

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

TESTOVÁNÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ  
PROSTŘEDNICTVÍM TEPELNÉHO MANEKÝNA  
MEASUREMENT OF INDOOR ENVIRONMENT BY MEANS OF THERMAL MANIKIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. JAN ŠEVEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. BC. JAN FIŠER PHD.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav  
Akademický rok: 2012/13

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Ševeček

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Testování vnitřního prostředí prostřednictvím tepelného manekýna**

v anglickém jazyce:

### **Measurement of indoor environment by means of thermal manikin**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro posuzování tepelné pohody se v posledních letech stále častěji využívá měření s tepelnými manekýny ve spojení s metodou vypracovanou H. O. Nilssonem v roce 2004. Metoda je založena na určení ekvivalentní teploty jednotlivých částí těla a vyhodnocení tepelného pocitu v diagramu komfortních zón. Metoda byla vyvinuta pro použití v kabinách dopravních prostředků a zohledňuje specifčnost daného vnitřního prostředí (nehomogenost teplotního pole, vysoké rychlosti vzduchu, vliv solárního záření atd.) je však použitelná i pro vnitřní prostory budov.

Cíle diplomové práce:

Clíme DP bude měření parametrů vnitřním prostředí s využitím tepelného manekýna Newton. Měření budou provedena pro podmínky typické kanceláře a pro podmínky kabiny dopravního prostředku. Praktická část práce bude také zaměřena na získání znalostí se specifickými činnostmi souvisejícími s měřením a vyhodnocením tepelné pohody prostřednictvím tepelného manekýna (kalibrace manekýna, vliv oděvu, vliv časových konstant atd.).

Seznam odborné literatury:

- [1] Nilsson HO. Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models, PhD thesis, University of Gävle (2004).
- [2] Kingma B. Human Thermoregulation - A synergy between physiology and mathematical modelling. PhD Thesis, Maastricht University, Maastricht (2011).
- [3] Fiala D. Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort. PhD Thesis, Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, Leicester (1998).
- [4] Zhang H. Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments. PhD thesis, University of California Berkeley (2003).
- [5] Špoinar D , Barták M. Hodnocení tepelné pohody z výsledků CFD simulace a jejich aplikace v interiéru vozidla. Vytápění, větrání a instalace březen, 151-154 (2007).
- [6] ČSN EN ISO 14505-2. Ergonomie tepelného prostředí – Hodnocení tepelného komfortu ve vozidlech. Český normalizační institut (2007).

Vedoucí diplomové práce: Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 26.11.2012 14:10



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá měřením vnitřního prostředí prostřednictvím tepelného manekýna Newtona a to zejména z hlediska tepelné pohody. Měření byla provedena v prostředí typické kanceláře a kabiny malého dopravního letadla. Průběh všech událostí a časových konstant v případě měření v kanceláři byl dán reálným provozem v kanceláři, kdy se sled událostí odvíjel od obvyklých úkonů prováděných během dne. Naopak u druhého měření, které probíhalo v maketě malého dopravního letadla, byl průběh událostí i časových konstant proveden dle předem přesně stanoveného plánu. V dalších částech diplomové práce je popsán postup při kalibraci manekýna a následném vygenerování diagramu komfortních zón. Následně jsou porovnány jednotlivé modelové případy a události pomocí diagramu komfortních zón a mediky dle ISO 14505-2.

## **Klíčová slova**

Tepelná pohoda, Modely tepelné pohody, Tepelný manekýn, Kalibrace, Ekvivalentní teplota, Diagram komfortních zón

## **Abstract**

This dissertation deals with the measurement of the internal environment through thermal manikin Newton, especially in terms of thermal comfort. Measurements were performed in a typical office environment and cabins of small transport aircraft. The course of events and the time constants for the measurement in the office was given by real flow in the office when the sequences of events were unfolded from the usual transactions carried out during the day. In contrast, the second measurement, which took place in the model of small transport aircraft, the course of events and time constants, was performed exactly according to predetermined plan. The other parts of the thesis describe how to calibrate the manikin and then generate a diagram comfort zones. Following are compared individual test cases and events using the diagram comfort zones. Finally, individual test cases and events are compared using the diagram comfort zones and medics according to ISO 14505-2.

## **Keywords**

Thermal comfort, Thermal comfort models, Thermal manikin, Calibration, Equivalent temperature, Comfort zones diagram

## **Bibliografická citace**

ŠEVEČEK, J. *Testování vnitřního prostředí prostřednictvím tepelného manekýna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing.Bc.Jan Fišer,Ph.D.

## **Čestné prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracoval samostatně a použil pramenů uvedených v seznamu literatury“.

V Brně 23. května 2013

Bc. Jan Ševeček

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing.Bc.Janu Fišerovi, Ph.D. za obětavou pomoc, náměty a rady při vypracování a vedení mé diplomové práce

Při realizaci této diplomové práce bylo využito přístrojové vybavení pořízené v rámci projektu NETME Centre (Nové technologie pro strojírenství), reg. č.: CZ.1.05/2.1.00/01.0002, id. kód: ED0002/01/01, financovaného z Operačního programu výzkum a vývoj pro inovace, který je spolufinancovaný ERDF (European Regional Development Fund).

## Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Vymezení cílů práce</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Postup při řešení diplomové práce</b> .....	<b>13</b>
<b>4. Teoretická část</b> .....	<b>14</b>
4.1. Faktory ovlivňující tepelnou pohodu .....	14
4.1.1. Fyziologie člověka .....	14
4.1.2. Modely fyziologie člověka.....	15
4.1.3. Tepelná pohoda prostředí .....	18
4.1.4. Modely tepelné pohody .....	18
4.2. Tepelný manekýn .....	22
4.2.1. Historie využití tepelných manekýnů .....	22
4.2.2. Popis tepelného manekýna Newtona .....	25
4.2.3. Využití tepelného manekýna .....	27
4.2.4. Tepelný odpor oblečení .....	28
<b>5. Praktická část</b> .....	<b>31</b>
5.1. Parametry tepelného stavu a popis testovacích vnitřních prostředí .....	31
5.1.1. Prostředí kanceláře .....	31
5.1.2. Prostředí makety kabiny malého dopravního letadla.....	32
<b>6. Kalibrace</b> .....	<b>35</b>
6.1. Popis experimentu .....	35
6.1.1. Popis kalibrovaného oděvu .....	35
6.1.2. Popis kalibrační komory .....	36
6.1.3. Důvody kalibrace .....	37
6.1.4. Průběh kalibrace .....	37
6.2. Sestavení diagramu komfortních zón .....	39
<b>7. Měření v kanceláři</b> .....	<b>42</b>
7.1. Popis experimentu .....	42
7.1.1. Počáteční podmínky .....	42
7.1.2. Použité přístroje a jejich rozmístění.....	43
7.1.3. Nastalé události během experimentu .....	45
7.1.4. Porovnání výsledků a jejich zhodnocení .....	56
<b>8. Měření v maketě kabiny malého dopravního letadla</b> .....	<b>62</b>

8.1.	Popis experimentu .....	62
8.1.1.	Počáteční podmínky a seznam modelových případů .....	62
8.1.2.	Použité přístroje a jejich rozmístění.....	65
8.1.3.	Sestavení diagramů komfortních zón pro modelové případy ..	67
8.1.4.	Zhodnocení výsledků .....	73
<b>9.</b>	<b>Chyby vlivu pokrytí manekýna oděvem .....</b>	<b>77</b>
<b>10.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>78</b>
<b>11.</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>80</b>
<b>12.</b>	<b>Seznam použitých zkratek a symbolů .....</b>	<b>81</b>
<b>13.</b>	<b>Seznam použitých obrázků: .....</b>	<b>82</b>

# 1. Úvod

Zdravý člověk jakožto živý tvor je přizpůsoben prostředí, ve kterém se vyvinul a ve kterém žije, a jedním z těchto přizpůsobení je aktivní termoregulační mechanismus. Udržení optimální tělesné teploty navzdory podmínkám okolního prostředí je nezbytnou funkcí organismu teplokrevných živočichů, mezi které patří i člověk. Pro člověka je relativně stálá tělesná teplota, která je dána rovnoměrným výsledkem mezi příjmem, produkcí a výdejem tepla, nutnou podmínkou pro normální činnost metabolismu a pro průběh jednotlivých enzymatických reakcí. Rovnováha mezi příjmem, produkcí a výdejem tepla je zajišťována pomocí termoregulace, jejíž fungování je založeno na principu zpětné vazby.

Člověk je schopen díky termoregulačním mechanismům udržovat teplotu jádra, tj. hluboko uložených orgánů, konstantní a do jisté míry nezávislou na změnách okolního prostředí. Termostatické centrum pro regulaci tělesné teploty je (umístěno v hypotalamu a) u člověka nastaveno na 37°C.

Organismus jako otevřený systém je se svým okolím v neustálé interakci. Dochází k výměně látek, energie a informace. Za normálních podmínek organismus získává podstatnou část energie z potravy ve formě energie chemické. Část energie získané z okolního prostředí tvoří energie chemická, světelná, mechanická a tepelná, energie elektromagnetického záření převážně z infračerveného, ale také viditelného či ultrafialového spektra, která nemusí být v určitých podmínkách při počítání výsledné tepelné bilance organismu zanedbatelná. Celkové množství energie, kterou si takto organismus vymění s okolím a je úměrná velikosti povrchu těla.

Při provádění všech aktivit si člověk snaží zajistit tepelnou pohodu organismu s ohledem na místo, podnebí, roční období a okolní teplotu souborem různých opatření. Mezi základní opatření proti nepříznivým podmínkám lze považovat už od dávných časů vytvoření různých přístřešků nebo nalezení vhodných prostor pro uschování. Mezi takové prostory patřily dříve například jeskyně. O něco později začaly vznikat již zmíněné jednoduché přístřešky a krytá obydlí. Kromě uschování proti nepříznivým podmínkám se lidé snažili vytvořit a udržet v daných obydlích i vhodnou vnitřní teplotu. Zpočátku se jednalo o primitivní způsoby vytápění ale s postupem času a změnami ve společnosti, se způsob udržení vhodné vnitřní teploty neboli způsoby vytápění vyvíjely směrem k technicky dokonalejším řešením. V důsledku vývoje společnosti, více vznikala potřeba v určitých prostorech pobývat delší dobu, s tím že po tuto dobu bylo nezbytné zajistit požadované parametry vnitřního mikroklimatu. Následným zkoumáním bylo zjištěno, že výsledky jakýchkoli zadaných úkolů, lze dosáhnout dříve a lépe, pokud je prostor upraven na vhodnou teplotu v závislosti na dané činnosti. Proto začaly být kladeny vysoké nároky na systémy zajišťující úpravu prostředí

Aby bylo možné hodnotit objektivně kvalitu vnitřního prostředí a tepelnou pohodu, byla v průběhu dvacátého století vyvinuta celá řada hodnotících metod. Vzhledem k tématu a zadání DP byl hlavní metodou zvolen přístup kombinující ekvivalentní teplotu s vyhodnocením naměřených dat pomocí diagramu komfortních zón (Nilsson 2007).

Shrnutím poznatků o tepelném komfortu, postup měření s tepelným manekýnem a celkovým vyhodnocením vlivů tepelného komfortu prostředí v kabině dopravního prostředku a typické kanceláře se zabývá i tato diplomová práce.

## 2. VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

- být schopen pracovat s tepelným manekýnem
- kalibrace oděvu (typický pro cestujícího v letadle) za účelem získání dat pro vytvoření diagramu komfortních zón
- vytvoření diagramu komfortních zón pro daný oděv
- vyšetření vlivu událostí a časových konstant při měření tepelného komfortu v prostředí typické kanceláře při běžném provozu
- vyšetření vlivu změn provozních podmínek na tepelný komfort v prostředí makety kabiny malého dopravního letadla

## 3. POSTUP PŘI ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### *Rešerše, přípravné práce*

- Získání dostupných pramenů informací, rešerše, uspořádání poznatků o pojmech jako je tepelná pohoda, fyziologie člověka, tepelný odpor oděvu. Dále pak historie a popis tepelného manekýna.
- Získání zkušeností s nastavením a ovládáním tepelného manekýna, včetně zapojení všech komponent.
- Naplánování jednotlivých postupů měření.

### *Kalibrace oděvu*

- Sestavení skladby oděvu
- Kalibrace oděvu, dle normy ISO 14505-2
- Získání dat pro vytvoření diagramu komfortních zón dle Nilssona.

### *Měření*

- Proměření vybraných parametrů vnitřního prostředí typické kanceláře při běžném provozu.
- Proměření vybraných parametrů vnitřního prostředí v maketě kabiny malého dopravního letadla při laboratorních provozních podmínkách.

### *Vyhodnocení získaných výsledků*

- Pro určení míry tepelného komfortu bude využita metodika ekvivalentní teploty a diagram komfortních zón dle ISO 14505-2.
- Vyhodnocení jednotlivých událostí v diagramu komfortních zón a jejich porovnání.

*Definování závěrů z vyhodnocených výsledků*

## **4. TEORETICKÁ ČÁST**

### **4.1. Faktory ovlivňující tepelnou pohodu**

#### 4.1.1. Fyziologie člověka

Fyziologii člověka lze vyjádřit jako funkční projevy organismu. Fyziologie se zabývá jednotlivými tělesnými soustavami a vztahu organismu k prostředí. Základními vlastnostmi živé hmoty jsou přeměna látek a energií a schopnost přizpůsobovat svoje činnosti podmínkám prostředí. Vzhledem k tématu diplomové práce je nejvíce zajímavou kapitolou produkce tepla, výdej tepla a termoregulace člověka.

Teplo uvnitř člověka vzniká díky chemickým reakcím v těle. Mezi největší zdroje patří tyto reakce:

- bazální metabolismus
- metabolismus ve svalech
- metabolismus v játrech
- metabolismus v ledvinách
- metabolismus v srdci
- metabolismus v mozku

K nejteplejším místům v těle patří játra, kde probíhá velmi intenzivní látková přeměna. Další produkce tepla vzniká při vystavení chladu organismu, kdy dochází ke svalovému třesu a tím pádem ke zvyšování tvorby tepla.

Výdej tepla se děje několika způsoby:

- zářením/radiací
- vypařováním
- prouděním
- vedením tepla

Při výdeji tepla zářením/radiací dochází k vyzařování tepla do okolí a to díky rozšíření kožních cév, které reagují na zvýšenou teplotu okolí. Tímto způsobem se odvádí zhruba 60% tepla. Vypařování souvisí s prokrvováním kůže, s pocením

neboli odpařováním vody a s tím související ochlazování kůže. Tímto způsobem se odvádí cca 25% tepla. U proudění tepla odchází do okolí zhruba 15% tepla díky pohybu těla v chladnějším prostředí nebo pohybem prostředí. Při vedení tepla dochází k přímému kontaktu těla s chladnějším prostředím a ztráty tepla činí necelé 1 procento.

Člověk má schopnost udržet tělesnou teplotu v určitém teplotním rozmezí. Toto rozmezí je dáno teplotami 35,8 °C až 37,4 °C. Řídicím systémem, jenž zajišťuje vhodnou teplotu ve zmíněném rozmezí je hypotalamus. Hypotalamus reaguje na podněty odeslané jak z vnějších termoreceptorů (exteroreceptory) uložených v pokožce tak vnitřních (interoreceptory), které jsou umístěny v dutině břišní, míše a kolem velkých žil. Termoreceptory si lze představit jako chladová či hřejivá malá tělíčka uvnitř těla. Jejich úkolem je zjišťovat rozdíl mezi teplotou těla a okolním prostředím, jsou velmi citlivé na teplotu vyšší nebo nižší než je teplota těla. Chladových receptorů je v těle asi 20x více než hřejivých. Nejvíce jich je rozmístěno v oblasti obličeje a nejméně v okolí zad.

#### 4.1.2. Modely fyziologie člověka

Fyziologický model předpovídá tepelný stav člověka, neboli ukazuje, jakým způsobem bude člověk reagovat na okolní prostředí. Informace k rozdělení fyziologických modelů byly čerpány z práce Jana Pokorného (POKORNÝ, 2011). Rozlišujeme modely:

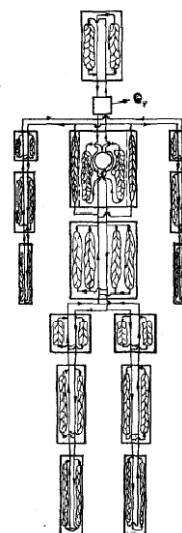
##### a) dle rozdělení lidského těla

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

##### b) dle časového

- stacionární – vhodné pro dlouhodobé vyhodnocování podmínek okolního prostředí.
- dynamické – použitelné i na studium náhlých změn okolního prostředí, počítají s akumulací tepla v pokožce (POKORNÝ, 2011).

První (analytický) model přenosu tepla v živé tkáni sestavil Pennes v roce 1948. Začátkem 60. let Wydham a Crosbie vytvořili první model fyziologie celého člověka a v roce 1964 na ně navázal Wissler, který lidské tělo rozdělil na více segmentů. Na přelomu 60. a 70. let Stolwijk vytvořil v jazyce Fortran 25 uzlový vícesegmentový model člověka s uvažováním termoregulace, který Gagge zjednodušil na jednosegmentový s pouze dvěma výpočetními uzly (jádro a kůže) a využil ho pro predikci tepelné pohody pomocí indexů TSENS a TDISC. Snahou dalších autorů (Jones, Lotens, Fu) bylo postihnout kromě samotného člověka i vrstvu oděvu, která má značný vliv na tepelnou výměnu mezi člověkem a okolním prostředím. V 90. letech s rostoucími možnostmi výpočetní techniky začaly vznikat 3D modely fyziologie člověka (Werner, Fu, Takemori) a v roce 1998 Murakami propojil Gaggův model s CFD simulací okolního prostředí. Po důkladné validaci v roce 2001 Fiala publikoval svůj model, který později převzali a modifikovaly firmy P+Z a Thermoanalytics do svých komerčních softwarů Theseus-FE a RadTherm a který používají dodnes. Tanabe rozšířil Stolwijkův model a v roce 2002 publikoval jeho propojení se CFD. Pro integraci modelu do CFD se používá tzv. „shell, tj. reálná geometrie lidského těla, na které je vztažena tepelná výměna člověka s okolím a jsou na ni zobrazeny hodnoty fyziologického modelu. Výše zmiňované modely byly navrženy pro standardního člověka o průměrné výšce a váze. Vzhledem k tomu, že každý člověk je jiný (výška, hmotnost, podíl tuků a svalů v těle, pohlaví, rasa, apod.) bylo by ideální, aby fyziologický model respektoval individuální parametry každého člověka. V poslední době se rozvíjí i tato oblast a vznikají tzv. individualizované modely např. Fialův individualizovaný model, Gaggův individualizovaný model (POKORNÝ, 2011).



Obr. 4.1 Wisslerův model (POKORNÝ, 2011)

Tab. 4.1 Historický vývoj modelů fyziologie člověka (POKORNÝ, 2011)

Rok	Autor	Popis
1948	Pennes	1 segmentový stacionární analytický model předloktí
1960	Wyndham	1 segmentový dynamický model člověka
1961	Crosbie	1 segmentový stacionární termoregulační model člověka
1964	Wissler	15 segmentový dynamický model člověka
1971	Stolwijk	25 uzlový dynamický termoregulační model člověka
1971	Gagge	2 uzlový dynamický model člověka
1977	Hsu	Kansas State University (KSU) model člověka
1985	Wissler	Rozšířený dynamický 15 segmentový model člověka
1989	Werner	3D dynamický model člověka, 400000 uzlů
1990	de Dear	40 vrstvý model, řešený metodou konečných diferencí
1991	Smith	3D dynamický model člověka
1992	Jones	KSU model s oděvem
1993	Matsunaga	3 segmentový model (pro Isuzu Motors)
1993	Werner	6 segmentový stacionární model
1993	Lotens	Modifikovaný Gaggův model (CCX, oděv)
1995	Fu	3D dynamický model člověka v oděvu
1995	Takemori	3D dynamický model člověka řešený met. kon. prvků
1997	Piniec	Dynamický model člověka MATHER
1997	Shoji	3D dynamický model člověka řešený met. kon. prvků
1998	Murakami	Gaggův model, využití CFD
2001	Huizenga	Fyziologická část Berkeley modelu
2001	Havenith	Gaggův model, využití CFD
2001	Fiala	10 segmentový dynamický model
2002	Tanabe	16 segmentový dynamický model, využití CFD
2003	Kohri	Vícesegmentový Gaggův model
2006	Salloun	15 segmentový Wisslerův model
2007	Lichtenbelt	Individualizovaný Fialův model
2007	Wan	Tanabeho model s detailním popisem vrstev oblečení
2007	Murakami	17 segmentový upravený Tanabeho model
2009	Takada	Individualizovaný Gaggův model
2009	Ferreira	Kombinace modelu od Wisslera a Takemoriho

Individualizované modely jsou náročné na množství požadovaných vstupních dat, ale na rozdíl od běžných průměrovaných modelů mají vyšší vypovídající hodnotu pro konkrétního člověka. V tabulce 4.1 je uveden přehled publikací o modelech fyziologie člověka a historický vývoj modelů. Zleva je uveden rok publikování modelu, jeho hlavní autor a stručná charakteristika modelu (POKORNÝ, 2011).

Fyziologické modely se uplatňují nejen v technice prostředí zabývající se tepelnou pohodou, ale rovněž v lékařství, armádě, sportu, textilním a obuvnickém průmyslu. Například se využívají pro odhad tělesného stavu člověka v extrémních

podmínkách (doba přežití ve studené vodě po ztroskotání lodi, tepelný stav vojáka na poušti v plné zbroji, či sportovce při náročných činnostech). Výhodou těchto modelů je široká možnost použití a možnost odhadnout i parametry, které nelze určit přímo měřeními. Na druhou stranu ne vždy se tyto modely shodují s realitou, zejména pokud se využívají mimo meze platnosti, které jsou uvedeny v literatuře. V dnešní době vývoj výpočetní techniky umožňuje provádět rozsáhlé CFD simulace vnitřního prostředí. Zahrnutím fyziologického modelu do CFD simulace lze analyzovat kvalitu vnitřního klimatu a její vliv na člověka. V některých aplikacích (např. simulace prostředí kabin aut, letadel apod.) je navíc důležité zjistit, jaký vliv má člověk na okolní vnitřní klima (POKORNÝ, 2011).

#### 4.1.3. Tepelná pohoda prostředí

Tepelná pohoda prostředí se obvykle definuje jako pocit spokojenosti člověka s tepelným stavem prostředí. Při látkových přeměnách probíhajících v lidském těle se uvolňuje tepelná energie – metabolické teplo, která se přenáší do okolí. Množství uvolňované energie závisí především na intenzitě fyzické činnosti a na hmotnosti člověka. Jen malá část této energie se přenáší formou mechanické práce konané člověkem, zatímco většina se přenáší formou tepla (90 až 100 %). Hlavní podmínkou tepelné pohody je, aby energie produkovaná v těle zmenšená o energii přenášenou formou mechanické práce konané člověkem byla rovna energii odvedené formou tepla do okolí vedením, konvekcí, radiací, vypařováním, dýcháním (JANOTKOVÁ, 1991). Díky této podmínce by člověk neměl v daném prostředí cítit jak pocit nepříjemného chladu tak pocit nepříjemného tepla

#### 4.1.4. Modely tepelné pohody

Tepelná pohoda úzce souvisí s teplotou, ale není jediným důležitým faktorem ovlivňující lidský tepelný pocit a komfort. Způsob hodnocení spokojenosti s pracovním prostředím zavedl Yaglou a následně Bedford již před 2. světovou válkou. Dodnes je používána Bedfordova stupnice: -3 nepohodlně příliš chladno, -2 nepohodlně chladno, -1 pohodlně chladno, 0 pohodlně, +1 pohodlně teplo, +2 nepohodlně teplo, +3 nepohodlně příliš teplo. Problematikou tepelné pohody a vlivu okolního prostředí se dlouhodobě zabýval Ole Fanger, který na začátku 70. let specifikoval základní a doplňující faktory ovlivňující tepelnou pohodu ve vnitřním prostředí budov. Definoval index popisující předpokládaný střední výsledek hodnocení tepelného pocitu větší skupiny lidí (index PMV) a index vyjadřující procentuální podíl nespokojených s vnitřním prostředím (index PPD). V roce 1984 byla jeho metoda hodnocení tepelné pohody stanovena jako norma, která byla později převzata i do českých norem jako ČSN EN ISO 7730 – Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody. Jiný přístup zvolil Gagge, který využil svůj fyziologický model pro predikci střední teploty pokožky a množství vody na pokožce, na jejichž základě je vypočten index tepelného pocitu TSENS a index tepelného diskomfortu TDISC (POKORNÝ, 2011).

V roce 2003 Fiala definoval index dynamického tepelného pocitu DTS jako ekvivalent k indexu PMV, který je použitelný i pro časově proměnné podmínky. Index reprezentuje celkový tepelný pocit, který je závislý na střední teplotě pokožky, její časové změně a teplotě tělesného jádra. V tabulce 4.2 je uveden rešeršní přehled modelů tepelné pohody, jejichž cílem je zachytit subjektivní vnímání tepelného prostředí. Společným rysem je statistické zpracování dat z dotazníků, ve kterých testovací osoby vyplňují, jak vnímají dané tepelné prostředí. Modely se liší způsobem vyhodnocování tepelné pohody (jinak položené otázky, jiný vzorek lidí, různé indexy, atd.). Pro klasifikaci tepelné pohody lze využít rovněž diagramů, které definují rozmezí fyzikálních veličin, pro které je tepelné pohody dosaženo (ekvivalentní teplota  $t_{eq}$ , operativní teplota  $t_o$ , efektivní teplota  $ET^*$ , standardní efektivní teplota  $SET^*$  atd.) (POKORNÝ, 2011).

