



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠTĚNÍ DOBY NAHŘÍVANÍ  
TEPELNÉHO MANEKÝNA PRO DOSAŽENÍ TEPELNÉ  
ROVNOVÁHY S OKOLNÍM PROSTŘEDÍM**

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WARM-UP TIME OF THERMAL MANIKIN FOR THERMAL  
EQUILIBRIUM WITH SURROUNDING ENVIRONMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Martin Dočekal**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.**

**BRNO 2019**



## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	<b>Martin Dočekal</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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 bakalářské práce:

### **Experimentální zjištění doby nahřívání tepelného manekýna pro dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Tepelný manekýn Newton ve tvaru průměrné lidské postavy se používá k hodnocení tepelného komfortu osob ve vnitřním i venkovním prostředí a hodnocení tepelně izolačních vlastností oblečení a vybavení pro sportovní a pracovní aktivity. Otázkou je však čas nutný pro nahřátí a teplotní stabilizaci manekýna při konkrétních okolních podmínkách.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Pro opakovatelné a přesné měření s tepelným manekýnem je potřeba zajistit dokonalé prohřátí celého objemu tepelného manekýna. V současnosti ale nejsou tyto časy přesně známy v závislosti na počáteční teplotě manekýna. Cílem BP práce tedy je experimentálně zjistit a ověřit časy nutné pro správné prohřátí manekýna při různých počátečních tepelných podmínkách.

#### **Seznam doporučené literatury:**

ČSN EN ISO 15831. Měření tepelné izolace pomocí tepelné figuríny. Český normalizační institut, 2004.

NILSSON, H. O. a I. HOLMER. Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models. *Indoor Air*. 2003, 13(1), 28-37, DOI: 10.1034/j.1600-0668.2003.01113.x. ISSN 0905-6947.

PSIKUTA, Agnes, Jonas ALLEGRINI, Barbara KOELBLEN, et al. Thermal manikins controlled by human thermoregulation models for energy efficiency and thermal comfort research – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2017, 78, 1315-1330. DOI: 10.1016/j.rser.2017.04.115. ISSN 13640321.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je experimentální zjištění doby nahřívání tepelného manekýna typu Newton pro dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím. V první kapitole práce je popsán teoretický úvod do problematiky přestupu tepla. Hlavní část práce tvoří experimentální měření náhřevu manekýna z různých počátečních teplot a doplňkový experiment chladnutí. V průběhu testu je měřen čas potřebný ke stabilizaci, jak na povrchu, tak i uvnitř manekýna.

### **Klíčová slova**

tepelný manekýn, měření, náhřev, chladnutí

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is focus on experimental investigation of warm-up time of Newton type thermal manikin for thermal equilibrium with surrounding environment. First chapter describes the theoretical introduction to heat transfer. The main part of the thesis is consisting of experimental measurement of manikin warm-up from various temperatures and additional cooling experiment. During the test stabilization time on the surface and inside the manikin is measured.

### **Key words**

thermal manikin, measurement, warm-up, cooling

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DOČEKAL, Martin. *Experimentální zjištění doby nahřívání tepelného manekýna pro dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019, 79 s. Vedoucí práce Ing. Jan Fišer, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Experimentální zjištění doby nahřívání tepelného manekýna pro dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Martin Dočekal

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu Ing. Janu Fišerovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracování práce, čas strávený konzultacemi, pomoc při přípravě a v průběhu experimentu, ale především za připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.



## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>VYMEZENÍ CÍLŮ A LIMITŮ PRÁCE .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>TEORETICKÝ ZÁKLAD .....</b>	<b>12</b>
	3.1 Způsoby přenosu tepla .....	12
	3.1.1 Přenos tepla vedením .....	12
	3.1.2 Přenos tepla prouděním .....	13
	3.1.3 Přenos tepla zářením.....	14
	3.1.4 Zachování energie pro kontrolní objem .....	15
<b>4</b>	<b>MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>17</b>
	4.1 Tepelný manekýn.....	17
	4.1.1 Vznik a historie tepelných manekýnů .....	17
	4.1.2 Tepelný manekýn Newton.....	18
	4.2 Klimatická komora .....	19
	4.3 Termokamera Flir one .....	21
	4.4 Teploměry Testo .....	22
	4.5 Termočlánek .....	23
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....</b>	<b>24</b>
	5.1 Příprava a průběh měření .....	24
	5.2 Naměřená data .....	27
	5.2.1 Experiment 1 - Ověření opakovatelnosti měření.....	27
	5.2.2 Experiment 2 - Náhřev z počáteční teploty 20 °C .....	32
	5.2.3 Experiment 3 - Náhřev z počáteční teploty 10 °C .....	35
	5.2.4 Experiment 4 - Náhřev z počáteční teploty 5 °C .....	38
	5.2.5 Experiment 5 - Chlazení z teploty 40 °C na teplotu 24 °C.....	41
<b>6</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>53</b>

## **1 ÚVOD**

V dnešní době si umíme jen těžko přestavit každodenní život bez HVAC (z anglického heating, ventilation and air-conditioning) systémů, které nám pomáhají regulovat teplotu ať už v rodinném domku, továrně nebo třeba v osobním automobilu. Otestování prostředí a výsledného efektu HVAC technologie na lidský organismus je dnes nedílnou součástí vývojového procesu takových zařízení.

V současné době je kladen velký důraz na tepelný komfort. Pro měření a ověření komfortu se dnes ve stále větší míře používá měřicí zařízení typu tepelný manekýn, která umožňují velice přesně měřit tyto účinky, a to bez ovlivnění různými rušivými vlivy často zkreslující hodnocení. Tyto výhody mají za důsledek, že testování s obdobnými měřicími zařízeními podobným tepelnému manekýnovi přibývá. Díky těmto zařízením lze redukovat počet testů s dobrovolníky, které jsou časově, finančně i organizačně náročné a jsou zde i etické problémy s některými typy testů, kdy např. nelze vystavit dobrovolníky extrémním teplotám nebo dlouhodobě diskomfortnímu a stresujícímu prostředí.

V běžné měřicí praxi patří mezi největší problémy stanovení doby zahřátí/přípravy manekýna před samotným měřením tak, aby byl ve stavu tepelné rovnováhy a byl připraven k měření. Tato příprava je nezbytná, abychom mohli provést přesné měření a omezili velikost chyby. Každý segment manekýna má však jiný tvar, plochu a velikost, což znamená, že doba nahřátí na požadovanou teplotu se může značně lišit hlavně v závislosti na počáteční teplotě.

Moje bakalářská práce je proto zaměřena na experimentální stanovení časů, při různých počátečních podmínkách a teplotách manekýna. Výsledky pak budou využity v experimentálních měřeních s manekýnem Newtonem, během nichž bude možné lépe odhadnout, jak dlouhý čas je potřebný na teplotní stabilizaci manekýna, což sníží nejistotu měření a také odstraní případné hrubé chyby měření.

## 2 VYMEZENÍ CÍLŮ A LIMITŮ PRÁCE

### Vymezení cílů práce

- Experimentální zjištění a ověření času nutného pro správné prohřátí manekýna při různých počátečních podmínkách - především při různé počáteční teplotě.
- Určení času pro dosažení tepelné rovnováhy s okolím za podmínek, které byly zvoleny v toleranci s přesností času  $\pm 10$  min., teploty  $\pm 0,5$  °C a hustoty tepelného toku v rozsahu  $\pm 5$  W/m<sup>2</sup>
- Porovnání výsledných teplot z různých měřících systémů.
- Rozbor nejistot a opakovatelnosti měření.

### Vymezení limitů práce

- Práce se zabývá pouze experimentálním měřením času potřebného pro dosažení tepelné rovnováhy s okolím.
- Při experimentu nebudou rozhodující dynamické průběhy měření, ale pro hodnocení budou podstatné hodnoty dosažené v ustáleném stavu.
- Měření bude provedeno v klimatické komoře, podmínky v okolí manekýna tedy lze považovat za homogenní.
- Hlavními parametry určující stav okolního prostředí jsou teplota, střední radiační teplota, relativní vlhkosti vzduchu a proudění vzduchu do 0,2 m/s.

### 3 TEORETICKÝ ZÁKLAD

#### 3.1 Způsoby přenosu tepla

Výměna tepla mezi tepelným manekýnem Newton a okolním prostředím může probíhat několika způsoby. Práce se zabývá třemi základními mechanismy - přenosem tepla vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a zářením (radiací). V termoregulačním systému lidského těla existují i další způsoby přenosu tepla jako např. vypařování potu, vypařování vody, dýchání a další, ovšem tyto procesy v práci zahrnuty nejsou, neboť v celkové tepelné bilanci v běžném vnitřním prostředí nehrají významnou roli a technické vybavení manekýna není schopno je napodobit. Důležitou poznámkou ale je, že přenos tepla probíhá ve všech případech samovolně jen z místa o vyšší teplotě do místa o teplotě nižší (2. zákon termodynamiky), což je i základním zákonem pro přenos tepla z manekýna do okolí či obráceně. [1] [2]

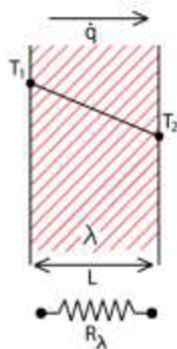
##### 3.1.1 Přenos tepla vedením

Jedná se o prostup tepla skrz pevnou hmotu, v našem případě jde o stěnu manekýna. Prostup tepla lze definovat jako odpor stěny proti vedení tepla tzv. tepelný odpor. To nám pomůže při řešení příkladů, kde můžeme vidět podobnost mezi tepelnými a elektrickými veličinami.

- elektrický proud je analogický hustotě tepelného toku
- rozdíl napětí je analogický k rozdílu teplot
- elektrický odpor je analogický tepelnému odporu

Přenos tepla vedením závisí zejména na součinitelích tepelné vodivosti, které byly u jednotlivých materiálů zjištěny experimentálně. [1]

Obrázek 1 zobrazuje rovinnou stěnu, jenž má na jednotlivých stranách rozdílné teploty. Teplotní gradient, který vzniká právě díky tomuto rozdílu umožňuje přenos tepla vedením.



Obrázek 1: Schéma vedení tepla rovinnou plochou (převzato z [3])

Kondukcce je popsána Fourierovým zákonem, jehož aplikace pro jednorozměrné vedení tepla je popsán rovnicí (3.1)

$$\dot{q} = \lambda \frac{\Delta T}{L} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3.1) \quad [1]$$

Kde:

$\dot{q}$  = měrný tepelný tok [W/m<sup>2</sup>]

$\lambda$  = součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]

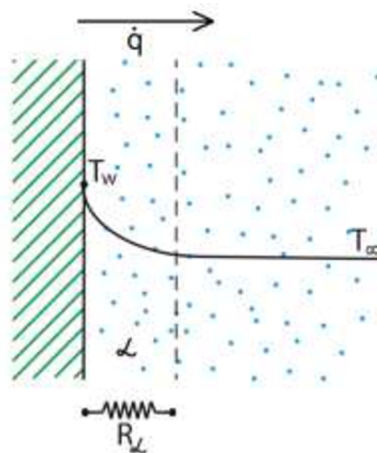
$T_1$  = teplota na povrchu jedné strany [K]

$T_2$  = teplota na povrchu druhé strany stěny [K]

$L$  = tloušťka stěny [m]

### 3.1.2 Přenos tepla prouděním

Ke změně teploty dochází vlivem pohybu tekutiny kolem daného povrchu, v našem případě se jedná o pohyb vzduchu kolem tepelného manekýna. V základu rozlišujeme dva druhy konvekce. Přirozená konvekce nastává v důsledku rozdílů teplot a tím pádem i hustot okolního média. K nucené konvekci dochází v momentě, kdy je proudění vyvoláno vlivem vnějších sil, které způsobují nucený pohyb tekutin ve směru působící síly. Hlavním parametrem určení přenosu tepla konvekcí je součinitel přestupu tepla. Ten můžeme charakterizovat jako míru přenosu tepla z povrchu do tekutiny a jeho hodnota je určena experimentálně. Součinitel přestupu tepla dále zahrnuje charakter proudění (laminární, turbulentní), způsob obtékání a vlastnosti povrchu (reliéf, drsnost atd.). [1] [3]



Obrázek 2: Schéma přenosu tepla konvekcí mezní vrstvou (převzato z [3])

Přenos tepla prouděním se řídí dle Newtonova ochlazovacího zákona popsán rovnicí (3.2)

$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_\infty) \quad (3.2) \quad [1]$$

Kde:

$\dot{q}$  = měrný tepelný tok [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$\alpha$  = součinitel přestupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$T_w$  = teplota povrchu obtékaného tělesa [K]

$T_\infty$  = teplota okolního vzduchu [K]

### 3.1.3 Přenos tepla zářením

Každý objekt s teplotou vyšší než 0 K je zdrojem elektromagnetického záření, které má vlnový charakter. Podle vlnové délky nese záření různé množství energie, má různé vlastnosti, účinky na látku a rozlišuje tak různé typy záření. Na rozdíl od předchozích přenosů tepla není záření vázáno na hmotné prostředí, tzn. že může probíhat i ve vakuu. 1. Kirchhoffův zákon říká, že při dopadu zářivého toku na povrch může dojít k odrazu, pohlcení nebo také k průchodu zářivého toku objektem. [1] [4] [5]

Jedná se o zákon zachování energie popsán rovnicí (3.3)

$$A + R + T = 1 \quad (3.3) \quad [1]$$

Kde:

A = absorptance (poměrná pohltivost)      A = 1 dokonale černé těleso

R = reflektance (poměrná odrazivost)      R = 1 dokonale bílé těleso

T = transmitance (poměrná průteplivost)      T = 1 dokonale průteplivé těleso

V praxi ovšem dokonale černé, bílé nebo průteplivé těleso neexistuje. Černé těleso si lze představit jako zařízení s dutou koulí a velmi malým otvorem. Energie vstupující otvorem do prostoru koule je zde zcela pohlcena V případě šedých těles závisí radiace na jejich emisivitě, vzájemné poloze, natočení jednotlivých povrchů (tzv. úhlových faktorech) a velikostech povrchu. [1] [5]

Celkový tepelný tok vyzářený z povrchu je dán Stefan-Boltzmannovým zákonem. Platí pouze pro absolutně černé těleso.

$$\dot{q} = E_0 = \sigma T^4 \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.4) \quad [1]$$

Kde:

$\dot{q}$  = tepelný tok radiací [ $\text{W/m}^2$ ]

$E_0$  = zářivost černého tělesa [ $\text{W/m}^2$ ]

$\sigma$  = Stefan-Boltzmannova konstanta,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ [W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}]$

$T$  = teplota povrchu černého tělesa [K]

Stefan-Boltzmannův zákon lze modifikovat několika způsoby. Práce se zabývá úpravou rovnice pro záření malého povrchu ve velkém prostoru tzn.  $S_1 \ll S_2$  popsané v rovnici (3.5) [5]

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_m^4 - T_v^4) \quad (3.5) \quad [1]$$

Kde:

$\dot{Q}$  = tepelný tok radiací [W]

$\varepsilon$  = emisivita malého tělesa [-], nabývá hodnot 0 až 1 ( $\varepsilon = 1$  dokonalý zářič).

$\sigma$  = Stefan-Boltzmannova konstanta,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ [W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}]$

$S$  = povrch malého tělesa [ $\text{m}^2$ ]

$T_m^4$  = teplota malého tělesa [K]

$T_v^4$  = teplota velkého tělesa [K]

### 3.1.4 Zachování energie pro kontrolní objem

Při vyjádření tohoto fenoménu se vychází z 1. zákona termodynamiky aplikovaného na kontrolní objem (oblast prostoru ohraničená povrchem), ve kterém musí být splněna rovnováha mezi množstvím všech změn energie. Rovnici bilance změn energie lze zapsat ve tvaru: [1]

$$E_{in} + E_g - E_{out} = \Delta E_{ak} \quad [J] \quad (3.6) \quad [1]$$

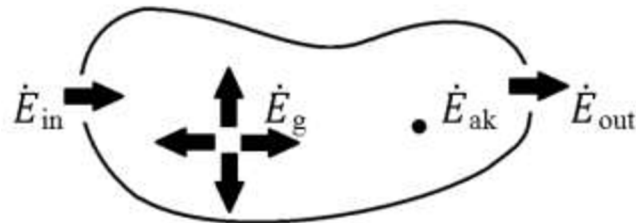
Kde:

$E_{in}$  = energie vstupující do kontrolního objemu [J]

$E_g$  = generovaná energie [J]

$E_{out}$  = energie vystupující z kontrolního objemu [J]

$E_{ak}$  = hodnota akumulovaná v daném kontrolním objemu [J]



Obrázek 3: Kontrolní objem (převzato z [1])

Tepelný manekýn generuje teplo, tudíž je v energetické rovnici energii vstupující do kontrolního objemu v ideálním případě blízka nule a lze ji zanedbat. Ohřev nebo chladnutí manekýna nastává v okamžiku, kdy vstupující, vystupující a generované energie nejsou v rovnováze. Jestliže  $\Delta E_{ak} > 0$ , mluvíme o ohřevu. Nastane-li opačný případ, jedná se o chladnutí. [1]

Zdrojem tepla ve stěně manekýna je elektrický proud procházející topným elektrickým vodičem. Vlivem odporu vodiče se vodič zahřívá a tak dochází k přeměně elektrické energie na tepelnou. Jedná se o tzv. Joulovo teplo dané rovnicí: [1]

$$Q = RI^2 \text{ [W]} \quad (3.6) \text{ [1]}$$

Kde:

Q = teplo generované ve vodiči [W]

R = odpor [ $\Omega$ ]

I = proud [A]



## 4 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

### 4.1 Tepelný manekýn

Slovo manekýn pochází z holandského slova manneken, což v překladu znamená malý muž, nebo také z francouzského slova mannequin v překladu figurína. Ve spojení se slovem tepelný pak slovní spojení tepelný manekýn odkazuje na fakt, že taková figurína je aktivně vyhřívána a umožňuje zpravidla měření povrchových teplot, výkonů a tepelných toků nezbytných pro vyhřívání manekýna. [6]

#### 4.1.1 Vznik a historie tepelných manekýnů

První manekýn byl vytvořen v italské Florencii koncem 15. století. Tato figurína sloužila jako předloha pro získání základů kreslení lidské postavy. Jedním z prvních, kteří používali tyto postavy, byl italský renesanční malíř Frà Bartolomeo. [6]

První tepelný manekýn byl vyrobený pro americkou armádu ve 40. letech 20. století, měl podobu bezhlavé figuríny vyrobené pouze z měděných trubek a plechů. Měla vnitřní ohřívač a ventilátor na distribuci tepla. V roce 1942 byl vyroben nový druh manekýna z galvanizované měděné skořepiny. Obsahoval elektrické obvody, které rovnoměrně zahřívaly povrch figuríny, přičemž bylo možné nezávisle regulovat končetiny a zbytek těla. Používaly se pro výzkum termofyziologie, měření tepelnetechnických parametrů výstroje pro armádu a klimatu v uzavřených prostorách, přičemž konstrukce těchto manekýnů byla vytvořena natolik kvalitně, že jsou často využívány pro měření dodnes. [6]



Obrázek 4: Fotografie pořízená začátkem 70. let 20. století, na níž se nachází mimo různých druhů manekýnů také jejich konstruktéři (zleva) James Bogart, prof. Harwood E. Belding, Dr. Goldman, Mr. J. Robert Breckenridge (převzato z [6])

Postupem času se požadavky na tepelný komfort zvyšovaly, a tak byly vytvořeny více-segmentové figuríny z pokročilých materiálů. Proto v dnešní době téměř všechny moderní figuríny obsahují více než 15 oddělených segmentů vyrobených z hliníku, plastu nebo sandwichových a kompozitních materiálů. Další podstatný krok v modernizaci bylo zavedení elektronické regulace a digitálních systémů pro záznam a zpracování měřených dat, což vedlo ke zpřesnění měření a složitějším typům testů (danymická měření, dlouhodobá měření atd.). Novodobé figuríny mají např. pohyblivé končetiny, mohou simulovat pocení, dýchání i další termofizilogické jevy. Všechny tyto vlastnosti jsou důležité především pro vývoj oděvních sestav a osobního vybavení pro armádní, záchrannářské i průmyslové aplikace. [6]

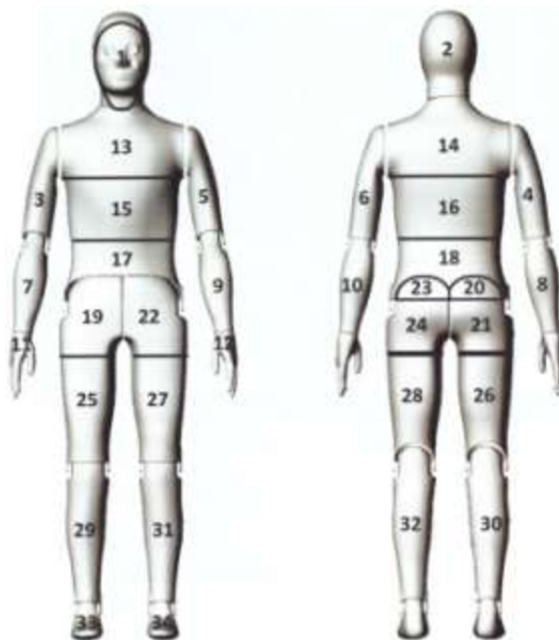
Významné výkonnostní vlastnosti tepelných manekýnů jsou: [7]

- měření přenosu tepla pro celé lidské tělo nebo jeho část
- měření přenosu tepla z realisticky tvarovaného povrchu těla
- aplikace v podobě: měření tepelné izolace oděvů, ochlazovací účinky okolí na tělo, efektu různých HVAC (z anglického heating, ventilation and air-conditioning) technologií na části těla či celé tělo

Měření jsou v porovnání s jinými metodami relativně rychlá, přesná, opakovatelná a reprodukovatelná. Zároveň jsou v konečném výsledku nákladově efektivní, neboť šetří čas nutný pro měření a ověření různých HVAC technologií při jejich vývoji (v porovnání s testy s dobrovolníky). Hodnoty získané při měření navíc slouží jako vstup do matematických modelů, přičemž jiným postupem tyto hodnoty prakticky nelze získat.

#### 4.1.2 Tepelný manekýn Newton

Tepelný manekýn Newton je produktem americké společnosti Thermetrics, je tvořen dutou skořepinovou konstrukcí s tvarem a výškou průměrné lidské postavy evropského typu (existuje i varianta asijská) rozdělenou na 34 segmentů. Všechny části/segmenty jsou samostatně vyhřívány, aby simulovaly vyprodukované metabolické teplo a obsahují senzory pro měření povrchové teploty. Celková ztráta celého těla je dána součtem ztrát tvořených konvekcí, radiací a kondukcí. Manekýn má v sobě zabudovaný ochranný systém, který v momentě nahřátí manekýna na teplotu 52 °C vypne zdroj, aby nedošlo k přehřátí a možnému poškození figuríny. [6] [7]



Obrázek 5: Číslování jednotlivých segmentů manekýna (převzato z[7])

Základní technické parametry: [8]

- měření v rozsahu okolní teploty  $-20\text{ °C}$  až  $+50\text{ °C}$
- přesnost měření teploty  $\pm 0,1\text{ °C}$
- 2x čidlo teploty vzduchu (odporové)
- 1x čidlo relativní vlhkosti
- 1x čidlo pro měření rychlosti vzduchu – žárový kuličkový anemometr
- dýchací mechanismus – frekvence dechu  $5\text{ až }20\text{ min}^{-1}$
- filtrační zařízení pro monitoring vdechovaných částic

#### 4.2 Klimatická komora

Klimatická komora je výrobkem italské firmy Angelantoni industrie s.p.a. a je konstruována a vybavena pro různé druhy klimatických testů. Mimo teploty lze měřit relativní vlhkost, vibrace, zatížení od solárního záření a další. Stěny, strop a dveře komory se skládají z izolačních sendvičových panelů, které jsou zatepleny 14ti centimetry polyuretanové pěny. To má za následek výborné izolační vlastnosti, jenž poskytují homogenitu a stabilitu teplotního pole komory s přesností do  $1\text{ °C}$ . Uvnitř se nachází 60 míst měřených termočlánky typu T, 4 místa měřená přesnými teploměry třídy A Pt100, 15 míst relativní vlhkosti 5 až 95 % RH, 3 místa solárního zařazení pyrometrem. [9]

Rozměry komory: [10]

- šířka 5 m
- délka 8,85 m
- výška 3,8 m
- vnitřní objem 152 m<sup>3</sup>



Obrázek 6: Klimatická komora (převzato z [10])

Druhy testů: [10]

- Životností zkoušky výrobků
  - automobilů
  - automobilových dílů
  - fotovoltaických panelů
  - solárních kolektorů
  - zařízení vystavených venkovnímu prostředí
  - chladicích boxů
  - tepelných čerpadel
- Testy funkčnosti
  - klimatizací
  - vytápění
  - chladicích boxů

Termodynamické parametry: [10]

- teplotní rozsah (se solární simulací) -10 °C až +50 °C
- teplotní rozsah (bez solární simulace) -40 °C až +85 °C
- rychlost teplotní změny (IEC 60068-35-5)  $\pm 1$  °C
- stabilita udržování vlhkosti  $\pm 5$  % RH
- rosný bod 5 °C až 49 °C
- výměna vzduchu pro vyvětrávání 3000 m<sup>3</sup>/h
- výměna vzduchu při provozu 300 m<sup>3</sup>/h
- vnitřní objem komory 152 m<sup>3</sup>

### 4.3 Termokamera Flir one

Termokamera je bezdotykové měřicí zařízení sloužící pro určení teploty na základě elektromagnetického záření (nebo také tepelného záření), které každé těleso vyzařuje. Teplota tělesa se určuje podle několika parametrů. Mezi ty nejdůležitější patří emisivita tělesa (viz kapitola 3.1.3 - Přenos tepla zářením). [11]

Parametry, které ovlivňují kvalitu a hlavně cenu termokamery jsou: [11]

- teplotní rozsah (udává nejnižší a nejvyšší teplotu jakou lze měřit)
- spektrální rozsah (udává rozsah vlnových délek, v nichž zaznamenává záření)
- přesnost stanovení teploty
- teplotní citlivost (udává nejmenší rozdíl teplot, který vyvolá signál větší než je vlastní šum systému)
- optické rozlišení (převod infračerveného záření na elektrický signál a teplotu)
- měřicí a další funkce

Použití v praxi je velice jednoduché. Po zapnutí kamery namíříme na objekt, u jehož nás zajímá teplota. Na LCD displeji se nám ukáže rozsah teplot, který lze upravit, a výsledná hodnota v určitém bodě. Můžeme vytvořit snímek, jenž lze dále upravovat. V práci se využívá program FLIR Tools. Největší využití Termokamery je při diagnostice, údržbě elektrických strojů a ve stavebnictví.



