



# 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

## **POROVNÁNÍ OTEPLENÍ JISTÍCÍHO PŘÍSTROJE NÍZKÉHO NAPĚTÍ PŘI RŮZNÝCH PROVOZNÍCH STAVECH**

COMPARISON OF THE TEMPERATURE-RISE TEST OF LOW VOLTAGE CIRCUIT BREAKER AT DIFFERENT  
OPERATING SETTINGS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**David Kusák**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Lukáš Dostál, Ph.D.**

**BRNO 2023**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

**Student:** David Kusák

**ID:** 229451

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Porovnání oteplení jistícího přístroje nízkého napětí při různých provozních stavech**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Vysvětlete základní principy průmyslového jistícího přístroje nízkého napětí.
2. Popište různé provozní stavy jistícího přístroje se zaměřením na oteplení.
3. Realizujte oteplovací zkoušky na 250A a 630A jističi v různém zapojení vodičů
4. Získané poznatky analyzujte.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Dle doporučení vedoucího.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 29.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Dostál, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

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

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením a porovnáním naměřených hodnot oteplení svorek dvou kompaktních jističů řady 3VA1 při jejich různých provozních stavech. Oteplovací zkouška se provádí při zatížení přístroje jmenovitým proudem a slouží pro ověření, zda některé části přístroje nepřestoupí dovolenou hodnotu oteplení podle příslušné normy. Teoretická část práce je zaměřena na konstrukci, princip činnosti a provozní stavy modulárních a kompaktních jističů. Dále popis všeobecných zkušebních podmínek oteplovací zkoušky. V praktické části této práce bylo provedeno 45 oteplovacích zkoušek a výpočet ztrátového výkonu jističů.

## **Klíčová slova**

jistič, kompaktní jistič, přestup tepla, oteplení, oteplovací zkouška

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the evaluation and comparison of the measured values of terminal temperatures of two molded case circuit breakers of the 3VA1 series in different operating settings. temperature rise test is carried out when the device is loaded with rated current and is used to verify whether some parts of the device do not exceed the permissible warm-up value according to the relevant standard. The theoretical part of the thesis focuses on the design, principle of operation and operating states of modular and molded case circuit breakers. Furthermore, a general description of the test conditions of the temperature rise test is presented. In the practical part of this work, 45 temperature rise testand calculation of the power loss of circuit breakers were carried out.

## **Keywords**

circuit breaker, molded case circuit breaker, heat transfer, temperature rise, temperature rise test

## **Bibliografická citace**

KUSÁK, David. Porovnání oteplení jisticího přístroje nízkého napětí při různých provozních stavech [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/152448>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Lukáš Dostál.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>David Kusák</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>229451</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2022/23</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Porovnání oteplení jisticího přístroje nízkého napětí při různých provozních stavech</i>

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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Dostálovi, Ph.D. za cenné rady a poznatky při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne:

-----  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK .....	10
ÚVOD .....	11
<b>1. JISTIČ.....</b>	<b>12</b>
1.1 MODULÁRNÍ JISTIČ-MCB (MINIATURE CIRCUIT BREAKER) .....	13
1.1.1 Konstrukce.....	13
1.1.2 Princip činnosti.....	13
1.1.3 Vypínací charakteristika .....	14
1.2 KOMPAKTNÍ JISTIČ-MCCB (MOLDED-CASE CIRCUIT BREAKER) .....	15
1.2.1 Rotoaktivní spínací systém .....	16
1.2.2 Termomagnetická nadproudová spoušť-TMTU (Thermal-Magnetic Trip Unit).....	16
1.2.3 Elektronická nadproudová spoušť-ETU (Electronic Trip Unit).....	17
1.3 KOMPAKTNÍ JISTIČE ŘADY 3VA1 .....	18
1.3.1 Konstrukce jističe řady 3VA1 .....	18
1.3.2 Měřený kompaktní jistič 3VA1225-5EF32 .....	19
1.3.3 Měřený kompaktní jistič 3VA1463-5EF32 .....	19
1.3.4 Štítkové parametry měřených kompaktních jističů 3VA1.....	19
1.4 PROVOZNÍ STAVY JISTIČE.....	20
<b>2. OTEPLENÍ .....</b>	<b>22</b>
2.1 PŘENOS TEPLA .....	22
2.1.1 Vedením (kondukcí) .....	22
2.1.2 Prouděním (konvekci) .....	23
2.1.3 Sáláním (radiací).....	23
2.2 OTEPLOVÁNÍ PROUDOVODIČE .....	23
2.2.1 Jev blízkosti (proximity effect).....	25
2.2.2 Skin efekt .....	25
<b>3. OTEPLOVACÍ ZKOUŠKA .....</b>	<b>26</b>
3.1 VŠEOBECNÉ ZKUŠEBNÍ PODMÍNKY STANOVENÉ NORMOU .....	26
3.1.1 Všeobecné požadavky.....	26
3.1.2 Teplota okolního vzduchu.....	26
3.1.3 Měření teploty částí.....	26
3.1.4 Oteplení hlavního obvodu .....	26
3.2 PROVEDENÍ OTEPLOVACÍ ZKOUŠKY .....	30
3.2.1 Příprava jističů .....	30
3.2.2 První způsob zapojení jističe – smyčka (loop) .....	31
3.2.1 Druhý způsob zapojení jističe – most (bridge).....	31
3.2.2 Třetí způsob zapojení jističe – třífázové zapojení.....	32
3.2.3 Úprava zapojení smyčka u jističe 630 A .....	32
3.2.4 Popis měření.....	34
3.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	35
3.3.1 Výsledky oteplovacích zkoušek jističe s jmenovitým proudem 250 A .....	35
3.3.2 Výsledky oteplovacích zkoušek jističe s jmenovitým proudem 630 A .....	39

<b>4.</b>	<b>VÝKONOVÁ ZTRÁTA .....</b>	<b>42</b>
4.1	POŽADAVKY STANOVENÉ NORMOU .....	42
4.1.1	<i>Měření úbytku napětí na jističi .....</i>	42
4.1.2	<i>Způsob výpočtu výkonové ztráty jističe .....</i>	43
4.2	NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	43
4.2.1	<i>Výsledky Výkonové ztráty jističe s jmenovitým proudem 250 A .....</i>	44
4.2.2	<i>Výsledky Výkonové ztráty jističe s jmenovitým proudem 630 A .....</i>	44
<b>5.</b>	<b>POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....</b>	<b>46</b>
5.1	JISTIČ S JMENOVITÝM PROUDEM 250 A.....	46
5.1.1	<i>První způsob zapojení jističe – smyčka (loop) .....</i>	46
5.1.2	<i>Druhý způsob zapojení jističe – most (bridge).....</i>	46
5.1.3	<i>Porovnání naměřených hodnot.....</i>	47
5.2	JISTIČ S JMENOVITÝM PROUDEM 630 A.....	47
5.2.1	<i>První způsob zapojení jističe – smyčka (loop) .....</i>	47
5.2.2	<i>Druhý způsob zapojení jističe – most (bridge).....</i>	48
5.2.3	<i>Třetí způsob zapojení jističe – třífázové zapojení.....</i>	48
5.2.4	<i>Porovnání naměřených hodnot.....</i>	48
<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Konstrukce modulárního jističe.....	13
1.2	Vypínací charakteristiky jističů (převzato z [1]).....	15
1.3	Rotoaktivní vypínací systém .....	16
1.4	Jeden pól termomagnetické nadproudové spouště jističe BC160NT305-125- D (převzato z [1]) ...	17
1.5	Rogowského cívka (převzato z [6]).....	17
1.6	Konstrukce jističe 3VA1 s termomagnetickou nadproudovou spouští (převzato z [7]).....	18
1.7	Pohled na nadproudovou spoušť (vlevo), charakteristika (vpravo) (převzato z [7]).....	19
1.8	Štítkové hodnoty 250 A jističe (vlevo) a 630 A jističe (vpravo).....	20
2.1	Oteplovací křivka (převzato z [1]).....	24
2.2	Příklad obráceného jevu blízkosti (převzato z [14]).....	25
3.1	Umístění termočlánků na svorkách jističe .....	30
3.2	Prodlužovací svorka.....	30
3.3	Schéma zapojení jističe – smyčka (loop).....	31
3.4	Schéma zapojení jističe – most (bridge) .....	31
3.5	Schéma zapojení jističe – třífázové .....	32
3.6	Křivky oteplení svorek jističe před úpravou zapojení smyčka (630 A, AC).....	32
3.7	Úprava zapojení smyčka (630 A, AC).....	33
3.8	Rozmístění pracoviště .....	34
3.9	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (250 A, DC).....	37
3.10	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (250 A, AC).....	37
3.11	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (250 A, DC).....	38
3.12	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (250 A, AC).....	38
3.13	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (630 A, DC).....	39
3.14	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (630 A, AC).....	40
3.15	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (630 A, DC).....	40
3.16	Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (630 A, AC).....	41
3.17	Křivky oteplení svorek jističe, třífázové zapojení (630 A, AC).....	41
4.1	Obecný příklad měření ztráty výkonu (převzato z [10]).....	42
4.2	Příklad měření ztráty výkonu při napájení DC, AC proudem do 400 A (převzato z [10]).....	43

## SEZNAM TABULEK

1.1	Vysvětlení štítkových parametrů kompaktních jističů řady 3VA1 .....	20
3.1	Zkušební měděné vodiče pro zkušební proudy do 400 A včetně (převzato z [9]) .....	28
3.2	Zkušební měděné vodiče pro zkušební proudy od 400 A do 800 A včetně (převzato z [9]).....	29
3.3	Mezní hodnoty oteplení svorek (převzato z [9]).....	29
3.4	Použité měřicí přístroje .....	35
3.5	Hodnoty oteplení svorek u jističe s jmenovitým proudem 250 A .....	35
3.6	Hodnoty oteplení svorek u jističe s jmenovitým proudem 630 A .....	39
4.1	Výkonová ztráta jističe s jmenovitým proudem 250 A .....	44
4.2	Výkonová ztráta jističe s jmenovitým proudem 630 A .....	44

# ÚVOD

Dnešní život si jen těžko představit bez elektrické energie, která je nezbytná pro provoz většiny moderní technologie. Od využití v průmyslu, elektrotechnice, v domácnostech, dokonce i k pohonu dopravních prostředků. S čím dál větším výskytem elektrické energie roste i riziko a nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké nároky na zajištění bezpečnosti osob, zajištění ochrany a spolehlivosti provozu elektrických zařízení.

Jističe jsou klíčové prvky pro zajištění ochrany elektrických zařízení před poškozením, ke kterému by mohlo dojít v důsledku průchodu nadproudu (přetížení, zkrat). V případě nadproudu dochází k samočinnému vypnutí jističe. Pro správné a bezpečné fungování celého obvodu je tedy důležitá správná funkce jističe.

Důsledek špatně navrženého jističe může mít často fatální následky. Proto jsou na správnou funkci a spolehlivost jističů kladeny vysoké požadavky. Výrobci mají povinnost jističe podrobit tzv. typovým zkouškám, které jsou blíže popsány v normě ČSN EN 60947-2. Například se jedná o zkoušky meze vypínání a charakteristiky, dielektrické vlastnosti atd. Mezi tyto typové zkoušky také patří oteplovací zkouška. Vysoké oteplení zařízení má své negativní dopady, zkracuje životnost zařízení, dochází k velkým výkonovým ztrátám (menší účinnost), také může dojít k úplnému selhání přístroje. Z tohoto důvodu jsou normou ČSN EN 60947-1 stanoveny maximální dovolené hodnoty oteplení pro jednotlivé části zařízení, oteplovací zkouška se provádí pro ověření, zda nedojde k překročení těchto dovolených hodnot při zatížení jmenovitým proudem.

Tato bakalářská práce si klade za cíl provést oteplovací zkoušky na dvou kompaktních jističích řady 3VA1 od společnosti OEZ. Následné porovnání a vyhodnocení, jaký vliv na oteplení svorek jističe má souhlasný a nesouhlasný směr proudů ve svorkách jističe (zapojení smyčka, most), druh napájení obvodu (AC, DC) a také velikost jmenovitého proudu (250 A, 630 A).

# 1. JISTIČ

Jistič – mechanický spínací přístroj, který slouží k zapínání, vedení a vypínání jmenovitých proudů za normálních podmínek. V případě nadproudu tedy proudů větších, než je jmenovitý proud (přetížení, zkrat) dochází k samočinnému vypnutí. Tím je zajištěna ochrana elektrických obvodů a zařízení, před případným poškozením nebo zničením. Samočinné vypínání je zajištěno pomocí dvou spouští, elektromagnetické zkratové (časově nezávislá) a tepelné spouště (časově závislá). U některých jističů může být samočinné vypínání zajištěno spouští elektronickou.

Velkou výhodou jističe je možnost jeho opakované použití. Po odstranění závady je možné jistič znovu zapnout, na rozdíl od pojistky, u které dojde ke zničení a je potřeba jí nahradit pojistkou novou. Také díky své jednoduché konstrukci jsou jističe velmi rozšířené, nejčastěji se s nimi setkáváme v domovních elektrických instalacích a také v průmyslových elektroinstalacích.

Mezi charakteristické hodnoty jističe patří, jmenovitý proud, zkratový proud a jmenovité napětí. Jmenovitý proud nám udává hodnotu proudu, který jističem může trvale procházet, aniž by došlo k jeho vypnutí. Zkratový proud, je proud, který je jistič schopen vypnout. Jističe používané v domovních instalacích jsou schopné vypnout zkratový proud 6-25 kA. Velikost zkratového proudu je dána impedancí vypínací smyčky a také fázovým napětím sítě. Hodnota jmenovitého napětí nám udává velikosti napětí sítě, na které je jistič konstruován [1].

Jističe lze tedy rozdělit podle různých kritérií, například podle proudu v obvodu, který jistí (střídavý, stejnosměrný), podle jejich vypínací charakteristiky, která hraje zásadní roli při správné volbě jističe. Dále jističe můžeme rozdělit podle počtu pólů na jednopólové, dvoupólové a třípólové, lze se také setkat s jističi čtyřpólovými, zde v případě poruchy dochází k přerušení nulového vodiče společně s fázovými vodiči.

Jističe lze také rozdělit podle jejich konstrukce, velikosti jmenovitého proudu a jejich použití na tři základní skupiny. Modulární jističe, kompaktní jističe a vzduchové jističe.

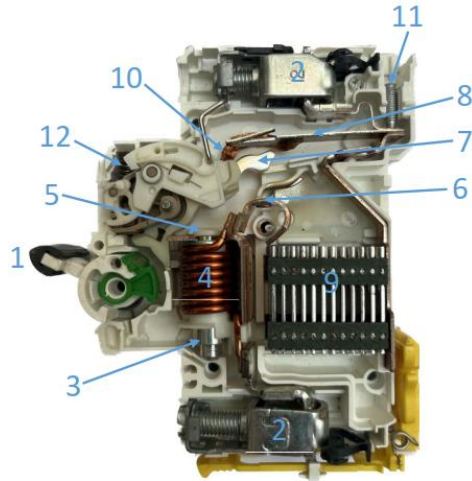
Modulární jističe – MCB (Miniature Circuit Breaker). Nejčastěji jsou využívány v domovní a podobné elektroinstalaci. Z tohoto důvodu jsou konstruovány s ohledem na laickou obsluhu. Rozsah jmenovitých proudů zde obvykle bývá  $I_n = 0,2 \div 125$  A.

Kompaktní jističe – MCCB (Molded-Case Circuit Breaker). Jedná se o jističe využívané v průmyslových aplikacích, například k jištění transformátorů, motorů atd. Z hlediska konstrukce zde nosný prvek jističe tvoří plastová základna. Rozsah jmenovitých proudů je zde  $I_n = 1 \div 1600$  A.

Vzduchové jističe – ACB (Air Circuit Breaker). Jsou zabudované v ocelovém rámu, který tvoří jejich nosnou základnu. Rozsah jmenovitých proudů je zde  $I_n = 100 \div 6300$  A [1].

## 1.1 Modulární jistič-MCB (Miniature Circuit Breaker)

### 1.1.1 Konstrukce



Obrázek 1.1 Konstrukce modulárního jističe

- |                             |                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1. Ovládací páčka           | 7. Pohyblivý kontakt                |
| 2. Připojovací svorky       | 8. Tepelná spoušť (bimetal)         |
| 3. Jádru cívky              | 9. Zhášecí komora                   |
| 4. Elektromagnetická spoušť | 10. Pohyblivý vodič                 |
| 5. Úderník                  | 11. Regulační šroub tepelné spouště |
| 6. Pevný kontakt            | 12. Vypínací pružina                |

### 1.1.2 Princip činnosti

Jistič je přes připojovací svorky (2) připojen k napájecímu obvodu a k jištěnému obvodu. Za normálního (bezporuchového stavu) prochází proud přes přívodní svorku, která je dále spojena s tepelnou spouští (8). Na tepelné spoušti je připevněný pohyblivý vodič (10), který je také spojen s pohyblivým kontaktem (7), který dosedá na kontakt pevný (6). Proud dále protéká přes cívku (4) až na vývodní svorku jištěného obvodu.

Přemístěním ovládací páčky (1) do pozice zapnuto dochází k napnutí vypínací pružiny (12), která tlačí pohyblivý kontakt (7) do vypnuté polohy. Zámek vypínače působí proti síle této pružiny a drží kontaktní systém v zapnuté poloze. Zámek lze vybavit ručně ovládací páčkou, a nebo samočinně elektromagnetickou (zkratovou) spouští (4) nebo tepelnou spouští (8) [2].

Tepelná spoušť (bimetal) (8), je tvořena páskem, který má dvě různé vrstvy kovu, s různým teplotním koeficientem roztažnosti. Při přetížení prochází jističem větší proud

než je jmenovitý. Bimetal se tedy začne ohřívat a po určitém čase dojde k jeho ohybu, směrem ke kovu s menším teplotním koeficientem. Tento pohyb zapůsobí na zámek vypínače, dojde tedy k uvolnění západky spínacího mechanismu, který uvolní vypínací pružinu (12) a dojde k oddálení pohyblivého kontaktu (7) od pevného kontaktu (6). Rychlost, jakou tepelná spoušť zareaguje závisí na velikosti nadproudu, obvykle se jedná o dobu v řádech desítek sekund až desítek minut. K nastavení citlivosti tepelné spouště slouží regulační šroub (11), k tomuto nastavení dochází již při výrobě.

V případě zkratu nám bude jističem procházet mnohonásobně větší proud, než je proud jmenovitý. V tomhle případě zareaguje elektromagnetická (zkratová) spoušť (4). Cívku elektromagnetické (zkratové) spouště, bude procházet zkratový proud, který vytvoří dostatečně silné magnetické pole, to přitáhne do vně cívky feromagnetické jádro (3) na jehož konci je úderník (5). Úderník udeří do zámku. Vypínací pružina (12) se uvolní a oddálí pohyblivý kontakt (7) od pevného kontaktu (6). Dojde k vybavení (vypnutí) jističe. Zkratová spoušť reaguje v řádech milisekund.

V případě nadproudu tedy jistič vybaví (vypne). Při oddalování kontaktů, kterými prochází proud, dochází ke vzniku elektrického oblouku, abychom ochránili jistič před zničením musíme oblouk uhasit. K jeho zhášení je jistič vybaven zhášecí komorou (9), ta je tvořena mezi sebou izolovanými destičkami. Oblouk vzniklý mezi kontakty je elektromagnetickým polem vháněn směrem ke zhášecí komoře, dojde tedy ke zvětšení jeho délky. Ve zhášecí komoře se poté rozdělí na více menších částí, dojde ke zvýšení jeho odporu a oblouk uhasne.

### 1.1.3 Vypínací charakteristika

Při volbě jističe je hlavním kritériem jeho vypínací charakteristika, při nesprávné volbě může docházet k nežádoucímu vybavení, v horších případech jistič nemusí vybavit vůbec.

