



Bakalářská práce

Měření teploty v prostoru klima komory

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Daniel Pilek

Vedoucí práce:

Ing. Petr Novotný, CSc.

Katedra energetických zařízení

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Měření teploty v prostoru klima komory

Jméno a příjmení:

Daniel Pilek

Osobní číslo:

S20000091

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Zadávací katedra:

Katedra energetických zařízení

Akademický rok:

2023/2025

Zásady pro vypracování:

1. Zjistit jaké je rozložení teplot v prostoru komory o rozměrech 4×4×3 metry.
2. Pro měření použijte termočlánky zavěšených na navrhnutém stojanu.
3. Upravte pohon z tažné nádrže pro posun stojanu po prostoru komory
4. Porovnejte výsledky s údaji uloženými v paměti termokomory

Rozsah grafických prací: Technická dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] Středa I.; Základy rovnovážné termodynamiky, TU Liberec 2009 ISBN 978-80-7372-459-7
- [2] Michael J. Moran, Howard N. Shapiro; Fundamental of Engineering Thermodynamics, printed in the USA 2008, ISBN 13-978-0471-78735-8
- [3] Petříková M., Kryštůfek P.; Tabulky pro termodynamiku, TU Liberec 2013 ISBN 978-80-7372-945-5

Vedoucí práce: Ing. Petr Novotný, CSc.
Katedra energetických zařízení

Datum zadání práce: 1. listopadu 2023
Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2025

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Petra Dančová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci 1. listopadu 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

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

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

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

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

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

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

13. března 2024

Daniel Pilek

Měření teploty v prostoru klima komory

Anotace

Téma této bakalářské práce je ověření stability teploty v prostoru klimatické komory pomocí konstrukce s termočlánky. V teoretické části jsou přiblíženy nejprve základy termodynamiky vlhkého vzduchu, poté téma klimatických komor a jako poslední je popsáno měření teploty. Praktická část práce se zaměřuje na celkové vysvětlení cíle práce, poté na popis postupu modelování konstrukce v PC programu, na její sestavení v praxi a dále je také ukázáno příslušenství klimatické komory, která byla pro tuto práci využita. Jako další bod je vysvětlen způsob, jakým byly k měření použity termočlánky a na závěr je proveden experiment za pomoci vyrobené konstrukce.

Klíčová slova

klima komora, klimatická komora, konstrukce, měření teploty, model, ověření teplot, stabilita klimatické komory, termočlánky

Temperature measurement in the climate chamber

Annotation

The topic of this bachelor thesis is the verification of the temperature stability in the space of the climate chamber using a thermocouple structure. In the theory part the basics of thermodynamics of humid air are presented first, then the topic of climate chambers and lastly the temperature measurement is described. The practical part of the thesis focuses on the overall explanation of the aim of the work. After that are also shown the procedure of modelling the structure in a PC program and assembling it in real life, as well as the accessories of the climate chamber used for this work. Next, the way in which the thermocouples were used for the measurements is explained and finally is the experiment performed using the fabricated structure.

Keywords

climate chamber, construction, model, stability of climate chamber, temperature measurement, temperature verification, thermocouples

Poděkování

Poděkovat chci v první řadě vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Novotnému, CSc. za odborné vedení mé práce a rady ohledně postupu v průběhu její tvorby. Dále bych rád poděkoval také panu Ing. Ondřeji Burianovi za jeho cenné rady a paní Ing. Karolíně Čermákové za poskytnutí užitečných informací z praxe. Na závěr patří mé velké díky mojí rodině, přátelům a mojí přítelkyni za velkou trpělivost a oporu.

Obsah

Úvod	11
Teoretická část	12
1. Základy termodynamiky vlhkého vzduchu	12
1.1. Úvod.....	12
1.2 Vlhký vzduch a jeho složky	14
1.3 Suchý vzduch	14
1.4. Voda a vodní pára.....	15
1.5. Vlhký vzduch a jeho základní pojmy a veličiny	15
1.6. Molliérův h_{1+x} -x diagram vlhkého vzduchu.....	22
1.7. Ohřev vzduchu	25
1.8. Chlazení vzduchu.....	26
2. Klima komora	27
2.1. Simulace různých druhů klimatických podmínek.....	27
2.2. Testování spolehlivosti a výkonosti	27
2.3. Výhody a nevýhody	27
3. Měření teploty.....	29
3.1. Teplotní senzory	29
3.2. Kovové senzory	30
3.3 Termočlánky	30
Praktická část	36
4. Cíl práce.....	36
5. Model klimatické komory.....	37
6. Příslušenství klimatické komory.....	39
7. Konstrukce	41
8. Termočlánky	50
9. Experiment.....	53
9.1. Etapa 1	54
9.2. Etapa 2	57
9.3. Etapa 3	60
Celkové vyhodnocení výsledků	64
Závěr	65

Seznam zkratek a symbolů

Seznam symbolů

a	[kg/m ³]	absolutní vlhkost vzduchu
p	[Pa]	tlak
p _i	[Pa]	tlak parciální
p _{sv}	[Pa]	suchý vzduch
p _p	[Pa]	vodní pára
P _{vv}	[Pa]	tlak vlhkého vzduchu (101 325 Pa)
r _{sv}	[J/kg·K]	plynová konstanta pro suchý vzduch
r _p	[J/kg·K]	plynová konstanta pro vodní páru
r	[J/kg·K]	měrná plynová konstanta
m _{sv}	[kg]	hmotnost suchého vzduchu
m _p	[kg]	hmotnost vodní páry
m _{vv}	[kg]	hmotnost vlhkého vzduchu
ρ	[kg/m ³]	hustota
ρ _{vv}	[kg/m ³]	hustota vlhkého vzduchu
ρ _p	[kg/m ³]	hustota par ve vlhkém vzduchu
ρ _{sv}	[kg/m ³]	hustota suchého vzduchu
V	[m ³]	objem
V _{vv}	[m ³]	objem vlhkého vzduchu
V _{sv}	[m ³]	objem suchého vzduchu
V _p	[m ³]	objem vodní páry
t	[°C]	teplota
t _{RB}	[°C]	teplota rosného bodu
T	[K]	termodynamická teplota
c _p	[J/kg·K]	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku
c _v	[J/kg·K]	měrná tepelná kapacita při konstantním objemu
h	[J/kg]	měrná entalpie
s	[J/kg·K]	měrná entropie
u	[J/kg]	měrná vnitřní energie

x	[kg _p /kg _{sv}]	měrná vlhkost vzduchu
κ	[1]	poissonova konstanta
φ	[-]	relativní vlhkost vzduchu
σ	[1]	hmotnostní zlomek
U	[V]	elektrické napětí
R	[Ω]	elektrický odpor
I	[A]	elektrický proud

Seznam zkratek

N ₂	dusík
O ₂	kyslík
CO ₂	oxid uhličitý
Ar	argon
Ne	neon
He	helium
Kr	krypton
Xe	xenon
H ₂	vodík
O ₃	ozón
'	pro sytou kapalinu
"	pro sytou páru, pro stav nasyceného vlhkého vzduchu
'''	pro sytou tuhou fázi
1 + x	pro vlhký vzduch obsahující 1 kg suchého vzduchu a x kg páry

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá ověřením stability klimatické komory k měření teploty v prostoru za pomoci termočlánků a vlastnoručně sestavené konstrukce, jejíž sestavení spolu s postupem měření jsou v práci popsány.

Teoretická část práce se zaměřuje nejprve na přiblížení základů termodynamiky vlhkého vzduchu. Jako další jsou popsány klimatické komory, typy a oblasti jejich využití a dále také výhody a nevýhody jejich používání v praxi. V poslední teoretické části je zmíněno měření teploty. Zde byly přiblíženy druhy senzorů používaných k měření a blíže byly popsány termočlánky, které byly poté využívány v praktické části této práce.

Praktická část nejprve definuje samotný cíl této bakalářské práce. Dále je vyobrazen model klimatické komory spolu s vytvořenou konstrukcí uvnitř klimatické komory. Po modelu klimatické komory jsou jednotlivě představeny jednotlivé části neboli příslušenství klimatické komory, vytvořená konstrukce a termočlánky používané k měření hodnot. V následující kapitole je proveden a ve třech etapách v jednotlivých bodech představen samotný experiment a naměřené hodnoty.

Jako poslední je sepsáno celkové vyhodnocení naměřených a zjištěných hodnot a údajů, jakožto shrnutí poslední kapitoly praktické části této bakalářské práce, která se zaměřuje na samostatný experiment.

Teoretická část

Teoretická část práce se zaměřuje na popis základů termodynamiky vlhkého vzduchu, dále na přiblížení tématu klimatických komor, popis jejich fungování a využití v praxi a jako poslední na měření teploty, kam spadají různé druhy v praxi používaných senzorů a termočlánky.

1. Základy termodynamiky vlhkého vzduchu

1.1. Úvod

Za vlhký vzduch se považuje směs suchého vzduchu a vody, tato směs má zásadní vliv na termodynamické procesy v systémech, jako jsou klimatizační jednotky, kde jsou dvě rozdělení směsi, a to homogenní a heterogenní. Směs homogenní nastane, pokud je veškerá voda ve směsi v plynném stavu. Směs heterogenní se dále rozděluje na tři fáze a to:

- 1) částečně ve stavu páry a částečně ve stavu kapalném
- 2) částečně ve stavu páry a částečně ve stavu tuhém
- 3) částečně ve všech tří skupenstvích (ve stavu páry, kapalném a tuhém) [1]

U suchého vzduchu jsou jasně definovány jeho vlastnosti, a to konkrétně při nulové nadmořské výšce. Za této situace má pak ve smyslu objemu a hmotnosti určité složení. [2]

Daltonův zákon

„Ve směsi ideálních plynů je celkový tlak směsi roven součtu parciálních tlaků.“ [1]

$$p = \sum p_i \quad [\text{Pa}] \quad (1.1)$$

Celkový tlak vlhkého vzduchu p lze vyjádřit jako součet parciálních tlaků suchého vzduchu p_{sv} a vodní páry p_p : [3]

$$p = p_{sv} + p_p \quad [\text{Pa}] \quad (1.2)$$

Ideální plyn

Ideální plyn je teoretický model stlačitelné tekutiny, který je definovaný vztahy mezi stavovými veličinami tlaku p , hustoty ρ a teploty T . Pro suchý vzduch i vodní páru lze využít stavové rovnice ideálního plynu v následujícím tvaru: [1]; [2]

Pro suchý vzduch:
$$p_{sv} \cdot V = m_{sv} \cdot r_{sv} \cdot T \quad (1.3)$$

Pro vodní páru:
$$p_p \cdot V = m_p \cdot r_p \cdot T \quad (1.4)$$

kde:

V – objem	[m ³]
m _{sv} – hmotnost suchého vzduchu	[kg]
m _p – hmotnost vodní páry	[kg]
T – termodynamická teplota	[T]
r _{sv} – plynová konstanta pro suchý vzduch (r _v =287,114 J/kg·K)	[J/kg·K]
r _p – plynová konstanta pro vodní páry (r _p =461,526 J/kg·K)	[J/kg·K] [2]

V důsledku již zmíněných vlastností ideálního plynu je zjištěno, že jejich měrná vnitřní energie, resp. měrná entalpie, závisí pouze na teplotě:

$$du = c_v \cdot dT \quad (1.5)$$

resp.
$$dh = c_p \cdot dT \quad (1.6)$$

kde:

c_p – měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku [J/kg·K]

c_v – měrná tepelná kapacita při konstantním objemu [J/kg·K] [2]

Mayerova rovnice

„Vztah mezi ideálními měrnými tepelnými kapacitami ideálních plynů.“ [1]

$$c_p - c_v = r \quad (1.7)$$

Poissonova konstanta

„Značí se κ a jeho výpočet je poměr izobarické a izochorické tepelné kapacity ideálního plynu“ [1]

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (1.8)$$

Z rovnic (1.7) a (1.8) je možné odvodit vztahy pro vypočítání měrné tepelné kapacity ideálního plynu, jednak pro izobarickou, tak i pro izochorickou: [1]

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa-1} \cdot r \quad (1.9)$$

$$c_v = \frac{1}{\kappa-1} \cdot r \quad (1.10)$$

1.2 Vlhký vzduch a jeho složky

Vlhký vzduch se skládá ze směsi suchého vzduchu a vlhkosti. Aby bylo zjednodušeno pojetí z hlediska fyzikálního popisu vlhkého vzduchu, který se nachází v přírodě a je součástí technických procesů, lze brát v potaz pouze tyto dvě složky. Nejsou uvažovány různé plynné znečišťující složky, kapalně složky látek z odlišných technologií a tuhé látky prachu ve vzduchu, ve kterém je vlhkost přítomna pouze ve stavu plynném.

Vlhký vzduch za těchto speciálních podmínek, v němž je vlhkost přítomna pouze ve stavu plynném (tj. nejsou uvažovány kapalně a tuhé složky vlhkosti), vede k použití ideálních plynů. Toto zjednodušení je užitečné pro stručné vyjádření termodynamických parametrů, díky kterým je možné provádět řadu výpočtů a řešení různých úloh. [1]

1.3 Suchý vzduch

Suchý vzduch je směs plynů s určitým hmotnostním a objemovým složením, které je uvedeno v tabulce níže viz Tabulka 1. Suchý vzduch má jasně definované vlastnosti, a to při nulové nadmořské výšce. [1]; [2]

Tabulka 1 Složení suchého vzduchu [1]

Plyn	Chemická značka	Objemový zlomek [%]	Hmotnostní zlomek [%]
Dusík	N ₂	78,08	75,52
Kyslík	O ₂	20,95	23,14
Argon	Ar	0,93	1,286
Oxid uhličitý	CO ₂	3,3·10 ⁻²	5,0·10 ⁻²
Neon	Ne	1,8·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³
Helium	He	5,2·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻⁵
Metan	CH ₄	3,0·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻⁴
Krypton	Kr	1,1·10 ⁻⁴	3,3·10 ⁻⁴
Oxid dusný	N ₂ O	5,0·10 ⁻⁵	7,6·10 ⁻⁵
Vodík	H ₂	5,0·10 ⁻⁵	3,4·10 ⁻⁶
Ozón	O ₃	1,0·10 ⁻⁶	1,6·10 ⁻⁶
Xenon	Xe	8,7·10 ⁻⁶	3,9·10 ⁻⁵

Základní termodynamické vlastnosti suchého vzduchu jako ideálního plynu

Izobarická měrná tepelná kapacita: $c_p = 1005,9 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Izochorická měrná tepelná kapacita: $c_v = 718,8 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Poissonova konstanta: $\kappa = 1,399 [1]$

1.4. Voda a vodní pára

Voda je vcelku složitou látkou z pohledu termodynamiky. Nejvíce je využívána pro přenos energie a je nejlépe dostupným médiem. Vodní pára se ve vlhkém vzduchu dá považovat v rozsáhlém okolí kolem atmosférických podmínek jako ideální plyn, jelikož parciální tlak vodní páry je nízký a vztahy mezi stavovými veličinami vodní páry se při těchto podmínkách moc neliší od stavové rovnice ideálního plynu a měrné tepelné kapacity při konstantním tlaku a Poissonovou konstantou jsou hodnoty téměř konstantní.

Základní fyzikální vlastnosti vody a vodní páry

Měrná plynová konstanta: $r = 461,526 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Základní termodynamické vlastnosti vodní páry jako ideálního plynu

Izobarická měrná tepelná kapacita: $c_p = 1898,56 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Izochorická měrná tepelná kapacita: $c_v = 1398,56 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Poissonova konstanta: $\kappa = 1,33 [1]$

1.5. Vlhký vzduch a jeho základní pojmy a veličiny

Vlhký vzduch jakožto termodynamický systém je sloučená směs substance vody a suchého vzduchu. Forma páry je vlhkost neboli voda obsažena ve vlhkém vzduchu, pokud nenastane případ, kdy je směs heterogenní, poté může být vlhkost v určitém množství ve vlhkém vzduchu ve stavu tuhém nebo kapalném. Stav, při kterém vzduch pojme nejvyšší množství vodní páry, se popisuje jako nasycení a v tomto stavu se pára označuje jako sytá. [1]; [2]

Sytá pára a její parciální tlak p_p

Z termodynamického hlediska je sytá pára se svou kapalnou fází v rovnováze. Tlak syté páry je jistou funkcí teploty. Parciální tlak syté páry je maximálním tlakem u jakékoli zadané teploty. [1]; [2]

Parciální tlak par p_p

Parciální tlak syté vodní páry ve vzduchu p_p , má odpovídající absolutní vlhkost, jak je možno vidět u stavové rovnice (1.4). Na teplotě není závislý parciální tlak par za předpokladu, že se nemění tlak vzduchu. [2]

Podle obsahu vlhkosti ve vzduchu se vlhký vzduch dělí na:

- Je-li $p_p < p_p''$, tak vlhký vzduch je nenasycený a směs homogenní
- Je-li $p_p = p_p''$, tak vlhký vzduch je nasycený a směs homogenní
- Je-li $p_p > p_p''$, tak vlhký vzduch je přesycený a směs je heterogenní [1]; [3]

$$p_p = \varphi \cdot p_p'' \quad (1.11)$$

Parciální tlak suchého vzduchu p_{sv}

Parciální tlak suchého vzduchu ve vlhkém vzduchu je rozdíl tlaku vlhkého vzduchu ($p_{vv} = 101\,325$ Pa) a parciálního tlaku par ve vlhkém vzduchu: [1]

$$p_{sv} = p_{vv} - p_p \quad (1.12)$$

Absolutní vlhkost vzduchu a

Absolutní vlhkost vzduchu je rovna hmotnosti ledu m_t , vody m_k a vodní páry m_p obsažena v jednotkovém objemu vzduchu. [2]

$$a = \frac{m_p + m_k + m_t}{V} \quad (1.13)$$

Pokud je směs homogenní, tudíž vlhký vzduch nasycený nebo nenasycený je $m_k = m_t = 0$, je možností absolutní vlhkost vzduchu počítat jako hmotnost vodní páry v objemu 1 m^3 vlhkého vzduchu. Díky tomu lze hovořit o hustotě vodní páry ρ_p . Zde byl použit Oswaldův zákon ohledně objemu vlhkého vzduchu. [2]; [3]

Oswaldův zákon

„Všechny plynné složky v rovnovážné směsi zaujímají stejný objem, jako celá směs.“

Objem vlhkého vzduchu V_{vv} podle Oswaldova zákona, za podmínky, že voda ve vlhkém vzduchu je pouze ve formě páry. [1]

$$V_{vv} = V_{sv} = V_p = V \quad (1.14)$$

poté po upravení rovnice (1.13) lze psát:

$$a = \frac{m_p}{V} = \frac{m_p}{V_p} = \rho_p \quad (1.15)$$

Relativní vlhkost vzduchu φ

Vzhledem k absolutní vlhkosti je relativní vlhkost definována jako poměr absolutní vlhkosti nenasyčeného vzduchu a k absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu při téže teplotě a'' . [1]; [2]

$$\varphi = \frac{a}{a''} \quad (1.16)$$

Za předpokladu, že vodní páru, která je obsažena ve vlhkém vzduchu, je možné popsat modelem ideálního plynu, vychází se z dosazení za a a a'' ze stavové rovnice viz. (1.4): [1]; [2]

$$\varphi = \frac{a}{a''} = \frac{\rho_p}{\rho_p''} = \frac{p_p}{r_p \cdot T} \cdot \frac{r_p \cdot T}{p_p''} = \frac{p_p}{p_p''} \quad (1.17)$$

je důležité si uvědomit, že vlhký vzduch není ideální plyn. Proto je použita přibližná rovnost:

$$\varphi \approx \frac{p_p}{p_p''} \cdot 100 \quad (1.18)$$

kde $\varphi = 100\%$ znamená nasycený vzduch. [3]

