



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## KONFIRMACE PARAMETRŮ TEPLOTNÍ ŠOKOVÉ KOMORY

CONFIRMATION OF THE PERFORMANCE OF THERMAL SHOCK TEST CHAMBERS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Richard Konupka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

BRNO 2019



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**  
Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Richard Konupka

**ID:** 186115

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## Konfirmace parametrů teplotní šokové komory

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem bakalářské práce je vypracování a ověření metodiky pro konfirmaci parametrů teplotní šokové komory. Zadání lze shrnout do následujících bodů:

1. Zpracujte rešerši týkající se problematiky konfirmace parametrů komor pro klimatické zkoušky.
2. Vypracujte metodický postup pro konfirmaci parametrů šokové teplotní komory na základě doporučených postupů pro klimatické komory. Pro sběr dat se předpokládá využití DAQ systému dostupného v laboratoři.
3. Provedte dle navrženého postupu konfirmaci parametrů dostupných teplotních šokových komor.
4. Diskutujte dosažené výsledky, hlavní zdroje nejistot, způsoby omezení jejich vlivu.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] ČSN EN 60068-3-5 Zkoušení vlivů prostředí - Část 3-5: Doprovodná dokumentace a návod - Konfirmace výkonnosti teplotních komor. Vydáno 10.2002

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 20.5.2019

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou confirmace šokové komory a návrhem metodiky pro její provedení. V teoretické části je uveden stručný přehled environmentálních komor používaných pro testování vlivů změny teploty a vlhkosti prostředí na zkoušené vzorky. Bakalářská práce se také zabývá rozбором metodiky confirmace teplotních komor podle příslušných technických norem, které budou částečně využity i pro návrh metodiky confirmace šokové komory. Praktická část bakalářské práce se postupně věnuje návrhem postupu měření, kam spadá i výběr teplotních snímačů a návrh uchycení snímačů v komoře. Je uveden navržený postup confirmace, popsána provedená měření, postupy výpočtu, odhady nejistot a v závěru diskutovány dosažené výsledky.

## **Klíčová slova**

confirmace, environmentální komory, šoková teplotní komora, odchylka, nejistota, tolerance, teplotní snímače, přechodový děj, gradient

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with problematics of confirmation of temperature shock chamber and methodology for its successful implementation. Theoretical part deals with brief overview of environmental test chambers used for testing temperature and humidity changes on tested samples. Bachelor's thesis also deals with analysis of methodology for confirmation of temperature chambers according to the technical standard which will be partially used for methodology proposal of temperature shock chamber. Practical part of the thesis is gradually devoted to the measurement procedure proposal, where is discussed chosen temperature sensors and fixture of sensors in the chamber. Also proposed procedure of confirmation is shown, described measurements, calculation procedures, uncertainty estimations and at the end of the thesis are discussed results.

## **Keywords**

confirmation, environmental chambers, shock temperature chamber, fluctuation, uncertainty, tolerance, temperature sensor, transient, gradient

### **Bibliografická citace:**

KONUPKA, Richard. Konfirmace parametrů teplotní šokové komory. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119005>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Beneš.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Konfirmace parametrů teplotní šokové komory jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **19. května 2019**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za účinnou metodickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům z firmy Continental Powertrain, konkrétně vedoucímu laboratoře Ing. Romanu Polochovi, který mi umožnil bakalářskou práci v laboratoři realizovat, a dále Ing. Martinu Matějovi a Martinu Kahánkovi za cenné rady a odbornou pomoc. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a partnerce, za jejich podporu.

V Brně dne: **19. května 2019**

.....

podpis autora

# Obsah

1. Úvod.....	18
2. Environmentální komory .....	19
2.1 Teplotní komory.....	19
2.2 Vlhkostní komory.....	19
2.3 Šokové teplotní komory .....	20
2.4 Ostatní environmentální komory.....	22
3. Konfirmace Klimatických komor .....	23
3.1 Druhy konfirmace .....	23
3.1.1 Konfirmace bez zátěže.....	23
3.1.2 Konfirmace se zátěží.....	23
3.2 Konfirmační měření a vyhodnocení .....	24
3.2.1 Podmínky v laboratoři .....	24
3.2.2 Měřicí soustava .....	24
3.2.2.1 Snímače .....	24
3.2.2.2 Rozmístění snímačů.....	24
3.2.2.3 Systém měření.....	25
3.2.3 Sběr dat .....	25
4. Teorie nejistot měření .....	26
4.1 Nejistota typu A .....	26
4.2 Nejistota typu B.....	27
4.2.1 Zdroje nejistoty typu B .....	28
4.2.1.1 Nejistoty kalibrace zařízení .....	28
4.2.1.2 Nejistoty přístrojů .....	29
4.2.1.3 Nejistoty vznikající v době měření .....	29
4.2.1.4 Nejistoty způsobené sáláním .....	29
4.3 Kombinovaná standartní nejistota.....	29
4.4 Rozšířená standartní nejistota .....	29
4.5 Nepřímé metody měření.....	30
4.5.1 Nejistoty nepřímých měření.....	30

4.5.1.1	Nekorelované vstupní veličiny .....	31
4.5.1.2	Korelované vstupní veličiny .....	31
5.	Příprava a návrh měření .....	32
5.1	Teplotní šoková komora.....	32
5.2	Nastavení teplotní šokové komory .....	33
5.3	Měřicí řetězec.....	33
5.3.1	Měřicí přístroj .....	34
5.3.2	Měřicí karta.....	34
5.3.3	Měřicí program .....	34
5.4	Teplotní snímače .....	35
5.5	Konstrukce pro uchycení teplotních snímačů .....	36
5.6	Měřicí proces.....	37
5.6.1	Konfirmace teplot a přechodového děje .....	37
5.6.2	Doba stabilizace a doba expozice .....	37
5.7	Klimatické podmínky v laboratoři .....	38
6.	Vlastní provedení měření .....	39
6.1	Umístění snímačů v komoře.....	39
6.2	Zapojení měřicí soustavy .....	40
6.3	Nastavení a ovládání komory.....	41
6.4	Měřené parametry .....	41
6.5	Sběr dat v průběhu měření .....	42
6.6	Podmínky v laboratoři .....	43
7.	Výpočet nejistot měření .....	45
7.1	Nejistota typu A .....	45
7.2	Nejistota typu B.....	45
7.2.1	Nejistota kalibrace .....	45
7.2.2	Nejistota teplotních snímačů.....	46
7.2.2.1	Přesnost teplotních snímačů .....	46
7.2.2.2	Nelinearita teplotních snímačů .....	47
7.3	Nejistoty teplotní šokové komory .....	47
7.3.1	Gradient teploty .....	48



7.3.2	Kolísání teploty.....	48
7.4	Kombinovaná standardní nejistota měření.....	49
7.5	Další zdroje nejistot měření typu B.....	51
8.	Vyhodnocení měření.....	52
8.1	Teplotní úrovně.....	52
8.1.1	Teplotní úroveň 125 °C.....	52
8.1.1.1	Průměrná teplota pracovního prostoru.....	53
8.1.1.2	Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené.....	54
8.1.1.3	Kolísání teploty.....	54
8.1.1.4	Teplotní gradient.....	55
8.1.1.5	Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření.....	56
8.1.1.6	Výsledek měření.....	56
8.1.2	Teplotní úroveň 140 °C.....	57
8.1.2.1	Průměrná teplota pracovního prostoru.....	57
8.1.2.2	Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené.....	58
8.1.2.3	Kolísání teploty.....	58
8.1.2.4	Teplotní gradient.....	58
8.1.2.5	Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření.....	58
8.1.2.6	Výsledek měření.....	59
8.1.3	Teplotní úroveň 150 °C.....	59
8.1.3.1	Průměrná teplota pracovního prostoru.....	60
8.1.3.2	Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené.....	60
8.1.3.3	Kolísání teploty.....	60
8.1.3.4	Teplotní gradient.....	60
8.1.3.5	Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření.....	60
8.1.3.6	Výsledek měření.....	61
8.1.4	Teplotní úroveň 180 °C.....	62
8.1.4.1	Průměrná teplota pracovního prostoru.....	62

8.1.4.2	Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené .....	62
8.1.4.3	Kolísání teploty .....	62
8.1.4.4	Teplotní gradient .....	63
8.1.4.5	Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření .....	63
8.1.4.6	Výsledek měření pro teplotní úroveň 180 °C .....	63
8.1.5	Teplotní úroveň -40 °C .....	64
8.1.5.1	Průměrná teplota pracovního prostoru .....	64
8.1.5.2	Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené .....	65
8.1.5.3	Kolísání teploty .....	65
8.1.5.4	Teplotní gradient .....	65
8.1.5.5	Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření .....	65
8.1.5.6	Výsledek měření .....	66
8.1.6	Teplotní úroveň -50 °C .....	66
8.1.6.1	Průměrná teplota pracovního prostoru .....	67
8.1.6.2	Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené .....	67
8.1.6.3	Kolísání teploty .....	67
8.1.6.4	Teplotní gradient .....	67
8.1.6.5	Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření .....	67
8.1.6.6	Výsledek měření .....	68
8.1.7	Souhrnné výsledky teplotních úrovní .....	69
8.2	Změna teploty .....	70
8.2.1	Změna teploty v teplé komoře .....	70
8.2.1.1	Změna teploty z 50 °C na 140 °C .....	71
8.2.1.2	Změna teploty z 50 °C na 180 °C .....	71
8.2.2	Změna teploty ve studené komoře .....	72
8.2.2.1	Změna teploty z 25 °C na -40 °C .....	72
8.2.2.2	Změna teploty z 25 °C na -50 °C .....	73

8.2.3	Souhrnné výsledky změny teploty .....	73
8.3	Přechodový děj .....	74
8.3.1	Rychlost změny teploty přechodového děje .....	74
8.3.1.1	Přechodový děj z -40 °C na 140 °C .....	74
8.3.1.2	Přechodový děj ze 140 °C na -40 °C .....	76
8.3.2	Doba stabilizace přechodového děje .....	77
8.3.2.1	Doba stabilizace v teplé komoře .....	78
8.3.2.2	Doba stabilizace ve studené komoře .....	80
8.3.3	Výkyv teploty v komoře .....	81
8.3.3.1	Pokles teploty v teplé komoře .....	82
8.3.3.2	Pokles teploty ve studené komoře .....	83
8.3.4	Souhrnné výsledky přechodového děje .....	85
9.	Závěr .....	86

# Seznam symbolů a zkratek

## Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
H	High (svorky na kartě Agilent 34901A)
L	Low (svorky na kartě Agilent 34901A)
$x_1$	Vzdálenost od pravé stěny šokové komory
$x_2$	Vzdálenost od zadní stěny šokové komory
$x_3$	Vzdálenost od spodní stěny
$T_1$	Teplotní snímač v levém horním rohu zadní části komory
$T_2$	Teplotní snímač v pravém horním rohu zadní části komory
$T_3$	Teplotní snímač v levém horním rohu u dveří komory
$T_4$	Teplotní snímač v pravém horním rohu u dveří komory
$T_5$	Teplotní snímač ve středu komory
$T_6$	Teplotní snímač v levém dolním rohu zadní části komory
$T_7$	Teplotní snímač v pravém dolním rohu zadní části komory
$T_8$	Teplotní snímač v pravém dolním rohu u dveří komory
$T_9$	Teplotní snímač v levém dolním rohu u dveří komory

## Symboly:

$s^2(x)$	Výběrový rozptyl
$x$	Naměřená hodnota
$\bar{x}$	Aritmetický rozptyl
$s_{\bar{x}}$	Výběrová směrodatná odchylka
$t$	Teplota
$u_a$	Nejistota typu A
$u_{Bz}$	Nejistota typu B
$k_s$	Koeficient rozšíření
$\chi$	Pravděpodobnostní rozdělení hodnot
$\Delta z_{imax}$	Maximální rozsah odchylek
$\delta_{KT}$	Chyba způsobená kolísáním teploty
$\delta_G$	Chyba způsobená gradientem teploty

$t_{lin}$	Linearizovaná teploty
$u_{BK}$	Nejistota daná kalibrací
$u_{BL}$	Nejistota daná nelinearitou snímače
$u_{BS}$	Nejistota daná teplotním snímačem
$u_{BG}$	Nejistota daná gradientem teploty
$u_{BKT}$	Nejistota daná teplotním kolísáním
$u_c$	Kombinovaná nejistota
$U$	Celková rozšířená standardní nejistota

## Seznam obrázků

Obr. 2-1 Pohyblivý koš v teplé komoře (vlevo) a ve studené komoře (vpravo).....	21
Obr. 2-2 Vedení vzduchu v šokové teplotní komoře [10] .....	22
Obr. 3-1 Umístění a vzdálenosti snímačů teploty v teplotních komorách [1] .....	25
Obr. 5-1 Teplotní šoková komora WEISS TS 60 [20] .....	32
Obr. 5-2 Blokový diagram měřicího řetězce .....	33
Obr. 5-3 Způsob čtyřvodičového zapojení v měřící kartě Agilent 34901A [17].....	34
Obr. 5-4 Měřicí program Benchlink Data Logger 3 .....	35
Obr. 5-5 Model konstrukce použité pro konfirmaci šokové teplotní komory .....	37
Obr. 6-1 Konstrukce pro uchycení teplotních snímačů v pracovním prostoru teplotní šokové komory.....	39
Obr. 6-2 Uchycení teplotního snímače a konstrukce v komoře.....	40
Obr. 6-3 Zapojení teplotních snímačů v měřící kartě Agilent A34901A .....	40
Obr. 6-4 Standardní zátěže použité při konfirmaci teplotní šokové komory.....	41
Obr. 6-5 Teplota v laboratoři v době konfirmace teplotní šokové komory .....	43
Obr. 6-6 Vlhkost v laboratoři v době konfirmace teplotní šokové komory.....	43
Obr. 8-1 Průměrné teploty jednotlivých teplotních snímačů pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže.....	53
Obr. 8-2 Průměrné absolutní odchylky jednotlivých teplotních snímačů pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže.....	54
Obr. 8-3 Kolísání teploty snímače T8 na teplotní úrovni 125 °C bez zátěže .....	55
Obr. 8-4 Graf změny průměrné teploty přechodového děje z -40 °C na 140 °C.....	75
Obr. 8-5 Graf změny průměrné teploty přechodového děje ze 140 °C na -40 °C.....	77
Obr. 8-6 umístění standardní zátěže - 1 vzorek v teplotní šokové komoře .....	78
Obr. 8-7 Doba stabilizace pro teplou komoru s jedním vzorkem standardní zátěže 1 ...	79
Obr. 8-8 Doba stabilizace pro studenou komoru s jedním vzorkem standardní zátěže 181	
Obr. 8-9 Grafické znázornění poklesu teploty v teplé komoře bez předehřevu .....	83
Obr. 8-10 Grafické znázornění zvýšení teploty ve studené komoře bez předchlazení ...	84

## Seznam tabulek

Tab. 4-1 Tabulka koeficientů rozšíření pro jednotlivý počet měření .....	26
Tab. 4-2 Tabulka pravděpodobnostních rozdělení s koeficienty $\chi$ .....	28
Tab. 4-3 Hodnoty koeficientu $k_r$ a odpovídající pravděpodobnosti P .....	29
Tab. 5-1 Parametry platinového snímače TG3-25 Pt 100/3850-1/5B .....	35
Tab. 5-2 Parametry termoelektrického snímače TC 091.0P-80.....	36
Tab. 5-3 - Normální klimatické podmínky v laboratoři.....	38
Tab. 6-1 Využití teplotní snímače a jejich výrobní čísla .....	40
Tab. 6-2 Přehled konfirmovaných teplotních hladin .....	42
Tab. 6-3 Přehled konfirmovaných teplotních změn.....	42
Tab. 7-1 Použité etalony pro kalibraci měřicího řetězce .....	46
Tab. 7-2 Tabulka výpočtů pro určení nejistoty nelinearity teplotního snímače .....	47
Tab. 7-3 Ukázka naměřených dat pro vyjádření teplotního gradientu .....	48
Tab. 7-4 Ukázka naměřených dat pro vyjádření kolísání teploty .....	49
Tab. 7-5 Přehled vyjádřených zdrojů nejistoty měření [12] .....	50
Tab. 8-1 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 125 °C bez zátěže [12]... 52	
Tab. 8-2 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 125 °C se zátěží [12] .....	53
Tab. 8-3 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 125 °C [12] ... 56	
Tab. 8-4 Výsledné hodnoty při konfirmaci teplotní úrovně 125 °C bez zátěže [12]..... 57	
Tab. 8-5 Výsledné hodnoty při konfirmaci teplotní úrovně 125 °C se zátěží [12]..... 57	
Tab. 8-6 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 140 °C bez zátěže [12]... 57	
Tab. 8-7 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 140 °C se zátěží [12] .....	57
Tab. 8-8 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 140 °C [12] ... 58	
Tab. 8-9 Výsledné hodnoty při konfirmaci teplotní úrovně 140 °C bez zátěže [12]..... 59	
Tab. 8-10 Výsledné hodnoty při konfirmaci teplotní úrovně 140 °C se zátěží [12]..... 59	
Tab. 8-11 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 150 °C bez zátěže [12]. 59	
Tab. 8-12 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 150 °C se zátěží [12] ... 60	
Tab. 8-13 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 150 °C [12] . 61	
Tab. 8-14 Výsledné hodnoty při konfirmaci teplotní úrovně 150 °C bez zátěže [12].... 61	
Tab. 8-15 Výsledné hodnoty při konfirmaci teplotní úrovně 150 °C se zátěží [12]..... 61	
Tab. 8-16 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 180 °C bez zátěže [12]. 62	

Tab. 8-17 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 180 °C se zátěží [12] ...	62
Tab. 8-18 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 180 °C [12] .	63
Tab. 8-19 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 180 °C bez zátěže [12]....	64
Tab. 8-20 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 180 °C se zátěží [12].....	64
Tab. 8-21 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -40 °C bez zátěže [12] .	64
Tab. 8-22 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -40 °C se zátěží [12] ....	64
Tab. 8-23 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni -40 °C [12] ..	65
Tab. 8-24 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně -40 °C bez zátěže [12]....	66
Tab. 8-25 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně -40 °C bez zátěže [12]....	66
Tab. 8-26 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -50 °C bez zátěže [12] .	66
Tab. 8-27 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -50 °C se zátěží [12] ....	67
Tab. 8-28 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni -50 °C [12] ..	68
Tab. 8-29 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně -50 °C bez zátěže [12]....	68
Tab. 8-30 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně -40 °C se zátěží [12] .....	68
Tab. 8-31 Souhrnné výsledky pro confirmace jednotlivých teplotních úrovní bez standardní zátěže [12] .....	69
Tab. 8-32 Souhrnné výsledky pro confirmace jednotlivých teplotních úrovní se standardní zátěží [12].....	69
Tab. 8-33 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 50 °C na 140 °C bez zátěže	71
Tab. 8-34 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 50 °C na 140 °C se zátěží ..	71
Tab. 8-35 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 50 °C na 180 °C bez zátěže	71
Tab. 8-36 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 50 °C na 180 °C se zátěží ..	72
Tab. 8-37 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -40 °C bez zátěže	72
Tab. 8-38 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -40 °C se zátěží ..	72
Tab. 8-39 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -50 °C bez zátěže	73
Tab. 8-40 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -50 °C se zátěží ..	73
Tab. 8-41 Výsledné hodnoty rychlosti přechodového děje z -40 °C na 140 °C .....	75
Tab. 8-42 Výsledné hodnoty rychlosti přechodového děje ze 140 °C na -40 °C .....	76
Tab. 8-43 Výsledné hodnoty doby stabilizace teploty v teplé komoře.....	78
Tab. 8-44 Výsledné hodnoty doby stabilizace teploty ve studené komoře .....	80
Tab. 8-45 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace v teplé komoře bez zátěže .....	82
Tab. 8-46 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace v teplé komoře se zátěží .....	82



Tab. 8-47 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace ve studené komoře bez zátěže.. 83

Tab. 8-48 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace ve studené komoře se zátěží..... 84

# 1. ÚVOD

Bakalářská práce si dává za cíl provést konfirmaci základních parametrů teplotní šokové komory. Jelikož pro ni neexistuje, podobně jako pro teplotní komoru, norma, která by definovala, jak konfirmaci provést, bylo potřeba vytvořit metodiku, která konfirmaci zajistí. Proto bylo potřeba definovat základní parametry teplotní šokové komory a na ně metodiku aplikovat praktickým měřením.

Bakalářská práce vznikla společně s požadavkem vývojové laboratoře firmy Continental Powertrain v Ostravě. Příslušné oddělení kvality požadovalo provedení rozboru měření přesnosti teplotní šokové komory a eliminování možných chyb při provádění environmentálních zkoušek. Proto byla vytvořena tato bakalářská práce, která teoreticky pojednává o základních parametrech a metodice konfirmace teplotní šokové komory společně s jejími výpočty a výsledky.

Teoretická část této bakalářské práce je detailněji popsána od druhé do páté kapitoly. Jsou v nich popsány principy fungování environmentálních komor a jejich konfirmace, dále potom teorie nejistot měření a v neposlední řadě návrh pro konfirmaci teplotní šokové komory.

Druhá kapitola této bakalářské práce stručně popisuje přehled základních typů environmentálních komor. Součástí této kapitoly je také teoreticky popsán princip fungování teplotní šokové komory, a tak stejně její parametry, jako jsou rozsahy teplot apod.

Ve třetí kapitole se následně rozebírá metodika a princip konfirmace teplotních komor podle normy ČSN EN 60068-3-5. Tato norma byla částečně využita i při konfirmaci teplotní šokové komory. Kapitola obsahuje informace o minimálních požadavcích na měřicí přístroje, podmínky v laboratoři a sběr dat v průběhu konfirmace.

Teorie nejistot měření je následně popsána ve čtvrté kapitole, včetně typů nejistot a jejich možných zdrojů. Teorie z této kapitoly bude následně využita v praktické části práce při výsledném výpočtu nejistot.

Poslední, pátá kapitola teoretické části práce se zabývá návrhem a přípravou konfirmace teplotní šokové komory. Popisuje zařízení, která budou použita při měření, metodiku měření a požadavky na prostředí v laboratoři. Součástí je rovněž tvorba a návrh přípravku pro zajištění uchycení snímačů v teplotní šokové komoře.

Následující, šestá až osmá kapitola poté tvoří praktickou část bakalářské práce. Šestá kapitola obsahuje vlastní praktické provedení měření s popisem využitých zařízení a nastavení teplotní šokové komory.

Následující sedmá kapitola pak vychází z teoretické, páté kapitoly, ve které se prakticky vyjadřují hodnoty nejistot měření. Jsou v ní ukázky výpočtů a grafické znázornění nejistot měření a odchylek teplot pro teplotní úroveň 125 °C.

Poslední, osmá kapitola praktické části bakalářské práce shrnuje všechny výsledky konfirmace teplotní šokové komory. Jsou v ní obsaženy informace o nejistotách na jednotlivých teplotních úrovních, rychlosti změn teploty v jednotlivých komorách teplotní šokové komory a v neposlední řadě informace o výsledných měřených parametrech přechodového děje.

## 2. ENVIRONMENTÁLNÍ KOMORY

Environmentální zkušební komory se využívají ke zjištění spolehlivosti průmyslových výrobků, zejména potom elektronických výrobků, prostřednictvím dlouhodobého vystavení jednomu nebo více environmentálních jevů.

Na trhu se lze setkat s různými typy environmentálních komor. Některé vystavují výrobky extrémním teplotám, teplotním cyklům nebo extrémní vlhkosti. K dispozici jsou také komory pro kombinované klimatické a mechanické vibrační zkoušky. Dále lze také najít environmentální komory, které zkoušené výrobky vystavují korozním účinkům jako například solná mlha, slaný sprej nebo deštivé prostředí.

Za nejčastěji se vyskytující environmentální komory v laboratořích lze považovat základní tři druhy komor. Teplotní komory, které slouží ke změnám teploty (obvykle od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), dále vlhkostní komory, které nejenže mohou kontrolovat teplotu podobně jako teplotní komory, ale i vlhkost (v rozsahu 10 % až 98 %) a na závěr šokové teplotní komory, které vzorky vystavují rapidním změnám teplot od kryptonických  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (s přechodovou dobou mezi jednotlivými teplotami  $<10\text{ s}$ ). V následujících kapitolách bude stručně představena každá z těchto tří základních komor.

### 2.1 Teplotní komory

Teplotní komora je základní environmentální komora, kterou lze najít téměř v každé laboratoři. Na trhu se vyskytují teplotní komory s různými technologiemi, kdy teplota může být ovládána pomocí modulace elektrickými cívkami, gravitační konvekcí, cirkulující kapalinou nebo nejčastěji vyskytujícím se ventilátorem.

Jedním z charakteristických rysů teplotních komor je široký rozsah teplot. Některé modely dosahují nejnižších teplot až  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a naopak maximální teploty mohou dosahovat i  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo vyšší. Nejběžnější komory, které lze v laboratořích najít mají teplotní rozsah obvykle  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Důležitým parametrem teplotních komor je přesnost nastavené teploty. Skutečná teplota uvnitř teplotní komory by se měla co nejpřesněji shodovat s požadovanou teplotou. Většina teplotních komor je přesná až na desetiny stupně celsia. Rovněž teplotní homogenita uvnitř komory je důležitým parametrem, kdy celý prostor komory by měl být bez horkých nebo naopak studených míst.

Jelikož se testy na produktech mohou provádět na několika různých teplotách, tak další důležitou vlastností teplotních komor je rychlost změny teploty. Pokud je potřeba změnit teplotu skokově, tak čas strávený přechodem z jedné teploty do druhé může způsobit v měření nejistotu, proto je potřeba, aby teplotní změna byla co nejrychlejší. Na druhou stranu někdy je potřeba provést v teplotní komoře zkoušky s postupným přechodem do jiné teploty. Některé typy teplotních komor, lze potom programovat a mohou obsahovat možnost nastavení teplotního gradientu změny mezi teplotami

### 2.2 Vlhkostní komory

Vlhkostní komory dokážou už podle samotného názvu regulovat vlhkost uvnitř komory. Vlhkostní komora se konstrukčně velice podobá teplotní komoře, ale lze nalézt několik rozdílů. Tím hlavním je, že materiály vlhkostní komory by měly být odolné

vůči korozi, například z nerezové oceli. Na trhu se lze setkat se dvěma typy vlhkostních komor.

#### 1. Vlhkostní komory

Tento typ vlhkostní komory může regulovat relativní vlhkost komory od 10 %RH do 98 %RH. Tyto komory se využívají primárně k simulování podmínek přepravy produktů, kdy regulovaná teplota odráží takové prostředí, které se může reálně nacházet v normálním vnitřním nebo venkovním prostředí. Jedná se o teploty přibližně od +10 °C do +90 °C.

#### 2. Teplotní vlhkostní komory (Klimatické)

Tento typ komory kombinuje možnost regulace jak vlhkosti (podobně jako předchozí komora 10 %RH až 98 %RH), tak teploty s rozsahem podobnému teplotní komoře (-40 °C až +180 °C). Klimatickou komoru v případě klimatického testu (změny relativní vlhkosti v komoře), lze použít pouze v rozsahu předchozí vlhkostní komory (+10 °C až +90 °C), ale při samotném teplotním testu bez použité vlhkosti, lze komoru využívat podobně jako teplotní komoru.

Vlhkostní komory využívají několik způsobů, jak vytvořit vlhké prostředí uvnitř komory. Jedná se konkrétně buď o parní generátory, rozprašovače nebo vodní lázně. V laboratořích se nejčastěji lze setkat s vlhkostními komorami obsahující vodní lázeň. Ta funguje tak, že se v komoře nachází malé množství vody, ve které je umístěna topná spirála. V průběhu provozu komory se do nádržky dopouští a odpouští voda, která se tepnou spirálou zahřívá a uvolňuje se pára. Následné proudění vzduchu uvnitř komory, způsobí distribuci zachycené páry uvnitř komory, a tím i tvorbu relativní vlhkosti.

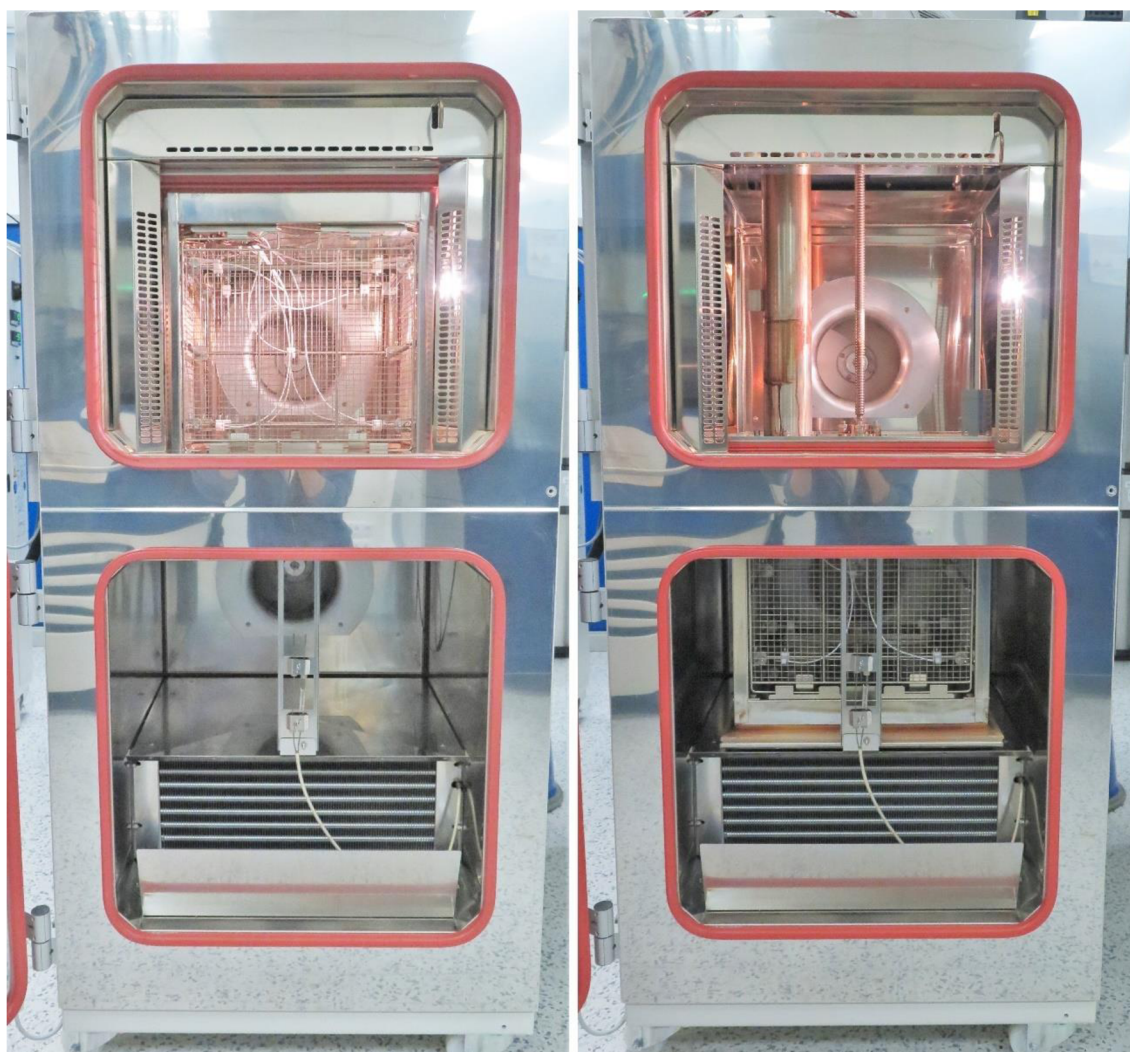
Každá komora je vybavena několika čidly. Jedná se o čidla teploty pro kontrolu teploty v komoře (PT100) a vlhkostní čidla pro kontrolu vlhkosti. U vlhkostních komor se využívá k měření vlhkosti kapacitní snímač vlhkosti. V případě vlhkostních komor v laboratoři se jedná o psychrometr, který je tvořen dvěma odporovými čidly PT100, kdy na jednom z nich je umístěna vlhčená tkanina. Přes senzory proudí vzduch a odpařováním vody z mokrého snímače se odebírá výparné teplo z jeho okolí, což má za následek pokles teploty mokrého snímače. Čím menší bude relativní vlhkost, tím intenzivněji se bude odpařovat voda ze stále vlhčeného senzoru a tím bude větší rozdíl teploty mezi jednotlivými snímači. Toto čidlo potom funguje jako zpětná vazba pro regulování vlhkosti uvnitř komory.