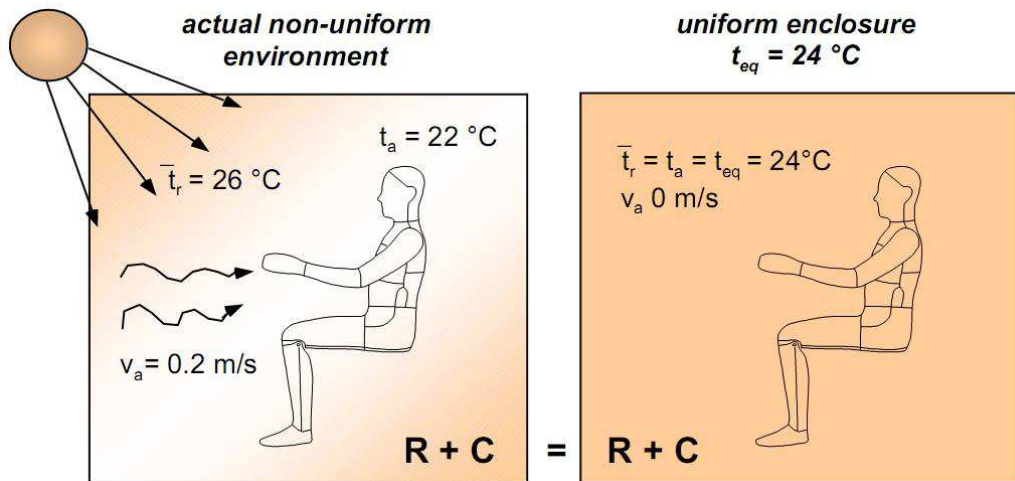
Tab. 4.2 Přehled modelů pro predikci tepelné pohody (POKORNÝ, 2011)

Rok	Autor	Popis
1936	Bedford	Měřítka tepelných pocitů, empirický model
1970	Fanger	PMV-PPD model v ISO 7730 od roku 1984
1971	Givoni	Empirický model tepelné pohody
1986	Gagge	Index tepelné pohody TSENS, DISC
1989	Wyon	Model ekvivalentní teploty
1992	Hagino	Empirický model tepelné pohody v autě (pro Nissan)
1992	Taniguchi	Vliv chladného vzduchu na pocit v obličeji (pro Toyota)
1992	Ingersoll	3 segmentový Gagge model, spojený s indexem PMV
1993	Gan	Stacionární model PMV-PPD, využití CFD
1994	Wang	Dynamický model tepelné pohody
1997	Maue	8 segmentový model tepelné pohody
1997	Brown	Empirický model tepelné pohody v autě (pro Ford)
2003	Fiala	Index DTS – dynamický tepelný pocit
2003	Guan	Dynamický vícesegmentový Gaggeův model
2003	Zhang	Berkeley model tepelné pohody
2004	Nilsson	Model komfortních zón (v ISO 14505)
2008	Streblow	Propojení modelu Tanabe a Zhang (pro Airbus)
2010	Zhang	Nová verze Berkeley modelu tepelné pohody

Z hlediska řešené problematiky diplomové práce je nejdůležitější Nilssonův model komfortních zón.

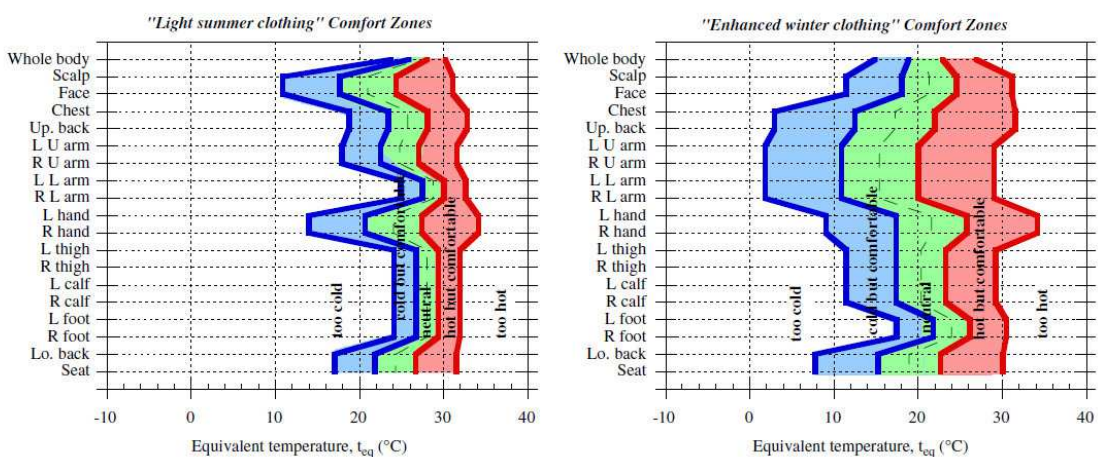
Pro posuzování tepelné pohody v kabinách dopravních prostředků se v posledních letech stále častěji využívá metody vypracované H. O. Nilssonem v roce 2004. Je založena na určení ekvivalentní teploty jednotlivých částí těla a vyhodnocení tepelného pocitu v diagramu komfortních zón. Metoda byla přímo vyvinuta pro použití v kabinách dopravních prostředků a zohledňuje specifičnost daného vnitřního prostředí (nehomogenost teplotního pole, vysoké rychlosti vzduchu, vliv solárního záření atd.). V roce 2006 byl Nilssonův model

standardizován a na jeho základě vznikla norma ISO 14505 posléze přijatá jako ČSN, ISO ČSN EN 14505 - Ergonomie teplého prostředí - Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech (ISO 14505, 2007).



Obr. 4.2 Základní princip ekvivalentní teploty (NILSSON, 2004)

Zjednodušeně lze popsat stav prostředí parametry jako vlhkost vzduchu, teplota vzduchu, střední radiační teplota a rychlost proudění vzduchu. V kombinaci s faktory popisujícími kvalitu oděvu a metabolické teplo odpovídající dané činnosti člověka, lze definovat ekvivalentní teplotu. Ekvivalentní teplota je definována jako: Teplota imaginárního uzavřeného prostoru kde je střední radiační teplota rovná teplotě vzduchu a vzduch je klidný, a v kterém má lidské tělo stejnou tepelnou výměnu radiací a konvekcí jako v aktuálním prostředí (NILSSON, 2004). Definice je tedy velice podobná definicí operativní teploty (FIŠER, 2011).



Obr. 4.3 Diagramy komfortních zón pro letní oděv (vlevo) a zimní oděv (vpravo) (NILSSON, 2004)

Zmíněná operativní teplota, představuje jednotnou teplotu černého (z hlediska přenosu tepla radiací) uzavřeného prostoru, ve kterém by docházelo k přenosu tepla konvekcí a radiací ve stejné míře, jako ve skutečném teplotně nesourodém prostoru (FIŠER, 2011).

Operativní teplota vyplývá z rovnice:

$$\alpha_{cl} \times (T_{cl} - T_a) + \alpha_R \times (T_{cl} - \bar{T}_r) = \alpha \times (T_{cl} - T_o) \quad 4.1$$

Součinitel přestupu tepla  $\alpha$ , na pravé straně je dán vztahem:

$$\alpha = \alpha_{cl} + \alpha_R \quad 4.2$$

Dosazením rovnice 4.2 do rovnice 4.1 a úpravou dostaneme vztah:

$$T_o = A \times T_a + (1 - A) \times \bar{T}_r \quad 4.3$$

Kde:  $A = \frac{\alpha_{cl}}{\alpha} = 0,75 \times w_{ar}^{0,16}$  pro  $w_{ar} = 0,05$  až  $1m / s$

Z rovnice tepelné rovnováhy pak lze odvodit vztah:

$$T_o = \frac{T_s - R_{cl} \times [24,36 + 0,452 \times \dot{q} - 3,05 \times 10^{-5} \times (p_s'' - p_a)]}{1 + 0,0014 \times \dot{q} \times R_{cl}} \quad 4.4$$

Ekvivalentní teplotu lze dle (NILSSON,2004) posléze určit dle vztahů:

$$T_s = 36,4 - (0,05 \times q) \quad 4.5$$

$$T_{eq} = T_s - R_{cl} \times q \quad 4.6$$

## 4.2. Tepelný manekýn

### 4.2.1. Historie využití tepelných manekýnů

Do roku 1941 se vědcům nedařilo vytvořit žádnou metodu pro hodnocení tepelného komfortu oblečení. Významný pokrok v této oblasti učinili až Gagge, Burton a Bazett, díky nimž byla definována jednotka clo, neboli izolace oblečení což představuje tepelnou izolaci muže oblečeného v obleku. Jednotka tepelné izolace byla stanovena pro tehdejší typické pánské oblečení, které představovalo oblek s vestou a košilí s dlouhým rukávem. Hodnota jednoho CLO byla stanovena na 0,155m<sup>2</sup>K/W(ENDRUSICK).



Dalším krokem ve vývoji bylo vytvoření tepelné figuríny neboli tepelného manekýna o který se zasloužil v témže roce Dr. Harwood Belding. Jakožto zaměstnanec americké armády, pracoval v laboratoři Fatigue Harward na výzkumu a testování ochranných oděvů pomocí lidských dobrovolníků. K vytvoření figuríny se inspiroval ve výlohách módních domů a sestavil z různých trubek a plechů figurínu bez hlavy a bez rukou. Figurína měla jednoduché vnitřní vyhřívací těleso a ventilátor pro rozvod tepla (ENDRUSICK).

Obr. 4.4 Jednoduchá tepelná figurína od Dr. Harwooda Beldinga(ENDRUSICK)

Roku 1942 začal Harwood Belding spolupracovat s inženýry v General Electric Company v Connecticutu na vývoji propracovanější figuríny. Jednotlivé části těla byl odlity z formy, pro kterou dal předlohu sochař Leopold Schmidt. Tyto odlitky byly tvořeny mědí o tloušťce 3-6 mm a byly propojeny elektrickým obvodem, jenž rovnoměrně zahřival měděný plášť. Velkou výhodou byla možnost měnit teplotu zahřívání rukou a nohou bez ovlivnění povrchové teploty okolních částí těla.(Tato tepelná figurína byla později roku 1971 zrekonstruována a roku 1995 zcela přestavěna. Používá se dodnes ve výzkumném ústavu americké armády.)(ENDRUSICK)



Obr. 4.5 Tepelná figurína vytvořená firmou General Electric (ENDRUSICK)

Ke konci druhé světové války spousta členů laboratoře Fatigue Harward včetně Harwooda Beldinga nastoupila do nově zřízené výzkumné klimatické laboratoře (Climatic Research Laboratory) ve městě Lawrence ve státě Massachusetts, aby pokračovaly v práci na zlepšení ochranných pomůcek pro vojenský personál(ENDRUSICK).

V září 1945 byl General Electric požádán o vypracování nové generace tepelné figuríny pro Army Research Laboratory. Při vytváření této generace vycházeli z dřívějších poznatků a kombinovali je s údaji z antropometrické studie, které se zúčastnilo více než 3000 leteckých vojenských kadetů. Figurína se skládala ze 6 samostatných elektrických obvodů a fyzickými rozměry připomínala mladého amerického vojáka. Během let 1940-1947 provádí Beldingova laboratoř výzkum oblečení americké armády. V průběhu války zkoumali zprávy o nedostatečných ochranných oděvů přicházející z různých bojišť a díky tomu mohli navrhnout další zlepšení(ENDRUSICK).

Od počátku padesátých let vědci zabývající se výzkumem oděvních látek, úspěšně využívali tepelné figuríny pro měření odporu oděvu a přenosu tepla na širokou škálu vojenského oblečení, spacích pytlů, obuvi a dalších vojenských věcí. V průběhu tohoto desetiletí byly zjištěny pomocí tepelného manekýna, že zakřivené plochy lidského těla tvoří komplexní mikroklima mezi oděvem a povrchem kůže(ENDRUSICK).



Obr. 4.6 Testování zimního oděvu (vlevo) a vylepšená tepelná figurína z 60.let (vpravo) (ENDRUSICK)

Roku 1961 se většina práce s tepelnými manekýny soustřeďuje do nového ústavu environmentální medicíny americké armády, také známý jako "USARIEM". Jednou z oblastí, na kterou byl výzkum zaměřen na tepelný odpor ochranného oděvu, přenos či odvodu vodní páry a její dopad na vojákovu výkonnost. Tato práce byla umožněna díky zavedení indexu propustnosti vlhkosti (im) jež byla zaveden v roce 1962. Tento parametr charakterizuje propustnost oděvních materiálů s odvodem vodní páry(ENDRUSICK).

Woodcock používal vyhřívaný válec k vyhodnocení propustnosti holého povrchu válce a různých ochranných oděvů. Goldman a Breckenridge se zajímali o využití tohoto koeficientu pro praktické oblečení a pro oděvy tepelných manekýnů s těsně přiléhající bavlněnou kůží, takže se mohlo simulovat nasáknutí vodou - simulaci potu na kůži. Tito "potící se" manekýni mohli nyní měřit maximální dovolené odpařování tepla daných ochranných kompletů. Tato práce umožnila značně zvýšit prodyšnosti chemických a biologických oděvů(ENDRUSICK).

Porovnání tepelných figurín a měření lidských dobrovolníků ukázalo, že pohyb vzduchu a bezprostředně přiléhavého vícevrstvého oděvu může mít dramatický účinek na odpařovací a chladicí potenciál ochranného kompletu. Tudíž, Givoni a Goldman vyvinuli čerpací koeficient ('p'), který popisuje účinky nositele generovaného proudění na tepelnost a voděodolnost oblečení. Givoni a Goldman poté použili tepelně a voděodolné oblečení z tepelného manekýna spolu s odvozeným čerpacím koeficientem k vývoji řady rovnic, které předpovídaly rektální teplotu, během nošení vojenského oblečení v rozsahu chladného a velmi horkého prostředí. Tyto počáteční rovnice dále Givoni a Goldman modifikovali k předpovědi srdeční frekvence při použití ochranného obleku a při práci ve stresujících podmínkách(ENDRUSICK).

V polovině 70. let tyto rovnice sloužily pro vytvoření sofistikovaných předpovídajících modelů. Pandolf a kolegové provedli úpravy posouzení dopadu úrovně dehydratace. Givoni a Goldman dále rozšířili modely o účinky přizpůsobení se na nositele ochranného oděvu(ENDRUSICK).



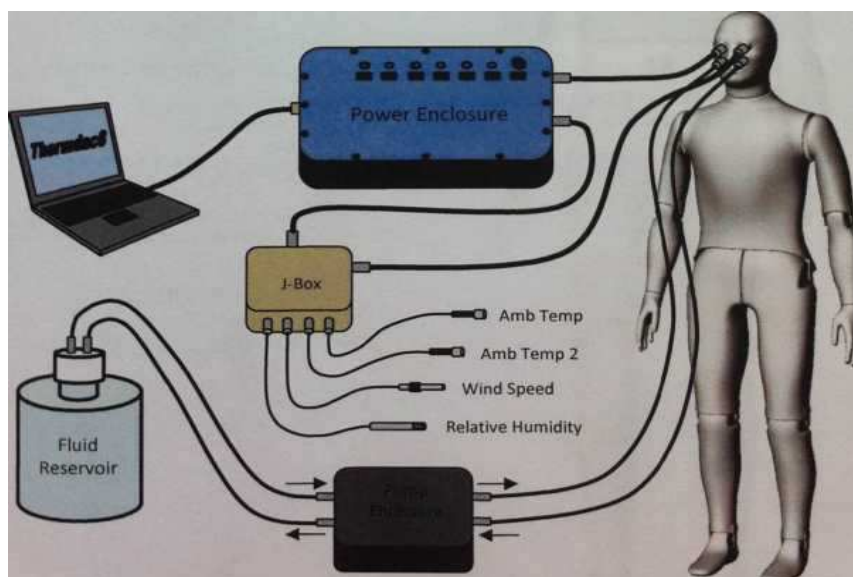
Obr. 4.7 Tepelný manekýn vyrobený institutem USARIEM roku 1984 (ENDRUSICK)

Začátkem 80. let, americká armáda začala kompletně předělávat hlavní oděvní systém pro letectví, vzdušné síly a vozidla na základě využití různých druhů originálních technologií a materiálů. Na základě zvětšující se základny, armáda vyhodnotila a následně přijala celou řadu komerčních vývojů pro textilie (např. Gore-Tex, Thinsulate, Primaloft), které se použily pro nové bojové oblečení, boty, rukavice a spací pytle. Ve skutečnosti, několik amerických výrobců textilu vytvářely specializované, uzavřené skupiny propojené přímo s vojenským oděvním vývojem, které poskytovaly snadný přístup k vývoji a výsledkům testování(ENDRUSICK).

V roce 1984, USARIEM začala používat nového termálního manekýna, který měl 19 samostatných tepelných zón, jež měly schopnost simulovat tělesné pohyby při chůzi nebo běhu. S figurínou se již měří v klimatické komoře s přesnou kontrolou rychlostí vzduchu mířícího na manekýna. Minimálně tři různé rychlosti proudění vzduchu jsou obvykle nezbytné pro přesné určení přesných tepelných a vlhkostních parametrů pro ochranné oděvy byly použity tři různé rychlosti proudění vzduchu(ENDRUSICK).

#### 4.2.2. Popis tepelného manekýna Newtona

##### Tepelný manekýn (Newton Thermal Manikin System)

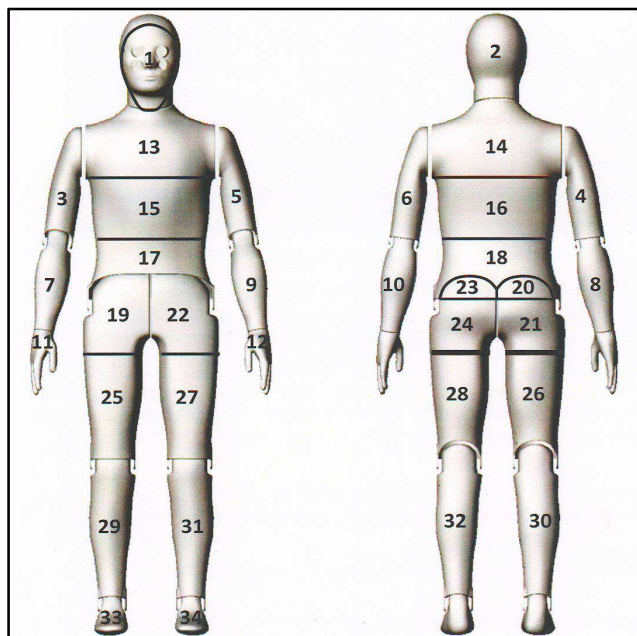


Obr. 4.8 Schéma zapojení tepelného manekýna Newtona (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY)

Tepelný manekýn je figurína, vytvořená na základě průměrné lidské postavy. Skládá se z 34 samostatně řízených tepelných zón. Všechny tepelné zóny jsou vybaveny vyhříváním, aby simulovaly tepelný výkon metabolismu a taky

senzory pro měření teploty pokožky (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY).

Těmito jednotlivými tepelnými zónami jsou: tvář, hlava, hrudník, břicho, horní záda, dolní záda, horní paže, předloktí, ruka – vlevo a vpravo, boky, stehna, lýtko a noha – vlevo, vpravo, vpředu a vzadu (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY).

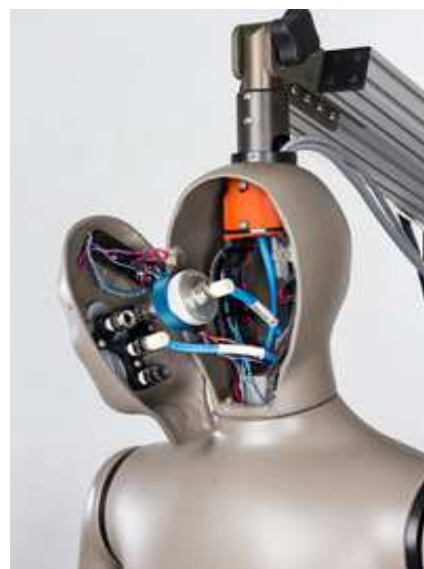


Na základě veličin jako je tepelný výkon a teplota pokožky v jednotlivých tepelných zónách je posléze určena tepelná ztráta celého těla. Hodnotu tepelného komfortu získáme váženým zprůměrováním jednotlivých zón. U dané figuríny je možnost různých poloh končetin, je tedy pohyblivá v ramenou, loktech, kolenou a kotnících. Další schopností figuríny je nastavitelné dýchací zařízení s filtry na zachycení aerosolů (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY).

Obr. 4.9 Rozdělení manekýna na tepelné zóny (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY)

#### Technické parametry:

- Výška: 175cm
- Hmotnost: 30 kg
- Měření v rozsahu okolních teplot -20 °C 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
- Maximální tepelný výkon : 700 W/m<sup>2</sup>
- Odchyly:  
± 0,1 °C pro měření teploty a požadovaných hodnot  
± 3% relativní vlhkosti měření



Obr. 4.10 Dýchací ústrojí (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY)

- Dechová frekvence: 5 až 20 dechů/min
- Dechový objem: 0,1 až 2,0 l
- Maximální průtok: 50 l /min

#### Standardní příslušenství

- Hlavní napájecí skříň (PowerEnclosure) - obsahuje všechny zdroje a sériové připojení k počítači.
- J-Box - obsahuje rozhraní pro okolní senzory (2 senzory pro měření teploty vzduchu, senzor pro relativní vlhkost, senzor pro rychlost větru)
- Tepelný manekýn
- Počítačový program ThermDAC8



Obr. 4.11 Tepelný manekýn s příslušenstvím (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY)

#### Doplňkové příslušenství:

- Dýchací systém
- Zvlhčovač dýchaného vzduchu
- Podstavec na simulaci chůze

#### 4.2.3. Využití tepelného manekýna

Tepelný manekýn je vhodný k měření tepelného komfortu a to jak v kabinách automobilů, tak i ve vnitřních prostorách budov. Díky 34 nezávisle měřitelným zónám a velmi přesné predikci tepelných pocitů člověka dokáže určit místo na těle, na kterém by mohlo docházet k tepelnému diskomfortu nebo k obtěžování průvanem. Díky těmto hodnotám lze optimalizovat a modelovat

pomocí systému CFD větrací a klimatizační zařízení v kabinách dopravních prostředků i vnitřních prostorách budov.

Další možností uplatnění tepelného manekýna je schopnost změřit tepelně izolační vlastnosti oděvu nebo vybavení pro sportovní či pracovní aktivity.

#### 4.2.4. Tepelný odpor oblečení

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, o zavedení jednotky clo, která nám vyjadřuje míru izolace oblečení, se zasloužili pánové Gagge, Burton a Bazzet.

1 clo představuje tepelný odpor  $I = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Jedná se o odpor vlastního oblečení nezahrnující odpor při přestupu tepla. Nahý člověk má tepelný odpor  $I = 0 \text{ clo}$ . V následující tabulce můžeme vidět tepelný odpor různých částí oblečení a souboru oblečení.





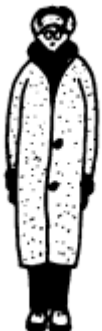







Tab. 4.3 Tepelný odpor jednotlivých částí oblečení (ISO 7730, 1997)

Popis ošacení	Tepelný odpor (clo)
<b>Spodní prádlo</b>	
Slipy	0,03
Kalhotky a podprsenka	0,03
Spodky s dlouhými nohavicemi	0,10
Nátělník	0,04
Tričko s krátkým rukávem	0,09
Tričko s dlouhým rukávem	0,12
<b>Košile - halenky</b>	
Krátké rukávy	0,15
Lehké, dlouhé rukávy	0,20
Normální dlouhé rukávy	0,25
Flanelová košile, dlouhé rukávy	0,30
Lehké halenky, dlouhé rukávy	0,15
<b>Kalhoty</b>	
Šortky	0,06
Lehké	0,20
Normální	0,25
Flanelové	0,28
<b>Šaty - sukně</b>	
Lehké sukně (letní)	0,15
Silné sukně (zimní)	0,25
Lehké šaty, krátké rukávy	0,20
	0,40

Zimní šaty, dlouhé rukávy	
<b>Svetry</b>	
Vesta bez rukávů	0,12
Tenký svetr	0,20
Svetr	0,28
Silný svetr	0,35
<b>Saka</b>	
Lehké, letní sako	0,25
Sako	0,35
Pracovní halena	0,30
<b>Různé</b>	
Ponožky	0,02
Silné ponožky ke kotníkům	0,05
Silonové punčochy	0,03
Boty s tenkou podrážkou	0,02
Boty se silnou podrážkou	0,04
Vysoké boty	0,10

Tab. 4.4 Tepelný odpor typických kombinací ošacení – výběr (ISO 7730, 1997)

Denní běžné oblečení	$I_{cl}$	
	clo	$m^2.K.W^{-1}$
Kalhotky, tričko, lehké ponožky, sandály	0,30	0,050
Kalhotky, spodnička, punčochy, lehké šaty s rukávy, sandály	0,45	0,070
Spodky, košile s krátkými rukávy, lehké kalhoty, ponožky, polobotky	0,50	0,080
Kalhotky, punčochy, košile s krátkými rukávy, sukně, sandály	0,55	0,085
Spodky, košile, lehčí kalhoty, boty	0,60	0,095
Spodní prádlo, košile, kalhoty, ponožky, boty	0,70	0,110
Kalhotky, spodnička, košile, sukně, silné podkolenky, boty	0,90	0,140
Spodky, nátělník, košile, kalhoty, svetr s věčkem, ponožky, boty	0,95	0,145
Kalhotky, košile, kalhoty, sako, ponožky, boty	1,00	0,155
Kalhotky, punčochy, blůzka, dlouhá sukně, sako, boty	1,10	0,170

					
< 0,5	0,6 - 1,2	1,3 - 1,7	1,8 - 2,4	2,5 - 3,4	> 3,5
					

Obr. 4.12 Orientační hodnoty tepelných odporů jednotlivých kompletů oblečení (CENTNEROVÁ, 2001)

## 5. PRAKTICKÁ ČÁST

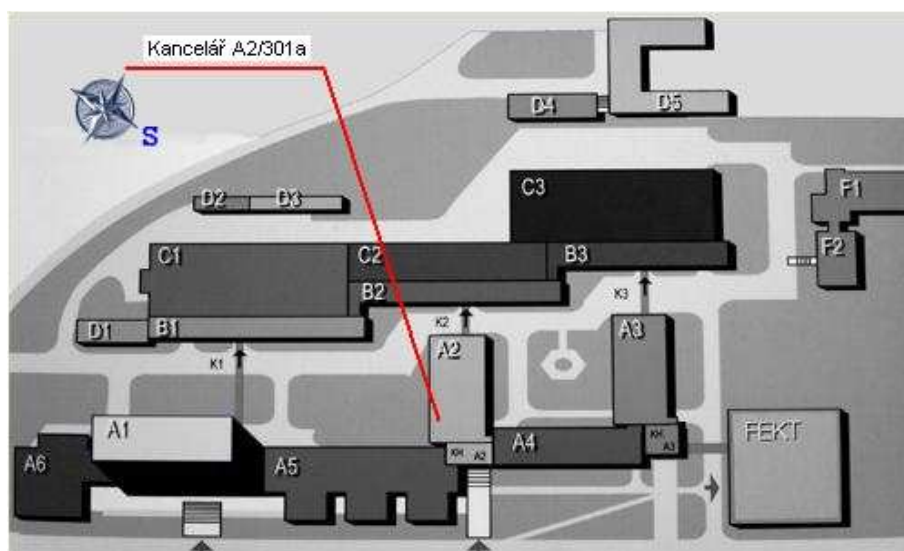
### 5.1. *Parametry tepelného stavu a popis testovacích vnitřních prostředí*

Dle zadání bylo provedeno měření ve dvou prostředích. V prostředí typické kanceláře průběh všech událostí a časových konstant byl dán reálným provozem v kanceláři, kdy se sled událostí odvíjí od obvyklých úkonů prováděných během dne. Naopak u druhého měření, které probíhalo v maketě malého dopravního letadla, byl průběh událostí i časových konstant proveden dle předem přesně stanoveného plánu.

