

# Analýza tepelných ztrát oděvů za podmínek proudění vzduchu

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N0723A270001 Textilní inženýrství

*Autor práce:*

**Bc. Michaela Švančarová, DiS.**

*Vedoucí práce:*

Ing. Eva Hercíková

Katedra oděvnictví





## Zadání diplomové práce

# ANALÝZA TEPELNÝCH ZTRÁT ODĚVŮ ZA PODMÍNEK PROUDĚNÍ VZDUCHU

*Jméno a příjmení:* **Bc. Michaela Švančarová, DiS.**  
*Osobní číslo:* T19000086  
*Studijní program:* N0723A270001 Textilní iženýrství  
*Zadávající katedra:* Katedra oděvnictví  
*Akademický rok:* **2019/2020**

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši zaměřenou na vliv proudění vzduchu na efektivitu tepelně izolačních vlastností oděvů. Popište dostupné možnosti hodnocení transportu tepla oděvní vrstvou za podmínek simulujících reálné nošení oděvů, jenž reflektuje vliv proudění vzduchu kolem oděvu během pohybu.
2. Navrhněte experiment pro porovnání tepelně izolačních vlastností oděvů s využitím tepelného manekýna Timmy. Analyzujte tepelné ztráty v systému vrstvení oděvů použitelného při outdoorových aktivitách (kombinace transportní, izolační a ochranné vrstvy) za statických podmínek (nulové rychlosti proudění okolního vzduchu kolem oděvu) a za podmínek simulujících chůzi člověka, jenž je daná definovanou rychlostí pohybu manekýna (počet kroků /čas).
3. Experiment realizujte na jednom setu zahrnující jednu vrstvu funkčního prádla (triko +legíny), jednu izolační vrstvu (mikina) a jednu vrstvu ochrannou (outdoorová bunda)
4. Vyhodnoťte experiment a analyzujte získané výsledky.

*Rozsah grafických prací:* dle rozsahu dokumentace  
*Rozsah pracovní zprávy:* cca 60 stran  
*Forma zpracování práce:* tištěná  
*Jazyk práce:* Čeština



**Seznam odborné literatury:**

- SONG, G. ed. Improving comfort in clothing. Oxford: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing series in textiles, no. 106. ISBN 978-1-84569-539-2.
- HES, L., SLUKA, P. Úvod do komfortu textilií. Liberec: Technická univerzita, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- SHISHOO, R., ed. Textiles for sportswear. Cambridge: Woodhead publishing, [2015]. Woodhead publishing series in textiles, number 162. ISBN 978-1-78242-229-7
- FARNWORTH B. Mechanisms of Heat Flow Through Clothing Insulation. Textile Research Journal December 1983 53: 717-725, doi:10.1177/004051758305301201.
- ASTM F 1291-16 Standard test method for measuring the thermal insulation of clothing using a heated manikin. West Conshohocken: ASTM International, 2016.

*Vedoucí práce:* Ing. Eva Hercíková  
Katedra oděvnictví

*Datum zadání práce:* 26. února 2020  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 14. května 2021

L.S.

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs  
vedoucí katedry

V Liberci dne 26. října 2020

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

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

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

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

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

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

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

21. května 2021

Bc. Michaela Švančarová, DiS.

## **ANOTACE**

Diplomová práce je zaměřena na analýzu tepelných ztrát oděvů za podmínek proudění vzduchu. K analýze byly použity tři vrstvy funkčního oblečení od výrobce sportovních oděvů firmy Klimatex. Testované vzorky jsou zvoleny z jednotlivých funkčních vrstev oděvního funkčního systému. První vrstva je tvořena spodním prádlem a termoprádlem. Druhá vrstva je tvořena mikinou, která má pro lepší tepelné vlastnosti vypletenou hřejivou strukturu z rubní strany. Pro spodní část těla jsou použity termokalhoty s počesanou rubní stranou v kombinaci dvou materiálů. Třetí vrstva je lehká polyamidová bunda, opatřena pouze vodoodpudivou úpravou. Tyto oděvy jsou určeny na běžné sporty s mírně zvýšenou aktivitou jako je nordwalking, běh, jízda na kole, bruslení, běžkování, na turistiku i pro fyzickou aktivitu. Měření proběhlo na tepelném manekýnovi Timmy a měřícím zařízení C-THERM TCi. Vzorky byly podrobeny analýze jejich struktury a byla zjištěna jejich prodyšnost a tloušťka. Cílem práce je analyzovat a vyhodnotit vývoj tepelných ztrát při měnící se rychlosti na jednotlivých vrstvách a jejich kombinacích.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tepelná izolace, teplo, teplota, tepelná ztráta, tepelný odpor, komfort, třívrstvý oděvní systém, vyhřívaná figurína, C-THERM TCi

## **ANNOTATION**

In my master thesis I focused on the analysis of heat losses under air flow conditions. Three layers of functional clothing from the sportswear manufacturer Klimatex were used for the analysis. Tested samples are chosen from individual functional layers of garment functional system. The first layer consists of underwear and thermal underwear. The second layer consists of a sweatshirt, which has a warm structure knitted from the reverse side for better thermal properties. For the lower part of the body, thermal pants with a combed back in a combination of two materials. The third layer is a light polyamide jacket, provided with only a water-repellent finish. These garments are designed for regular sports with slightly increased activity such as nordwalking, jogging, cycling, skating, cross-country skiing, hiking or other physical activity. The measurement was performed on a Timmy thermal mannequin and a C-THERM TCi measuring device. The samples were subjected to an analysis of their structure and their breathability and thickness were determined. The obtained values were analyzed and evaluated for their development with changing speed, individual layers and their combinations. The dependence of material thickness and breathability on the value of thermal resistance was also compared.

## **KEYWORDS**

Heat insulation, heat, temperature, heat loss, thermal resistance, comfort, three-layer clothing, system heated manikin, C-THERM TCi

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucí mojí práce Ing. Evě Hercíkové za odborné vedení při vypracování diplomové práce. Dále děkuji Ing. Oksaně Vojtenko za odbornou pomoc při testování na vyhřívaném manekýnovi a Ing. Michalu Chotěborovi za pomoc při testování na zařízení C-THERM TCi a měření prodyšnosti. RNDr. Ludmile Dankovičové děkuji za cenné rady při zpracování práce. Firmě Klimatex a.s. děkuji za poskytnutí vzorků pro zpracování v diplomové práci. Závěrem bych chtěla velmi poděkovat své rodině a přátelům za podporu a trpělivost při mém studiu.

# OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Komfort.....	12
2.1	Komfort psychologický.....	12
2.2	Komfort senzorický.....	12
2.3	Komfort patofyziologický.....	13
2.4	Komfort fyziologický (termofyziologický).....	13
2.4.1	Tepelný komfort.....	14
2.4.2	Termoregulace těla.....	15
2.4.3	Hodnocení fyziologických vlastností.....	18
2.5	Faktory ovlivňující tepelnou pohodu:.....	18
2.5.1	Tepelně izolační vlastnosti.....	19
2.5.2	Jednotky a měření tepelné izolace.....	19
2.5.3	Teplota tepelné rovnováhy:.....	20
2.5.4	Sdílení tepla.....	22
2.5.5	Tepelný odpor.....	23
2.5.6	Tepelná vodivost.....	23
2.5.7	Výparný odpor.....	23
2.5.8	Tepelná kapacita, měrné teplo.....	24
2.6	Prostředí.....	25
2.7	Přenos tepla mezi člověkem a okolím.....	25
2.7.1	Kondukcí – přenos tepla vedením (přímé tepelné ztráty).....	26
2.7.2	Konvekce - přenos tepla prouděním (přímé tepelné ztráty).....	26
2.7.3	Radiací – přenos tepla zářením (přímé tepelné ztráty).....	27
2.7.4	Evaporací - odpařováním potu, nepřímé tepelné ztráty.....	28
2.7.5	Respirací (dýcháním, nepřímé tepelné ztráty).....	28
2.8	Vliv proudícího vzduchu.....	28

2.9	Fyziologicko-hygienické vlastnosti.....	30
3	Propustnosti.....	31
3.1	Prodyšnost .....	31
3.2	Paropropustnost .....	32
4	Vrstvení oděvu .....	34
4.1	První vrstva.....	35
4.2	Druhá vrstva .....	36
4.3	Třetí vrstva.....	37
5	Tepelné figuríny .....	39
5.1	Historie vývoje tepelné figuríny: .....	41
5.2	Druhy vyhřívaných figurín .....	43
5.2.1	Tepelná figurína Newton.....	44
5.2.2	Tepelná figurína Timmy.....	46
6	Aerodynamický tunel .....	50
7	C-THERM TCi.....	53
8	SGHP (Sweating Guarded Hotplate).....	55
9	Experimentální část.....	57
9.1	Vzorky oděvů k měření .....	58
9.1.1	První vrstva oděvu.....	59
9.1.2	Druhá vrstva oděvu .....	62
9.1.3	Třetí vrstva oděvu.....	65
9.2	Měření provedené na vzorcích .....	66
9.2.1	Měření na vyhřívaném figuríně - $R_{ct}$ .....	66
9.2.2	Analyzátor tepelné vodivosti C-THERM TCi .....	69
9.2.3	Měření tloušťky textilie na tloušťkoměru SDL M 034 A .....	70
9.2.4	Měření prodyšnosti pomocí zařízení FX 3300.....	71
9.3	Statistické zpracování naměřených dat.....	74



9.3.1	Porovnání výsledků měření na TCi a vyhřívaném manekýnovi .....	97
9.3.2	Přepočet na jednotky Clo .....	100
9.4	Shrnutí výsledků experimentální části.....	104
10	Závěr: .....	107
	Seznam citací: .....	108
	Seznam obrázků: .....	113
	Seznam tabulek: .....	115

## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

<b>R<sub>ct</sub></b>	tepelný odpor [ $\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ]
<b>R<sub>et</sub></b>	odpor materiálu průchodu vodních par [ $\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{W}$ ]
<b>Q</b>	množství tepla [J]
<b>T</b>	teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
<b><math>\Delta\text{T}</math></b>	teplotní rozdíl [ $^{\circ}\text{C}$ ] [K]
<b><math>\lambda</math></b>	součinitel tepelné vodivosti [ $\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
<b>C</b>	tepelná kapacita [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
<b>Q<sub>s</sub></b>	sálavé teplo [W]
<b>Q</b>	hustota tepelného toku [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
<b>1 clo</b>	0,155 [ $\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ]
<b><math>^{\circ}\text{C}</math></b>	stupeň Celsia
<b>K</b>	Kelvin
<b>Q<sub>v</sub></b>	objem protečené tekutiny [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ]
<b><math>\tau</math></b>	jednotkový čas [s]
<b>n</b>	počet vrstev
<b>S</b>	plocha [ $\text{m}^2$ ]
<b>v</b>	rychlost větru [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ]
<b>T<sub>(wc)</sub></b>	teplota Wind Chill (teplotní index pocitové teploty)
<b>H<sub>s</sub></b>	hustota sloupků [oček /m]
<b>H<sub>f</sub></b>	hustota rádků [oček /m]
<b>h</b>	tloušťka materiálu [mm]
<b>C-THERM TCi</b>	Thermal conductivity analyzer
<b>SGHP</b>	Sweating Guarded Hotplate

# 1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá tématem: „**Analýza tepelných ztrát oděvů za podmínek proudění vzduchu**“. Cílem této práce je zjistit a zhodnotit tepelně izolační vlastnosti na měnících se podmínkách proudícího vzduchu jednotlivých vrstev oděvu. V rešeršní části jsou teoretické definice o komfortu jako celku, tepelné pohodě, faktory jejich rozdělení a hodnocení. Druhá, experimentální část práce sleduje testování u třívrstvého oděvu určeného pro sport.

V běžných situacích, při nezvýšené fyzické aktivitě, v optimálním počasí je nejlepší variantou oděv z přírodního materiálu, který je pohodlný, prodyšný a komfortní. V této práci se zaměřuji na sport, neboť je to aktivita, při které používáme sportovní oděvy z funkčních materiálů. Vícevrstvý způsob oblékání zvolíme při chladném či větrném počasí. Vybrané vzorky oděvů jsou určené pro sporty, jako jsou běh, jízda na kole, bruslení, turistiku, běžkování, i pro fyzickou práci. Typy materiálů jsou vhodné do povětrnostních podmínek, běžných na našem území, charakterizující středoevropské pásmo, bez extrémních teplot.

Potřeba chránit tělo před chladem a nepříznivým počasím přivedla člověka v pradávných dobách k myšlence začít se oblékat. Možnosti pravěkých lidí byly omezené, měli k dispozici pouze kožešiny a kůže. Byl to prvopočátek tepelného komfortu, a především nutnost ochrany vlastního zdraví a života. Jedinou zábranou před chladem byly kožešiny, kůže a jednoduché způsoby jejich spojování pro pokrytí těla. Postupem času a získáváním nových zkušeností se lidé naučili pěstovat plodiny, které pak využívali ke tkaní textilií. Tehdejší lidé by se nestačili divit, jaký pokrok bude následovat. Uběhly stovky a tisíce let a oděv prošel obrovským vývojem, v současnosti se pracuje na zdokonalení technologických postupů ke splnění dalších požadavků na funkčnost materiálů.

Tepelná izolace zajišťuje ochranu těla pomocí oděvu nejen před chladem, ale i teplem (u hasičů, v hutích...). Míra tepelné izolace je ovlivněna mnoha faktory. Velký vliv má použitý materiál, ze kterého je oděv vyroben. Dalším aspektem je počet vrstev oděvu, vzduchová vrstva je nejlepším izolantem a ovlivňuje kvalitu izolace. Vlastnosti oděvu jsou vystaveny i vnějším vlivům, jako je vítr, chlad, vlhkost. Pro komfort a zdraví neohrožující prostředí musí vzniknout harmonie mezi vnějším prostředím a vnitřním prostředím. Tepelná pohoda se musí udržovat, v opačném případě může docházet k poškození zdraví a snížení výkonu při fyzických aktivitách.

## 2 KOMFORT

Komfort je příjemný stav psychického, fyziologického a sensorického vnímání člověka. Je to stav optimálně vyrovnaného organismu s okolním prostředím, které na něj působí stejně optimálně. Jde o pocit pohody, ve kterém tělo setrvává neomezeně dlouhou dobu a je schopno vykonávat aktivitu. Je vnímán smysly, nejvíce hmatem, zrakem, sluchem, čichem mimo chuti. Pocit komfortu zvyšuje vhodně zvolený oděv do určeného prostředí podle teploty, stejně tak i střihu, barvy a účelu činnosti. Vhodný oděv chrání před horkem, chladem, teplota organismu je v ideálním rozmezí a nedochází k většímu pocení, k svalovému třesu ani rozšiřování cév. U oděvů komfort ovlivňuje tepelná izolace oděvu, propustnost vlhka a další vlastnosti. Oděv musí splňovat požadavky na danou aktivitu. Oděv je bariéra mezi prostředím a tělem, ovlivňuje pohodu, pocity těla a jeho ochranu. Pohodlí a komfort jsou ovlivňující aspekty při tvorbě každého oděvu.

Opakem je stav nazývaný diskomfort, kde je narušena jedna ze složek tento stav ovlivňující.

[\[1\]](#) [\[6\]](#) [\[3\]](#)

Komfort dělíme na:

- psychologický komfort
- sensorický
- patofyziologický
- termofyziologický

### 2.1 KOMFORT PSYCHOLOGICKÝ

Psychologický komfort je subjektivní hodnocení oděvu a každý jej posuzuje individuálně. Je ovlivněn klimatickým, ekonomickým, kulturním, sociálním, historickým i individuálním hlediskem. Klimatické rozlišení je nejzásadnější, neboť se přizpůsobuje geografickým podmínkám oblasti, kde se vyskytujeme. Na toto cítění neexistuje žádné laboratorní hodnocení.

[\[1\]](#)

### 2.2 KOMFORT SENZORICKÝ

Je posuzován podle smyslů a vjemů člověka při kontaktu textilie s pokožkou. Sensorický komfort je určený tepelnými vlastnostmi textile, omakem, měkkostí, jemností, konstrukcí oděvu a dalšími. Kontakt textilie s pokožkou vyvolává pocit příjemný či nepříjemný. V kůži

jsou receptory pro vnímání pocitu tepla či chladu. Nepříjemný pocit, diskomfort způsobí oděv, který škrábe, je neprodyšný, má odlišnou velikost a další. Sensorické vnímání ovlivňuje člověka při nákupu oděvu a jeho výběru. Hodnocení sensorického komfortu se provádí subjektivně a objektivně. Subjektivní hodnocení znamená vybrat skupinu respondentů, vytvořit jim stejné podmínky pro hodnocení oděvu a následně je nechat vyplnit vytvořený dotazník a na základě stupnice provést vyhodnocení.

Objektivním hodnocením je možno změřit a vyjádřit v jednotkách jednotlivé složky: index prostupu vodních par (tepelný poměr/výparný odpor), index lepivosti (koeficient tření), index snášivosti (doba pohlcení kapky z určené výšky), povrchový index (drsnot, chlupatost), počet dotykových bodů, úhel ohybu (ohybová tuhost). Na základě vyhodnocení těchto složek se stanovuje termofyziologický komfort. [1]

### **2.3 KOMFORT PATOFYZIOLOGICKÝ**

Tento typ komfortu ovlivňují chemické látky, které jsou použité při výrobních úpravách textilního materiálu a množství mikroorganismů na pokožce nositele. Dále je ovlivněn citlivostí každého jedince, kdy každý organismus má více či méně citlivé vnímání a následné reakce. Mohou být vyvolány alergické reakce či jiné dermatologické problémy. Textilní výrobky musí splňovat chemickou a biologickou nezávadnost. [1]

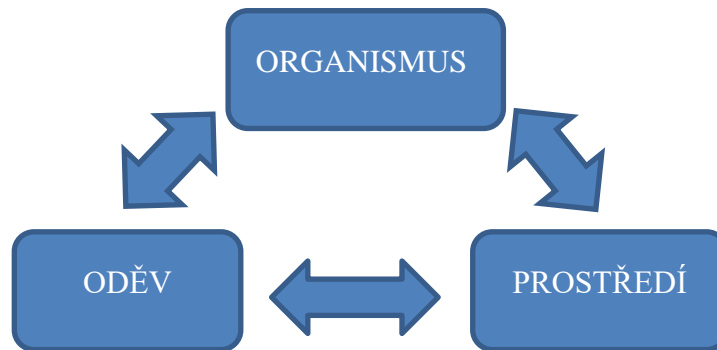
### **2.4 KOMFORT FYZIOLOGICKÝ (TERMIFYZIOLOGICKÝ)**

Termofyziologický komfort je tepelné pohodlí, kdy je organismus v ideálních podmínkách a nemusí regulovat svou tělesnou teplotu. Opakem komfortu je diskomfort, který vznikne narušením rytmu vlivem prostředí či člověka. K základním vlastnostem oděvu patří tepelně-izolační vlastnosti a ty určují termofyziologický komfort – který vyjadřuje subjektivní pocit člověka o pohodlí v oděvu. [1]

Optimální podmínky pro termofyzický komfort:

- teplota pokožky 33 – 35°C
- relativní vlhkost vzduchu  $50 \pm 10\%$
- rychlost proudění vzduchu  $25 \pm 10 \text{ cm.s}^{-1}$
- obsah CO<sub>2</sub> 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce

Termofyziologický komfort je ovlivněn výběrem vhodného oděvu. Objektivní hodnocení se měří pomocí laboratorních přístrojů, které snímají a následně vyhodnocují fyzikální děje, probíhající mezi tělem a okolním prostředím. Oděv a člověk je systém, který tvoří interakci s okolním prostředím. Pro termofyziologický komfort musí fungovat tento systém: organismus – oděv – prostředí (viz obrázek č. 1) [3]



Obrázek č. 1: Schéma řešení fyziologie odívání

Následky, reakce těla na výkyvy tělesné teploty: [3]

- 43,3 ° C poškození mozku, mdloby, nevolnost
- 37,8 ° C pocení
- 37 ° C normální
- <37 ° C třes a husí kůže
- <32,2 ° C bez řeči
- 26,5 ° C tuhé a deformované tělo
- <26,5 ° C nevratné chlazení těla

### 2.4.1 Tepelný komfort

Tepelný komfort je stav těla, kdy nepřevládá pocit chladu, ani velkého tepla. Je hodnocen již od začátku 20. století, počátku průmyslové výroby, kdy bylo nutné zajistit bezpečné pracovní prostředí. Nevhodné pracovní prostředí s nízkou či vysokou teplotou snižuje pozornost a efektivitu práce. V roce 1923 Houghton a Yaglou se staly nejvýznamnějšími autory, kteří se zabývali hodnocením tepelného komfortu a zavedli empirický index „efektivní teplota“. Bedford později do definice efektivní teploty přidal úvahu oděvu a také zavedl stupnici pro vyhodnocení měření: **+3 příliš teplo, +2 nepříliš teplo, +1 příjemně teplo, 0 příjemně, -1 příjemně chladno, -2 nepříjemně chladno, -3 příliš chladno**, která se používá dodnes [11]. V roce 1957 vyvinuli Yaglou a Minardem teplotní index mokrého teploměru, kdy se teplota odečte teploměrem, který je zakrytý vodou nasáklou látkou, přes kterou prochází vzduch. Při

100% relativní vlhkosti je teplota vlhkého teploměru stejná s teplotou vzduchu a při nižší vlhkosti je teplota mokrého teploměru nižší než suchého, což je způsobeno chlazením – odpařováním [7][8]

V 60. a 70. letech byl Fangerem proveden výzkum tepelné pohody již přímo ve vztahu mezi fyziologickými parametry člověka, parametry prostředí a jak je vnímána tepelná pohoda.

## 2.4.2 Termoregulace těla

Teplota lidského těla je za normálních podmínek 35,8 – 37 °C. Primární řídicí centrum pro termoregulaci se nachází v hypotalamu. Informace do hypotalamu vstupuje z nervových zakončení citlivých na teplotu a je rozhodující pro intenzitu výrobu lidského tepla. V chladném prostředí tento kontrolní systém udržuje tepelnou rovnováhu. Termoregulace je schopnost celého organismu udržovat ideální teplotu. [10]

Termoregulace začíná fungovat, když teplota těla stoupá či klesá mimo uvedenou ideální teplotu, funguje jako „termostat“. Chladové receptory – senzory jsou volně zakončeny v nervových vláknech, uložené pod epitelem pokožky a tepelné receptory jsou vlákna, umístěná v horní a střední vrstvě škůry kůže. Pro chlad 250 000 a pro teplo 30 000 receptorů, ty na základě reflexů snižují či zvyšují teplotu těla. Nejvíce receptorů je na obličeji, hřbetu ruky a nejméně na zádech. Informace z jádrových a kožních receptorů se zpracují do termoregulační reakce. To znamená, že kožní senzory produkují negativní či pozitivní signály do centrálního tepelného integrálu pro pocení a svalový třes (reakce na chlad, která vyvolá zvýšené svalové napětí, přechází ve svalové kontrakce, dojde k rychlému zvýšení tělesné teploty.). Při ochlazení se projevuje zvýšením svalového napětí a chvěním. [15]

Tepelná regulace:

- chemická reakce - zajišťuje zvýšení či snížení produkce tepla tělem. Zdroje tvorby tepla v těle:
  - bazální metabolismus
  - metabolismus ve svalech
  - metabolismus v játrech
  - metabolismus v ledvinách
  - metabolismus v srdci
  - metabolismus v mozku [11]

- fyzikální reakce – zajišťuje zmenšení či zvýšení přestupu tepla mezi tělem a okolím. Rozšiřováním cév v podkoží se zvětší sdílení tepla do okolí, opačně zužováním cév, kdy se sdílení tepla snižuje, protože tepelná vodivost tkání a tepelný spád klesají.
- mechanická – ovlivněna změnou vrstev oděvu a tím změnou tepelného odporu [24]

Při látkových přeměnách v těle dochází k uvolňování tepelné energie – metabolické teplo. Velikost metabolického tepla závisí na konané činnosti člověka a společně i na jeho fyzické konstituci. Většina energie do okolí se přenáší formou tepla (90 až 100 %). Hodnoty metabolického tepelného toku na 1 m<sup>2</sup> povrchu lidského těla při různé fyzické aktivitě člověka jsou uvedeny v tabulce níže (tab. 1). Hustota metabolického tepelného toku se používá, aby byl eliminován vliv fyzické konstituce člověka. Střední hodnota povrchu těla dospělých mužů je asi 1,9 m<sup>2</sup>, žen 1,75 m<sup>2</sup>. [24]

**Tabulka č. 1: Hustota metabolického tepelného toku a mechanická účinnost těla při různé činnosti člověka** [24]

Činnost	Hustota metabolického tepelného toku $\dot{q}_m$		Mechanická účinnost $\eta$
	[W.m <sup>-2</sup> ]	[met]	
Klidné ležení	46	0,8	0
Sezení, uvolněné	58	1,0	0
Práce vsedě (úřady, školy, laboratoře)	70	1,2	0
Stání, lehká práce (nakupování, laboratoře, lehký průmysl)	93	1,6	0 až 0,1
Stání, střední práce (prodavač, práce v domácnosti, práce na strojích)	116	2,0	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 2 km.h <sup>-1</sup>	110	1,9	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 3 km.h <sup>-1</sup>	140	2,4	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 4 km.h <sup>-1</sup>	165	2,8	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 5 km.h <sup>-1</sup>	200	3,4	0,1 až 0,2
Těžká fyzická práce (těžký průmysl, stavebnictví) přenášení břemen 50 kg	235	4,0	0,1 až 0,25

1 met = 58,2 W.m<sup>-2</sup>

### Rovnice tepelné rovnováhy:

$$\underline{Q_{tt} + Q_{tz} = Q_s + Q_{pr} + Q_{ved} + Q_{od} + Q_{odc} + Q_{op} + Q_{ov} \mp \Delta Q} \quad [9]$$

$Q_{tt}$  teplo tvořené organismem [J]

$Q_{tz}$  vnější teplo (sluneční záření) [J]

$Q_s$  tepelné ztráty – sáláním [J]

$Q_{pr}$  tepelné ztráty – prouděním [J]

$Q_{ved}$  tepelné ztráty – vedením [J]

$Q_{od}$  tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti s povrchu pokožky [J]

$Q_{odc}$  tepelné ztráty v důsledku odpařování vlhkosti z horních cest dýchacích [J]



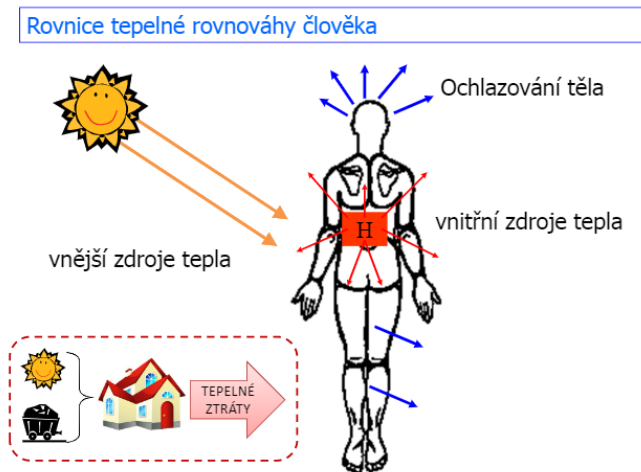
$Q_{op}$  tepelné ztráty odpařováním potu [J]

$Q_{ov}$  tepelné ztráty na ohřev vydechaného vzduchu [J]

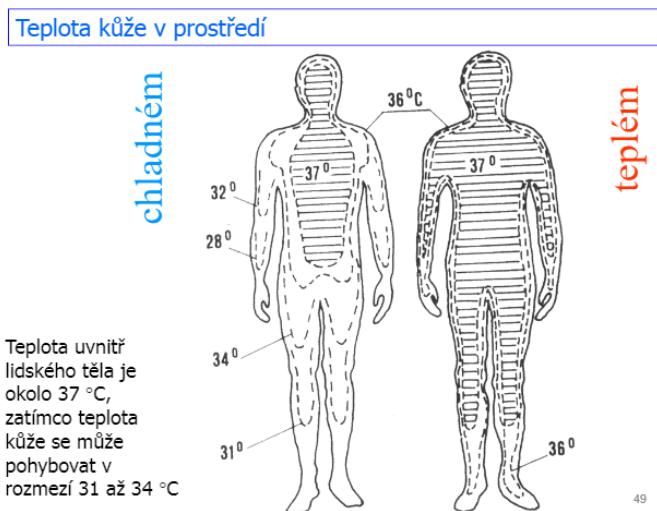
$\Delta Q$  změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné pohody = deficit tepla [J]

Všechny složky této rovnice tepelné rovnováhy jsou uvedeny za jednotkový čas  $\tau$  (tau) (s), tzn.

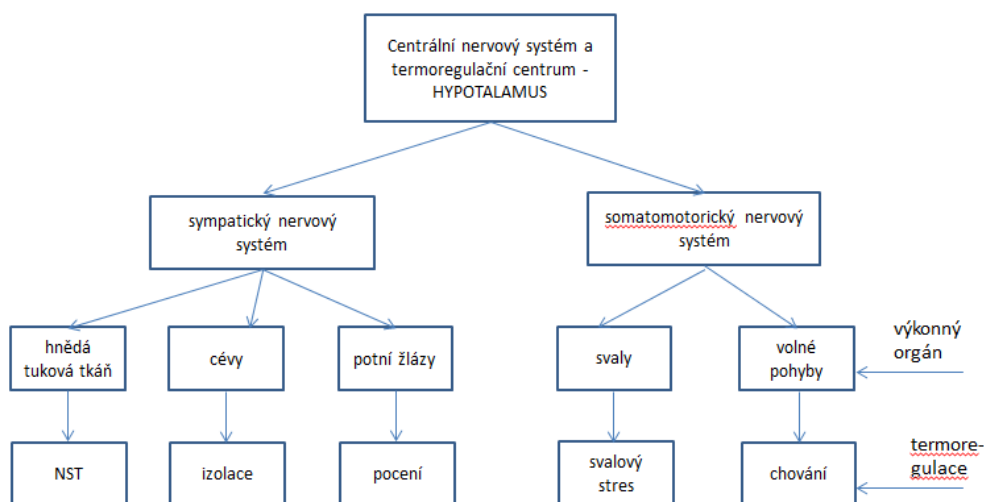
$Js^{-1} \equiv W$ , pokud vyjde kladné číslo, teplota těla stoupá, pokud záporné, teplota těla klesá, pokud bude rovno nule, je tepelná rovnováha. [9]



Obrázek č. 2: Tepelná rovnováha člověka [9]



Obrázek č. 3: Teplota kůže v chladném a teplém prostředí [9]



Obrázek č. 4: Systém termoregulace v lidském těle [1]

### 2.4.3 Hodnocení fyziologických vlastností

Pro hodnocení oděvního komfortu jsou důležité fyziologické vlastnosti oděvu. Je to komplexní hodnocení souboru vlastností lidského organismu, prostředí a oděvu, díky kterým se tělo při nošení oděvu udržuje v tepelné rovnováze a pocitu pohodlí.

Na katedře oděvnictví TUL se v klimatizované laboratoři používají k testování - objektivnímu hodnocení uvedených vlastností následující přístroje:

- přístroj SDL M 021 S - pro hodnocení prodyšnosti (prostupu vzduchu) [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- přístroj TONGOMETR – pro stanovení tepelné odolnosti [ $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ]
- tloušťkoměr SDL M 034 A - pro zjištění tloušťky plošné textilie [mm]
- přístroj SDL M018 – pro stanovení odolnosti textilie proti průniku vody pod tlakem a stanovení výšky vodního sloupce [cm]
- přístroj Sweating Guarded Hotplate – pro hodnocení odolnosti vůči vodním parám [ $\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{W}^{-1}$ ] (vyhřívána destička) a tepelné odolnosti [ $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ]
- termovize– bezdotykové měření a analýza teplotních polí. Pomocí infračervené kamery se zjišťují tepelné ztráty u budov, oděvů při fyzické aktivitě, za různých klimatických podmínek. [50]

## 2.5 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPELNOU POHODU:

a) vnitřní prostředí (teplota vzduchu, radiační teplota, vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu)

b) osobní faktory (hodnota metabolismu, oděv)

c) doplňující faktory (věk, pohlaví, množství podkožního tuku, reakce na prostředí, potrava)

[6]

### 2.5.1 Tepelně izolační vlastnosti

Dobrý tepelný izolant musí splňovat podmínku, že má nízkou tepelnou vodivost – špatně vede teplo a naopak vysoký tepelný odpor – klade odpor průchodu tepla textilií.

Tepelná izolace je schopnost materiálu (oděvu) zabránit odvádění tělesného tepla, slouží jako bariéra mezi tělem a okolím. Je nepřímo závislá na součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ], je to vyjádření tepelné vodivosti materiálu. V nízkých teplotách prostředí musí být tělesné teplo zadržováno, naopak ve vyšších teplotách je třeba zabránit přístupu teplého vzduchu z okolí směrem k tělu a tím nezvyšovat jeho optimální teplotu. Tepelně izolační vlastnosti ovlivňuje množství vzduchu v textilii, čím větší obsah vzduchu tím lepší izolant. Proto je nutné vždy vybrat textilii s vhodnou konstrukcí a vhodný počet vrstev oděvu, tím bude zajištěna správná funkce zvoleného oděvního systému. [9]

Tepelně izolační vlastnosti jsou ovlivněny:

- konstrukcí a strukturou textilie
- druhem textilního vlákna (složení materiálu)
- počtem vrstev oděvu (vhodná kombinace)
- množstvím vzduchu v textilii (čím větší množství, tím lepší tepelněizolační vlastnosti)
- mírou vlhkosti v textilii (čím vyšší, tím větší tepelná vodivost)

### 2.5.2 Jednotky a měření tepelné izolace

Tepelná izolace je vyjádřena v jednotkách clo. 1 clo odpovídá izolačnímu materiálu s tepelným odporem  $R = 0,155 \text{ m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ . V tabulce 2. je přehled clo základních částí oděvu dámského i pánského typu. Uvedená hodnota nezahrnuje odpor vnější mezní vrstvy, ten je ovlivněn rychlostí proudícího vzduchu. Přehlednost a jednodušnost určení míry tepelné izolace umožňuje jednotka **clo** a slouží pro porovnávání a lepší orientaci spotřebitelů. [37]

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$$

Jednotka definuje tepelnou izolaci oděvu, člověka sedícího v klidu, cca 21°C, teploty povrchu těla 33,4°C, relativní vlhkosti 50% a rychlosti větru 0,05 [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

ASHRAE je americká společnost pro výzkum klimatizací, vytápění a chlazení, její normy se vyvíjejí a využívají po celém světě, byla založena v roce 1894. ASHRAE Handbook je nejkompaktnější příručka založená na praktických zkušenostech a znalostech veškerých informací o ventilaci, vytápění, chlazení a topení s ohledem na zdraví člověka, který se v daném prostředí vyskytuje. Podle normy ASHARA E-55 2010 se dle tabulek provede odhad tepelné izolace oděvního souboru, tabulky jsou výsledkem třech metod měření. Výzkum spočívá v měření na zahřátých figurínách a aktivních subjektech. Toto hodnocení se týká metody v uzavřených objektech. [37]

Další faktor, ovlivňující izolaci oděvu je fyzická aktivita, zda člověk sedí, leží či se pohybuje, tím se mění tepelná izolace důsledkem stlačení vzduchových vrstev oděvu. Pohyb těla snižuje izolaci oděvního souboru tím, že je vzduch protlačován skrz otvory v oděvu. Tento efekt se značně liší v závislosti na povaze pohybu a oblečení. Přesné odhady izolace oděvu pro aktivní osobu proto nejsou k dispozici, pokud se neprovádí měření konkrétního stavu (např. Pomocí chodící figuríny). Odhad izolace oblečení pro aktivní osobu je:

$$I_{cl, \text{aktivní}} = I_{cl} \times (0,6 + 0,4 / M) \quad 1,2 \text{ splněno } <M < 2,0 \text{ splněno}$$

M=je rychlost metabolismu v jednotkách metrických,  $I_{cl}$ = izolace bez aktivity

Izolace oděvu také souvisí s teplotou vzduchu v okolí a vlhkostí. Studie vyvinuly dynamické modely izolace oděvů, které umožňují přesnější výpočet tepelné pohody. Pro zjednodušení se používá pro léto 0,5 clo a v zimě 1,0 a více clo. [37]

Základní hodnoty AHSARAE-55 pro izolaci oděvů za typických povětrnostních podmínek:

- nahé tělo: 0 clo;
- letní oblečení: 0,6 clo;
- lyžařská výstroj: 2 clo;
- světelná polární výbava: 3 clo;
- těžká polární výbava: 4 clo;
- polární dolů přikrývka: 8 clo.