### 2.3 Šokové teplotní komory

Šokové teplotní komory mají velké zastání v environmentálních testech. Hlavním účelem teplotních šokových komor je zjistit, zda náhlá změna teploty ovlivňuje dlouhodobou funkci výrobku. Díky teplotním cyklům je možné simulovat stárnutí produktu, a navíc vyvolat předčasné poruchy.

Šokové teplotní komory jsou tvořeny dvěma navzájem oddělenými komorami – studenou komorou, kde se teploty obvykle pohybují v rozmezí -80 °C až +70 °C a teplou komorou, kde je rozsah teplot obvykle od +50 °C do +250 °C. Mezi jednotlivými komorami se pohybuje koš (pracovní prostor), kdy po uplynutí doby, po kterou byly vzorky vystavené jedné teplotě, jsou přesunuty automaticky do druhé komory. Tento přechod mezi teplou a studenou komorou trvá obvykle necelých deset sekund. Na

obrázku 2-1 je zobrazen pohyblivý koš v teplé a následně po přesunu i ve studené komoře.

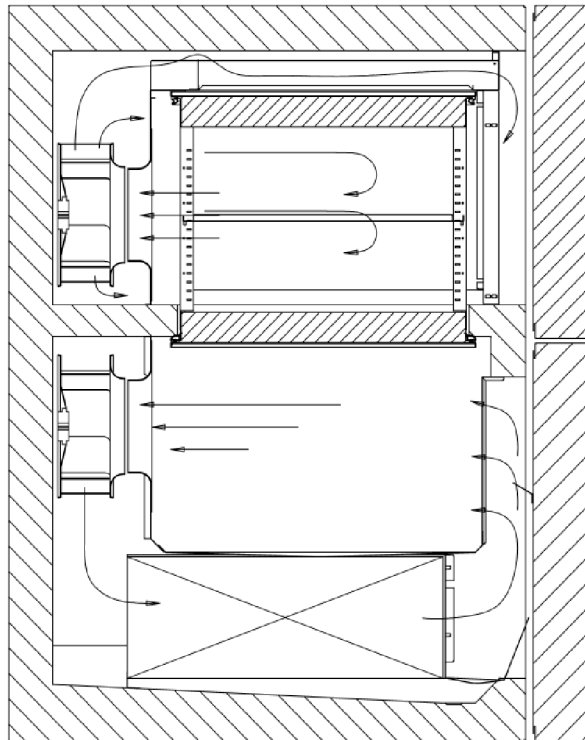


**Obr. 2-1 Pohyblivý koš v teplé komoře (vlevo) a ve studené komoře (vpravo)**

Vnitřní konstrukce šokové teplotní komory se velice liší od vlhkostní komory nebo teplotní komory. Nejedná se pouze o samotný přesun mezi komorami, ale v případě šokové komory se uvnitř nachází zvedací koš, který je umístěn ve středu komory a představuje zmenšený pracovní prostor celé komory. Samotný koš je umístěn v určité vzdálenosti od vnitřní stěny komory. Do tohoto pohyblivého koše se ukládají testované produkty, kdy koš jako celek poté přejíždí mezi jednotlivými komorami.

Šoková teplotní komora má na rozdíl od teplotní komory nebo vlhkostní komory odlišné vedení vzduchu v komoře. Vzduch v teplé komoře je nasáván ve středu zadní stěny a proudí přes topná tělesa a opět vstupuje do zkušebního prostoru přes plechy, které jsou určeny k vedení vzduchu. [10]

Vzduch ve studené komoře je nasáván opět ve středu zadní stěny podobně jako v případě teplé komory a proudí přes tepelný výměník, kdy opět vstupuje do zkušebního prostoru přes plechy, které jsou určeny k vedení vzduchu. [10]



**Obr. 2-2 Vedení vzduchu v šokové teplotní komoře [10]**

## 2.4 Ostatní environmentální komory

Jelikož je potřeba provádět mnoho dalších zkoušek, s různým prostředím, tak se lze v laboratořích setkat s více specifickými komorami jako například:

- Environmentální komora pro testy solné mlhy (Salt fog) a slaný postřik (Salt spray), kde jsou vzorky vystaveny solným emulzím.
- Komory simulující prašné nebo písčité prostředí
- UV komory, simulující degradaci vzorků po vystavení slunečnímu/UV záření
- Parní komory, kdy jsou produkty zatěžovány horkou párou.

## 3. KONFIRMACE KLIMATICKÝCH KOMOR

Konfirmace neboli ověřování environmentálních komor se provádí za účelem zjištění, zda komora splňuje parametry pro korektní provádění zkoušek definované příslušnou normou z řady ČSN EN 60068-2-14. Většinou se jedná například o parametry jako přesnost nastavené teploty, výkonnost, homogenita teploty uvnitř komory.

### 3.1 Druhy konfirmace

Konfirmaci lze provádět buď bez zátěže, kdy je pracovní prostor komory prázdný nebo se zátěží, kdy je do pracovního prostoru komory umístěná typická zátěž. V praktické části se při měření budou využívat oba druhy konfirmace, kdy zátěží budou standartní produkty, které se běžně v laboratoři testují. Každý druh konfirmace má své výhody a nevýhody, které udává norma ČSN EN 60068-3-11 a jsou rozepsány v následujících podkapitolách.

#### 3.1.1 Konfirmace bez zátěže

Konfirmace komory bez zátěže se provádí tak, že pracovní prostor komory je prázdný a obsahuje pouze měřicí snímače a konstrukci nutnou k jejich uchycení v prostoru. [2]

Výhodami této zkoušky jsou například: [2]

- Pracovní prostor komory je kalibrován v celém objemu
- Kalibraci je nutné provádět opakovaně pouze jednou nebo dvakrát za rok
- Změní-li se zkušební vzorek není potřeba opětovná kalibrace
- Není potřeba vystavovat zkušební vzorek expozici pro zajištění vhodnosti komory
- Náklady na měření jsou relativně nízké

Nevýhodami této zkoušky jsou například: [2]

- Obtížně se určuje vliv zkušební vzorku
- Obtížně se kvantifikuje teplo unikající ze vzorku v průběhu zkoušky
- Ve výpočtu nejistot měření musí být uvažovány i nejistoty měření způsobené komorou

#### 3.1.2 Konfirmace se zátěží

Konfirmace komory se zátěží se provádí podobným způsobem jako konfirmace komory bez zátěže s tím rozdílem, že komora je zatížena ať už umělou zátěží, která simuluje tepelné vlastnosti vzorku běžně používaného při zkoušce nebo přímo reálný vzorek který je běžně vystavován klimatickým zkouškám v komoře. Podobně jako konfirmace bez zátěže má konfirmace se zátěží několik výhod a nevýhod. [3]

Výhodami této zkoušky jsou například: [2]

- Lze definovat vliv zkušební vzorku na řízení komory
- Před provedením zkoušky může být vybrána nejvhodnější komora

- Korektní umístění snímačů může poskytovat informace o kritických částech pracovního prostoru
- Lze kvantifikovat uvolňující teplo ze vzorků
- Náklady na měření jsou relativně nízké

Nevýhodami této zkoušky jsou například: [2]

- Změní-li se významně zkušební vzorek je potřeba provést opětovnou kalibraci
- Ve výpočtu nejistot měření musí být uvažovány i nejistoty měření způsobené komorou

## 3.2 Konfirmační měření a vyhodnocení

Aby výsledek konfirmace klimatické komory byl co nejlepší, je potřeba splnit podmínky, které definuje soubor norem ČSN EN 60068. V tomto souboru norem je popsán celý postup, jak konfirmaci provést, klimatické podmínky, za jakých lze konfirmaci provádět a nezbytné nároky na vybavení.

### 3.2.1 Podmínky v laboratoři

Podmínky v laboratoři by měly být takové, aby nijak neovlivňovaly probíhající zkoušky. Aby byla tato podmínka splněna, musí být podmínky v laboratoři v souladu s normou ČSN EN 60068-1, která udává normální hodnoty teploty mezi 15 °C až 35 °C. Dále hodnotu normální relativní vlhkosti mezi 25 %RH až 75 %RH a hodnotu tlaku vzduchu mezi 860 hPa až 1060 hPa.

V průběhu zkoušky by také neměla být klimatická komora vystavena přímému slunečnímu záření, elektromagnetickému rušení. Komora by také měla být umístěna vodorovně a na místě, kde není vystavená mechanickému nebo vibračnímu rušení. [1]

### 3.2.2 Měřicí soustava

Do měřicí soustavy je možné shrnout nároky na použité snímače, jejich počet a v neposlední řadě jejich umístění v komoře. Všechny tyto podmínky jsou sepsány v následujících podkapitolách.

#### 3.2.2.1 Snímače

Norma ČSN EN 60068-3-5 udává, že pro konfirmaci teplotních komor by měly být použity termoelektrické snímače nebo odporové snímače s nejistotou měření minimálně třídy A s teplotním rozsahem od -200 °C do +200 °C.

Norma dále udává, že použité teplotní snímače pro konfirmaci by měly mít dobu 50 % odezvy mezi 10 s a 40 s.

#### 3.2.2.2 Rozmístění snímačů

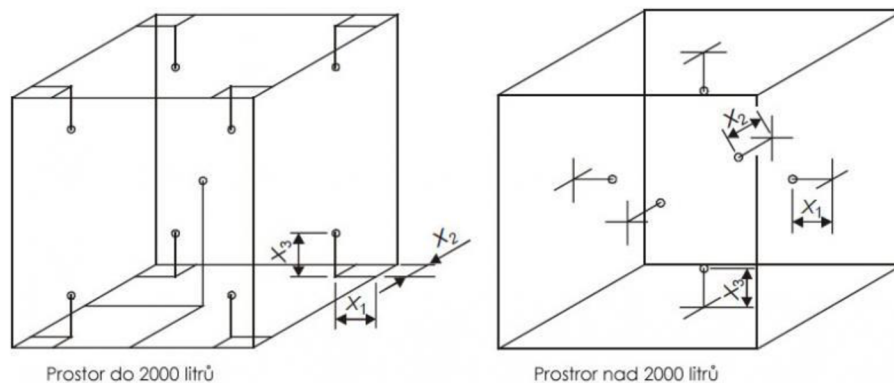
Rozmístění a počet snímačů pro konfirmaci teplotní komory je závislý na objemu pracovního prostoru komory. Pokud má teplotní komora objem menší než 2000 litrů, tak se využívá devět snímačů, které se následně umístí do jednotlivých rohů komory a jeden referenční do středu. [1]



Pokud je objem komory větší než 2000 litrů, tak se využívá celkem patnáct snímačů, a kromě rohů a středu komory se umísťují snímače i do středu každé stěny komory. [1]

Podle normy ČSN EN 60068-3-5 musí být snímače také umístěny do určité vzdálenosti od stěn komory. Obecně platí pro všechny objemy teplotní komor, že snímače se umísťují do vzdálenosti desetiny šířky, výšky nebo hloubky teplotní komory. Pokud se jedná o teplotní komory malé, tedy do rozměru 1000 litrů, tak je minimální vzdálenost ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  na obrázku 3-1) od každé stěny minimálně 50 milimetrů. Pro komory se středním objemem pracovního prostoru, větší než 1000 litrů a zároveň menší než 2000 litrů, je minimální vzdálenost uložení sto milimetrů. [1]

Grafické vyobrazení vzdálenosti a umístění snímačů v teplotní komoře je na obrázku



**Obr. 3-1 Umístění a vzdálenosti snímačů teploty v teplotních komorách [1]**

### 3.2.2.3 Systém měření

Jeden z požadavků, který je kladen na měřicí systém je požadavek na teplotní snímače použité pro konfirmaci. Tímto požadavkem se zabírala kapitola 3.2.2.1.

Další z nároků na měřicí systém, který uvádí norma ČSN EN 60068-3-5 je, že měřicí systém jako celek by neměl přesáhnout dobu odezvy 40 s.

### 3.2.3 Sběr dat

Aby bylo možné řádně určit nejistotu s jakou komora měří, je potřeba mít dostatečné množství dat. Proto norma ČSN EN 60068-3-11 definuje, že z každého snímače by se mělo pořídit minimálně 5, v lepším případě 20 a více záznamů. Obvykle je ideální data zaznamenávat po dobu 30 minut od doby ustálení teploty v komoře tak, aby bylo možné dostatečně zaznamenat kolísání teploty v komoře.

## 4. TEORIE NEJISTOT MĚŘENÍ

Součástí korektního výsledku měření je i stanovení nejistot měření. Nejistota celého měření se nazývá celková nejistota (tzv. kombinovaná nejistota). Tato nejistota určuje interval, ve kterém se vyskytuje s určitou pravděpodobností měřená veličina. K tomu, abychom mohli stanovit hodnotu celkové nejistoty, je potřeba nejprve vyjádřit nejistotu typu A a nejistotu typu B. Tyto nejistoty lze potom zjišťovat buď experimentálně opakovaným měřením nebo na základě úsudků a odhadnutelných příčin. [12]

### 4.1 Nejistota typu A

Nejistotu typu A lze zjistit jako rozptyl hodnot opakovaných měření, která jsou provedena za stejných podmínek. Pokud tyto podmínky není možno zajistit, nemá smysl nejistotu typu A určovat. Při jednorázových experimentech, kdy  $n=1$ , není možné nejistotu typu A stanovit. [12]

Nejprve se aritmetickým průměrem, pro  $n$  počet opakovaných měření, určí odhad výsledné hodnoty:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

Výběrový rozptyl se následně stanoví podle vztahu: [5]

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.2)$$

Kladná odmocnina výběrového rozptylu je poté označována jako výběrová směrodatná odchylka: [5]

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{s^2(x)}{n}} \quad (2.3)$$

Počet opakování měření by měl být co největší. Platí ale, že pokud je počet opakovaných měření malý ( $n < 10$ ), musí se využít koeficient rozšíření podle vztahu: [14]

$$u_A = s(\bar{x}) \cdot k_s \quad (2.4)$$

Koeficient rozšíření je pro jednotlivé počty opakovaných měření daný konkrétní hodnotou. Tato hodnota je uvedena v tabulce 2-1.

**Tab. 4-1 Tabulka koeficientů rozšíření pro jednotlivý počet měření**

n	10	9	8	7	6	5	4	3	2
$k_s$	1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

## 4.2 Nejistota typu B

Nejistota typu B se na rozdíl od nejistoty typu A nestanovuje staticky na základě opakovaných měření, ale na základě znalosti problematiky měření a kvalifikovaného úsudku. Tento úsudek definuje jednotlivé z typických zdrojů nejistot, které ovlivňují měření. Odvození této nejistoty vzniká na základě: [5]

- Výsledků z předcházejících měření
- Všeobecných znalostí o chování měřeného objektu, měřících podmínkách a metodách
- Údajů výrobce
- Údajů ověřovacích listů, kalibračních listů atd.
- Nejistot referenčních údajů převzatých z dokumentace

V průběhu měření se může vyskytnout velké spektrum nejistot, proto je důležité vybrat nejistoty typu B takové, aby mělo pro samotné měření opodstatnění a významný vliv. Ve výsledku je taky dobré dbát na to, aby bylo možné tyto nejistoty vůbec stanovit, a tedy je i nějak popsat. Působící vlivy na měření lze rozdělit do několika oblastí: [19]

1. Vlivy spjaté s měřícími přístroji a etalony [19]
  - Nejistoty kalibrace zařízení
  - Stabilita přístrojů
  - Rozlišení odečtu z přístrojů
  - Hystereze
2. Vlivy okolního prostředí a jeho změny [19]
  - Atmosférický tlak a jeho kolísání
  - Relativní vlhkost prostředí
  - Osvětlení
  - Prašnost a čistota prostředí
3. Vlivy měřící metody [19]
  - Ztráty
  - Svodové proudy
  - Odvod tepla
  - Vlastní ohřev
4. Vlivy technika [19]
  - Nedodržení metodiky
  - Tepelné vyzařování
  - Elektrostatické pole
  - Omyly při vyhodnocování dat

Jednotlivé zdroje nejistoty B, které mohou jakýmkoliv způsobem působit na měření se označují jako  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_i$ . Pro každou z nejistot se následně určí nejistota typu B  $u_B(z_i)$ . K odvození nejistoty se využívá, jak již bylo zmíněno dříve technické dokumentace, kalibračních listů nebo lze nejistotu na základě zkušeností nebo předchozích měření odhadnout. [7]

Jedním ze způsobů, jak lze určit nejistotu typu B je výrobcem uvedená rozšířená nejistota a koeficient rozšíření v katalogu, kalibračním listu případně technické dokumentaci výrobce.

Poté lze nejistotu  $u_B(z_i)$  stanovit jako:

$$u_B(z_i) = \frac{U}{k_r} \quad (2.5)$$

Dalším možným způsobem, jak určit celkovou nejistotu je odhadnout pro jednotlivé zdroje nejistoty typu B maximální hodnoty změn (odchylek)  $\pm\Delta z_{imax}$  od jmenovité (normální) hodnoty měřené veličiny odpovídajícího zdroje nejistoty  $z_i$ . Na základě zkušeností se uváží, jaké rozdělení pravděpodobnosti se vyskytuje v rozsahu hodnot  $\pm\Delta z_{imax}$ . Podle zvoleného rozdělení se určí koeficient  $\chi$ . Tento koeficient se využívá k přepočtu intervalu hodnot na směrodatnou odchylku a je možné ho zjistit podle tabulky 2-2. [8]

**Tab. 4-2 Tabulka pravděpodobnostních rozdělení s koeficienty  $\chi$**

Typ rozložení	Koeficient $\chi$	Pravděpodobnost
Normální (Gaussovo)	2	P = 95,0 %
Normální (Gaussovo)	3	P = 99,7 %
Rovnoměrné	$\sqrt{3}$	
Trojúhelníkové (Simpsonovo)	$\sqrt{6}$	

S určeným maximálním rozsahem  $\pm\Delta z_{imax}$  a typem rozložení tím i daným koeficientem  $\chi$ , lze nejistotu  $u_B(z_i)$  stanovit pomocí vztahu: [8]

$$u_B(z_i) = \frac{\pm\Delta z_{imax}}{\chi} \quad (2.6)$$

Výsledná nejistota typu B působící na měření se stanoví jako geometrický součet všech nejistot typu B:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u_B(z_i))^2} \quad (2.7)$$

## 4.2.1 Zdroje nejistoty typu B

V průběhu každého měření vstupuje do výsledku velké množství nejistot. Norma ČSN EN 60068-3-11 definuje čtyři základní zdroje nejistot. Jedná se o nejistoty kalibrace zařízení, nejistoty přístrojů použitých při měření, dále nejistoty, které vznikají v průběhu měření a v neposlední řadě nejistoty způsobné sáláním.

### 4.2.1.1 Nejistoty kalibrace zařízení

Jedním ze základních zdrojů nejistot je nejistota kalibrace přístrojů. Tato nejistota je stanovena v kalibračním listě nebo kalibračním certifikátu. Výsledek kalibrace je obvykle rozšířený o nejistotu na konfidenční úrovni 95 %. [2]

#### 4.2.1.2 Nejistoty přístrojů

Mezi tento zdroj nejistoty se řadí například rozlišení přístrojů, měřící rozsah, teplota v okolí a drift použitých přístrojů. Opakovaným měřením lze zabránit velkým chybám a zvýšit pravděpodobnost správného určení odhadnutých nejistot. [2]

#### 4.2.1.3 Nejistoty vznikající v době měření

Převládajícími nejistotami v průběhu měření jsou nejistoty spjaté s kolísáním podmínek a změnou gradient. Při využití dané metody musí být tyto gradienty a kolísání identifikovány. [2]

#### 4.2.1.4 Nejistoty způsobené sáláním

Sálání v komorách (hlavně teplotních) může být v některých případech velké. Pokud teplotní snímač udává hodnoty teploty příliš velké nebo se mění při každé zkoušce, případně pokud je teplota v jedné části komory významně odlišná od nastavené hodnoty, tak je potřeba pro další zkoušku využít teplotní snímače s jinou vyzařovací barvou. Vzorek, popřípadě teplotní snímač je nejvíce ovlivňován tímto typem nejistoty u teplot nad +100 °C. [12]

### 4.3 Kombinovaná standartní nejistota

Kombinovaná nejistota se získá geometrickým sečtením nejistoty typu A a celkové nejistoty typu B.

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (2.8)$$

Výsledná hodnota kombinované nejistoty poté určuje interval, ve kterém se měřená veličina vyskytuje s určitou pravděpodobností. Pro normální rozložení je hodnota pravděpodobnosti P = 68 % a pro rovnoměrné rozložení je P = 58 %. [15]

### 4.4 Rozšířená standartní nejistota

Pokud se požaduje, aby se zvýšila pravděpodobnost výskytu skutečné hodnoty v intervalu daném kombinovanou nejistotou, využívá se rozšířená nejistota. Tato nejistota se vyjádří jako:

$$U = u_c \cdot k_r \quad (2.9)$$

Koeficientem rozšíření  $k_r$  následně rozšiřujeme celkovou nejistotu podle požadované hodnoty pravděpodobnosti. Hodnoty koeficientu  $k_r$  pro normální rozdělení pravděpodobnosti je v tabulce 4-3.

**Tab. 4-3 Hodnoty koeficientu  $k_r$  a odpovídající pravděpodobnosti P**

$k_r$ [-]	P [%]
1	68,0
2	95,0
2,58	99,0
3	99,7

## 4.5 Nepřímé metody měření

Předchozí kapitoly byly věnovány nejistotám přímých měření. Přímá měření jsou taková, kde je hodnota měřené veličiny získávána přímo tak, že není potřeba dále provádět dodatečné výpočty, které by byly závislé na veličinách jiného druhu od samotné měřené veličiny.

Při přímých měřeních se například ze stupnice odečítá hodnota, která se následně převede pomocí převodní tabulky na hodnotu měřené veličiny. Tato hodnota potom přímo udává vztah mezi zobrazenou hodnotou a hodnotou měřené veličiny. [16]

U nepřímých měření se hodnota některé z veličin určuje na základě výsledků přímých měření veličin jiných druhů, které jsou s vlastní měřenou veličinou spojeny na základě známých závislostí. [16]

Samotné měření pojednává o určení výsledné veličiny  $Y$ , která je funkcí několika vstupních veličin  $X_N$  podle následujícího vztahu: [15]

$$\begin{aligned} Y &= f(X_1, X_2, \dots, X_N) \\ \bar{y} &= f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) \\ \bar{x}_N &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{Ni} \end{aligned} \quad (2.10)$$

kde	$Y$	je výstupní veličina, $\bar{y}$ je odhad výstupní veličiny $Y$
	$\bar{y}$	je veličina měřená přímo
	$X_N$	je odhad vstupní veličiny $X_N$ resp. výběrový průměr
	$\bar{x}_N$	je aktuální hodnota dané vstupní veličiny $X_N$
	$x_{Ni}$	je aktuální hodnota dané vstupní veličiny $X_N$
	$N$	je počet vstupních veličin $X$ nepřímého měření veličiny $Y$
	$n$	je počet opakovaných měření

### 4.5.1 Nejistoty nepřímých měření

Nejisto nepřímého měření se se získá ze vztahu:

$$u_i(y) = A_i \cdot u(x_i) \quad (2.11)$$

Kde  $A_i$  je citlivostní koeficient, který slouží jako předpoklad hodnoty  $x_i$  vstupní veličiny  $X_i$  a zjistí se jako parciální derivace funkce  $f$  podle vstupní veličiny  $X_i$  k odhadu její veličiny  $x_i$ . [9]

$$A_i = \left. \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_i} \right|_{X_1=x_1, \dots, X_n} \quad (2.12)$$

Koeficient citlivosti  $A_i$  popisuje, jak moc může být odhadnutá výstupní veličina  $y$  ovlivněna změnami na vstupní veličině  $X_i$ .

Dalším aspektem nepřímých metod měření je, zda vstupní veličiny  $X_1, X_2, \dots, X_n$  korelované nebo nekorelované. [15]

#### 4.5.1.1 Nekorelované vstupní veličiny

Jestliže odhady  $x_1, x_2, \dots, x_n$  jsou nekorelované (vzájemně spolu nesouvisí), tak je zákon šíření nejistot daný vztahem: [15]

$$u(\bar{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot u(\bar{x}_i) \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u^2(\bar{x}_i)} \quad (2.13)$$

kde  $A_i$  je koeficient citlivost  
 $u^2(\bar{x}_i)$  je nejistota odhadu vstupní veličiny  $Y$

#### 4.5.1.2 Korelované vstupní veličiny

Jestliže odhady  $x_1, x_2, \dots, x_n$  jsou korelované (vzájemně souvisí), musí se zahrnout rovněž také jednotlivé kovariance mezi jednotlivými odhady vstupních veličin, které přispívají k výsledné nejistotě nepřímého měření. Zákon šíření nejistot je potom popsán vztahem: [13]

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u^2(\bar{x}_i) + 2 \sum_{i=2}^n \sum_{j<1}^{n-1} A_i \cdot A_j \cdot u^2(\bar{x}_i, \bar{x}_j)} \quad (2.13)$$

Kovariance mezi navzájem korelovanými odhady veličin  $x_i, x_j$  se získá rovnicí: [13]

$$u(x_i, x_j) = u(x_i)u(x_j)r(x_i, x_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_j) \quad (2.14)$$

## 5. PŘÍPRAVA A NÁVRH MĚŘENÍ

Cílem bakalářské práce je navrhnout metodiku a následně experimentálně provést confirmaci šokové teplotní komory. K experimentu byla využita šoková teplotní komora WEISS TS 60. Jelikož pro confirmaci šokové teplotní komory neexistuje norma, na rozdíl od confirmací teplotní nebo teplotní vlhkostní komory, bylo potřeba si definovat, které parametry je potřeba v komoře ověřit a podle nich navrhnout metodiku měření. Samotný návrh a následné měření využívá části metodiky pro confirmaci teplotních komor, které jsou upraveny pro teplotní šokové komory. Návrh confirmace je dále detailně popsán tak, aby bylo možné celou zkoušku kdykoliv za stejných podmínek zopakovat.

### 5.1 Teplotní šoková komora

Pro experiment bude použita již zmíněná komora od společnosti WEISS. Objemově se jedná o nejmenší model teplotní šokové komory, a to konkrétně WEISS TS 60 s objemem 60 litrů. Komora jako celek obsahuje dvě komory – teplou a studenou. Teplá komora umožňuje nastavení teploty v rozsahu od +50 °C do +220 °C. Studená komora nabízí teplotní rozsah od -80 °C do +70 °C. Přesun mezi komorami trvá standardně jako u většiny teplotních šokových komor do 10 sekund.



**Obr. 5-1 Teplotní šoková komora WEISS TS 60 [20]**



## 5.2 Nastavení teplotní šokové komory

Zkoušky v teplotní šokové komoře lze provádět v různých režimech provozu a s různým nastavením. Proto je nutné toto nastavení definovat tak, aby bylo možno zkoušku korektně v budoucnu replikovat. Jedná se o tyto režimy provozu:

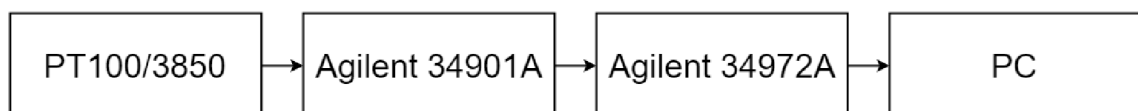
1. Normální režim provozu – jedná se o provozní režim, při kterém je možné dosáhnout rychlejší změny teploty testovaného vzorku po přesunu mezi komorami tím, že se komora, ve které se nenachází pohyblivý koš, předem temperuje na vyšší teplotu. Poté co se pohyblivý koš přesune do přehřáté nebo z podchlazené komory se teplota opět nastaví automaticky na požadovanou teplotu. [10]
2. Časově optimalizovaný režim provozu – tento režim provozu je podobný normálnímu režimu, kdy neaktivní komoru lze opět temperovat na vyšší nebo nižší teplotu, ale v tomto režimu se teplota temperování zrychluje tím, že se k aktivní požadované hodnotě zadává relativní přizpůsobení požadované hodnoty a tato přizpůsobená požadovaná hodnota zůstane takto nastavená, dokud teplota na čidle pohyblivého koše je v toleranci definované uživatelem. Následně se automaticky nastaví aktivní požadovaná hodnota. [10]
3. Energetický úsporný režim provozu – pokud je stabilizace ve studené nebo teplé komoře dlouhá je možné právě neaktivní komoru, tedy komoru, kde se nenachází zvedací koš, vypnout. Tímto se předejde zbytečné spotřebě energie. Neaktivní komoru lze před změnou polohy pohyblivého koše zapnout a nechat vytemperovat na neaktivní požadovanou teplotu. [10]

Další z možností nastavení teplotní šokové komory je funkce defrost neboli odmrazování. Tato funkce slouží k odmražení studené komory, které je možné si libovolně nastavit po určitém množství cyklů.

Pro konfirmaci bude teplotní šoková komora nastavena v normální režimu bez přehřevu a předchlazení neaktivní komory tak, že se neaktivní komora bude temperovat na stejnou teplotu, jako když je aktivní. Funkce odmražení studené komory bude v průběhu celého měření vypnuta.

## 5.3 Měřicí řetězec

Měřicí řetězec, který se běžně používá v laboratoři je složen z čtyř částí. První z nich je měřicí přístroj, konkrétně se jedná o Agilent 34972A, dále potom měřicí karta Agilent 34901A, následně 9 odporových snímačů SENSIT TG3 PT100/3850. V neposlední řadě se jedná o počítač se softwarem, který zaznamenává a ukládá měřená data.



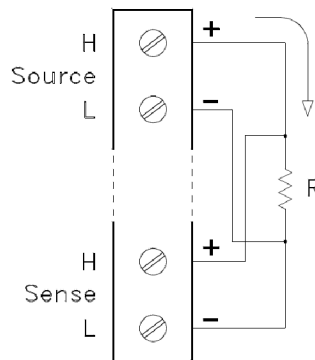
Obr. 5-2 Blokový diagram měřicího řetězce

### 5.3.1 Měřicí přístroj

Přístroj použitý ke sběru dat v průběhu měření byl Agilent 34970A. Přístroj obsahuje tři vstupy, do kterých lze zapojit různé měřicí karty podle typu a náročnosti měření a pracuje v rozlišení  $6 \frac{1}{2}$  číslice, tedy 22 bitů. Samotný přístroj se stará o synchronizaci měření všech připojených a používaných karet se schopností měřit a převádět až 11 různých vstupních signálů (proud, odpor, napětí apod.). Tyto signály je poté schopen přenášet do počítače pomocí USB rozhraní.

