



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

STUDIUM TRVANLIVOSTI KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ NÍZKÉHO NAPĚTÍ

INVESTIGATION OF THE DURABILITY OF LOW VOLTAGE SWITCHING APPARATUSES CONSTRUCTION PARTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Dalecký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Šimek

BRNO 2019



Diplomová práce

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

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Jan Dalecký

ID: 170524

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Studium trvanlivosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Nastudujte a popište konstrukční části nejběžněji používaných spínacích přístrojů nn.
2. Sestavte model funkcí dvou druhů vybraných spínacích přístrojů, na jehož základě sepište seznam součástí, které mohou být během provozu přístrojů opotřebený, poškozeny až zničeny.
3. Proveďte praktické experimenty na minimálně dvou vzorcích přístrojů jednoho druhu za účelem ověření technických parametrů přístrojů a trvanlivosti jednotlivých konstrukčních součástí v závislosti na různých výkonových poměrech.
4. Proveďte analýzu výsledků s ohledem na prodejní cenu vzorků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GROSS, Boleslav a Otto HAVELKA. Elektrické přístroje II. 2. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1980.
- [2] HAVELKA, Otto. Elektrické přístroje I. 3. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1982.
- [3] ČSN EN 60898-1 (354170) A Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací. Část 1, Jističe pro střídavý provoz (AC) = Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations. Part 1, Circuit-breakers for a.c. operation. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [4] ČSN EN 60947-4-1 ed. 3 (354101) A Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí. Část 4-1, Stykače a spouštěče motorů - Elektromechanické stykače a spouštěče motorů = Low-voltage switchgear and controlgear. Part 4-1, Contactors and motor-starters - Electromechanical contactors and motor-starters. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: Ing. David Šimek

Konzultant:

doc. Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.
předseda oborové rady

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

Diplomová práce se zabývá studiem trvanlivosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí. V práci jsou popsány konstrukční prvky jističe a stykače nízkého napětí a vytvořeny modely funkcí těchto přístrojů v různých stavech. Na základě modelů funkcí byly vyhodnoceny konstrukční prvky, které mohou být při používání spínacích přístrojů opotřebený, poškozený, až zničený. Následně jsou v práci provedeny praktické experimenty na dvou konkrétních vzorcích jističů od různých výrobců za účelem ověření jejich technických parametrů a trvanlivosti konstrukčních součástí. Selhání některých konstrukčních prvků může mít za následek neschopnost správného fungování spínacího přístroje.

Klíčová slova

Spínací přístroje, jistič, stykač, elektrický oblouk, model funkcí, zkouška

Abstract

This thesis deals with study of durability of low voltage switching devices components. It describes components of circuit breaker and low voltage contactor and contains function models of these devices in various states. Based on model analysis, components that can get worn, damaged or destroyed were selected. Further practical experiments on two samples of circuit breakers from different manufacturers were executed to verify their technical parameters and parts durability. Failure of some components can cause switching device to malfunction.

Keywords

Switching devices, circuit breaker, contactor, electric arc, model of functions, testing

Bibliografická citace:

DALECKÝ, Jan. *Studium trvanlivosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117465>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce David Šimek.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Studium trvanlivosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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: **22. května 2019**

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Davidovi Šimkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji kolegovi Bc. Janu Procházkovi za podporu a odbornou pomoc.

V Brně dne: **22. května 2019**

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	14
2	Spínací přístroje.....	15
3	Jistič.....	16
3.1	Princip funkce jističe.....	16
3.2	Vypínací charakteristiky jističů.....	18
3.3	Zámky a volnoběžky jističů	19
3.3.1	Západky.....	19
3.3.2	Prolomené páky.....	20
3.3.3	Volnoběžky	20
3.4	Jističe pro domovní a podobné instalace.....	22
3.4.1	Konstrukční části modulárního jističe 16A, typ B	22
3.4.2	Vypínací charakteristiky	27
3.5	Jističe pro všeobecné použití.....	28
3.6	Jističe pro jištění motorů	28
4	Stykač.....	29
4.1	Kategorie užití spínacích přístrojů	29
4.2	Parametry stykačů	30
4.3	Elektromagnetický stykač	31
4.3.1	Elektromagnetické stykače se suvným pohybem kontaktů.....	32
4.3.2	Elektromagnetické stykače s pákovým pohybem kontaktů	33
4.3.3	Konstrukční části střídavého elektromagnetického stykače nízkého napětí, AC1,2,3	34
4.4	Tlakovzdušný stykač	37
4.5	Vačkový stykač	37
5	Modely funkcí	38
5.1	Model funkcí stykače	38
5.1.1	Model funkcí stykače v sepnutém stavu	39
5.1.2	Model funkcí stykače v rozepnutém stavu.....	41
5.1.3	Model funkcí stykače ve stavu vypínání s obloukem	43
5.1.4	Model funkcí stykače ve stavu zapínání s působením oblouku	45
5.2	Model funkcí jističe.....	47

5.2.1	Model funkcí jističe v rozepnutém stavu	47
5.2.2	Model funkcí jističe v sepnutém stavu.....	48
5.2.3	Model funkcí vybavovacího mechanismu jističe při vypínání	50
5.2.4	Model funkcí zhašecího systému jističe při vypínání s obloukem.....	52
6	Zkoušky jističů	54
6.1	Podmínky zkoušek	54
6.2	Zkouška oteplení	54
6.3	Zkouška vypínacích charakteristik.....	55
6.3.1	Zkouška charakteristiky čas - proud	55
6.3.2	Zkouška okamžitého vypnutí	56
6.4	Zkratové zkoušky	56
6.4.1	Zkouška na všech jističích	59
6.4.2	Zkouška při proudu 1500 A	60
6.4.3	Zkouška provozní zkratové schopnosti.....	60
6.4.4	Zkouška jmenovité zkratové schopnosti	61
7	Porovnání testovaných jističů.....	62
8	Měření a zkoušky	66
8.1	Měření odporu proudovodné dráhy modulárních jističů.....	66
8.1.1	Vyhodnocení měření odporu proudovodné dráhy.....	66
8.2	Zkoušky vypínacích charakteristik	67
8.2.1	Vyhodnocení zkoušek charakteristik čas – proud.....	68
8.2.2	Vyhodnocení charakteristik okamžitého vypnutí.....	71
8.3	Oteplovací zkoušky	72
8.3.1	Vyhodnocení 1. měření oteplení	74
8.3.2	Vyhodnocení 2. měření oteplení	75
8.3.3	Vyhodnocení 3. měření oteplení	77
8.3.4	Vyhodnocení 4. měření oteplení	79
8.3.5	Porovnání výsledků měření oteplení.....	80
8.3.6	Vliv teploty na konstrukční prvky.....	81
8.4	Zkratové zkoušky	83
8.4.1	Zkratová zkouška jističe 1	83
8.4.2	Zkratová zkouška jističe 2.....	86

