



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

## NÁVRH A REALIZACE PRACOVIŠTĚ PRO MĚŘENÍ OTEPLENÍ ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WORKPLACE FOR TEMPERATURE RISE TESTING

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Zbyněk Bartek**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. David Šimek, Ph.D.**

**BRNO 2023**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

**Student:** Bc. Zbyněk Bartek

**ID:** 203545

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## Návrh a realizace pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se se současným vybavením a metodikami pro měření oteplení v laboratoři spínacích přístrojů CVVOZE.
2. Nastudujte normativní požadavky na zkoušky oteplení zadaných skupin elektrických přístrojů a jejich sestav.
3. Dle potřeb (zadání) laboratoře navrhnete vhodné řešení mobilního pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů.
4. Za spolupráce s konstrukční dílnou UVEE sestojte samotné pracoviště, osadte všemi potřebnými komponenty a oživte jej.
5. Provedte testovací měření na vybraném přístroji, kriticky zhodnoťte návrh a vytvořte soupis možných budoucích modifikací pro rozšíření aplikovatelnosti pracoviště.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] TOPOL, Jan. Chyby při měření teplot termočlánky. Panenské Břežany: Výzkumný ústav kovů, [1975].
- [2] MINDL, Pavel a Vladimír NOVOTNÝ. Měření a zkoušení elektrických přístrojů. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01842-3.
- [3] ČSN EN 60947-1 ED.4 (354101) Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 29.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. David Šimek, Ph.D.

**doc. Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů. Práce se zabývá dotykovými a bezdotykovými způsoby měření teploty, současným vybavením laboratoře spínacích přístrojů sloužící k měření oteplení a také se zabývá normativními požadavky na zkoušky oteplení pro konkrétní elektrické přístroje a jejich soustavy. V další části práce jsou vyjmenovány požadavky na návrh pracoviště a následně je popisován návrh pracoviště i s 3D modely jednotlivých částí. V praktické části je popisována realizace pracoviště, dále pak jsou popisovány testovací měření se současným vybavením laboratoře spínacích přístrojů a nově vytvořeným pracovištěm pro měření oteplení. Konec práce se zabývá zhodnocením nového pracoviště a o možnostech dalšího vylepšení pracoviště.

## **Klíčová slova**

Měření teploty; Měření Oteplení; Testovací měření; Snímače teploty; Návrh pracoviště

## **Abstract**

This master thesis deals with design and implementation of a workplace for temperature rising measurement in electrical devices. The thesis deals with contact and non-contact temperature measurement, with the current equipment of the laboratory of switching devices used to measure temperature rising, and also deals with normative requirements for temperature rising tests for specific electrical devices and their systems. The next part of the thesis lists requirements for workplace design and subsequently describes the workplace design with 3D models of individual parts. The practical part describes the implementation of the workplace, then the test measurements with the current equipment of the laboratory of switching devices and with the newly created workplace for temperature rising measurement. The end of the work deals with the evaluation of the new workplace and the possibilities of further improvement of the workplace.

## **Keywords**

Temperature measurement; Temperature rising measurement; Testing measurement; Temperature sensors; Workplace Design

BARTEK, Zbyněk. *Návrh a realizace pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2023, 80 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. David Šimek, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Bc. Zbyněk Bartek
<b>VUT ID autora:</b>	203545
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2022/23
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Návrh a realizace pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Davidu Šimkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam symbolů a zkratk	11
Úvod	12
<b>1 Měření teploty</b>	<b>13</b>
1.1 Dotykové měření teploty . . . . .	13
1.1.1 Kovové odporové snímače teploty . . . . .	13
1.1.2 Polovodičové odporové snímače teploty . . . . .	15
1.1.3 Termočlánky . . . . .	16
1.2 Bezdotykové měření teploty . . . . .	21
1.2.1 Pyrometr . . . . .	21
1.2.2 Termografie . . . . .	23
<b>2 Vybavení laboratoře spínacích přístrojů pro měření teploty</b>	<b>25</b>
2.1 Měřicí ústředna AHLBORN ALMEMO 5690-2M . . . . .	25
2.2 Snímače teploty . . . . .	26
<b>3 Normativní požadavky na zkoušky oteplení</b>	<b>28</b>
3.1 Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - všeobecná ustanovení . . . . .	28
3.2 Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - jističe . . . . .	30
3.3 Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací - jističe pro střídavý provoz . . . . .	31
3.4 Pojistky nízkého napětí - všeobecné požadavky . . . . .	32
3.5 Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou - obecná pra- vidla . . . . .	33
3.6 Rozváděče nízkého napětí - všeobecná ustanovení . . . . .	34
3.7 Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - společná ustanovení . . . . .	37
<b>4 Požadavky laboratoře na pracoviště pro měření oteplení</b>	<b>39</b>
4.1 Měřicí ústředny . . . . .	39
4.2 Konstrukce mobilního pracoviště . . . . .	40
4.3 Snížení časové náročnosti přípravy měření . . . . .	40
4.4 Sledování měřených hodnot . . . . .	40
4.5 Snímače teploty . . . . .	40
4.6 Kalibrace měřicích ústředen . . . . .	41

<b>5</b>	<b>Návrh mobilního pracoviště</b>	<b>42</b>
5.1	Základní konstrukce pracoviště . . . . .	42
5.2	Umístění měřicích ústředěn . . . . .	45
5.3	Snímače teploty - termočlánky . . . . .	47
5.4	Příslušenství . . . . .	49
5.5	3D model návrhu pracoviště pro měření oteplení . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Realizace pracoviště</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Testovací měření na vybraných přístrojích</b>	<b>58</b>
7.1	Měření oteplení jističe . . . . .	58
7.1.1	Postup měření . . . . .	58
7.1.2	Změřené průběhy jističe . . . . .	60
7.1.3	Zhodnocení měření jističe . . . . .	61
7.2	Měření oteplení odpojovače . . . . .	62
7.2.1	Postup měření odpojovače . . . . .	62
7.2.2	Změřené průběhy odpojovače . . . . .	65
7.2.3	Zhodnocení měření odpojovače . . . . .	67
<b>8</b>	<b>Zhodnocení pracoviště</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>Rozšíření aplikovatelnosti pracoviště</b>	<b>73</b>
	<b>Závěr</b>	<b>74</b>
	<b>Literatura</b>	<b>76</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>78</b>
	<b>A Měření oteplení jističe Siemens</b>	<b>79</b>
	<b>B Měření oteplení odpojovače Ivep</b>	<b>80</b>



# Seznam obrázků

1.1	Platinový odporový snímač Pt100 [15]	14
1.2	NTC termistor [16]	15
1.3	Princip Seebeckova jevu [1]	16
1.4	Charakteristika termoelektrického napětí termočlánků (převzato z [1])	17
1.5	Drátový termočlánek (a) a plášťový termočlánek (b) [3]	20
1.6	Pyrometr [18]	23
1.7	Termokamera [19]	24
2.1	Měřicí ústředna AHLBORN ALMEMO 5690-2M [20]	25
2.2	Provedení termočlánků v laboratoři spínacích přístrojů	27
4.1	COMET DATALOGGER MS55D [13]	39
5.1	Rozměry spodní části konstrukce pracoviště	42
5.2	Hliníková konstrukce pracoviště	43
5.3	Rozměry rámu	44
5.4	Základní konstrukce mobilního pracoviště	45
5.5	Deska s měřicími ústřednami	46
5.6	Uchycení desky ke konstrukci pracoviště	47
5.7	Deska s měřicími ústřednami, termočlánky a držáky termočlánků	49
5.8	3D model navrženého pracoviště pro měření oteplení	51
6.1	Mobilní pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů	52
6.2	Detail spodní části pracoviště	53
6.3	Detail měřicích ústředen	54
6.4	Detail mezipatra pracoviště	55
6.5	Notebook na horním patře pracoviště	56
6.6	Snímače teploty okolí v pracovišti	57
7.1	Schéma zapojení pro měření oteplení jističe Siemens	58
7.2	Graf průběhu oteplení jednotlivých svorek jističe	60
7.3	Graf průběhu oteplení krytu a páky jističe	61
7.4	Schéma zapojení pro měření oteplení odpojovače Ivep	63
7.5	Umístění termočlánků na odpojovači	63
7.6	Graf průběhu oteplení fáze 1 (L1) odpojovače	65
7.7	Graf průběhu oteplení fáze 2 (L2) odpojovače	66
7.8	Graf průběhu oteplení fáze 3 (L3) odpojovače	67

# Seznam tabulek

1.1	Vlastnosti materiálů pro kovové odporové snímače teploty [1][4] . . .	14
1.2	Hodnoty termoelektrického koeficientu pro různé termočlánky[1][4] . .	17
1.3	Měřicí rozsah teploty termočlánků [1][4][5] . . . . .	18
3.1	Hodnoty oteplení svorek (převzato z [6]) . . . . .	28
3.2	Hodnoty oteplení přístupných částí (převzato z [6]) . . . . .	29
3.3	Zkušební měděné vodiče pro proudy od 130 A do 350 A (převzato z [6])	29
3.4	Hodnoty oteplení svorek a přístupných částí (převzato z [7]) . . . . .	30
3.5	Hodnoty oteplení částí jističe (převzato z [8]) . . . . .	31
3.6	Hodnoty oteplení kontaktů (převzato z [9]) . . . . .	32
3.7	Hodnoty oteplení svorek (převzato z [9]) . . . . .	32
3.8	Průřezy měděných vodičů (převzato z [9]) . . . . .	33
3.9	Hodnoty oteplení částí proudového chrániče (převzato z [10]) . . . .	34
3.10	Hodnoty mezních oteplení částí rozváděče (převzato z [11]) . . . . .	35
3.11	Průřezy zkušebních vodičů do 65 A (převzato z [11]) . . . . .	36
3.12	Průřezy zkušebních vodičů a rozměry přípojnic od 400 A do 630 A (převzato z [11]) . . . . .	36
3.13	Rozměry přípojnic od 800 A do 2000 A (převzato z [11]) . . . . .	36
3.14	Hodnoty mezních oteplení částí vysokonapěťových zařízení (převzato z [21]) . . . . .	38
5.1	Skupiny termočlánků . . . . .	48
7.1	Seznam přístrojů použitých při měření oteplení jističe . . . . .	59
7.2	Podmínky v laboratoři při měření jističe . . . . .	59
7.3	Nejvyšší hodnoty oteplení částí jističe . . . . .	62
7.4	Seznam přístrojů použitých při měření oteplení odpojovače . . . . .	64
7.5	Podmínky v laboratoři při měření odpojovače . . . . .	64
7.6	Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí fáze 1 (L1) odpojovače . . . .	68
7.7	Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí fáze 2 (L2) odpojovače . . . .	68
7.8	Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí fáze 3 (L3) odpojovače . . . .	69

## Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Veličina	Jednotka
$\alpha$	Teplotní součinitel elektrického odporu	[K <sup>-1</sup> ]
$\epsilon$	Emisivita	[-]
$\sigma$	Stefan-Boltzmanova konstanta	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ]
$\Omega$	Prostorový úhel	[Sr]
$A$	Koeficient pro výpočet odporu platinového snímače teploty	[K <sup>-1</sup> ]
$B$	Koeficient pro výpočet odporu platinového snímače teploty	[K <sup>-2</sup> ]
$E_{AB}$	Elektrické napětí	[V]
$L$	Záře	[Wm <sup>-2</sup> Sr <sup>-1</sup> ]
$L_m$	Měřená záře	[Wm <sup>-2</sup> Sr <sup>-1</sup> ]
$L_s$	Skutečná záře	[Wm <sup>-2</sup> Sr <sup>-1</sup> ]
$M$	Intenzita záření	[Wm <sup>-2</sup> ]
$R_T$	Odpor při určité teplotě	[ $\Omega$ ]
$R_0$	Odpor při teplotě 0 °C	[ $\Omega$ ]
$R_{100}$	Odpor při teplotě 100 °C	[ $\Omega$ ]
$S_{A,B}$	Termoelektrický koeficient	[ $\mu$ V°C <sup>-1</sup> ]
$T$	Absolutní teplota	[K]
$T_m$	Měřená teplota	[K]
$T_s$	Skutečná teplota	[K]
$W_t$	Poměr odporů čidla	[-]
<b>Zkratka</b>	<b>Popis</b>	
OG	Oxidující plyn	
Al	Hliník	
Co	Kobalt	
Cu	Měď	
Cr	Chrom	
Fe	Železo	
Mn	Mangan	
Ni	Nikl	
PE	Polyetylen	
Pt	Platina	
Rh	Rhodium	
Si	Křemík	
W	Wolfram	
Zn	Zinek	

# Úvod

Při průchodu proudu elektrickým vodičem vzniká teplo, které zahřívá vodič i přilehlé prvky. Při dostatečně velkém proudu by toto teplo mohlo narůst do takové velikosti, kdy by došlo k poškození nejen vodiče, ale i jeho izolace a okolních prvků. Takovéto poškození by mohlo způsobit zdravotní újmu či nefunkčnost zařízení. Proto elektrické přístroje musí být navrženy tak, aby při svém jmenovitém proudu v nich nevznikalo teplo, které by ohrozilo bezpečnost použití, spolehlivost přístroje nebo poškodilo jeho části.

Pro účely ověření teplotní výdržnosti navržených přístrojů byly vytvořeny normy, které stanovují meze oteplení částí pro příslušné elektrické přístroje. Tyto meze se ověřují zkouškami, které jsou vymezeny příslušnou normou pro konkrétní elektrický přístroj. Mezi tyto normy patří např. norma ČSN EN 60947-2 zabývající se jističi, norma ČSN EN 60269-1 zabývající se pojistkami či norma ČSN EN 61009-1 zabývající se proudovými chrániči.

Pro správné ověření oteplení je nutné použít vhodné snímače teploty, aby nedocházelo k ovlivnění výsledků. V dnešní době je k dispozici velké množství snímačů teploty - kontaktní a bezkontaktní, s velkým rozpětím měřicího teplotního rozsahu a s různou přesností. Avšak ne všechny snímače teploty lze použít pro normativní zkoušky, jelikož by nevyhovovali stanoveným požadavkům. Při výběru správných snímačů teploty je i důležité, aby se s těmito snímači dobře pracovalo.

Tato práce se zabývá metodami měření teploty a současným vybavením laboratoře spínacích přístrojů, které používají k měření oteplení elektrických přístrojů. Část práce je také věnována příslušným normám k jednotlivým spínacím přístrojům ohledně zkoušek oteplení. Konkrétním cílem této práce je dle požadavků laboratoře spínacích přístrojů vytvořit vhodný návrh pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů, následně ho dle návrhu sestavit, osadit všemi potřebnými komponenty a oživit jej. Dále po oživení pracoviště následně provést testovací měření oteplení na vybraném přístroji, kriticky zhodnotit návrh a nakonec vytvořit soupis možných budoucích modifikací, které rozšíří aplikovatelnost pracoviště.

# 1 Měření teploty

Jednou z nejvýznamnějších termodynamických veličin je teplota. Tu lze měřit v několika jednotkách, a to buď ve stupních Celsia [°C] nebo v Kelvinech [K]. Znalost teploty je nezbytná ve všech odvětvích, například v elektrotechnice, kdy se teplota musí nacházet ve stanovených mezích, aby nedošlo k poškození zařízení. A proto jsou v této kapitole rozebrány možné způsoby měření teploty.

## 1.1 Dotykové měření teploty

Jedním ze způsobů jak měřit teplotu je použití dotykových snímačů teploty. Tyto snímače měří teplotu přímým dotykem s materiálem. Dotykové snímače teploty lze rozdělit podle fyzikálního principu funkce snímače, a to na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem a další.[1][14]

### 1.1.1 Kovové odporové snímače teploty

Kovové odporové snímače teploty pracují na principu teplotní závislosti elektrického odporu kovu. Je obecně známo, že elektrický odpor roste s rostoucí teplotou a proto je teplotní součinitel elektrického odporu  $\alpha$  důležitou materiálovou konstantou, jelikož vyjadřuje s jakou citlivostí se mění odpor v závislosti na teplotě. Kovové odporové snímače lze považovat za lineární, pokud jsou v malém teplotním rozsahu  $\pm 100$  °C . V malém teplotním rozsahu  $\pm 100$  °C je závislost odporu na teplotě:

$$R_T = R_0 \times (1 + \alpha T) \quad (1.1)$$

kde odpor  $R_0$  je odpor snímače při 0 °C. Avšak ve větším rozsahu teploty platí pouze nelineární rovnice, která je závislá na použitém materiálu snímače teploty. [1][2][4][5][14]

Také se u kovových odporových snímačů teploty uvádí tzv. poměr odporů čidla  $W_t$  při 100 °C a při 0 °C. Ten je definovaný vztahem:

$$W_t = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (1.2)$$

Z řad vhodných materiálů na výrobu kovových odporových snímačů teploty je nejpoužívanější platina, měď, nikl a Balco (Fe-Ni). Pro použití v extrémně nízkých teplotách se používají slitiny Rh-Fe, Pt-Co. V tabulce 1.1 jsou uvedené některé vlastnosti používaných materiálů.[1]

Tab. 1.1: Vlastnosti materiálů pro kovové odporové snímače teploty [1][4]

Materiál	Teplotní součinitel elektrického odporu [ $10^{-3}/K$ ]	Rozsah teploty [°C]	Poměr odporů [-]
Měď	4,26 - 4,33	-50 až +150	1,426
Platina	3,85 - 3,91	-20 až +850	1,385
Nikl	6,17 - 6,75	-70 až +150	1,618

K výrobě odporových snímačů se však výhradně používá platina, jelikož se vyznačuje vysokou teplotou tání, dlouhodobou stabilitou, chemickou odolností či předvídatelnou odezvou. Pro teplotní rozsah od 0 °C do 850 °C je závislost odporu na teplotě u platinového snímače definován vztahem:

$$R_T = R_0 \times (1 + AT + BT^2) \quad (1.3)$$

kde  $R_0$  je 100  $\Omega$  A je  $3,908 \times 10^{-3}$  a B je  $-5,80 \times 10^{-7}$ .

Platinové snímače mají také velkou přesnost a tudíž patří k nejpřesnějším kontaktním snímačům. Dělí se do dvou tolerančních tříd A a B, kde toleranční třída A je předepsána pro teplotní rozsah od -200 °C do +650 °C a třída B od -200 °C do +850 °C. Platinové snímače teploty se vyrábějí s hodnotou odporu  $R_0$  50, 100, 200, 500, 1000 a 2000  $\Omega$ . Tyto snímače lze zapojit ve dvouvodičovém, třívodičovém nebo čtyřvodičovém provedení, kdy v případě čtyřvodičového zapojení dochází ke kompenzaci odporů vodičů.[1][2][4][5][14]



Obr. 1.1: Platinový odporový snímač Pt100 [15]

Niklové snímače teploty vynikají značně velkou citlivostí, malými rozměry samotného čidla i rychlou odezvou. Oproti platině mají tyto čidla velmi omezený teplotní rozsah, horší odolnost vůči prostředí, nižší dlouhodobou stabilitu a tedy i menší přesnost. Měděné snímače se obvykle nevyrobí díky snadné oxidaci a malé rezistivitě mědi. Díky teplotní závislosti mědi se však může použít při přímém měření teploty vinutí elektrických strojů pomocí měření odporu vinutí. [1][2][4][5][14]

### 1.1.2 Polovodičové odporové snímače teploty

Polovodičové odporové snímače teploty také využívají teplotní závislost odporu jako kovové odporové snímače teploty, ale na rozdíl od odporových snímačů se elektrické vlastnosti polovodičových snímačů teploty mění dvěma způsoby. Buď jejich odpor bude růst při rostoucí teplotě - mají pozitivní teplotní koeficient odporu, nebo odpor bude klesat při rostoucí teplotě - mají záporný teplotní koeficient odporu. Polovodičové snímače teploty lze rozdělit na NTC termistory (Negastory), které mají záporný teplotní koeficient odporu, a PTC termistory (Pozistory), které mají kladný teplotní koeficient odporu. Přičemž se z těchto dvou polovodičových snímačů při měření teploty používá primárně NTC termistor.



Obr. 1.2: NTC termistor [16]

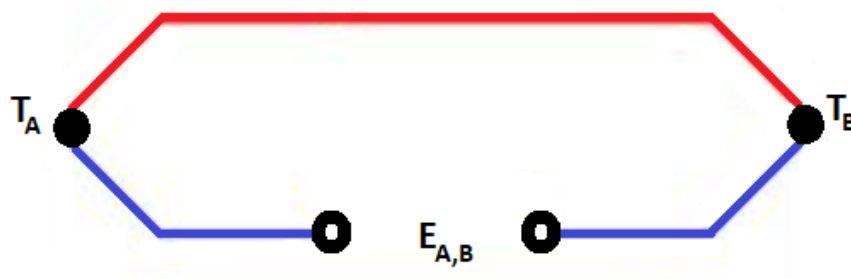
Termistor je vytvořený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Díky keramické technologii může být vyroben do různých tvarů např. disku, válečku, destičky, a dalších. Termistory se vyznačují svými malými rozměry, vysokou teplotní citlivostí, vysokou rychlostí a také možností měření odporu termistoru

z větších vzdáleností. Jednou z nevýhod termistorů je jejich nelineární charakteristika, dále také velká tolerance - nutná kalibrace při použití termistorů. V porovnání s termočládky je také zásadní nevýhodou polovodičových snímačů jejich mechanická odolnost.

NTC termistory se vyrábějí pomocí práškové technologie a to z oxidů kovů jako jsou oxidy chromu, mědi, železa, niklu, titanu a dalších. Samotný teplotní rozsah NTC termistorů se pohybuje od běžných  $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , některé mají vysoký rozsah teplot až do  $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pomocí tenkovrstvé technologie je možné vyrábět NTC termistory i ve velmi malých rozměrech v řádech desítek mikrometrů. Takový termistor má teplotní rozsah od  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [1][2][4][5][14]

### 1.1.3 Termočládky

Termočládky patří k nejpoužívanějším snímačům teploty. Pracují na principu Seebeckova jevu, tedy jevu přeměny tepelné energie na energii elektrickou. Samotný jev vzniká tím, že nositelé náboje mají větší energii v teplejší části vodiče, a proto tyto náboje difundují více do chladnějších míst než nositelé náboje z chladnějších částí vodiče do teplejších. Proto také pohyb elektronů z teplejšího konce do chladnějšího konce způsobí, že teplejší konec se bude nabíjet kladně a chladnější konec záporně. A jelikož oba konce mají rozdílnou koncentraci elektrického náboje, vznikne kontaktní potenciál.