### 2.5.3 Teplota tepelné rovnováhy:

$T = 31 - P \cdot R$  ( $^{\circ}\text{C}$  = okolní teplota, při které je tělo v tep. rovnováze a závisí na rychlosti vývoje tepla na jednotku plochy  $P$  = počet wattů na  $\text{m}^2$  a  $R$  = tepelné izolace oděvu).

Příklad:

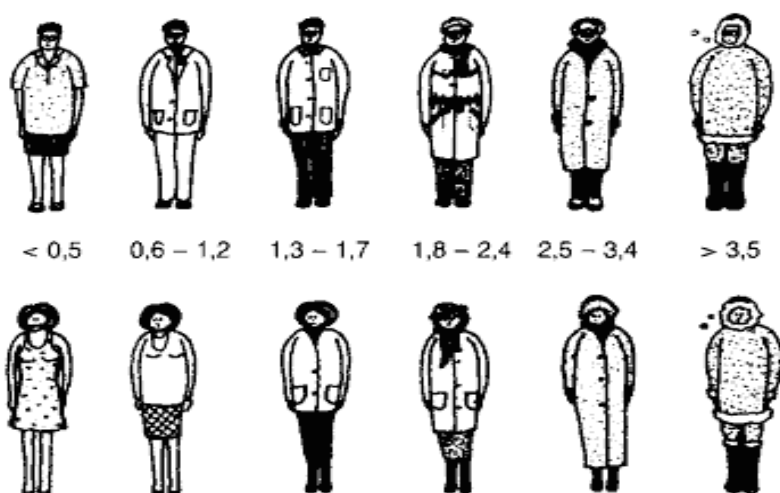
$$T = (31 - 0,155 \cdot P \cdot R) \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

## Teplota tepelné rovnováhy<sup>[37]</sup>

- osoba v letních šatech v klidu ( $P = 60 \text{ W/m}^2$ ,  $R = 0,4 \text{ clo}$ ):  $T = +27 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- těžký polární oděv, v klidu ( $P = 60 \text{ W/m}^2$ ,  $R = 4 \text{ clo}$ ):  $T = -6 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- pomalá chůze v lehčím polárním oděvu ( $P = 120 \text{ W/m}^2$ ,  $R = 3 \text{ clo}$ ):  $T = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- spaní v polární peřině ( $P = 48 \text{ W/m}^2$ ,  $R = 8 \text{ clo}$ ):  $T = -28 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- rychlá chůze v těžkém polárním oděvu ( $P = 180 \text{ W/m}^2$ ,  $R = 4 \text{ clo}$ ):  $T = -80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabulka č. 2: Izolace jednotlivých součástí oblečení v jednotkách clo <sup>[9][37]</sup>

Muži	Oblečení	clo	Ženy	Oblečení	clo
Spodní prádlo	tílko	0,06	Spodní prádlo	podprsenka kalhotky	0,05
	tričko	0,09		krátké kombiné	0,13
	slipy	0,05		dlouhé kombiné	0,19
	nátělník dl. rukáv	0,35		nátělník dl. rukáv	0,35
	dlouhé spodky	0,35		dlouhé spodky	0,35
Košile	slabá kr. rukáv	0,14	Halenky	slabá	0,20
	slabá dl. rukáv	0,22		silná	0,29
	silná dl. rukáv	0,29		silné	0,70
Kalhoty	slabé	0,26	Kalhoty	slabé	0,26
Svetr	slabý	0,20	Svetr	slabý	0,17
	silný	0,37		silný	0,37
	vysoké (podkolenky)	0,10		punčochové kalhoty	0,01



Obrázek č. 5: Izolace souborů oblečení v jednotkách clo muži/ženy [9]

## 2.5.4 Sdílení tepla

Přenos tepla je složitý děj. Pro správnou funkci procesu přenosu tepla je třeba tento proces znát a řídit se jím. Teplo je přenášeno z místa teplejšího na místo, které má nižší teplotu, kdy k tomuto přenosu dochází až do chvíle, kdy se teploty vyrovnají do teplotní rovnováhy. [25]

Tabulka č. 3: Tvorba tepla v závislosti na činnosti organismu [26]

Činnost organismu	Tvorba tepla [W]
klid na lůžku	81,4
stoj	116,3
lehká fyzická práce	197,7
chůze 5 km/h	314,0
těžká fyzická práce	348,9
běh	918,7

Z tabulky lze dovodit, že pokud organismus vykonává namáhavou činnost větší zátěž, produkuje větší množství tepla.

Tepelný stav je odrazem množství tepla, které vytváří organismus, jeho ukazatelem je teplota pokožky a jeho výsledkem je tepelná pohoda – komfort nebo naopak tepelná nepohoda – diskomfort. Diskomfort nastává při změně teploty pokožky o 2°C oteplení či ochlazení a dojde ke změně tepelného stavu organismu. Tyto změny mohou překročit hranice snášenlivosti a může dojít k poruše zdraví, kolapsu atd. [26]

## 2.5.5 Tepelný odpor

Tepelný odpor je rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu, je určen výsledným tepelným tokem na jednotku plochy. Je to výsledek přenosu tepla kondukcí, konvekcí a radiací. Jedná se o suchý tok tepla, který prochází materiálem.  $R_{ct}$  – čím je tato hodnota vyšší, tím je lepší tepelná izolace.

$$R_{ct} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$$

### Tepelný odpor vícevrstvého oděvu

Tepelný odpor zvyšuje celkovou teplotu u vícevrstvé oděvní sestavy. Součet vícevrstvé oděvní sestavy je o něco vyšší než součet tepelného odporu jednotlivých vrstev v následující rovnici:

$$R_T = R_{L1} + R_{L2} + \dots + R_{Ln} + R_c$$

$R_T$ ....celkový tepelný odpor vícevrstvé sestavy

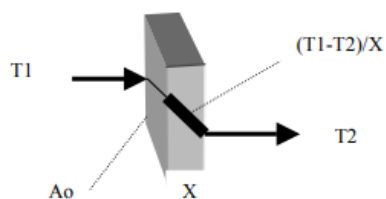
$R_{L1}$ .....tepelný odpor 1. vrstvy

$n$ .....počet vrstev

$R_c$ ....odpor tepelného kontaktu

## 2.5.6 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost charakterizuje rychlost přestupu tepla v materiálu. Ovlivňuje tepelně izolační procesy, ohřev i ochlazení. Vyjadřuje ji součinitel  $\lambda [Wm^{-1} \cdot K^{-1}]$  – konstanta vztahu pro ustálený tepelný tok přes plochu velikosti  $A_0$ . Platí, že rychlost tepelného toku je přímo úměrná rozdílu mezi teplotou na vstupu  $T_1$  a výstupu  $T_2$  z desky, která má tloušťku  $X$  – viz obrázek č.6 [27]



Obrázek č. 6: Ustálený tepelný tok přes desku plochy [27]

## 2.5.7 Výparný odpor

Představuje rozdíl tlaku vodních par mezi povrchy materiálů, je výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy. Jde o výsledek přenosu vodních par difúzí, kapilárně a sorpcí. Je to takzvaný „latentní“ výparný tepelný tok, procházející danou plochou. Označení  $R_{et} [m^2 \cdot Pa \cdot W]$

Lidská pokožka má 100% propustnost pro vodní páry, jejím pokrýváním textilií se propustnost pro vodní páry snižuje. Hodnotu snížení propustnosti v procentech ovlivňují schopnosti textilie propouštět vodní páry.

Pro tuto schopnost textilie platí vztah - čím je  $R_{et}$  nižší, tím je propustnost pro vodní páry vyšší.

Dle stávajících norem ISO je klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry [43]:

- $R_{et} < 6$  velmi dobrá (20 000  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  za 24hod),
- $R_{et} 6 - 13$  dobrá (9000 – 20 000  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  za 24hod),
- $R_{et} 13 - 20$  uspokojivá (5000 – 9000  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  za 24hod),
- $R_{et} > 20$  neuspokojivá (5000  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  za 24hod).

## 2.5.8 Tepelná kapacita, měrné teplo

Při kontaktu těles o rozdílné teplotě dojde k předání energie z teplejšího na chladnější. Chladnější se ohřeje, přijme energii a teplejší se ochladí. Tepelná kapacita – je vyjádřena měrným teplem za stálého tlaku  $C_p$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Jde o teplo, které je potřebné dodat látce, aby se její teplota zvýšila, či snížila o  $1\text{ }^\circ\text{C}$  nebo  $1\text{K}$ . Je to faktor, který ovlivňuje dynamické chování lidského tepelného systému za přechodných podmínek. Značí se  $C$  a matematicky vyjádříme [48]:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

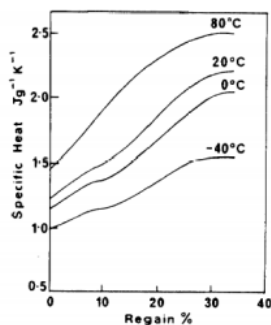
$Q$  - množství tepla

$\Delta T$  - teplotní rozdíl ( $T_1 - T_2$ )

$C$  - tepelná kapacita

Jednotka tepelné kapacity:  $[c] = \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Na měrnou teplotu má vliv míra vlhkosti. Měrné teplo roste s rostoucí vlhkostí (viz obrázek č. 7).



Obrázek č. 7: Vyjádření tepelných vlastností polymerů ku tepelné vodivosti [27]



## 2.6 PROSTŘEDÍ

Je prostor, ve kterém se člověk nachází a je charakterizováno podmínkami. Rozdělujeme na dva typy:

- zeměpisné prostředí – v neuzavřeném prostoru
- pracovní prostředí – uvnitř objektu

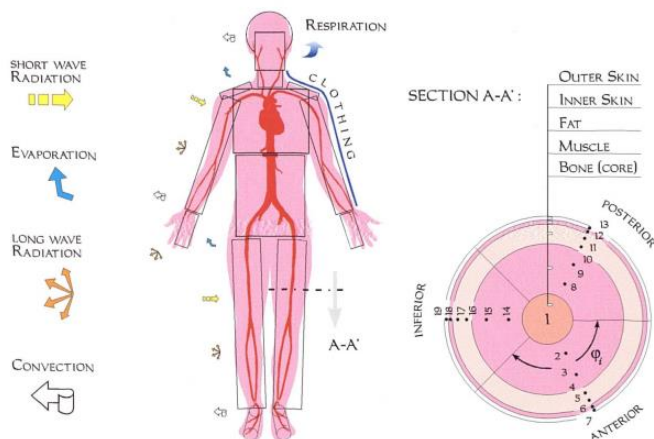
Prostředí je určeno klimatickou teplotou, ta je rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje oděv. Roční období, klima oblasti a typ počasí jsou faktory, podle kterých se řídí osoby, které se zde vyskytují – v přírodě. Uvnitř objektů je oděv přizpůsoben danému pracovnímu prostředí. Organismus musí v každém prostředí podávat maximální výkon, proto je důležité respektovat podmínky prostředí, aby nebyl snížen výkon tělesný ani duševní. Oděv je vystaven působení vlivu okolního prostředí stejně tak i působení teplotního vlivu organismu. [\[24\]](#)

## 2.7 PŘENOS TEPLA MEZI ČLOVĚKEM A OKOLÍM

Udržení tepelné rovnováhy je složitý proces, podstatný význam zde má regulace přestupu tepla. Ve vyrovnané tepelné rovnováze funguje koordinace tvorby tepla a jeho odvodu. [\[24\]](#) Sdílení tepla je nauka o šíření tepla v prostoru a čase. V teorii termodynamiky se teplo samovolně šíří z místa vyšší teploty do místa nižší teploty. Způsob přechodu určuje prostředí a fyzikální základ, podle kterého pohyb energie proběhne. Odvod tepla probíhá následujícími způsoby:

- kondukcí (vedením)
- konvekcí (prouděním)
- radiací (zářením)
- evaporací (odpařováním potu)
- respirací (dýcháním)

Přenášení tepla probíhá uvedenými způsoby nebo jejich kombinací. (viz obrázek č. 8)



Obrázek č. 8: Schéma pasivního systému – [15]

### 2.7.1 Kondukcí – přenos tepla vedením (přímé tepelné ztráty)

Přenos tepla vedením je způsob sdílení tepla dotykem mezi dvěma tělesy s různou teplotou. Vrstva oděvu doléhá na pokožku svou plochou, další textilní vrstva je ve styku s jiným předmětem (např. při sezení, ležení), teplo je tedy odebíráno kontaktním způsobem. Molekuly s vyšší teplotou předávají při srážkách přebytek své kinetické energie molekulám s teplotou nižší. Množství tepla, které je předáno, je závislé na teplotním rozdílu těles.

O vedení tepla kondukcí se hovoří pouze u tuhých látek. Plyny a kapaliny přenáší teplo vedením v nepatrné míře, proto jsou tyto látky označovány jako tepelné izolanty. Nejlepším izolantem je vzduch, který neproudí. Přenos tepla kondukcí je hlavním mechanismem přenosu tepla ve vrstvách u oděvního systému.

Tloušťka textilie, pohyby vzduchu ovlivňují přestup tepla textilií. Stoupající vlhkostí výrazně rostou ztráty tepla. U vlhkého materiálu se tepelné ztráty i 24krát zvětší než u suchého. Izolační materiál absorbuje vlhkost zevnitř (pocením a dýcháním), ale i působením vzdušné vlhkosti z okolního prostředí. [31] [15] [1]

Úměrnost mezi tokem tepla  $q$  [ $Wm^{-2}$ ], tepelnou vodivostí  $\lambda$  [ $Wm^{-1}.K^{-1}$ ] a teplotním gradientem  $\Delta t/\Delta x$  vyjadřuje Fourierův zákon:

$$q = - \lambda * \Delta t/\Delta x$$

### 2.7.2 Konvekce - přenos tepla prouděním (přímé tepelné ztráty)

Přenos tepla prouděním je nejvýznamnější přenos tepla mezi tělem a prostředím. Teplo je přenášeno částicemi tekutin, které se pohybují rychlostí  $v$  [ $ms^{-1}$ ]. Objekt a proudící prostředí

odděluje tepelná mezní vrstva o tloušťce  $\delta$ , kde je realizován teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je menší při turbulentním proudění a větší při laminárním proudění. Teplo se nejprve předá vedením tělesu (materiálu) a prouděním je následně vedeno do okolí. [32] [29]

Vyjádřeno vztahem:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot \Delta t \cdot \tau$$

Vyjádřeno množství tepla  $Q$ , za čas  $t$  je odvedeno konvekcí (prouděním) z povrchu těla plochy  $S$  do okolí, které má teplotu nižší o  $\Delta t$ .  $\alpha$  je koeficient přestupu tepla rozhraním (určeno experimentálně). Koeficient přestupu tepla  $\alpha$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ] je pro přirozené proudění relativně nízký a při nuceném proudění vzrůstající. U oděvů je tepelně izolační vrstva chráněna vrchní textilií.

### 2.7.3 Radiací – přenos tepla zářením (přímé tepelné ztráty)

Část tepelné energie se přeměňuje na energii zářivou. Ta je přenášena elektrickým vlněním různé délky, množství vyzářené energie závisí na teplotě a velikosti plochy. Elektromagnetické záření je šířeno rychlostí  $c = 300\,000\,000$  m/s. Při malých rozdílech teplot, které nastávají při nošení oděvu, je možné rovnici pro stanovení množství sálavého tepla napsat ve tvaru:

$$Q_s = \alpha_s \cdot S_s \cdot (T_1 - T_2)$$

kde:  $Q_s$  - sálavé teplo [W],

$\alpha_s$  - součinitel tepla sáláním [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]

$S_s$  - plocha povrchu těla, ze kterého teplo sálá [ $\text{m}^2$ ]

$T_1$  - teplota povrchu těla [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_2$  - teplota povrchu okolních těles [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Sálání je přirozená vlastnost všech těles, kdy každé těleso nepřetržitě vyzařuje energii. Při dopadu záření na povrch může dojít k odrazu, pohlcení či průchodu záření skrz objekt. Pokud těleso vykazuje pouze jeden z těchto jevů, pak se jedná o:

- dokonale černé těleso - pohlcuje veškerou dopadající energii
- dokonale bílé (zrcadlové) těleso - odráží veškerou dopadající energii
- dokonale průteplivé (diatermní) těleso - propouští všechnu dopadající energii.

Ve skutečnosti ovšem jednotlivá dokonalá tělesa neexistují, ale mají všechny tyto vlastnosti, nebo pouze některé z nich. [29]

## 2.7.4 Evaporací - odpařováním potu, nepřímé tepelné ztráty

K tomuto přenosu tepla dochází zejména v horkém prostředí při přehřátí organismu, kdy probíhá odpařování difúzní vlhkosti a potu. K vypařování dochází dýcháním a pocením. Člověk tímto způsobem vydá do okolního prostředí až 27% tepelných ztrát. Rychlost odpařování vlhkosti z povrchu těla ovlivňuje rozdíl parciálních tlaků páry ve vrstvě u pokožky a okolním vzduchu, také rychlost proudění vzduchu a velikost zvlhčeného těla. Teplo se z kůže odvádí pocením, při tomto způsobu jsou největší ztráty na odhaleném těle, není zde ochranná vrstva, která vytvoří přechod mezi dvěma rozdílnými parciálními tlaky. Při odpaření 1 g vody vydá organismus zhruba 0,6 kcal tepla. Vypařování je zrychleno tělesnou teplotou, která se zvyšuje. Teplota 19-31°C je ideální, kůže si zde dokáže udržet rovnováhu mezi teplem, které je odváděno a produkováno. Při vyšší teplotě okolí, než je teplota těla, dochází k evaporaci – ochlazením těla. Jedním litrem odpařené tekutiny z těla odejde přes 2428 kJ. Ve velmi vlhkém prostředí tedy snáší člověk mnohem hůře vysoké teploty nad 34°C.

Evaporace – mechanismus pro ochlazení těla, když je teplota těla nižší než teplota okolí. [\[29\]](#)

## 2.7.5 Respirací (dýcháním, nepřímé tepelné ztráty)

Přenos tepla dýcháním tvoří jen malou část z celkového podílu tepelných ztrát. Tyto tepelné ztráty vzrůstají snížením teploty vzduchu a zvýšeným energetickým výdejem. V praxi nikdy nedochází k přenosu tepla jen jedním z uvedených druhů, vždy probíhá jejich kombinací. Jedna z nich má ale rozhodující vliv. [\[29\]](#)

## 2.8 VLIV PROUDÍCÍHO VZDUCHU

Tepelný komfort člověka v prostředí je ovlivněn teplotou okolí, relativní vlhkostí, slunečním svitem a také rychlostí větru. [\[30\]](#)

Hlavním vlivem proudícího vzduchu je, že se tělo ochlazuje nucenou konvekcí. Vlivem turbulentně proudícího vzduchu dojde k vyšší tepelné ztrátě těla. Ideální rychlost proudění pro udržení tepelného komfortu je 0,25 +/- 0,1 m/s, ale to je ve venkovním prostředí malá pravděpodobnost. Před vlivem klimatických podmínek chrání tělo oděv. Člověk vytváří aktivním pohybem kolem sebe proudící vzduch – při běhu (5-7 m.s<sup>-1</sup>), při jízdě na kole (10-15 m.s<sup>-1</sup>), kdy dochází ke zvýšené tvorbě tepla. Proudící vzduch ochlazuje tělo následujícími způsoby – odvádí prostoupené teplo z povrchu oděvu, stlačí objem oděvu a tím zmenší jeho tepelný odpor, naruší izolační vlastnosti vzduchu v textilií tím, že do ní pronikne.

Jeden ze způsobů vyhodnocení působení vlivu větru na termofyziologický komfort je Wind Chill – teplotní index pocitové teploty. Vznikl již ve 40. letech 20. století na Antarktidě a zabývali se jím Passel a Simple. Pocitová teplota je závislá na rychlosti větru. V klidném bezvětřném teplém počasí má člověk pocit mnohem většího tepla, než je teplota vzduchu. Naopak při větru o rychlosti 10m/s a teplotě 0°C má člověk pocitovou teplotu -7°C. Na základě těchto principů byla vytvořena převodní tabulka (na základě rychlosti větru) pro orientaci v této oblasti (viz obrázek č. 9). Podle rychlosti větru a teploty hodnotu udávají meteorologické stanice, které jsou vybaveny anomometrem a měří rychlost větru. [36], [30]

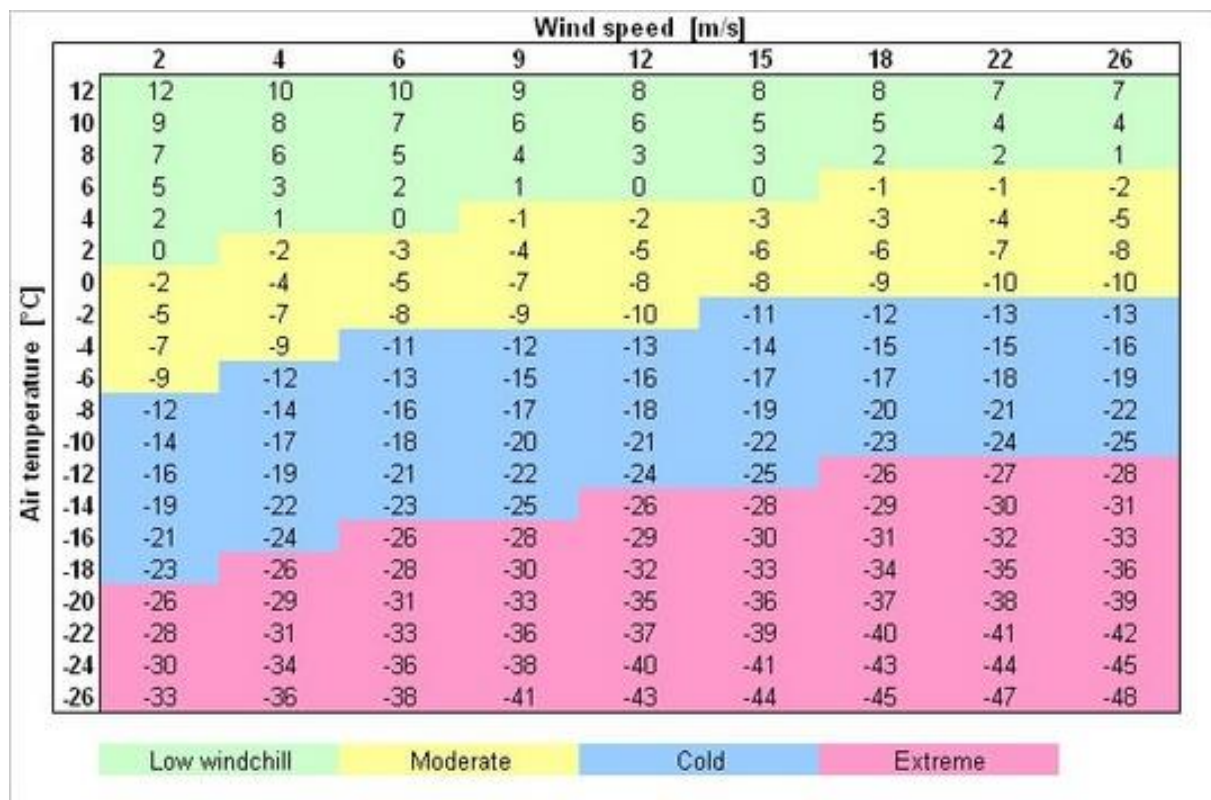
Metoda je tedy používána při teplotách nižších než 10 °C a rychlosti větru více jak 1,3 m/s.

V Evropě se používá „kanadský standard“, počítá pocitovou teplotu podle vzorce:

$$T_{(wc)} = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot v^{0,16} + 0,3965 \cdot T \cdot v^{0,16}$$

kde: T = teplota vzduchu v [°C]

v = rychlost větru [km.h<sup>-1</sup>] a to ve výšce 10 metrů nad zemí.



Obrázek č. 9: Převodní tabulka ochlazování větrem [36]

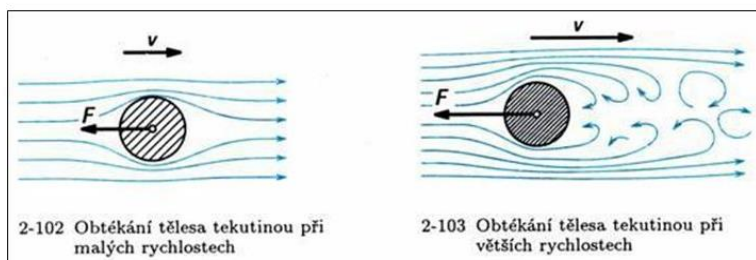
## Typy proudění – laminární a turbulentní

Těleso je vůči okolnímu vzduchu v klidu a nepohybuje se, statický tlak bude maximální a dynamický tlak nulový. Pohybem tělesa dynamický tlak narůstá a statický tlak úměrně klesá. Se zvětšující se rychlostí se zvyšuje i dynamický tlak.

Při proudění vzduchu se částice vzduchu spojují do proudnic, které tvoří proudový svazek. Rozeznáváme proudění laminární, zde se dráhy proudnic nezkříží a proudění turbulentní, zde se proudnice působením prostředí roztáčejí a dochází tedy k jejich křížení. [39]

Přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním je dán Reynoldsovým číslem.

- laminární proudění (ustálené) – při tomto proudění jsou dráhy jednotlivých částic kapaliny navzájem rovnoběžné, částice se pohybují po rovnoběžných vrstvách, nepřecházejí mezi vrstvami, (viz obrázek č. 10)
- turbulentní proudění (vířivé)– částice mezi různými vrstvami kapaliny přecházejí, dochází tedy k promíchání jednotlivých vrstev kapaliny (viz obrázek č. 10). [39]



Obrázek č. 10: Laminární a turbulentní proudění [47]

## 2.9 FYZIOLOGICKO-HYGIENICKÉ VLASTNOSTI

Fyziologicko-hygienické vlastnosti oděvu regulují mikroklima, které ovlivňuje hodnocení souhrnu vjemů uživatele a kterými hodnotí, zda je tělo v tepelné rovnováze a pohodlí. Jsou to procesy při sdílení tepla a vlhkosti mezi člověkem a prostředím.

Kvalita těchto procesů závisí na hydromechanických vlastnostech materiálu, ze kterých je oděv vyroben: prodyšnost, propustnost vodních par, propustnost vody, tepelně izolační vlastnosti a navlhavost. Všechny tyto vlastnosti je možné hodnotit v laboratořích. [29]

**Odvod vlhkosti z povrchu kůže:**

- difúzí
- kapilárně
- sorpcí

### 3 PROPUSTNOSTI

Pro většinu spotřebitelů mají pojmy prodyšnost a paropropustnost totožný význam. V následujícím textu bude jejich význam upřesněn.

#### 3.1 PRODYŠNOST

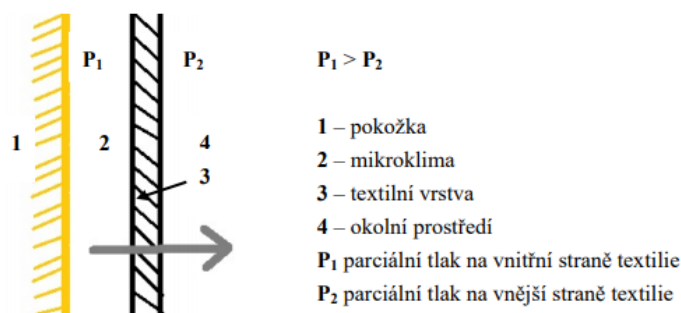
Prodyšnost je schopnost textilie propouštět vzduch skrz vrstvu jak od těla do okolního prostředí (odvod tepla od těla), tak z vnějšího prostředí směrem k tělu. Je to zásadní užitná vlastnost materiálu, která ovlivňuje fyziologický komfort. Prodyšný oděv umožní prostor správné cirkulaci vzduchu, která podpoří odpařování tělesné vlhkosti a odvod tepla konvekcí. Je nutné, aby byly prodyšné všechny vrstvy oděvu. [\[24\]](#) [\[33\]](#) [\[47\]](#)

Prodyšnost je hodnocena dle platné normy ČSN EN ISO 9237, její charakteristika: „Rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo skrz textilií při daných zkušebních podmínkách, ploše, tlaku a času. Hodnoty tlaku (resp. jejich rozdíl) jsou pro prodyšnost důležité, neboť samotný jev propustnosti vzniká právě díky tomuto tlakovému spádu. Rozdílnost tlaků společně s dalšími faktory ovlivňují rychlost, jakou prostupuje vzduch, dále určují směr proudění, který vždy směřuje od vyššího tlaku k nižšímu.“ [\[49\]](#)

Prodyšnost je tedy vlastnost materiálu propouštět vzduch skrz plošnou textilií. Prodyšnosti je výsledkem mnoha faktorů. (viz obrázek č. 11)

Faktory, které ovlivňují prodyšnost: **typ úpravy materiálu**, vlastnosti dané **strukturou materiálu (dostava, tloušťka, objemová hmotnost** a další). Dalšími faktory jsou **vlhkost textilie, počet vrstev a tloušťka vzduchových mezer mezi nimi**. Čím menší je počet pórů nebo jejich zmenšení, které vznikne například působením vlhkosti, způsobí zhoršený průchod vzduchu, ztrátu ventilů. Prodyšnost je také ovlivněná **střihovým řešením oděvu a počtem vrstev**, rychlostí větru a rozdílu teplot mezi prostředím vnitřním a vnějším. U vícevrstvého je nižší, největší změna nastane u dvou vrstev, až o 50% snížení, další má již menší vliv. Požadavky na míru prodyšnosti určuje účel a použití oděvu. Zjednodušeně lze říci, že u sportovních oděvů funkčních je žádoucí vysoká prodyšnost, naopak u oděvu na horskou a zimní turistiku je nežádoucí, musí se zabránit přístupu chladného vzduchu k tělu. [\[47\]](#)

Tyto hodnoty se získají pomocí přístroje na měření prodyšnosti FX 3300,



Obrázek č. 11: Schéma prostupu vzduchu [33]

## 3.2 PAROPROPUSTNOST

Dělení testování:

- gravimetrické metody,
- metody založené na měření pomocí SKIN modelu (modelu lidské kůže).

Přesnější a více využívané je hodnocení  $R_{et}$  – udává odpor kladený průchodu vodních par. Toto hodnocení o prodyšnosti oděvu je udáváno pro větší přehlednost spotřebitele u oděvů pro outdoorové aktivity. U této metody je způsob hodnocení opačný, čím je  $R_{et}$  údaj menší, tím je prodyšnost lepší. Je to přesný a objektivní způsob. U jednotlivých vrstev lze  $R_{et}$  sčítat pro vyhodnocení prodyšnosti celého systému.

- MVTR moisture vapour transmission rate – udává, kolik gramů vodních par tkanina propustí za jednotku času [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ]
- $R_{et}$  – míra odporu, jakou materiál klade průchodu vodních par [ $\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{W}^{-1}$ ]
  - $R_{et} < 10$  uspokojivé
  - $R_{et} < 6$  velmi dobré
  - $R_{et} < 5$  vynikající
  - $R_{et} < 3$  špičkové

Paropropustnost je schopnost textilie transportovat vlhkost (vodní páry). Podmínkou je rozdílný tlak na obou stranách textilie (obr. 11). Propustnost ovlivňuje druh materiálu, jeho struktura, tlak. Tělo produkuje vlhkost, která se zvyšuje náročností fyzické zátěže.



*Tabulka č. 4: Produkce vlhkosti těla ve vztahu k fyzické zátěži*

<b>Činnost</b>	<b>produkce vodních par [g.m<sup>-2</sup>.24h<sup>-1</sup>]</b>
klidový stav	1 200 – 1 500
chůze	5 000 – 10 000
běh	20 000 – 28 000
extrémní fyzická zátěž	35 000

Pro 100% propustnost představuje tepelný tok  $q_0$ , který je vyvozený odpařováním z volné vodní hladiny o stejném průměru jaký má měřený vzorek. Hladina je zakryta měřeným vzorkem a tepelný tok se sníží na hodnotu  $q_v$ .

Platí:  $p = 100 (q_v / q_0) [\%]$

kde:  $q_v$  - plošná hustota tepelného toku, který prochází měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem [ $W.m^{-2}$ ]

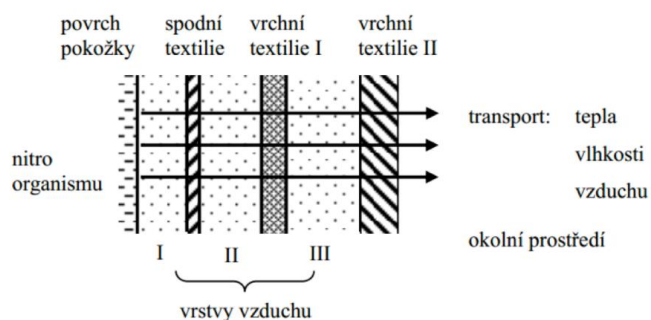
$q_0$  - plošná hustota tepelného toku, který prochází měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem [ $W.m^{-2}$ ].