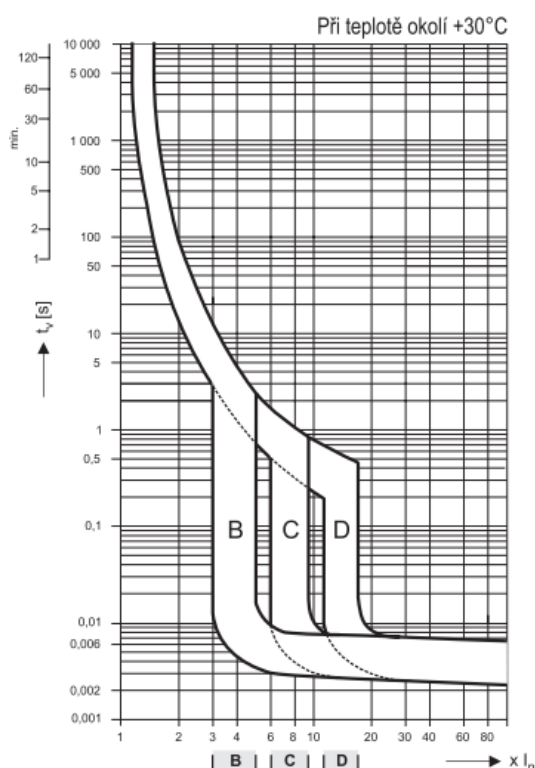
Vypínací charakteristika udává závislost celkového vypínacího času jističe na proudu procházejícím jističem. Tento proud se udává v násobcích jmenovitého proudu  $I_n$ . Charakteristiky jsou udávány pro „studený“ stav jističe, nebyl tedy předtím nijak zatěžován. V případě předchozího zatížení se doba následného vypnutí pro stejně velký proud zkracuje. Jedná se o „tepelnou paměť“ bimetalu.

Vypínací charakteristika je ohraničena pomocí dvou mezí. První mez je smluvený nevypínací proud, při tomto proudu jistič nesmí vybavit. Druhou mez tvoří smluvený vypínací proud, jedná se o proud při, kterém musí dojít k vybavení jističe do smluvené doby.

Charakteristika B má nejčastější využití v domácnostech, pro jištění zásuvkových a světelných okruhů. Je tedy určena pro zařízení, u kterých nedochází k velkým proudovým nárázům. Vypíná při 3 až 5násobku jmenovitého proudu  $I_n$ . Číslo nacházející se za písmenem B (např. B10, B16), značí hodnotu jmenovitého proudu, který jističem může procházet a nedojde k vybavení.

Charakteristika C se nejčastěji využívá k jištění elektrických zařízení, u kterých dochází k proudovým nárazům. Může se jednat o motory, velké skupiny žárovek, popřípadě výbojek. Vypíná při 5 až 10násobku jmenovitého proudu  $I_n$ .

Charakteristika D slouží k jištění zařízení s velkými proudovými rázy. Nejčastěji se jedná o jištění transformátorů, dvoupólových motorů. Vypíná při 10 až 20násobku jmenovitého proudu  $I_n$  [1], [3].



Obrázek 1.2 Vypínací charakteristiky jističů (převzato z [1])

## 1.2 Kompaktní jistič-MCCB (Molded-Case Circuit Breaker)

Jistič je tvořen plastovou základnou, která je zároveň i jeho nosný prvek. Slouží pro všeobecné použití, od jištění transformátorů, motorů, vedení až po jištění rozváděčů. Rozsah jmenovitých proudů je od  $I_n = 1 \div 1600$  A.

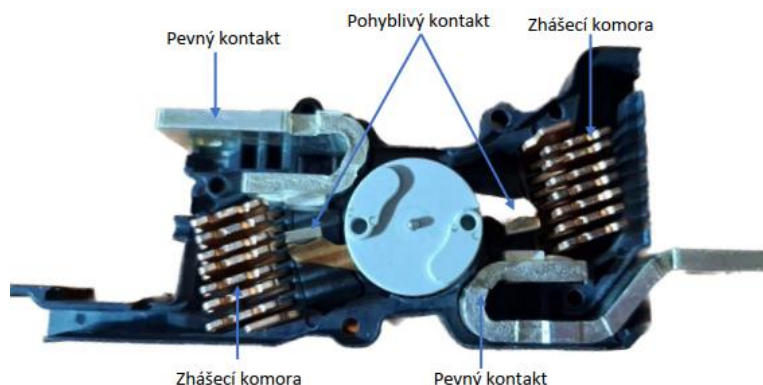
Jednotlivé kompaktní jističe se mohou lišit provedením nadproudové spouště a také kontaktního systému. Nadproudová spoušť může být provedena jako elektronická, termomagnetická anebo jako kataraktová spoušť (s tou se dnes až na výjimky nesetkáme). Základem elektronické nadproudové spouště je mikroprocesor, proudový transformátor, některé generace jističů využívají i Rogowského cívku. Termomagnetická spoušť je podobně jako u modulárního jističe tvořena bimetalem a elektromagnetickou spouští. Kontaktní systém poté může být proveden jako jednokontaktní spínací systém nebo více kontaktní (rotoaktivní) systém [1].

### 1.2.1 Rotoaktivní spínací systém

Rotoaktivní systém byl vynalezen společností Schneider Electric a stal se učebnicovým příkladem pro ostatní firmy. Hlavním přínosem byla jeho silná schopnost omezovat zkratové proudy. Vlastnostmi se zde přibližuje k pojistce.

V každém pólu jističe je umístěna komora s rotačním kontaktem. V případě zkratu nastane elektromagnetické odpuzování pohyblivého kontaktu od pevného a dojde tedy k přerušení proudové dráhy ve dvou místech. K vypnutí dochází v řádu jednotek milisekund to znamená, že omezení zkratového proudu nastane již v první půlperiodě. Zkratový proud vytvoří dva elektrické oblouky v sérii, které jsou silou smyčky vháněny do zhášecích komor, ty jsou tvořeny roštem s feromagnetických plechů. Ve zhášecí komoře se oblouk rozdělí mezi plechy na menší oblouky, zde dochází k jeho ochlazení a deionizaci.

Mezi jeho výhody spadá vysoká omezovací schopnost až do 150 kA, menšímu opotřebení jističe v případě zkratu a také lepší mez selektivity mezi jističi [4].



Obrázek 1.3 Rotoaktivní vypínací systém

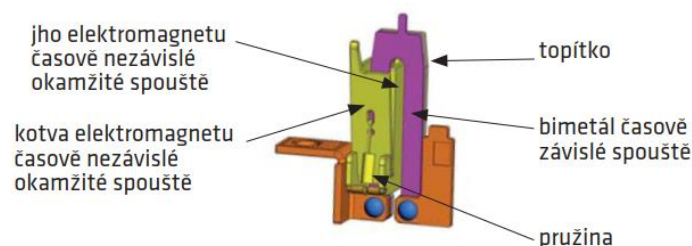
### 1.2.2 Termomagnetická nadproudová spoušť-TMTU (Thermal-Magnetic Trip Unit)

U kompaktních jističů tvoří elektromagnetická a tepelná spoušť jeden celek. Vinutí samotného elektromagnetu je realizováno jedním závitem. Tento závit tvoří samotným bimetalem, ke kterému je paralelně připojené topítko (obrázek 1.4).

Spouště jednotlivých pólů jističe jsou mezi sebou propojeny tepelnou lištou. V liště se nachází samostavitelný kolík. Kotoučem tepelné spouště měníme vzdálenost bimetalu od kolíku a tím regulujeme jmenovitý proud jističe. V případě přetížení se bimetal ohne a zatlačí na lištu, pomocí vahadla je tento pohyb převeden na západku střadače, která uvolní zámek jističe a dojde k jeho vypnutí. Elektromagnetickou spoušť regulujeme kotoučem okamžité spouště, natažením pružiny měníme její sílu. V případě zkratu dojde k přitažení kotvy ke jhu elektromagnetu a systém samočinně vypne.

Jističe s termomagnetickou spouští lze použít pro jištění střídavých i stejnosměrných obvodů [1], [5].





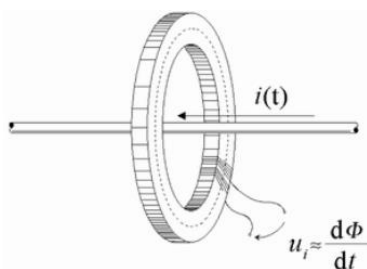
Obrázek 1.4 Jeden pól termomagnetické nadproudové spouště jističe BC160NT305-125- D (převzato z [1])

### 1.2.3 Elektronická nadproudová spoušť-ETU (Electronic Trip Unit)

Elektronická nadproudová spoušť se skládá z desky plošných spojů, mikroprocesoru a proudových transformátorů. Primární vinutí proudového transformátoru je tvořeno jedním závitem a sekundární vinutí mnoha závitů. Transformátory jsou umístěné na každém pólu jističe a měří procházející proud a také napájí elektronickou spoušť. Mikroprocesor následně vypočítá skutečnou efektivní hodnotu proudu a v případě nadproudu vyšle signál k vypnutí jističe.

Dále se také můžeme setkat s elektronickou nadproudovou spouští vybavenou proudovým transformátorem a Rogowského cívkou. V tomto případě transformátor slouží jako zdroj elektrické energie pro napájení spouště a měření je zde zajištěno Rogowského cívkou [1].

Rogowského cívka se využívá pro přesné měření proudu. Konstrukčně se jedná o toroidní cívkou bez feromagnetického jádra, která je umístěna kolem měřeného vodiče a tvoří tedy sekundární vinutí. Střídavý proud v měřeném vodiči vytváří střídavé magnetické pole, které indukuje napětí v cívce. Výstupní signál z Rogowského cívky je napětí, nikoliv proud, jak je tomu u proudového transformátoru. Změřené napětí je elektronicky integrováno. Integrovaný výstup odpovídá průběhu měřeného proudu [6].



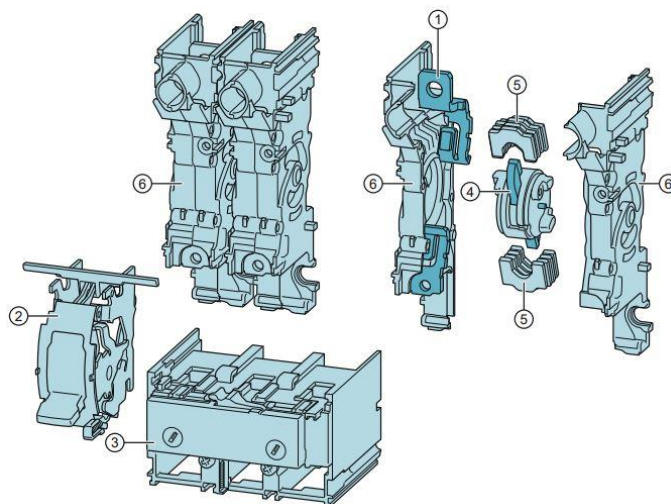
Obrázek 1.5 Rogowského cívka (převzato z [6])

Elektronické spouště lze tedy využít pouze ve střídavých obvodech. Ve výjimečných případech se můžeme setkat s elektronickou spouští využitou ve stejnosměrném obvodu, měření proudu je zde provedeno pomocí Hallovy sondy.

## 1.3 Kompaktní jističe řady 3VA1

Firmou OEZ nám byli poskytnuty dva kompaktní jističe řady 3VA1, jedná se o moderní nástupce řady jističů Modeion. Jističe 3VA1 jsou určeny k jednoduchým aplikacím, jako je ochrana kabelů, vedení. Bližší informace o technických parametrech poskytnutých jističů se nachází v podkapitolách 1.3.2 a 1.3.3.

### 1.3.1 Konstrukce jističe řady 3VA1



Obrázek 1.6 Konstrukce jističe 3VA1 s termomagnetickou nadproudovou spouští (převzato z [7])

- |                                       |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Hlavní kontakty                    | 4. Rotační kontaktní systém     |
| 2. Spínací mechanismus jističe        | 5. Plechy ve zhášecích komorách |
| 3. Termomagnetická nadproudová spoušť | 6. Pólová kazeta                |

Jističe této řady disponují termomagnetickou nadproudovou spouští TM240 (3), jsou tedy vhodné pro jištění střídavým i stejnosměrných obvodů. Každý pól jističe má vlastní termomagnetickou nadproudovou spoušť a pólovou kazetu. Pólová kazeta se skládá z hlavních kontaktů jističe (1), rotačního kontaktního systému (4) a ze zhášecích komor, které se skládají z plechů (5). Rotační kontaktní systém s dvojitým přerušením oblouku zajišťuje rychlé omezení zkratového proudu. Dochází tedy k výraznému snížení mechanického a tepelného namáhání jističe.

Jistič je dále vybaven spínacím mechanismem, který má tři polohy. Poloha ON značí že kontakty jističe jsou sepnuté, poloha TRIP udává informaci, že došlo k vypnutí jističe pomocí termomagnetické nadproudové spouště a hlavní kontakty jističe se nachází v rozepnuté poloze. Třetí poloha OFF značí že hlavní kontakty jističe jsou rozepnuté.

Dále jsou jističe opatřeny funkcí nezávislého vybavení. Tato funkce zajišťuje rozepnutí hlavních kontaktů jističe v případě průchodu nadproudu i přestože by byla páka držena v poloze ON [7].

### 1.3.2 Měřený kompaktní jistič 3VA1225-5EF32

Základní informace o jističi se nachází v jeho objednací kód (3VA1225-5EF32). První tři znaky nám označují řadu jističe (3VA), čtvrtý znak udává informaci, jakým typem nadproudové spouště je jistič vybaven. Číslo 1 označuje termomagnetickou nadproudovou spoušť. Dále číslo 2 označuje velikost jmenovitého proudu (250 A), tuto informaci nám taktéž označuje dvojčíslí 25.

Číslo za pomlčkou (5) označuje jmenovitou mezní zkratovou vypínací schopnost  $I_{cu}$  (55 kA), při napájení AC 380 ÷ 415 V. Mezní vypínací zkratová schopnost je vyjádřena jako efektivní hodnota předpokládaného zkratového proudu, který musí být jistič schopen vypnout, ale dále nemusí být schopen již další funkce. Písmena EF nám označují že tento konkrétní jistič není vybaven chráněním N vodiče. Číslo 3 označuje počet pólů jističe a poslední číslo 2 označuje způsob připojení (pasy nebo kabelová oka) [7].



Obrázek 1.7 Pohled na nadproudovou spoušť (vlevo), charakteristika (vpravo) (převzato z [7])

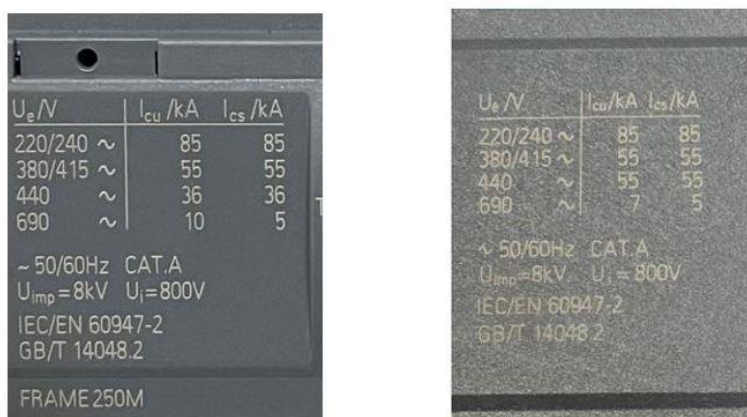
Termomagnetická nadproudová spoušť TM240, kterou je jistič vybaven umožňuje také regulaci tepelné a zkratové spouště. Na samotném jističi se nachází kotouče pro jejich regulaci (obrázek 1.7). Tepelná spoušť  $I_r$  má čtyři cejchované hodnoty (175, 200, 225 a 250 A), regulace tepelné spouště je možná až o 30 %. Zkratová spoušť  $I_i$  má šest cejchovaných hodnot a lze jí nastavit od 5 až 10násobku jmenovitého proudu  $I_n$  [7].

### 1.3.3 Měřený kompaktní jistič 3VA1463-5EF32

Druhý poskytnutý jistič se pouze liší hodnotou jmenovitého proudu, která je 630 A. Jako u předchozího jističe má tepelná spoušť  $I_r$  čtyři cejchované hodnoty (440, 500, 570 a 630 A). Zkratová spoušť  $I_i$  má pět cejchovaných hodnot a lze jí nastavit od 4 až 8násobku jmenovitého proudu  $I_n$ .

### 1.3.4 Štítkové parametry měřených kompaktních jističů 3VA1

Pro správnou aplikaci jističe je potřeba znát jeho vlastnosti. Ty jsou dány jednotlivými parametry a dalšímu údaji, které lze najít v technickém listu od výrobce. Na přední straně jističe jsou uvedené štítkové parametry (obrázek 1.8). V tabulce 1.1 je vysvětlen význam jednotlivých údajů.



Obrázek 1.8 Štítkové hodnoty 250 A jističe (vlevo) a 630 A jističe (vpravo)

Tabulka 1.1 Vysvětlení štítkových parametrů kompaktních jističů řady 3VA1

Údaj	Zkratka	Vysvětlivka
Jmenovité pracovní napětí	$U_e$	Hodnota napětí stanovená výrobcem. Vztahují se na ní příslušné zkoušky
Jmenovité impulzní výdržné napětí	$U_{imp}$	Vrcholová hodnota napěťového impulzu předepsaného tvaru a polaroty, kterou je elektrický přístroj schopen vydržet bez poruchy
Jmenovité izolační napětí	$U_i$	Hodnota napětí, ke kterému se vztahují dielektrická zkušební napětí a povrchové cesty
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost	$I_{cu}$	Efektivní hodnota zkratového proudu, který musí být jistič schopen vypnout, ale dále nemusí být schopen již další funkce
Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost	$I_{cs}$	Efektivní hodnota zkratového proudu, který musí být jistič schopen vypnout, po zkoušce musí být schopen vést jmenovitý proud a vypínat přetížení
Frekvence	$f$	Frekvence jištěného obvodu

## 1.4 Provozní stavy jističe

Dle normy ČSN EN 13306 je provozní stav definován, jako stav, kdy objekt funguje, tak jak je požadováno [8]. U jističe tedy za provozní stavy s ohledem na jeho oteplení lze považovat jmenovitý stav, přetížení a zkrat.

Při jmenovitém stavu jističem může nepřetržitě procházet jmenovitý proud, při kterém nedojde k vypnutí jističe. Za nepřetržitý provoz považuje provoz bez přerušení po

dobu delší, než je 8 hodin, může se tedy jednat o dny, měsíce, či roky. Hodnota jmenovitého proudu je stanovena výrobcem. Při průchodu jmenovitého proudu dochází k oteplení určitých částí jističe (svorek, ruční ovládací páčky atd.). Normou ČSN EN 60947-2. jsou stanovené maximální dovolené hodnoty oteplení pro tyto jednotlivé části [9].

Při přetížení jističem prochází malé násobky jmenovitého proudu. Bimetal musí být navržen tak, aby při průchodu 1,3násobku jmenovitého proudu došlo k dostatečnému průhybu a k vybavení za kratší dobu, než je doba smluvená. Smluvený nevypínací proud je popsán tak, že při průchodu 1,05ti násobku jmenovitého proudu nesmí dojít k vybavení za dobu kratší, než jsou 2 hodiny. Následně se velikost proudů zvýší na 1,3ti násobek jmenovitého proudu. Jedná se o smluvený vypínací proud, k vybavení jističe musí dojít do 2 hodin [10].

Při zkratu prochází jističem velké násobky jmenovitého proudu. Jistič je tedy vystaven dynamickým a tepelným účinkům elektrického proudu. Dochází k nadměrnému oteplení, je tedy důležité, aby samotný přístroj a jeho tepelná spoušť odolala těmto tepelným účinkům, v opačném případě by došlo k selhání přístroje a jeho následnému poškození.