9	Stav jističů po zkouškách a jejich porovnání	89
9.1	Stav testovaných jističů po zkouškách	89
9.2	Vzájemné porovnání jističů.....	91
9.3	Porovnání jističů z hlediska pořizovací ceny	94
10	Závěr.....	95

Seznam obrázků

Obr. 3-1 Princip funkce západky	19
Obr. 3-2 Princip funkce prolomených pák.....	20
Obr. 3-3 Princip funkce volnoběžky [4]	21
Obr. 3-4 Konstrukční části otevřeného modulárního jističe v zapnuté poloze	25
Obr. 3-5 Uzavřený modulární jistič ve vypnuté poloze	26
Obr. 3-6 Pouzdro modulárního jističe.....	26
Obr. 3-7 Vypínací charakteristiky jističů typu B, C a D [2]	28
Obr. 4-1 Schéma typického zapojení stykače s dvoutlačítkem	31
Obr. 4-2 Princip funkce elektromagnetického stykače se suvnými kontakty	32
Obr. 4-3 Princip funkce elektromagnetického stykače s pákovými kontakty	34
Obr. 4-4 Konstrukční prvky stykače	36
Obr. 4-5 Stykač v pouzdře	36
Obr. 5-1 Model funkcí stykače v sepnutém stavu	39
Obr. 5-2 Model funkcí stykače v rozepnutém stavu	41
Obr. 5-3 Model funkcí stykače ve stavu vypínání s působením oblouku.....	43
Obr. 5-4 Model funkcí stykače ve stavu zapínání s působením oblouku	45
Obr. 5-5 Model funkcí jističe v rozepnutém stavu	47
Obr. 5-6 Model funkcí jističe v sepnutém stavu	48
Obr. 5-7 Model funkcí vybavovacího mechanismu jističe při vypínání.....	50
Obr. 5-8 Model funkcí zhašecího systému jističe při vypínání s obloukem.....	52
Obr. 6-1 Osazení jističe pro zkratové zkoušky [8]	57
Obr. 6-2 Schéma obvodu pro zkratové zkoušky jednopólového jističe [8].....	58
Obr. 8-1 Schéma zapojení měření odporu proudovodné dráhy jističe.....	66
Obr. 8-2 Schéma zapojení pro zkoušky vypínacích charakteristik.....	68
Obr. 8-3 Snímky z termokamery jističe 1	82
Obr. 8-4 Snímek z termokamery jističe 2	82
Obr. 8-5 Snímky ze zkratové zkoušky jističe 1	85
Obr. 8-6 Snímky ze zkratové zkoušky jističe 2	88

Seznam tabulek

Tab. 3-1 Důležité parametry vypínacích charakteristik jističů	19
Tab. 4-1 Nejčastěji používané kategorie užití spínacích přístrojů [7]	30
Tab. 5-1 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače v sepnutém stavu	40
Tab. 5-2 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače v rozepnutém stavu.....	42
Tab. 5-3 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače při vypínání s obloukem	44
Tab. 5-4 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače při zapínání s obloukem	46
Tab. 5-5 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí jističe v rozepnutém stavu	48
Tab. 5-6 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí jističe v sepnutém stavu.....	49
Tab. 5-7 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí vybavovacího mechanismu jističe při vypínání	51
Tab. 5-8 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí zhášecího systému jističe při vypínání s působením oblouku	53
Tab. 6-1 Maximální hodnoty oteplení modulárních jističů [8].....	55
Tab. 6-2 Tolerance zkušebních hodnot při zkratových zkouškách [8]	58
Tab. 6-3 Rozsah účinníků dle velikosti zkušebního proudu [8]	58
Tab. 6-4 Postup zkoušky provozní zkratové schopnosti pro jednopólové jističe [8]	60
Tab. 6-5 Postup zkoušky jmenovité zkratové schopnosti jednopólového jističe [8]	61
Tab. 7-1 Porovnání testovaných modulárních jističů	62
Tab. 8-1 Naměřené hodnoty odporu proudovodné dráhy.....	67
Tab. 8-2 Použité měřicí přístroje při zkouškách vypínacích charakteristik.....	68
Tab. 8-3 Přehled výsledků měření charakteristik okamžitého vypnutí.....	72
Tab. 8-4 Použité měřicí přístroje při oteplovacích zkouškách.....	73
Tab. 8-5 Laboratorní podmínky při oteplovacích zkouškách	73
Tab. 8-6 Popis měřených veličin pro tabulky 8-7 až 8-14.....	73
Tab. 8-7 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 1. měření	74
Tab. 8-8 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 1. měření	75
Tab. 8-9 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 2. měření	76
Tab. 8-10 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 2. měření	77
Tab. 8-11 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 3. měření	78
Tab. 8-12 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 3. měření	78