Absolutní propustnost je odolnost vůči vodním parám. Je to rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu (změna fyzikální veličiny). [\[34\]](#) [\[47\]](#)

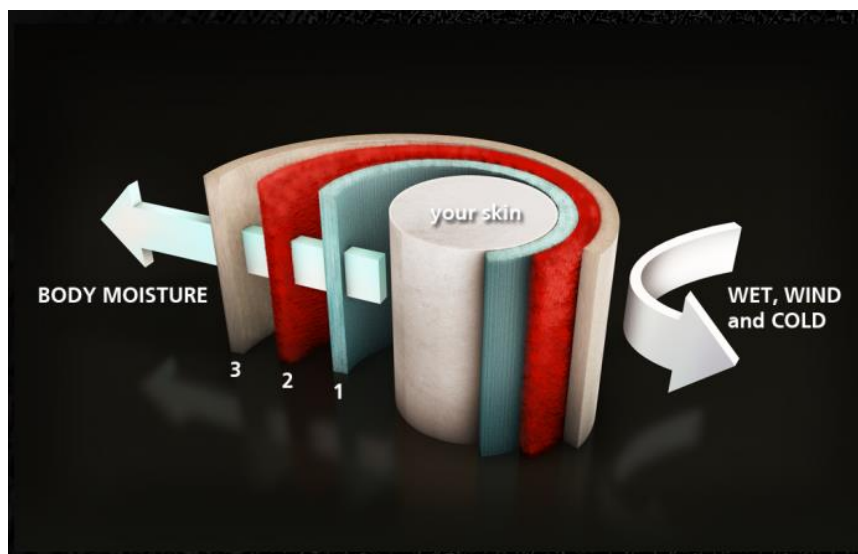
## 4 VRSTVENÍ ODĚVU

Lidské tělo vyrábí energii – teplo a jeho množství závisí na tělesné aktivitě, jakou zrovna vykonává. Pro vlastní ochlazení produkuje pot a tím se udržuje termoregulační systém v rovnováze. Základním principem je, aby tělo zůstalo co nejvíce v suchu a co nejméně se potilo. Stejně tak se množství potu nevytváří na všech tělesných partiích ve stejném množství. Těmto potřebám těla se přizpůsobuje druh materiálu, ze kterého je oděv vyroben a také způsob kombinace vrstev pro konkrétní aktivitu a prostředí. Zásadou oděvu je odvádět vlhkost od pokožky, udržet u ní suchý teplý vzduch a celý tento systém chránit před větrem, deštěm a sněhem. Správnou kombinací se udrží tělo v tepelné pohodě bez přehřátí, či prochladnutí a chrání před povětrnostními vlivy.

Nejběžnější je třívrstvý systém, který reguluje tělesnou teplotu, podle aktivity a vnějších podmínek se může použít kombinace vrstev: funkční prádlo, tepelně - izolační vrstva a ochranná vrstva. Celý systém ztratí efekt v případě, že je použita jedna nevhodná vrstva či jejich špatná kombinace. Každá součást systému plní svoji funkci, ale zároveň musí efektivně fungovat v souladu s ostatními vrstvami. (viz obrázek č. 12, 13)



Obrázek č. 12: Funkční systém třívrstvého oděvu podle Hes (2005) [1]



Obrázek č. 13: Princip vrstvení oděvů [45]

## 4.1 PRVNÍ VRSTVA

První vrstva - (sací) pokrývá tělo jako druhá kůže, tvoří hygienickou „stěnu mezi tělem a vrstvami“. Má funkci transportní a sací (termo, technické, či funkční prádlo), má za úkol odvádět vlhkost a pot pryč od těla, a tím jej udržuje co nejvíce v suchu, v teple a zabraňuje tepelným ztrátám. Odvod vlhkosti (potu) od těla do druhé vrstvy. Funkční spodní prádlo, seamless. [20]

### **Materiály pro první vrstvu oděvu:**

Spodní prádlo je v přímém styku s pokožkou, je tedy nutné, aby plnilo velké nároky jak hygienické tak funkční. V opačném případě dojde rychle k propocení, pomalému schnutí a pocitu chladu. Suchý materiál vykazuje velice dobrou izolaci.

Při sportu tělo produkuje mnohem větší množství potu, oděv se s tím musí vyrovnat. Pobyť v mokřém oděvu vede k pocitu nepříjemného chladu, proto transport kapaliny je jeden z nejdůležitějších parametrů. Používají se moderní funkční vrstvy z materiálů – polyester, polyamid, polypropylen. Jsou to mikroválkna s nekruhovými průřezy, velmi často je použita hydrofilní úprava. Zde není tak důležitá tepelná izolace, neboť při sportu je mnohem vyšší rychlost výroby metabolického tepla. Vlákná s hydrofilním povrchem polyester a polyamid poskytují lepší odvod potu než polypropylen. Lycra se přidává pro dosažení elasticity. Antibakteriální funkci zajistí ionty stříbra. [3]

**Balvněné materiály** jsou vhodné na každodenní nošení, neboť dobře absorbují vlhkost. Při fyzické aktivitě, kdy tělo produkuje větší množství potu, je u funkčního prádla naopak cílem propustit vlhkost vrstvou textilie pryč od těla. Běžně používané jsou modifikace syntetických vláken s přírodními pro zlepšení vlastností. Pro pohodlí je důležité chemické složení vlákná, vazba a konstrukce použité textilie. Hygienické vlastnosti první vrstvy oděvu se zkvalitňují přidáním antibakteriální látky do vláken.

**Polyesterová vlákná** – použití ve všech textilních výrobcích.

Kladné vlastnosti: vysoká odolnost na světle (stálobarevné), malá navlhavost (rychle schne) a dobrá odolnost vůči oděru. Mnoho vlastností se zlepšuje chemickými nebo mechanickými procesy, jako je orientace molekul, ta zvýší pevnost. Použitím chemikálií se zlepšuje žmolkovitost, afinita k barvivům, sráživost a obloučkovitost. Vlákná s trojúhelníkovým průřezem mají omak a lesk podobný přírodnímu hedvábí. K výplním se používají dutá polyesterová vlákná. Užité vlastnosti se zlepšují mísením polyesteru s přírodními vlákná.

Díky nízké navlhavosti mají dobrou schopnost odvádět vlhkost od pokožky. Textilie mají hedvábný omak a vzhled, jsou lesklé, to díky kruhovému průřezu vláken. Na funkční oděvy se používá vlákno CoolMax. [51] CoolMax pod touto značkou se vyrábí řada polyesterových tkanin. Tyto výrobky jsou prodyšné, odvádí vlhkost, jsou hydrofobní, rychle schnou.

**Polyamidová vlákna** – syntetická vlákna, vyráběna v mnoha profilech vláken, mikrovlákna. Finální vlastnosti získává konečným dlužením. Vyrábí se monofil, multifil, kabel, stříž a speciální bikomponentní vlákna.

Jejich užité vlastnosti jsou tvarově stabilní, snadně se udržují. Nahrazují přírodní hedvábi při výrobě sportovních oděvů, plavek, elastického prádla. Velmi dobrá pevnost v tahu. Pro zvýšení elasticity se přidá elastan. Použití jako monofilní šicí nit nebo multifil na sportovní oděvy, punčochové zboží. [52]

**Polypropylenová vlákna** se používají pro svou odolnost vůči plísním a bakteriím. Mají velice nízkou hmotnost a nasákavost, tím rychle odvádí pot od pokožky. Vůči nečistotám a oděru je zde velká odolnost. Nevýhodou je nízká tvarová stálost, to způsobuje mačkavost. [53]

**Seamless** – v dnešní době nejpoužívanější funkční spodní vrstva. Vytvořeno bezešvou technologií seamless na velkých kruhových pletacích strojích. Tělo je kopírováno téměř jako druhou kůži a to díky tvaru a materiálu. Díky minimálnímu počtu švů není cítit na kůži, neodírá ji. Při fyzické námaze je vlhkost odváděna do dalších vrstev, naopak v klidu tělo neprochladne. Proto je vhodné na nejrůznější aktivity od klidných, až po extrémní. Zóny v místech, kde dochází na těle k většímu pocení, slouží k rychlejšímu odvodu potu a odvětrávání. Konstrukce seamless prádla je vyvinuta pro co největší komfort spotřebitele. [54]

#### **Výhody:**

- minimum švů eliminuje zbytečné podráždění kůže
- žebrová struktura zabezpečuje lepší přilnavost na těle
- maximální odvod vlhkosti a rychlé schnutí
- výborné termoizolační schopnosti
- ideální pro zvýšenou fyzickou zátěž
- nízká hmotnost

## **4.2 DRUHÁ VRSTVA**

**Druhá vrstva** - je vrstva termoizolační, proudí do ní vlhkost z první vrstvy a pomáhá odvodu potu formou vodní páry do dalších vrstev nebo okolí, proto musí být prodyšná. Další funkcí této vrstvy je zabránit úniku tepla a předání přebytečného k odpaření. Nejčastěji použité materiály jsou fleecové a úplety ze syntetických vláken se speciální vazbou, ve struktuře je určité

množství vzduchu, který plní požadovanou funkci. Obléká se na první vrstvu nebo v teplejších dnech bez použití vrstvy třetí. [\[20\]](#)

**Fleece** – nejpoužívanější materiál pro uvedenou druhou vrstvu s vhodnými vlastnostmi. Je to tkanina vlněného typu vyrobená ze syntetických vláken (polyesteru) v kombinaci s přírodními vlákny (bavlna, vlna) nebo spandexem, umělým hedvábím a dalšími. Výhody tohoto materiálu jsou nízká hmotnost tepelné izolace, dobrá propustnost vodních par, příjemný omak, pružnost – ergonomický komfort. Vlastnosti materiálu jsou zlepšovány ošetřením hydrofilním povrchem, nebo jsou slaminovány vrstvy k sobě.

### 4.3 TŘETÍ VRSTVA

**Třetí vrstva** – ochranná (membránové bundy a kalhoty) má za úkol ochranu před vnějšími nepříznivými vlivy (voda, vítr, chlad) a zároveň musí pokračovat v transportu vlhkosti a přebytečného tepla do okolí. Tuto svrchní vrstvu tvoří – kalhoty, bundy, vesty, overaly. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou nepromokavost, větruvzdornost a odolnost vůči mechanickému poškození, zároveň musí být prodyšné, pro snadné odvádění odpařované vlhkosti směrem od těla. Obléká se na druhou či první vrstvu – podle období a počasí. [\[20\]](#) Materiály na třetí vrstvu musí být v takové kvalitě, aby splňovaly výše uvedené podmínky.

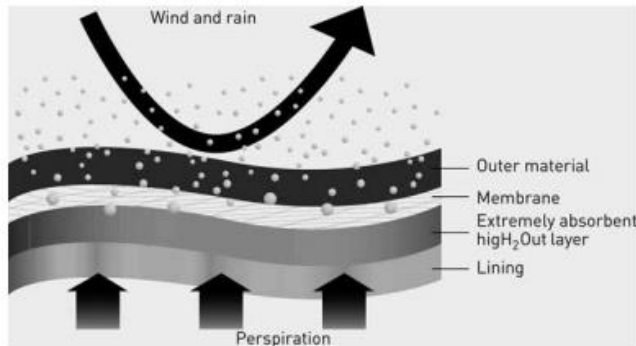
**Softshell** – (soft-shell, měkká schránka) univerzální funkční materiál vhodný do všech podmínek od tepla po zimu, od sucha do mokra. Dvouvrstvá či třívrstvá konstrukce, laminovaná či nelaminovaná, vždy je prodyšná vzduchu. Tkanina, která je příjemně měkká, tvoří vnější hladký a pružný povrch, je větruodolná, voděodpudivá a prodyšná, paropropustná. Vnitřní strana odvádí vlhkost, je hladká, počesaná. Je to praktický materiál, který může nahradit hned dvě vrstvy, například polyamidovou bundu a fleecovou mikinu. Vyrábí se v různých provedeních podle typu použití v různých ročních obdobích.

Nároky na parametry u softshellu – voděodolnost a paropropustnost, prodyšnost. [\[55\]](#)

**Membrána** – (vrstva, která odděluje dvě nebo více vrstev od sebe a splňuje požadované funkce) - technologie zpracování je laminace, její funkcí je zlepšit vlastnosti, jako jsou nepromokavost a prodyšnost. Membrána dobře odpuzuje kapalinu, ale nepropouští pot, proto se spojí více vrstev do jednoho celku a tím vznikne funkční celek pro přenos vlhkosti od těla ven a zabrání průniku z prostředí. (viz obrázek č. 14)

**Dvouvrstvá membrána** – slaminovaná svrchní vrstva a membrána v jeden celek, vnitřní stranu oděvu pokrývá podšívka.

**Třívrstvá membrána** – svrchní materiál, membrána a podšívka jsou slaminovány v jeden celek



*Obrázek č. 14: Funkce membrány SYMPATEX [13]*

U vrstvení oděvů není důležitým aspektem pouze výběr materiálu, ale také stříhové řešení. Pro dobré padnutí a funkčnost oděvu je zásadní dodržet volnost mezi jednotlivými vrstvami. První (sací) má nejmenší koeficient volnosti, na ni navazuje vrstva druhá (transportní) s větším koeficientem volnosti a poslední vrstva (krycí), která má koeficient volnosti pro vzduchovou mezeru největší. Pokud by tomu bylo obráceně, docházelo by k narušení proudění vzduchu mezi vrstvami, docházelo by ke stlačení vrstev, tím změně struktury vazby a většímu úniku tepla od těla [22].

## 5 TEPELNÉ FIGURÍNY

Tepelná figurína je model člověka pro simulaci výměny tepla mezi vnějším prostředím a fyziologickým organismem. Na světě existuje více jak 100 druhů tepelných figurín. Tepelná figurína slouží k hodnocení tepelné pohody v budovách, kabinách automobilů a letadel, zkoumá ochranné oděvy v extrémních podmínkách pro vojsko a hasiče. Je nutná ke spolehlivému testování oděvů a vyhodnocení tepelného komfortu člověka at' v oděvech či spacích pytlech.

V oděvním průmyslu se používá především pro vývoj materiálů, které mají vylepšené tepelné vlastnosti a v hodnocení oděvů z hlediska termoregulace těla. Využití je však také v automobilovém a stavebním průmyslu, kde se hodnotí vytápění a ventilace prostor. Využití figurín je vhodné hned z několika důvodů, především při testování standardizovaných metod dle norem. Na figurínách se vyloučí chyby v měření, které se mohou projevit při měření na lidech.

Simulace tepelného prostředí získává údaje o tepelné ztrátě či zisku mezi figurínou a vnějším prostředím a analyzuje veškeré vlivy na tepelnou pohodu člověka. Díky simulaci je možné testovat a vyvíjet ochranné oděvy do podmínek, které mohou ohrožovat zdraví a životy lidí. [\[1\]](#)

[\[2\]](#)[\[11\]](#)[\[14\]](#)

### Výhody:

- přesné srovnání s lidským tělem
- opakovatelnost měření
- vyloučení subjektivních vlivů při měření
- možnost využití i do extrémních podmínek

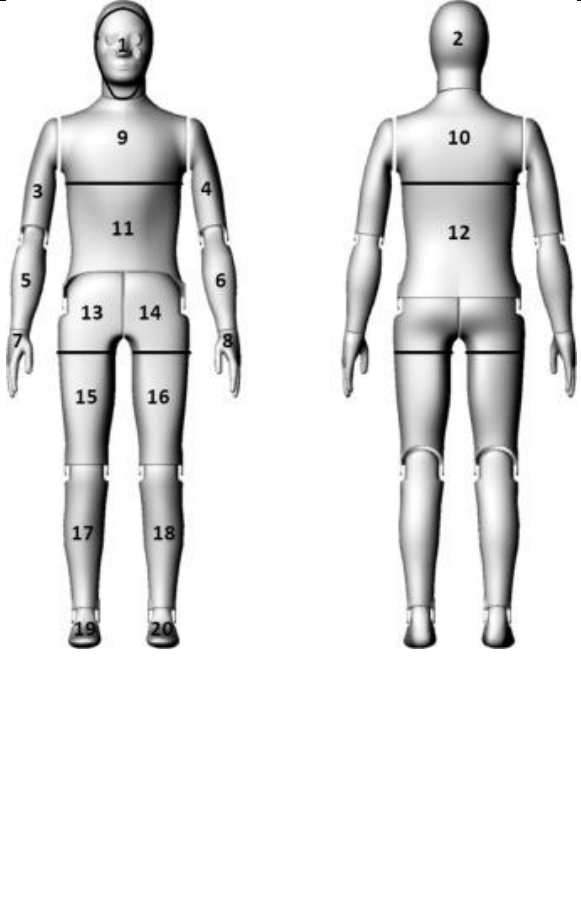
### Figuríny rozdělujeme podle:

a) dle rozdělení lidského těla na

- jednosegmentové – lidské tělo je bráno jako celek, vhodné pro homogenní prostředí.
- vícesegmentové – lidské tělo rozděleno na více segmentů, modely rozlišují asymetrické působení okolního prostředí.

b) dle časového hlediska

- stacionární – vhodné pro dlouhodobé vyhodnocování podmínek okolního prostředí.
- dynamické – použitelné i na studium náhlých změn okolního prostředí, počítají s akumulací tepla v pokožce [\[11\]](#)

	<p><b>Tepelná figurína pro hodnocení tepelné a odpařovací odolnosti oděvního materiálu.</b></p> <p><b>Figurína je složena z 20 zón:</b></p>
<p>1 – obličej 2 – hlava 3 – pravá horní paže 4 – levá horní paže 5 – pravé předloktí 6 – levé předloktí 7 – pravá ruka 8 – levá ruka 9 – hrudník 10 – ramena</p>	<p>11 – břicho 12 – záda 13 – pravý bok 14 – levý bok 15 – pravé stehno 16 – levé stehno 17 – pravé lýtko 18 – levé lýtko 19 – pravá dolní část nohy 20 – levá dolní část nohy</p>

*Obrázek č. 15: Rozdělení těla figuríny na jednotlivé zóny [11]*

Na tepelné figuríně se měří tepelné ztráty (konvekcí, radiací i vedením) a to po ploše celého modelu těla nebo na konkrétních místech. Tělo figurín se skládá z nezávislých 15 – 35 tepelných zón, každá z uvedených tepelných zón (viz obrázek č. 15) je vybavena teplotním čidlem (ohřivačem) pod kůží, to pro ohřátí figuríny na požadovanou teplotu a zaznamenání množství energie z každé zóny softwarem. K simulaci metabolického tepelného výkonu se k měření teploty pokožky používají drátové senzory. Dále má každá zóna na svém povrchu rovnoměrně rozložené tekutinové otvory pro vylučování „potu“. Ve figuríně je umístěn ohřivač na ohřev vody (na určenou teplotu těla) pro uvolnění na povrch figuríny jsou trysky chráněné vnějším obalem ze skleněných vláken, polyesteru, uhlíkových vláken nebo jiných materiálů tepelně vodivých. Uvnitř figuríny je kabeláž, spotřeba energie je na každou zónu samostatně a vše zaznamenává řídicí software.

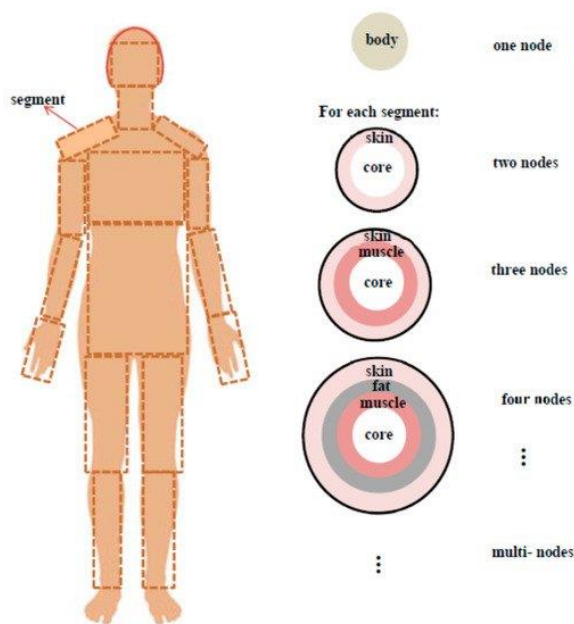
Figuríny jsou vybaveny doplňkovými zařízeními, která napodobují činnosti těla dýchání, pocení, chůze.

Množství tepla, které se dodává do vyhřívaných figurín, lze modelovat třemi způsoby. První znamená, že je použita modelová situace podle rovnice PMV a tepelné ztráty jsou vypočítané



na průměrného člověka, dané prostředí, zde je nutná znalost mnoha faktorů – izolace oděvu, teplota vlhkého teploměru a údaje o figuríně – povrchová plocha, rychlost metabolismu a další. Druhá metoda zahrnuje měření konstantního tepelného toku z figuríny, množství energie je zadané uživatelem a v segmentech se měří teplota kůže.

Poslední, třetí metoda spočívá v tom, že uživatel určí teplotu kůže figuríny, udržuje se na této konstantní teplotě a vlivy vnějšího prostředí působí na tělo figuríny. Tímto je měřena míra zvýšení, či snížení nutnosti dodání energie. Zde je možnost nastavit každou část těla s rozdílnou teplotou.



**Obrázek č. 16: Segmenty těla a příklady tepelných uzlů. [38]**

Na obr. (16) je znázorněno rozdělení těla figuríny na segmenty a rozdělení tepelných uzlů. Tělo figuríny je rozděleno na jednotlivé segmenty – hlava, trup, horní paže, předloktí, ruka, prsty, nohy atd.

**Tepelné uzly** – každý segment je složen z vrstev „tepelných uzlů“ obr. (16).

Dvě vrstvy představují vnitřní část těla a kůži. Tři vrstvy představují jádro, svaly a pokožku. Další vrstvy představují kožní tkáň, tukovou tkáň, svalovou tkáň a kost, každý tepelný uzel představuje individuální fyzikální vlastnosti (tepelnou kapacitu, tepelnou vodivost atd.) [38]

Pro přesné výsledky je nutné kalibrovat vnitřní teplotní senzory.

## 5.1 HISTORIE VÝVOJE TEPELNÉ FIGURÍNY:

Vývoj tepelných figurín začal již před více než 70 lety, kdy se používal na analýzu člověka a prostředí a dalším vývojem se využíval pro určení tepelných vlastností oděvů,

sledování tepelných toků. Jejich vývoj byl zaměřen na co nejrealističtější znázornění člověka s tepelnou interakcí, pocením a dýcháním.

První figuríny byly vyráběny z mědi a pouze jednosegmentové velikosti trupu, byly měřeny tepelné ztráty celého těla. Původně byl testován ochranný oděv pro americkou armádu v roce 1941. Válec byl tvořen několika vrstvami, které simulovaly pokožku, podkoží, tukovou vrstvu a jádro těla. Test probíhal na principu přenášení tepla (vlhkosti) přes oděv. Válec byl naplněn vodou, která procházela přes 36 trysek na povrchu a 20 měřících čidel teploty, které zaznamenávaly teplotu v jednotlivých vrstvách. Roku 1942 byla ve Švýcarsku vyvinuta figurína SAM s povrchem z měděného plechu a samotné tělo z keramické roury bez končetin a hlavy. (viz obrázek 17)

Průběhem doby se vývojem zabývalo mnoho společností, kdy se zapojovaly moderní techniky a technologie a to z důvodu narůstajících nároků spotřebitelů a neustálého vývoje nových textilních materiálů. V 60. letech se vyrobila vícesegmentová, sedací figurína, k jejímu vyhodnocení, měření a ovládání bylo použito analogových dat, což byl velký krok v přesných údajích. Dalším vývojem byla snaha o co nejvěrohodnější model lidského těla s končetinami, které se pohybují, do testování se přidávaly aplikace jako pohyb, pocení, dýchání.

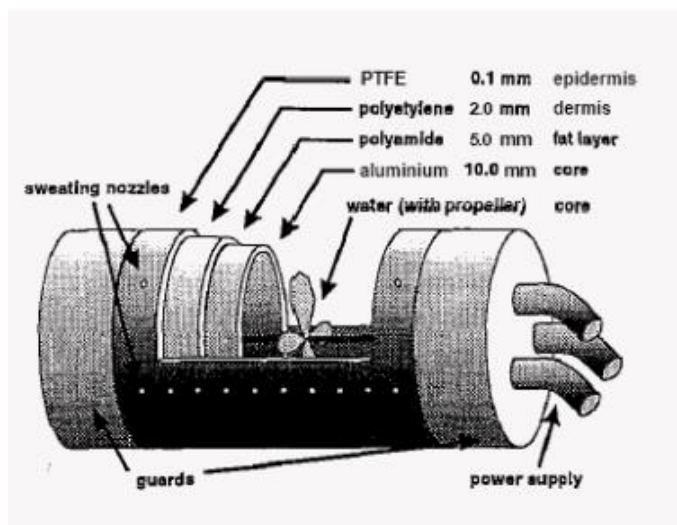
U vícesegmentových figurín na sebe nejsou segmenty funkčně závislé. V 60. a 70. letech Stolwijk vytvořil velký přelom a to použitím termoregulace.

Tepelné pohyblivé figuríny se začaly vyrábět z plastu, končetiny měly pohyblivé na kloubech, možná byla simulace chůze, sezení, jízdy na kole a jiných pohybů. Do funkcí se přidala simulace dýchání – simulace mikroklima a v 90. letech byl přelom ve vývoji výpočetní techniky, která se ihned aplikovala do této oblasti. Výrobou a vývojem se po celém světě zabývá mnoho firem dodnes. V následující tabulce je názorný přehled vývoje vyhřívaných figurín: [\[8\],\[11\],\[17\],\[40\],\[56\],\[60\]](#)

**Tabulka č. 5: Přehled vývoje různých termálních figurín v průběhu let [\[56\]](#)**

Typ	Materiál	Metoda měření	Nastavitelnost	Místo a čas vývoje
Jeden segment	Měď	Analog	-	USA 1945
Více segmentů	Hliník	Analog	-	UK 1964
Radiační figurína	Hliník	Analog	-	Francie 1972
Více segmentů	Plasty	Analog	Pohyblivý	Dánsko 1973
Více segmentů	Plasty	Analog	Pohyblivý	Německo 1978
Více segmentů	Plasty	Digitální	Pohyblivý	Švédsko 1980
Více segmentů	Plasty	Digitální	Pohyblivý	Švédsko 1984
Požární figurína	Hliník	Digitální	-	NÁS
Figurína ponoření	Hliník	Digitální	Pohyblivý	Kanada 1988
Potící se figurína	Hliník	Digitální	-	Japonsko 1988
	Plastický	Digitální	Pohyblivý	Finsko 1988
	Hliník	Digitální	Pohyblivý	USA 1996

Ženská figurína	Plasty	Digitální režim komfortní regulace	Pohyblivý	Dánsko 1989
	Jeden vodič			
Dýchací termální figurína	Plasty	Digitální režim komfortní regulace	Pohyblivá simulace dýchání	Dánsko 1996
	Jeden vodič			
Potící se figurína	Plastický	Digitální, 30 suchých a 125 potních zón	Realistické pohyby	Švýcarsko 2001
Samostatná figurína s pocení	Kov	Digitální, 126 zón	Kloubový	USA 2003
Virtuální počítačová figurína	Numerický, geometrický model	Simulace přenosu tepla a hmoty	Kloubový	Čína 2000
	Numerický, geometrický model	Simulace přenosu tepla a hmoty	Kloubový	UK 2001
	Numerický, geometrický model	Simulace přenosu tepla a hmoty	Kloubový	Švédsko 2001
	Numerický, geometrický model	Simulace přenosu tepla a hmoty	Kloubový	Japonsko 2002
Jednosegmentová, pocení figurína	Prodyšná látka	Digitální, ohřívány vodou	Pohyblivý	Čína 2001
Jednosegmentová figurína	Větruvzdorná tkanina	Digitální, ohřívány vzduchem	Pohyblivý	USA 2003



Obrázek č. 17: Potící se torzo [40]

## 5.2 DRUHY VYHŘÍVANÝCH FIGURÍN

Druhy vyhříváných figurín vyráběných firmou Thermmatrix.

- Tepelná figurína Andi
- Figurína pro automobilové hvac
- Dětská termální figurína new baby
- Dětská termická figurína child
- Figurína pro zkoušení plamenem
- Software manikinpc human comfort
- Technické specifikace manikinpc
- Newton thermal manikin
- Simon thermal manikin
- Termální figurína stan
- Tepelná figurína ve voděodolném plášti

- Systém testování tepelné nohy
- Tepelný ruční testovací systém
- Testovací systém tepelné hlavy
- Systém pocení kůže

### 5.2.1 Tepelná figurína Newton

Tepelný manekýn Newton je model lidské postavy s možností pohybu končetin. K hodnocení tepelného komfortu v různých prostředích, hlavní využití je simulace v kabinách dopravních prostředků, měření tepelné izolace oděvů. V kabinách dopravních prostředků a budovách je důležité dodržet zdravé neohrožující prostředí, proto se tímto výzkumem odhalují problémy způsobující tepelný diskomfort. Hodnoty získané tímto měřením se využívají k optimalizaci klimatizací v kabinách dopravních prostředků, budovách. Možnosti měření jsou tepelné ztráty konvekcí, radiací i vedením, má až 34 vyhřívaných zón. Na základě měřených veličin se určí tepelná ztráta celého těla. [\[12\]](#)

Ze změřených veličin – tepelný výkon a teplota pokožky z jednotlivých zón se určí tepelná ztráta celého těla. Hodnota tepelného komfortu se zprůměruje zprůměrováním jednotlivých zón.

#### Popis figuríny Newton, parametry [\[44\]](#)

- termální figurína
- výška 175 cm, hmotnost 30 [kg]
- rozsah měření -20 až +50°C
- rozsah relativní vlhkosti vzduchu 0-100 %
- 36 tepelných zón, nezávislá regulace a měření povrchové teploty a tepelného toku
- maximální výkon tepelný 800 [W.m<sup>-2</sup>]
- zvlhčovač vzduchu
- systém pro simulaci dýchání
  - dechová frekvence 5-20 [dechů/minutu]
  - objem dechu 0,1 – 2,5 [litru]
  - max. průtok 50 [l.min<sup>-1</sup>]
- Měření prostředí
  - 2x čidlo teploty vzduchu
  - 1x čidlo měření relativní vlhkosti
  - 1x čidlo rychlosti proudění vzduchu
  - teploměr pro měření globální teploty
- PC s řídicím softwarem TherDAC8

## Teplotní zóny

Tělo manekýna je rozděleno na 34 teplotních zón, které jsou řízené nezávisle na sobě. Každá zóna má teplotní těleso a teplotní čidlo pro simulaci výdeje tepla a měření kůže figuríny. Mikroprocesory umístěné uvnitř zajišťují kontrolu nad nastavenou teplotou, v případě překročení přeruší kontakt mezi manekýnem a počítačem.


## Simulace dýchání

Figurína Newton má dýchací systém. Principem tohoto systému jsou pneumatické válce, napodobují dýchání. Dýchání lze vymežit na počet dechů za minutu 5-20 dechů a jeho objem 0,1-2,5 [1].

## Hodnocení tepelného prostředí

Figurína Newton – k měření tepelného prostředí. Senzory uvnitř figuríny jsou propojené s čidly, které snímají okolí. Dvě pro snímání teploty vzduchu, jedno pro snímání rychlosti okolního vzduchu a čtvrté pro snímání vlhkosti v okolí.

Veškeré parametry měření se zadávají v softwaru ThermDAC8. Zaznamenává se údaj každé zóny zvlášť, tím se určí tepelná pohoda či nepohoda. [44]

	<b>Technické parametry:</b>  [12]
	Tvar průměrné lidské postavy Měření v rozsahu okolních teplot -20 až +50 °C 34 nezávisle regulovatelných zón 34 nezávisle měřitelných zón - povrchová teplota, tepelný tok 2x čidlo teploty vzduchu 1x čidlo relativní vlhkosti 1x čidlo pro měření rychlosti vzduchu Dýchací mechanismus Filtreační zařízení pro monitoring vdechovaných částic

Obrázek č. 18: Vnitřní uložení v hlavě manekýna [11]

## 5.2.2 Tepelná figurína Timmy

Tepelná figurína Timmy firmy Thetmetrics v dětské konfekční velikosti 140, která odpovídá desetiletému dítěti, výšky 127 cm. Slouží pro měření tepelné pohody pomocí stejných standardů jako u figurín pro dospělé.

Tělo figuríny je rozděleno na 16 zón (viz obrázek č. 23) s možností měření tepelné pohody - výparného odporu  $R_{et}$ , u měření tepelné izolace se měří tepelný odpor  $R_{ct}$ . Tělo figuríny je spojeno v oblasti ramen, loktů, boků, kolen a kotníků pro možnost pohybu a změnu postoje těla. Klouby jsou spojeny ložiskem v ramenou a bocích pro simulaci chůze.

Tělo je vyrobené z tepelně vodivého materiálu – karbonového a epoxidového pláště, uvnitř jsou zabudované drátové prvky, senzory a stabilní odporový ohřev. Sensorové dráty jsou na každou zónu zvlášť chráněné pomocí epoxidového povrchu těla. Teplotu snímají dva snímače. Jeden senzor na RH (vlhkost) a jeden Windspeed (pohyb vzduchu).

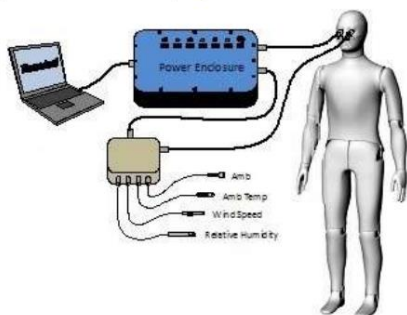
Figurína je ovládaná pomocí programu Thetmetrics.

Plnou kontrolu zařízení, detekce poruch a protokolování a analýza dat je zajištěna řídicím softwarem ThermDAC založené na systému Windows. [\[13\]](#) [\[16\]](#)

Měření pomocí tepelné figuríny podle ASTM F 1291-16 [\[5\]](#).

Vybavení systému: Celý systém vyhřívaného manekýna se skládá z následujících komponentů:

- termální figurína
- kryt napájení
- Ambient Sensor J-Box
- ovládání ThermDAC Software „znázorněno na obrázku“
- 2 snímače okolní teploty
- senzor relativní vlhkosti okolí
- senzor rychlosti okolního větru
- notebook Dell s USB kabelem (viz obrázek č. 19)

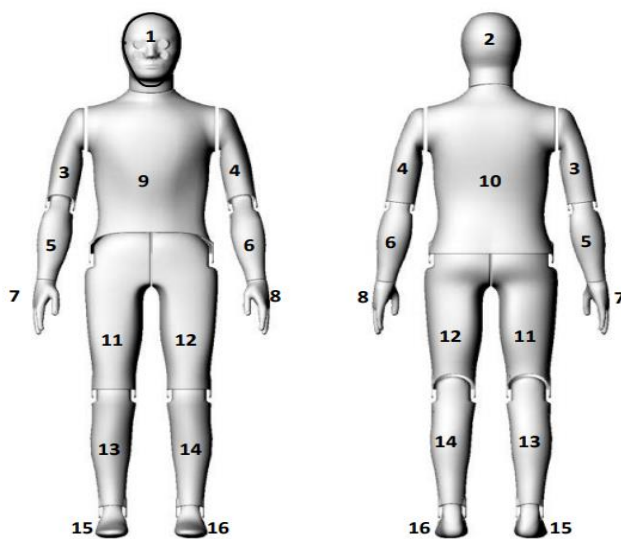


Obrázek č. 19: Vybavení systému [\[16\]](#)

Figurína je umístěna ve stojanu, který umožňuje simulaci chůze. Pro simulaci pocení je v těle umístěno čerpadlo s nádrží na vodu. Možnost testu suchého i s pocením pokožky.