### 5.3.2 Měřicí karta

Pro měření byla využita měřicí karta Agilent 34901A. Jedná se o dvacetikanálovou multiplexorovou měřicí kartu s rychlostí vzorkování 60 kanálů/sekundu. Měřicí karta může být využita pro velké množství měření – napětí (AC, DC), proud (AC, DC), odpor (čtyřvodičové/dvou vodičové měření), teplota (RTD – čtyřvodičové/dvou vodičové měření), frekvenci nebo taky periodu. Karta je schopna měřit i všechny typy termočlánků, kdy uvnitř měřicí karty je zabudován referenční spoj pro termočlánkové měření. V průběhu experimentu bude využita možnost čtyřvodičového měření. [18]



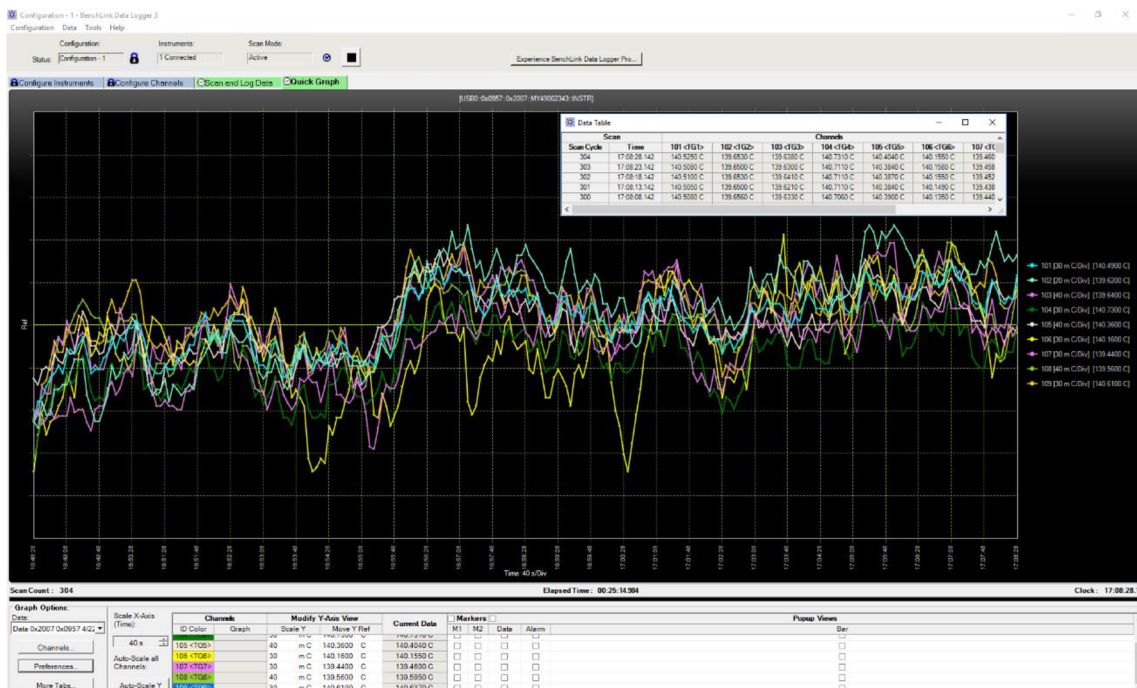
**Obr. 5-3 Způsob čtyřvodičového zapojení v měřicí kartě Agilent 34901A [17]**

Způsob čtyřvodičového zapojení teplotních senzorů v měřicí kartě Agilent 34901A je zobrazen na obrázku 5-3.

### 5.3.3 Měřicí program

K dokumentaci a zobrazení naměřených dat bylo využito programu Benchlink Data Logger 3 od společnosti Agilent. S pomocí této aplikace lze vcelku intuitivně nakonfigurovat a ovládat připojená čidla bez nutnosti programování a taky sledovat, ať už v reálném čase nebo po ukončení měření, naměřená data.

V aplikaci lze jednoduše přiřadit měřicí kartu z měřicího přístroje a následně si nakonfigurovat jednotlivé kanály. Dále lze nastavit před měřením rychlost vzorkování, odložený start a kdy měření ukončit. Po ukončení testu lze data exportovat do formátu .csv a poté s nimi dále pracovat.



**Obr. 5-4 Měřicí program Benchlink Data Logger 3**

Na obrázku 5-4 je zobrazena ukázka probíhajícího měření v měřicím programu Bechlink data Logger 3.

## 5.4 Teplotní snímače

Pro provedení konfirmace teplotní šokové komory byly vybrány platinové snímače teploty od firmy SENSIT a konkrétně TG3-25 Pt 100/3850-1/5B. Norma pro konfirmaci teplotních komor uvádí, že by měly být využity snímače buď odporového nebo termočlánekového typu s rozsahem teplot od -200 °C do +200 °C třídy A. [1] Vybrané snímače splňují většinu parametrů, s výjimkou teplotního rozsahu do -50 °C. Tyto parametry, byly dodány výrobcem a jsou zobrazeny v tabulce č. 5-1

**Tab. 5-1 Parametry platinového snímače TG3-25 Pt 100/3850-1/5B**

Typ čidla	Pt 100 / 3850 ppm / °C
Třída přesnosti 1/5 B	$\pm (0,06 + 0,001  t )$ ve °C
Měřicí rozsah	-50 °C až 200 °C
Krytí snímače	IP 67 podle ČSN EN 60 529
Doba odezvy	$\tau_{0,5} < 3$ s (v proudící vodě $> 0,2$ m/s)
Materiál pouzdra	Nerezová ocel DIN 1,4301
Průměr pouzdra	$3 \pm 0,1$ mm
Délka pouzdra	25 mm
Typ přívodního kabelu	Teflon stíněný 4x AWG30
Odpor přívodních vodičů	$0,178 \Omega$ při teplotě 25 °C

Tyto snímače budou použity v pohyblivém koši pro konfirmaci šokové komory na daných teplotních úrovních a následně se budou používat i pro určení doby stabilizace

teploty v celém objemu komory po přesunu pohyblivého koše ze studené komory do teplé komory a naopak.

Dalším typem snímače, který se bude pro konfirmaci šokové komory využívat je termočlánekový snímač. Jelikož přesun mezi jednotlivými komorami šokové teplotní komory trvá velmi krátkou dobu, je potřeba využít snímač, který bude mít krátkou časovou odezvu. Proto byl pro tento typ měření vybraný snímač TC 091.0P-80. Dále pro toto měření bude využit osobně vyrobený termočlánek, který byl vyrobený svařením termočlánekového drátu. Tento termočlánek nemá plášť, a proto bude mít velmi malou časovou odezvu při změně teploty. Termoelektrické snímače jsou v porovnání se snímači PT100 značně nepřesné, ale pro měření přechodového děje, tedy přesunu pohyblivého koše mezi komorami, lze tuto nepřesnost zanedbat. V tabulce jsou popsány parametry snímače TC 091.0P-80, které byly dodány výrobcem.

**Tab. 5-2 Parametry termoelektrického snímače TC 091.0P-80**

Typ termočlátku	„K“
Třída přesnosti	2 dle ČSN EN 60584-1
Měřicí rozsah	-50 °C až 450 °C
Krytí snímače	IP 54 podle ČSN EN 60 529
Průměr snímače	1,0 ± 0,05 mm
Délka pouzdra (aktivní části)	80 mm

Dále budou při měření využívány snímače, které jsou zabudovány ve studené komoře, teplé komoře a pohyblivém koši teplotní šokové komoře. Jedná se o sensory PT100 třídy A. Tyto snímače se budou primárně využívat v částech, kde se bude proměřovat teplota v jednotlivých komorách při přesunu pohyblivého koše.

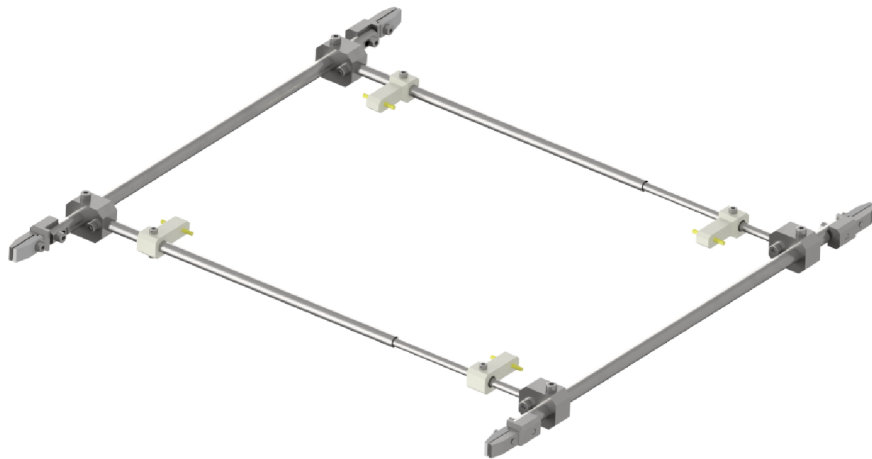
## 5.5 Konstrukce pro uchycení teplotních snímačů

Jelikož je nutno snímače umístit v komoře do určité vzdálenosti od stěn, je potřeba vytvořit konstrukci, která nám zaručí takovéto umístění. Jelikož v minulosti v laboratoři nikdo podobnou zkoušku neprováděl, bylo potřeba takovouto konstrukci navrhnout a vyrobit.

Protože se zkouška bude provádět bez zátěže, ale i se zátěží, bylo potřeba dbát na to, že bude ve středu komory umístěna police se vzorky. Výsledná konstrukce musí být dostatečně stabilní, aby byly snímače umístěny po celou dobu měření ve stejné pozici. Aby je bylo možné do této pozice umístit, bylo potřeba, aby se konstrukce pohybovala minimálně ve třech osách.

Posledním úkolem, na který se bylo potřeba v průběhu návrhu konstrukce soustředit je samotný materiál. Ta je vyrobená z nerezové oceli s minimálními rozměry, aby její objem nijak neovlivňoval teplotu v komoře. V neposlední řadě bylo důležité vymyslet uchycení snímačů ke této konstrukci. Toto uchycení je realizované držákem z teflonu, aby teplota tohoto držáku co nejméně zkreslovala výslednou hodnoty naměřenou snímačem.

Model výsledné konstrukce je zobrazen na obrázku 5-2 a výkresy jsou umístěny v příloze. Tyto konstrukce byly vyrobeny celkem tři a jsou umístěny ve třech úrovních v komoře – v horní části, uprostřed a ve spodní části.



**Obr. 5-5 Model konstrukce použité pro confirmaci šokové teplotní komory**

## **5.6 Měřicí proces**

Proces měření pro confirmaci šokové komory z velké části vychází z confirmace pro teplotní komory, který popisuje norma ČSN EN 60068-3-5. Proto součástí měřícího procesu byla confirmace teplotních hladin, při kterých se běžně teplotní šoková komora využívá a na který se vzorky, po přesunu mezi jednotlivými komorami, stabilizují. Při confirmaci se ale neměřilo teplotní rozložení v celé komoře, ale pouze v pracovním prostoru šokové komory, a tedy pohyblivého koše. Součástí confirmace je také měření přechodového děje neboli přesunu pohyblivého koše mezi jednotlivými komorami.

### **5.6.1 Confirmace teplot a přechodového děje**

Teplotní hladiny zvolené pro confirmaci teplotní šokové komory byly ty, které se běžně využívají při testování vzorků v laboratoři. Všechny tyto teploty byly confirmovány bez zátěže a taky se zátěží. Při confirmaci se zátěží byla použita konkrétní zátěž, která se využívá běžně pro vybrané teploty.

Confirmace byla taktéž provedena na přechodovém ději, tedy přesunu pohyblivého koše mezi jednotlivými komorami. Při confirmaci přechodového děje se budou sledovat změny teploty v celém pracovním prostoru pohyblivého koše a také doba, než se teplota v celém pracovním prostoru stabilizovala na toleranci udávanou výrobcem.

### **5.6.2 Doba stabilizace a doba expozice**

Doba stabilizace byla stanovena podle parametrů udávaného výrobcem. Výrobce garantuje teplotní homogenitu prostoru mezi  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C od nastavené teploty. Jakmile všechny snímače snímaly hodnotu s touto odchylkou, tak započala confirmace teplotní hladiny.

Norma ČSN EN 60068-2-14 ed. 2 Zkouška Na: Rychlá změna teploty s předepsanou dobou přemístění udává, že pokud není specifikací definovaná doba expozice, je doba expozice stanovena na 3 hodiny společně se stabilizací teplotní

hladiny po přesunu mezi komorami. Proto pro potvrzení teplotní hladiny byla zvolena doba expozice na příslušné teplotní hladině na 3 hodiny. [4]

Norma také udává, že po přesunu testovacího vzorku do příslušné komory musí být teplota celého pracovního prostoru v udávané toleranci za dobu, která je kratší než 10 % doby expozice. [4] Proto bylo provedeno měření tak, že vzorky byly vystaveny teplotní hladině po dobu 3 hodin od přesunu pohyblivého koše a taky po dobu dostatečně dlouhou tak, aby doba stabilizace na teplotě byla menší než desetina doby celkové expozice.

V praktické části bakalářské práce byla zjišťována taky doba expozice a stabilizace experimentálně zabudováním teplotních čidel přímo do vzorku. Více o tomto experimentu je popsáno v kapitole 8.3.

## 5.7 Klimatické podmínky v laboratoři

Podmínky v laboratoři během experimentu by měly být normální, konkrétně takové, jaké jsou definované v normě ČSN EN 60068-1. Tyto podmínky jsou uvedeny v tabulce 5-3.

**Tab. 5-3 - Normální klimatické podmínky v laboratoři**

Teplota [° C] *	Relativní vlhkost [%] *	Tlak vzduchu *
15 až 35	25 až 75	86 kPa až 106 kPa (860 mbar až 1060 mbar)
* Včetně krajních hodnot		

V průběhu celého experimentu byly tyto podmínky monitorovány a průběžně kontrolovány tak, aby byly tyto podmínky v průběhu celého měření dodrženy.

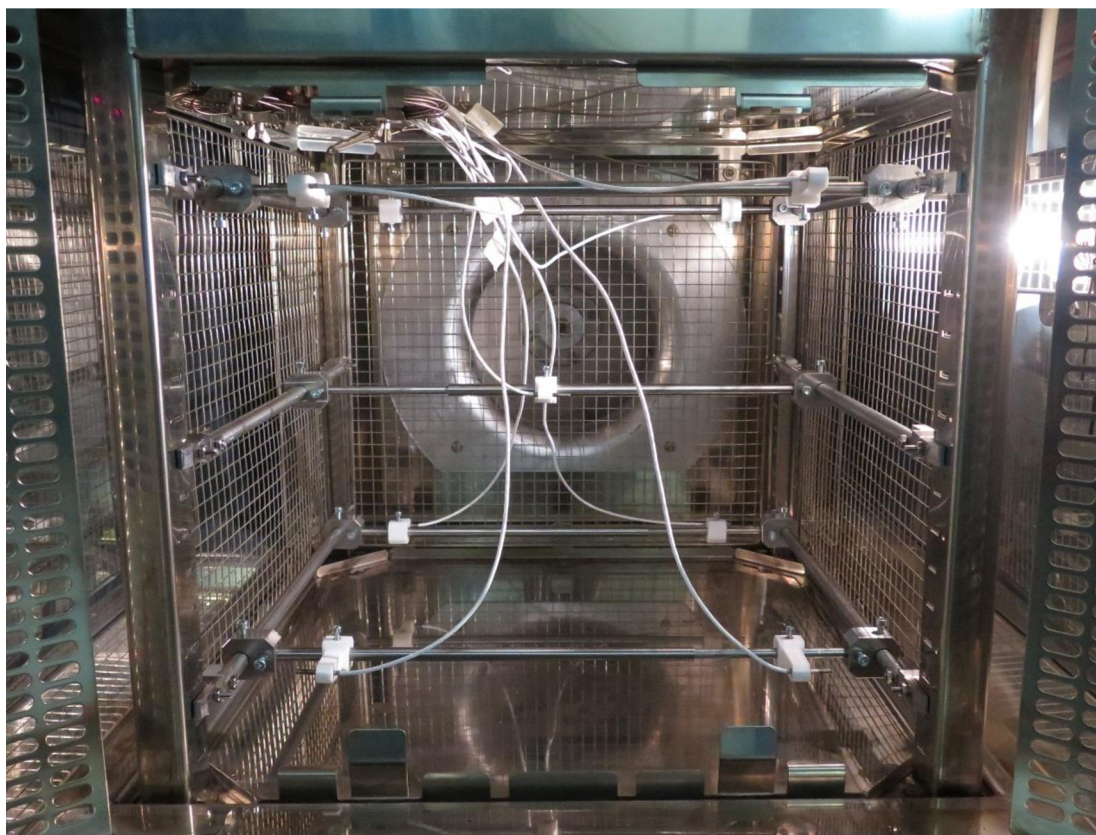
## 6. VLASTNÍ PROVEDENÍ MĚŘENÍ

Zadáním bakalářské práce bylo experimentálně proměřit pracovní prostor a všechny parametry teplotní šokové komory. K tomu bylo potřeba získat data, která byla naměřena devíti odporovými snímači, tak jak definuje norma ČSN EN 60068-3-5. Snímače, společně s měřicí kartou a měřícím přístrojem, byly před samotným měřením zkalibrovány (kopie kalibračního listu je přiložena v příloze bakalářské práce) a v průběhu měření se ze snímačů, za pomoci čtyřvodičového zapojení, vypočítala měřená teplota. Tato data budou následně zpracována a využita pro vyjádření nejistot měření.

Celá konfirmace teplotní šokové komory byla provedena podle návrhu v předešlé kapitole a její realizace je popsána v následujících kapitolách.

### 6.1 Umístění snímačů v komoře

Aby bylo možné snímače uchytit v minimálních vzdálenostech definovaných normou, bylo potřeba vyrobit konstrukci, která toto uchycení zaručí. Návrh i model konstrukce byl popsán v předešlé kapitole. Samotná konstrukce byla vyrobena z nerezové oceli. Aby nedocházelo ke zkreslování výsledků měření, byla konstrukce uspořádána tak, aby byly snímače v dostatečné vzdálenosti od kterékoliv nerezové části konstrukce.



**Obr. 6-1** Konstrukce pro uchycení teplotních snímačů v pracovním prostoru teplotní šokové komory

Snímače byly uchyceny ke konstrukci pomocí držáku vyrobeného z teflonu s minimálním množstvím materiálu. Tento držák je uchycený ke konstrukci pomocí šroubu a do teflonu je umístěna závitová vložka.



**Obr. 6-2 Uchycení teplotního snímače a konstrukce v komoře**

Na obrázku je vyobrazeno uchycení snímače v teflonovém držáku společně s uchycením konstrukce ke stěně pracovního koše teplotní šokové komory.

## 6.2 Zapojení měřící soustavy

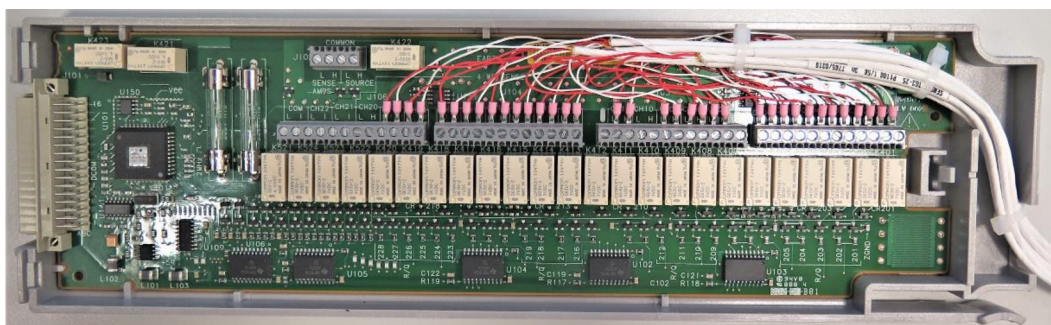
Pro konfirmaci bylo využito celkem devět snímačů od firmy Sensit a konkrétně Pt100/3850 délky 25 mm, které byly zapojeny čtyřvodičově v měřící kartě Agilent 34901A.

V tabulce jsou sepsány všechny teplotní snímače včetně jejich výrobních čísel, které byly využity pro konfirmaci teplotní šokové komory.

**Tab. 6-1 Využití teplotní snímače a jejich výrobní čísla**

Teplotní snímač	Výrobní číslo	Teplotní snímač	Výrobní číslo
T1	6178/0419	T6	7765/0319
T2	7761/0319	T7	7768/0319
T3	8364/0419	T8	8177/0419
T4	7763/0319	T9	8366/0419
T5	7760/0319		

V průběhu měření byl pro sběr dat využit měřící přístroj Agilent 34972A se sériovým číslem MY 49002343 a evidenčním číslem EV510.



**Obr. 6-3 Zapojení teplotních snímačů v měřící kartě Agilent A34901A**



### 6.3 Nastavení a ovládání komory

Teplotní komora byla v průběhu konfirmace teplotních hladin a přechodového děje nastavena v normálním provozním režimu bez temperování neaktivní komory na vyšší nebo nižší teplotu. Teplota v neaktivní komoře byla vždy temperována na stejnou teplotu jako kdyby byla v aktivním režimu.

Pro chlazení studené komory se mohou využít až dva kompresory. V průběhu chlazení byla studená komora chlazená oběma kompresory. Po celou dobu měření byla vypnuta funkce pro odmrazování studené komory.

Ventilátor, který zaručuje proudění vzduchu v celém objemu komory, byl po celou dobu měření zapnutý na 100 %.

Aby snímače T2 a T4 nebyly ovlivňovány vnitřním osvětlením komory, které vyzařuje teplo, bylo toto osvětlení v průběhu celého měření vypnuto.

Z pohledu údržby komory byla komora přibližně v polovině doby, po jejímž uplynutí bylo potřeba provést řádnou údržbu.

Celý provoz komory byl ovládán přes rozhraní Simpati, kdy bylo možné celou teplotní šokovou komoru naprogramovat a ovládat přes vzdálenou plochu. Proto bylo možné komoru ovládat a programovat odkudkoliv a v jakýkoliv čas.

### 6.4 Měřené parametry

Jedním z vybraných parametrů konfirmace teplotní šokové komory byla konfirmace teplotní hladiny. Teplotní hladiny byly vybrány takové, které se běžně využívají v laboratoři. Pro konfirmaci byla vybrána i teplotní hladina, při které se komora u výrobce standardně kalibruje. Jedná se o teplotní hladiny  $+125\text{ °C}$  a  $-40\text{ °C}$ .

Pro konfirmaci nejen teplotních hladin byly využity dva typy standardních zátěží, které se běžně v laboratoři testují.



**Obr. 6-4 Standardní zátěže použité při konfirmaci teplotní šokové komory**

Oba typy zátěže a jejich uložení v komoře v průběhu konfirmace, jsou zobrazeny na obrázku 6-4. Vlevo je zátěž číslo 1 a vpravo je zátěž číslo 2. Obě zátěže byly uloženy tak, jak se běžně ukládají v průběhu zkoušek v laboratoři. Tzn. tak, aby následná konfirmace parametrů byla využitelná pro praktické měření v praxi.

V tabulce 6-2 jsou sepsány všechny teplotní hladiny, při kterých byla provedena konfirmace jak se zátěží, tak bez zátěže.

**Tab. 6-2 Přehled confirmovaných teplotních hladin**

Teplotní hladina	Komora	Typ zátěže
-40 °C	Studená	1
-50 °C	Studená	2
+125 °C	Teplá	1
+140 °C	Teplá	1
+150 °C	Teplá	1
+180 °C	Teplá	2

Dalším z confirmovaných parametrů byla rychlost změny teploty. Pro teplou komoru začínala teplotní změna od 50 °C a studená od 25 °C. Konečná teplota byla poté teplota, která se běžně využívá pro testování v laboratoři. Tento parametr byl opět confirmován se zátěží a také bez zátěže.

V tabulce 6-3 je přehled všech confirmovaných teplotních změn jak se zátěží, tak bez zátěže.

**Tab. 6-3 Přehled confirmovaných teplotních změn**

Počáteční teplota	Konečná teplota	Komora	Typ zátěže
+50 °C	+140 °C	Teplá	1
+50 °C	+180 °C	Teplá	2
+25 °C	-40 °C	Studená	1
+25 °C	-50 °C	Studená	2

Posledním confirmovaným parametrem je přechodový děj neboli přesun pohyblivého koše mezi studenou komorou a teplou komorou nebo naopak mezi teplou komorou a studenou komorou.

Tento parametr byl confirmován pouze pro změnu z +140 °C na -40 °C a naopak z -40 °C na +140 °C. Pro tento typ confirmace byla vybrána zátěž číslo 1, která se běžně v tomto teplotním profilu testuje.

Při confirmaci tohoto parametru se pozorovala doba stabilizace v celém pracovním prostoru teplotní šokové komory.

Bohužel nebyla provedena confirmační měření tohoto typu na jiných teplotních profilech, protože test jako takový je pro teplotní snímače extrémně náročný vzhledem k prudce se měnící teplotě. Aby bylo možné teplotní snímače ještě využít, pro další měření byl změřen tento parametr pouze při jednom teplotním profilu.

## 6.5 Sběr dat v průběhu měření

Pro sběr dat byla využita měřicí soustava popsána v kapitole 5.3, která se v laboratoři standardně využívá pro confirmaci teplotních nebo vlhkostních komor. Interval, s jakým byla data zaznamenávána, se lišil v závislosti na parametru, který byl právě confirmován.

Teplotní hladiny byly zaznamenávány s intervalem 5 s. Po tříhodinové expozici na konkrétní teplotní hladině, byla data ukládána s tímto intervalem po dobu 30 minut.

Teplotní změna byla zaznamenávána s intervalem 1 s. Ukládání dat bylo spuštěno po tříhodinové expozici na počáteční teplotě a ukončeno, jakmile se teplota na všech

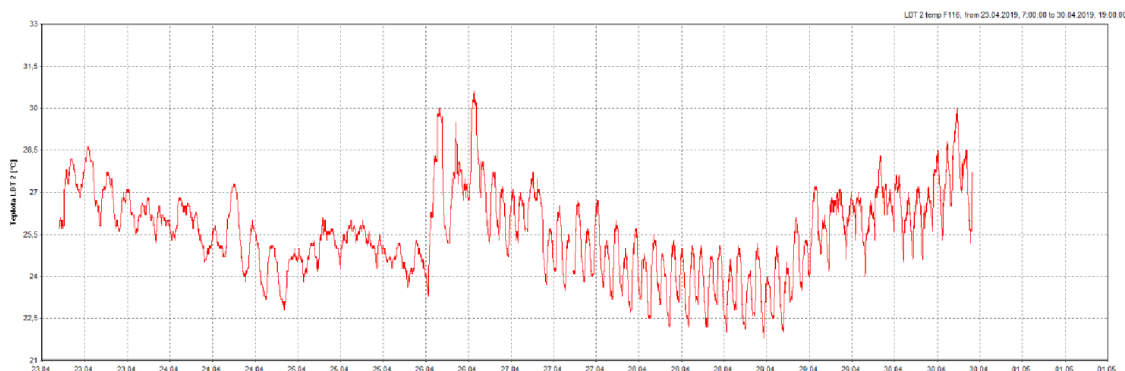
teplotních snímačích stabilizovala na konečné teplotě, v toleranci udávané výrobcem teplotní šokové komory.

Přechodový děj byl zaznamenáván s intervalem 1 s, kdy ukládání dat bylo zapnuto po tříhodinové expozici na počáteční teplotě. Data byla nepřetržitě ukládána i v době přesunu pohyblivého koše do druhé komory a následně ještě 1,5 hodiny v konečné teplotě.

Pro konfirmaci těchto parametrů nebylo jakkoliv využito teplotních snímačů, které jsou zabudovány v teplotní šokové komoře.

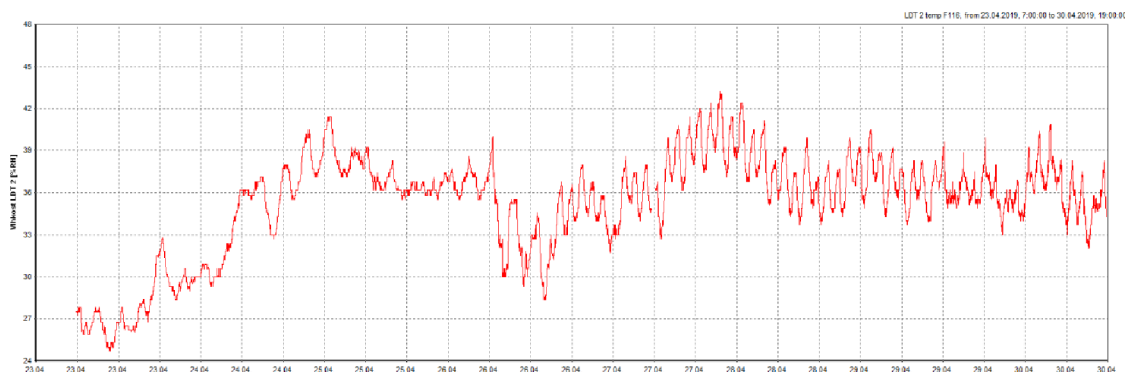
## 6.6 Podmínky v laboratoři

Podmínky v laboratoři byly po celou dobu měření monitorovány a pravidelně kontrolovány. Pro monitorování teploty a relativní vlhkosti v laboratoři byl využit monitoring HWg-STE (V.Č. 60038025476), ke kterému je připojeno teplotní a vlhkosní čidlo. Obě čidla jsou kalibrována na teplotu měřící s nejistotou 0,5 °C, a relativní vlhkost s nejistotou 3 %RH při konfidenční úrovni 95 %. Zaznamenané hodnoty teploty a relativní vlhkosti byly vygenerovány z aplikace HWg-PDSM a jsou v grafech níže.



**Obr. 6-5 Teplota v laboratoři v době konfirmace teplotní šokové komory**

Hodnota teploty v laboratoři byla po celou dobu měření v toleranci udávanou normou a maximální zaznamenaná hodnota teploty byla 30,6 °C. Minimální zaznamenaná hodnota teploty byla 21,8 °C.



**Obr. 6-6 Vlhkost v laboratoři v době konfirmace teplotní šokové komory**

Hodnota vlhkosti v laboratoři byla po celou dobu měření také v toleranci udávanou normou a maximální zaznamenaná hodnota relativní vlhkosti byla 43,2 %RH. Minimální zaznamenaná hodnota relativní vlhkosti byla 24,7 %RH.

Atmosférický tlak v laboratoři byl v průběhu měření pravidelně kontrolován meteostanicí a hodnoty zapisovány. Maximální zaznamenaná hodnota atmosférického tlaku v laboratoři byla 1002,3 hPa. Minimální zaznamenaná hodnota atmosférického tlaku byla 986,2 hPa.

V průběhu měření nebyla šoková teplotní komora vystavena přímému slunečnímu záření nebo magnetickému a vibračnímu rušení.