#### 5.1.1. Prostředí kanceláře

Prvním měřeným prostorem bylo prostředí typické kanceláře, jež v tomto případě představovala kancelář A2/301a. Kancelář je umístěna ve třetím patře budovy A2, která je součástí komplexu budov Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně. Místnost má dvě okna, které jsou situovány na jihovýchod. Kancelář je vybavena umyvadlem, kancelářským nábytkem, klimatizačním zařízením a 3 počítači, což je i celkový počet osob užívajících tuto místnost.

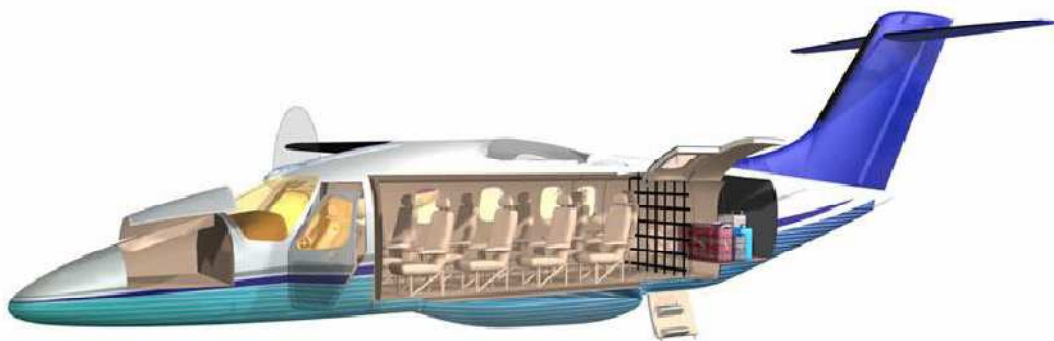
Jak již bylo řečeno, okna směřují na jihovýchod a tudíž, tepelné zisky okny jsou i v zimním období značné. Na zvyšování teploty se částečně podílí i prostup tepla z okolních místností. Největší tepelnou zátěž zde však produkují počítače.



Obr. 5.1 Umístění kanceláře A2/301a

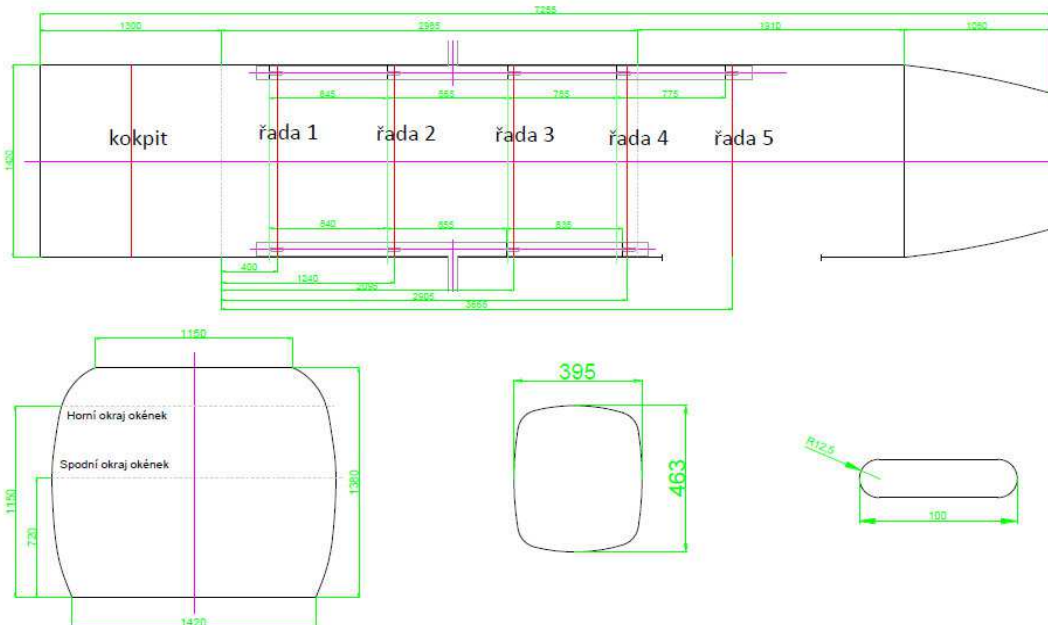
### 5.1.2. Prostředí makety kabiny malého dopravního letadla

Druhým měřeným prostředím byla již zmíněná maketa kabiny malého dopravního letadla. Maketa byla vyrobena na základě skutečného letadla EV-55 Outback, jež vznikalo v letech 2003-2010 ve firmě Evector v České republice. Jedná se o malé univerzální letadlo, které má možnost vzletu i přistání z nezpevněných ploch či vodních hladin. Je navrženo ve 3 provedeních a to pro přepravu cestujících, pro přepravu nákladu a ve vojenském provedení.



Obr. 5.2 Letadlo EV-55 Outback ve verzi pro přepravu cestujících (Evector, 2011)

Samotná maketa, v níž probíhalo měření byla věnována firmou Evector pro potřeby disertační práce Optimalizace mikroklimatu v kabinách malých dopravních letadel Ph.D. Ing. Jana Fišera. Původní využití makety bylo k designérským účelům a hlavně k vývoji samotného letadla.



Obr. 5.3 Hlavní rozměry makety, rozměry výústek, rozměry vzduchovodů (FIŠER, 2011)

Dělení makety respektuje rozdělení skutečné kabiny do tří sekcí - kokpit, kabina cestujících a zavazadlový prostor. Sekce kokpitu nebyla z důvodů zachování firemního tajemství dodána, proto byla kabina cestujících v přední části prodloužena nastavovacím kusem tak, aby vznikl prostor s objemem odpovídající původnímu kokpitu. Konstrukce kabiny je provedena převážně z překližky, dřevotřísky, sololitu a kartonového papíru. Překližka byla využita na podlahu makety, zadní přepážku a jednotlivá žebra a rozpěry stěn a stropu. Z dřevotřísky je tvořena podlaha nastavovacího kusu/kokpitu a přední přepážka. Potah makety byl vytvořen ze sololitu, přičemž bylo plně využito jeho ohebnosti a tvarovatelnosti. Strop makety byl vyroben s kartonového papíru. Jak již bylo zmíněno, maketa nejprve sloužila pro designéra účely, proto bylo ve stěnách vyřezáno celkem 14 otvorů pro okénka. Výplň okének byla vytvořena překrytím otvorů komůrkovým polykarbonátem o tloušťce 4 mm. Vstupní dveře o šířce 1140 mm jsou umístěny v levé stěně zadní sekce makety. Celá konstrukce makety kabiny je ustavena na podstavci o výšce 60 cm, svařené z ocelových profilů. Podstavec je opatřen šroubovacími nastavitelnými nožičkami, které umožňují finální vodorovné ustavení makety (FIŠER, 2011).



Obr. 5.4 Pravá strana makety s hlavním přívodem vzduchu od ventilační jednotky (FIŠER, 2011)

Přívod vzduchu do makety je řešen vzduchovody z Laboratoře větrání. Tato síť vzduchovodů byla sestavena pro disertační práci Optimalizace mikroklimatu v kabinách malých dopravních letadel PhD. Ing. Jana Fišera.

Základní verze testovacích vzduchovodů byla získaná společně s maketou. Vzduchovody byly vytvořeny z polypropylénového potrubí běžně využívaného pro sanitární rozvody v budovách. Důvodem pro volbu byla především snadná dostupnost, dobrá obrobiteľnosť a finanční nenáročnosť materiálu. Základ vzduchovodu je tvořen přívodním T-kusem (vstupní průměr 70 mm) na který jsou napojeny přední část (průměr 100 mm) s dvěma výstky a zadní část s dvěma výstky u levého a třemi výstky u pravého vzduchovodu. Podélná osa vzduchovodů je umístěna 330 mm nad podlahou makety, přičemž osa kolmá na plochu výstky svírá s podlahou úhel 75 stupňů. Na vstupní T-kusy jsou připojeny přívodní flexibilní hadice z hliníku (průměr 80 mm), které jsou připojeny k rozdělovací komoře umístěné v podstavci makety. Rozdělovací komora byla také získána spolu s maketou a je vyrobena z plastu ABS metodou rapid-prototyping. Hlavní připojovací hrdlo komory má průměr 100 mm a je připojeno flexibilní hliníkovou hadicí na elektrický ohříváč vzduchu o špičkovém výkonu 1,2 kW (FIŠER, 2011).

Ohříváč je dále připojen přes flexibilní hliníkovou hadici a přechod 125/160 na hlavní přívodní vzduchovod, kterým je maketa připojena k ventilační jednotce laboratoře větrání. Hlavní přívodní vzduchovod je sestaven z polypropylénového potrubí o průměru 160 mm a jeho celková délka činí cca 19 m. Před přechodovým kusem 125/160 je vřazen do vzduchovodu revizní T-kus, který byl využit především při kalibraci měření průtoku pomocí Wilsonovy mříže (viz kapitola 9.1.3). Vzhledem k vzdálenosti makety od ventilační jednotky a členitosti nosné konstrukce budovy těžké laboratoře jsou součástí vzduchovodu i čtyři kolena 87° a jedno koleno 45° s napojeným redukčním kusem 160/350 (FIŠER, 2011).

Hlavní přívodní vzduchovod je napojen na vzduchotechnický systém Laboratoře větrání OTTP.



Obr. 5.5 Provedení a větvení vzduchovodů (FIŠER, 2011)

## 6. KALIBRACE

Pro zvýšení přesnosti měření a zjištění specifických vlastností zvoleného oděvu, byla provedena kalibrace v kalibrační komoře laboratoře Netme Centre. V kapitole je uveden popis kalibrovaného oděvu, kalibrační komory včetně celého průběhu experimentu.

### 6.1. Popis experimentu

#### 6.1.1. Popis kalibrovaného oděvu

Neoblečená figurína neurčuje stejnou ekvivalentní teplotu jako oblečená, proto je tepelný tok a teplota vystaveného povrchu reprezentativnější s oblečenou figurínou. Pro hodnocení tepelného komfortu v dopravních prostředcích se používá tzv. „běžný vnitřní oděv“ jež pokrývá celé tělo kromě rukou a hlavy. Hodnota tepelného odporu  $C_{lo}$  by měla být v dané situaci reálná (ISO 14505, 2007).

Ke kalibraci byl použit oděv složený pro účely výzkumu tepelného komfortu v kabině dopravního letadla. Tento oděv můžeme nazvat jako „přiměřeně přiléhavý“ a je tvořen krátkým spodním prádlem, lehkými ponožkami, tričkem, košilí s dlouhým rukávem, dlouhými kalhotami a lehkými botami. Celková hodnota tepelného odporu kompletu oblečení by neměla přesáhnout 1,3 clo.



Obr. 6.1 Přiměřeně přiléhavý oděv dle normy ISO 14505-2

### 6.1.2. Popis kalibrační komory

Kalibrační komora se nachází v areálu laboratoře NETME Centre v divizi energetiky procesů a ekologie. Jedná se o zkušebnu, která je primárně určena pro měření výkonů topných a chladících těles. Tímto specializovaným měřícím a testovacím celkem v současné době disponují v rámci České republiky, pouze dvě pracoviště.



Obr. 6.2 Kalibrační komora v prostorách budovy NETME Centre

Základem zařízení je zkušební komora (box), která má rozměry 4x4x3 m(+/- 0,02 m) a byla zhotovena důsledně v souladu s českou technickou normou ČSN EN 442-2 „Otopná tělesa: zkoušky a jejich vyhodnocování“, která je českou verzí evropské normy EN 442-2:1996. Celé zařízení je konstruováno tak, aby v plné míře vyhovovalo citované normě a umožňovalo tak měření tepelných výkonů otopných těles v souladu s platnou legislativou.

Provoz zkušební komory je zajištěn složitou soustavou tepelného čerpadla, zásobníků tepla a chladu, elektrického kotle, vzduchotechniky a rozvodů do stěn, podlah a stropu komory. Pomocí těchto součástí a speciálního počítačového programu je možno, v podstatě v automatickém provozním režimu, měřit a průběžně vyhodnocovat výkon topného či chladícího tělesa umístěného ve zkušebním okruhu komory(NETME Centre).



Obr. 6.3 Vnitřní prostředí klimatické komory

### 6.1.3. Důvody kalibrace

Vzájemné ovlivňování tepelné výměny konvekcí, radiací a kondukcí v kabině dopravního prostředku je velmi složité. Vnější tepelná zátěž v kombinaci s vnitřním systémem vytápění a větrání dopravního prostředku vytváří místní klima, které může v prostoru a čase značně kolísat. Díky tomu vznikají asymetrické tepelné podmínky, které jsou velmi často hlavní příčinou stížností na tepelný diskomfort (ISO 14505-2, 2007).

Subjektivní hodnocení je sloučením kombinovaných účinků několika tepelných podnětů do jedné celkové reakce. To však není dostatečně přesné pro opětovné použití. Kalibrace jakožto jeden způsob technického měření poskytují podrobnou a přesnou informaci, ale pro předpověď tepelných účinků na člověka vyžadují sloučení (ISO 14505-2, 2007).

### 6.1.4. Průběh kalibrace

Podmínky stanovení součinitelů tepelného přenosu dle normy ISO 14505-2:

- $h_{cal}: t_a = t_r = 24^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$
- $v_a = 0,05 \text{ m/s}$
- $\Delta t_{0,1 - 1,1 \text{ m}} < 0,4^{\circ}\text{C}$

Klimatická komora byla spuštěna již 15hod před samotným měřením. Během této doby teplota v uzavřené komoře s homogenními klimatickými podmínkami dosáhla požadovaných  $24^{\circ}\text{C}$ . Součinitel přenosu tepla v kalibračních podmínkách  $h_{cal}$  není stálý, závisí na rozdílu mezi teplotou v komoře  $t_{eq}$  a povrchovou teplotou  $t_{sk}$ . Stanovení se má proto provádět při třech ekvivalentních teplotách: nejvyšší, nejnižší a při zmiňovaných  $24^{\circ}\text{C}$ . Ale pro oblečenou figurínu může být součinitel přenosu tepla  $h_{cal}$  uvnitř měřicího intervalu považován za konstantní a stanovení se tedy může provést jen při  $24^{\circ}\text{C}$ , jako při kalibraci v našem případě.

Následovalo ustavení tepelného manekýna v poloze, která je shodná s polohou zvolenou při měření. Tzn., že figurína byla uchycena pomocí stojanu v sedící poloze v prostoru, tak aby se nezvyšovala izolace např. od sedadla či jiného sedícího elementu. Teplotní změny na povrchu by neměly být větší než  $3^{\circ}\text{C}$ . Rozmístění měřících čidel bylo provedeno v závislosti na zvolené poloze při následujícím měření. Poté byl manekýn zapnut a po 1hod nahřívání, kdy došlo k ustálení jeho teploty na  $34^{\circ}\text{C}$  započalo samotné měření kalibrace oděvu.

Po dokončení všech měření lze již přistoupit k samotným výpočtům jednotlivých hodnot, které jsou potřebné k následnému vytvoření diagramu komfortních zón. Prvními kroky ve výpočtové části, je sjednocení párových částí a částí složených z více zón. Jedná se o sjednocení tepelných toků a jednotlivých ploch daných zón. U párových částí je potřeba sečíst přední a zadní zóny. Například přední a zadní předloktí (zone 9 + zone 10). U nepárových částí je potřeba sjednotit například celkovou zónu seat neboli hýždě (zone 20 + zone 21 +

zone 23 + zone 24). Pro výpočet RCT neboli celkového tepelného odporu oděvu lze využít vztahu:

$$RCT = (T_s - T_{amb})/q \quad 6.1$$

Kde:

$T_s$  je teplota povrchu figuríny [34°C]

$T_{amb}$  je teplota okolního prostředí [°C]

$q$  je tepelný tok z části figuríny [W/m<sup>2</sup>]

Další hodnotou, která je nutná k výpočtu ekvivalentní teploty je součinitel přenosu tepla  $h_{cal}$ , jež lze odvodit ze vztahu:

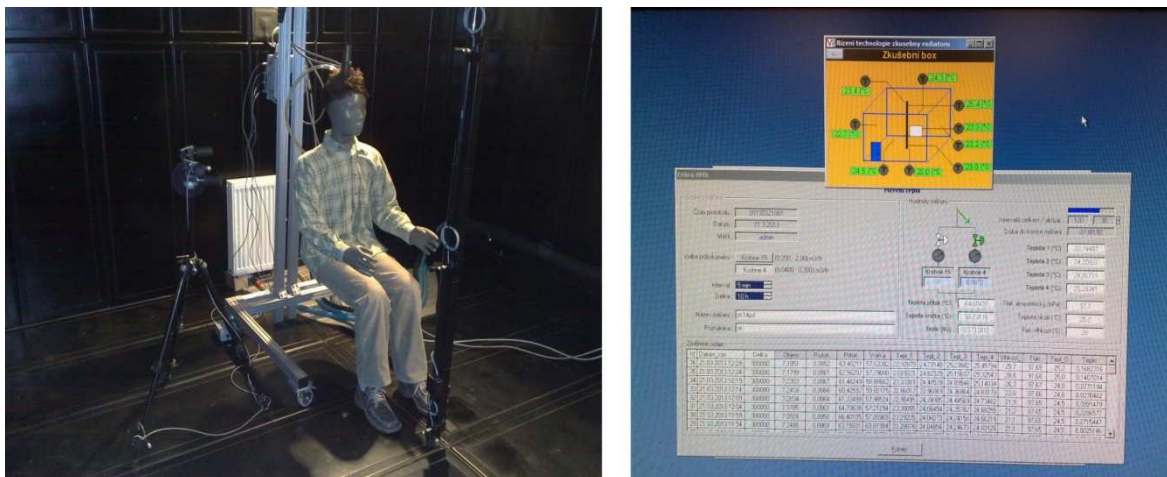
$$h_{cal} = 1/RCT \quad 6.2$$

Kde:

RCT je celkový tepelný odpor oblečení [m<sup>2</sup>K/W]

Tab. 6.1 Změřené a přepočítané hodnoty tepelného odporu oděvu na jednotlivé části manekýna

Manikin segment/B.c.	Measurement		Averaged values for doubled parts	
	hcal	RCT	hcal	RCT
	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> K/W]
Manikin_Arm_lower_L	4.16	0.240	4.29	0.233
Manikin_Arm_lower_R	4.41	0.227		
Manikin_Arm_upper_L	3.32	0.301	3.48	0.287
Manikin_Arm_upper_R	3.65	0.274		
Manikin_Back_lower	2.61	0.383	2.61	0.383
Manikin_Back_upper	3.59	0.279		
Manikin_Calf_L	4.73	0.211	4.81	0.208
Manikin_Calf_R	4.88	0.205		
Manikin_Chest	3.28	0.305	3.28	0.305
Manikin_Face	9.42	0.106	9.42	0.106
Manikin_Foot_L	5.37	0.186	5.48	0.182
Manikin_Foot_R	5.59	0.179		
Manikin_Hand_L	8.56	0.117	8.38	0.119
Manikin_Hand_R	8.20	0.122		
Manikin_Scalp	4.91	0.204	4.91	0.204
Manikin_Thigh_L	4.09	0.245	4.21	0.238
Manikin_Thigh_R	4.33	0.231		
Seat	3.54	0.282	3.54	0.282



Obr. 6.4 Poloha manekýna v klimatické komoře (vlevo) a řídicí software (vpravo)

## 6.2. Sestavení diagramu komfortních zón

Princip vytvoření diagramu komfortních zón je založen na výpočtu ekvivalentní teploty, jak již bylo zmíněno ve třetí kapitole. Před samotným výpočtem ekvivalentní teploty je ovšem potřeba výpočtově sjednotit párové části manekýna a části složené z více zón, tak jako u předchozího výpočtu celkového tepelného odporu oděvu (RCT), aby bylo možné použít lineární regresní konstanty  $a, b$ , které byly vypočteny, H.O.Nilssonem pro kombinace letního (1clo) a zimního oblečení (1,9clo).

Zone	$a$	$b$
Whole body	43.8	-13.3
Scalp	65.5	-33.9
Face	65.5	-33.9
Chest	36.1	-20.5
Up. back	36.1	-20.5
L U arm	43.0	-21.1
R U arm	43.0	-21.1
L L arm	43.0	-21.1
R L arm	43.0	-21.1
L hand	84.9	-57.2
R hand	84.9	-57.2
L thigh	46.7	-20.3
R thigh	46.7	-20.3
L calf	46.7	-20.3
R calf	46.7	-20.3
L foot	46.7	-20.3
R foot	46.7	-20.3
Lo. back	39.5	-19.5
Seat	39.5	-19.5

Obr. 6.5 Lineární regresní konstanty pro kombinaci letního a zimního oděvu (NILSSON, 2007)

Tab. 6.2 Hodnoty plochy, tepelného toku, součinitele přenosu tepla a tepelného odporu oděvu

Manikin segment/B.c.	Area [m <sup>2</sup> ]	Heat flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	RCT [m <sup>2</sup> K/W]
Wholebody	1.771	46.52	4.42	0.244
Scalp	0.0939	51.6	4.91	0.204
Face	0.0436	99.0	9.42	0.106
Chest	0.1939	34.5	3.28	0.305
Back upper	0.1427	37.8	3.59	0.279
Arm upper L	0.0836	34.9	3.48	0.287
Arm upper R	0.0836	38.4	3.48	0.287
Arm lower L	0.0648	43.8	4.29	0.233
Arm lower R	0.0648	46.4	4.29	0.233
Hand L	0.0461	90.1	8.38	0.119
Hand R	0.0461	86.3	8.38	0.119
Thigh L	0.1520	43.0	4.21	0.238
Thigh R	0.1520	45.5	4.21	0.238
Calf L	0.1351	49.8	4.81	0.208
Calf R	0.1351	51.3	4.81	0.208
Foot L	0.0596	56.5	5.48	0.182
Foot R	0.0596	58.8	5.48	0.182
Back lower (plevis)	0.0971	27.5	2.61	0.383
Seat	0.1170	37.30	3.54	0.282

Pak pro výpočet ekvivalentní teploty pro jednotlivé zóny lze použít rovnici:

$$T_{eq,zone} = T_s - RCT \times (a + (b \times MTV_{zone})) \quad 6.3$$

Kde :

$T_s$  je povrchová teplota dané zóny [34°C]

RCT je celkový tepelný odpor oblečení [m<sup>2</sup>K/W]

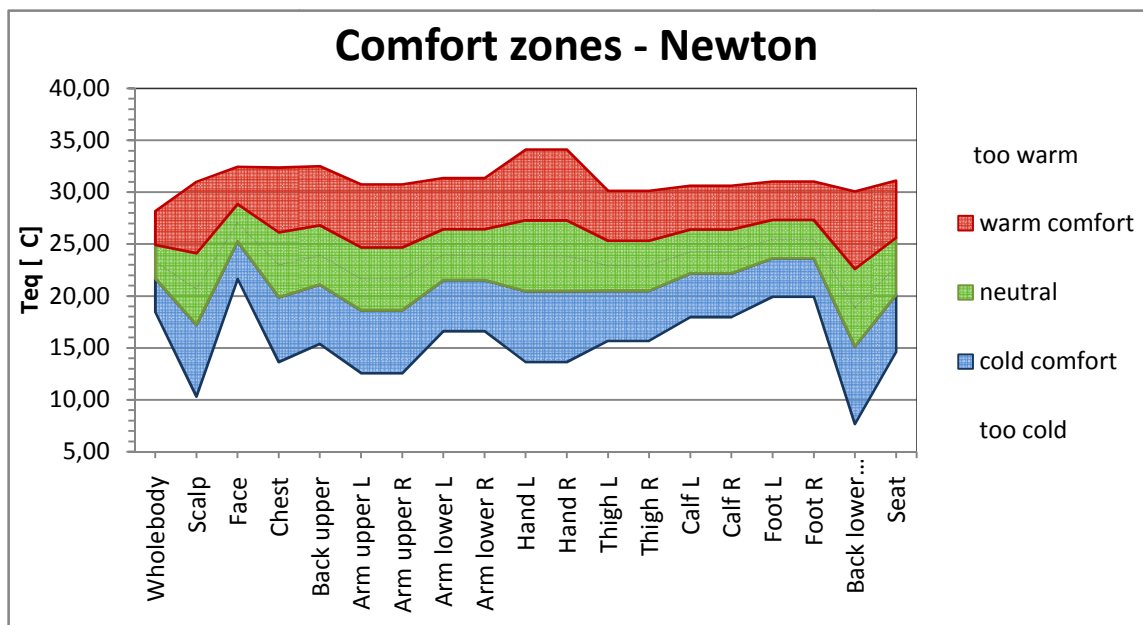
a,b jsou lineární regresní konstanty pro letní a zimní oblečení

$MTV_{zone}$  (Mean Thermal Vote) je hodnota příslušné zóny [-1,5;-0,5;0;0,5;1,5;]

MTV Zone	MTV Zone	MTV Zone	MTV Zone	MTV Zone
-1.5	-0.5	0.5	1.5	0
18.45	21.69	24.94	28.18	23.31
10.30	17.21	24.11	31.02	20.66
21.65	25.25	28.85	32.44	27.05
13.62	19.87	26.12	32.37	22.99
15.38	21.09	26.80	32.51	23.94
12.55	18.61	24.68	30.74	21.64
12.55	18.61	24.68	30.74	21.64
16.60	21.52	26.44	31.35	23.98
16.60	21.52	26.44	31.35	23.98
13.63	20.46	27.28	34.11	23.87
13.63	20.46	27.28	34.11	23.87
15.67	20.50	25.32	30.14	22.91
15.67	20.50	25.32	30.14	22.91
17.96	22.18	26.40	30.62	24.29
17.96	22.18	26.40	30.62	24.29
19.92	23.63	27.33	31.03	25.48
19.92	23.63	27.33	31.03	25.48
7.66	15.13	22.60	30.07	18.87
14.58	20.09	25.60	31.10	22.84

Obr. 6.6 Ekvivalentní teploty potřebné k vytvoření diagramu komfortních zón

Postupným odečtením hodnot jednotlivých zón od základní řady, kterou tvoří hodnoty řady MTV Zone -1,5 lze dopočítat velikost MTV vrstev pro dané části tepelného manekýna v diagramu komfortních zón.



