35
Temp CV(%)	0.05%	0.09%	0.05%
Min Temp(C)	34.84	34.76	34.9
Max Temp(C)	35.06	35.04	35.02
Ht Flux (W/m ²)	79.5	83.3	12.3
Ht Flux CV(%)	16.44%	11.45%	19.37%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	35.02	39.8	1
Amb CV(%)	0.57%	3.05%	0.37%
Amb Min	33.95	39.1	0.99
Amb Max	35.2	48.2	1.01
Ret (m2 Pa/W)	43.9554		
Coef Var	19.79%		
R Min (m2 C/W)	22.0518		
R Max (m2 C/W)	72.2797		

$$\text{Ret vzorku} = 43,9554 - 4,721 = \mathbf{39,2344 \text{ m2.K/W}}$$

Tab. 7 Ret sendvič č. 4

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	35	35
Temp CV(%)			
Min Temp(C)	34,87	34,72	34,86
Max Temp(C)	35,05	35,03	35,03
Ht Flux (W/m ²)	81,9	127,8	16,1
Ht Flux CV(%)			
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	34,94	39,1	1
Amb CV(%)			
Amb Min	34,03	38,46	0,99
Amb Max	35,04	48,67	1,01
Ret (m2 Pa/W)	41,873		
Coef Var			
R Min (m2 C/W)	21,901		
R Max (m2 C/W)	48,981		

$$\text{Ret vzorku} = 41,873 - 4,721 = \mathbf{37,152 \text{ m2.K/W}}$$

Tab. 8 Ret sendvič č. 6

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	34.99	35
Temp CV(%)	0.09%	0.14%	0.06%
Min Temp(C)	34.79	34.71	34.89
Max Temp(C)	35.07	35.04	35.02
Ht Flux (W/m ²)	132.9	150	11.9
Ht Flux CV(%)	11.50%	11.72%	22.91%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	34.95	39.6	1
Amb CV(%)	0.75%	1.83%	0.55%
Amb Min	33.57	38.7	0.98
Amb Max	35.11	43.4	1.01
Ret (m2 Pa/W)	25.8882		
Coef Var	12.23%		
R Min (m2 C/W)	14.5123		
R Max (m2 C/W)	47.2346		

$$\text{Ret vzorku} = 25,8882 - 4,721 = \mathbf{21,1672 \text{ m2.K/W}}$$

Tab. 9 Ret sendvič č. 6

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	35	35
Temp CV(%)	0.00%	0.01%	0.00%
Min Temp(C)	35	35	35
Max Temp(C)	35	35	35
Ht Flux (W/m ²)	124.9	132.6	9.3
Ht Flux CV(%)	1.09%	0.99%	2.35%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	35.06	38.6	1
Amb CV(%)	0.29%	0.51%	0.37%
Amb Min	34.79	38.1	0.99
Amb Max	35.27	38.9	1.01
Ret (m2 Pa/W)	27.6026		
Coef Var	0.76%		
R Min (m2 C/W)	27.124		
R Max (m2 C/W)	27.951		

$$\text{Ret vzorku} = 27,6026 - 4,721 = \mathbf{22,8816 \text{ m2.K/W}}$$

Udávané hodnoty referenční tkaniny (ASTM F1868 Part C) R_{ct} (1 vrstva) 0,016 m².K/W R_{ct} (4 vrstvy) 0,065 m².K/W R_{et} (1 vrstva) 3,75 m².Pa/W R_{et} (4 vrstvy) 15,1 m².Pa/W**Tab. 11 Ret referenční tkanina - naměřená**

	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	34.99	35
Temp CV(%)	0.12%	0.13%	0.06%
Min Temp(C)	34.61	34.67	34.85
Max Temp(C)	35.09	35.03	35.03
Ht Flux (W/m^2)	390.7	271.6	12.2
Ht Flux CV(%)	7.51%	9.72%	27.15%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	35.04	38.3	1
Amb CV(%)	0.82%	3.54%	0.40%
Amb Min	34.39	30.8	0.99
Amb Max	35.83	41.3	1.01
Ret (m2 Pa/W)	8.9063		
Coef Var	8.74%		
R Min (m2 C/W)	5.9342		
R Max (m2 C/W)	15.7561		

Ret vzorku = 8,9063 - 4,721 = 4,1853 m².K/W

Měření Ret s úpravou tolerančních limitů

(pomocí menu Run → Edit Test Parameters)

Číslo normy: ISO 11092

Datum měření: 23. 4. 2008

Podmínky měření:

Teplota okolí 21°C
Relativní vlhkost okolí 40 %

Toleranční limity:

± 0,1 °C pro teplotu destičky
± 0,5 °C pro teplotu vzduchu
± 4 % pro relativní vlhkost
± 0,1 m/s pro rychlost vzduchu

Tab. 10 Ret sendvič č. 6

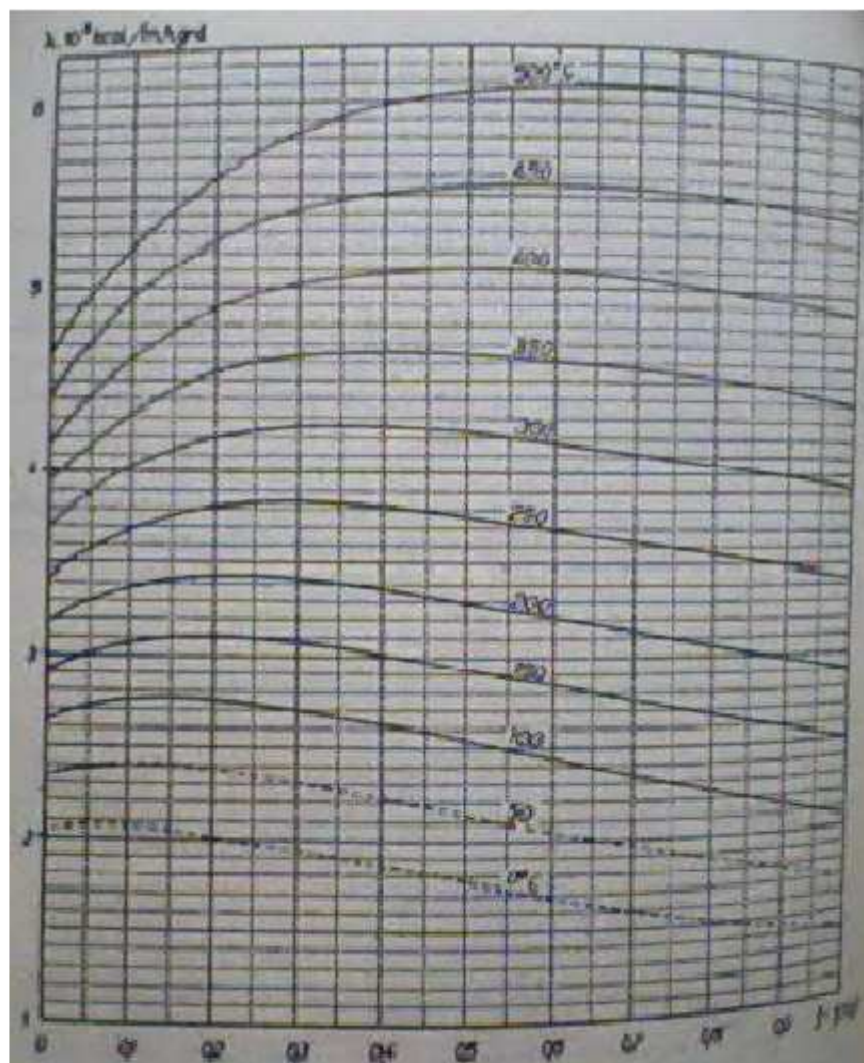
	Test Plate	Guard Ring	Lower Guard
Temp (C)	35	35	35
Temp CV(%)	0.01%	0.00%	0.01%
Min Temp(C)	35	35	35
Max Temp(C)	35	35.01	35
Ht Flux (W/m^2)	132.7	99.8	12.7
Ht Flux CV(%)	0.78%	2.96%	11.08%
	Temp(C)	RH(%)	Windspd(m/s)
Ambient	35.33	36.4	1
Amb CV(%)	0.16%	0.4%	0.29%
Amb Min	35.2	36.1	0.99
Amb Max	35.48	36.7	1.01
Ret (m2 Pa/W)	26.6504		
Coef Var	0.65%		
R Min (m2 C/W)	26.2085		
R Max (m2 C/W)	26.9134		

Ret vzorku = 26,6504 - 4,721 = 21,9294 m2.K/W

Pozn.: Automatický konec testu

Příloha 8 – Součinitel tepelné vodivosti vlhkého vzduchu

Počet stran: 1



Obr. 1 Graf závislosti tepelné vodivosti vlhkého vzduchu – $\lambda \cdot 10^2$ [kcal/m.h.grd] na váhovém podílu páry ve vzduchu – ξ [kg_{páry}/kg_{vlh.vzduchu}] dle [25]