Při měření výparného odporu – simulace pocení, se tělo figuríny pokryje materiálem, který je imitací kůže, „pot“ se nasákne do celého povrchu těla. V programu se zadá teplota všech částí těla na 34 °C a údaj, kolik g.m<sup>-2</sup> (průměr produkce vlhkosti člověka je 100-500 g.m<sup>-2</sup>) má figurína produkovat vlhkosti. Dále se nastaví rychlost pohybu, kolik kroků za minutu se bude pohybovat.

Rozsah teplot, ve kterých je možné provádět testování je -20 až +50°C, při vlhkosti 0-100% včetně relativní vlhkosti kondenzace, teplota může kolísat max. 0,1 °C, relativní vlhkost +,- 3% a maximálním výkonem 600 [W.m<sup>-2</sup>].



Obrázek č. 20: Model figuríny – teplotní zóny [16]

Měření na figuríně Timmy probíhá v laboratoři katedry oděvnictví TUL v Liberci.

Druhou možností je provést zkoušku ve stabilním prostředí laboratoře, kde však musí být dodrženy podmínky podle normy. Během zkoušky se nesmí žádná z podmínek měnit, může to negativně ovlivnit výsledky.

#### **Měření probíhá v klimatizované místnosti:**

- definovaná teplota vzduchu -20 až + 50°C
- rychlost chůze 0, 15, 20, 30 [kroků/minutu]
- vlhkost vzduchu 58%
- klimatizováno podle normy ČSN EN ISO 139(80 0056)
- druh testu: DRY
- 16 tepelných zón (viz obrázek č. 20)
- pro simulaci pocení – 112 trysek
- simulace pohybu – „walking motion stand“
- výstup – tepelný tok, R<sub>ct</sub>, R<sub>et</sub> („nahý“ manekýn – 20 – 30 [m<sup>2</sup>.Pa/W])

**Datový soubor obsahuje záhlaví s těmito položkami:** [16]

- název datového souboru
- datum zkoušky
- komentář – pokud byl při spuštění testu zadán
- interval zaznamenávání

**Data jsou zobrazené v tomto pořadí:**

- teploty všech zadaných zón
- všechny zónové tepelné toky
- vážená průměrná teplota / plochu
- tepelný tok / plochu
- plošný vážený odpor
- okolní teplota
- relativní vlhkost

Obrazovka se skládá ze 4 hlavních oblastí (viz obr 21) horní panel nástrojů, datová mřížka, experimentální tabulka, spodní panel nástrojů. V těchto oblastech si uživatel zobrazí aktuální parametry a začne ovládat figurínu.

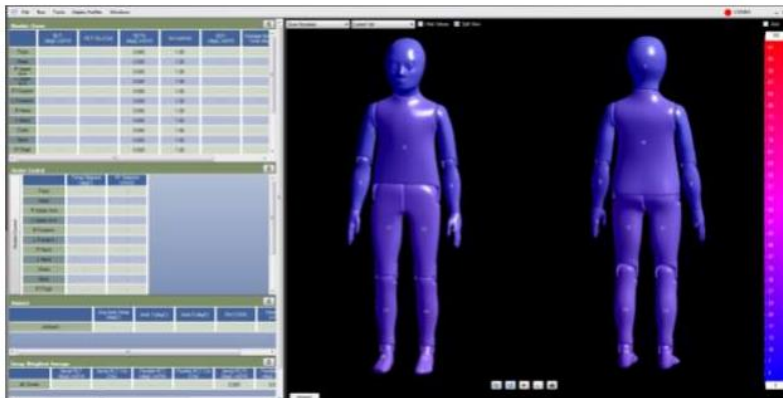


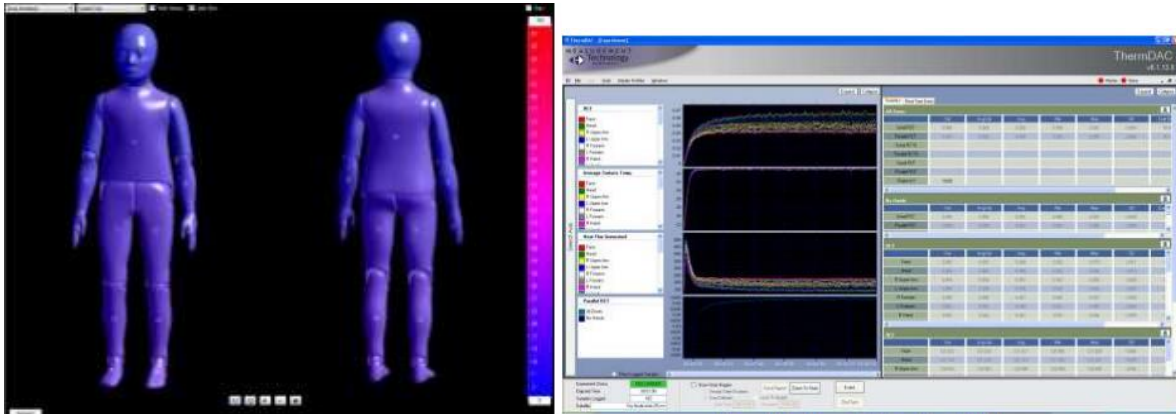
Figure 4.1 – ThermDAC Main Screen

**Obrázek č. 21: Obrazovka - 4 hlavních oblastí [16]**

**Horní panel nástrojů** – obsahuje záložky programu a indikátor stavu připojení s řídicí elektronikou figuríny. **Run** – výběr a definice parametrů nového testu, dry či wet test (nebo nastavení pro spuštění testu na sucho, může uživatel načíst referenční hodnotu  $R_{ct}$  ( $R_{ct0}$ ) pro suché nahé z předchozí suchý nahý test) a poslední záložka na definování bloků testů a možnost je spouštět postupně. **Datová mřížka** – informace o figuríně a okolních podmínkách, které může uživatel určit a upravit zóny figuríny (aktuální hodnoty  $R_{ct}$  nebo  $R_{ct}$ ) ovládní vyhřívání – teplota a nastavené hodnoty toku pro jednotlivé zóny. **Ambinent** – informace o prostředí a podmínky včetně okolní teploty, relativní vlhkosti a rychlosti vzduchu. Při pohyblivé figuríně se zobrazí možnost chůze, její rychlost. Vážený průměr skupiny – zobrazí se definice odpovídajících hodnot  $R_{et}$  nebo  $R_{ct}$  měřené skupiny. Grafická zobrazovací plocha – obraz

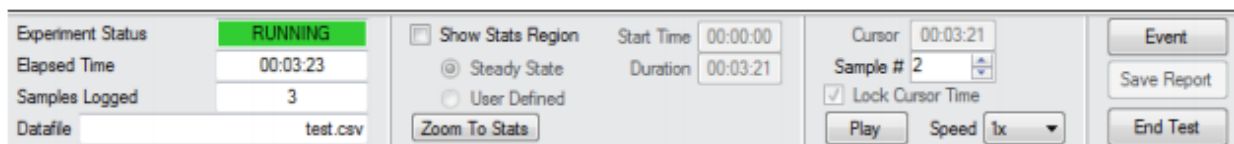


figuríny, kde je řádek na každou měřenou zónu. Datový výstup pro každou zónu lze nakonfigurovat pro zobrazení různých parametrů. Na displeji je barevně kódováno podle vybraného rozsahu.



**Obrázek č. 22: Obrazovka experimentu [16]**

Po spuštění experimentu se zobrazí obrazovky, na které je možno vidět zobrazení testu v reálném čase a podmínky graficky. V pravé části obrazovky – legenda, která určuje barvu konkrétních zón. Na levé části uživatel vybere zónu a její parametry pro zobrazení.



**Obrázek č. 23: Nastavení měření při chůzi nebo klidu [16]**

V režimu „Teplota“ je každé zóně uživatelem zadaná požadovaná teplota [°C]. Tepelný tok, který je potřebný k udržení každé zóny na určené teplotě je měřen a použitý při výpočtu tepelného odporu  $R_{ct}$ . Figurínu lze regulovat na požadovanou hodnotu tepelného toku [ $W \cdot m^{-2}$ ]. Každá zóna může mít individuální hodnotu nebo všechny jednotnou. Tato možnost se uplatňuje při simulaci aktivit člověka o různých úrovních. Komfortní režim – zde je přenos tepla z jádra na povrch kůže simulován pomocí nahého tepelného odporu  $R_{ct}$  figuríny. [16]

## 6 AERODYNAMICKÝ TUNEL

Aerodynamické tunely slouží ke zkoumání a určení dynamického zatížení a dynamických vlastností těles, na které působí ovladatelný vzdušný proud. Proud vzduchu je vytvářen pomocí ventilátoru. Hustota vzduchu je konstantní, v nejmenším průřezu je nejvyšší rychlost. Principem tunelu je proudění vzduchu vysokou rychlostí na krátké vzdálenosti vznikne turbulentní proudění. Vyskytují se zde víry vzduchu různé velikosti. [41]

Proudění v aerodynamických tunelech je popsáno Machovým číslem  $M$ :

$$M = \frac{v}{c}$$

kde:  $v$  = rychlost pohybu tělesa,  $c$  = rychlost zvuku v daném prostředí

a Reynoldsovým číslem  $Re$

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu}$$

kde:  $d$  = průměr trubice,  $v_s$  = střední hodnota rychlosti proudění kapaliny v daném průřezu,  $\nu$  = kinematičká viskozita

Laminárním proudění v uzavřených obvodech je pro  $Re < 2\,320$ , v otevřených obvodech pro  $Re < 580$ .

Horní hranice laminárního proudění vzduchu je při uzavřených obvodech  $Re = 13\,800$ , u otevřených  $Re = 3\,450$ .

Při větších hodnotách se vyskytuje turbulentní proudění  $Re > 4\,000$ .

V intervalu  $2\,320 < Re < 4\,000$  – se jedná o oblast přechodnou mezi laminárním a turbulentním prouděním.

Aerodynamické tunely dělíme podle rychlosti protékajícího vzduchu [41]:

a) nízkorychlostní - rychlost proudění je okolo  $M = 0,7$ , neprojevuje se zde vliv stlačitelnosti a to z důvodu, že je rychlost proudění velice nízká.

b) vysokorychlostní - rychlost proudění je okolo  $0,75 < M$ , dostatečně vysoká rychlost proudu, je zde možno pozorovat vlivy stlačitelnosti

c) podzvukový (subsonický) - rychlost proudu vzduchu tak vysoká, že se projeví vliv stlačitelnosti

d) nadzvukový (supersonický) -  $1,2 < M$ , rychlost proudu vzdušiny v měřicím prostoru přesahuje rychlost zvuku

Hlavní části aerodynamického tunelu:

- **měřicí prostor** – zde jsou umístěna měřená tělesa, proud má obvykle maximální rychlost a je homogenní. Tento prostor je buď otevřený (proud protéká klidným prostředím), nebo uzavřený (pevné stěny)
- **dýza** - využití u nízkorychlostního a podzvukového aerodynamického tunelu. Je to část tunelu, umístěná před měřicím prostorem
- **kolektor** - konvergentní nálevkovité ústí před dýzou nebo difuzorem tunelu
- **ohybové lopatky a usměrňovač** - usměrňují proud vzdušiny
- **tepelný a vzduchový výměník**

Proudící vzduch prochází několika procesy a to z důvodu přesných výsledků ze samotného měření. V každém procesu musí být tok proudícího vzduchu stejnoměrný a plynulý při vstupu do testovací komory. Vzduch proudí do širší části a tím se jeho tok zpomalí, následně putuje do zklidňující komory, kde dojde k ochlazení a nežádoucím turbulencím, jsou odstraněny. V dalším kroku projde mezi lamelami (průřez jako plást), kde je tok vzduchu napřímený a jsou odstraněny poslední turbulence. Za zklidňující komorou proudí do prostoru, který se zužuje a tím je zvýšen jeho tlak, zvýšena rychlost a následuje vstup do testovací části.

### **Měření na modelu lidské paže v aerodynamickém tunelu**

Jedná se o měření a hodnocení tepelně-izolačních vlastností při rychlosti proudícího vzduchu 5 – 20 [ms<sup>-1</sup>]. Měřený materiál je navlečen na váleček o průměru 0,08 m a výšce 0,1 m. Toto zařízení funguje na principu vyhřívaného válečku, který přenáší teplo a je obtékané proudem média o dané rychlosti. Zařízení funguje jako otevřená trať pro cirkulaci vzduchu. Hodnotou z tohoto měření je hustota tepelného toku. Měřicí model je umístěn ve středu zóny pro měření, osa válce je kolmá ke směru proudícímu vzduchu. [\[30\]](#)

Na spodní straně jsou umístěny hardware komponenty, které řídí větrný tunel a tudíž se vkládá i vyhřívaný váleček.

Váleček je vyhřívaný zabudovaným topením, které má výkon 300 [W] – pro rychlé vyhřátí. Tepelná energie je zpětně transportována k povrchu, tím dochází k dodatečnému vyhřívání ze sondy, která je zásobárnou tepelné energie. Osm snímačů tepelného toku je umístěno na povrchu sondy (alfasondy). Alfasondy jsou v těsném kontaktu s válečkem a jsou připevněné jemnou syntetickou sítí.

Alfаметrie – nemá zdroj napětí a je aktivním spínačem. Soustava miniaturních termočlánků tvoří základní měrný systém, který dokáže určovat teplotní rozdíly na povrchových plochách nosné folie.

Tepelný tok je měřen na modelu lidské paže a snímán 8 alfa snímači, které kopírují obvod vyhřívajícího válečku.

Vzduch proudí jedním směrem, tím vznikají dvojice alfametrů.

Výstupem alfasond je hustota tepelného toku  $q$  [ $W \cdot m^{-2}$ ].

Testovací vzorek je navlečen na váleček, u kterého se měří hustota tepelného toku  $q$  [ $W \cdot m^{-2}$ ].

Měření je tepelný tok ve vyhřívající válečku, zakrytého testovaným vzorkem, tepelný tok se mění vlivem rychlosti proudícího vzduchu, který se zvolí. Vzorek má rozměry 0,15 x 0,1 m.

Pro přesné výsledky měření je důležitá rovnoměrnost vyhřívání. Při vystavení vysoké rychlosti proudění vzduchu je potřebný regulátor, který reguluje obvod a vyhřívá váleček na určitou teplotu. Teplota se zobrazuje na displeji vyhřívajícího válečku.

Pro měření musí být dodrženy stálé podmínky. Spuštěné zařízení se nechá ustálit. V PC se nastaví parametry měření: časový úsek mezi snímáním hodnot, počet měření, tolerance zadané rychlosti, čas před spuštěním měření a požadovaná rychlost proudění. Ostatní parametry jsou přednastavené. Místnost musí mít regulující klimatizaci s konstantní teplotou 22 °C, relativní vlhkostí 60% +, - 2%.

Měření v aerodynamickém tunelu proběhlo na součásti zařízení větrného tunelu a tou je model lidské paže. [\[21\]](#)

## 7 C-THERM TCI

Zařízení na měření tepelné vodivosti rychlou, jednoduchou a nedestruktivní metodou. Získají se přesná data, která udávají tepelnou vodivost a tepelnou efunzivitu (tepelnou setrvačnost). Výhodou je, že není nutná žádná příprava vzorků. Rozsah teplot v klimatické komoře je od -75 do 200 °C. Možnosti testování materiálů v rozmezí – 0 až 100 [W.m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

Přesnost měření se pohybuje 1 – 5%. Měření je určeno do laboratorních podmínek. Ze získaných dat je možné nepřímým výpočtem zjistit další termo fyzikální vlastnosti:

- Difuzivita
- Tepelná vodivost (počítáno z tepelné účinnosti)
- Tepelná kapacita, objemové měrné teplo
- Hodnota R (izolace)
- Hloubka průniku
- Jedno zařízení a tři metody měření tepelné vodivosti

Zařízení C-THERM se skládá z:

- Přenosného počítače
- Regulátoru C-Therm TCi
- Sensorů C-Therm TCi
- C-Therm TCi softwaru
- Referenčních materiálů
- Patic snímače C-Therm TCi
- Napájecí kabel a USB na sériový kabel

Velikost vzorku je neomezená, proto je možné měřit i na hotovém výrobku. Výsledek měření je během několika sekund. Jedná se o velice citlivý analytický přístroj, pro přesné měření musí být zajištěny stabilní podmínky prostředí.

Postup:

- Příprava testovaných materiálů
- Umístění senzoru na materiál
- Klik na tlačítko „Nový test“ na panelu nástrojů
- Vybrat druh projekt
- Klik na tlačítko „Další“
- Vybrat zkušební metodu, která se bude používat (**Zkušební metoda** popisuje parametry zkoušky: kdy provádět měření, úroveň výkonu a parametry časování, které se budou používat, a kolik opakování měření je třeba provádět. Vybrat zkušební metodu, musí odpovídat kalibrační metodě ve skupině kalibračního materiálu a úrovni výkonu odpovídající hodnotě zkušebního materiálu.)
- Klik na tlačítko „Další“
- Vybrat skupinu materiálů
- Vybrat materiál, který se bude otestovat.
- Tlačítko materiálu nad rámem materiálu.

- Klik na tlačítko „Další“
- Vybrat přístroj
- Vybrat senzory
- Vybrat kontaktního agenta
- Vybrat šarži materiálu
- Klik na tlačítko „Spustit test“
- Zobrazí se tabulka výsledků testu.

V případě, že je některá buňka červená, měření není platné. Měření se zopakuje. Je nutné zajistit, aby byl senzor na stabilní ploše povrchu a materiál se senzorem měly dobrý kontakt. Oranžová buňka upozorňuje, že hodnota tepelné vodivosti nebo efuzivity je mimo kalibrační rozsah určené skupiny materiálů. Odvozené hodnoty se zobrazí v tabulce výsledků testu, v případě, že má materiál hustotu a teplo zadaných hodnot kapacity. [\[57\]](#)

## 8 SGHP (SWEATING GUARDED HOTPLATE)

Měření podléhá normě ČSN EN 31 092 11092 [35]

Jedná se o zkoušku materiálu v ustáleném stavu, měří se tepelný odpor, odolnost tkanin vodním parám u oděvů, textilních materiálů, spacích pytlů a mnoha dalších. Jedna metoda je měření tlaků vodních par mezi dvěma stranami vzorku – výsledkem je hodnota  $R_{et}$  – vyjádřeno v  $[m^2.Pa.W]$ . Druhá metoda měření je tepelného odporu  $R_{ct}$   $[m^2.K.W]$  – teplotní rozdíl mezi dvěma stranami zkušební vzorku dělený tepelným tokem a jednotkou plochy.

Zařízení je laboratorní testovací systém, který se používá k testování vlastností textilií či kompozitu a to tepelného odporu, odporu vodních par (tepelný odpor stran ...).

Zařízení funguje jako simulace „modelu lidské kůže“, který představuje chráněná vyhřívaná deska.

Zkouška probíhá simulací procesu přenosu tepla a vlhkosti materiálem, kdy se měří rychlost těchto přenosů v termofyzikálních procesech.

Zařízení SGHP se skládá ze skříně, která chrání materiál od prostředí a je zde možná kontrola vlhkosti a teploty, zde je integrován hardware k přenášení získaných dat z prováděných zkoušek, aby získaná data byla co nejpřesnější.

- Ochranný kryt proti vlhkosti je vyroben z porézního bronzu, ten poskytuje nejpřesnější simulaci lidské kůže.
- Chráněná deska poskytuje boční tepelnou bariéru, ta zajišťuje, že měrné teplo proudí správným směrem a to vertikálně měřeným vzorkem.
- Drážkovaná ochranná deska umožňuje jednoduché a přesné vkládání a umístění vzorků.
- Varná deska se skládá ze tří částí – zkušební deska, ochranná část, spodní deska. Je zde udržovaná konstantní teplota lidské kůže (33 – 36°C) pomocí elektřiny.
- 9 teplotních měřících kanálů, 3 senzory v každé sekci, současně pracují na přesné kontrole a měření teploty varné desky a ochranných krytů.
- Výšku desek je možno nastavit motorovým pohonem, udržují desku ve vodorovné poloze.
- Testují se vzorky různých tloušťek

Na monitoru se ovládají: teplota vzduchu, rychlost vzduchu, relativní vlhkost vzduchu.

Snímač rychlosti vzduchu je umístěn přímo nad vzorkem, ostatní snímače snímají relativní vlhkost prostředí a teplotu okolního vzduchu.

Jádro stroje tvoří měřicí jednotka – porézní kovové desky. Hodnotí se schopnost přenášet teplo a vlhkost. Potíací deska měří tepelný tok a přenos vlhkosti skrz testovaný vzorek materiálu. Deska je zahřívána na 35°C. Toto zařízení hodnotí: schopnost přenášet teplo a vlhkost za ustálených podmínek, hodnoty jsou velice důležité pro praktické použití testovaných materiálů. Simuluje se suchý test a mokrá test. Měření poskytnou hodnoty propustnosti, prodyšnosti při odpařování „potu“.

Přístroj je konstruován na měření simulace pocení, přenosu tepla a vlhkosti materiálem do prostředí z povrchu těla – měří se tepelný odpor a propustnost vodních par u textilií.

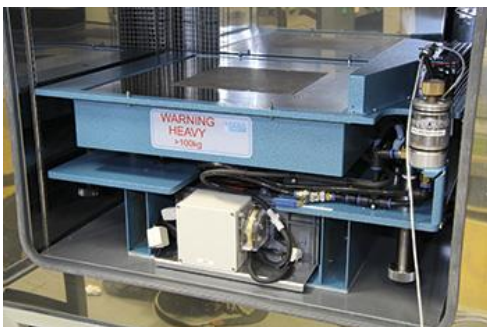
Měření ovlivňuje řada faktorů: zvrásnění měřené textilie, rychlost vzduchu, typ membrány a další.

Měřicí jednotka je v jádru přístroje, porézní kovové desky jsou připojené k vodivému kovovému bloku s topnými prvky. V bloku je umístěný zásobník vody, od něj je přiváděna voda kontrolovaným přívodem pro kontrolu hladiny vody po spodní stranu porézní desky.

Testovaný materiál je umístěn na horní stranu porézní desky. Měřicí jednotka je chráněná prstencem, který se nastavuje podle síly testovaného materiálu. Regulovanou rychlost proudění vzduchu zajišťuje křížový ventilátor přes zkušební vzorek během zkoušky. Senzor monitoruje rychloměr. [58]



**Obrázek č. 24 SATRA STM 511 [64]**



**Obrázek č. 25 SATRA STM 511 Pocení hlídaná varná deska [64]**



## 9 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Obsahem rešeršní části je teorie týkající se tepelného komfortu, procesů, které jej ovlivňují a zařízení, na kterých se hodnoty týkající se tepelně izolačních vlastností měří. Proto jsem se na toto téma zaměřila v experimentální části, kde se získané poznatky aplikují prakticky na měření a při analýze získaných hodnot. Měření jsou tepelné ztráty z jednotlivých vrstev oděvu za podmínek proudícího vzduchu, způsobených simulací reálného pohybu člověka.

Měření tepelného odporu proběhlo na tepelném manekýnovi. Testování bylo provedeno v klidu i za simulace chůze. Po ukončení testování byly vyhodnoceny výsledky měření, bylo zkoumáno, k jakým tepelným ztrátám dochází při různých rychlostech.

Vzorky testovaných oděvů byly vybrány tak, aby zde byly zastoupeny druhy oděvu jednotlivých funkčních vrstev reálného oděvního systému. Postupně se testovaly jednotlivé vrstvy a následně jejich kombinace. Všechny vzorky z pleteniny mají jedolící vazbu, proto je možné porovnávat výši tepelného odporu na materiálech podobného charakteru, pouze vrstva třetí je vyrobena z tkaniny.

Nejprve bylo nutné vzorky upravit, protože původní byla pánská velikost L a testovací zařízení Timmy je dětská velikost 140. Při této úpravě vznikl nápad testovat nejprve mikinu neupravenou - simulace špatně zvolené velikosti a následně v upravené správné velikosti. Bylo pozorováno, jakým způsobem ovlivní výsledná data nevhodná velikost.

Jako další měření proběhlo na měřícím zařízení C-Therm TCi z kontrolních důvodů, že je to další standardní metoda, při níž se měření provádí odlišným způsobem. Hodnoty získané na tomto zařízení budou porovnány s výsledky z manekýna naměřených v klidové fázi. Postupně proběhlo měření na jednotlivých vrstvách oděvu a následně na dvou až třívrstevném systému. Pro výpočet tepelného odporu je nutné znát tloušťku materiálu, proto byla tato hodnota jednotlivých vzorků změřena na tloušťkoměru. Poslední měření bylo získání hodnot prodyšnosti jednotlivých materiálů, jednotlivých vrstev a jejich kombinací. Následně bylo porovnáno, jak prodyšnost i tloušťka ovlivňují změnu jejich tepelného odporu u jednotlivých materiálů.

Předpoklad hypotéz z výsledků měření:

- H1 - Se zvyšující se rychlostí se bude hodnota tepelné izolace snižovat.
- H2 - Přidáním vrstev bude hodnota tepelného odporu vyšší.
- H3 - Čím větší prodyšnost, tím menší hodnota tepelného odporu.
- H4 - Čím větší tloušťka materiálu je, tím bude větší hodnota tepelné izolace





## 9.1 VZORKY ODĚVŮ K MĚŘENÍ

Všechny vzorky oděvů byly pánské velikosti, proto bylo nutné je před testem upravit do dětské velikosti 140. Při úpravě vzorků musely být dodrženy veškeré zásady konstrukce, umístění švů, aby oděv přesně padnul a test proběhl za stanovených podmínek. Vyhřívaná figurína je v horní části hlavy připojena k rámu celého testovacího systému a není možné oblékat oděvy přes hlavu. Proto vzorky (mikina a termoprádlo) na horní část těla se musí nasunout přes dolní část manekýna a následně zajistit zdrhovadlem. U dalších měřících zařízení nebylo nutné vzorky speciálně připravovat.

U pánské mikiny bylo první měření provedeno se špatně zvolenou velikostí - manekýnovi oděv příliš velký a k úpravě se přistoupilo až při dalším měření. Výsledky byly srovnány a vyhodnoceno, zda je velikost a správně padnoucí oděv tím stěžejním faktorem při výběru oděvu. Předpokladem je, že je tento faktor důležitý pro správnou funkci funkčního systému. Snímky materiálů k obrazové analýze byly pořízeny na makroskopu.

## 9.1.1 První vrstva oděvu

Tabulka č. 6: Materiálová karta vzorku č. 1

Vzorek č. 1.	Spodní prádlo (spodky – BAX) [20]
Foto makroskop - líc	Foto makroskop - rub
	
Foto materiálu	Foto vzorku č. 1
	
<b>Materiál</b>	technical activewear equipment
<b>Konstrukce materiálu</b>	zátažná jednlícní pletenina, z jednoduché příze
<b>Složení materiálu:</b>	95% Thermo°Cool™ Soft'Tech fresh, 5% Lycra.
<b>Hustota řádků - H<sub>s</sub></b>	30 [oček/cm]
<b>Hustota sloupků - H<sub>ř</sub></b>	20 [oček/cm]


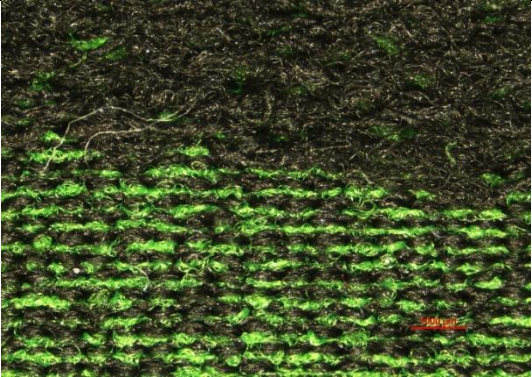


ThermoCool ekologické vlákno vyvinuté firmou Advansa s modifikovanými syntetickými vlákny. Je to směs dutých vláken, které jsou opletené vlákny s kanálkovým povrchem. Vlákno zlepšuje přenos vlhkosti o 48% lépe než jiné materiály, tím udržuje tělesného teplo při vyvážené teplotě. [18][19]

Reaguje na měnící se teplotu okolí, kdy díky duálnímu systému ThermoCool upravuje potřeby termoregulace těla a podle potřeb a podmínek tělo ochlazuje nebo naopak teplotu vyrovnává. Směs dutých a multikanálkových vláken je schopna odpařovat vlhkost o 53% lépe, než ostatní testované materiály (polyamid, polyester).

Soft'Tech se zlepšeným omakem, dotek podobný bavlně. Fresh úprava redukuje nepříjemné pachy a udržuje během fyzických aktivit biologickou rovnováhu pokožky.

Úprava je přítomnost antibakteriálního aditiva na bázi iontů stříbra. [\[18\]\[19\]\[20\]](#)




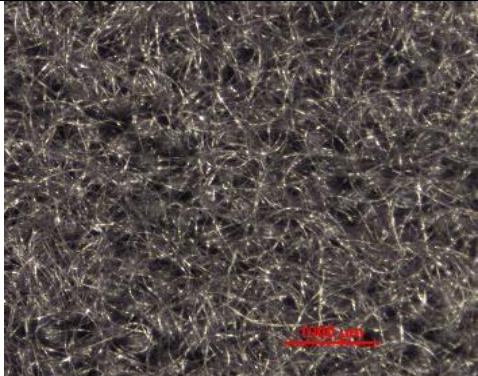
Tabulka č. 7: Materiálová karta vzorku č. 2 a č. 3


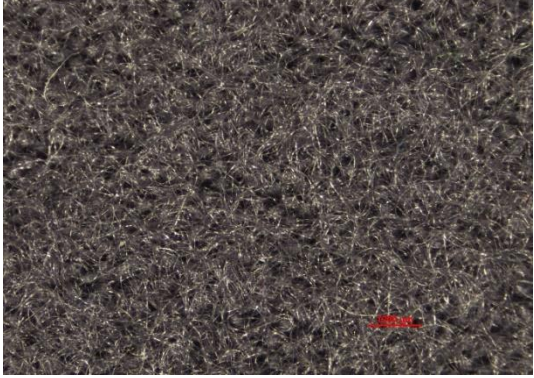
Vzorek č. 2 a 3	Termoprádlo (pánské spodky MARDUM)
Foto makroskop - detail lící strana	Foto makroskop - detail rubní strana
	
Foto materiálu	Foto vzorku č. 2 a 3
	
Název materiálu	Technical activewear equipment
Konstrukce materiálu	Jednolícni pletenina
Prodyšnost materiálu	60 [mm/s] při 50 Pa
Tloušťka materiálu	0,86 [mm]
Složení materiálu:	70% polypropylen, 21% polyamid, 9% elastan
Hustota sloupků - $H_s$	18 [oček/cm]
Hustota řádků - $H_r$	30 [oček/cm]

Funkční pánské thermo prádlo na spodní i horní část těla, vyrobené z integrovaného úpletu, střih slim fit. Použitá bezešvá (seamless) technologie. Pro ventilaci a přesné kopírování tvaru těla je použita speciální struktura vypletená beze švů. Materiál je extra pružný, kdy se přizpůsobí křivkám těla, pokrývá ho jako druhá kůže. Vysoké procento polypropylenu zajišťuje optimální mikroklima a udržuje ideální teplotu kůže. Díky jeho vlastnostem má vynikající termoizolační schopnost, odvádí pot – neдрží se pачy, zajišťuje rychlé schnutí a maximální odvod vlhkosti. Udržuje optimální teplotu pokožky, proto je vhodný pro aktivity, kdy se střídá námaha a klid – zabrání prochladnutí. Vysoký obsah polypropylenu je ideální materiál pro funkční spodní prádlo – umožňuje díky knotovému systému rychlý odvod potu a má nízkou tepelnou vodivost. [\[20\]](#)

## 9.1.2 Druhá vrstva oděvu

Tabulka č. 8: Materiálová karta vzorku č. 4




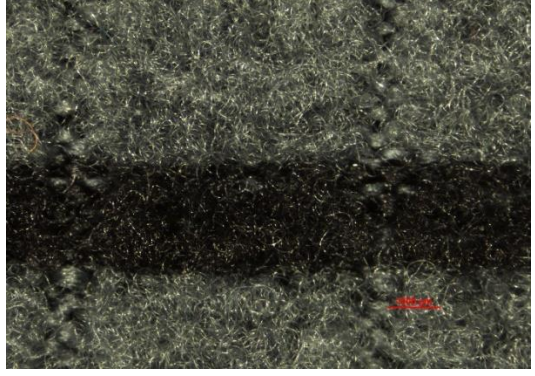
<b>Vzorek č. 4 černá, šedá</b>	<b>Běžecské kalhoty (Pánské běžecské windproof legíny MORCO)</b>
<b>Foto materiálu</b>	<b>Foto vzorku 4.</b>
	
<b>Foto makroskop detail lícní strana - černá</b>	<b>Foto makroskop - detail rubní strana</b>
	
<b>Prodyšnost materiálu - černý / šedý</b>	0 / 60 [mm/s] při 50 Pa
<b>Tloušťka materiálu - černý / šedý</b>	0,94 / 1,02 [mm]
<b>Konstrukce materiálu (černý)</b>	<b>Jednolícní pletenina, sendvič, z rubní strany počesaná</b>
<b>Složení materiálu:</b>	90% polyester, 10% elastan
<b>Prodyšnost materiálu - černý</b>	0 [mm/s] při 50 Pa
<b>Tloušťka materiálu - černý</b>	0,94 [mm]
<b>Hustota sloupků (černá) - H<sub>s</sub></b>	20 [oček /cm]
<b>Hustota řádků (černá) - H<sub>r</sub></b>	29 [oček /cm]
<b>Foto makroskop - detail lícní strana – šedá vzorek 4</b>	<b>Foto makroskop - detail rubní strana – šedá vzorek 4</b>

	
<b>Konstrukce materiálu (šedý)</b>	<b>Jednolící pletenina, z rubní strany počesaná</b>
<b>Složení materiálu:</b>	90% polyester, 10% elastan
<b>Prodyšnost materiálu - šedý</b>	60 [mm/s] při 50 Pa
<b>Tloušťka materiálu - šedý</b>	1,02 [mm]
<b>Hustota sloupků (šedá) - <math>H_s</math></b>	21 [oček /cm]
<b>Hustota řádků (šedá) - <math>H_r</math></b>	24 [oček /cm]

Použití: běh v chladném počasí, běžecké lyžování

Pánské legíny s větruodolnou membránou, přední část až pod koleno je z pružného materiálu s membránou, chrání tělo proti větru. Holeň a zadní část je tvořena silnou, pružnou pleteninou, která poskytuje vyšší prodyšnost a pružnost. Zevnitř mají oba materiály vyčesaný vlas, pro lepší tepelnou izolaci do chladného počasí. Zezadu kolene umožňuje rychlejší odvod potu síťovaný materiál. [20]

Tabulka č. 9: Materiálová karta vzorku č. 5

Vzorek č. 5	Pánský thermo pulovr Dagur (mikina)
Foto materiálu líc/rub	Foto vzorku 5
	
Foto makroskop - detail lícni strana	Foto makroskop - detail rubní strana
	
Konstrukce materiálu	Jednolícni zátažná krytá, melanz, z rubní strany plyšové kličky
Složení materiálu	92% polyester, 8% elastan
Prodyšnost materiálu	120 [mm/s] při 50 Pa
Tloušťka materiálu	1,72 [mm]
Hustota sloupků - $H_s$	15 [oček /cm]
Hustota řádků - $H_r$	20 [oček /cm]

Melírovaného pánská zimní mikina vhodná na běhání v chladném počasí, turistiku, běžky a zimní sporty. Materiál má výrazné tepelně-izolační vlastnosti a lépe odvádí pot díky hustému kompaktnímu plyši, s vypletenu v kostičkovanou strukturou na rubní straně. Materiál je rychleschnoucí, hřejivý, prodyšný a příjemný na omak. [20]



### 9.1.3 Třetí vrstva oděvu

Tabulka č. 10: Materiálová karta vzorku č. 6

Vzorek č. 6	Ultra Light bunda JORAH
Foto materiálu	Foto vzorku 6
	
Foto makroskop - líc	Foto makroskop - rub
	
Úprava materiálu	vodoodpudivá úprava
Konstrukce materiálu	plátňová vazba
Složení materiálu:	100% polyamid
Prodyšnost materiálu	16,5 [mm/s] při 50 Pa
Tloušťka materiálu	0,08 [mm]
Dostava osnovy	35 [osnovních nití/1 cm]
Dostava útku	30 [útkových nití/1 cm]

Použití: třetí vrstva na běh, cyklistiku nebo turistiku. Ultralehká bunda, ochrana proti větru a vlhku. Bunda tvoří pohotovostní třetí vrstvu. Díky husté vazbě materiálu chrání proti větru. Má nanesenou vodoodpudivou úpravu - ochrana proti dešti a vlhkosti. Na zádech je ventilace přidržena suchým zipem (aby se nerozevírala na zádech za jízdy) a podložena funkční síťovou pleteninou. Tento síťový materiál je i v límci, nelepí se na kůži a odvádí pot. [20]

Tabulka č. 11: Ukázka jednotlivých vzorků

První vrstva vzorek 1.	První vrstva vzorek 2. a 3.	Druhá vrstva vzorek 4. (č, š) a 5.	Třetí vrstva vzorek 6.
			