## 7. VÝPOČET NEJISTOT MĚŘENÍ

Tato kapitola bakalářské práce se zabývá stanovením nejistot a následně i stanovením celkové nejistoty měření při konfirmaci šokové teplotní komory. Každá podkapitola obsahuje ukázkou výpočtu pro teplotní hladinu 125 °C bez zátěže, ale samotné celkové vyhodnocení bylo provedeno pomocí programu Excel, ve kterém byly obsaženy všechny potřebné vzorce pro správný výpočet nejistoty. Teorie za jednotlivými výpočty nejistot měření je shrnuta v kapitole č. 4.

Jelikož byl celý měřicí řetězec kalibrován, byly v průběhu měření zaznamenávány z teplotních snímačů přímo hodnoty teploty. Proto nebude potřeba určovat nejistotu nepřímých měření a tím i citlivostní koeficient.

Pro určení celkové nejistoty byly určeny hlavní zdroje nejistot, které byly následně i vyjádřeny. Poslední podkapitola této kapitoly se zabývá dalšími možnými zdroji nejistot vstupujících do měření, ale nebyly zahrnuty do výpočtu celkové nejistoty měření šokové teplotní komory.

### 7.1 Nejistota typu A

Nejistotu typu A lze zjistit jako rozptyl hodnot opakovaných měření, která jsou provedena za stejných podmínek. Je dána jako celková směrodatná odchylka, která je tvořena součtem směrodatných odchylek každého z teplotních snímačů.

Ukázka výpočtu výběrové směrodatné odchylky teplotního snímače  $T_1$  a nejistoty typu A pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže, jsou v následujícím výpočtu:

$$s(T_1) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_{1i} - \bar{T}_1)^2} = \sqrt{\frac{1}{360-1} \cdot 1,920} = 0,0262 \text{ °C} \quad (7.1)$$

$$u_A = \frac{s(T)}{\sqrt{n}} = \frac{0,290}{\sqrt{9 \cdot 360}} = 0,0051 \text{ °C} \quad (7.2)$$

Jelikož bylo během třiceti minutového měření vytvořeno 360 záznamů teploty od každého z devíti teplotních snímačů, nebylo potřeba nejistotu typu A násobit koeficientem rozšíření.

### 7.2 Nejistota typu B

Jako hlavní zdroje nejistoty měření typu B byly využity nejistoty typu B definované normou ČSN EN 60068-3-11, které jsou popsány v normě samotné nebo v kapitole 4.2.

#### 7.2.1 Nejistota kalibrace

Před započítáním konfirmace teplotní šokové komory byla provedena kalibrace celého měřicího řetězce v akreditované měřicí laboratoři. Za pomoci této kalibrace bylo možné určit nejistotu měření celého řetězce. Kopie kalibračního listu č. 3238F-19 je uvedena v příloze této bakalářské práce.

Výsledná rozšířená nejistota měření má normální rozdělení, protože je součtem mnoha složek z kalibračního řetězce. Toto rozdělení poté odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 % a je tedy součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k_r = 2$ .

**Tab. 7-1 Použité etalony pro kalibraci měřícího řetězce**

Použité etalony	Typ	Výrobní číslo
Platinový odporový teploměr	Pt 100	Ič. 387
Precisní teploměr	CROPICO 3001	065254
Kalibrační píčka	RTC-700 B	639441-00521

Tabulka 7-1 uvádí soupis všech použitých etalonů pro kalibraci měřícího řetězce použitého pro kalibraci. Měřící řetězec byl kalibrován pro teploty  $-50\text{ °C}$ ,  $+150\text{ °C}$  a  $+200\text{ °C}$ .

Výsledná hodnota nejistoty měření kalibrace pro měřící řetězec je:

$$u_{BK} = 0,2\text{ °C}$$

## 7.2.2 Nejistota teplotních snímačů

Jedna z významných nejistot typu B ovlivňující celkovou nejistotu měření, je nejistota odporových teplotních snímačů použitých při měření. Celkovou nejistotu teplotního snímače tvoří několik zdrojů nejistot typu B a to: přesnost, nelinearitu a hysterezi. Při určování nejistoty teplotních snímačů se budou brát v potaz pouze dva z těchto tři určených zdrojů nejistot a to: přesnost a nelinearita.

### 7.2.2.1 Přesnost teplotních snímačů

Přesnost snímačů, která je definovaná výrobcem, může do celkové nejistoty zanášet jistou nejistotu. Ve specifikaci dodané výrobcem je uveden vzorec, na základě kterého lze určit chybu snímače, a následně i nejistotu typu B. Chybu snímače  $\Delta t$  lze určit ze vztahu:

$$\Delta t = \pm(0,06 + 0,001|t|) \quad [^\circ\text{C}] \quad (7.3)$$

Chyba snímače byla poté vypočtena z průměrné hodnoty dat všech teplotních snímačů použitých ke konfirmaci v pracovním prostoru teplotní šokové komory. Po dosazení průměrné hodnoty do rovnice je výsledná chyba snímače  $\Delta t$  pro teplotní úroveň  $125\text{ °C}$  bez zátěže:

$$\Delta t_{125} = \pm(0,06 + 0,001 \cdot 124,99) = \pm 0,185\text{ °C} \quad (7.4)$$

Jelikož může být odchylka v obou směrech, tak se předpokládá rovnoměrné rozložení a nejistota měření  $u_{BS}$  způsobena přesností teplotního snímače na teplotní úrovni  $125\text{ °C}$  bez zátěže má hodnotu:

$$u_{BS} = \frac{\Delta t_{125}}{\chi} = \frac{0,185}{\sqrt{3}} = 0,1068 \doteq 0,11\text{ °C} \quad (7.5)$$

### 7.2.2.2 Nelinearita teplotních snímačů

Nelinearitu snímače určuje maximální velikost odchylky výstupní hodnoty teplotního snímače od ideální přímky získané pomocí lineární regrese charakteristiky teplotního snímače.

Podobně jako u výpočtu přesnosti snímače byly při výpočtu nelinearity snímače použity průměrné hodnoty dat všech teplotních snímačů použitých ke konfirmaci pracovního prostoru teplotní šokové komory.

Pro výpočet lineární hodnoty teploty byla využita rovnice 7.3. Následně po vyjádření rovnice regrese bylo možné určit hodnotu  $t_{lin}$

$$t_{lin} = 1,001t + 0,06 = 1,001 \cdot (-50) + 0,06 = -49,9900 \text{ °C} \quad (7.6)$$

$$|\Delta t| = t_{lin} - \bar{t} = -49,9900 + 50,3138 = 0,3238 \text{ °C} \quad (7.7)$$

$$u_{BL} = \frac{|\Delta t|_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{0,3238}{\sqrt{3}} = 0,1869 \doteq 0,19 \text{ °C} \quad (7.8)$$

**Tab. 7-2** Tabulka výpočtů pro určení nejistoty nelinearity teplotního snímače

t [°C]	-50	-40	125	140	150	180
$\bar{t}$ [°C]	-50,32	-40,24	124,99	140,01	150,01	179,93
$t_{lin}$ [°C]	-49,99	-39,98	125,19	140,20	150,21	180,24
$ \Delta t $ [°C]	0,33	0,26	0,19	0,19	0,20	0,31
$u_{BL}$ [°C]	0,19	0,15	0,11	0,11	0,12	0,18

Tabulka 7-2 obsahuje hodnoty pro výpočet nelinearity snímače a následně i nelinearitou způsobené nejistoty. Pro výpočet nejistoty byly použity data z konfirmace teplotních hladin bez standardní zátěže, kde  $\bar{t}$  je průměrná hodnota naměřených dat všech devíti teplotních snímačů umístěných v pracovním prostoru teplotní šokové komory. Dále  $t_{lin}$  je hodnota získaná za pomoci rovnice, tedy lineární regrese teplotního snímače.  $|\Delta t|$  je rozdíl lineární hodnoty teploty a průměrné hodnoty teploty všech snímačů.  $u_{BL}$  je výsledná hodnota nejistoty způsobená nelinearitou snímače a modře zvýrazněný sloupeček v tabulce představuje největší hodnotu této nejistoty. Tato hodnota bude použita jako nejistota typu B pro nelinearitu snímače pro všechny teplotní hladiny.

## 7.3 Nejistoty teplotní šokové komory

Dalšími nejistotami typu B, které vstupují do výsledné kombinované nejistoty, je nejistota daná vlastnostmi komory. Jednou z nich je teplotní gradient, který je dán rozdílnými hodnotami teploty v různých místech pracovního prostoru komory. Druhou významnou nejistotou je kolísání teploty dané změnou teploty v daném bodě pracovního prostoru komory.

Vyjádření a popis určení obou výše popsanych nejistot je v následujících podkapitolách.

### 7.3.1 Gradient teploty

Teplotní gradient je určen jako maximální výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru všech devíti snímačů teploty rozmístěných v pracovním prostoru šokové teplotní komory.

Z naměřených dat se teplotní gradient stanoví tak, že se ze všech teplotních snímačů v pracovním prostoru ve stejný časový okamžik vypočítá směrodatná odchylka. Následně se ze všech směrodatných odchylek vybere nejvyšší hodnota a tato hodnota reprezentuje teplotní gradient teploty. Praktické určení z dat pro teplotní hladinu 125 °C bez zátěže je zobrazeno v tabulce.

**Tab. 7-3 Ukázka naměřených dat pro vyjádření teplotního gradientu**

Čas	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	T <sub>3</sub> [°C]	T <sub>4</sub> [°C]	T <sub>5</sub> [°C]	T <sub>6</sub> [°C]	T <sub>7</sub> [°C]	T <sub>8</sub> [°C]	T <sub>9</sub> [°C]	$\bar{T}$ [°C]	$s_T^2$ [°C]
13:57:19	125,22	124,71	124,80	125,52	125,18	124,58	124,73	124,57	125,47	124,98	0,3750
13:57:24	125,23	124,71	124,80	125,53	125,19	124,57	124,75	124,60	125,48	124,98	0,3758
13:57:29	125,23	124,71	124,82	125,53	125,19	124,59	124,75	124,59	125,48	124,99	0,3732
13:57:34	125,23	124,70	124,80	125,53	125,18	124,58	124,72	124,57	125,46	124,97	0,3778
13:57:39	125,23	124,70	124,80	125,53	125,18	124,58	124,73	124,56	125,46	124,97	0,3783
13:57:44	125,23	124,71	124,81	125,54	125,18	124,59	124,74	124,59	125,46	124,98	0,3725
13:57:49	125,23	124,70	124,81	125,54	125,19	124,58	124,73	124,59	125,46	124,98	0,3762
13:57:54	125,23	124,70	124,82	125,54	125,18	124,59	124,73	124,61	125,47	124,99	0,3740
13:57:59	125,24	124,72	124,83	125,54	125,19	124,61	124,74	124,62	125,49	125,00	0,3715

Matematicky se gradient teploty určí následovně:

$$\delta_G(T) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} = \sqrt{\frac{1}{9-1} \cdot 1,1448} = 0,3783 \text{ °C} \quad (7.9)$$

Jelikož je nejistota daná teplotním gradientem určena jako směrodatná odchylka z opakovaných měření, předpokládá se u ní normální rozložení. Potom výpočet nejistoty typu B, způsobené teplotním gradientem v pracovním prostoru komory, je dán: [2]

$$u_{BG} = \frac{\delta_G(T)}{\chi} = \frac{0,3783}{1} = 0,3773 \doteq 0,38 \text{ °C} \quad (7.10)$$

Jestliže by byly rozdíly mezi hodnotami směrodatných odchylek velké, je vhodné vzít největší rozdíl a s výsledným rozdílem zacházet jako s rovnoměrným rozdělením. [2]

### 7.3.2 Kolísání teploty

Kolísání teploty se určí podobně jako gradient teploty s tím rozdílem, že se určuje maximální výběrová směrodatná odchylka pro jednotlivé teplotní snímače.

Z naměřených dat se kolísání teploty stanoví tak, že se pro každý teplotní snímač vypočítá výběrová směrodatná odchylka, určí se největší hodnota, a ta následně



reprezentuje nejistotu způsobenou kolísáním teploty. Praktické určení z dat pro teplotní hladinu 125 °C bez zátěže je zobrazeno v tabulce 7-4

**Tab. 7-4 Ukázka naměřených dat pro vyjádření kolísání teploty**

Čas	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	T <sub>3</sub> [°C]	T <sub>4</sub> [°C]	T <sub>5</sub> [°C]	T <sub>6</sub> [°C]	T <sub>7</sub> [°C]	T <sub>8</sub> [°C]	T <sub>9</sub> [°C]
13:57:19	125,22	124,71	124,80	125,52	125,18	124,58	124,73	124,57	125,47
13:57:24	125,23	124,71	124,80	125,53	125,19	124,57	124,75	124,60	125,48
13:57:29	125,23	124,71	124,82	125,53	125,19	124,59	124,75	124,59	125,48
13:57:34	125,23	124,70	124,80	125,53	125,18	124,58	124,72	124,57	125,46
13:57:39	125,23	124,70	124,80	125,53	125,18	124,58	124,73	124,56	125,46
13:57:44	125,23	124,71	124,81	125,54	125,18	124,59	124,74	124,59	125,46
13:57:49	125,23	124,70	124,81	125,54	125,19	124,58	124,73	124,59	125,46
$\bar{T}_i$ [°C]	125,24	124,72	124,83	125,53	125,18	124,61	124,77	124,60	125,46
$s_{T_i}^2$ [°C]	0,0262	0,0282	0,0323	0,0309	0,0358	0,0272	0,0355	0,0413	0,0328

Matematicky se kolísání teploty pro snímač T<sub>8</sub> určí následovně:

$$\delta_{KT}(T_8) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_{8i} - \bar{T}_8)^2} = \sqrt{\frac{1}{360-1} \cdot 0,6120} = 0,0413 \text{ °C} \quad (7.11)$$

Opět se předpokládá, podobně jako u gradientu teploty, normální rozložení a potom výpočet nejistoty typu B, způsobené kolísáním teploty v pracovním prostoru komory, je dán: [2]

$$u_{BKT} = \frac{\delta_{KT}(T_8)}{\chi} = \frac{0,0413}{1} = 0,0413 \doteq 0,04 \text{ °C} \quad (7.12)$$

Podobně jako u gradientu teploty, pokud by byly rozdíly mezi hodnotami směrodatných odchylek velké, je vhodné vzít největší rozdíl a s výsledným rozdílem zacházet jako s rovnoměrným rozdělením. [2]

## 7.4 Kombinovaná standardní nejistota měření

Po určení všech zdrojů nejistot typu B a následně vyčíslení jejich hodnot, je možné vyjádřit celkovou nejistotu typu B  $u_{Bz}$ . Po vyjádření celkové nejistoty typu B lze společně s nejistotou typu A vypočítat kombinovanou nejistotu  $u_C$  a z ní následně, za pomoci koeficientu rozšíření, určit rozšířenou nejistotu  $U$ .

Celková nejistota typu B je dána vztahem:

$$u_{Bz} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bzi}^2} \quad [°C] \quad (7.13)$$

Za  $u_{Bzi}$  z rovnice 7.13 se dosadí hodnoty každého ze zdrojů nejistot typu B, které byly vyjádřeny. V tabulce č. 7-5 je přehled všech vyjádřených nejistot typu B, společně

s jejich hodnotami pro měření bez zátěže  $t_{BZ}$ , pro měření se standardní zátěží  $t_{SZ}$  a pro teplotní hladinu 125 °C.

**Tab. 7-5 Přehled vyjádřených zdrojů nejistoty měření [12]**

t = 125 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty	Rozdělení	$t_{BZ}$ [°C]	$t_{SZ}$ [°C]	
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,11	0,11
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,38	0,51
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,04	0,06
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,01	0,01

Matematický výpočet celkové nejistoty typu B  $u_{BZ}$  pro teplotní hladinu 125 °C bez zátěže:

$$u_{BZ} = \sqrt{u_{BK}^2 + u_{BS}^2 + u_{BL}^2 + u_{BG}^2 + u_{BKT}^2} \quad (7.14)$$

$$u_{BZ} = \sqrt{0,20^2 + 0,11^2 + 0,19^2 + 0,38^2 + 0,04^2} \quad (7.15)$$

$$u_{BZ} = \sqrt{0,2342} = 0,4839 \text{ °C} \quad (7.16)$$

Určením celkové nejistoty typu B  $u_{BZ}$  je možné s pomocí nejistoty typu A  $u_A$  stanovit hodnotu kombinované nejistoty  $u_C$  pro teplotní hladinu 125 °C bez zátěže.

$$u_C = \sqrt{u_{BZ}^2 + u_A^2} \quad [°C] \quad (7.18)$$

$$u_C = \sqrt{0,4839^2 + 0,0051^2} = 0,4839 \doteq 0,48 \text{ °C} \quad (7.19)$$

Získáním celkové nejistoty  $u_C$  lze dále určit s pomocí koeficientu rozšíření  $k_r = 2$  hodnotu celkové rozšířené kombinované nejistoty  $U_C$ . Provedením tohoto výpočtu zajistíme zvýšení pravděpodobnosti, že se skutečná měřená hodnota bude v daném intervalu nacházet s pravděpodobností 95 %.

$$U_C = k_r \cdot u_C \quad [°C] \quad (7.20)$$

$$U_C = 2 \cdot 0,4839 = 0,9678 \doteq 0,97 \text{ °C} \quad (7.21)$$

K určení koncového výsledku je už jenom potřeba zjistit průměrnou hodnotu teploty všech snímačů na teplotní úrovni 125 °C bez zátěže, a následně využít i vypočítané rozšířené nejistoty. Výsledná průměrná teplota v pracovním prostoru teplotní šokové komory na teplotní úrovni 125 °C bez standardní zátěže, byla stanovena na hodnotu  $(124,99 \pm 0,97)$  °C při konfidenční úrovni 95 %. Výsledná průměrná teplota v pracovním prostoru teplotní šokové komory na teplotní úrovni 125 °C se standardní zátěží, byla stanovena na hodnotu  $(125,09 \pm 1,18)$  °C při konfidenční úrovni 95 %.

## 7.5 Další zdroje nejistot měření typu B

Do samotného výsledku celkové nejistoty mohou vstoupit ještě další zdroje nejistot, které mohou nejistotu výsledek významně či nevýznamně ovlivnit. Zdrojů nejistot typu B může být mnoho, ale jedny z hlavních mohou být tyto:

- **Hystereze teplotních snímačů** – Hystereze popisuje rozdíl mezi výstupní hodnotou teplotního snímače při poklesu a vzrůstu podmínek. Tato nejistota nebyla určena z důvodu chybějících dat pro výpočet. Samotná nejistota způsobená hysterezí teplotního snímače, by významně neovlivnila výslednou hodnotu celkové nejistoty.
- **Drift přístrojů a komory** – nejistota způsobená změnou přístrojů v čase. V případě šokové teplotní komory, může mít tato nejistota významný vliv. Vlivem prudce se měnící teploty, může dojít časem k degradaci nejenom měřících přístrojů, ale i pracovního prostoru. Tato nejistota by se matematicky vyjadřovala velice obtížně. Jedním z možných řešení by bylo, že by se zařízení a přístroje nechaly na začátku měření kalibrovat. Po dlouhodobém testu, by tato zařízení opět projít kalibrací. Následně by se porovnávala kalibrace na začátku a na konci měření. Z praktického měření, které bylo provedeno v horizontu týdne, bylo možné pozorovat chybu způsobenou driftem. Po závěrečném teplotním cyklování, kdy senzory podstoupily změnu teploty z  $-40\text{ °C}$  na  $140\text{ °C}$ , se po době 5 cyklů, z nichž každý trval jednu hodinu, přestaly v závěru měření úplně měřit dva snímače teploty, a jeden z nich ukazoval hodnotu teploty o  $50\text{ °C}$  větší.
- **Nejistota způsobená přívodními kabelem** – dalším zdrojem nejistoty by mohl být odpor přívodních vodičů. Samotná hodnota odporu vodiče je  $0,178\ \Omega$  na metr vodiče, při teplotě  $25\text{ °C}$ . Jelikož byly teplotní snímače zapojeny čtyřvodičově, lze konstatovat, že tato nejistota by nijak významně neovlivnila výslednou celkovou nejistotu.

## 8. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

V této kapitole bakalářské práce se budou vyhodnocovat data z měření a utvářet výsledky a závěry jednotlivých částí měření. Kapitola obsahuje tři hlavní podkapitoly, v každé z nich se rozebírají jednotlivé části měření. Jedná se o konfirmaci teplotních úrovní, dále potom o změnu teploty jednotlivých komor šokové teplotní komory, a na závěr o přechodový děj, tedy přesun mezi jednotlivými komorami.

Výsledné hodnoty uvedené v tabulkách a grafech vycházejí z výpočtů, které byly provedeny v kapitole 7.

### 8.1 Teplotní úrovně

Tato část podkapitoly se zabývá konfirmací teplotních úrovní, které jsou nejčastěji využívány pro provádění zkoušek rychlé změny teploty v laboratoři. Každá z teplotních úrovní byla konfirmována jak bez zátěže, tak se standardní zátěží, která se běžně používá v laboratoři.

Součástí vyhodnocení každé teplotní úrovně, je také vyhodnocení kolísání teploty a teplotního gradientu v pracovním prostoru teplotní šokové komory. Dále potom vyhodnocení průměrné teploty v pracovním prostoru a její odchylka od teploty nastavené. Součástí vyhodnocení teplotní úrovně je výpočet standardní nejistoty. V závěru vyhodnocení každé teplotní úrovně jsou umístěny souhrnné výsledky pro danou teplotní úroveň.

#### 8.1.1 Teplotní úroveň 125 °C

Teplotní úroveň s hodnotou 125 °C, byla první konfirmovanou v teplé komoře šokové komory. Tato teplota byla zvolena, protože je výrobcem uváděna jako kalibrační úroveň pro teplou komoru.

Při vyhodnocování dat teplotní úrovně 125 °C byly z každého snímače určeny důležité hodnoty. Ty byly zaznamenány do tabulky 8-1 pro konfirmaci bez standardní zátěže, a následně do tabulky 8-2 konfirmaci se standardní zátěží.

**Tab. 8-1 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 125 °C bez zátěže [12]**

t = 125 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	125,237	124,716	124,829	125,525	125,184	124,607	124,767	124,603	125,462
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,237	0,284	0,171	-0,525	-0,184	0,393	0,233	0,397	-0,462
$\delta_{KT}$ [°C]	0,026	0,028	0,032	0,031	0,036	0,027	0,036	0,041	0,033

Tabulka obsahuje průměrné hodnoty teploty  $\bar{t}$  pro každý z devíti teplotních snímačů, včetně odchylek jednotlivých teplotních snímačů od nastavené teploty. V poslední řadě tabulka obsahuje hodnotu kolísání teploty snímače  $\delta_{KT}$ .

**Tab. 8-2** Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 125 °C se zátěží [12]

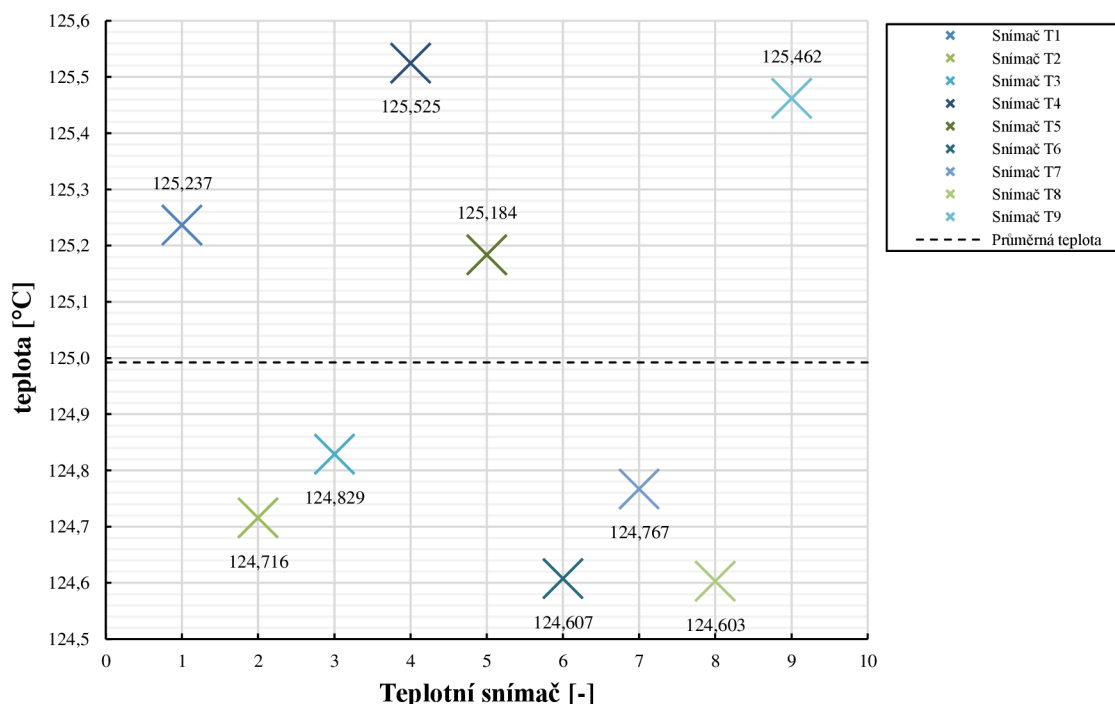
t = 125 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	125,484	124,681	124,700	125,682	125,342	125,197	124,542	124,610	125,615
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,484	0,319	0,300	-0,682	-0,342	-0,197	0,458	0,390	-0,615
$\delta_{KT}$ [°C]	0,044	0,020	0,025	0,056	0,042	0,054	0,028	0,026	0,063

V každé z tabulek je modře zvýrazněna největší hodnota odchylky průměrné teploty od nastavené teploty, a taky největší hodnota teplotního kolísání snímače.

### 8.1.1.1 Průměrná teplota pracovního prostoru

Součástí vyhodnocení výsledků měření bylo určení průměrné teploty pracovního prostoru, vycházející jako celková průměrná hodnota teploty všech devíti snímačů.

Průměrné hodnoty teploty jednotlivých snímačů jsou sepsány v tabulce 8-1. Tyto hodnoty byly graficky vyneseny a jsou zobrazeny v obrázku 8-1.



**Obr. 8-1** Průměrné teploty jednotlivých teplotních snímačů pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže

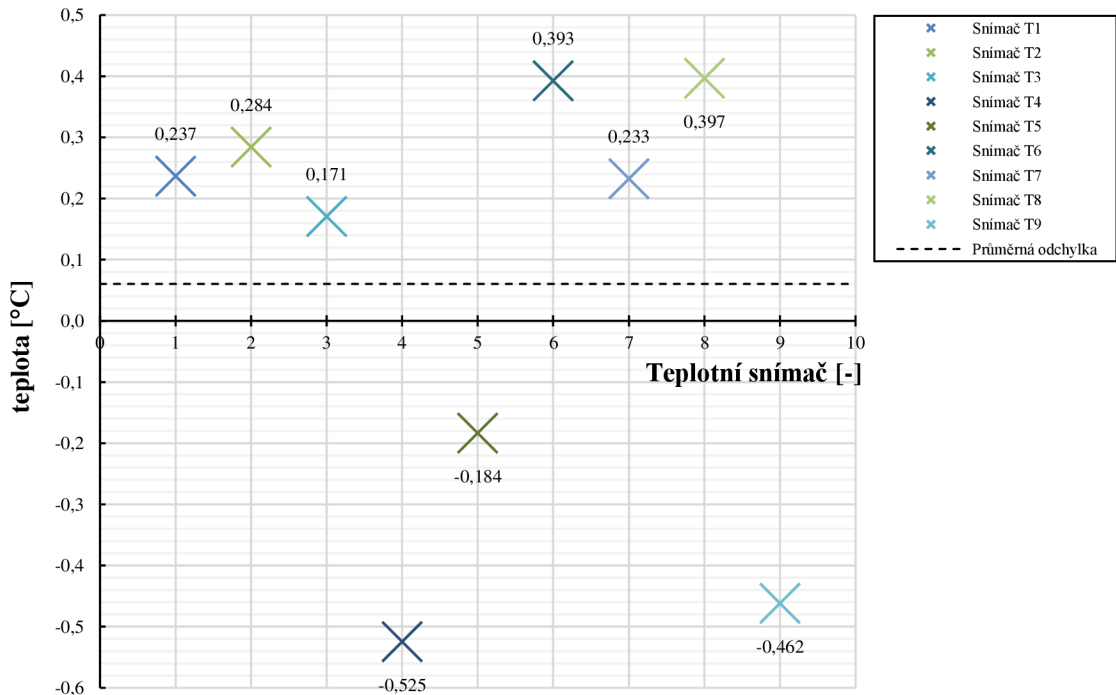
Vynesením hodnot do grafu (obrázek 8-1) lze pozorovat, jak se jednotlivé průměrné hodnoty teploty každého z devíti teplotních snímačů odchylují od výsledné průměrné teploty, která byla po výpočtu stanovena na hodnotu 124,99 °C pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže.

V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla průměrná teplota v pracovním prostoru stanovena na hodnotu 125,09 °C.

### 8.1.1.2 Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené

Další z parametrů, který se po měření vyhodnocoval, byla odchylka průměrné hodnoty teploty od hodnoty teploty nastavené neboli požadované. Hodnota odchylky teploty v celém pracovním prostoru od požadované teploty je výrobcem daná jako  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C.

Největší absolutní odchylka hodnoty teploty měřené od požadované, pro teplotní hladinu 125 °C bez zátěže, byla -0,525 °C naměřená na snímači T4. Tento snímač je umístěn v pravém horním rohu u dveří teplotní šokové komory. Jednotlivé hodnoty odchylek pro každý z devíti snímačů je graficky znázorněn v obrázku 8-2.



**Obr. 8-2 Průměrné absolutní odchylky jednotlivých teplotních snímačů pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže**

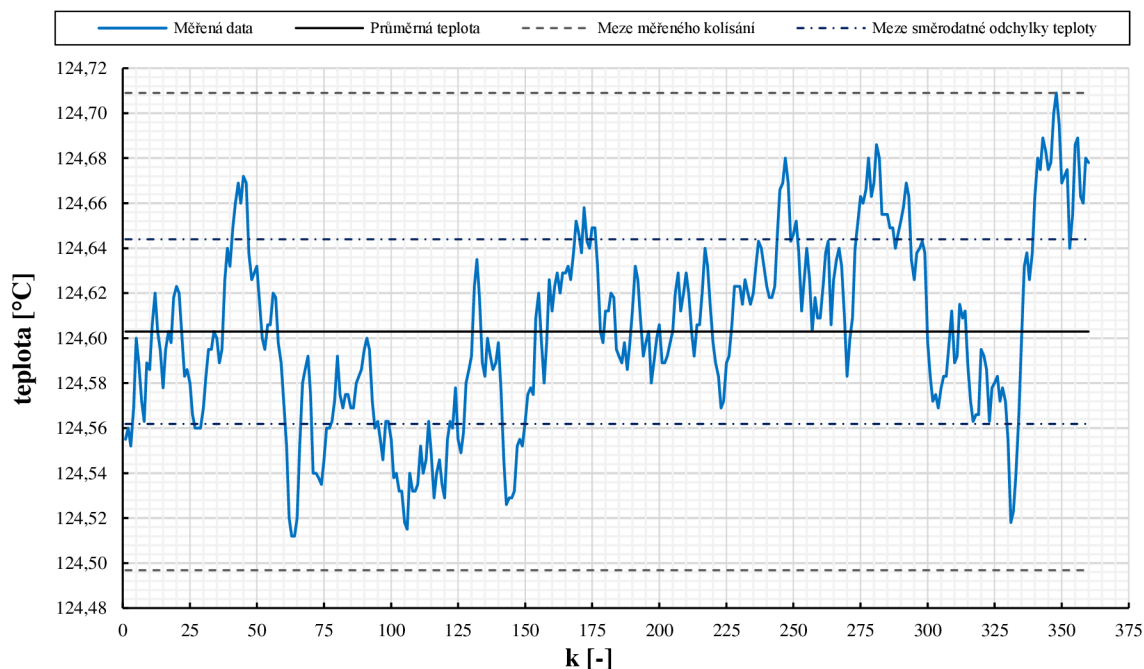
Při porovnání hodnoty průměrné odchylky v celém pracovním prostoru nezatížené teplotní šokové komory (0,060 °C) a maximální hodnoty odchylky naměřené na teplotním snímači T4 (-0,525 °C), lze konstatovat, že pracovní prostor teplotní šokové komory měří v toleranci udávané výrobcem.