Obr. 1.3: Princip Seebeckova jevu [1]

Termočlánek je tvořen dvěma rozdílnými vodiči nebo polovodiči. Je-li obvod uzavřený a každý vodič je vyroben z rozdílných materiálů, protéká tímto obvodem elektrický proud a to za předpokladu, že spoje A a B mají rozdílnou teplotu. Pokud se obvod rozpojí, objeví se na vytvořených svorkách elektrické napětí, které je dané Seebeckovým vztahem:

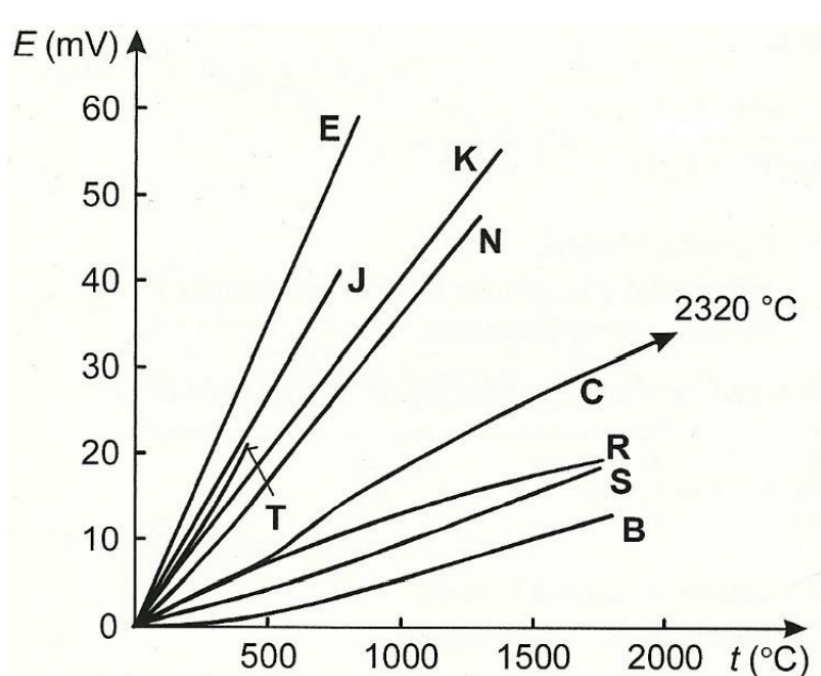
$$E_{A,B} = \int_{T_B}^{T_A} (S_A - S_B) dT \quad (1.4)$$



Veličiny  $S_A$  a  $S_B$  jsou tzv. Seebeckovy koeficienty. V praxi se Seebeckovy koeficienty nazývají termoelektrickými koeficienty. Termoelektrický koeficient nabývá hodnot v řádech jednotek až desítek mikrovoltů na stupeň Celsia (někdy se udává v Kelvinech) u vodičů (viz. Tab. 1.2), u polovodičů může dosahovat hodnot vyšších než 100 mikrovoltů.[1][2][4][5]

Tab. 1.2: Hodnoty termoelektrického koeficientu pro různé termočlánky[1][4]

Označení	Termoelektrický koeficient při 100°C [ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ]	Termoelektrický koeficient při 500°C [ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ]	Termoelektrický koeficient při 1000°C [ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ]
B	1	5	9
C	15	18	18
E	68	81	-
G	5	16	21
J	54	56	59
K	42	43	39
N	30	38	39
R	8	10	13
T	46	-	-



Obr. 1.4: Charakteristika termoelektrického napětí termočlánků (převzato z [1])

Jednotlivé termočlánky jsou tvořeny normalizovanými páry termoelektrických materiálů. Jednotlivé materiály byly vybírány podle několika kritérií jako dlouhodobá stabilita, přijatelná nelinearita závislosti termoelektrického napětí na teplotě pro určité teplotní rozsahy, odolnost proti korozi, chemickým vlivům a ionizačnímu záření. Materiálové složení jednotlivých termočlánků také určuje měřicí rozsah teploty.

Tab. 1.3: Měřicí rozsah teploty termočlánků [1][4][5]

Označení	Rozsah teploty krátkodobý [°C]	Rozsah teploty dlouhodobý [°C]
B	+100 až +1820	+100 až +1000
C	+20 až +2300	+50 až +1820
E	-40 až +900	0 až +800
G	0 až +2600	+20 až +2320
J	-180 až +750	+20 až +700
K	-180 až +1350	0 až +1100
N	-270 až +1300	0 až +1100
R	-50 až +1700	0 až +1600
T	-250 až +400	-185 až +300

Termočlánky patří k nejvíce používaným snímačům teploty, zejména jsou používány v průmyslu. Jedna z významnějších vlastností termočlánků je jejich velmi malá velikost. Ta umožňuje umístění termočlánků do malých prostorů. Aplikaci konkrétních termočlánků určuje jejich materiálové složení, jelikož použité materiály na termočlánekové dráty určují nejen teplotní rozsah termočláneků, ale i jeho odolnost vůči prostředí a mnoho dalších vlastností. [1][2][4][5]

### Jednotlivé typy termočlánků, jejich vlastnosti a použití

**Typ B:** složený z materiálů PtRh30 a PtRh6, používaný od 100 °C, dlouhodobé použití v oxidační a inertní atmosféře, vhodné i pro krátké použití ve vakuu.

**Typ C:** složený z materiálů WRh5 a WRh26, vhodný pro měření vysokých teplot, chemicky stabilní, použití ve vakuu a vodíku.

**Typ E:** složený z materiálů NiCr a CuNi, nejvyšší hodnota termoelektrického koeficientu, vhodný pro použití ve vakuu a středně oxidační atmosféře bez nutnosti použití ochranného krytí.

**Typ G:** složený z materiálů W a WRh, vhodný pro měření extrémně vysokých teplot, používaný od 400 °C, chemicky stabilní, použití ve vakuu, vodíku a oxidační atmosféře.

**Typ J:** složený z materiálů Fe a CuNi, vhodný do vakua, oxidační, inertní a redukční atmosféry, pro delší životnost ve vysokých teplotách je doporučeno použít pro konstrukci termočládku větší dráty.

**Typ K:** složený z materiálů NiCr a Ni, vhodný pro použití v inertní a oxidační atmosféře, díky odolnosti proti oxidaci se často používá při teplotách nad 540 °C, nevhodný pro použití ve vakuu a v sirnaté atmosféře.

**Typ N:** složený z materiálů NiCrSi a NiSi, vysoká stabilita do 1300°C, vhodné pro periodické změny teploty, odolný proti neutronovému toku.

**Typ R:** složený z materiálů PtRh13 a Pt, vhodný pro dlouhodobé použití v inertní nebo oxidační atmosféře, měření vysokých teplot.

**Typ T:** složený z materiálů Cu a CuNi, odolný proti korozi při použití ve vlhké atmosféře, možnost použití i v jiných atmosférách, vhodný pro měření nízkých teplot. [1][2][4][5]

Termočládky se vyrábějí v několika různých konstrukčních provedení. Výběr správného provedení termočládku závisí na místě aplikace - například zda bude použit v kapalinách či v toxickém prostředí nebo termočládky budou vystavené vysoké teplotě.

### **Drátový termočládek**

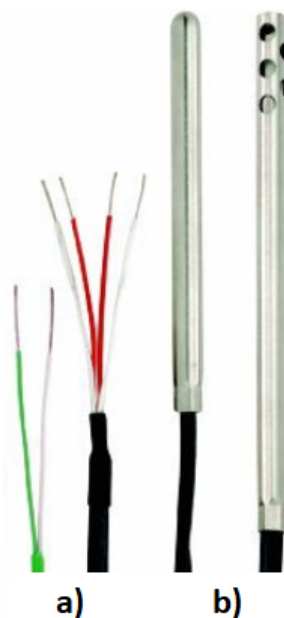
Drátový termočládek je považován za nejjednodušší podobu termočládku. Tyto termočládky se skládají ze dvou kovových drátů (viz. Obr.1.5a), které jsou na jednom konci spojené. Průměr jednotlivých vodičů bývá v rozmezí od 0,5 mm do 3,5 mm. Vodiče jsou uloženy nejčastěji v keramických izolačních trubičkách. Tyto termočládky mohou být vyrobeny ve velmi malých rozměrech, což umožňuje velmi rychlou odezvu. Jelikož je spojený konec termočládku odhalený, má tato konstrukce několik omezení aplikace. Neměl by se používat s kapalinami, mohly by zapříčinit korozi nebo oxidaci vodičů termočládku. Měření kovových povrchů může způsobit chybu měření, pokud se měřené povrchy používají pro uzemnění elektrických systémů. Obecně je drátový termočládek vhodný pro měření teploty plynů.

### Plášťový termočlánek

Vodiče mají práškovou minerální izolaci a jsou uloženy v kovovém plášti, který se vyrábí od 0,1 mm do 8 mm (viz. Obr.1.5b). Samotný plášť je vyroben z materiálů odolných proti korozi jako ocel, Nicrobell, Inconel nebo ze slitiny platiny. Plášťové termočláanky mají několik provedení: otevřené, uzavřené a izolované. Otevřené provedení termočláanky má nejrychlejší odezvu, nelze je však použít ve vlhkém prostředí. Izolované provedení naopak chrání spoj drátů proti vlivu prostředí, při patřičném zapojení lze omezit vliv elektromagnetického rušení. Mezi výhodné vlastnosti plášťových termočláanky kromě rychlosti odezvy patří také vysoká odolnost proti tlakovým i teplotním rázům, výborná ohebnost a malé rozměry.

### Termočláanková sonda

Termočláankový drát je umístěn uvnitř kovové trubky (pláště), která se vyrábí z nerezové oceli nebo Inconelu. Materiál pláště Inconel umožňuje vyšší mez teploty měření než nerezová ocel, preferuje se však použití nerezové oceli díky její chemické kompatibilitě. Měřicí konec termočláanky má tři různá provedení, a to otevřené, uzemněné a neuzemněné. Termočlánek s uzemněným koncem je v přímém kontaktu s pláštěm, má rychlou odezvu, je však velice náchylný na elektrické rušení. Termočlánek s neuzemněným koncem je oddělen od pláště vrstvou izolace, Termočlánek s otevřeným koncem má měřicí hrot mimo plášť, je velice vhodný pro měření teploty vzduchu. [1][4][5]



Obr. 1.5: Drátový termočlánek (a) a plášťový termočlánek (b) [3]

## 1.2 Bezdotykové měření teploty

Bezdotykové přístroje pro měření teploty se obecně spojují s infračervenými snímači. Pracují na principu snímání elektromagnetického záření, které vyzařuje měřený objekt, o vlnové délce od  $0,4 \mu\text{m}$  do  $25 \mu\text{m}$ . Takový rozsah elektromagnetického záření umožňuje snímání teploty od  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+10000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Bezdotykové měřiče teploty pracují na základě několika zákonů, a to na Planckovu, Wienovu, Kirchhoffovu a Stefan-Boltzmannovu zákonu.

Bezdotykové přístroje pro měření teploty se používají při měření teploty povrchu, je-li požadována vysoká rychlost měření. Dále se používají při měření teploty v nepřiznivém prostředí, kde se nachází silné elektrické, magnetické nebo elektromagnetické pole. Bezdotykové měřiče teploty lze podle principu měření teploty rozdělit na přímo měřící (Pyrometry) a zobrazovací (Termografie).

Použití bezdotykového měření teploty má několik výhod, mezi které se například řadí možnost měření pohyblivých se zařízení, zanedbatelný vliv snímače na měřený objekt, bezpečné měření teploty z větší vzdálenosti a měření rychlých změn teploty. Samozřejmě má tento způsob měření teploty i několik nevýhod, a to nejistoty měření neznalostí emisivity povrchu měřeného tělesa a neznalost prostupnosti prostředí mezi snímačem a měřeným objektem. [1][2][4][5]

### 1.2.1 Pyrometr

Pyrometry lze rozdělit podle principu funkce :

- úhrnné
- monochromatické
- pásmové

#### Úhrnný pyrometr

Úhrnný pyrometr pracuje na základě Stefan-Boltzmannova zákonu. Stefan - Boltzmannův udává celkovou intenzitu tepelného vyzařování v celém rozsahu vlnových délek pro určitou teplotu, lze ho vyjádřit pomocí rovnice:

$$M = \sigma T^4 \quad (1.5)$$

Při měření skutečných těles se musí vzít v potaz i emisivita tělesa, což je schopnost tělesa vyzařovat teplo. Emisivita se rovná poměru intenzity vyzařování skutečného tělesa ku intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa při stejné teplotě. Pohybuje se v rozmezí od 0 do 1. Skutečná hodnota intenzity vyzařování tělesa se vyjádří pomocí rovnice:

$$M = \epsilon \sigma T^4 \quad (1.6)$$

Je-li měření omezeno prostorovým úhlem, lze zákon vyjádřit pomocí záře:

$$L = \frac{1}{\Omega_0 \pi} \sigma T^4 \quad (1.7)$$

Pyrometr se skládá z detektoru, který snímá zářivý tok. Tento tok je zaostřen na detektor pomocí soustavy čoček se širokým spektrem propustnosti nebo zrcadlem, které má široké spektrum odrazivosti. Jelikož spektrální pohltivost detektoru není ideální, dochází ke spektrálnímu omezení při realizaci pyrometru. Pokud se při měření teploty nastaví na pyrometru hodnota emisivity na 1, pak při měření teploty povrchu tělesa, který má emisivitu menší než 1, nebude měřená teplota odpovídat skutečné teplotě  $T_s$  povrchu tělesa. Pyrometr tak bude měřit teplotu povrchu tělesa, při které by zář černého tělesa byla stejná jako zář skutečného tělesa, a proto bude měřená teplota  $T_m$  vždy nižší než skutečná teplota povrchu tělesa. Platí, že:

$$L_s = \epsilon \frac{1}{\Omega_0 \pi} \sigma T_s^4 = L_m \frac{1}{\Omega_0 \pi} \sigma T_m^4 \quad (1.8)$$

Po úpravě rovnice:

$$T_s = T_m \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon}} \quad (1.9)$$

[1][5]

### Monochromatický pyrometr

Monochromatický pyrometr pracuje na principu závislosti spektrálního vyzařování tělesa při dané vlnové délce na teplotě. Planckův a Wienův zákon platí při nekonečně úzké šíři vlnového pásma. Monochromatický pyrometr však nelze zcela vyrobit, proto se měří v úzkém vlnovém pásmu. Velikost vlnového pásma je dána spektrální propustností optiky, spektrální citlivostí kvantového detektoru, zejména však spektrální propustností interferenčních filtrů, které zajišťují monochromatické měření teploty.[1][4]

### Pásmový pyrometr

Pásmový pyrometr je spektrálně selektivní pyrometr, který měří zář povrchu tělesa v určitém pásmu vlnových délek (10 nm až jednotky mikrometru). Šířka pásma spektra je dána spektrální propustností optiky a optických filtrů, spektrální citlivostí kvantového detektoru záření, spektrální odrazivostí zrcadel. Pokud je šířka pásma spektra dostatečně velká (více než 50 % z celkového pásma), může se pro výpočty použít Stefan-Boltzmannův zákon. [1][5]



Obr. 1.6: Pyrometr [18]

### Kalibrace pyrometrů

Pyrometry se kalibrují pomocí černého zářiče, který má emisivitu v rozmezí  $1 > \epsilon > 0,99$ . Černý zářič se často realizuje dutinovým zářičem, a to buď s difuzním, reflexním nebo difuzně reflexním povrchem. Tento způsob kalibrace je vhodný pro všechny typy pyrometrů. [1][2]

### 1.2.2 Termografie

Termovizní systémy lze dělit na systémy s opticko-mechanickým rozkladem obrazu a na systém s maticovým detektorem.

Opticko-mechanický rozklad pracuje na principu snímání jednotlivých bodů objektu řízenou optickou osou. Zorné pole termovize se postupně zaměřuje na všechny body měřeného objektu. Pohyblivé optické části kamery (zrcadla či otočné hranoly) zajišťují dráhu rozkladu.

Princip termovize s maticovým detektorem se používá pro termovizní kamery, a to buď chlazené nebo nechlazené maticové mikrobolometrické a kvantové FPA detektory. Pro chlazení FPA matice lze použít Stirlingův chladič, což je hermeticky uzavřený chladičový systém se dvěma písty s plynným héliem, nebo lze také použít termoelektrický chladič (princip Peltierova jevu). Signál je zpracován na čipu pomocí multiplexerů a 14 bitových A/D převodníků v každém řádku matice. Mimo

základního nastavení parametrů termovizních kamer bývá také k dispozici programové vybavení, které umožňuje různé způsoby zpracování signálu jako vykreslení teplotního profilu v libovolném místě obrazu, vyhodnocení střední a maximální teploty ve zvolené oblasti obrazu, barevné zobrazení zvolených izoterm, změnu barevné palety či nastavení různých hodnot emisivity na zobrazeném objektu. V termovizi se používají dvě hlavní pásma vlnových délek - krátkovlnné (2-5  $\mu\text{m}$ ) a dlouhovlnné (7-13  $\mu\text{m}$ ).

Termokamera je hlavní měřicí zařízení pro infračervenou diagnostiku. Díky znalosti rozložení teplotního pole měřeného objektu je možné kontrolovat funkce zařízení, kde je funkce těchto zařízení spojena s generací či absorpcí tepla. Lze tak nalézt různé materiálové vady, opotřebení způsobené třením a jiné defekty vnitřních dílů, které ovlivňují rozložení povrchové teploty. Například v energetice pod vysokým napětím za provozu lze tímto způsobem diagnostikovat stav izolace izolátorů, spojovacích svorek kontaktů nebo stavy vypínačů. V elektrotechnice lze sledovat teplotu částí elektromotoru, atd.[1][2]



Obr. 1.7: Termokamera [19]



## 2 Vybavení laboratoře spínacích přístrojů pro měření teploty

V laboratoři spínacích přístrojů se provádí mimo různých zkoušek a testování spínacích přístrojů i měření oteplení částí přístrojů. Ke zaznamenání hodnot používají měřicí ústředny AHLBORN ALMEMO 5690-2M a k měření teploty u spínacích přístrojů používají termočlánky.

### 2.1 Měřicí ústředna AHLBORN ALMEMO 5690-2M

Měřicí ústředna ALMEMO 5690-2M od firmy AHLBORN má v základu 9 elektricky izolovaných měřicích vstupů s více než 70 měřicími rozsahy. Počet vstupů lze navýšit až na 99. Ústředna je vybavena LCD displejem a klávesnicí s blokem kurzoru. Zařízení také obsahuje hodiny reálného času a SD kartu. Ústředna je napájena klasickým 12 V síťovým adaptérem, je možné ji napájet i přes dobíjecí baterii. [12]



Obr. 2.1: Měřicí ústředna AHLBORN ALMEMO 5690-2M [20]

Vhodné měřicí rozsahy jsou dostupné pro snímače s nelineární charakteristikou - 10 typů termočlánků, NTC termistory, platinové odporové snímače Pt100, infračervené senzory, a další. Naměřené hodnoty z jiných senzorů lze získat pomocí napětí či proudu. K dispozici jsou také adaptérové konektory obsahující integrovaný mikrokontrolér, který umožňuje připojení digitálních signálů, impulsů a frekvencí. Pro každý měřicí vstup lze nastavit vhodné zobrazení jednotek měřených veličin.

Připojené senzory se rozlišují podle deseti znakového alfanumerického názvu, jejichž název se zobrazí na displeji či v datovém záznamu. Na displeji lze zobrazit 20 měřících vstupů včetně jejich měřených hodnot, některá zobrazení jsou uživatelsky konfigurovatelné - možnost zobrazení dat ve formě sloupcového nebo spojnicového grafu. Měřené hodnoty jsou získávány s nastavenou automatickou nulou a vlastní kalibrací, avšak je i možná libovolná korekce podle potřeby. Některé snímače požadují speciální měřicí funkce, aby bylo dosaženo optimálních výsledků. U termočlánků je zajištěna kompenzace studených konců, kompenzace teploty pro dynamické sondy pro měření tlaku, pH a vodivosti, a kompenzace atmosferického tlaku pro snímače vlhkosti a dynamické sondy pro měření tlaku. Měřené hodnoty lze také zobrazit přes klouzavý průměr, který se získá buď pomocí kontinuálního automatického vyhlazování nebo pomocí ručního zprůměrování za cyklus, určité období nebo sérii měřících operací. [12]

Měření lze spustit a zastavit pomocí klávesnice, rozhraní, externím spouštěcím signálem, hodinami reálného času nebo překročením stanovené mezní hodnoty. Veškeré měřicí operace lze přesně zaznamenávat pomocí hodin reálného času i se zápisem data měření, funkce start/stop měření či nastavení času spuštění/ukončení měření lze naprogramovat. Cyklus zápisu měřených hodnot může být nastaven na jakoukoliv časovou hodnotu od 1 sekundy do 59 hodin, 59 minut a 59 sekund.

Všechny datové protokoly, funkce menu, uložené naměřené hodnoty a uložené parametry programu mohou být odeslány na jakékoli periferní zařízení. Výstupní naměřená data lze uložit ve formátu seznamu, sloupce nebo tabulky, přičemž data ve formátu tabulky mohou být přímo zpracována v jakémkoliv tabulkovém programu - např. Excel. Při připojení ústředny k počítači pomocí optického kabelu, modemu nebo sady Bluetooth je možný přenos dat i přes ethernet. [12]

V laboratoři spínacích přístrojů jsou k dispozici dvě měřicí ústředny, každá z nich má rozšíření na 28 měřících vstupů. Mezi hlavní nevýhody této ústředny patří nevhodná konektivita mezi základnou a snímačem. Každý snímač se zapojuje do ústředny pomocí relativně velkého konektoru, a proto zde nastává riziko poškození jak konektoru, tak vstupu ústředny při okolní manipulaci. Další nevýhodou při používání v laboratoři spínacích přístrojů je nízká izolační hladina mezi vstupy.

## 2.2 Snímače teploty

Pro měření teploty se v laboratoři spínacích přístrojů používají drátové termočlánky typu K. Popis tohoto typu termočlánku je uveden v kapitole 1.1.3 - Termočlánky. V této laboratoři je k dispozici několik desítek termočlánků o různé délce a měřící konce těchto termočlánků jsou ve třech provedení (viz. Obr. 2.2):

- Drátky termočlánku jsou „navolno“ (konec termočlánku je odizolován ) a jejich konce jsou zkrouceny.
- Drátky jsou umístěny mezi měděný plíšek s nízkou tepelnou kapacitou (měděný plíšek je ohnutý na polovinu a mezi ohybem jsou umístěny drátky) - takovéto provedení umožňuje lepší přenos tepla mezi termočlánkem a měřenou částí přístroje, např. pro měření teploty svorek jističe.
- Drátky jsou umístěné na měděné destičce, která má vysokou tepelnou kapacitu a to z důvodu, aby při závanu nekolísala měřená teplota okolí. Takto uspořádaný termočlánek se používá k měření teploty okolí.



Obr. 2.2: Provedení termočlánků v laboratoři spínacích přístrojů

## 3 Normativní požadavky na zkoušky oteplení

Vlivem průchodu proudu v proudovodné dráze vznikají tzv. Jouleovy ztráty, které způsobí nárůst teploty proudovodné dráhy a tím i dalších částí elektrických zařízení, dokud nedojde k ustálení teploty. Elektrické přístroje musí být navrženy tak, aby při normálním provozu a ustálené teplotě nepřekročilo oteplení jednotlivých částí dovolené meze stanovené normami. Proto se provádí normativní zkoušky oteplení u elektrických přístrojů a jejich skupin.