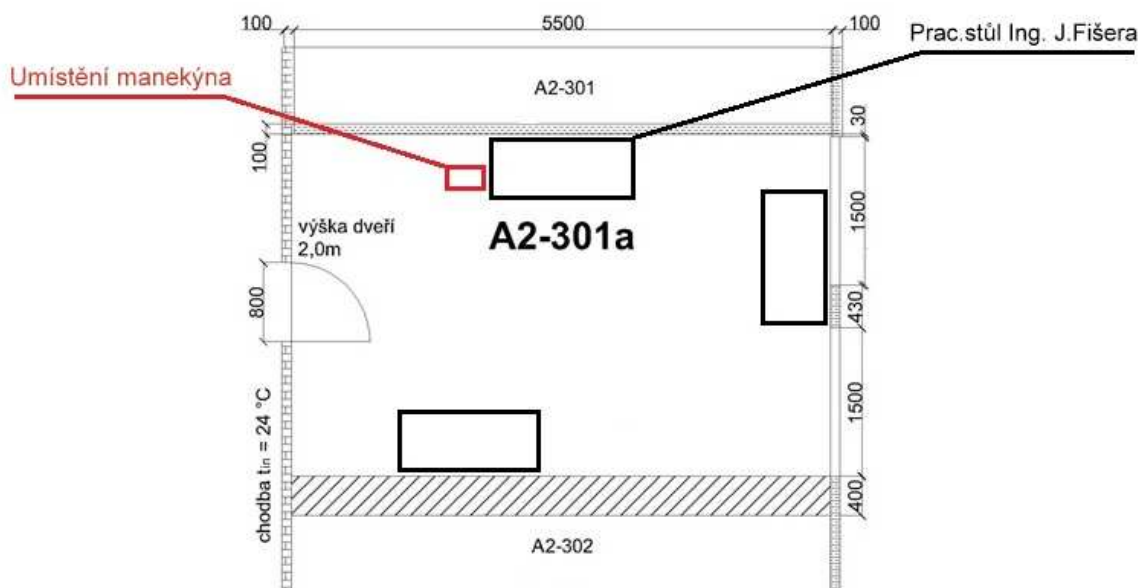
Obr. 6.7 Diagram komfortních zón pro "přiměřeně přiléhavý oděv"

## 7. MĚŘENÍ V KANCELÁŘI

Kapitola popisuje provedení měření tepelného komfortu pomocí tepelného manekýna Newtona v typické kanceláři, kterou v tomto případě představovala kancelář A2/301. Dále jsou zde zmíněny počáteční podmínky v kanceláři, měřicí přístroje a události. Změny v tepelném komfortu reagující na události dané běžným provozem kanceláře jsou popsány v jednotlivých dnech experimentu.

### 7.1. Popis experimentu

#### 7.1.1. Počáteční podmínky



Obr. 7.1 Půdorys kanceláře A2/301a a umístění tepelného manekýna při experimentu

Měření probíhalo po dobu tří dnů od 14.11.do 16.11.2012 v dopoledních a odpoledních hodinách. Počáteční podmínky k měření se během jednotlivých dnů lišily díky různým venkovním povětrnostním podmínkám a pak také kvůli rozdílným časovým intervalům, ve kterých měření probíhala. Například teplotní rozdíly mezi 15.11.2012 a 16.11.2012, kdy se počáteční hodnoty měřily v 7:00 dopoledne činily necelé 4°C. Tuto teplotní diferenci způsobil zapomenuté nedovřené okno, jež

zůstalo otevřené po celou dobu nočních hodin. Běžná teplota v kanceláři se během dne pohybovala okolo 24°C.



Obr. 7.2 Tepelný manekýn při experimentu v kanceláři

#### 7.1.2. Použité přístroje a jejich rozmístění

Základním měřicím prvkem při experimentu, byl tepelný manekýn, jenž byl po celou dobu měření posazen na kancelářskou židli. Při volbě vhodného místa pro měření byl brán v potaz běžný provoz kanceláře. Proto byl zvolen prostor tak, aby neobtěžoval jednotlivé členy pobývajících v kanceláři. Manekýn byl tedy umístěn u vchodu v levé části vedle stolu PhD. Ing. Jana Fišera, viz.obrázek 7.1. K manekýnovi bylo připojeno standardní příslušenství včetně počítače se softwarem ThermDAC 8, zpracovávajícím získaná data.

Jednotlivá čidla k měření vlhkosti, teploty atd., kterými je manekýn vybaven byly umístěny na stativ, díky němuž bylo možno přesně nastavit rozdílné výšky čidel. Čidla teplot byly rozmístěny do dvou výšek, tak aby bylo možno posoudit teplotu u hlavy a nohou manekýna. Čidlo 1 bylo dáno výškou 10cm a čidlo 2 výškou 130cm nad podlahou.

K měření rychlosti proudění vzduchu bylo čidlo umístěno 130cm nad podlahou. Pomocí posledního čidla nastaveného ve výšce 80cm bylo možné měřit vlhkost vzduchu. Tato rozmístění jsou uvedeny na obrázku 7.3.



Obr. 7.3 Rozmístění čidel k měření vlhkosti, rychlosti proudění vzduchu a teploty

Dalšími měřicími prvky byla soustava určená k měření okolní teploty vzduchu. Soustava se skládá ze dvou sond a datalogeru Testo 435, který slouží záznamu naměřených dat a jejich následnému přenosu do počítače. Jedna sonda byla umístěna na pracovní stůl Ing. J. Fišera a druhá přilepena k okenním žaluziím za účelem sledování jejich povrchové teploty a následnému vyhodnocení vlivu solárního záření na tepelnou pohodu v kanceláři.



Obr. 7.4 Sonda pro měření okolní teploty

### 7.1.3. Nastalé události během experimentu

Tab. 7.1 Seznam událostí během experimentu

<b>MĚŘENÍ KANCELÁŘ</b>		
<b>Datum</b>	<b>Čas</b>	<b>Událost</b>
14.11.2012	12:00 - 18:23	Měření experimentu
	14:20	otevření okna
	15:00	slunce už nesvítí na okna
	15:30	zavření okna
	16:55	odchod kolega Volavý
	18:20	odchod kolega Knotek
15.11.2012	7:05 - 16:10	Měření experimentu
	7:10	uzavření okna
	9:33	východ slunce nad A1 - svítí přímo na manekýna
	9:50	zatažení žaluzie
	11:22	zničen anemometr
16.11.2012	7:25 - 14:00	Měření experimentu
	13:15	začátek větrání
	13:20	otevřeny dveře
	13:21	konec větrání

Jak již bylo řečeno, jednotlivé události byly dány běžným provozem v kanceláři, a tudíž některé nebylo možné ovlivnit, jako například východ slunce za budovou A1 či západ slunce nebo odchod kolegů Volavého a Knotka. Události, jež se daly ovlivnit, kterými bylo zatažení žaluzií, otevření okna na větrání atd., vyhodnocovali a prováděli osoby pobývající v kanceláři vzhledem k aktuálnímu stavu vnitřního prostředí, tak aby byla zajištěna jejich tepelná pohoda.

### 7.1.3.1. 1.den experimentu

Měření bylo zahájeno 14.11.2012 ve 12:00hod při vypnutém vytápění a zavřeném okně a skončeno v 18:23 za stejných podmínek. V průběhu měření nastaly různé události, které jsou popsány a vykresleny v jednotlivých grafech níže.

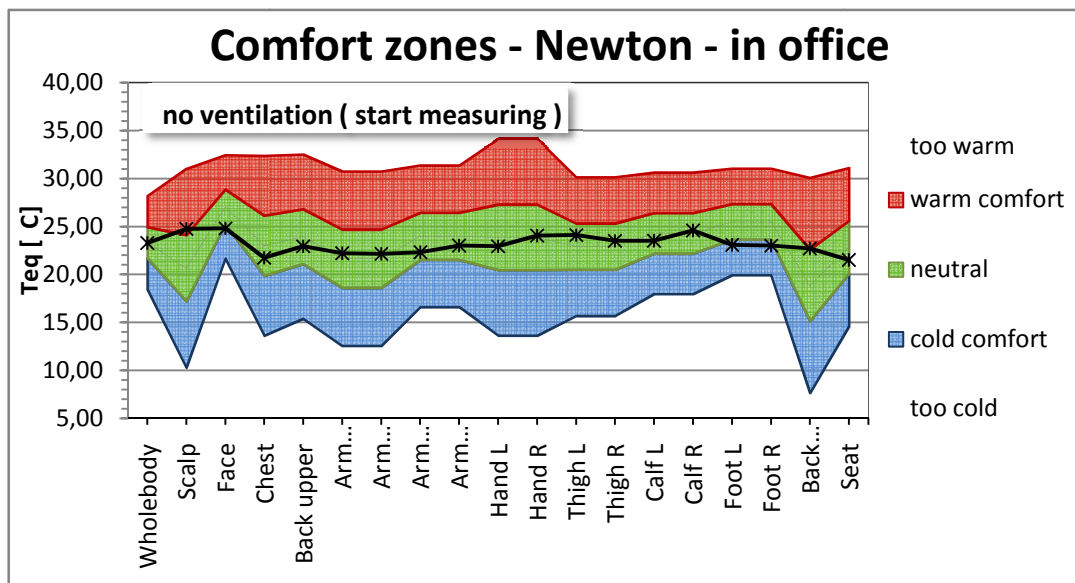
#### Začátek měření

Teplota vzduchu: 24,5°C Teplota žaluzii: 35,7°C Relativní vlhkost: 23 %

Tab. 7.2 Hodnoty ekvivalentní teploty na začátku měření dne 14.11.2012

13:00-13:10	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m <sup>2</sup> ]	flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	44.44	4.62	23.27
	Scalp	0.094	45.40	4.91	24.75
	Face	0.044	86.30	9.42	24.84
	Chest	0.194	40.13	3.28	21.77
	Backupper	0.143	39.61	3.59	22.97
	Armupper L	0.084	41.04	3.48	22.21
	Armupper R	0.084	41.23	3.48	22.15
	Armlower L	0.065	50.10	4.29	22.32
	Armlower R	0.065	47.15	4.29	23.01
	Hand L	0.046	92.50	8.38	22.96
	Hand R	0.046	83.40	8.38	24.05
	Thigh L	0.152	41.54	4.21	24.13
	Thigh R	0.152	44.06	4.21	23.54
	Calf L	0.135	50.41	4.81	23.52
	Calf R	0.135	45.24	4.81	24.59
	Foot L	0.060	59.80	5.48	23.09
	Foot R	0.060	60.10	5.48	23.03
	Backlower (plevis)	0.097	29.45	2.61	22.72
	Seat	0.117	44.20	3.54	21.51

Jak lze vidět z tabulky 4.1 tak ekvivalentní teploty jednotlivých částí se pohybují nad hodnotu 22 a díky tomu většina částí manekýna spadá do „neutrální zóny“ obrázek 7.5, až na část chodidla, jenž leží v rozmezí zóny „chladno ale příjemně“ a „neutrální zóny“. Z celkového pohledu lze však říci, že v tuto chvíli je zajištěna tepelná pohoda na všechny části manekýna.



Obr. 7.5 Vyhodnocení tepelného komfortu na začátku měření dne 14.11.2012

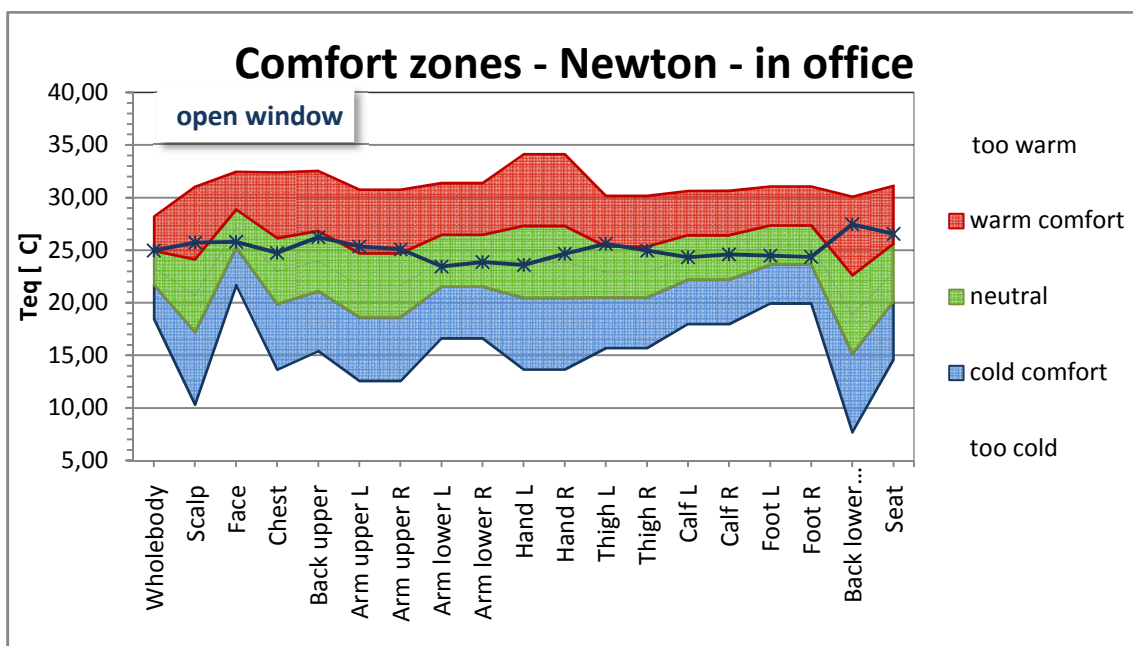
#### Otevřené okno

Teplota vzduchu: 24,9°C    Teplota žaluzií: 27,3°C    Relativní vlhkost: 26 %

Tab. 7.3 Hodnoty ekvivalentní teploty při otevřeném okně dne 14.11.2012

14:50-15:00	Manikin segment/B.c.	Area [m2]	Heat flux [W/m2]	hcal [W/m2K]	Teq
	Wholebody	1.771	37.85	4.62	24.96
Scalp	0.094	40.60	4.91	25.73	
Face	0.044	77.50	9.42	25.77	
Chest	0.194	30.33	3.28	24.75	
Backupper	0.143	27.82	3.59	26.25	
Armupper L	0.084	30.05	3.48	25.36	
Armupper R	0.084	30.99	3.48	25.10	
Armlower L	0.065	45.34	4.29	23.43	
Armlower R	0.065	43.51	4.29	23.86	
Hand L	0.046	87.20	8.38	23.59	
Hand R	0.046	78.30	8.38	24.66	
Thigh L	0.152	35.38	4.21	25.60	
Thigh R	0.152	38.02	4.21	24.97	
Calf L	0.135	46.62	4.81	24.31	
Calf R	0.135	45.24	4.81	24.59	
Foot L	0.060	52.20	5.48	24.47	
Foot R	0.060	52.90	5.48	24.35	
Backlower (plevis)	0.097	17.10	2.61	27.45	
Seat	0.117	26.42	3.54	26.54	

V případě otevřeného okna byla snaha zajistit sražení teplot do „neutrální zóny“, jelikož v tu dobu již narůstala teplota do hodnot zóny „teple ale příjemně“. Skokové zvýšení ekvivalentní teploty je možné vidět u spodní části zad (back lower) a hýždě (seat), což je způsobeno, stykem těchto částí s židlí. Tepelný komfort pro celé tělo se již pohybuje těsně v oblasti zóny „teple ale příjemně“.



Obr. 7.6 Vyhodnocení tepelného komfortu při otevřeném okně dne 14.11.2012

### Závěr měření

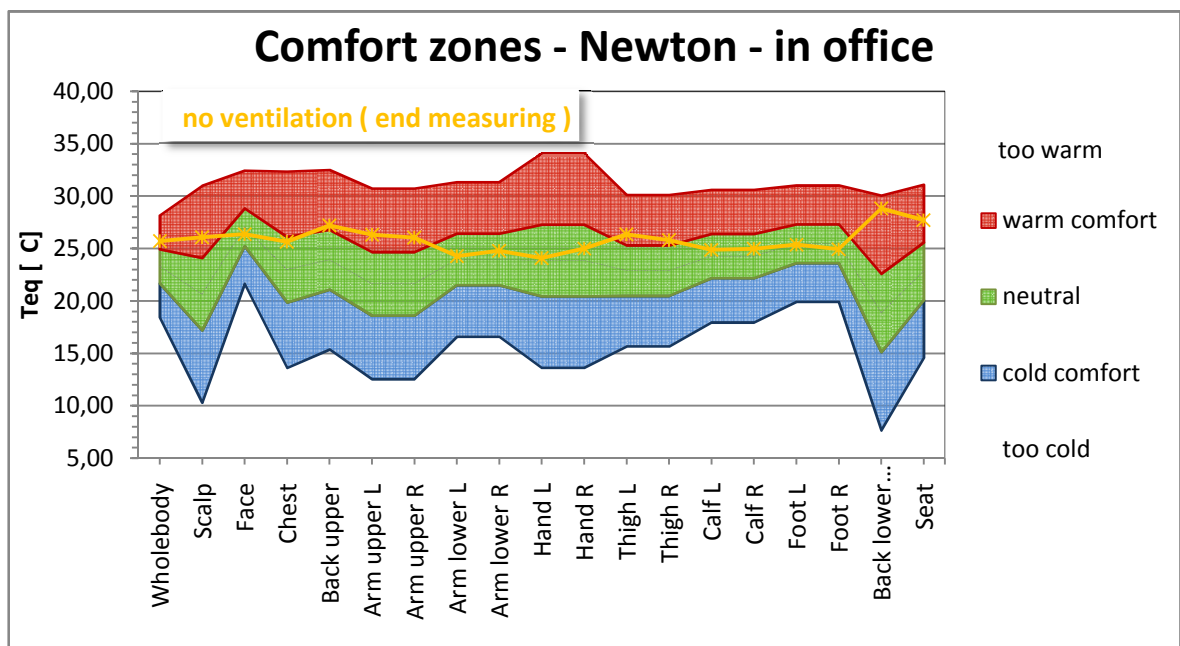
Teplota vzduchu: 21,8°C    Teplota žaluzií: 35,7°C    Relativní vlhkost: 28 %

Tab. 7.4 Hodnoty ekvivalentní teploty na konci měření dne 14.11.2012

18:13-18:23	Manikin segment/B.c.	Area	Heat flux	hcal	Teq
		[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	34.82	4.62	25.71
	Scalp	0.094	38.90	4.91	26.08
	Face	0.044	71.60	9.42	26.40
	Chest	0.194	27.39	3.28	25.65
	Backupper	0.143	24.36	3.59	27.22
	Armupper L	0.084	26.70	3.48	26.33
	Armupper R	0.084	27.69	3.48	26.04
	Armlower L	0.065	41.70	4.29	24.28

Armlower R	0.065	39.40	4.29	24.81
Hand L	0.046	83.00	8.38	24.10
Hand R	0.046	75.20	8.38	25.03
Thigh L	0.152	32.17	4.21	26.36
Thigh R	0.152	34.55	4.21	25.79
Calf L	0.135	43.76	4.81	24.90
Calf R	0.135	43.42	4.81	24.97
Foot L	0.060	47.20	5.48	25.39
Foot R	0.060	49.50	5.48	24.97
Backlower (plevis)	0.097	13.51	2.61	28.82
Seat	0.117	22.16	3.54	27.74

V závěru pracovní doby se již tepelný komfort manekýna nijak zvlášť nezměnil, pouze mírně vzrostla teplota všech jednotlivých částí a to v důsledku zavření okna, jelikož teplota venkovního prostředí již klesala.



Obr. 7.7 Vyhodnocení tepelného komfortu na konci měření dne 14.11.2012

### 7.1.3.2. 2.den experimentu

Měření bylo zahájeno 15.11.2012 ve 7:05hod při vypnutém vytápění ale otevřeném okně a skončeno v 16:10 při vypnutém vytápění a uzavřeném okně. V průběhu měření nastaly různé události, které jsou popsány a vykresleny v jednotlivých grafech níže.

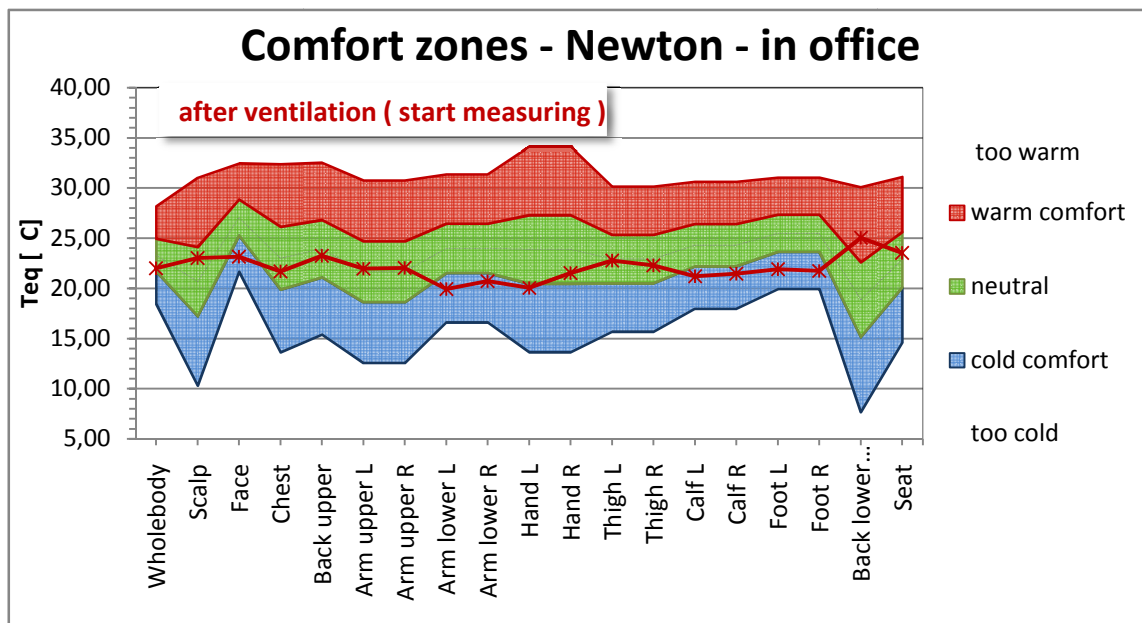
#### Začátek měření

Teplota vzduchu: 22,5°C Teplota žaluzii: 19,5°C Relativní vlhkost: 26 %

Tab. 7.5 Hodnoty ekvivalentní teploty na začátku měření dne 15.11.2012

9:00-9:10	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m <sup>2</sup> ]	flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	50.31	4.62	21.98
	Scalp	0.094	54.00	4.91	23.00
	Face	0.044	102.30	9.42	23.14
	Chest	0.194	40.46	3.28	21.66
	Backupper	0.143	38.65	3.59	23.23
	Armupper L	0.084	41.85	3.48	21.97
	Armupper R	0.084	41.65	3.48	22.03
	Armlower L	0.065	60.39	4.29	19.92
	Armlower R	0.065	56.92	4.29	20.73
	Hand L	0.046	116.80	8.38	20.06
	Hand R	0.046	104.60	8.38	21.52
	Thigh L	0.152	47.31	4.21	22.76
	Thigh R	0.152	49.32	4.21	22.29
	Calf L	0.135	61.56	4.81	21.20
	Calf R	0.135	60.42	4.81	21.44
	Foot L	0.060	66.30	5.48	21.90
	Foot R	0.060	67.10	5.48	21.76
	Backlower (plevis)	0.097	23.43	2.61	25.02
	Seat	0.117	37.09	3.54	23.52

Nižší hodnoty ekvivalentních teplot v tomto časovém rozmezí, jsou způsobeny zejména otevřeným oknem, kterým proudil po celou noc studený venkovní vzduch. Toto otevření bylo záměrné a to za účelem snížení teploty a vychlazení kanceláře pro následující pracovní den. Nejvíce jsou tímto vzduchem ovlivněny spodní části nohou (foot L, foot R), obličej (face) a předloktí levé ruky (Arm Lower L).