Měrná vlhkost vzduchu x

„Je poměr hmotnostního množství vody m_p k hmotnostnímu množství suchého vzduchu.“ [1]

$$x = \frac{m_{H_2O}}{m_{sv}} \quad (1.19)$$

Pokud je homogenní směs vlhkosti ve formě páry:

$$x = \frac{m_p}{m_{sv}} = \frac{\rho_p}{\rho_{sv}} \quad (1.20)$$

Pokud je směs heterogenní, tudíž v přesyceném vzduchu a pro $t > 0^\circ\text{C}$, pak bude část vyloučena jako kapalina:

$$x' = x - x'' \quad (1.21)$$

Pro $t < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ bude část vyloučena jako tuhá fáze:

$$x''' = x - x'' \quad (1.22)$$

A pro $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ může být část přebývající vlhkosti vyloučena jako tuhá a kapalná fáze:

$$x''' + x' = x - x'' \quad (1.23)$$

„Tvoří-li vlhký vzduch homogenní směs a jeho složky (suchý vzduch i páru) lze popsat modelem ideálního plynu, lze z (1.20), rovnice ideálního plynu a (1.17) odvodit vztah mezi měrnou a relativní vlhkostí vzduchu.“ [1]

$$x = \frac{\rho_p}{\rho_{sv}} = \frac{\frac{p_p}{r_p \cdot T}}{\frac{p_{sv}}{r_{sv} \cdot T}} = \frac{r_{sv}}{r_p} \cdot \frac{p_p}{p_{vv} - p_p} = \frac{287,114}{461,526} \cdot \frac{p_p}{p_{vv} - p_p} = 0,622 \cdot \frac{p_p}{p_{vv} - p_p} = 0,622 \cdot \frac{\varphi p''}{p_{vv} - \varphi p''} \quad (1.24)$$

„Pro měrnou vlhkost nasycené homogenní směsi ($\varphi=1$) plyne z (1.24):“

$$x'' = 0,622 \cdot \frac{p_p''}{p_{vv} - p_p''} \quad (1.25)$$

Hustota ρ

Hustota par ve vlhkém vzduchu:

$$\rho_p = \varphi \cdot \rho_{pp}'' \quad (1.26)$$

Nebo

$$\rho_p = \frac{p_p}{r_p \cdot T} \quad (1.27)$$

Hustota suchého vzduchu:

$$\rho_{sv} = \frac{p_{sv}}{r_{sv} \cdot T} \quad (1.28)$$

Hustota vlhkého vzduchu:

$$\rho_{vv} = \rho_{sv} + \rho_p \quad (1.29)$$

Hmotnost m

Hmotnost suchého vzduchu:

$$m_{sv} = m_{vv} \cdot \frac{1}{1+x} \quad (1.30)$$

Hmotnost par:

$$m_p = m_{vv} \cdot \frac{x}{1+x} \quad (1.31)$$

Hmotnostní zlomek vlhkého vzduchu ϵ

Hmotnostní zlomek suchého vzduchu:

$$\epsilon_{sv} = \frac{m_{sv}}{m_{vv}} = \frac{1}{1+x} \quad (1.32)$$

Hmotnostní zlomek páry:

$$\epsilon_p = \frac{m_p}{m_{vv}} = \frac{x}{1+x} \quad (1.33)$$

pro hmotnostní zlomky platí:

$$\epsilon_{sv} + \epsilon_p = 1 \quad (1.34)$$

Měrná plynová konstanta vlhkého vzduchu r_{vv}

$$r_{vv} = \epsilon_{sv} \cdot r_{sv} + \epsilon_p \cdot r_p = \frac{1}{1+x} \cdot r_{sv} + \frac{x}{1+x} \cdot r_p \quad (1.35)$$

Entalpie vlhkého vzduchu h_{1+x}

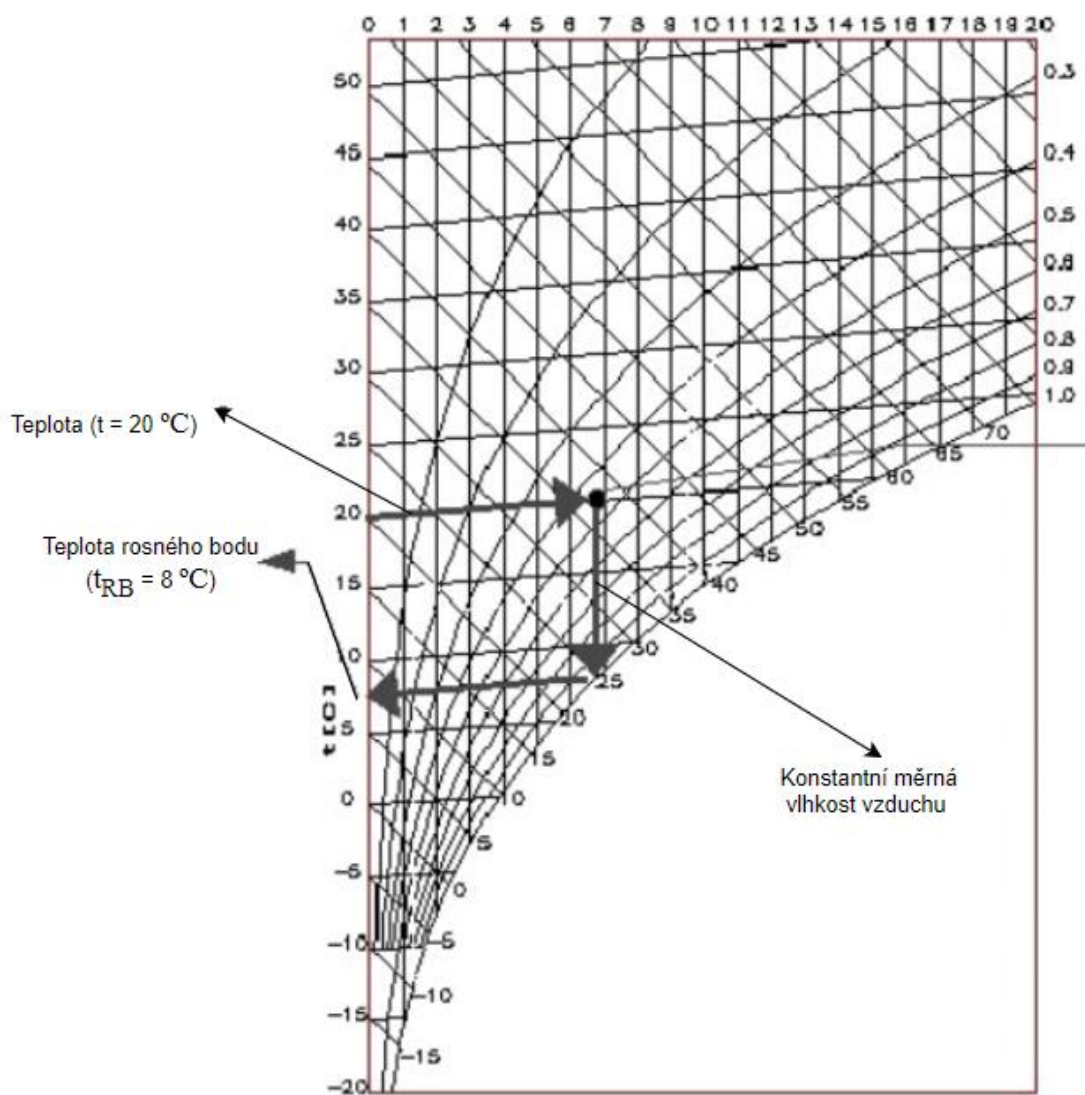
$$h_{1+x} = h_{sv}(t, p_{sv}) + x \cdot h_{H_2O}(t, p_{H_2O}) \quad (1.36)$$

Entropie vlhkého vzduchu s_{1+x}

$$s_{1+x} = s_{sv}(t, p_{sv}) + x \cdot s_{H_2O}(t, p_{H_2O}) \quad [1] \quad (1.37)$$

Teplota rosného bodu t_{RB}

Teplota rosného bodu je zjišťována pro určitý stav vlhkého vzduchu. Při izobarickém ochlazování je vzduch nasycen. Při následném ochlazování dochází ke kondenzaci vodní páry. Tento proces zahrnuje určitý stav měrné vlhkosti vzduchu, který se pohybuje od stavu 1 směrem dolů svislou čarou do stavu 2, kde má stále konstantní měrnou vlhkost vzduchu ($x_1 = x_2$) až na mez sytosti $\varphi = 1$. (Viz. obrázek 1). [4]



Obrázek 1 Teplota rosného bodu v Mollierově diagramu [5]

1.6. Molliérův h_{1+x} -x diagram vlhkého vzduchu

Diagram se často používá pro analýzu a návrh klimatizačních systémů, kde jsou zapotřebí výchozí formulace spolu s konkrétními termodynamickými vlastnostmi vlhkého vzduchu. Získat lze postačující řešení parametrů dějů a veličin vlhkého vzduchu. Pro určení stavu vlhkého vzduchu je zapotřebí tří stavových veličin, např. (p , T a složení). [1]

Diagram je považován za podstatný z grafického hlediska, kdy jsou zpracovány změny izobarických stavů vlhkého vzduchu a vždy je přiřazena určitá hodnota tlaku vlhkého vzduchu p_{vv} ($p_{vv} = 101\,325$ Pa). V Mollierově h_{1+x} -x diagramu je orientována stupnice teploty ve svislém směru. Vodorovně je na diagramu vyobrazena stupnice měrné vlhkosti. [6]

Nulová hodnota vlhkosti je zobrazena v případě suchého vzduchu, což umožňuje odečítat hodnoty na svislé ose diagramu, kde $\varphi = 0$, $x = 0$. [1]

Nasyčený vlhký vzduch $\varphi = 1$ je rozdělen v diagramu na dvě oblasti v mezích nasycení:

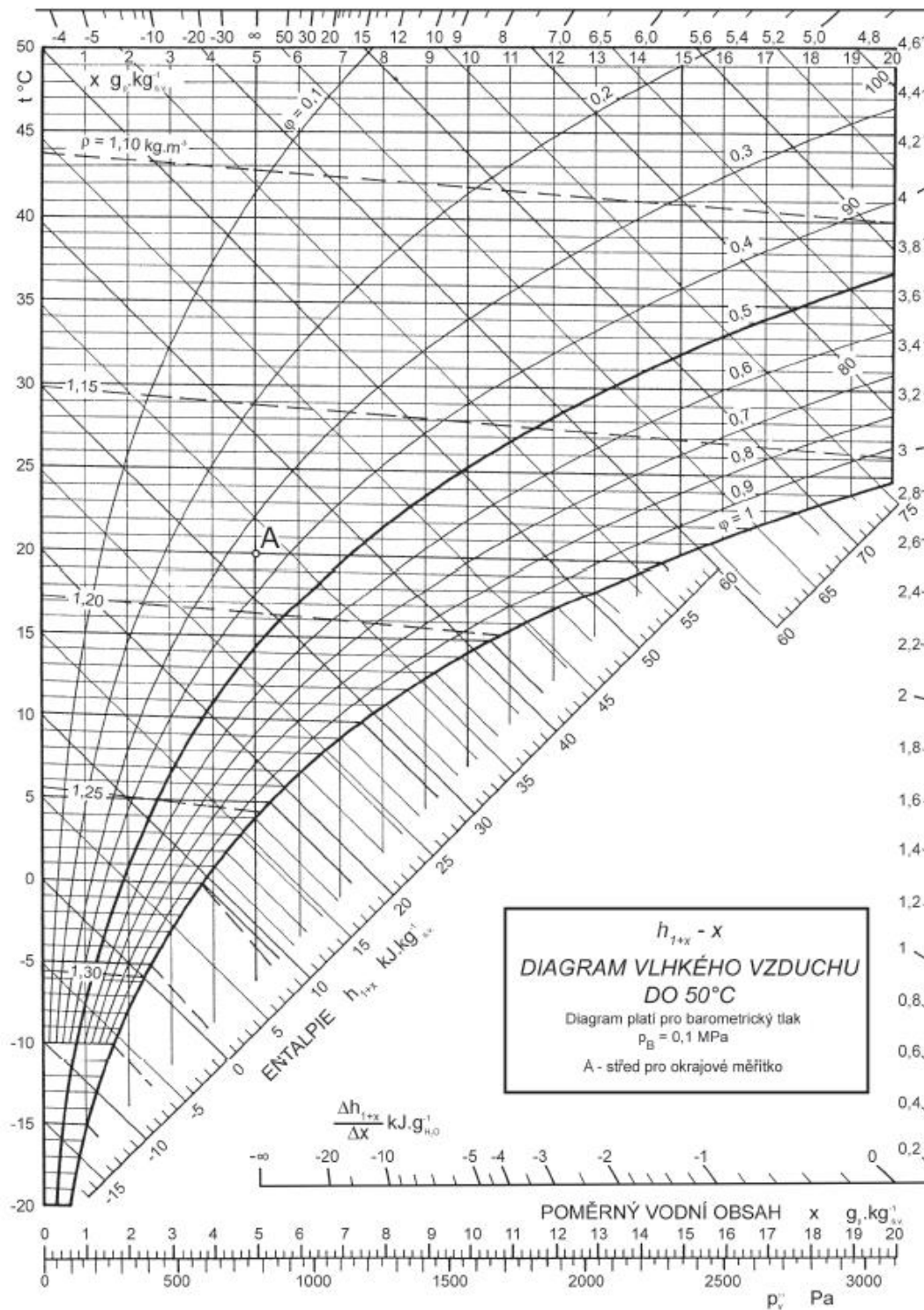
- Přesycený vlhký vzduch se vyskytuje v oblasti pod křivkou nasycení
- Nenasycený vlhký vzduch se vyskytuje v oblasti nad křivkou nasycení

V Mollierově diagramu jsou vykresleny křivky konstantní relativní vlhkosti v části nenasyceného vlhkého vzduchu, kde $\varphi = \text{konstantní}$. Tyto křivky se pohybují v rozmezí od $\varphi = 0$, což odpovídá suchému vzduchu do $\varphi = 1$, který zobrazuje nasycený vlhký vzduch. Relativní vlhkost je v Mollierově h_{1+x} -x diagramu zakreslena bod po bodu při známém počátečním tlaku p . Pro výpočet φ se poté využívá upravený vzorec podle rovnice (1.24):

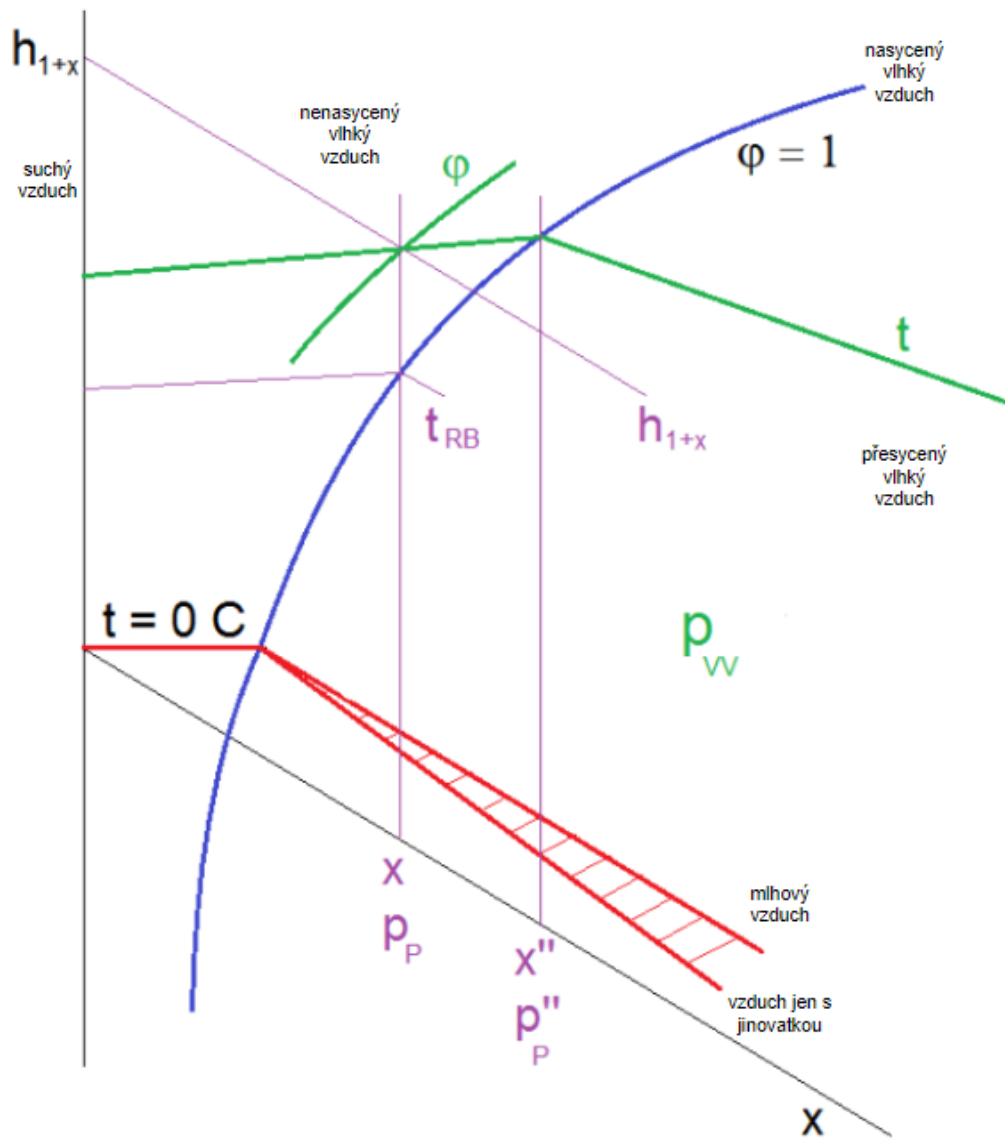
$$\varphi = \frac{p_{vv}}{p_p''} \cdot \frac{x}{(0,622+x)} \quad (1.38)$$

Rovnicemi entalpie vzduchu jsou vykreslovány křivky izotermy do Molliérova h_{1+x} -x diagramu. Izoterma zobrazuje teplotu, která zůstává konstantní. V části diagramu, kde se nachází nasycený a přesycený vzduch, nejsou izotermy zcela rovnoběžné, neboť se mírně rozptylují. U izoentalp v oblasti přesyceného vzduchu jsou izotermy téměř rovnoběžné. Pokud je teplota pod 0°C , izoterma se naklání směrem dolů od křivky s nulovou teplotou. Pokud je teplota vyšší než 0°C , pak křivka izotermy míří směrem nahoru od křivky s nulovou teplotou.