## 9.2 MĚŘENÍ PROVEDENÉ NA VZORCÍCH

- Měření na vyhřívané figuríně
- C-THERM TCi
- Měření tloušťky textilie
- Měření prodyšnosti pomocí zařízení FX 3300

### 9.2.1 Měření na vyhřívaném figuríně - $R_{ct}$

Měření na zařízení vyhřívané figuríně proběhlo za:

- Laboratorních podmínek podle normy ČSN ISO 15831 (ASTM F 1291-10) [5]  
Dětská figurína „Timmy“ umístěná na katedře oděvnictví TUL. [17]

Měření probíhá v klimatizované místnosti:

- definovaná teplota vzduchu 20,73°C
- nastavená rychlost (0, 15, 20, 30 kroků/minutu)
- vlhkost vzduchu 58 %
- vzorky klimatizovány
- druh testu: DRY

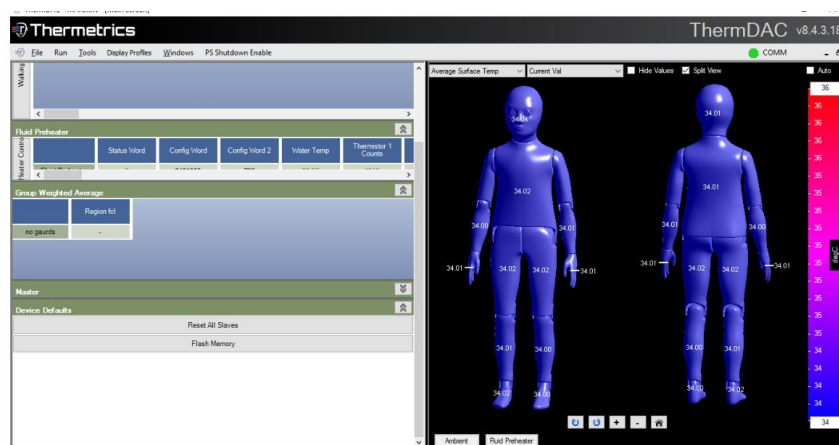
- 16 tepelných zón
- simulace pohybu – „walking motion stand“
- výstup – tepelný odpor,  $R_{ct}$  [ $m^2 \cdot K/W$ ]

Manekýn je velikosti 10 letého chlapce, na kterém se provádí testování odolnosti vodních par a tepelné izolace. Předmětem měření v této práci bylo měření tepelného odporu.

Tělo manekýna je zahřáto rovnoměrně na konstantní povrchovou teplotu pokožky 34°C.

Manekýn má pro měření oblečeny postupně jednotlivé vrstvy, následně celou soustavu oděvů, jako ve skutečném oděvním systému. Měřením se stanoví výsledný tepelný odpor oděvů.

Manekýn je ovládaný v programu firmy Thermometrics. Data z měření jsou uložena do soubor.



*Obrázek č. 26: Teploty jednotlivých částí těla.*

Před testem souboru oděvů se provede měření na neoblečeném manekýnovi, výsledek tepelné odolnosti se zadá do programu a spustí se test. Na obrazovce vybereme data, která chceme měřit –  $R_{ct}$ , tepelný tok.



*Obrázek č. 27: Zobrazení jednotlivých zón při měření*

Vybereme části těla, které se budou měřit a zobrazovat. Čas měření (v minutách či hodinách) – minimální délka podle dané normy je 20 minut. V datovém souboru je zaznamenána každá sekunda, určí se interval časového úseku, po jakém se data budou ukládat. V případě, že je celé měření  $R_{ct}$  (30 minut) stálé, testování je ukončeno a zapsáno.

Hodnoty zahrnují vlastnosti tepelné izolace, kterou má měřený oděv a vrstva vzduchu kolem něj.

U dat uvedených v tabulce výsledků měření jsou dvě složky:

**První složka:** 1 počátek měření, 2 teplota všech částí těla, tepelný tok, teplota místnosti, g výsledky 2 čidel u manekýna – jedno na teplotu a rychlost vzduchu m/s, druhé na vlhkost.

**Druhá složka:** výsledky –  $R_{ct}$  na jednotlivé části manekýna, které jsou uloženy údajem, který představuje průměr za čas měření.

Norma přikazuje: pokud rozdíl v měření není více jak 4%, stačí provést 2x měření, pokud je rozdíl větší, měření se opakuje vícekrát.

### **Analýza dat**

Program ThermDAC provádí mnoho funkcí analýzy dat - teplotní odpor, průměr plochy a mnoho dalších. Data jsou zaznamenána do souboru.csv s příslušným názvem pro definování intervalu protokolování a na těchto datech jsou provedené veškeré výpočty.

V případě potřeby další analýzy je proto možné tento soubor otevřít v aplikaci Excel nebo jiném tabulkovém programu a provést ji. [\[16\]](#)

Měří se tepelný odpor  $R_{ct}$  – hodnotu stanoví program. Tepelný tok / plocha, zobrazeno ve výsledcích. Při zpracování dat se stanoví průměr z dat u jednotlivých zón, které jsou pokryté oděvem (odstraní se hodnoty zón chodidla, ruce a hlava)

### **K výpočtům jsou použité rovnice:**

$R_{ct}$  – suchý tepelný odpor, výpočet v jednotkách SI pro každou zónu podle vzorce:

$$R_{ct} = \frac{(T_{skin} - T_{amb})}{Q/A}$$

kde:  $R_{ct}$  = tepelný odpor [ $m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$ ]

$T_{skin}$  = průměrná teplota jedné zóny [ $^\circ C$ ]

$T_{amb}$  = teplota okolí [ $^\circ C$ ]

$Q/A$  = plošně vážený tok tepla [ $W \cdot m^{-2}$ ]

## Výpočet tepelného odporu oděvního souboru pomocí faktoru oděvu:

$$R_{cf} = R_{ct} - (R_{ct0} / f_{cl})$$

kde:  $R_{cf}$  = izolace oděvu [ $m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$ ]

$R_{ct0}$  = tepelný odpor nahého manekýna [ $m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$ ]

$f_{cl}$  = faktor oblasti oděvu [bezrozměrný]

$R_{cf}$  = tento údaj je užíván odborníky

## Převod na jednotky Clo:

$$clo = R_{ct} \cdot 6.45$$

člověk v klidu:  $clo = 1$  - pohybem a zátěží se zvětšuje (metabolismus více pracuje)

$clo$  = údaj je pro orientaci veřejnosti [16]

## 9.2.2 Analyzátor tepelné vodivosti C-THERM TCi

Měření na zařízení C-THERM TCi proběhlo za podmínek:

- Laboratorních podmínek podle normy ATSM D7984-16 [61]

Jedná se o metodu měření, kterou se měří rychlost přenosu tepla mezi topným prvkem a vzorkem tkaniny. Tato metoda stanoví podmínky zkoušky na prostředí i na vzorek. Sleduje se zde růst teploty mezi vzorkem a senzorem v suchém stavu.

Zařízení na měření tepelné vodivosti je rychlou, jednoduchou a nedestruktivní metodou. Získaná data jsou přesná, udávají tepelnou vodivost a tepelnou efunzivitu (tepelnou setrvačnost). Není nutná žádná speciální příprava vzorků, je možné zkoušet i na hotovém výrobku. Měří se 10 na různých místech aklimatizovaného vzorku. Rozsah teplot  $-50$  až  $200$   $^\circ C$ . Možnosti testování materiálů v rozmezí  $-0$  až  $100$   $W \cdot m^{-1} K^{-1}$ .

Přesnost měření je  $1 - 5\%$ . Měření je určeno do laboratorních podmínek. Ze získaných dat lze nepřímým výpočtem zjistit další termo fyzikální vlastnosti. Tepelný odpor se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$R = \frac{h}{\lambda}$$

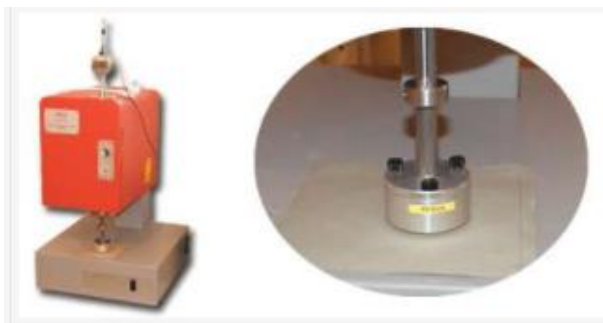
Hodnota  $R$  [ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ] se počítá z tepelné vodivosti  $= \lambda$  a tloušťky materiálu  $= h$ .

Princip měření: na vzorek působí krátký tepelný impuls, s krátkým měřicím intervalem 1-3 sekundy. Elektrický proud je přiveden do topného spirálového článku snímače, poskytne teplo. Spirála snímače je obklopena ochranným prstencem, který podporuje jednorozměrný přenos tepla směrem k vzorku. Teplo na rozhraní vzorku a snímače se zvýší přivedeným proudem, tím je vyvolaná změna elektrického napětí ve snímacím prvku. Tepelná vodivost vzorku je určena rychlostí nárůstu napětí ve snímači. Platí zde nepřímá úměra tepelné vodivosti a rychlosti zvýšení teploty v rozhraní snímače a vzorku. [57]

### 9.2.3 Měření tloušťky textilie na tloušťkoměru SDL M 034 A

Měření materiálů na zařízení tloušťkoměru proběhlo za podmínek:

- Podmínek podle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844) [62]



Obrázek č. 28 Tloušťkoměr SDL M 034 A zařízení na měření tloušťky [50]

Pro měření hodnoty **h** byl zvolen tloušťkoměr v laboratoři TUL (viz obrázek 29). Definice tloušťky textilie zní, je to kolmá vzdálenost mezi stranou lící a rubní, na textiliu působí přítlak maximálně 1 kPa. Tloušťka textilie se měří na tloušťkoměrech, které jsou pro tento typ materiálu určeny. Vzorek textilie musí být větší než velikost přítlačné hlavice.

Zařízení se skládá z:

- Přítlačné hlavice (20 cm<sup>2</sup>)
- Základní desky

Vstupní veličinou je přítlak, ten lze nastavit a zvolí se podle typu textilie a její tloušťky **h**. Kruhová čelist vyvíjí tlak, měření probíhá na tvrdé podložce. Data jsou ukládána do softwaru v PC.

Princip měření: zkušební vzorek je vložen pod horní čelist. Otočným kolíkem je vynulován přístroj a otáčením knoflíku na tloušťkoměru se na počítači nastaví 0,0. Stisne se mezerník a spuštěním horní čelisti se začne vzorek zatěžovat na 200 g (100 g). Po dosažení požadovaného

přítlaku se zobrazí tloušťka – možnost ji potvrdit či odmítnout měření. Pokračuje se v měření dalšího vzorku stejným způsobem.

*Tabulka č. 12: Tloušťka materiálu*

Materiál č.	1	2	3 š	3 č	4	1 + 2	1 + 2 + 4	1 + 3 š	1 + 3 č
<b>h [mm]</b>	<b>0,86</b>	<b>1,72</b>	<b>1,02</b>	<b>0,94</b>	<b>0,08</b>	<b>2,58</b>	<b>2,66</b>	<b>1,88</b>	<b>1,8</b>

Změřená tloušťka  $h$  [mm] materiálu byla využita pro přepočítání na hodnotu tepelného odporu [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ].

$R = h/\lambda$        $R = \text{tepelný odpor } [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$

$h = \text{tloušťka materiálu } [\text{m}]$

$\lambda = \text{součinitel tepelné vodivosti } [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

## 9.2.4 Měření prodyšnosti pomocí zařízení FX 3300

Měření na zařízení FX 3300 proběhlo za podmínek:

- Laboratorních podmínek podle normy ČSN EN ISO 9237 [63]
- Tlakový spád 50 Pa
- Velikost vzorku 20  $\text{cm}^2$



*Obrázek č. 29: Zařízení FX 3300 na hodnocení prodyšnosti [50]*

Definice prodyšnosti: „Rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo vzorkem textilie při definovaném rozdílu tlaků na protějších stranách textilie, době a zkušební ploše.“

Měření prodyšnosti vzduchu plošných textilií na zařízení FX 3300 (viz obrázek 30), prodyšnost je měřena jako rychlost proudícího vzduchu kolmo přes vzorek textilie za specifikovaných podmínek pro měřenou plochu, tlakový spád a dobu.

Zařízení FX 3300 slouží k měření statické prodyšnosti a to jednoduchou, rychlou a přesnou metodou.

Zařízení se skládá ze čtyř průtokoměrů, na kterých se odečítá objem protečeného vzduchu v militrech za sekundu, upínacích čelistí, spouštěcího pedálu, zařízení ALMEMO 2590, který měří tlakový spád.

Pod stolem je vakuové čerpadlo pro odsávání vzduchu ovládané pomocí pedálu. Sešlápnutím začne prosávat vzduch kolmo přes upnutý vzorek a na ventilu si nastavíme potřebný tlakový spád. Pro textilie 100 Pa, pro technické textilie 200 Pa. Vzorek má plochu 20 cm<sup>2</sup>. Po upnutí vzorku v upínacích čelistech připevníme průtokoměr č. 4 a měříme. Rozsah měření je od 40 do 400 mililitrů za sekundu. Prodyšnost se následně přepočítá podle vzorce. Po sešlápnutí pedálu se nastaví tlak a na průtokoměru je odečtena hodnota. Pro správný postup je důležité měření opakovat 10 krát na různých místech či na různých vzorcích.

Pro výpočet prodyšnosti byl použitý vztah:

$$R = \frac{Q_v}{A} \cdot k$$

**R** = prodyšnost [m.s<sup>-1</sup>]

**Q<sub>v</sub>** = množství/objem protečené tekutiny [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]

**A** = plocha vzorku, přes kterou prochází vzduch [m<sup>2</sup>]

**k** = koeficient pro převod jednotek (=167)

*Tabulka č. 13: Vypočtené hodnoty prodyšnosti z objemu protečené tekutiny [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]*

Materiál č.	1	2	3 š	3 č	4	1 + 2	1 + 2 + 4	1 + 3 š	1 + 3 č
<b>R [mm/s]</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>16,5</b>	<b>40</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>0</b>



## Přepočet rychlosti chůze kroků za minutu na [m.s<sup>-1</sup>]

Tabulka č. 14: Přepočet rychlosti chůze kroků za minutu na [m.s<sup>-1</sup>]

Délka dráhy [m]	15 kroků/min	20 kroků/min	30 kroků/min
Paže 0,29	0,08 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,10 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,15 [m.s <sup>-1</sup> ]
Loket 0,39	0,10 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,13 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,20 [m.s <sup>-1</sup> ]
Stehno 0,30	0,09 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,10 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,15 [m.s <sup>-1</sup> ]
Lýtka 0,67	0,17 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,22 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,34 [m.s <sup>-1</sup> ]
Délka kroku 0,73	0,19 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,23 [m.s <sup>-1</sup> ]	0,38 [m.s <sup>-1</sup> ]

V tabulce č. 14 je přepočítaná rychlost [kroků/minutu] na fyzikální jednotku [m/s]. V tomto případě podle mého názoru tento přepočet není pro analýzu nutný a nemá ani velkou vypovídací hodnotu, neboť samotný manekýn je naprogramován na jednotky používané v práci, tedy kroky za minutu a je na ně i kalibrován. Vzhledem k tomu, že se jedná o složený pohyb, člověk se v reálu pohybuje touto posuvnou rychlostí, ale pro jednotlivé měřené zóny nelze tuto přesnou hodnotu určit. Cirkulující vzduch, který se zde nachází díky změně rychlosti pohybu ovlivňuje hodnoty pouze u končetin a to v každé zóně jinak. Jedná se o složený pohyb těla vpřed a končetin vzhledem k ose těla. Nelze tedy jednoznačně říci, jakou rychlostí se pohyb vykonává, v tabulce je pouze přepočet jednotlivých bodů na m/s. Naměřená hodnota tepelného odporu není hodnota jednoho bodu, ale je to průměr naměřený z jednotlivých zón.

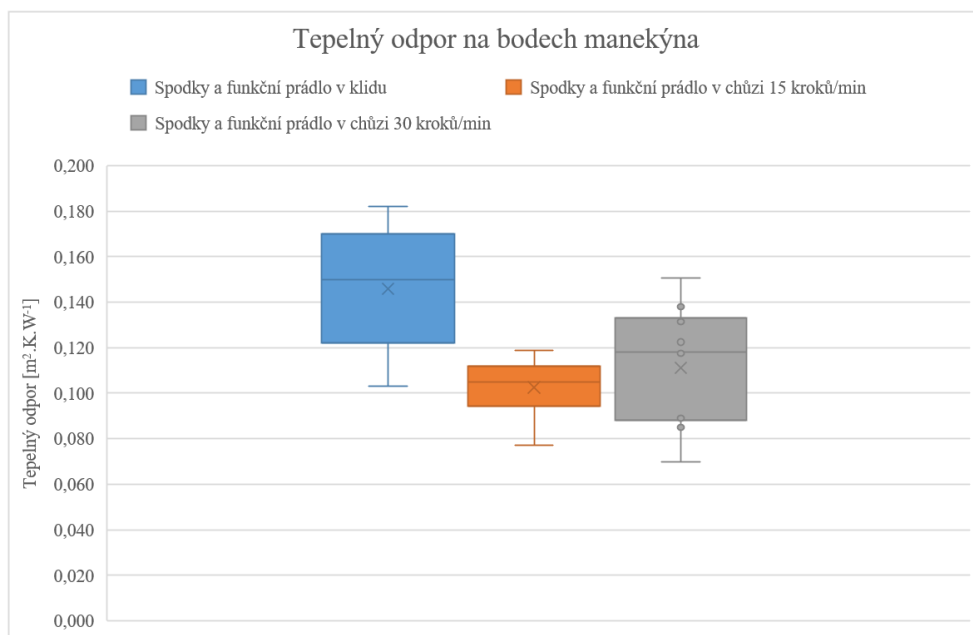
Z tohoto důvodu je v závěru práce doporučeno testovat podobné měření na probandovi, který bude snímán pomocí termovize či senzory a bude se pohybovat danou rychlostí.

### **9.3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT**

V experimentální části této práce je provedeno statistické zpracování naměřených dat z vyhřívaného manekýna. Prvním krokem bylo odstranit nepotřebné hodnoty, neboť celý soupis obsahuje údaje všech teplotních zón manekýna. Zóny, které nejsou pokryté oděvní vrstvou – hlava, dlaně, chodidla nejsou použité pro následnou analýzu dat, to z důvodu, aby neovlivňovaly výsledky měření. Tímto se získal výběr dat statistického souboru, se kterým se dále pracovalo. Bylo provedeno základní statistické zpracování, kdy byl spočten průměr, směrodatná odchylka, variační koeficient, medián, horní 25 % a dolní 75% kvantil, maximum, minimum.

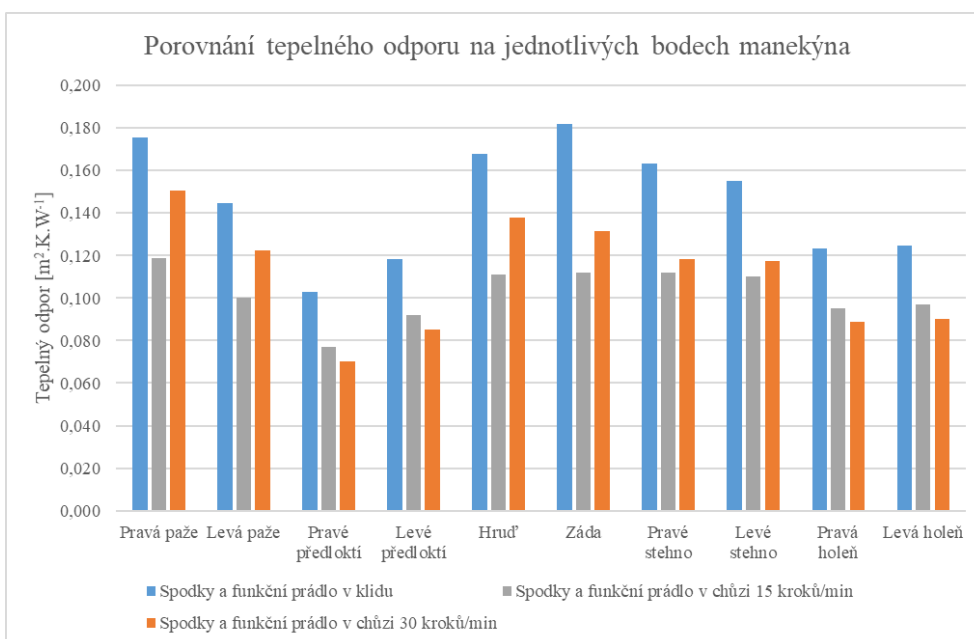
Tabulka č. 15: Naměřené hodnoty tepelného odporu první vrstvy č. 1

Zóny manekýna	Tepelný odpor [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]		
	Spodky a funkční prádlo v klidu	Spodky a funkční prádlo v chůzi 15 kroků/min	Spodky a funkční prádlo v chůzi 30 kroků/min
Pravá paže	0,176	0,119	0,151
Levá paže	0,145	0,100	0,123
P. předloktí	0,103	0,077	0,070
L. předloktí	0,119	0,092	0,085
Hrud'	0,168	0,111	0,138
Záda	0,182	0,112	0,132
Pravé stehno	0,164	0,112	0,119
Levé stehno	0,155	0,110	0,118
Pravá holeň	0,124	0,095	0,089
Levá holeň	0,125	0,097	0,090
MAX	0,182	0,119	0,151
MIN	0,103	0,077	0,070
Průměr	0,146	0,103	0,111
Sm. odch.	0,027	0,013	0,026
Var. koef.	0,186	0,123	0,236
Medián	0,150	0,105	0,118
25% percentil	0,124	0,096	0,089
75% percentil	0,167	0,112	0,129



**Obrázek č. 30: Krabicové grafy první vrstvy**

Na krabicových grafech na obrázku 30 je možné pozorovat potvrzení předpokladu, že nejvyšší hodnotu tepelného odporu má vrstva oděvu naměřená v klidu, značně se snížily hodnoty při rychlosti chůze 15 kroků za minutu, ale nepředpokládaně v rychlosti 30 kroků za minutu hodnoty tepelného odporu jsou opět vyšší než u nižší rychlosti chůze. Stejný vývoj je u všech zobrazených hodnot – průměru, maxima, minima, intervalů spolehlivosti - 25 %, 75 % kvantilu i u střední hodnoty. Můžeme pouze konstatovat, že při vyšší rychlosti dochází k častějšímu zvětšení vzduchové vrstvy u horních končetin a tím se hodnoty zvýší.

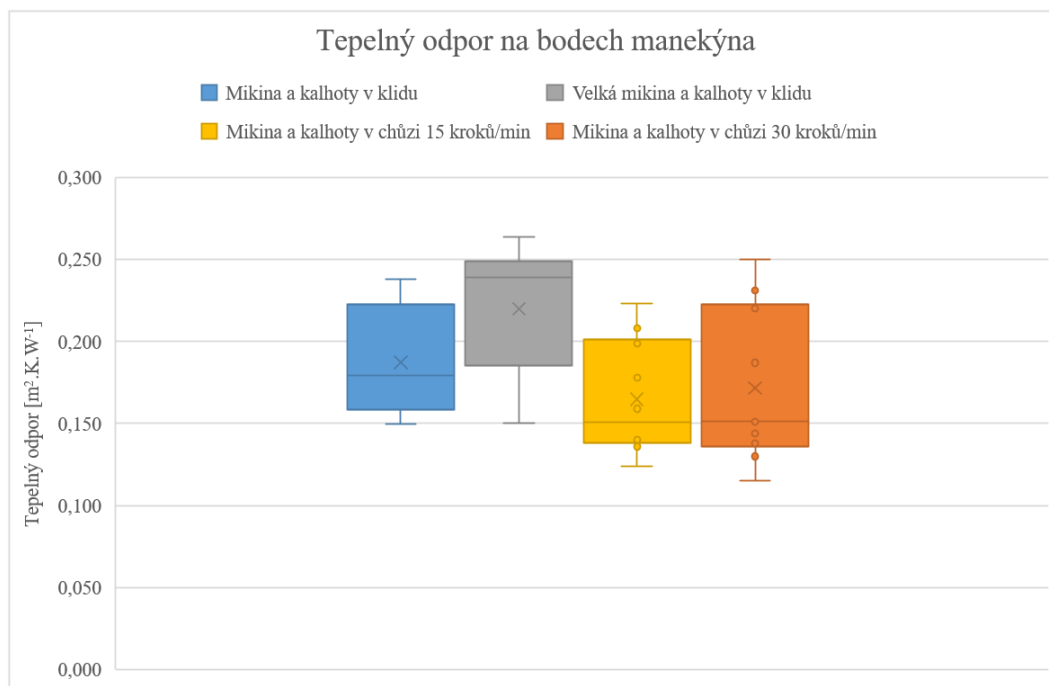


**Obrázek č. 31: Grafické znázornění porovnání tepelného odporu na jednotlivých bodech manekýna**

Sloupcový graf na obrázku č. 31 znázorňuje stejný oděvní soubor jako krabicové grafy z obrázku č. 30. Ovšem u tohoto typu grafu můžeme lépe pozorovat velké rozdíly v hodnotách na jednotlivých zobrazených zónách manekýna. U zón na pažích, zádech, hrudi a stehnech se projevuje zvýšení hodnot tepelného odporu při zvýšené rychlosti pohybu. Ostatní zóny – spodní části končetin horních i dolních mají vývoj hodnot podle předpokladu.

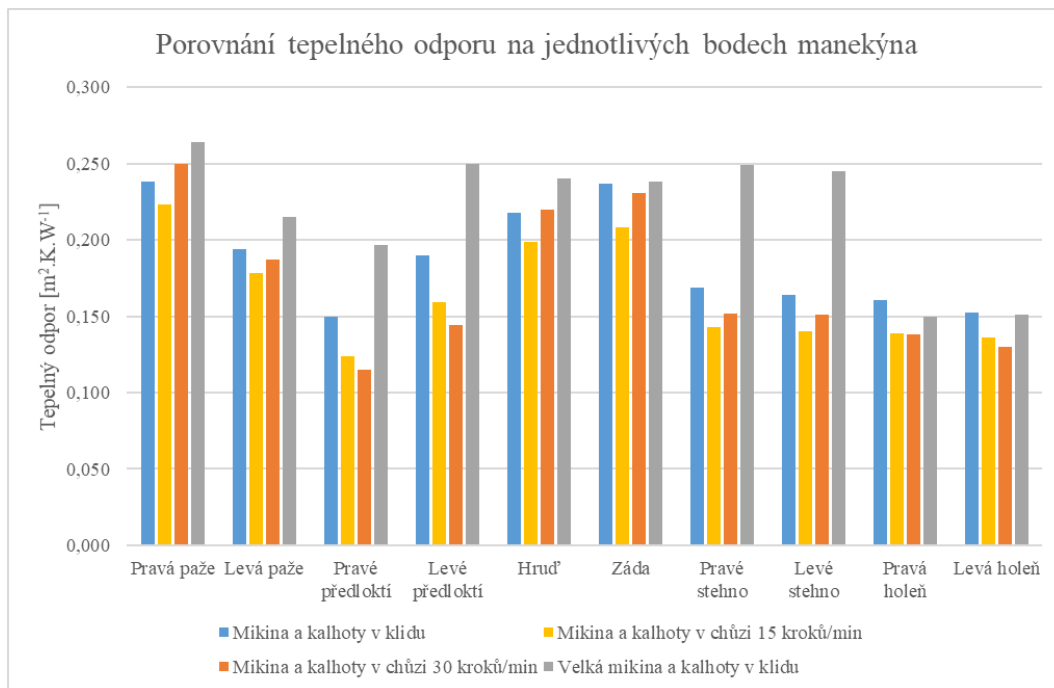
*Tabulka č. 16: Naměřené hodnoty tepelného odporu první a druhé vrstvy č. 2*

Zóny manekýna	Tepelný odpor [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]			
	Mikina a kalhoty v klidu	Velká mikina a kalhoty v klidu	Mikina a kalhoty v chůzi 15 kroků/min	Mikina a kalhoty v chůzi 30 kroků/min
Pravá paže	0,238	0,264	0,223	0,250
Levá paže	0,194	0,215	0,178	0,187
Pravé předloktí	0,150	0,197	0,124	0,115
Levé předloktí	0,190	0,250	0,159	0,144
Hrud'	0,218	0,240	0,199	0,220
Záda	0,237	0,238	0,208	0,231
Pravé stehno	0,169	0,249	0,143	0,152
Levé stehno	0,164	0,245	0,140	0,151
Pravá holeň	0,161	0,150	0,139	0,138
Levá holeň	0,153	0,151	0,136	0,130
MAX	0,238	0,264	0,223	0,250
MIN	0,150	0,150	0,124	0,115
Průměr	0,187	0,220	0,165	0,172
Sm. odch.	0,034	0,041	0,035	0,047
Var. koef.	0,181	0,187	0,211	0,274
Medián	0,179	0,239	0,151	0,152
25% percentil	0,161	0,202	0,139	0,140
75% percentil	0,212	0,248	0,194	0,212



**Obrázek č. 32: Krabicové grafy znázorňující druhou vrstvu**

Na obrázku č. 32 krabicové grafy zobrazují základní statistický rozbor dat. Zpracována byla druhá vrstva v klidu a chůzi při dvou rychlostech a velkou mikinou v klidu. Hodnoty naměřené na velké mikině jsou vyšší než u hodnot mikiny s ideální velikostí. Při rychlosti 15 kroků za minutu tepelný odpor klesá a při rychlosti 30 kroků za minutu se tepelný odpor zvyšuje. Stejný vývoj hodnot je i u průměru, maxima, minima, střední hodnoty, 25 a 75% kvantilu.



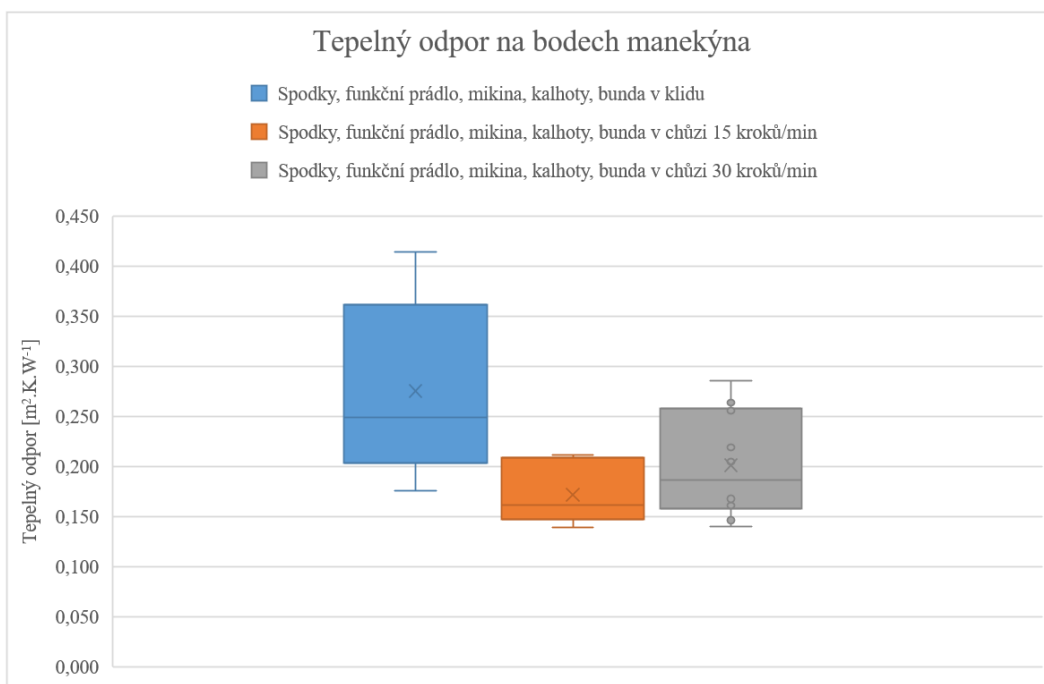
**Obrázek č. 33: Porovnání tepelného odporu na jednotlivých bodech manekýna ve sloupcovém grafu**

Sloupcový graf na obrázku č. 33 znázorňuje porovnání dat tepelného odporu druhé vrstvy mikiny a kalhot. Hodnoty byly měřeny s ideální velikostí mikiny, v klidu, v chůzi o rychlosti 15 kroků za minutu, 30 kroků za minutu a v klidu s velkou mikinou. Předpoklad byl, že s narůstající rychlostí se bude tepelný odpor snižovat. Toto tvrzení bylo potvrzeno pouze u dat v klidu a v rychlosti 15 kroků za minutu, zde se naměřená hodnota tepelného odporu snížila, naopak u rychlosti 30 kroků za minutu se hodnota tepelného odporu zvýšila. Dalším předpokladem bylo porovnání dat z měření na velké mikině, která byla následně upravena na ideální velikost a znovu změřena. Potvrdilo se, že velká mikina má o mnoho větší tepelný odpor, což je způsobeno větší vzduchovou vrstvou, která vznikla mezi tělem manekýna a velkou mikinou (vzduch nejlepší izolant), ale z důvodu estetického a praktického nemůže dítě chodit v mikině, která je velikostně nevyhovující.