Obr. 7.8 Vyhodnocení tepelného komfortu na začátku měření dne 15.11.2012

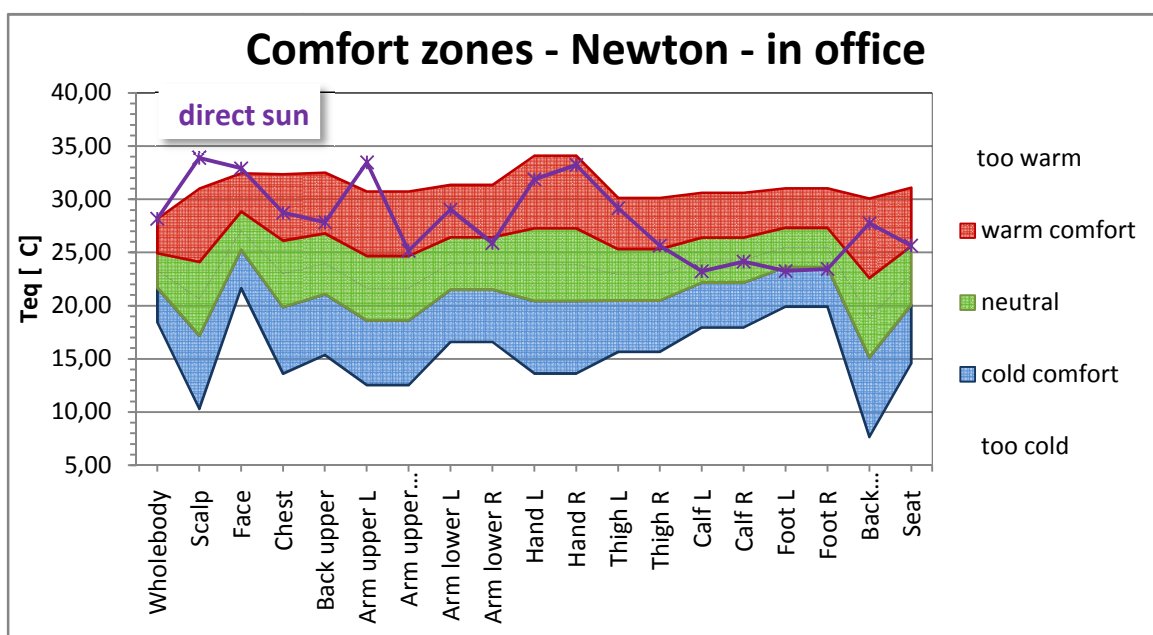
*Slunce svítí přímo na manekýna*

Teplota vzduchu: 25,5°C    Teplota žaluzii: 37,7°C    Relativní vlhkost: 25 %

Tab. 7.6 Hodnoty ekvivalentní teploty při přímém slunci dne 15.11.2012

9:40-9:50	Manikin segment/B.c.	Area [m <sup>2</sup> ]	Heat		Teq
			flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	25.35	4.62	28.15
	Scalp	0.094	0.60	4.91	33.88
	Face	0.044	10.10	9.42	32.93
	Chest	0.194	17.21	3.28	28.75
	Backupper	0.143	22.11	3.59	27.84
	Armupper L	0.084	1.90	3.48	33.45
	Armupper R	0.084	30.82	3.48	25.14
	Armlower L	0.065	21.21	4.29	29.05
	Armlower R	0.065	34.87	4.29	25.87
	Hand L	0.046	17.90	8.38	31.86
	Hand R	0.046	6.50	8.38	33.22
	Thigh L	0.152	20.37	4.21	29.16
	Thigh R	0.152	35.24	4.21	25.63
	Calf L	0.135	51.84	4.81	23.22
	Calf R	0.135	47.44	4.81	24.14
	Foot L	0.060	58.80	5.48	23.27
	Foot R	0.060	57.90	5.48	23.43
	Backlower (plevis)	0.097	16.35	2.61	27.74
	Seat	0.117	29.61	3.54	25.63

V případě tohoto měření lze pozorovat velké zvýšení ekvivalentních teplot u většiny částí manekýna. Největší nárůst byl u částí, jež nebyly kryty stolem, který je umístěn z levé části manekýna, a tudíž na ně dopadalo přímé sluneční záření. Mezi tyto části patřila hlava (scalp), obličej (face) a levá část ramene (arm upper L). Hodnoty jejich ekvivalentních teplot dosahovaly dokonce zóny „příliš teplo“ (too warm). Těmto hodnotám se velice přibližovala i přední část pravé ruky (hand R), a to opět díky nezastínění stolem. Naopak spodní část nohou (foot R, foot L) zůstaly víceméně na stejných velikostech „neutrální zóny“. Z celkového pohledu, se již člověk pohybuje na hranici mezi zónou „teplo ale příjemně“ (warm comfort) a zónou „příliš horko“ což už není prostředí vhodné pro práci vyžadující soustředění na daný problém.



Obr. 7.9 Vyhodnocení tepelného komfortu při přímém slunci dne 15.11.2012

### Zatažené žaluzie

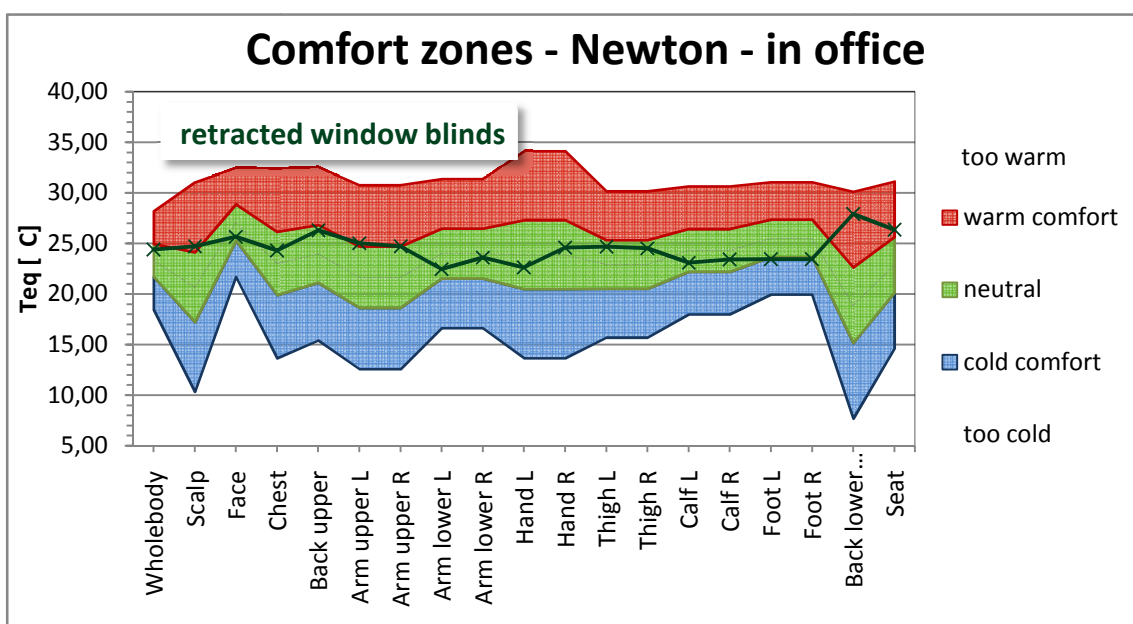
Teplota vzduchu: 25,6°C    Teplota žaluzií: 29,8°C    Relativní vlhkost: 26 %

Tab. 7.7 Hodnoty ekvivalentní teploty při zatažených žaluziích dne 15.11.2012

11:10-11:20	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m2]	flux [W/m2]	hcal [W/m2K]	
	Wholebody	1.771	40.47	4.62	24.39
	Scalp	0.094	45.60	4.91	24.71
	Face	0.044	78.40	9.42	25.68
	Chest	0.194	31.81	3.28	24.30
	Backupper	0.143	27.67	3.59	26.29
	Armupper L	0.084	31.17	3.48	25.04

Armupper R	0.084	32.31	3.48	24.72
Armlower L	0.065	49.44	4.29	22.47
Armlower R	0.065	44.54	4.29	23.62
Hand L	0.046	95.30	8.38	22.63
Hand R	0.046	79.00	8.38	24.57
Thigh L	0.152	39.21	4.21	24.69
Thigh R	0.152	39.85	4.21	24.54
Calf L	0.135	52.37	4.81	23.11
Calf R	0.135	50.90	4.81	23.42
Foot L	0.060	57.90	5.48	23.43
Foot R	0.060	57.90	5.48	23.43
Backlower (plevis)	0.097	15.90	2.61	27.91
Seat	0.117	27.04	3.54	26.36

Po zatažení žaluzií je možné pozorovat výrazné snížení ekvivalentních teplot, zejména u částí, které byly předtím vystaveny přímému slunečnímu záření. Hodnota spodní části zad (back lower) a hýždě (seat) zůstává neměnná, pohybuje se v oblasti zóny „teplo ale příjemně“ (warm comfort).



Obr. 7.10 Vyhodnocení tepelného komfortu při zatažených žaluziích dne 15.11.2012

### 7.1.3.3. 3.den experimentu

Měření bylo zahájeno 16.11.2012 ve 7:25hod při vypnutém vytápění a uzavřeném okně a skončeno v 14:00 za stejných podmínek. Měření bylo ukončeno již v 14:00, protože hlavní napájecí zdroj manekýna svým hlukem silně obtěžoval osazenstvo kanceláře a pokračování experimentu bylo proto ukončeno. Hluk generovaný chlazením napájecího zdroje je tedy jedním z limitujících faktorů pro dlouhodobé měření ve vnitřním pracovním prostředí s nízkou hlučností za přítomnosti pracujících osob. V průběhu měření nastaly různé události, které jsou popsány a vykresleny v jednotlivých grafech níže.

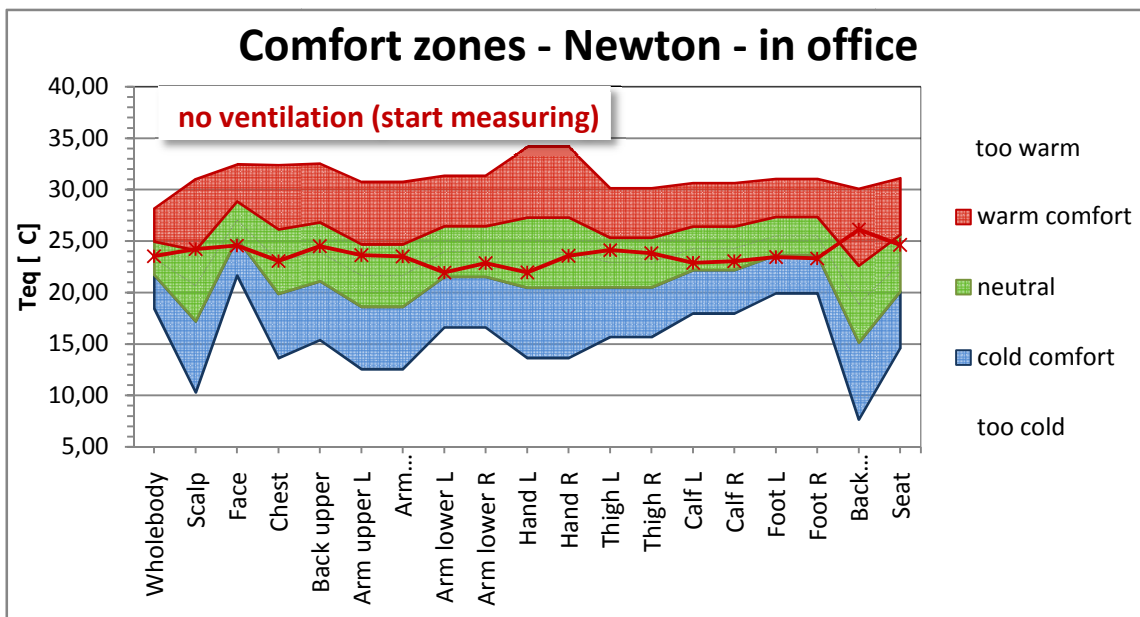
#### Začátek měření

Teplota vzduchu: 23,9°C    Teplota žaluzii: 21,1°C    Relativní vlhkost: 28 %

Tab. 7.8 Hodnoty ekvivalentní teploty na začátku měření dne 16.11.2012

9:00-9:10	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m <sup>2</sup> ]	flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	43.79	4.19	23.55
	Scalp	0.094	48.08	4.91	24.21
	Face	0.044	88.80	9.42	24.57
	Chest	0.194	35.84	3.28	23.07
	Backupper	0.143	34.10	3.59	24.50
	Armupper L	0.084	36.10	3.48	23.63
	Armupper R	0.084	36.53	3.48	23.50
	Armlower L	0.065	51.68	4.29	21.95
	Armlower R	0.065	47.83	4.29	22.85
	Hand L	0.046	100.99	8.38	21.95
	Hand R	0.046	87.43	8.38	23.57
	Thigh L	0.152	41.53	4.21	24.14
	Thigh R	0.152	42.95	4.21	23.80
	Calf L	0.135	53.48	4.81	22.88
	Calf R	0.135	52.75	4.81	23.03
	Foot L	0.060	57.94	5.48	23.43
	Foot R	0.060	58.49	5.48	23.33
	Backlower (plevis)	0.097	20.62	2.61	26.10
	Seat	0.117	33.22	3.54	24.62

Na začátku třetího dne experimentu, byla prakticky pro všechny části zajištěna tepelná pohoda. V rámci celého těla se ekvivalentní teplota dokonce pohybovala jen dvě desetiny nad středem „neutrální zóny“.



Obr. 7.11 Vyhodnocení tepelného komfortu na začátku měření dne 16.11.2012

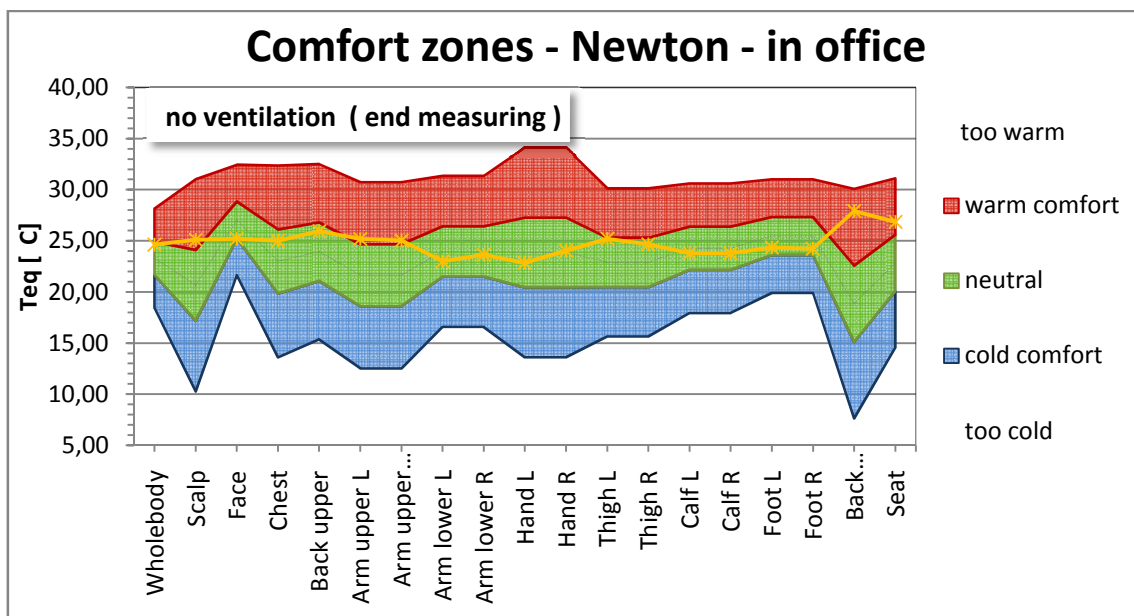
### Závěr měření

Teplota vzduchu: 25,1°C    Teplota žaluzii: 22,5°C    Relativní vlhkost: 27 %

Tab. 7.9 Hodnoty ekvivalentní teploty na závěr měření dne 16.11.2012

13:00-13:10	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m <sup>2</sup> ]	flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	38.53	4.19	24.80
	Scalp	0.094	43.03	4.91	25.24
	Face	0.044	78.53	9.42	25.66
	Chest	0.194	29.52	3.28	25.00
	Backupper	0.143	27.96	3.59	26.21
	Armupper L	0.084	30.57	3.48	25.21
	Armupper R	0.084	30.45	3.48	25.25
	Armlower L	0.065	46.47	4.29	23.17
	Armlower R	0.065	43.02	4.29	23.97
	Hand L	0.046	91.35	8.38	23.10
	Hand R	0.046	81.25	8.38	24.30
	Thigh L	0.152	36.92	4.21	25.23
	Thigh R	0.152	38.01	4.21	24.97
	Calf L	0.135	48.70	4.81	23.88
	Calf R	0.135	48.16	4.81	23.99
	Foot L	0.060	51.68	5.48	24.57
	Foot R	0.060	52.73	5.48	24.38
	Backlower (plevis)	0.097	15.29	2.61	28.14
	Seat	0.117	24.57	3.54	27.06

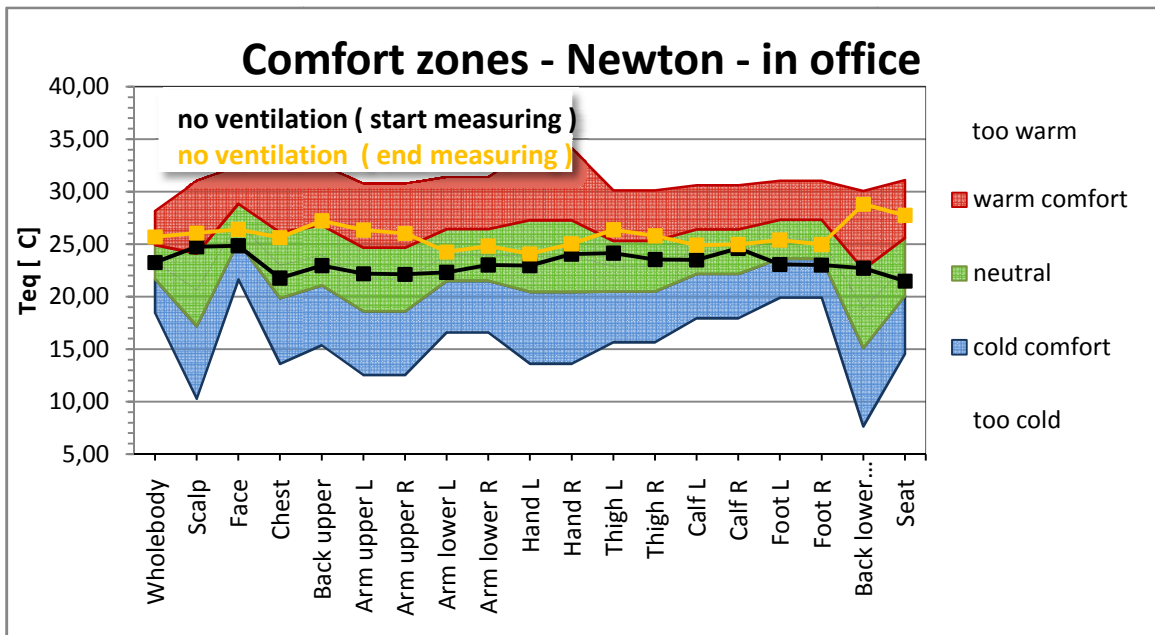
Na konci experimentu ekvivalentní teploty mírně vzrostly oproti teplotám na začátku dne, a to i přesto, že v průběhu tohoto měření proběhlo vyvětrání pomocí otevřených oken. Důvodem mírného nárůstu může být i fakt, že měření bylo ukončeno již ve 14:00hod, kdy intenzita slunečního svitu byla ještě na vysoké úrovni.



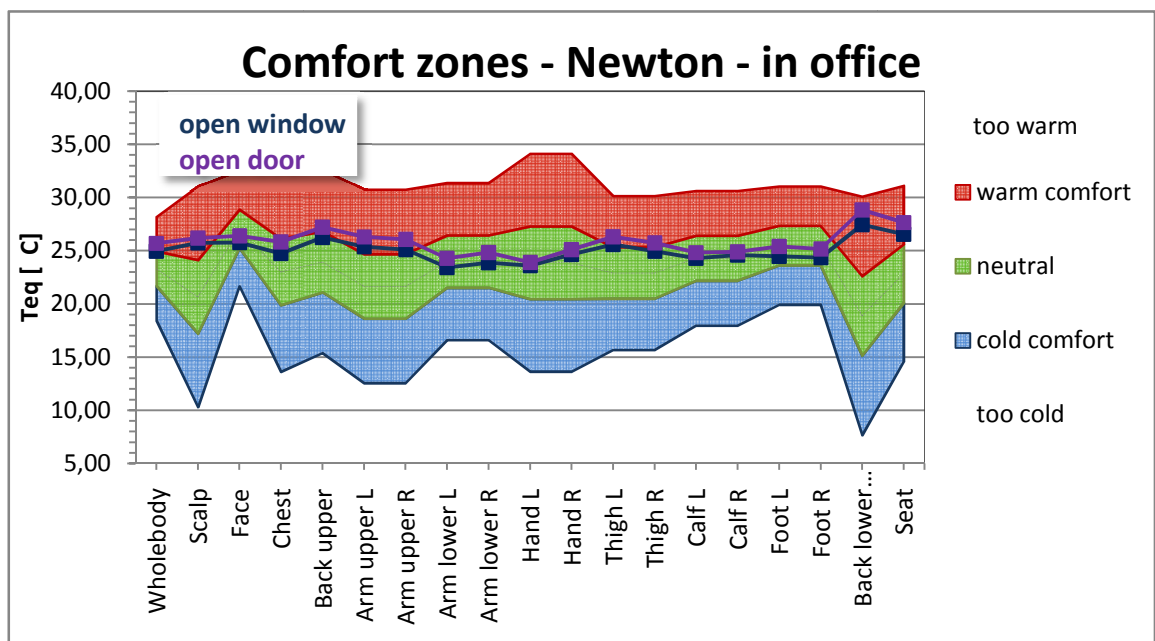
Obr. 7.12 Vyhodnocení tepelného komfortu na konci měření dne 16.11.2012

#### 7.1.4. Porovnání výsledků a jejich zhodnocení

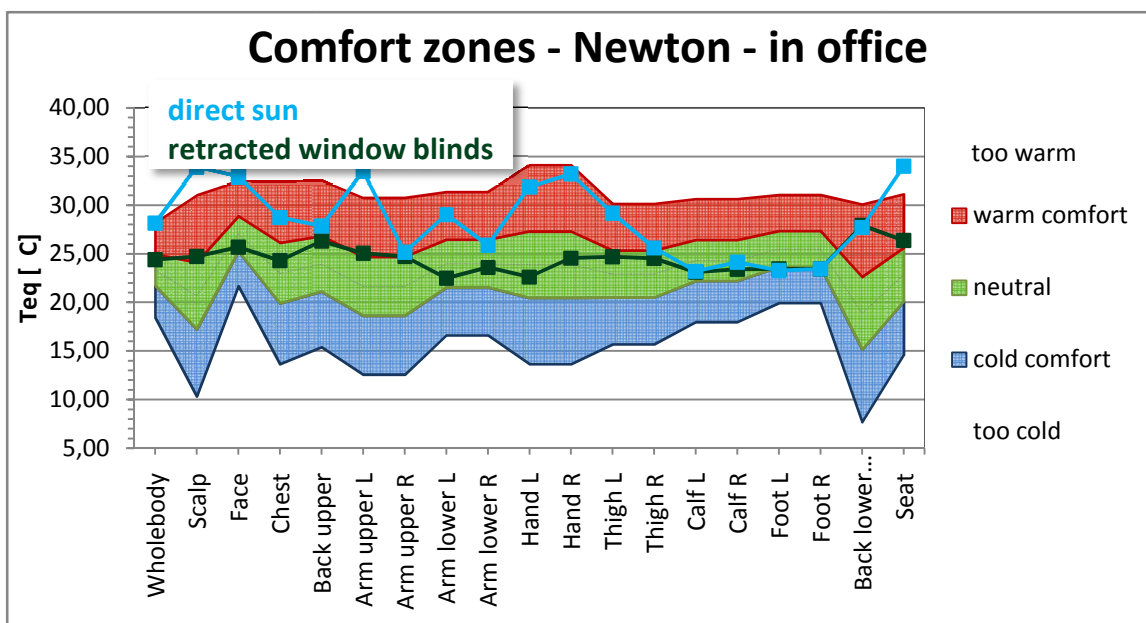
Jelikož se teploty vnitřního prostředí kanceláře během celého třídenního experimentu výrazně nelišily, dalo by se říci, že by bylo možné porovnat nejen výsledky z jednoho dne mezi sebou ale i s výsledky z jiných dnů. Na druhou stranu, by tyto výsledky nebyly relevantní, protože jednotlivá měření se uskutečnila každý den v jiných časových intervalech. V následujících jednotlivých diagramech, jsou proto porovnány vždy události, které probíhaly ve stejný den experimentu a ty které nejvíce ovlivnily tepelný komfort jak směrem k vyšším tak k nižším teplotám nebo události, jenž spolu souvisí.