## 2. OTEPLENÍ

### 2.1 Přenos tepla

Teplo  $Q$  (J) je veličina dějová, jedná se o vnitřní energii vázanou na hmotu, která se šíří z místa svého vzniku do okolí, dohází tedy k přenosu tepelné energie. Charakteristikou tepelného stavu je teplota. Teplota je stavová veličina a určuje nám měřítko celkové vnitřní energie látky. Lze tedy konstatovat, že v tomto časovém okamžiku má těleso určitou teplotu. Teplota může být vyjádřena v různých teplotních stupnicích, například Celsiova, Kelvinova.

K přenosu energie dochází za účelem vytvoření stabilního stavu. Stabilní systém vyžaduje pro svojí existenci jenom minimální energii, z hlediska existence je stabilita pro systém velmi výhodná. K šíření tepla dochází třemi způsoby, vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). Nejčastěji dochází k šíření všemi třemi způsoby naráz, akorát jeden z nich bude převládat [11], [12].

#### 2.1.1 Vedením (kondukcí)

K přenosu tepla vedením dochází především v pevných látkách. Podstatou tohoto přenosu je výměna vnitřní energie mezi mikročásticemi hmoty. Částice s vyšší kinetickou energií předávají část své kinetické energie bezprostředně sousedícím částicím s menší kinetickou energií, to vnímáme jako přenos tepla. Dochází tedy ke srážkám částic. Množství předané energie závisí na počtu vnitřních nosičů energie a pravděpodobnosti vzniku srážky.

Množství tepla, které přejde přes jeden metr čtvereční plochy za vteřinu udává hustota tepelného toku  $q$ . Fourierův zákon vedení tepla má tvar (2.1) a říká že teplo se šíří z místa o vyšší teplotě do místa s nižší teplotou [11], [12].

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Kde  $q$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) je hustota tepelného toku. Tepelná vodivost je  $\lambda$  ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ) jedná se o schopnost daného materiálu vést teplo, čím je tepelná vodivost větší tím lépe materiál vede teplo. Tepelná vodivost se liší podle druhu látky, závisí jednak na struktuře materiálu, objemu, vlhkosti atd. Dobrou tepelnou vodivost mají kovy ta je způsobena primárně volnými elektrony. Záporné znaménko značí že tepelný tok má opačný směr než teplotní gradient. Teplotní gradient  $\frac{dT}{dx}$  ( $\text{K}/\text{m}$ ) značí že velikost hustoty tepelného toku bude větší čím prudčeji bude stoupat teplota.

V praktických aplikacích (výpočet tepelných ztrát) uvažujeme přenos tepla vedením přes materiál o známé tloušťce  $l$  (m), ploše  $S$  ( $\text{m}^2$ ) o známém teplotním rozdílu  $\Delta\theta$  (K) a také času  $t$  (s). Výpočet poté vychází ze vztahu (2.2) [11], [12].

$$Q = \lambda \cdot \frac{l}{S} \cdot \Delta\vartheta \cdot t \quad (2.2)$$

### 2.1.2 Prouděním (konvekci)

K přenosu tepla prouděním dochází pomocí přesunu tekutiny (plyn, kapalina) na níž je vázané určité teplo. Například vzduch v blízkosti zdroje tepla se ohřívá, zvýší se tedy jeho vnitřní energie, dojde k jeho rozpínání a zmenšení hustoty. Poté zahřátý vzduch vstoupá vzhůru a jeho místo nahradí vzduch s větší hustotou (chladnější). Tento proces se nazývá volné proudění (přirozená konvekce).

Dále se můžeme setkat s nuceným prouděním, to je způsobené vnějším zdrojem tlaku, například ventilátor. Nucené proudění lze rozdělit do dvou stavů, laminární a turbulentní. V případě laminárního (pomalé) proudění jsou proudnice rovnoběžné a nedochází k jejich mísení. U turbulentního (rychlého) proudění dochází k náhodnému, neuspořádanému pohybu, dochází ke vzniku vírů [13].

### 2.1.3 Sáláním (radiací)

K sálání dochází vyzařováním elektromagnetických vln o různé vlnové délce do prostoru. Při šíření tepla je nejvýznamnější infračervené záření. K tomuto vyzařování dochází nepřetržitě z povrchu každého tělesa. Vyzařování je silnější, čím je těleso teplejší. Vnitřní energie tělesa klesá o hodnotu, kterou těleso vyzařilo do prostoru.

Při dopadu této energie na jiné těleso dochází k částečnému odrazení, propuštění a také pohlcení. Pohlcená energie zvyšuje teplotu daného tělesa. Odražená a propuštěná energie je dále pohlcována jinými tělesy. Každé těleso tedy nepřetržitě vyzařuje ale také nepřetržitě pohlcuje, propouští a odráží [13].

Schopnost materiálu vyzařovat je emisivita  $\varepsilon$  (-), je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k absolutně černému tělesu při stejné teplotě. Absolutně černé těleso je ideální těleso, které pohltí všechnu dopadající energii. Emisivita nabývá hodnot ( $\varepsilon < 1$ ). Velikost emisivity se odvíjí od teploty, barvy povrchu atd. Tedy matný povrch bude mít emisivitu větší než lesklý povrch [2].

## 2.2 Oteplování proudovodiče

Elektrický proud je hlavním zdrojem tepla v elektrických zařízeních. Jednotlivé zařízení a jejich části mají normou stanovenou dovolenou hodnotu oteplení. Vzniklé teplo vlivem proudu lze rozdělit na část, která se ochlazením odvede do okolí a část, která zůstane v tělesu a zvyšuje jeho teplotu (dochází k oteplení) [2].

$$R \cdot I^2 dt = \alpha_0 \cdot A \cdot \Delta\vartheta dt + cV \cdot d\vartheta \quad (2.3)$$

Kde  $Q = R \cdot I^2 dt$  jsou tepelné ztráty, které vznikají v časovém okamžiku  $dt$  ve vodiči s odporem  $R$  ( $\Omega$ ) kterým prochází elektrický proud  $I$  (A). Část, která je ochlazováním odvedena do okolí je  $\alpha_0 A \Delta\vartheta dt$ . Kde  $\alpha_0$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) je součinitel přestupu tepla, udává, kolik tepla (W), přestoupí z povrchu o ploše ( $m^2$ ) pokud je rozdíl teploty povrchu a okolí 1 K. Část, která zvyšuje teplotu tělesa je  $cV \cdot d\vartheta$ . Objemová tepelná kapacita je  $c$  ( $J/m^3 \cdot K$ ) udává množství tepla, které musí být dodáno objemu daného tělesa a došlo ke zvýšení jeho teploty o 1 K [2].

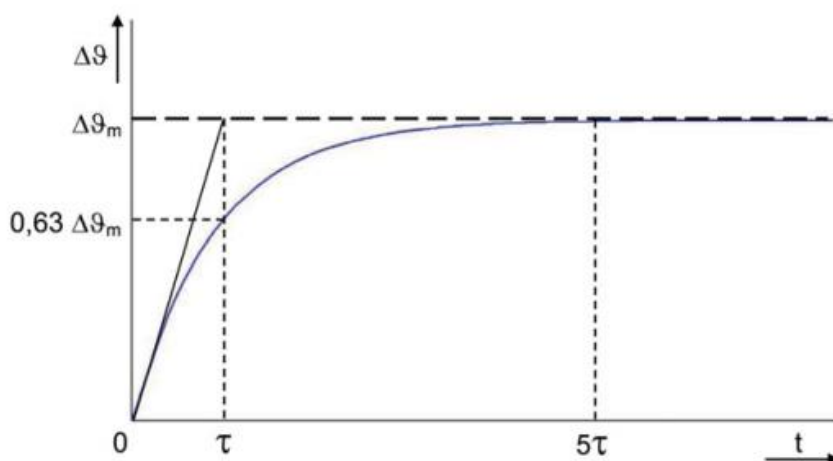
Budeme-li vycházet z rovnice (2.3) lze odvodit vztah pro závislost okamžité hodnoty oteplení povrchu tělesa [2].

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_m (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.4)$$

Kde  $\Delta\vartheta_m$  (K) je ustálená hodnota oteplení,  $t$  (s) je čas a  $\tau$  (s) je časová oteplovací konstanta, ta definuje dobu, za kterou by došlo k ustálení oteplení  $\Delta\vartheta_m$ , kdyby nedocházelo k odvodu tepla z povrchu tj.  $\alpha_0 = 0$  (všechno teplo by sloužilo pouze ke zvyšování teploty).

Tyto vztahy platí jen za ideálních podmínek (odpor vodiče se nemění se zvyšující se teplotou, vodič má konstantní průřez, proudová hustota je rozložena ve vodiči rovnoměrně atd.)

Průběh oteplení má tvar exponenciály s počáteční hodnotou v nule (obrázek 2.1). Křivka má na svém počátku strmý nárůst, poté stále pomaleji roste až k hodnotě ustáleného oteplení  $\Delta\vartheta_m$  (K), k tomuto ustálení by došlo za dobu  $t \rightarrow \infty$ . V takovém případě by docházelo k tomu že, všechno teplo vznikající ve vodiči by se předávalo jeho povrchem do okolí. Je tedy patrné že skoková změna proudu nevyvolá skokovou změnu oteplení [2].



Obrázek 2.1 Oteplovací křivka (převzato z [1])



Teplota v proudovodných částech nevzniká jen důsledkem přímých ztrát, u přístrojů napájených střídavým proudem vzniká také vlivem vířivých proudů, a to zejména v ocelových částech okolo vodičů [2].

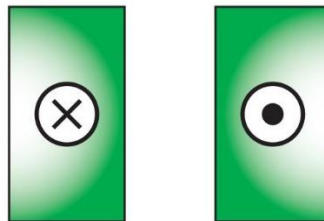
Velikost tepelných ztrát také mohou nepřímo ovlivňovat různé jevy, které zvětšují odpor proudovodných částí. Mezi takové jevy patří jev blízkosti a skin efekt.

### 2.2.1 Jev blízkosti (proximity effect)

Bude-li soustavou vodičů procházet střídavý proud bude docházet ke vzájemnému ovlivňování. Reakcí magnetických polí sousedících vodičů bude docházet k nerovnoměrnému rozložení proudové hustoty ve vodiči. Vlivem nerovnoměrného rozložení proudové hustoty v průřezu vodiče bude proud procházet pouze v úzké vrstvě, to má za následek zvětšení jeho odporu. Nárůstem odporu dojde ke zvětšení jouleových ztrát a povrch vodiče se bude více zahřívat.

Jev blízkosti lze rozdělit dle rozložení proudové hustoty. Bude-li směr proudu v sousedních vodičích souhlasný, pak se jedná o přímý jevu blízkosti (direct proximity effect). Zde bude proudová hustota ve vnějších okrajových částech vodiče vyšší.

Při opačném směru proudu v sousedních vodičích se zvýšení proudové hustoty projeví na vnitřních plochách vodičů (obrázek 2.2), jedná o obrácený jev blízkosti [14].



Obrázek 2.2 Příklad obráceného jevu blízkosti (převzato z [14])

### 2.2.2 Skin efekt

Podobně jako u jevu blízkosti se skin efekt projevuje u vodičů napájených střídavým proudem. Kolem vodiče vzniká střídavé pole, které ve vodiči vytváří vířivé proudy. Vlivem reakce vířivých proudů s procházejícím proudem, dochází k vytlačování elektrického proudu směrem k povrchu vodiči [14]. Vliv skin efektu roste se zvětšující se frekvencí, průřezem vodiče a vodivostí materiálu. V sítích s hodnotou kmitočtu 50 Hz je jeho vliv zanedbatelný.

## 3. OTEPLOVACÍ ZKOUŠKA

### 3.1 Všeobecné zkušební podmínky stanovené normou

V normě ČSN EN 60947-1 ed. 4 jsou stanoveny jednotlivé požadavky a podmínky, které musí být dodrženy při provádění jednotlivých zkoušek na zařízeních. Dále se tedy zaměříme na požadavky a podmínky, které musí být dodrženy při provádění oteplovací zkoušky.

#### 3.1.1 Všeobecné požadavky

Dle normy musí být zkouška nebo sled zkoušek proveden na novém a čistém zařízení. Zkoušené zařízení musí být namontováno na vlastním stojanu, popřípadě na stojan z ekvivalentního provedení. Zařízení musí být připojena jako v normální provozu a zkoušky musí být provedeny se stejným druhem proudu jako v uvažovaném provozu. Šroubové svorky musí být utaženy kroutícím momentem odpovídající pokynům výrobce, popřípadě hodnotám uvedených v normě [9].

#### 3.1.2 Teplota okolního vzduchu

V poslední čtvrtině oteplovací zkoušky musí být teplota okolního vzduchu zaznamenávána alespoň dvěma snímači (např. termočlánky, teploměry). Jejich rozmístění by mělo být zhruba ve vzdálenosti jeden metr od zařízení a v polovině jeho výšky. Je důležité, aby snímače byli chráněni před prouděním vzduchu a sáláním tepla, které by měli za následek náhlé změny teploty. Při provádění zkoušky musí být teplota okolního vzduchu v rozmezí od +10 °C do +40 °C, nesmí dojít ke změně teploty okolního vzduchu o více než 10 K [9].

#### 3.1.3 Měření teploty částí

*U jiných částí, než jsou cívky, se musí teplota různých částí měřit vhodnými snímači teploty umístěnými v těch bodech, které s největší pravděpodobností dosáhnou nevyšší teploty: tyto body musí být uvedeny ve zkušebním protokolu.*

*Snímače teploty nesmí významným způsobem ovlivňovat oteplení. Musí být zajištěna dobrá tepelná vodivost mezi snímači teploty a povrchem zkoušené části. Zkouška musí probíhat po dobu, která je dostatečná k tomu, aby oteplení dosáhlo ustálené hodnoty, nikoliv však déle než 8 hodin. Předpokládá se, že ustáleného stavu je dosaženo, když změna není větší než 1 K za hodinu (převzato z [9]).*

#### 3.1.4 Oteplení hlavního obvodu

*Na konci zkoušky nesmí oteplení různých částí hlavního obvodu překročit hodnoty uvedené v tabulce 3.3, pokud není stanoveno v příslušné normě výrobku jinak. V závislosti na hodnotě jmenovitého proudu musí být při zkoušce použito jedno*

*z následujících uspořádání.*

*i) Pro hodnoty zkušebního proudu do 400 A včetně:*

*a) Zapojení musí být provedeno jednožilovými měděnými vodiči s izolací PVC a průřezy uvedenými v tabulce 3.1*

*b) Spoje musí být vedeny ve volném prostoru a musí být rozmístěny v přibližně stejné vzdálenosti, jako je vzdálenost mezi svorkami.*

*c) U jednofázových nebo vícefázových zkoušek musí být minimální délka jakéhokoliv provizorního spoje od svorky zařízení k jiné svorce, nebo ke zkušebnímu zdroji, nebo ke společnému bodu při zapojení do hvězdy činit:*

*- 1 m pro průřezy do 35 mm<sup>2</sup> včetně (nebo AWG2);*

*- 2 m pro průřezy větší než 35 mm<sup>2</sup> (nebo AWG 2);*

*ii) Pro hodnoty zkušebního proudu větší než 400 A, avšak nepřesahující 800 A:*

*a) Zapojení musí být provedeno jednožilovými měděnými vodiči s izolací PVC a průřezy uvedenými v tabulce 3.2 nebo ekvivalentními měděnými pasy uvedenými v tabulce tak, jak je doporučeno výrobcem*

*b) Spoje podle bodu a) musí být rozmístěny v přibližně stejné vzdálenosti, jako je vzdálenost mezi svorkami. Měděné pasy musí být natřeny matnou černou barvou. Několik paralelních vodičů připojených k jedné svorce musí být spojeno do jednoho svazku a uspořádáno tak, aby vzduchové mezery mezi nimi činily přibližně 10 mm. Několik měděných pasů připojených k jedné svorce musí být rozmístěno ve vzdálenostech přibližně rovných tloušťce pasu. Jestliže rozměry stanovené pro pasy nejsou vhodné pro svorky, nebo nejsou dostupné, je možné použít jiné pasy o přibližně stejných průřezích a přibližně stejných nebo menších chladicích plochách. Měděné vodiče nebo pasy nesmí být z vrstveného materiálu*

*c) U jednofázových nebo vícefázových zkoušek musí minimální délka jakéhokoliv provizorního spoje od svorky zařízení k jiné svorce nebo ke zkušebnímu zdroji činit 2 m. Minimální délka ke společnému bodu při zapojení do hvězdy může být zmenšena na 1,2 m (převzato z [9]).*

Tabulka 3.1 Zkušební měděné vodiče pro zkušební proudy do 400 A včetně (převzato z [9])

Rozsah zkušebního proudu <sup>a</sup>		Velikost vodiče <sup>b,c,d</sup>	
A		mm <sup>2</sup>	AWG/kcmil
0	8	1,0	18
8	12	1,5	16
12	15	2,5	14
15	20	2,5	12
20	25	4,0	10
25	32	6,0	10
32	50	10	8
50	65	16	6
65	85	25	4
85	100	35	3
100	115	35	2
115	130	50	1
130	150	50	0
150	175	70	00
175	200	95	000
200	225	95	0000
225	250	120	250 kcmil
250	275	150	300 kcmil
275	300	185	350 kcmil
300	350	185	400 kcmil
350	400	240	500 kcmil

<sup>a</sup> Hodnota zkušebního proudu musí být větší, než je první hodnota v prvním sloupci, a menší než druhá hodnota v tomto sloupci nebo rovná druhé hodnotě v tomto sloupci.

<sup>b</sup> Pro usnadnění zkoušení a se souhlasem výrobce mohou být použity menší vodiče než ty, které jsou uvedeny pro stanovení zkušební proud.

<sup>c</sup> V tabulkách jsou uvedeny alternativní velikosti pro vodiče v metrické soustavě a v soustavě AWG/kcmil a pro pásy v milimetrech a palcích.

<sup>d</sup> Pro daný rozsah zkušebního proudu může být použitý kterýkoliv ze dvou specifikovaných vodičů.

Tabulka 3.2 Zkušební měděné vodiče pro zkušební proudy od 400 A do 800 A včetně (převzato z [9])

Rozsah zkušebního proudu <sup>a</sup> A		Vodiče <sup>b,c,d</sup>			
		Metrické		kcmil	
		Počet	Velikost mm <sup>2</sup>	Počet	Velikost kcmil
400	500	2	150	2	250
500	630	2	185	2	350
630	800	2	240	3	300

<sup>a</sup> Hodnota zkušebního proudu musí být větší než, je první hodnota v prvním sloupci, a menší než druhá hodnota v tomto sloupci nebo rovná druhé hodnotě v tomto sloupci.

<sup>b</sup> Pro usnadnění zkoušení a se souhlasem výrobce mohou být použity menší vodiče než ty, které jsou uvedeny pro stanovení zkušební proud.

<sup>c</sup> V tabulkách jsou uvedeny alternativní velikosti pro vodiče v metrické soustavě a v soustavě AWG/kcmil a pro pasy v milimetrech a palcích.

<sup>d</sup> Pro daný rozsah zkušebního proudu může být použitý kterýkoliv ze dvou specifikovaných vodičů.