### 3.1 Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - všeobecná ustanovení

Oteplení částí zařízení, které jsou měřeny během zkoušky za předem stanovených podmínek, nesmí překročit hodnoty oteplení uvedené v tabulce 3.1 a 3.2. Avšak tyto hodnoty platí pro přístroje v novém a čistém stavu. Oteplení je rozdíl mezi teplotou měřené části a měřenou teplotou okolí. Měření oteplení probíhá při jmenovitém proudu  $I_n$ . Zkouška oteplení probíhá do té doby, než dojde k ustálené hodnotě oteplení - oteplení se nezmění o více než 1 K za 1 hodinu. Tato doba však nesmí být delší jak 8 hodin. Pro hodnotu zkušebního proudu, který je menší nebo roven 400 A, musí být zapojení provedeno jednožilovými měděnými vodiči s izolací PVC a průřezy uvedenými v tabulce 3.3. [6]

Tab. 3.1: Hodnoty oteplení svorek (převzato z [6])

Materiál svorky	Hodnota oteplení [K]
Holá měď	60
Postříbřena nebo poniklovaná měď nebo mosaz	70

#### Teplota okolního vzduchu

Teplota okolního vzduchu musí být měřena a zaznamenávána v průběhu poslední čtvrtiny zkušební doby alespoň dvěma snímači teploty (termočlánky nebo teploměry). Snímače musí být rovnoměrně rozmístěny kolem zařízení ve vzdálenosti 1 m od zařízení. Je důležité, aby snímače teploty byly chráněny před prouděním vzduchu a sáláním tepla. Teplota okolního vzduchu musí být v rozmezí od +10 °C do +40 °C během probíhajících zkoušek, avšak změna teploty v tomto rozmezí by neměla být větší jak 10 K. Průměrná hodnota okolní teploty během 24 h nesmí být vyšší než + 35 °C. [6]

### Měření teploty částí

U částí zařízení se musí teplota měřit vhodnými snímači teploty, které musí být umístěny v místech s největší pravděpodobností dosažení nejvyšší teploty. Tyto místa musí být zaznamenána ve zkušebním protokolu. Snímače teploty nesmí žádným významným způsobem ovlivňovat oteplení částí na kterých jsou umístěny. Podstatné je také zajištění dobré tepelné vodivosti mezi snímačem a povrchem měřené části.[6]

Tab. 3.2: Hodnoty oteplení přístupných částí (převzato z [6])

Přístupné části	Hodnota oteplení [K]
Ruční ovládací prostředky:	
- Kovové	15
- Nekovové	25
Části určené k dotyku, nikoli k držení v ruce:	
- Kovové	30
- Nekovové	40
Části, kterých se není třeba dotýkat za provozu (vnější části krytů sousedící se vstupy kabelů):	
- Kovové	40
- Nekovové	50

Tab. 3.3: Zkušební měděné vodiče pro proudy od 130 A do 350 A (převzato z [6])

Rozsah zkušebního proudu [A]	Velikost vodiče [mm <sup>2</sup> ]
130-150	50
150-175	70
175-200	95
200-225	95
225-250	120
250-275	150
275-300	185
300-350	185

## 3.2 Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - jističe

### Meze oteplení

Po dobu zkoušek oteplení nesmí oteplení určitých částí jističe překročit meze oteplení uvedené v tabulce 3.4. Zkoušky se provádějí při předepsaných podmínkách. U čtyřpólových jističů je nejprve provedena zkouška na třech pólech s nadproudovými spouštěmi. U jističe s jmenovitým proudem menším než 63 A se musí provést doplňková zkouška, při které protéká zkušební proud čtvrtým a sousedním pólem. [7]

Tab. 3.4: Hodnoty oteplení svorek a přístupných částí (převzato z [7])

Popis částí	Hodnota oteplení <sup>a</sup> [K]
Svorky pro vnější vodiče	80
Ruční ovládací prostředky:	
- Kovové	25
- Nekovové	35
Části určené k dotyku, nikoliv k držení:	
- Kovové	40
- Nekovové	50
Části, kterých se není potřeba dotýkat za provozu:	
- Kovové	50
- Nekovové	60

Poznámka a - stanovené meze oteplení platí pro ověření oteplení během určitých zkušebních sledů, nikoliv pro nový vzorek.

Teplota okolního vzduchu musí zůstat v mezích uvedených v kapitole 3.1, aby platily stanovené meze oteplení svorek a přístupných částí. Všechny proudovodné dráhy jističe včetně jeho nadproudových spouští musí být schopny vést jmenovitý proud aniž by byly překročeny meze oteplení uvedené v tabulce 3.4. Řídicí zařízení používané k zapínání a vypínání jističe musí umožnit normální provoz a také provádění zkoušek oteplení za předem stanovených podmínek tak, aby nebyly překročeny meze oteplení. Tato zkouška se provádí na novém zařízení. Pomocná zařízení musí být schopná vést jmenovitý proud, aniž by nebyly překročeny meze oteplení. [7]

### 3.3 Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací - jističe pro střídavý provoz

#### Meze oteplení

Oteplení uvedených částí jističe nesmí překročit při zkoušce oteplení, jejíž podmínky jsou specifikovány v části **Postup zkoušky**, stanovené meze uvedené v tabulce 3.5. Při provádění zkoušky oteplení nesmí být zkoušený jistič poškozen tak, aniž by došlo ke zhoršení jeho funkcí a bezpečného používání. Aby platili meze oteplení uvedené v tabulce 3.5, musí se teplota okolního vzduchu pohybovat od  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [8]

Tab. 3.5: Hodnoty oteplení částí jističe (převzato z [8])

Popis částí	Hodnota oteplení [K]
Svorky pro vnější spoje	60
Vnější části, kterých se lze dotýkat během ručního ovládání jističe, včetně ovládacích prvků z izolačního materiálu a kovových prostředků pro spojení izolovaných ovládacích prvků několika pólů	40
Vnější kovové části ovládacích prvků	25
Jiné vnější části a čelní plochy jističe, která je přímém kontaktu s montážním povrchem	60

#### Postup zkoušky

Při jakémkoli vhodném napětí prochází jmenovitý proud všemi póly jističe tak dlouho, dokud nedojde k ustálení oteplení (změna oteplení není větší jak  $1\text{K/hodinu}$ ) nebo po smluvenou dobu podle toho, která doba je delší. Teplota okolního vzduchu musí být měřena a zaznamenávána v průběhu poslední čtvrtiny zkušební doby alespoň dvěma snímači teploty (termočlánky nebo teploměry). Snímače musí být rovnoměrně rozmístěny kolem zařízení ve vzdálenosti  $1\text{ m}$  od zařízení a přibližně v jeho výšce. Je důležité, aby snímače teploty byly chráněny před prouděním vzduchu. Teplota částí uvedených v tabulce 3.5 musí být měřena pomocí termočlánků, které se umísťují v nejbližším přístupném poloze nejteplejšího místa. Musí být také zajištěna dobrá tepelná vodivost mezi povrchem zkoušené části jističe a termočlánkem. V případě čtyřpólového jističe, kde tři póly jsou jištěné, se nejdříve provede zkouška při průchodu určitého proudu právě třemi jištěnými póly. Následně se provede zkouška, při které stejný proud, který byl použit v předchozí zkoušce, prochází nulovým pólem a sousedním jištěným pólem. [8]

### 3.4 Pojistky nízkého napětí - všeobecné požadavky

Návrh pojistkového držáku a jeho dimenzování musí umožnit trvalé vedení jmenovitého proudu tavné vložky, kterou je držák osazen, za běžných provozních podmínek, aniž by byly překročeny mezní hodnoty oteplení uvedené v tabulkách 3.6 a 3.7 při jmenovitých jímavostech výkonových ztrát pojistkového držáku uvedené výrobcem nebo stanovené v dalších částech normy. Návrh tavné vložky a její dimenzování musí umožnit trvalé vedení svého jmenovitého proudu za běžných provozních podmínek, aniž by byly překročeny jmenovité výkonové ztráty tavné vložky uvedené výrobcem nebo stanovené v dalších částech normy. Hlavně nesmí být překročeny mezní hodnoty oteplení uvedené v tabulkách 3.6 a 3.7, pokud je jmenovitý proud tavné vložky rovný jmenovitému proudu pojistkového držáku a také, pokud výkonové ztráty tavné vložky jsou rovné jmenovitým jímavostem výkonových ztrát pojistkového držáku. [9]

Tab. 3.6: Hodnoty oteplení kontaktů (převzato z [9])

Popis částí	Oteplení bez krytu [K]	Oteplení s krytem [K]
Kontakty pružinové:		
- Holá měď	40	45
- Holá mosaz	45	50
- Pocínované	55	60
Kontakty svorníkové:		
- Holá měď	55	60
- Holá mosaz	60	65
- Pocínované	65	65

Tab. 3.7: Hodnoty oteplení svorek (převzato z [9])

Popis částí	Oteplení bez krytu [K]	Oteplení s krytu [K]
Svorky		
- Holá měď	55	60
- Holá mosaz	60	65
- Postříbřené	70	70

#### Ověření oteplení

Pro zkoušku musí být použita jedna pojistka, pokud výrobce nestanoví jinak. Pojistka musí být namontována na volném vzduchu, aby výsledky nebyly ovlivněny specifickými podmínkami instalace. Teplota okolního vzduchu se musí nacházet v rozmezí  $20 \pm 5$  °C. Délka přípojovacích spojů nesmí být kratší než 1 m a je-li to možné,



kabel by měl být rovný. Pokud se při kombinované zkoušce použije více pojistek než jedna, mohou být pojistky zapojeny do série a následkem tohoto zapojení by byla délka spoje mezi dvěma svorkami pojistek asi 2 m. Průřezy připojovacích kabelů musí zvoleny podle tabulky 3.8 není-li stanoveno jinak. Pro jmenovité proudy do 400 A se používají jednožilové měděné kabely izolované černým PE. V případě vyšších proudů od 500 A do 800 A lze také použít místo jednožilových měděných kabelů izolovaných černým PE i holé měděné přípojnice. [9]

Tab. 3.8: Průřezy měděných vodičů (převzato z [9])

Jmenovitý proud [A]	Průřez [mm <sup>2</sup> ]
2	1
4	1
6	1
8	1,5
10	1,5
12	1,5
16	2,5
20	2,5
25	4
32	6
40	10
50	10
63	16

Měření oteplení se provádí pomocí snímačů teploty, které se považují za nejvhodnější tak, aby snímač znatelně neovlivňoval teplotu části pojistky. Měření oteplení probíhá do té doby, dokud není zřejmé, že oteplení částí pojistky nepřekročí stanovené meze při takové délce zkoušky, kdy dojde k ustálení teploty (změna teploty není větší než 1 K/hodinu). [9]

### 3.5 Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou - obecná pravidla

Oteplení částí proudového chrániče nesmí překročit stanovené hodnoty oteplení, které jsou zaznamenány v tabulce 3.9. Tyto hodnoty oteplení platí při teplotě okolního vzduchu v rozmezí od - 5 °C do +40 °C. Při zkoušení proudového chrániče nesmí dojít k jeho poškození, které by zhoršilo jeho funkce a bezpečné používání. [10]

Tab. 3.9: Hodnoty oteplení částí proudového chrániče (převzato z [10])

Popis částí	Hodnota oteplení [K]
Svorky pro vnější spoje	65
Vnější části, kterých se lze dotýkat během ručního ovládní, včetně ovládacích prvků z izolačního materiálu a kovových prostředků pro spojení izolovaných ovládacích prvků několika pólů	40
Vnější kovové části ovládacích prvků	25

### Ověření oteplení

Teplota okolního vzduchu se měří během poslední čtvrtiny zkušební doby alespoň dvěma teploměry či termočlánky, které jsou chráněny proti proudění vzduchu, rozmístěnými kolem proudového chrániče v jeho výšce a ve vzdálenosti 1 m. Během zkoušky má teplota okolního vzduchu toleranci  $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , pokud není pro danou zkoušku uvedena jiná hodnota. Zkouška oteplení probíhá při jmenovitém proudu, který prochází současně všemi póly proudového chrániče, po takovou dobu, než dojde k ustálení oteplení (změna teploty není vyšší jak 1K/h). U čtyřpólových proudových chráničů se zkouška provede při průchodu jmenovitého proudu pouze třemi fázovými póly a potom při průchodu proudu pólem pro nulový vodič a sousedním pólem pro fázi. Během zkoušky oteplení nesmí teploty jednotlivých částí proudového chrániče překročit meze v tabulce 3.9. Teplota částí proudového chrániče se měří pomocí termočlánků umístěných na nejteplejších místech. Je také žádoucí dobrá tepelná vodivost mezi termočlánkem a povrchem zkoušené části. [10]

## 3.6 Rozváděče nízkého napětí - všeobecná ustanovení

Rozváděč a jeho obvody musí být schopné vést své jmenovité proudy tak, aby nepřekročily stanovené hodnoty oteplení uvedené v tabulce 3.10 s ohledem na uspořádání a použití jednotlivých součástí. Stanovené meze oteplení platí pro střední teplotu okolního vzduchu  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Je-li střední teplota okolního vzduchu vyšší, musí se upravit stanovené meze oteplení tak, že součet teploty okolí a jednotlivých mezí oteplení musí zůstat stejný. Za žádných okolností nesmí oteplení zapříčinit poškození proudovodných částí rozváděče či jeho sousedních částí, zvláště u izolačních materiálů. [11]

Tab. 3.10: Hodnoty mezních oteplení částí rozváděče (převzato z [11])

Popis částí	Hodnota oteplení [K]
Vestavěné součásti: - Spínací a řídicí přístroje - Elektronické podsestavy	Převzato od výrobce jednotlivých součástí s ohledem na teplotu v rozváděči
Svorky pro vnější izolované vodiče	70
Přípojnice a vodiče	Oteplení omezeno: Mechanickou odolností vodivého materiálu Dovolenou mezní teplotou izolačních materiálů
Ruční ovládací prostředky: - Kovové - Z izolačního materiálu	15 (lze navýšit o 25 K) 25 (lze navýšit o 25 K)
Přístupné vnější kryty a skříně: - Kovové povrchy - Povrchy z izolačního materiálu	30 (lze navýšit o 25 K) 40 (lze navýšit o 25 K)

### Ověření oteplení

Při zkoušce oteplení rozváděče musí být ověřeno, že nedojde k překročení stanovených mezí oteplení jednotlivých částí rozváděče uvedených v tabulce 3.10. Toto ověření se provádí jednou či více metodami, a to buď zkoušením, odvozením pro podobné varianty nebo výpočtem. [11]

Při ověřování oteplení zkoušením musí být systém rozváděče uspořádán, pokud má více variant uspořádání, v jeho nejnejpříznivější variantě. Zkouška se provádí na jednom či více typických uspořádání, které jsou zatěžovány jednou či více kombinacemi zátěží typickými pro zkoušený rozváděč. Tyto kombinace jsou zvoleny způsobem, aby se docílilo nejvyššího možného oteplení s přiměřenou přesností. Zkouška oteplení na částech rozváděče je prováděna při stanoveném typu proudu, který je vytvořen libovolnou vhodnou hodnotou zkušebního napětí, a při konstrukčním kmitočtu rozváděče. Avšak toto neplatí pro cívky stykačů či relé, které musí být napájeny jmenovitým pracovním napětím. Při zkoušení je rozváděč namontován v takové poloze, při které bude používán, včetně všech krytů. Zkouška oteplení se provádí po dostatečně dlouhou dobu, aby oteplení mělo konstantní hodnotu. Tedy změna oteplení na všech měřených částech nesmí být během 1 h větší jak 1 K včetně teploty okolí. [11]

Průřez vnějších vodičů, pomocí kterých se rozváděč připojí, se stanoví dle jmenovitého proudu. Pro hodnoty jmenovitého proudu do 400 A lze použít jednožilové měděné kabely či izolované dráty o průřezech uvedených v tabulce 3.11. Pokud to zkušební místo umožňuje, tyto vnější vodiče musí být na volné vzduchu. [11]

Tab. 3.11: Průřezy zkušebních vodičů do 65 A (převzato z [11])

Jmenovitý proud [A]	Průřez [mm <sup>2</sup> ]
0-8	1
8-12	1,5
12-15	2,5
15-20	2,5
20-25	4
25-32	6
32-50	10
50-65	15

Pro hodnoty od 400 A do 800 A se použijí buď jednožilové měděné kabely nebo měděné přípojnice, jejichž průřezy jsou uvedené v tabulce 3.12. Vzdálenost mezi vnějšími kabely či přípojnici musí být minimálně stejná jako vzdálenost mezi svorkami. Při jakémkoliv dočasném připojení zkušebního napájení nesmí být délka připojení menší jak 2 m. [11]

Tab. 3.12: Průřezy zkušebních vodičů a rozměry přípojníc od 400 A do 630 A (převzato z [11])

Jmenovitý proud [A]	Průřez vodičů [mm <sup>2</sup> ]	Rozměry přípojníc [mm]
400-500	150	30x5
500-630	185	40x5

Při jmenovitém proudu od 800 A do 4000 A se používají pouze měděné přípojnice, jejichž rozměry jsou uvedené v tabulce 3.13. Ovšem v případě, kdy je rozváděč navržen na kabelové připojení, je průřez a uspořádání těchto kabelů stanoveno výrobcem. Minimální vzdálenost mezi přípojnici musí být stejná jako vzdálenost mezi svorkami. Při jakémkoliv dočasném připojení zkušebního napájení nesmí být délka připojení menší jak 3 m. [11]

Tab. 3.13: Rozměry přípojníc od 800 A do 2000 A (převzato z [11])

Jmenovitý proud [A]	Rozměry přípojníc [mm]
800-1000	60x5
1000-1250	80x5
1250-1600	100x5
1600-2000	100x5

Oteplení je měřeno na všech částech, kde je nutné kontrolovat meze oteplení. Zvýšená pozornost musí být věnována spojům ve svorkách i vodičích ve všech hlavních obvodech. K měření teploty částí rozváděče lze použít termočlánky nebo teploměry, v případě vinutí se použije metoda měření teploty změnou odporu. Samozřejmostí je zajištění ochrany termočlánků a teploměrů před prouděním vzduchu a vyzařováním tepla. Teplota okolního vzduchu musí být měřena minimálně dvěma termočlánky nebo teploměry, které jsou rovnoměrně rozmístěny kolem celého rozváděče. Tyto snímače musí být přibližně v polovině výšky rozváděče a ve vzdálenosti 1 m od něj. I v případě termočlánků či teploměrů použitých pro měření teploty okolního vzduchu je nutné zajistit ochranu proti proudění vzduchu a vyzařování tepla. Při průběhu zkoušky musí být rozsah teploty okolního vzduchu v rozsahu od +10 °C do +40 °C. [11]

### **3.7 Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - společná ustanovení**

Zkouška je prováděna trvalým proudem hlavního obvodu na zařízení s čistými kontakty. Při provádění zkoušky je zkoušené zařízení umístěno do místnosti, kde není proudění vzduchu mimo proudění vyvolané teplem zkoušeného zařízení. Zařízení musí být sestaveno stejně jako v případě jeho provozu, tedy i se všemi kryty, a musí být také zajištěna ochrana proti příliš velkému oteplení či ochlazení zvenku. V případě, kdy výrobce udává několik různých poloh pro instalaci zařízení, se zkouška oteplení provádí v jeho nejhorší možné poloze. [21]

Zkouška oteplení se provádí do doby než dojde k ustálení oteplení, tedy doby, kdy zvýšení oteplení není vyšší než 1 K za 1 h. Často dochází ke splnění této podmínky v případě, kdy délka zkoušky oteplení se rovná pětinašobku tepelné časové konstanty. Je-li nutné urychlené provedení zkoušky, je možné zkrátit tuto dobu přehřátím, avšak pokud je nutné změřit tepelnou časovou konstantu, nelze toto zkrácení provést. Aby zařízení vyhovělo při zkoušce oteplení, nesmí oteplení měřených částí překročit jejich stanovené meze, které jsou uvedené v tabulce 3.14. V těchto zařízeních se můžou nacházet i cívky s izolací z několika izolačních materiálů, potom je třeba brát dovolené oteplení cívky dle materiálu s nejmenším dovoleným oteplením. Jsou-li ve zkoušeném zařízení výrobky, které mají vlastní normy, nesmí jejich oteplení překročit stanovené meze v příslušných normách. [21]

Teplota okolního vzduchu je hodnota, která se získá zprůměrováním všech hodnot ze snímačů teploty okolního vzduchu. Tato teplota se musí měřit a zaznamenávat minimálně třemi teploměry či termočlánky, které jsou rovnoměrně rozmístěny kolem zkoušeného zařízení. Musí být umístěné v místě průměrné výšky proudovodných

částí a ve vzdálenosti 1 m od zkoušeného zařízení. Opět snímače teploty okolního vzduchu musí být chráněny před průvanem a vyzařováním tepla. Při zkoušce oteplení musí být teplota okolního vzduchu v rozmezí od +10 °C do +40 °C. V případě, kdy teplota okolního vzduchu je mimo rozsah, je nutné provést korekci hodnot oteplení. V průběhu poslední čtvrtiny doby trvání zkoušky se teplota okolního vzduchu nesmí zvyšovat více jak o 1 K za 1 h. [21]

Tab. 3.14: Hodnoty mezních oteplení částí vysokonapěťových zařízení (převzato z [21])

Popis částí	Teplota [°C]	Hodnota oteplení při teplotě okolí +40 °C [K]
Kontakty z mědi:		
- v OG	75	35
- v oleji	80	40
Kontakty pokovené stříbrem:		
- v OG	115	75
- v oleji	90	50
Šroubová spojení z mědi:		
- v OG	100	60
- v oleji	100	60
Šroubová spojení pokovené stříbrem:		
- v OG	115	75
- v oleji	100	60
Přívodní svorky:		
- bez pokovení	100	60
- pokovené stříbrem	115	75
Izolanty:		
- Y	90	50
- A	105	65
- E	120	80
Přístupné povrchy pro ruční řízení:		
při provozu předpokládán dotyk		
- kovové	55	15
- nekovové	65	25
při provozu není nutný dotyk		
- kovové	80	40
- nekovové	90	50

## 4 Požadavky laboratoře na pracoviště pro měření oteplení

Před zahájením procesu návrhu mobilního pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů je velmi důležité se seznámit s požadavky laboratoře, aby konečný návrh mobilní pracoviště splňoval veškeré předpoklady.

### 4.1 Měřicí ústředny

Jedním z hlavních požadavků na pracoviště je použití vhodných měřicích ústřed. V současnosti se v laboratoři používají ústředny AHLBORN ALMEMO 5690-2M, které se ukázali jako méně vhodné řešení. Proto vznikl požadavek na použití vhodnějších měřicích ústřed vzhledem na současné požadavky laboratoře, a to konkrétně měřicí a záznamové ústředny COMET DATALOGGER MS55D (viz. Obr. 4.1).



Obr. 4.1: COMET DATALOGGER MS55D [13]

Tato ústředna může měřit a zpracovávat až 16 veličin, zajišťovat nezávislý časový záznam jednotlivých vstupů v rozmezí od 1 sekundy do 24 hodin, signalizovat poruchové stavy a následně je zpracovávat. Tato ústředna umožňuje sledování právě měřených veličin a poruchových stavů pomocí příslušného softwaru, mimo jiné podporuje i on-line sledování měřených dat a poruch. V případě vzniklých alarmů umí ústředna provádět další akce jako akustickou či optickou signalizaci, odeslání emailů či SMS zpráv nebo řízení výstupních relé. Paměť ústředny může zaznamenat až 480000 hodnot s automatickou možností zápisu na PC. Ústředna má několik komunikačních rozhraní – RS232, RS485, ethernet, USB, atd. Umožňuje i připojení k Wi-Fi routru přes speciální router pro bezdrátové připojení.