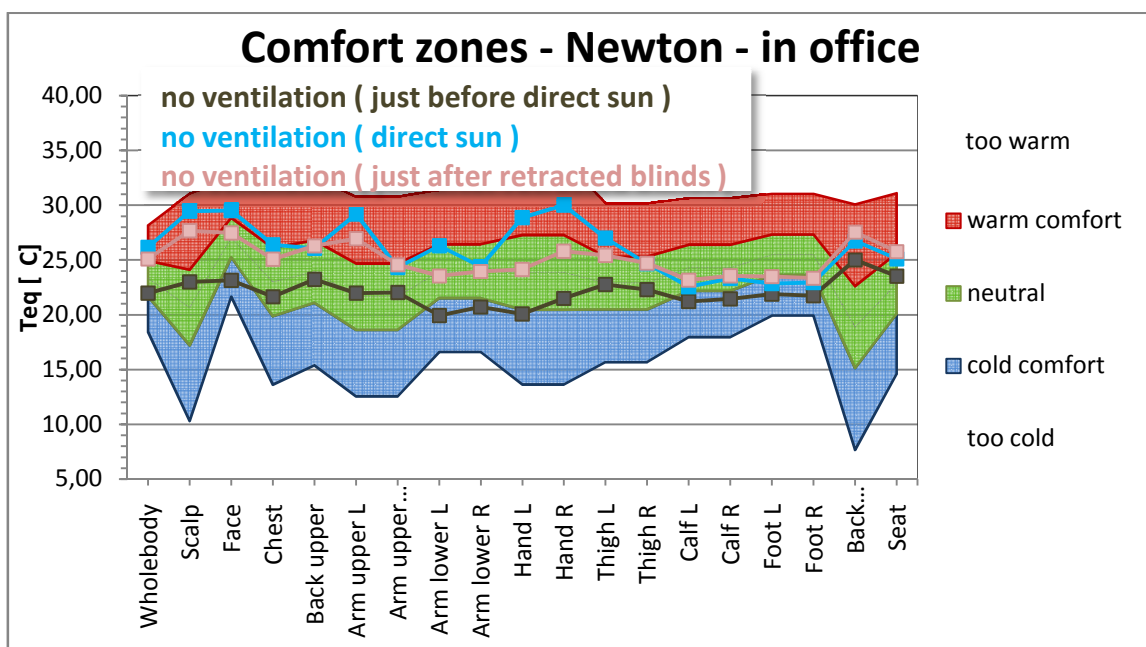
Obr. 7.13 Porovnání tepelného komfortu na začátku měření a na konci měření dne 14.11.2012



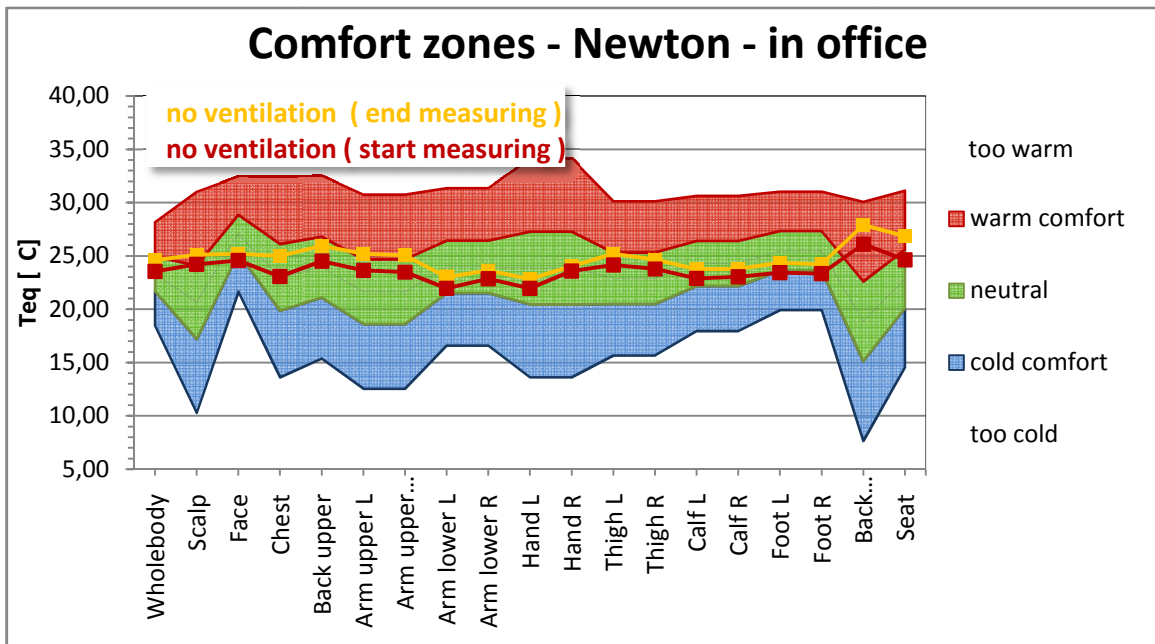
Obr. 7.14 Porovnání tepelného komfortu při otevřeném okně a při otevřených dveřích dne 14.11.2012



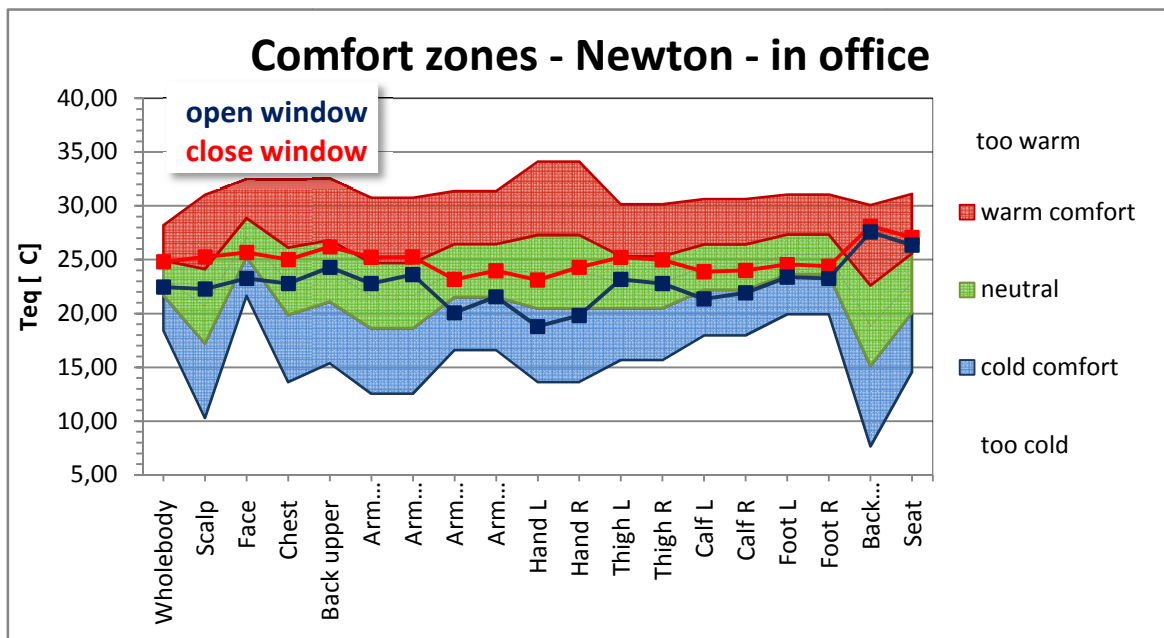
Obr. 7.15 Porovnání tepelného komfortu při přímém slunci a při zatažených žaluziích dne 15.11.2012



Obr. 7.16 Porovnání tepelného komfortu těsně před přímým sluncem, při přímém slunci a těsně po zatažení žaluzií dne 15.11.2012



Obr. 7.17 Porovnání tepelného komfortu na začátku měření a na konci měření dne 16.11.2012



Obr. 7.18 Porovnání tepelného komfortu při otevřeném okně a při zavřeném okně dne 16.11.2012

Základní porovnání tepelného komfortu pro jednotlivé události je uvedeno v diagramech komfortních zón, které jsou zobrazeny ve formě obrázků 7.13 – 7.17. V diagramech jsou vyneseny hodnoty jak pro jednotlivé zóny manekýna, tak hodnoty pro celé tělo.

Při podrobnější analýze lze z diagramů vyčíst, například rozdíl v teplotách na začátku a na konci měření ze dne 14.11. obrázek 7.13 a 16.11. obrázek 7.17 zejména u částí dotýkajících se židle. Jedná se o spodní část zad (back lower) a hýždě (seat). Hodnoty teplot ze 14.11. jsou na začátku měření v „neutrální zóně“ a na konci již v zóně „teplo ale příjemně“, kdežto teploty ze 16.11. nabývají podobných hodnot v zóně „teplo ale příjemně“ mezi začátkem a koncem měření. A to i přesto že experiment začal již brzy ráno, oproti experimentu ze 14.11., jenž měl začátek ve 14:00hod a tedy i teplota okolního prostředí byla vyšší. Toto mohlo být způsobeno i nedokonalou teplotní stabilizací tepelného manekýna, jelikož k tomuto experimentu byl přivezen z laboratoře, kde bylo podstatně chladněji než v měřené kanceláři. V případě dalších událostí ze dne 14.11., je patrné, že otevření oken či dveří má velice podobný průběh na jednotlivé části manekýna.

V průběhu druhého dne experimentu bylo možné pozorovat největší diference v ekvivalentních teplotách v některých částech manekýna. Faktorem zvyšujícím tyto teploty, byly paprsky slunečního záření, které dopadaly po určitou dobu přímo na manekýna. K velmi výraznému zvýšení teplot a tedy i k zhoršení tepelné komfortu ovšem docházelo pouze u částí nezakrytých pracovním stolem Ing.J.Fišera nebo částí vnější stěny pod okny, jak lze vidět na obrázku 7.15. Tento fakt je způsoben především tím, že motor ventilátoru větracího systému makety je chlazen přiváděným vzduchem a tím pádem je tento vzduch ohříván. Teplota vzduchu v maketě tak byla při modelových případech s větráním vyšší než v modelových případech bez větrání. Z obrázku 7.16 lze vypočítat značný pokles teplot na teploty blízké se „neutrální zóně“ již chvíli po zatažení žaluzií po předchozím přímém slunečním záření.

Během třetího dne k výraznějšímu ovlivnění tepelného komfortu nedošlo. Pouze v případě otevření okna byl zaznamenán pokles ekvivalentních teplot manekýna. Vliv proudění vzduchu opět nejvíce zasáhl části manekýna, jež byly nezakryté pracovním stolem, kde teploty spadly do zóny „chladno ale příjemně“. Ovšem pokles teplot na zbylé části manekýna byl spíše pozitivní záležitostí, vzhledem k tomu, že většina hodnot se pohybovala v „neutrální zóně“.

Z porovnání výsledných diagramů komfortních zón získaných z experimentu uskutečněného v kanceláři A2/301a lze pozorovat, že po všechny dny měření se ekvivalentní teplota, vyhodnocená pro tělo jako celek pohybovala kolem 25°C což odpovídá „neutrální“ zóně (Neutral), neboli zóně ve které by většina lidí měla pociťovat tzv. tepelnou pohodu. Na druhou stranu je potřeba vzít v potaz, že tato kancelář má okna směřovaná na jihovýchod a tudíž podíl tepla předaného radiací je značný.

Vliv slunečního záření byl znát i na rozdílných hodnotách MTV u párových částí, které by měli mít podobnou ekvivalentní teplotu. Důvodem těchto rozdílných hodnot byla poloha manekýna, kdy levá část jeho těla byla otočena v oknu. V časovém intervalu, kdy sluneční záření dopadalo přímo na manekýna, vzrostly hodnoty ekvivalentních teplot až do zóny „příliš horko“ (too warm). Jak lze vidět z diagramu na obrázku 7.15, zmiňované teplotní diference rychle a efektivně řeší zatažení žaluzií. O něco méně spolehlivým faktorem pro zlepšení tepelného

komfortu v případě přímého slunečního svitu v měřené kanceláři je i otevření oken do polohy větrání.

Nejmenší změny po dobu trvání celého experimentu byly viditelné na spodních částech nohou a chodidel. Hodnota ekvivalentní teploty se pohybovala na spodní hranici „neutrální zóny“ nebo v zóně „chladno ale příjemně“. Tato skutečnost byla dána vzduchem cirkulujícím u podlahy a nemožností přímého ovlivnění slunečním zářením.

Z celkového pohledu vlivu jednotlivých událostí na tepelný komfort člověka, lze říci, že v daném prostoru by měl mít člověk ideální podmínky pro práci, neměl by mít ani pocit nepříjemného chladu tedy měla by zde být zajištěna tepelná pohoda prostředí. Je důležité ale na závěr dodat, že daný experiment byl měřen v měsíci listopadu, kdy už teploty vnějšího prostředí nejsou tak vysoké jako v letních měsících. Tudíž zmíněná věta o zajištění tepelné pohody prostředí v měřené kanceláři je platná jen pro posuzované roční období.

## 8. MĚŘENÍ V MAKETĚ KABINY MALÉHO DOPRAVNÍHO LETADLA

V kapitole je popsáno provedení měření tepelného komfortu s tepelným manekýnem Newtonem v maketě kabiny malého dopravního letadla, která je umístěna v těžkých laboratořích Energetického ústavu FSU. Dále jsou uvedeny jednotlivé použité přístroje, jejich rozmístění a modelové případy měření.

### 8.1. Popis experimentu

#### 8.1.1. Počáteční podmínky a seznam modelových případů

Experiment v maketě malého dopravního letadla proběhl dne 7.2.2013 od 9:00 do 14:30 hod. Měření se podařilo uskutečnit dle předem stanoveného plánu s drobnými časovými prodlevami, které např. způsobila chyba kontaktu v zásuvce vyhřívané dečky umístěné na sedadle. Závěr experimentu byl poznamenán rychlou změnou parametrů vnitřního prostředí z důvodu nepředvídaného otevření hlavních vchodových vrat do laboratoře, díky němuž nebylo možné dokončit poslední modelový případ, který byl však zamýšlen pouze jako porovnávací a tím pádem tato událost nijak zásadně neovlivnila výsledky celého měření.

Tab. 8.1 Původní plán experimentu

MĚŘENÍ MAKETA LETADLA		
Datum	Čas	Událost
7.2.2013	9:00 - 15:00	Měření
	9:00	zapnutí a nahřívání manekýna
	10:30	zapnutí a nahřívání sedačky
	11:00	logování dat pro modelový případ 2
	11:30	zapnutí ventilace na průtok cca 50% výkonu = 45 l/s
	12:30	logování dat pro modelový případ 3
	13:00	vypnutí sedačky
	13:30	logování dat pro modelový případ 4
	14:00	vypnutí ventilace
	15:00	konec měření

Tab. 8.2 Předpokládané stavy a datové výstupy

<b>MĚŘENÍ MAKETA LETADLA</b>			
<b>Datum</b>	<b>Čas</b>	<b>Předpokládaný stav na konci</b>	<b>Datové výstupy</b>
7.2.2013			
	9:00 - 15:00	Měření	Měření
	9:00	nahřátý manekýn	modelový případ 1 - prostředí bez ventilace, bez vyhřívání sedačky
	10:30	nahřátý manekýn i sedačka	nic
	11:00	data pro modelový případ 2	modelový případ 2 - prostředí bez ventilace, zapnuté vyhřívání sedačky
	11:30	ustálený stav manekýna pro ventilaci	nic
	12:30	data pro modelový případ 3	modelový případ 3 - prostředí s ventilací, zapnuté vyhřívání sedačky
	13:00	ustálený stav manekýna pro ventilaci + vypnutá sedačka	nic
	13:30	data pro modelový případ 4	modelový případ 4 - prostředí s ventilací, bez vyhřívání sedačky
	14:00	test shody podmínek s modelovým případem 1	modelový případ 5 - test shody s modelovým případem 1

Tab. 8.3 Skutečný průběh experimentu

<b>MĚŘENÍ MAKETA LETADLA</b>		
<b>Datum</b>	<b>Čas</b>	<b>Událost</b>
7.2.2013	9:00 - 14:30	Měření
	9:04	zapnutí a nahřívání manekýna
	10:30	zapnutí a nahřívání sedačky (chyba kontaktu v zásuvce 12V - sedačka začala hřát až v 10:47)
	11:31	zapnutí ventilace na průtok cca 50% výkonu = 45 l/s (skutečně nastaveno cca 60% maxima = měřený průtok cca 80 l/s = po korekci cca 48 l/s)
	13:00	vypnutí sedačky
	14:00	vypnutí ventilace
	14:01	byla otevřena vrata do C3 - prudké ovlivnění okolních podmínek
	14:10	uzavření dveří makety
	14:30	konec měření z důvodu ovlivnění okolí - test shody nebylo možné dokončit

Tab. 8.4 Porovnání teplot v okolí makety před a po otevření vchodových vrat

Datum	čas	Teplota okolí makety
		$T_0$
		[°C]
7.2.2013	9:06:08	14,1
7.2.2013	13:59:38	14,6
7.2.2013	14:08:28	11,6

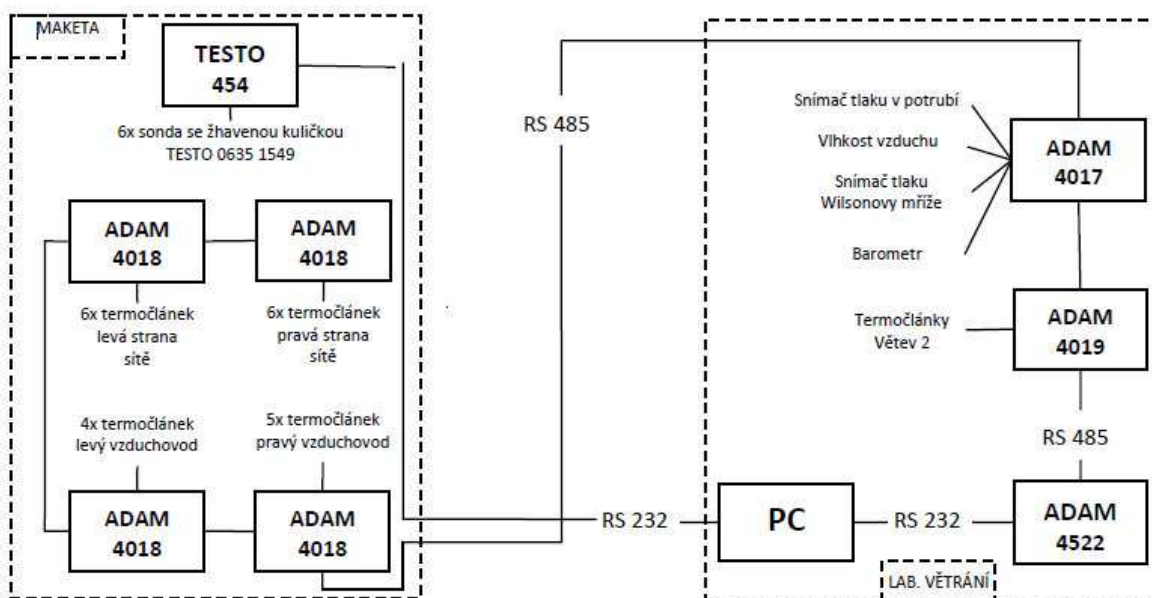


Obr. 8.1 pozice manekýna v maketě malého dopravního letadla

### 8.1.2. Použité přístroje a jejich rozmístění

Základním měřícím prvkem byl tepelný manekýn se standardním příslušenstvím včetně počítače obsahujícího software ThermDAC 8, který zpracovává získané data. Staviv, na němž byly umístěny 2 čidla určená k měření teploty, čidlo na měření vlhkosti a čidlo k měření rychlosti proudění vzduchu, byly umístěny ve stejných výškových relacích jako v předchozím experimentu. Neméně důležitým měřícím zařízením při tomto měření byla maketa malého dopravního letadla, která je napojena přes vzduchovody na vzduchotechnický systém Laboratoře větrání OTTP.

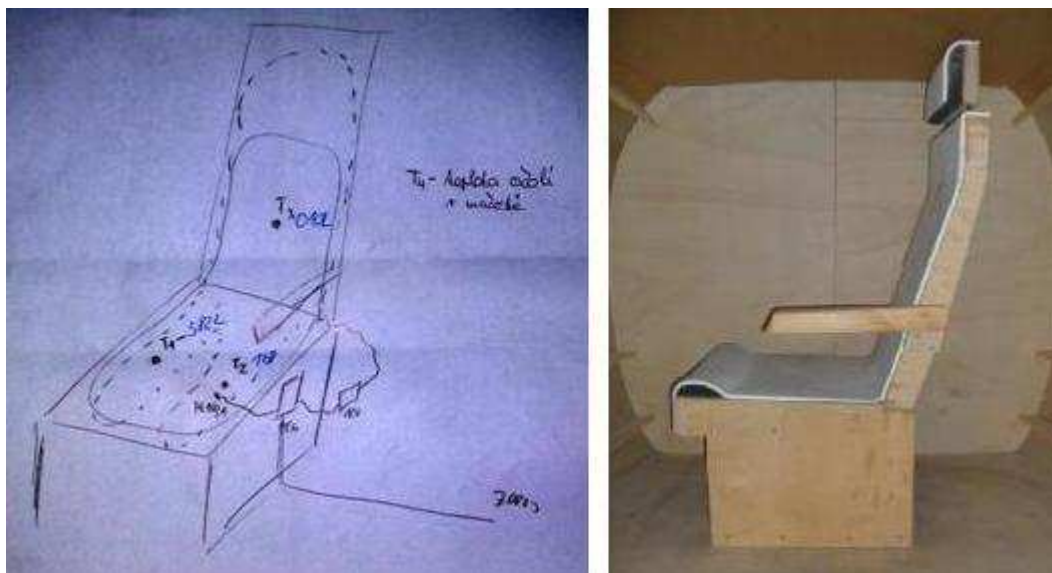
Laboratoř větrání je vybavena systém pro sběr a záznam dat postaveným na měřících modulech firmy Advantech ADAM 4000. Autor systému jej popisuje takto "Systém propojuje měřicí počítač s potřebnými měřicími přístroji a čidly v jeden celek, který umožňuje současné měření všech důležitých fyzikálních veličin, jako je tlak, teplota a průtok vzduchu v potrubí. Jako základ je zvoleno sériové rozhraní postavené na sběrnici RS 232. Samostatné měřicí moduly ADAM komunikují pomocí rozhraní RS 485 a pomocí převaděče RS 485/RS 232 jsou připojeny k měřicímu počítači. Softwarový měřicí systém v prostředí LabView umožňuje řídit celý proces měření z jednoho místa a ukládat požadovaná data ve vhodném formátu. Hlavní část hardware trati pro měření a zpracování signálů z čidel a přístrojů byla realizována z měřících modulů ADAM 4000. Pro měření průtoku byla využita Wilsonova mříž 250x400 mm nainstalovaná do výstupního vzduchovodu ventilátoru." (KOŠNER, 2002)



Obr. 8.2 Schéma zapojení sítě systému pro měření a sběr dat(FIŠER, 2011)

Pro záznam dat z modulů umístěných v maketě letadla a z modulů umístěných v laboratoři byl použit software naprogramovaný v prostředí LabView.

Maketa letadla byla vybavena designéřskou maketou jednoho sedadla, na němž byla instalována vyhřívána dečka. Dečka byla napájena ze zdroje o napětí 12V, přičemž vřazený regulátor zajišťoval, aby povrchová teplota dečky byla udržována na teplotě cca 37,0 °C.

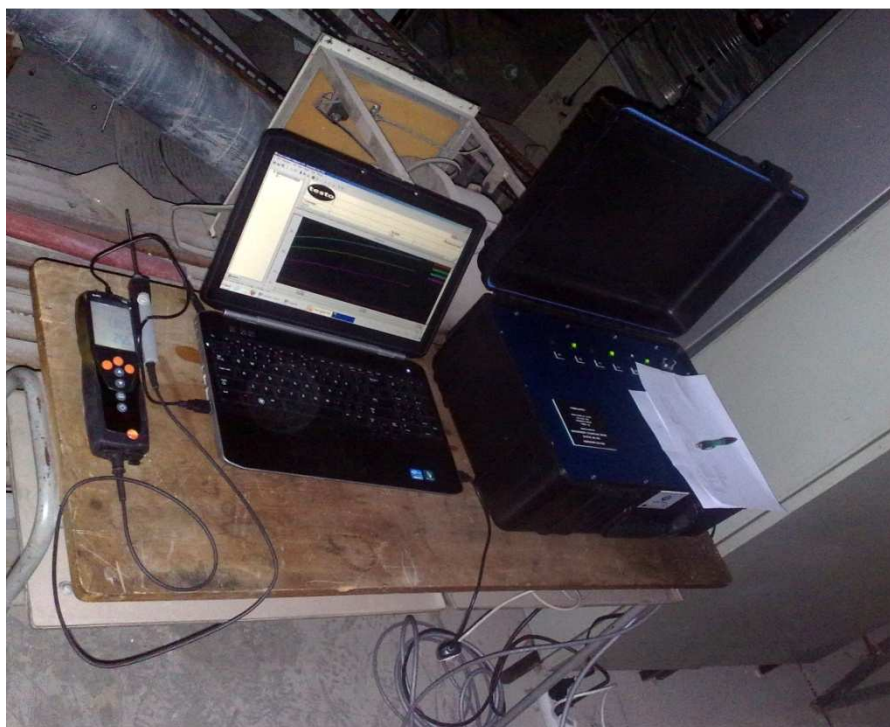


Obr. 8.3 Schéma zapojení vyhřívané dečky (vlevo) a designéřská maketa sedadla (vpravo)

Dalším měřícím prvem byla síť s 12 termočlánky, umístěná v přední části makety ve vzdálenosti 1m před designéřskou maketou sedadla.



Obr. 8.4 Mříž s 12 termočlánky (vlevo) a počítač se softwarem LabView (vpravo)



Obr. 8.5 Počítač se softwarem ThermDAC 8 a napájecí skříň

### 8.1.3. Sestavení diagramů komfortních zón pro modelové případy

Jelikož při tomto experimentu bylo měřeno se stejnou skladbou oděvu jako v předchozím případě, byl použit již vytvořený základní diagram komfortních zón pro „přiměřeně přiléhavý oděv“. V dalším kroku byly do zmiňovaného diagramu vkládány jednotlivé modelové případy, po jejich vyhodnocení a zpracování do příslušného formátu.