Tabulka 3.3 Mezní hodnoty oteplení svorek (převzato z [9])

Materiál svorky	Mezní hodnoty oteplení <sup>a,c</sup> K
Holá měď	60
Holá mosaz	65
Pocínovaná měď nebo mosaz	65
Postříbřená nebo poniklovaná měď nebo mosaz	70
Jiné kovy	b

<sup>a</sup> Použijí-li se v provozu vodiče podstatně menší, než je uvedeno v tabulkách 4-1 a 4-2, mohlo by to mít za následek vyšší teploty svorek a vnitřních částí, a takové vodiče se nemají používat bez souhlasu výrobce, neboť vyšší teploty by mohly způsobit poruchu zařízení

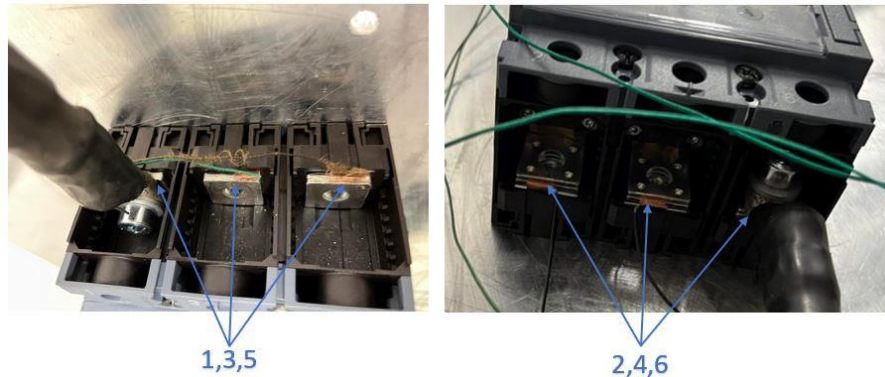
<sup>b</sup> Mezní hodnoty oteplení mají být založeny na provozních zkušenostech nebo životních zkouškách, avšak nemají překročit 65 K.

<sup>c</sup> Normy výrobků mohou stanovit odlišné hodnoty pro různé zkušební podmínky a pro přístroje malých rozměrů, avšak nepřesahující hodnoty uvedené v této tabulce o více než 10 K

## 3.2 Provedení oteplovací zkoušky

### 3.2.1 Příprava jističů

Pro měření teploty svorek jističe byly použity termočlánky. Termočlánky byly umístěny na přívodní (1,3,5) a vývodní (2,4,6) svorky jističe (obrázek 3.1).



Obrázek 3.1 Umístění termočlánků na svorkách jističe

Pro připojení kompaktního jističe s jmenovitým proudem 250 A, byly zvoleny jednožilové jemně laněné měděné vodiče o průřezu  $120 \text{ mm}^2$ , s PVC izolací. Velikost vodiče byly zvolena v souladu s normou (tabulka 3.1)

Na kompaktní jistič s jmenovitým proudem 630 A, byly namontovány prodlužovací svorky (obrázek 3.2). Prodlužovací svorky umožňují připojení dvou vodičů na jednu svorku. Jistič byl připojen dvěma vodiči o velikosti  $185 \text{ mm}^2$ , velikost vodiče byla zvolena z dle normy (tabulka 3.2).



Obrázek 3.2 Prodlužovací svorka

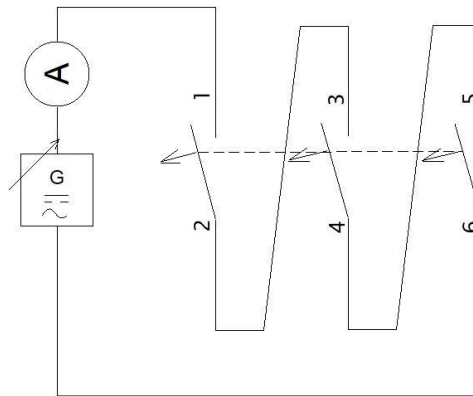
Prodlužovací svorky byly utaženy momentovým klíčem na moment 25 Nm, dle pokynů, které udává výrobce.

Pro připojení jističů byly zvoleny tři způsoby zapojení. Dva způsoby zapojení jističů byly provedeny jednofázově. Třetí způsob zapojení je třífázový, tento způsob zapojení byl proveden pouze na jističi s jmenovitou 630 A.

### 3.2.2 První způsob zapojení jističe – smyčka (loop)

Zapojení smyčka – loop (obrázek 3.3), jedná se o jednofázové zapojení, které je provedeno připojením laboratorního zdroje proudu na přívodní svorku 1. Z vývodní svorky 2 byl vodič připojen na přívodní svorku 3, to samé platí i pro vývodní svorku 4 a přívodní svorku 5.

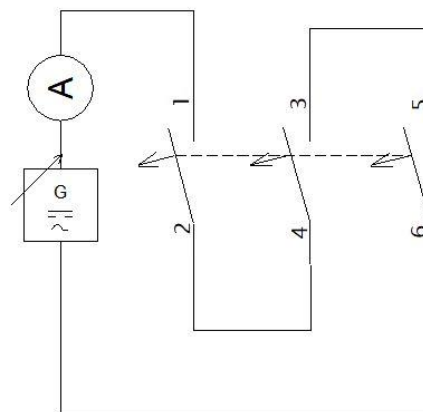
Zapojením smyčka bylo dosaženo toho, že proudy protékající svorkami jističe mají souhlasný směr. Tímto způsobem lze realizovat zapojení jističů ve stejnosměrných obvodech.



Obrázek 3.3 Schéma zapojení jističe – smyčka (loop)

### 3.2.1 Druhý způsob zapojení jističe – most (bridge)

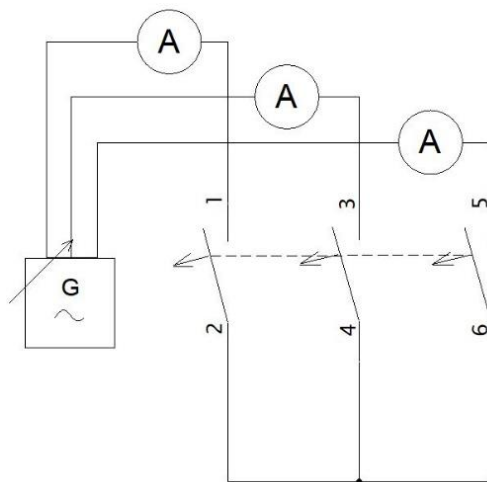
Zapojení most – bridge (obrázek 3.4), jedná se o jednofázové zapojení, které je provedeno připojením laboratorního zdroje proudu na přívodní svorku 1. Vývodní svorka 2 je poté připojena k vývodní svorce 4, taktéž přívodní svorka 3 a 5 jsou mezi sebou propojené. V případě tohoto zapojení protéká proud ve svorkách 1,2,5,6 opačným směrem než proud ve svorkách 3 a 4.



Obrázek 3.4 Schéma zapojení jističe – most (bridge)

### 3.2.2 Třetí způsob zapojení jističe – třífázové zapojení

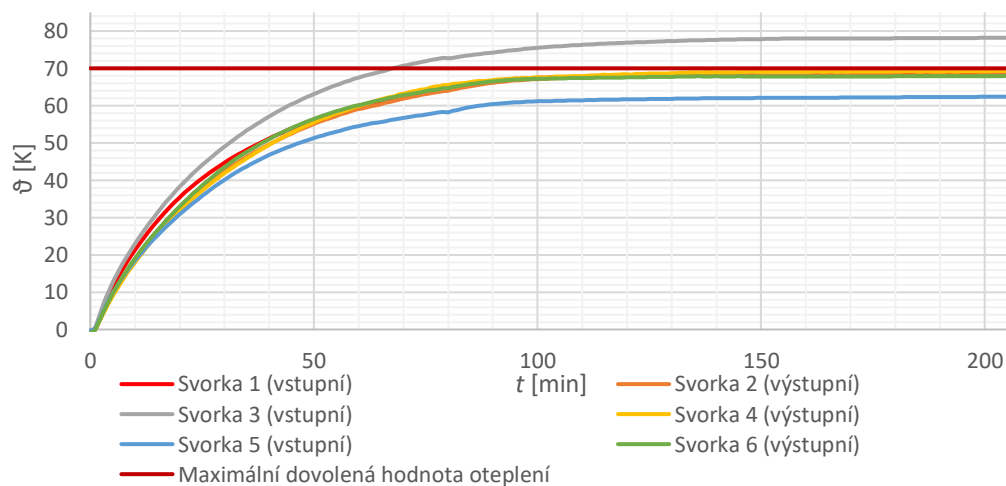
Oteplovací zkoušky pro třífázové zapojení jističe byly provedeny pouze na kompaktním jističi s jmenovitou hodnotou proudu 630 A.



Obrázek 3.5 Schéma zapojení jističe – třífázové

### 3.2.3 Úprava zapojení smyčka u jističe 630 A

U jističe s jmenovitou hodnotou proud 630 A, docházelo při napájení střídavým proud u zapojení smyčka, k nadměrnému oteplení svorek jističe. U svorky 3 (vstupní) hodnota oteplení dosáhla hodnoty 78,2 K (obrázek 3.6). Maximální dovolená hodnota oteplení je stanovena normou na 70 K, k překročení této hodnoty došlo o více než 8 K.



Obrázek 3.6 Křivky oteplení svorek jističe před úpravou zapojení smyčka (630 A, AC)



Vodiči při zapojení smyčka byly vedeny za hliníkovou podložkou na, které byl umístěn jistič. Vodiče tedy vytvořili pomyslnou cívku kolem hliníkové podložky. Vlivem střídavého proudu, který měl ve vodičích stejný směr docházelo ke vzniku vířivých proudů. Vířivé proudy ohřívali hliníkovou podložku i samotný stojan. Toto nadměrné oteplení podložky mělo negativní vliv na samotné oteplení jističe, který se od podložky ohříval.

Po této oteplovací zkoušce byla provedena úprava zapojení. Bylo provedeno přepojení vodičů tak že nebyly vedeny za hliníkovou podložkou ale před ní (obrázek 3.7).



Obrázek 3.7 Úprava zapojení smyčka (630 A, AC)

Nový způsob vedení vodičů před podložkou měl za následek, že vliv vířivých proudů byl z části omezen. Oteplení svorek jističe dosahovalo stále velkých hodnot, ale nebyla překročena maximální dovolená hodnota oteplení. Lepší způsob řešení toho problému bylo použití podložky z materiálu s menší vodivostí.

### 3.2.4 Popis měření



Obrázek 3.8 Rozmístění pracoviště

- |                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| 1. Měřený jistič            | 4. Měřicí ústředna |
| 2. Laboratorní zdroj proudu | 5. Převodník       |
| 3. Multimetr                | 6. Čidlo proudu    |

V souladu s normou ČSN EN 60947-1, bylo celkem provedeno 45 oteplovacích zkoušek. Oteplovací zkoušky byly provedeny na dvou nových a čistých kompaktních jističích řady 3VA1. Samotný kompaktní jistič (1) byl v průběhu oteplovacích zkoušek namontován na vlastním kovovém stojanu. Při napájení stejnosměrným proudem byl jistič připojen k laboratornímu zdroji proudu NES (2), v případě napájení střídavým proudem byl zvolen transformátor proudu CTR2. Pro přesné nastavení napájecí hodnoty proudu, byl v obvodu zapojen multimetr (3). Všechny použité měřicí přístroje jsou vypsány v tabulce 3.4.

Měření teploty okolního vzduchu bylo provedeno pomocí tří termočlánků umístěných dle normy, tedy jeden metr od jističe a v polovině jeho výšky. Oteplovací zkoušky byly prováděny v uzavřené místnosti, tímto způsobem bylo zamezeno proudění vzduchu a tím pádem i náhlé změny teploty okolního vzduchu.

Termočlánky umístěné na svorkách jističe byly společně s termočlánky zaznamenávajícími teplotu okolního vzduchu připojeny do měřicí ústředny Almeno (4), která v minutových intervalech zaznamenávala jejich hodnotu. Mezní dovolená hodnota oteplení svorek je stanovena normou. Z příslušné tabulky 3.3, převzaté z normy, byla určena maximální hodnota oteplení 70 K. Pro zaznamenávání proudu bylo k měřicí ústředně přes převodník (5) zapojeno čidlo proudu IT700-S Ultrasrab (6). K zaznamenávání proudu docházelo taktéž v minutových intervalech.

Na každém druhu zapojení i napájení bylo provedeno pět na sobě nezávislých oteplovacích zkoušek. Opalovací zkoušky při třífázovém zapojení bylo provedeny pouze na jističi s jmenovitou hodnotou 630 A. Mezi jednotlivými oteplovacími zkouškami byl dostatečný časový rozestup, aby došlo k ochlazení jističe na teplotu okolí. K urychlení ochlazení jističe byl použit stojanový ventilátor.

Tabulka 3.4 Použité měřicí přístroje

Použité přístroje	Výrobce	Typ	Výrobní číslo
Transformátor proudu	KPB Intra	CTR2	000000317339-0000
Zdroj proudu	NES	SDO 28A1K	000000320955-0000
Multimetr	Fluke	289	001000174924-0000
Měřicí ústředna	AHLBORN	56902	000000317335-0000
Čidlo proudu + převodník	LEM	IT700-S Ultrasrab	1152660009
Modul měření AC napětí	AHLBORN	Almeno ZA 9903-AB3	001000290618-0000
Modul měření DC napětí	AHLBORN	Almeno ZA 9900-AB3	001000274750-0000

### 3.3 Naměřené hodnoty

#### 3.3.1 Výsledky oteplovacích zkoušek jističe s jmenovitým proudem 250 A

Na jističi s jmenovitým proudem 250 A bylo celkem provedeno 20 oteplovacích zkoušek. Pro dosažení vyšší přesnosti měření bylo vždy provedeno pět oteplovacích zkoušek na každém druhu zapojení (smyčka, most) a napájení (DC, AC). Z těchto získaných hodnot byl pro jednotlivé svorky proveden výpočet průměrné hodnoty oteplení a nejistoty typu A. Tyto vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.5. Pro lepší orientaci v tabulce jsou hodnoty barevně odlišeny podle velikosti hodnoty oteplení.

Tabulka 3.5 Hodnoty oteplení svorek u jističe s jmenovitým proudem 250 A

Jmenovitý proud 250 A			Průměrné hodnoty oteplení svorek + nejistota typu A [K]					
Způsob zapojení	Způsob napájení	Pořadí zkoušky	Pól 1. fáze		Pól 2. fáze		Pól 3. fáze	
			Svorka 1 (vstup)	Svorka 2 (výstup)	Svorka 3 (vstup)	Svorka 4 (výstup)	Svorka 5 (vstup)	Svorka 6 (výstup)
Smyčka	DC	1	48,5 ± 0,3	56,1 ± 0,4	60,3 ± 0,3	54,8 ± 0,3	47,3 ± 0,3	49,3 ± 1,8
	AC	2	49,0 ± 0,2	56,5 ± 0,3	60,9 ± 0,3	55,3 ± 0,5	47,4 ± 0,2	47,9 ± 1,1
Most	DC	4	46,9 ± 1,1	55,0 ± 0,9	53,3 ± 1,6	60,6 ± 0,7	46,8 ± 0,8	47,0 ± 0,7
	AC	3	46,1 ± 0,6	54,2 ± 0,6	52,5 ± 0,7	60,4 ± 0,6	45,5 ± 0,4	46,5 ± 0,3

Příklad výpočtu průměrné hodnoty oteplení a nejistoty typu A, pro jistič zapojený do smyčky (obrázek 3.3) při napájení stejnosměrným proudem. Z naměřených hodnot byla odečtena naměřená hodnota teploty okolního vzduchu, tímto způsobem byly získány hodnoty oteplení svorek pro jednotlivé časové okamžiky.

Při jednotlivých měření dosáhla svorka 1 (vstup) tyto hodnoty oteplení: 48,6 K; 47,8 K; 49,1 K; 48,5 K; 48,5 K. Z těchto hodnot byl následně proveden výpočet průměrné hodnoty oteplení podle vztahu (3.1).

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \vartheta_i = \frac{1}{5} \cdot (48,6 + 47,8 \dots + 48,5) = 48,5 \text{ K} \quad (3.1)$$

Kde  $n$  [-] je počet měření a  $\vartheta_i$  [K] jsou naměřené hodnoty oteplení. Pro zjištění rozptylu hodnot okolo výsledku měření se využívají nejistoty měření. Zde byla zvolena standardní nejistota typu A, která se stanovuje z opakovaných měření, které jsou prováděny za stejných podmínek. Standardní nejistota typu A je způsobena náhodnými vlivy, jejíž příčiny jsou obecně považovány za neznáme. Se zvyšujícím se počtem měření velikost této nejistoty klesá. Výpočet směrodatné odchylky aritmetického průměru  $s_{\bar{\vartheta}}$  se provede pomocí vztahu (3.2) [15].

$$s_{\bar{\vartheta}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\vartheta_i - \bar{\vartheta})^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{(48,6-48,5)^2 + (47,8-48,5)^2 \dots + (48,5-48,5)^2}{5 \cdot (5-1)}} = 0,2 \quad (3.2)$$

Kde  $\vartheta_i$  [K] je naměřené hodnota oteplení svorky,  $\bar{\vartheta}$  [K] je vypočtená průměrná hodnota oteplení svorky a  $n$  [-] je počet provedených měření.

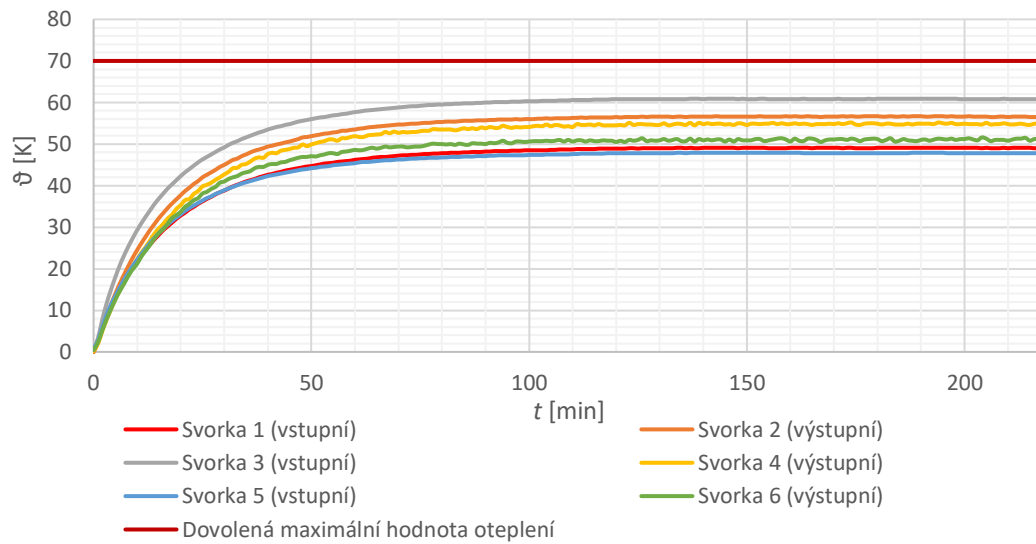
Počet opakovaných měření  $n$  byl menší jak 10, z tohoto důvodu je potřeba výsledek korigovat koeficientem  $k_s$ . Pro  $n = 5$  je hodnota  $k_s = 1,4$  (hodnota koeficientu byla převzata z literatury [15]).

$$u_A(\vartheta) = s_{\bar{\vartheta}} \cdot k_s = 0,2 \cdot 1,4 = 0,3 \text{ K} \quad (3.3)$$

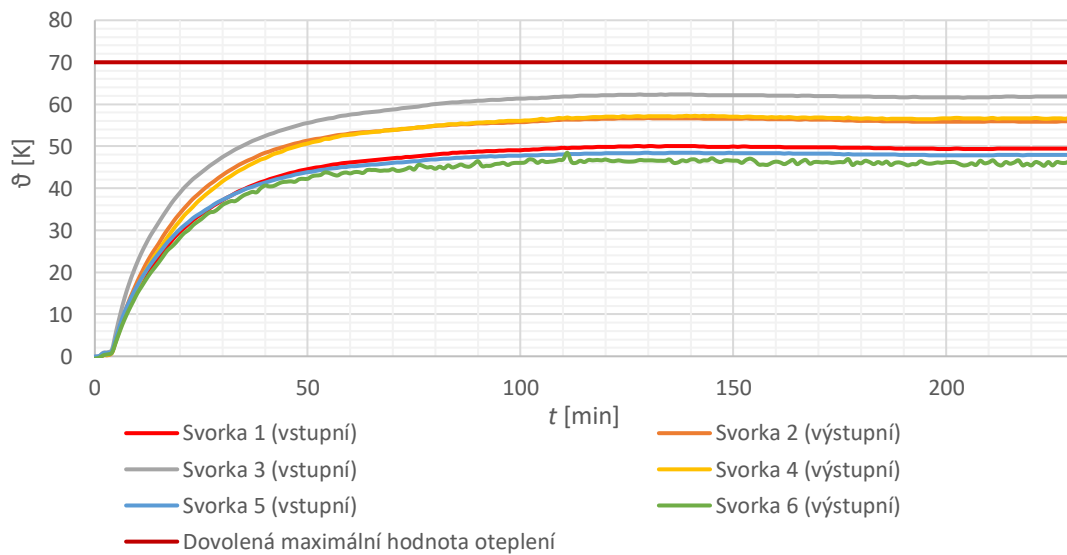
Průměrná hodnota oteplení a nejistota měření pro svorky 1 (vstup) je  $48,5 \pm 0,3 \text{ K}$ . Stejný způsob výpočtu byl také aplikován na zbylé naměřené hodnoty oteplení svorek.