Určením průměrné hodnoty odchylky v pracovním prostoru v případě, kdy komora byla zatížena (-0,021 °C), a maximální odchylky naměřené na snímači T4 (-0,682 °C), lze říct, že komora měřila v toleranci udávané výrobcem ( $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C).

### 8.1.1.3 Kolísání teploty

Jedním z parametrů, který bylo potřeba vyhodnotit při confirmaci teplotní úrovně, bylo kolísání teploty v pracovním prostoru teplotní šokové komory. Při vyhodnocování měření se určovalo kolísání teploty na každém teplotním snímači, tedy cekem v devíti bodech. Hodnota teplotního kolísání se stanovila tak, že se určila směrodatná odchylka každého z devíti snímačů, včetně její největší hodnoty.

V případě confirmace teplotní úrovně 125 °C bez standardní zátěže, byla největší hodnota teplotního kolísání na snímači T8. Tato hodnota byla 0,041 °C a průběh teplotního kolísání teplotního snímače T8, znázorněn na obrázku 8-1, kde se na svislé ose nachází hodnota teploty, a na vodorovné ose jednotlivé teplotní záznamy, zaznamenávány každých 5 sekund (1 dílek = 125 sekund).



**Obr. 8-3 Kolísání teploty snímače T8 na teplotní úrovni 125 °C bez zátěže**

V případě zatížení komory standardní zátěží, byla největší hodnota teplotního kolísání na snímači T9 s hodnotou 0,063 °C.

Do grafu zobrazeného na obrázku 8-1, byly na svislou osu vyneseny hodnoty teplotního kolísání snímače T8, a na vodorovnou osu jednotlivé vzorky k, tedy jednotlivé záznamy o teplotě, které byly zaznamenávány každých 5 sekund po dobu 30 minut.

Dále je v grafu (obrázek 8-1) zobrazena průměrná hodnota teplotního kolísání, která je vyobrazena černou plnou čarou, jejíž hodnota odpovídá 124,603 °C. Fialové čerchované čáry znázorňují meze směrodatné odchylky od průměrné hodnoty. Tato mez odpovídá chybě dané kolísáním, tedy  $124,603 \pm 0,041$  °C. Šedé čárkované čáry pak znázorňují mez měřeného teplotního kolísání, tedy největšímu rozdílu průměrné hodnoty teploty od naměřené hodnoty teplotního kolísání. Tato hodnota byla vypočtena jako  $124,603 \pm 0,106$  °C.

#### 8.1.1.4 Teplotní gradient

Dalším z parametrů, který bylo potřeba určit, je hodnota teplotního gradientu. Teplotní gradient určuje hodnotu maximálního rozdílu teplot v pracovním prostoru. V případě určování teplotního gradientu se využívalo průměrných hodnot všech devíti snímačů.

Hodnota gradientu pro teplotní úroveň 125 °C, která nebyla zatížena standardní zátěží, byla 0,9 °C, a určena z průměrných hodnot snímačů T4 a T8. Hodnota

pro teplotní úroveň 125 °C, která byla zatížena standardní zátěží, byla 1,14 °C, a získána z průměrných hodnot snímačů T4 a T7.

### 8.1.1.5 Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření

Celková, rozšířená, kombinovaná nejistota měření byla vypočítána pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže, na hodnotu  $\pm 0,97$  °C, při konfidenční úrovni 95 %. V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla celková rozšířená kombinovaná nejistota stanovena na hodnotu  $\pm 1,18$  °C, při konfidenční úrovni 95 %.

Soupis zdrojů nejistot, které přispívaly do celkové rozšířené kombinované nejistoty, se nachází v tabulce 8-3. Z výsledných hodnot lze stanovit, že největší nejistotu, jak v případě nezatížené komory, tak zatížené komory, způsoboval teplotní gradient komory.

**Tab. 8-3 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 125 °C [12]**

t = 125 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty	Rozdělení	t <sub>BZ</sub> [°C]	t <sub>SZ</sub> [°C]	
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,11	0,11
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,38	0,51
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,04	0,06
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,0038	0,01
Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření		$U_C$	$k_r = 2$	0,97	1,18

### 8.1.1.6 Výsledek měření

Konfirmace teplotní úrovně 125 °C bez zátěže, dopadla s výsledkem hodnoty měření na  $(124,99 \pm 0,97)$  °C, při konfidenční úrovni 95 %. Pro případ, kdy byla komora zatížena standardní zátěží číslo 1, byla výsledná hodnota měření  $(125,09 \pm 1,16)$  °C.

Z výsledných hodnot, které jsou zaznamenány v tabulce 8-4 a 8-5, lze říct, že výsledné hodnoty splňují specifikaci dodávanou výrobcem i požadavky na provádění zkoušek rychlé změny teploty.



**Tab. 8-4 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 125 °C bez zátěže [12]**

t = 125 °C				
$\bar{t}_{125}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
124,99	± 0,97	-0,01	0,92	0,04

**Tab. 8-5 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 125 °C se zátěží [12]**

t = 125 °C				
$\bar{t}_{125}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
125,09	± 1,16	0,09	1,14	0,06

## 8.1.2 Teplotní úroveň 140 °C

Další, a jednou z nejčastěji testovaných teplotních úrovní, je teplotní úroveň 140 °C. Typické hodnoty teploty a kolísání teploty, využitě v průběhů výpočtů po měření, jsou zaznamenány v tabulce 8-6 pro komoru bez standardní zátěže, a v tabulce 8-7 pro komoru se standardní zátěží. V případě teplotní úrovně 140 °C byla využita standardní zátěž číslo 1.

**Tab. 8-6 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 140 °C bez zátěže [12]**

t = 140 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	140,281	139,689	139,725	140,609	140,272	139,465	139,722	139,660	140,669
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,281	0,311	0,275	-0,609	-0,272	0,535	0,278	0,340	-0,669
$\delta_{KT}$ [°C]	0,016	0,020	0,024	0,022	0,026	0,025	0,030	0,026	0,026

**Tab. 8-7 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 140 °C se zátěží [12]**

t = 140 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	140,487	139,621	139,610	140,703	140,355	140,145	139,442	139,554	140,611
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,487	0,379	0,390	-0,703	-0,355	-0,145	0,558	0,446	-0,611
$\delta_{KT}$ [°C]	0,028	0,030	0,045	0,023	0,034	0,035	0,033	0,040	0,031

### 8.1.2.1 Průměrná teplota pracovního prostoru

Průměrná teplota v pracovním prostoru teplotní šokové komory byla na teplotní úrovni 140 °C stanovena na hodnotu 140,01 °C v případě, kdy byla komora bez zátěže, a na hodnotu 140,06 °C, kdy byla komora vystavena standardní zátěží.

### 8.1.2.2 Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené

Největší odchylka průměrné teploty na snímači od teploty nastavené v komoře, měla hodnotu  $-0,669\text{ °C}$  na snímači T9 v případě nezatížení komory. V případě zatížení komory, byla největší odchylka  $-0,703\text{ °C}$  na snímači T4.

Stejně jako v případě teplotní úrovně  $125\text{ °C}$ , byla splněna podmínka odchylky teploty v pracovním prostoru od teploty požadované, která je stanovena výrobcem na  $\pm 0,5\text{ °C}$  až  $\pm 2,0\text{ °C}$ .

### 8.1.2.3 Kolísání teploty

Po určení hodnoty kolísání na jednotlivých snímačích, pro teplotní úroveň  $140\text{ °C}$  bez zatížení, bylo zjištěno, že největší teplotní kolísání vzniká na teplotním snímači T7 s hodnotou  $0,030\text{ °C}$ . V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, se jednalo o snímač T3 s hodnotou  $0,045\text{ °C}$ .

### 8.1.2.4 Teplotní gradient

Teplotní gradient na teplotní úrovni  $140\text{ °C}$ , měl hodnotu  $1,20\text{ °C}$ , a to mezi teplotními snímači T6 a T9, pro případ, kdy nebyla teplotní šoková komora zatížena standardní zátěží. Při zatížení komory se dostala na hodnotu  $1,26\text{ °C}$  mezi snímači T4 a T7.

### 8.1.2.5 Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření

Celková, rozšířená, kombinovaná nejistota měření byla pro teplotní úroveň  $140\text{ °C}$  bez zátěže vypočítána s výsledkem  $\pm 1,11\text{ °C}$ , s konfidenční úrovní 95 %. V případě, kdy komora byla zatížena standardní zátěží, byla tato nejistota  $\pm 1,21\text{ °C}$ .

Nejvýznamnějším zdrojem nejistoty typu B byl pro tuto teplotní úroveň, v obou případech konfirmace, teplotní gradient. Tato hodnota je zaznamenána v tabulce 8-8.

**Tab. 8-8 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni  $140\text{ °C}$  [12]**

t = 140 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty		Rozdělení	t <sub>BZ</sub> [°C]	t <sub>SZ</sub> [°C]
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,12	0,12
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,47	0,52
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,03	0,05
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,0038	0,0053
Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření		$U_C$	$k_r = 2$	1,11	1,21

### 8.1.2.6 Výsledek měření

Výsledná hodnota měření při confirmaci teplotní úrovně 140 °C bez zátěže, byla stanovena na  $(140,01 \pm 1,11)$  °C a na  $(140,06 \pm 1,21)$  °C při zátěži.

Největší odchylka průměrné teploty od nastavené teploty, byla pro nezatíženou komoru na snímači T9, což odpovídá pozici levého dolního rohu u dveří teplotní šokové komory. Naopak nejnižší odchylka průměrné teploty byla stanovena na snímači T5 ve středu komory.

V případě zatížení komory standardní zátěží, byla největší hodnota odchylky průměrné teploty od nastavené teploty na snímači T3, což odpovídá pozici v levém horním rohu u dveří komory. Nejmenší odchylka průměrné teploty byla naměřena na snímači T6, který odpovídá pozici v levém spodním rohu zadní části komory.

Z výsledných hodnot, které jsou zaznamenány v tabulce 8-9 a 8-10, lze říct, že výsledné hodnoty splňují specifikaci dodávanou výrobcem i požadavky na provádění zkoušek rychlé změny teploty.

**Tab. 8-9 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 140 °C bez zátěže [12]**

t = 140 °C				
$\bar{t}_{140}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
140,01	$\pm 1,11$	0,01	1,20	0,03

**Tab. 8-10 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 140 °C se zátěží [12]**

t = 140 °C				
$\bar{t}_{140}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
140,06	$\pm 1,21$	0,06	1,26	0,05

### 8.1.3 Teplotní úroveň 150 °C

Další, a méně častou využívanou teplotní úrovní pro provádění zkoušek s rychlou změnou teploty, je teplotní úroveň 150 °C. Pro tuto teplotní úroveň byla využita standardní zátěž číslo 1.

Charakteristické hodnoty využitě pro výpočet všech důležitých parametrů, jsou pro confirmaci bez zátěže uvedeny v tabulce 8-11, a pro confirmaci se zátěží v tabulce 8-12.

**Tab. 8-11 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 150 °C bez zátěže [12]**

t = 150 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	150,301	149,665	149,705	150,652	150,307	149,383	149,699	149,647	150,711
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,301	0,335	0,295	-0,652	-0,307	0,617	0,301	0,353	-0,711
$\delta_{KT}$ [°C]	0,029	0,031	0,032	0,035	0,038	0,040	0,043	0,045	0,038

**Tab. 8-12 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 150 °C se zátěží [12]**

t = 150 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	150,565	149,608	149,569	150,788	150,436	150,508	149,412	149,514	150,700
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,565	0,392	0,431	-0,788	-0,436	-0,508	0,588	0,486	-0,700
$\delta_{KT}$ [°C]	0,016	0,017	0,028	0,021	0,023	0,028	0,027	0,028	0,021

### 8.1.3.1 Průměrná teplota pracovního prostoru

Průměrná teplota, v pracovním prostoru teplotní šokové komory, byla na teplotní úrovni 150 °C vypočtena na hodnotu 150,01 °C v případě, kdy byla potvrzena bez zátěže. V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla hodnota průměrné teploty v pracovním prostoru 150,12 °C.

### 8.1.3.2 Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené

Největší odchylka průměrné teploty na snímači od teploty nastavené v komoře, měla hodnotu -0,711 °C na snímači T9 v případě nezátěžení komory. V případě zatížení komory, byla největší odchylka -0,788 °C na snímači T4.

Obdobně jako v případě předchozích teplotních úrovní, byla splněna podmínka odchylky teploty v pracovním prostoru od teploty požadované, která je stanovena výrobcem na  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C.

### 8.1.3.3 Kolísání teploty

Největší hodnota teplotního kolísání pro teplotní úroveň 150 °C bez zátěže, byla na snímači T8 s hodnotou 0,045 °C, a v případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, bylo kolísání s největší hodnotou 0,028 °C naměřeno na snímačích T3, T6 a T8.

### 8.1.3.4 Teplotní gradient

Teplotní gradient na teplotní úrovni 150 °C, měl hodnotu 1,33 °C, a to mezi teplotními snímači T6 a T9, pro případ, kdy nebyla teplotní šoková komora zatížena standardní zátěží. Při zatížení komory se dostala na hodnotu 1,26 °C mezi snímači T4 a T7.

### 8.1.3.5 Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření

Celková, rozšířená, kombinovaná nejistota měření byla pro teplotní úroveň 150 °C bez zátěže vypočítána s výsledkem  $\pm 1,19$  °C, s konfidenční úrovní 95 %. V případě, kdy komora byla zatížena standardní zátěží, byla tato nejistota  $\pm 1,33$  °C.

Nejvýznamnějším zdrojem nejistoty typu B byl pro tuto teplotní úroveň, v obou případech potvrzení, teplotní gradient. Tato hodnota je zaznamenána v tabulce 8-13.

**Tab. 8-13 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 150 °C [12]**

t = 150 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty		Rozdělení	t <sub>BZ</sub> [°C]	t <sub>SZ</sub> [°C]
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,12	0,12
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,51	0,59
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,04	0,03
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,0058	0,0037
Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření		$U_C$	$k_r = 2$	1,19	1,33

### 8.1.3.6 Výsledek měření

Výsledná hodnota měření při confirmaci teplotní úrovně 150 °C bez zátěže, byla stanovena na  $(150,01 \pm 1,19) ^\circ\text{C}$  a na  $(150,12 \pm 1,33) ^\circ\text{C}$  při zátěži.

Největší odchylka průměrné teploty od nastavené teploty, byla pro nezatíženou komoru na snímači T9, což odpovídá pozici levého dolního rohu u dveří teplotní šokové komory. Naopak nejnižší odchylka průměrné teploty byla stanovena na snímači T3 v levém horním rohu u dveří teplotní šokové komory

V případě zatížení komory standardní zátěží, byla největší hodnota odchylky průměrné teploty od nastavené teploty na snímači T4, což odpovídá pozici v pravém horním rohu u dveří komory. Nejmenší odchylka průměrné teploty byla naměřena na snímači T2, který odpovídá pozici v pravém horním rohu zadní části komory.

Z výsledných hodnot, které jsou zaznamenány v tabulce 8-14 a 8-15, lze říct, že výsledné hodnoty splňují specifikaci dodávanou výrobcem i požadavky na provádění zkoušek rychlé změny teploty.

**Tab. 8-14 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 150 °C bez zátěže [12]**

t = 150 °C				
$\bar{t}_{150}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
150,01	$\pm 1,19$	0,01	1,33	0,04

**Tab. 8-15 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 150 °C se zátěží [12]**

t = 150 °C				
$\bar{t}_{150}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
150,12	$\pm 1,33$	0,12	1,38	0,03

## 8.1.4 Teplotní úroveň 180 °C

Další v laboratoři využívanou teplotní úrovní pro provádění zkoušek s rychlou změnou teploty, je teplotní úroveň 180 °C. Pro tuto teplotní úroveň byla využita standardní zátěž číslo 2.

Důležité hodnoty využité pro výpočet všech výsledných hodnot jsou pro konfirmaci bez zátěže uvedeny v tabulce 8-16, a pro konfirmaci se zátěží v tabulce 8-17.

**Tab. 8-16 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 180 °C bez zátěže [12]**

t = 180 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	180,354	179,544	179,494	180,808	180,433	179,075	179,260	179,536	180,894
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,354	0,456	0,506	-0,808	-0,433	0,925	0,740	0,464	-0,894
$\delta_{KT}$ [°C]	0,027	0,031	0,044	0,033	0,045	0,043	0,047	0,042	0,046

**Tab. 8-17 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně 180 °C se zátěží [12]**

t = 180 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	180,743	179,488	179,560	180,972	180,684	179,272	179,307	179,226	180,966
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,743	0,512	0,440	-0,972	-0,684	0,728	0,693	0,774	-0,966
$\delta_{KT}$ [°C]	0,028	0,028	0,041	0,034	0,037	0,047	0,043	0,042	0,035

### 8.1.4.1 Průměrná teplota pracovního prostoru

Průměrná teplota, v pracovním prostoru teplotní šokové komory, byla na teplotní úrovni 180 °C bez standardní zátěže určena na hodnotu 179,93 °C. V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla hodnota průměrné teploty v pracovním prostoru 180,02 °C.

### 8.1.4.2 Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené

Největší odchylka průměrné teploty na snímači od teploty nastavené v komoře, měla hodnotu -0,894 °C na snímači T9 v případě nezatížení komory. V případě zatížení komory, byla největší odchylka -0,972 °C na snímači T4.

Podobně jako v případě předchozích teplotních úrovních, byla splněna podmínka odchylky teploty v pracovním prostoru od teploty požadované, která je stanovena výrobcem na  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C.

### 8.1.4.3 Kolísání teploty

Největší hodnota teplotního kolísání pro teplotní úroveň 180 °C bez zátěže, byla na snímači T7 s hodnotou 0,047 °C, a v případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, bylo kolísání s největší hodnotou 0,047 °C naměřeno na snímači T6.

#### 8.1.4.4 Teplotní gradient

Teplotní gradient na teplotní úrovni 180 °C, měl hodnotu 1,82 °C, a to mezi teplotními snímači T6 a T9, pro případ, kdy nebyla teplotní šoková komora zatížena standardní zátěží. Při zatížení komory se dostala na hodnotu 1,26 °C mezi snímači T4 a T6.

#### 8.1.4.5 Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření

Celková, rozšířená, kombinovaná nejistota měření byla pro teplotní úroveň 180 °C bez zátěže vypočítána s výsledkem  $\pm 1,58$  °C, s konfidenční úrovní 95 %. V případě, kdy komora byla zatížena standardní zátěží, byla tato nejistota  $\pm 1,73$  °C.

Nejvýznamnějším zdrojem nejistoty typu B byl pro tuto teplotní úroveň, v obou případech potvrzení, teplotní gradient. Tato hodnota je zaznamenána v tabulce 8-18.

**Tab. 8-18 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni 180 °C [12]**

t = 180 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty		Rozdělení	t <sub>BZ</sub> [°C]	t <sub>SZ</sub> [°C]
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,14	0,14
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,72	0,81
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,05	0,05
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,0063	0,0059
Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření		$U_C$	$k_r = 2$	1,58	1,73

#### 8.1.4.6 Výsledek měření pro teplotní úroveň 180 °C

Výsledná hodnota měření při potvrzení teplotní úrovně 180 °C bez zátěže, byla stanovena na  $(179,93 \pm 1,58)$  °C a na  $(180,02 \pm 1,73)$  °C při zátěži.

Největší odchylka průměrné teploty od nastavené teploty, byla pro nezatíženou komoru na snímači T9, což odpovídá pozici levého dolního rohu u dveří teplotní šokové komory. Naopak nejmenší odchylka průměrné teploty byla stanovena na snímači T1 v levém horním rohu zadní části teplotní šokové komory.

V případě zatížení komory standardní zátěží, byla největší hodnota odchylky průměrné teploty od nastavené teploty na snímači T6, což odpovídá pozici v levém dolním rohu v zadní části komory. Nejmenší odchylka průměrné teploty byla naměřena na snímači T3, který odpovídá pozici v levém horním rohu u dveří komory. Z výsledných hodnot, které jsou zaznamenány v tabulce 8-19 a 8-20, lze říct, že výsledné hodnoty splňují specifikaci dodávanou výrobcem i požadavky na provádění zkoušek rychlé změny teploty.

**Tab. 8-19 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 180 °C bez zátěže [12]**

t = 180 °C				
$\bar{t}_{180}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
179,93	± 1,58	-0,07	1,82	0,05

**Tab. 8-20 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně 180 °C se zátěží [12]**

t = 180 °C				
$\bar{t}_{180}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
180,02	± 1,73	0,02	1,75	0,05

### 8.1.5 Teplotní úroveň -40 °C

Jedna z nejčastěji využívaných teplotních úrovní pro studenou komoru je teplotní úroveň -40 °C. Tato teplota je také výrobcem udávána jako kalibrační teplota pro studenou komoru. V případě, kdy byla teplotní úroveň confirmována se standardní zátěží, bylo využito zátěže číslo 1.

Důležité hodnoty, které byly využity v průběhu výpočtu nejistot, a pro určení nejistoty teplotní úrovně -40 °C, jsou zaznamenány v tabulce 8-21 a 8-22.

**Tab. 8-21 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -40 °C bez zátěže [12]**

t = -40 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	-39,936	-40,770	-39,620	-40,475	-40,421	-39,909	-40,722	-40,630	-39,634
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,064	0,770	-0,380	0,475	0,421	-0,091	0,722	0,630	-0,366
$\delta_{KT}$ [°C]	0,027	0,018	0,038	0,026	0,024	0,033	0,019	0,018	0,039

**Tab. 8-22 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -40 °C se zátěží [12]**

t = -40 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	-39,400	-40,612	-39,746	-40,272	-40,739	-39,939	-40,918	-40,689	-39,715
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,600	0,612	-0,254	0,272	0,739	-0,061	0,918	0,689	-0,285
$\delta_{KT}$ [°C]	0,051	0,020	0,038	0,032	0,018	0,036	0,011	0,014	0,043

#### 8.1.5.1 Průměrná teplota pracovního prostoru

Průměrná teplota, v pracovním prostoru teplotní šokové komory, byla na teplotní úrovni -40 °C bez standardní zátěže určena na hodnotu -40,24 °C. V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla hodnota průměrné teploty v pracovním prostoru -40,23 °C.



### 8.1.5.2 Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené

Největší odchylka průměrné teploty na snímači od teploty nastavené v komoře, měla hodnotu 0,770 °C na snímači T2 v případě nezátížení komory. V případě zatížení komory, byla největší odchylka 0,918 °C na snímači T7.

Podobně jako v případě předchozích teplotních úrovních, byla splněna podmínka odchylky teploty v pracovním prostoru od teploty požadované, která je stanovena výrobcem na  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C.

### 8.1.5.3 Kolísání teploty

V případě confirmace teplotní šokové komory bez standardní zátěže byla největší hodnota kolísání na teplotním snímači T9 s hodnotou 0,039 °C. Největší hodnota kolísání teploty v případě confirmace se standardní zátěží byla na snímači T1 s hodnotou 0,051 °C.

### 8.1.5.4 Teplotní gradient

Hodnota teplotního gradientu pro confirmaci teplotní úrovně -40 °C bez zátěže, byla stanovena na 1,15 °C mezi snímači T2 a T3. V případě, kdy byla komora zatížená standardní zátěží, byla hodnota teplotního gradientu stanovena na 1,52 °C mezi snímači T1 a T7.

### 8.1.5.5 Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření

Celková, rozšířená, kombinovaná nejistota měření byla pro teplotní úroveň -40 °C bez zátěže vypočítána s výsledkem  $\pm 1,13$  °C, s konfidenční úrovní 95 %. V případě, kdy komora byla zatížená standardní zátěží, byla tato nejistota  $\pm 1,29$  °C.

Nejvýznamnějším zdrojem nejistoty typu B byl pro tuto teplotní úroveň, v obou případech confirmace, teplotní gradient. Tato hodnota je zaznamenána v tabulce 8-23.

**Tab. 8-23 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni -40 °C [12]**

t = -40 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty		Rozdělení	t <sub>BZ</sub> [°C]	t <sub>SZ</sub> [°C]
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,06	0,06
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,49	0,58
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,04	0,05
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,0043	0,0046
Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření		$U_C$	$k_r = 2$	1,13	1,29

### 8.1.5.6 Výsledek měření

Výsledná hodnota měření při confirmaci teplotní úrovně  $-40\text{ °C}$  bez zátěže, byla stanovena na  $(-40,24 \pm 1,13)\text{ °C}$  a na  $(-40,23 \pm 1,29)\text{ °C}$  při zátěži.

Největší odchylka průměrné teploty od nastavené teploty, byla pro nezatíženou komoru na snímači T9, což odpovídá pozici levého dolního rohu u dveří teplotní šokové komory. Naopak nejnižší odchylka průměrné teploty byla stanovena na snímači T6 v levém dolním rohu v zadní části komory.

V případě zatížení komory standardní zátěží, byla největší hodnota odchylky průměrné teploty od nastavené teploty na snímači T7, což odpovídá pozici v pravém dolním rohu v zadní části komory. Nejmenší odchylka průměrné teploty byla naměřena na snímači T6, který odpovídá pozici v levém dolním rohu zadní části komory.

Z výsledných hodnot, které jsou zaznamenány v tabulce 8-24 a 8-25, lze říct, že výsledné hodnoty splňují specifikaci dodávanou výrobcem i požadavky na provádění zkoušek rychlé změny teploty.

**Tab. 8-24 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně  $-40\text{ °C}$  bez zátěže [12]**

$t = -40\text{ °C}$				
$\bar{t}_{-40}\text{ [°C]}$	$U_C\text{ [°C]}$	$ \Delta\bar{t} \text{ [°C]}$	$\Delta_G\text{ [°C]}$	$\delta_{KT}\text{ [°C]}$
-40,24	$\pm 1,13$	0,24	1,15	0,04

**Tab. 8-25 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně  $-40\text{ °C}$  bez zátěže [12]**

$t = -40\text{ °C}$				
$\bar{t}_{-40}\text{ [°C]}$	$U_C\text{ [°C]}$	$ \Delta\bar{t} \text{ [°C]}$	$\Delta_G\text{ [°C]}$	$\delta_{KT}\text{ [°C]}$
-40,23	$\pm 1,29$	0,23	1,52	0,05

### 8.1.6 Teplotní úroveň $-50\text{ °C}$

Další běžnou teplotní úrovní studené komory využívanou v laboratoři je teplota  $-50\text{ °C}$ . V případě, kdy byla teplotní úroveň confirmována se standardní zátěží, bylo využito zátěže číslo 2.

Významné hodnoty pro určení celkové nejistoty a všech důležitých parametrů teplotní šokové komory, jsou zaznamenány v tabulce 8-26 a 8-27.

**Tab. 8-26 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně  $-50\text{ °C}$  bez zátěže [12]**

$t = -50\text{ °C}$									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}\text{ [°C]}$	-50,118	-50,798	-49,708	-50,501	-50,545	-50,042	-50,735	-50,653	-49,769
$\Delta\bar{t}\text{ [°C]}$	-0,118	0,798	-0,292	0,501	0,545	0,042	0,735	0,653	-0,231
$\delta_{KT}\text{ [°C]}$	0,017	0,012	0,027	0,016	0,017	0,016	0,012	0,011	0,019

**Tab. 8-27 Přehled vybraných hodnot snímačů teplotní úrovně -50 °C se zátěží [12]**

t = -50 °C									
Snímač	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
$\bar{t}$ [°C]	-49,772	-50,667	-49,887	-50,411	-50,906	-49,947	-50,849	-50,592	-49,864
$\Delta\bar{t}$ [°C]	0,228	0,667	-0,113	0,411	0,906	-0,053	0,849	0,592	-0,136
$\delta_{KT}$ [°C]	0,019	0,014	0,022	0,020	0,017	0,023	0,010	0,013	0,027

### 8.1.6.1 Průměrná teplota pracovního prostoru

Průměrná teplota, v pracovním prostoru teplotní šokové komory, byla na teplotní úrovni -50 °C bez standardní zátěže určena na hodnotu -50,32 °C. V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla hodnota průměrné teploty v pracovním prostoru -50,32 °C.

### 8.1.6.2 Odchylka průměrné teploty od teploty nastavené

V případě confirmace teplotní úrovně -50 °C se standardní zátěží, byla největší odchylka průměrné teploty na teplotním snímači T2 s hodnotou 0,798 °C. V případě confirmace teplotní úrovně se standardní zátěží, byla největší odchylka průměrné teploty na snímači od požadované teploty na snímači T5 stanovena na hodnotu 0,906 °C.

Podobě jako v případě předchozích teplotních úrovní, byla splněna podmínka odchylky teploty v pracovním prostoru od teploty požadované, která je stanovena výrobcem teplotní šokové komory na hodnotu  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C.

### 8.1.6.3 Kolísání teploty

V případě confirmace teplotní šokové komory bez standardní zátěže, byla největší hodnota kolísání na teplotním snímači T3 s hodnotou 0,027 °C. Největší hodnota kolísání teploty, v případě confirmace se standardní zátěží, byla na snímači T9 s hodnotou 0,027 °C.

### 8.1.6.4 Teplotní gradient

Hodnota teplotního gradientu pro confirmaci teplotní úrovně -50 °C bez zátěže, byla stanovena na 1,09 °C mezi snímači T2 a T3. V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla hodnota teplotního gradientu stanovena na 1,13 °C mezi snímači T1 a T5.

### 8.1.6.5 Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření

Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření byla pro teplotní úroveň -50 °C bez zátěže byla určena na hodnotu  $\pm 1,04$  °C s konfidenční úrovní 95 %. V případě confirmace teplotní šokové komory se standardní zátěží byla hodnota nejistoty stanovena na  $\pm 1,11$  °C.

Nejvýznamnějším zdrojem nejistoty typu B byla pro tuto teplotní úroveň v obou případech confirmace opět nejistota typu B způsobená teplotním gradientem. Jednotlivé hodnoty zdrojů nejistot typu B jsou zaznamenány v tabulce 8-28.