Tab. 8-13 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 4. měření	79
Tab. 8-14 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 4. měření	80
Tab. 8-15 Nejvyšší naměřené teploty u nejvíce oteplených prvků.....	81
Tab. 8-16 Laboratorní podmínky při zkratový zkoušce typu O jističe 1	84
Tab. 8-17 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu CO jističe 1.....	84
Tab. 8-18 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu O jističe 2	86
Tab. 8-19 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu CO jističe 2.....	87
Tab. 9-1 Stav testovaných jističů po zkouškách	89
Tab. 9-2 Hmotnosti prvků jističe 1	93
Tab. 9-3 Hmotnosti prvků jističe 2	93

Seznam grafů

Graf 8-1 Průběh první zkoušky čas-proud u jističe 1	69
Graf 8-2 Průběh druhé zkoušky čas - proud u jističe 1	69
Graf 8-3 Průběh první zkoušky čas - proud u jističe 2	70
Graf 8-4 Průběh druhé zkoušky čas - proud u jističe 2.....	71
Graf 8-5 Průběh oteplení jističe 1 při 1. měření	74
Graf 8-6 Průběh oteplení jističe 2 při 1. měření	75
Graf 8-7 Průběh oteplení jističe 1 při 2. měření	76
Graf 8-8 Průběh oteplení jističe 2 při 2. měření	76
Graf 8-9 Průběh oteplení jističe 1 při 3. měření	77
Graf 8-10 Průběh oteplení jističe 2 při 3. měření.....	78
Graf 8-11 Průběh oteplení jističe 1 při 4. měření.....	79
Graf 8-12 Průběh oteplení jističe 2 při 4. měření.....	80
Graf 8-13 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu O jističe 1	84
Graf 8-14 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu CO jističe 1	85
Graf 8-15 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu O jističe 2	86
Graf 8-16 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu CO jističe 2	87

1 ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na studium trvanlivosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí. Spínací přístroje jsou důležitou součástí každého elektrického obvodu a mohou zastávat různé funkce, např. jisticí, ovládací, měřicí, atd.

Základní konstrukční částí spínacích přístrojů jsou kontakty. Ve spínacích přístrojích bývá obvykle použita kombinace kontaktů pevných a pohyblivých. Při zapínacím procesu dochází k přiblížení pohyblivého kontaktu k pevnému. Při vypínacím procesu dochází k oddálení pohyblivého kontaktu od pevného. Správně navržené a konstrukčně provedené kontakty jsou schopny při vzájemném dotyku vést elektrický proud konkrétní velikosti, která odpovídá parametrům přístroje.

Každý typ spínacího přístroje je navržen na určitý počet spínacích cyklů při různých výkonových parametrech, které musí jeho konstrukční prvky vydržet. V průběhu jejich používání dochází k opotřebením. Velkým opotřebením nebo překročením životnosti může dojít k poškození celého spínacího přístroje a ten nadále není schopen dostatečně plnit svou funkci. Jednou z nejčastějších příčin selhání může být svaření pevných a pohyblivých kontaktů. Pokud nedojde v případě potřeby vlivem předešlého svaření kontaktů k jejich rozpojení, může být ohroženo zdraví osob pracujících na elektrickém obvodu a poškozena všechna elektrická zařízení nacházející se za spínacím přístrojem. Nebezpečná situace může nastat také při selhání některého z prvků vybavovacího mechanismu jisticího přístroje. Aby se dalo těmto situacím předejít, je důležité znát životnost konstrukčních prvků spínacích přístrojů, příčiny opotřebením a poškození. Po překročení životnosti zařízení je nutné zajistit jeho výměnu. Životnost konstrukčních prvků v daném přístroji se dá zjistit jeho teoretickou analýzou nebo různými praktickými experimenty. Tato práce se zabývá teoretickou analýzou životnosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí a jejich testováním pro ověření technických parametrů a životnosti.

2 SPÍNACÍ PŘÍSTROJE

Spínací přístroje jsou elektrické přístroje sloužící k ovládání a řízení elektrického obvodu. Jsou nezbytnou součástí každého elektrického obvodu a vykonávají některé důležité funkce. Mezi tyto funkce patří připojování a odpojování elektrického obvodu bez proudu, zapínání a vypínání při průchodu proudu obvodem, jištění elektrických prvků v obvodu a ochrana před úrazem elektrickým proudem. Spínací přístroj je obecný název pro zařízení plnící vyjmenované funkce. Spínací přístroj, který plní již přesně stanovené funkce je například vypínač, odpínač, odpojovač, stykač, jistič, pojistka, svodič přepětí, proudový chránič, spouštěč, regulátor. [1]

3 JISTIČ

Jistič je mechanický spínací přístroj, který je schopen vést, zapínat a vypínat provozní proudy a zapínat, určitou dobu vést a samočinně rozpojovat obvod v případě, že se v obvodu vyskytnou nežádoucí podmínky, jako je přetížení nebo zkrat, případně podpětí. Včasné rozpojení obvodu zajistí ochranu elektrických zařízení před tepelnými a dynamickými účinky nežádoucích nadproudů a ochranu osob a zvířat před úrazem elektrickým proudem. Velká výhoda jističů oproti pojistkám je v jejich opakovatelném použití po zapůsobení spouště. Jističe lze dělit dle několika následujících kritérií:

Rozdělení jističů dle typu napěťové soustavy

- 1) Jističe pro stejnosměrné soustavy
- 2) Jističe pro střídavé soustavy

Rozdělení jističů dle použití

- 1) Jističe pro domovní a podobné instalace (malé jističe)
- 2) Jističe pro všeobecné použití
 - a) Kompaktní jističe
 - b) Vzduchové jističe
- 3) Jističe pro jištění motorů

Rozdělení jističů dle typu spouště

- 1) Jističe s termomagnetickou spouští
- 2) Jističe s elektronickou spouští
- 3) Jističe s kataraktovou spouští (dnes se již téměř nepoužívají)

3.1 Princip funkce jističe

Princip funkce závisí na způsobu monitorování proudu procházejícího jističem. Jistič s termomagnetickou nadproudovou spouští má dvě základní části. U jističů pro domovní a podobné instalace bývají obvykle obě části spouště odděleny a umístěny každá v jiné části jističe.