Z hodnot oteplení byly dále sestrojeny křivky oteplení svorek pro jednotlivé druhy zapojení a napájení. Pro lepší přehlednost bude dále pro každý druh zapojení a napájení uveden pouze jeden průběh oteplení. Zbylé průběhy oteplení se nachází v příloze (Příloha A - až Příloha D -).

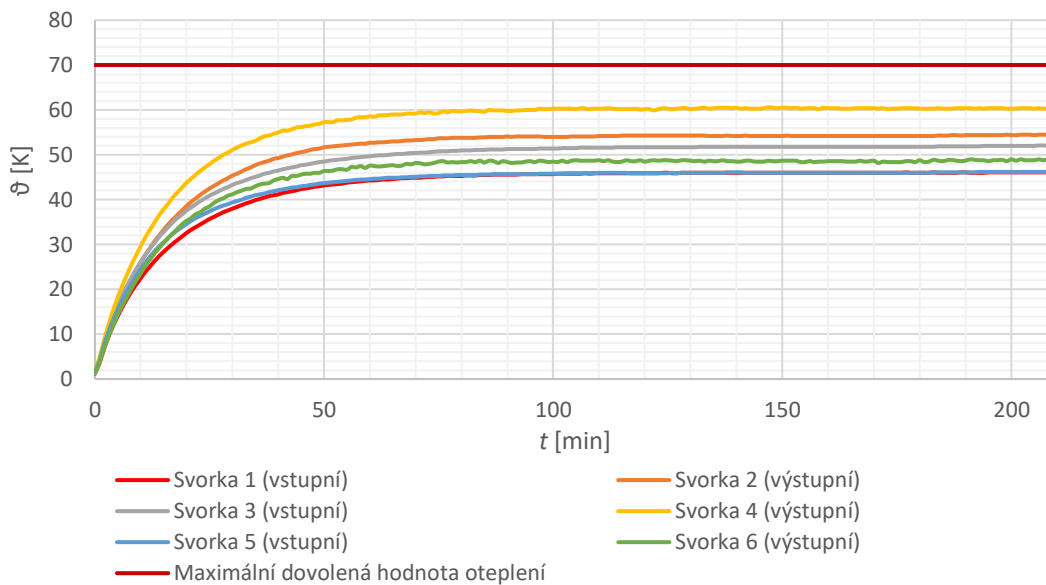
Pro první zapojení jističe – smyčka, docházelo u obou druhů napájení k největšímu oteplení svorky 3 (vstup).



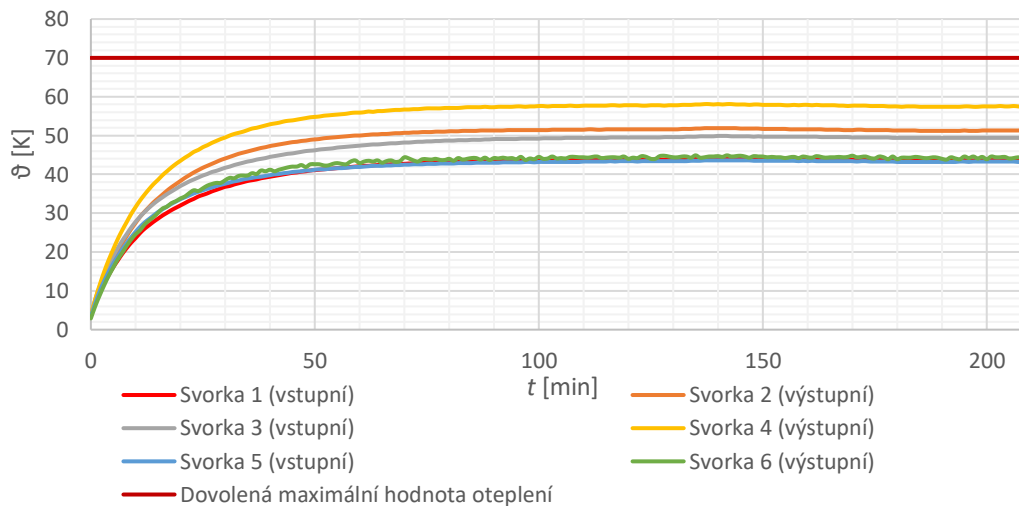
Obrázek 3.9 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (250 A, DC)



Obrázek 3.10 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (250 A, AC)



Obrázek 3.11 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (250 A, DC)



Obrázek 3.12 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (250 A, AC)

U zapojení most docházelo k nejvyššímu oteplení svorky 4 (výstupní) a to v případě obou druhů napájení. Žádná oteplovací křivka svorky nepřesáhla dovolené maximální oteplení 70 K (obrázek 3.9, 3.10, 3.11, 3.12). Na základě naměřených výsledků lze konstatovat že jistič vyhověl oteplovací zkoušce dle normy ČSN EN 60947-1 ed. 4.

### 3.3.2 Výsledky oteplovacích zkoušek jističe s jmenovitým proudem 630 A

Naměřené hodnoty na jističi s jmenovitým proudem 630 A, byly zpracovány stejným způsobem jako u jističe s jmenovitým proudem 250 A.

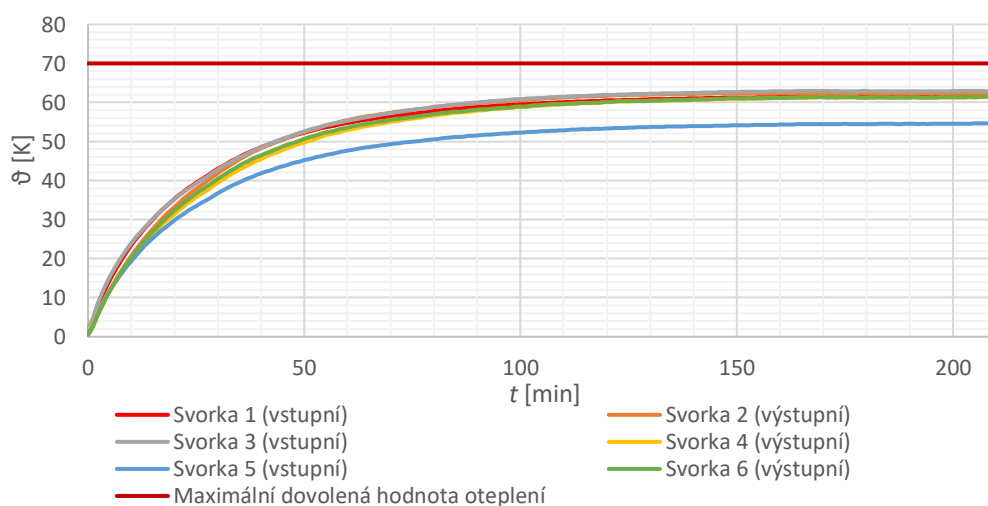
U tohoto jističe byly navíc provedeny oteplovací zkoušky pro třífázové zapojení, a to z důvodu, aby bylo možné provést měření úbytků napětí na svorkách v souladu s příslušnou normou (viz kapitola 4).

Tabulka 3.6 Hodnoty oteplení svorek u jističe s jmenovitým proudem 630 A

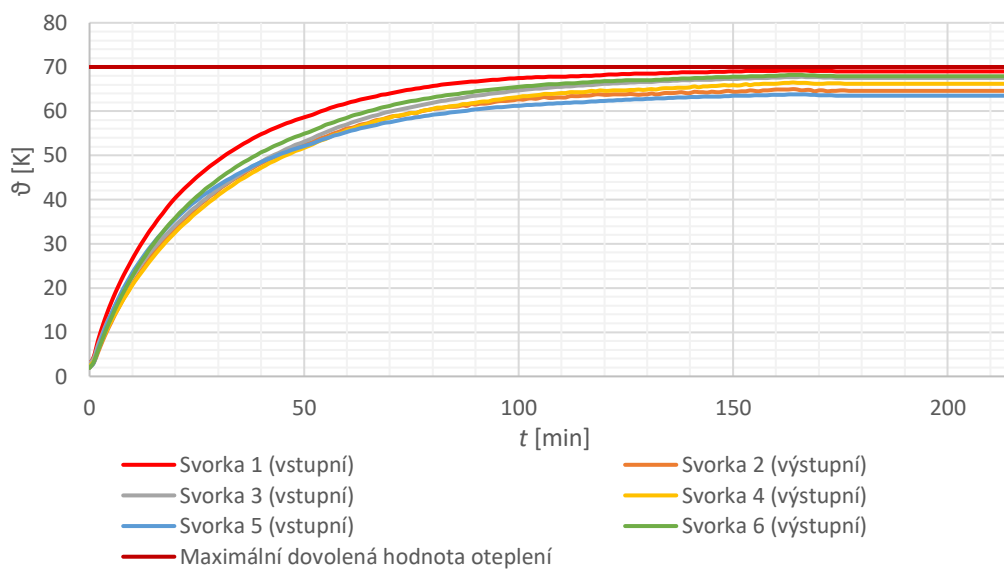
Jmenovitý proud 630 A			Průměrné hodnoty oteplení svorek + nejistota typu A [K]					
Způsob zapojení	Způsob napájení	Pořadí zkoušky	Pól 1. fáze		Pól 2. fáze		Pól 3. fáze	
			Svorka 1 (vstup)	Svorka 2 (výstup)	Svorka 3 (vstup)	Svorka 4 (výstup)	Svorka 5 (vstup)	Svorka 6 (výstup)
Smyčka	DC	3	62,0 ± 1,1	62,8 ± 0,6	63,7 ± 0,2	61,9 ± 0,9	55,2 ± 0,5	62,2 ± 0,3
	AC	4	67,5 ± 1,5	65,1 ± 0,3	67,8 ± 0,3	66,9 ± 0,3	64,9 ± 0,7	68,6 ± 0,5
Most	DC	1	56,4 ± 1,2	57,0 ± 0,8	59,4 ± 0,6	56,5 ± 0,8	51,9 ± 0,5	57,3 ± 0,8
	AC	2	62,0 ± 0,4	62,7 ± 0,2	63,5 ± 0,6	62,0 ± 0,3	55,0 ± 0,3	62,0 ± 0,5
Třífázové	AC	5	59,2 ± 1,1	58,3 ± 0,9	66,6 ± 0,6	66,9 ± 0,6	56,0 ± 0,7	59,2 ± 0,7

Tepelné ztráty jsou závislé na druhé mocnině proudu, z tohoto důvodu docházelo k vyššímu oteplení svorek u jističe s jmenovitým proudem 630 A. Docházelo zde také k větším rozdílům naměřených hodnot oteplení svorek u jednotlivých druhů zapojení a napájení, než tomu bylo u jističe s jmenovitým proudem 250 A.

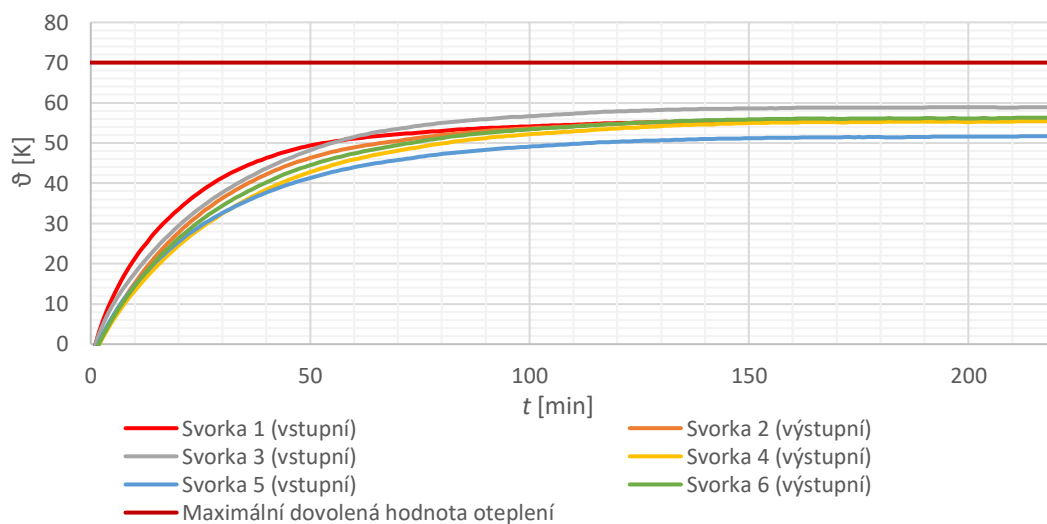
Pro lepší přehlednost bude dále pro každý druh zapojení a napájení uveden pouze jeden průběh oteplení svorek jističe, zbylé oteplovací průběhy (viz. Příloha E -Příloha I - ). Vyhodnocení naměřených dat se nachází v kapitole 5.



Obrázek 3.13 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (630 A, DC)

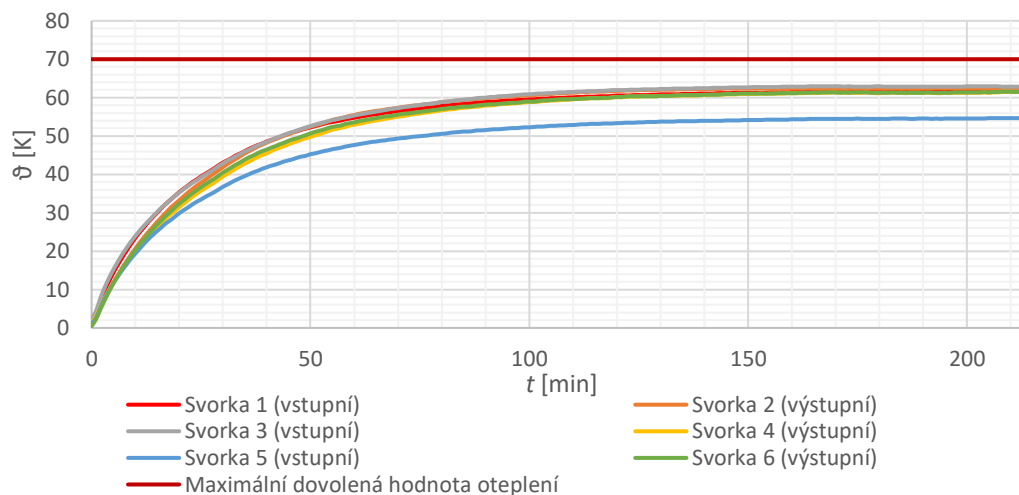


Obrázek 3.14 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení smyčka (630 A, AC)

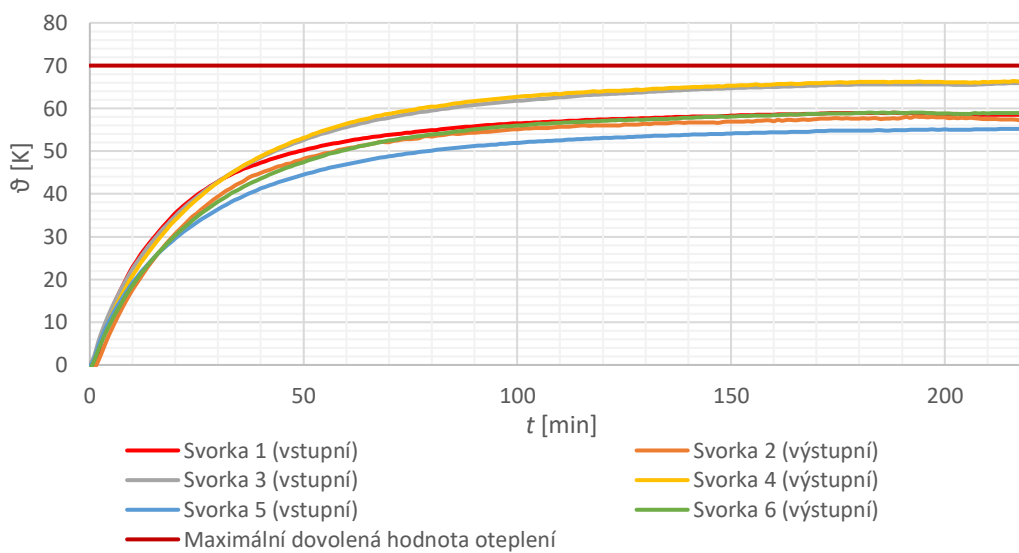


Obrázek 3.15 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (630 A, DC)





Obrázek 3.16 Křivky oteplení svorek jističe, zapojení most (630 A, AC)



Obrázek 3.17 Křivky oteplení svorek jističe, třífázové zapojení (630 A, AC)

## 4. VÝKONOVÁ ZTRÁTA

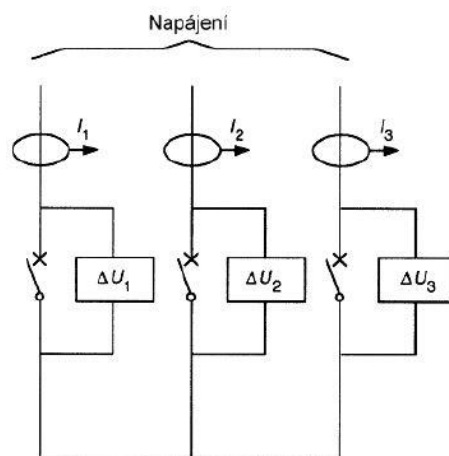
### 4.1 Požadavky stanovené normou

Dle normy ČSN EN 60947-2 ed. není výkonová ztráta základní charakteristikou jističe, a tedy výrobce není povinen ji u svých výrobců uvádět. Výkonová ztráta je určitá indikace tepla vytvořeného za stanovených podmínek [10].

#### 4.1.1 Měření úbytku napětí na jističi

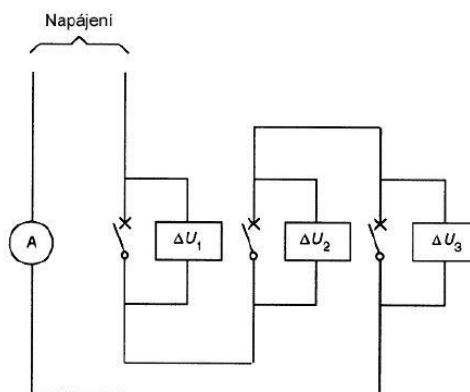
Měření výkonové ztráty se provádí na nových vzorcích, které musí být napájeny jmenovitým proudem. Úbytky napětí jsou měřeny mezi vstupními a výstupními svorkami každého pólu jističe, toto měření se provádí při ustálené teplotě jističe.