**Tab. 8-28 Hodnoty zdrojů nejistot ovlivňující měření při teplotní úrovni -50 °C [12]**

t = -50 °C					
			bez zátěže	se zátěží	
	Zdroj nejistoty		Rozdělení	t <sub>BZ</sub> [°C]	t <sub>SZ</sub> [°C]
Nejistota referenčního přístroje	Kalibrace	$u_{BK}$	Normální	0,20	0,20
	Přesnost snímače	$u_{BS}$	Rovnoměrné	0,06	0,06
	Nelinearita snímače	$u_{BL}$	Rovnoměrné	0,19	0,19
Nejistota komory	Gradient teploty	$u_{BG}$	Normální	0,44	0,48
	Kolísání teploty	$u_{BKT}$	Normální	0,03	0,03
Nejistota typu A		$u_A$	Normální	0,0026	0,0029
Celková rozšířená kombinovaná nejistota měření		$U_C$	$k_r = 2$	1,04	1,11

### 8.1.6.6 Výsledek měření

Výsledná hodnota měření při confirmaci teplotní úrovně -50 °C bez standardní zátěže byla stanovena na  $(-50,32 \pm 1,04)$  °C v případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží byla hodnota stanovena na  $(-50,32 \pm 1,11)$  °C.

Největší odchylka průměrné teploty od nastavené teploty byla pro nezatíženou komoru na snímači T2 což odpovídá pozici pravého horního rohu zadní stěny teplotní šokové komory. Naopak nejnižší odchylka průměrné teploty byla stanovena na snímači T6 v levém dolním rohu v zadní části komory.

V případě confirmace teplotní úrovně, kdy komora byla zatížena standardní zátěží byla největší hodnota odchylky průměrné teploty od nastavené teploty na snímači T5 což odpovídá pozici ve středu komory a nejmenší odchylka průměrné teploty byla naměřena na snímači T6, který odpovídá pozici v levém dolním rohu zadní části komory.

Z výsledných hodnot, které jsou zaznamenány v tabulce 8-29 a 8-30, lze konstatovat, že tyto hodnoty splňují měřicí odchylky dané výrobcem i požadavky na provádění zkoušek rychlé změny teploty.

**Tab. 8-29 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně -50 °C bez zátěže [12]**

t = -50 °C				
$\overline{t_{-50}}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
-50,32	$\pm 1,04$	0,32	1,09	0,03

**Tab. 8-30 Výsledné hodnoty při confirmaci teplotní úrovně -40 °C se zátěží [12]**

t = -50 °C				
$\overline{t_{-50}}$ [°C]	$U_C$ [°C]	$ \Delta\bar{t} $ [°C]	$\Delta_G$ [°C]	$\delta_{KT}$ [°C]
-50,32	$\pm 1,11$	0,32	1,13	0,03

## 8.1.7 Souhrnné výsledky teplotních úrovní

Z výsledků uvedených v předešlých podkapitolách byly vytvořeny dvě tabulky obsahující všechny důležité hodnoty pro konfirmace teplotních úrovní jednotlivých komor teplotní šokové komory. Všechny tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8-31 a 8-32.

**Tab. 8-31 Souhrnné výsledky pro konfirmace jednotlivých teplotních úrovní bez standardní zátěže [12]**

Teplotní úroveň [°C]	Komora	Průměrná teplota [°C]	Odchylka teploty [°C]	Nejistota měření [°C]	Teplotní gradient [°C]	Kolísání teploty [°C]
125	Teplá	124,99	-0,01	± 0,97	0,92	0,04
140	Teplá	140,01	0,01	± 1,11	1,20	0,03
150	Teplá	150,01	0,01	± 1,19	1,33	0,04
180	Teplá	179,93	-0,07	± 1,58	1,82	0,05
-40	Studená	-40,24	-0,24	± 1,13	1,15	0,04
-50	Studená	-50,32	-0,32	± 1,04	1,09	0,03

**Tab. 8-32 Souhrnné výsledky pro konfirmace jednotlivých teplotních úrovní se standardní zátěží [12]**

Teplotní úroveň [°C]	Komora	Průměrná teplota [°C]	Odchylka teploty [°C]	Nejistota měření [°C]	Teplotní gradient [°C]	Kolísání teploty [°C]
125	Teplá	125,09	0,09	± 1,16	1,14	0,06
140	Teplá	140,06	0,06	± 1,21	1,26	0,05
150	Teplá	150,12	0,12	± 1,33	1,38	0,03
180	Teplá	180,02	0,02	± 1,73	1,75	0,05
-40	Studená	-40,23	-0,23	± 1,29	1,52	0,05
-50	Studená	-50,32	-0,32	± 1,11	1,13	0,03

Všechny teplotní úrovně neměly odchylku teploty od požadované teploty větší než je udávána ve specifikaci dodávané výrobcem teplotní šokové komory ( $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C).

Největší hodnota nejistoty pro konfirmaci bez zátěže byla vypočtena na teplotní úrovni 180 °C s hodnotou  $\pm 1,58$  °C. Největší hodnota odchylky teploty byla na teplotní úrovni -50 °C zjištěna na -0,32 °C. Místo s největší odchylkou teploty od teploty požadované, byla v případě teplé komory v místě snímače T9, což odpovídá místu v levém dolním rohu u dveří teplotní šokové komory. V případě studené komory se jednalo o snímač T2, který je umístěn v pravém horním rohu zadní stěny teplotní šokové komory.

V případě konfirmace teplotní šokové komory se standardní zátěží, bylo využito dvou typů běžně využívaných zátěží v laboratoři. Pro teplotní úrovně 125 °C, 140 °C,

150 °C a -40 °C bylo využito zátěže číslo 1 a pro teplotní úrovně 180 °C a -50 °C bylo využito zátěže číslo 2.

Z vyhodnocených dat lze konstatovat, že největší hodnota nejistoty pro konfirmaci se standardní zátěží, byla stanovena na hodnotu  $\pm 1,73$  °C na teplotní úrovni 180 °C. Největší hodnota odchylky teploty byla naměřena na teplotní úrovni -50 °C s výsledkem -0,32 °C. Místo, s největší hodnotou odchylky teploty od požadované teploty, pro teplou komoru při konfirmaci se standardní zátěží, bylo zjištěno pro snímač T4, nacházející se v pravém horním rohu u dveří teplotní šokové komory. V případě studené komory se jednalo o snímač T1 na teplotní úrovni -40 °C. Tento snímač odpovídá místu v levém horním rohu zadní stěny teplotní šokové komory. Pro teplotu -50 °C se jednalo o snímač T5 umístěný ve středu teplotní šokové komory.

## 8.2 Změna teploty

Dalším z parametrů teplotní šokové komory, který byl v průběhu konfirmace ověřován, byla změna teploty. Ta musela být konfirmována, protože pokud se provádí v komoře zkouška rychlé změny teploty, tak se vzorky na počátku zkoušky nacházejí při pokojové teplotě v aktivní teplé komoře, a neaktivní studená komora se vychlazuje na požadovanou teplotu. Následně se vzorky přesunou do vychlazené studené komory. Ve studené komoře jsou vzorky vystaveny kryonické teplotě po dobu 30 minut až 3 hodin. Mezitím co jsou vzorky v aktivní studené komoře, se začne vyhřívat neaktivní teplá komora na požadovanou teplotu. Podobná situace nastává na konci zkoušky, pokud chceme, aby byly vzorky přemístěny z vychlazené nebo vyhřáté komory do komory, která se mezitím ustálí na pokojové teplotě.

V tomto případě je potřeba ověřit, zda se neaktivní teplá komora nebo neaktivní studená komora dokáže vyhřát nebo vychladit, a přitom i dostatečně stabilizovat na požadované teplotě během doby, kdy jsou vzorky v aktivní komoře<sup>1</sup>. Teplotní změna byla konfirmována v obou teplotách, jak bez standardní zátěže, tak se standardní zátěží.

Z naměřených dat se dále bude vyhodnocovat, jak dlouho trvala změna průměrné teploty mezi body 10 % a 90 % z rozsahu teploty, jak definuje norma ČSN EN 60068-3-5, a taky jak dlouho trvalo, než se hodnota průměrné teploty v pracovním prostoru stabilizovala na hodnotu menší než 2 °C.

Hodnoty teploty byly v průběhu měření zaznamenávány s periodou jedné sekundy po dobu 90 minut. Počáteční teplota před měřením byla stabilizována po dobu 180 minut a ventilátor byl v průběhu měření zapnut na hodnotu 100 %.

### 8.2.1 Změna teploty v teplé komoře

V teplé komoře se konfirmovala teplotní změna pro dvě nejčastěji využívané teploty, a to 140 °C a 180 °C. Počáteční teplota byla nastavena na 50 °C i když se běžně vzorky umísťují do pokojové teploty. Jelikož je potřeba teplotu na počátku měření stabilizovat, tak aby bylo možné zkoušky kdykoliv replikovat, musíme využít minimální možné teploty, kterou lze v teplé komoře nastavit, a to právě 50 °C.

---

<sup>1</sup> Aktivní komora je buď studená nebo teplá komora teplotní šokové komory, ve které se aktuálně nachází pohyblivý koš. Neaktivní komora je ta komora teplotní šokové komory, kde se pohyblivý koš aktuálně nenachází.

### 8.2.1.1 Změna teploty z 50 °C na 140 °C

Změna teploty z 50 °C na 140 °C byla potvrzena jako bez standardní zátěže, tak se standardní zátěží číslo 1. Hodnota 10 % z celkového rozsahu odpovídá teplotě 59 °C a hodnota 90 % hodnotě teploty 131 °C. Proto byla vyhodnocena teplotní změna mezi teplotou 59 °C a 131 °C. Výsledné hodnoty měření bez zátěže komory jsou uvedeny v tabulce 8-33 a se zátěží v tabulce 8-34.

**Tab. 8-33 Výsledné hodnoty potvrzení teplotní změny z 50 °C na 140 °C bez zátěže**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
59	131	214	25,23	467

V případě potvrzení teplotní změny bez zátěže, nejrychleji zaznamenal změnu teplotní snímač T9, umístěný v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 187 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T6 umístěném v levém dolním rohu zadní stěny komory, s dobou změny 273 sekund.

**Tab. 8-34 Výsledné hodnoty potvrzení teplotní změny z 50 °C na 140 °C se zátěží**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
59	131	227	23,78	337

V případě potvrzení teplotní změny se standardní zátěží, nejrychleji zaznamenal teplotní změnu snímač T9, umístěný v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 200 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T2, umístěném v pravém horním rohu zadní stěny komory, s dobou změny 315 sekund.

### 8.2.1.2 Změna teploty z 50 °C na 180 °C

Potvrzení změny teploty z 50 °C na teploty 180 °C byla opět provedena jako bez zátěže, tak se standardní zátěží číslo 2. Hodnota 10 % z celkového rozsahu byla stanovena na hodnotu teploty 63 °C. Hodnotě 90 % odpovídá teplota 167 °C. Výsledné hodnoty jsou pro potvrzení bez zátěže uvedeny v tabulce 8-35, se zátěží v tabulce 8-36.

**Tab. 8-35 Výsledné hodnoty potvrzení teplotní změny z 50 °C na 180 °C bez zátěže**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
63	167	309	20,19	433

V případě potvrzení teplotní změny bez zátěže, nejrychleji zaznamenal změnu teplotní snímač T9, umístěný v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 278 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T6, umístěným v levém dolním rohu zadní stěny komory, s dobou změny 348 sekund.

**Tab. 8-36 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 50 °C na 180 °C se zátěží**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
63	167	341	18,46	578

V případě confirmace teplotní změny se standardní zátěží, nejrychleji zaznamenal teplotní změnu snímač T9, umístěný v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 302 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T6, umístěním v levém dolním rohu zadní stěny komory, s dobou změny 423 sekund.

## 8.2.2 Změna teploty ve studené komoře

Ve studené komoře se confirmovala teplotní změna opět pro dvě nejčastěji využívané teploty, a to 140 °C a 180 °C. Počáteční teplota byla nastavena na 25 °C, což představuje standardní klimatické podmínky v laboratoři.

### 8.2.2.1 Změna teploty z 25 °C na -40 °C

Změna teploty z 25 °C na teplotu -40 °C byla confirmována jak bez standardní zátěže, tak se standardní zátěží číslo 1. Hodnota 10 % z celkového rozsahu odpovídá teplotě 18,5 °C a hodnota 90 % hodnotě teploty -33,5 °C. Výsledné hodnoty měření bez zátěže komory jsou uvedeny v tabulce 8-37, se zátěží v tabulce 8-38.

**Tab. 8-37 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -40 °C bez zátěže**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
18,5	-33,5	678	4,6	946

V případě confirmace teplotní změny bez zátěže, nejrychleji zaznamenal změnu teplotní snímač T4, umístěný v pravém horním rohu u dveří komory, s dobou změny 608 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T9 umístěný v levém spodním rohu u dveří komory s dobou změny 930 sekund.

**Tab. 8-38 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -40 °C se zátěží**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
18,5	-33,5	702	4,44	1064

V případě confirmace teplotní změny se standardní zátěží nejrychleji zaznamenal teplotní změnu snímač T5, umístěný ve středu komory, s dobou změny 602 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T9, umístěném v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 946 sekund.



### 8.2.2.2 Změna teploty z 25 °C na -50 °C

Změna teploty z 25 °C na teplotu -50 °C byla confirmována jak bez standardní zátěži, tak se standardní zátěží číslo 2. Hodnota 10 % z celkového rozsahu odpovídá teplotě 17,5 °C a hodnota 90 % hodnotě teploty -42,5 °C. Výsledné hodnoty měření bez zátěže komory jsou uvedeny v tabulce 8-39, se zátěží v tabulce 8-40.

**Tab. 8-39 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -50 °C bez zátěže**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
17,5	-42,5	768	4,68	1031

V případě confirmace teplotní změny bez zátěže, nejrychleji zaznamenal změnu teplotní snímač T4, umístěný v pravém horním rohu u dveří komory, s dobou změny 712 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T9, umístěném v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 948 sekund.

**Tab. 8-40 Výsledné hodnoty confirmace teplotní změny z 25 °C na -50 °C se zátěží**

10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba stabilizace [s]
17,5	-42,5	791	4,55	1150

V případě confirmace teplotní změny se standardní zátěží nejrychleji zaznamenal teplotní změnu snímač T5, umístěný ve středu komory, s dobou změny 706 sekund. Nejdelší doba změny byla zaznamenána na snímači T9, umístěném v levém spodním rohu u dveří komory, s dobou změny 972 sekund.

### 8.2.3 Souhrnné výsledky změny teploty

Výrobce teplotní šokové komory garantuje rychlost teplotní změny v teplé komoře na hodnotu 17,0 K/min. Z vyhodnocených dat byly výsledky v případě obou měření větší než hodnota udávaná výrobcem a komora se tím pádem vyhřívala rychleji. V průměru se jednalo o rychlost 22,71 K/min, v případě nezatížené komory pak o rychlost 21,12 K/min.

V průběhu změny teploty v teplé komoře, zaznamenávaly snímače, umístěné v dolní části komory, změnu teploty rychleji v průměru o 34 sekund než snímače umístěné v horní části komory. Důvod tohoto předčasného ohřívání je způsoben prouděním vzduchu uvnitř komory. Teorie vedení vzduchu v teplé komoře je popsána v kapitole 2.3. Naměřená data byla i pro jednotlivé snímače, v případě teplotní změny z 50 °C na 140 °C, bez zátěže vynesena do grafu. Tento graf je umístěn v příloze 3 této bakalářské práce.

Dále výrobce garantuje rychlost teplotní změny ve studené komoře teplotní šokové komory na hodnotu 3,7 K/min. Po vyhodnocení naměřených dat byla hodnota chlazení studené komory v případě obou měření větší než udávaná výrobcem. Průměrná rychlost chlazení studené komory byla 4,64 K/min v případě nezatížené komory a 4,50 K/min v případě zatížené komory.

V průběhu změny teploty ve studené komoře zaznamenávaly snímače, umístěné v horní části komory, změnu teploty rychleji v průměru o 46 sekund než snímače umístěné ve spodní části komory. Naměřená data pro jednotlivé snímače, v případě teplotní změny z 25 °C na -40 °C, byla bez zátěže vynesena do grafu. Tento graf je umístěn v příloze 2 této bakalářské práce.

### 8.3 Přechodový děj

Nejvýznamnějším parametrem a funkcí teplotní šokové komory je možnost rychlé změny teploty. Proto součástí konfirmace bylo měření i tohoto parametru. V případě samotného přechodového děje se dá ověřovat několik parametrů.

První z nich je rychlost, s jakou se změní teplota po přesunu z jedné komory do druhé. Součástí toho parametru je i teplotní stabilizace neboli doba, po které se teplota v pracovním prostoru po přesunu ustálí.

Dalším parametrem je výkyv teploty v komoře, pokud se do ní přesune pohyblivý koš. Přesunutí horkého pohyblivého koše do studené komory způsobí ohřátí studené komory, a naopak ochlazení v případě teplé komory po přesunu pohyblivého koše ze studené komory. Proto byl tento parametr proměřen a výsledky lze najít v této kapitole.

Samotná konfirmace přechodového děje byla opět provedena bez zátěže a se standardní zátěží číslo 1.

#### 8.3.1 Rychlost změny teploty přechodového děje

Po přesunu pohyblivého koše z jedné komory do druhé, dojde k náhlé změně teploty. Tato rychlost změny je mnohem větší, než je možné dosáhnout například v teplotní komoře. Ve chvíli, kdy je pohyblivý koš přemístěn, je teplotní změna okamžitá.

Vlivem přesunu pohyblivého koše, který je buď nahřátý nebo vychlazený, dojde k ochlazení nebo ohřátí komory do které byl přesunut. Proto nemá změna teploty úplně podobu jednotkového skoku. Stále se ale jedná o rychlou změnu.

Pro vyhodnocení rychlosti změny teploty bylo využito jako v předchozí kapitole normy ČSN EN 60068-3-5 a odečítal se časový interval mezi 10 % a 90 % rozsahu teploty.

Pro vyhodnocení byly využity průměrné hodnoty teplot ze všech devíti snímačů umístěných v pracovním prostoru teplotní šokové komory.

##### 8.3.1.1 Přechodový děj z -40 °C na 140 °C

Při vyhodnocování přechodového děje z teploty -40 °C na 140 °C byla určena hodnota 10 % z celkového rozsahu teploty na 18,5 °C a hodnota 90 % na hodnotu 33,5 °C. Výsledné hodnoty pro přechodový děj mezi teplotami -40 °C a 140 °C je uveden v tabulce 8-41.

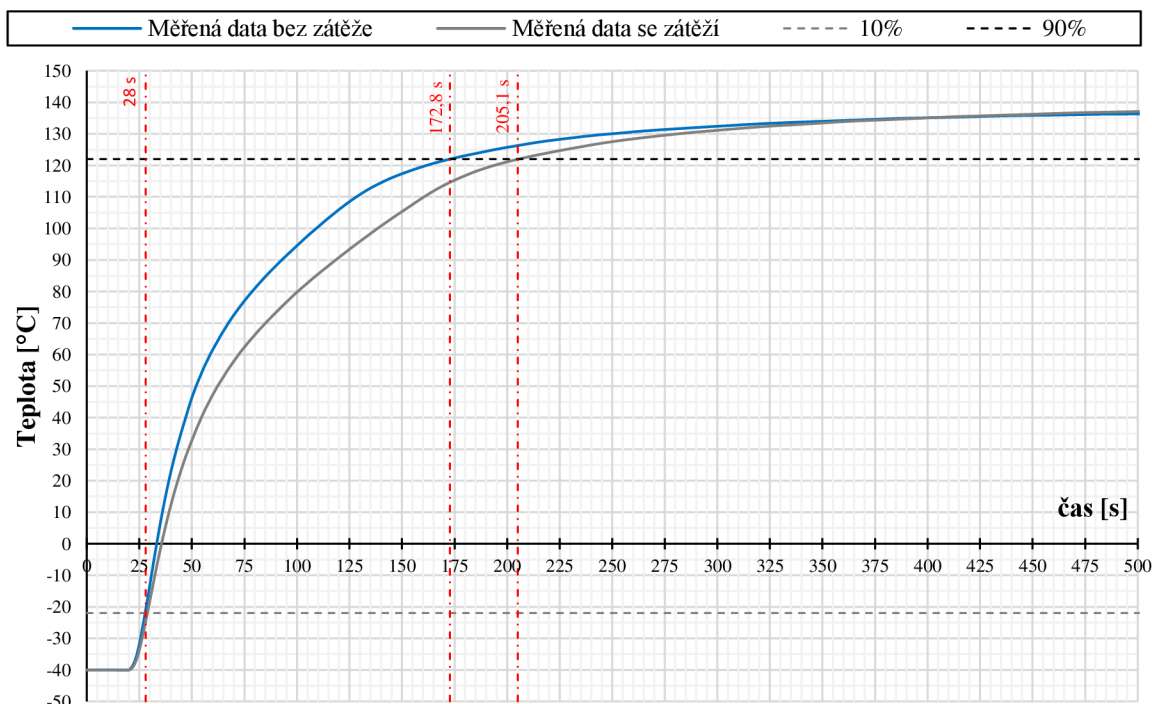
**Tab. 8-41 Výsledné hodnoty rychlosti přechodového děje z -40 °C na 140 °C**

		Bez zátěže		Se zátěží	
10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]
-22	122	144,8	74,7	177,1	61,0

Z vyhodnocených dat pro přechodový děj z teploty -40 °C na 140 °C bez zátěže bylo možné zjistit, že nejrychleji se ohřál teplotní snímač T8, umístěný v pravém dolní rohu u dveří šokové komory, který se ohřál na 90 % rozsahu teploty po 105,2 sekundách. Nejdéle se ohřival snímač T6, umístěný v levém dolním rohu zadní stěny teplotní šokové komory, který zaznamenal teplotu 122 °C, až po 237,9 sekundách.

V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, se nejrychleji ohřál snímač T5, umístěný ve středu komory, po 132,4 sekundách. Nejdéle se ohřival snímač T2 umístěný v pravém horním rohu zadní stěny teplotní šokové komory s dobou 294,5 sekund.

Grafické znázornění rychlosti změny teploty přechodového děje pro nezatíženou komoru (modrá plná čára) a pro zatíženou komoru (šedá plná čára) je na obrázku 8-4. Červená čerchovaná čára představuje čas, kdy průměrná teplota v komoře dosáhla 90 % celkového rozsahu teploty tedy teploty 122 °C.



**Obr. 8-4 Graf změny průměrné teploty přechodového děje z -40 °C na 140 °C**

V příloze 4 se nachází graf, ve kterém je graficky znázorněna rychlost změny přechodového děje z teploty -40 °C na teplotu 140 °C pro jednotlivé teplotní snímače umístěné v pracovním prostoru teplotní šokové komory bez zátěže.

### 8.3.1.2 Přejchodový děj ze 140 °C na -40 °C

V případě přechodového děje z teplé komory nastavené na 140 °C do studené komory nastavené na -40 °C, byly hodnoty pro 10 % a 90 % z rozsahu teploty identické jako v minulém případě. Jednalo se o hodnoty 122 °C ale nyní pro 10 % a -22 °C pro 90 %. Výsledné hodnoty rychlosti změny teploty přechodového děje jsou zaznamenány v tabulce 8-42.

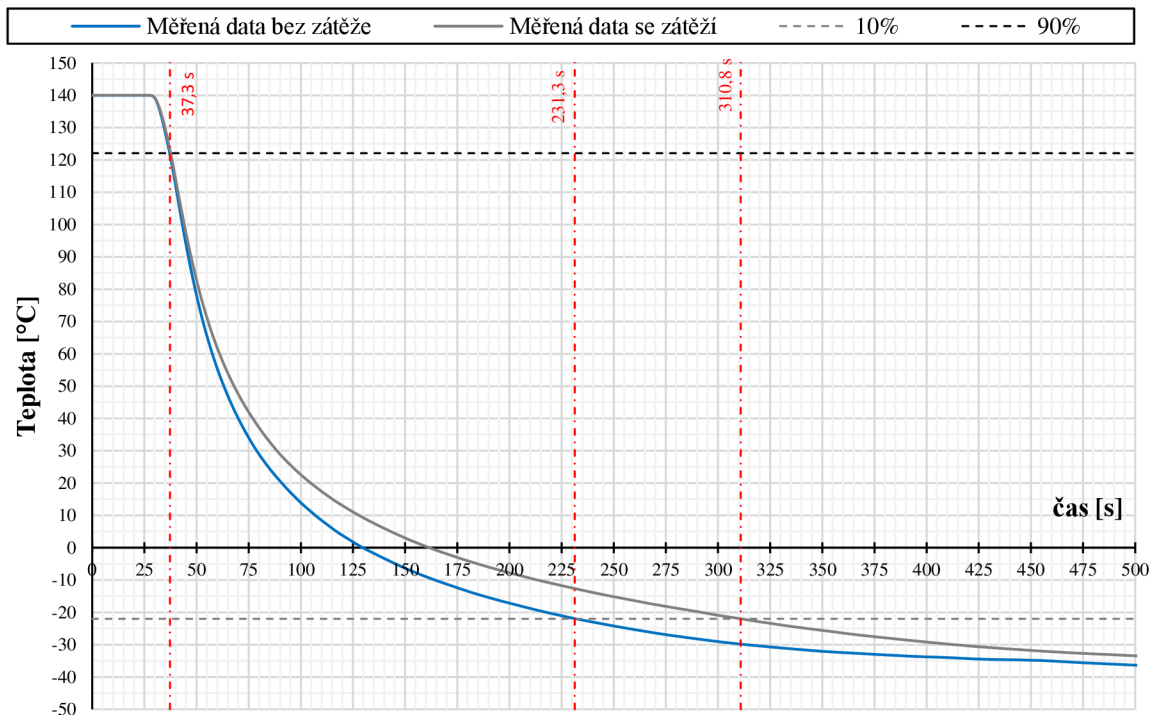
**Tab. 8-42 Výsledné hodnoty rychlosti přechodového děje ze 140 °C na -40 °C**

		Bez zátěže		Se zátěží	
10 % z rozsahu [°C]	90 % z rozsahu [°C]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]	Doba změny [s]	Rychlost změny [K/min]
122	-22	194	55,7	273,5	39,5

Po vyhodnocení dat rychlosti změny teploty přechodového děje z teploty 140 °C na teplotu -40 °C bez zátěže, bylo zjištěno, že nejrychleji se ochladil sensor T4 po 140,4 sekundách umístěný v pravém horním rohu u dveří teplotní šokové komory. Nejdéle se ochlazoval snímač T9, s časem 301,9 sekund, než dosáhl 90 % rozsahu teploty. Tento snímač byl umístěný v levém dolním rohu u dveří teplotní šokové komory.

Zatížením komory standardní zátěží byla rychlost změny teploty vyšší. Nejdéle se ohřival snímač T8, umístěný v pravém dolním rohu u dveří teplotní šokové komory, s časem 450,7 sekund. Nejrychleji se ohřál, v případě, kdy byla komora zatížená, snímač T4, umístěný v pravém horním rohu u dveří teplotní šokové komory, s časem 140,4 sekund.

Průběh rychlosti změny teploty přechodového děje pro nezatíženou komoru je graficky znázorněn v obrázku 8-5. Modrá plná čára představuje naměřená data pro zatíženou komoru, šedá plná čára potom data, když byla komora zatížená standardní zátěží. Červená čerchovaná čára představuje čas, kdy průměrná teplota v komoře dosáhla 90 % celkového rozsahu teploty, tedy teploty -22 °C.



**Obr. 8-5 Graf změny průměrné teploty přechodového děje ze 140 °C na -40 °C**

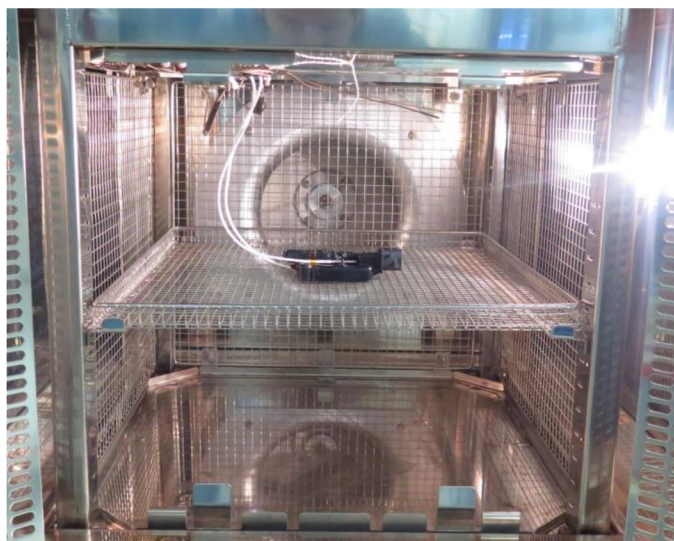
V příloze 5 této bakalářské práce se nachází graf, ve kterém je graficky znázorněna rychlost změny přechodového děje z teploty 140 °C na teplotu -40 °C pro jednotlivé teplotní snímače umístěné v pracovním prostoru teplotní šokové komory bez zátěže.

### 8.3.2 Doba stabilizace přechodového děje

Dalším ověřovaným parametrem je doba stabilizace na finální teplotě. Tento parametr je velice podobný rychlosti změny teploty s tím rozdílem, že se nebere v potaz časový interval mezi 10 % a 90 % celkového rozsahu.

V případě doby stabilizace se počítá časový úsek od první zaznamenané změny teploty po její ustálení na finální hodnotě. Hodnota ustálení je finální teplota daná tolerancí, kterou definuje norma ČSN-EN-60068-2-14 ed.2. Tato norma udává toleranci 3 K až 5 K mezi teplotou vzorku a teplotou okolního média. Proto bylo nutné určit teplotu uvnitř a na povrchu standardní zátěží, tak aby bylo možné definovat normou udávanou toleranci.

Z tohoto důvodu bylo provedeno měření, kdy byl dovnitř a na povrch vzorku umístěn teplotní snímač, který měřil celkovou teplotu vzorku. Dále bylo v pracovním prostoru komory umístěno devět snímačů Pt 100. V případě konfirmace prázdné komory bez zátěže byl do prostoru komory umístěn jeden vzorek. Zatížením komory plným počtem vzorků (zátěž číslo1) se provedla konfirmace se zátěží, kdy do jednoho vzorku byla opět umístěn teplotní snímač Pt 100.



**Obr. 8-6 umístění standardní zátěže - 1 vzorek v teplotní šokové komoře**

Na obrázku 8-6 je zobrazeno ilustrační umístění vzorku v teplotní komoře před konfirmací doby stabilizace v komoře s jedním vzorkem standardní zátěže.

### 8.3.2.1 Doba stabilizace v teplé komoře

Pro určení doby stabilizace v teplé komoře bylo využito přechodového děje ze studené komory a teploty  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do teplé komory s teplotou  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tyto hodnoty byly zvoleny, protože testovaná zátěž se běžně testuje s těmito hodnotami.

Stabilizace na teplotě  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  před započítáním testu byla opět tři hodiny. Následoval přesun do teplé komory, kde se měřila teplota do té doby, než se komora ustálila na teplotu  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo udávanou toleranci.

Následně se vyhodnocovaly data a určovala se doba od počátku změny teploty do doby kdy rozdíl mezi vnitřní teplotou vzorku a teplotou v celém objemu pracovního prostoru menší než  $5\text{ K}$  a následně  $3\text{ K}$ . Výsledné hodnoty měření jsou zaznamenány v tabulce 8-43.