Tabulka č. 17: Naměřené hodnoty tepelného odporu první, druhé a třetí vrstvy č. 3

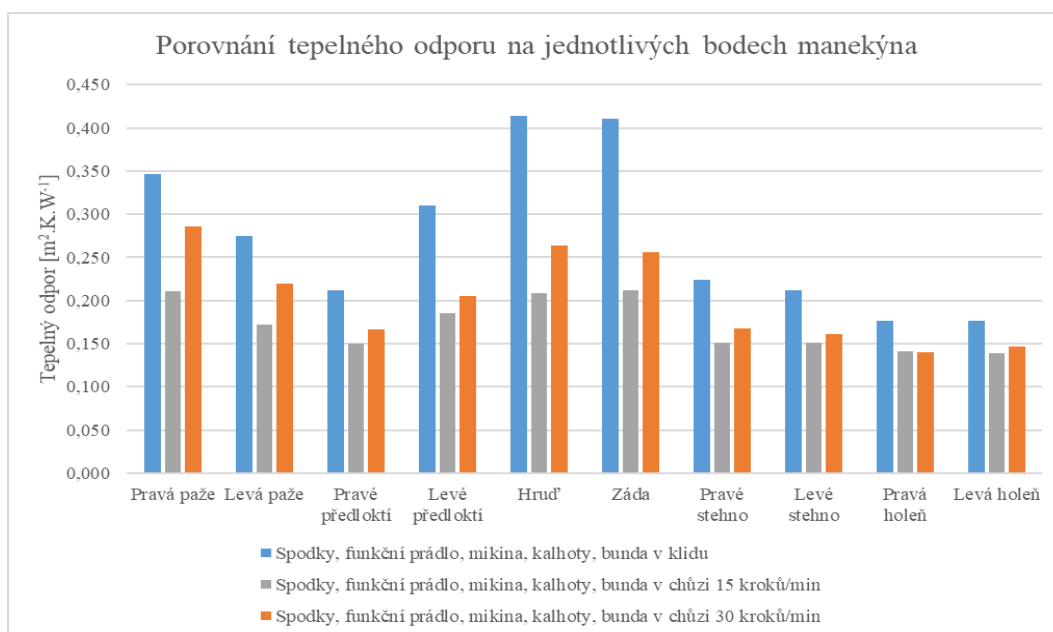
Zóna manekýna	Tepelný odpor [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]		
	Spodky, funkční prádlo, mikina, kalhoty, bunda v klidu	Spodky, funkční prádlo, mikina, kalhoty, bunda v chůzi 15 kroků /min	Spodky, funkční prádlo, mikina, kalhoty, bunda v chůzi 30 kroků/min
Pravá paže	0,346	0,211	0,286
Levá paže	0,275	0,172	0,220
Pravé předloktí	0,212	0,150	0,166
Levé předloktí	0,310	0,185	0,205
Hrud'	0,414	0,208	0,264
Záda	0,410	0,212	0,256
Pravé stehno	0,224	0,151	0,168
Levé stehno	0,212	0,151	0,162
Pravá holeň	0,176	0,141	0,141
Levá holeň	0,177	0,139	0,147
MAX	0,414	0,212	0,286
MIN	0,176	0,139	0,141
Průměr	0,276	0,172	0,201
Sm. odch.	0,091	0,030	0,053
Var. koef.	0,328	0,173	0,262
Medián	0,250	0,162	0,187
25% percentil	0,212	0,150	0,163
75% percentil	0,337	0,202	0,247





**Obrázek č. 34: Tepelný odpor na bodech manekýna znázorněný na krabicových grafech**

Krabicové grafy na obrázku č. 34 zobrazují základní statistický rozbor dat. Zpracovány byly hodnoty neměřené na první, druhé a třetí vrstvě v klidu a chůzi při dvou rychlostech. Při rychlosti 15 kroků za minutu tepelný odpor klesá a při rychlosti 30 kroků za minutu se tepelný odpor zvyšuje. Stejný vývoj hodnot je i u průměru, maxima, minima, střední hodnoty, 25 a 75% kvantilu.



**Obrázek č. 35: Porovnání tepelného odporu na jednotlivých bodech manekýna ve sloupcovém grafu**

Sloupcový graf na obrázku č. 35 znázorňuje porovnání tepelného odporu jednotlivých bodů u první, druhé a třetí vrstvy v klidu a rychlostech 15 a 30 kroků za minutu. Můžeme konstatovat,

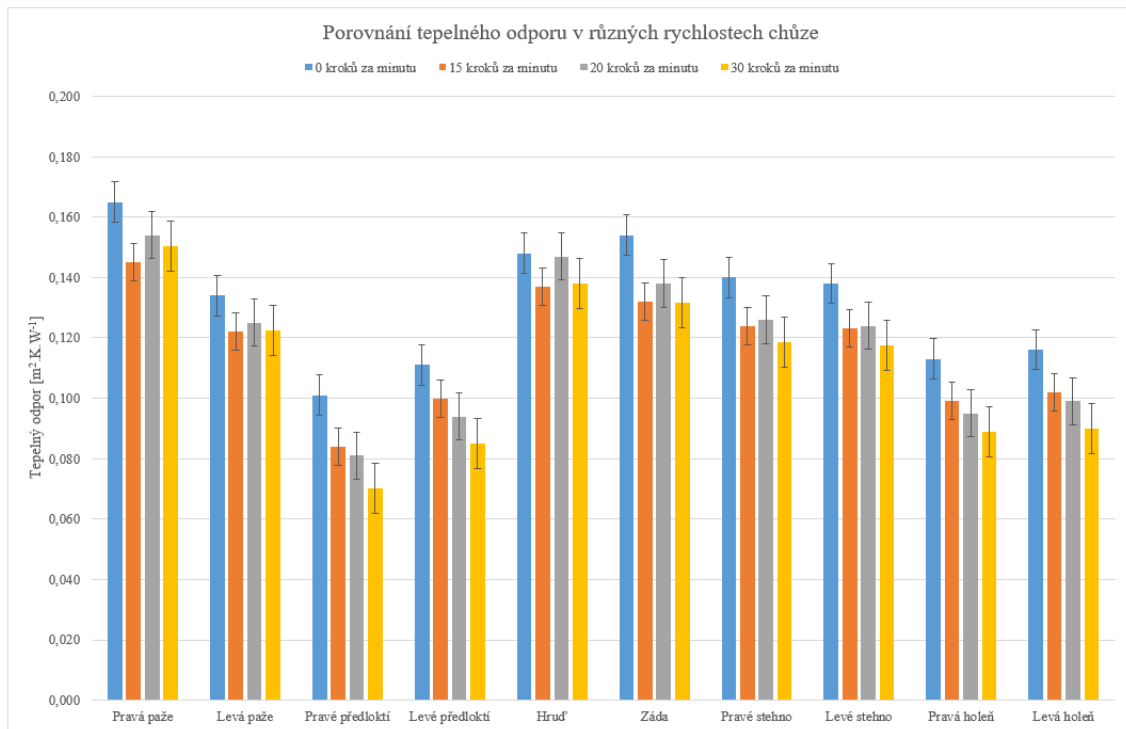
že na každé části těla se tepelný odpor liší ať z důvodu různých vrstev oděvu či okolními vlivy a pohybem končetin či cirkulujícím okolním vzduchem.

Porovnáním veškerých naměřených zón bylo zjištěno, že u všech měření se vyskytl velký rozdíl tepelného odporu ve výsledcích u výparného bodu umístěného na pravé paži. Vždy je tato hodnoty o mnoho vyšší. Rozdíl způsobuje proudící vzduch ze dveří při spuštěné klimatizaci v laboratoři (z chodby tedy proudí teplejší vzduch), vzduchová vrstva, která se mění působením pohybu horních a dolních končetin.

### Tepelný odpor první vrstvy při rychlostech chůze 0, 15, 20, 30 kroků za minutu

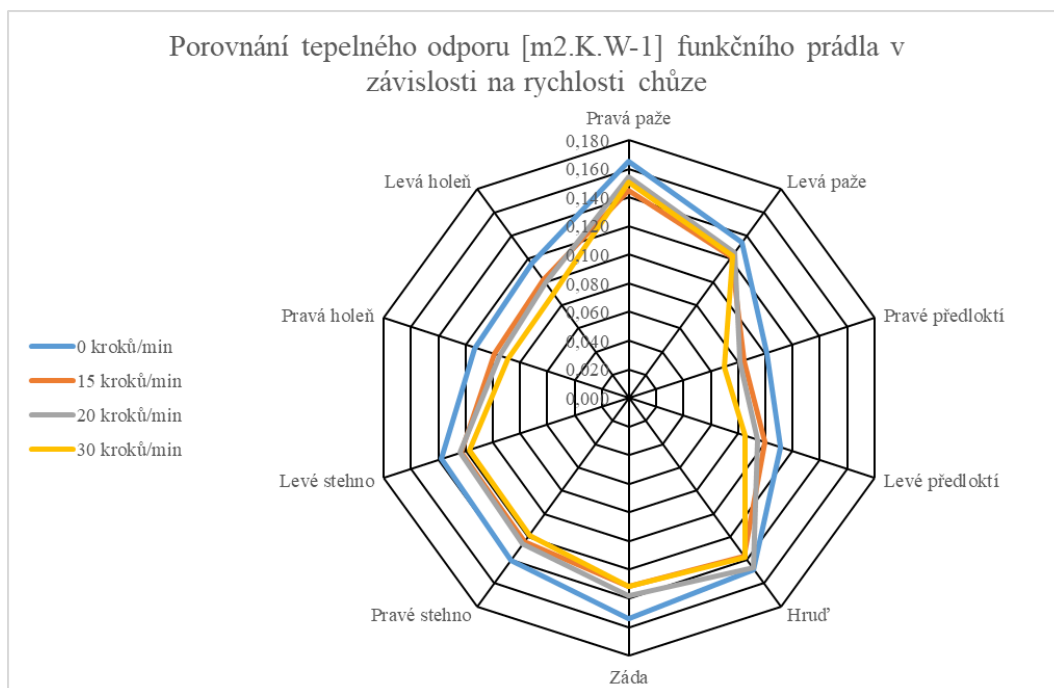
Tabulka č. 18: Naměřené hodnoty tepelného odporu první vrstvy při rychlosti chůze 0, 15, 20, 30/minutu

Spodky, funkční prádlo				
Rychlost [kroky/min]:	0	15	20	30
Zóny manekýna	Tepelný odpor [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]			
Pravá paže	0,165	0,145	0,154	0,151
Levá paže	0,134	0,122	0,125	0,123
Pravé předloktí	0,101	0,084	0,081	0,070
Levé předloktí	0,111	0,100	0,094	0,085
Hrud'	0,148	0,137	0,147	0,138
Záda	0,154	0,132	0,138	0,132
Pravé stehno	0,140	0,124	0,126	0,119
Levé stehno	0,138	0,123	0,124	0,118
Pravá holeň	0,113	0,099	0,095	0,089
Levá holeň	0,116	0,102	0,099	0,090
Průměr:	0,132	0,117	0,118	0,111



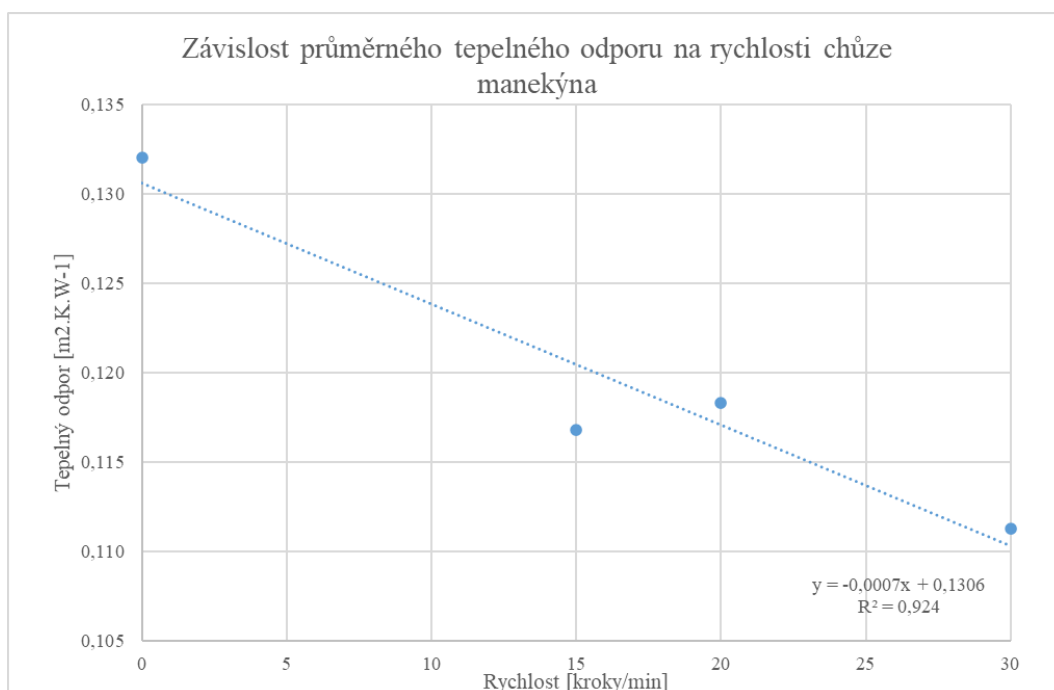
**Obrázek č. 36: Porovnání tepelného odporu v různých rychlostech chůze**

Sloupcový graf znázorněný na obrázku č. 36 znázorňuje porovnání tepelného odporu jednotlivých bodů u první vrstvy v klidu a rychlostech 15, 20 a 30 kroků za minutu. Můžeme pozorovat téměř ideální vývoj hodnot u předloktí a holení. Zóny paže, hrud', záda, stehna klesnou hodnotami při změně z 0 na 15 kroků, při změně na 20 kroků se zvyšují a při změně na 30 kroků za minutu klesnou, ale hodnotu mají vyšší nebo stejnou jako u 15 kroků za minutu. Proudící vzduch ze dveří při spuštěné klimatizaci v laboratoři (z chodby tedy proudí teplejší vzduch), vzduchová vrstva, která se mění působením pohybu horních a dolních končetin opět ovlivňují výši naměřených hodnot.



**Obrázek č. 37:** Porovnání tepelného odporu funkčního prádla v závislosti na rychlosti chůze znázorněném v pavučinovém grafu

Na grafu z obrázku 37 je vidět rozdílné hodnoty tepelného odporu při vzrůstající rychlosti pohybu. Nejvyšší hodnoty dosahuje oděv naměřený v klidu, snížení hodnot je při zvyšující rychlosti, ale rozdíly jsou v tomto případě lépe viditelné na sloupcovém grafu z obrázku č. 36.

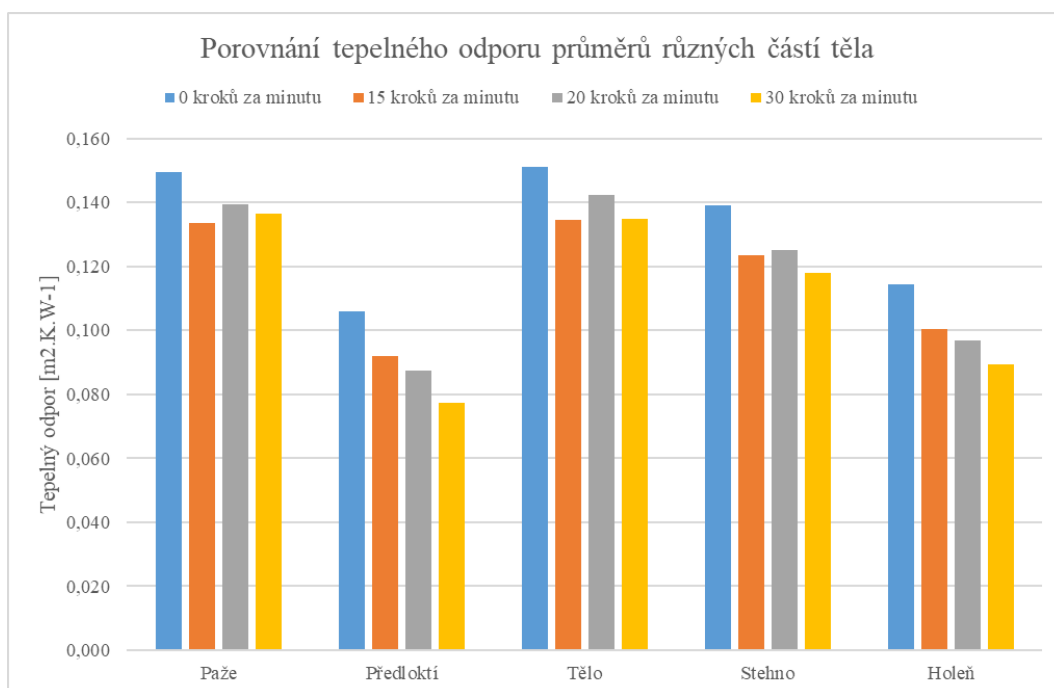


**Obrázek č. 38:** Grafické znázornění závislosti průměrného tepelného odporu na rychlosti chůze manekýna

Na obrázku č. 38 je graf znázorňující závislost tepelného odporu na zvyšující se rychlosti chůze. Znárodně hodnoty potvrzují hypotézu, že se zvyšující se rychlostí se snižuje tepelný odpor. Hodnota korelačního koeficientu  $R = 0,96$  se blíží k 1, což značí velkou závislost.

Tabulka č. 19: Naměřené hodnoty tepelného odporu první vrstvy při čtyřech rychlostech chůze

Spodky, funkční prádlo – průměr pravé a levé části těla				
Rychlost manekýna:	0	15	20	30
Body na manekýnovi	Tepelný odpor [ $m^2.K.W^{-1}$ ]			
Paže	0,150	0,134	0,140	0,137
Předloktí	0,106	0,092	0,088	0,078
Tělo	0,151	0,135	0,143	0,135
Stehno	0,139	0,124	0,125	0,118
Holeň	0,115	0,101	0,097	0,090
Průměr:	0,132	0,117	0,118	0,111



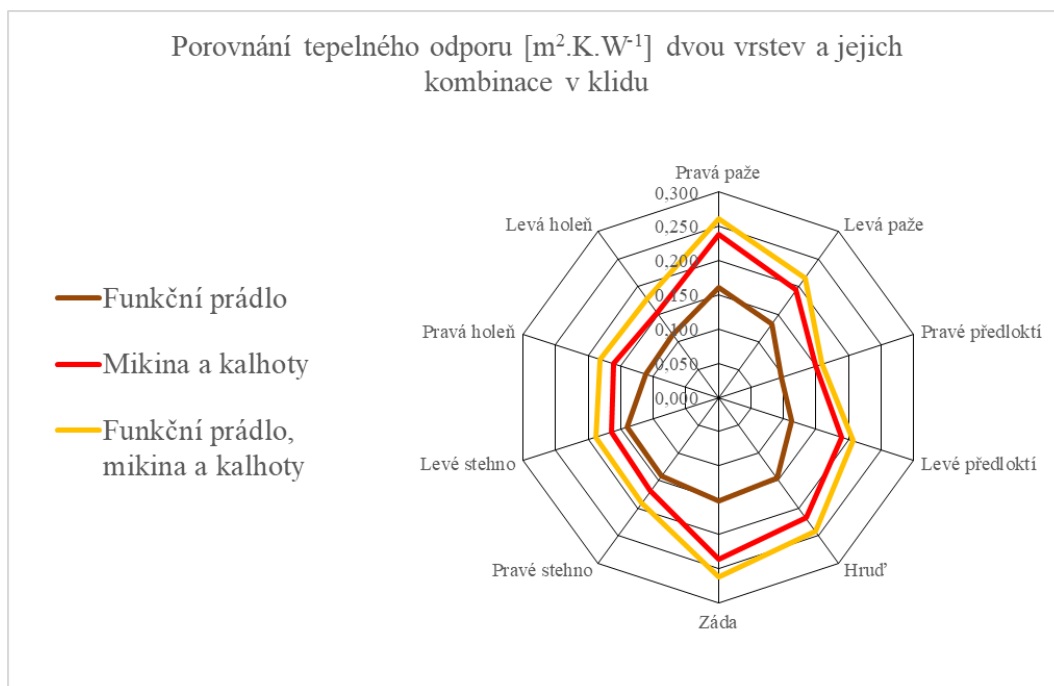
Obrázek č. 39: Porovnání tepelného odporu průměrů různých částí těla

Na obrázku 39 jsou v grafu hodnoty naměřené na první oděvní vrstvě, ve stavu klidu a rychlostech chůze 15, 20, 30 kroků za minutu. Porovnáním výsledků těchto měření vidíme, že vývoj naměřených dat je téměř ideální v zóně předloktích a holeních, kde se vzrůstající rychlostí chůze se tepelný odpor snižuje. V 15 krocích za minutu se opět projevuje zvýšení tepelného odporu u těla, stehna a paží.

Musíme konstatovat, že faktory, které ovlivňují nepravidelný vývoj nelze změřit, pouze odhadnout. Působí zde cirkulující vzduch, stalčení mezivrstev a vrstev při pohybu manekýna jeho končetinami.

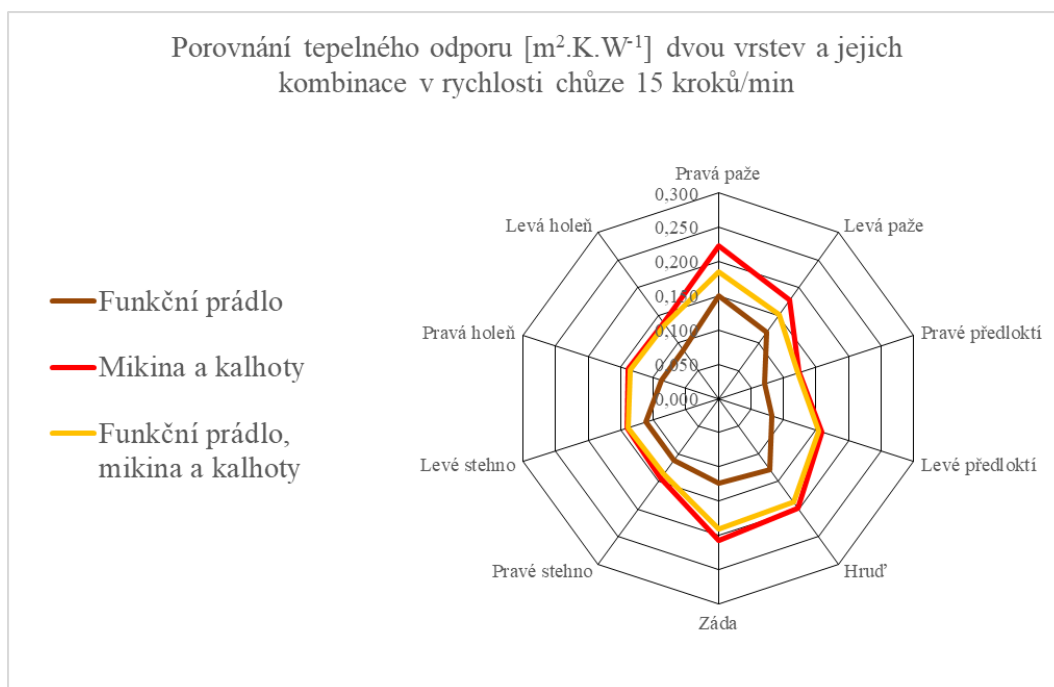
Tabulka č. 20: Naměřené hodnoty tepelného odporu první a druhé vrstvy

Zóny manekýna	V klidu			Rychlost 15 kroků/min			Rychlost 30 kroků/min		
	Tepelný odpor [ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ]								
	Funkční prádlo	Mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty	Funkční prádlo	Mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty	Funkční prádlo	Mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty
Pravá paže	0,160	0,238	0,261	0,117	0,223	0,185	0,150	0,250	0,290
Levá paže	0,133	0,194	0,216	0,096	0,178	0,151	0,119	0,187	0,214
Pravé předloktí	0,098	0,150	0,160	0,080	0,124	0,123	0,071	0,115	0,126
Levé předloktí	0,113	0,190	0,207	0,091	0,159	0,154	0,083	0,144	0,151
Hrud'	0,146	0,218	0,241	0,103	0,199	0,188	0,129	0,220	0,248
Záda	0,151	0,237	0,263	0,105	0,208	0,191	0,124	0,231	0,263
Pravé stehno	0,142	0,169	0,191	0,098	0,143	0,137	0,111	0,152	0,171
Levé stehno	0,140	0,164	0,189	0,097	0,140	0,139	0,112	0,151	0,167
Pravá holeň	0,112	0,161	0,182	0,091	0,139	0,136	0,087	0,138	0,147
Levá holeň	0,114	0,153	0,178	0,096	0,136	0,133	0,088	0,130	0,148
<b>Průměr</b>	0,131	0,187	0,209	0,097	0,165	0,154	0,107	0,172	0,193
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,021	0,034	0,036	0,010	0,035	0,025	0,025	0,047	0,057
<b>Variační koeficient</b>	0,157	0,181	0,172	0,101	0,211	0,164	0,229	0,274	0,297



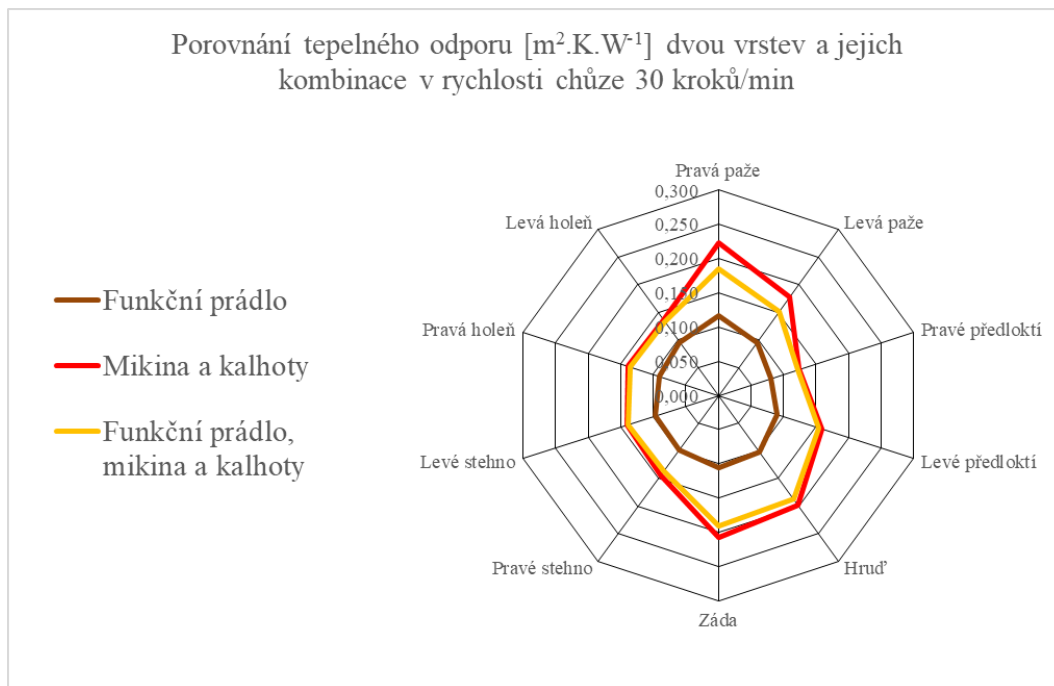
**Obrázek č. 40: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v klidu**

Na obrázku č. 40 jsou v pavučinovém grafu znázorněny naměřené hodnoty v klidu na první a druhé vrstvě jednotlivě a následně společně. Tyto hodnoty mají ideální vývoj, hodnoty se zvyšují se zvyšující se vrstvou, měření nebylo ovlivněno žádným vnějším faktorem či stlačováním vrstev.



**Obrázek č. 41: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 15 kroků/min**

Na obrázku č. 41 jsou v pavučinovém grafu znázorněny naměřené hodnoty v rychlosti chůze 15 kroků za minutu u první a druhé vrstvy jednotlivě a následně společně. Hodnoty nemají ideální vývoj v žádné ze zón. První vrstva má nejnižší hodnoty, druhá vrstva (mikina a kalhoty) má nejvyšší hodnoty a vrstva tvořená funkčním prádlem a mikinou s kalhotami má hodnoty nižší než pouze druhá vrstva. Tyto hodnoty vyvrací předpoklad, že se zvyšující se vrstvou oděvu bude hodnota tepelného odporu vyšší. Jak již bylo zmíněno, hodnoty jsou ovlivněny vnějšími faktory.



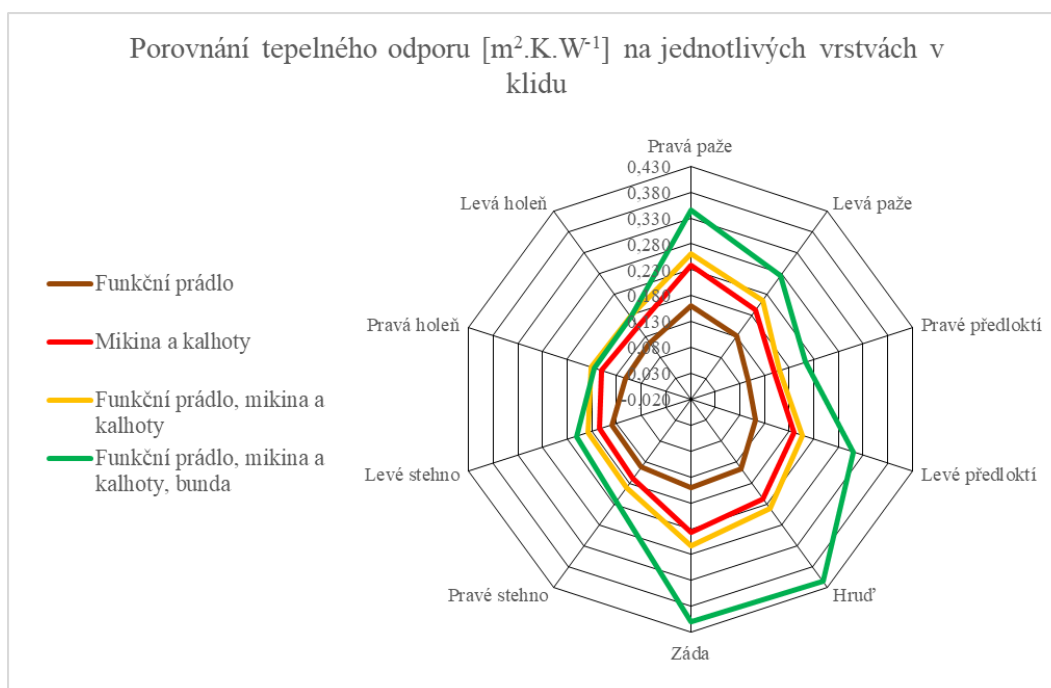
**Obrázek č. 42: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 30 kroků/min**

Na obrázku č. 42 jsou v pavučinovém grafu znázorněny naměřené hodnoty v rychlosti chůze 30 kroků za minutu u první a druhé vrstvy jednotlivě a následně společně. Podobně jako u rychlosti 15 kroků za minutu nemají hodnoty ideální vývoj v žádné ze zón. První vrstva má nejnižší hodnoty, druhá vrstva (mikina a kalhoty) má nejvyšší hodnoty a vrstva tvořená funkčním prádlem a mikinou s kalhotami má hodnoty nižší než druhá vrstva. Tyto hodnoty vyvrací předpoklad, že se zvyšující se vrstvou oděvu bude hodnota tepelného odporu vyšší, ale hodnoty jsou ovlivněny vnějšími vlivy, protože u hodnot měřených v klidu je vývoj ideálně vzrůstající.



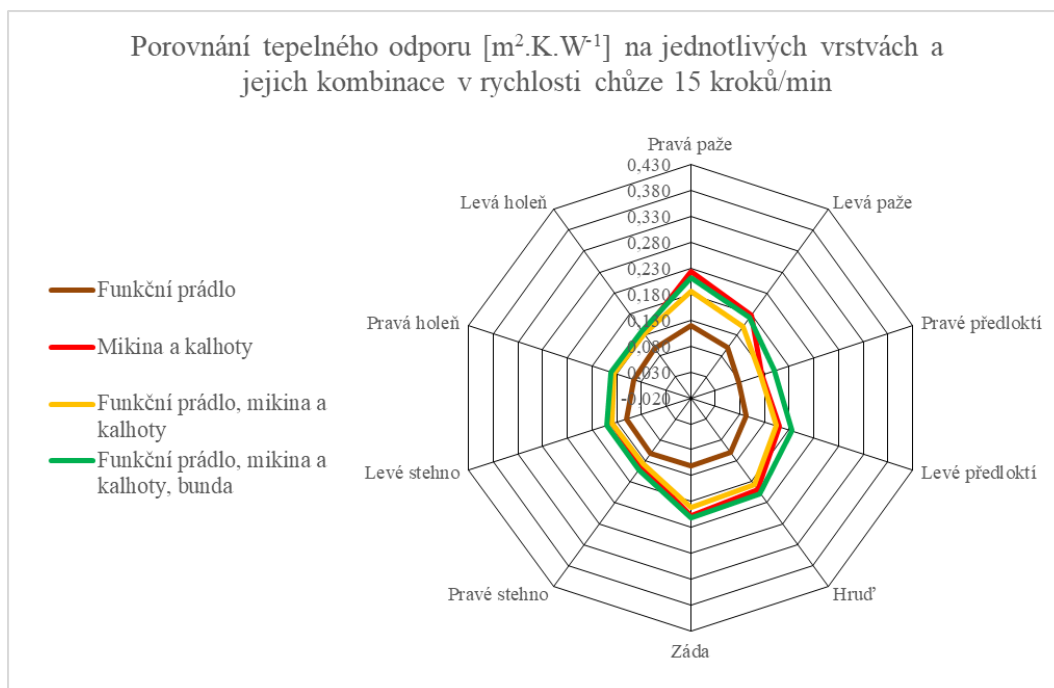
Tabulka č. 21: Naměřené hodnoty tepelného odporu všech vrstev

Zóny manekýna	V klidu				Rychlost 15 kroků/min				Rychlost 30 kroků/min			
	Tepelný odpor [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]											
	Funkční prádlo	Mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty, bunda	Funkční prádlo	Mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty, bunda	Funkční prádlo	Mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty	Funkční prádlo, mikina a kalhoty, bunda
Pravá paže	0,160	0,238	0,261	0,346	0,119	0,223	0,185	0,211	0,151	0,250	0,290	0,286
Levá paže	0,133	0,194	0,216	0,275	0,100	0,178	0,151	0,172	0,123	0,187	0,214	0,220
Pravé předloktí	0,098	0,150	0,160	0,212	0,077	0,124	0,123	0,150	0,070	0,115	0,126	0,166
Levé předloktí	0,113	0,190	0,207	0,310	0,092	0,159	0,154	0,185	0,085	0,144	0,151	0,205
Hrud'	0,146	0,218	0,241	0,414	0,111	0,199	0,188	0,208	0,138	0,220	0,248	0,264
Záda	0,151	0,237	0,263	0,410	0,112	0,208	0,191	0,212	0,132	0,231	0,263	0,256
Pravé stehno	0,142	0,169	0,191	0,224	0,112	0,143	0,137	0,151	0,119	0,152	0,171	0,168
Levé stehno	0,140	0,164	0,189	0,212	0,110	0,140	0,139	0,151	0,118	0,151	0,167	0,162
Pravá holeň	0,112	0,161	0,182	0,176	0,095	0,139	0,136	0,141	0,089	0,138	0,147	0,141
Levá holeň	0,114	0,153	0,178	0,177	0,097	0,136	0,133	0,139	0,090	0,130	0,148	0,147
Průměr	0,131	0,187	0,209	0,276	0,103	0,165	0,154	0,172	0,111	0,172	0,193	0,201
Směrodatná odchylka	0,021	0,034	0,036	0,091	0,013	0,035	0,025	0,030	0,026	0,047	0,057	0,053
Variační koeficient	0,157	0,181	0,172	0,328	0,123	0,211	0,164	0,173	0,236	0,274	0,297	0,262

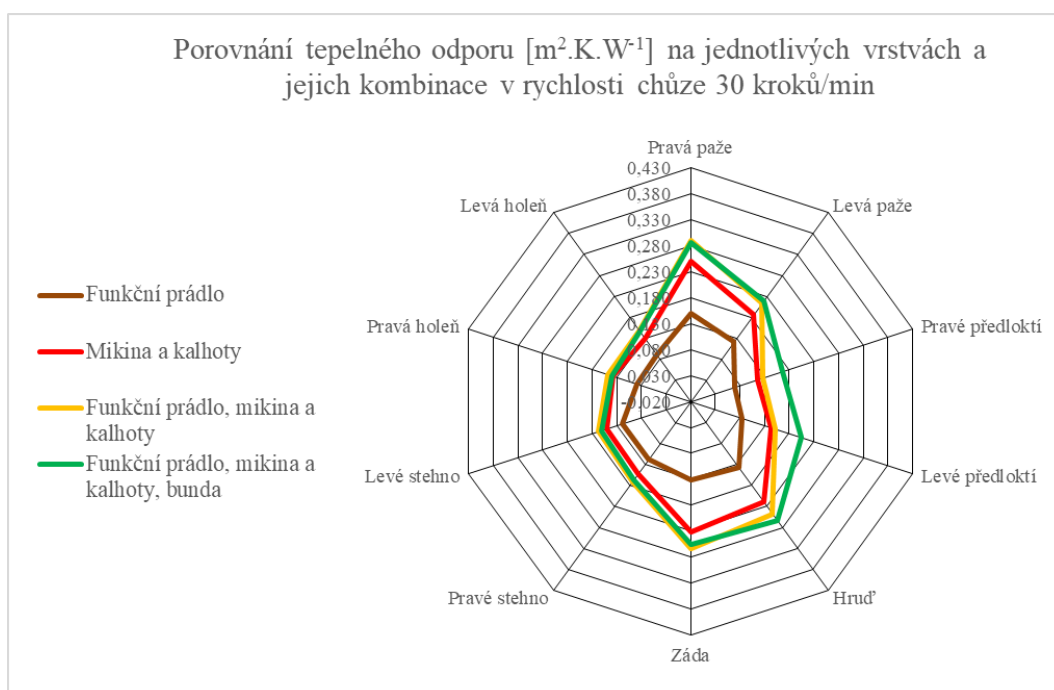


Obrázek č. 43: Porovnání tepelného odporu na jednotlivých vrstvách v klidu

Na obrázku č. 43 jsou v pavučinovém grafu znázorněny naměřené hodnoty v klidu na první, druhé a třetí vrstvě jednotlivě a následně společně. Tyto hodnoty mají ideální vývoj, hodnoty se zvyšují se zvyšující se vrstvou, měření nebylo ovlivněno žádným vnějším faktorem či stlačováním vrstev. Hodnoty tepelného odporu se nemění u přidané třetí vrstvy u zón na dolní části těla, což je správně, neboť na těchto zónách se třetí vrstva nevyskytuje.