Při známém tlaku vlhkého vzduchu p_{vv} existuje určitý parciální tlak p_p'' , který umožňuje snadné určení maximální měrné vlhkosti vzduchu x'' . Na stejné stupnici v diagramu lze rovněž určit parciální tlak vodní páry p_p a měrnou vlhkost vzduchu x . Pro vykreslení křivek do Molliérova h_{1+x} -x diagramu je nezbytné znát dvě veličiny, často se jedná o relativní vlhkost φ a teplotu t . [1]



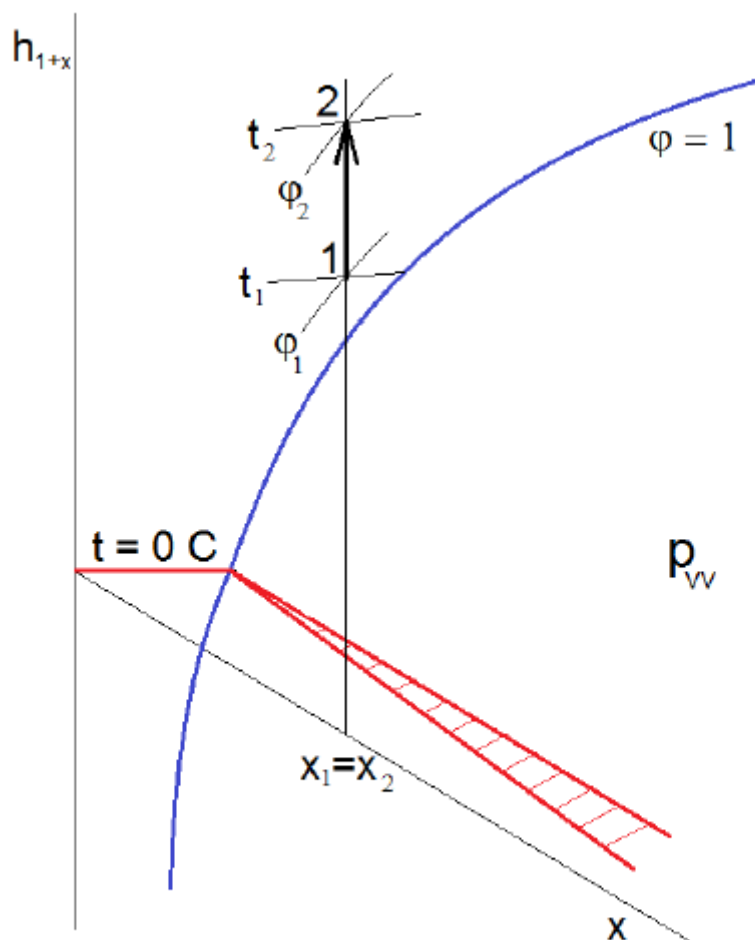
Obrázek 2 h_{1+x} - x diagram vlhkého vzduchu pro tlak 0,1 MPa [7]



Obrázek 3 Mollierův diagram vlhkého vzduchu (schéma odečítání) [8]

1.7. Ohřev vzduchu

Při ohřevu reálného množství hmotnosti vodních par v 1 kg suchého vzduchu nastane, že suchý vzduch je konstantní a měrná vlhkost vzduchu se nemění. Nicméně relativní vlhkost se při ohřevu snižuje. Během ohřevu vzduchu dochází ke změnám stavových veličin z počátečního stavu 1 do konečného stavu 2 ($x_1 = x_2$, $h_1 < h_2$, $t_1 < t_2$, $\varphi_1 > \varphi_2$), (viz. obrázek 4). [4]



Obrázek 4 Izobarický ohřev vlhkého vzduchu [8]

1.8. Chlazení vzduchu

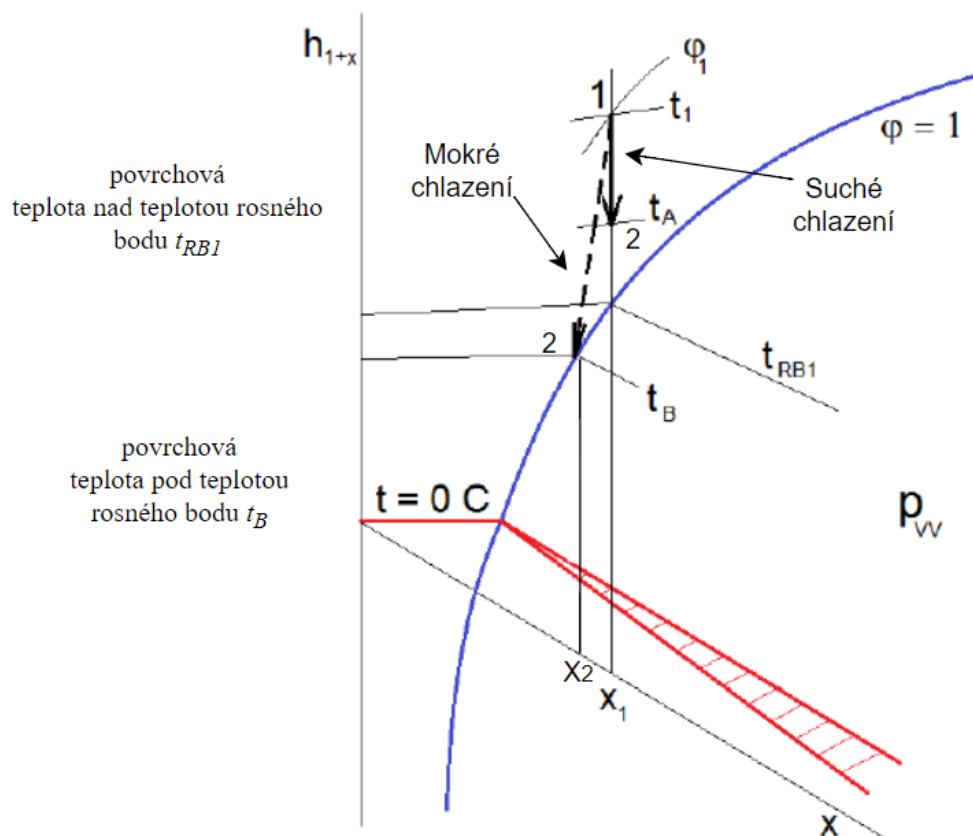
Při chlazení vzduchu dochází ke dvěma případům, a to ke chlazení suchému a chlazení mokrému. Níže následuje jejich bližší popis.

Chlazení suché

Při suchém chlazení nedochází ke kondenzaci vlhkosti vzduchu. Pokud je povrchová teplota nad teplotou rosného bodu t_{RB1} chlazeného vzduchu, jedná se o suchý chlazený povrch. Stavové veličiny se mění od výchozího stavu 1 do konečného stavu 2 ($x_1 = x_2$, $h_1 > h_2$, $t_1 > t_2$, $\varphi_1 < \varphi_2$) viz. obrázek 5. [4]

Chlazení mokré

Během mokrého chlazení pak dochází ke kondenzaci vlhkosti vzduchu. Pokud je povrchová teplota pod teplotou rosného bodu t_B chlazeného vzduchu, jedná se o mokrý chlazený povrch. Stavové veličiny se mění od výchozího stavu 1 do konečného stavu 2 ($x_1 > x_2$, $h_1 > h_2$, $t_1 > t_2$, $\varphi_1 < \varphi_2$) viz. obrázek 5. [4]



Obrázek 5 Izobarické chlazení vlhkého vzduchu [8]

2. Klima komora

K vytvoření této kapitoly o klimatických komorách bylo využito informací čerpaných jak ze zmíněných zdrojů pod odstavci, tak i z umělé inteligence s názvem Chat GPT 3.5.

Klimatická komora je zařízení, které je využíváno k simulaci různých druhů klimatických podmínek. Jejím smyslem je využití jak k testování, tak ke zkoušení různých druhů výrobků a materiálů. Klimatické komory jsou často využívány pro výzkum a vývoj v oblasti průmyslu.

Klimatické komory jsou využívány v následujících odvětvích, jako jsou například:

- 1) Průmysl automobilový – testování součástek automobilů z hlediska jejich odolnosti a spolehlivosti za různých typů klimatických podmínek (např. pneumatiky, motory, interiér)
- 2) Elektroprůmysl – testování počítačů a elektronických obvodů (např. rezistory, tranzistory, cívky) vůči zvýšeným i sníženým teplotám a vlhkosti
- 3) Stavebnictví – testování stavebních materiálů (materiály pro izolaci, okna, dveře) pro otestování jejich životnosti a odolnosti vůči vlhkosti a vysokým i nízkým teplotám
- 4) Zdravotnictví – zde jsou testovány přístroje a zařízení z hlediska jejich bezpečnosti, životnosti, spolehlivosti a účinnosti pro praktické využití v provozu [9]

2.1. Simulace různých druhů klimatických podmínek

V klimatické komoře je možné simulovat mnoho typů klimatických podmínek, jako jsou například: teplota, vlhkost, tlak, sluneční záření, vibrace a další. Za pomoci této simulace je umožněno testovat materiály a produkty za extrémních a specifických podmínek, přičemž prostředí lze v průběhu práce přesně a stabilně kontrolovat. [10]

2.2. Testování spolehlivosti a výkonosti

Možností využití testovacích komor je ve výrobní sféře jejich použití k testování odolnosti výrobků, a dále i jejich spolehlivosti a výkonosti během různých typů klimatických podmínek. Mezi tyto typy klimatických podmínek lze začlenit kupříkladu extrémně vysoké a nízké teploty, zvýšenou i sníženou vlhkost, UV záření, odolnost vůči korozi a mnoha dalším faktorům. Dále také slouží během vývoje a výzkumu nově vytvořených prototypů firem.

2.3. Výhody a nevýhody

Výhody:

- 1) Přesnost regulování teplot, vlhkosti a dalších podmínek prostředí
- 2) Možnost přesně napodobovat různá klimatická prostředí
- 3) Využití pro vědu, výzkum, průmyslová odvětví [11]

Nevýhody:

- 1) Nákladnost pořízení klimatické komory, cena provozu a údržby
- 2) Omezení ve velikosti testovaných položek dané velikostí konkrétní komory
- 3) Délka doby potřebné k naměření určitých hodnot v simulaci
- 4) Vznik možných nepřesností v simulacích za použití extrémních podmínek [12]

3. Měření teploty

Při popisu teploty jakožto základní stavové veličiny je nutno zmínit, že se jedná o jednu z nejdůležitějších termodynamických vlastností, které popisují stav hmoty, a zároveň se tato stavová veličina vyskytuje v mnoha fyzikálních zákonech. Teplo je veličina, která souvisí s energií zajišťující pohyb a způsobuje ji pohybování molekul, iontů a atomů látek. Pohyb těchto částic pak závisí na aktuálním typu skupenství. V případě, kdy se jedná o kapalný či plynný typ skupenství, částice se pak pohybují neuspořádaně, a to v celém objemu. Pokud je teplota konstantní, pak bude konstantní i rychlost pohybování částic. U skupenství pevného lze hovořit o kmitání, a to kolem rovnovážné polohy. Termodynamická teplota tělesa jakéhokoliv druhu je přímo úměrná ke kinetické energii molekul. V situaci, kdy nastává nejnižší teplota, ustává veškerý pohyb částic. Tato situace či tento stav je nazýván absolutní teplotní nula a její hodnotou je 0 K (v přepočtu $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Orientace ve znalostech týkajících se teploty je nutná v mnoha oblastech, kupříkladu pro bezpečnost v silniční i železniční dopravě a energetice. V železniční dopravě je využití teploty podstatné pro sledování ložisek vlaku jedoucího po železnici. Dalším oborem, kde je měření teploty důležité, je potravinářství, chemický průmysl a další. Kvůli vysokým nárokům na kvalitu i přesnost odliktů je potřeba přesnosti měření teploty i v metalurgii, kde je dbáno na konečné vlastnosti materiálů. [13]

3.1. Teplotní senzory

Teplotní senzory jsou součástky navržené pro měření teplot. Je možné je také nazvat snímači, čidly či detektory. Toto zařízení je v přímém kontaktu s povrchem, který je měřen a umožňuje měřenou plochu vyhodnotit. Senzor převádí teplotu na jinou fyzikální veličinu, která je k tomuto úkonu vhodná a je snadná k naměření. Výsledná teplota je poté zjištěna za pomoci výpočtu z naměřené veličiny. [13]

Dělení senzorů:

a) Podle fyzikálního principu:

Odporové, kovové, termoelektrické, optické, polovodičové, chemické, magnetické, dilatační, indukční

b) Podle kontaktu senzoru s měřeným povrchem:

Dotykové, bezdotykové

c) Podle převodu signálu

Aktivní – působením teploty se chová jako zdroj elektrické energie (termoelektrické články)

Pasivní – je nutno zajistit elektrické napětí

3.2. Kovové senzory

U tohoto typu senzorů je z hlediska elektrických veličin odpor závislý na teplotě. Pokud se zvýší teplota, zvýší se také elektrický odpor vodiče. Když je zdroj připojen do obvodu, elektrony v kovových mřížkách se začnou usměřňovat a rozkmitají tím ionty, ze kterých je kovová mřížka vytvořena. Jak roste teplota, roste také pravděpodobnost srážení se mezi ionty a elektrony, tím je pak také zvýšená hodnota odporu. Elektrony jsou tím více bržděny ve svém pohybu, čím jsou ionty teplejší. Právě k tomuto jevu jsou využívány kovové (odporové) senzory teploty. [13]

Aby bylo určeno prostředí k měření a díky tomu mohla být určena teplota, je důležité určit u odporu čidla jeho hodnotu. K tomuto výpočtu je využíván Ohmův zákon.

Ohmův zákon

„Ohmův zákon říká, že elektrický proud v obvodu je přímo úměrný elektrickému napětí.“ [14]

$$U = R \cdot I \quad (1.17)$$

Kde:

U – Elektrické napětí [V]

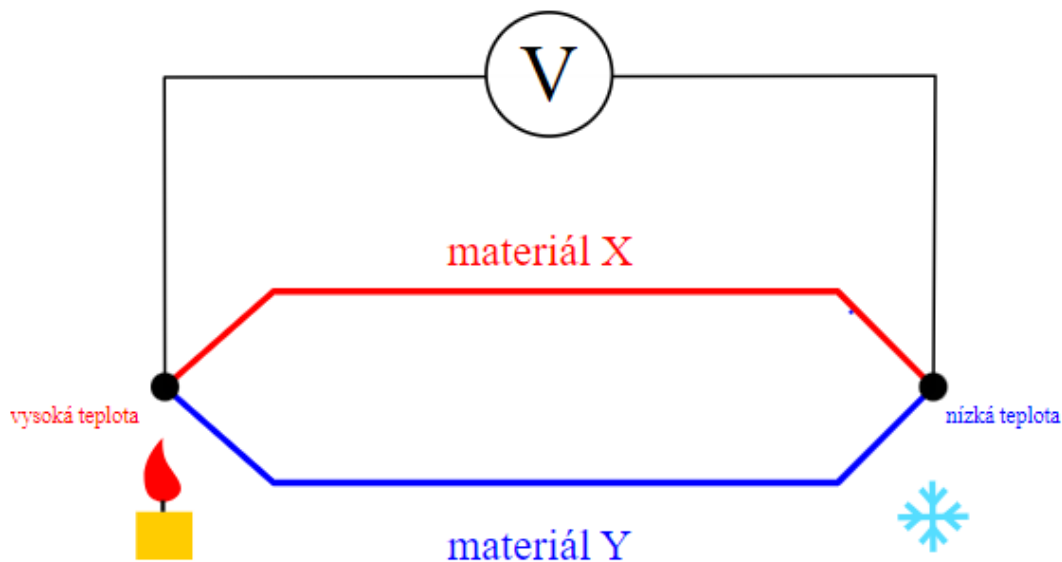
R – Elektrický odpor [Ω]

I – Elektrický proud [A]

V přítomnosti je možné se setkat s čidly, která jsou vyrobená na keramickém substrátu naprášeném v tenké vrstvě čistého odporového kovu (nikl, platina). U této vrstvy je vytvořena odporová dráha. Za pomoci laseru lze nastavit odpor čidel na referenční hodnotu a vlastní povrch je poté obalený skelnou vrstvou, ta měřicí kovovou vrstvu chrání proti poškození mechanického či chemického typu. [13]

3.3 Termočlánky

Termoelektrické články fungují na principu Seebeckova jevu, ten popisuje, že energie tepelná je přeměňována na energii elektrickou. Tento popsáný jev způsobují nositelné náboje, kteří mají v teplejší části vodiče vyšší energii (v polovodičích také vyšší prostorovou hustotu, tj. koncentraci) a proto se difundují do chladnějších oblastí větším množstvím než nositelné náboje z chladnějších oblastí do teplejších. Toto rozložení kladných a záporných nositelů eklektického náboje vysvětluje veličina s názvem Seebeckův koeficient, jehož znaménko je stejné jako znaménko nositelů, kteří jsou vodičem převažující. [13]



Obrázek 6 Seebeckův jev [14]

Elektrické napětí v termoelektrických člancích je vytvářeno na základě rozdílu teplot mezi jejich dvěma konci. Využití tohoto jevu slouží k vytváření elektrického napětí, které vzniká jakožto důsledek nerovnováhy nositelů náboje v různých částech materiálu, když je jeden konec článku ohříván a druhý chlazen.

Termočlánek je usprádan za pomoci dvou spojených drátů, které lze různými způsoby, jako je svařování a pájení, propojit. Rozdíl v součtu napětí v jednotlivých drátech z různých materiálů je měřitelné napětí, které indikuje teplotní diferenci mezi místem spojení obou drátů a koncovkami měřicího přístroje. Pokud jsou použity dva dráty ze stejného materiálu, napětí bude stejné a nemůže být naměřeno žádné diferenciální napětí. [13]; [15]

Termočlánky jsou v odvětví průmyslu standardem pro nákladově efektivní měření široké škály teplot s přijatelnou přesností. Nejoblíbenějším typem termočlánků je typ K, který se skládá z chromelu a alumelu (slitina niklu s ochrannou značkou obsahující chrom a hliník, mangan a křemík) a který má rozsah měření $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. [15]

Výhody

1) Široký rozsah měření:

Měření teploty lze provádět v širokém rozsahu (od nízkých teplot až po extrémně vysoké teploty).

2) Rychlá odezva:

Jsou schopny rychlé reakce na změny teplot, což je užitečné v aplikacích, kde je zapotřebí rychlého měření.

3) Robustnost:

Termočlánky jsou ve většině případů odolné vůči mechanickému poškození a vibracím, což je výhodné v drsných průmyslových prostředích.

4) Jednoduchost:

Jsou relativně jednoduché a spolehlivé, nemají pohyblivé části či složitou elektroniku.

5) Nepůsobí samozahřívání:

Samozahřívání není u termočlánků pozorováno, což znamená, že nedochází k spontánnímu vyzařování tepla. To zajišťuje, že termočlánek je bezpečný a nevzniká riziko nekontrolovatelného ohřevu. [16]

Nevýhody

1) Omezená přesnost:

Přesnost měření termočlánků může být omezena ve srovnání s jinými typy teplotních senzorů, zejména při extrémních teplotách, obvykle v rozmezí 1 °C až 2 °C.

2) Vyžadují referenční teplotu:

Pro správné měření je obvykle třeba znát referenční teplotu na místě, kde není požadováno přímé měření.

3) Citlivost a odolnost:

Někdy je obtížné dosáhnout ideálního kompromisu mezi citlivostí a odolností v extrémních podmínkách.

4) Kalibrace:

Termočlánky mohou vykazovat drift nebo změnu v čase, což vyžaduje pravidelnou kalibraci pro udržení přesnosti měření.

5) Náchylnost ke korozi:

Koroze může v průběhu času snížit přesnost termočlánku, protože je složen ze dvou různých kovů. Proto je nezbytná ochrana termočlánků a pravidelná údržba.