**Tab. 8-43 Výsledné hodnoty doby stabilizace teploty v teplé komoře**

Bez zátěže	Se zátěží – 1 vzorek		Se zátěží – standardní zátěž		
Stabilizace $\Delta t = 2\text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 5\text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 3\text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 2\text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 5\text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 3\text{ K}$ [s]
717,4	1188,6	1409,6	736,2	2011,8	2209,3

Tabulka 8-43 obsahuje hodnoty času pro teplotní stabilizaci. První sloupec obsahuje hodnoty pro prázdnou komoru, kdy se měřila doba kdy průměrná měřená teplota ze všech devíti snímačů dosáhla tolerance od požadované hodnoty, kterou udává výrobce teplotní šokové komory. Tato tolerance je  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , proto byla využita největší hodnota této tolerance tedy  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $2\text{ K}$ ).

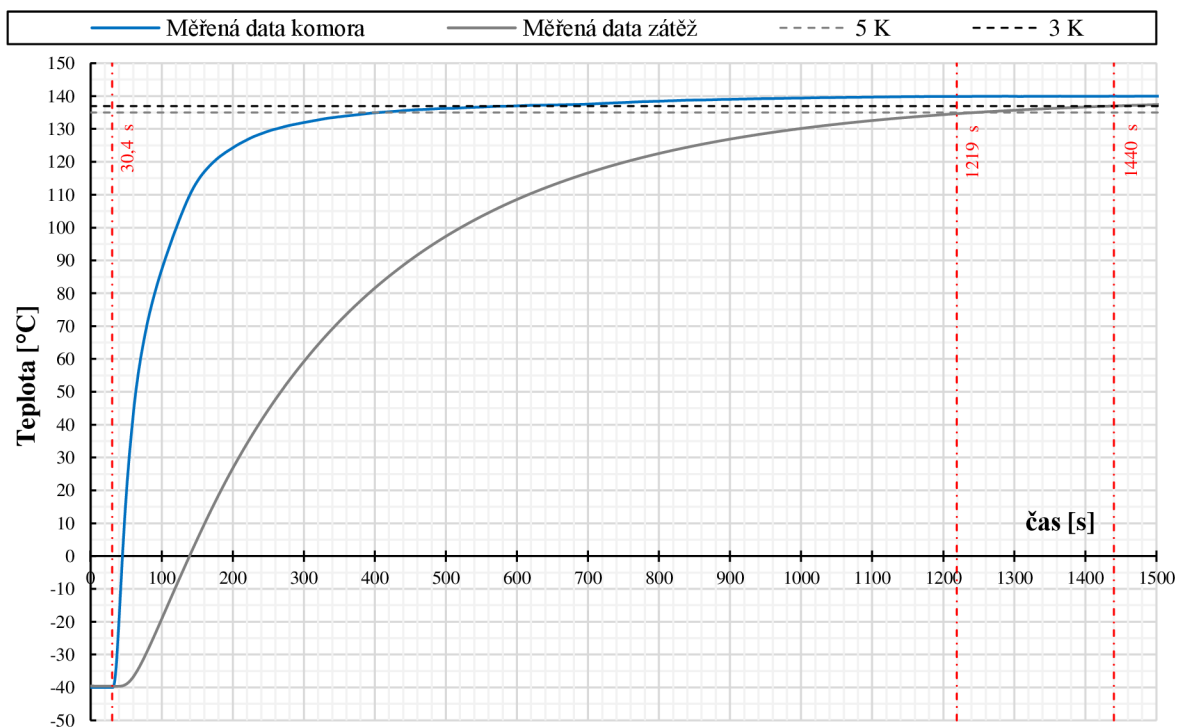
V dalších dvou sloupcích jsou zaznamenány hodnoty pro dobu stabilizace se zátěží, která byla provedena podle normy ČSN-EN-60068-2-14 ed.2 a vyhodnocoval se

teplotní rozdíl mezi průměrnou teplotou v komoře a teplotou uvnitř vzorku. Měření bylo provedeno pro prázdnou komoru s jedním vzorkem standardní zátěže a taky pro komoru která byla zatížena standardní zátěží a do jednoho vzorku byla umístěna Pt 100.

Norma ČSN-EN-60068-2-14 ed.2 kapitola 4.4 obsahuje informaci, že zkušební cyklus na jednotlivých teplotách zahrnuje i dobu stabilizace. Ta by ale neměla být delší, než celkové délky zkušební cyklu na dané teplotě. Proto z naměřených dat lze konstatovat, že minimální délka cyklu v teplé komoře, pokud pracovní prostor obsahuje jeden vzorek, by neměla být kratší než 1188,6 sekund. V případě standardní zátěže by neměla být doba zkušební cyklu v teplé komoře kratší než 2011,8 sekund. Naměřené hodnoty jsou informativní důležité je vždy brát v potaz co definuje specifikace a pokud není definovaná specifikace je potřeba se řídit normou která pro zkoušky s rychlou změnou teploty definuje dobu expozice na 3 hodiny.

Vždy je ale důležité brát v potaz i normu ČSN-EN-60068-2-14 ed.2 kapitolu 7.2.5, která definuje že doba, že doba stabilizace okolního vzduchu pracovního prostoru může trvat maximálně desetinu celkové doby strávené na teplotě. Proto doba strávená na teplotě 140 °C musí být minimálně 7174 sekund v případě prázdné komory a 7362 sekund pokud komora byla zatížena standardní zátěží.

Naměřené hodnoty pro teplotní stabilizaci se zátěží s jedním vzorkem byly vyneseny do grafu a jsou zobrazeny na obrázku 8-7.



**Obr. 8-7 Doba stabilizace pro teplou komoru s jedním vzorkem standardní zátěže 1**

Obrázek 8-7 obsahuje naměřené hodnoty z komory (modrá plná čára) a naměřené hodnoty teploty zkušební vzorku (šedá plná čára). Čárkované čáry znázorňují toleranci 3 K (černá čárkovaná čára) a 5 K (šedá čárkovaná čára) od hodnot teploty v komoře. Červené čerchované čáry zobrazují časový okamžik od kdy byla zaznamenána první teplotní změna a taky časové okamžiky kdy teplotní rozdíl mezi průměrnou teplotou komory a teploty vzorku byla 5 K a 3 K.

### 8.3.2.2 Doba stabilizace ve studené komoře

Doba stabilizace byla ve studené komoře určena podobně jako v teplé komoře, kdy se využil přechodový děj z teploty 140 °C do teploty -40 °C. Hodnoty byly opět zvoleny jakožto běžné teplotní úrovně pro zátěž, která byla využita pro konfirmaci teplotní šokové komory.

Obdobně jako v případě teplé komory se teplá komora nechala temperovat na teplotu 140 °C po dobu 3 hodin následně se pohyblivý koš přesunul do studené komory s teplotou -40 °C a opět se měřila doba, než se teplota uvnitř pracovního prostoru ustálila na požadované teplotě s tolerancí.

Pro vyhodnocení se využívaly stejné tolerance teploty a normy, které byly popsány v případě teplotní komory v kapitole 8.3.2.1. Výsledné hodnoty měření doby stabilizace pro studenou komory jsou zaznamenány v tabulce 8-43.

**Tab. 8-44 Výsledné hodnoty doby stabilizace teploty ve studené komoře**

Bez zátěže	Se zátěží – 1 vzorek		Se zátěží – standardní zátěž		
Stabilizace $\Delta t = 2 \text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 5 \text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 3 \text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 2 \text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 5 \text{ K}$ [s]	Stabilizace $\Delta t = 3 \text{ K}$ [s]
574,4	1268,1	1435,0	612,6	2086,4	2297,0

Tabulka 8-44 obsahuje hodnoty času pro teplotní stabilizaci ve studené komoře. První sloupec obsahuje opět hodnoty pro prázdnou komoru, měřené podobně jako v případě teplé komory.

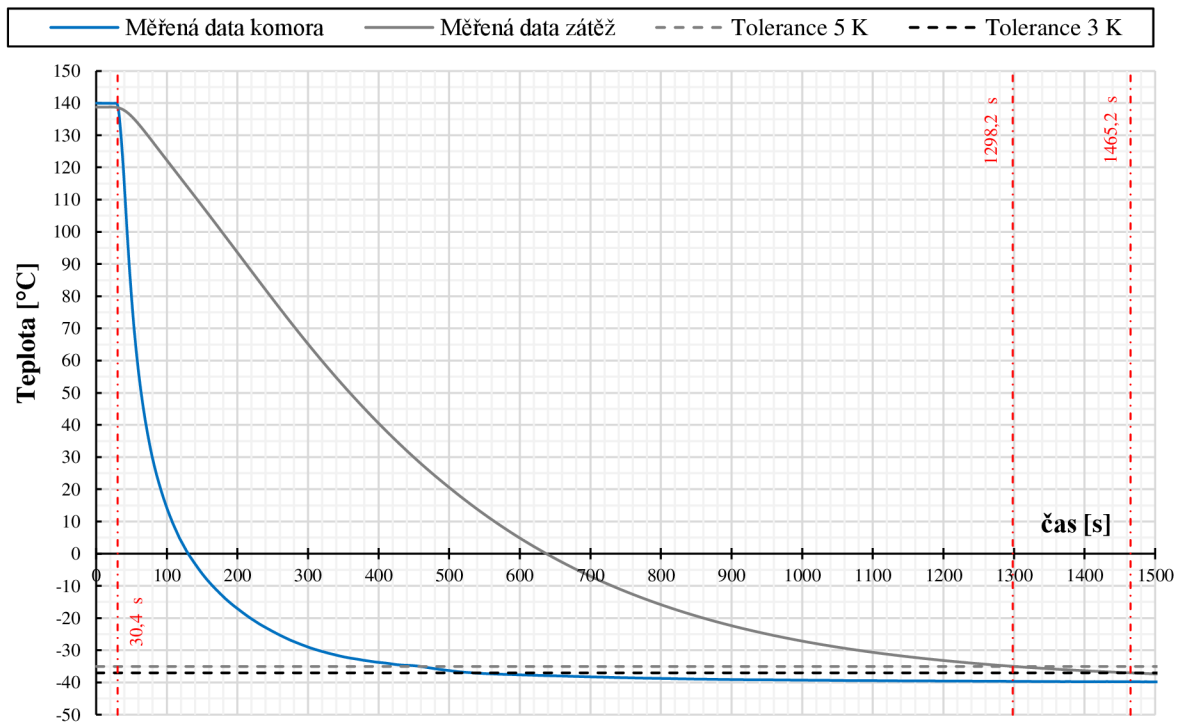
V dalších dvou sloupcích jsou zaznamenány podobně jako v tabulce 8-43 hodnoty pro dobu stabilizace se zátěží, která byla provedena podle normy ČSN-EN-60068-2-14 ed.2

S využitím normy ČSN-EN-60068-2-14 ed.2 kapitola 4.4 byla opět určena minimální doba cyklu ve studené komoře. Z vyhodnocených dat se zjistilo, že minimální délka cyklu ve studené komoře, pokud obsahuje jeden vzorek standardní zátěže, tak by neměla být tato doba kratší než 1268,1 sekund. V případě, zatížení komory standardní zátěží by měla být doba cyklu ve studené komoře minimálně 2086,4 sekund.

Z pohledu kapitoly 7.2.5. normy ČSN-EN-60068-2-14 ed.2 by část cyklu stráveného ve studené komoře na teplotě -40 °C neměl být kratší než 5744 sekund v případě prázdné komory a 6126 sekund pokud by komora byla zatížena standardní zátěží a plném počtu vzorků.

Naměřené hodnoty pro teplotní stabilizaci ve studené komoře se zátěží obsahující jeden vzorek standardní zátěže byly vyneseny do grafu a jsou zobrazeny na obrázku 8-7.





**Obr. 8-8** Doba stabilizace pro studenou komoru s jedním vzorkem standardní zátěže 1

Obrázek 8-8 graficky zobrazuje naměřené hodnoty z komory (modrá plná čára) a naměřené hodnoty teploty zkušební vzorku (šedá plná čára). Čárkované čáry znázorňují toleranci 3 K (černá čárkovaná čára) a 5 K (šedá čárkovaná čára) od hodnot teploty v komoře. Červené čerchované čáry zobrazují časový okamžik od kdy byla zaznamenána první teplotní změna a taky časové okamžiky kdy teplotní rozdíl mezi průměrnou teplotou komory a teploty vzorku byla 5 K a 3 K.

### 8.3.3 Výkyv teploty v komoře

Další parametr ověřovaný při confirmaci úzce souvisí s dobou stabilizace. Jedná se o parametr poklesu teploty v komoře, pokud byl do ní přesunut pohyblivý koš. V tomto případě se bude sledovat pokles teploty v komoře a doba, než se teplota opět ustálila na požadované teplotě.

V případě tohoto měření byl využit normální režim provozu teplotní šokové komory, kdy se využíval i přehřev teplé komory a předchlazení studené komory v neaktivním režimu. Přehřátím nebo předchlazením komory bychom teoreticky mohli urychlit dobu stabilizace a eliminovat velký teplotní propad po přesunu pohyblivého koše do komory.

Samotné nastavení testu bude provedeno tak, že se bude opět využívat přechodového děje ze 140 °C na -40 °C a následně z -40 °C na 140 °C. Teplota se bude v neaktivní komoře přehřívát nebo předchlazovat na požadovanou vyšší nebo nižší teplotu.

V případě studené komory to budou teploty od -40 °C do -60 °C s krokem 5 °C. Následně se do těchto jednotlivých teplot přesune pohyblivý koš ze 140 °C. Teplá komora se bude přehřívát postupně na teploty 140 °C až 160 °C s krokem 5 °C

a do těchto jednotlivých teplot se přesune pohyblivý koš ze studené komory, která se bude temperovat na teplotu -40 °C. Po přesunu pohyblivého koše do komory se teplota nastaví podle původního zadání v teplé komoře na 140 °C a ve studené komoře na -40 °C.

V průběhu tohoto měření bylo využito snímače teploty umístěného uvnitř jednotlivých komor, protože nebylo možné bezpečně umístit do jednotlivých komor, snímač teploty využitý při konfirmaci. Jelikož se jedná o orientační měření bylo možné tento snímač využít

### 8.3.3.1 Pokles teploty v teplé komoře

Pokles teploty v teplé komoře se určoval předeřháním komory na teploty 140 °C až 160 °C, s krokem 5 °C. Následně se do teplé komory přesunul koš ze studené komory, který byl temperován na teplotu -40 °C. Pokles teploty byl určován v případě, kdy pracovní prostor teplotní šokové komory byl nezatížen, a také v případě, kdy obsahoval standardní zátěž číslo 1.

Výsledné hodnoty pro měření bez zátěže jsou v tabulce 8-45.

**Tab. 8-45 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace v teplé komoře bez zátěže**

Přednastavená teplota teplé komory	140 °C	145 °C	150 °C	155 °C	160 °C
Minimální teplota [°C]	112,9	116,9	121,2	126,2	129,4
Pokles teploty [°C]	27,1	28,1	28,8	28,8	30,6
Doba ustálení [s]	125	120	95	80	65

V tabulce 8-45 jsou zaznamenány hodnoty pro minimální pokles teploty v komoře, což znamená, na jakou minimální teplotu se komora ochladila po přesunu pohyblivého koše ze studené komory. Dále pokles teploty, který byl určený jako rozdíl hodnoty předeřhvu od minimální teploty v komoře. Poslední hodnota je doba ustálení, což je čas, kdy se teplota v komoře ustálila na teplotu  $(140,0 \pm 2,0)$  °C. Výsledné hodnoty pro měření se standardní zátěží, jsou v tabulce 8-46.

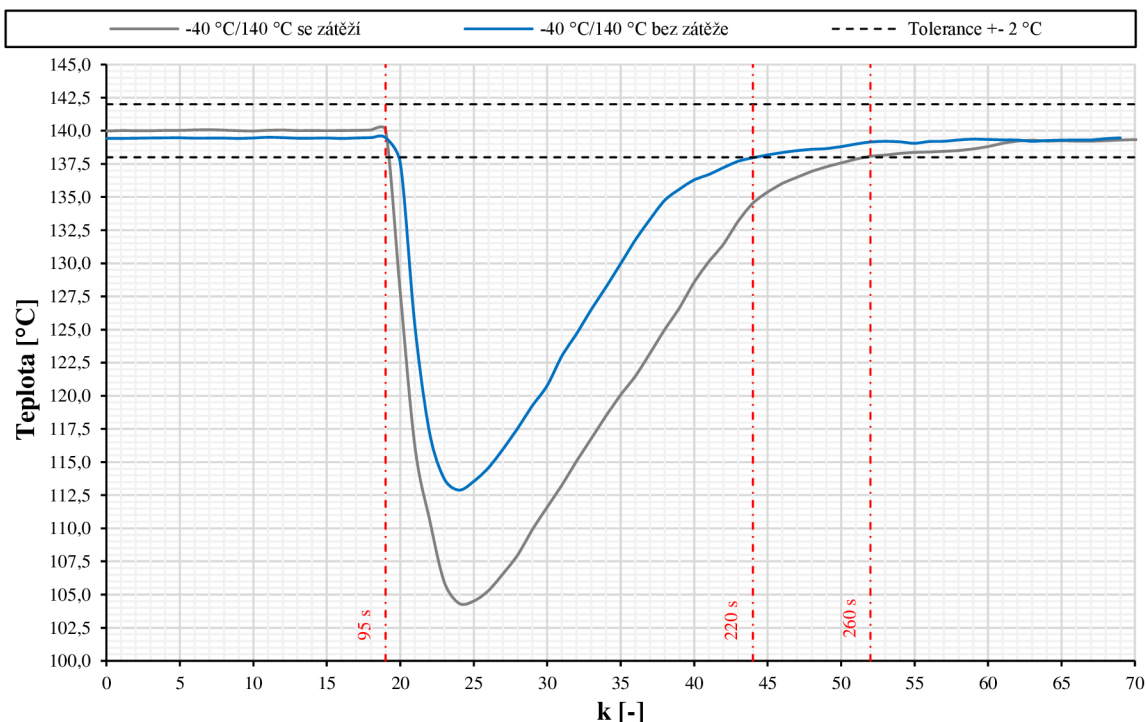
**Tab. 8-46 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace v teplé komoře se zátěží**

Přednastavená teplota teplé komory	140 °C	145 °C	150 °C	155 °C	160 °C
Minimální teplota [°C]	104,3	107,9	112,2	116,3	120,4
Pokles teploty [°C]	35,7	37,1	37,8	38,7	39,6
Doba ustálení [s]	165	150	140	125	110

Z výsledných hodnot lze udělat závěr, že pro měření bez zátěže je doba stabilizace, při předeřhání teplé komory o 20 °C od požadované teploty (140 °C), kratší o polovinu, a zároveň minimální teplota v komoře vzroste o 16,5 °C.

V případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží, byla hodnota ustálení, při předeřhání komory o 20 °C od požadované hodnoty, taky kratší, ale v porovnání s komorou bez zátěže téměř dvojnásobná. Hodnota minimální teploty v komoře, byla taky v porovnání s prázdnou komorou nižší o celých 9 °C.

Porovnání ustálení a poklesu teploty, v komoře pro zatíženou a nezatíženou komoru bez předehřátí, je na obrázku 8-9.



**Obr. 8-9 Grafické znázornění poklesu teploty v teplé komoře bez předehřevu**

Obrázek 8-9 zobrazuje pokles teploty v teplé komoře bez předehřátí, po přesunu pohyblivého koše z teploty  $-40\text{ °C}$ . Svislá osa znázorňuje teplotu v komoře a vodorovná osa okamžiky, kdy byla zaznamenána hodnota teploty v komoře, s periodou 5 sekund (1 dílek = 25 sekund).

V příloze 6 je umístěn graf, znázorňující pokles teploty v teplé komoře s předehřátím bez zátěže. Popis grafů v příloze odpovídá popisu grafu znázorněného na obrázku 8-9.

### 8.3.3.2 Pokles teploty ve studené komoře

Pokles teploty ve studené komoře se určoval předchlazením komory na teplotu  $-40\text{ °C}$  až  $-60\text{ °C}$  s krokem  $5\text{ °C}$ . Poté se do studené komory přesunul pohyblivý koš ze studené komory, který byl temperován na teplotu  $140\text{ °C}$ . Pokles teploty byl určován opět bez zátěže i se standardní zátěží číslo 1.

Výsledné hodnoty pro měření bez zátěže jsou v tabulce 8-47.

**Tab. 8-47 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace ve studené komoře bez zátěže**

Přednastavená teplota studené komory	$-40\text{ °C}$	$-45\text{ °C}$	$-50\text{ °C}$	$-55\text{ °C}$	$-60\text{ °C}$
Maximální teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-32,4	-33,1	-38,3	-38,4	37,9
Vzrůst teploty [ $^{\circ}\text{C}$ ]	7,6	11,9	-6,7	16,6	22,1
Doba ustálení [s]	100	95	30	40	155

V tabulce 8-47 jsou zaznamenány hodnoty pro maximální pokles teploty. Doba ustálení byla opět stanovena se stejnou tolerancí, a to  $(-40,0 \pm 2,0) \text{ }^\circ\text{C}$ , jako v případě teplé komory. U vyhodnocených dat pro komoru bez zátěže, si lze všimnout, že do teploty předchlazení  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ , klesá doba stabilizace a rozdíl mezi předchlazenou a maximální teplotou v komoře. Od teploty  $-55 \text{ }^\circ\text{C}$  má teplota ve studené komoře tendenci se déle stabilizovat. Také roste rozdíl mezi maximální teplotou a předchlazenou teplotou.

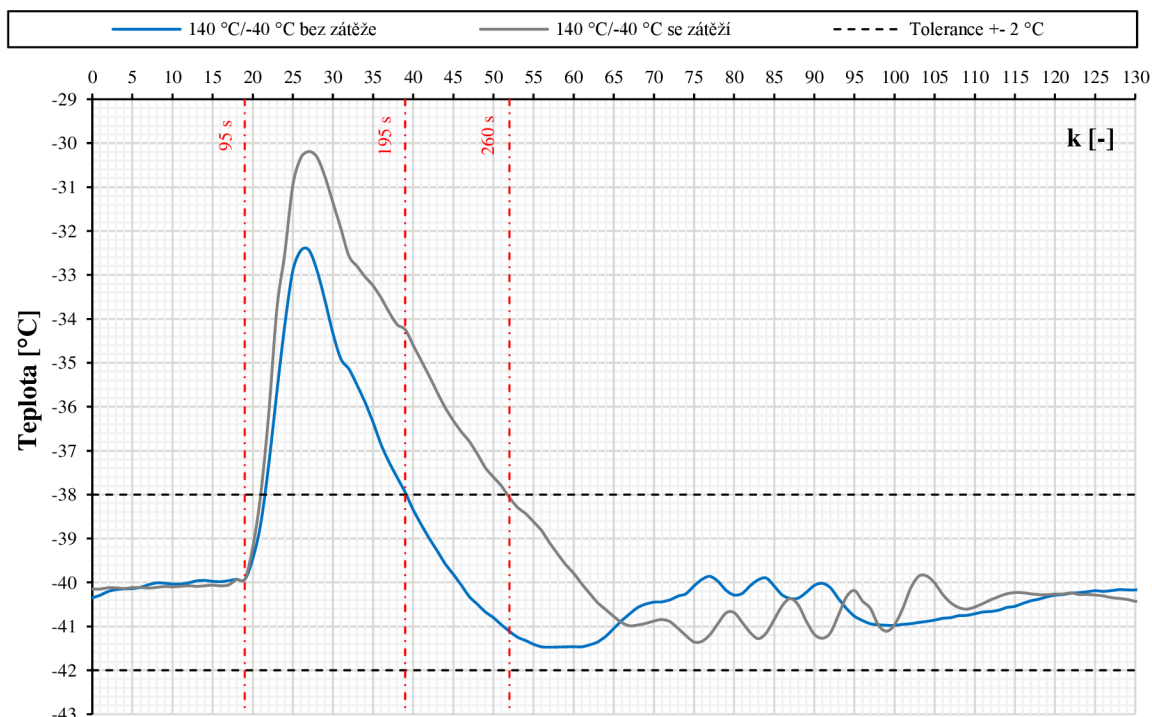
Výsledné hodnoty pro měření se standardní zátěží jsou v tabulce 8-47.

**Tab. 8-48 Hodnoty poklesu teploty a doby stabilizace ve studené komoře se zátěží**

Přednastavená teplota studené komory	-40 °C	-45 °C	-50 °C	-55 °C	-60 °C
Maximální teplota [°C]	-29,7	-31,0	-36,9	-37,7	X
Vzrůst teploty [°C]	10,3	14,0	13,1	17,3	
Doba ustálení [s]	165	130	105	90	

Z výsledných hodnoty lze říct, že doba stabilizace se snižující se teplotou předchlazení klesá, a to i v případě teplot nižších než  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Teplota předchlazení  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  nebyla bohužel změřena z důvodu špatného naprogramování komory a chybějící data byla zjištěna až při vyhodnocování zkoušky.

Na obrázku 8-10 je zobrazeno grafické porovnání poklesu teploty ve studené komoře pro zatíženou a nezatíženou komoru bez předehřátí.



**Obr. 8-10 Grafické znázornění zvýšení teploty ve studené komoře bez předchlazení**

Obrázek 8-10 zobrazuje vzrůst teploty ve studené komoře bez předchlazení po přesunu pohyblivého koše z teplé komory nastavené na teplotě  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hodnoty

na osách a jejich jednotky jsou stejné jako v případě obrázku 8-9. Hodnoty teploty byly opět zaznamenávány s periodou 5 s, proto 1 dílek = 25 sekund.

V příloze 7 je umístěn graf znázorňující vzrůst teploty ve studené komoře s předchlazením bez zátěže. Popis grafů v příloze odpovídá popisu grafu znázorněného na obrázku 8-10.

### **8.3.4 Souhrnné výsledky přechodového děje**

Z vyhodnocených dat pro přechodový děj bylo statisticky zjištěno několik významných hodnot. Rychlost změny teploty byla větší pro přesun pohyblivého koše ze studené komory do teplé komory. Rychlost této změny byla 74,7 K/min v případě, kdy byla komora prázdná, a 61,0 K/min, pokud byla komora zatížena.

Z naměřených dat byla určena i doba stabilizace, a tedy i minimální délka expozice v jednotlivých komorách. Součástí tohoto měření bylo i určení poklesu teploty v teplé komoře a vzrůst teploty ve studené komoře. Byl taky zjišťován propad teploty v teplé komoře a vzrůst teploty ve studené komoře, pokud byly tyto komory předem přehřáté nebo předchlazeny na vyšší nebo nižší teplotu.

Výsledné hodnoty lze brát jako informativní pro lepší nastavení teplotní šokové komory a pro korektnější provedení environmentální zkoušky. Vždy taky záleží na ostatních faktorech, které ovlivňují průběh zkoušky. Jedná se hlavně o uložení vzorků (standardní zátěže) v komoře, dále údržbě teplotní šokové komory a teplotní kapacitě vzorků.

## 9. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat a ověřit metodiku pro konfirmaci parametrů teplotní šokové komory. Konfirmace byla provedena pro komoru WEISS TS 60, která se nachází ve vývojové laboratoři firmy Continental Powertrain v Ostravě. Díky správně zvolené metodice a jejimu následnému ověření, bylo plně dosaženo cíle této bakalářské práce.

Pro měření teploty uvnitř pracovního prostoru šokové komory byly využity snímače teploty od firmy SENSIT, konkrétně TG3-25 Pt 100/3850-1/5B. Pro zaznamenávání teploty byl využit měřicí přístroj Agilent 34972A a měřicí karta Agilent 34901A.

Součástí přípravy měření bylo vytvoření mého vlastního návrhu uchycení teplotních snímačů v komoře. Proto byla vytvořena konstrukce z nerezové oceli a teflonu, která zajistila uchycení snímačů v normou udávaných vzdálenostech bez možnosti zkreslení výsledků měření. V rámci přípravy bylo také potřeba navrhnout metodiku, která se bude následně ověřovat, včetně nastudování příslušné normy, specifikace a materiálů.

Dále následovalo vlastní provedení měření. To bylo provedeno s prázdnou komorou, ale i se standardní zátěží umístěnou v pracovním prostoru. Nejprve bylo nutno změřit nejčastěji využívané teplotní úrovně v jednotlivých komorách. V teplé komoře se jednalo o teploty 125 °C, 140 °C, 150 °C a 180 °C. Ve studené komoře potom -40 °C a -50 °C. Součástí měření bylo i měření teplotní změny v teplé i studené komoře. Změna teploty v teplé komoře se prováděla vždy z teploty 50 °C na teploty 140 °C a 180 °C. Ve studené komoře se měřila teplotní změna z teploty 25 °C na -40 °C a -50 °C. Poslední částí měření bylo měření přechodového děje, kdy se primárně měřil přesun ze 140 °C na -40 °C a následně i z -40 °C na 140 °C. Měření přechodového děje se primárně zaměřovalo na parametry, jako jsou rychlost změny teploty, doba stabilizace po přesunu pohyblivého koše a pokles teploty v jednotlivých komorách.

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že všechny teplotní úrovně v teplé i studené komoře splňují toleranci  $\pm 0,5$  °C až  $\pm 2,0$  °C udávané výrobcem komory, v nezátíženém i zatíženém stavu. Největší hodnota nejistoty měření byla zjištěna pro teplotní úroveň 180 °C se zátěží a nejnižší pro teplotní úroveň 125 °C bez zátěže. Největší podíl na celkové nejistotě měla nejistota typu B způsobená gradientem teploty, která se zvyšující teplotou rostla.

Dalším ze získaných výsledků byly výsledky měření rychlosti změny teploty v jednotlivých komorách. Měření bylo opět provedeno bez zatížení a se standardní zátěží. V obou případech splňovaly komory hodnotu, kterou udává výrobce.

Výsledky z měření přechodového děje byly zpracovány statisticky tak, že byla provedena měření, z nichž se získaly hodnoty, které slouží jako doporučení pro korektní provádění environmentálních zkoušek rychlé změny teploty v laboratoři. Z měření rychlosti změny teploty přechodového děje bylo zjištěno, že změna teploty z -40 °C na teplotu 140 °C je 74,7 K/min pro prázdnou komoru a 61,0 K/min, pokud byla komora zatížená standardní zátěží. Změna teploty ze 140 °C na -40 °C byla zjištěna na hodnotu 55,7 K/min, pokud byla komora bez zátěže, a na hodnotu 39,5 K/min, pokud byla zatížená.

Dalšími parametry bylo zjišťování doby stabilizace a pokles nebo vzrůst teploty v jednotlivých komorách po přesunu pohyblivého koše. Z těchto výsledků bylo sepsáno doporučení pro nastavení komory a volby doby expozice pro korektní provádění environmentálních zkoušek v případě, kdy byla komora zatížena standardní zátěží.