Obrázek 7: Termokamera Flir one (převzato z [12])

Flir one je malá kompaktní termokamera s konektorem microUSB, kterou lze připojit na mobilní telefon s operačním systémem Android nebo iOS. Po připojení k zařízení se na displeji objeví termografické snímky. Se snímky lze dále pracovat programem flir tools. Lze obrázek oříznout, změnit jeho velikost nebo upravit rozsah teplot atd.

Základní technické parametry: [12]

- rozlišení senzoru 160 x 120 pixelů
- rozlišení snímku 1440 x 1080 pixelů
- teplotní rozsah -20 °C až +400 °C
- rozměry 67 x 34 x 14 mm
- zorné pole 55° ±1° / 43° ±1°
- hmotnost 35 g
- frekvence opakování obrazu 8,7 Hz
- cena přibližně 13.000,-Kč

#### 4.4 Teploměry Testo

##### Testo 435

Jedná se o multifunkční přístroj vhodný pro seřízení a kontrolu ventilačních i klimatizačních zařízení a také pro posouzení kvality ovzduší. Kromě teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu dokáže zaznamenat povrchové teploty, rychlost vzduchu a objemový průtok ve vzduchotechnickém kanálu pomocí anemometru. [13]

Technické parametry: [13]

- měřicí rozsah -50 °C až +150 °C
- přesnost ±0,2 °C (v rozsahu teplot -25 °C až +74,9 °C)
- rozměry 220 x 74 x 46 mm
- váha 428 g

##### Testo 480

Jedná se o multifunkční přístroj, který se vyznačuje především svojí přesností a funkcemi vhodnými pro využití v praxi. Zaznamenává teplotu, tlak, vlhkost vzduchu, CO<sub>2</sub>, proudění a objemový průtok. [14]

Technické parametry: [14]

- Rozsah teplot  $-20\text{ °C}$  do  $+70\text{ °C}$
- Přesnost  $\pm 0,5\text{ °C}$  (v rozsahu teplot  $+15\text{ °C}$  až  $+30\text{ °C}$  přesnost  $\pm 0,2\text{ °C}$ )
- Váha 435 g



Obrázek 8: Teploměr Testo 480  
(převzato z [14])



Obrázek 9: Teploměr Testo 435  
(převzato z [13])

#### 4.5 Termočlánek

Termočlánek patří mezi nejpoužívanější teplotní čidla. Jejich princip je založen na termoelektrickém nebo Seebeckově efektu<sup>1</sup>. Při testu bylo využito termočláneku typu T. U tohoto typu se jedná o spojení mědi a konstantanu ( slitina mědi a hliníku). V místě dotyku mohou elektrony přestoupit z jednoho konce do druhého, ale naopak ne. V momentě zahřátí se na jednom konci termočlánekového spoje budou elektrony hromadit a na druhém konci dojde k jejich poklesu. Rozdílný počet elektronů se měří jako napětí, které je úměrné rozdílu teplot a je možné jej přepočítat na teplotu. [15]

Teplotní čidla musí být zvolena pro správný rozsah měřených teplot. Dalším faktorem, který ovlivňuje měření je požadovaná přesnost, nárok na výměnu senzoru, druh přístrojů, fyzikální podmínky okolí atd. V běžné praxi lze využít jak pro nízké teploty ( $-250\text{ °C}$  až  $+500\text{ °C}$ ), tak i pro teploty vysoké (do  $+1500\text{ °C}$ ). Přesnost naměřených teplot se obvykle pohybuje okolo  $\pm 1\text{ °C}$  až  $\pm 2\text{ °C}$ . [15]

Technické parametry termočláneku typu T: [15]

Rozsah teplot:  $-40\text{ °C}$  až  $+350\text{ °C}$

Přesnost:  $\pm 0,5\text{ °C}$

---

<sup>1</sup>Seebeckův efekt – V místě spojení dvou vodičů je generováno napětí, které je závislé na teplotě a materiálu.

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

### 5.1 Příprava a průběh měření

Pro experiment bylo využito několik měřících zařízení a systémů: samotný tepelný manekýn, klimatická komora a další uvedené v předcházející kapitole. Před samotným experimentem bylo nutné provést ověření a adjustaci vybraných termočlánků typu T. To bylo provedeno tak, že termočlánky byly umístěny v klimatické komoře blízko sebe. Po ustálení teploty byly odečteny měřené hodnoty, přičemž cílem bylo zjistit, s jakým rozdílem měří teplotu vůči sobě navzájem a také ověřit měřenou hodnotu vůči kalibrovanému přístroji Testo 480 (kalibrační list viz příloha 7). Pro ověření přesnosti i adjustace byla určena jako směrodatná odchylka hodnota  $\pm 0,5$  °C.

Naměřené hodnoty v ustálením prostředí byly:

- t1 – pravé stehno 21,4 °C
- t2 – hrudník 21,3 °C
- t3 – levé předloktí 21,3 °C
- kalibrovaný teploměr 21,7 °C

Na základě naměřených hodnot lze považovat termočlánky za adjustované s ověřenou přesností  $\pm 0,5$  °C od kalibrovaného měřidla. Dále byl manekýn umístěn do měřicí polohy, kdy byl zavěšen ve vzduchu cca 10 cm nad zemí ve svislé poloze s pažemi volně ve svislé poloze podél těla. Následně byly termočlánky umístěny do dutin manekýna (pravé stehno, hrudník a levé předloktí - viz obrázek 11). Dvě sondy měřící teplotu v okolí manekýna byly umístěny do výšky 10 cm a 140 cm od podlahy komory před manekýnem (viz obrázek 10).



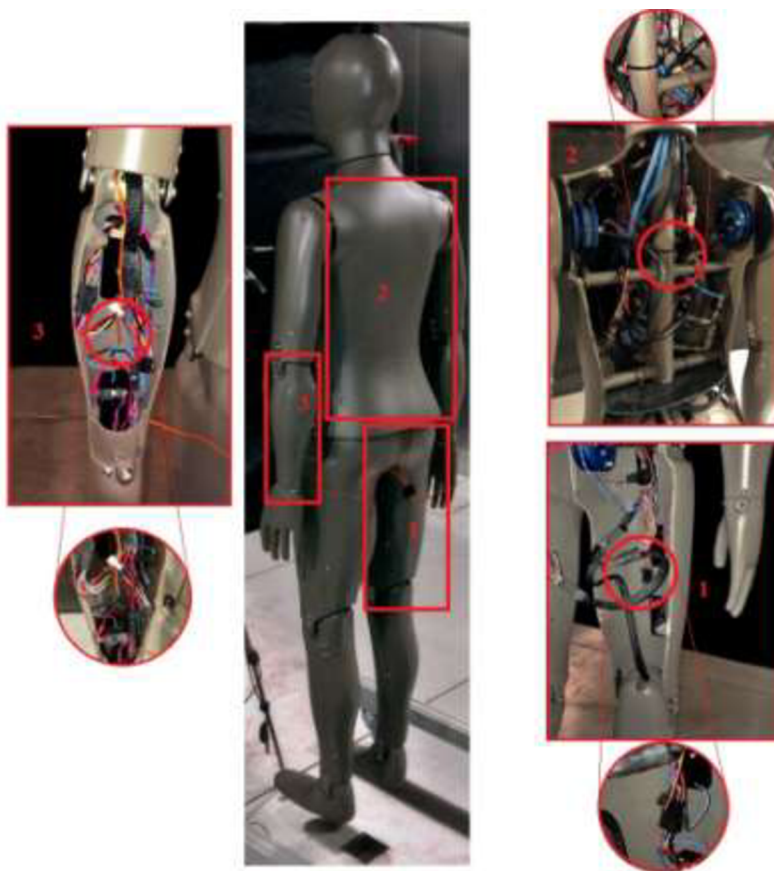
Obrázek 10: Měřicí poloha manekýna se senzory měřícími teplotu a rychlost prodění vzduchu před manekýnem



Další čidla před manekýnem v úrovni hrudníku měřila rychlost proudění vzduchu v okolí manekýna a také vlhkost vzduchu, ačkoliv tento údaj byl pro nastavení a výsledky experiment pouze doplňkový.

Tělo manekýna bylo rozděleno do 3 oblastí, které byly zkoumány podrobněji.

- Oblast 1 – pravé stehno
- Oblast 2 – hrudník
- Oblast 3 – levé předloktí

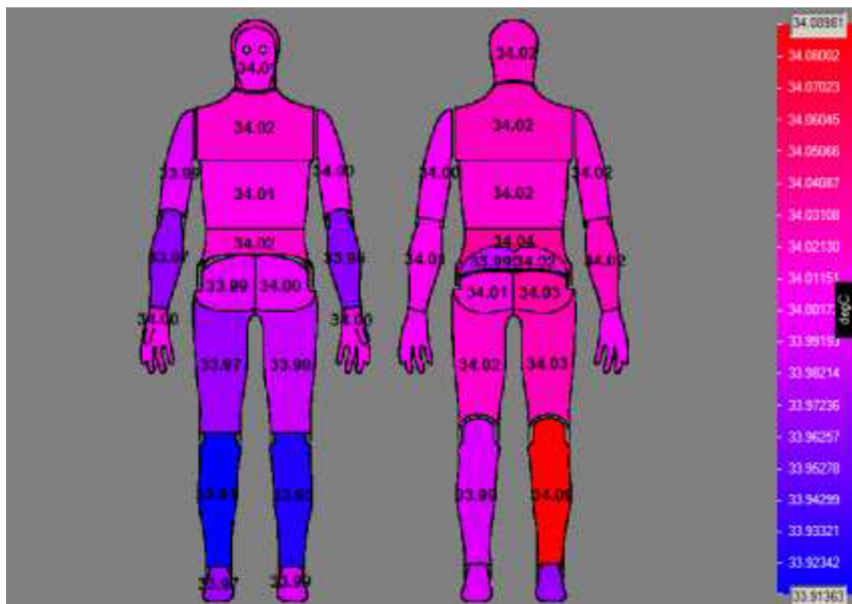


Obrázek 11: Vyznačení kontrolovaných oblastí, pohled do dutin manekýna a dokumentace přesného umístění termočlánků

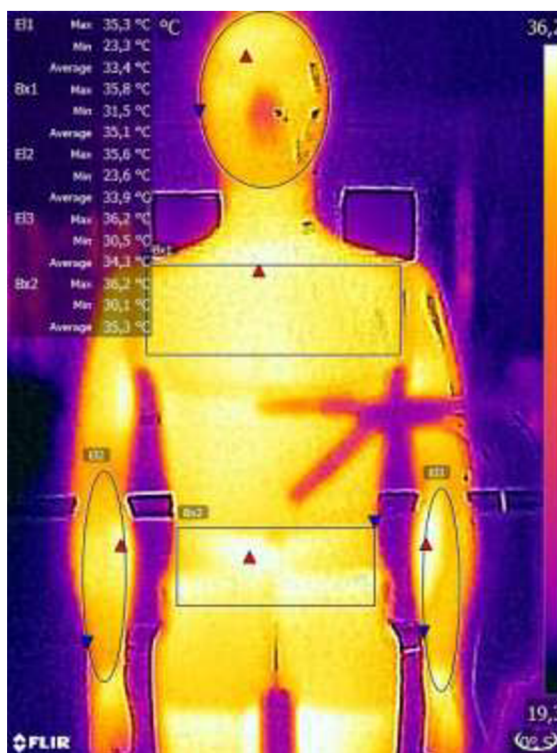
Postup experimentu:

- 1) V úvodu experimentu se nachází manekýn v pasivním stavu, tzn. že jsou měřeny pouze povrchové teploty a teploty v dutinách manekýna, ale vyhřívání je vypnuto. Komora byla v aktivním režimu, kdy je teplota udržována na nastavené hodnotě (např. 20 °C).
- 2) Po vyrovnání povrchových i vnitřních teplot manekýna s teplotou okolí (tolerance  $\pm 0.5$  °C, což obvykle trvalo několik hodin) byl zahájen experiment.

- 3) Newton byl přepnut do aktivního režimu vyhřívání na požadovanou teplotu 34 °C a následně se logovaly povrchové teploty, teploty v dutinách, teploty okolí a další veličiny.
- 4) Z náběhu teplot, jak pro povrch, tak pro dutiny manekýna lze v reálném čase vyhodnotit, kdy je již teplota ustálená a dojde k tepelné rovnováze mezi okolím a manekýnem.
- 5) Povrchové teploty manekýna byly kontrolovány pomocí softwaru Therm Dac, jež je přímo propojený s manekýnem. Z obrázku 12 je patrné, že manekýn je nahřátý na požadovanou teplotu 34 °C s odchylkou  $\pm 0,1$  °C.
- 6) Na konci experimentu byl manekýn snímkován pomocí termokamery jako doplňkové měření pro ověření kvality prohřátí celého manekýna, viz obrázek 13.
- 7) Naměřená data byla ze softwaru Therm Dac exportována do tabulkového programu Microsoft Excel, v němž byla data zpracována do tabulek a grafů (viz kapitola 5.2 Naměřená data) a následně vyhodnocena.



Obrázek 12: Snímek z programu Therm Dac, který zobrazuje povrchové teploty jednotlivých segmentů manekýna



Obrázek 13: Snímek termokamery Flir one zobrazující povrchové teploty manekýna a kvalitu prohřátí jednotlivých částí

## 5.2 Naměřená data

Teplota byla měřena každých 30 vteřin. Pro větší přehlednost jsou v práci vybrána pouze data, potřebná k zobrazení průběhu a stabilizace náhřevu.

Aby bylo možné stanovit čas potřebný k prohřátí, bylo nejprve nezbytné stanovit toleranci, z které vyplývá, že pokud bude v časovém horizontu 15 minut změna teploty  $\pm 0,5$  °C, tak lze prohlásit teplotu za ustálenou, neboť pouze osciluje v důsledku šumu a drobných regulačních zásahů regulačních systémů okolo nastavené teploty.

### 5.2.1 Experiment 1 - Ověření opakovatelnosti měření

Cílem experimentu bylo ověřit při třech opakovaných měření za stejných podmínek konzistenci a opakovatelnost výsledků. Testy byly provedeny za stejných podmínek, avšak v různé dny, přičemž celé zařízení bylo vždy vypnuto a další den znovu zapnuto z neaktivního/"vychladlého" stavu. Pro provedení experimentu byla zvolena teplota 20 °C jako typická startovací teplota při užití manekýna. Náhřev manekýna probíhal vždy 120 minut a vycházelo se z předpokladu, že manekýn je prohřátý, jestliže se teplota nezmění o  $\pm 0,5$  °C za 15 minut (v následujících tabulkách je úsek stabilní teploty vyznačena zelenou barvou).

V následujícím textu jsou postupně uvedeny získaná data pro jednotlivé monitorované dutiny v podobě tabulek a grafů. První monitorovanou oblastí bylo pravé stehno figuríny. Tabulky 1 a 2 zobrazují vzrůst její teploty během tří nezávislých testů.

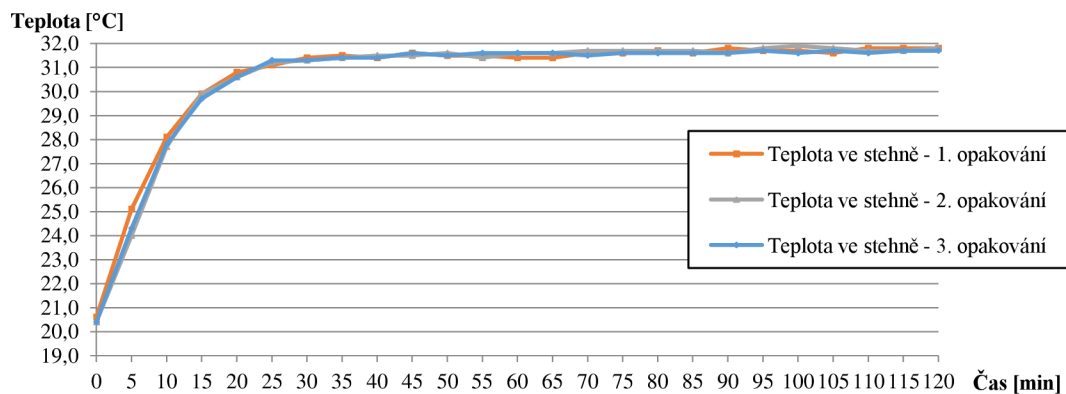
Tabulka 1: Hodnoty naměřené během 3 testů pro oblast stehna část 1

Název segmentu	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Teplota [°C]												
Stehno 1	20,6	25,1	28,1	29,9	30,8	31,1	31,4	31,5	31,4	31,6	31,5	31,5	31,4
Stehno 2	20,4	24,0	27,7	29,9	30,6	31,2	31,3	31,4	31,5	31,5	31,6	31,4	31,6
Stehno 3	20,4	24,3	27,8	29,7	30,6	31,3	31,3	31,4	31,4	31,6	31,5	31,6	31,6

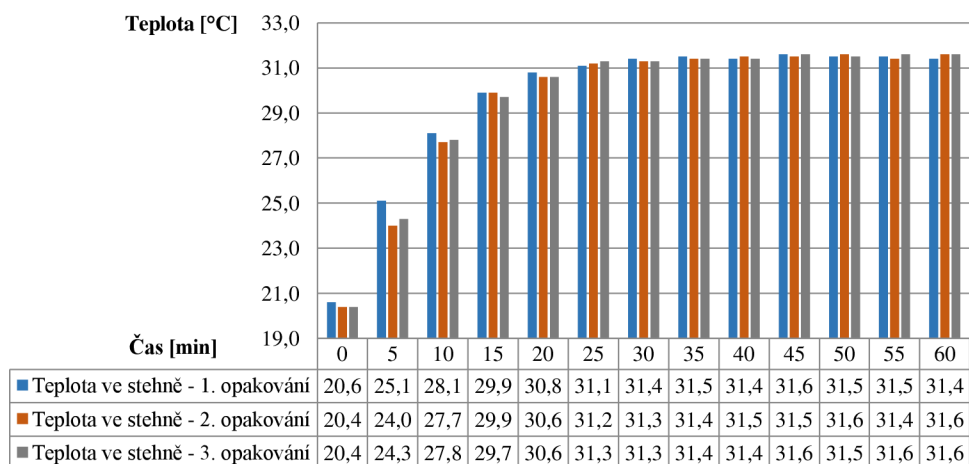
Tabulka 2: Hodnoty naměřené během 3 testů pro oblast stehna část 2

Název segmentu	Čas [min]											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	Teplota [°C]											
Stehno 1	31,4	31,6	31,6	31,7	31,6	31,8	31,7	31,7	31,6	31,8	31,8	31,8
Stehno 2	31,6	31,7	31,7	31,7	31,7	31,6	31,8	31,9	31,8	31,7	31,7	31,8
Stehno 3	31,6	31,5	31,6	31,6	31,6	31,6	31,7	31,6	31,7	31,6	31,7	31,7

Z výsledků jednotlivých testů lze pozorovat, že odchylka teplot je do hodnoty  $\pm 0,2$  °C, což je pro náš experiment akceptovatelný rozptyl. Ve všech případech došlo k ustálení teploty ve stejném časovém horizontu 25 minut. Nižší výsledná teplota cca 32 °C je dána umístěním termočlánku v dutině stehna (viz obrázek 11), kdy teplo generované ve spodní části stoupá do vyšších částí dutiny. Povrchová teplota je brána jako průměr a odpovídá nastaveným 34 °C.



Obrázek 14: Graf zobrazující průběh náhřevu dutiny ve stehně manekýna pro opakované měření



Obrázek 15: Graf porovnávající teploty náhřevu dutin ve stehně manekýna pro 3 měření během 60 minut

Z výsledků naměřených uvnitř oblasti stehna figuríny lze usoudit, že opakovatelnost měření je dobrá, tzn. hodnoty teplot se pohybují v rozsahu  $\pm 0,5$  °C.

Tabulka 3: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř hrudníku manekýna při opakovaném testu část 1

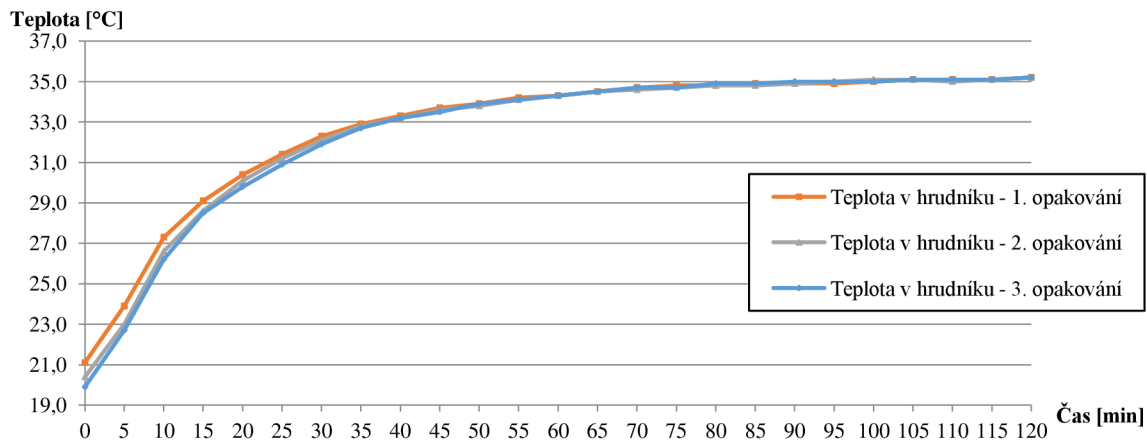
Název segmentu	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Teplota [°C]												
Hrud' 1	21,1	23,9	27,3	29,1	30,4	31,4	32,3	32,9	33,3	33,7	33,9	34,2	34,3
Hrud' 2	20,4	23,0	26,6	28,6	30,1	31,2	32,1	32,8	33,2	33,6	33,8	34,1	34,3
Hrud' 3	19,9	22,7	26,2	28,5	29,8	30,9	31,9	32,7	33,2	33,5	33,9	34,1	34,3

Tabulka 4: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř hrudníku manekýna při opakovaném testu část 2

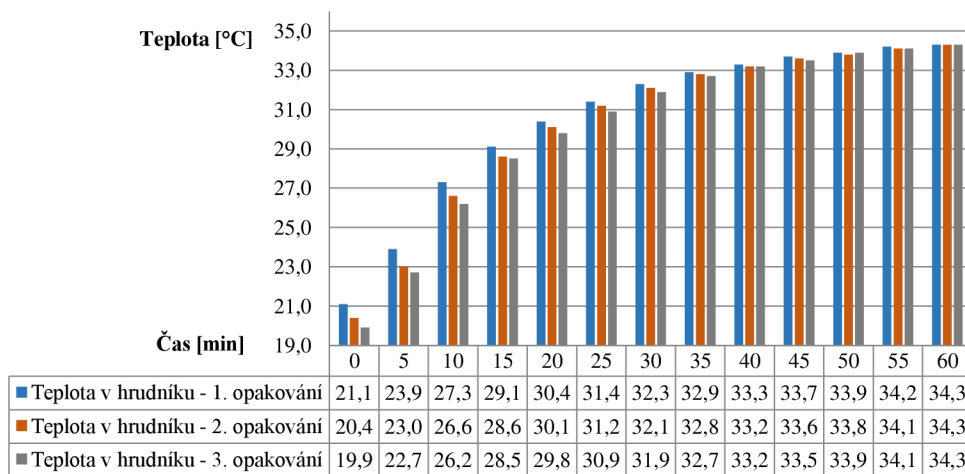
Název segmentu	Čas [min]											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	Teplota [°C]											
Hrud' 1	34,5	34,7	34,8	34,8	34,9	34,9	34,9	35,0	35,1	35,1	35,1	35,2
Hrud' 2	34,5	34,6	34,7	34,8	34,8	34,9	35,0	35,1	35,1	35,0	35,1	35,2
Hrud' 3	34,5	34,7	34,7	34,9	34,9	35,0	35,0	35,0	35,1	35,1	35,1	35,2

Další kontrolovaná oblast byla hrud'. Skládá se z více segmentů a byla z hlediska ustálení teploty časově nejnáročnější. K ustálení dutin umístěných ve středu manekýna je zapotřebí alespoň 65 minut.