**Obrázek č. 44:** Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 15 kroků/min



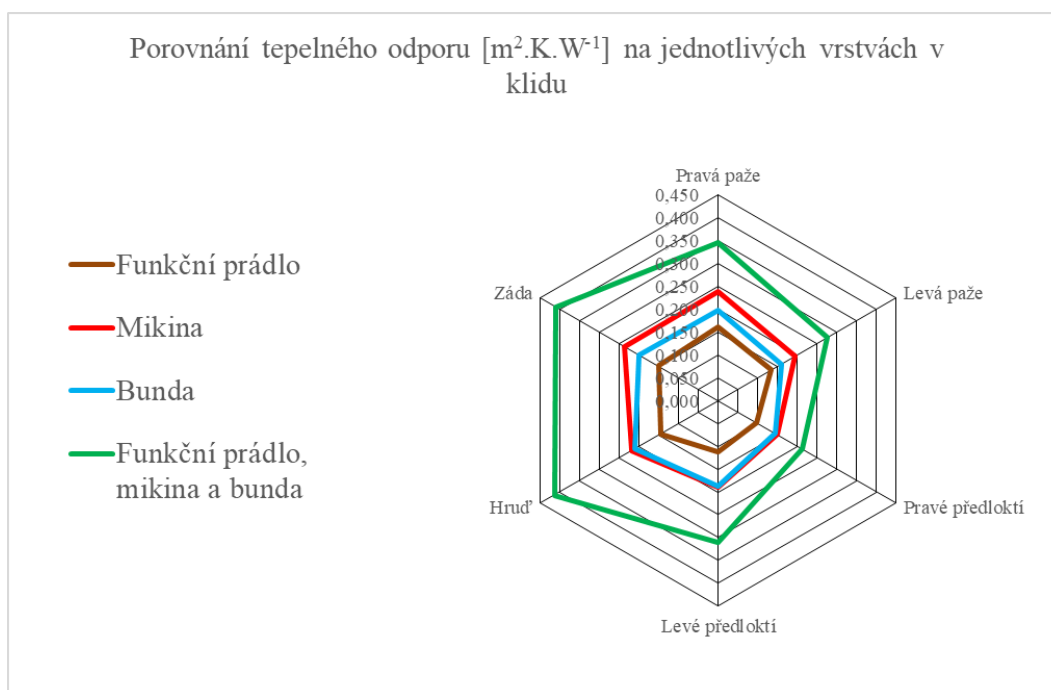
**Obrázek č. 45:** Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 30 kroků/min

Tento pavučinové grafy na obrázcích 44 a 45 popisují nepravidelnost tepelného odporu na první, druhé a třetí vrstvě oděvu jednotlivě a následně měřených všech vrstev společně. Pouze hodnoty u vrstvy první zůstává hodnota nejmenší. Do grafu byla přidána třetí vrstva pro grafické znázornění. Přidáním třetí vrstvy se hodnota tepelného odporu změnila minimálně,

pouze v zónách, které třetí vrstva pokrývá. Výsledek je ovlivněn vlastnostmi materiálu, ze kterého je bunda zhotovena, má velmi malý tepelný odpor. Také grafy znázorňují působení stlačování vrstev při pohybu, kdy se všechny hodnoty snížily.

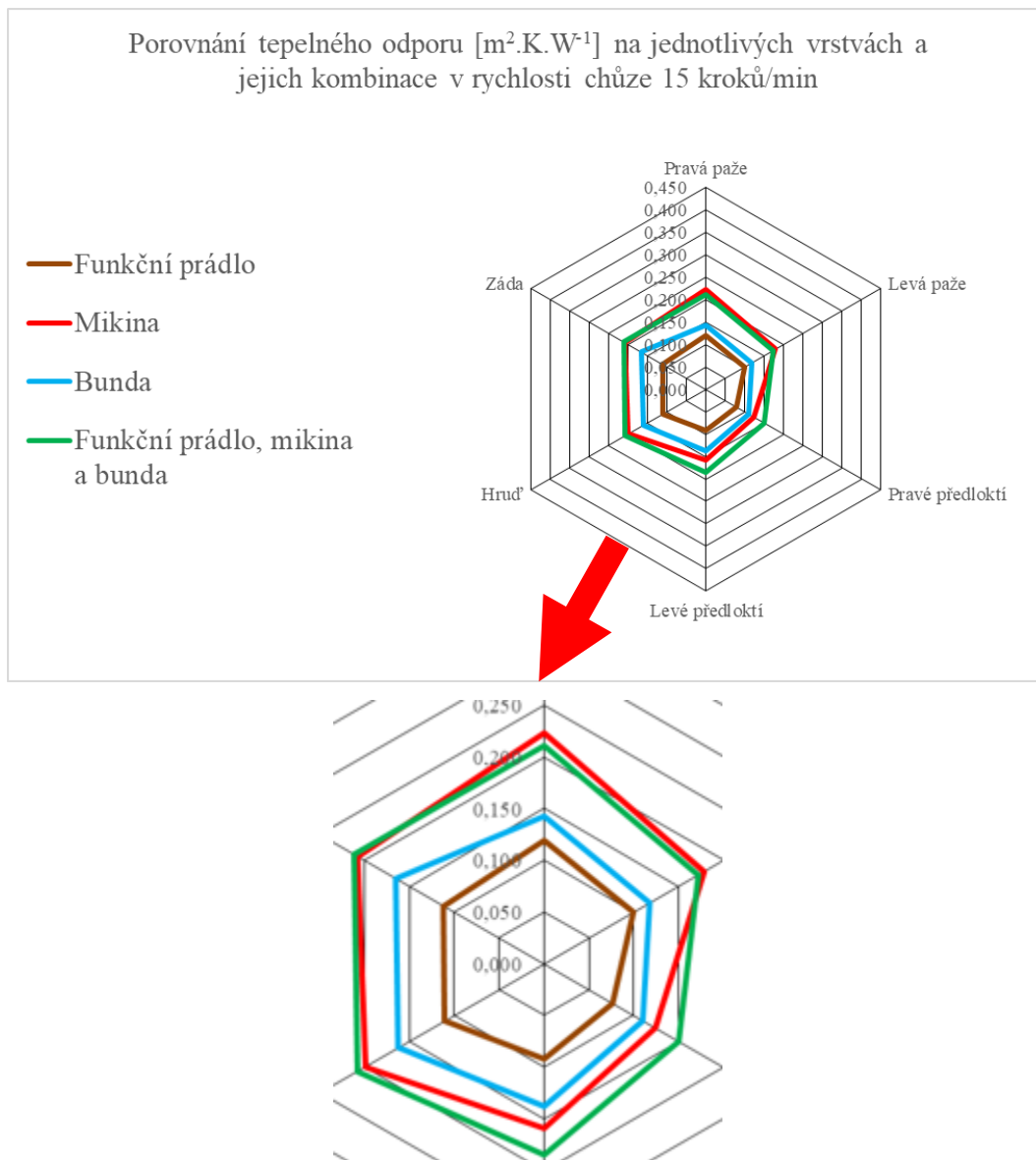
Tabulka č. 22: Naměřené hodnoty tepelného odporu všech vrstev

Zóny manekýna	V klidu				Rychlost 15 kroků/min				Rychlost 30 kroků/min			
	Tepelný odpor [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]				Tepelný odpor [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]				Tepelný odpor [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]			
	Funkční prádlo	Mikina	Bunda	Funkční prádlo, mikina a bunda	Funkční prádlo	Mikina	Bunda	Funkční prádlo, mikina a bunda	Funkční prádlo	Mikina	Bunda	Funkční prádlo, mikina a bunda
Pravá paže	0,160	0,238	0,196	0,346	0,119	0,223	0,143	0,211	0,151	0,250	0,152	0,286
Levá paže	0,133	0,194	0,159	0,275	0,100	0,178	0,118	0,172	0,123	0,187	0,123	0,220
Pravé předloktí	0,098	0,150	0,144	0,212	0,077	0,124	0,110	0,150	0,070	0,115	0,112	0,166
Levé předloktí	0,113	0,190	0,187	0,310	0,092	0,159	0,138	0,185	0,085	0,144	0,139	0,205
Hrud'	0,146	0,218	0,210	0,414	0,111	0,199	0,162	0,208	0,138	0,220	0,173	0,264
Záda	0,151	0,237	0,201	0,410	0,112	0,208	0,165	0,212	0,132	0,231	0,174	0,256
Průměr	0,133	0,204	0,183	0,328	0,102	0,182	0,139	0,190	0,116	0,191	0,146	0,233
Směrodatná odchylka	0,024	0,034	0,026	0,079	0,015	0,036	0,022	0,025	0,032	0,053	0,026	0,044
Variační koeficient	0,181	0,165	0,141	0,240	0,152	0,199	0,161	0,133	0,273	0,276	0,176	0,190



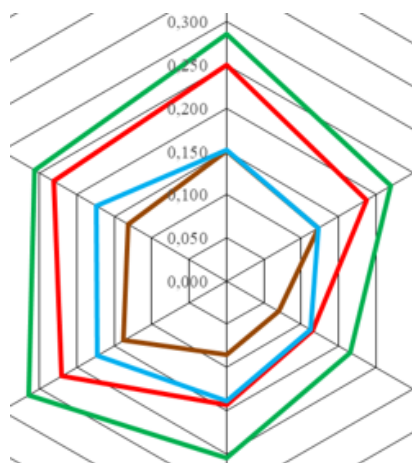
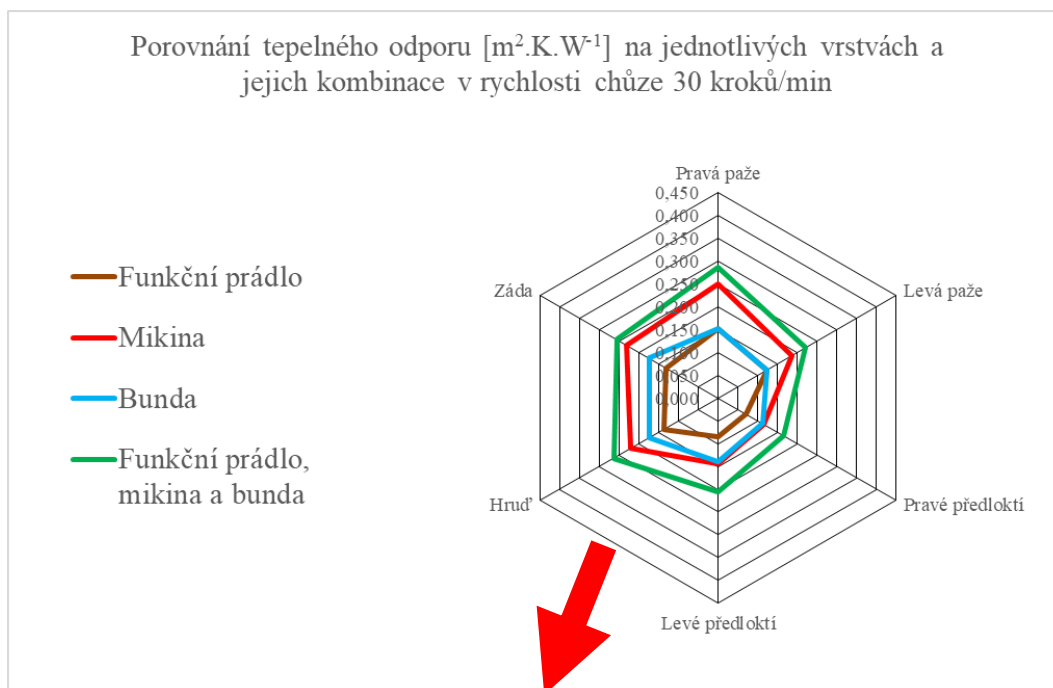
Obrázek č. 46: Porovnání tepelného odporu jednotlivých vrstev a jejich kombinace v klidu

Na obrázku č 46 je graf, který porovnává tři vrstvy, pro lepší přehlednost byly odstraněny hodnoty ze zón dolní části těla manekýna. Vidíme porovnání vrstev jednotlivě a společně měřených v klidu. U zón na zádech, paže je vývoj hodnot ideální. U vrstev mikiny a bundy je v zónách na předloktí a hrudi je naměřena stejná hodnota. Další znázornění výsledků hodnot potvrzuje, že mikina má větší tepelný odpor než bunda a funkční celek všech vrstev má hodnotu nejvyšší.



**Obrázek č. 47: Porovnání tepelného odporu tří vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 15 kroků/min**

Na obrázku č 47 je graf znázorňující naměřené hodnoty při rychlosti chůze 15 kroků za minutu. Pro lepší zobrazení výsledků byl vytvořen detail grafu. Z tabulky hodnot byly odstraněny naměřené hodnoty z tepelných zón spodní části těla a to pro přehlednější zobrazení třívrstvého oděvní celku, tvořeného termoprádlem, mikinou a bundou, které pokrývají horní část těla. Na horní polovině byly nejdříve porovnány hodnoty jednotlivých vrstev a poté všechny tři vrstvy společně. Bylo potvrzeno, že mikina má lepší tepelný odpor než bunda. Z grafu lze vyčíst, nejmenší hodnoty tepelného odporu má první vrstva, vyšší bunda a nejlepší tepelný odpor má druhá vrstva v porovnání třemi vrstvami jako celku mají velmi podobné hodnoty. Opět se při pohybu horních končetin projevuje na hodnotách působení změn vzduchových vrstev na končetinách.



**Obrázek č. 48: Porovnání tepelného odporu tří vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 30 kroků/min**

Graf na obrázku 48 porovnává tepelný odpor zón na horní polovině těla, nejdříve byly pozorovány hodnoty jednotlivých vrstev a poté všechny tři vrstvy společně. Z grafu lze vyčíst, nejmenší hodnoty tepelného odporu má první vrstva, vyšší bunda a nejlepší tepelný odpor má druhá vrstva mikina a nejvyšší hodnotu tepelného odporu mají všechny tři vrstvy jako celek. I v tomto grafu pozorujeme při pohybu horních končetin vliv vzduchových mezivrstev na naměřených hodnotách.

Manekýn není umístěn v prostředí, kde by na něj nepůsobily negativní vnější vlivy, které zkreslují měřená data. Data jsou ovlivněná nerovnoměrným prouděním okolního vzduchu.

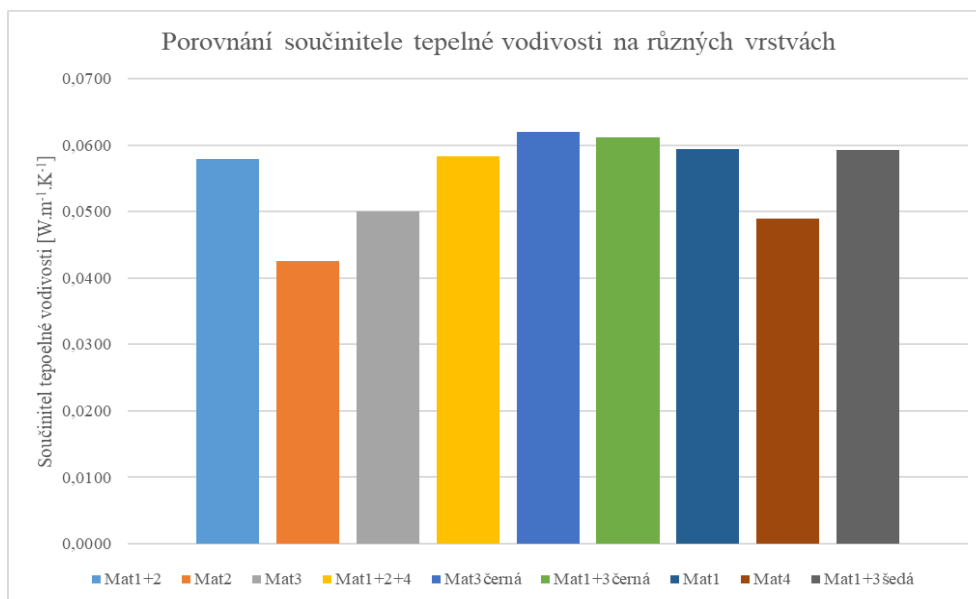
## C-THERM TCi

Tabulka č. 23: Tabulka k rozlišení vrstev a vzorků

	Vzorek – materiál č.		
1	Seamless prádlo	1+2	Seamless prádlo+ +mikina
2	Mikina	1+2+4	Seamless prádlo + mikina + bunda
3	Kalhoty	1+3 š	Seamless prádlo + kalhoty (šedá)
4	Bunda	1+3 č	Seamless prádlo + kalhoty (černá)

Tabulka č.24: Tabulka naměřených hodnot z C-THERM TCi

	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]								
	mat 1	mat 2	mat 3 š	mat 3 č	mat 4	mat 1+2	mat 1+2+4	mat 1+3š	mat 1+3č
C THERM – TCi měření	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$
1	0,059	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,059	0,061	0,062
2	0,059	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
3	0,060	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,059	0,059	0,061
4	0,060	0,042	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
5	0,059	0,042	0,050	0,062	0,049	0,058	0,059	0,059	0,061
6	0,060	0,042	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
7	0,058	0,042	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
8	0,060	0,043	0,050	0,062	0,049	0,057	0,058	0,059	0,061
Průměr	0,059	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
Sm.odchylka	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Var. koef.	0,013	0,013	0,000	0,001	0,000	0,006	0,009	0,012	0,006
Min	0,058	0,042	0,050	0,062	0,049	0,057	0,058	0,059	0,061
Max	0,060	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,059	0,061	0,062
Medián	0,060	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
25% kvartil	0,059	0,042	0,050	0,062	0,049	0,058	0,058	0,059	0,061
75% kvartil	0,060	0,043	0,050	0,062	0,049	0,058	0,059	0,059	0,061

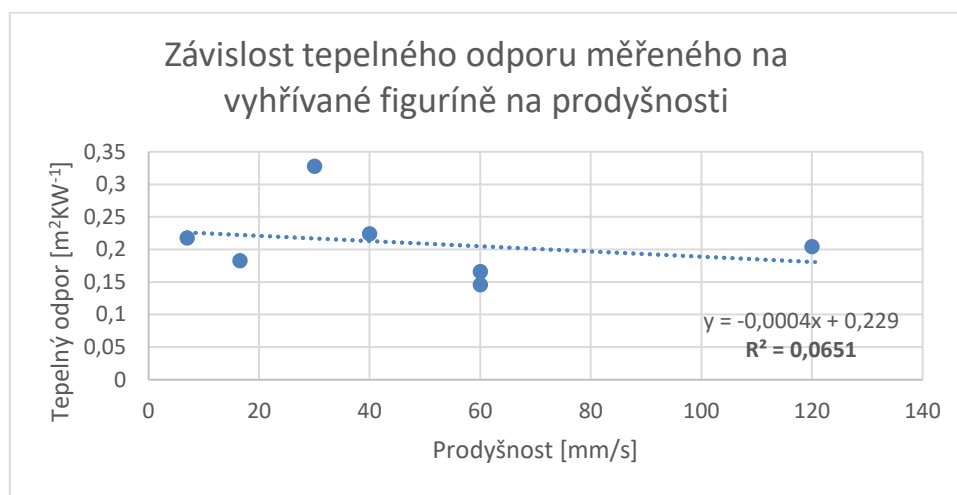


**Obrázek č. 49: Porovnání součinitele tepelné vodivosti na různých vrstvách**

Sloupcový graf na obrázku 49 znázorňuje hodnoty součinitele tepelné vodivosti jednotlivých vrstev a jejich kombinací, změřené na měřícím zařízení C-Therm TCi. Všechny hodnoty byly měřeny při okolní teplotě vzduchu 19,9 – 20,7 °C a graf znázorňuje jejich porovnání.

**Tabulka č. 24: Naměřené hodnoty prodyšnosti**

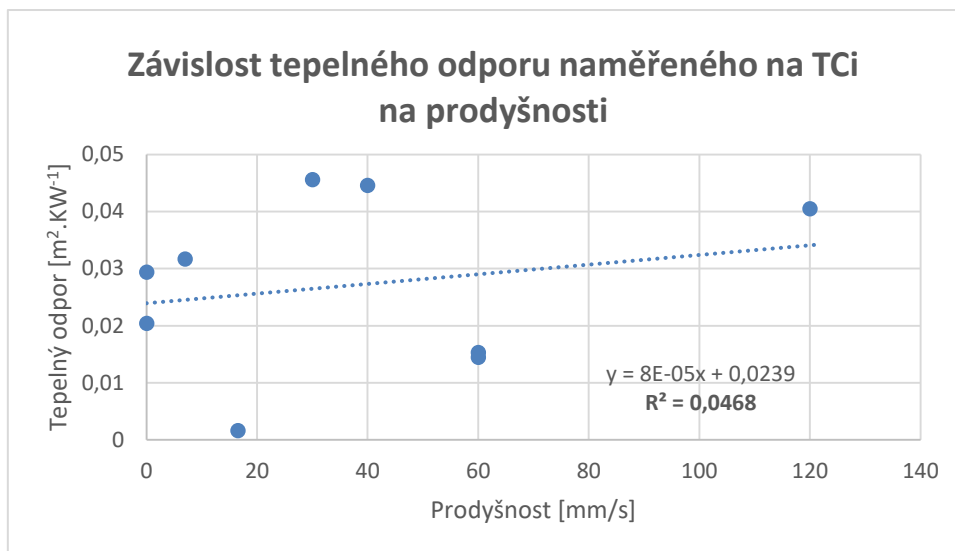
	Vzorek	Prodyšnost vzorků [mm/s] měřených při 50 [Pa]
1	Seamless prádlo	60
2	Mikina	120
3a	Kalhoty	0
3b	Kalhoty	60
4	Bunda	16,5
	1+2	40
	1+2+4	7
	1+3a	0
	1+3b	30



**Obrázek č. 50: Závislost tepelného odporu měřeného na vyhřívané figuríně na prodyšnosti**

Na obrázku 50 je znázorněna závislost tepelného odporu naměřeného na vyhřívané figuríně na prodyšnosti vzorků. Znázorněné hodnoty nepotvrzují hypotézu o závislosti mezi těmito hodnotami. Hodnota spolehlivosti  $R = 0,255$  značí velmi malou závislost.





**Obrázek č. 51: Závislost tepelného odporu naměřeného na TCi na prodyšnosti**

V Na obrázku 51 je znázorněna závislost tepelného odporu naměřeného zařízením C-THERM TCi na prodyšnosti vzorků. Znázorněné hodnoty nepotvrzují hypotézu o závislosti mezi těmito hodnotami. Hodnota spolehlivosti  $R = 0,216$  značí velmi malou závislost.

### 9.3.1 Porovnání výsledků měření na TCi a vyhříváním manekýnovi

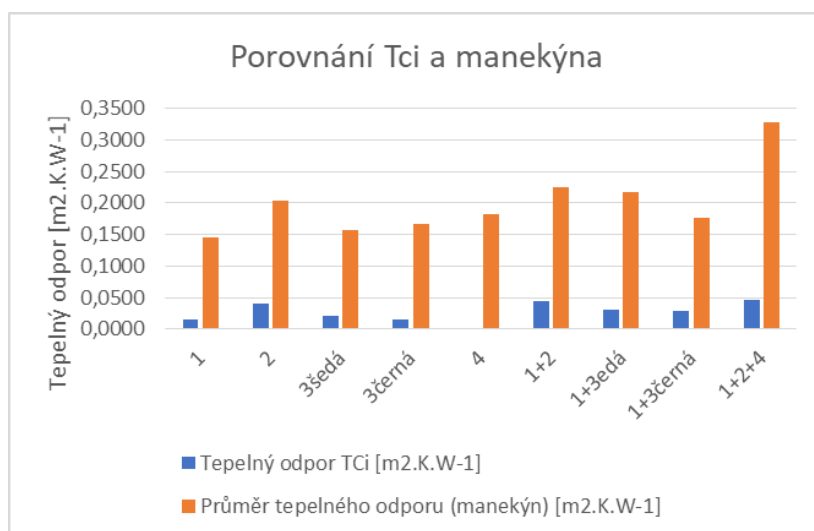
Na sloupovém grafu z obrázku 52 je vidět rozdíl v naměřených datech na dvou různých měřicích zařízeních. Největší rozdíl se vyskytuje u mikiny (sloupec č. 2 a 6) maximum a bundy (sloupec č. 5) minimum. Rozdílné hodnoty můžeme vysvětlit naprosto rozdílným principem měření na použitých zařízeních. Na TCi je měřeno v klimatizovaném laboratorním prostředí a bez okolních faktorů, které by ovlivnily výsledky měření. To dokazují i výsledky měření, kdy se jednotlivé od sebe minimálně liší. Na rozdíl od vyhřívání figuríny, kde již po zhodnocení výsledků měření můžeme tvrdit, že je ovlivněno vnějšími faktory, a proto srovnání s měřením na TCi je pouze pro představu, jakým způsobem jsou rozdílné.

$$R = h/\lambda$$

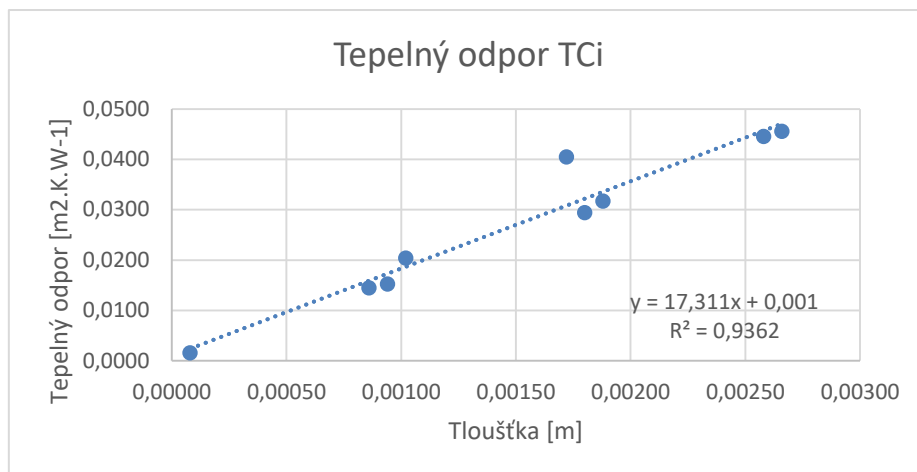
**R=tepelný odpor [m².K/W]**  
**h = tloušťka materiálu [m]**  
**λ = součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]**

Tabulka č. 25: Hodnoty materiálových vrstev

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelný odpor T <sub>Ci</sub> [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Průměr tepelného odporu (manekýn) [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]
1	0,00086	0,0145	0,1458
2	0,00172	0,0405	0,2044
3šedá	0,00102	0,0204	0,1565
3černá	0,00094	0,0153	0,1660
4	0,00008	0,0016	0,1830
1+2	0,00258	0,0446	0,2240
1+3šedá	0,00188	0,0317	0,2180
1+3černá	0,00180	0,0294	0,1765
1+2+4	0,00266	0,0456	0,3280

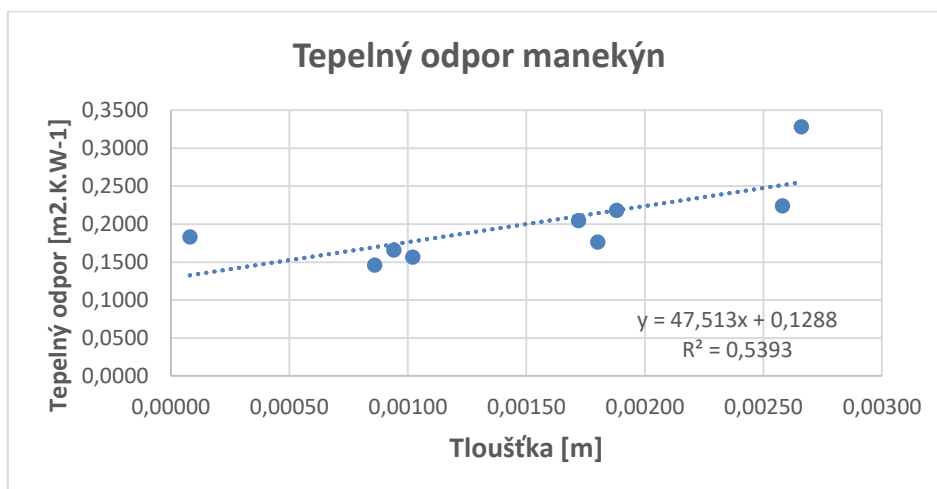


Obrázek č. 52: Porovnání tepelného odporu naměřeného na T<sub>Ci</sub> a manekýnovi



**Obrázek č. 53: Závislost tepelného odporu na tloušťce materiálu**

Graf na obrázku 53 znázorňuje závislost tepelného odporu na tloušťce měřeného materiálu. Pomocí korelační koeficientu, která hledá vzájemnou (většinou lineární) závislost a klade důraz na intenzitu vzájemného vztahu dvou proměnných, bylo vyjádřeno, že je mezi veličinami velká závislost. Hodnota spolehlivosti  $R = 0,968$  se blíží k 1, což značí velkou závislost.



**Obrázek č. 54: Závislost tepelného odporu na tloušťce materiálu**

Graf na obrázku 54 znázorňuje závislost tepelného odporu na tloušťce měřeného materiálu. Pomocí korelační koeficientu, která hledá vzájemnou (většinou lineární) závislost a klade důraz na intenzitu vzájemného vztahu dvou proměnných, bylo vyjádřeno, že je mezi veličinami závislost. Hodnota spolehlivosti  $R = 0,734$ , což značí závislost.

### 9.3.2 Přepočet na jednotky Clo

Pro lepší představu byly naměřené hodnoty průměrů jednotlivých oděvních souborů přepočteny na jednotku Clo podle následující závislosti:

$$1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}.$$

*Tabulka č. 26: Přepočet na jednotky Clo*

	<b>R [K·m<sup>2</sup>·W<sup>-1</sup> ]</b>	<b>Přepočet na jednotku Clo</b>	<b>Clo (tabulka č. 2 na straně 21)</b>
<b>Funkční prádlo</b>	0,0145	<b>0,094</b>	<b>0,1</b>
<b>mikina</b>	0,0405	<b>0,26</b>	<b>0,2</b>
<b>bunda</b>	0,0016	<b>0,01</b>	<b>0,25</b>
<b>kalhoty</b>	0,0204	<b>0,013</b>	<b>0,2</b>
<b>Funkční prádlo + mikina</b>	0,0446	<b>0,29</b>	<b>0,26</b>
<b>Funkční prádlo mikina kalhoty bunda</b>	0,0456	<b>0,3</b>	<b>0,45</b>

Podle tabulky 27, kde jsou uvedené přepočítané hodnoty vidíme, že se od hodnot, které jsou dané příliš neliší.