První částí je bimetal, který tvoří časově závislou teplenou spoušť. Princip bimetalu je založen na různé teplotní roztažnosti dvou kovů spojených dohromady. Dojde-li k ohřátí bimetalu, každý z kovů má snahu se roztáhnout na jinou délku a dochází tak ke vzniku vnitřního napětí a ohybu bimetalu. Jako materiály dvojkovů jsou nejčastěji používány slitiny železa a niklu jako pasivní složka (např. FeNi₃₆) a slitiny železa, mědi,

případně niklu jako aktivní složka (např. FeNi₂₀Mn₆, MnNi₁₆Cu₁₀). Bimetal může být vyhříván přímo procházejícím proudem nebo nepřímo topítkem, které je na bimetal přiloženo nebo je jím ovinuto. Dojde-li tedy k průchodu nadproudu jističem, bimetal se vlivem Joulových ztrát ohřeje, prohne se a pomocí mechanické vazby (ramena, páky, lišty,...) zapůsobí na vypínací mechanismus a ten díky energii akumulované v pružinách rozpojí kontakty jističe.

Druhou částí termomagnetické spouště je elektromagnet, který tvoří časově nezávislou zkratovou spoušť. Jako vinutí elektromagnetu je použita cívka, která je součástí proudovodné dráhy přístroje. Počet závitů cívky je dán typem jističe (jistič typu B má největší počet závitů cívky, C menší a D nejmenší počet závitů) a jeho jmenovitým proudem. S rostoucí hodnotou jmenovitého proudu klesá počet závitů cívky, jelikož základní vztah pro výpočet síly elektromagnetu je:

$$F_x = -\frac{1}{2} \cdot (N \cdot i)^2 \cdot S \cdot \mu_0 \cdot \frac{1}{x^2}, \quad (3.1)$$

kde F_x je síla elektromagnetu, N je počet závitů cívky, i je proud procházející cívkou, S je průřez magnetického obvodu, μ_0 je permitivita a x je délka vzduchové mezery. Pokud tedy cívku prochází větší proud (dle typu jističe) a pro přitažení kotvy stačí stejná síla, sníží se nám tak potřebný počet závitů cívky.

Vyskytne-li se v jističi velká hodnota nadproudu, je kotva přitažena k elektromagnetu, úderníkem zapůsobí na vypínací mechanismus a rozpojí kontakty jističe. Velikost nadproudu, který spustí vypínací proces je dána typem jističe. Kotva elektromagnetu se díky zpětné pružině vrátí do původní polohy. Vzniklý oblouk je pomocí elektrodynamické síly vytvořené tvarem proudovodné dráhy vtažen do zhasací komory, ve které dojde k rozdělení oblouku mezi feromagnetické plechy. Oblouk se tedy rozdělí na několik menších oblouků, tím se zvětší počet elektrodových úbytků jednotlivých oblouků, vzroste celkový elektrický odpor a díky ochlazení a deionizaci dojde k jeho uhasnutí.

U kompaktních jističů časově závislá i nezávislá spoušť tvoří jeden celek. Elektromagnet časově nezávislé spouště se skládá ze jha a kotvy. Kotva je od jha oddalována pružinou, která slouží k nastavení vypínací schopnosti. Vinutí elektromagnetu je obvykle tvořeno pouze jedním průvlekiem proudovodné dráhy v oblasti umístění bimetalu, na který je paralelně připojeno topítko. Časově závislé i nezávislé spouště jednotlivých pólů jsou mechanicky propojeny lištami. Při průchodu nadproudu

jedním z pólů jističe dojde k zapůsobení spouště na propojovací lišty. Díky mechanické vazbě mezi lištami a vypínacím systémem dojde k následnému rozpojení kontaktů jističe.

Jističe pro střídavé soustavy s elektronickou spouští monitorují procházející proud na každém pólu jističe zvlášť proudovými transformátory. Jejich primární vinutí je tvořeno pólem jističe a sekundární vinutí cívkou s mnoha závity. Elektronická spoušť je napájena pomocí proudových transformátorů a může tvořit samostatný výměnný blok, který má v sobě základní desku s elektronickými součástkami, mikroprocesor, prvky určené k nastavování spouště, kontakty na propojení s proudovými transformátory a další prvky. Princip funkce elektronické spouště je založený na snímání okamžité hodnoty proudu procházejícího jističem a následným vypočítáním skutečné efektivní hodnoty proudu. Tato hodnota proudu je poté porovnávána s nastavenou vypínací charakteristikou jističe. Na výstupu spouště je elektromagnet, který umožňuje vybavení jističe. Díky vyhodnocování skutečné efektivní hodnoty lze tyto jističe využít i v obvodech s určitou deformací sinusového průběhu proudu. Elektronické spouště kromě jisticí funkce mohou dále provádět měření elektrických veličin, lze s nimi dálkově komunikovat, díky software nastavovat vypínací charakteristiky a mají spoustu dalších funkcí. V současné době jsou elektronické spouště používány u jističů se jmenovitým proudem 160 A a více, protože u jističů s nižším jmenovitým proudem je kladen důraz na nízké výrobní náklady. Elektronická spoušť je nákladnější na výrobu než klasická termomagnetická.

Jističe s elektronickou spouští pro stejnosměrné soustavy používají místo proudových transformátorů ke snímání proudu Hallovy sondy.