Tabulky 3 a 4 ukazují teplotní náhřev oblasti hrudníku manekýna pro tři nezávislé testy. Lze pozorovat, že teplota při startu měření se liší až o 1 °C, ale v případě času a teploty ustálení nám měření vyšla velice podobně s rozdílem menším než 0,1 °C a tím i mimo možnost rozlišení měřících termočlánků. Čas potřebný k prohřátí oblasti hrudníku je 65 minut. Teploty jsou trochu vyšší než nastavená povrchová teplota. To je způsobeno stoupáním tepla z nižších částí hrudníku manekýna.



Obrázek 16: Průběh náhřevu vnitřního prostoru hrudníku manekýna pro opakované měření



Obrázek 17: Graf porovnávající jednotlivé testy a podrobný vývoj náhřevu hrudníku manekýna za 60 minut

Poslední kontrolovanou oblastí bylo levé předloktí. Zde bylo problematické umístit termočlánek z důvodu nedostatku místa v dutině tak, aby nebyl ovlivňován ostatním vybavením. Z výsledků je však patrné, že se nám to úplně nepodařilo a výsledná teplota uvnitř manekýna může být zkreslená, protože byl termočlánek umístěn v blízkosti regulátorů jednotlivých zón (dlaň, předloktí přední, předloktí zadní - viz obrázek 11). Tyto regulátory v provozu vytvářejí jisté odpadní teplo, a proto výsledná hodnota teploty je posunuta oproti nastavené povrchové teplotě 34 °C.

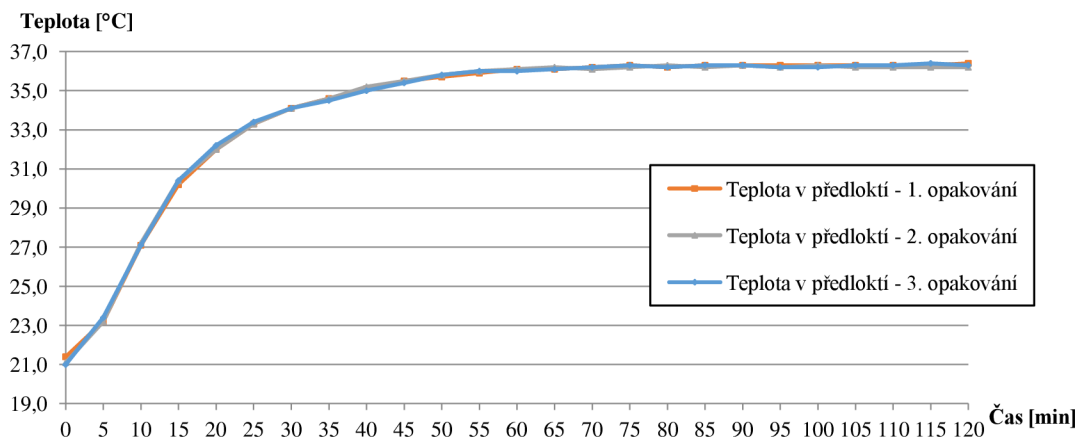
Tabulka 5: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř předloktí manekýna při opakovaném testu část 1

Název segmentu	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Teplota [°C]													
Předloktí 1	21,4	23,2	27,1	30,2	32,0	33,3	34,1	34,6	35,1	35,5	35,7	35,9	36,1
Předloktí 2	21,1	23,2	27,2	30,4	32,0	33,3	34,1	34,6	35,2	35,5	35,8	36,0	36,1
Předloktí 3	21,0	23,4	27,1	30,4	32,2	33,4	34,1	34,5	35,0	35,4	35,8	36,0	36,0

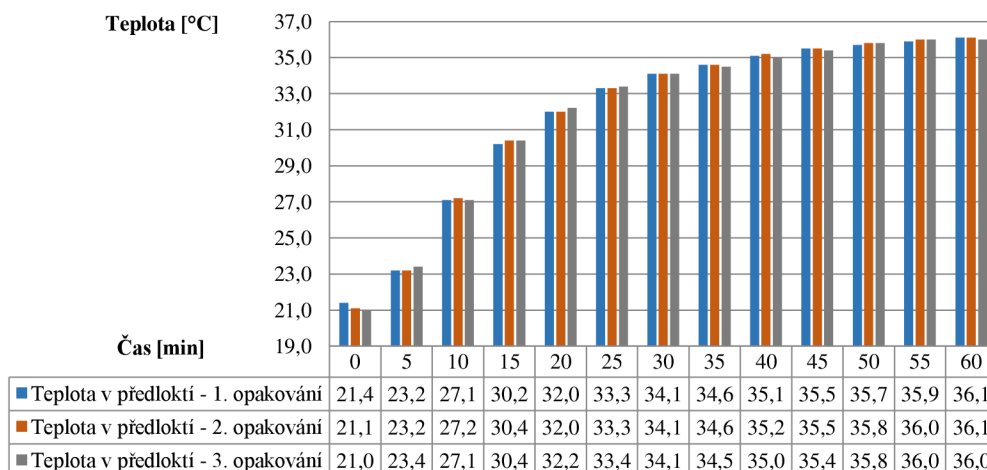
Tabulka 6: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř předloktí manekýna při opakovaném testu část 2

Název segmentu	Čas [min]											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
Teplota [°C]												
Předloktí 1	36,1	36,2	36,3	36,2	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,4
Předloktí 2	36,2	36,1	36,2	36,3	36,2	36,3	36,2	36,3	36,2	36,2	36,2	36,2
Předloktí 3	36,1	36,2	36,3	36,2	36,3	36,3	36,2	36,2	36,3	36,3	36,4	36,3

Tabulky 5 a 6 zobrazují náhřev uvnitř dutiny předloktí. Startovací teploty jsou velice podobné a průběhy se též shodují. Ustálení teploty probíhá okolo hodnoty 36 °C. V prvním měření nastane v čase 55 minut. V následujících dvou měřeních je náhřev o 5 minut kratší. Abychom zůstali v toleranci, a zároveň na bezpečnější straně zvolíme čas ustálení 55 minut.



Obrázek 18: Průběh náhřevu vnitřního prostoru předloktí manekýna pro opakované měření

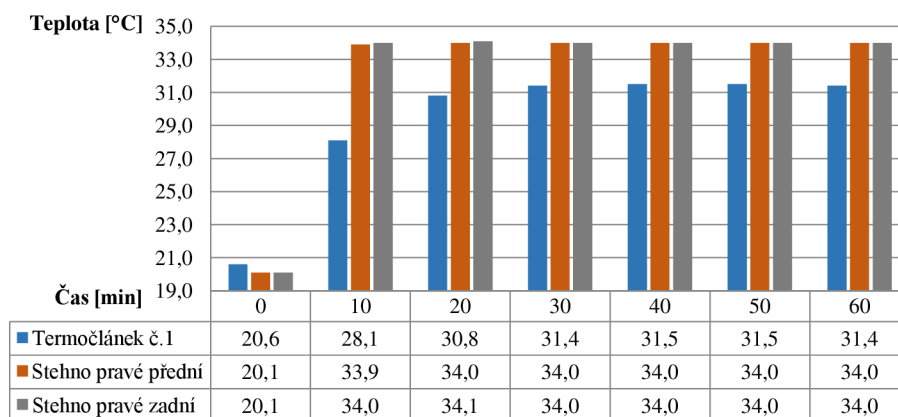


Obrázek 19: Graf porovnávající jednotlivé testy a podrobný vývoj náhřevu předloktí manekýna za 60 minut

Po vyhodnocení výsledků bylo rozhodnuto, že další testy stačí provést pouze jednou, protože přesnost a opakovatelnost odpovídala předpokladům a měřicí řetězec i ostatní vybavení fungují s požadovanou přesností.

### 5.2.2 Experiment 2 - Náhřev z počáteční teploty 20 °C

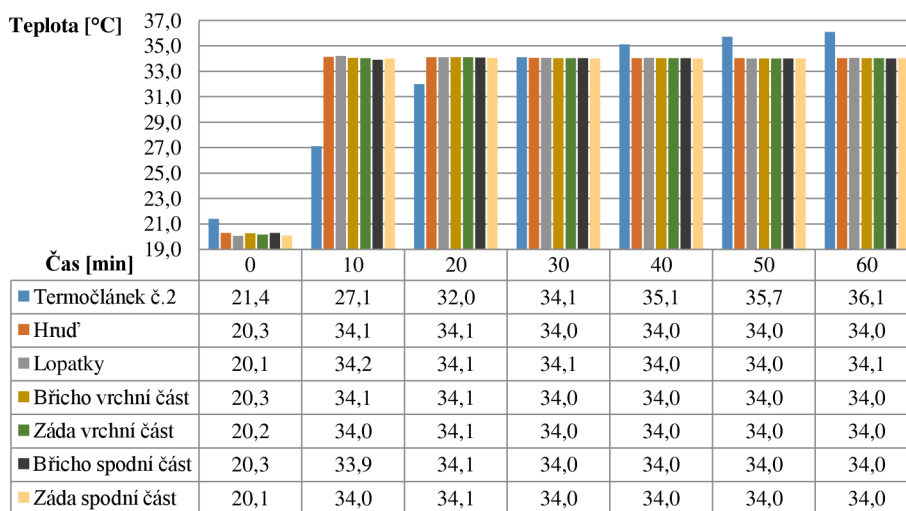
Experiment je zaměřen na oblasti, u kterých máme možnost kontrolovat prohřátí manekýna. První kontrolovanou zónou byla pravá noha, přesněji stehno. Po zapnutí náhřevu manekýna bylo dosaženo požadované hodnoty povrchové teploty už v 10. minutě. Vzduch v dutinách manekýna se prohřál za 30 minut. Z grafu je patrné, že vnitřní prostor manekýna v jeho stehně se i po delším časovém úseku nedokáže prohřát na požadovanou teplotu 34 °C. To může být způsobeno umístěním termočlánku. Teplo vygenerované v dolní části stehna stoupá do vrchních oblastí, které mají naopak vnitřní teplotu vyšší, což ale ve výsledku vede k požadované střední povrchové teplotě, která se průměruje vždy z celé plochy segmentu.



Obrázek 20: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna. Počáteční teplota 20 °C.

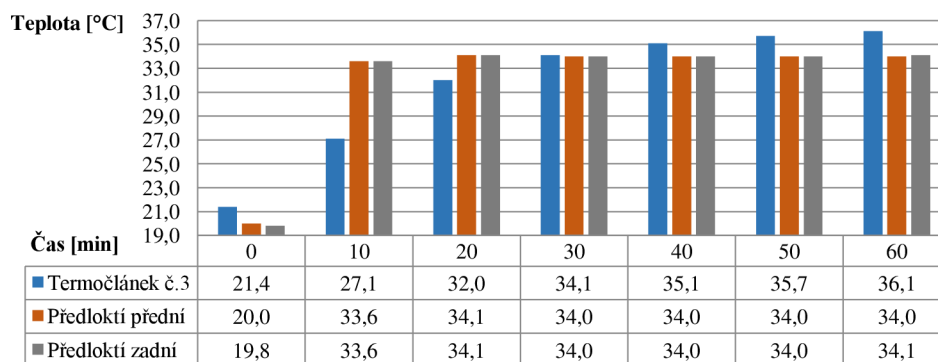


Hrudník je zvolen jako druhá kontrolovaná oblast. Jedná se o plošně největší zónu skládající se z 6 segmentů. Z naměřených hodnot je patrné, že při prohřátí manekýna pro nás bude primárně záležet na ustálení vzduchu uvnitř manekýna, u kterého trvá ustálení delší dobu. Náhřev povrchu manekýna probíhá konzistentně u všech pozorovaných částí a na danou teplotu je povrch zahřátý už v průběhu 10. minuty. Teplota vzduchu v okolí termočláneku stoupne na hodnotu 34 °C okolo 30. minuty měření, ale k ustálení dojde zhruba v čase o 30 minut později, tzn. přesně za celkový čas 60 minut. Dosažená stabilní teplota dosáhla hodnoty 36 °C, což je pravděpodobně způsobeno stoupáním tepla z níže umístěných segmentů.



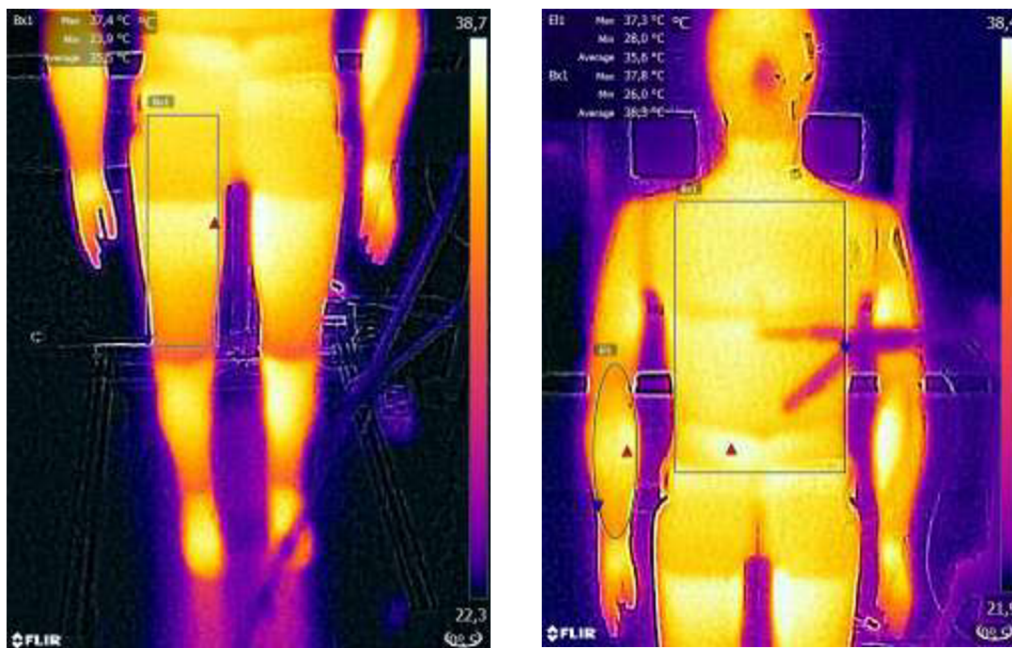
Obrázek 21: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku. Počáteční teplota 20 °C.

Poslední monitorovanou oblastí je pravé předloktí. Plošně se jedná o nejmenší oblast skládající se ze dvou segmentů. Zadané povrchové teploty bylo dosaženo v průběhu 20. minuty, ale celkové teplotní ustálení měřené dutiny v předloktí trvalo o několik desítek minut déle. Ustálená teplota vzduchu se pohybovala v rozmezí několika desetín stupně nad hodnotou 36 °C, což mohlo být způsobeno umístěním čidla v blízkém okolí drátků a regulátorů jednotlivých segmentů, které svým odpadním teplem pravděpodobně čidlo ohřívaly.



Obrázek 22: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí. Počáteční teplota 20 °C.

Vývoj teploty v čase pro všech 34 segmentů a podrobnější hodnoty z experimentu s počáteční teplotou 20 °C jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 23: Snímek z termokamery Flir one – zobrazení nahřátého povrchu manekýna pro oblasti stehna, hrudníku a předloktí pro startovací teplotu 20 °C.

### Vyhodnocení prohřátí vnitřních dutin manekýna pomocí termočlánků umístěných v kontrolovaných oblastech - počáteční teplota 20 °C

Tabulka 7: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 1

Umístění termočlánku	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Teplota [°C]												
<b>Stehno</b>	20,6	25,1	28,1	29,9	30,8	31,1	31,4	31,5	31,4	31,6	31,5	31,5	31,4
<b>Hrud'</b>	21,1	23,9	27,3	29,1	30,4	31,4	32,3	32,9	33,3	33,7	33,9	34,2	34,3
<b>Předloktí</b>	21,4	23,2	27,1	30,2	32,0	33,3	34,1	34,6	35,1	35,5	35,7	35,9	36,1

Tabulka 8: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 2

Umístění termočlánku	Čas [min]											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	Teplota [°C]											
<b>Stehno</b>	31,4	31,6	31,6	31,7	31,6	31,8	31,7	31,7	31,6	31,8	31,8	31,8
<b>Hrud'</b>	34,5	34,7	34,8	34,8	34,9	34,9	34,9	35,0	35,1	35,1	35,1	35,2
<b>Předloktí</b>	36,1	36,2	36,3	36,2	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,4

Dostatečné prohřátí manekýna indikované dosažení teplotní stability  $\pm 0,5$  °C bylo nejrychleji pozorováno v oblasti stehna a to v čase 25 minut. Jako vůbec poslední se ustálí teplota

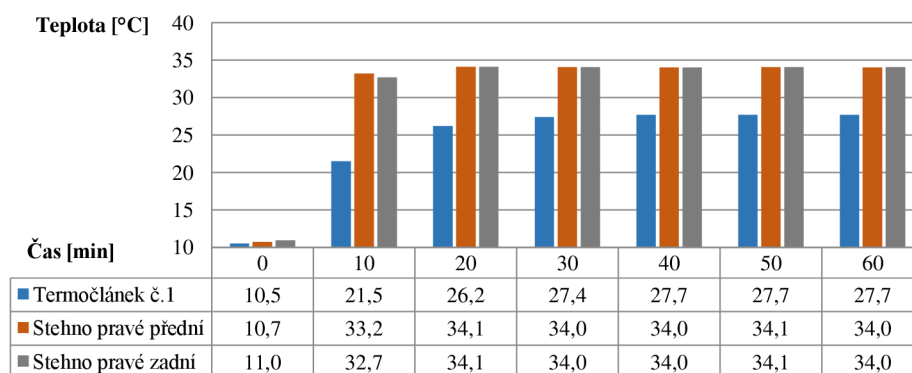
v hrudníku manekýna. Jedná se o objemově největší oblast a do tepelné rovnováhy s okolím se dostane v čase 55 min.

Doba prohřátí a ustálení teploty, jak na povrchu, tak i uvnitř manekýna je tedy pro případ s počáteční teplotou 20 °C rovna 55 min.

### 5.2.3 Experiment 3 - Náhřev z počáteční teploty 10 °C

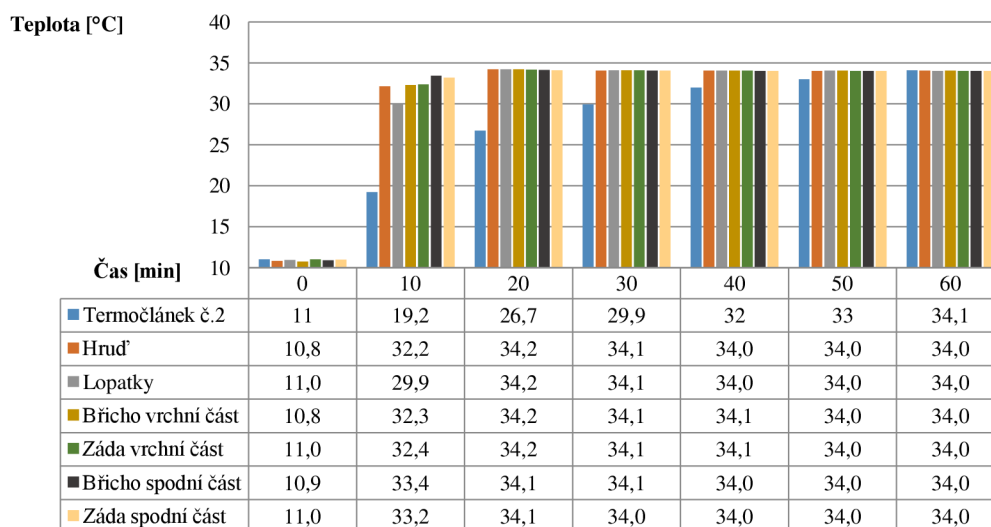
Experiment byl spuštěný v momentě, kdy byla teplota ustálená na startovací teplotě 10 °C a manekýn je ve výchozí měřicí poloze. Průběh naghřevu, porovnání teplot z manekýna a termočlánků je zobrazený v grafech 24 - 26 a tabulkách 9 a 10 níže. Povrchové teploty 34 °C bylo na sledovaných částech dosaženo relativně rychle během 20 minut, teplota vzduchu v dutinách uvnitř těla manekýna se stabilizuje za delší časový interval, viz graf 25.

V první kontrolované oblasti umístěné ve stehně manekýna probíhal naghřev i stabilizace velice rychle. Z obrázku 24 je patrné, že cílové teploty 34 °C uvnitř dutin stehna nebylo dosaženo, což je způsobeno umístěním kontrolované oblasti. Teplotu lze prohlásit za ustálenou po uplynutí 35 minut po začátku experimentu, viz tabulka 7.



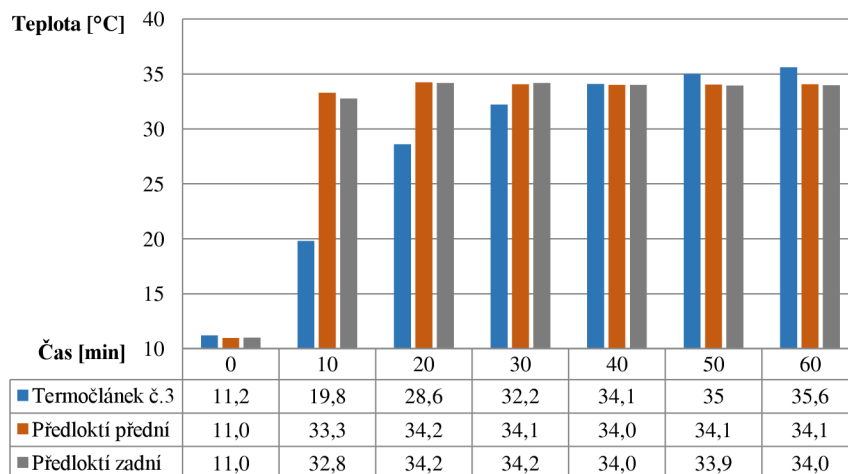
Obrázek 24: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna. Počáteční teplota 10 °C.

Druhá kontrolovaná oblast je objemově největší, z čehož vyplývá i delší doba potřebná k teplotní stabilizaci. Teplota se stabilizuje a dosáhne rovnováhy s okolním prostředím až v probíhající 90. minutě. Povrch figuríny je ustálený, stejně jako první oblast už po uplynutí 20 minut.

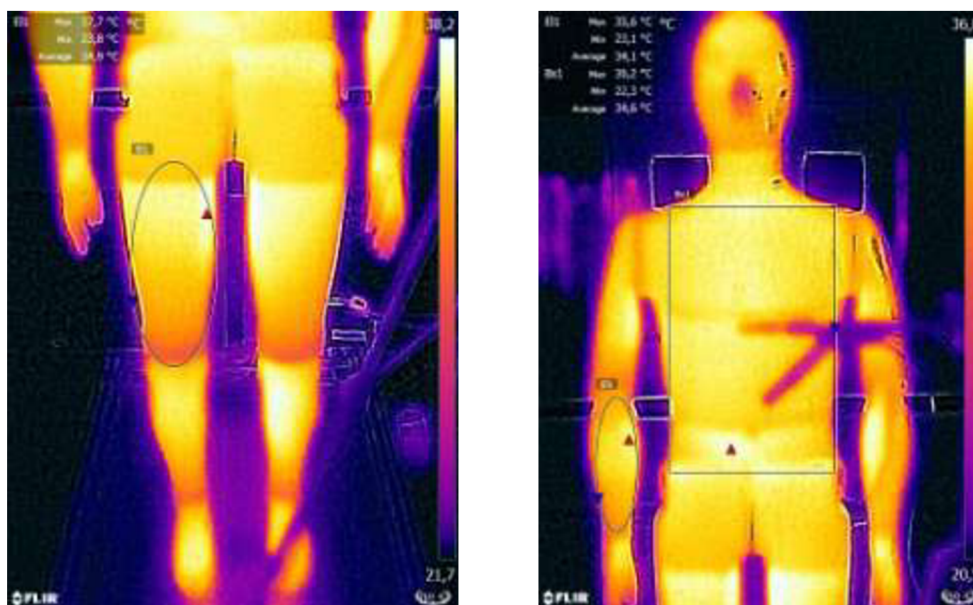


Obrázek 25: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku. Počáteční teplota 10 °C.

Poslední měřená oblast je předloktí. Teplota v této oblasti je ovlivněná z důvodů specifického umístění termočláneku (v blízkosti regulátorů segmentů), ovšem čas potřebný ke stabilizaci by neměl být touto skutečností významněji zatížen a odchylka by měla být minimální. Termočlánek se ustálí na teplotě okolo 36 °C po uplynutí 60 minut.