## Tepelný odpor vyjádřený v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna

Tabulka č. 27: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna u první vrstvy

Tepelný odpor [ $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ]				
	Funkční prádlo v rychlostech [kroků/min]			
	0	15	20	30
<b>R<sub>ct</sub> - Průměr zón manekýna</b>	0,132	0,117	0,118	0,111
	Zrychlením z 0 na 15 kroků/min se R o 11,34 % sníží	Zrychlením z 15 na 20 kroků/min se R o 0,15 % zvýší	Zrychlením z 20 na 30 kroků/min se R o 0,8 % sníží	
	Zrychlením z 0 na 20 kroků/min se R <sub>ct</sub> o 10,6 % sníží			
	Zrychlením z 0 na 30 kroků/min se R <sub>ct</sub> o 15,9 % sníží			

Tabulka č. 28: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna druhé vrstvy

Tepelný odpor [ $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ]				
	Velká mikina, kalhoty v klidu	Mikina, kalhoty v klidu	Mikina, kalhoty v chůzi o rychlosti 15 kroků/min	Mikina, kalhoty v chůzi o rychlosti 30 kroků/min
<b>R<sub>ct</sub> - průměr zón manekýna</b>	<b>0,220</b>	<b>0,187</b>	<b>0,165</b>	<b>0,172</b>
	Velká mikina R je o 17,6 % více než mikina ideální velikosti	Zrychlením z 0 na 15 kroků/min se R o 11,8 % sníží	Zrychlením z 15 na 30 kroků/min se R o 4,2 % sníží	Zrychlením z 0 na 30 kroků/min se R o 8,1 % sníží

Tabulka č. 29: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna u první a druhé vrstvy

Tepelný odpor [ $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ]				
	Spodky, funkční prádlo, velká mikina, kalhoty v klidu	Spodky, funkční prádlo, mikina, kalhoty v klidu	Spodky, funkční prádlo, mikina, kalhoty v chůzi 15 [kroků/min]	Spodky, funkční prádlo, mikina, kalhoty v chůzi 30 [kroků/min]
<b>R<sub>ct</sub> - Průměr zón manekýna</b>	0,289	0,224	0,165	0,215
	Oděvní systém s velkou mikinou R je o 29 % více než s mikinou ideální velikosti	Zrychlením z 0 na 15 kroků/min se R o 26,3 % sníží	Zrychlením z 15 na 30 kroků/min se R o 30,3 % zvýší	Zrychlením z 0 na 30 kroků/min se R o 4,1 % sníží

Tabulka č. 30: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna u první, druhé a třetí vrstvy

	Tepelný odpor - R [ $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ]					
	v klidu	Rozdíl v [%] při změně rychlosti 0 na 15 kroků/min ➡	Chůze 15 kroků/min	Rozdíl v [%] při změně rychlosti 15 na 30 kroků/min ➡	Chůze 30 kroků/m in	Rozdíl v [%] při změně rychlosti 0 na 30 kroků/min ➡
<b>Funkční prádlo</b>	0,133	-23,32	0,102	+11,37	0,116	-12,8
<b>Mikina</b>	0,204	-10,8	0,182	+4,95	0,191	-6,37
<b>Bunda</b>	0,1795	-22,56	0,139	+5,04	0,146	-18,64
<b>Funkční prádlo + mikina</b>	0,224	-26,34	0,165	+30,3	0,215	-4,1
<b>Funkční prádlo + mikina + bunda</b>	0,328	-42,08	0,190	+22,6	0,233	-28,93
<b>průměr v [%] ➡ rozdílu při změně rychlosti</b>		<b>-25,02 %</b>		<b>+14,85 %</b>		<b>-14,17 %</b>

Tabulka č. 30 uvádí změnu v hodnotách tepelného rozdílu v procentech. U jednotlivých vrstev byl spočítán rozdíl v procentech, způsobený změnou rychlosti kroků. Z těchto výsledků byl vypočítán průměr.

- Při změně rychlosti chůze z klidu na 15 kroků za minutu se tepelný odpor sníží o 25,02 %.
- Při zvýšení rychlosti z 15 kroků za minutu na 30 kroků za minutu se tepelný odpor zvýší o 14,85 %.
- Při změně rychlosti chůze z klidu na 30 kroků za minutu se tepelný odpor sníží o 14,17 %.

## 9.4 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Předpokládané hypotézy z výsledků měření:

- H1 - Se zvyšující se rychlostí se bude hodnota tepelné izolace snižovat.
- H2 - Přidáním vrstev bude hodnota tepelného odporu vyšší.
- H3 - Čím větší prodyšnost, tím menší hodnota tepelného odporu.
- H4 - Čím větší tloušťka materiálu je, tím bude větší hodnota tepelné izolace

**Hypotéza H1** – Se zvyšující se rychlostí se bude hodnota tepelného odporu snižovat, byla potvrzena vždy při změně rychlosti z klidu na 15 kroků za minutu a to u jednotlivých vrstev, i jejich kombinací. Při změně rychlosti z 15 na 30 kroků za minutu byla tato hodnota vyšší, ale nižší než hodnota v klidu. Opět se tyto výsledky opakovaly jak u jednotlivých vrstev, tak jejich kombinací. Tento jev je ovlivněn působením vnějších faktorů, jako je cirkulace vzduchu, proudícím vzduchem ze dveří (na chodbě je vyšší teplota než v místnosti, kde je měřeno), pohyb končetin figuríny, kdy dochází ke stlačování vrstev a tím zvětšení či zmenšení vzduchových mezivrstev v oděvním systému. Také je možné, že při zvýšení rychlosti manekýn začíná produkovat více tepla pro udržení konstantní teploty těla a k ochlazení dochází u končetin, které se pohybují a tím i ochlazují a ostatní zóny se pouze více ohřívají.

Pro přesnější výsledky by bylo vhodné místo pro měření oddělit stěnou, která by zabránila proudění vzduchu k figuríně. Při porovnání hodnot z první vrstvy při rychlosti chůze 0, 15, 20 a 30 kroků můžeme podle vyjádření z grafu na obrázku 37 a 39, že zde existuje závislost mezi hodnotou tepelného odporu a zvyšující se rychlostí. Platí zde, čím vyšší rychlost, tím nižší tepelný odpor. **Hypotézu H1 podle těchto výsledků můžeme potvrdit.**

**Hypotéza H2** - Přidáním vrstev bude hodnota tepelného odporu vyšší – tuto hypotézu můžeme jednoznačně potvrdit při porovnání hodnot naměřených v klidu. Pokud budeme porovnávat hodnoty změřené při rychlostech chůze tak opět hypotézu potvrdíme na zónách, které jsou statické. Zóny, které se pohybují, mají hodnoty ovlivněné působením vnějších faktorů.

**H2 – Potvrzena u hodnot naměřených v klidu.**

**Hypotéza H3** - Čím větší prodyšnost, tím menší hodnota tepelného odporu. V grafech, kde se hledala závislost mezi hodnotami, byla prokázána závislost velmi malá. Na obrázku 51 a 52.

**H3 hypotéza nebyla prokázána.**



**H4** - Čím větší tloušťka materiálu je, tím bude větší hodnota tepelné izolace. V grafech, kde se hledala závislost mezi hodnotami, byla prokázána závislost velmi velká. Na obrázku 54 a 55.

**H4 hypotéza byla podle naměřených hodnot potvrzena.**

Z důvodu zvoleného způsobu testu „DRY“ pro zjištění tepelného odporu, musíme při dynamických situacích zanedbávat transport vlhkosti, který by zde byl při objektivním hodnocení zahrnutý a výsledky testování bezpochyby ovlivňoval. Dalším faktorem, o kterém je velice důležité se zmínit je, že tělo vyhřívané figuríny se nepohybuje, pohyb vykonávají pouze jeho končetiny, ale nebylo možné jejich rychlost přepočítat na jiné jednotky, neboť pohyb figuríny je zde složený - končetiny jej vykonávají dopředu a dozadu a tělo je statické. V případě, že se hodnotí pouze průměr zón celého těla manekýna, tento faktor je zanedbatelný, ale v této práci bylo provedeno hodnocení podrobnější z jednotlivých zón a ovlivněné výsledné hodnoty při porovnání nepotvrdily předpoklady o snižování tepelného odporu při zvyšující se rychlosti chůze na všech měřených zónách, bylo evidentní, které z nich jsou v pohybu a které statické.

Posledním vyhodnocením bylo, že u jednotlivých vrstev byl spočítán rozdíl v procentech. Nejprve se přepočet provedl na jednotlivých vrstvách a jejich kombinacích, dále při změně rychlosti chůze. Můžeme říci, že průměrně se při změně rychlosti chůze z klidu na 15 kroků za minutu se tepelný odpor sníží o 25,02 %. Při zvýšení rychlosti z 15 kroků za minutu na 30 kroků za minutu se tepelný odpor zvýší o 14,85 %. Při změně rychlosti chůze z klidu na 30 kroků za minutu se tepelný odpor sníží o 14,17 %. Změna rychlosti chůze má tedy vliv na tepelné ztráty, při zvyšující se rychlosti se zvětšují, ale proti tomuto jevu působí větší produkce tepla z těla, v našem případě vyhřívané figuríny.

Rozdíl při měření dvou různých velikostí vzorku 5 (mikiny) z druhé vrstvy bylo zjištěno, že její naměřená data prokazují o 29 % větší tepelný odpor než mikina s upravenou velikostí (mikina velká - 0,289 [Rct], mikina vel. 140 -0,224 [Rct]). Tento rozdíl způsobuje mnohem větší vrstva vzduchu, která se nacházela v prostoru mezi vrstvami, bylo měřeno v klidu, to znamená, že vrstva vzduchu nebyla stačována vlivem pohybu horních končetin. Tyto vlastnosti se využívaly v dřívějších dobách, kdy neexistovaly funkční materiály. V dnešní době, kdy lze oděv s nadsázkou „naprogramovat“ na jaký účel a počasí má fungovat, je zbytečné oblékat děti do velikostí po tatínkovi. Výhodou může být pouze udržení tepla, z hlediska praktického a estetického je to nevyhovující.

Podle získaných hodnot nelze vztahy mezi naměřenými hodnotami zobecnit. Je zde příliš faktorů, které měření ovlivnily.

Po porovnání a sledování naměřených hodnot je zcela nutné potvrdit, že vyhřívaná figurína je velice citlivé měřicí zařízení, které je ovlivněno i sebemenším vnějším vlivem, proto je vhodná k měření tepelného komfortu ve vnitřních prostorách budov. Díky nezávisle měřitelným zónám je možné zachytit sebemenší cirkulaci vzduchu. Z tohoto důvodu je také možno říci, že měření tepelně izolačních vlastností na manekýnovi je částečně objektivní. Toto by bylo možné v uzavřeném prostoru, kdy by nepůsobily vnější vlivy, tímto způsobem by se získaly hodnoty, které by určily přesnou míru tepelné izolace oděvu a oděvního celku. Je tedy vždy na zvolené metodě, co je prioritou a předmětem zkoumání.

Provedené měření je možné použít jako výchozí experiment pro další práci, kdy objektivní měření by mělo být provedeno na živém probandovi, který by měl umístěné měřicí senzory a tím by bylo možné změřit reálný pohyb a faktory, které by výsledky ovlivňovaly.

## 10 ZÁVĚR:

Funkční oděvy jsou součástí šatníku každého z nás, pro jejich praktičnost a funkčnost je jejich užití přínosné celoročně. Při správném používání a vhodné údržbě vydrží dlouho funkční. Funkční oděvy lze dělit podle několika aspektů, například podle ročního období, typu sportu, náročnosti na funkčnost. Speciální oděvy pro extrémní výkony mají vyšší cenu a jsou určeny do extrémních podmínek jak sportovních, tak i pracovních – vojáci, hasiči, záchranáři, vrcholoví sportovci, horolezci a pro mnoho dalších aktivit.

Každý z nás zažil situace, že se oblékl do několika vrstev oděvu a i po malé fyzické námaze se zpotil a pocítil pocit chladu. Příčinou je špatný výběr oděvu, nebo špatná kombinace vrstev. Vícevrstvý oděv je nutné vnímat jako celek, který má fungovat k účelu, ke kterému je určen. V dnešním světě s rychlým pokrokem ve všech odvětvích je na trhu nabídka funkčního oblečení v nepřeberném množství. Proto by měl mít zákazník jistotu, že tvrzení prodejců o kvalitě oděvů je podloženo laboratorním testováním. Výzkum a kontrola v laboratořích je důležitou součástí i pro vývoj nových technologií, vláken, jejich modifikací pro funkční oděvy.

Dalším důvodem, proč koupit kvalitní výrobek, je i ochrana přírody. Když bude splňovat požadované nároky a zákazník bude provádět údržbu podle pokynů, nebude nutné kupovat zbytečně oděvy, které skončí v kontejnerech či v koloběhu recyklace.

Při výběru funkčních oděvů je velmi důležitý vhodný střih, funkční vrstvy musí přiléhat k tělu. Jednotlivé vrstvy by měly splňovat určitý koeficient volnosti, kdy nejmenší koeficient má první vrstva a největší poslední, třetí vrstva, která vše „kryje“. Pokud by tomu bylo naopak, že vnitřní vrstvu bude stlačovat vnější vrstva, bude vytlačovaná vzduchová izolační vrstva, oděv nebude komfortní a tím bude ovlivněna funkčnost.

Závěrem práce, na základě výsledků provedených testů a porovnání je možné konstatovat, že podle předpokladu každá vrstva oděvu plní svůj účel. Záleží na spotřebiteli a jeho přístupu, zda správně využije v praxi funkčnosti vícevrstevných oděvů. Podmínkou je dodržet pravidla užití a údržby doporučená výrobcem, využívat maximálně funkční možnosti oděvů ve vhodném prostředí, pro daný účel a výkon, vybrat správný střih a velikost podle tělesné konstituce. V každém případě vícevrstvé obohacují život lidí ve 21. století, umožňují jim nejen komfortní využití při sportu a rekreaci, ale také ochraňují populaci ve ztížených povětrnostních podmínkách a při výkonu náročných povolání.

## SEZNAM CITACÍ:

- [1] HES, L., SLUKA, P. Úvod do komfortu textilií. Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0
- [2] SHISHOO, Roshan, ed. Textiles for sportswear. Cambridge: Woodhead publishing, [2015]. Woodhead publishing series in textiles, number 162. ISBN 978-1-78242-229-7
- [3] SONG, G. ed. Improving comfort in clothing. Oxford: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing series in textiles, no. 106. ISBN 978-1-84569-539-
- [4] FARNWORTH B. Mechanisms of Heat Flow Through Clothing Insulation. Textile Research Journal December 1983 53: 717-725, doi:10.1177/004051758305301201
- [5] ASTM F 1291-16 Standard test method for measuring the thermal insulation of clothing using a heated manikin. West Conshohocken: ASTM International, 2016
- [6] CENTNEROVÁ Lada. Odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov [online]. © 2000 [cit. 15. 11. 2020]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [7] WIKIPEDIE [online]. Teplota vlhkého teploměru. [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z: [https://cs.qaz.wiki/wiki/Wet-bulb\\_temperature](https://cs.qaz.wiki/wiki/Wet-bulb_temperature)
- [8] Thermal Manikins and modelling, Edited by Jintu Fan, The Hong Kong Polytechnic University Hong Kong, ISBN 962-367-534-8
- [9] RUBINOVÁ Olga, 2013. Tepelná pohoda a tepelná rovnováha člověka [online]. [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/306647-Tepelna-pohoda-a-tepelna-rovnovaha-cloveka.html>
- [10] INSULATION OF SAFETY FOOTWEAR: Effect of Steel Toe Cap in the Cold by KALEV KUKLANE Department of Human Work Sciences Division of Industrial Ergonomics 1997:27•ISSN: 1402-1757• ISRN: LTU -LIC- -97/27- -SE. KKuklane',HNilsson, I Ho1m6r,XLiu National Institute for Working Life Department of Ergonomics, Solna, Sweden
- [11] ŠEVEČEK Jan, *Testování vnitřního prostřednictvím tepelného manekýna*, Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Bc. Jan Fišer, PhD.
- [12] ENERGETICKÉ FÓRUM. Tepelný manekýn Newton [online]. [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/pristrojove-vybaveni/tepelny-mankyn-newton>
- [13] Thermetrics [online]. Child Thermal Manikin © 2020 [cit. 16. 12. 2020]. Dostupné z: <https://thermetrics.com/products/manikin/sonny/>

- [14] QUINSUN INSTRUMENT CO., LTD [online] 2020. Comfortable Thermal Manikin [cit. 30. 4. 2020]. Dostupné z: [http://www.qinsun-lab.com/315.html?gclid=Cj0KCQiAoab\\_BRCxARIsANMx4S5tIbPrcw-pvMz2MDfVrO5FBn0KwYmmWnHexjTYRe30jbg7l0IovfoaAg6HEALw\\_wcB](http://www.qinsun-lab.com/315.html?gclid=Cj0KCQiAoab_BRCxARIsANMx4S5tIbPrcw-pvMz2MDfVrO5FBn0KwYmmWnHexjTYRe30jbg7l0IovfoaAg6HEALw_wcB)
- [15] FIALA DUSAN. *Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort*. June 1998. Institute of Energy and Sustainable Development DE MONTFORT UNIVERSITY LEICESTER and Joseph-von-Egle Institut für angewandte Forschung FH STUTTGART - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK [online]. [cit. 16. 12. 2020]. Dostupné z: <https://dora.dmu.ac.uk/handle/2086/4129>
- [16] Operator's Manual For Child Thermal Manikin Serial #504-XX, © Thermetrics®
- [17] Přednáška Ing. GLOMBÍKOVÁ Viera, Ph.D. – Hodnocení fyziologického komfortu II a III. 7. přednáška, předmět „Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů“, TUL 2020
- [18] BIRTEX [online]. [cit. 30. 4. 2020]. *Thermocool*. Dostupné z: <http://www.quality-fabrics.com/mattress-ticking/technical-yarns/technical-yarns-thermocool.php>
- [19] HIGH POINT - SPORT SCHWARZKOPF s.r.o. [online]. *ThermoCool* © 2020 [cit. 16. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.highpoint.cz/materialy/thermocool.html>
- [20] KLIMATEX [online]. © 2020 [cit. 6. 10. 2020]. *Vyberte si ideální termoprádlo*. Dostupné z: <https://www.klimatex.eu/>
- [21] LAMKOVÁ Radka, *Měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů v proudícím vzduchu*. Liberec 2017. Diplomová práce. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra oděvnictví. Vedoucí práce Ing. Petra Komárková, Ph.D.
- [22] Přednáška Ing. MUSILOVÁ Blažena, Ph.D. – Orientace na lidském těle, přednáška 8. týden, předmět „Projekt oděvního výrobku“, TUL 2021
- [23] Intrnetová učebnice fyziologie ASEBS 2013 [online]. [cit. 2. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/fyziologie/fyziologie-a-patofyziologie>
- [24] LUXOVÁ Zdeňka, *Studie vlivu oděvního komfortu oděvů využívaných na sportovní činnosti se zaměřením na cyklistiku*. Liberec 2005. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra oděvnictví.
- [25] WIKIPEDIE OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIIE [online]. Šíření tepla [cit. 2. 12. 2020]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD\\_tepla](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_tepla)
- [26] WISZCZOROVÁ Zuzana. *Vedení a průchod tepla vrstvou oděvního výrobku a návrh optimálního řešení vybraného oděvního výrobku nošeného v chladném nebo teplém prostředí*.

Prostějov 2006. Bakalářská práce. Technické univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra oděvnictví. Vedoucí práce: Ing. Mgr. Marie Nejedlá.

[27] Přednáška Vlastnosti vláken - Tepelné vlastnosti vláken, prof. Ing. Jiří Militký, CSc., doc. RNDr. Jiří Vaníček, CSc, katedra textilních materiálů, TF, TÚ Liberec Vlastnosti vláken [online]. [cit. 2. 12. 2020] [file:///C:/Users/mikis/Downloads/Prednaska%203%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mikis/Downloads/Prednaska%203%20(1).pdf)

[28] NABLA.CZ [online]. [cit. 2. 12. 2020]. Tepelná kapacita, měrná tepelná kapacita. Dostupné z: <http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/molekulova-fyzika-a-termika/tepelna-kapacita-merna-tepelna-kapacita.php>

[29] WIKISKRIPTA, Tepelné ztráty organismu, Termoregulace [online] [cit. 10. 11. 2020] [www.wikiskripta.eu/w/](http://www.wikiskripta.eu/w/)

[30] ŠUBRT Radim, *Hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu*. Liberec 2006. Disertační práce. Technické univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra oděvnictví. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs.

[31] MULTIMEDIÁLNÍ ROČENKA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, *Přenos tepla* [online]. [cit. 2. 12. 2020]. Dostupné z: [http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=prenos\\_tepla&site=energie](http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=prenos_tepla&site=energie)

[32] MACOUN DAVID. *Porovnání metod pro testování propustnosti pro vodní páry*. Liberec 2015. Diplomová práce. Technické univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra hodnocení textilií. Vedoucí práce: Ing. Tereza Heinisch

[33] KYSELOVÁ ALŽBĚTA. *Význam prodyšnosti textilních materiálů z hlediska spotřebitele*. Liberec 2011. Bakalářská práce. Technické univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra oděvnictví. Vedoucí práce Ing. Marie Havlová, Ph.D.

[34] VOKOUNOVÁ LUCIE. *Materiály pro pracovní oděvy*. Liberec 2008. Bakalářská práce. Technické univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Hana Štočková

[35] ČSN EN ISO 11092. Textilní suroviny a výrobky - zkoušení textilních plošných výrobků Dostupné z: [http://www.technicke-normy-csn.cz/800819-csn-en-31092\\_4\\_20073.html](http://www.technicke-normy-csn.cz/800819-csn-en-31092_4_20073.html)

[36] METEOAKTUALITY [online]. Projekt seriózního média v oblasti hydrometeorologie a klimatologie. [cit. 2. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.pocasimeteoaktuality.cz/wind-chill-a-heat-index-aneb-pocitova-teplota/>

[37] WIKIPEDIE INTERNETOVÁ ENCYKLOPEDIIE [online]. ASHRAE 55 [citace 6. 12. 2020]. Dostupné z [en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE\\_55](http://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55)

[38] ENESCU, D. Modely a indikátory pro posouzení tepelné prosvěcení za ustáleného stavu a přechodných podmínek. *Energie* 2019, 12, 841. [online] [cit. 20. 12. 2020]. Dostupné z: [doi.org/10.3390/en12050841](https://doi.org/10.3390/en12050841)

- [39] WIKIPEDIE OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE, [online] Aerodynamika [cit. 20. 12. 2020]. Dostupné z: [cs.wikipedia.org/wiki/Aerodynamika](https://cs.wikipedia.org/wiki/Aerodynamika)
- [40] DOSTÁLOVÁ BOHUMILA. *Studie možností využití manekýnů ve fyziologickém experimentu*. Liberec 2006. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra oděvnictví. Vedoucí práce Ing. Andrea Halasová
- [41] TÁRNOK GÁBOR. *Aerodynamická interakce dvou vozidel*. Brno 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilového a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jan Vančura Bc.
- [42] LINKOVÁ MICHAELA. *Ověření možnosti využití přístroje mmt*. Liberec 2015. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Katedra hodnocení textilií. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
- [43] HOMOLOVÁ LENKA, *Fyziologické vlastnosti vybraných sportovních oděvů*, Liberec 2012, Bakalářská práce. TUL Liberec, Fakulta textilní. Vedoucí práce Doc. Ing. Antonín Havelka
- [44] HORVÁTHOVÁ JANA, KABELE KAREL. ANZDOC [online]. *Využití tepelného modelu člověka pro analýzu tepelné pohody v budovách*. Laboratoř vnitřního prostředí, UCEEB, ČVUT, Buštěhrad. [cit. 20. 12. 2020]. Dostupné z: <https://adoc.pub/vyuiti-tepelneho-modelu-lovka-pro-analyzu-tepelne-pohody-v-b.html>
- [45] ODINWEAR.EU [online]. Layer principl [obr.]. [Cit. 20. 12. 2020]. Dostupné z: [www.odinwear.eu/en/layer\\_principle/](http://www.odinwear.eu/en/layer_principle/)
- [46] SLIDEPLAYER.CZ. Transkript prezentace - Laminární proudění pod drobnohledem [online]. [cit. 20. 12. 2020]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2897094/>
- [47] KNÍŽEK, Roman. *Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity*. Liberec 2013: Technická univerzita v Liberci,. ISBN 978-80-7494-012-5.
- [48] TEPLA A MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA [online] [cit. 20. 12. 2020] Dostupné z: [www.gvp.cz/~horyna/fyzika/1/Teplo/](http://www.gvp.cz/~horyna/fyzika/1/Teplo/)
- [49] NORMY BIZ, norma ČSN EN ISO 9237 , [online] [cit. 16. 2. 2021]. Dostupné z: [shop.normy.biz/detail/20590#nahled](http://shop.normy.biz/detail/20590#nahled)
- [50] TUL LIBEREC, *Testování fyziologických vlastností plošných textilií*, [online] [cit. 20. 12. 2020]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-fyziologickeho-komfortu-a-specialnich-mereni>
- [51] WIKIPEDIE INTERNETOVÁ ENCYKLOPEDIE [online]. [citace 6. 12. 2020]. Dostupné z: [en.wikipedia.org/wiki/Coolmax](https://en.wikipedia.org/wiki/Coolmax)

- [52] E-LTEX, *Průvodce obchodováním s textílem a oděvy*, [online]. [citace 6. 12. 2020]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/466/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Polyamidova-vlakna.html>
- [53] MAGAZÍN O FUNKČNÍM PRÁDLE, TERMOPRÁDLE, *Polypropylén* [online] [cit. 16. 2. 2021]. Dostupné z: [www.funkcni-pradlo.eu/polypropylen/](http://www.funkcni-pradlo.eu/polypropylen/)
- [54] KLIMATEX, a.s., *Polyamidová vlákna*, [online] [cit. 16. 2. 2021]. Dostupné z: [www.klimatex.eu/cz/home/seamless](http://www.klimatex.eu/cz/home/seamless)
- [55] WIKIPEDIE OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIÉ, [online],[citace 6. 12. 2020]. Dostupné z: [cs.wikipedia.org/wiki/Softshell](https://cs.wikipedia.org/wiki/Softshell)
- [56] WIKIPEDIE INTERNETOVÁ ENCYKLOPEDIÉ [online], [citace 6. 12. 2020]. Dostupné z: [en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_manikin](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_manikin)
- [57] C-THERM TCI operator manual-pollution research group [online ] [cit. 15. 4. 2021]. Dostupné z: [webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2DmVJjQEzUJ:prg.ukzn.ac.za/docs/default-source/laboratory-documents/thermal-conductivity-analyser-\(tci-2-a\).pdf%3Fsfvrsn%3D2+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2DmVJjQEzUJ:prg.ukzn.ac.za/docs/default-source/laboratory-documents/thermal-conductivity-analyser-(tci-2-a).pdf%3Fsfvrsn%3D2+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz)
- [58] TESTEX TEXTILE, [online], [citace 6. 12. 2020]. Dostupné z: [www.testertextile.com/product/sweating-guarded-hotplate-tf129/?gclid=Cj0KCQiA7YyCBhD\\_ARIsALkj54pLhY1S0MuqDE8QDjAnrre7qyXkO1H61Dv8CFTH5BkWAPyKot2jwL8aAvxUEALw\\_wcB](http://www.testertextile.com/product/sweating-guarded-hotplate-tf129/?gclid=Cj0KCQiA7YyCBhD_ARIsALkj54pLhY1S0MuqDE8QDjAnrre7qyXkO1H61Dv8CFTH5BkWAPyKot2jwL8aAvxUEALw_wcB)
- [59] VÝZKUM VE SPORTOVNÍM TRÉNINKU III, *Funkční materiály a jejich vliv na tepelný komfort sportovce*, [online], [citace 6. 12. 2020]. Dostupné z: [www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-15/03.html](http://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-15/03.html)
- [60] Manikins for textile evaluation, 1st edition, Editors: Rajkishore Nayak Rajiv Padhye, Woodhead Publishing 2017, Hardcover ISBN 970081009093, Ebook ISBN: 970081009505
- [61] ATSM D7984-16, [online], [citace 6. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.normadoc.com/spanish/astm-d7984-16.html>
- [62] ČSN EN ISO 5084 (800044)-[online], [citace 6. 5. 2021]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/51187>
- [63] ČSN EN ISO 9237 (800817), [online], [citace 6. 5. 2021]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/20590>
- [64] SANTRA technology, SATRA STM 511, Sweating guarded hotplate, [online], [citace 6. 5. 2021] [https://www.satrap.com/test\\_equipment/machine.php?id=189](https://www.satrap.com/test_equipment/machine.php?id=189)



## SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek č. 1: Schéma řešení fyziologie odívání .....	14
Obrázek č. 2: Tepelná rovnováha člověka [9].....	17
Obrázek č. 3: Teplota kůže v chladném a teplém prostředí [9].....	17
Obrázek č. 4: Systém termoregulace v lidském těle [1].....	18
Obrázek č. 5: Izolace souborů oblečení v jednotkách clo muži/ženy [9].....	22
Obrázek č. 6: Ustálený tepelný tok přes desku plochy [27].....	23
Obrázek č. 7: Vyjádření tepelných vlastností polymerů ku tepelné vodivosti [27] .....	24
Obrázek č. 8: Schéma pasivního systému – [15] .....	26
Obrázek č. 9: Převodní tabulka ochlazování větrem [36] .....	29
Obrázek č. 10: Laminární a turbulentní proudění [47].....	30
Obrázek č. 11: Schéma prostupu vzduchu [33].....	32
Obrázek č. 12: Funkční systém třívrstvého oděvu podle Hes (2005) [1].....	34
Obrázek č. 13: Princip vrstvení oděvů [45].....	34
Obrázek č. 14: Funkce membrány SYMPATEX [13] .....	38
Obrázek č. 15: Rozdělení těla figuríny na jednotlivé zóny [11] .....	40
Obrázek č. 16: Segmenty těla a příklady tepelných uzlů. [38] .....	41
Obrázek č. 17: Potící se torzo [40].....	43
Obrázek č. 18: Vnitřní uložení v hlavě manekýna [11].....	45
Obrázek č. 19: Vybavení systému [16] .....	46
Obrázek č. 20: Model figuríny – teplotní zóny [16].....	47
Obrázek č. 21: Obrazovka - 4 hlavních oblasti [16].....	48
Obrázek č. 22: Obrazovka experimentu [16] .....	49
Obrázek č. 23: Nastavení měření při chůzi nebo klidu [16].....	49
Obrázek č. 24 SATRA STM 511 [64].....	56
Obrázek č. 25 SATRA STM 511 Pocení hlídaná varná deska [64].....	56
Obrázek č. 26: Teploty jednotlivých částí těla. ....	67
Obrázek č. 27: Zobrazení jednotlivých zón při měření .....	67
Obrázek č. 28 Tloušťkoměr SDL M 034 A zařízení na měření tloušťky [50].....	70
Obrázek č. 29: Zařízení FX 3300 na hodnocení prodyšnosti [50] .....	71
Obrázek č. 30:Krabicové grafy první vrstvy .....	76
Obrázek č. 31: Grafické znázornění porovnání tepelného odporu na jednotlivých bodech manekýna .....	76

Obrázek č. 32: Krabicové grafy znázorňující druhou vrstvu .....	78
Obrázek č. 33: Porovnání tepelného odporu na jednotlivých bodech manekýna ve sloupcovém grafu .....	79
Obrázek č. 34: Tepelný odpor na bodech manekýna znázorněný na krabicových grafech ...	81
Obrázek č. 35: Porovnání tepelného odporu na jednotlivých bodech manekýna ve sloupcovém grafu .....	81
Obrázek č. 36: Porovnání tepelného odporu v různých rychlostech chůze .....	83
Obrázek č. 37: Porovnání tepelného odporu funkčního prádla v závislosti na rychlosti chůze znázorněném v pavučinovém grafu .....	84
Obrázek č. 38: Grafické znázornění závislosti průměrného tepelného odporu na rychlosti chůze manekýna .....	84
Obrázek č. 39: Porovnání tepelného odporu průměrů různých částí těla.....	85
Obrázek č. 40: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v klidu.....	87
Obrázek č. 41: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 15 kroků/min .....	87
Obrázek č. 42: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 30 kroků/min .....	88
Obrázek č. 43: Porovnání tepelného odporu na jednotlivých vrstvách v klidu.....	89
Obrázek č. 44: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 15 kroků/min .....	90
Obrázek č. 45: Porovnání tepelného odporu dvou vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 30 kroků/min .....	90
Obrázek č. 46: Porovnání tepelného odporu jednotlivých vrstev a jejich kombinace v klidu .	91
Obrázek č. 47: Porovnání tepelného odporu tří vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 15 kroků/min .....	92
Obrázek č. 48: Porovnání tepelného odporu tří vrstev a jejich kombinace v rychlosti chůze 30 kroků/min .....	93
Obrázek č. 49: Porovnání součinitele tepelné vodivosti na různých vrstvách .....	95
Obrázek č. 50: Závislost tepelného odporu měřeného na vyhřívané figuríně na prodyšnosti .	96
Obrázek č. 51: Závislost tepelného odporu naměřeného na TCi na prodyšnosti.....	97
Obrázek č. 52: Porovnání tepelného odporu naměřeného na TCi a manekýnovi.....	98
Obrázek č. 53: Závislost tepelného odporu na tloušťce materiálu .....	99
Obrázek č. 54: Závislost tepelného odporu na tloušťce materiálu .....	99

## SEZNAM TABULEK:

Tabulka č. 1: Hustota metabolického tepelného toku a mechanická účinnost těla při různé činnosti člověka [24] .....	16
Tabulka č. 2: Izolace jednotlivých součástí oblečení v jednotkách clo [9] [37] .....	21
Tabulka č. 3: Tvorba tepla v závislosti na činnosti organismu [26] .....	22
Tabulka č. 4: Produkce vlhkosti těla ve vztahu k fyzické zátěži.....	33
Tabulka č. 5: Přehled vývoje různých termálních figurín v průběhu let [56] .....	42
Tabulka č. 6: Materiálová karta vzorku č. 1 .....	59
Tabulka č. 7: Materiálová karta vzorku č. 2 a č. 3 .....	60
Tabulka č. 8: Materiálová karta vzorku č. 4 .....	62
Tabulka č. 9: Materiálová karta vzorku č. 5 .....	64
Tabulka č. 10: Materiálová karta vzorku č. 6.....	65
Tabulka č. 11: Ukázka jednotlivých vzorků.....	66
Tabulka č. 12: Tloušťka materiálu .....	71
Tabulka č. 13: Vypočtené hodnoty prodyšnosti z objemu protečené tekutiny [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ].....	72
Tabulka č. 14: Přepočtení rychlosti chůze kroků za minutu na [ $m \cdot s^{-1}$ ].....	73
Tabulka č. 15: Naměřené hodnoty tepelného odporu č. 1 .....	75
Tabulka č. 16: Naměřené hodnoty tepelného odporu č. 4.....	77
Tabulka č. 18: Naměřené hodnoty tepelného odporu č. 2.....	80
Tabulka č. 19: Naměřené hodnoty tepelného odporu první vrstvy .....	82
Tabulka č. 20: Naměřené hodnoty tepelného odporu první vrstvy při čtyřech rychlostech chůze .....	85
Tabulka č. 21: Naměřené hodnoty tepelného odporu první a druhé vrstvy .....	86
Tabulka č. 22: Naměřené hodnoty tepelného odporu všech vrstev.....	89
Tabulka č. 23: Naměřené hodnoty tepelného odporu všech vrstev.....	91
Tabulka č. 24: Tabulka k rozlišení vrstev a vzorků .....	94
Tabulka č. 25: Naměřené hodnoty prodyšnosti.....	96
Tabulka č. 26: Hodnoty materiálových vrstev .....	98
Tabulka č. 27: Přepočtení na jednotky Clo .....	100
Tabulka č. 28: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna u první vrstvy .....	101
Tabulka č. 29: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna druhé vrstvy .....	101

Tabulka č. 30: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna u první a druhé vrstvy .....	102
Tabulka č. 31: Změna tepelného odporu vyjádřená v [%] při změně rychlosti chůze zón manekýna u první, druhé a třetí vrstvy.....	103