Některé jističe mohou být dále také rozšířeny o další příslušenství, jako je vypínací spoušť, podpěťová spoušť, pomocné spínače a další. [2]

3.2 Vypínací charakteristiky jističů

Vypínací charakteristika jističe vyjadřuje závislost vypínacího času jističe na velikosti proudu jističem procházejícím. U jističů s termomagnetickou spouští je odvozena od vlastností časově nezávislé a časově závislé spouště. Vypínací charakteristika bývá udávána ve studeném stavu tzn., že jistič nebyl před průchodem daného proudu zatěžován a bimetal tedy není ohřátý. Pokud dojde k předchozímu zatěžování a zafunguje tepelná paměť časově závislé spouště, tak se doba vybavení jističe zkracuje v závislosti na velikosti a trvání proudu, kterým byl jistič před použitím zatěžován. U jističů s elektronickou spouští bývá tepelná paměť jističe zajištěna pomocí software a u

některých jističů ji lze vypnout. Mezi důležité parametry vypínacích charakteristik patří veličiny dle následující tabulky 3-1. [2,3]

Tab. 3-1 Důležité parametry vypínacích charakteristik jističů

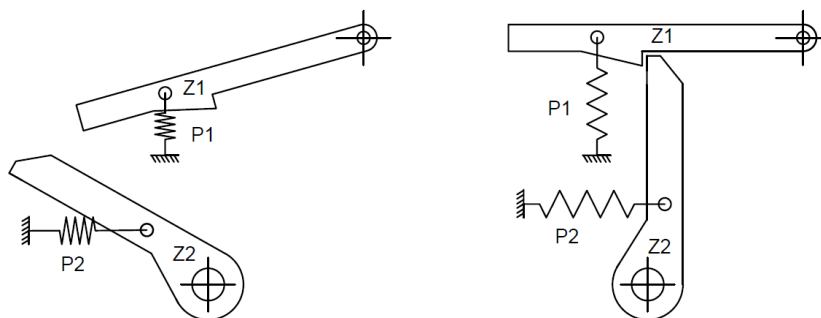
Důležité parametry vypínacích charakteristik jističů	
Značka	Název
I_n [A]	Jmenovitý proud jističe
t [h]	Smluvená doba
I_{nt} [A]	Smluvený nevypínací proud
I_t [A]	Smluvený vypínací proud

3.3 Zámky a volnoběžky jističů

Zámky a volnoběžky jsou mechanické systémy sloužící k udržení kontaktů jističů v zapnuté poloze a pomocí dalších mechanismů napomáhají k rychlému vybavení jističe. U jednoduchých jističů s malým jmenovitým proudem je zámek konstruován jako západka nebo systém prolomených pák. U složitějších jističů s větším jmenovitým proudem jsou zámky konstruovány z více jednoduchých zámků. V takovém případě říkáme systému zámků volnoběžka.

3.3.1 Západky

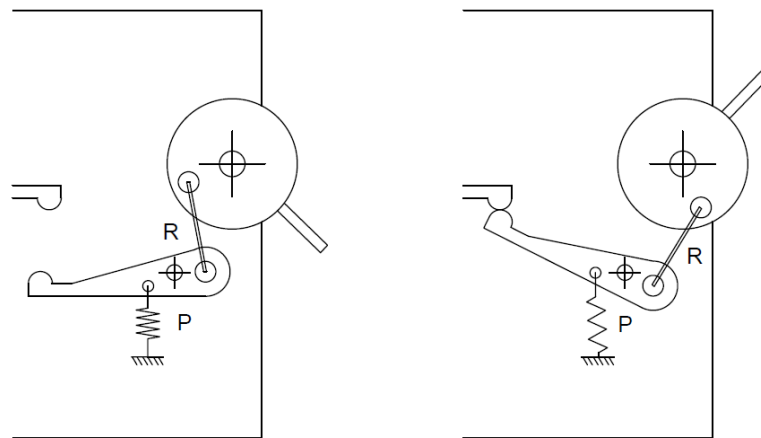
Princip funkce západky je patrný z obrázku 3-1. Ve vypnuté poloze (vlevo) nejsou pružiny P1 a P2 napnuty a západky na sebe nepůsobí. Pokud dojde k otáčení západky Z2 po směru hodinových ručiček, tak dochází k natahování pružiny P2 a západka Z2 nadzvedne západku Z1, napíná se pružina P1 a v konečné poloze západky Z2 dojde k zablokování zámku západkou Z1. Na obrázku 3.1 vpravo je západka zablokována. Dojde-li k nadzvednutí západky Z1 zapůsobením spouště jističe, tak dojde k uvolnění zámku a pružina P2 způsobí rozeptnutí zámku a oddálení kontaktů.



Obr. 3-1 Princip funkce západky

3.3.2 Prolomené páky

Princip funkce prolomených pák je patrný z obrázku 3-2. Na obrázku vlevo jsou kontakty rozpojeny a systém je tedy v poloze vypnuto. Pružina P není napnuta a rameno R na systém nepůsobí. Dojde-li k zapínání jističe, ovládací páčka se začne pohybovat směrem nahoru a rameno R při svém pohybu s páčkou začne otáčet pohyblivým kontaktem kolem jeho znázorněné osy a pravá část kontaktu se otočí po směru hodinových ručiček. Až dojde k úplnému dosažení stavu zapnutého jističe, rameno R se vzpříčí mezi ovládací páčku a pohyblivý kontakt, nastane prolomení páky, uzamčení zámku, napnutí pružiny P a spojení kontaktů. Prolomená páka vytvořená ramenem, ovládací páčkou a pohyblivým kontaktem tedy drží zámek v uzamčené poloze. Zapůsobí-li spoušť jističe směrem dolů na pohyblivý kontakt na levé straně od jeho osy, následuje uvolnění páky, pružina P se smrští, tím oddálí kontakty a uvede systém do polohy vypnuto. Tímto způsobem pracují vypínací mechanismy například v současných jističích pro domovní a podobné použití.