Obrázek 26: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí. Počáteční teplota 10 °C.



Obrázek 27: Snímek z termokamery Fflir one – zobrazení nahřátého povrchu manekýna pro oblastí stehna, hrudníku a předloktí pro startovací teplotu 10 °C.

### Vyhodnocení prohřátí vnitřních dutin manekýna pomocí termočlánků umístěných v kontrolovaných oblastech - počáteční teplota 10 °C

Tabulka 9: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 1

Umístění termočlánku	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Teplota [°C]												
<b>Stehno</b>	10,5	15,2	21,5	24,9	26,2	27,1	27,4	27,6	27,7	27,7	27,7	27,7	27,8
<b>Hrud'</b>	11,0	13,7	19,2	23,7	26,7	28,7	29,9	31,0	32,0	32,7	33,0	33,7	34,1
<b>Předloktí</b>	11,2	13,6	19,8	25,1	28,6	30,8	32,2	33,6	34,1	34,8	35,0	35,4	35,6

Tabulka 10: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 2

Umístění termočlánku	Čas [min]											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	Teplota [°C]											
<b>Stehno</b>	27,8	27,9	27,8	27,8	27,8	27,9	28,0	27,6	27,9	28,0	28,0	27,9
<b>Hrud'</b>	34,3	34,4	34,7	34,9	34,6	35,1	35,2	35,2	35,0	35,2	35,2	35,4
<b>Předloktí</b>	35,6	35,7	35,8	35,8	35,8	36,0	35,8	35,9	36,1	35,8	36,0	36,0

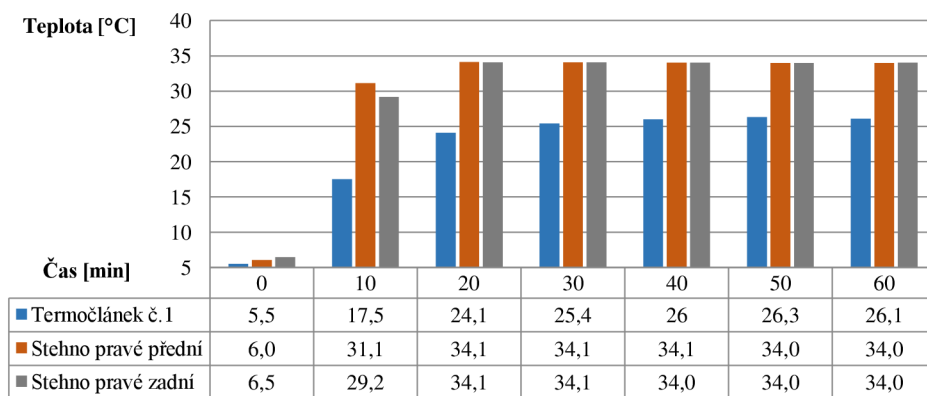
Dostatečné prohřátí manekýna a ustálení teploty proběhne nejrychleji v oblasti stehna už v čase 35 minut. Oblast, jež se prohřeje jako druhá, je předloktí. Jako poslední se ustálí teplota v hrudníku manekýna. Jedná se o objemově největší oblast a do své teplotní rovnováhy se dostane v čase 90 min.

Doba prohřátí a ustálení teploty, jak na povrchu, tak i uvnitř manekýna je tedy pro případ s počáteční teplotou 10 °C rovna 90 min.

#### 5.2.4 Experiment 4 - Náhřev z počáteční teploty 5 °C

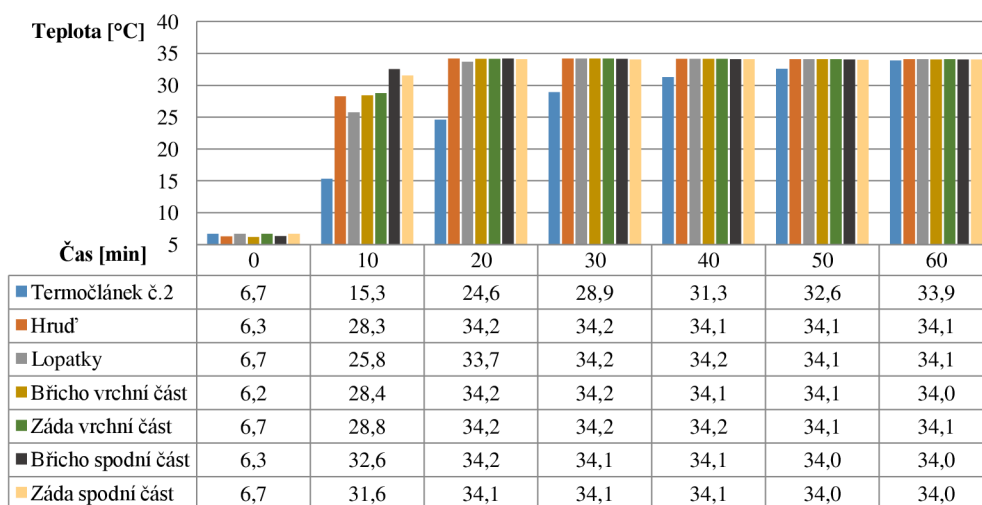
Pro poslední testování náhřevu byla zvolena počáteční teplota 5 °C. Experiment byl spuštěn v momentě ustálení teploty, jak na povrchu, tak i uvnitř dutin manekýna.

V oblasti pravého stehna byl náběh teploty totožný jako dva předcházející případy. Opět je teplota ustálení nižší, což je způsobeno umístěním termočlánku v dolní části segmentu. Hodnota teploty ustálení uvnitř figuríny je okolo 26 °C a dosáhneme ji v průběhu 35 minut. Na povrchu manekýna je dosaženo cílové teploty už během 20. minuty.



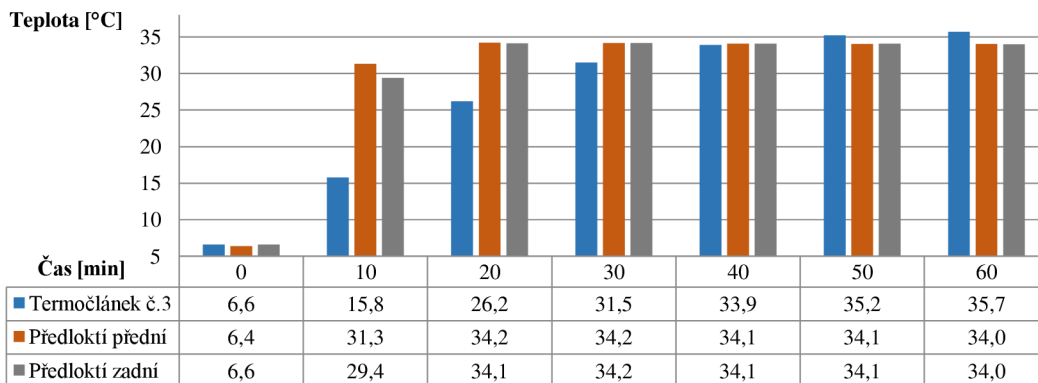
Obrázek 28: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna. Počáteční teplota 5 °C.

Oblast hrudníku má nejpřesnější vnitřní teplotu ustálení vzhledem k oblastem stehna a předloktí. Teplota se blíží požadované hodnotě 34 °C. Této hodnoty dosáhneme po uplynutí 65 minut. Povrch manekýna je zahřátý a stabilizovaný velice rychle a to ve 30. minutě měření.



Obrázek 29: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku. Počáteční teplota 5 °C.

Poslední měřená oblast předloktí je na povrchu stabilizována na požadované teplotě v probíhající 30 minutě. Uvnitř předloktí je z důvodu nevhodného umístění termočlánku teplota o něco vyšší a to téměř 36 °C. Stabilizace čidla je časově náročnější a k úplnému prohřátí oblasti dojde za 55 minut.



Obrázek 30: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí. Počáteční teplota 5 °C.



Obrázek 31: Snímek z termokamery Flir one – zobrazení nahřátého povrchu manekýna pro oblasti stehna, hrudníku a předloktí pro startovací teplotu 5°C.

### Vyhodnocení prohřátí vnitřních dutin manekýna pomocí termočlánků umístěných v kontrolovaných oblastech - počáteční teplota 5 °C

Tabulka 11: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 1

Umístění termočlánku	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Teplota [°C]												
<b>Stehno</b>	5,5	10,8	17,5	22,1	24,1	25,4	25,4	26	26	26,2	26,3	26,6	26,1
<b>Hrud'</b>	6,7	9,8	15,3	20,6	24,6	27,1	28,9	30,4	31,3	32	32,6	33,4	33,9
<b>Předloktí</b>	6,6	9,4	15,8	21,7	26,2	29,5	31,5	33,1	33,9	34,6	35,2	35,5	35,7

Tabulka 12: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 2

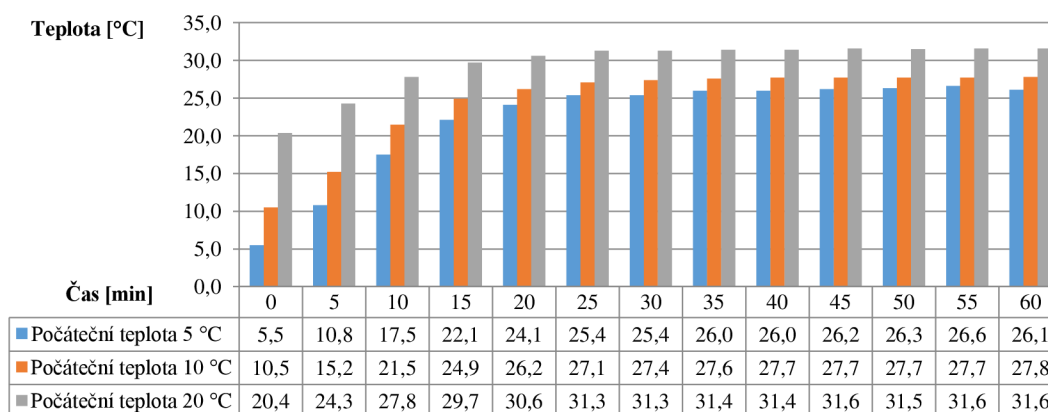
Umístění termočlánku	Čas [min]												
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
	Teplota [°C]												
<b>Stehno</b>	26,3	26,4	26	26,2	26,5	26,3	26,6	26,6	26,6	26,6	26,1	26,4	26,5
<b>Hrudň</b>	34,2	34,3	34,5	34,6	35	34,8	35,2	35	35,2	35,4	35,4	35,5	
<b>Předloktí</b>	35,7	35,9	36	36	35,9	35,8	36	36	36,1	36	35,9	36	

Dostatečné prohřátí manekýna a ustálení teploty proběhne nejrychleji v oblasti stehna už v čase 35 min. Oblast, jenž se prohřeje jako druhá, je předloktí. Jako vůbec poslední se ustálí teplota v hrudníku manekýna. Jedná se o objemově největší oblast a do své teplotní rovnováhy se dostane v čase 65 min.

Doba prohřátí a ustálení teploty, jak na povrchu, tak i uvnitř manekýna je 65 minut.

### Grafické porovnání náhřevu a ustálení teploty termočlánků umístěných ve vytipovaných oblastech (vycházíme z různých startovacích teplot).

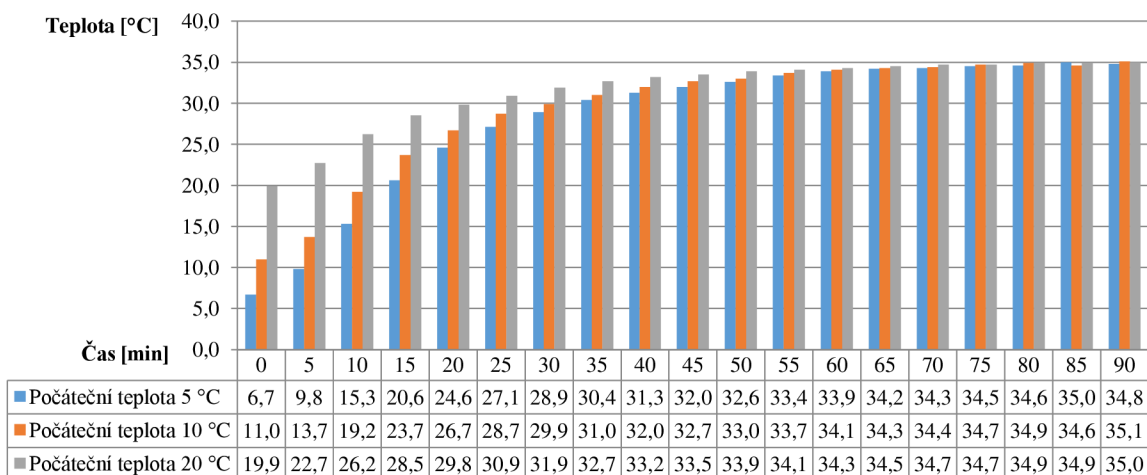
První oblast – stehno. Z obrázku 32 je patrné, že ani v jednom pokusu o náhřev nebyl vnitřek manekýna stabilizován na teplotě 34 °C, což je způsobeno umístěním termočlánku v poloviční výšce měřené dutiny. Teplo generované ve spodních částech figuríny stoupá vnitřkem dutiny nahoru a tím ohřívá horní oblasti. Takže nelze považovat za chybu, pokud je teplota ustálení nižší, než teplota požadovaná. Lze také prohlásit, že ať už byla počáteční teplota jakákoliv, vždy došlo k ustálení teploty během 25 minut.



Obrázek 32: Graf náhřevu z počátečních teplot 5 °C, 10 °C, 20 °C a ustálení jejich hodnot pro termočlánek umístěný ve stehně manekýna.

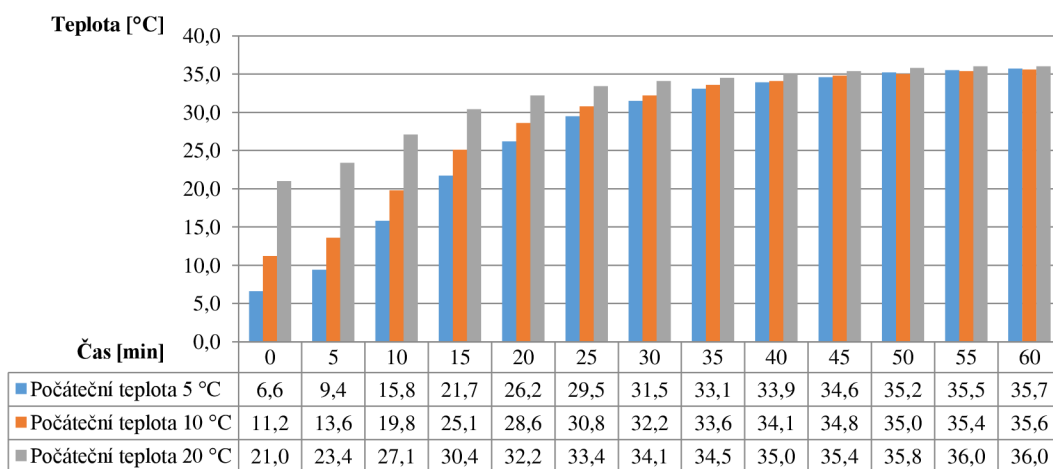
Druhá oblast - hrudník. Z obrázku 33 je patrné, že na rozdíl od oblasti stehna je teplota ustálení 35 °C ve všech 3 případech totožná s minimální odchylkou. Liší se ovšem doba, za kterou dojde ke stabilizaci vnitřních prostor figuríny v závislosti na počáteční teplotě.





Obrázek 33: Graf náhřevu z počátečních teplot 5 °C, 10 °C, 20 °C a ustálení jejich hodnot pro termočlánek umístěný v hrudníku manekýna.

Poslední měřená oblast – předloktí. U předloktí manekýna dojde k teplené rovnováze ve všech měřených případech v různé časové intervaly a při jiných teplotách v závislosti na počáteční teplotě náhřevu. Bohužel v oblasti předloktí došlo k ovlivnění termočlátku v důsledku blízkosti regulátorů jednotlivých segmentů (viz obr. 11), proto je zde teplota o přibližně 1 °C vyšší než nastavený regulační práh 34 °C.

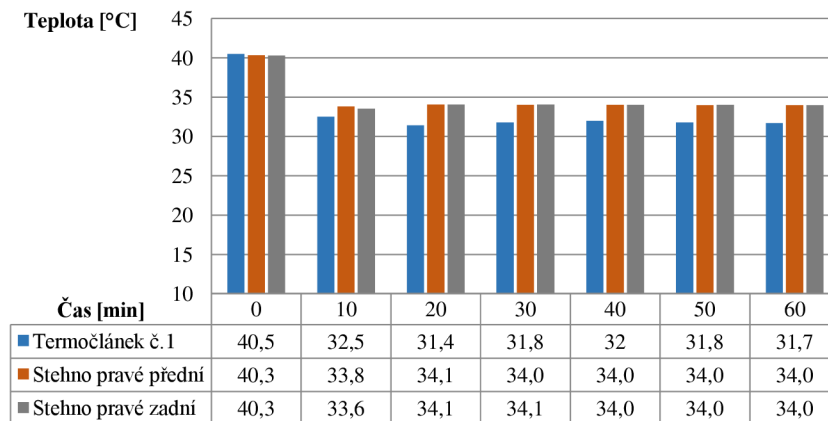


Obrázek 34: Graf náhřevu z počátečních teplot 5 °C, 10 °C, 20 °C a ustálení jejich hodnot pro termočlánek umístěný v předloktí manekýna.

### 5.2.5 Experiment 5 - Chlazení z teploty 40 °C na teplotu 24 °C

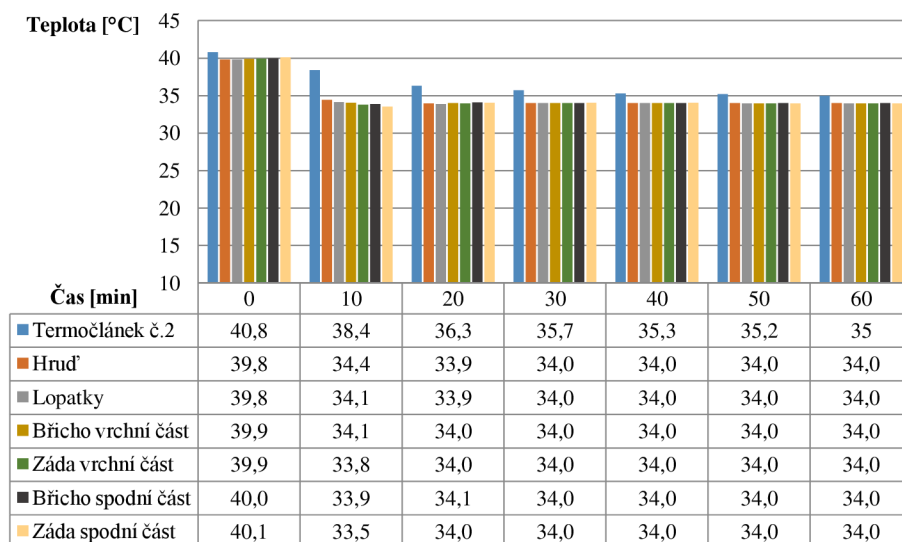
Na závěr bylo provedeno doplňkové měření v podmínkách, které se vyskytují v kabině vozidla při letních podmínkách, kdy je potřeba co nejrychleji ochladit vnitřek kabiny vozidla. K tomu byl navržen tento experiment, kdy byl manekýn v aktivním režimu, a v komoře byla nastavena teplota 40 °C. Manekýn nemá zabudované chlazení, proto pokud je jeho povrchová teplota vyšší než nastavených 34 °C, je generovaný tok na všech částech roven 0 W/m<sup>2</sup>

a manekýn pouze pasivně snímá povrchové teploty. Pro ustálení všech teplot byla komora přepnuta do režimu chlazení na teplotu 24 °C. V momentě poklesu teploty po 34 °C manekýn zapíná nahřívání a zvyšuje se tepelný tok. K ustálení povrchové teploty na hodnotě 34 °C dojde už za 15 – 20 minut. Oblast stehna chladne velice rychle. Z obrázku 35 je patrné, že jak povrch, tak i teplota vzduchu ve vnitřní dutině se stabilizují za 30 minut, přičemž koncová stabilní teplota je rovna hodnotě 32 °C.



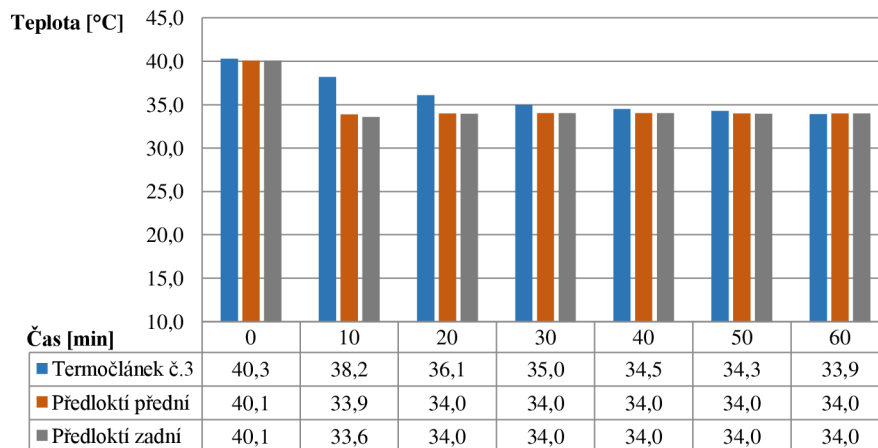
Obrázek 35: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna při chlazení manekýna.

Druhá oblast hrudník je komplikovanější než první. Povrch manekýna je ochlazený opět velice rychle, zde ovšem musíme vyčkat na stabilizaci vnitřních prostor manekýna. Čas potřebný pro ustálení teploty je v tomto případě 50 minut.



Obrázek 36: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku při chlazení manekýna.

Poslední monitorovaná oblast předloktí má velice podobné ustálené teploty po chlazení s odchylkou do  $\pm 0,1$  °C. Ke stabilizaci povrchu manekýna je potřeba alespoň 15 – 20 minut. Z obrázku 37 je patrné, že vnitřní dutiny figuríny dosáhnou stabilní teploty za 45 minut.



Obrázek 37: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí při chlazení manekýna

Tabulka 13: Teplotní vývoj chlazení a následné ustálení teploty

Umístění termočlánku	Čas [min]												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Teplota [°C]												
<b>Stehno</b>	40,5	36,1	32,5	30,9	31,4	31,5	31,8	31,9	32,0	31,9	31,8	31,5	31,7
<b>Hrud'</b>	40,8	40,3	38,4	37,1	36,3	35,9	35,7	35,3	35,3	35,3	35,2	35,0	35,0
<b>Předloktí</b>	40,3	39,9	38,2	36,8	36,1	35,6	35,0	34,7	34,5	34,3	34,3	34,2	33,9

Z tabulky 13 je patrné, že první ustálená oblast bude stehno už v probíhající 30 minutě. Další nastane rovnováha teplot v předloktí a na závěr po uplynutí 50 minut lze prohlásit, že všechny dutiny manekýna jsou v tepelné rovnováze s okolním prostředím.

Doba chlazení a ustálení teploty, jak na povrchu, tak i uvnitř manekýna je 50 minut.

## 6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Tabulka 14: Přehled času potřebného pro dosažení tepelné rovnováhy manekýna s okolím pro různé počáteční podmínky

Cílová teplota náhřevu 34 °C			
Název segmentu	Startovací teplota [°C]		
	20	10	5
	Čas náhřevu [min]		
Nejdéle nahřívající se segment manekýna	10	20	30
Termočlánek stehno	25	35	35
Termočlánek hrud'	55	90	65
Termočlánek Předloktí	40	60	55
<b>Celkový čas náhřevu manekýna</b>	<b>55</b>	<b>90</b>	<b>65</b>

Z tabulky 13 vyplývá, že při náhřevu z teploty 20 °C bude potřeba manekýna nahřívát alespoň 55 minut, což je časově nejnáročnější teplotní stabilizace vzduchu v okolí termočláneku umístěného ve vnitřní dutině hrudníku. Při této startovací teplotě dojde k dosažení stabilizace povrchové teploty manekýna již v 10. minutě.

Další test byl prováděn pro počáteční teplotu 10 °C. Požadované teploty 34 °C dosáhne povrch figuríny v probíhající 20. minutě. Dále dojde ke stabilizaci uvnitř dutin. Nejrychleji se stabilizuje teplota vzduchu ve stehně, dále v předloktí a následně v hrudníku. Z toho vyplývá, že minimální čas potřebný pro náhřev z této teploty je 90 minut (viz tabulka 10).

Poslední experiment byl proveden z nejnižší startovací teploty 5 °C. Manekýn byl při těchto podmínkách bezpečně prohřátý v čase 60 minut. To je teplota nejdéle stabilizující se části, která se nachází uvnitř hrudníku manekýna.

Podrobná tabulka stabilizace všech segmentů manekýna pro různé startovací teploty viz přílohy.