6) Úprava signálu:

Převod napětí termočlánků na použitelné teplotní hodnoty vyžaduje mnoho úprav signálu. Úprava signálu obvykle trvá dlouho a je navrhována tak, aby minimalizovala chyby. Nesprávné zpracování signálu může způsobit chyby a snížit přesnost měření. [16]

3.3.1. Ochrana termočlánků před korozi

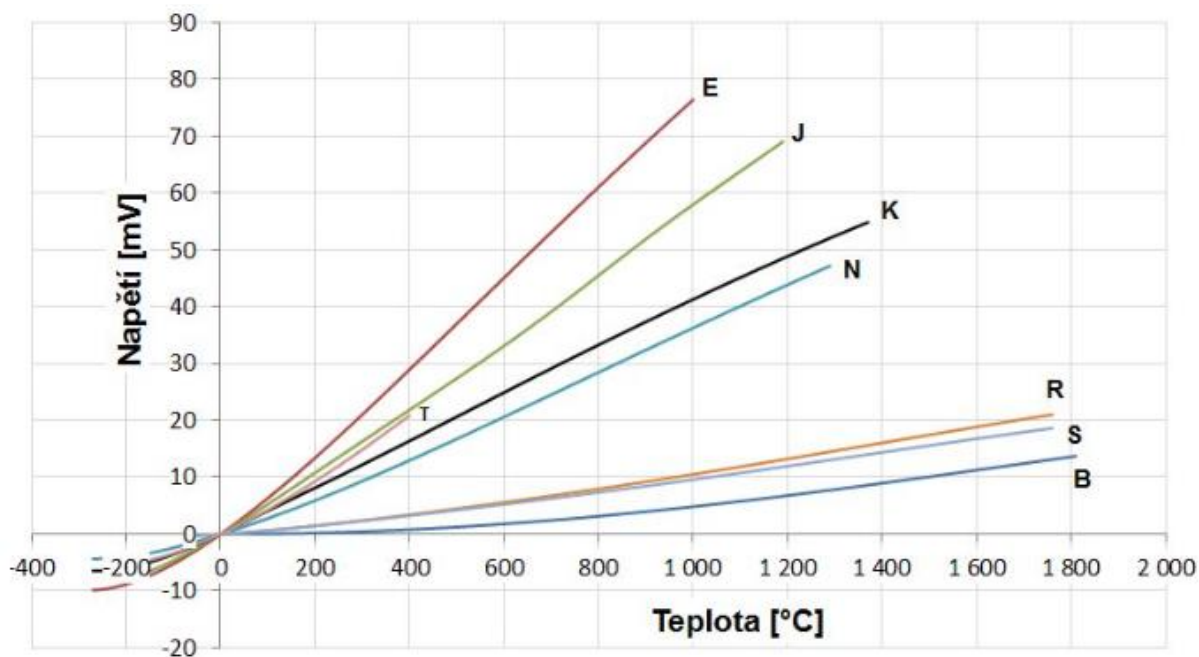
Termočlánky bývají chráněny různými ochrannými prostředky, aby bylo minimalizováno riziko koroze a zachovala se jejich přesnost měření. Běžnými metodami ochrany jsou:

- **Izolační obaly:** Termočlánky mohou být obaleny izolačními materiály, jako je keramika, sklo nebo plast, které chrání kovové části termočlánku před působením vlhkosti a chemikálií.
- **Ochranné potahy:** Některé aplikace vyžadují ochranné potahy, které chrání termočlánky před agresivními prostředími, jako jsou chemikálie nebo extrémní teploty.
- **Ochranné povlaky:** Termočlánky mohou být pokryty ochrannými povlaky, jako je například oxidace, které zlepšují jejich odolnost vůči korozním procesům. [17]
 - **Oxidační proces:** Oxidace je chemický proces, při kterém dochází k reakci kovového materiálu termočlánku s kyslíkem nebo jinými oxidačními látkami v jejím okolí.
 - **Vytvoření oxidové vrstvy:** Během oxidace se na povrchu kovového materiálu vytváří oxidová vrstva. Tato vrstva může mít odlišné vlastnosti než původní kovový materiál a může být vytvářena ochranně, aby byl podkladový kov chráněn před další oxidací.
 - **Změna vodivosti a vliv na přesnost:** Elektrická vodivost termočlánku může být ovlivněna oxidací, jelikož vytváří izolační vrstvu na povrchu kovu. Tato izolační vrstva může snížit vodivost nebo způsobit nestabilitu signálu. Proto je důležité provádět správnou ochranu a údržbu termočlánků, aby bylo minimalizováno riziko oxidace a zachována přesnost a spolehlivost. [18]

3.3.2 Termočlánekové materiály

Termočlánek je složen ze dvou různých vodivých materiálů, které jsou spojeny v jednom bodě a tvoří uzavřený obvod. Jeden bod termočlánku, který je připojen, je označován jako měřící spoj, zatímco druhý bod je možné brát jako referenční spoj. Mezi těmito dvěma body vzniká napětí, které lze použít k měření teploty. Termočlánky se dělí do dvou skupin, a to na termočlánky z běžných kovů a z drahých kovů. Drahé kovy jsou obvykle používány v termočláncích, pokud jsou požadovány extrémně vysoké teploty. Jejich vynikající termoelektrické vlastnosti a odolnost vůči extrémním teplotám a chemickým prostředím obvykle činí tyto kovy ideálními pro specifické aplikace, díky čemuž si udrží vysokou přesnost měření a stabilitu. [19]

Mnoha průmyslovými procesy a laboratorními aplikacemi jsou termočlánky považovány za jejich zásadní součást, kde je nezbytné, aby měření teploty bylo spolehlivé a přesné. Materiály termočlánků jsou pečlivě vybírány s ohledem na požadovaný teplotní rozsah, chemickou odolnost, mechanickou stabilitu a přesnost měření. Mezi nejběžnější materiály používané v termočláncích patří různé slitiny niklu, chromu a mědi, jako jsou například chromel-alumel (typ K), nicrosil-nisil (typ N) a chromel-constantan (typ E). Specifické termoelektrické vlastnosti každé z těchto slitin určují jejich použití v konkrétních aplikacích. Důležitým faktorem je také zvážení kompatibility termočlánekových materiálů s použitými ochrannými obaly a izolačními materiály. Správná volba materiálu a vhodná konstrukce termočlánku jsou považovány za klíčové faktory pro dosažení optimálních výsledků při měření teploty. [20]



Obrázek 7 Porovnání charakteristik termočlánků [21]

Tabulka 2 Typy a použití termočlánků [16]; [22]; [23]

Typ	Použití
K	dobrá přesnost, široký teplotní rozsah, použití v oxidační atmosféře
J	široký rozsah teplot, použití ve vakuu, inertní, oxidační a redukční atmosféře
T	dobrá přesnost a stabilita
E	vysoká přesnost a stabilita
N	dobrá odolnost proti oxidaci a chemické korozi
S	přesnost, stabilita, odolnost proti oxidaci
B	vysoká přesnost, vysoké teploty (pece: sklo, keramika, kov)
R	vysoká přesnost, vysoké teploty

Tabulka 3 Složení materiálů a teplotní rozsah termočlánků [16]; [22]; [23]

Typ	Pozitivní materiál	Negativní materiál	Rozsah teplot [°C]
K	chromel	Alumel	-200 až 1350
J	železo	constantan	-210 až 1200
T	měď	constantan	-200 až 350
E	chromel	constantan	-200 až 900
N	nicrosil	nisil	-200 až 1300
S	platina a 10 % rhodium	platina	0 až 1600
B	platina a 6 % rhodium	platina a 30 % rhodium	0 až 1800
R	platina a 13 % rhodium	platina	0 až 1600

Tabulka 4 Doplnění slitin u termočlánků [16]; [22]; [23]

chromel	90 % niklu, 10 % chromu
alumel	95 % niklu, 2 % manganu, 2 % hliníku, 1 % křemíku
constantan	55 % mědi, 45 % niklu
nicrosil	84,2 % niklu, 14,2 % chromu, 1,6 % křemíku
nisil	95 % niklu, 5 % křemíku

3.3.3. Termočlánky typu K

Termočlánek typu K je často používán díky svým vynikajícím termoelektrickým vlastnostem a širokému spektru využití v průmyslových i laboratorních oblastech. Skládá se ze dvou hlavních materiálů, a to z chromelu a alumelu, které jsou propojeny a tvoří uzavřený obvod.

Hlavním důvodem popularity termočlánku typu K je jeho velký teplotní rozsah, stabilita a dlouhá životnost, které pokrývají většinu běžných teplotních potřeb a vlastností důležitých k měření teploty a dalšímu využití v různých průmyslových odvětvích a laboratořích. Jeho odolnost proti mechanickému poškození a korozivním procesům z něj činí spolehlivý nástroj pro dlouhodobé využití. Další výhodou je jeho relativně nízká cena ve srovnání s jinými typy termočlánků, což představuje ekonomickou výhodu pro různé aplikace. [23]; [24]



Obrázek 8 Termočlánek typu K [25]

Praktická část

4. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, jaké bude rozložení teplot v prostoru klimatické komory o rozměrech 4 x 4 x 3 metry, kde je teplota měřena pomocí termočlánků.

Konstrukce byla sestavena z hliníkových profilů a z pohonu, které byly demontovány z tažné nádrže. Po naměření výsledků, které byly naměřeny pomocí termočlánků upevněných na konstrukci, bylo prováděno jejich porovnávání s údaji uloženými v paměti klimatické komory, aby byla ověřena jejich shoda.



Obrázek 9 Klimatická komora [vlastní]

Technické parametry klimatické komory:

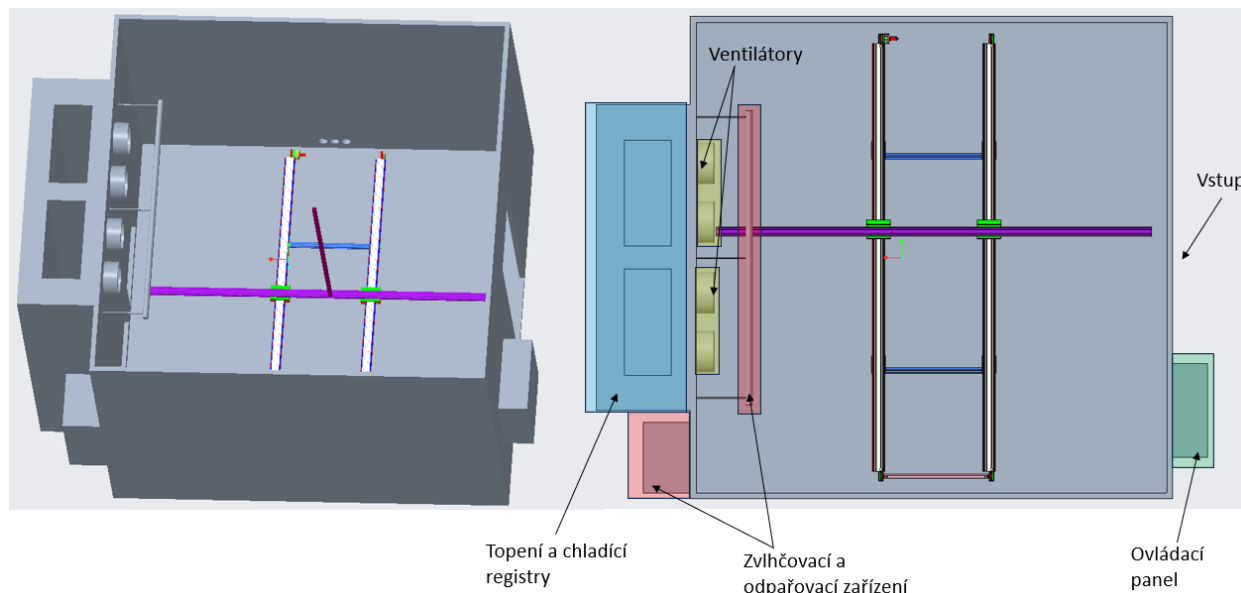
Tabulka 5 Technické parametry klimatické komory [26]

Pracovní teplota:	-40 °C až +80 °C
Určeno pro prostředí dle ČSN 33 2000-3 (IEC 364-3):	normální
Maximální teplota okolí při provozu zařízení:	32 °C
Maximální výkon zařízení dosahuje při teplotě okolí:	18 °C až 25 °C
Druh chladiva / množství chladiva:	R 452A / 2 x 10 kg
Vnější rozměry (šířka x délka x výška):	4300 mm x 4300 mm x 3300 mm

5. Model klimatické komory

Na obrázku níže je vyobrazena klimatická komora, která byla vymodelována v programu Creo Parametric.

Barevné vyznačení oblastí klimatické komory je uskutečněno dle jednotlivých zařízení a příslušenství, která umožňují funkčnost komory.



Obrázek 10 Model klimatické komory a příslušenství [vlastní]

Popis zařízení využívaných pro praktickou část byl rozdělen do tří bodů. První bod se zaměřuje na popis příslušenství klimatické komory, kde je proveden stručný rozbor jeho jednotlivých částí a poté i jejich účelu. Ve druhém bodě je popsána konstrukce, je rozepsán postup montáže a jsou přiblíženy jednotlivé části této konstrukce. Třetím bodem jsou termočlánky, jejich upevnění na již zmíněné konstrukci, po čemž následuje měření a kalibrování termočlánků za použití přístrojů a schéma měření.

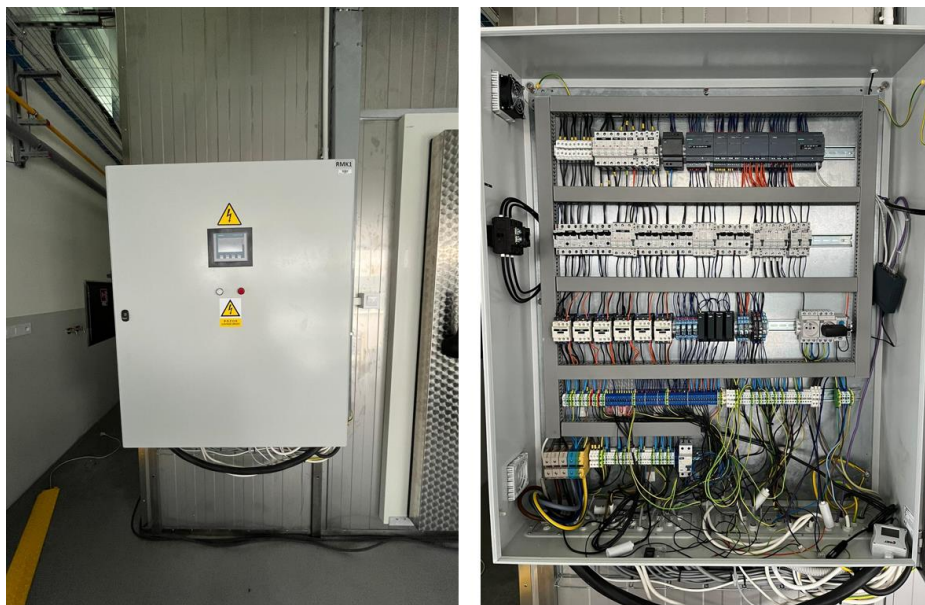
Kovový senzor, který je zabudován v klimatické komoře od výrobce, je propojen s ovládacím panelem. Teploty, které se nastavují v klimatické komoře, jsou regulovány pomocí tohoto odporového senzoru. Nastavit lze buďto ohřev, kdy se zapne topení a začne vyhřívání. Nebo je možné zapnout chlazení, u kterého se vypne topení a začnou chladit chladicí registry v klimatické komoře.



Obrázek 11 Senzor teploty v klimatické komoře [vlastní]

6. Příslušenství klimatické komory

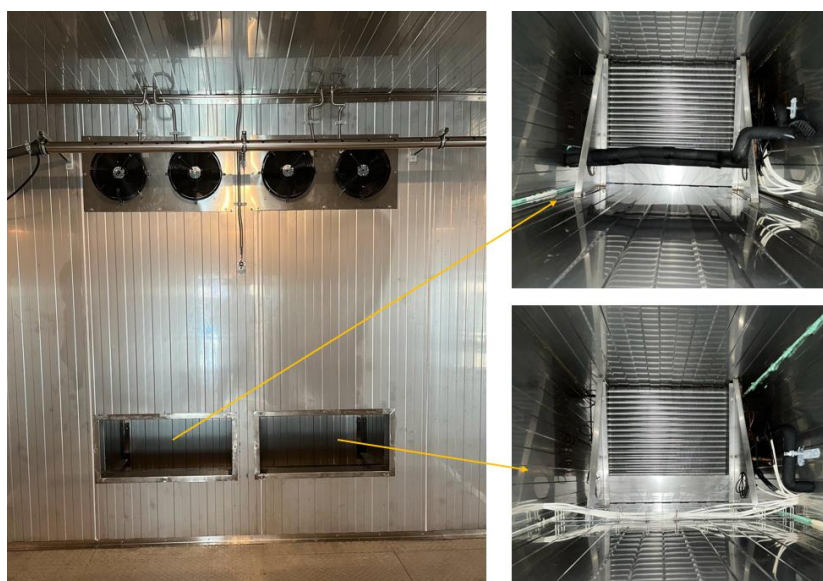
Ovládací panel, sloužící zároveň jako elektrický přívod, je umístěn vedle vstupních dveří klimatické komory. Tyto vstupní dveře jsou vybaveny vyhříváním a zároveň mají okénko, které umožňuje snadnou kontrolu nastavených parametrů na ovládacím panelu.



Obrázek 12 Ovládací panel [vlastní]

Topení slouží k řízenému zahřívání v prostoru uvnitř klimatické komory. Teplota se konstantně udržuje na určité zvolené teplotě.

Chladicí registry chladí prostor v klimatické komoře, díky čemuž lze dosáhnout nízkých teplot a udržet konstantní teplotu, která byla zadána. Zároveň slouží v klimatické komoře k rychlejšímu snižování teploty.



Obrázek 13 Topení a chladicí registry [vlastní]

Ventilátory slouží v klimatické komoře k rovnoměrnému rozložení vzduchu. Pomáhají k udržení konstantní teploty a konstantní vlhkosti. Dále také napomáhají k urychlení změn teploty a vlhkosti na požadované hodnoty.



Obrázek 14 Ventilátory [vlastní]

Zvlhčovací a odpařovací chlazení se nachází na zadní části klimatické komory z vnější strany. Princip elektrodového ohřevu zajišťuje přirozenou vodivost pitné vody, což umožňuje průchod proudu mezi elektrodami. Regulace výkonu probíhá automaticky změnou hloubky elektrod, tím je zaručena vysoká provozní spolehlivost při nízkých provozních nákladech. Při konstrukci byl kladen důraz na dlouhou životnost zařízení. Systém je schopen přizpůsobit se aktuální kvalitě vody, rozpoznat a vyhodnotit poruchové provozní stavy a aktivovat autokorekční funkce, včetně ochrany proti pění.



Obrázek 15 Zvlhčovací a odpařovací zařízení [vlastní]

7. Konstrukce

Pro konstrukci do klimatické komory bylo zapotřebí nejprve demontovat tažnou nádrž. Poté byly využity hliníkové profily, pojezdy, řemenice, řemen, stávající pohon z tažné nádrže a mnoho dalších dílů potřebných pro sestavení konstrukce.

7.1. Popis

Konstrukce se skládá ze dvou hliníkových profilů s pochromovanými ocelovými tyčemi. Tyto tyče složí k orientaci pohybu válečků, které jsou upevněny na pojezdu a pohybují se v ose x.

Řemenice s pohonem je umístěna na jedné straně hliníkového profilu a pohání řemenici umístěnou na jeho opačném konci. Řemenice přenáší kroutící moment pomocí spojky na další řemenici umístěnou na druhém hliníkovém profilu. Díky tomuto uskupení je zajištěn rovnoměrný pohyb obou pojezdů na hliníkových profilech pomocí řemene.