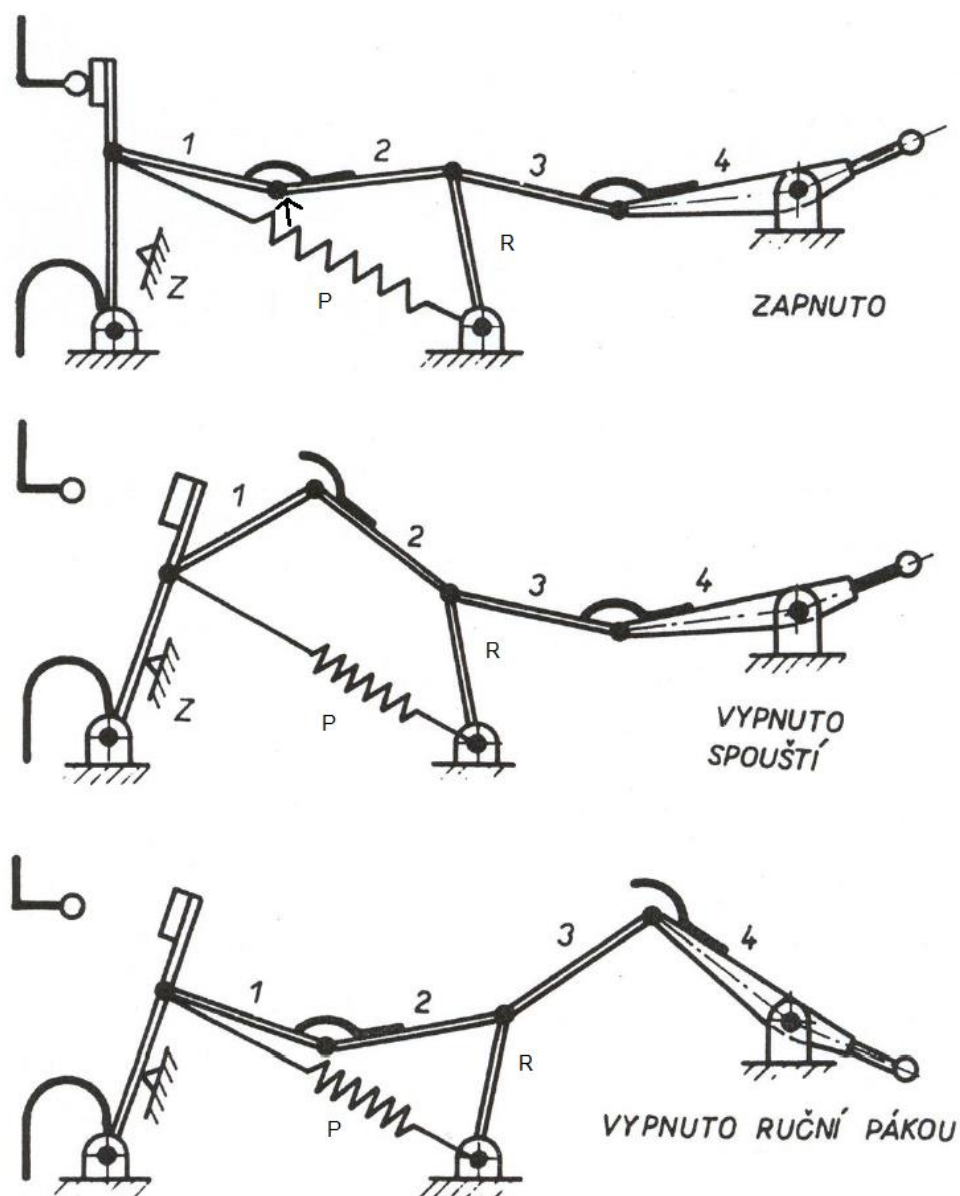


Obr. 3-2 Princip funkce prolomených pák

3.3.3 Volnoběžky

U jističů pro vysoké napětí jsou vypínací síly velké a kdyby se kontaktní systém pohyboval vždy spolu s ovládací pákou, mohlo by při vybavení nebo zapínání jističe do zkratu a následném okamžitém vybavení dojít k úrazu obsluhy ovládací pákou. Proto se u vysokonapěťových jističů používá složitější systém západek a prolomených pák neboli volnoběžka. Princip funkce volnoběžky se dvěma vzpěrami je patrný z obrázku 3-3. Při systému v poloze zapnuto jsou páky v prolomené poloze. Zapůsobí-li spoušť jističe na kloub mezi pákami 1 a 2 ve směru šipky, následuje uvolnění zámku a pružina P svým

smrštěním rozpojí kontaktní systém. Pohyblivý kontakt se zarazí o zarážku Z. Páky 3 a 4 ovšem zůstávají v prolomené poloze a ovládací páka jističe je stále v poloze zapnuto. Na vybavení jističe upozorní obsluhu signalizace jističe. Pro následné zapnutí jističe je nutno ovládací páku stlačit dolů. To způsobí uvolnění pák 3 a 4 a prolomení pák 1 a 2. Při následném pohybu ovládací pákou do polohy zapnuto dojde k prolomení pák 3 a 4. Ty přes rameno R a prolomené páky 1 a 2 zapůsobí na pohyblivý kontakt a jistič se opět dostane do polohy zapnuto.



Obr. 3-3 Princip funkce volnoběžky [4]

3.4 Jističe pro domovní a podobné instalace

Jističe pro domovní a podobné instalace se používají k jištění domovních rozvodů, stavebních instalací, průmyslových instalací a v mnoha dalších podobných případech. Umísťují se do rozvaděčů, zásuvkových skříní, řídicích pultů atd. Jejich konstrukce je provedena tak, aby mohly být obsluhovány osobami bez elektrotechnické kvalifikace. Těmito jističi se zabývá norma ČSN EN 60898-1.

3.4.1 Konstrukční části modulárního jističe 16A, typ B

Ovládací páčka (1)

Plastová ovládací páčka slouží k rozpínání a spínání kontaktů obsluhou přístroje. Je v ní osazeno rameno, které je součástí zámku volnoběžky. Je umístěno na plastové tyčince vyčnívající z pouzdra jističe a je jí tak umožněn pohyb. Pod páčkou je osazena malá pružinka napomáhající k rychlejšímu vybavení jističe. Na venkovní části páčky je nasunut plastový nástavec pro snazší uchopení páčky. K omezení manipulace nepovolnou osobou slouží výřezy v pouzdra jističe.