Tabulka 15: Přehled času potřebného pro dosažení tepelné rovnováhy manekýna s okolím pro chlazení z teploty 40 °C

Cílová teplota chlazení 24 °C	
Název segmentu	Startovací teplota [°C]
	40
	Čas náhřevu [min]
Nejdéle chlazenoucí segment manekýna	40
Termočlánek stehno	30
Termočlánek hrud'	50
Termočlánek Předloktí	45
<b>Celkový čas chlazení manekýna</b>	<b>50</b>

Čas potřebný k vychlazení manekýna z teploty 40 °C na teplotu 24 °C je minimálně 50 minut.

## 7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo experimentální zjištění doby nahřívání manekýna pro dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím při různých počátečních teplotách, což je údaj nezbytný pro správné provedení testů s manekýnem, neboť ovlivňuje plánování a časovou náročnost přípravy měřicího zařízení před samotným experimentem.

V první části je stručně popsán teoretický základ—problematiky přenosu tepla a zákon zachování energie pro kontrolní objem, neboť jsou to základní zákony, které popisují fenomény ovlivňující měřené veličiny a funkčnost samotného tepelného manekýna.

V další části je popsán samotný manekýn, historický vývoj tepelných manekýnů a postup inovací v jejich konstrukci vedoucí k dnešním komplexní podobě těchto přístrojů. Dále jsou v práci popsána použitá měřicí zařízení, kdy se vždy jedná o základní popis zařízení a shrnutí jeho hlavních technických parametrů.

Nejdůležitější část práce experiment je popsán v kapitole 5. Nejprve je popsán postup měření, dále nastavení manekýna a komory, adjustace a umístění termočlánků.

Práce nejdříve porovnává opakované měření z počáteční teploty 20 °C, pro ověření opakovatelnosti měření. Dále práce obsahuje testování náhřevů z teplot 5 °C, 10 °C a 20 °C. V jednotlivých podkapitolách je zobrazen průběh a ustálení pomocí grafů a tabulek. Na závěr každého měření je provedeno shrnutí a vyhodnocení výsledného času potřebného k dosažení tepelné rovnováhy s prostředím. Součástí měření byl i doplňkový experimentem chladnutí z počáteční teploty 40 °C, jehož výsledky jsou využitelné v praxi např. při měření vychlazování rozehřáté kabiny automobilu v letním období.

Závěr práce se zabývá vyhodnocením získaných výsledků. Při náhřevu z teploty 5 °C je potřeba manekýna ohřívát alespoň 65 minut, aby bylo dosaženo tepelné rovnováhy s okolím pro povrchovou teplotu 34 °C. Pro startovací teplotu 10 °C je nutné figurínu nechat prohřát minimálně 90 minut, což je zřejmě způsobeno nižším výkonem, který řídicí elektronika využila pro ohřev manekýna než při podmínkách +5 °C, kde je využit větší výkon, protože se již jedná o relativně chladné podmínky. Pokud je prováděn ohřev z počáteční teploty 20 °C, je zapotřebí alespoň 25 minut. Při chladnutí prostředí z teploty 40 °C na hodnotu teploty 24 °C jsou tepelné toky a teploty mezi okolím a manekýnem stabilní za 50 minut.

Problematika experimentálního zjištění doby nahřívání manekýna pro dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím nabízí další možnosti testování. Lze ji doplnit o další sadu testů, případně použití jiných startovacích/cílových teplot či zkoumat dynamiku přenosu tepla v soustavě manekýn-okolí. Dalším krokem může být zapojení vnějších vlivů do experimentu jako např. oblečení.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství). ISBN 80-2142-029-4.
- [2] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí: 1. část* [online]. 2014 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/file/538>
- [3] PIDROVÁ, K. *Testování tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 69 s. Vedoucí Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.
- [4] FOJTLÍN, Miloš, Jan FIŠER a Miroslav JÍCHA. *Determination of convective and radiative heat transfer coefficients using 34-zones thermal manikin: Uncertainty and reproducibility evaluation*. Experimental Thermal and Fluid Science. 2016, 77, 257-264. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2016.04.015. ISSN 08941777. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0894177716300917>
- [5] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [6] NILSSON, H. O. *Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models*. Ph.D. Thesis, University of Gävle, 2004. ISBN 91-7045-703-4
- [7] *Manuál tepelný manekýn Newton*. Measurements Technology Northwest, 2010.
- [8] FIŠER, Jan. *Tepelný manekýn Newton*. In: Energetické fórum [online]. [cit. 2019-02-29]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/pristrojove-vybaveni/tepelnymankyn-newton>
- [9] *Manuály klimatická komora*
- [10] ŠTĚTINA, Josef. *Klimatická komora*. In: Energetické fórum [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/laboratore/klimaticka-komora>
- [11] W-Technika group, *Teplené záření* [online]. 2017 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/tepelne-zareni/>
- [12] W-Technika group, *Termokamera flir one* [online]. 2018 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.termokamery-flir.cz/termokamera-flir-one/>
- [13] Testo SE & Co, *Testo 435* [online]. 2019 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-435-1/p/0560-4351>
- [14] Testo SE & Co, *Testo 480* [online]. 2019 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-480/p/0563-4800>
- [15] KREIDL, M.: *Měření teploty – Senzory a měřicí obvody*. BEN – technická literatura, Praha, 2005. ISBN 80-7300-145-4

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$\dot{q}$	Měrný tepelný tok	$W/m^2$
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$W/mK$
$T_1$	Teplota na povrchu teplejší straně stěny	$K$
$T_2$	Teplota na povrchu studenější straně stěny	$K$
$L$	Tloušťka stěny	$m$
$\alpha$	Součinitel přestupu tepla	$W/m^2K$
$T_w$	Teplota povrchu obtékaného tělesa	$K$
$T_\infty$	Teplota okolního vzduchu	$K$
$A$	Absorptance	–
$R$	Reflektance	–
$T$	Transmitace	–
$E_0$	Zářivost černého tělesa	$W/m^2$
$\sigma$	Stefan-Boltzmanova konstanta	$W/m^2K^{-4}$
$T$	Teplota povrchu černého tělesa	$K$
$\dot{Q}$	Tepelný tok radiací	$W$
$\varepsilon$	Emisivita	–
$S$	Povrch tělesa	$m^2$
$T_m^4$	Teplota malého tělesa	$K$
$T_v^4$	Teplota velkého tělesa	$K$
$E_{in}$	Energie vstupující do kontrolního objemu	$J$
$E_g$	Energie generovaná	$J$
$E_{out}$	Energie vystupující z kontrolního objemu	$J$
$E_{ak}$	Energie akumulovaná v daném kontrolním objemu	$J$
$Q$	Teplo generovaná ve vodiči	$W$
$R$	Odpor	$\Omega$
$I$	Proud	$A$

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma vedení tepla rovinnou plochou (převzato z [3]) .....	12
Obrázek 2: Schéma přenosu tepla konvekcí mezní vrstvou (převzato z [3]) .....	13
Obrázek 3: Kontrolní objem (převzato z [1]) .....	16
Obrázek 4: Fotografie pořízená začátkem 70. let 20. století, na níž se nachází mimo různých druhů manekýnů také jejich konstruktéři (zleva) James Bogart, prof. Harwood E. Belding, Dr. Goldman, Mr. J. Robert Breckenridge (převzato z [6]) .....	17
Obrázek 5: Číslování jednotlivých segmentů manekýna (převzato z [7]) .....	19
Obrázek 6: Klimatická komora (převzato z [10]) .....	20
Obrázek 7: Termokamera Flir one (převzato z [12]) .....	21
Obrázek 8: Teploměr Testo 480 (převzato z [13]) .....	23
Obrázek 9: Teploměr Testo 435 (převzato z [14]) .....	23
Obrázek 10: Měřicí poloha manekýna se senzory měřícími teplotu a rychlost proudění vzduchu před manekýnem .....	24
Obrázek 11: Vyznačení kontrolovaných oblastí, pohled do dutin manekýna a dokumentace přesného umístění termočlánků .....	25
Obrázek 12: Snímek z programu Therm Dac, který zobrazuje povrchové teploty jednotlivých segmentů manekýna .....	26
Obrázek 13: Snímek termokamery Flir one zobrazující povrchové teploty manekýna a kvalitu prohrátí jednotlivých částí .....	27
Obrázek 14: Graf zobrazující průběh náhřevu dutiny ve stehně manekýna pro opakované měření .....	28
Obrázek 15: Graf porovnávající teploty náhřevu dutin ve stehně manekýna pro 3 měření během 60 minut .....	29
Obrázek 16: Průběh náhřevu vnitřního prostoru hrudníku manekýna pro opakované měření .....	30
Obrázek 17: Graf porovnávající jednotlivé testy a podrobný vývoj náhřevu hrudníku manekýna za 60 minut .....	30
Obrázek 18: Průběh náhřevu vnitřního prostoru předloktí manekýna pro opakované měření .....	31
Obrázek 19: Graf porovnávající jednotlivé testy a podrobný vývoj náhřevu předloktí manekýna za 60 minut .....	32
Obrázek 20: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna. Počáteční teplota 20 °C .....	32
Obrázek 21: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku. Počáteční teplota 20 °C. ....	33
Obrázek 22: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí. Počáteční teplota 20 °C. ....	33
Obrázek 23: Snímek z termokamery Flir one – zobrazení nahřátého povrchu manekýna pro oblasti stehna, hrudníku a předloktí pro startovací teplotu 20 °C. ....	34
Obrázek 24: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna. Počáteční teplota 10 °C .....	35
Obrázek 25: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku. Počáteční teplota 10 °C. ....	36



Obrázek 26: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí. Počáteční teplota 10 °C.....	36
Obrázek 27: Snímek z termokamery Flir one – zobrazení nahřátého povrchu manekýna pro oblasti stehna, hrudníku a předloktí pro startovací teplotu 10 °C.....	37
Obrázek 28: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna. Počáteční teplota 5 °C.....	38
Obrázek 29: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku. Počáteční teplota 5 °C.....	38
Obrázek 30: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí. Počáteční teplota 5 °C.....	39
Obrázek 31: Snímek z termokamery Flir one – zobrazení nahřátého povrchu manekýna pro oblasti stehna, hrudníku a předloktí pro startovací teplotu 5°C.....	39
Obrázek 32: Graf náhřevu z počátečních teplot 5 °C, 10 °C, 20 °C a ustálení jejich hodnot pro termočlánek umístěný ve stehně manekýna. ....	40
Obrázek 33: Graf náhřevu z počátečních teplot 5 °C, 10 °C, 20 °C a ustálení jejich hodnot pro termočlánek umístěný v hrudníku manekýna. ....	41
Obrázek 34: Graf náhřevu z počátečních teplot 5 °C, 10 °C, 20 °C a ustálení jejich hodnot pro termočlánek umístěný v předloktí manekýna. ....	41
Obrázek 35: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast stehna při chladnutí manekýna. ....	42
Obrázek 36: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hrudníku při chladnutí manekýna.....	42
Obrázek 37: Graf zobrazující závislost teploty vzduchu v dutině a povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast předloktí při chladnutí manekýna.....	43
Obrázek 38: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č.1.....	54
Obrázek 39: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 1.....	55
Obrázek 40: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast střední části manekýna – náhřev č. 1.....	56
Obrázek 41: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 1.....	56
Obrázek 42: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetiny manekýna – náhřev č. 1.....	57
Obrázek 43: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č.2.....	58
Obrázek 44: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 2.....	59
Obrázek 45: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 2.....	59
Obrázek 46: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 2.....	60
Obrázek 47: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 2.....	61

Obrázek 48: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 3 .....	62
Obrázek 49: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 3 .....	63
Obrázek 50: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 3 .....	63
Obrázek 51: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 3 .....	64
Obrázek 52: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 3 .....	65
Obrázek 53: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 4 .....	66
Obrázek 54: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 4 .....	67
Obrázek 55: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 4 .....	68
Obrázek 56: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 4 .....	68
Obrázek 57: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 4 .....	69
Obrázek 58: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 5 .....	70
Obrázek 59: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 5 .....	71
Obrázek 60: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 5 .....	71
Obrázek 61: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 5 .....	72
Obrázek 62: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 5 .....	73
Obrázek 63: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – chladnutí .....	74
Obrázek 64: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – chladnutí .....	75
Obrázek 65: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – chladnutí .....	76
Obrázek 66: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – chladnutí .....	76
Obrázek 67: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – chladnutí .....	77
Obrázek 68: Kalibrační list teploměru Testo 480 – část 1 .....	78
Obrázek 69: Kalibrační list teploměru Testo 480 – část 2 .....	79

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Hodnoty naměřené během 3 testů pro oblast stehna část 1 .....	28
Tabulka 2: Hodnoty naměřené během 3 testů pro oblast stehna část 2 .....	28
Tabulka 3: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř hrudníku manekýna při opakovaném testu část 1.....	29
Tabulka 4: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř hrudníku manekýna při opakovaném testu část 2.....	29
Tabulka 5: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř předloktí manekýna při opakovaném testu část 1.....	31
Tabulka 6: Hodnoty naměřené termočlánkem uvnitř předloktí manekýna při opakovaném testu část 2.....	31
Tabulka 7: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 1.....	34
Tabulka 8: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 2.....	34
Tabulka 9: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 1.....	37
Tabulka 10: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 2.....	37
Tabulka 11: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 1.....	39
Tabulka 12: Teplotní vývoj náhřevu vnitřních částí manekýna část 2.....	40
Tabulka 13: Teplotní vývoj chladnutí a následné ustálení teploty.....	43
Tabulka 14: Přehled času potřebného pro dosažení tepelné rovnováhy manekýna s okolím pro různé počáteční podmínky .....	44
Tabulka 15: Přehled času potřebného pro dosažení tepelné rovnováhy manekýna s okolím pro chladnutí z teploty 40 °C .....	44
Tabulka 16: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 1.....	54
Tabulka 17: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 1 .....	54
Tabulka 18: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 1.....	55
Tabulka 19: Vývoj povrchových teplot manekýna pro bederní část manekýna – náhřev č. 1 .....	56
Tabulka 20: Vývoj povrchových teplot manekýna pro dolní končetiny manekýna – náhřev č. 1 .....	57
Tabulka 21: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č.2.....	58
Tabulka 22: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 2 .....	58
Tabulka 23: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 2.....	59
Tabulka 24: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 2.....	60
Tabulka 25: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 2.....	61
Tabulka 26: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 3.....	62
Tabulka 27: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č.3.....	62
Tabulka 28: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 3.....	63
Tabulka 29: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 3.....	64

Tabulka 30: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 3 .....	65
Tabulka 31: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 4 .....	66
Tabulka 32: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 4 .....	66
Tabulka 33: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 4 .....	67
Tabulka 34: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 4 .....	68
Tabulka 35: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 4 .....	69
Tabulka 36: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 5 .....	70
Tabulka 37: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 5 .....	70
Tabulka 38: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 5 .....	71
Tabulka 39: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 5 .....	72
Tabulka 40: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 5 .....	73
Tabulka 41: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – chladnutí .....	74
Tabulka 42: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – chladnutí .....	74
Tabulka 43: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – chladnutí ...	75
Tabulka 44: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – chladnutí .....	76
Tabulka 45: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – chladnutí .....	77

## **SEZNAM PŘÍLOH**

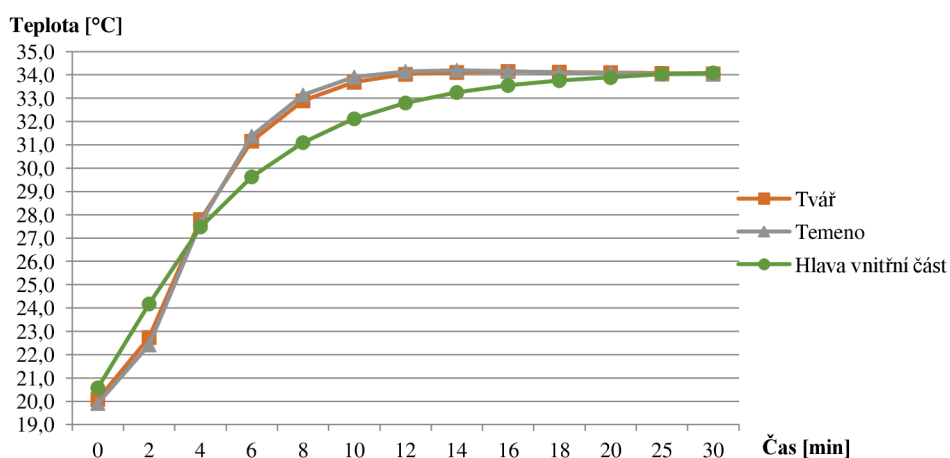
- 1 PŘÍLOHA 1 - Experiment 1 náhřev z 20 °C**
- 2 PŘÍLOHA 2 - Experiment 2 náhřev z 20 °C**
- 3 PŘÍLOHA 3 - Experiment 3 náhřev z 20 °C**
- 4 PŘÍLOHA 4 - Experiment 4 náhřev z 10 °C**
- 5 PŘÍLOHA 5 - Experiment 5 náhřev z 5 °C**
- 6 PŘÍLOHA 6 - Experiment 6 chladnutí ze 40 °C**
- 7 PŘÍLOHA 7 - Kalibrační list teploměru Testo 480**

## PŘÍLOHA 1 – Experiment 1 náhřev z 20 °C

### Vývoj povrchové teploty – experiment 1 (náhřev z 20 °C) oblast hlavy

Tabulka 16: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 1

č. segm	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
1	Tvář	20,1	22,7	27,8	31,2	32,9	33,7	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1
2	Temeno	19,9	22,4	27,7	31,4	33,1	33,9	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0
35	Hlava vnitřní část	20,6	24,2	27,5	29,6	31,1	32,1	32,8	33,3	33,6	33,8	33,9	34,0	34,1

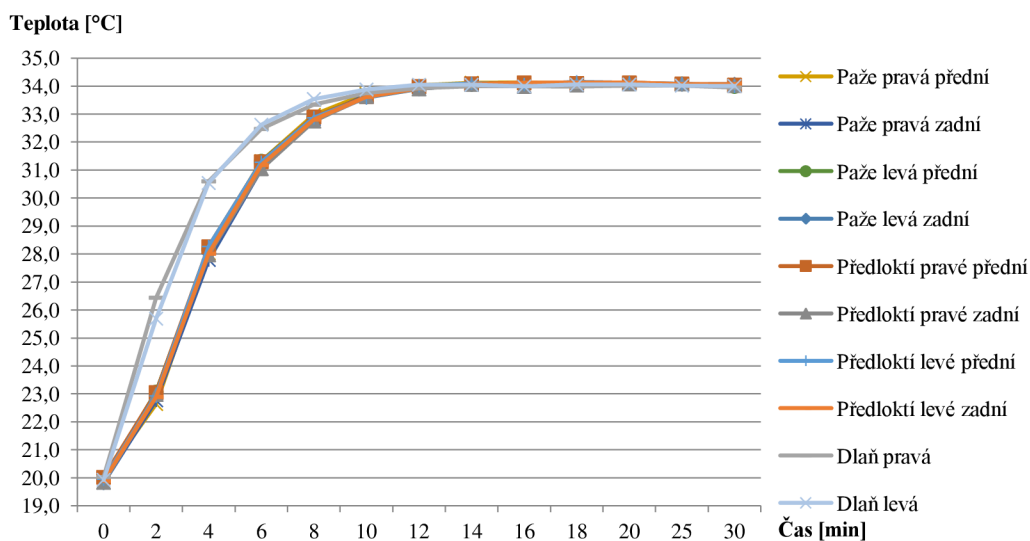


Obrázek 38: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 1

### Vývoj povrchové teploty – experiment 1 (náhřev z 20 °C) oblast horních končetin

Tabulka 17: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 1

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
3	Paže pravá přední	20,0	22,6	28,0	31,3	33,0	33,7	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
4	Paže pravá zadní	19,8	22,8	27,8	31,1	32,8	33,7	34,0	34,1	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0
5	Paže levá přední	19,9	23,1	28,2	31,3	32,9	33,6	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
6	Paže levá zadní	19,8	22,9	28,0	31,2	32,8	33,6	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
7	Předloktí pravé přední	20,0	23,1	28,3	31,3	32,9	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
8	Předloktí pravé zadní	19,8	23,0	28,0	31,1	32,8	33,6	33,9	34,1	34,0	34,0	34,1	34,1	34,0
9	Předloktí levé přední	20,0	22,9	28,3	31,3	32,9	33,6	34,0	34,1	34,1	34,2	34,1	34,1	34,0
10	Předloktí levé zadní	19,9	22,9	28,0	31,2	32,8	33,6	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
11	Dlaň pravá	20,0	26,4	30,6	32,5	33,3	33,8	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
12	Dlaň levá	19,9	25,7	30,5	32,6	33,5	33,9	34,1	34,1	34,0	34,1	34,1	34,0	34,0

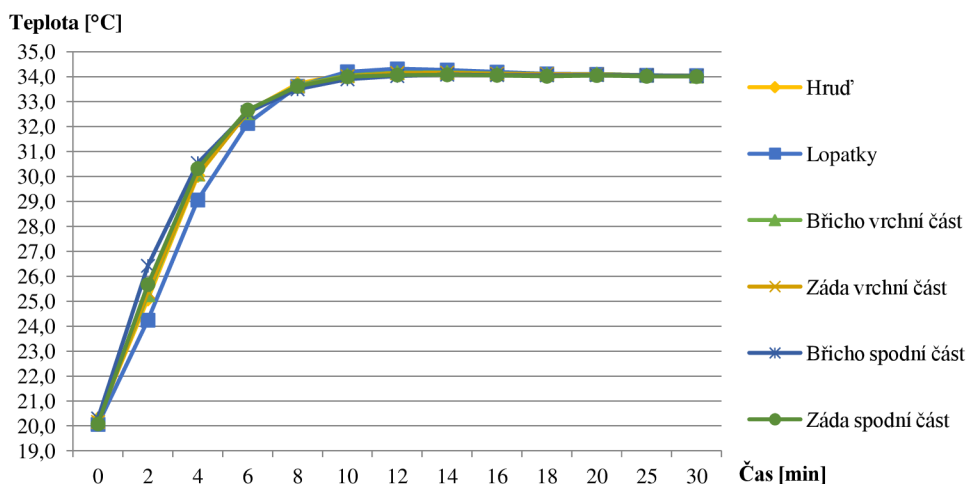


Obrázek 39: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 1

### Vývoj povrchové teploty – experiment 1 (náhřev z 20 °C) oblast středu těla

Tabulka 18: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 1

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
13	Hrud'	20,3	25,1	30,0	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
14	Lopatky	20,1	24,2	29,1	32,1	33,6	34,2	34,3	34,3	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1
15	Břicho vrchní část	20,3	25,3	30,1	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
16	Záda vrchní část	20,2	25,4	30,1	32,6	33,6	34,0	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
17	Břicho spodní část	20,3	26,4	30,5	32,6	33,5	33,9	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
18	Záda spodní část	20,1	25,7	30,3	32,7	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1	34,0	34,0

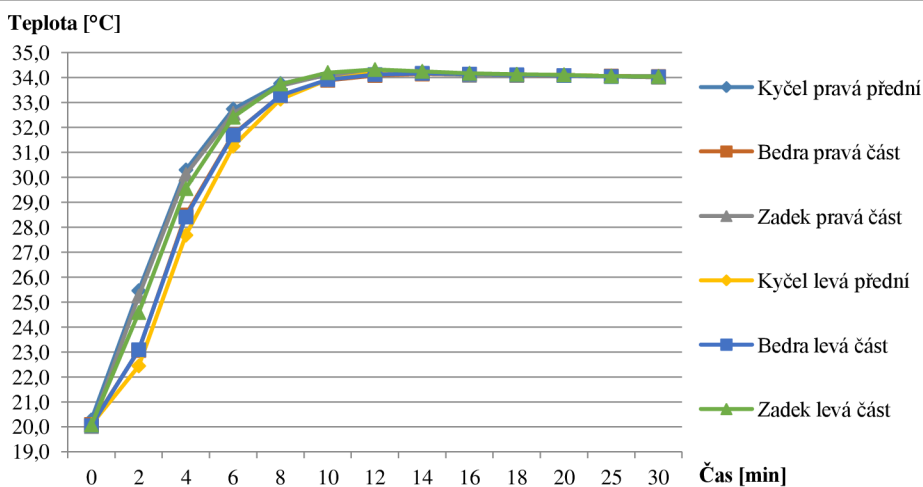


Obrázek 40: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast střední části manekýna – náhřev č. 1

### Vývoj povrchové teploty – experiment 1 (náhřev z 20 °C) oblast bederní

Tabulka 19: Vývoj povrchových teplot manekýna pro bederní část manekýna – náhřev č. 1

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	
		Teplota [°C]													
19	Kyčel pravá přední	20,3	25,5	30,3	32,7	33,8	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	
20	Bedra pravá část	20,1	23,1	28,5	31,7	33,3	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	
21	Zadek pravá část	20,0	25,2	30,1	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	
22	Kyčel levá přední	20,1	22,4	27,7	31,3	33,1	33,9	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	
23	Bedra levá část	20,1	23,1	28,4	31,7	33,3	33,9	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	
24	Zadek levá část	20,1	24,6	29,6	32,4	33,7	34,2	34,3	34,3	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	