Měřicí ústřednou MS55D lze měřit několik veličin ze snímačů jako proud, napětí, frekvenci a impulsy, teplotu ze snímačů Pt a Ni, termistorů a termočlánků. Jakou veličinu každý vstupní kanál ústředny měří je určeno vstupním modulem. Ty fungují jako samostatné a vyměnitelné celky zasunuté do základní desky ústředny. Každý modul má svůj vlastní rozsah ve kterém měří se stanovenou přesností. K dispozici jsou i galvanicky oddělené vstupy s pevností 500 V. [13]

## **4.2 Konstrukce mobilního pracoviště**

Další požadavek na návrh pracoviště je vhodná konstrukce. Pracoviště musí mít pevnou konstrukci, avšak jeho hmotnost by měla být v rozumných mezích, aby byl zajištěn další požadavek, a to jeho mobilita. Celkové rozměry pracoviště by měli být co nejmenší, aby pracoviště nezabíralo mnoho místa a bylo snadno skladovatelné. Tyto rozměry by neměly být větší než 1,5 m. Součástí konstrukce pracoviště by měl být i úložný prostor například na umístění nářadí či dalšího materiálu potřebného k práci při přípravě měření, a také vyvýšené místo na umístění notebooku.

## **4.3 Snížení časové náročnosti přípravy měření**

Jedním z důvodů návrhu mobilního pracoviště je snížení časové náročnosti přípravy měření oteplení elektrických přístrojů. V současnosti nemají v laboratoři spínacích přístrojů kompaktní pracoviště, které by obsahovalo veškeré potřebné přístroje pro provedení měření. Používaná zařízení pro měření jsou umístěné ve skladu a před zahájením měření na elektrickém přístroji musí nejdříve pracoviště sestavit, což zvyšuje časovou náročnost měření.

## **4.4 Sledování měřených hodnot**

V případě, kdy v laboratoři probíhá měření na zařízeních, při kterém nemohou být pracovníci ve stejné místnosti, nastává problém s kontrolou měřených hodnot z důvodu nedostupnosti měřicích ústředí. Proto dalším požadavkem na návrh pracoviště je možnost připojení měřicích ústředí k počítači přes Ethernet a zobrazení průběhů měřených hodnot při probíhajícím měření na počítači.

## **4.5 Snímače teploty**

Pracoviště by mělo obsahovat vhodné snímače teploty s dobrou přesností měření a teplotním rozsahem. Důležitý je i počet snímačů, jelikož v laboratoři probíhají



měření na různých elektrických přístrojích dle norem, které stanovují místa měření teploty přístroje a tudíž i počet použitých snímačů teploty. Ty by měli být dostatečně dlouhé pro snadnou manipulaci a v ochranném obalu, aby nedošlo k jejich poškození.

## **4.6 Kalibrace měřicích ústředen**

Při používání měřicích ústředen k měření veličin vzniká požadavek na jejich kalibraci. Proto je nutné, aby byly měřicí ústředny, umístěné v mobilním pracovišti, snadno vyjmutelné (např. připevněné na desce, kterou lze vysunout z pracoviště). Kalibrace je prováděna externí firmou, která má akreditovanou kalibrační laboratoř nutnou k provedení akreditované kalibrace a také z důvodu nezávislosti kalibrace.

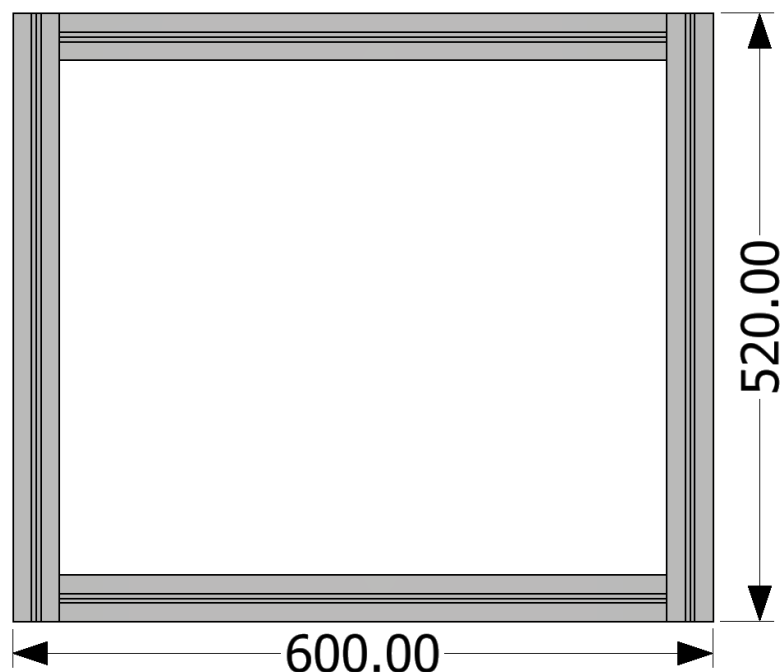
## 5 Návrh mobilního pracoviště

Při vytváření návrhu mobilního pracoviště se vychází z předem stanovených požadavků uvedených v kapitole 4. Finální návrh by měl splňovat veškeré požadavky laboratoře spínacích přístrojů. Při navrhování pracoviště je nutné brát v potaz i finanční stránku.

### 5.1 Základní konstrukce pracoviště

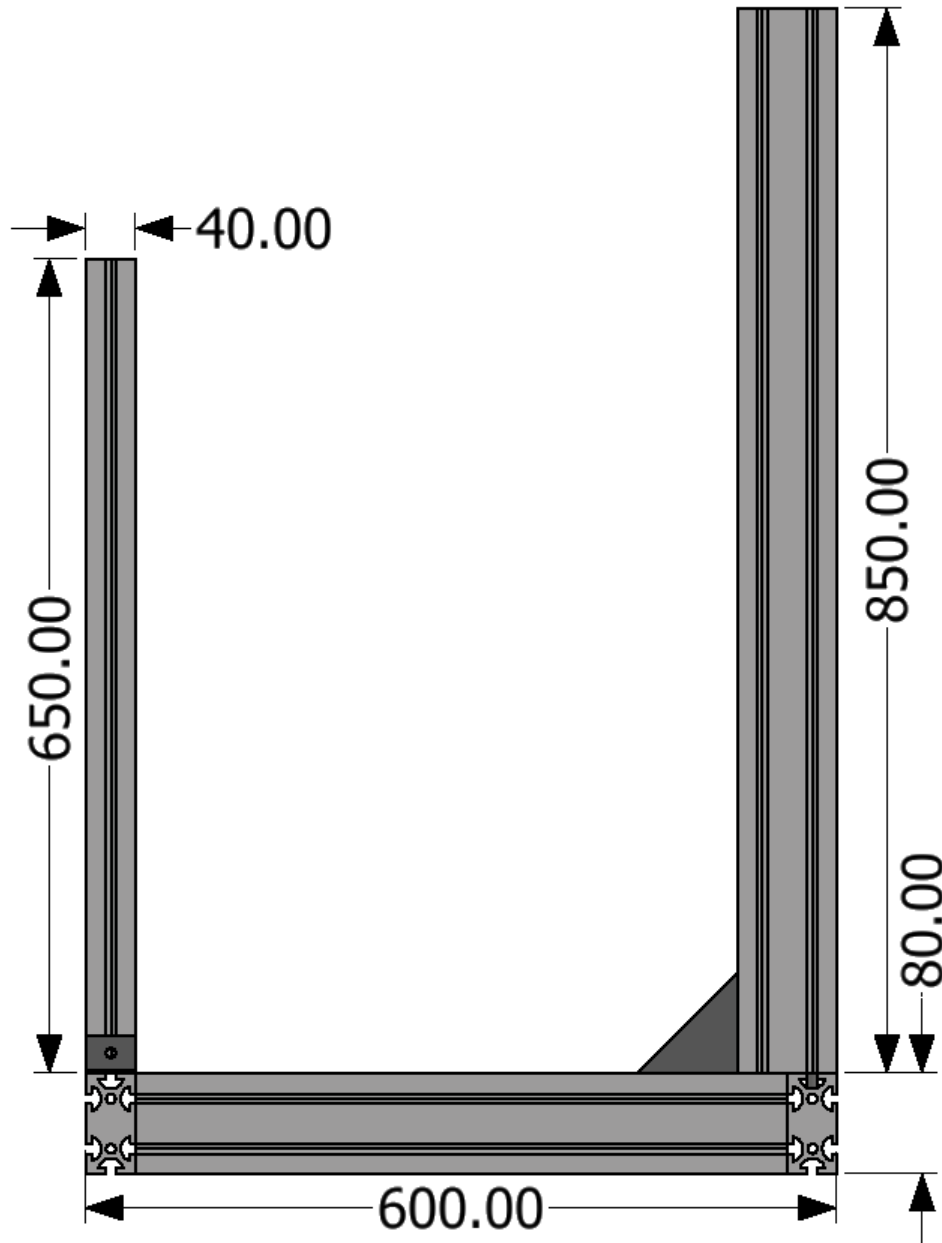
Prvním krokem při návrhu mobilního pracoviště je vhodné navržení jeho konstrukce. Základní kostru pracoviště lze sestavit z kovových profilů hliníkových nebo ocelových. Hliníkové stavebnicové profily nevyžadují svařování, jelikož se jednotlivé profily spojují pomocí speciálních úchytek a šroubů a oproti ocelovým profilům mají výrazně nižší hmotnost. Ocelové profily mají naopak vyšší pevnost a cena za metr délky profilu je několikrát nižší než u hliníkových profilů.

V laboratoři spínacích přístrojů je k dispozici konstrukce vyrobená z několika hliníkových stavebnicových profilů. Z těchto částí lze pak sestavit základní konstrukci. Konkrétně jsou k dispozici čtyři profily o délce 520 mm, jeden o délce 650 mm a dva profily o délce 850 mm s šířkou 40 mm a výškou 80 mm. Navržená spodní část základní konstrukce mobilního pracoviště by tedy měla mít 520 mm na šířku a 600 mm na délku (viz. Obr. 5.1).



Obr. 5.1: Rozměry spodní části konstrukce pracoviště

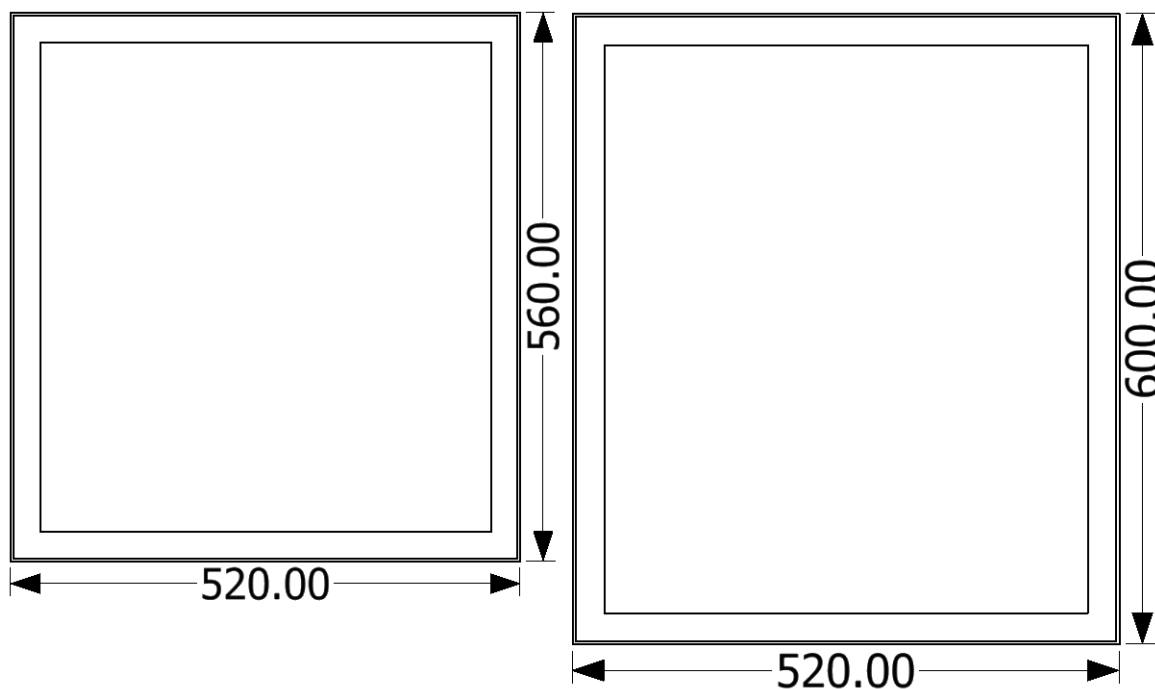
Na jedné straně budou přimontovány pomocí speciálních úchytek dva hliníkové profily o délce 850 mm a na opačné straně jeden profil o délce 650 mm (viz. Obr. 5.2), aby vytvořily stojny, které budou sloužit k upevnění rámu vytvořených z ocelových L profilů 30 x 30 mm o tloušťce materiálu 3 mm.



Obr. 5.2: Hliníková konstrukce pracoviště

Jeden z těchto rámu bude mít rozměry 520 mm na šířku a 560 mm na délku, rozměry druhého rámu budou 520 mm na šířku a 600 mm na délku (viz. Obr. 5.3). Tyto rámy budou ke stojnám přichyceny pomocí šroubů a matic s hlavou

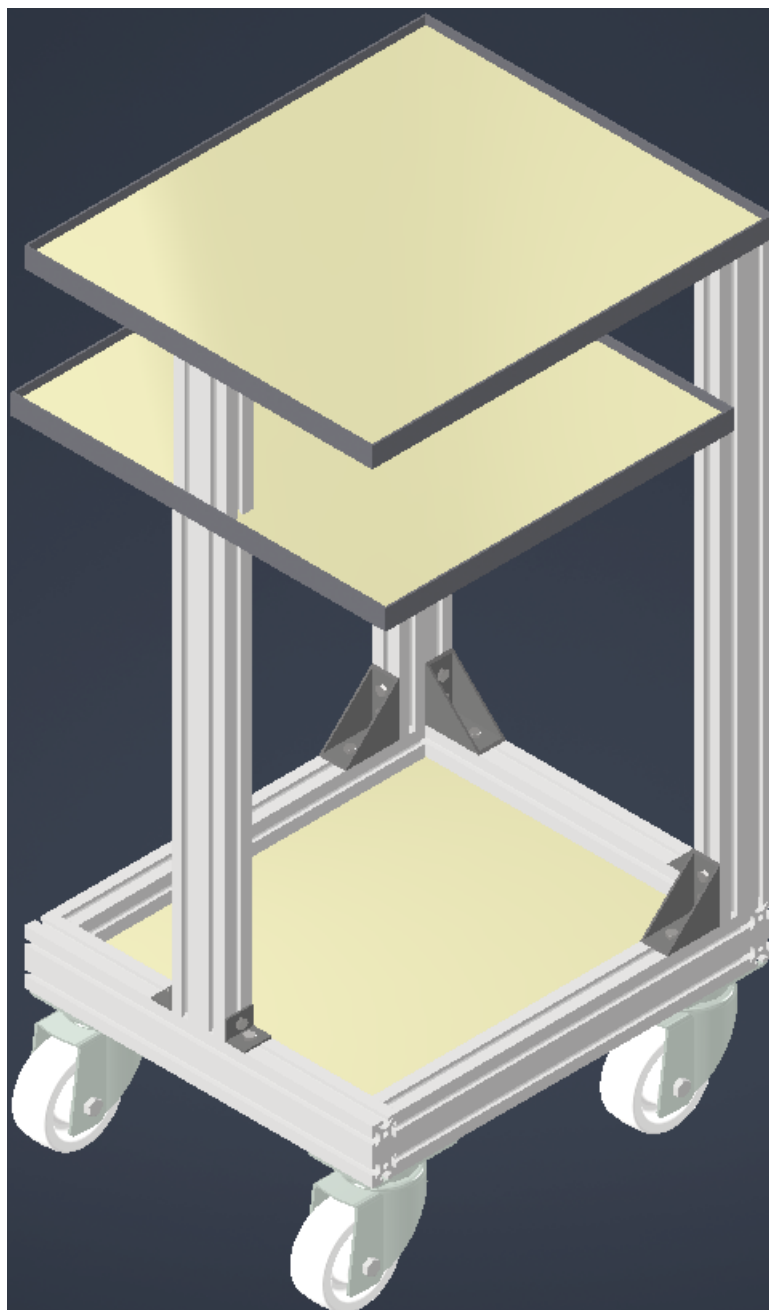
ve tvaru kladiva (tzn. kladivové matice), které se zasouvají do drážek hliníkových stavebnicových profilů.



Obr. 5.3: Rozměry rámců

Ke zvýšení stability konstrukce bude mezi prvním a druhým rámem přimontována další stojna o délce 180 mm, šířkou a výškou 40 mm tak, aby podpírala vrchní rám. V obou rámech budou umístěny desky, které budou sloužit k vytvoření úložného prostoru a vyvýšeného místa pro notebook. Taktéž ve spodní části konstrukce pracoviště bude umístěna deska. Ta bude ležet na dvou kovových lištách, které budou zasunuty do bočních drážek hliníkových profilů. Tyto desky by opět měli být z lehkého materiálu, aby nedocházelo k zbytečnému zvyšování hmotnosti pracoviště.

Na spodní stranu konstrukce se připevní 4 pojezdová kola, aby bylo možné pracoviště snadno přesouvat. A tím bude splněn požadavek na mobilitu pracoviště (viz. obr 5.4).

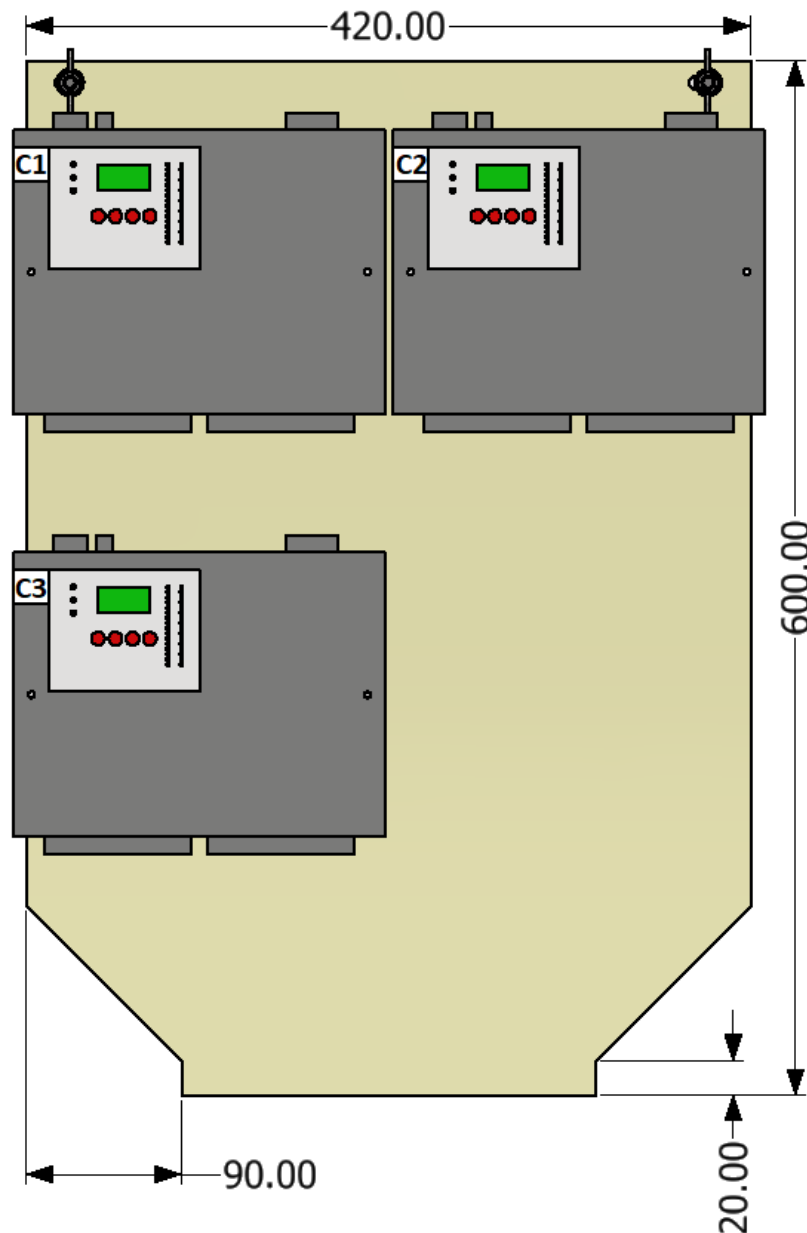


Obr. 5.4: Základní konstrukce mobilního pracoviště

## 5.2 Umístění měřicích ústředen

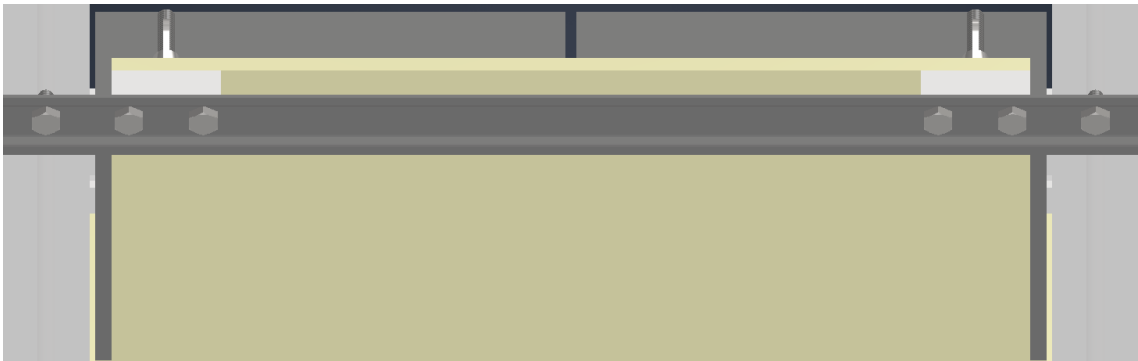
Měřicí ústředny budou umístěné na desce. Rozměry desky musí být dostatečné pro umístění 3 měřicích ústředen COMET DATALOGGER MS55D o rozměrech 215 x 165 x 60 mm , přičemž tato deska nesmí být příliš rozměrná a vyrobená z těžkého materiálu. A to z důvodu kalibrace měřicích ústředen, která probíhá mimo laboratoř spínacích přístrojů. Pokud by byla deska, na které jsou umístěné měřicí ústředny,

příliš velká a těžká, vznikali by zbytečně velké náklady na provoz mobilního pracoviště při dopravě měřicích ústředen na kalibraci. Je také důležité vybrat odolný materiál. Materiál PE je lehký, chemicky odolný, má dobré dielektrické vlastnosti a je tedy vhodné tento materiál použít. Navržené rozměry PE desky jsou 420 x 600 x 8 mm. Tyto rozměry odpovídají boxu, ve kterém bude deska s ústřednami odesílána na kalibraci. Každá ústředna bude připevněna k desce pomocí speciálního úchytu na vlastní DIN lištu, která bude přimontována na PE desce. Na každé ústředně bude štítek s označením (viz. obr. 5.5).



Obr. 5.5: Deska s měřicími ústřednami

Deska s měřicími ústřednami bude umístěna uvnitř konstrukce pracoviště. Jelikož mají hliníkové profily drážky, bude se spodní strana desky vkládat do drážky profilu. Tu bude nutné seříznout, jelikož ve spodní části budou umístěné i speciální úchytky, které drží základní konstrukci pracoviště. Jinak by nebylo možné desku vložit do drážky. V horní části konstrukce pracoviště bude přimontována DIN lišta s podpěrami, o které se deska s ústřednami opře. V desce budou vytvořeny otvory na šrouby, které budou vystupovat z podpěr. Následně se pak deska zafixuje pomocí křídlových matic a tím by měla být deska s ústřednami pevně umístěna v pracovišti (viz. Obr. 5.6).



Obr. 5.6: Uchytení desky ke konstrukci pracoviště

### 5.3 Snímače teploty - termočlánky

V mobilním pracovišti pro měření oteplení elektrických přístrojů budou použity termočlánky jako snímače teploty, konkrétně typ K.