Ukazatel stavu kontaktů (2)

Ukazatel stavu kontaktů je plastový odlitek, který je zbarven z části do červené a z části do zelené barvy. Pokud jsou kontakty jističe rozpojeny, tak je přes pouzdro jističe vidět zelená barva, pokud jsou kontakty jističe spojeny, je vidět červená barva. Ukazatel je spojen pomocí dutinky s volnoběžkou a osazen na plastové trubičce vyčnívající z pouzdra jističe, což umožňuje jeho pohyb spolu s kontakty.

Zámek volnoběžky (3)

Zámek volnoběžky se skládá z ovládací páčky, spojovacího ramena a systému s pohyblivým kontaktem. Spojovací rameno je osazeno do kovového prvku spínacího mechanismu. Ten je osazen na kruhové dutince a díky tomu se může volně otáčet. Dutinka je umístěna v drážce ukazatele kontaktů. Po uvedení ovládací páčky do polohy zapnuto nastane prolomení páky složené z uvedených prvků a uzamčení zámku. Spolu s pohybem zámkového systému dochází k zaražení jeho výstupku o plastový díl volnoběžky, který díky tomu následně hýbe pohyblivým kontaktem při spínání a rozepínání kontaktů.

Volnoběžka (4)

Volnoběžka se skládá z jednoho plastového, jednoho kovového dílu a pohyblivého kontaktu. Plastový díl je pomocí výřezu pohybově spojený se zámkem. Společně s kovovým dílem a pohyblivým kontaktem je umístěn na kovové tyčince, která je osazena v pouzdru jističe. Při pohybu ovládací páčkou se tedy hýbou zároveň všechny tři díly volnoběžky. V plastovém dílu je vytvořena drážka, do které je osazeno vybavovací táhlo tepelné spouště. Kovový díl volnoběžky je pomocí nýtu pevně spojen s pohyblivým kontaktem. Mezi plastovým a kovovým dílem volnoběžky je napnuta pružinka umožňující lepší pružné spojení těchto dvou dílů.

Hlavní vypínací pružina (5)

Hlavní vypínací pružina je natažena mezi pohyblivým kontaktem, který je součástí volnoběžky a kovovou tyčinkou vlisovanou do pouzdra jističe. Je to velmi důležitý prvek vybavovacího mechanismu. Při vybavení jističe díky ní dojde k velice rychlému odtržení kontaktů.

Pohyblivý kontakt (6)

Pohyblivý kontakt je pomocí měděného pleteného vodiče spojen s teplenou spouští a tvoří proudovodnou dráhu jističe. Je vyroben z kontaktního materiálu založeného na slitině stříbra a mědi. Při sepnutém stavu dosedá na pevný kontakt a vytvoří tak cestu pro průchod proudu mezi svorkami jističe.

Pevný kontakt (7)

Pevný kontakt tvoří proudovodnou dráhu jističe. Přes elektromagnetickou spoušť je napojen na vstupní svorku jističe. Je vyroben z kontaktního materiálu založeného na slitině stříbra a mědi.

Svorka a třmen (8)

V jističi jsou osazeny dva mechanismy pro upevnění přívodního a vývodního vodiče. Jsou tvořeny třemi díly: svorkou, třmenem a šroubem. Upevnění vodiče do svorky je umožněné díky šroubu, který při utahování přitlačuje třmen ke svorce. Pohyb třmenu je vymezen pomocí plastového dílku, který se pohybuje v drážce vytvořené v pouzdře jističe.

Bimetal (9)

Bimetal je hlavní prvek časově závislé nadproudové spouště. Z jedné strany je uchycen mezi justovací šroub a pružinu. Tyto dva prvky umožňují provádět nastavení

tepelné spouště. Druhou stranou je bimetal přes pletený měděný vodič napojen na pohyblivý kontakt. Pokud dojde průchodem proudu k ohřátí a ohnutí bimetalu, tak svým průhybem zapůsobí na rameno, které ho spojuje s volnoběžkou a dojde tak k vybavení jističe.

Vodiče oblouku (10)

Vodiče oblouku slouží k odvedení oblouku z místa vzniku do zhášecí komory pomocí elektrodynamických sil vytvořených průchodem proudu vodiči. Jsou tedy napojeny na svorky jističe a vedou až do zhášecí komory. Elektrodynamické síly vznikají díky speciálnímu tvaru proudovodné dráhy a blízkým feromagnetickým materiálům.

Zhášecí komora (11)

Roštová zhášecí komora je tvořena navzájem oddělenými feromagnetickými plechy, které jsou osazeny do plastového pouzdra. Celé pouzdro s plechy je osazeno do pouzdra jističe, ve kterém jsou vytvořeny drážky, do kterých pasují plechy. Plastové pouzdro má v sobě otvory, do kterých zapadají výstupky plechů a mohou tak pevně držet v dané poloze. Plechy jsou nasměrovány proti pohybu oblouku, který je doveden do zhášecí komory vodiči oblouku.

Krytka zhášecí komory (12)

Krytky zhášecí komory jsou vyrobeny z průhledného plastu. Jsou umístěny na obou částech pouzdra jističe a slouží jako ochrana pouzdra jističe před působením tepla od oblouku.