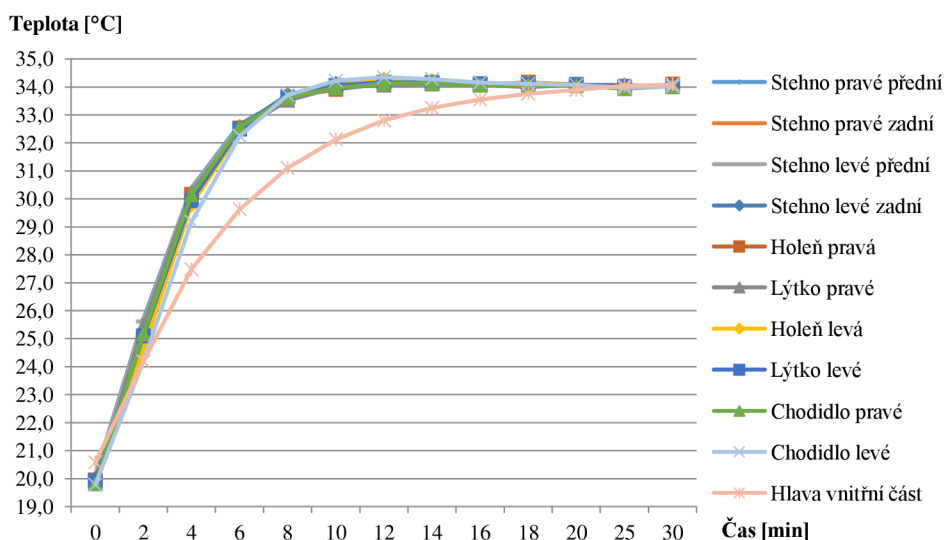
Obrázek 41: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 1



## Vývoj povrchové teploty – experiment 1 (náhřev z 20 °C) oblast dolních končetin

Tabulka 20: Vývoj povrchových teplot manekýna pro dolní končetiny manekýna – náhřev č. 1

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	
		Teplota [°C]													
25	Stehno pravé přední	20,1	25,7	30,4	32,7	33,6	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	
26	Stehno pravé zadní	20,1	25,5	30,1	32,5	33,5	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1	34,0	34,0	
27	Stehno levé přední	20,1	25,6	30,3	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	
28	Stehno levé zadní	20,0	24,8	30,0	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	
29	Holeň pravá	20,0	25,0	30,2	32,5	33,6	33,9	34,2	34,2	34,1	34,2	34,1	33,9	34,1	
30	Lýtko pravé	19,9	25,5	30,2	32,5	33,5	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1	34,1	34,0	
31	Holeň levá	19,9	24,6	29,8	32,4	33,7	34,0	34,3	34,2	34,1	34,2	34,1	34,0	34,0	
32	Lýtko levé	19,9	25,1	29,9	32,5	33,6	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	
33	Chodidlo pravé	19,8	25,2	30,1	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	33,9	34,0	
34	Chodidlo levé	19,8	24,2	29,2	32,3	33,7	34,2	34,4	34,3	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0	



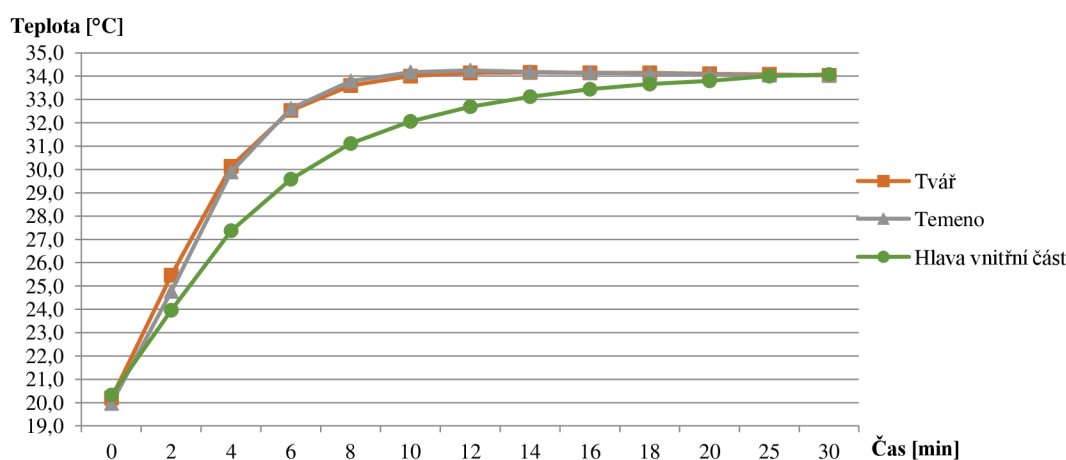
Obrázek 42: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetiny manekýna – náhřev č. 1

## PŘÍLOHA 2 – Experiment 2 náhřev z 20 °C

### Vývoj povrchové teploty – experiment 2 (náhřev z 20 °C) oblast hlavy

Tabulka 21: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 2

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
1	Tvář	20,2	25,5	30,1	32,5	33,6	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
2	Temeno	20,0	24,8	29,9	32,6	33,8	34,2	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,1
35	Hlava vnitřní část	20,3	24,0	27,4	29,6	31,1	32,1	32,7	33,1	33,4	33,7	33,8	34,0	34,1

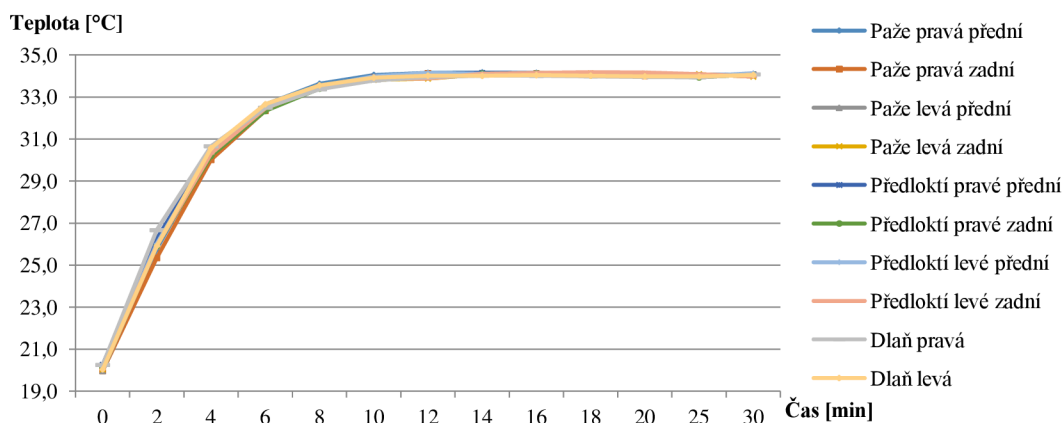


Obrázek 43: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 2

### Vývoj povrchové teploty – experiment 2 (náhřev z 20 °C) oblast horních končetin

Tabulka 22: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 2

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
3	Paže pravá přední	20,2	25,8	30,4	32,6	33,6	34,1	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,1
4	Paže pravá zadní	20,0	25,4	30,0	32,4	33,5	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,1
5	Paže levá přední	20,0	25,9	30,3	32,5	33,5	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1
6	Paže levá zadní	20,0	26,0	30,3	32,5	33,5	33,8	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
7	Předloktí pravé přední	20,3	26,3	30,5	32,6	33,5	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1
8	Předloktí pravé zadní	20,1	25,9	30,2	32,3	33,4	33,9	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	33,9	34,1
9	Předloktí levé přední	20,2	26,0	30,4	32,5	33,5	34,0	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,1
10	Předloktí levé zadní	20,1	25,9	30,3	32,5	33,5	33,9	33,9	34,1	34,2	34,2	34,2	34,1	34,0
11	Dlaň pravá	20,3	26,7	30,7	32,5	33,4	33,8	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	33,9	34,1
12	Dlaň levá	20,0	25,9	30,6	32,7	33,6	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,1

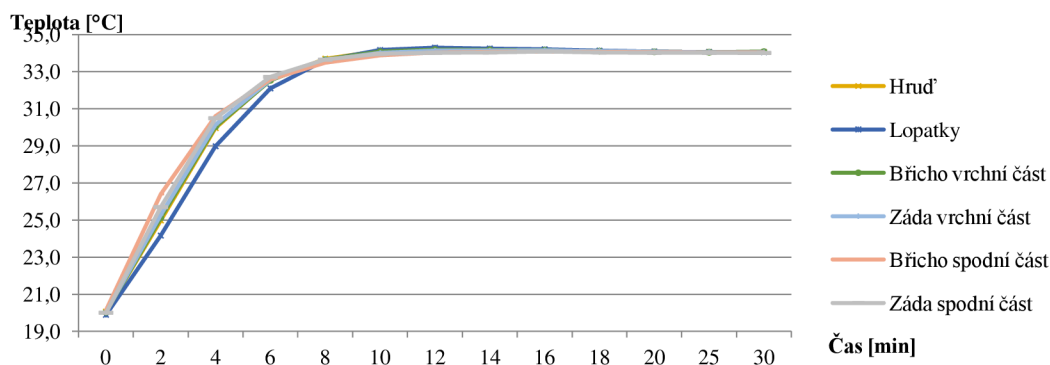


Obrázek 44: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 2

### Vývoj povrchové teploty – experiment 2 (náhřev z 20 °C) oblast středu těla

Tabulka 23: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 2

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	
		Teplota [°C]													
13	Hrud'	20,1	25,0	30,0	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1
14	Lopatky	19,9	24,2	29,0	32,1	33,6	34,2	34,3	34,3	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
15	Břicho vrchní část	20,0	25,1	30,0	32,5	33,7	34,1	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1
16	Záda vrchní část	20,0	25,3	30,1	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
17	Břicho spodní část	20,2	26,4	30,6	32,6	33,5	33,9	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
18	Záda spodní část	20,0	25,7	30,5	32,7	33,7	34,0	34,0	34,0	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0

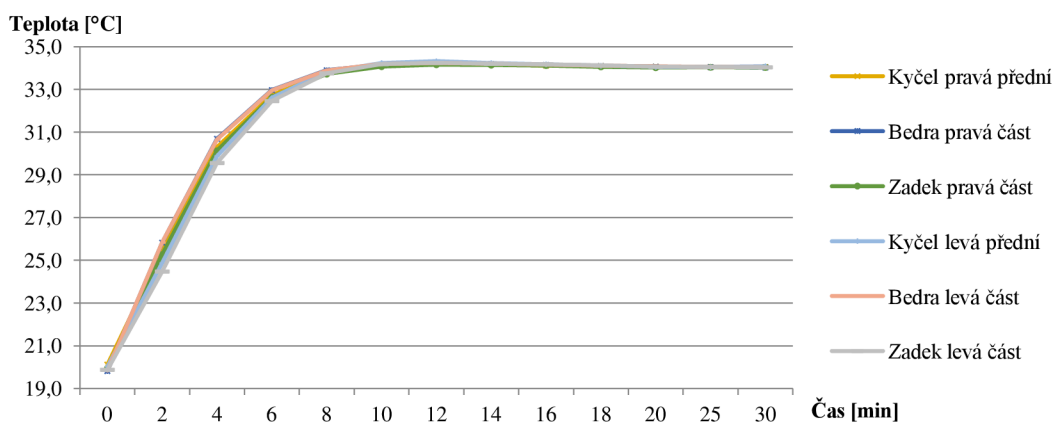


Obrázek 45: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 2

## Vývoj povrchové teploty – experiment 2 (náhřev z 20 °C) oblast bederní

Tabulka 24: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 2

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	
		Teplota [°C]													
19	Kyčel pravá přední	20,1	25,4	30,3	32,7	33,8	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	
20	Bedra pravá část	19,8	25,8	30,7	33,0	33,9	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	
21	Zadek pravá část	19,9	25,3	30,1	32,6	33,7	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	
22	Kyčel levá přední	20,0	24,9	29,9	32,6	33,8	34,2	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	
23	Bedra levá část	19,8	25,8	30,7	33,0	33,9	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	
24	Zadek levá část	19,9	24,5	29,6	32,5	33,8	34,2	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	

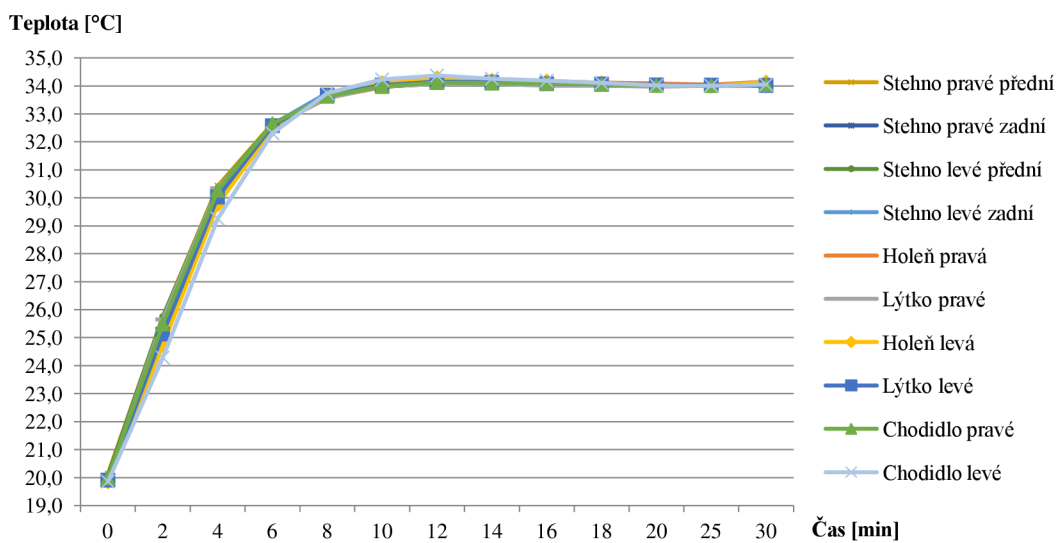


Obrázek 46: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 2

## Vývoj povrchové teploty – experiment 2 (náhřev z 20 °C) oblast dolních končetin

Tabulka 25: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 2

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
25	Stehno pravé přední	20,1	25,7	30,4	32,7	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1
26	Stehno pravé zadní	20,1	25,5	30,2	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0
27	Stehno levé přední	20,1	25,8	30,4	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,1
28	Stehno levé zadní	20,0	24,9	30,0	32,6	33,8	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
29	Holeň pravá	19,9	25,2	30,1	32,6	33,6	34,0	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,2
30	Lýtko pravé	19,9	25,7	30,3	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
31	Holeň levá	19,9	24,7	29,8	32,5	33,7	34,1	34,3	34,2	34,2	34,1	34,0	34,0	34,1
32	Lýtko levé	19,9	25,1	30,0	32,6	33,7	34,0	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0
33	Chodidlo pravé	20,0	25,5	30,3	32,7	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,1
34	Chodidlo levé	19,9	24,3	29,3	32,3	33,7	34,2	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0	34,1



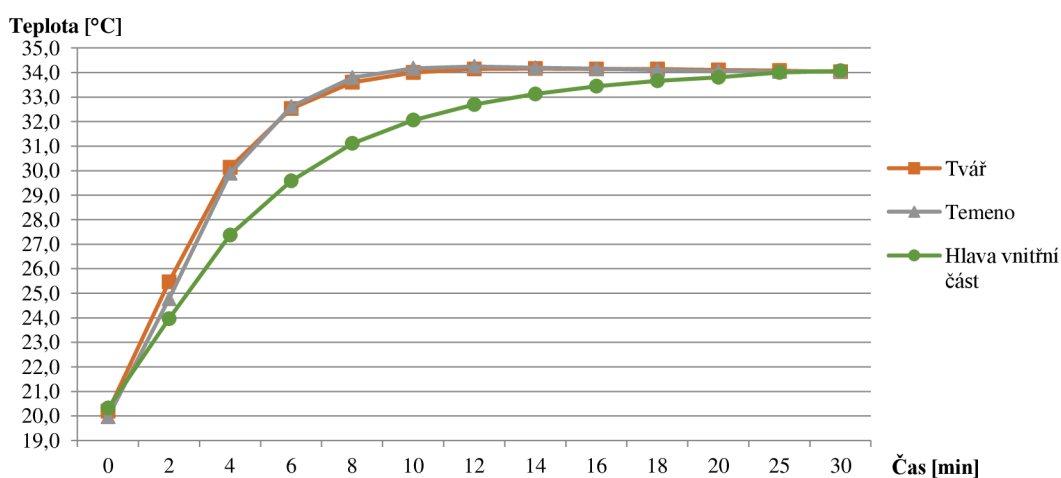
Obrázek 47: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 2

## PŘÍLOHA 3 – Experiment 3 náhřev z 20 °C

### Vývoj povrchové teploty – experiment 3 (náhřev z 20 °C) oblast hlavy

Tabulka 26: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 3

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
1	Tvář	20,2	25,5	30,1	32,5	33,6	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
2	Temeno	20,0	24,8	29,9	32,6	33,8	34,2	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,1
35	Hlava vnitřní část	20,3	24,0	27,4	29,6	31,1	32,1	32,7	33,1	33,4	33,7	33,8	34,0	34,1

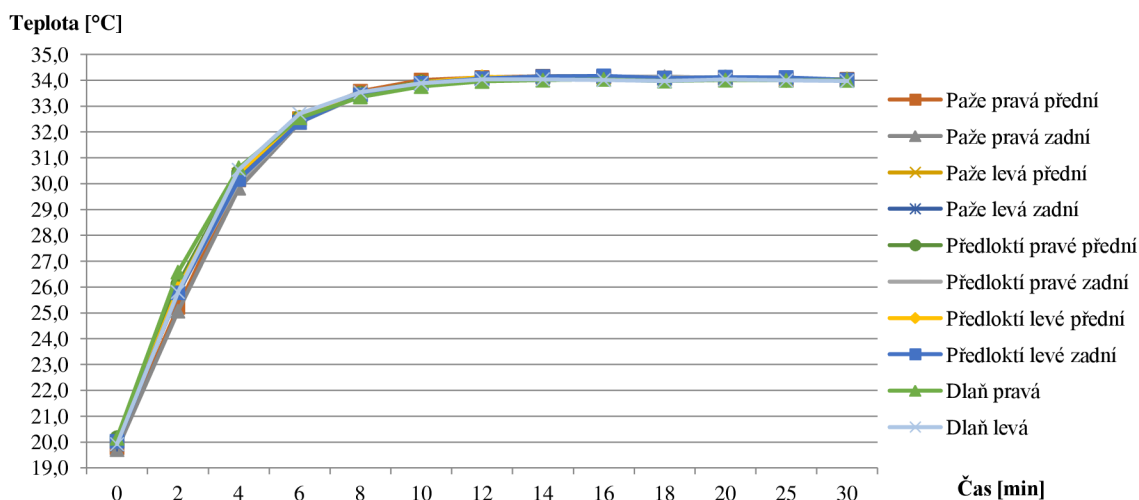


Obrázek 48: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 3

### Vývoj povrchové teploty – experiment 3 (náhřev z 20 °C) oblast horních končetin

Tabulka 27: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č.3

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
3	Paže pravá přední	19,8	25,2	30,2	32,5	33,6	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
4	Paže pravá zadní	19,7	25,1	29,8	32,4	33,5	33,9	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0
5	Paže levá přední	19,9	25,9	30,4	32,5	33,5	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
6	Paže levá zadní	19,9	25,8	30,2	32,4	33,4	33,9	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
7	Předloktí pravá přední	20,2	26,1	30,5	32,6	33,5	33,9	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
8	Předloktí pravá zadní	20,0	25,8	30,1	32,4	33,4	33,9	34,0	34,2	34,1	34,2	34,1	34,0	34,0
9	Předloktí levá přední	20,0	25,9	30,4	32,6	33,5	33,9	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,1
10	Předloktí levá zadní	20,0	25,8	30,2	32,4	33,4	33,9	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
11	Dlaň pravá	20,2	26,6	30,6	32,6	33,4	33,8	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
12	Dlaň levá	19,9	25,8	30,5	32,7	33,5	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0

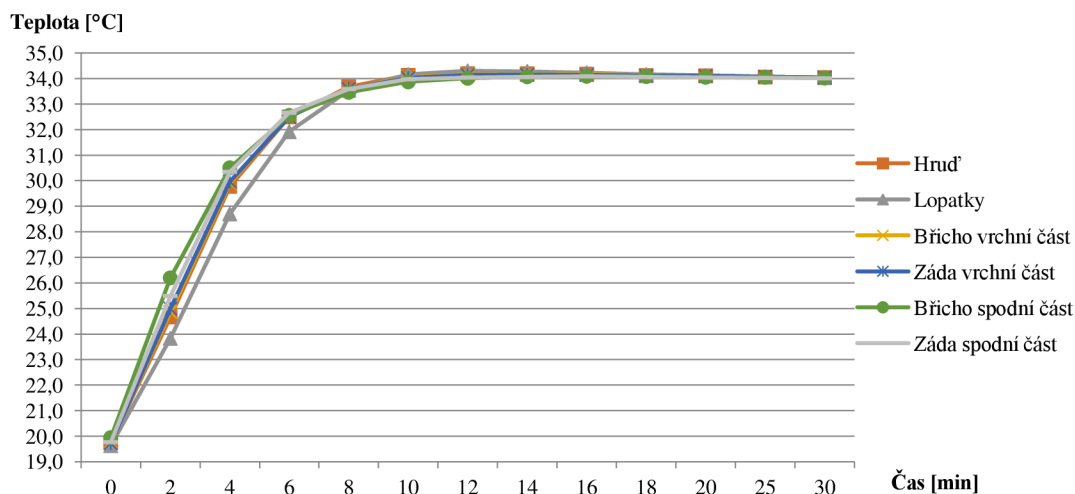


Obrázek 49: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 3

### Vývoj povrchové teploty – experiment 3 (náhřev z 20 °C) oblast středu těla

Tabulka 28: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 3

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	
		Teplota [°C]													
13	Hrud'	19,8	24,7	29,8	32,5	33,7	34,1	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
14	Lopatky	19,6	23,8	28,7	31,9	33,5	34,2	34,3	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	
15	Břicho vrchní část	19,8	24,9	29,9	32,5	33,6	34,1	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	
16	Záda vrchní část	19,7	25,0	30,0	32,5	33,6	34,0	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	
17	Břicho spodní část	20,0	26,2	30,5	32,6	33,5	33,9	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	
18	Záda spodní část	19,8	25,5	30,4	32,7	33,6	34,0	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	

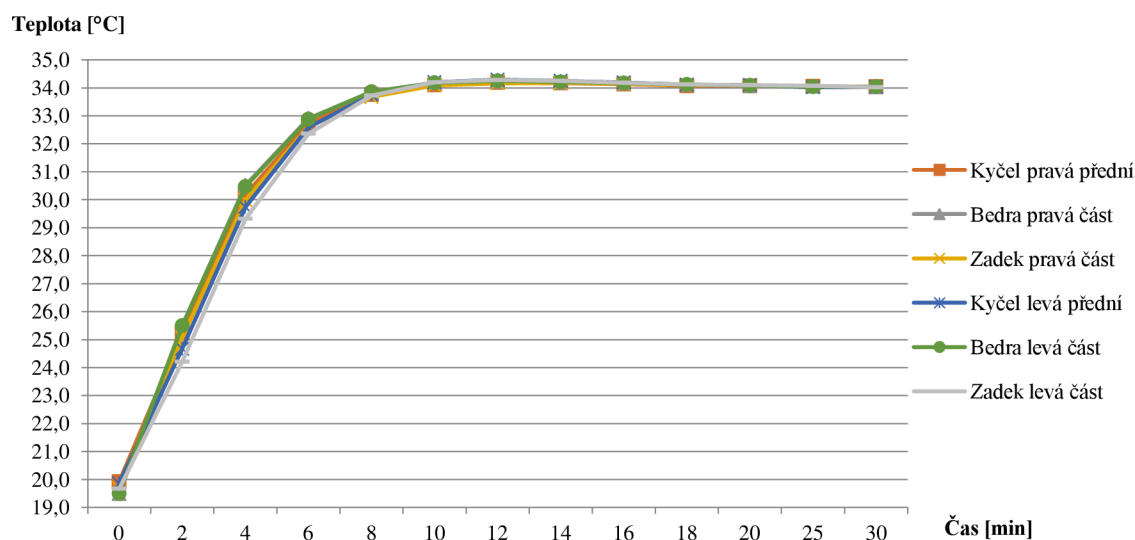


Obrázek 50: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 3

### Vývoj povrchové teploty – experiment 3 (náhřev z 20 °C) oblast bederní

Tabulka 29: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 3

č. segm	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
19	Kyčel pravá přední	19,9	25,2	30,2	32,7	33,8	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
20	Bedra pravá část	19,5	25,5	30,5	32,9	33,9	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
21	Zadek pravá část	19,7	25,1	30,0	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
22	Kyčel levá přední	19,9	24,7	29,7	32,6	33,8	34,2	34,3	34,3	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0
23	Bedra levá část	19,5	25,5	30,5	32,9	33,9	34,2	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0
24	Zadek levá část	19,7	24,2	29,3	32,4	33,7	34,2	34,3	34,3	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0