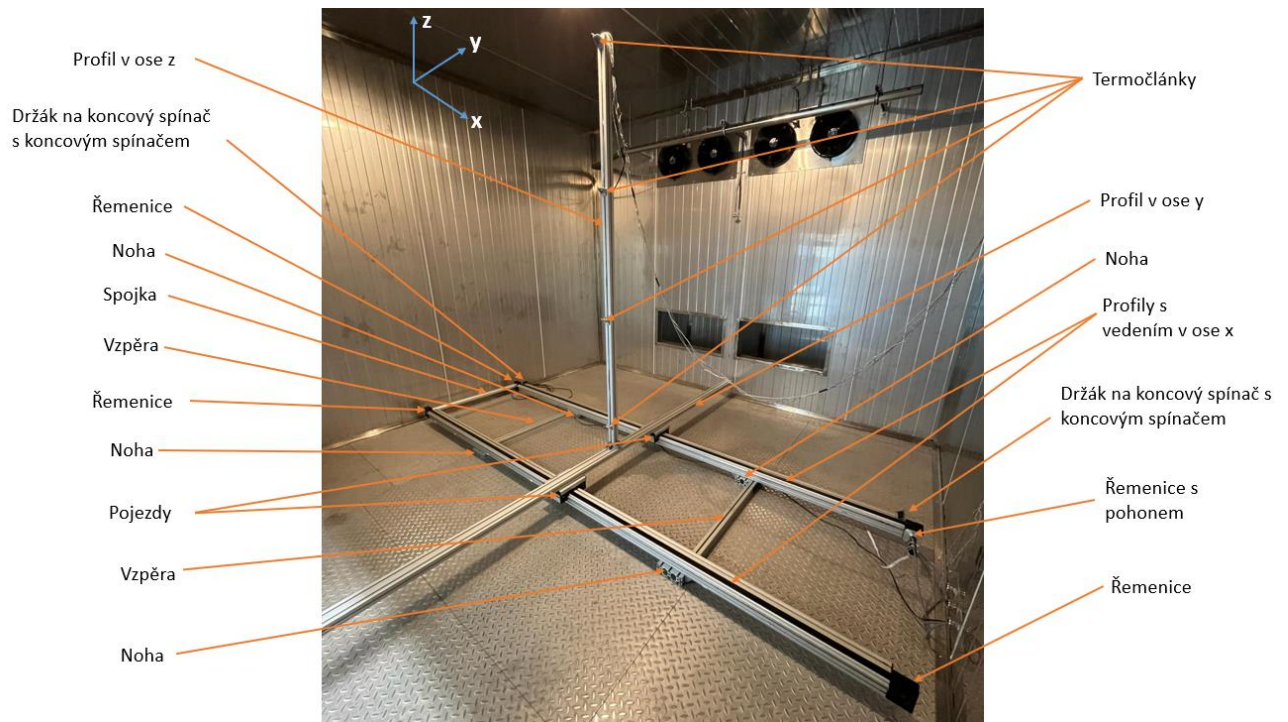
Doraz pro pohon byl vyřešen koncovými spínači na obou stranách profilu.

Hliníkové profily v ose x slouží jako základ konstrukce. Po těchto hliníkových profilech v ose x pojíždí pojezd s hliníkovým profilem, který je upevněn v ose y. Kolmo na profil y je upevněn profil v ose z, kde jsou umístěny termočlánky. (Viz. obrázek 16)

Termočlánky jsou pomocí kamínku přes šroub upevněny na trojúhelníkovém profilu, který je upevněn na hliníkovém profilu v ose z.

Tabulka 6 Technické parametry konstrukce [vlastní]

Váha	cca 200 kg
Velikost (délka x šířka x výška)	3800 mm x 3700 mm x 3000 mm
Výkon pohonu	12 V
Proudová spotřeba	2 až 3 A
Pracovní teplota	-20 °C až 80 °C
Rozhraní	Arduino



Obrázek 16 Konstrukce [vlastní]

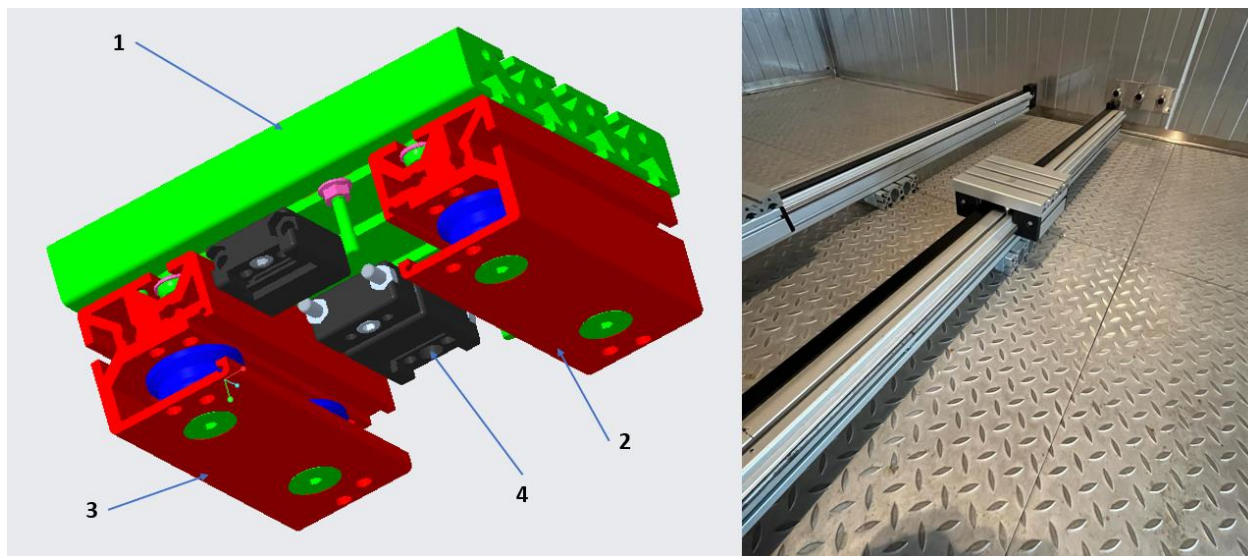
7.2. Popis jednotlivých částí konstrukce

Části sestavované konstrukce jsou jednotlivě ukázány a popsány v následujícím pořadí:

- Pojezd s upnutím řemene
- Koncový spínač
- Řemenice
- Spojka
- Pouzdro na koncové spínače
- Profily
- Nohy a vzpěry
- Ovládání konstrukce

Pojezd s upnutím řemene

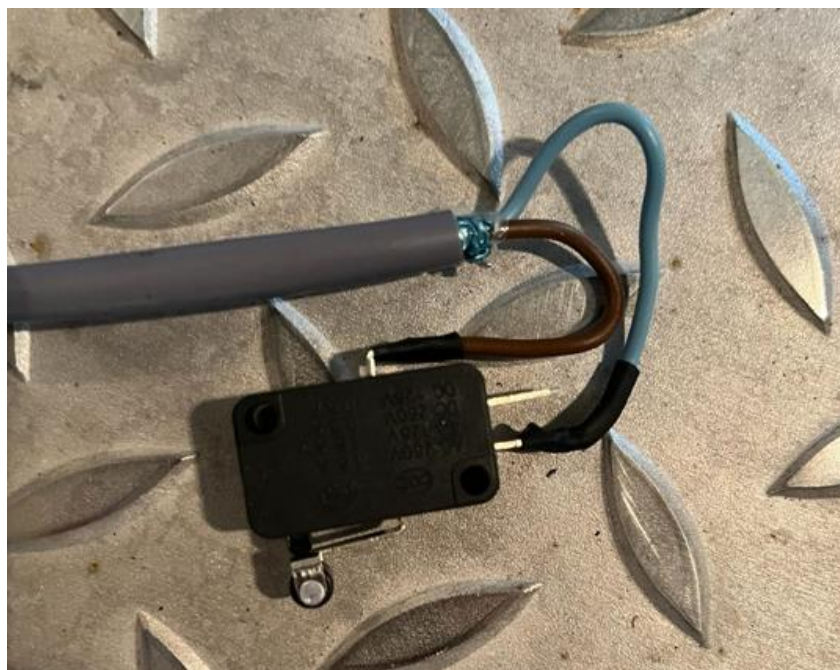
Pojezd je složen ze čtyř částí. První částí je profil, který horizontálně pojíždí po profilu, druhá a třetí část jsou z boku profilu, kde jsou upevněny válečky. Válečky slouží k posuvu po ocelových tyčích, které jsou nalisovány v pouzdře, a to je nalisováno z obou stran hliníkového profilu. Čtvrtá část slouží ke spojení řemene, kde jsou z obou stran řemeny upnuty napevno v klínekách. Z jedné strany je však řemen napnut pomocí šroubů.



Obrázek 17 Pojezd s upnutím řemene [vlastní]

Koncový spínač

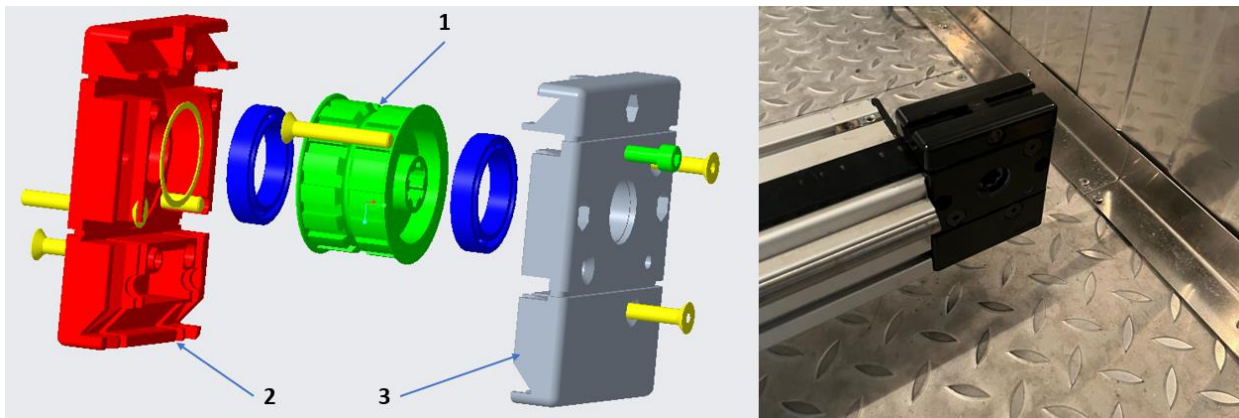
Koncový spínač je upnut do vytvořeného pouzdra, které bylo vyrobeno 3D tiskem. Účel koncového spínače je dojezd pojezdu na konec konstrukce z jedné nebo druhé strany, kdy sepne a vypne pohon a konstrukce se tím tak zastaví.



Obrázek 18 Koncový spínač [vlastní]

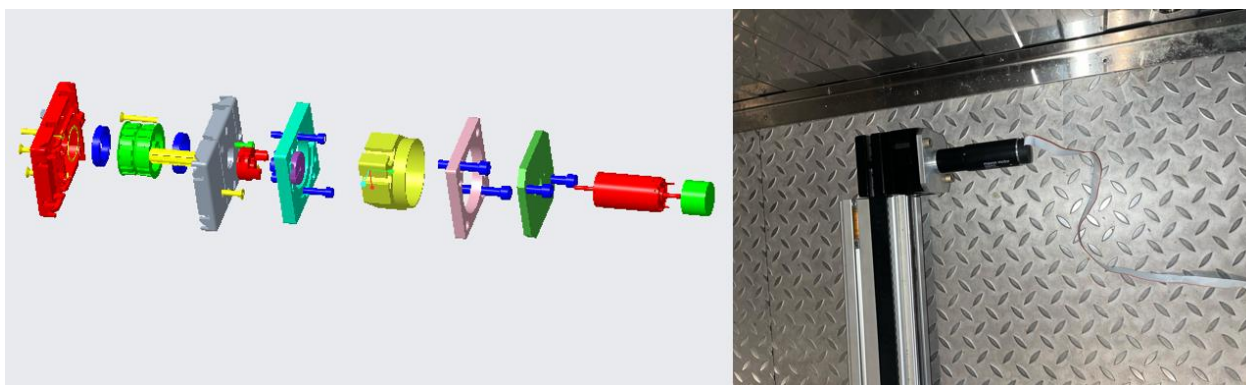
Řemenice

Řemenice je složena ze 3 částí. První část řemenice je uložena v pouzdře pomocí ložisek. Druhá a třetí část jsou k sobě přišroubovány, aby držely řemenici s ložisky pohromadě a chránily tak řemenici.



Obrázek 19 Řemenice [vlastní]

U řemenice na jedné straně byl přimontován pohon, který slouží k pohánění celé konstrukce.



Obrázek 20 Řemenice s pohonem [vlastní]

Spojka

Spojka je propojena řemenicemi a spojuje profily v ose x. Přenáší rotaci řemenic na druhou stranu profilu, aby se oba pojezdy pohybovaly najednou a ve stejném směru.



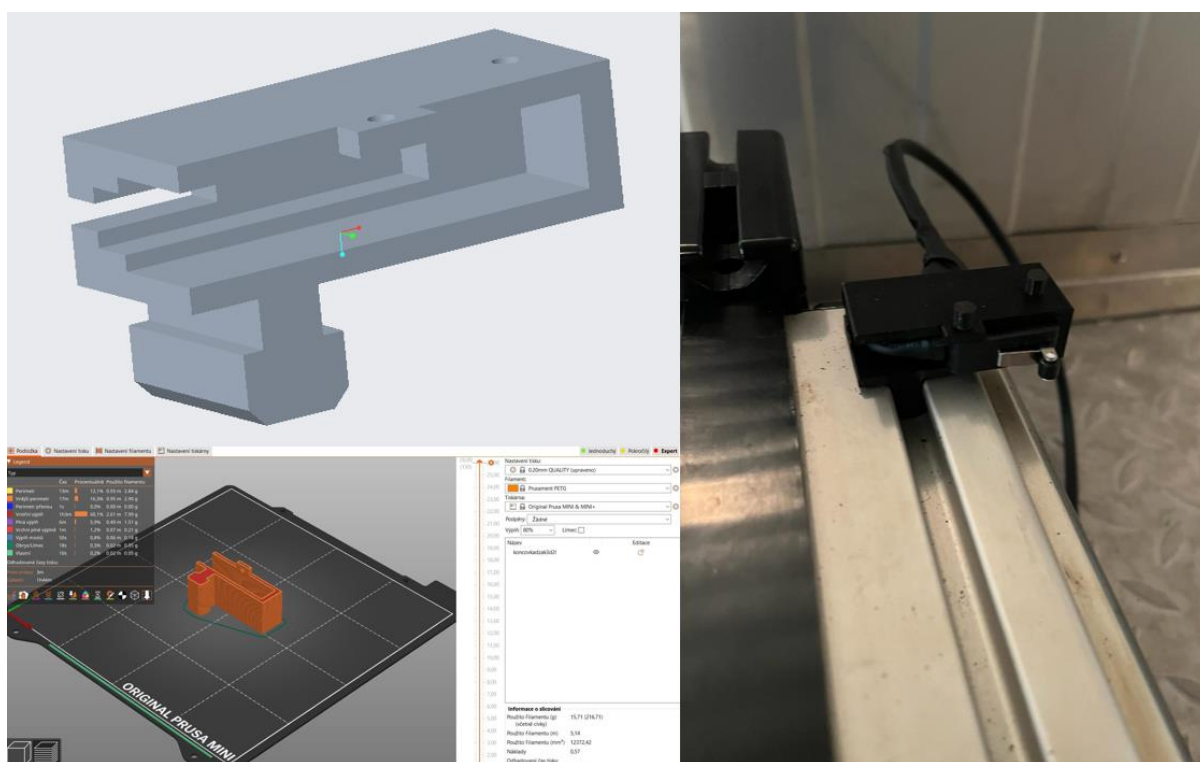
Obrázek 21 Spojka [vlastní]

Pouzdro na koncové spínače

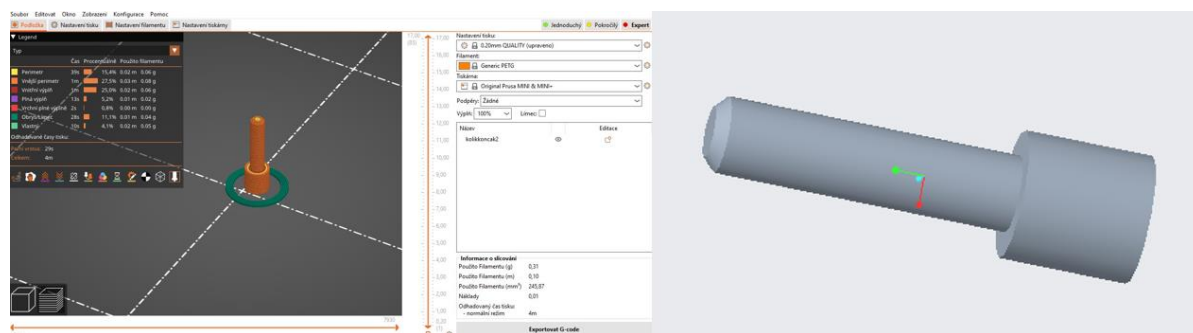
Pouzdro na koncové spínače bylo vytvořeno pomocí modelu v Creo Parametric a bylo vytisknuto na 3D tiskárně Průša mini. Technologie 3D tisku byla zvolena na základě kusové výroby, dostupnosti zařízení (homemade) a dostačujících vlastností pro použití v konstrukci.

Koncový spínač byl uložen do pouzdra, které je umístěno v drážce profilu a zajištěno kamínkem se šroubem proti pohybu.

Pouzdro bylo navrženo a vytisknuto se dvěma děrami, do kterých patří kolíky. Kolíky byly vymodelovány a vytisknuty za pomoci 3D tisku. Kolíky slouží k upevnění koncového spínače v pouzdře, aby při kontaktu s pojezdem nevypadl z pouzdra. Tento model byl navrhnut na základě jeho jednoduchosti a jednoduché montáže a demontáže.



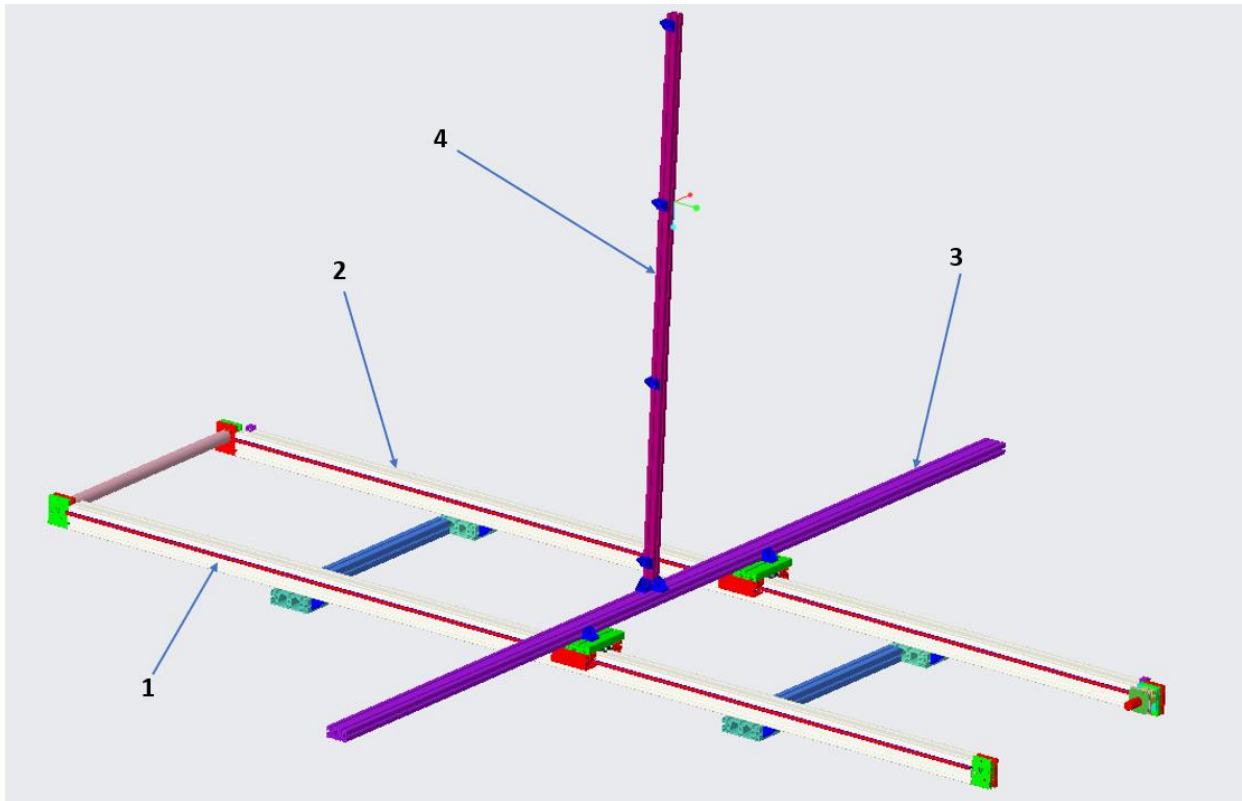
Obrázek 22 Pouzdro na koncové spínače a 3D tisk modelu [vlastní]



Obrázek 23 Model a 3D tisk kolíku [vlastní]

Profily

Konstrukce se skládá ze čtyř hliníkových profilů. První a druhý profil slouží jako základ konstrukce, na kterém jsou upevněny řemenice. Tyto základní profily mají nalisované ocelové tyče na vedení pojezdu, prochází jimi řemeny a zároveň jsou profily propojeny spojkou. Třetí profil je upevněn na pojezdy a vykonává horizontální posuv. Čtvrtý profil je upevněn kolmo na třetí profil a slouží k upevnění termočlánků.