Měření úbytků napětí lze provést například voltmetrem. Přívody k měřicímu přístroji musí být zkrouceny dohromady a měřící smyčka musí být co nejmenší. U trojpólových a čtyřpólových jističů napájených střídavým proudem se měření úbytků provádí při trojfázovém zapojení (obrázek 4.1). U čtyřpólových jističů bez proudu ve čtvrtém pólu [10].



Obrázek 4.1 Obecný příklad měření ztráty výkonu (převzato z [10])

U jističů napájených střídavým proudem jejichž hodnota jmenovitého proudu nepřesahuje 400 A, lze měření úbytků napětí provést při jednofázovém zapojení (obrázek 4.2). Stejný způsob jednofázového zapojení lze uplatnit u jističů napájených stejnosměrným proudem [10].



Obrázek 4.2 Příklad měření ztráty výkonu při napájení DC, AC proudem do 400 A (převzato z [10])

#### 4.1.2 Způsob výpočtu výkonové ztráty jističe

Obecně lze výkonovou ztrátu vypočítat dle vztahu (4.1).

$$\sum_{k=1}^{k=p} \Delta U_k \cdot I_k \cdot \cos\phi_k \quad (4.1)$$

Kde  $p$  je počet pólů fáze,  $k$  je číslo pólu,  $\Delta U$  [V] je úbytek napětí,  $I_k$  [A] je proud, který musí být roven jmenovitému proudu jističe a  $\cos\phi$  [-] je účinník.

U jističů napájených napájených střídavým proudem, jehož hodnota nepřesahuje 400 A, lze měřit výkonovou ztrátu při jednofázovém zapojení (obrázek 4.2). Při výpočtu výkonové ztráty, lze tedy zanedbat účinník sítě, vztah pro výpočet vypadá následovně (4.2) [10].

$$\sum_{k=1}^{k=p} \Delta U_k \cdot I_n \quad (4.2)$$

Jistič na stejnosměrném proudem musí být napájen stejnosměrným proudem a výkonová ztráta se poté počítá stejně jako u střídavých jističů jejichž jmenovitá hodnota proudu nepřesahuje 400 A [10].

## 4.2 Naměřené hodnoty

Na konci každé oteplovací zkoušky, tedy stavu, kdy svorky jističe dosáhly ustáleného oteplení, byly pomocí multimetru změřeny úbytky napětí. Měření úbytků se provádělo mezi vstupní a výstupní svorkou jističe pro jednotlivé póly. Dle normy ČSN EN 60947-2 ed. lze u jističů jejichž jmenovitý proud nepřesahuje 400 A provést měření úbytků dle zapojení (obrázek 4.2). Toto zapojení je totožné se zapojením most (obrázek 3.4). Úbytky napětí byly změřeny i v případě zapojení smyčka (obrázek 3.3) i přestože se tenhle způsob

měření neshoduje s normou, a to právě proto aby bylo možné porovnat jaký vliv na úbytky napětí toto zapojení má.

U jističe s jmenovitou hodnotou 630 A lze měřit úbytky napětí dle normy v případě trojfázového zapojení (obrázek 4.1). Pro porovnání vlivů zapojení na úbytky napětí došlo k měření úbytků napětí při jednofázových zapojení most a smyčka.

#### 4.2.1 Výsledky Výkonové ztráty jističe s jmenovitým proudem 250 A

V tabulce 4.1 jsou uvedené průměrné hodnoty úbytků mezi jednotlivými svorkami a také dopočtená výkonová ztráta jističe.

Tabulka 4.1 Výkonová ztráta jističe s jmenovitým proudem 250 A

Způsob zapojení	Způsob napájení	Úbytky napětí [mV]			Výkonová ztráta [W]
		Svorky 1-2	Svorky 3-4	Svorky 5-6	
Smyčka	DC	66,3	76,2	63,5	51,5
	AC	71,7	84,7	73,7	57,5
Most	DC	59,8	72,8	65,1	49,4
	AC	64,3	75,2	69,0	52,1

Příklad výpočtu výkonové ztráty pro zapojení smyčka napájené stejnosměrným proudem. Pro výpočet výkonové ztráty budeme vycházet z rovnice (4.1), Tento způsob výpočtu se zanedbáním účinníku lze dle normy uplatnit i v případě výpočtu výkonové ztráty pro jistič napájení střídavým proudem do hodnoty jmenovitého proudu 400 A.

$$\sum_{k=1}^{k=p} \Delta U_k \cdot I_n = (66,3 + 76,2 + 63,5) \cdot 0,25 = 51,5 \text{ W} \quad (4.3)$$

Kde  $\Delta U_k$  [V] je úbytek napětí naměřený mezi vstupním a výstupním kontaktem jističe,  $I_n$  [A] je poté jmenovitá hodnota proudu jističe. Obdobným způsobem byla vypočítaná výkonová ztráta i pro ostatní druhy zapojení a napájení.

#### 4.2.2 Výsledky Výkonové ztráty jističe s jmenovitým proudem 630 A

Tabulka 4.2 Výkonová ztráta jističe s jmenovitým proudem 630 A

Způsob zapojení	Způsob napájení	Úbytky napětí [mV]			Výkonová ztráta [W]
		Svorky 1-2	Svorky 3-4	Svorky 5-6	
Smyčka	DC	79,1	77,8	73,0	144,8
	AC	120,6	124,6	122,1	231,4
Most	DC	81,1	76,4	78,5	148,7
	AC	102,9	94,7	96,0	184,9
Třífázové	AC	109,0	108,0	87,3	153,4

Výpočet výkonové ztráty jističe byl pro jednofázové zapojení (most, smyčka) proveden dle vztahu (4.3). Pro třífázové zapojení byl proveden výpočet v souladu s normou podle vztahu (4.1), po dosazení do vztahu.

$$\sum_{k=1}^{k=p} \Delta U_k \cdot I_k \cdot \cos \phi_k = (109 + 108 + 87,3) * 0,63 * 0,8 \quad (4.4)$$
$$= 153,4 \text{ W}$$

Účinitík sítě byl stanoven na hodnotu 0,8. Měření účinitíku sítě bylo provedeno pomocí osciloskopu.

## 5. POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

### 5.1 Jistič s jmenovitým proudem 250 A

#### 5.1.1 První způsob zapojení jističe – smyčka (loop)

Pro zapojení smyčka, kde proudy v jednotlivých svorkách procházeli stejným směrem, došlo k největšímu oteplení na svorce 3 (vstup). Při napájení střídavým proudem činila průměrná hodnota oteplení této svorky  $60,9 \pm 0,3$  K, u napájení stejnosměrným proudem byla hodnota oteplení svorky  $60,3 \pm 0,3$  K.

Dále se nejvíce oteplily výstupní svorky 2, 4 a 6. U výstupních svorek je vyšší oteplení způsobeno konstrukcí jističe, v jeho spodní části je na každém pólu umístěné topítko tepelné spouště jističe. Na topítku dochází ke vzniku tepelných ztrát, které mají za důsledek vznik vyššího oteplení výstupních svorek jističe.

Hodnoty oteplení naměřené při napájení střídavým proudem jsou téměř totožné s hodnotami naměřenými při napájení stejnosměrným proudem. Největší rozdíl mezi hodnotami oteplení byl naměřen na svorce 6 (výstup), zde byla průměrná hodnota oteplení vyšší o 1,4 K, v případě stejnosměrného napájení. Pro kontakt 6 (výstup) vycházela také nevyšší hodnota nejistoty měření, ta činila při stejnosměrném napájení  $\pm 1,8$  K a u střídavého napájení  $\pm 1,1$  K.

Pro zapojení smyčka byly největší úbytky napětí změřeny mezi svorkami 3-4, v případě obou druhů napájení. Výkonová ztráta jističe při střídavém napájení byla 57,7 W, u stejnosměrného napájení byla hodnota výkonové ztráty jističe 51,5 W. Toto zapojení není pro měření úbytků dle normy přípustné. Při výpočtu také docházelo k zanedbání účinníku sítě, toto zjednodušení výpočtu vnáší do výsledku chybu.

#### 5.1.2 Druhý způsob zapojení jističe – most (bridge)

V tomto zapojení má proud procházející prostředním pólem opačný směr než proudy v krajních pólech. Při přepojování jističe bylo oko kabelu, které bylo u zapojení smyčka zapojené do svorky 3 (vstup), nyní připojeno do svorky 4 (výstup). Svorka 4 (výstup) nyní dosahovala nejvyšší hodnoty oteplení, a to konkrétně při napájení střídavým proudem je průměrná hodnota oteplení  $60,4 \pm 0,6$  K, u napájení stejnosměrným proudem byla hodnota oteplení  $60,6 \pm 0,7$  K.

S největší pravděpodobností došlo k degradaci kabelu, jedná se o kabel jemně laněný, jeho častým používáním došlo k vyhřátí oka a vzniku nevodivých oxidačních vrstev. Tyto vrstvy mají za následek zvětšení odporů a horší odvod tepla. Tuto teorii nám potvrzují naměřené hodnoty na jističi s jmenovitým proudem 630 A, pro jeho zapojení byly použity jiné vodiče.

U zapojení most byly také největší úbytky napětí změřeny mezi svorkami 3-4, a v to v případě obou druhů napájení. Výkonová ztráta jističe při střídavém napájení byla 52,1 W, u stejnosměrného napájení byla výkonová ztráta 49,4 W. Toto zapojení je dle normy přípustné pro měření úbytků napětí. Výrobce udává maximální výkonovou ztrátu 57 W. Tyto vypočtené hodnoty ztrátového výkonu lze považovat za správné.

### 5.1.3 Porovnání naměřených hodnot

U zapojení smyčka bylo předpokládáno rovnoměrné oteplení svorek, tento předpoklad se nepotvrdil v důsledku špatného oka kabelu. U zapojení most byl předpoklad nerovnoměrného oteplení svorek v důsledku opačného směru proudu ve svorkách jističe, tento jev se potvrdil, naměřené výsledky u tohoto zapojení také podléhají chybě způsobené degradací kabele.

Při porovnání hodnot, které nebyly zatíženy chybou špatného oka vodiče, docházelo k nejvyššímu oteplení svorek při střídavém napájení u zapojení smyčka. Dále se nejvíce svorky oteplily u stejného zapojení napájeného stejnosměrným proudem. Rozdíly hodnot oteplení při jednotlivých zapojení a druhů napájení jsou velmi malé. U jističe s jmenovitým proudem 250 A neměl směr proudu v jističi a druh napájení výrazný vliv na rozdílné oteplení svorek. Úbytky napětí změřené v souladu s normou (zapojení most) jsou velmi podobné úbytkům napětí naměřených v rozporu s normou (zapojení smyčka).

## 5.2 Jistič s jmenovitým proudem 630 A

### 5.2.1 První způsob zapojení jističe – smyčka (loop)

Vodiče u tohoto způsobu zapojení tlačí prodlužovací svorky směrem od jističe, mezi prodlužovací svorkou a svorkou jističe dochází k horšímu kontaktnímu styku. Horší kontaktní styk má za následek větší oteplení v dané části.

Při střídavém napájení toho zapojení bylo naměřeno největší oteplení svorek jističe. Svorka 6 (výstup) dosáhla nejvyššího oteplení  $68,6 \pm 0,5$  K, maximální dovolená hodnota oteplení je 70 K, jistič dle normy tedy vyhověl. Nejmenší průměrná hodnota oteplení byla zaznamenána na svorce 5 (vstup) a to  $64,9 \pm 0,7$  K.

Toto nadměrné oteplení bylo s největší pravděpodobností způsobeno vířivými proudy. Vodiče, kterými byl jistič zapojen byly vedeny vedle sebe a tvořily tedy pomyslnou cívku, průchodem střídavé proudu docházelo k vytvoření magnetického pole. Změna magnetického pole vytvářela vířivé proudy v kovové desce na, které byl jistič přidělán. Nadměrné oteplení svorek jističe se také projevilo na jeho výkonové ztrátě. U tohoto napájení byly naměřeny největší úbytky napětí mezi svorkami (tabulka 4.2), výkonová ztráta jističe byla 231,4 W.

Pro případ napájení stejnosměrným proudem, bylo na svorkách zaznamenáno podstatně menší oteplení. Nevyšší průměrná hodnota oteplení byla na svorce 3 (vstup) a to  $63,7 \pm 0,2$  K, nejnižší průměrná hodnota oteplení byla na svorce 5 (vstup)  $55,2 \pm 0,5$

K. Výkonová ztráta jističe činila 144,8 W. Rozdíl mezi výkonovou ztrátou jističe při napájení střídavým a stejnosměrným proudem je 86,6 W.

### **5.2.2 Druhý způsob zapojení jističe – most (bridge)**

U zapojení most při napájení střídavým proudem byly zaznamenány hodnoty oteplení srovnatelné s hodnotami naměřenými pro zapojení smyčka napájené stejnosměrným proudem. Nejvyššího oteplení bylo také dosaženo na svorce 3 (vstup)  $63,5 \pm 0,6$  K. Nejnižší hodnota oteplení byla také na svorce 5 (vstup) a to  $55,0 \pm 0,3$  K. Výkonová ztráta jističe již byla rozdílná. Výkonová ztráta jističe činila 184,9 W.

Napájení stejnosměrným proudem bylo způsobeno nejnižší oteplení svorek jističe. Na svorce 3 (vstup) bylo oteplení  $59,4 \pm 0,6$  K, na svorce 5 (vstup) bylo zaznamenáno oteplení  $51,9 \pm 0,5$  K. Jako v předešlých případech bylo dosaženo největší oteplení na svorce 3 (vstup) a nejnižší oteplení na svorce 5 (vstup). Měření úbytků napětí při tomto zapojení je v souladu s normou, výkonová ztráta jističe byla 148,7 W. U zapojení smyčka, které je v rozporu s normou pro měření úbytků, napájené stejnosměrným proudem činila výkonová ztráta 144,8 W. U obou zapojení bylo dosaženo velmi podobné hodnoty.

### **5.2.3 Třetí způsob zapojení jističe – třífázové zapojení**

Tímto způsobem by byl jistič připojen v reálném provozu v třífázové síti. Naměřené hodnoty tedy nejvíce přibližují realitě. Při prvním měření byla nastavena chybnou manipulací větší hodnota proudu než jmenovitá hodnota, v průběhu oteplovací zkoušky zareagovala tepelná spoušť a došlo k vypnutí jističe. Při opětovném zapnutí jističe mohlo dojít k odlišnému kontaktní styku než u předešlých oteplovacích zkoušek.

Největší hodnoty oteplení byly změřeny na svorkách pólu druhé fáze. Svorka 3 (vstup) byla oteplena na hodnotu  $66,6 \pm 0,6$  K a svorka 4 (výstup) dosahovala hodnoty oteplení  $66,9 \pm 0,7$  K. Prostřední pól byl od krajních pólů dohříván. Oteplení na ostatních svorkách bylo podstatně nižší.

Tento způsob zapojení je dle normy přípustný pro měření úbytků napětí u jističů s jmenovitým proudem větší než 400 A napájených střídavým proudem. Výsledná výkonová ztráta jističe byla 153,4 W. Výrobce udává v data sheetu maximální ztrátový výkon 192,9 W.

### **5.2.4 Porovnání naměřených hodnot**

Pro zapojení smyčka bylo očekávané rovnoměrné oteplení svorek jističe, vlivem stejného směru proudu ve svorkách, došlo k potvrzení očekávaného vlivu. Dále bylo předpokládáno nerovnoměrné oteplení svorek vlivem opačného směru proudu u zapojení most, tento vliv se také potvrdil. U třífázové zapojení bylo předpokládáno nejvyšší oteplení pro druhý pól. Zde také došlo k potvrzení očekávaného vlivu, prostřední svorky byly dohřívány od svorek krajních.

U jističe s jmenovitou hodnotou proudu 630 A, měl směr proudu a druh napájení podstatně větší vliv na rozdílné oteplení svorek, než u jističe s jmenovitou hodnotou 250



A. U jednofázových zapojení bylo dosaženo rovnoměrnějšího oteplení svorek než u třífázového zapojení.

Na výslednou hodnotu výkonové ztráty při stejnosměrném napájení neměl směr proudu v jističi podstatný vliv. Pro zapojení most, které je v souladu s normou byly úbytky napětí srovnatelné s úbytky napětí u zapojení smyčka, které je v rozporu s normou. U střídavého napětí, kde byly úbytky změřeny na jednofázových zapojení, které jsou v rozporu s normou, podstatně vyšší než při třífázovém zapojení, které je v souladu s normou.

## 6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo porovnání a vyhodnocení jaký vliv na oteplení svorek jističe má souhlasný a nesouhlasný směr proudu v jističi (zapojení smyčka, most), druh napájení obvodu (AC, DC) a velikost jmenovitého proudu (250 A, 630 A). Firmou OEZ nám byly poskytnuty dva kompaktní jističe řady 3VA1, na kterých byly provedeny oteplovací zkoušky v souladu s normou ČSN EN 60947-1 ed. 4.

Pro dosažení vyšší přesnosti výsledků bylo pro každý druh zapojení a napájení provedeno 5 oteplovacích zkoušek. Z naměřených hodnot byly sestrojeny křivky oteplení svorek a průměrné hodnoty oteplení svorek byly zpracovány do tabulek. Na konci každé oteplovací zkoušky byly změřeny úbytky napětí mezi jednotlivými svorkami v souladu s normou ČSN EN 60947-2 ed. i v rozporu s normou, a to proto aby bylo možné porovnat vliv zapojení na úbytek napětí. Následně byl proveden výpočet ztrátového výkonu.

U jističe s jmenovitým proudem 250 A bylo dosaženo nejvyššího oteplení při střídavém napájení pro jednofázové zapojení kde proudy protékali svorkami stejným směrem (zapojení smyčka). Pro jednotlivé zapojení a napájení byly naměřené hodnoty oteplení velice podobné. Směr proudu v jističi a druh napájení tedy neměl výrazný vliv na oteplení svorek jističe při této hodnotě jmenovitého proudu.

U jističe s jmenovitým proudem 630 A měl směr proudu a druh napájení výraznější vliv na rozdílné oteplení svorek. Nejvyššího oteplení bylo dosaženo při střídavém napájení u zapojení smyčka. U obou jističů bylo tedy dosaženo nejvyššího oteplení svorek u stejného zapojení a napájení. Zapojení smyčka se při střídavém napájení jeví jako nejvíce nepříznivé. U jednofázových zapojení (smyčka, most) bylo dosaženo rovnoměrného oteplení svorek jističe. U třífázového zapojení jističe, bylo oteplení svorek velmi nerovnoměrné. Nejvyššího oteplení dosáhly svorky pólu druhé fáze. Toto zapojení se nejvíce přibližuje realitě.

U jističe s jmenovitou hodnotou 250 A neměl směr proudů v jističi ani druh napájení výrazný vliv na úbytky napětí, výkonová ztráta bylo pro jednotlivá zapojení a napájení velmi podobná. U jističe s jmenovitou hodnotou proudu 630 A při střídavém napájení byla nejmenší výkonová ztráta u třífázového zapojení, toto zapojení je v souladu s normou. V případě stejnosměrného napájení u zapojení most, které je v souladu s normou byly úbytky napětí srovnatelné s úbytky napětí u zapojení smyčka, které je v rozporu s normou.