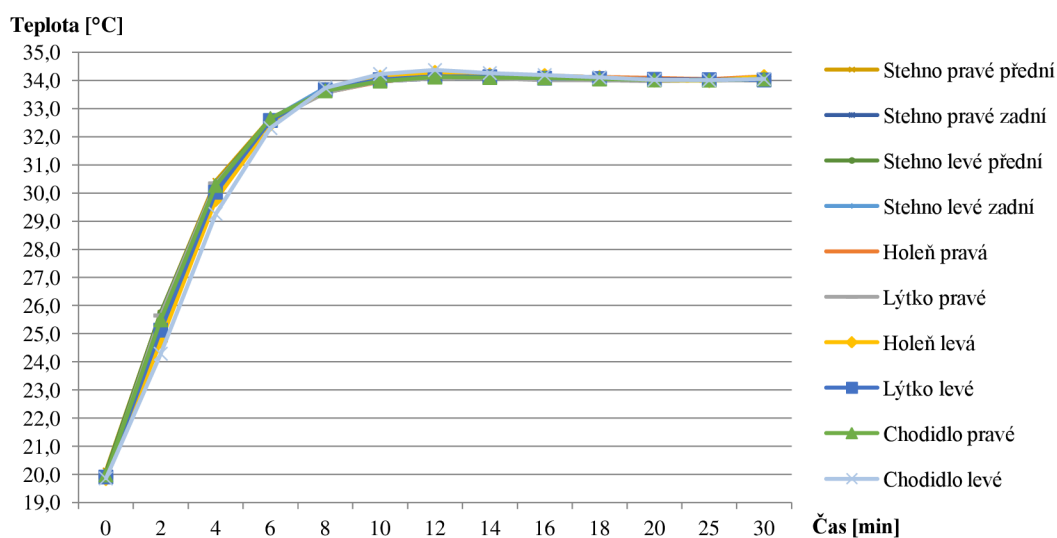
Obrázek 51: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 3



### Vývoj povrchové teploty – experiment 3 (náhřev z 20 °C) oblast dolních končetin

Tabulka 30: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 3

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
		Teplota [°C]												
25	Stehno pravé přední	20,0	25,6	30,4	32,7	33,6	33,9	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0
26	Stehno pravé zadní	19,9	25,4	30,1	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
27	Stehno levé přední	20,0	25,6	30,3	32,6	33,6	34,0	34,2	34,1	34,1	34,0	34,1	34,0	34,0
28	Stehno levé zadní	19,8	24,7	29,8	32,6	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
29	Holeň pravá	19,8	25,1	30,1	32,6	33,6	33,9	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0	34,1	34,1
30	Lýtko pravé	19,8	25,4	30,1	32,5	33,5	34,0	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
31	Holeň levá	19,7	24,6	29,8	32,5	33,6	34,0	34,3	34,2	34,1	34,0	34,1	34,0	34,1
32	Lýtko levé	19,7	24,9	29,9	32,5	33,6	34,0	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
33	Chodidlo pravé	19,7	25,2	30,1	32,6	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0
34	Chodidlo levé	19,6	24,1	29,1	32,3	33,7	34,2	34,3	34,3	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0



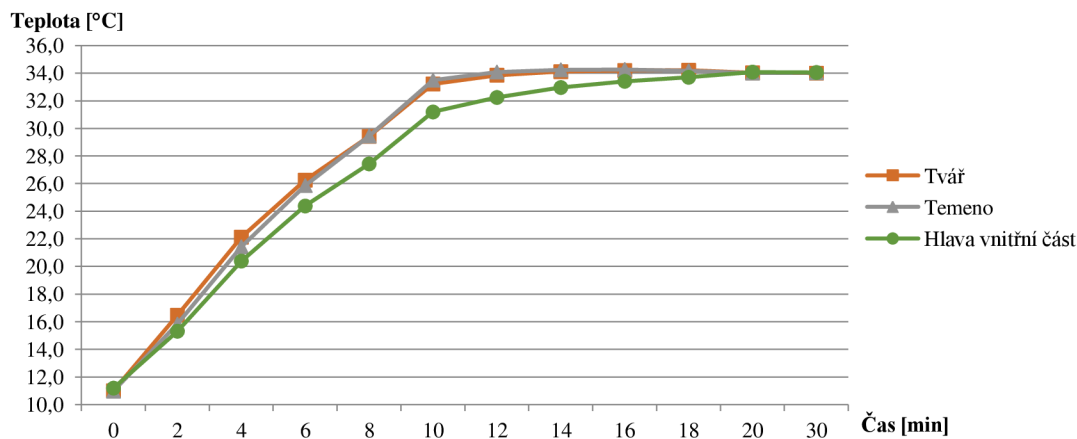
Obrázek 52: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 3

## PŘÍLOHA 4 - experiment 4 náhřev z 10 °C

### Vývoj povrchové teploty – experiment 4 (náhřev z 10 °C) oblast hlavy

Tabulka 31: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 4

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
		Teplota [°C]											
1	Tvář	11,0	16,5	22,1	26,3	29,4	33,2	33,9	34,1	34,2	34,2	34,0	34,0
2	Temeno	11,0	15,8	21,4	25,9	29,5	33,5	34,1	34,2	34,3	34,2	34,0	34,0
35	Hlava vnitřní část	11,2	15,3	20,4	24,4	27,4	31,2	32,2	33,0	33,4	33,7	34,1	34,1

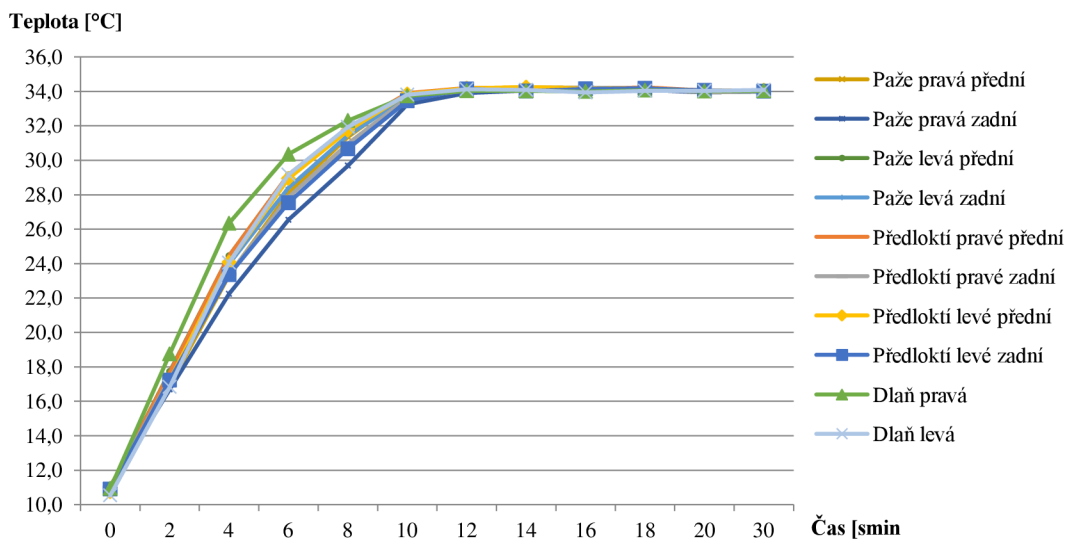


Obrázek 53: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 4

### Vývoj povrchové teploty – experiment 4 (náhřev z 10 °C) oblast horních končetin

Tabulka 32: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 4

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
		Teplota [°C]											
3	Paže pravá přední	11,1	16,9	23,3	28,1	31,4	33,9	34,2	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0
4	Paže pravá zadní	11,0	16,7	22,2	26,5	29,7	33,3	33,9	34,1	34,2	34,1	33,9	34,0
5	Paže levá přední	11,0	17,7	24,5	29,2	31,9	33,9	34,2	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0
6	Paže levá zadní	11,0	17,6	24,0	28,4	31,5	33,7	34,2	34,1	34,2	34,1	34,1	34,0
7	Předloktí pravé přední	11,0	17,7	24,4	29,2	31,9	33,9	34,2	34,2	34,1	34,2	34,1	34,1
8	Předloktí pravé zadní	11,0	17,3	23,4	27,9	31,0	33,6	34,1	34,1	34,2	34,2	33,9	34,0
9	Předloktí levé přední	10,7	17,2	24,1	28,9	31,7	33,9	34,2	34,3	34,2	34,2	34,0	34,1
10	Předloktí levé zadní	10,9	17,2	23,4	27,5	30,7	33,5	34,1	34,0	34,2	34,2	34,1	34,0
11	Dlaň pravá	10,9	18,8	26,3	30,4	32,3	33,7	34,0	34,0	34,0	34,1	34,0	34,0
12	Dlaň levá	10,5	16,8	24,1	29,2	31,9	33,8	34,1	34,1	33,9	34,0	34,0	34,1

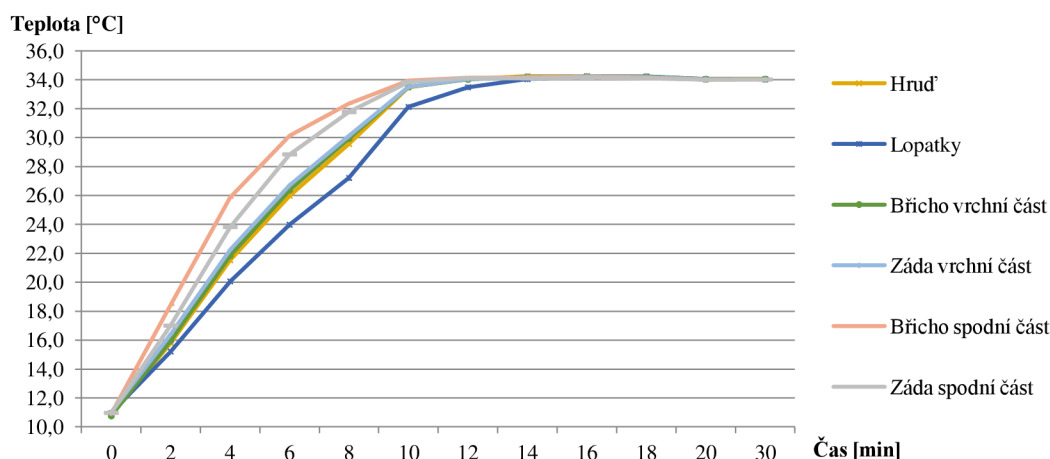


Obrázek 54: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 4

### Vývoj povrchové teploty – experiment 4 (náhřev z 10 °C) oblast středu těla

Tabulka 33: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 4

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
		Teplota [°C]											
13	Hrud'	10,8	15,8	21,5	26,0	29,6	33,5	34,1	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0
14	Lopatky	11,0	15,2	20,1	24,0	27,2	32,1	33,5	34,0	34,2	34,2	34,0	34,0
15	Břicho vrchní část	10,8	16,0	21,8	26,4	29,9	33,5	34,0	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0
16	Záda vrchní část	11,0	16,4	22,2	26,7	30,1	33,5	34,0	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0
17	Břicho spodní část	10,9	18,4	25,9	30,1	32,4	33,9	34,1	34,2	34,2	34,1	34,0	34,0
18	Záda spodní část	11,0	17,0	23,8	28,8	31,8	33,8	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0

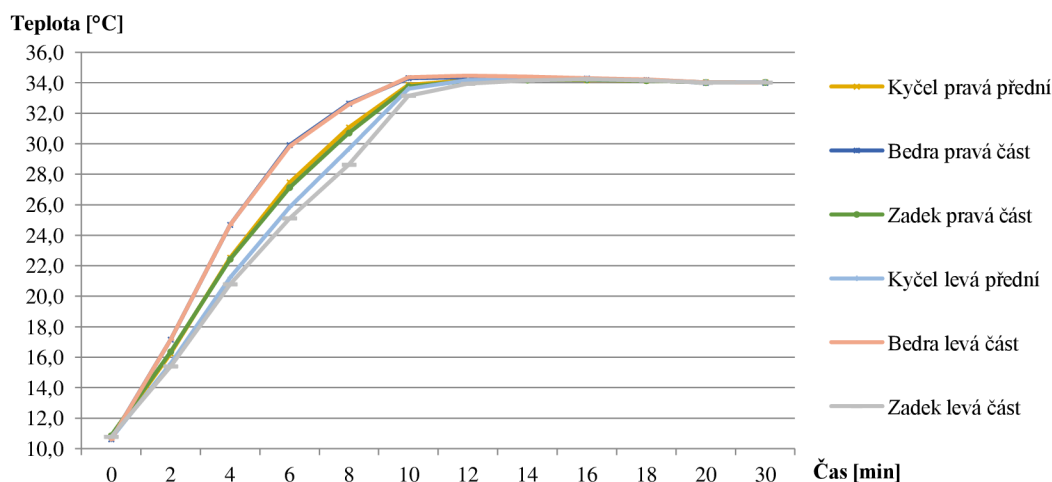


Obrázek 55: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 4

### Vývoj povrchové teploty – experiment 4 (náhřev z 10 °C) oblast bederní

Tabulka 34: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 4

č. semg.	Název segmentu	Čas [min]											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
		Teplota [°C]											
19	Kyčel pravá přední	10,8	16,3	22,5	27,5	31,1	33,9	34,2	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0
20	Bedra pravá část	10,6	17,2	24,7	29,9	32,6	34,3	34,4	34,3	34,3	34,2	34,0	34,0
21	Zadek pravá část	10,9	16,4	22,4	27,1	30,7	33,8	34,1	34,2	34,2	34,1	34,0	34,0
22	Kyčel levá přední	10,7	15,6	21,2	25,8	29,7	33,6	34,2	34,3	34,2	34,2	34,0	34,1
23	Bedra levá část	10,6	17,2	24,7	29,8	32,6	34,4	34,5	34,4	34,3	34,2	34,0	34,0
24	Zadek levá část	10,8	15,4	20,8	25,1	28,6	33,2	33,9	34,2	34,2	34,2	34,0	34,0

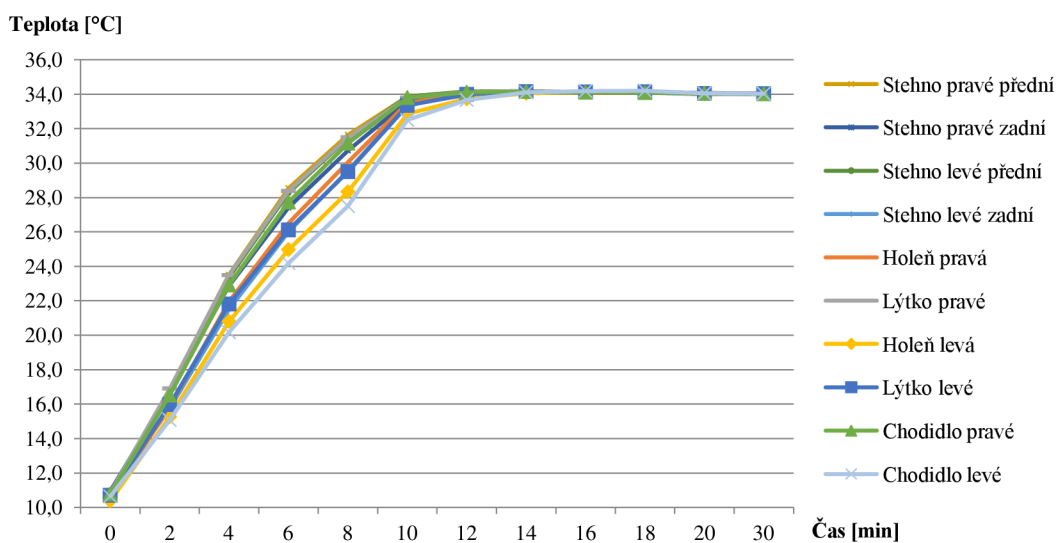


Obrázek 56: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 4

## Vývoj povrchové teploty – experiment 4 (náhřev z 10 °C) oblast dolních končetin

Tabulka 35: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 4

č.segm.	Název segmentu	Čas [min]											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
		Teplota [°C]											
25	Stehno pravé přední	10,7	16,8	23,5	28,5	31,6	33,9	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
26	Stehno pravé zadní	11,0	16,7	22,9	27,4	30,7	33,6	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,0
27	Stehno levé přední	10,7	16,8	23,4	28,3	31,5	33,9	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
28	Stehno levé zadní	10,8	15,8	21,5	26,0	29,6	33,4	34,0	34,1	34,2	34,1	34,0	34,0
29	Holeň pravá	10,5	15,9	22,0	26,5	30,1	33,5	34,0	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
30	Lýtko pravé	10,8	16,9	23,5	28,4	31,5	33,8	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
31	Holeň levá	10,4	15,3	20,8	25,0	28,3	32,9	33,7	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0
32	Lýtko levé	10,7	16,0	21,8	26,1	29,5	33,4	34,0	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0
33	Chodidlo pravé	10,8	16,5	22,9	27,7	31,2	33,8	34,1	34,2	34,1	34,1	34,1	34,0
34	Chodidlo levé	10,6	15,1	20,2	24,2	27,5	32,5	33,7	34,1	34,2	34,2	34,1	34,0



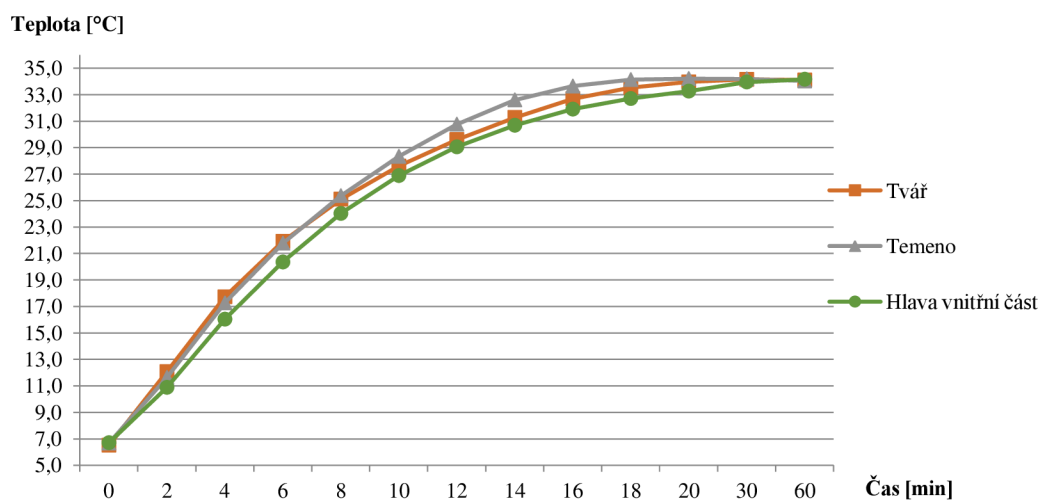
Obrázek 57: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 4

## PŘÍLOHA 5 – Experiment 5 náhřev z 5 °C

### Vývoj povrchové teploty – experiment 5 (náhřev z 5 °C) oblast hlavy

Tabulka 36: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – náhřev č. 5

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	60
		Teplota [°C]												
1	Tvář	6,5	12,1	17,7	21,9	25,1	27,6	29,6	31,3	32,7	33,5	34,0	34,2	34,1
2	Temeno	6,7	11,6	17,3	21,8	25,4	28,3	30,8	32,6	33,6	34,1	34,2	34,2	34,0
35	Hlava vnitřní část	6,7	10,9	16,0	20,4	24,0	26,9	29,1	30,7	31,9	32,7	33,3	34,0	34,2

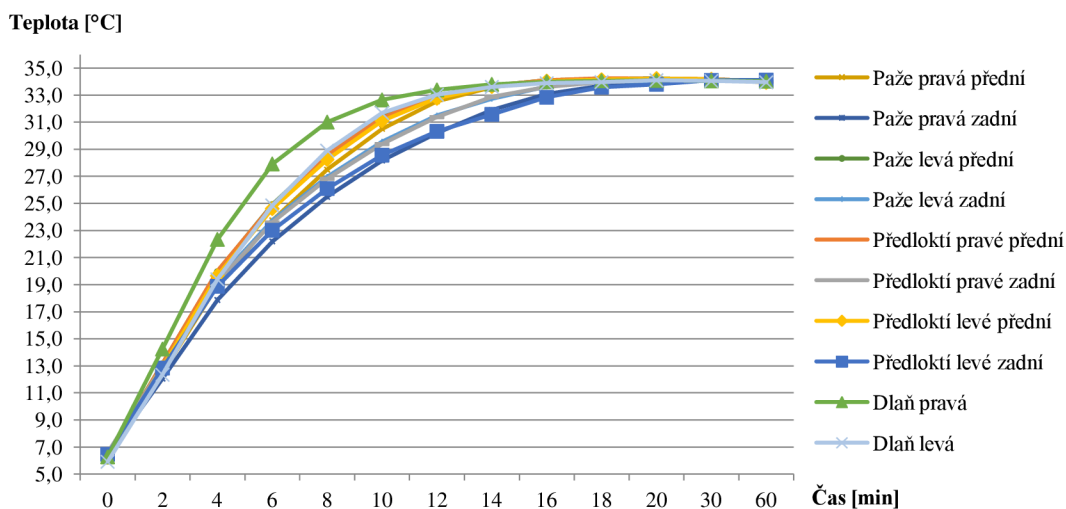


Obrázek 58: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – náhřev č. 5

### Vývoj povrchové teploty – experiment 5 (náhřev z 5 °C) oblast horních končetin

Tabulka 37: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – náhřev č. 5

č. segm	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	60
		Teplota [°C]												
3	Paže pravá přední	6,6	12,5	18,9	23,8	27,5	30,5	32,6	33,6	34,1	34,2	34,2	34,2	34,0
4	Paže pravá zadní	6,4	12,1	17,9	22,2	25,5	28,2	30,2	31,9	33,1	33,7	34,0	34,1	34,1
5	Paže levá přední	6,4	13,2	20,0	24,9	28,7	31,5	33,0	33,7	34,1	34,2	34,3	34,1	34,1
6	Paže levá zadní	6,4	12,9	19,3	23,8	27,0	29,6	31,5	32,7	33,6	34,0	34,0	34,1	34,0
7	Předloktí pravé přední	6,4	13,2	20,0	24,9	28,6	31,3	32,9	33,7	34,1	34,2	34,2	34,2	34,0
8	Předloktí pravé zadní	6,6	13,0	19,2	23,6	26,8	29,4	31,4	32,9	33,6	34,0	34,1	34,2	34,0
9	Předloktí levé přední	6,3	12,9	19,7	24,6	28,3	31,1	32,8	33,6	34,0	34,1	34,2	34,2	33,9
10	Předloktí levé zadní	6,5	12,8	18,9	23,0	26,1	28,6	30,3	31,6	32,8	33,6	33,8	34,1	34,1
11	Dlaň pravá	6,3	14,2	22,3	27,9	31,0	32,7	33,4	33,8	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0
12	Dlaň levá	5,9	12,4	19,4	24,9	28,9	31,7	33,0	33,6	33,9	34,0	34,1	34,1	34,0

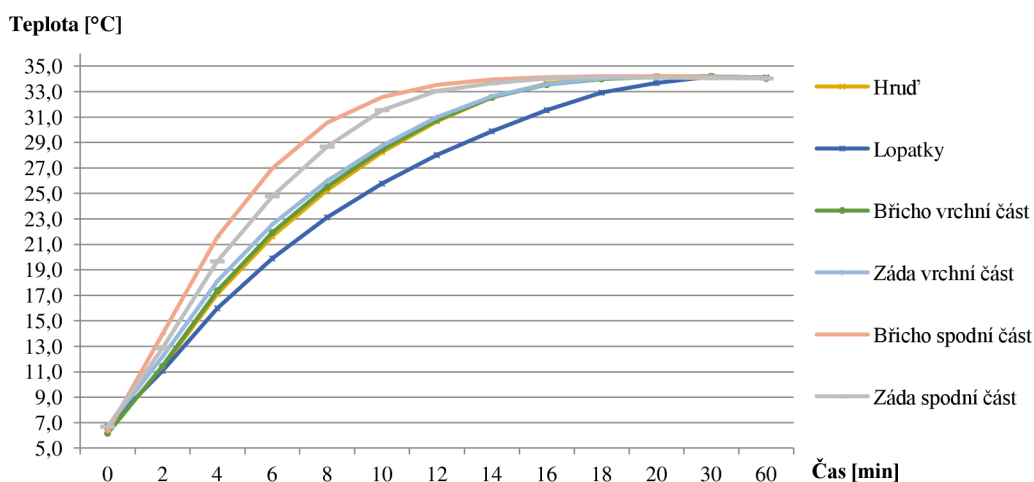


Obrázek 59: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – náhřev č. 5

### Vývoj povrchové teploty – experiment 5 (náhřev z 5 °C) oblast středu těla

Tabulka 38: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – náhřev č. 5

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	60	
		Teplota [°C]													
13	Hrud'	6,3	11,3	17,1	21,7	25,3	28,3	30,7	32,5	33,6	34,1	34,2	34,2	34,1	
14	Lopatky	6,7	11,1	16,0	19,9	23,1	25,8	28,0	29,9	31,5	32,9	33,7	34,2	34,1	
15	Břicho vrchní část	6,2	11,4	17,4	21,9	25,5	28,4	30,8	32,5	33,5	34,0	34,2	34,2	34,0	
16	Záda vrchní část	6,7	12,2	18,1	22,6	26,0	28,8	31,0	32,6	33,6	34,0	34,2	34,2	34,1	
17	Břicho spodní část	6,3	14,0	21,6	27,0	30,6	32,6	33,5	34,0	34,1	34,2	34,2	34,1	34,0	
18	Záda spodní část	6,7	12,9	19,7	24,8	28,7	31,6	33,0	33,7	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0	