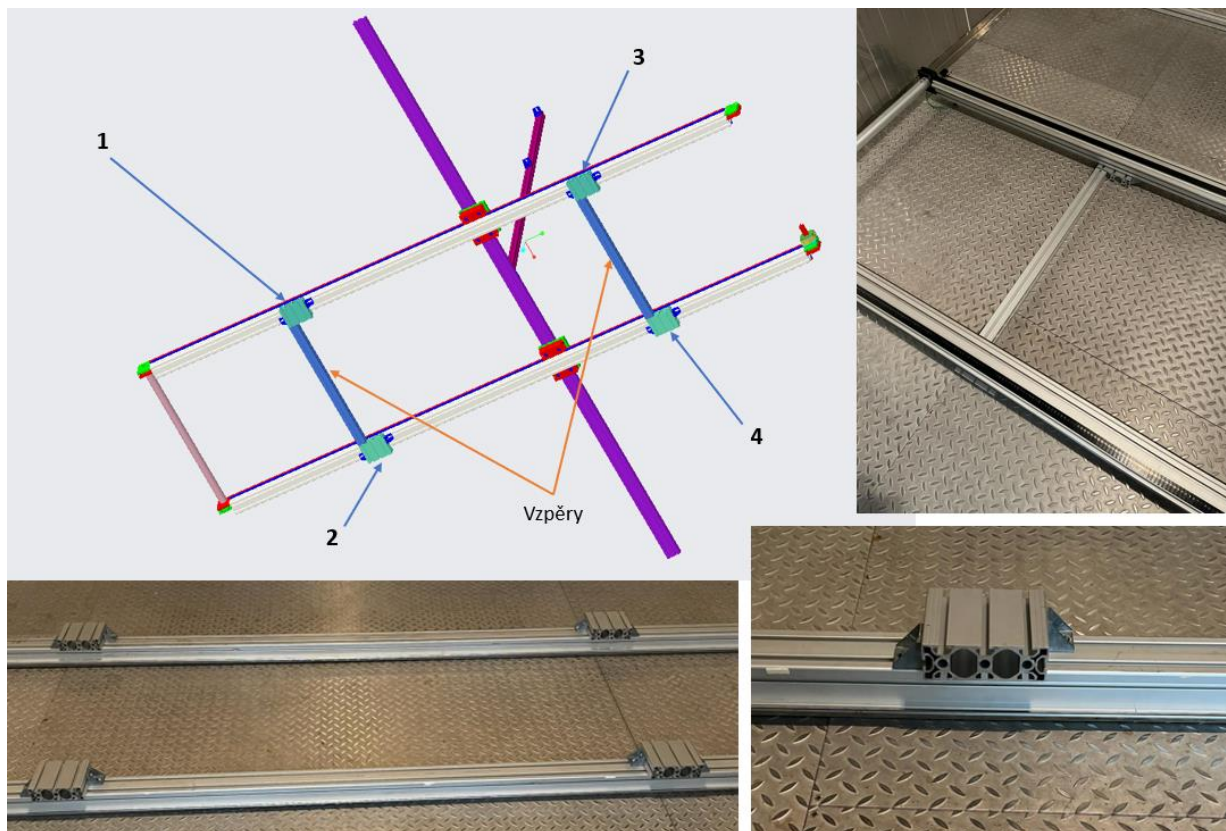
Obrázek 24 Model profilů [vlastní]



Obrázek 25 Profily [vlastní]

Nohy a vzpěry

Konstrukce obsahuje celkem čtyři nohy a dvě vzpěry. Nohy jsou upevněny na základních hliníkových profilech a slouží k stabilitě konstrukce. Vzpěry jsou upevněny na nohy konstrukce. Účelem vzpěr je, aby udržely stabilitu, vibrace i případné poškození osobou, která v klimatické komoře bude vykonávat práci.



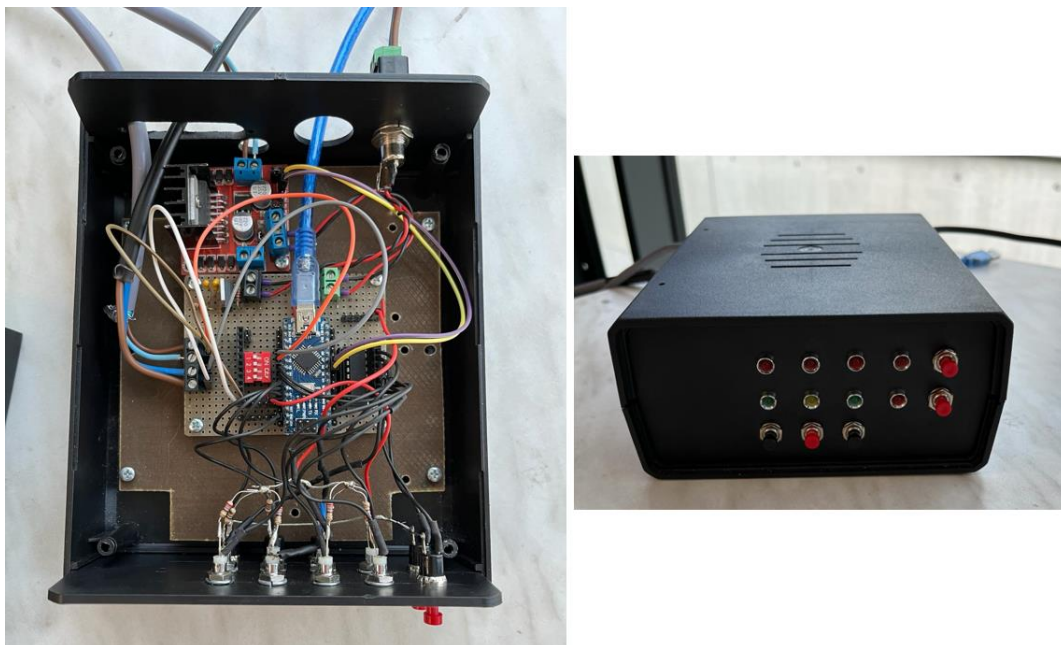
Obrázek 26 Nohy a vzpěry [vlastní]

Ovládání konstrukce

Konstrukce je ovládána pomocí ovládacího panelu, který byl vytvořen přímo pro tuto konkrétní konstrukci (homemade). Naprogramován je ovládací panel pomocí součástky Arduino, která obsahuje hardwarovou a softwarovou část. Na ovládací panel je pak připojen pohon, oba koncové spínače a zdroj.

Účelem tohoto ovládacího panelu je ovládání pohybu pojezdů po konstrukci. Využívána jsou dvě tlačítka, která slouží pro pohyb v ose x. Pomocí stlačení tlačítka se pak pohybuje pojezd buďto na levou, nebo na pravou stranu. Podle vybrané strany, na kterou se pojezd aktuálně pohybuje, se rozsvítí dioda na ovládacím panelu v jeho přední části. Je naprogramováno zároveň i třetí tlačítko stop, po jehož stisknutí se konstrukce ihned zastaví a rozsvítí se červená dioda uprostřed panelu.

Dále jsou naprogramovány dva koncové spínače na jedné a druhé straně profilu určené k tomu, když pojezd dorazí na jeden z konců konstrukce, tak aby tento koncový spínač sepnul a konstrukce se zastavila. Zastavena je poté až do chvíle, dokud není stisknuto tlačítko určené k pohybu na druhou stranu a pojezd se díky tomu opět rozjede.



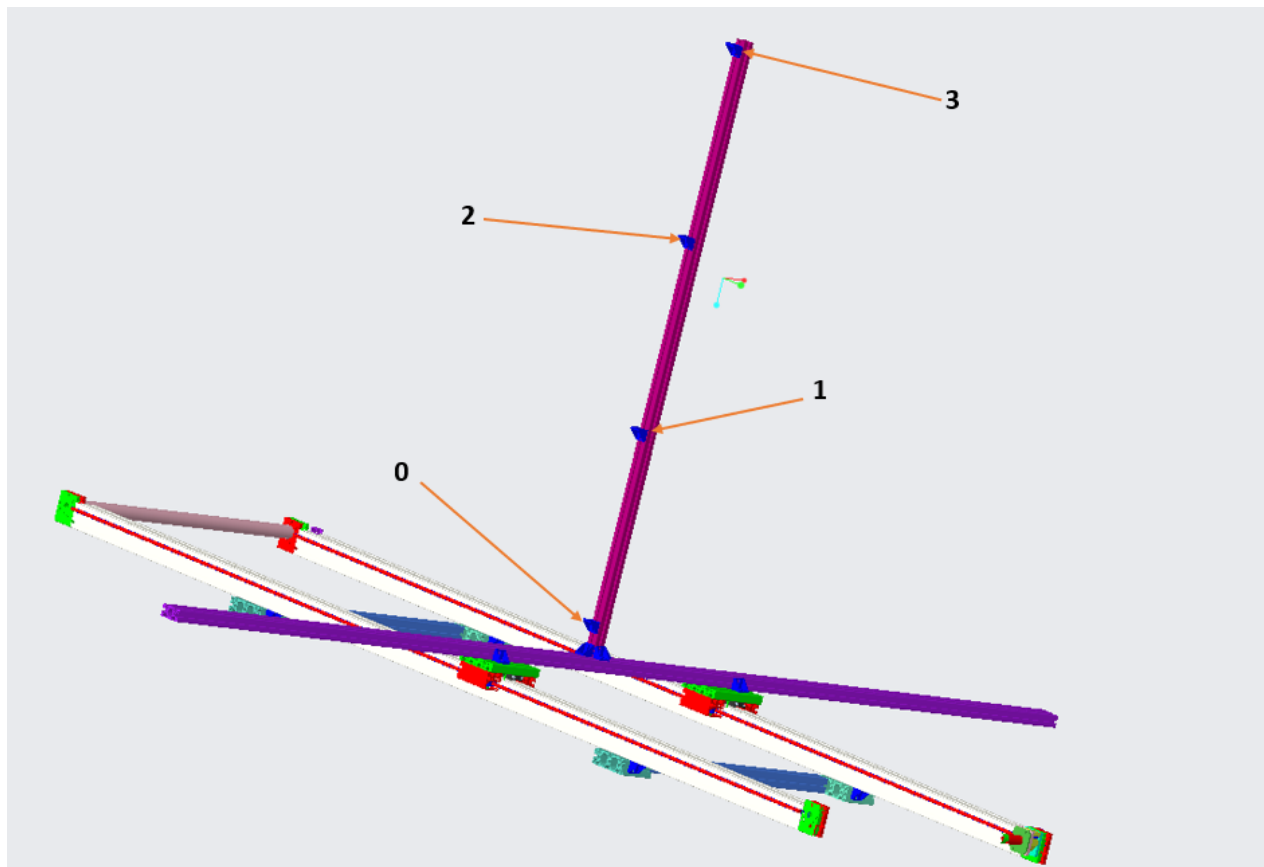
Obrázek 27 Ovládací panel konstrukce [vlastní]



Obrázek 28 Ovládací panel konstrukce se zdrojem [vlastní]

8. Termočlánky

Účelem termočlánků je měřit teplotu v klimatické komoře, kde jsou termočlánky ve čtyřech pozicích upnuty na profil. Byl použit termočlánek typu K, který je díky jeho vlastnostem pro toto měření nejvýhodnější. U termočlánků je využito vlastnosti rozsahu kladných i záporných teplot, které budou následně použity u měření.

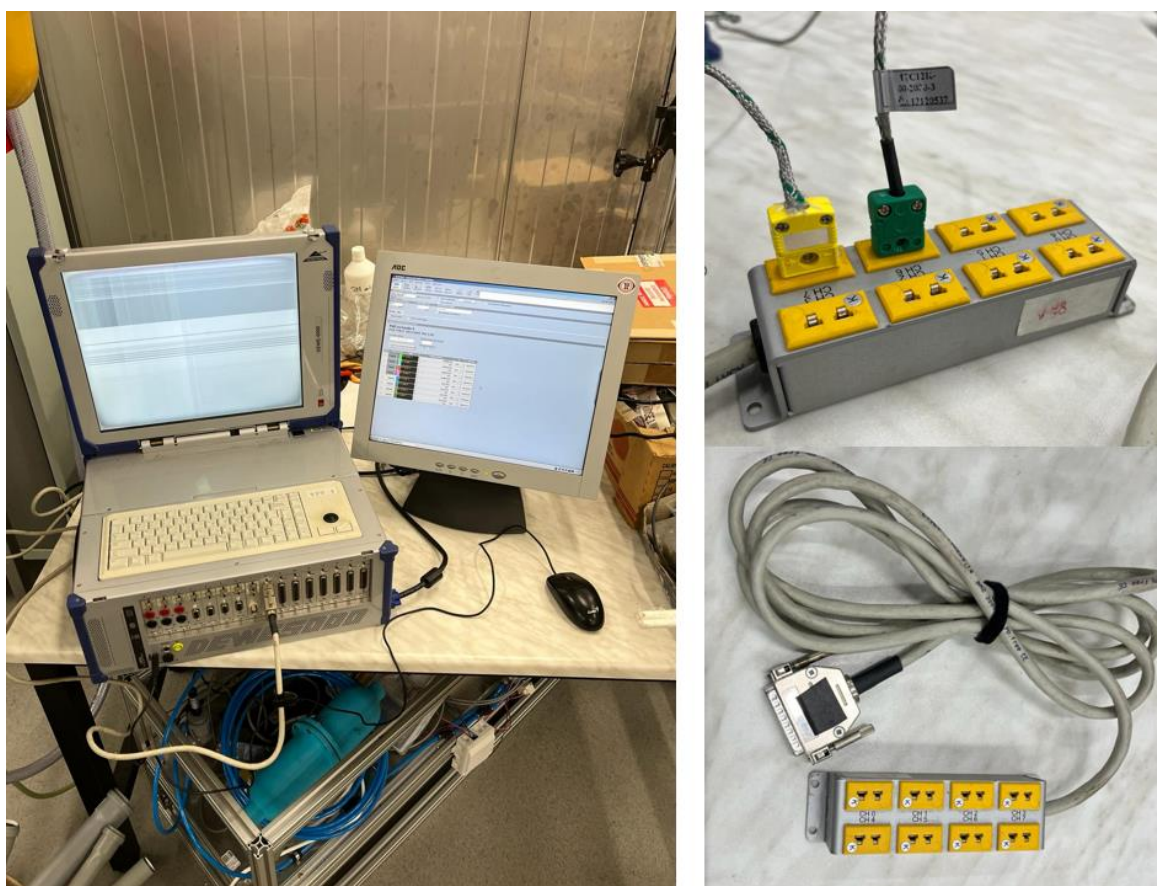


Obrázek 29 Model konstrukce s rozložením termočlánků [vlastní]



Obrázek 30 Upevnění termočláneku [vlastní]

Termočláneky jsou zapojeny do panelu, každý do svého slotu. Panel je propojen s Dewetronem, ten zaznamenává jednotlivé hodnoty a vypisuje celkový záznam výsledků z měření.

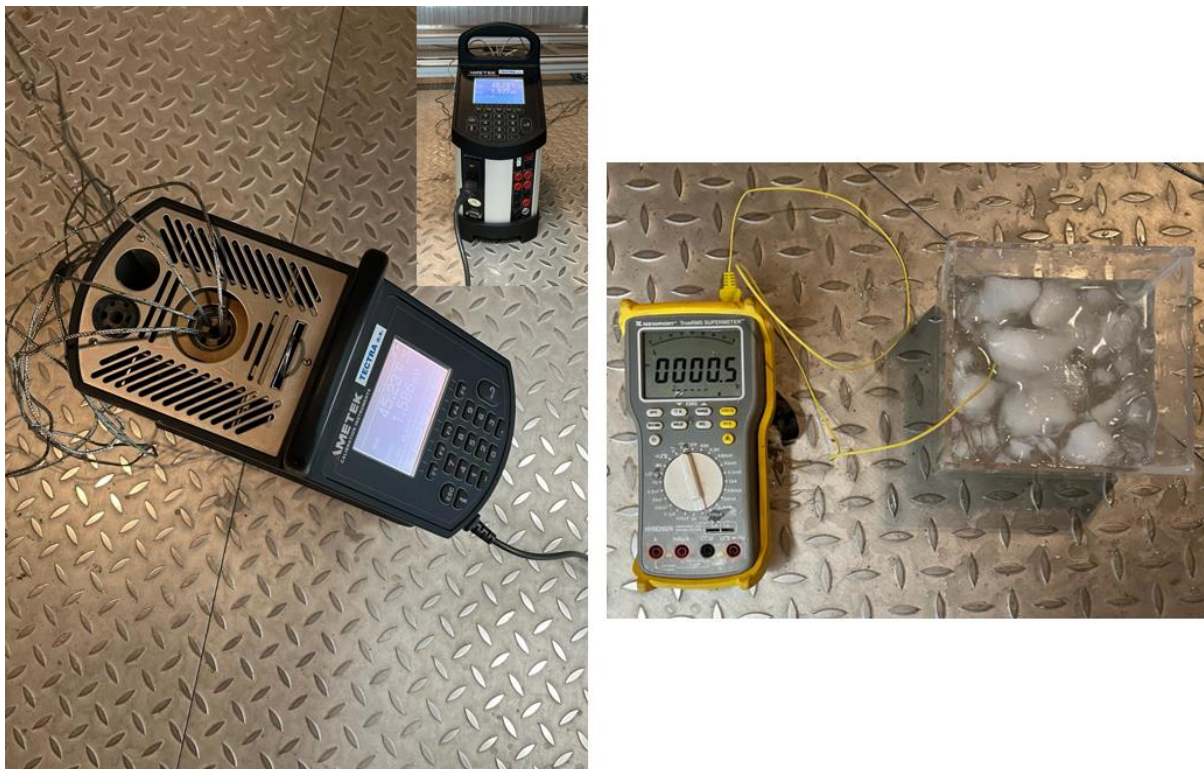


Obrázek 31 Dewetron a jeho propojení s termočláneky [vlastní]

Příprava termočlánků na měření:

Termočlánky byly před použitím kalibrovány pomocí referenčního kalibrátoru teploty, kde byl nakalibrován bod na 45 °C. Referenční kalibrátor byl nahřát na 45 °C a po ustálení teploty se termočlánky vložily do přístroje.