V laboratoři spínacích přístrojů probíhají měření dle norem na různých elektrických přístrojích a rozváděcích o různých velikostech, a proto je vhodné termočlánky rozdělit do několika skupin. Počet termočlánků ve skupině je určen podle normativního požadavku na měření oteplení částí elektrických zařízení - například 8 termočlánků na skupinu pro měření jističe. Každá měřicí ústředna bude mít 2 skupiny termočlánků. Z jedné skupiny termočlánků budou odděleny dva termočlánky, které budou použity na měření teploty okolí. Ty budou upraveny stejným způsobem jako termočlánky, které současně používají v laboratoři spínacích přístrojů k měření teploty okolí (viz. kapitola 2.2 - Snímače teploty). Přibližně dvě třetiny délky bude pokryto ochranným obalem, jehož funkcí je zajišťovat ochranu termočlánku před mechanickým poškozením a taktéž udržovat termočlánky jednotlivých skupin pohromadě. Ideálním ochranným obalem jsou například husí krky odolné proti UV

záření. Zbývá třetina délky bude volná, aby se dosáhlo snadné manipulace s termočlánky například při zapojování termočlánků k měřenému přístroji. Termočlánky budou také značeny pomocí profilovaných návleček, které budou obsahovat informace o ústředně a vstupním kanálu, do kterých bude termočlánek zapojen. Navrhované skupiny jsou uvedeny v tabulce 6.1.

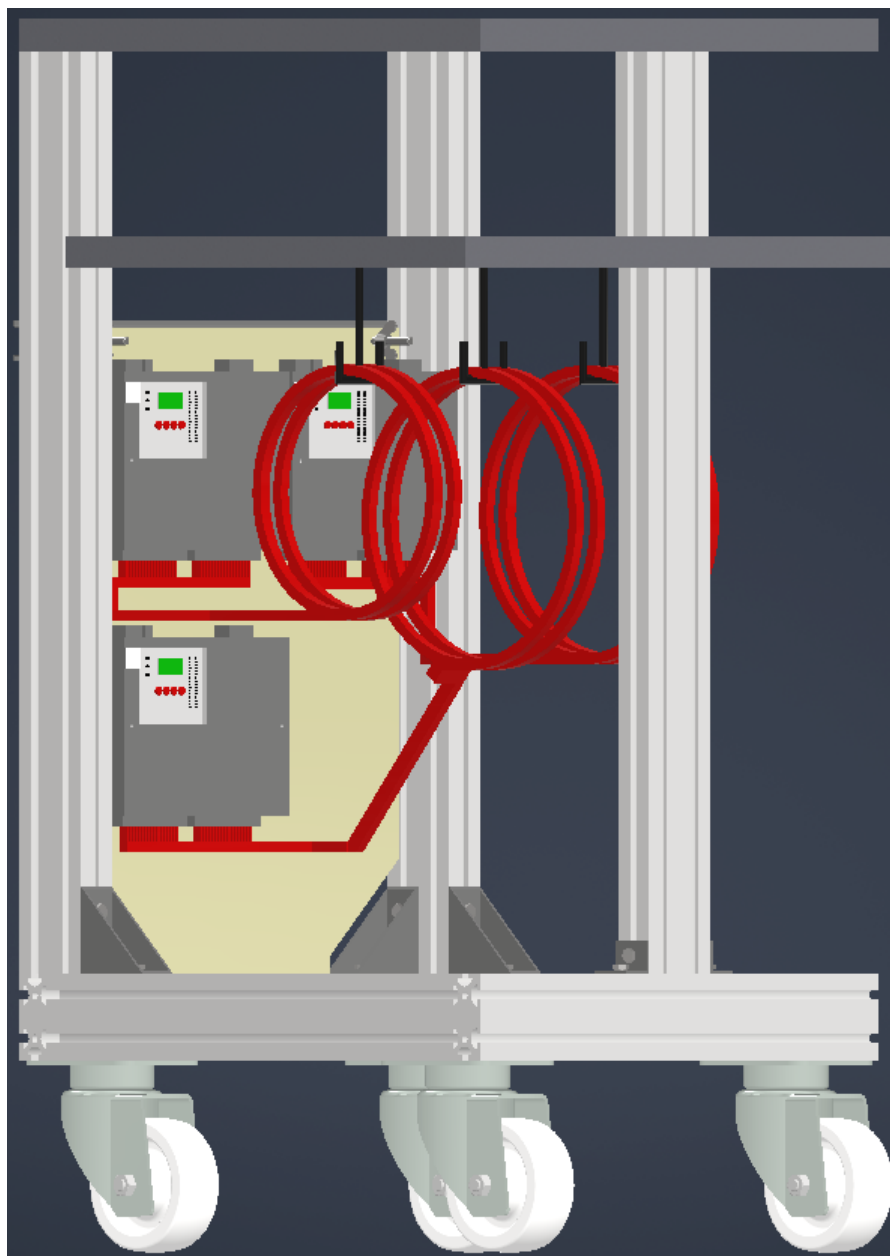
Tab. 5.1: Skupiny termočlánků

Ústředna	Číslo skupiny	Počet termočlánků	Délka [m]
C1	1	8	5
C1	2	8	5
C2	3	8	5
C2	4	8	5
C3	5	8	5
C3	6	6	5
C3	7	2	5

Připojení termočlánků k měřicím ústřednám lze provést několika způsoby. Na desku, kde budou umístěné měřicí ústředny, se přimontují konektory (zásuvky) určené pro termočlánek typu K a termočlánky se připojí na určené konektory (zástrčky) dle navrženého typu termočlánku. Tento způsob připojení termočlánků k měřicím ústřednám je pro navrhované pracoviště méně vhodné řešení - konektory (zásuvky) by se musely k ústřednám připojit přes kompenzační vedení. Dále by každý termočlánek měl dva konektory, které by spolu s kompenzačním vedením příliš zvyšovali cenu návrhu/konstrukce mobilního pracoviště. Také by kompenzační vedení a konektory tvořili další komponent, který by snížil přesnost měření a zvyšoval pravděpodobnost vzniku chyby.

Vhodnější řešení je tedy odizolovat konec drátků termočlánku a ty přímo vložit do samosvorných svorek WAGO. Pokud budou použity termočlánky se skelnou izolací, bude nutné odizolované konce termočlánků zakončit smršťovací bužírkou, jelikož se vlákna izolace po částečném odstranění snadno roztřepí a tím pádem by došlo k poškození izolace. Taktéž je vhodné část délky skupin termočlánků připevnit pomocí kabelových přichytek k desce, kde budou umístěné měřicí ústředny. Tím se zamezí možnému vytrhnutí termočlánků z konektorů měřicích ústřed, při kterém by mohlo dojít jak k poškození termočlánků, tak i měřicích ústřed. Ke konstrukci pracoviště budou také přimontovány držáky termočlánků pro každou ústřednu, aby na jednom držáku byly umístěné pouze skupiny termočlánků z jedné ústředny. Ty je možné provést ve formě U profilu, který bude pomocí přepážek rozdělen na dvě části pro každou skupinu, nebo ve formě háků, na které se smotané termočlánky zavěsí. (viz. obr. 5.7).





Obr. 5.7: Deska s měřicími ústřednami, termočlánky a držáky termočlánků

## 5.4 Příslušenství

Součástí pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů budou další příslušenství, které přidávají další funkce dle požadavků laboratoře.

### Notebook

Součástí pracoviště bude notebook, který bude umístěný na horní pracovní desce, pro možné sledování a zpracování měřených dat. K měřicím ústřednám CO-MET je k dispozici software, který po instalaci na notebook umožňuje čtení, zpra-

cování a analýzu měřených dat z ústředí COMET. Ty lze přehledně sledovat v tabulkách či grafech, data je možné exportovat ve formátu XLS nebo ve formátu pro software od firmy Comet. Měřicí ústředna COMET MS55D umí automaticky odesílat naměřená data do notebooku pomocí komunikačních rozhraní - v případě tohoto návrhu lze notebook připojit k ústřednám pomocí Ethernetu. Aktuální data z měřicích ústředí lze sledovat i přes webové rozhraní, které může sledovat několik uživatelů z různých zařízení. Ovšem aby byl tento způsob zobrazení funkční, musí být měřicí ústředny připojeny do internetové sítě, např. přes speciální Wi-Fi router a přidělit každé základně IP adresu. [13]

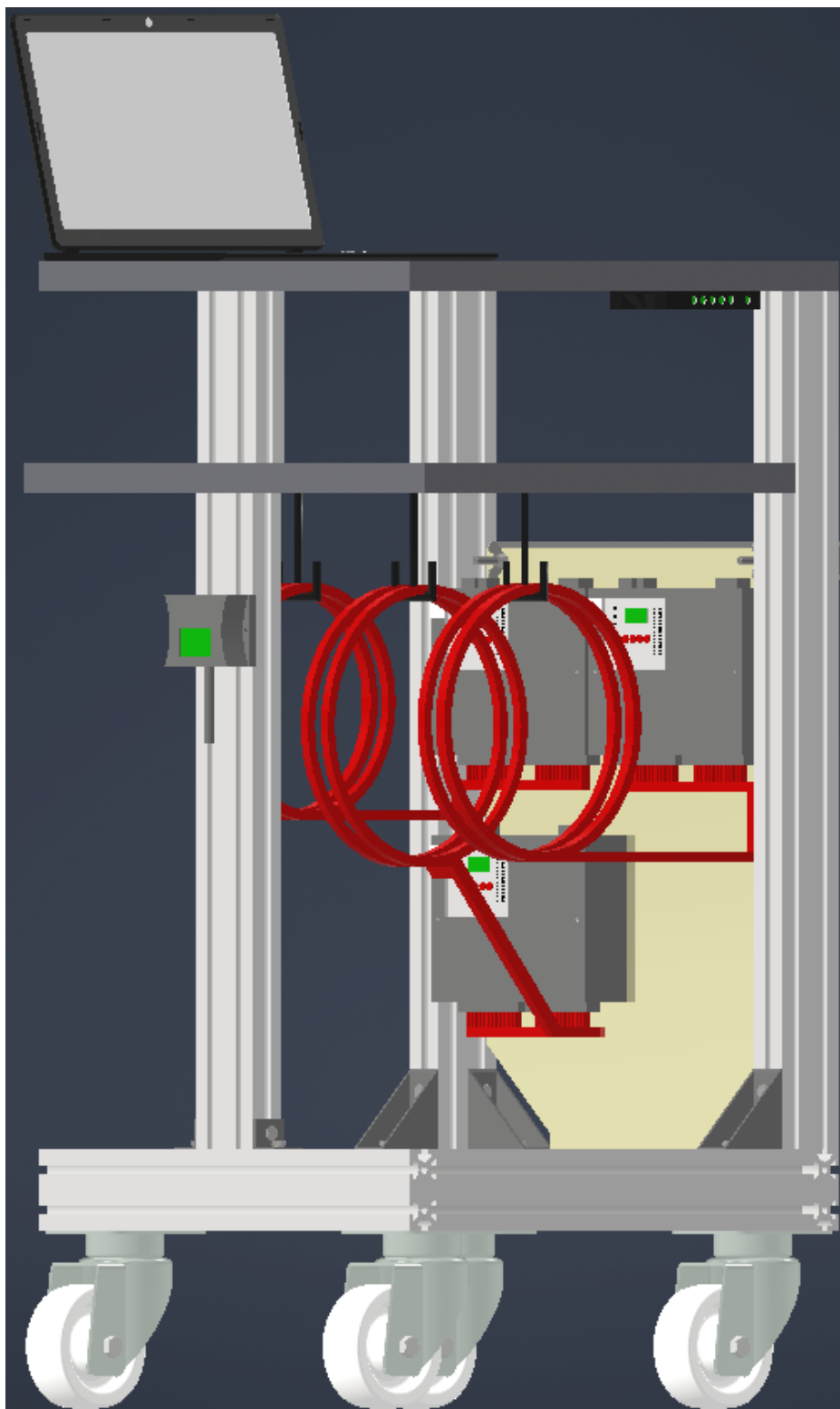
### **Měření okolních podmínek**

V pracovišti bude také umístěn měřič okolních podmínek od firmy COMET, a to konkrétně Web sensor T7510. Tento přístroj měří okolní podmínky jako teplotu, vlhkost či tlak. Měřená data lze přímo sledovat na přístroji nebo ve webovém prohlížeči. K tomu je ale zapotřebí připojit senzor přes Ethernet do routeru a přidělení IP adresy.

### **Comet Database - Cloud**

Jelikož v pracovišti bude umístěno několik přístrojů od firmy Comet, je možné jednotlivé přístroje připojit na cloud. Toto propojení umožňuje zaznamenávat data z více přístrojů na on-line úložiště, na které se lze připojit z jakéhokoliv zařízení. Jelikož v laboratoři spínacích přístrojů probíhají i měření na větších počtech elektrických přístrojů či jejich soustav, je toto řešení vhodné. Nevýhodou je, že Cloud od firmy Comet je placenou funkcí, tudíž by se každý rok musela dokupovat licence, což může být nepraktické. [13]

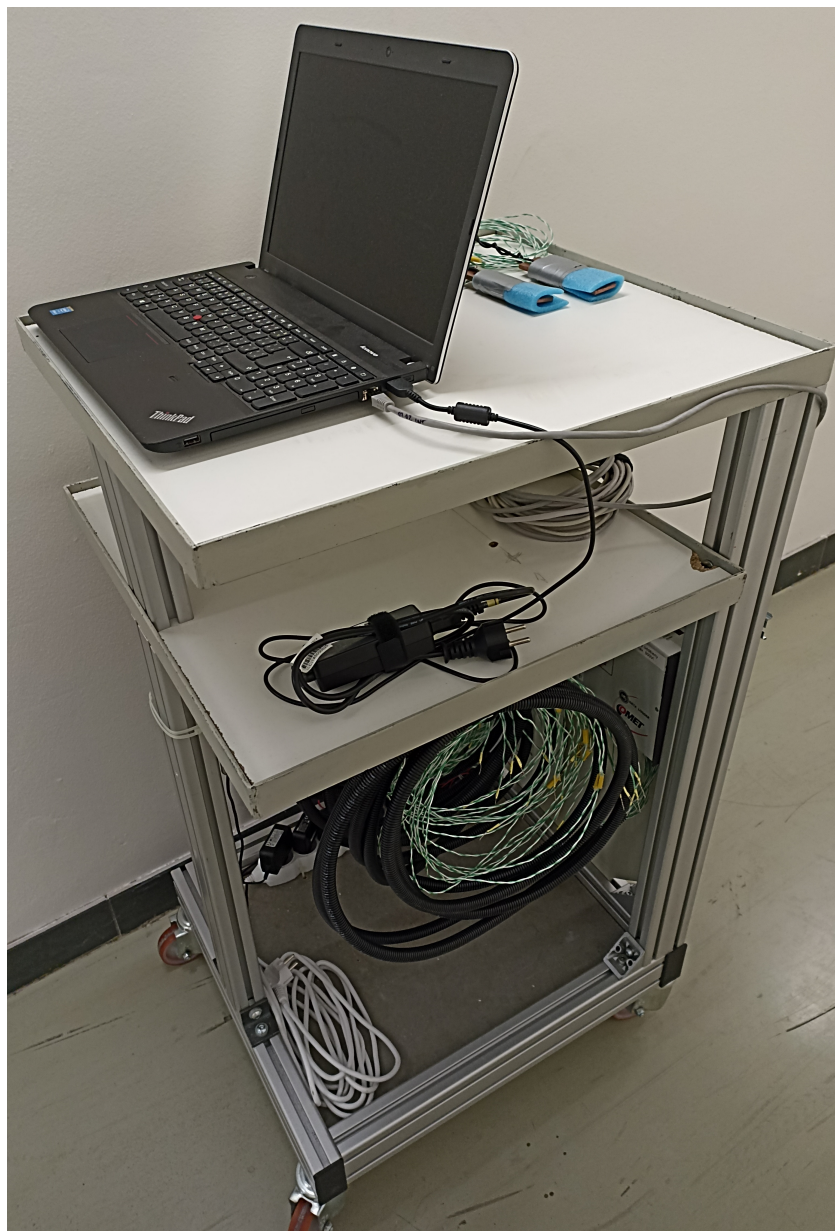
## 5.5 3D model návrhu pracoviště pro měření oteplení



Obr. 5.8: 3D model navrženého pracoviště pro měření oteplení

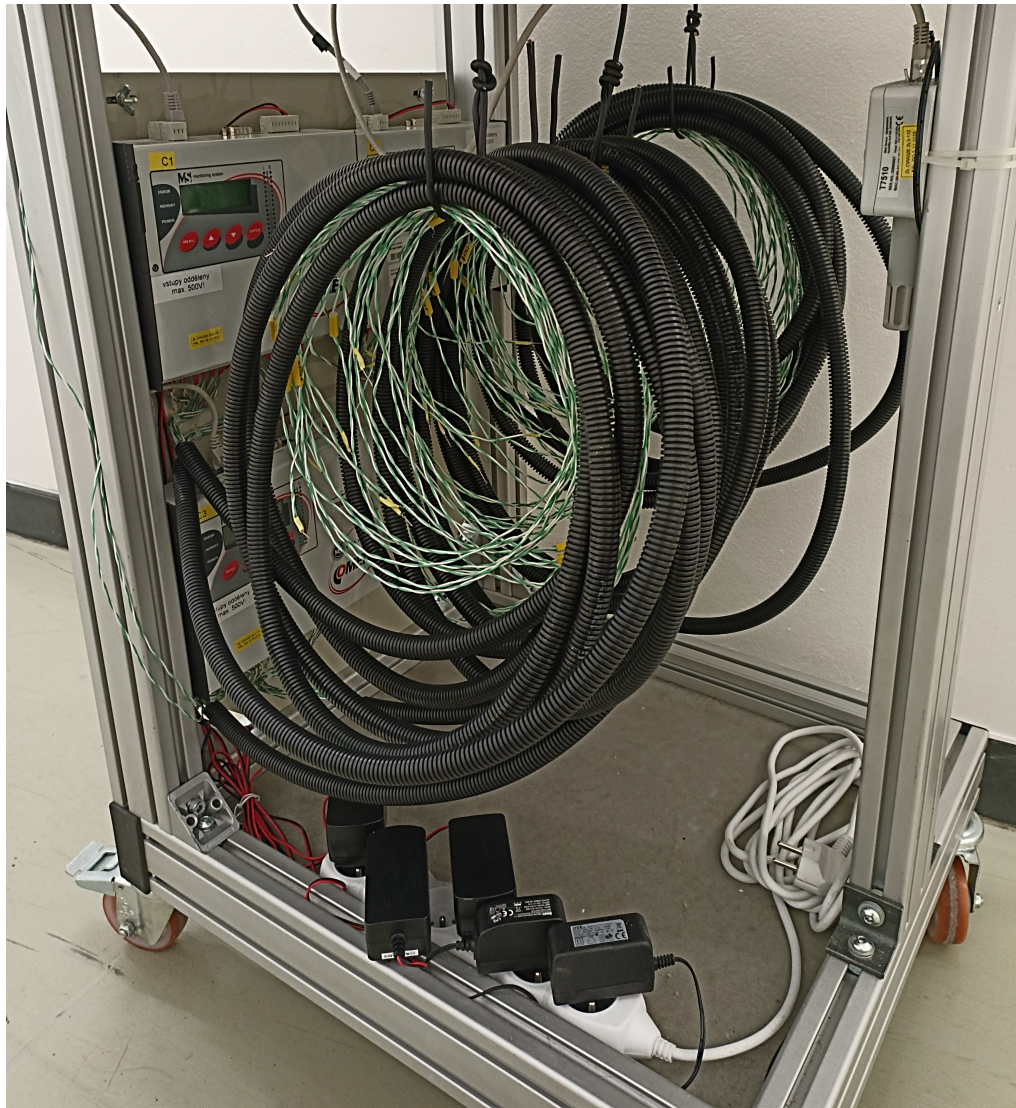
## 6 Realizace pracoviště

Pracoviště bylo vyrobeno podle vytvořeného návrhu v kapitole 5. V průběhu sestavování pracoviště došlo k určitým úpravám konstrukce, umístění ústředěn a dalších zařízení, aby bylo pracoviště v co nejlepší funkčnosti. Některé části návrhu se ukázaly jako nevhodné a byly upraveny do vhodnější a funkční podoby. Další vybavení bylo implementováno dodatečně, aby se usnadnila manipulace s pracovištěm a zlepšila jeho funkčnost. Kompletně sestavené pracoviště je zobrazeno na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Mobilní pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů

Malá změna byla provedena u délky hliníkového profilu mezi prvním a druhým rámem, aby bylo vrchní patro v rovině. Ve spodní části pracoviště byl k desce připevněn prodlužovací přívod o délce 5 m se 6 zásuvkami. Do těchto zásuvek se připojí veškeré vybavení pracoviště, které potřebuje napájení ke své funkci. Jedná se tak o měřicí ústředny MS55D, Web sensor TS7510, switch a notebook. Detailnější fotografie spodní části pracoviště je na obrázku 6.2.



Obr. 6.2: Detail spodní části pracoviště

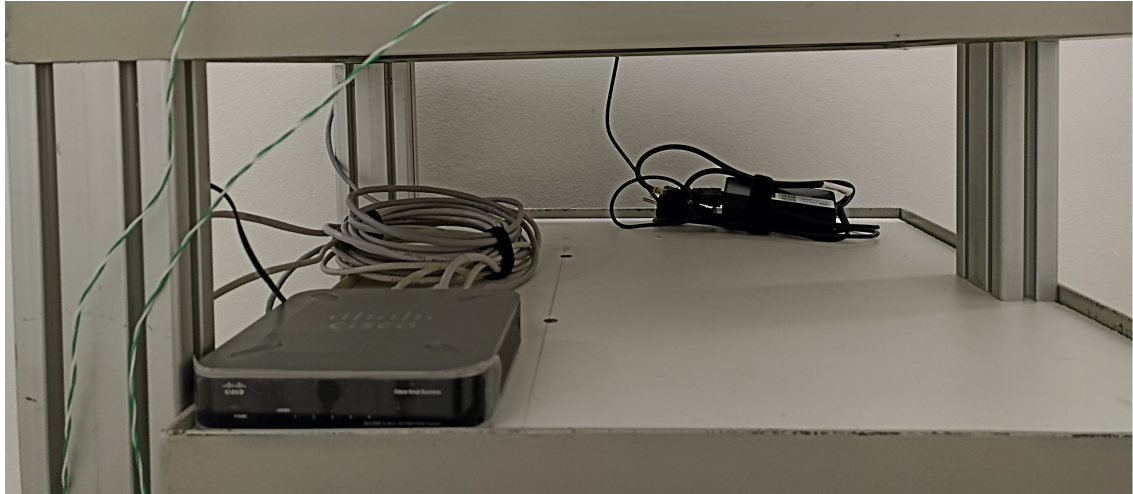
Měřicí ústředny jsou umístěné na PE jak bylo navrženo a jejich detailnější fotografie je na obrázku 6.3. Byla zavedena menší úprava, a to umístění oddělovacích přepážek na stranách ústředěn. Tyto oddělovací přepážky jsou vyrobené z tenké a černé plastové destičky. Tyto přepážky slouží k izolování ústředěn od sousední ústředny a kovových částí konstrukce.