## 7. BIBLIOGRAFIE

- [1] FALTUS, IVO. *Příručka elektrotechnika: Jističí zařízení 1*. Letohrad: OEZ, 2011.
- [2] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje*. - . Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985. ISBN 04-529-85.
- [3] VAŠINKA, Jiří. Vypínací charakteristika jističe: jednoduše a srozumitelně. In: *Nizke-napeti.cz.abb* [online]. Praha: ABB, 2022 [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://nizke-napeti.cz.abb.com/blog-vypinaci-charakteristika-jistice-jednoduse-a-19643>
- [4] Možnosti výkonových jističů pro 21. století. In: *Elektrika* [online]. Brno, c1998-2022 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/moznosti-vykonovych-jisticu-pro-21-stoleti>
- [5] DOSTÁL, Lukáš. *VYUŽITÍ MODERNÍCH NUMERICKÝCH METOD PŘI NÁVRHU SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ*. Brno, 2018. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.
- [6] VOJÁČEK, Antonín. Co je, k čemu je a jak funguje Rogowského cívka ?. In: *Automatizace* [online]. [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>
- [7] *Přehled sortimentu: Kompaktní jističe 3VA* [online]. In: . Letohrad: OEZ, 2021 [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/ke-stazeni/dokumenty>
- [8] *ČSN EN 13306: Údržba - terminologie údržby*. Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [9] *ČSN EN 60947-1: Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí – Část 1 Všeobecná ustanovení*. 4. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [10] *ČSN EN 60947-2: Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe*. 4. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [11] BAXANT, Petr. *Elektrické teplo a světlo*. 1. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2761-2.
- [12] ZEMAN, Radek. Termomechanika. In: *Onlineschool* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://onlineschool.cz/termomechanika/>
- [13] PLÁVKA, Ivan. *TEPLO A PRŮDENIE*. 1. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická v Bratislave, 1965.

- [14] DUCLUZAUX, André. *Cahier technique no. 83: Extra losses caused in high current conductors by skin and proximity effects*. Valence: Schneider Electric, 2002.
- [15] ČEJKA, Miroslav. *Stručný úvod do problematiky nejistot* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/priloha\\_fs.php?dpid=178416&skupina=document\\_priloha](https://www.vut.cz/www_base/priloha_fs.php?dpid=178416&skupina=document_priloha)

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

AWG	American wire gauge
ČSN	Česká soustava norem
ETU	Electronic trip unit
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
kcmil	thousand circular mils
MCB	Miniature circuit breaker
MCCB	Molded-case circuit breaker
TMTU	Thermal-magnetic trip unit
VUT	Vysoké učení technické v Brně

## Symboly:

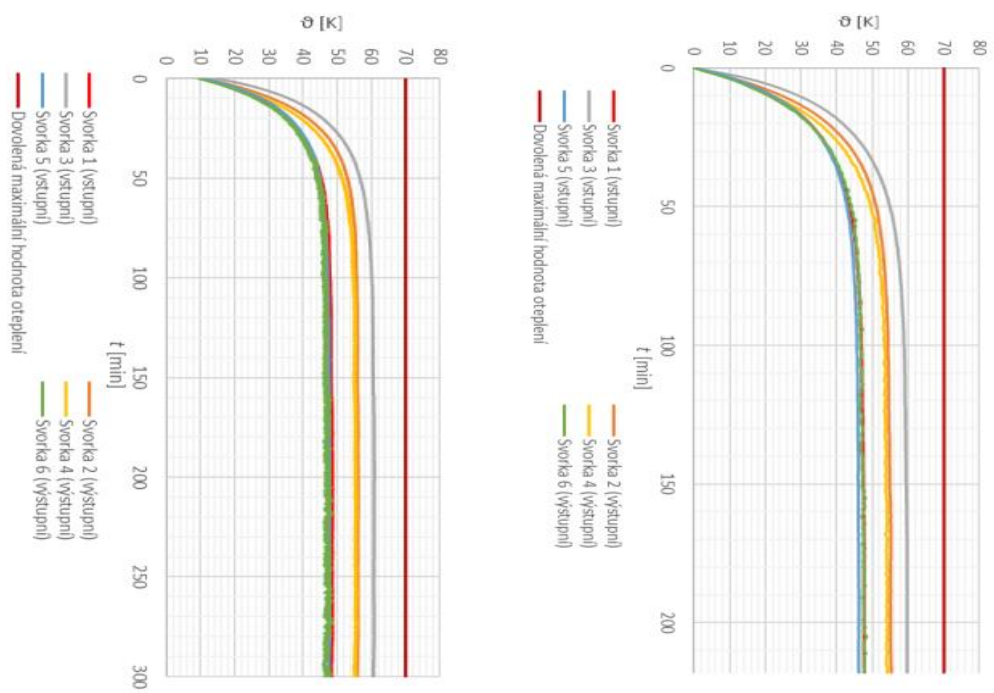
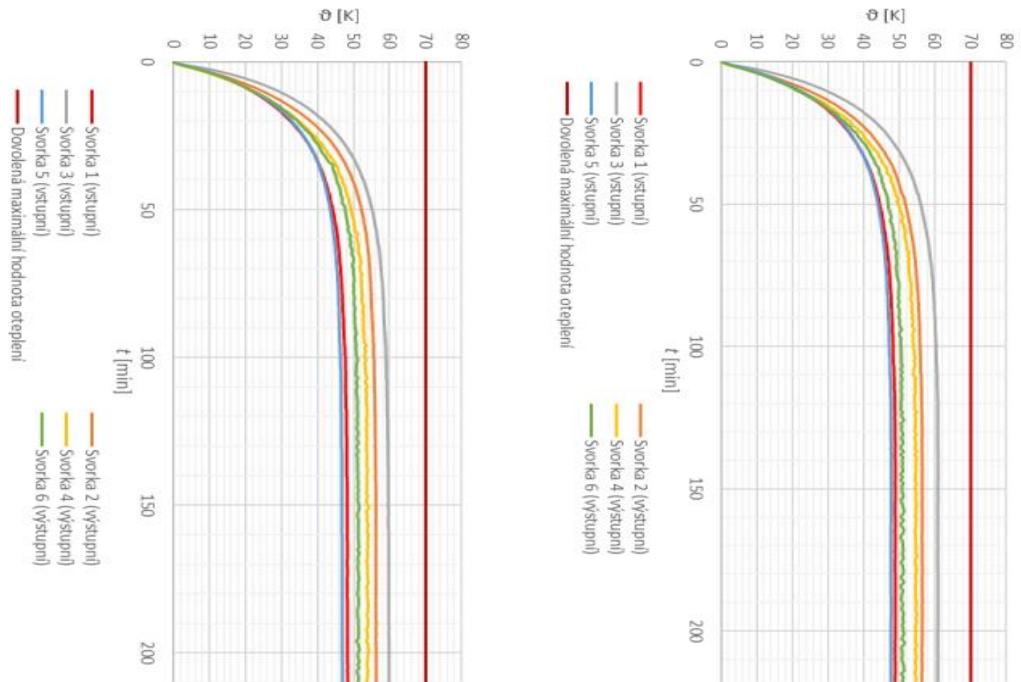
$A$	plocha	(m <sup>2</sup> )
$c$	objemová tepelná kapacita	(J/m <sup>3</sup> ·K)
$\cos\varphi$	účiník	(-)
$f$	frekvence	(Hz)
$I$	proud	(A)
$I_{cs}$	jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost	(A)
$I_{cu}$	jmenovitý mezní zkratová vypínací schopnost	(A)
$I_j$	hodnota proudu zkratové spouště	(A)
$I_n$	jmenovitý proud	(A)
$I_r$	jmenovitý redukováný proud	(A)
$R$	Odpor	( $\Omega$ )
$Q$	teplo	(J)
$q$	hustota tepelného toku	(W/m <sup>2</sup> )
$U$	napětí	(V)
$U_e$	jmenovité pracovní napětí	(V)
$U_i$	izolační napětí	(V)
$U_{imp}$	jmenovité impulzní výdržné napětí	(V)
$\Delta U$	úbytek napětí	(V)
$\alpha_0$	součinitel přestupu tepla	(W/m <sup>2</sup> ·K)
$\varepsilon$	emisivita	(-)
$\vartheta$	teplota	(°C, K)
$\Delta\vartheta_m$	maximální oteplení	(°C, K)
$\lambda$	tepelná vodivost	(W/m·K)
$\tau$	časová konstanta	(s)
$\frac{dT}{dx}$	teplotní gradient	(K/m)

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - ZAPOJENÍ SMYČKA – DC (250 A).....	55
PŘÍLOHA B - ZAPOJENÍ SMYČKA – AC (250 A).....	56
PŘÍLOHA C - ZAPOJENÍ MOST – DC (250 A) .....	57
PŘÍLOHA D - ZAPOJENÍ MOST – AC (250 A) .....	58
PŘÍLOHA E - ZAPOJENÍ SMYČKA – DC (630 A).....	59
PŘÍLOHA F - ZAPOJENÍ SMYČKA – AC (630 A).....	60
PŘÍLOHA G - ZAPOJENÍ MOST – DC (630 A) .....	61
PŘÍLOHA H - ZAPOJENÍ MOST – AC (630 A) .....	62
PŘÍLOHA I - TŘÍFÁZOVÉ ZAPOJENÍ – AC (630 A).....	63

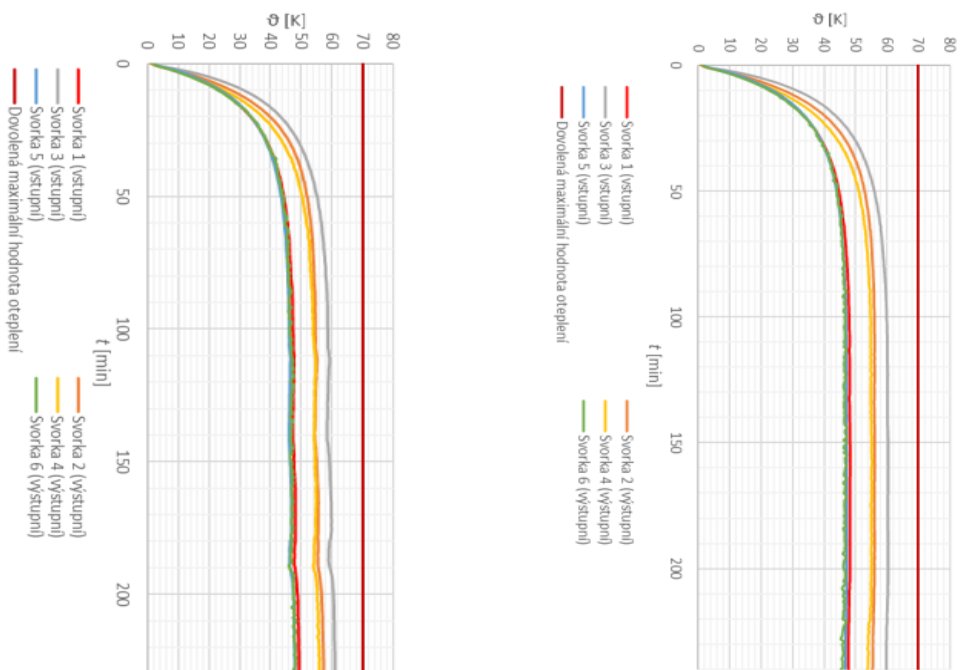
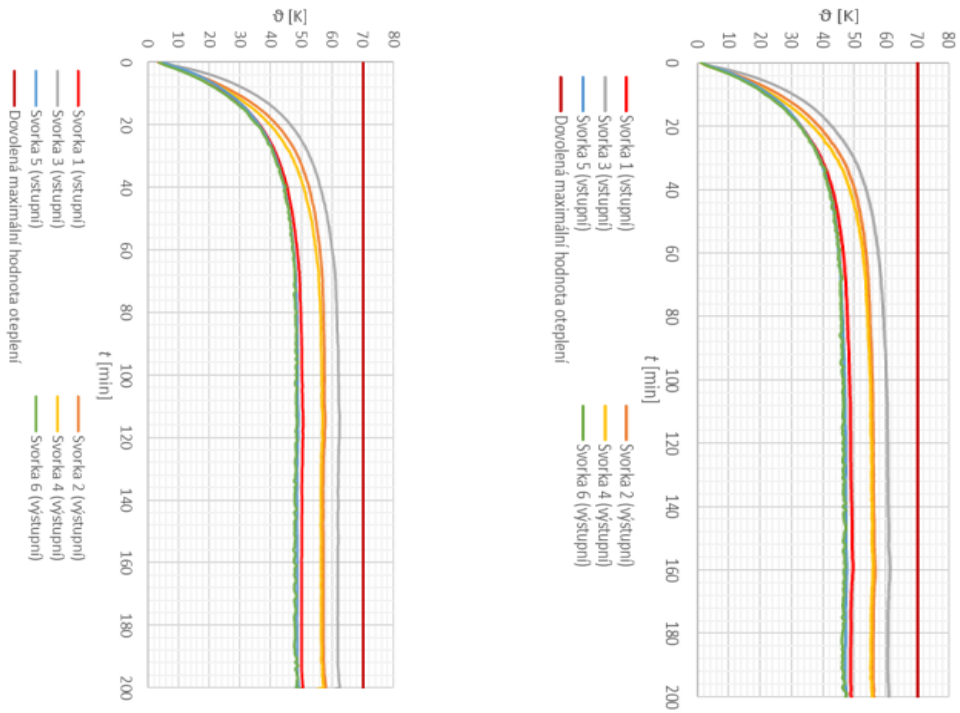
# Příloha A - Zapojení smyčka – DC (250 A)

## A.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



# Příloha B - Zapojení smyčka – AC (250 A)

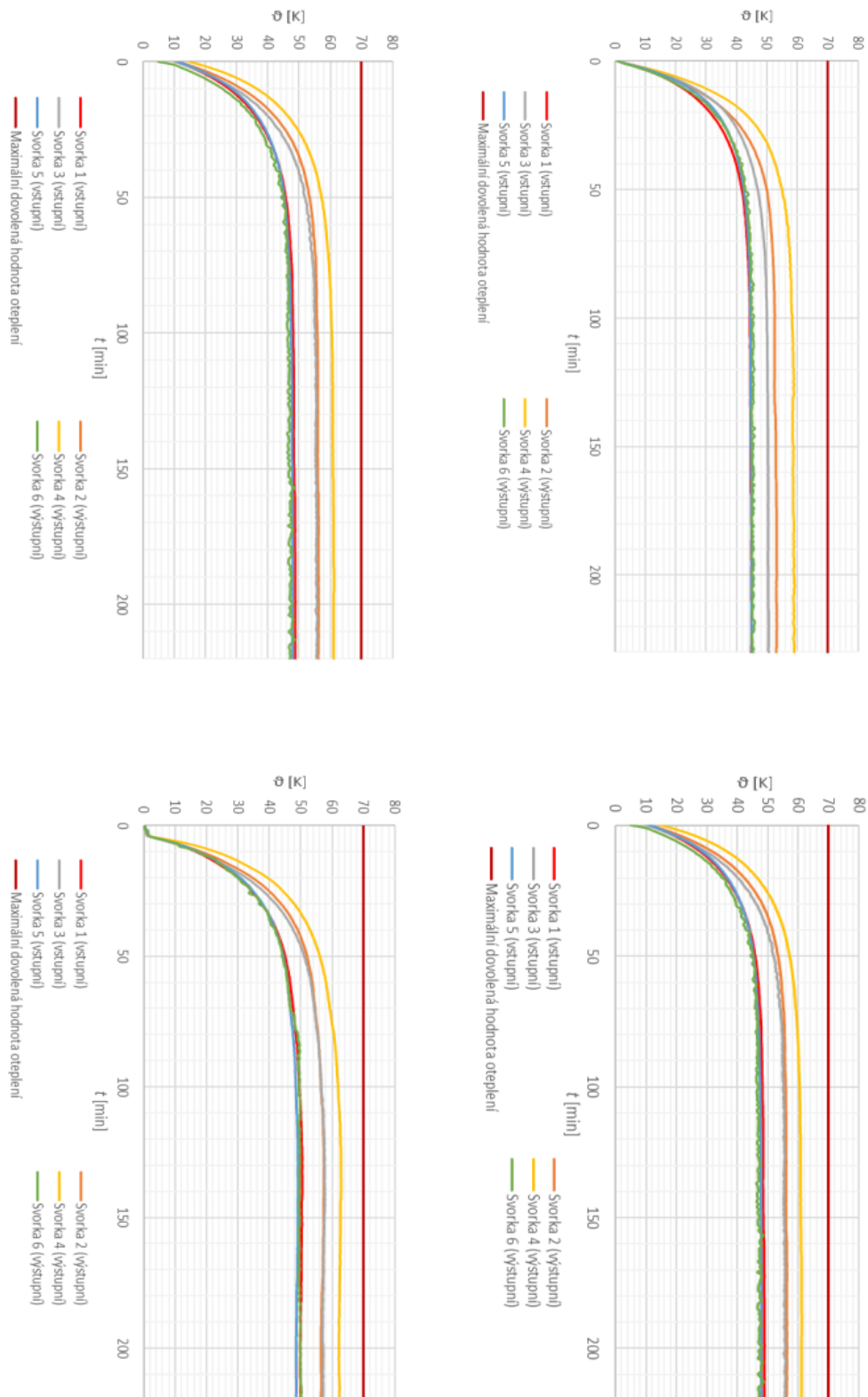
## B.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy





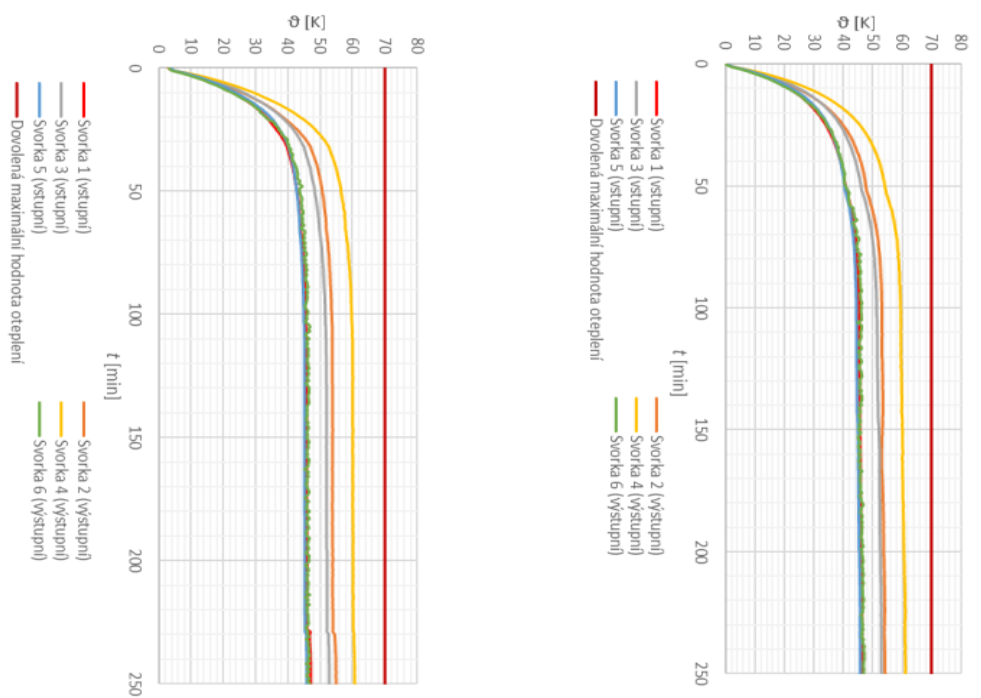
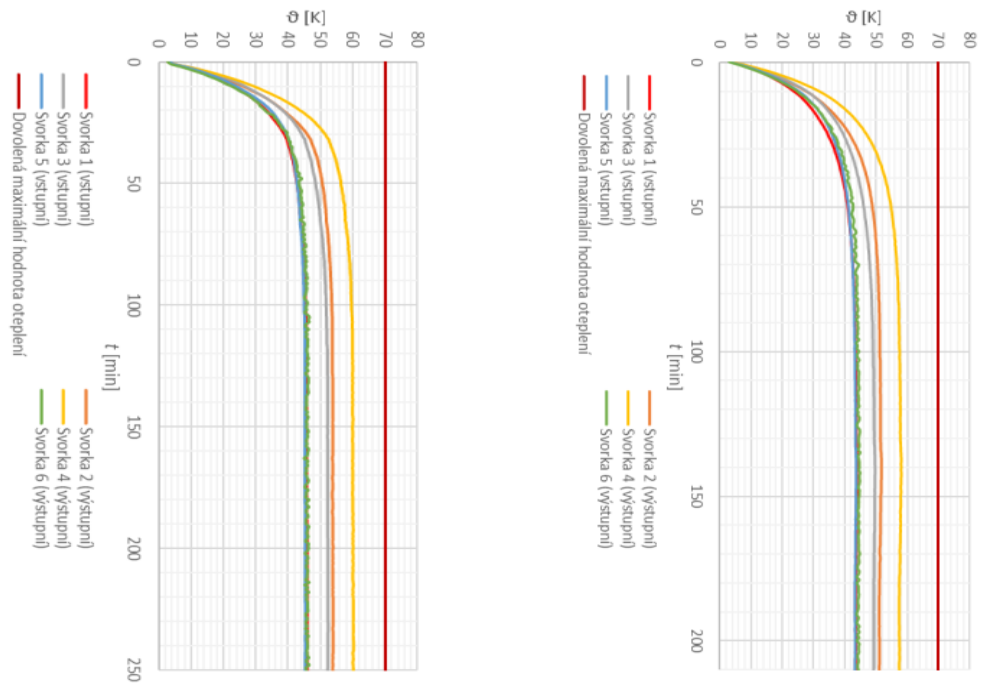
# Příloha C - Zapojení most – DC (250 A)