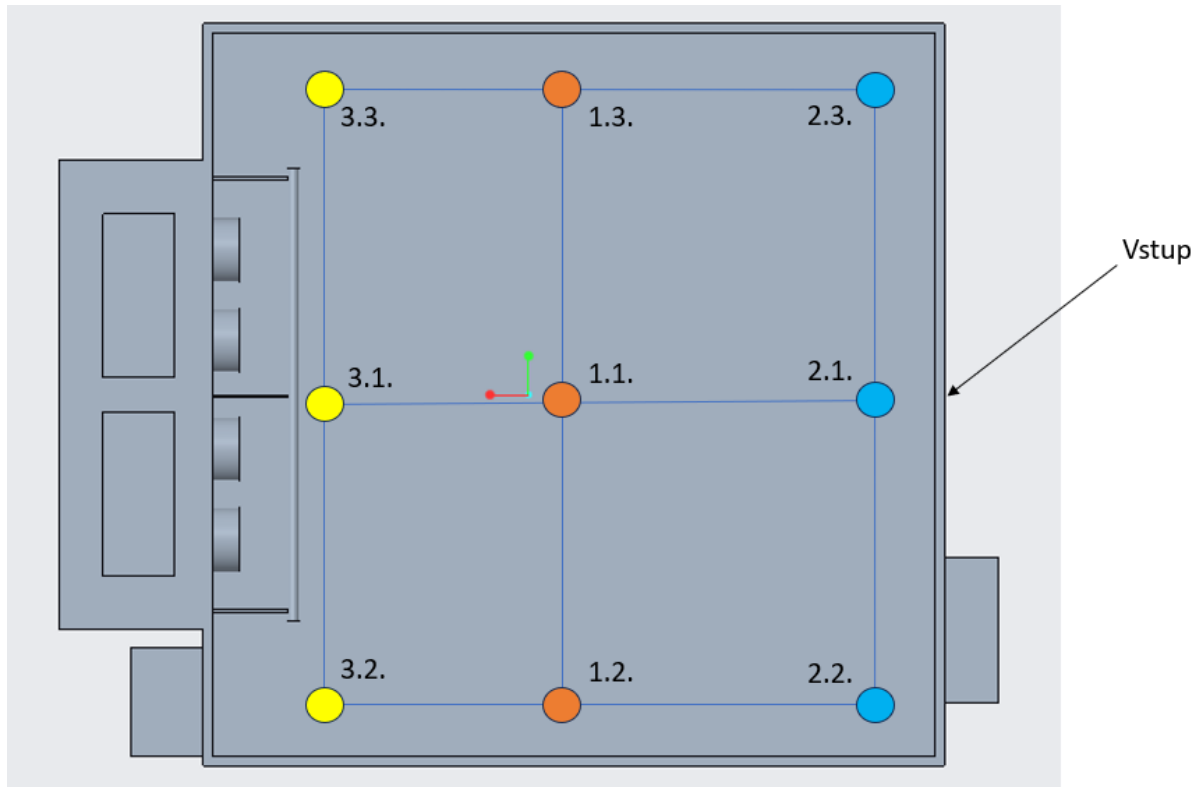
Druhý bod byl naměřen v kádince s ledem kvůli nulové teplotě. Nulová teplota byla kontrolována pomocí manometru s termočlánkem. Poté se hodnoty promítly a byly uloženy do Dewetronu.



Obrázek 32 Referenční kalibrátor teploty a manometr [vlastní]

9. Experiment

Měření probíhalo ve třech etapách, které byly rozděleny na tři měřená místa – rozděleno dle barev. V klimatické komoře byla tedy naměřena teplota na devíti různých místech (viz. obrázek 33).



Obrázek 33 Schéma měření v klimatické komoře [vlastní]

Okolní podmínky v průběhu celého měření:

Teplota: $22,5\text{ °C} \pm 0,5$

Tlak: $97,73\text{ kPa} \pm 0,005$

Teplota pro ověření v klimatické komoře byla zvolena 40 °C , vlhkost nebyla zadána a samovolně se pohybovala mezi 16,9 % až 18,5 %.

9.1. Etapa 1

Při měření etapy 1 jsou hodnoty na ovládacím panelu nastaveny na ověřování 40 °C a hodnota regulace je v rozmezí $\pm 2,5$ °C od ověřovací hodnoty.

Tabulka 7 Rozptyl stability [vlastní]

Rozptyl stability	
Teplota pro ověření v klimakomoře [°C]	Odchylka [°C]
40	$\pm 2,5$

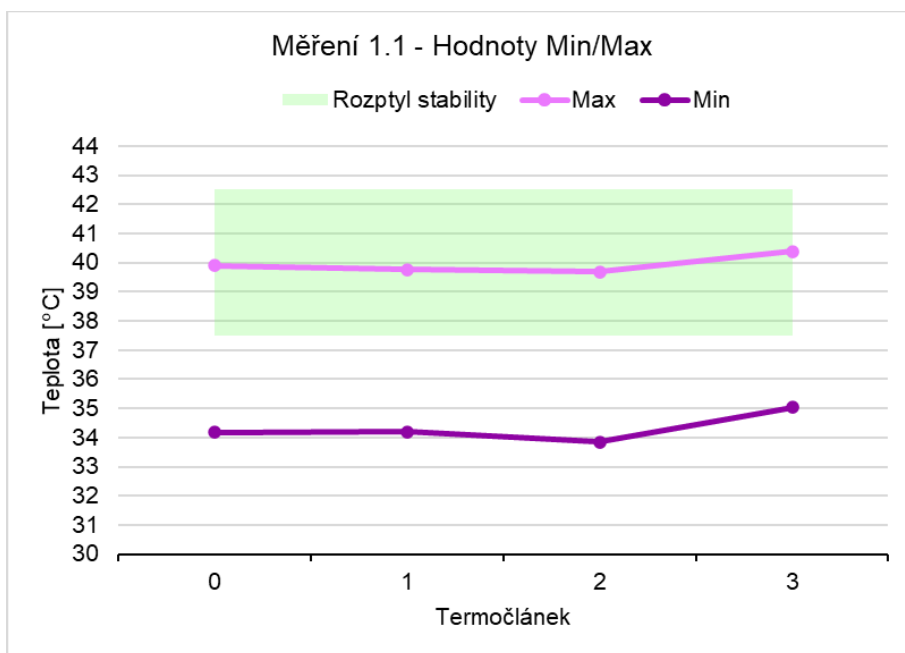
Po nastavení hodnot v klimatické komoře začalo probíhat zahřívání komory na uvedenou teplotu 40 °C. Po zahřátí začala probíhat regulace teploty opakovaným spínáním a vypínáním vyhřívání, tzn. docházelo k cyklovému ohřevu a chladnutí v prostoru klimatické komory. V tuto chvíli bylo započato měření na Dewetronu hodnot jednoho cyklu v každém místě klimatické komory - 1.1, 1.2, 1.3

Hodnoty z Dewetronu byly staženy a zpracovány do tabulek níže. Hodnoty jsou zachyceny po časovém úseku 0,1s v rámci celého cyklu. Jeden měřený cyklus trval po dobu 400 sekund.

Hodnoty z měření 1.1.:

Tabulka 8 Měření bodu 1.1. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,47	1,60	34,18	39,90
1	37,47	1,60	34,20	39,76
2	37,28	1,62	33,85	39,68
3	38,09	1,54	35,03	40,38

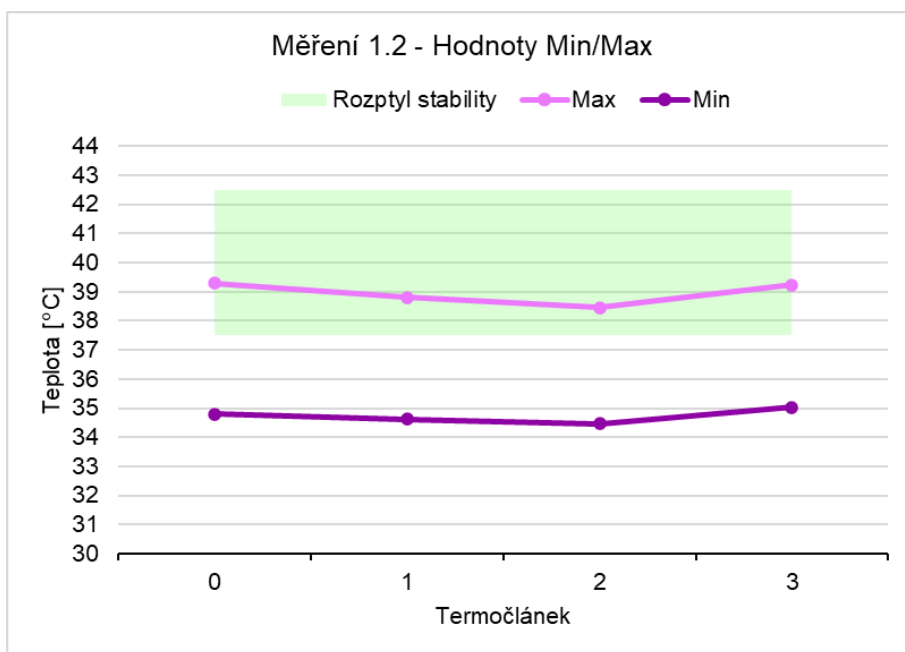


Obrázek 34 Graf měření 1.1. [vlastní]

Hodnoty z měření 1.2.:

Tabulka 9 Měření bodu 1.2. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,33	1,30	34,80	39,29
1	36,92	1,20	34,62	38,81
2	36,74	1,10	34,47	38,45
3	37,45	1,24	35,03	39,23

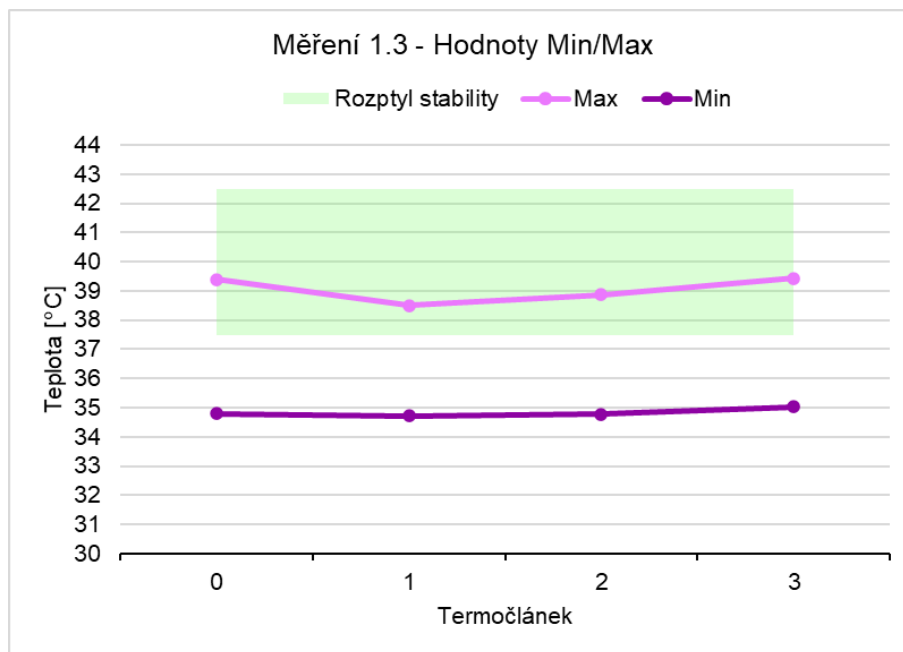


Obrázek 35 Graf měření 1.2. [vlastní]

Hodnoty z měření 1.3.:

Tabulka 10 Měření bodu 1.3. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,44	1,27	34,80	39,39
1	36,81	1,01	34,72	38,50
2	37,02	1,13	34,77	38,86
3	37,55	1,26	35,03	39,44



Obrázek 36 Graf měření 1.3. [vlastní]

VÝSLEDKY PRO MĚŘENÍ 1.

Při měření **maximálních** hodnot jsou všechny hodnoty v rozptylu měření $40\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$.

- Ověření MAX → Splněno

Minimální naměřené hodnoty ve všech třech oblastech měření jsou mimo pás hodnot pro ověření.

- Ověření MIN → Nesplněno

9.2. Etapa 2

Při měření etapy 2 byly hodnoty na ovládacím panelu nastaveny také na ověřování 40 °C, ale před měřením 2 etapy bylo třeba ručně přenastavit hliníkový profil v ose z s termočláanky. Po přenastavení polohy hliníkového profilu bylo vyčkáno na opětovné zahřátí klimatické komory do doby, kdy docházelo k cyklickému spínání a vypínání teploty. V tuto chvíli se začaly měřit na Dewetronu hodnoty jednoho cyklu v každém místě klimatické komory - 2.1, 2.2, 2.3

Hodnoty z Dewetronu byly staženy a zpracovány do tabulek níže. Hodnoty jsou zachyceny po časovém úseku 0,1s v rámci celého cyklu. Jeden měřený cyklus trval po dobu 400 sekund.

Stejně jako u 1. etapy je dáno od výrobce, že se hodnota regulace může dostat do rozmezí $\pm 2,5$ °C od ověřovací hodnoty.

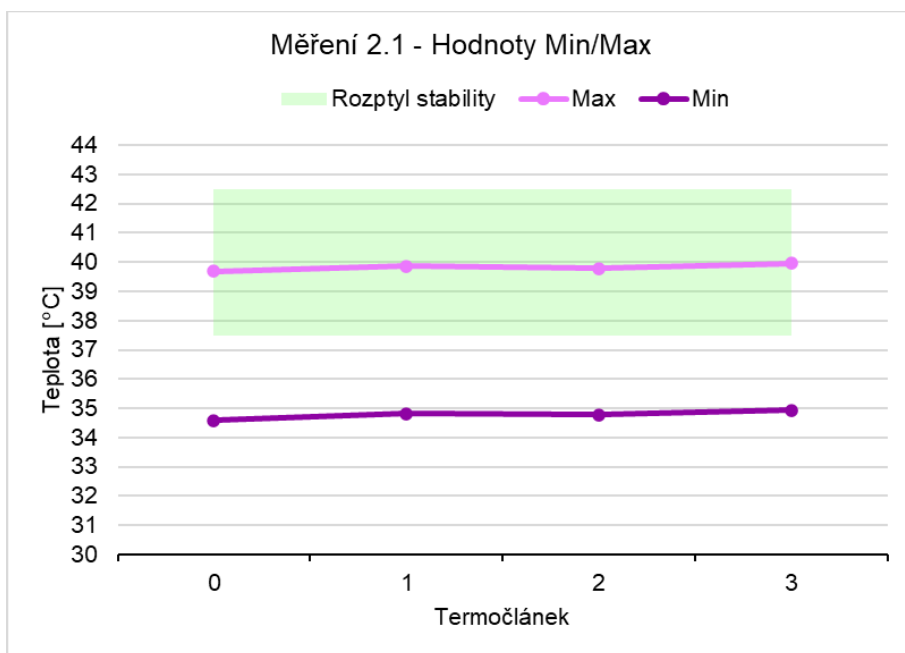
Tabulka 11 Rozptyl stability [vlastní]

Rozptyl stability	
Teplota pro ověření v klimakomoře [°C]	Odchylka [°C]
40	$\pm 2,5$

Hodnoty z měření 2.1.:

Tabulka 12 Měření bodu 2.1. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,59	1,49	34,59	39,69
1	37,72	1,43	34,83	39,86
2	37,73	1,40	34,77	39,78
3	37,91	1,42	34,93	39,97

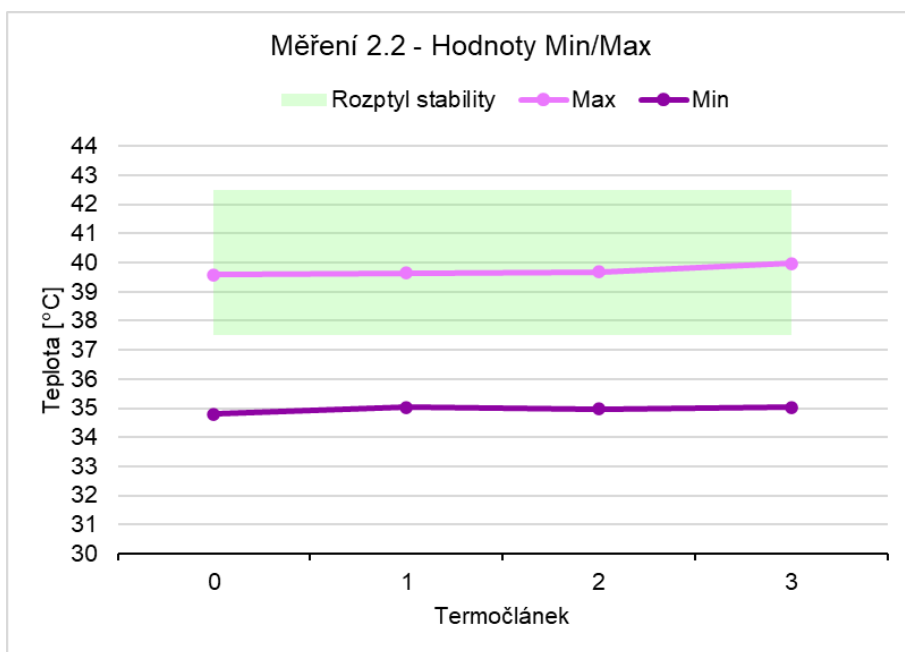


Obrázek 37 Graf měření 2.1. [vlastní]

Hodnoty z měření 2.2.:

Tabulka 13 Měření bodu 2.2. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,53	1,38	34,80	39,59
1	37,68	1,34	35,03	39,65
2	37,72	1,36	34,98	39,68
3	37,98	1,43	35,03	39,97

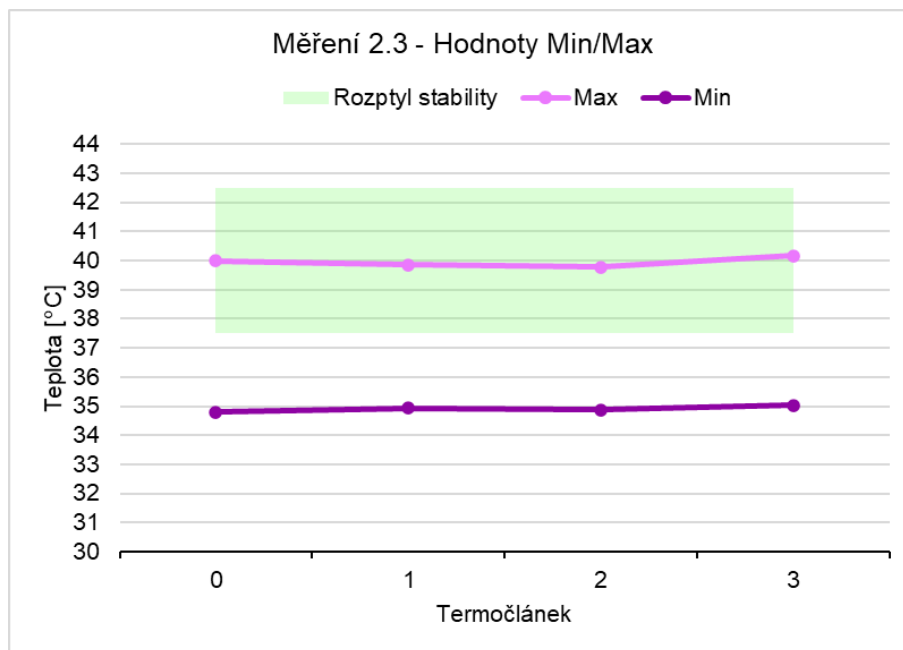


Obrázek 38 Graf měření 2.2. [vlastní]

Hodnoty z měření 2.3.:

Tabulka 14 Měření bodu 2.3. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,81	1,47	34,80	40,00
1	37,78	1,40	34,93	39,86
2	37,71	1,40	34,88	39,78
3	37,99	1,48	35,03	40,17



Obrázek 39 Graf měření 2.3. [vlastní]

VÝSLEDKY PRO MĚŘENÍ 2.