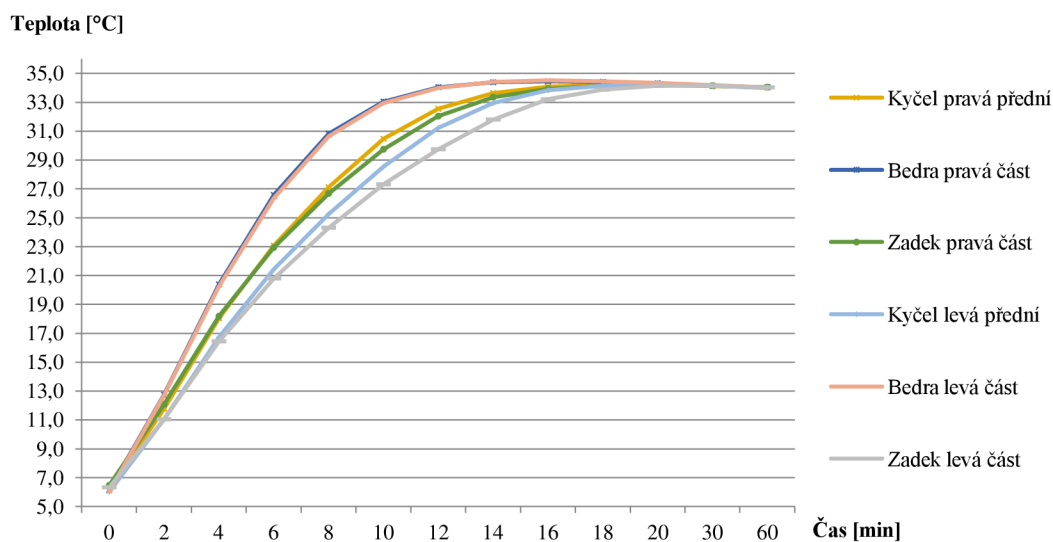


Obrázek 60: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – náhřev č. 5

### Vývoj povrchové teploty – experiment 5 (náhřev z 5 °C) oblast bederní

Tabulka 39: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – náhřev č. 5

č. segm	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	60
		Teplota [°C]												
19	Kyčel pravá přední	6,2	11,8	18,0	23,1	27,1	30,5	32,6	33,6	34,1	34,2	34,2	34,1	34,0
20	Bedra pravá část	6,1	12,7	20,4	26,6	30,8	33,0	34,0	34,4	34,5	34,4	34,3	34,1	34,0
21	Zadek pravá část	6,5	12,1	18,2	22,9	26,7	29,7	32,0	33,4	33,9	34,1	34,2	34,1	34,0
22	Kyčel levá přední	6,0	11,0	16,7	21,4	25,3	28,5	31,2	32,9	33,8	34,1	34,2	34,1	34,0
23	Bedra levá část	6,0	12,7	20,3	26,4	30,6	32,9	34,0	34,4	34,5	34,5	34,4	34,2	34,0
24	Zadek levá část	6,3	11,0	16,4	20,8	24,3	27,3	29,7	31,8	33,2	33,9	34,1	34,1	34,0



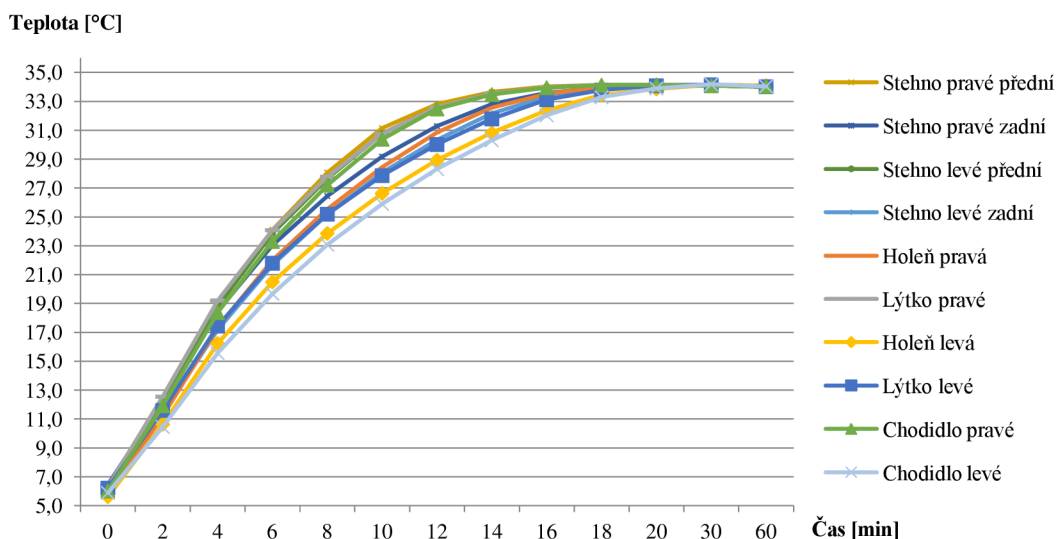
Obrázek 61: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – náhřev č. 5



## Vývoj povrchové teploty – experiment 5 (náhřev z 5 °C) oblast dolních končetin

Tabulka 40: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – náhřev č. 5

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	60
		Teplota [°C]												
25	Stehno pravé přední	6,0	12,2	19,0	24,1	28,1	31,1	32,8	33,7	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0
26	Stehno pravé zadní	6,5	12,3	18,5	23,0	26,5	29,2	31,3	32,8	33,6	33,9	34,1	34,1	34,0
27	Stehno levé přední	6,1	12,3	18,8	23,9	27,7	30,8	32,6	33,6	34,0	34,2	34,2	34,1	34,0
28	Stehno levé zadní	6,4	11,4	17,2	21,7	25,2	28,1	30,3	32,2	33,3	33,9	34,1	34,1	34,0
29	Holeň pravá	5,7	11,2	17,4	22,0	25,6	28,5	30,8	32,6	33,5	34,0	34,1	34,1	34,1
30	Lýtko pravé	6,3	12,6	19,2	24,1	27,8	30,8	32,6	33,5	34,0	34,2	34,2	34,1	34,0
31	Holeň levá	5,6	10,6	16,2	20,5	23,9	26,6	28,9	30,8	32,4	33,5	33,9	34,2	34,1
32	Lýtko levé	6,2	11,6	17,4	21,8	25,2	27,9	30,0	31,8	33,1	33,8	34,1	34,2	34,0
33	Chodidlo pravé	6,0	11,9	18,4	23,3	27,2	30,4	32,5	33,5	34,0	34,1	34,2	34,1	34,0
34	Chodidlo levé	5,9	10,5	15,6	19,7	23,1	25,9	28,3	30,3	32,0	33,3	33,9	34,2	34,0



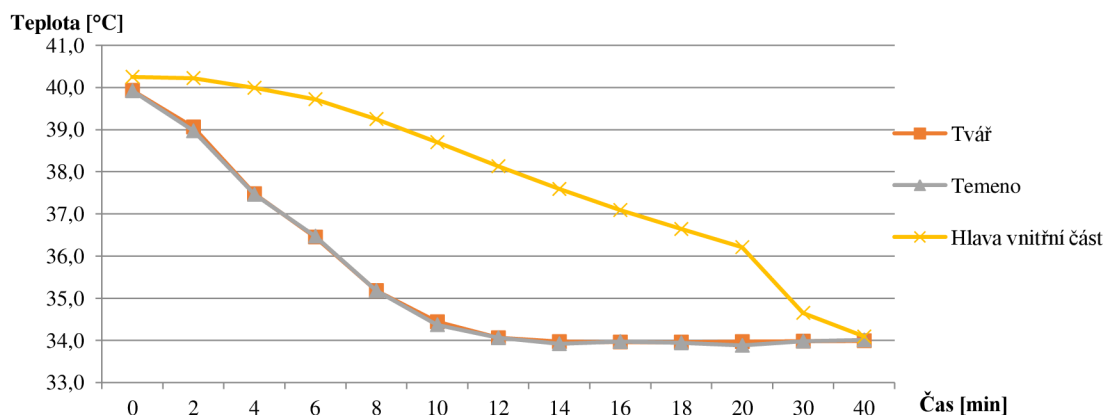
Obrázek 62: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – náhřev č. 5

## PŘÍLOHA 6 – Experiment 6 chladnutí ze 40 °C

### Vývoj povrchové teploty – experiment 6 (chladnutí ze 40 °C) oblast hlavy

Tabulka 41: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast hlavy – chladnutí

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40
		Teplota [°C]												
1	Tvář	39,9	39,1	37,5	36,5	35,2	34,4	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
2	Temeno	39,9	39,0	37,5	36,5	35,2	34,4	34,1	33,9	34,0	33,9	33,9	34,0	34,0
35	Hlava vnitřní část	40,3	40,2	40,0	39,7	39,3	38,7	38,1	37,6	37,1	36,6	36,2	34,7	34,1

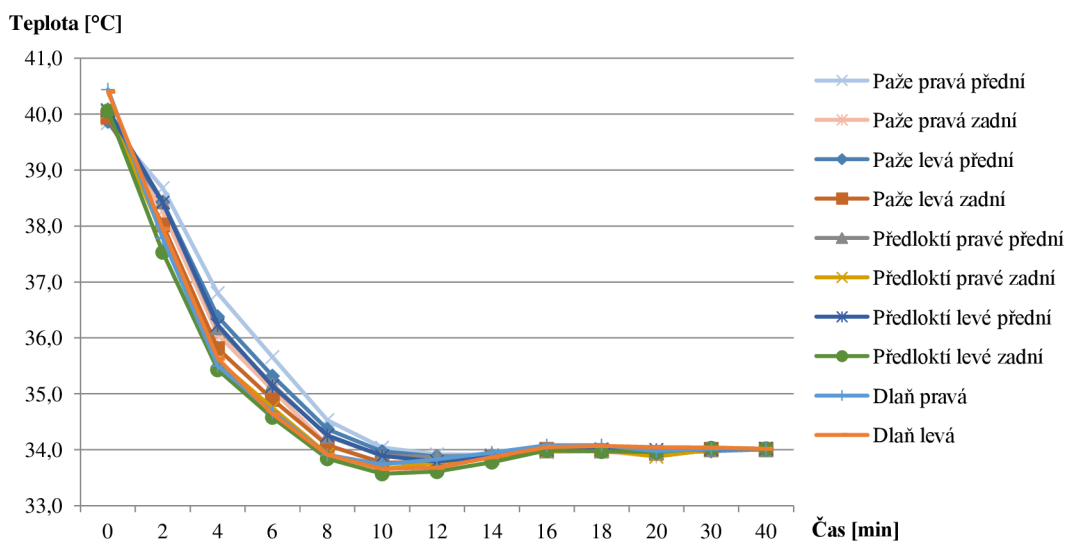


Obrázek 63: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast hlavy manekýna – chladnutí

### Vývoj povrchové teploty – experiment 6 (chladnutí ze 40 °C) oblast horních končetin

Tabulka 42: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast horních končetin – chladnutí

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40
		Teplota [°C]												
3	Paže pravá přední	39,8	38,7	36,8	35,7	34,5	34,0	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
4	Paže pravá zadní	39,9	38,3	36,1	35,1	34,1	33,8	33,8	33,9	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0
5	Paže levá přední	39,9	38,4	36,4	35,3	34,4	34,0	33,9	33,9	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0
6	Paže levá zadní	40,0	38,0	35,8	34,9	34,1	33,8	33,8	33,9	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0
7	Předloktí pravé přední	40,1	38,4	36,2	35,2	34,2	33,9	33,9	33,9	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0
8	Předloktí pravé zadní	40,1	37,9	35,6	34,8	33,9	33,7	33,8	33,9	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0
9	Předloktí levé přední	40,1	38,4	36,2	35,1	34,3	33,9	33,8	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
10	Předloktí levé zadní	40,1	37,5	35,4	34,6	33,8	33,6	33,6	33,8	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
11	Dlaň pravá	40,4	37,8	35,5	34,7	33,9	33,7	33,8	34,0	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0
12	Dlaň levá	40,4	38,0	35,6	34,6	33,9	33,7	33,7	33,9	34,1	34,1	34,1	34,0	34,0

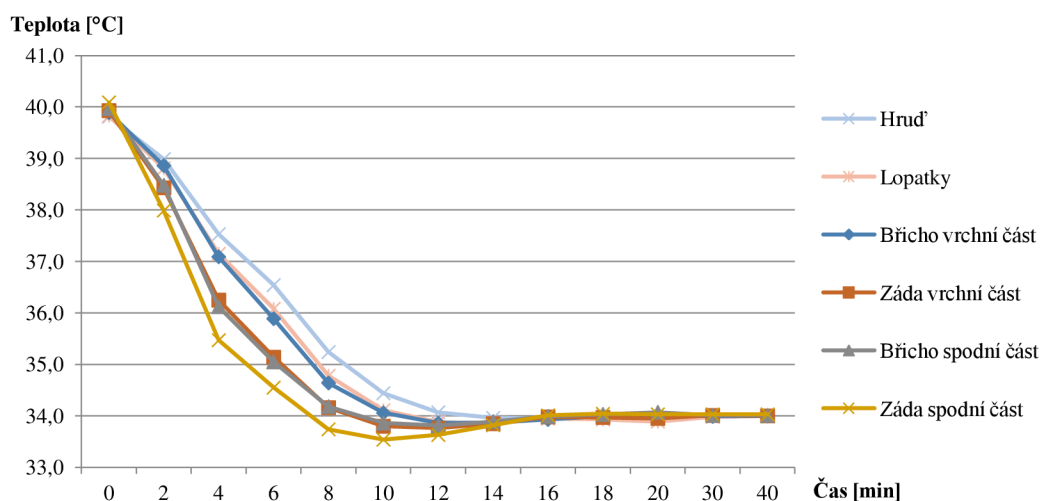


Obrázek 64: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast horních končetin manekýna – chlazení

### Vývoj povrchové teploty – experiment 6 (chlazení ze 40 °C) oblast středu těla

Tabulka 43: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast středu těla – chlazení

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40	
		Teplota [°C]													
13	Hrud'	39,8	39,0	37,5	36,5	35,2	34,4	34,1	34,0	34,0	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0
14	Lopatky	39,8	38,8	37,2	36,1	34,8	34,1	33,9	33,9	34,0	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0
15	Břicho vrchní část	39,9	38,9	37,1	35,9	34,6	34,1	33,9	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
16	Záda vrchní část	39,9	38,4	36,3	35,1	34,2	33,8	33,8	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
17	Břicho spodní část	40,0	38,5	36,1	35,1	34,2	33,9	33,8	33,9	34,0	34,0	34,1	34,0	34,0	34,0
18	Záda spodní část	40,1	38,0	35,5	34,6	33,7	33,5	33,6	33,8	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0

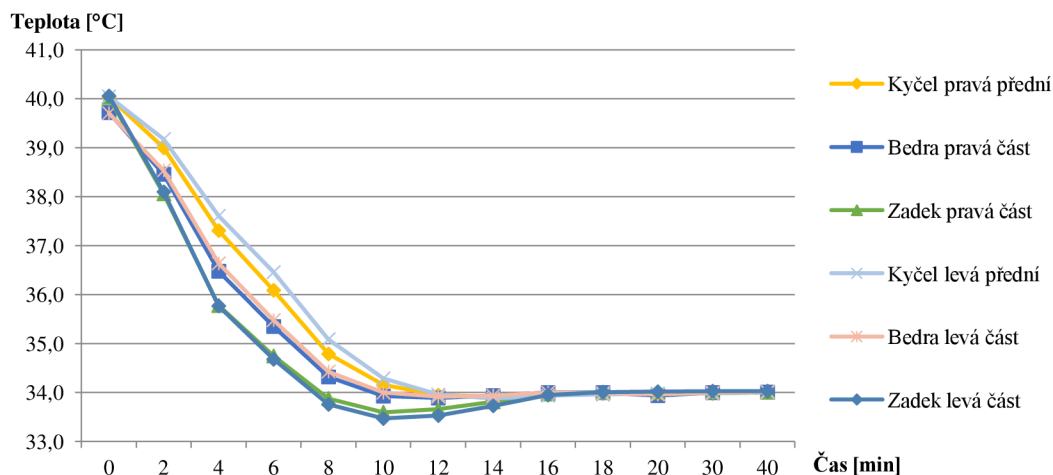


Obrázek 65: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast středu těla manekýna – chlazení

### Vývoj povrchové teploty – experiment 6 (chlazení ze 40 °C) oblast bederní

Tabulka 44: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast bederní – chlazení

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40	
		Teplota [°C]													
19	Kyčel pravá přední	40,0	39,0	37,3	36,1	34,8	34,2	34,0	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	
20	Bedra pravá část	39,7	38,5	36,5	35,4	34,3	33,9	33,9	33,9	34,0	34,0	33,9	34,0	34,0	
21	Zadek pravá část	40,0	38,1	35,8	34,8	33,9	33,6	33,7	33,8	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	
22	Kyčel levá přední	40,1	39,2	37,6	36,5	35,1	34,3	34,0	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	
23	Bedra levá část	39,7	38,5	36,6	35,5	34,4	34,0	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	
24	Zadek levá část	40,1	38,1	35,8	34,7	33,8	33,5	33,5	33,7	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	

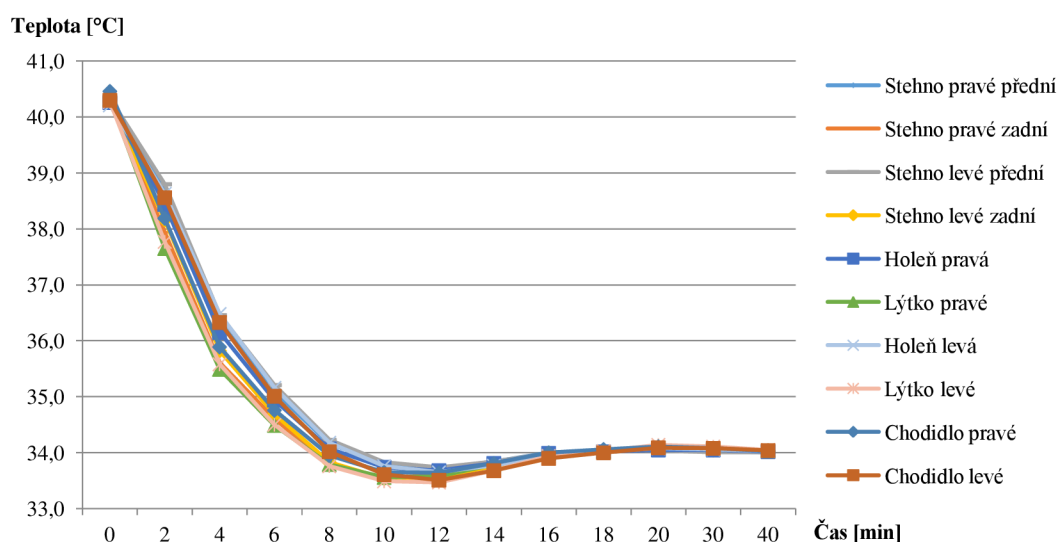


Obrázek 66: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast bederní části manekýna – chlazení

## Vývoj povrchové teploty – experiment 6 (chladnutí ze 40 °C) oblast dolních končetin

Tabulka 45: Vývoj povrchových teplot manekýna pro oblast dolních končetin – chladnutí

č. segm.	Název segmentu	Čas [min]												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40
		Teplota [°C]												
25	Stehno pravé přední	40,3	38,7	36,3	35,1	34,2	33,8	33,7	33,8	34,0	34,0	34,1	34,0	34,0
26	Stehno pravé zadní	40,3	37,9	35,6	34,6	33,8	33,6	33,6	33,8	34,0	34,0	34,1	34,1	34,0
27	Stehno levé přední	40,3	38,8	36,5	35,2	34,2	33,8	33,7	33,8	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
28	Stehno levé zadní	40,3	38,2	35,8	34,7	33,8	33,5	33,6	33,8	34,0	34,0	34,1	34,1	34,0
29	Holeň pravá	40,3	38,4	36,2	34,9	34,1	33,7	33,7	33,8	34,0	34,0	34,1	34,1	34,0
30	Lýtko pravé	40,3	37,7	35,5	34,5	33,8	33,6	33,6	33,8	34,0	34,0	34,1	34,1	34,0
31	Holeň levá	40,2	38,6	36,5	35,2	34,2	33,8	33,7	33,8	33,9	34,0	34,1	34,1	34,0
32	Lýtko levé	40,3	37,8	35,6	34,5	33,8	33,5	33,5	33,7	33,9	34,0	34,1	34,1	34,1
33	Chodidlo pravé	40,5	38,2	35,9	34,8	34,0	33,7	33,6	33,8	34,0	34,1	34,1	34,1	34,0
34	Chodidlo levé	40,3	38,6	36,3	35,0	34,0	33,6	33,5	33,7	33,9	34,0	34,1	34,1	34,0



Obrázek 67: Graf zobrazující závislost povrchové teploty v závislosti na čase pro kontrolovanou oblast dolních končetin manekýna – chladnutí

## PŘÍLOHA 7 - Kalibrační list teploměru Testo 480



**HES, s.r.o.** Kalibrační laboratoř

U dráhy 11, 664 49 Ostopovice, tel.: 547426411, fax.: 547426417



# KALIBRAČNÍ LIST

č: **5810 / 2018**

Datum vystavení kalibračního listu : 18. 6. 2018



Zdeněk Hubáček  
VEDOUČÍ KALIBRAČNÍ LABORATOŘE

Zadavatel : **Vysoké učení technické v Brně,  
Fakulta Strojního inženýrství, Energetický ústav  
Technická2896/2, 616 69 Brno**

Název kalibrovaného přístroje : **Přímo ukazující teploměr a vlhkoměr**  
Typ : **Testo 480 + testo 06369743**  
Výrobní číslo : **60740616 + 60732892**  
Výrobce : **Testo**  
Měřicí rozsah : **( -20 ÷ 70 ) °C ; ( 0 + 100 ) % RV**  
Specifikovaná přesnost : **T : ± 0,2 °C pro ( 15 + 30 ) °C jinak ± 0,5 °C  
RV : ± 1,0 % RV ± 0,7 %MH**

Provedením kalibrace byl pověřen : **Ing. Bannert Josef**  
Kalibrace byla provedena dne : **18. 6. 2018**  
Výsledek kalibrace : **Naměřené výsledky jsou uvedeny na listu 2.  
Naměřené hodnoty se týkají pouze kalibrovaného přístroje.**

Podmínky měření : **Teplota a vlhkost vzduchu při kalibraci: (20 ± 5) °C a (45 ± 20) %.**

Metoda kalibrace : **Kalibrace byla provedena podle interní metodiky TP44.1, TP45  
a požadavku zadavatele.**

Použité etalony : **Měřicí ústředna **Almemo 2490-2**, v.č. H10110506  
Odporový teploměr **02150**, v.č. 140055  
Multimetr **HP 34401A**, v.č. US 36097353  
Vlhkostní sonda **HMP155**, v.č. J1130025**

Další použité měřicí přístroje a zařízení : **Teplotní a vlhkostní komora **BT-120** v.č. 5494  
Komora **Heraeus** v.č. 28031**

Návaznost etalonu : **Použité etalony mají metrologickou návaznost na národní etalony.**

*Obrázek 68: Kalibrační list teploměru Testo 480 – část 1*

1. Funkční kontrola :

vyhovuje

2. Kalibrace teploty:


Teplota naměřená na etalonu	Údaj na kalibrovaném měřidle	Naměřená odchylka	Nejistota
[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]
-20,00	-20,0	0,0	0,4
-10,00	-10,0	0,0	0,3
0,00	0,0	0,0	0,3
10,00	10,0	0,0	0,3
20,00	20,0	0,0	0,3
30,00	29,9	-0,1	0,3
40,00	39,9	-0,1	0,4

3. Kalibrace vlhkosti:

Měřeno při teplotě	Vlhkost naměřená na etalonu	Údaj na kalibrovaném měřidle	Naměřená odchylka	Nejistota
[ °C ]	[ % RH ]	[ % RH ]	[ % RH ]	[ % RH ]
25,0	15,0	15,6	0,6	2,4
25,0	50,0	51,5	1,5	2,4
25,0	85,0	86,5	1,5	2,6

Nejistota měření teploty 0,3 °C.

měření provedl:

  
Ing. Bannert Josef

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02

KONEC KALIBRAČNÍHO LISTU

List 2 z 2  
5810.18

Obrázek 69: Kalibrační list teploměru Testo 480 – část 2