# Literatura

- [1] ČSN EN 60068-3-5: Zkoušení vlivů prostředí - Část 3-5: Doprovodná dokumentace a návod - Konfirmace výkonnosti teplotních komor. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.
- [2] ČSN EN 60068-3-11: Zkoušení vlivů prostředí - Část 3-11: Doprovodná dokumentace a návod - Výpočet nejistoty podmínek v klimatických zkušebních komorách. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [3] ČSN EN 60068-3-7: Měření v teplotních komorách pro zkoušky A a B (se zátěží). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.
- [4] ČSN EN 60068-2-14: Zkoušení vlivů prostředí – Část 2-14: Zkoušky – Zkoušky N: Změna teploty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [5] LABAORATORNÍ VÝBOR EA a Český Institut pro AKREDITACI. EA – 4 /02 M:2013: Vyjádření nejistoty měření při kalibraci. Praha, 2013.
- [6] WEISSTECHNIK. Temperature Shock Test Chamber TS [online]. 2016, 9. Dostupné z: <http://www.weissfr.com/fr/download/Enceinte-choc-thermique-Votsch-anglais.pdf>
- [7] AUTOMA: Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot [online]. Praha: FCC public s.r.o, 2001, (7-8), 6 s. ISSN 1210-9592. Dostupné také z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10960.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10960.pdf)
- [8] AUTOMA: Nejistoty v měření II: nejistoty přímých měření [online]. Praha: FCC public s.r.o, 2001, (10), 6 s. ISSN 1210-9592. Dostupné také z: [http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10961.pdf](http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10961.pdf)
- [9] AUTOMA: Nejistoty v měření III: nejistoty přímých měření [online]. Praha: FCC public s.r.o, 2001, (10), 6 s. ISSN 1210-9592. Dostupné také z: [http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10962.pdf](http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10962.pdf)
- [10] WEISSTECHNIK. Návod k obsluze: Zkušební skříně ke zkouškám teplotním šokem. 2015, 182 s.
- [11] TG 3 a TG 3A: průměr 3 mm, -50 °C až 250 °C [online]. Rožnov pod Radhoštěm. Dostupné z: <https://www.sensit.cz/cz/produkt/tg-3-a-tg-3a-br-/-prumer-3-mm-50-c-az-250-c-21302-20666-781/>
- [12] DOJAVA, Václav. Stanovení standardní nejistoty při konfirmaci teplotní komory. Brno, 2018, 101 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.
- [13] ING. UHER, Miroslav. MEMS - 1. přednáška 4.2. 2019: Obecné pokyny, návrh měřicího řetězce a jeho nejistoty [online]. Brno, 2019. Prezentace. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.

- [14] ING. ČEJKA, Miloslav. Stručný úvod do problematiky nejistot měření [online]. Brno. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [15] ŠEDIVÁ, Soňa. Laboratorní cvičení č. 1: Chyby přímých a nepřímých měření. Nejistoty měření [online]. Brno, 2018. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [16] PETŘKOVSKÁ, Lenka. Technická měření a metrologie - v příkladech: 2. měřená úloha - přímá a nepřímá metoda měření [online]. Ostrava, 2013. Skriptum. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní.
- [17] Agilent 34970A: Data Acquisition / Switch Unit [online]. , 34 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [http://www.me.umn.edu/courses/me4331/FILES/AgilentManual\\_34.pdf](http://www.me.umn.edu/courses/me4331/FILES/AgilentManual_34.pdf)
- [18] KEYSIGHT TECHNOLOGIES. Keysight 34970A: Data Acquisition/Switch Unit Family [online]. USA, 2018, 28. Dostupné z: <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-5290EN.pdf>
- [19] PALSTAT. Vyjadřování nejistot: Vyjadřování nejistot měření při kalibracích [online]. Vrchlabí, 2002, , 15. Dostupné z: <http://micki.hofyland.cz/vut/bmva/nejistota.pdf>
- [20] WEISSTECHNIK. TS-60 [online]. In: . 2018 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://weiss-na.com/product/ts-60-2/>



## Seznam příloh

Příloha 1 - Kopie kalibračního listu .....	90
Příloha 2 - Graf jednotlivých snímačů při změně teploty z 25 °C na -40 °C bez zátěže	92
Příloha 3 - Graf jednotlivých snímačů při změně teploty z 50 °C na 140 °C bez zátěže	93
Příloha 4 - Graf jednotlivých snímačů při přechodovém ději z -40 °C na 140 °C bez zátěže .....	94
Příloha 5 - Graf jednotlivých snímačů při přechodovém ději ze 140 °C na -40 °C bez zátěže .....	95
Příloha 6 - Výkyv teploty v teplé komoře s předeřtím bez zátěže .....	96
Příloha 7 - Výkyv teploty ve studené komoře s předchlazením bez zátěže.....	97

# Příloha 1 - Kopie kalibračního listu



Kalibrační laboratoř č. 2249

Starozuberská 1453, 756 54 Zubří  
MEROS, spol. s r.o.



## KALIBRAČNÍ LIST č. 3238F-19

Strana č. 1, počet stran 2

**Žadatel:** Continental Powertrain Czech Republic s.r.o.  
Na Rovince 879  
720 00 Ostrava - Hrabová

**Měřidlo:** druh: digitální teploměr  
výrobce: Agilent  
typ: 34972A  
výrobní číslo: MY49002343  
inventární číslo: EV510  
příslušenství: Pt 100 č.1 - 10

**Specifikace:** teplota -200°C až 600°C ±0.06°C  
sonda dle ČSN EN 60584-1 ed 2 ±0.005|t|+0.3°C  
|t| - měřená hodnota

**Kalibrační metoda:** dle interního kal. postupu MKTT ET.2

**Podmínky prostředí:** teplota 23°C ± 5°C, relativní vlhkost max. 80 %

**Použité etalony:**

typ	výrobní číslo	platnost do	číslo kal. listu	
Plat. odpor. teplom.	Pt 100	ič. 387	5.3.2021	6036-KL.-00057-19
Precisní teploměr	CROPICO 3001	065254	29.5.2020	1750E-18
Kalibrační pírka	RTC-700 B	639441-00521	22.8.2019	3010E-18, 1204F-19

**Návaznost:** Všechny použité etalony mají metrologickou návaznost na (mezi)narodní etalony

**Datum přijetí** 10.4.2019

**Datum kalibrace:** 11.4.2019

**Kalibraci provedl:** ing. Punčochářová Ivana

.....  
podpis vedoucího oddělení

**Vyhodnocení:** Dle požadavku žadatele uvedeny naměřené hodnoty, které se vztahují pouze k době a místu provedení kalibrace.

### Naměřené hodnoty:

kanál 101 Pt 100 č.1

Etalonová hodnota [°C]	-49.42	149.95	199.96
Naměřená hodnota [°C]	-49.4	150.0	200.1
Chyba měřidla [°C]	0.0	0.0	0.1
Nejistota měření [°C]	0.2	0.2	0.2

kanál 102 Pt 100 č.2

Etalonová hodnota [°C]	-49.42	149.95	199.96
Naměřená hodnota [°C]	-49.4	150.0	200.0
Chyba měřidla [°C]	0.0	0.0	0.0
Nejistota měření [°C]	0.2	0.2	0.2

kanál 103 Pt 100 č.3

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,4	150,0	200,0
Chyba měřidla [°C]	0,0	0,0	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 104 Pt 100 č.4

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,5	150,0	200,1
Chyba měřidla [°C]	-0,1	0,0	0,1
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 105 Pt 100 č.5

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,5	150,0	200,0
Chyba měřidla [°C]	-0,1	0,0	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 106 Pt 100 č.6

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,4	150,0	200,0
Chyba měřidla [°C]	0,0	0,0	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 107 Pt 100 č.7

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,5	149,9	200,0
Chyba měřidla [°C]	-0,1	-0,1	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 108 Pt 100 č.8

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,5	150,0	200,0
Chyba měřidla [°C]	-0,1	0,0	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 109 Pt 100 č.9

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,4	149,9	200,0
Chyba měřidla [°C]	0,0	-0,1	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

kanál 110 Pt 100 č.10

Etalonová hodnota [°C]	-49,42	149,95	199,96
Naměřená hodnota [°C]	-49,4	149,9	200,0
Chyba měřidla [°C]	0,0	-0,1	0,0
Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2

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

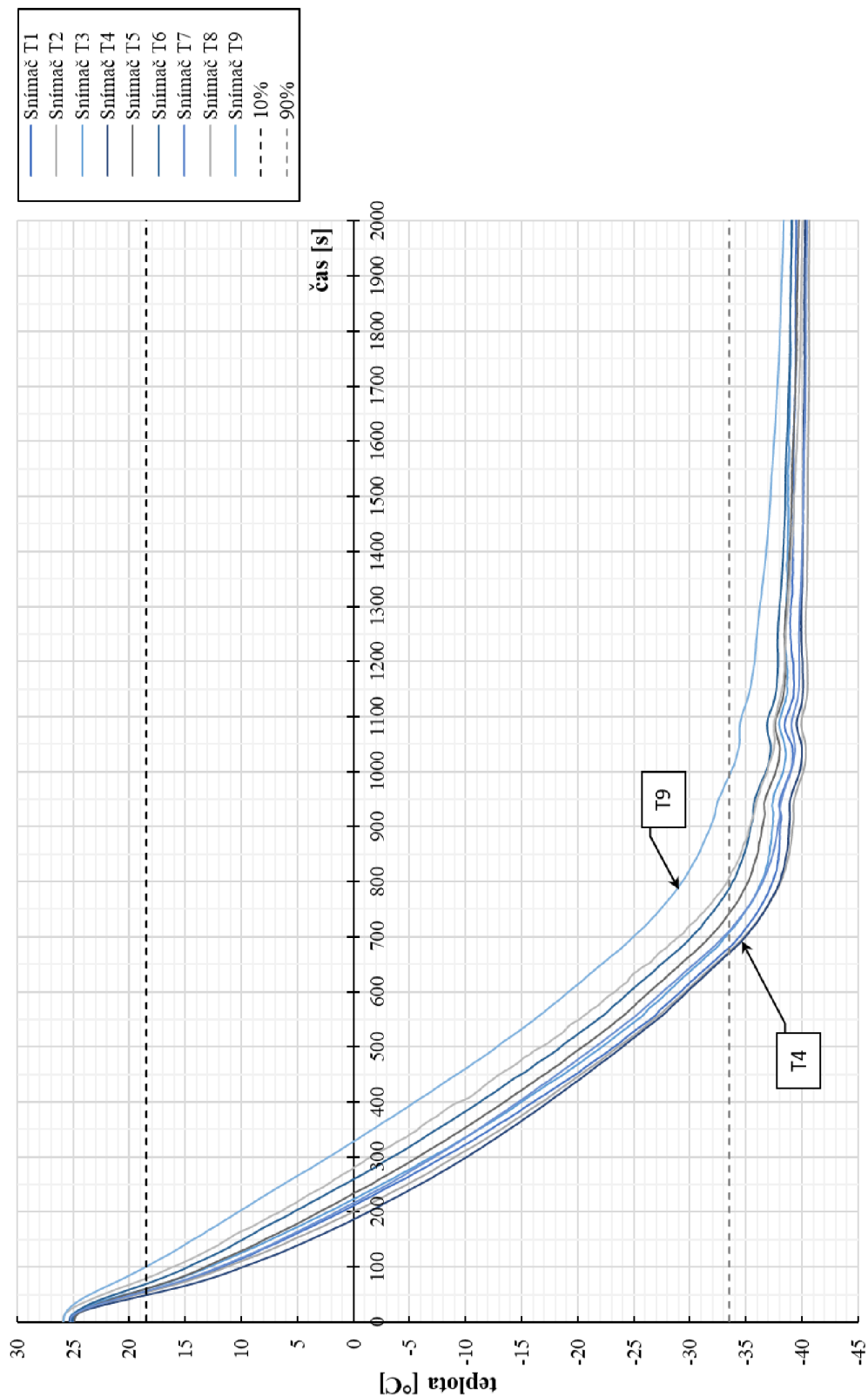
MI ROS, spol. s r.o. kalibrační laborator č. 2249 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. dle ČSN EN ISO/IEC 17025 prohlašuje, že bez jejího písemného souhlasu se nesmí tento kalibrační list reprodukovat jinak než celý. Výsledky kalibrace se týkají pouze kalibrovaného měřidla a nenahrazují jiné dokumenty.

Datum vydání: 11.4.2019

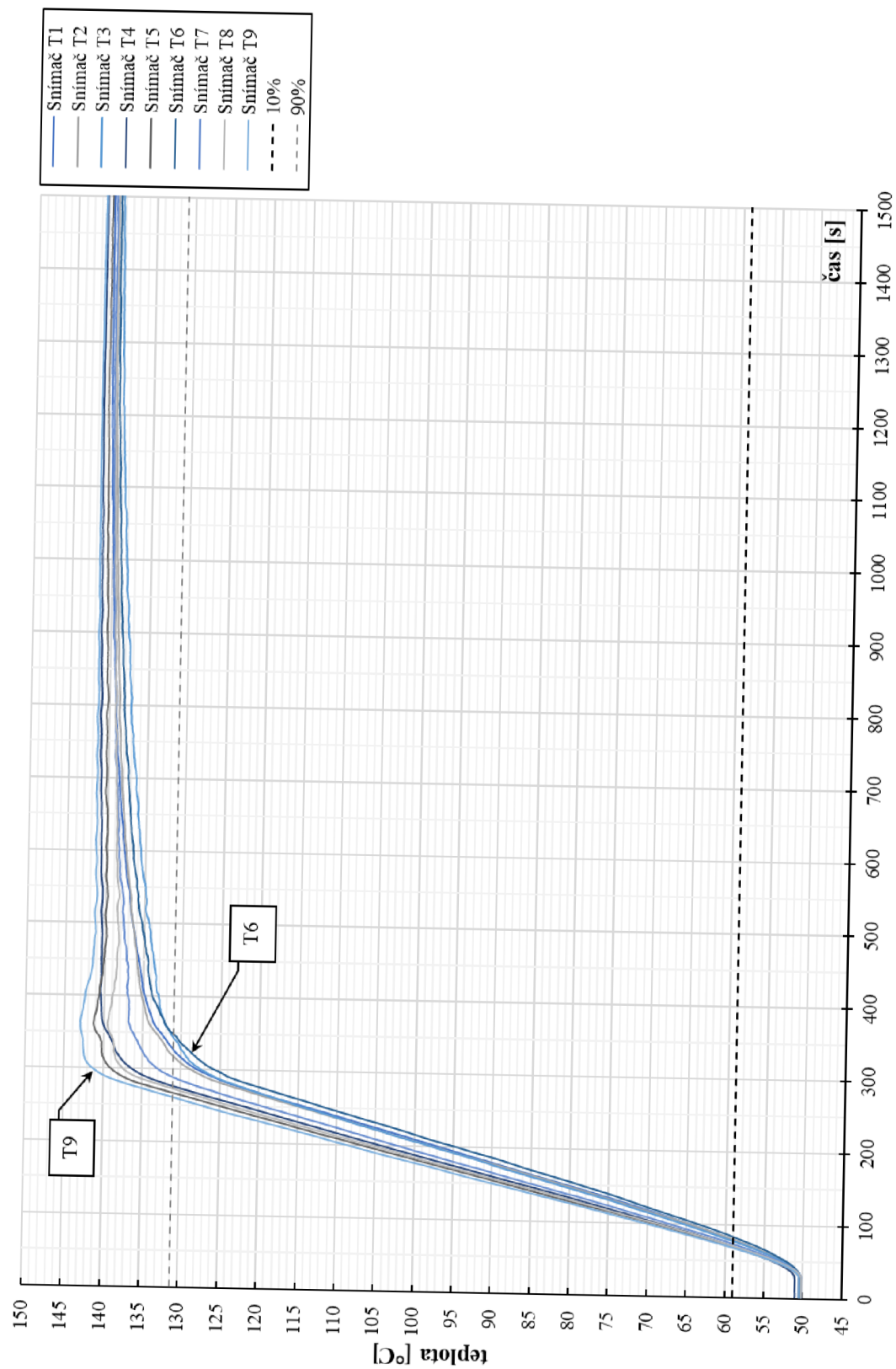
Konec kalibračního listu.

schválil za KL

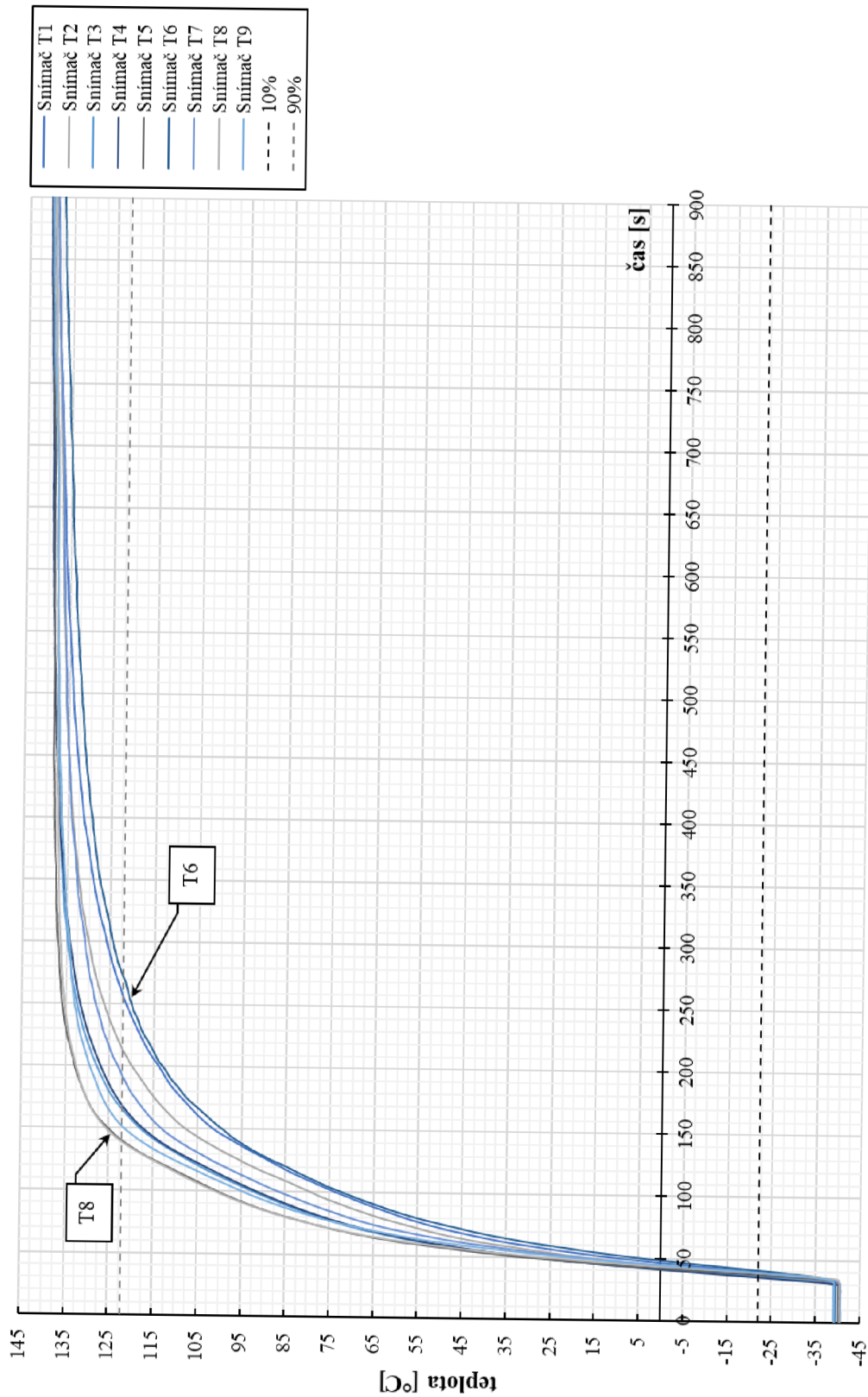
## Příloha 2 - Graf jednotlivých snímačů při změně teploty z 25 °C na -40 °C bez zátěže



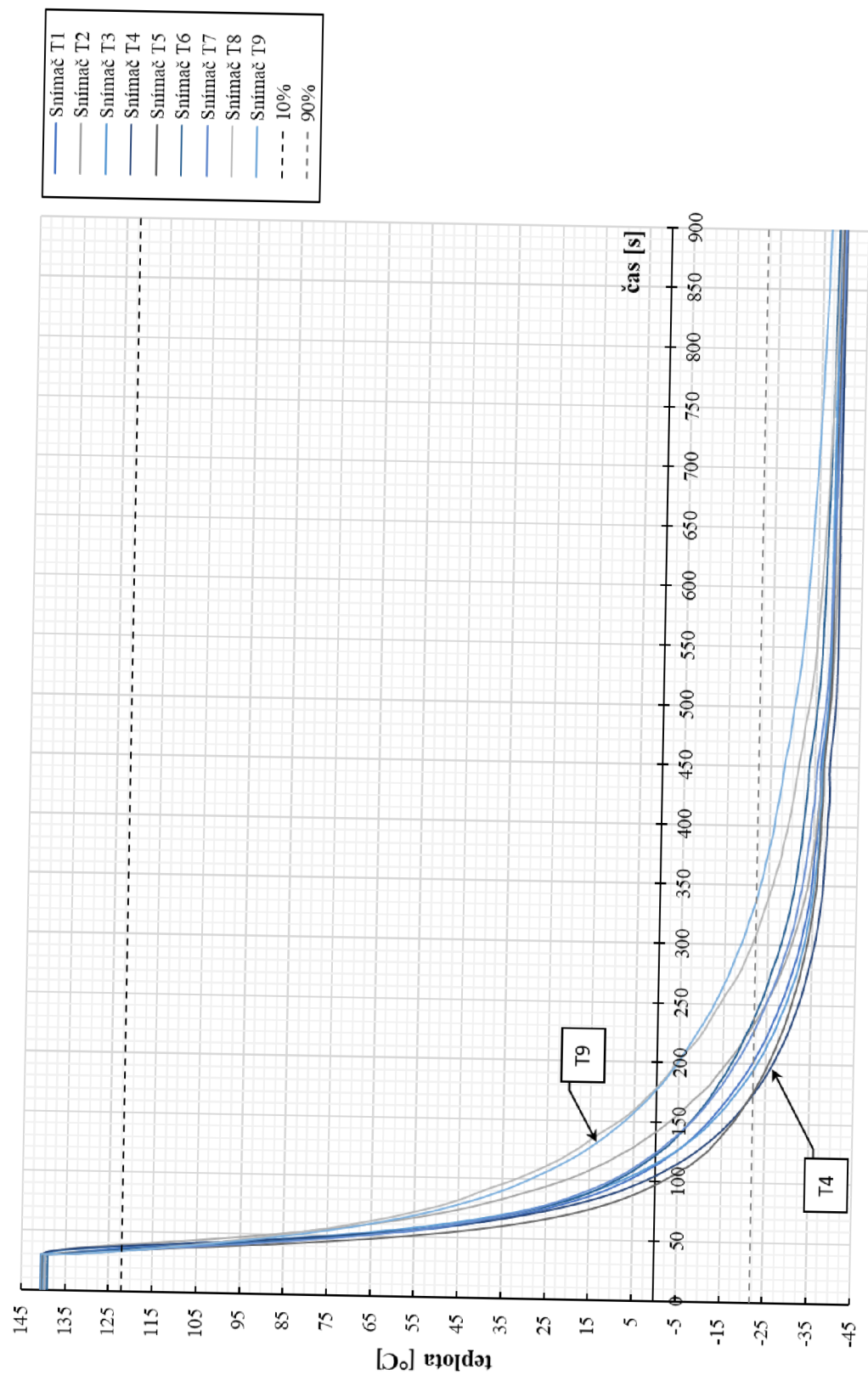
### Příloha 3 - Graf jednotlivých snímačů při změně teploty z 50 °C na 140 °C bez zátěže



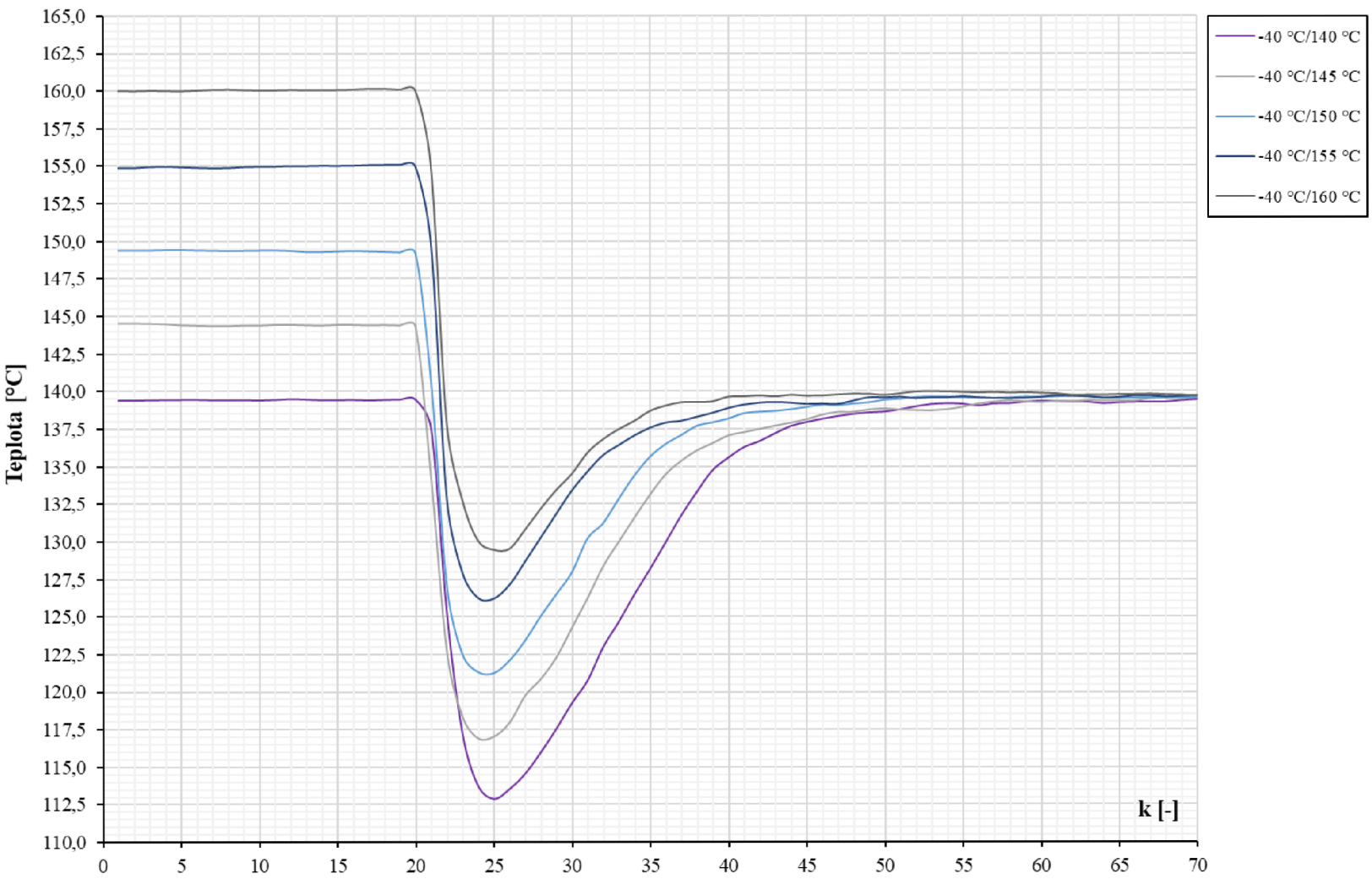
## Příloha 4 - Graf jednotlivých snímačů při přechodovém ději z -40 °C na 140 °C bez zátěže



## Příloha 5 - Graf jednotlivých snímačů při přechodovém ději ze 140 °C na -40 °C bez zátěže

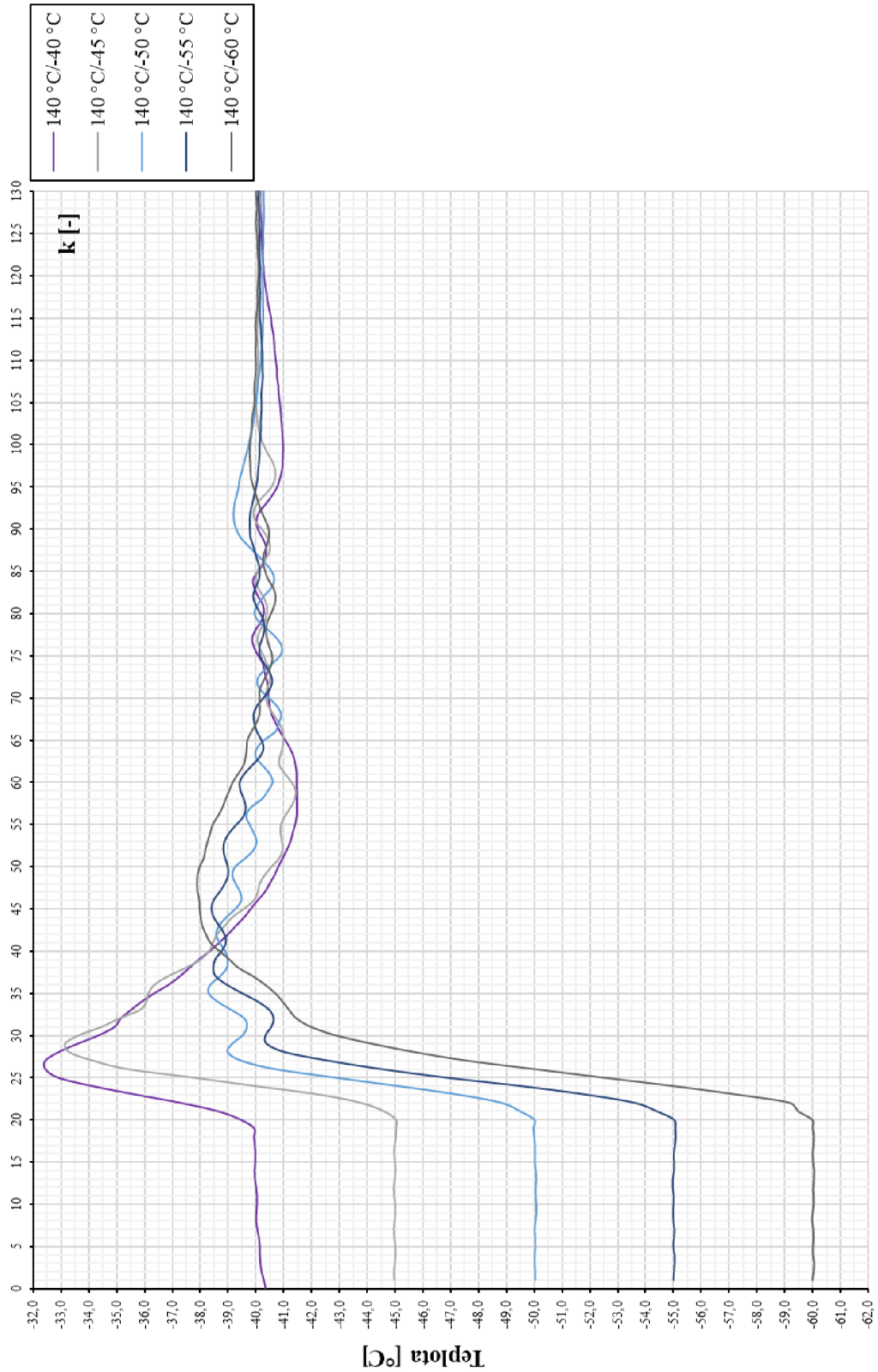


## Příloha 6 - Výkyv teploty v teplé komoře s předehřátím bez zátěže





## Příloha 7 - Výkyv teploty ve studené komoře s předchlazením bez zátěže



## **Příloha 8 - Obsah přiloženého CD**

Elektronická verze bakalářské práce

Záznam měření

Grafy obsaženy v příloze 2-7

Výkresy konstrukce pro uchycení teplotních snímačů