Obr. 6.3: Detail měřicích ústředěn

Jak je možné vidět na obrázku 6.3, jednotlivé skupiny termočlánků jsou přichyceny k PE desce pomocí stahovacích pásek. V původním návrhu se uvažovalo i o přichycení husích krků k PE desce. Z tohoto návrhu se muselo ustoupit, jelikož při takovémto přichycení nelze husí krky dostatečně ohnout a svým umístěním by znemožnili vložení PE desky s ústřednami na určené místo.

Součástí pracoviště je mezipatro, které slouží ke skladování vybavení a materiálu potřebného k provedení měření (viz. obr. 6.4). Zde je umístěný switch, který slouží k propojení ústředěn, Web sensoru a notebooku. Tyto zařízení jsou propojené pomocí UTP kabelů. Původně bylo navrženo připojení zařízení k internetové síti přes Wifi router. Toto řešení muselo být vyřazeno, jelikož takovéto připojení zařízení k síti VUT není povoleno a to z bezpečnostních důvodů. Proto byla pomocí switche vytvořena lokální síť, ve které notebook obstarává připojení k internetu.

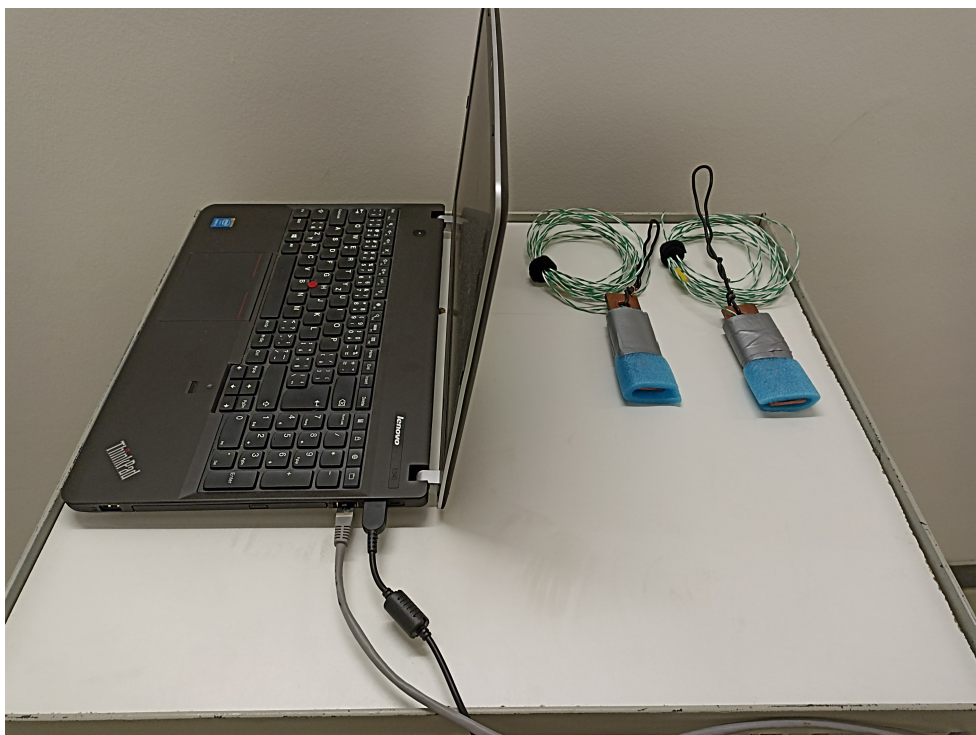


Obr. 6.4: Detail mezipatra pracoviště

Notebook je umístěn na horním patře pracoviště (viz. Obr. 6.5). V pracovišti zajišťuje několik funkcí jako připojení ústředen a Web sensoru k internetové síti, automatický přenos dat z ústředen a Web sensoru na disk, zpracování a analýzu měřených dat. K automatickému přenosu, zpracování a analýzy dat je také nutný příslušný software pro každý typ zařízení v pracovišti (měřicí ústředny, Web sensor).

Aby bylo možné přenášet data automaticky, musely být nainstalovány rozšířené verze dvou programů - Comet Database a M+. Oba programy jsou volně k dispozici na webu firmy Comet v základní verzi, rozšířená verze programů se získá zadáním registračního kódu koupených zařízení. Comet Database vytváří databázi, která funguje na principu MS SQL (SOAP), pro všechny připojené zařízení od firmy Comet. Program M+ slouží k nastavení ústředen. Jedná se například o základní nastavení (změna názvu ústředny, datum, zabezpečení ústředen), nastavení komunikace (typ komunikačního rozhraní, IP adresa, SOAP server, interval stahování dat), nastavení vstupu (název vstupu, měřená veličina, jednotky, počet desetinných míst, přepočty), nastavení záznamu (interval záznamu, druh záznamu - nepřetržitý, podmíněný), nastavení podmínek (krajní podmínky, trvání podmínky) a nastavení alarmu (nastavení signalizace alarmu, spínání výstupních relé, odeslání SMS či emailu).

Interval automatického stahování dat byl nastaven na 5 minut. To znamená, že každých 5 minut se stáhnou veškerá data z paměti měřicích ústředen a uloží se do paměti notebooku. Je důležité podotknout, že k automatickému stahování dat z ústředen je nutné mít zapnutý program M+ na notebooku. Jinak by se data automaticky nestahovala. Data jsou ukládány ve dvou formátech - ve formátu pro Comet Database a program pro zpracování dat, a ve formátu XLS (Excel).



Obr. 6.5: Notebook na horním patře pracoviště

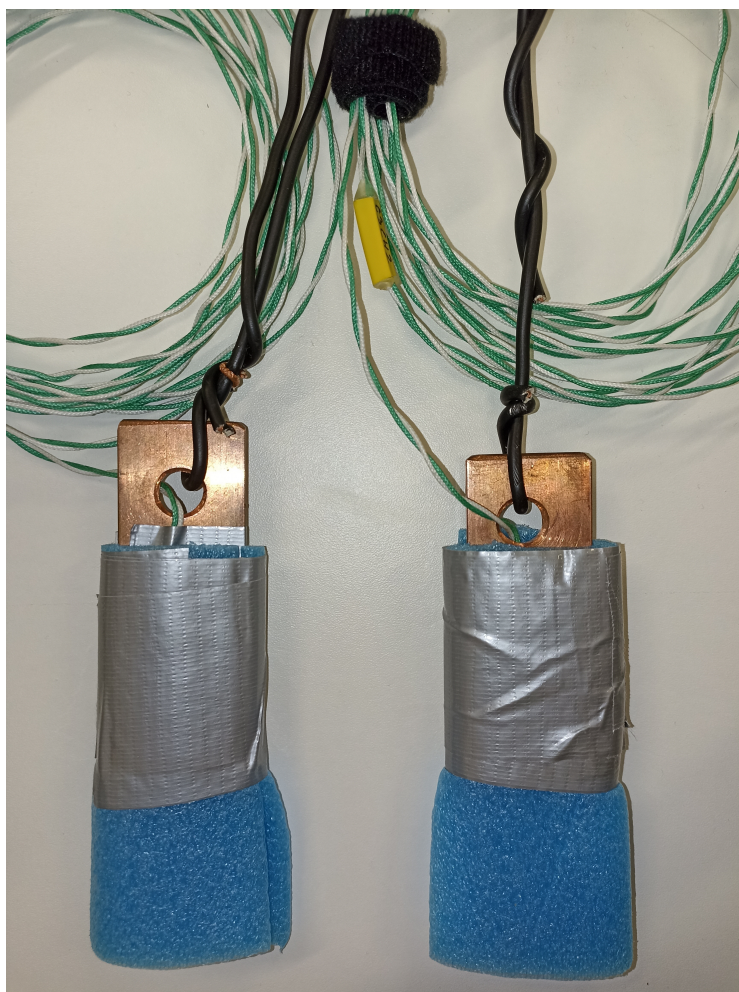
V návrhu pracoviště se uvažovalo i o on-line ukládání dat na Comet Cloud. Jak již bylo popsáno v návrhu, Comet Cloud je placenou funkcí, která by se musela obnovovat každý rok. Proto byl tento návrh zavržen a bylo implementováno nové řešení ukládání dat na on-line úložiště, a to na OneDrive. OneDrive je bezplatné úložiště dat, které má v základní verzi kapacitu 5 GB, což je pro ukládání dat z měření více než dostatečná kapacita. Byl tedy vytvořen účet pro laboratorní účely, aby bylo možné měřená data ukládat na OneDrive. V programu M+ se nastavil adresář OneDrivu pro ukládání dat ve formátu XLS. Data ve formátu pro programy od firmy Comet se stále ukládají do paměti notebooku. Díky ukládání dat na dvě různá úložiště je možné si zobrazit data nejen na notebooku v pracovišti, ale i na jiném zařízení, které má přístup na OneDrive.

Také byl na notebook nainstalován program Comet Database Viewer. Opět bylo nutné zadat registrační kód, aby byla odemčena rozšířená verze programu. Tento program slouží k zobrazení a analýze dat z měřicích ústředěn a Web sensoru. Program umožňuje zobrazení dat v tabulce, dokonce i v grafu v jakémkoliv časovém intervalu. Navíc je možné si přímo v programu zvolit zařízení (měřicí ústředny, Web sensor) a počet kanálů, jejichž zaznamenaná data se zobrazí v tabulce a grafu. Kromě zobrazení je možné provést i analýzu dat. Jedná se například o zjištění minimální a maximální hodnoty měřené veličiny ze zaznamenaných dat, určení průměrné hod-



noty a další.

Poslední úprava oproti návrhu byla provedena na snímačích okolní teploty. Konkrétně pracoviště obsahuje 2 snímače okolní teploty. Ty jsou vytvořené z termočlánku, který je připevněn k měděné destičce. Na měděné destičce je umístěn proto, aby nedocházelo k ovlivnění měření teploty okolí například při závanu. Měděná destička je omotána pěnovým izolantem, aby se nedotýkala vodivých částí, a pevně stáhnutá izolační páskou. K měděné destičce je připevněn kabel se smyčkou, aby bylo možné snímač zavěsit. Oba snímače teploty okolí jsou zobrazeny na obrázku 6.6.



Obr. 6.6: Snímače teploty okolí v pracovišti

## 7 Testovací měření na vybraných přístrojích

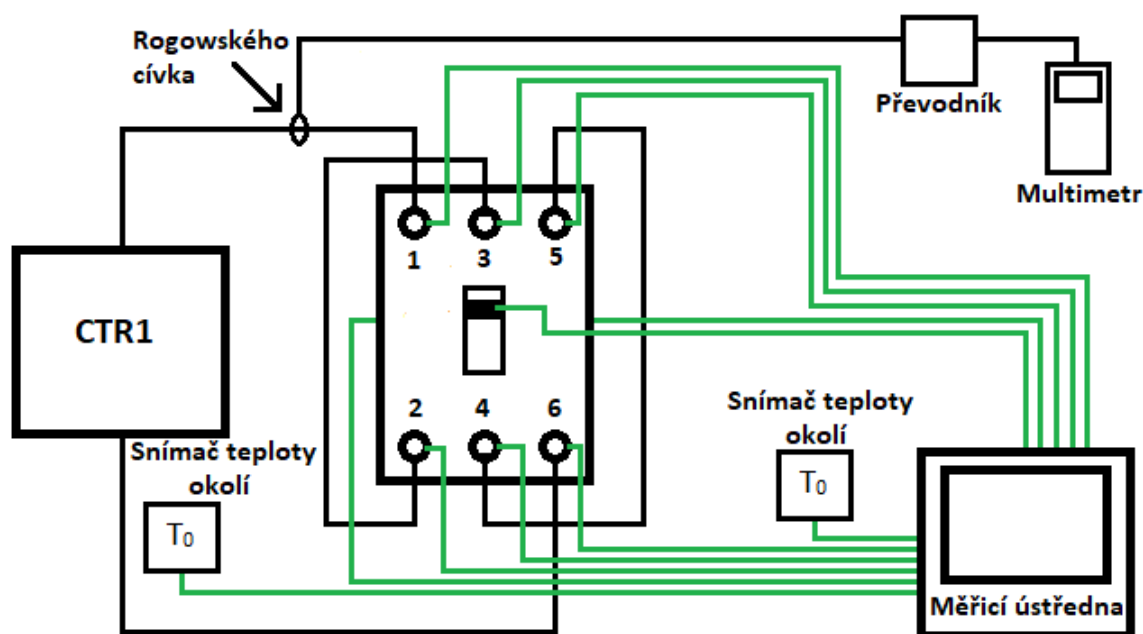
Jedním z cílů práce bylo provést testovací měření na vybraném přístroji. Konkrétně byly provedeny dvě měření. První měření bylo provedeno se současným vybavením laboratoře spínacích přístrojů (viz. kapitola 2 - Vybavení laboratoře spínacích přístrojů pro měření oteplení) a to na jističi. Druhé měření bylo provedeno s nově sestaveným mobilním pracovištěm pro měření oteplení elektrických přístrojů a to na odpojovači.

### 7.1 Měření oteplení jističe

Měření oteplení jističe bylo provedeno na výrobku od firmy Siemens, konkrétně na jističi typu 3VA6225-6KP31. Jedná se o 3 pólový jistič s jmenovitým proudem 250 A. Samotné měření probíhalo dle normativních požadavků. Na jističi bylo měřeno oteplení několika částí, a to na 6 svorkách, ovládací páce a na levé a pravé straně krytu jističe.

#### 7.1.1 Postup měření

Před zahájením měření bylo nejdříve sestaveno měřicí stanoviště podle schématu zapojení (viz. Obr. 7.1). Použité přístroje při měření jsou uvedeny v tabulce 7.1.



Obr. 7.1: Schéma zapojení pro měření oteplení jističe Siemens

Tab. 7.1: Seznam přístrojů použitých při měření oteplení jističe

Název	Typ	Kalibrace	Výrobní číslo	Výrobce
Multimetr HEXAGON	340A	11/2023	MFR: 122180522	AMPROBE
Rogowského cívka	A 050	-	001000213 339-0000	CHAUVIN ARNOUX
Měřicí ústředna ALMEMO	5690-2M	11/2024	000000317 334-0000	AHLBORN
11x Termočlánek	K	-	-	-
Transformátor proudu	CRT 2	-	000000317 338-0000	KPB Intra

Měřený jistič byl připevněn na kovovou desku umístěnou na kovové platformě. Jednotlivé póly jističe byly zapojeny do série, tedy svorka 2 byla spojena se svorkou 3 a svorka 4 se svorkou 5. Svorka 1 a 6 se připojili k proudovému zdroji. K připojení pólů k proudovému zdroji a k propojení jednotlivých pólů byly použity kabely o průřezu 120 mm<sup>2</sup> dle požadavků normy viz. kapitola 3.1. Spojovací šrouby byly utaženy na 16 Nm. Teploty jednotlivých částí jističe byly měřeny pomocí 8 termočláneků typu K. Pro měření teploty svorek jističe byl termočlánek umístěn mezi kabel a spojovací šroub, a pro měření teploty ovládací páky a krytu jističe byly termočláanky k těmto částem přilepeny. Pro měření teploty okolí se také použily 2 termočláanky typu K, každý z těchto termočláneků byl umístěn ve stejné výšce jako jistič a ve vzdálenosti 1 m od samotného jističe. Všechny termočláanky se připojili k měřicí ústředně AHLBORN ALMEMO, která zaznamenávala všechny měřené teploty v intervalu po 1 minutě. Proud procházející jističem byl měřen pomocí Rogowského cívky, která byla připojena přes převodník do digitálního multimetru. Po ukončení měření byly zaznamenány podmínky v laboratoři (Tab. 7.2).

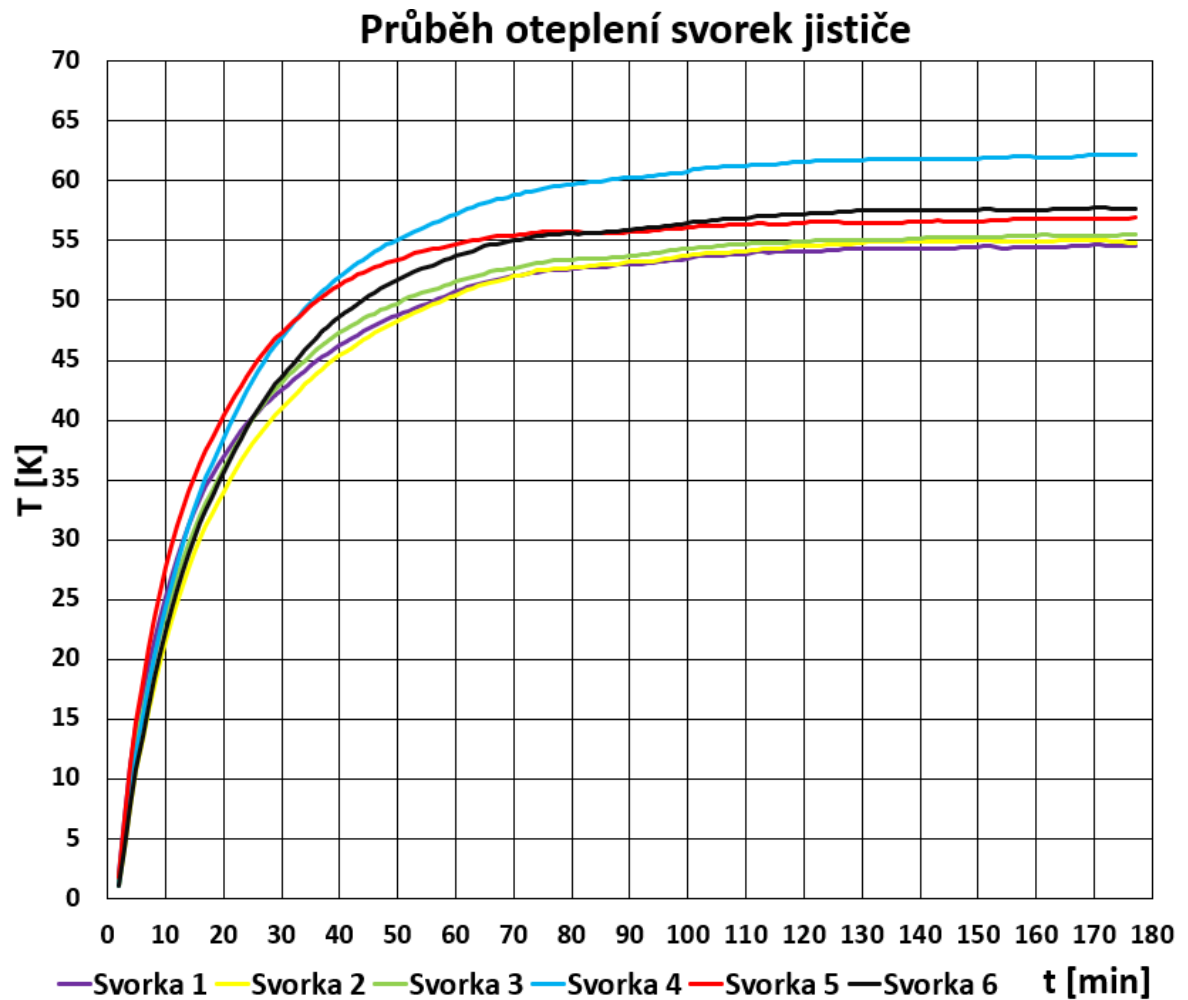
Tab. 7.2: Podmínky v laboratoři při měření jističe

Teplota okolí [°C]	Tlak [hPa]	Vlhkost [%]
23,4	968	26,5

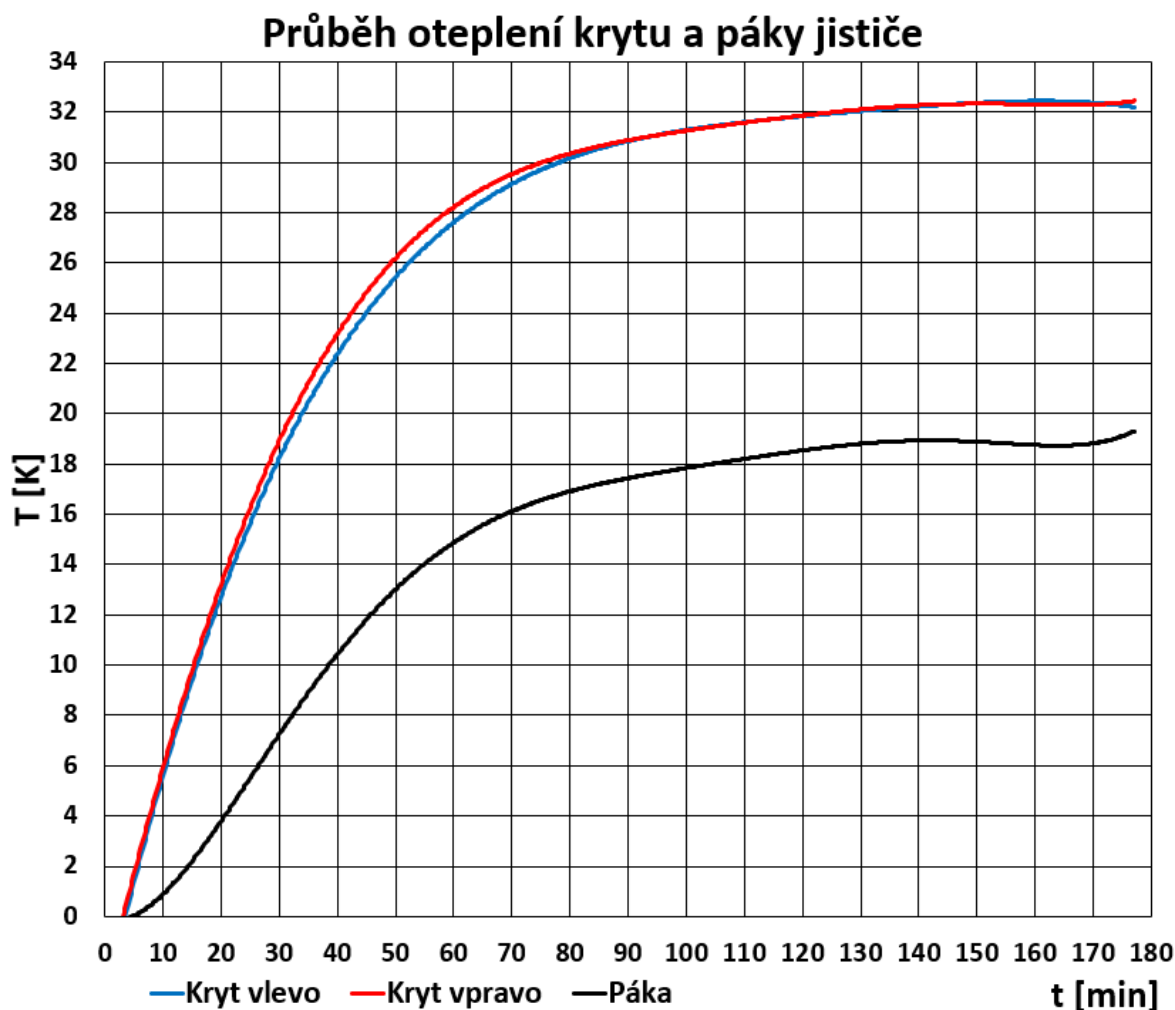
Měření oteplení jističe probíhalo při jmenovitém proudu 250 A. Ve skutečnosti byl však nastaven proud přibližně 260 A z důvodu klesání proudu při zahřátí přírodních kabelů. Měření probíhalo do doby, než došlo k tzv. ustálení oteplení, což je stav, při kterém se oteplení měřených částí nezvýší o více než 1 K po dobu 1 hodiny. Po ukončení měření byly zaznamenané hodnoty staženy a dále zpracovány. Změřené

hodnoty jsou vloženy v příloze.