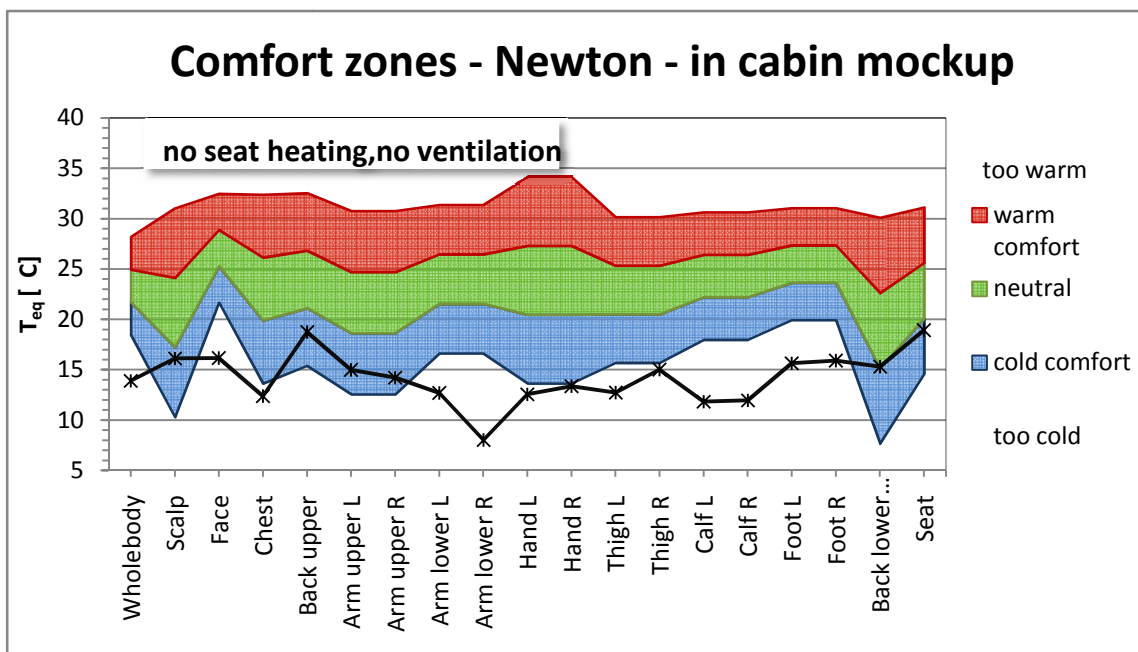
*Bez ventilace, bez vyhřívání*

Teplota vzduchu: 15,5°C      Relativní vlhkost: 31 %

Tab. 8.5 Hodnoty ekvivalentní teploty v prostředí makety letadla bez ventilace a bez vyhřívání

10:20-10:30	Manikin segment/B.c.	Area [m <sup>2</sup> ]	Heat flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	Teq
	Wholebody	1.771	84.12	4.19	13.92
	Scalp	0.094	87.70	4.91	16.14
	Face	0.044	168.20	9.42	16.14
	Chest	0.194	70.95	3.28	12.37
	Backupper	0.143	54.79	3.59	18.74
	Armupper L	0.084	66.19	3.48	14.98
	Armupper R	0.084	68.80	3.48	14.23
	Armlower L	0.065	91.40	4.29	12.69
	Armlower R	0.065	111.40	4.29	8.03
	Hand L	0.046	179.50	8.38	12.58
	Hand R	0.046	173.00	8.38	13.36
	Thigh L	0.152	89.60	4.21	12.72
	Thigh R	0.152	79.95	4.21	15.01
	Calf L	0.135	106.53	4.81	11.85
	Calf R	0.135	105.95	4.81	11.97
	Foot L	0.060	100.50	5.48	15.66
	Foot R	0.060	99.20	5.48	15.90
	Backlower (plevis)	0.097	48.82	2.61	15.30
	Seat	0.117	53.39607	3.54	18.92

V prvním modelovém případě lze pozorovat velmi nízké teploty jednotlivých částí manekýna, což je způsobeno chladným prostředím Těžkých laboratoří energetického ústavu FSI. Lze tedy říci, že v tuto dobu experimentu se jedná z hlediska teplotního komfortu o podprůměrné hodnoty a většina částí spadá do oblasti „příliš chladno“ (too cold). Jedinými částmi, na které nepůsobí takovým způsobem vliv chladného vzduchu, jsou ty, které se dotýkají sedadla. Ze získaných výsledků lze tedy konstatovat, že při daném oděvu a okolním prostředí nelze dosáhnout teplené pohody.



Obr. 8.6 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla bez ventilace a bez vyhřívání

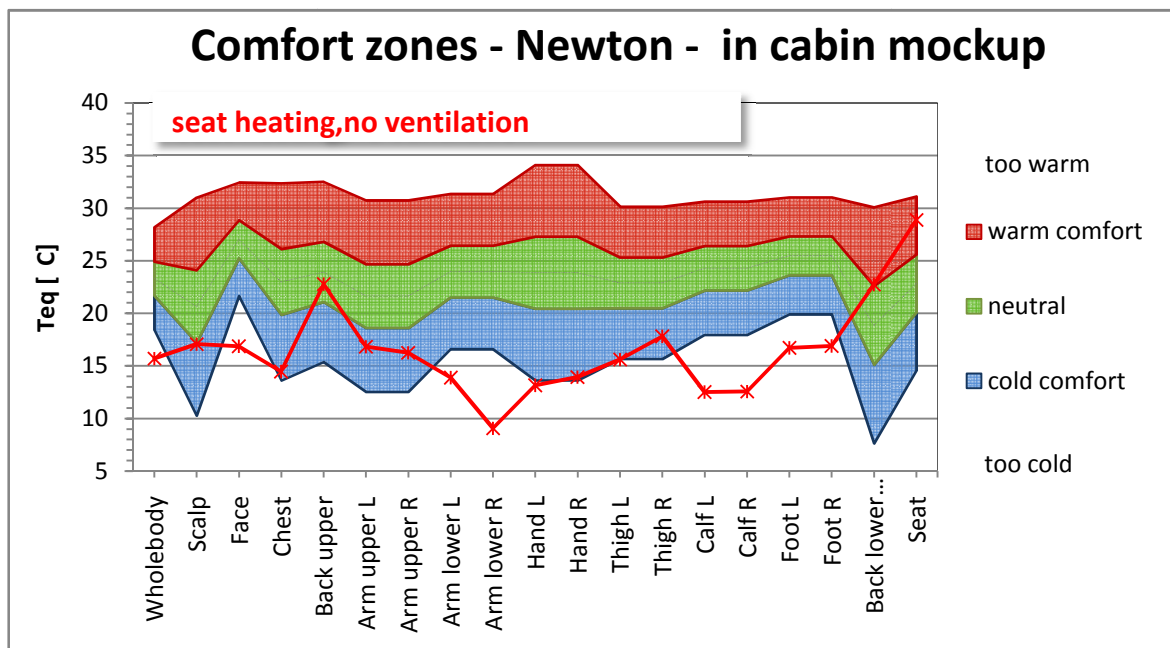
*Bez ventilace, s vyhříváním*

Teplota vzduchu: 16°C      Relativní vlhkost: 31 %

Tab. 8.6 Hodnoty ekvivalentní teploty v prostředí makety letadla bez ventilace a vyhříváním

11:20-11:30	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m <sup>2</sup> ]	flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	76.53	4.19	15.73
	Scalp	0.094	83.00	4.91	17.10
	Face	0.044	161.30	9.42	16.88
	Chest	0.194	64.05	3.28	14.47
	Back upper	0.143	40.28	3.59	22.78
	Arm upper L	0.084	59.68	3.48	16.85
	Arm upper R	0.084	61.69	3.48	16.27
	Arm lower L	0.065	86.30	4.29	13.88
	Arm lower R	0.065	106.80	4.29	9.10
	Hand L	0.046	174.70	8.38	13.15
	Hand R	0.046	167.90	8.38	13.96
	Thigh L	0.152	77.32	4.21	15.63
	Thigh R	0.152	68.17	4.21	17.81
	Calf L	0.135	103.35	4.81	12.51
	Calf R	0.135	102.94	4.81	12.60
	Foot L	0.060	94.70	5.48	16.72
	Foot R	0.060	93.70	5.48	16.90
	Back lower (plevis)	0.097	29.36	2.61	22.75
	Seat	0.117	18.07	3.54	28.89

Během druhého modelového případu, se situace mírně zlepšila v rámci tepelného komfortu celého těla. Nejvýraznější posun teplot směrem vzhůru, měly především části dotýkající se sedadla, avšak v tomto případě se na zvýšení nepodílelo jen vytvoření tepelné vrstvy mezi sedadlem a manekýnem ale hlavní podíl měla vyhřívaná dečka. Kromě horní a spodní části zad (back upper, back lower), hýždě (seat) dotýkajících se přímo vyhřívané dečky byly ovlivněny i párové části ramen (arm upper R, arm upper L), které se vyhřívané dečky přímo nedotýkaly, ale byly v její blízkosti.



Obr. 8.7 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla bez ventilace a s vyhříváním

*S ventilací, s vyhříváním*

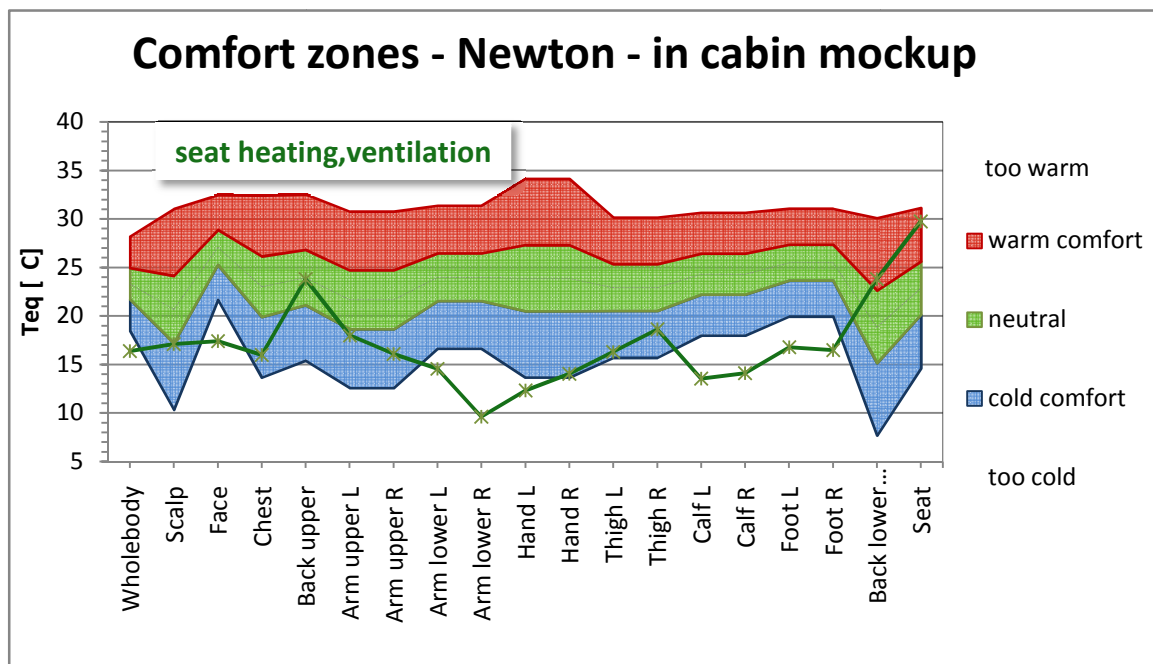
Teplota vzduchu: 16,5°C      Relativní vlhkost: 30,8 %

Tab. 8.7 Hodnoty ekvivalentní teploty v prostředí makety letadla s vyhříváním a s ventilací

12:50-13:00	Manikin segment/B.c.	Area [m <sup>2</sup> ]	Heat flux		Teq
			[W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	73.86	4.19	16.37
	Scalp	0.094	83.00	4.91	17.10
	Face	0.044	156.40	9.42	17.40
	Chest	0.194	59.11	3.28	15.98
	Backupper	0.143	36.68	3.59	23.78
	Armupper L	0.084	55.68	3.48	18.00

Armupper R	0.084	62.36	3.48	16.08
Armlower L	0.065	83.33	4.29	14.58
Armlower R	0.065	104.61	4.29	9.61
Hand L	0.046	181.70	8.38	12.32
Hand R	0.046	167.30	8.38	14.04
Thigh L	0.152	74.45	4.21	16.32
Thigh R	0.152	64.79	4.21	18.61
Calf L	0.135	98.48	4.81	13.53
Calf R	0.135	95.70	4.81	14.10
Foot L	0.060	94.40	5.48	16.77
Foot R	0.060	96.10	5.48	16.46
Backlower (plevis)	0.097	26.62	2.61	23.80
Seat	0.117	15.14	3.54	29.72

Ve třetím modelovém případě je patrné, že hodnoty ekvivalentních teplot se již nijak výrazně nezvýšily, pouze v případě hýždě (seat) teplota zasahovala do zóny „teplá ale příjemně“ (warm komfort), což v tomto chladném prostředí lze považovat za příjemnou záležitost. Nelze si však nepovšimnout velmi nízkých teplot u pravého předloktí (arm lower R). Doposud tato hodnota byla vnímána s rezervou, jelikož nebyly spuštěny všechny způsoby vyhřívání makety. V tomto případě, již bylo vše zapnuto, ale teplota zůstávala stále na stejné hodnotě. Pozdějším vyhodnocením fotografií byla příčina nízkých hodnot předloktí zjištěna a popsána.



Obr. 8.8 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla s ventilací a s vyhříváním

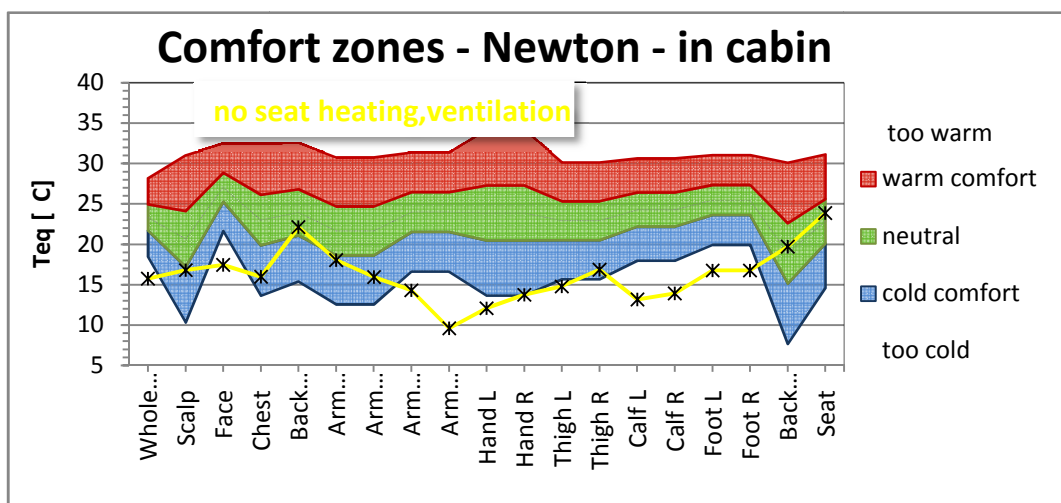
S ventilací, bez vyhřívání

Teplota vzduchu: 16,6°C      Relativní vlhkost: 31,3 %

Tab. 8.8 Hodnoty ekvivalentních teplot v prostředí makety letadla s ventilací a bez vyhřívání

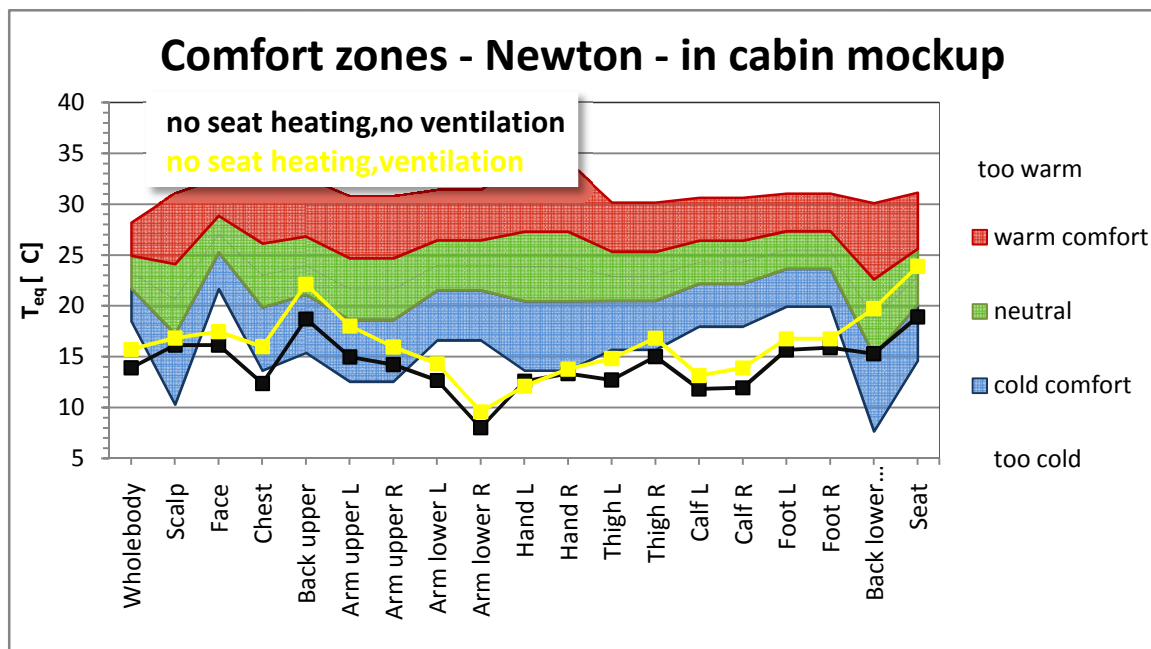
13:50-14:00	Manikin segment/B.c.	Heat			Teq
		Area [m <sup>2</sup> ]	flux [W/m <sup>2</sup> ]	hcal [W/m <sup>2</sup> K]	
	Wholebody	1.771	76.44	4.19	15.75
	Scalp	0.094	84.30	4.91	16.83
	Face	0.044	155.80	9.42	17.46
	Chest	0.194	59.09	3.28	15.98
	Back upper	0.143	42.67	3.59	22.11
	Arm upper L	0.084	55.54	3.48	18.04
	Arm upper R	0.084	62.84	3.48	15.94
	Arm lower L	0.065	84.37	4.29	14.33
	Arm lower R	0.065	104.61	4.29	9.62
	Hand L	0.046	183.30	8.38	12.13
	Hand R	0.046	169.40	8.38	13.79
	Thigh L	0.152	80.74	4.21	14.82
	Thigh R	0.152	72.22	4.21	16.84
	Calf L	0.135	100.25	4.81	13.16
	Calf R	0.135	96.54	4.81	13.93
	Foot L	0.060	94.30	5.48	16.79
	Foot R	0.060	94.30	5.48	16.79
	Back lower (plevis)	0.097	37.27	2.61	19.72
	Seat	0.117	35.85	3.54	23.87

Během posledního čtvrtého modelového případu, došlo ke snížení ekvivalentních teplot jednotlivých částí, avšak teplota, která je brána pro celé tělo se již výrazně nezměnila, a stále zůstávala na hodnotě zóny „příliš chladno“ (too cold). Tím pádem lze říci, že tepelný komfort byl i v tomto případě nevyhovující.

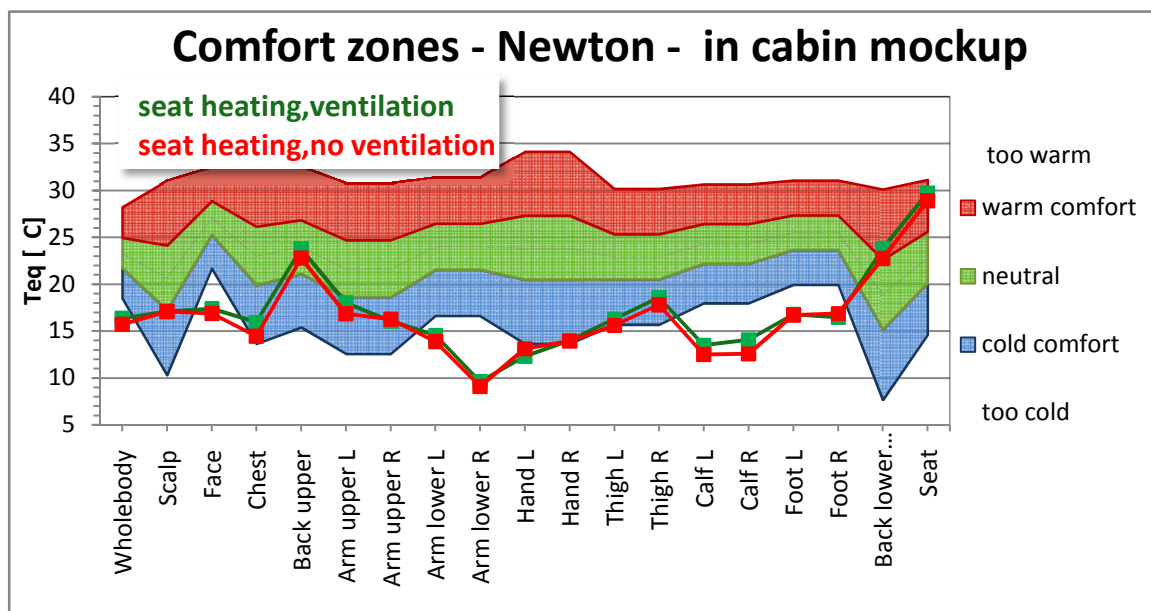


Obr. 8.9 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla s ventilací, bez vyhřívání

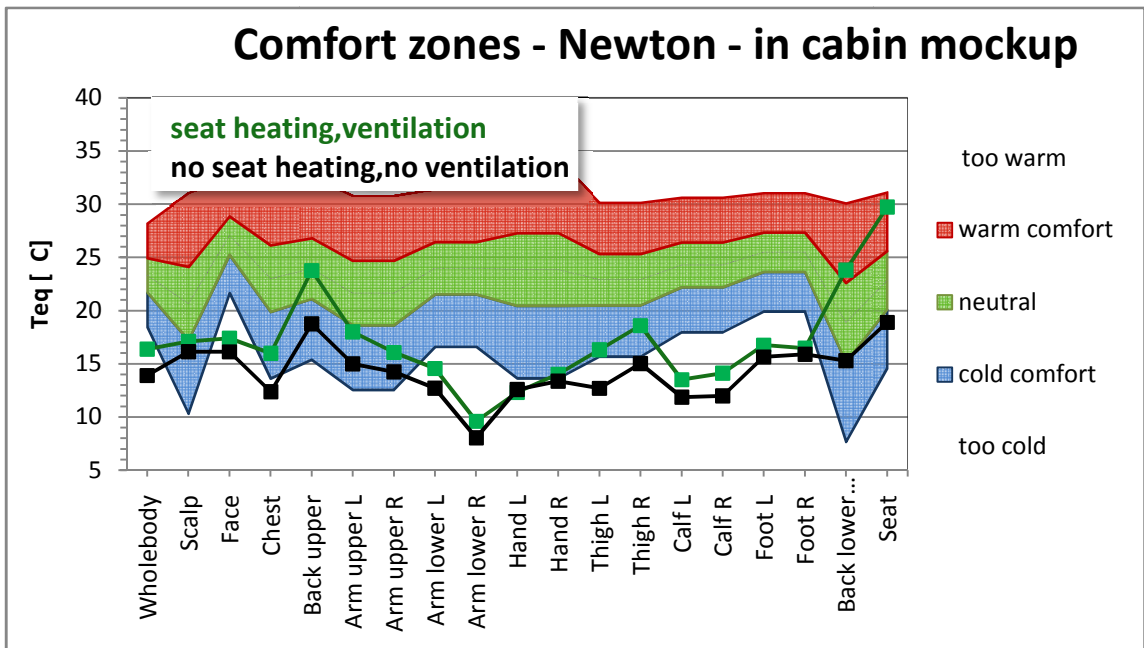
### 8.1.4. Zhodnocení výsledků



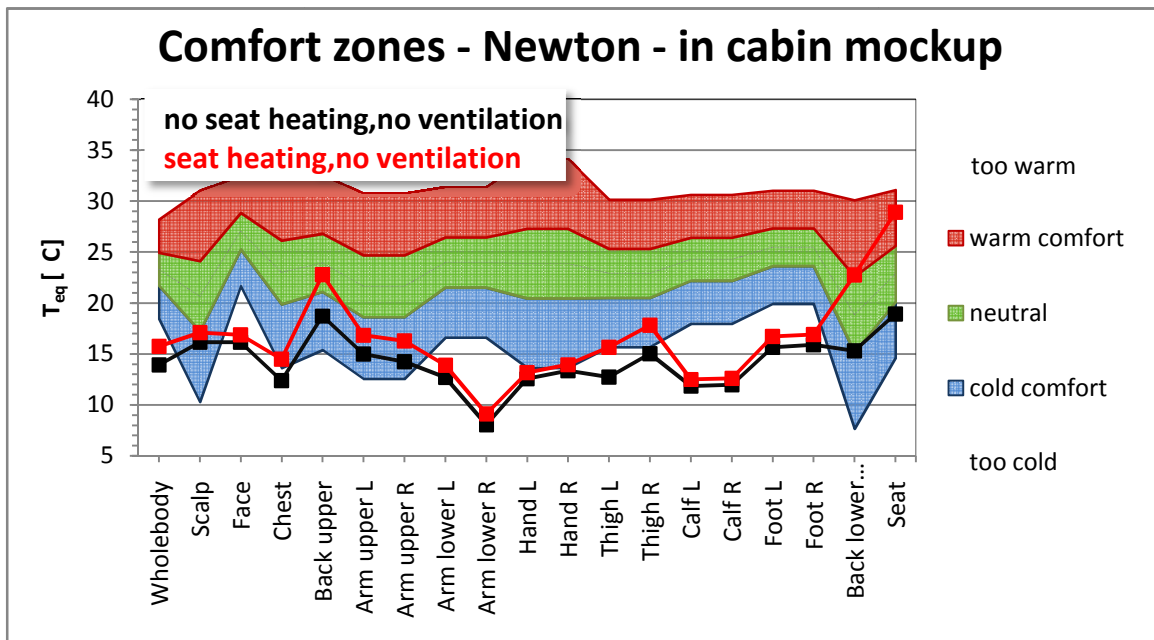
Obr. 8.10 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu bez vyhřívání, bez ventilace a módu bez vyhřívání s ventilací



Obr. 8.11 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu s vyhříváním, s ventilací a módu s vyhříváním, bez ventilace



Obr. 8.12 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu s vyhříváním, s ventilací a módu bez ventilace, bez vyhřívání



Obr. 8.13 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu bez vyhřívání, bez ventilace a v módu s vyhříváním, bez ventilace

Porovnání výsledků tepelného komfortu pro jednotlivé modelové případy je uvedeno v diagramech komfortních zón, které jsou zobrazeny ve formě obrázků 8.10 – 8.13. V diagramech jsou vyneseny hodnoty jak pro jednotlivé zóny manekýna, tak hodnoty pro celé tělo. Diagramy nejsou porovnány postupně dle jednotlivých případů, jak probíhaly za sebou, ale jejich porovnání je založeno na zviditelnění největších rozdílů mezi modelovými případy.

V prvním diagramu je porovnán tepelný komfort mezi měřením, kdy byla vypnutá ventilace i vyhřívání, s měřením, kdy byla zapnutá ventilace a vypnuté vyhřívání. Při pohledu na toto srovnání, lze říci, že ventilace dokáže zvýšit v dané maketě při daných podmínkách ekvivalentní teplotu většiny částí manekýna o 1 až 2°C. Tento fakt je způsoben především tím, že motor ventilátoru větracího systému makety je chlazen přiváděným vzduchem a tím pádem je tento vzduch ohříván. Teplota vzduchu v maketě tak byla při modelových případech s větráním vyšší než v modelových případech bez větrání.