Při měření **maximálních** hodnot jsou všechny hodnoty v rozptylu měření $40\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$.

- Ověření MAX → Splněno

Minimální naměřené hodnoty ve všech třech oblastech měření jsou mimo pás hodnot pro ověření.

- Ověření MIN → Nesplněno

9.3. Etapa 3

Při měření etapy 3 byly hodnoty na ovládacím panelu nastaveny také na ověřování 40 °C, kde stejně jako u 2 etapy bylo potřeba ručně změnit polohu hliníkového profilu v ose z s termočláanky na poslední měřené místo. Byla provedena výměna polohy profilu a vyčkáno na ohřev klimatické komory. Opět do doby cyklování teplot – spínání a vypínání ohřevu v klimatické komoře. V tuto chvíli byly měřeny na Dewetronu hodnoty jednoho cyklu v každém místě klimatické komory - 3.1, 3.2, 3.3

Hodnoty z Dewetronu byly staženy a zpracovány do tabulek níže. Hodnoty jsou zachyceny po časovém úseku 0,1s v rámci celého cyklu. Jeden měřený cyklus trval po dobu 400 sekund.

Stejně jako u 1. a 2. etapy je dáno výrobcem, že se hodnota regulace může dostat do rozmezí $\pm 2,5$ °C od ověřovací hodnoty.

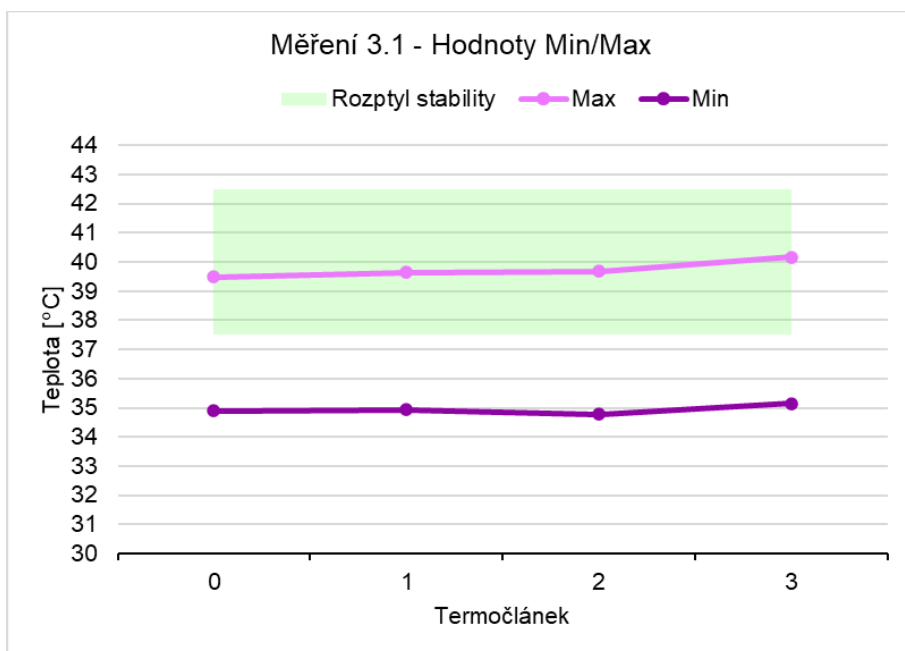
Tabulka 15 Rozptyl stability [vlastní]

Rozptyl stability	
Teplota pro ověření v klimakomoře [°C]	Odchylka [°C]
40	$\pm 2,5$

Hodnoty z měření 3.1.:

Tabulka 16 Měření bodu 3.1. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	37,46	1,33	34,90	39,49
1	37,63	1,38	34,93	39,65
2	37,51	1,39	34,77	39,68
3	38,03	1,45	35,14	40,17

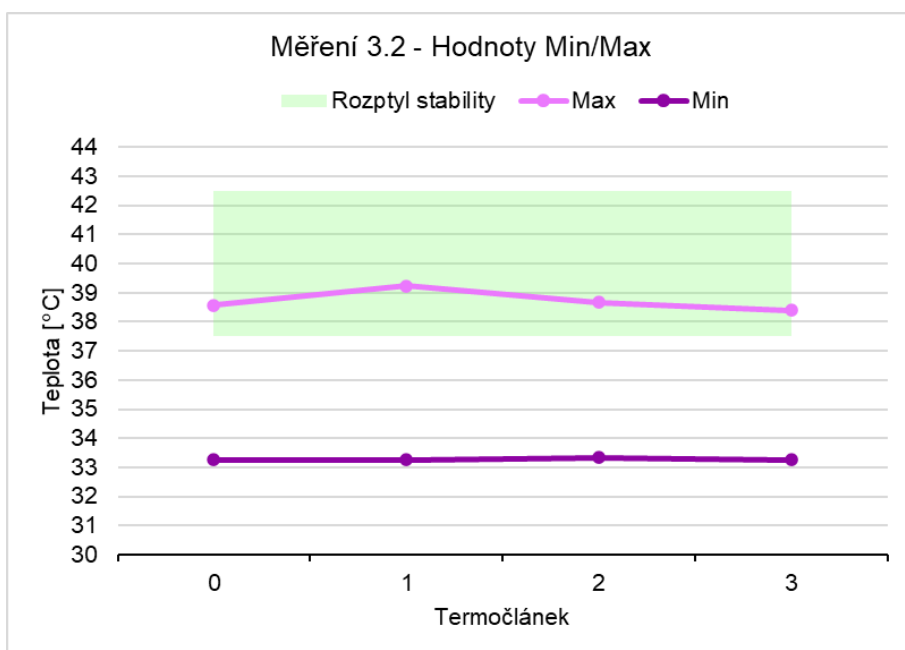


Obrázek 40 Graf měření 3.1. [vlastní]

Hodnoty z měření 3.2.:

Tabulka 17 Měření bodu 3.2. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	36,39	1,53	33,27	38,57
1	36,67	1,65	33,25	39,23
2	36,28	1,44	33,34	38,66
3	36,19	1,40	33,25	38,39

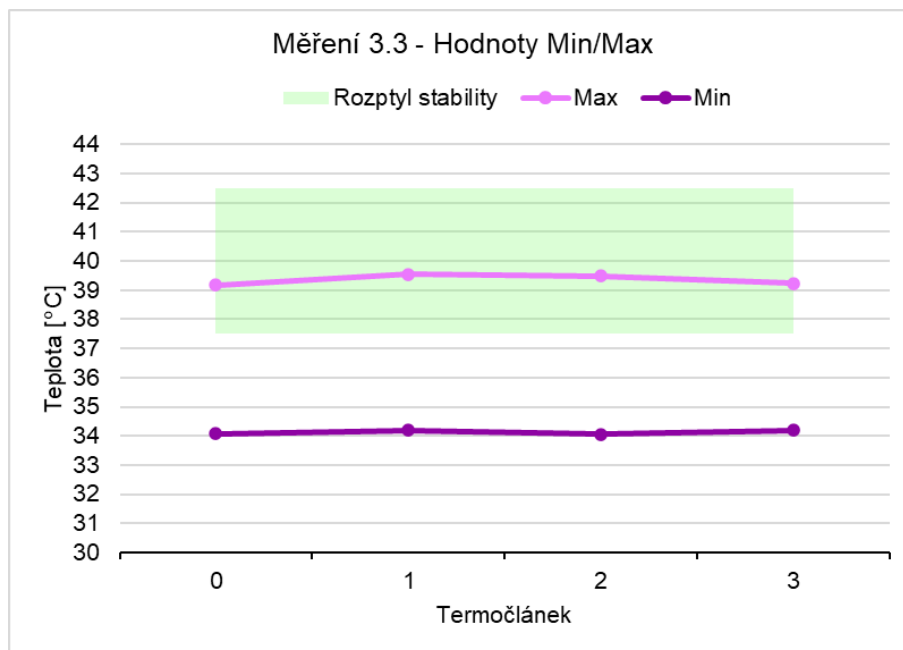


Obrázek 41 Graf měření 3.2. [vlastní]

Hodnoty z měření 3.3.:

Tabulka 18 Měření bodu 3.3. [vlastní]

Termočlánek [dle barev v obr.č.33]	Průměr [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Min [°C]	Max [°C]
0	36,86	1,43	34,08	39,18
1	37,16	1,50	34,20	39,55
2	37,03	1,51	34,06	39,48
3	36,98	1,42	34,20	39,23



Obrázek 42 Graf měření 3.3. [vlastní]

VÝSLEDKY PRO MĚŘENÍ 3.

Při měření **maximálních** hodnot jsou všechny hodnoty v rozptylu měření $40\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$.

- Ověření MAX → Splněno

Minimální naměřené hodnoty ve všech třech oblastech měření jsou mimo pás hodnot pro ověření.

- Ověření MIN → Nesplněno

Nejistoty měření

Nejistota měření typu A:

Nejistota měření typu A byla uvedena podle Dewetronu, který přijímal data z termočlánků.

Přesnost Dewetronu byla zjištěna na základě telefonátu s aplikačním inženýrem z firmy Dewesoft s. r. o. a podle získaných informací je rovna $\pm 0,4$ °C.

Nejistota měření typu B:

Nejistota měření typu B je přístrojová přesnost, kdy tato chyba byla uvedena z referenčního kalibrátoru pro termočlánky.

Teplotní stabilita: $\pm 0,02$ °C

Přesnost s interním referenčním senzorem: $\pm 0,35$ °C [27]

Celkové vyhodnocení výsledků

Po dílčím zhodnocení jednotlivých etap je nyní možné stanovit celkové hodnocení výsledků měření.

Celkové zhodnocení výsledků je uvedeno v následujících tabulkách. Pro splnění výsledků je potřeba, aby hodnoty každé jedné etapy vyšly jako „splněny“ v každém místě měření pro MAX i MIN.

Tabulka 19 Celkové vyhodnocení měření pro MIN [vlastní]

MIN	1	2	3
ETAPA 1	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO
ETAPA 2	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO
ETAPA 3	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO

Tabulka 20 Celkové vyhodnocení měření pro MAX [vlastní]

MAX	1	2	3
ETAPA 1	SPLNĚNO	SPLNĚNO	SPLNĚNO
ETAPA 2	SPLNĚNO	SPLNĚNO	SPLNĚNO
ETAPA 3	SPLNĚNO	SPLNĚNO	SPLNĚNO

Z tabulek je viditelné, že výsledky měření jsou negativní a hodnoty v komoře nelze považovat za stabilní pro její používání.

Databázi, která je uložena v paměti klimatické komory, nebylo možné porovnat s údaji naměřenými z Dewetronu. Hodnoty se porovnávaly s údaji na ovládacím panelu, kde hodnota nepřesáhla 42,5 °C a pohybovala se maximálně do 40,5 °C. Minimální hodnota se dostala pod 37,5 °C a pohybovala se až do 34,5 °C.

Experiment byl plánován na měření více teplotních hodnot, ale z důvodu poruchy, která neumožňuje provoz klimatické komory, nebylo možné naměřit další hodnoty ani zpřístupnit data v klimatické komoře.

Klimatická komora je z důvodu poruchy doposud mimo provoz.

Závěr

V teoretické části práce byla popsána nejprve termodynamika vlhkého vzduchu, poté klimatická komora a jako poslední bod v teoretické části bylo popsáno měření teploty, kde se text zaměřoval na termočlánky, které jsou poté v druhé části této práce používány.

V rámci bakalářské práce byla v praktické části sestrojena konstrukce pro měření teplot v klimatické komoře. Cílem experimentu bylo vyhodnotit stabilitu teploty v klima komoře, kde byl zvolen způsob měření pomocí pomyslné sítě bodů, ve kterých měření probíhalo. Veškeré informace použité v bakalářské práci jsou uvedeny v teoretické části práce.

Samotný experiment spočíval v měření ve třech polohách (osa y), třech úrovních (osa x) pomocí 4 termočlánků (osa z).

Z měření vyšlo, že komora nyní nefunguje dle zavedených odchylek měření.

Zde pár možností, které mohly způsobit, že dané hodnoty nejsou v poli, ve kterém by komora byla považována za možnou k použití pro budoucí projekty.

- Regulátor pro ovládání teploty nefunguje dle specifikace $40\text{ °C} \pm 2,5$ stupně (uvedených grafů jsou všechny hodnoty posunuty dolů)
- Senzor umístění v klima komoře, který má sloužit pro vyhodnocení uvedené teploty, není správně kalibrovaný

Jako návrh pro budoucí zlepšení:

- Zajistit kontrolu regulátoru pro ovládání teploty
- Změřit více cyklů pro měření
- Celistvá konstrukce – do které není potřeba vstupovat po dobu měření

Seznam použité literatury

- [1] ŠAFAŘÍK, Pavel a Magda VESTFÁLOVÁ. *Termodynamika vlhkého vzduchu*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-06020-9.
- [2] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Vyd. 3., přeprac., V nakl. CERM 1. vyd. Brno: CERM, 2003. ISBN 978-80-214-2409-8.
- [3] SCHWARZER, Jan. Teorie vlhkého vzduchu a úprava vlhkosti vzduchu při větrání (I). *TZB-info* [online]. 29. květen 2006 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [4] FILCO, SPOL. S R.O. *Teplota rosného bodu | FILCO, spol. s r.o.* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.filco.cz/uvod/knihovna/teorie-vlhkeho-vzduchu/teplota-rosneho-bodu/>
- [5] CENTNEROVÁ, Lada. Projekční podklady a pomůcky - H-X diagram. *fsv.cvut.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=22>
- [6] SIEMENS BUILDING TECHNOLOGIESLANDIS & STAEFA DIVISION. *h-x diagram*. 2000.
- [7] PETŘÍKOVÁ, Markéta. *Tabulky a diagramy pro termodynamiku*. 6. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016.
- [8] VESTFÁLOVÁ, Magda. Termodynamika vícesložkových systémů. In: . B.m. 2022.
- [9] EVEN-TZUR, Nurit, Uri ZARETSKY, Orly GRINBERG, Tomer DAVIDOVICH, Yoel KLOOG, Michael WOLF a David ELAD. Climate chamber for environmentally controlled laboratory airflow experiments. *Technology and Health Care* [online]. 2010, **18**(3) [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: doi:10.3233/thc-2010-0577
- [10] SILVA, R., Michael BRETT, Almerindo D. FERREIRA, Catarina SERRA, Tatiana R. JESUS, Rosário FINO, A. TADEU, J. MENDES, Jose Manuel Soares de ARAUJO a Renata SANTOS. Computational Fluid Dynamics Modeling and Experimental Validation of the Thermofluidic Performance of Climatic Chambers. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications* [online]. 2019, **12**(2) [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: doi:10.1115/1.4043808
- [11] DAREHSHOURI, Sahand, Nils MICHELSEN, Christoph SCHÜTH a Stephan SCHULZ. A low-cost environmental chamber to simulate warm climatic conditions. *Vadose Zone Journal* [online]. 2020, **19**(1) [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: doi:10.1002/vzj2.20023
- [12] REN, Anhua, Dong JIANG, Min KANG, Jie WU, Fu XIAO, Pengfu HOU a Xiuqing FU. Evaluation of an intelligent artificial climate chamber for high-throughput crop phenotyping in wheat. *Plant Methods* [online]. 2022, **18**(1) [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: doi:10.1186/s13007-022-00916-9
- [13] KREIDL, Marcel. *Měření teploty - Senzory a měřicí obvody*. 1. B.m.: BEN, 2005.

- [14] ELEKTRINA.CZ. Ohmův zákon a elektrický odpor: Co je důležité vědět? *elektrina.cz* [online]. 2014 [vid. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/ohmuv-zakon>
- [15] EKOKUTIL. Termoelektrický generátor – *ekokutil.cz*. *ekokutil.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://ekokutil.cz/termoelektricky-generator-teg/>
- [16] JAKAR ELECTRONICS, SPOL S. R. O. Co je termočlánek a jak funguje? *www.jakar.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.jakar.cz/advisor/co-je-termoclanek>
- [17] KADIR, Abdulkhalek a Salim KAKO. Comparative Investigation on the Quality of Sensitivity of Six Different Types of Thermocouples. *Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)* [online]. 2022, **27**(2) [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: [doi:10.33899/rengj.2022.132862.1157](https://doi.org/10.33899/rengj.2022.132862.1157)
- [18] MRÓZ, Mateusz. Termočlánek - co to je? Princip fungování a použití. *Botland* [online]. 22. červen 2023 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/termoclanek-co-to-je-princip-fungovani-a-pouziti/>
- [19] WANG, Annie. What Effects Does Green Rot Have on Type K Thermocouples. *BCST Group* [online]. 6. únor 2023 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://bcstgroup.com/what-effects-does-green-rot-have-on-type-k-thermocouples/>
- [20] CALDWELL, F. R. *Thermocouple Materials*. 1969.
- [21] POLLOCK, Daniel D. *Thermocouples*. 2018.
- [22] ARDATECH. Technické informace. *ardatech.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: https://www.ardatech.cz/technicke_informace/
- [23] KIM, Yong-Gyoo, Young Hee LEE a Wukchul JOUNG. Temperature dependence of the thermoelectric inhomogeneity for type B thermocouples from 180 °C to 960 °C. *Measurement Science and Technology* [online]. 2017, **28**(5) [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: [doi:10.1088/1361-6501/aa6366](https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa6366)
- [24] TUCKER, Declan, Frank EDLER, V. ŽUŽEK, Jovan BOJKOVSKI, C. Garcia IZQUIERDO, Marina PARRONDO, L. ŠINDELÁŘOVÁ a Narcisa ARIFOVIC. Thermoelectric stability of dual-wall and conventional type K and N thermocouples. *Measurement Science and Technology* [online]. 2022, **33**(7) [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: [doi:10.1088/1361-6501/ac57ee](https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac57ee)
- [25] ZHANG, Xugang, Hongseok CHOI, Aniruddha DATTA a Xiaochun LI. Design, fabrication and characterization of metal embedded thin film thermocouples with various film thicknesses and junction sizes. *Journal of Micromechanics and Microengineering* [online]. 2006, **16**(5) [vid. 2024-05-05]. Dostupné z: [doi:10.1088/0960-1317/16/5/004](https://doi.org/10.1088/0960-1317/16/5/004)
- [26] DISTRELEC. 3630250 | RS PRO Termočlánek s mini zástrčkou 1 m -75 ... 250°C Typ K | Distrelec Česká republika. *Distrelec Czech Republic* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/termoclanek-mini-zastrckou-75-250-typ-rs-pro-3630250/p/30390961>
- [27] FRIGERA S. R. O. Frigera - Frigera byla, je a zase bude jednička v chladičství u nás i ve světě. *Frigera* [online]. 2024 [vid. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.frigera.cz/>

- [28] AMETEK. *Model ATC-156/157/320 and 650 Advanced Temperature Calibrator* [online]. 2007. Dostupné z: www.ametek.com