### 7.1.2 Změřené průběhy jističe



Obr. 7.2: Graf průběhu oteplení jednotlivých svorek jističe



Obr. 7.3: Graf průběhu oteplení krytu a páky jističe

### 7.1.3 Zhodnocení měření jističe

Ze změřených hodnot oteplení jednotlivých částí jističe byly vytvořeny grafické průběhy oteplení částí jističe (viz. Obr. 7.2 a 7.3). Měření probíhalo do doby, než došlo k ustálení teploty. Tento stav nastal přibližně po 177 minutách od zahájení měření. Nejvyšší oteplení jednotlivých částí jističe je uvedeno v tabulce 7.3.

Získané hodnoty oteplení svorek jističe musí být menší než stanovené hodnoty oteplení uvedené v kapitole 3.2 v tabulce 3.4. Jelikož je stanovená hodnota oteplení pro svorky 80 K, zkouška oteplení svorek jističe vyhovuje normě.

Bylo také měřeno oteplení ručních ovládacích prvků (páka) a krytu jističe na levé a pravé straně krytu. Získané hodnoty oteplení páky a krytu jističe musí být menší než stanovená hodnota oteplení uvedená v kapitole 3.2 v tabulce 3.4. Jelikož je stanovená hodnota oteplení pro ruční ovládací prostředek (páka) z nekovového

materiálu 35 K, zkouška oteplení páky jističe vyhovuje normě. Stanovená hodnota pro oteplení nekovového krytu jističe je 50 K, zkouška oteplení krytu jističe vyhovuje normě.

Tab. 7.3: Nejvyšší hodnoty oteplení částí jističe

Část jističe	Oteplení [K]	Dovolené meze [K]
L1 horní (Svorka 1)	54,6	80
L1 dolní (Svorka 2)	54,9	80
L2 horní (Svorka 3)	55,5	80
L2 dolní (Svorka 4)	62,2	80
L3 horní (Svorka 5)	56,8	80
L3 dolní (Svorka 6)	57,7	80
Páka	19,2	35
Kryt vlevo	32,5	50
Kryt vpravo	32,5	50

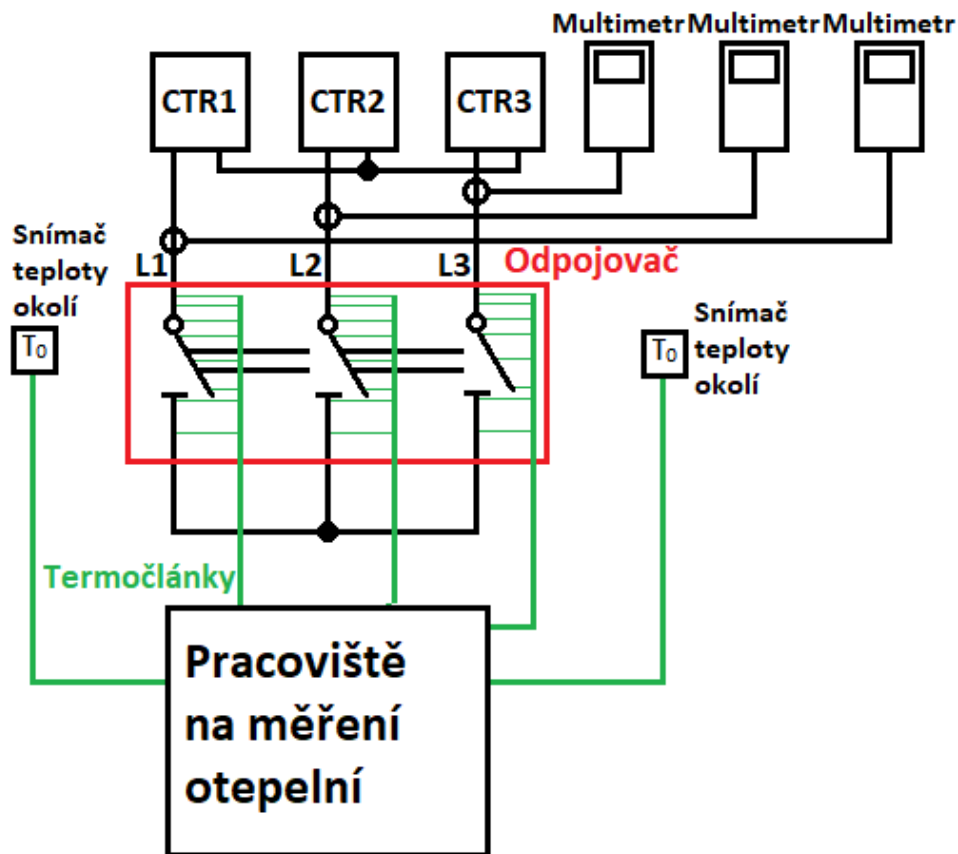
## 7.2 Měření oteplení odpojovače

Měření oteplení odpojovače bylo provedeno na výrobku od firmy Ivep, konkrétně na 3 fázovém odpojovači typu QAK 12.400.25/1.P.R.-.-200/3. Jedná se o vnitřní odpojovač s jmenovitým proudem 400 A. Samotné měření probíhalo dle požadavků normy ČSN EN 62271-1. Na odpojovači bylo měřeno oteplení několika částí, a to na přívodu u šroubového spoje, na praporci u pevného spojení s nožem, na noži, na praporci u pohyblivého kontaktu a na vývodu u šroubového spoje. Navíc bylo měřeno oteplení proudovodné dráhy mezi šroubovým spojem přívodu a praporcem a na vrchní části praporce. Průběžně byla také měřena teplota přívodů ve vzdálenosti 1 m.

### 7.2.1 Postup měření odpojovače

Před zahájením měření bylo nejdříve sestaveno měřicí stanoviště podle schématu zapojení (viz. Obr. 7.4).

Měřený odpojovač byl umístěn na paletách. Každý přívod fáze odpojovače byl zapojen k vlastnímu proudovému zdroji. Vývody fází odpojovače byly zapojeny do hvězdy, stejně jako nulové vývody proudových zdrojů. K připojení fází odpojovače k proudovým zdrojům a k propojení vývodů fází odpojovače byly použity kabely o průřezu 220 mm<sup>2</sup>. Spojovací šrouby byly utaženy na 75 Nm dle pokynů výrobce.



Obr. 7.4: Schéma zapojení pro měření oteplení odpojovače Ipep

K měření teploty odpojovače bylo použito nově vyrobené mobilní pracoviště pro měření oteplení s měřicími ústřednami Comet MS55D. Teploty jednotlivých částí proudovodné dráhy (fáze) odpojovače byly měřeny pomocí termočlánků, které jsou zakomponovány v mobilním pracovišti. Na jednu fázi odpojovače byla použita jedna skupina termočlánků - tedy 8 termočlánků (viz. Obr. 7.5). Termočlánky byly uchyceny k měřeným částem pomocí dřevěných kolíčků.



Obr. 7.5: Umístění termočlánků na odpojovači

K měření teploty okolí se také použily 2 termočlánky typu K, kdy každý z těchto termočlánků byl umístěn ve stejné výšce jako odpojovač a ve vzdálenosti 1 m od

samotného odpojovače. Celkově byly použity 4 skupiny termočlánků (dohromady 26 termočlánků) - dvě skupiny z ústředny C1 (16 termočlánků) a dvě skupiny z ústředny C3 (10 termočlánků). Měřené teploty zaznamenávaly měřicí ústředny Comet MS55D v intervalu po 1 minutě. Proudů procházející jednotlivými fázemi odpojovače byly měřeny pomocí sond, která byly připojeny do digitálních multimetrů. Veškeré použité přístroje při měření jsou uvedeny v tabulce 7.4. Po ukončení měření byly zaznamenány podmínky v laboratoři (viz. Tab. 7.5). Ty zaznamenává Web sensor T7510, který je součástí mobilního pracoviště.

Tab. 7.4: Seznam přístrojů použitých při měření oteplení odpojovače

Název	Typ	Kalibrace	Výrobní číslo	Výrobce
Multimetr HEXAGON	340A	-	MFR: 122180474	AMPROBE
Multimetr HEXAGON	340A	-	MFR: 122180541	AMPROBE
Multimetr HEXAGON	340A	12/12/2023	MFR: 122180532	AMPROBE
Rogowského cívka	A 050	-	001000213 339-0000	CHAUVIN ARNOUX
Proudové kleště	C 173	30/01/2024	001000276 105-0000	CHAUVIN ARNOUX
Proudové kleště	C 173	30/01/2024	001000276 106-0000	CHAUVIN ARNOUX
Měřicí ústředna	MS55D	08/10/2023	C1	Comet
Měřicí ústředna	MS55D	08/10/2023	C3	Comet
26x Termočlánek	K	-	-	-
Transformátor proudu	CRT 2	-	000000317 341-0000	KPB Intra
Transformátor proudu	CRT 2	-	000000317 338-0000	KPB Intra
Transformátor proudu	CRT 2	-	000000317 340-0000	KPB Intra

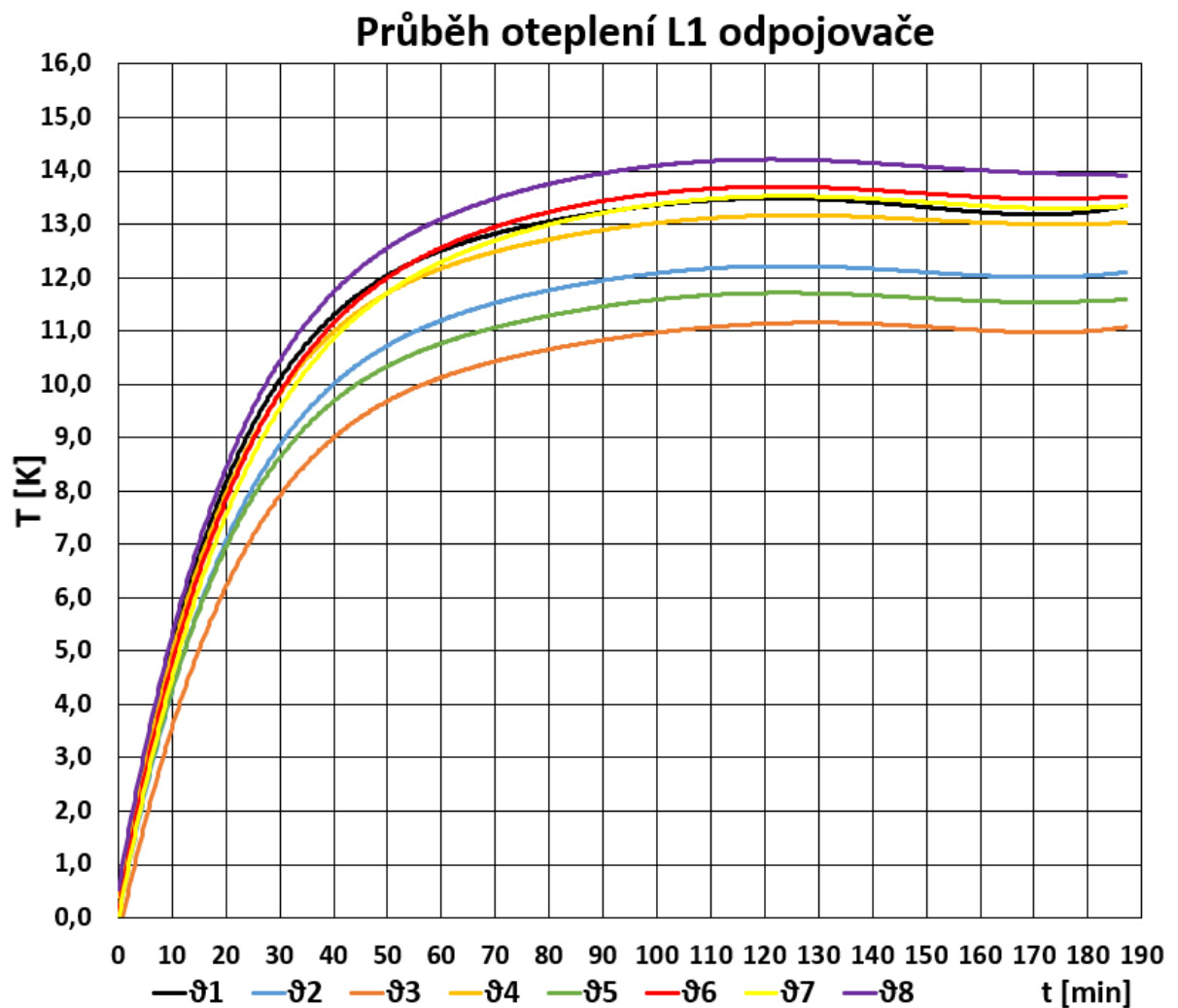
Tab. 7.5: Podmínky v laboratoři při měření odpojovače

Teplota okolí[°C]	Tlak [hPa]	Vlhkost [%]
24,5	991	33

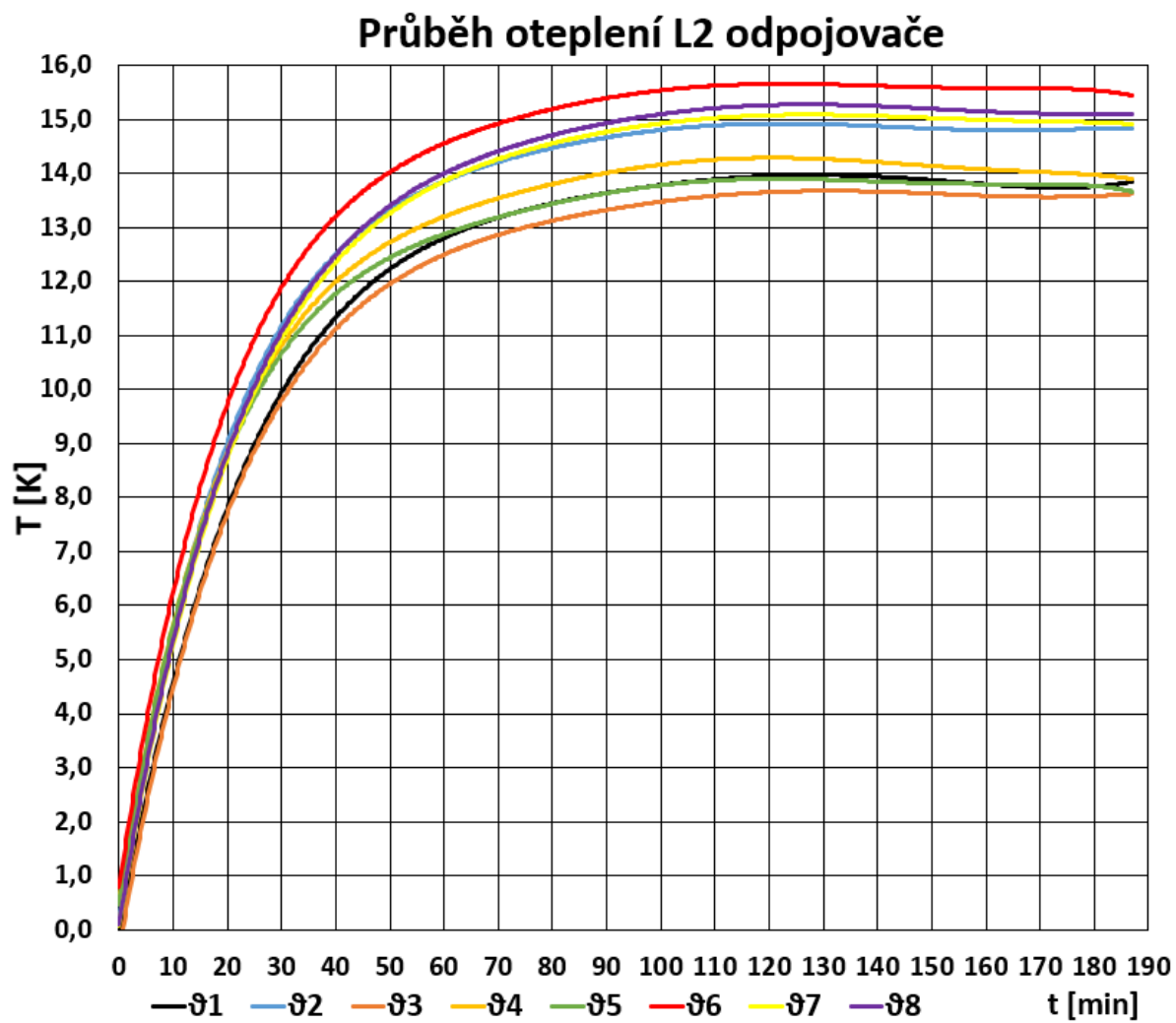


Měření oteplení odpojovače probíhalo při jmenovitém proudu 400 A všemi fázemi (každá fáze 400 A). Ve skutečnosti se však proud pohyboval mezi 400 - 406 A, jelikož při zahřátí přírodních kabelů (zvýšení odporu kabelů) dochází ke snižování proudu. Důležité bylo, aby při probíhající měření byl proud ve stanovených mezích (+2 % jmenovitého proudu). Měření probíhalo do doby, než došlo k tzv. ustálení oteplení, což je stav, při kterém se oteplení měřených částí nezvýší o více než 1 K po dobu 1 hodiny. Po ukončení měření byly zaznamenané hodnoty dále zpracovány.

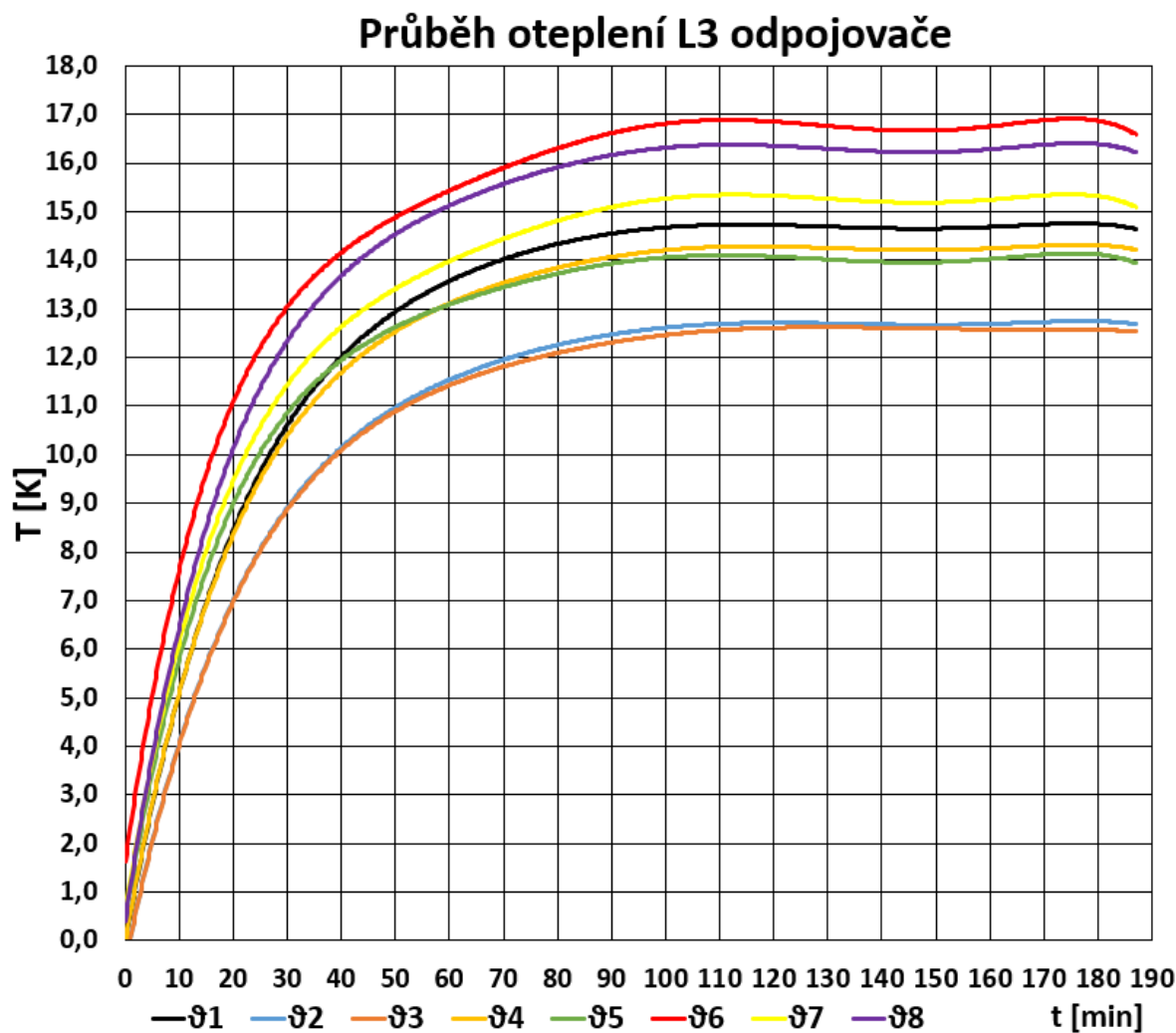
## 7.2.2 Změřené průběhy odpojovače



Obr. 7.6: Graf průběhu oteplení fáze 1 (L1) odpojovače



Obr. 7.7: Graf průběhu oteplení fáze 2 (L2) odpojovače



Obr. 7.8: Graf průběhu oteplení fáze 3 (L3) odpojovače

### 7.2.3 Zhodnocení měření odpojovače

Ze změřených hodnot oteplení částí odpojovače byly vytvořeny grafické průběhy oteplení pro každou fázi odpojovače (viz. Obr. 7.6, 7.7 a 7.8). Měření opět probíhalo do doby, než došlo k ustálení teploty. Tento stav nastal přibližně po 187 minutách od zahájení měření. Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí odpojovače spolu s maximální dovolenou teplotou částí jsou uvedeny v tabulkách pro každou fázi zvlášť. Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení pro fázi 1 (L1) jsou uvedeny v tabulce 7.6, pro fázi 2 (L2) v tabulce 7.7 a pro fázi 3 (L3) v tabulce 7.8. Získané hodnoty teplot a oteplení částí odpojovače musí být menší než stanovené hodnoty teplot a oteplení uvedená v kapitole 3.7 v tabulce 3.14. Jednotlivé části odpojovače byly buď postříbřené nebo poniklované a proto mají stejnou maximální dovolenou teplotu.

Všechny zkoušené části fáze 1 (L1) odpojovače při oteplovací zkoušce vyhověli, jelikož maximální dosažené teploty při zkoušce, a tedy i oteplení, nebyly vyšší než stanovené meze určené normou pro odpojovače.

Tab. 7.6: Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí fáze 1 (L1) odpojovače

Část odpojovače	Oteplení [K]	Teplota [°C]	Maximální teplota [°C]
Šroubový spoj přívodu (ϑ1)	13,5	39,0	100
Přípojnice mezi šroubovým spojem a praporcem (ϑ2)	12,2	36,7	100
Praporec u pevného spojení s nožem (ϑ3)	11,2	35,7	115
Vrchní část praporce (ϑ4)	13,2	37,7	115
Nůž (ϑ5)	11,7	36,2	115
Kontakt mezi nožem a praporcem (ϑ6)	13,7	38,2	115
Přípojnice mezi praporcem a šroubovým spojem (ϑ7)	13,5	38,0	100
Šroubový spoj vývodu (ϑ8)	14,2	38,7	100

U fáze 2 (L2) všechny zkoušené části odpojovače při oteplovací zkoušce vyhověli, jelikož maximální dosažené teploty při zkoušce, a tedy i oteplení, nebyly vyšší než stanovené meze určené normou pro odpojovače.