U druhého srovnání modelových případů, kterými byl případ se zapnutou ventilací a vyhříváním a případ s vypnutou ventilací a zapnutým vyhříváním je jednoznačně vidět, že pokud je zapnuta vyhřívání sedadla, ventilace již nedokáže tolik ovlivnit tepelný komfort, pouze ho minimálně v jednotlivých částech zvýší.

Ve třetím diagramu byl srovnán, modelový případ, kdy byly zapnuta jak ventilace, tak vyhřívání s případem kdy bylo naopak vše vypnuto. Vzhledem k jednoznačnému opaku jednotlivých měření by se dalo očekávat také jednoznačné zvýšení teploty ve zmíněném případě kdy je vše zapnuto. Ale došlo pouze ke zvýšení o necelé 2 až 3°C v jednotlivých částech manekýna, což bylo způsobeno zejména velmi chladným okolním prostředím. Samozřejmě v oblasti hýždě (seat), která byla ve styku s vyhříváním dečky, teplota narostla až do zóny „teple ale příjemně“ (warm comfort).

V posledním srovnání modelového případu bez ventilace a bez vyhřívání s modelovým případem bez ventilace ale s vyhříváním, byl průběh teplot jednotlivých zón obdobný jako v předchozím srovnání, jelikož jak již bylo řečeno, pokud je zapnuté vyhřívání, tak ventilace již na výslednou teplotu nemá takový vliv.

V rámci všech vyhodnocení můžeme konstatovat, že části, jenž nebyly pokryty oděvem, jako je obličej (face) a obě ruce (hand L, hand R), vnímali v daném prostoru ve všech případech obdobné hodnoty tepelného komfortu, které se pohybovaly logicky spíše v zóně „příliš chladno“ (too cold) nebo na pomezí zóny „teple ale příjemně“ (cold comfort).

Při pohledu na počáteční teplotu v maketě kabiny malého dopravního letadla, která se pohybovala v různých částech makety okolo 15°C, je zřejmé, že v daném prostoru nebude snadné dosáhnout hodnot tepelné pohody prostředí nebo se jim aspoň přiblížit. Tato teplota byla způsobena zimním obdobím, během kterého experiment probíhal a pak také umístěním makety. Maketa je provozována v prostorách těžkých laboratoří Energetického ústavu FSI, které nejsou vytápěny.

Z jednotlivých porovnání diagramů komfortních zón lze vyčíst, že největší vliv na zvýšení tepelného komfortu prostředí kabiny má vyhřívání dečky instalovaná na designéřské maketě sedadla. Ekvivalentní teploty částí dotýkajících se vyhřívání dečky dosahovaly ve všech případech kromě jednoho, kdy nebyla

spuštěna ventilace ani vyhřívaná dečka, hodnot „neutrální“ zóny (neutral) nebo zóny „teplo ale příjemně“ (warm comfort). Těmito částmi byla horní část zad (back upper) pro „neutrální“ zónu a hýždě (seat) pro oblast „teplo ale příjemně“. Na výsledcích z modelových případů se zapnutou vyhřívanou dečkou se podařilo dobře demonstrovat lokální účinky vyhřívání sedačky a její pozitivní dopad na tepelnou pohodu v chladném prostředí.

Ve všech diagramech je možné vidět skokový rozdíl ekvivalentních teplot mezi dvěma párovými částmi předloktí (arm lower). Ten byl způsoben špatnou manipulací při usazování manekýna na designérskou maketu sedadla. Více je tato chyba popsána v následující kapitole.

Z většiny modelových případů vyplývá, že v daném prostoru při daných teplotách tepelný komfort bráný pro tělo jako celek se bude pohybovat v rozmezí teplot spadajících do zóny „příliš zima“ (too cold). Vzhledem k tomu, že v zóně „příliš zima“, nepanují vhodné podmínky pro práci nebo odpočinek, bude se tedy jednat o tepelný diskomfort. Tento diskomfort vnitřního prostředí kabiny je způsoben nízkými teplotami ale také nevhodnou skladbou oděvu, pro dané teploty.

Z výsledku experimentu lze říci, že pokud by byla potřeba v prostředí makety kabiny malého dopravního letadla pobývat delší dobu, při nízkých teplotách jako v tomto případě, musí se zajistit skladba oděvu s daleko větší hodnotou tepelné izolace, než byl použitý „přiměřeně přiléhavý oděv“ sestavený dle normy ISO 14505-2.

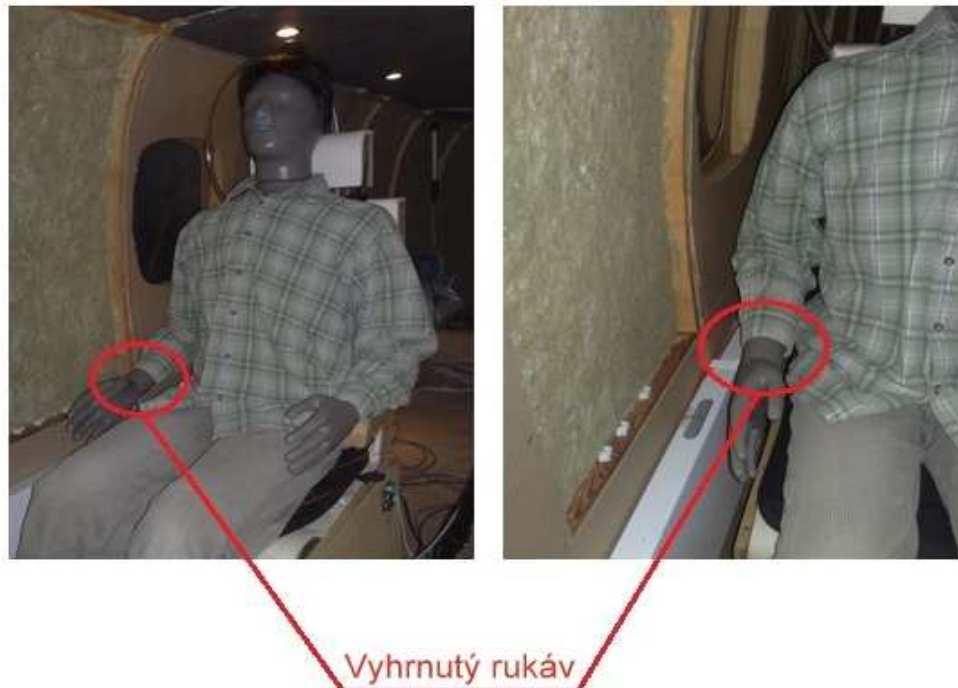
## 9. CHYBY VLIVU POKRYTÍ MANEKÝNA ODĚVEM

Během všech měření jak v prostředí typické kanceláře, tak v prostředí makety kabiny malého dopravního letadla nastaly jen drobné chyby jako například částečné nedodržení stanovených časových intervalů.

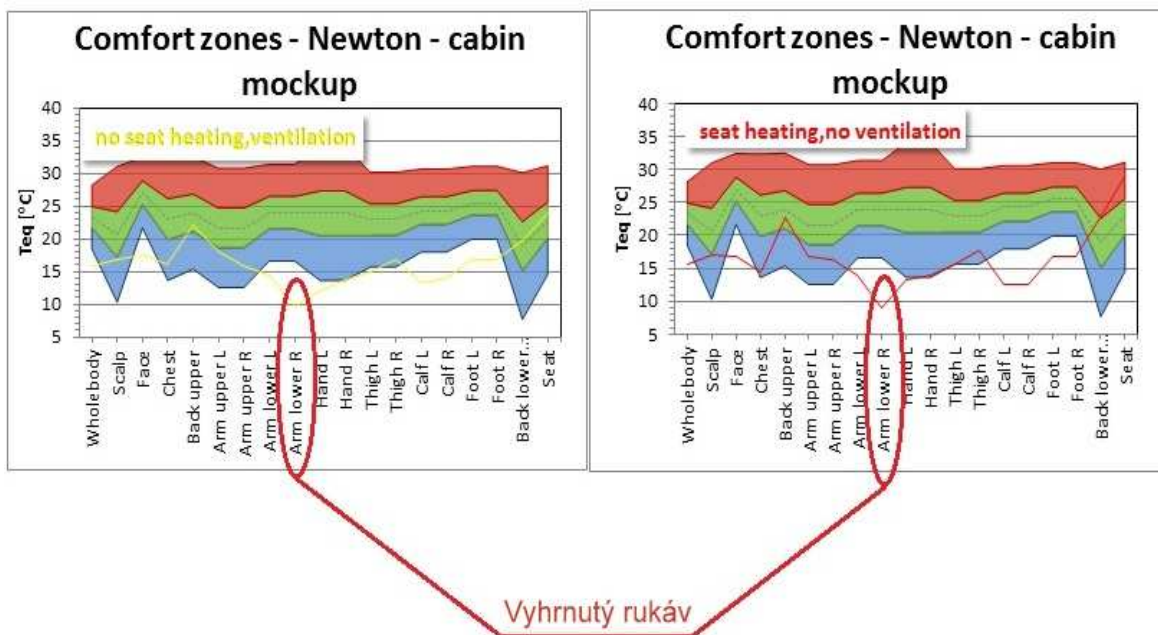
Avšak při zpracovávání a vyhodnocování výsledků z makety kabiny letadla byly zjištěny velmi rozdílné hodnoty tepelného komfortu mezi oběma párovými částmi předloktí (zone 7 + zone 8 = pravé předloktí, zone 9 + zone 10 = levé předloktí) opakující se ve všech měřeních. Z levého předloktí byl vyhodnocen tepelný komfort v obdobných hodnotách MTV jako v přilehlých zónách, kdežto hodnota MTV na pravém předloktí vykazovala podstatně nižší ekvivalentní teploty. Pozdějším zkoumáním fotografií pořízených při experimentu bylo zjištěno, že tuto skokovou změnu způsobil vyhrnutý rukáv na pravém předloktí. K chybě došlo zřejmě při manipulaci s tepelným manekýnem při jeho usazování na designérskou maketu sedadla.

Díky této chybě lze říci, že před každým měřením s tepelným manekýnem je potřeba provést přesnou a důslednou kontrolu oděvu, zda manekýn má jednotlivé části těla překryty danou plochou oděvu, která je k tomu určena.

Pozitivem chyby rozdílného rozložení oděvu na párových částech manekýna je zjištění, že tepelný manekýn je navrhnut a sestaven velmi přesně a je schopen zachytit a změřit i malé rozdíly v nesymetričnosti oděvu či prostředí. Díky rozdělení na 34 zón, je možné navíc určit, jaká část těla figuríny byla ovlivněna a určit jaký vliv na tepelný komfort by tato případná změna okolí měla.



Obr. 9.1 Chyba způsobená rozdílným rozložením oděvu na párových částech manekýna



Obr. 9.2 Chyba rozdílného rozložení oděvu na párových částech manekýna zobrazená v diagramu komfortních zón - ekvivalentní teplota pro pravé a levé předloktí se liší, ačkoliv by měla být stejná. Rozdíl byl způsoben nestejným oblečením obou částí.

## 10. ZÁVĚR

Cílem předložené práce bylo proměření vnitřního prostředí pomocí tepelného manekýna. Dle zadání se jednalo o prostory typické kanceláře a makety kabiny malého dopravního letadla. Další část práce byla zaměřena na získání znalostí se specifickými činnostmi souvisejícími s měřením a vyhodnocením tepelné pohody prostřednictvím tepelného manekýna.

V teoretické části byly popsány a vysvětleny pojmy fyziologie člověka, jednotlivé fyziologické modely, tepelná pohoda, faktory ovlivňující tepelnou pohodu, modely tepelné pohody včetně diagramu komfortních zón, který byl z hlediska řešení problematiky diplomové práce důležitý. Následně byl popsán tepelný manekýn, historie a využití tepelných manekýnů s vysvětlením pojmu tepelný odpor oblečení.

V praktické části jsou na začátku podrobně popsány jednotlivé vnitřní prostředí, v nichž probíhalo měření. Jak již bylo řečeno na začátku, těmito prostředími byly prostory kanceláře A2/301a, a prostory makety malého dopravního letadla EV - 55 Outback, které jsou oba součástí komplexu budov Fakulty Strojního Inženýrství v Brně. Jedná se především o popis umístění, vnitřního vybavení, stav vnitřního prostředí a v případě makety letadla i popsání jednotlivých částí, ze kterých je maketa sestavena včetně objasnění způsobu zapojení makety na vzduchotechnický systém Laboratoře větrání OTTP. Další část byla věnována Kalibraci oděvu určeného k následným experimentům. Na

základě prostudování normy ISO 14505-2, zabývající se hodnocením tepelného prostředí ve vozidlech a studií leteckých společností o typické kombinaci oblečení při cestování letadlem byl sestaven tzv. „přiměřeně přiléhavý oděv“. Posléze bylo potřeba daný oděv kalibrovat, neboli zjistit hodnoty tepelného odporu oděvu. Ke zmíněné kalibraci byla využita nově postavená kalibrační komora laboratoře NETME Centre VUT v Brně. Díky získaným datům bylo pak možné na základě specifických rovnic ekvivalentních teplot a regresních konstant, které ustanovil H.O.Nilsson v roce 2004 k sestavení diagramu komfortních zón, vytvořit základní diagram komfortních zón pro zvolený „přiměřeně přiléhavý oděv“. Další část se zabývá proměřením vnitřního prostředí typické kanceláře, kde jsou popsány a vyhodnoceny jednotlivé dny experimentu, na základě získaných dat reprodukováných do sestaveného diagramu komfortních zón. Pro každou změnu vnitřního prostředí byl vyhodnocen samostatný diagram, včetně závěrečného porovnání s jinými událostmi experimentu v typické kanceláři. Posledním úkolem bylo proměření vnitřního prostředí v maketě malého dopravního letadla. V maketě letadla byl experiment proveden na základě předem přesně stanoveného plánu oproti měření v kanceláři, kde jednotlivé změny či události byly dány běžným provozem. Jednotlivé modelové případy v maketě byly založeny na kombinování zapnuté či vypnuté ventilace a zapnutého nebo vypnutého vyhřívaného sedadla s následným vyhodnocením pomocí diagramu komfortních zón.

Ze získaných a vyhodnocených dat, lze říci každé vnitřní prostředí, má své specifika, které by měly být brány v potaz při volbě kombinace oblečení pro pobyt ve zvoleném vnitřním prostředí, pokud má být dodržena tepelná pohoda osob. V případě experimentu v kanceláři, bylo zjištěno, které události nebo změny prostředí, mají největší vliv na tepelný komfort osob pobývajících v této kanceláři. Většinu událostí a změn tvořily běžné úkony prováděné během pracovní doby. Z vyhodnocených diagramů komfortních zón, lze jednoznačně říci, že největší vliv na tepelný komfort ze všech nastalých událostí, má přímé sluneční záření. Které sice nedopadalo na všechny části manekýna ale v hodnocení komfortu pro celé tělo v daný časový interval přímého slunečního svitu, bylo v zónách, kdy člověk pociťoval zvýšenou hodnotu tepelného diskomfortu. V případě experimentu v maketě letadla byly zjištěny pro všechny modelové případy velmi nízké hodnoty tepelného komfortu, kdy ani modelový případ se zapnutou vyhřívanou dečkou a ventilací nedokázal změnit pocitové hodnoty komfortu pro celé tělo. Tato skutečnost poukazuje na to, že pokud srovnáme experiment v kanceláři v časovém intervalu přímého slunečního záření a experiment v kabině letadla při modelovém případě se zapnutou vyhřívanou dečkou a ventilací, kdy jsou ovlivněny jen některé části manekýna, tak vždy záleží na obvyklé teplotě daného vnitřního prostředí. Jelikož v případě kanceláře dokázaly pouze některé ovlivněné části změnit tepelný pocit pro celé tělo, kdežto u druhého experimentu v kabině letadla, ovlivněné části nedokázaly změnit tepelný pocit vyhodnocený pro celé tělo manekýna. Důvodem byla velmi nízká teplota vnitřního prostředí v maketě letadla.

Závěrem lze tedy konstatovat, že je velmi důležité dbát na vhodný výběr kombinace oděvu pro vnitřní prostředí dopravních prostředků nebo pro zvolené vnitřní pracovní prostředí, u kterých je požadavek na duševní práci vyžadující soustředění na daný problém ale také na kvalitně a efektivně odvedenou práci ze strany osob zde pobývajících.

## 11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

CENTNEROVÁ, L. *Tradiční a adaptivní model tepelné pohody* [Kniha]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2001. Disertační práce.

ČSN EN ISO 7730 *Mírní tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody* [Kniha]. Český normalizační institut, 1997.

EN ISO 14505 ČSN *Ergonomie tepelného prostředí - Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech* [Kniha]. Praha: Český normalizační institut, 2007.

EN ISO 14505-2 ČSN *Ergonomie tepelného prostředí - Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech - Část 2. Stanovení ekvivalentní teploty* [Kniha]. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ENDRUSICK L.T., STROSCHEIN A.L. a GONZALEZ R.R. *Manikin-history* [Online] //thermal.mtnw-usa.com. Získáno 11. 3 2012 : <http://thermal.mtnw-usa.com/solutions/manikin-history>.

EvektorEV-55 *Outback* [Online]//evektor.cz. Získáno 8. 4 2013 : <http://www.evektor.cz/outback/technicka-specifikace.aspx>.

FÍŠER, J. *Závěrečné práce* [Online]//vutbr.cz. Získáno 24. 11 2012 : [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6189/DDP\\_Jan\\_Fiser\\_11291.pdf?sequence=2](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6189/DDP_Jan_Fiser_11291.pdf?sequence=2)

JANOTKOVÁ E. *Technika prostředí* [Kniha]. Brno: Skripta VUT Brno, 1991.

MEASUREMENT TECHNOLOGY NORTHWEST *Sweating Thermal Manikin Operator's Manual* [Kniha]. USA: Measurement Technology Northwest, (nedatováno).

NETME Centre. (nedatováno). *Zkušebna pro měření výkonů topných a chladících těles* [Kniha]. NETME Centre - Centrum nových technologií pro strojírenství divize energetiky, procesů a ekologie, (nedatováno).

NILSSON O. H. *Thermal comfort evaluation with virtual manikin methods* [Kniha]. Gävle: Department of Technology and Built Environment, Laboratory of Ventilation and Air Quality, University of Gävle, 2007.

NILSSON O. H. *Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models* [Kniha]. Gävle: University of Gävle, 2004.

POKORNÝ J. *Vývoj nástroje pro predikci tepelného komfortu v kabině automobilu* [Kniha]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, FSI, 2011. Pojednání k státní doktorské zkoušce.

## 12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

area	[m <sup>2</sup> ]	plocha povrchu manekýna
$h_{cal}$	[m <sup>2</sup> ]	součinitel přenosu tepla konvekcí a radiací z povrchu figuríny
$p_a$	[Pa]	parciální tlak vodní páry v okolním vzduchu
$p_s$	[Pa]	parciální tlak vodní páry v nasyceném vzduchu při teplotě $T_s$
q	[W/m <sup>2</sup> ]	měrný tepelný tok
$R_{cl}, RCT$	[m <sup>2</sup> K/W]	tepelný odpor oděvu
$T_a, T_{amb}$	[°C]	teplota vzduchu
$T_{cl}$	[°C]	teplota povrchu oděvu
$T_o$	[°C]	operativní teplota
$\bar{T}_r$	[°C]	střední radiační teplota
$T_s$	[°C]	teplota povrchu manekýna
$w_{ar}$	[m/s <sup>-1</sup> ]	relativní rychlost proudění vzduchu vůči člověku

### *Řecká abeceda*

$\alpha_{cl}$	[W/m <sup>2</sup> K]	součinitel přestupu tepla konvekcí na povrchu oděvu
$\alpha_p$	[W/m <sup>2</sup> K]	součinitel přestupu tepla radiací

### *Použité zkratky a označení*

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
CFD	Computational fluid dynamic - výpočtová mechanika tekutin
ECS	Environmental control system - systém pro kontrolu prostředí v kabině letadla

EV-55	Označení letadla firmy Evektor spol. s r. o.
MTV	Mean Thermal Vote

### 13. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ:

Obr. 4.1 Wisslerův model (POKORNÝ, 2011) .....	16
Obr. 4.2 Základní princip ekvivalentní teploty (NILSSON, 2004) .....	20
Obr. 4.3 Diagramy komfortních zón pro letní oděv (vlevo) a zimní oděv (vpravo) (NILSSON, 2004) .....	20
Obr. 4.4 Jednoduchá tepelná figurína od Dr. Harwooda Beldinga (ENDRUSICK) .....	22
Obr. 4.5 Tepelná figurína vytvořená firmou General Electric (ENDRUSICK) .....	22
Obr. 4.6 Testování zimního oděvu (vlevo) a vylepšená tepelná figurína z 60.let (vpravo) (ENDRUSICK) .....	23
Obr. 4.7 Tepelný manekýn vyrobený institutem USARIEM roku 1984 (ENDRUSICK) ..	24
Obr. 4.8 Schéma zapojení tepelného manekýna Newtona (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY) .....	25
Obr. 4.9 Rozdělení manekýna na tepelné zóny (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY) .....	26
Obr. 4.10 Dýchací ústrojí (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY) .....	26
Obr. 4.11 Tepelný manekýn s příslušenstvím (NORTHWEST MEASUREMENT TECHNOLOGY) .....	27
Obr. 5.1 Umístění kanceláře A2/301a .....	31
Obr. 5.2 Letadlo EV-55 Outback ve verzi pro přepravu cestujících (Evektor, 2011) .....	32
Obr. 5.3 Hlavní rozměry makety, rozměry vyústek, rozměry vzduchovodů (FIŠER, 2011) .....	32
Obr. 5.4 Pravá strana makety s hlavním přívodem vzduchu od ventilační jednotky (FIŠER, 2011) .....	33
Obr. 5.5 Provedení a větvení vzduchovodů (FIŠER, 2011) .....	34
Obr. 6.1 Přiměřeně přiléhavý oděv dle normy ISO 14505-2 .....	35
Obr. 6.2 Kalibrační komora v prostorách budovy NETME Centre .....	36
Obr. 6.3 Vnitřní prostředí klimatické komory .....	36
Obr. 6.4 Poloha manekýna v klimatické komoře (vlevo) a řídicí software (vpravo) .....	39
Obr. 6.5 Lineární regresní konstanty pro kombinaci letního a zimního oděvu (NILSSON, 2007) .....	39

Obr. 6.6 Ekvivalentní teploty potřebné k vytvoření diagramu komfortních zón.....	41
Obr. 6.7 Diagram komfortních zón pro "přiměřeně přiléhavý oděv" .....	41
Obr. 7.1 Půdorys kanceláře A2/301a a umístění tepelného manekýna při experimentu .....	42
Obr. 7.2 Tepelný manekýn při experimentu v kanceláři .....	43
Obr. 7.3 Rozmístění čidel k měření vlhkosti, rychlosti proudění vzduchu a teploty.....	44
Obr. 7.4 Sonda pro měření okolní teploty .....	44
Obr. 7.5 Vyhodnocení tepelného komfortu na začátku měření dne 14.11.2012 .....	47
Obr. 7.6 Vyhodnocení tepelného komfortu při otevřeném okně dne 14.11.2012 .....	48
Obr. 7.7 Vyhodnocení tepelného komfortu na konci měření dne 14.11.2012.....	49
Obr. 7.8 Vyhodnocení tepelného komfortu na začátku měření dne 15.11.2012 .....	51
Obr. 7.9 Vyhodnocení tepelného komfortu při přímém slunci dne 15.11.2012.....	52
Obr. 7.10 Vyhodnocení tepelného komfortu při zatažených žaluziích dne 15.11.2012.....	53
Obr. 7.11 Vyhodnocení tepelného komfortu na začátku měření dne 16.11.2012 .....	55
Obr. 7.12 Vyhodnocení tepelného komfortu na konci měření dne 16.11.2012.....	56
Obr. 7.13 Porovnání tepelného komfortu na začátku měření a na konci měření dne 14.11.2012 .....	57
Obr. 7.14 Porovnání tepelného komfortu při otevřeném okně a při otevřených dveřích dne 14.11.2012 .....	57
Obr. 7.15 Porovnání tepelného komfortu při přímém slunci a při zatažených žaluziích dne 15.11.2012 .....	58
Obr. 7.16 Porovnání tepelného komfortu těsně před přímým sluncem, při přímém slunci a těsně po zatažení žaluzií dne 15.11.2012.....	58
Obr. 7.17 Porovnání tepelného komfortu na začátku měření a na konci měření dne 16.11.2012 .....	59
Obr. 7.18 Porovnání tepelného komfortu při otevřeném okně a při zavřeném okně dne 16.11.2012 .....	59
Obr. 8.1 pozice manekýna v maketě malého dopravního letadla .....	64
Obr. 8.2 Schéma zapojení sítě systému pro měření a sběr dat(FIŠER, 2011).....	65
Obr. 8.3 Schéma zapojení vyhřívané dečky (vlevo) a designérská maketa sedadla určeného pro leteckou dopravu (vpravo).....	66
Obr. 8.4 Mříž s 12 termočlánky (vlevo) a počítač se softwarem LabView (vpravo) .....	66
Obr. 8.5 Počítač se softwarem ThermDAC 8 a napájecí skříň.....	67
Obr. 8.6 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla bez ventilace a bez vyhřívání .....	69
Obr. 8.7 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla bez ventilace a s vyhříváním .....	70
Obr. 8.8 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla s ventilací a s vyhříváním .....	71

Obr. 8.9 Vyhodnocení tepelného komfortu v prostředí makety letadla s ventilací, bez vyhřívání .....	72
Obr. 8.10 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu bez vyhřívání, bez ventilace a módu bez vyhřívání s ventilací .....	73
Obr. 8.11 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu bez vyhřívání, bez ventilace a módu s vyhříváním, bez ventilace .....	73
Obr. 8.12 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu s vyhříváním, s ventilací a módu bez ventilace, bez vyhřívání .....	74
Obr. 8.13 Porovnání tepelného komfortu v prostředí makety letadla v módu bez vyhřívání, bez ventilace a v módu s vyhříváním, bez ventilace .....	74
Obr. 9.1 Chyba způsobená rozdílným rozložením oděvu na párových částech manekýna.	77
Obr. 9.2 Chyba rozdílného rozložení oděvu na párových částech manekýna zobrazená v diagramu komfortních zón - ekvivalentní teplota pro pravé a levé předloktí se liší, ačkoliv by měla být stejná. Rozdíl byl způsoben nestejným oblečením obou částí. ...	78