## C.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



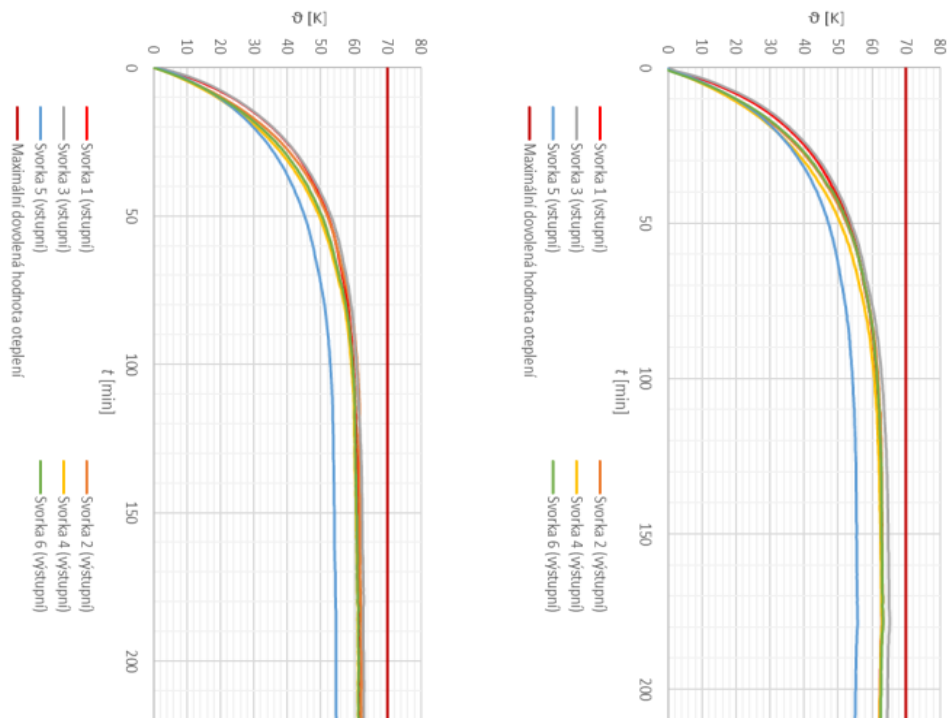
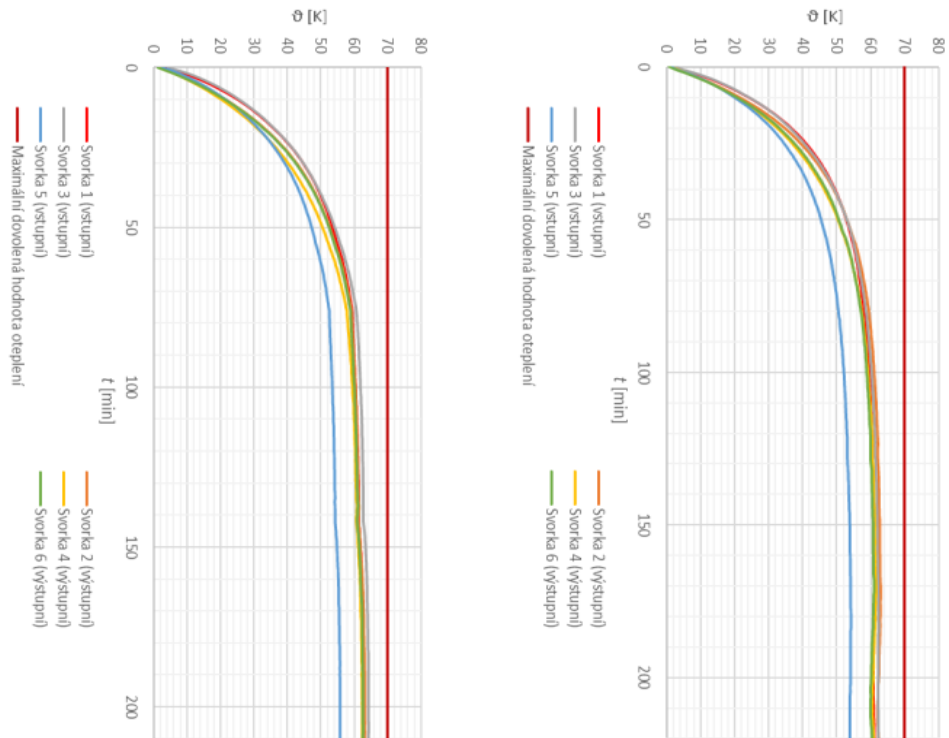
# Příloha D - Zapojení most – AC (250 A)

## D.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



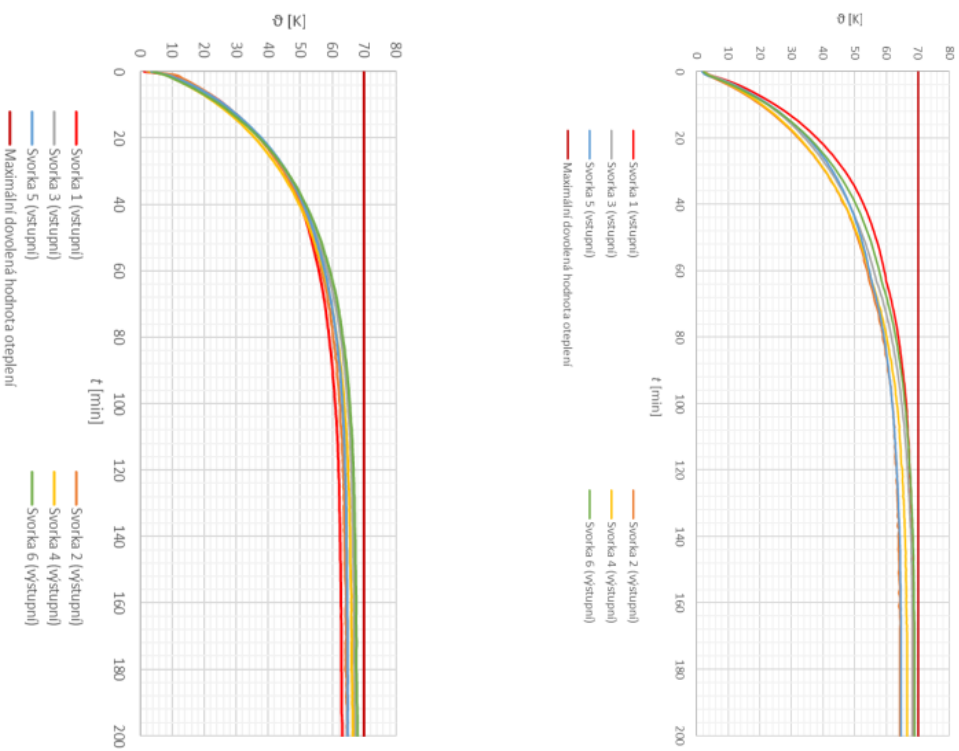
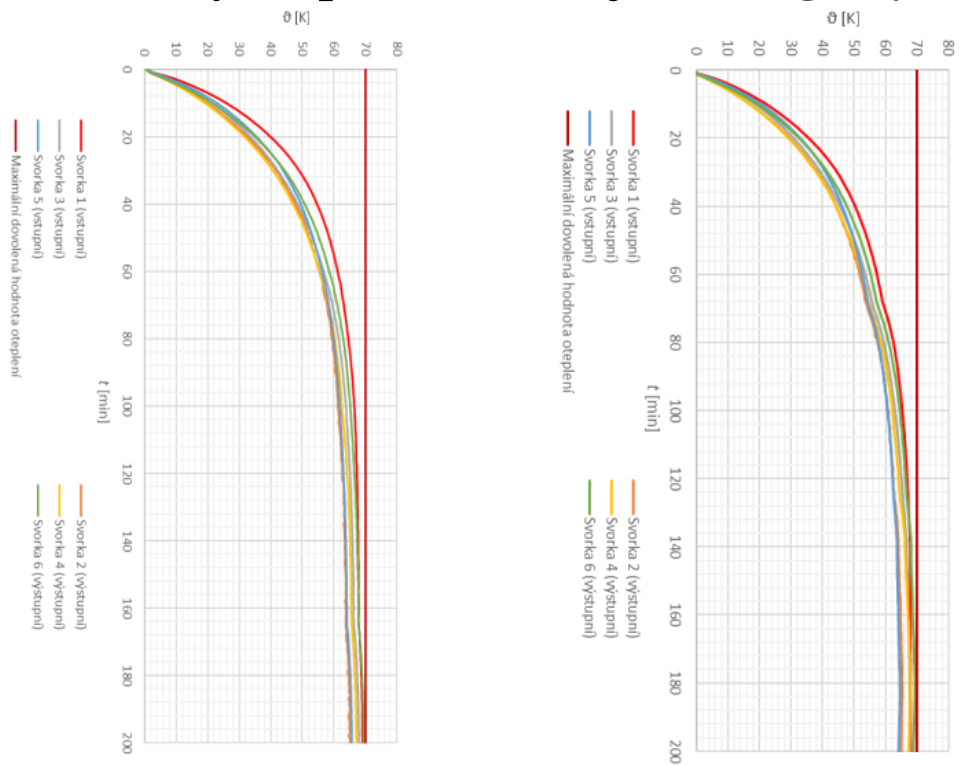
# Příloha E - Zapojení smyčka – DC (630 A)

## E.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



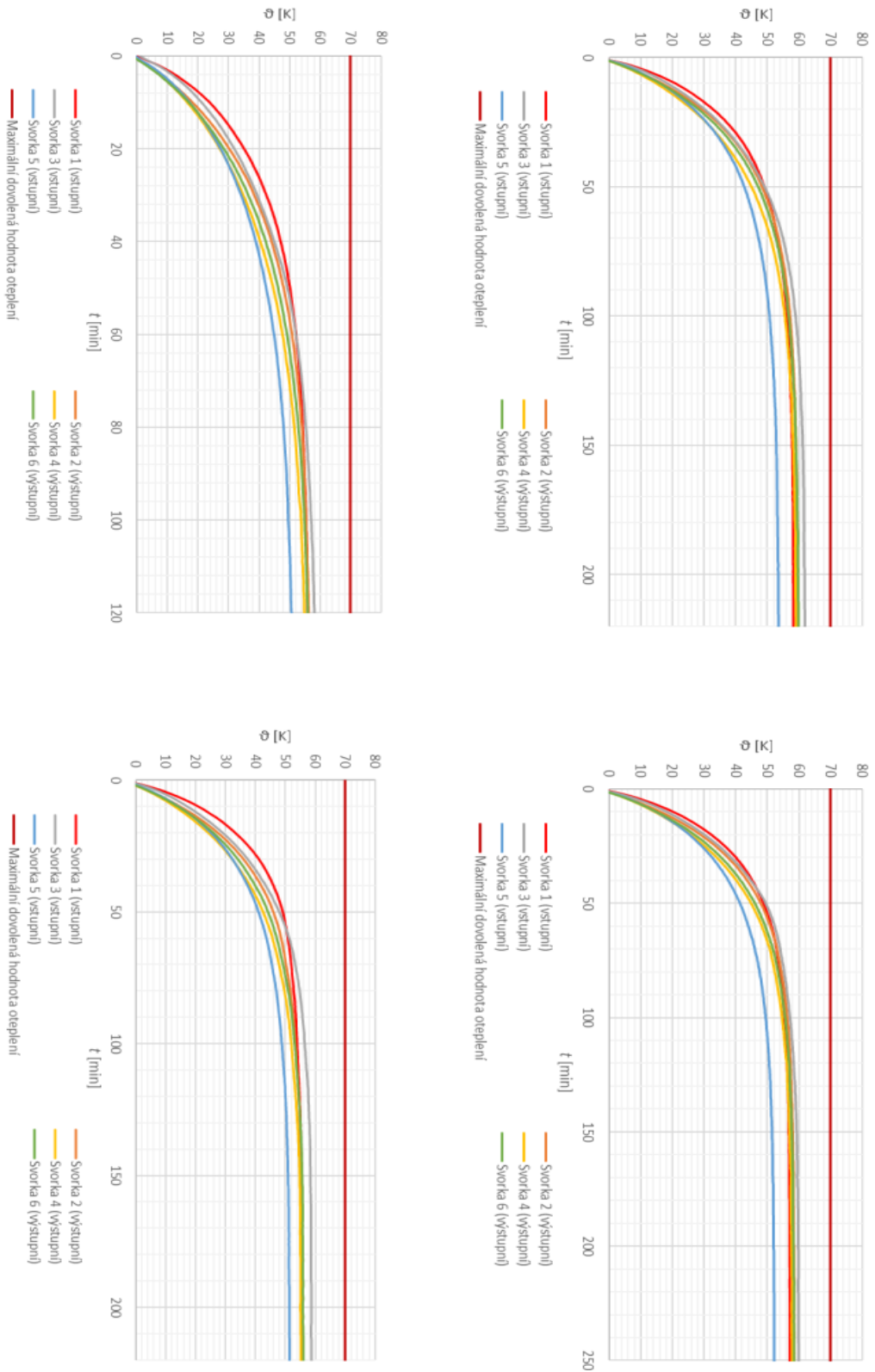
# Příloha F - Zapojení smyčka – AC (630 A)

## F.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



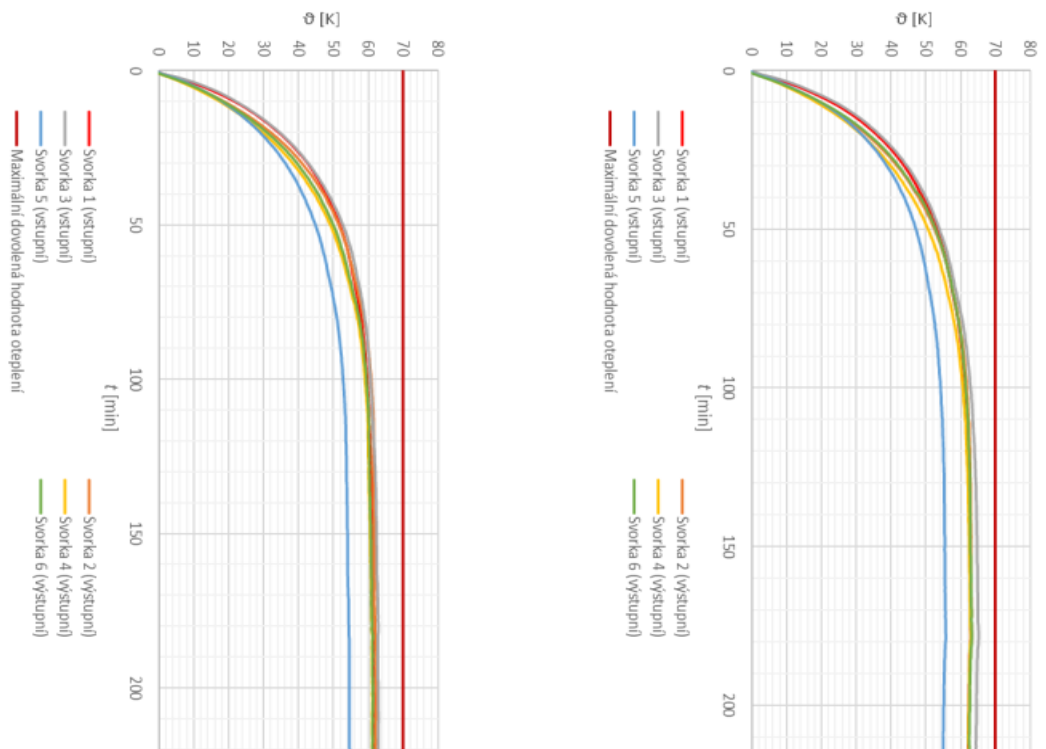
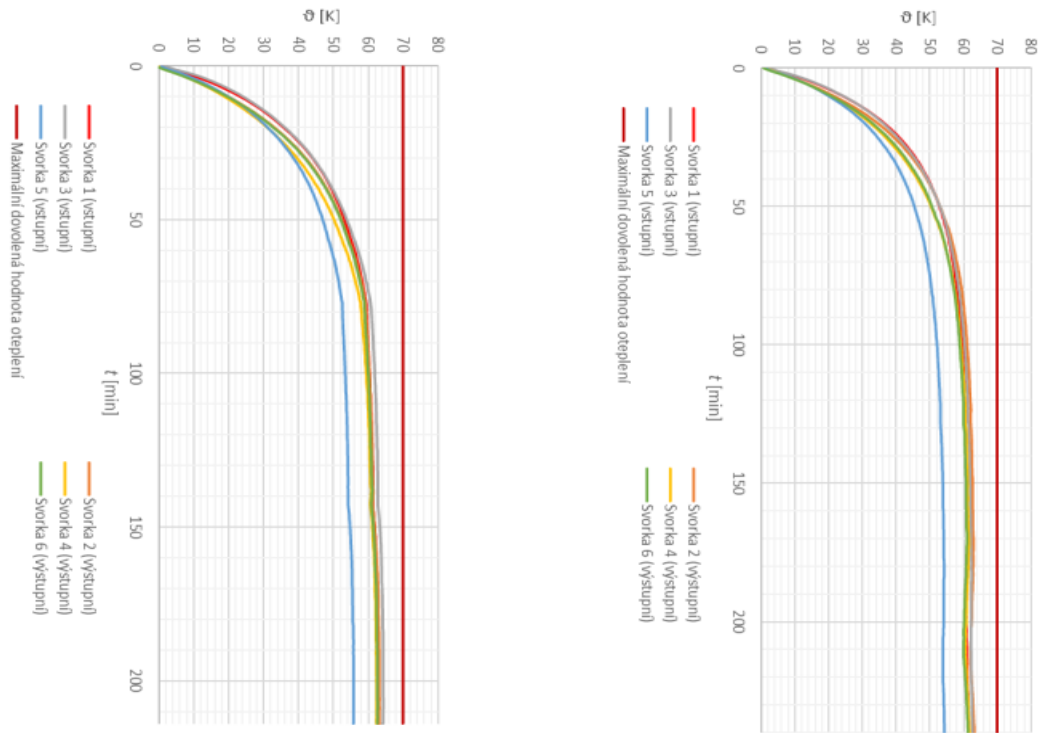
# Příloha G - Zapojení most – DC (630 A)

## G.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



# Příloha H - Zapojení most – AC (630 A)

## H.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy



# Příloha I - Třífázové zapojení – AC (630 A)

## I.1 Křivky oteplení svorek jističe – grafy