Tab. 7.7: Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí fáze 2 (L2) odpojovače

Část odpojovače	Oteplení [K]	Teplota [°C]	Maximální teplota [°C]
Šroubový spoj přívodu (ϑ1)	14,0	38,5	100
Přípojnice mezi šroubovým spojem a praporcem (ϑ2)	14,9	39,4	100
Praporec u pevného spojení s nožem (ϑ3)	13,7	38,2	115
Vrchní část praporce (ϑ4)	14,3	38,8	115
Nůž (ϑ5)	13,9	38,4	115
Kontakt mezi nožem a praporcem (ϑ6)	15,7	40,2	115
Přípojnice mezi praporcem a šroubovým spojem (ϑ7)	15,1	39,6	100
Šroubový spoj vývodu (ϑ8)	15,3	39,8	100

I v případě fáze 3 (L3) všechny zkoušené části odpojovače při oteplovací zkoušce vyhověli, jelikož maximální dosažené teploty při zkoušce, a tedy i oteplení, nebyly vyšší než stanovené meze určené normou pro odpojovače.

Tab. 7.8: Nejvyšší hodnoty teplot a oteplení částí fáze 3 (L3) odpojovače

Část odpojovače	Oteplení [K]	Teplota [°C]	Maximální teplota [°C]
Šroubový spoj přívodu ( $\vartheta_1$ )	14,8	39,3	100
Přípojnice mezi šroubovým spojem a praporcem ( $\vartheta_2$ )	12,8	37,3	100
Praporec u pevného spojení s nožem ( $\vartheta_3$ )	12,8	37,3	115
Vrchní část praporce ( $\vartheta_4$ )	14,3	38,8	115
Nůž ( $\vartheta_5$ )	14,1	38,6	115
Kontakt mezi nožem a praporcem ( $\vartheta_6$ )	16,9	41,4	115
Přípojnice mezi praporcem a šroubovým spojem ( $\vartheta_7$ )	15,4	39,9	100
Šroubový spoj vývodu ( $\vartheta_8$ )	16,5	41,0	100

V průběhu měření byla také měřena teplota přívodů ve vzdálenosti 1 m od šroubového spoje přívodu. Rozdíl oteplení mezi přívodem a šroubovým spojem přívodu nesmí během zkoušky přesáhnout 5 K. Při průběhu oteplovací zkoušky se rozdíl oteplení pohyboval kolem 2 K, což danou podmínku splňuje.

Zajímavý poznatek, který byl zjištěn při vyhodnocení oteplovací zkoušky, je, že maximální teplota zkoušených částí odpojovače při jeho jmenovitém proudu nedosahuje ani poloviny maximálních povolených teplot z příslušné normy. Lze tedy konstatovat, že zkoušený odpojovač je velmi dobře dimenzován z hlediska oteplení.

## 8 Zhodnocení pracoviště

Nově sestavené pracoviště bylo podrobena testovacímu měření oteplení na odpojovací dle normativních požadavků, aby bylo možné toto pracoviště řádně zhodnotit. Celkově se bude hodnotit kompletní zpracování pracoviště jako jeho konstrukce, technické zpracování termočlánků, programové řešení zpracování a zobrazení měřených dat a další. Souběžně se také pracoviště bude porovnávat s dalším vybavením v laboratoři, které se používá na měření oteplení. Konkrétně se jedná o měřicí ústřednu AHLBORN ALMEMO 5690-2M.

Jak již bylo zmíněno, většina kostry je vyrobená z hliníkových stavebnicových profilů, zbylé části potom z ocelových L profilů. Celkově je konstrukce pracoviště velmi pevná a mechanicky odolná. Celková hmotnost pracoviště se pohybuje kolem 35 kg. I přesto je pracoviště mobilní, dobře se s ním pohybuje a lze ho snadně přesouvat mezi laboratořemi. Výška pracoviště je kolem 1,2 m, což je příjemná výška pro pohodlnou manipulaci s notebookem na horním patře. V pracovišti je díky vytvořeným plochám (spodní patro, mezipatro a vrchní patro) dostatek místa na nářadí, další přístroje, materiál a mnoho dalších věcí, které jsou nutné pro konkrétní měření, a nemusí se tedy dodatečně donášet. To usnadní přípravu měření a celkově zvyšuje komfort práce při měření s pracovištěm.

Velkou nevýhodou, kterou toto pracoviště má, je nízký počet měřicích vstupů. V pracovišti jsou 3 měřicí ústředny, kdy každá má 16 vstupů. Dohromady je tedy k dispozici 48 měřicích vstupů. Oproti tomu má měřicí ústředna AHLBORN ALMEMO 5690-2M 30 vstupů, kdy tento počet může být zvýšen až na 99. Pokud se budou provádět měření na jednoduchých přístrojích jako jsou jističe či pojistky, je tento počet vstupů dostatečný. Ovšem při měření složitějšího přístroje či zařízení může být 48 měřicích vstupů velmi nedostatečných.

Jak již bylo popsáno v návrhu a realizaci, každá ústředna má 2 skupiny termočlánků po 8 termočláncích o délce 5 m, tedy kromě ústředny 3, která má jednu skupinu zredukovanou na 6 termočlánků, jelikož dva termočlánky z této ústředny se používají k měření teploty okolí. Každá skupina je pomocí stahovací pásky pevně připevněna k PE desce, což zvyšuje ochranu termočlánků před vytrhnutím ze vstupních svorek. Dvě třetiny délky pokrývá husí krk odolný proti UV, který má dva účely. První účel je udržení jedné skupiny termočlánků pohromadě a druhý, důležitější účel, je ochrana termočlánků proti mechanickému poškození, které by mohlo vést ke znehodnocení termočlánku. Použití husího krku tedy opět zvyšuje ochranu termočlánků. Každý termočlánek má štítek, kde je napsané číslo základny a do jakého vstupu je zapojen. Takže si uživatel může snadno zjistit, která data (vstupy) sledovat při měření a při pozdějším zpracování dat. Jelikož mají termočlánky skelnou izolaci, která se snadno na koncích třepí, byly přidány smršťovací bužírky na oba

konce, aby nedocházelo k dalšímu třepení konců izolace. Navíc přidáním bužirek se zabrání i případnému dotyku odizolovaných drátů u svorkovnice ústředny.

Každá termočlávková skupina je v pracovišti umístěna na vlastním háku. Tento způsob umístění způsobuje menší diskomfort při manipulaci se skupinami a také způsobuje menší potíže při vytahování a vracení skupin termočlávků. Termočlávkové dráty dobře drží svůj tvar při zakroucení a tak konce termočlávků je obtížné držet pohromadě a často se tedy zapletou do jiných skupin.

Po skončení kalibrační doby na měřicích ústřednách je nutné tyto základny znovu zkalibrovat. Kalibraci provádí externí firma v kalibrační laboratoři, do které se ústředny posílají. Tudíž je nutné vyjmout PE desku s ústřednami a poslat ji na kalibraci. Samotné vyjmutí PE desky z pracoviště může být trochu obtížné. Deska je totiž uvnitř konstrukce pracoviště, kde je omezený prostor na manipulaci a navíc jsou naproti ústřednám pověšené termočlávkové dráty, které opět snižují manipulační prostor. A proto může být samotný proces vyjmutí ústředny z pracoviště náročný. Tento proces může být ulehčen vyjmutím vstupních svorek s termočlávkem z měřicích ústředny, jelikož po vyjmutí svorek je možné termočlávkové dráty vytáhnout z pracoviště a tím pádem nesnižují prostor uvnitř pracoviště.

Jednou z předností pracoviště je ukládání měřených dat. V případě ústředny AHLBRON ALMEMO 5690-2M se veškerá měřená data ukládají na paměťovou kartu a po ukončení měření se data musí stáhnout z karty. Toto řešení ukládání dat znemožňuje pravidelné stahování dat i případnou kontrolu, zda se data zapisují. Samozřejmě právě měřené hodnoty lze zobrazit na displeji, ale stále nelze ověřit, zda jsou data zapisována. Oproti tomu u ústředny MS55D se data stahují a ukládají do paměti notebooku pravidelně každých 5 minut od zapnutí měřicích ústředny a programu na notebooku. Tím, že se data postupně ukládají do paměti, je možné provést kontrolu zápisu dat a lze tím určitým způsobem předejít znehodnocení měření.

Navíc se data z ústředny MS55D ukládají ve formátu XLS (Excel) na OneDrive a to je další výhodou pracoviště. Ukládání na OneDrive totiž umožňuje sledování a zpracování dat při právě probíhající měření i z jiných zařízení a není tedy nutné být u notebooku na pracovišti. Tím pádem se i usnadní měření, při kterém se z bezpečnostních důvodů nemůže nacházet uživatel v místnosti, kde probíhá měření.

Obrovskou předností tohoto pracoviště je možnost zobrazení dat v programu Comet Database Viewer jak v tabulce, tak i ve formě grafu. Takovéto zobrazení je velmi užitečné u oteplovacích zkoušek elektrických přístrojů, které probíhají do ustálení oteplení (změna teploty po dobu 1 hodiny nesmí být vyšší jak 1 K). Program totiž umožňuje zobrazení dat v jakémkoliv intervalu, takže nejen že si lze zobrazit průběhy teplot v celé délce měření, ale je tu i možnost zobrazení hodinového intervalu. Tudíž je možné zkontrolovat podle průběhu, zda změna teploty je větší nebo menší jak 1 K za 1 hodinu. Nebo lze použít analytickou část programu, kde je napsaná

maximální a minimální hodnota měřené veličiny v daném intervalu.

Menší diskomfort také způsobuje prodlužovací přívod s 6 zásuvkami. Ty jsou totiž natočeny o 45 stupňů. A jelikož jsou napájecí adaptéry notebooku a měřících ústředen poměrně rozměrné, lze využít pouze 5 ze 6 zásuvek. Protože měřící ústředny, Web sensor a switch potřebují ke své funkci neustálé napájení, mají přednost k připojení k prodlužovacímu kabelu. Notebook má v sobě baterii, takže je schopen pracovat po určitou dobu bez připojení k napájení. Jakmile bude kapacita baterie docházet, musí se zapojit do jiné zásuvky než která je v pracovišti.

Byla také zakomponovaná akustická signalizace alarmových stavů. Pokud dojde například k překročení podmínky, které byly nastaveny v kompletním nastavení měřící ústředny, dochází ke akustické signalizaci poruchy. Navíc se u displeje ústředny rozsvítí oranžová LED u měřícího vstupu, který překročil přednastavenou podmínku. Akustická signalizace se také spustí, pokud bude dosažena 75 % kapacita zaplnění paměti ústředny. Tato signalizace alarmových stavů (poruch) je velmi užitečná a snižuje šanci na znehodnocení probíhajícího měření.



## 9 Rozšíření aplikovatelnosti pracoviště

Hlavní funkcí nově vytvořeného pracoviště je měření oteplení elektrických přístrojů. Aby bylo možné použít pracoviště k měření i jiných veličin než jen k měření teplot (oteplení), v následující části budou sepsané možnosti, jak rozšířit aplikovatelnost pracoviště.

První možností rozšíření nejen aplikovatelnosti, ale i možností měření pracoviště, je přidání dalších měřicích ústředn. V současnosti jsou v pracovišti umístěné 3 měřicí ústředny MS55D od firmy Comet a na PE desce, kde jsou umístěné měřicí ústředny, je místo pro další, čtvrtou ústřednu. To by rozšířilo celkový počet měřicích vstupů ze 48 na 64 a bylo by možné použít pracoviště k náročnějšímu měření co se týče množství použitých vstupů.

Přidáním další ústředny by se otevřela možnost měření i jiných veličin než jen teploty, a to za předpokladu, že 3 měřicí ústředny, které jsou již v pracovišti zakomponované, budou používány pouze k měření teploty. Pokud by se opět kupovala ústředna MS55D, je možné, aby vstupy měřily různé veličiny. To, jakou veličinu daný vstup měří, určuje vstupní modul (karta), který se zasouvá do základní desky ústředny. K dispozici jsou vstupní moduly, které měří stejnosměrné napětí a proudy, dále pak vstupní moduly pro měření střídavých napětí a proudů, pro měření odporů, frekvence. Jsou i moduly pro sledování binárních událostí (napětová úroveň) či pro počítání impulsů. Mimo modulů pro měření teploty termočlánky jsou k dispozici i moduly pro kovové odporové snímače. Jednotlivé vstupní moduly jsou v několika provedení, které určují rozsah měřené veličiny, přesnost měření, maximální přetížitelnost vstupu, vstupní odpor a další parametry.

Bylo by tedy možné rozšířit aplikovatelnost pracoviště například vložením vstupních modulů pro měření napětí AC i DC. Nebo pro přesnější měření teploty lze vložit vstupní modul pro měření teploty z kovových odporových snímačů jako Pt100. Možností měření různých veličin je mnoho, a tak při výběru vstupních modulů záleží, zda budou použitelné při konkrétních laboratorních měření.

Další možností rozšíření pracoviště je přidání zařízení na měření proudů. Toto měření je nedílnou součástí nejen při měření oteplení přístrojů, ale i u ostatních měření, kde je potřeba měřit procházející proud. Měřicí ústředny MS55D sice umí měřit AC nebo DC proud po zakoupení příslušného vstupního modulu, avšak pouze do 5 A. Jelikož se měří oteplení i u zařízení, jejichž jmenovitý proud dosahuje až několika stovek A, je rozsah vstupního modulu značně nedostatečný. Tento problém se dá vyřešit zakoupením převodníku nebo měřicího transformátoru proudu, a tím by bylo možné měřit i vyšší proudy pomocí ústředny MS55D.

# Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů dle požadavků laboratoře spínacích přístrojů.

Nejdříve byla provedena rešerše na dotykové a bezdotykové metody měření teploty. Zde bylo popsáno několik různých druhů snímačů - na jakém principu pracují, z jakých materiálů se vyrábí a jaké výhody a nevýhody tyto snímače mají. V následující kapitole bylo popsáno vybavení laboratoře spínacích přístrojů jako měřicí ústředny AHLBORN ALMEMO 5690-2M a termočlánky, které používají k měření oteplení elektrických přístrojů.

Jelikož hlavním účelem pracoviště je měření oteplení, bylo nutné se seznámit s normativními požadavky na zkoušky oteplení různým druhů elektrických přístrojů jako pojistky, jističe, rozváděče, proudové chrániče či vysokonapěťové spínací zařízení. Jednalo se tak například o normu ČSN EN 60947-1 ed.4 - Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení, dále ČSN EN 60947-2 ed.4 - Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe, či ČSN EN 62271-1 ed. 2 - Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 1: Společná ustanovení pro spínací a řídicí zařízení střídavého proudu.

Aby bylo možné vytvořit vhodný návrh pracoviště, bylo nezbytné se nejdříve seznámit s požadavky laboratoře spínacích přístrojů, které jsou kladeny na samotné pracoviště. V této kapitole jsou rozebrány požadavky na jednotlivé části pracoviště - jaké měřicí ústředny použít, rozměry konstrukce pracoviště, sledování měřených hodnot, jaké snímače teploty se v pracovišti použijí a další. Z těchto požadavků byl následně vytvořen kompletní návrh pracoviště pro měření oteplení elektrických přístrojů včetně 3D modelů. V této kapitole jsou postupně řešeny jednotlivé části pracoviště se soupisem rozměrů, materiálů a zařízení, aby bylo možné toto pracoviště dle návrhu sestavit.

Praktická část se věnuje realizaci pracoviště dle vytvořeného návrhu. Konstrukce pracoviště má tvar kvádrů s rozměry 600 mm na délku, 520 mm na šířku a přibližně 1200 mm na výšku. Na spodní straně konstrukce jsou přimontovaná 4 pojezdová kola, aby bylo možné s pracovištěm pohybovat. V horní části pracoviště jsou dva rámy, uvnitř rámu stejně jako ve spodní části konstrukce pracoviště jsou umístěné desky, které vytváří pracovní a úložný prostor pro další materiál a nářadí potřebné k provedení měření. V pracovišti jsou umístěné 3 měřicí ústředny COMET DATA-LOGGER MS55D na vyjmutelné PE desce, aby bylo možné základny jednoduše kalibrovat. Tato deska je zasunutá do drážky uvnitř konstrukce pracoviště a uchycená pomocí šroubů k DIN liště s podpěrami, aby byla pevně uchycena v pracovišti a nedocházelo k nežádoucímu pohybu desky se základnami při přesunu pracoviště. Jako snímače teploty jsou použity termočlánky typu K v počtu 46 kusů, celkově

jsou rozděleny do 6 skupin po 5 m. Přibližně dvě třetiny délky termočlánků jsou pokryty husím krkem odolným proti UV záření. Každý termočlánek je také označen profilovací návlečkou s uvedenou ústřednou a kanálem, do kterého je zapojen. Uvnitř konstrukce pracoviště jsou přimontovány držáky pro každou skupinu termočlánků. Součástí pracoviště jsou také dva termočlánky, jejichž funkcí je měřit teplotu okolí. Na horní desce pracoviště je umístěný notebook, který slouží ke sledování, stahování a zpracování měřených dat z ústředny. Součástí pracoviště je také měřič okolních podmínek od firmy COMET Web sensor T7510. Propojení ústředny, Web sensoru a notebooku pomocí lokální sítě zajišťuje switch. Vytvořené pracoviště je zobrazeno na obr. 6.1.

V následující kapitole je popsáno testovací měření. To bylo provedeno ve formě oteplovací zkoušky u jističe od firmy Siemens se současným vybavením laboratoře spínacích přístrojů na měření oteplení, a také u odpojovače od firmy Ivep s právě vytvořeným pracovištěm. Jednotlivá měření probíhala dle normativních požadavků na zkoušky oteplení pro jističe a odpojovače. Nejvyšší hodnoty oteplení částí jističe jsou uvedeny v tabulce 7.3 a pro jednotlivé fáze odpojovače v tabulce 7.6, 7.7 a 7.8. Průběhy oteplení jednotlivých částí jističe jsou zobrazené na obr. 7.2 a 7.3, průběhy oteplení jednotlivých částí odpojovače pro každou fázi jsou zobrazené na obr. 7.6, 7.7 a 7.8. V případě jističe byly všechny maximální hodnoty oteplení po ustálení pod stanovenou mezí oteplení, jistič tedy vyhověl při zkoušce oteplení. V případě odpojovače byly také všechny maximální hodnoty oteplení po ustálení pod stanovenou mezí oteplení, odpojovač tedy vyhověl při zkoušce oteplení.

Předposlední kapitola se zabývá zhodnocením pracoviště. Zde jsou postupně zhodnoceny jednotlivé části pracoviště včetně jejich předností i jaké výhody a nevýhody mají. Jednou z předností pracoviště je způsob ukládání a zpracování dat. Data se automaticky stahují a ukládají na notebook i OneDrive. Takovéto provedení umožňuje okamžité sledování dat i mimo laboratoř. Navíc je možné si ve speciálním programu zobrazit změřená data i ve formě grafu, což může usnadnit práci při zkoušce oteplení. V poslední kapitole je pak soupis několika budoucích vylepšení, které rozšíří aplikovatelnost pracoviště. Jednou z možností rozšíření pracoviště je přikoupení další měřicí ústředny MS55D od firmy Comet. Tentokrát ale s jinými vstupními moduly, aby bylo možné měřit i jiné veličiny jako proud či napětí než pouze teplotu.

# Literatura

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody.*, Praha: BEN, 2005, 239 stran. ISBN 80-7300-145-4.
- [2] FRADEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors.*, 5th edition. Cham: Springer International Publishing, 2015. ISBN 9783319193021. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-19303-8
- [3] Termočlánek - termoelektrický snímač teploty. *Jakar Electronic* [online]. © 2020 - 2023. [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <<https://www.jakar.cz/advisor/co-je-termoclanek>>
- [4] NOVÁK, Martin. *Technická měření.*, Praha: České vysoké učení technické, 2018, 234 stran. ISBN 978-80-01-06388-0.
- [5] CHUDÝ, Vladimír. *Meranie technických veličín.*, Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 1999, 688 stran. ISBN 80-227-1275-2.
- [6] ČSN EN 60947-1. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení.* Ed 4. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [7] ČSN EN 60947-2. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe.* Ed 4. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [8] ČSN EN 60898-1. *Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací - Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC).* Ed 2. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [9] ČSN EN 60269-1. *Pojistky nízkého napětí - Část 1: Všeobecné požadavky.* Ed 3. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [10] ČSN EN 61009-1. *Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou pro domovní a podobné použití (RCBO) - Část 1: Obecná pravidla.* Ed 3. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [11] ČSN EN 61439-1. *Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení.* Ed 2. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

- [12] *Operating instructions - Data acquisition system ALMEMO® 5690-2M* [online]. Holzkirchen, Germany: Ahlborn, 2013 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <<https://www.manualslib.com/manual/1606625/Ahlborn-Almemo-5690-2m.html>>.
- [13] Měřicí a záznamová ústředna MS55D. *COMET SYSTEM, s.r.o.* [online]. Rožnov pod Radhoštěm, 2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <<https://www.cometsystem.cz/produkty/merici-a-zaznamova-ustredna/reg-ms55d>>.
- [14] ĎAĎO, Stanislav; KREIDL, Marcel. *Senzory a měřicí obvody*, 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 315 s. ISBN 80-01-02057-6.
- [15] Odporový teploměr Pt100 s přechodkou pro obecné použití. *Jakar Electronic* [online]. © 2020 - 2023. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <<https://www.jakar.cz/p/odporovy-teplomer-pt100-s-prechodkou-pro-obecne-pouziti>>
- [16] Termistor 4.7 1.4W 30s, 8.5 x 6 x 13mm EPCOS. *RS Components* [online]. © 2023. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <<https://cz.rs-online.com/web/p/termistory/1857657>>
- [17] SINCLAIR, Ian. *Sensors and Transducers*. 3rd Edition. Oxford: Newnes, 2001. ISBN 9780750649322.
- [18] Co je to pyrometr / Infračervený teploměr? *Jakar Electronic* [online]. © 2020 - 2023. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <<https://www.jakar.cz/advisor/co-je-to-infracerveny-teplomer-pyrometr>>
- [19] Termokamery Fluke TiS55+. *Měřáky*. [online]. © 2023. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <<https://www.meraky.cz/termokamery/termokamery-fluke-tis55/>>
- [20] UNIVERZÁLNÍ MĚŘICÍ ÚSTŘEDNA AHLBORN ALMEMO 5690-2M. *AHLBORN: Přesná německá měřicí technika*. [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <<https://www.ahlborn.cz/univerzalni-merici-ustredna-datalogger-ahlborn-almemo-5690-2m-vicekanalova.html>>
- [21] ČSN EN 62271-1. *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 1: Společná ustanovení pro spínací a řídicí zařízení střídavého proudu*. Ed 2. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

# Seznam příloh

A Měření oteplení jističe Siemens	79
B Měření oteplení odpojovače Ipep	80

## **A Měření oteplení jističe Siemens**

Tabulky naměřených hodnot z měření oteplení jističe Siemens jsou uloženy v Excelu v elektronické podobě.

## **B Měření oteplení odpojovače Ivep**

Tabulky naměřených hodnot z měření oteplení odpojovače Ivep jsou uloženy v Excelu v elektronické podobě.