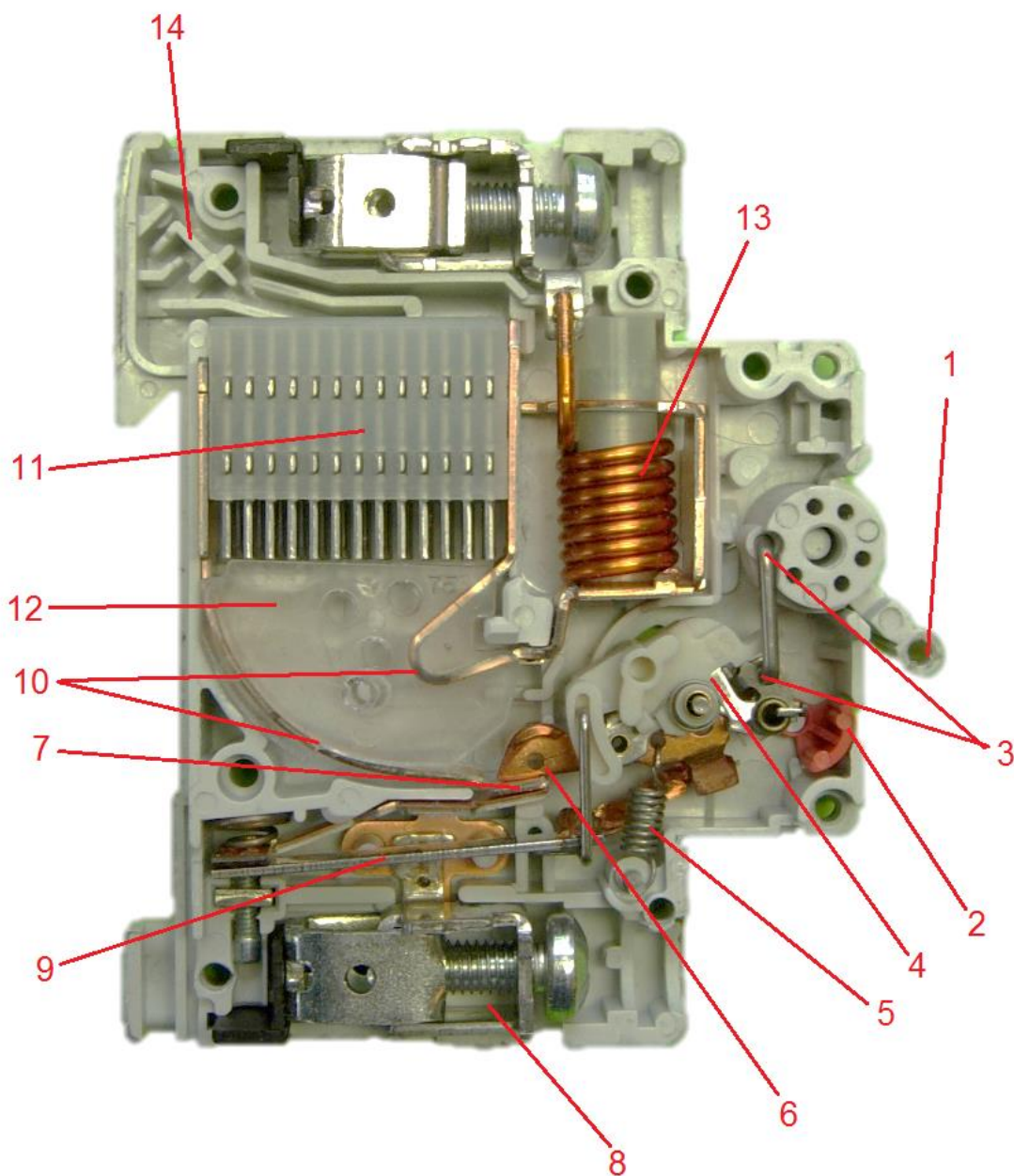
Elektromagnetická spoušť (13)

Elektromagnetická časově nezávislá spoušť je tvořena magnetickým obvodem a cívkou. Cívka je namotána na plastovou trubičku a jedním koncem je napojena na svorku jističe a druhým koncem na vodič vedoucí k pevnému kontaktu. Vyskytuje se tedy v proudovodné dráze jističe. Magnetický obvod se skládá z feromagnetické kotvy s úderníkem. Při průchodu zkratu cívka pohne s kotvou a ta úderníkem zapůsobí na volnoběžku. Po odeznění zkratu se vrátí kotva na původní místo díky zpětné pružině.

Pouzdro jističe (14)

Pouzdro jističe je rozděleno na dvě téměř totožné poloviny a je typicky vyrobeno z dobře zpracovatelných a levnějších termoplastů. V jedné polovině pouzdra jsou osazeny všechny prvky jističe a druhá polovina na ně přesně dosedá a zajistí tak jejich dostatečné upevnění a ochranu obsluhy před dotykem nebezpečných živých částí. V obou půlkách

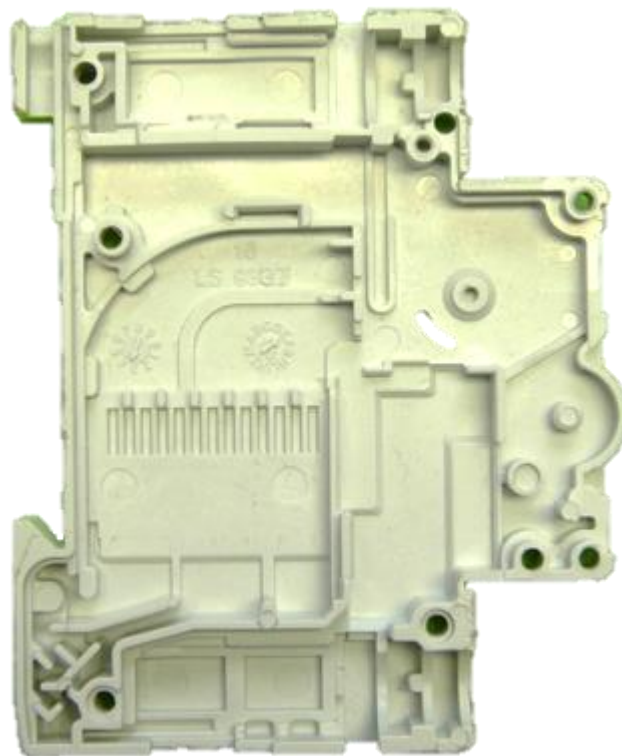
pouzdra jsou vytvořeny otvory pro šrouby svorek, spojovací nýty, justovací šroub tepelné spouště, otvory pro výstup horkých plynů a podobně. Přední část jističe je navíc překryta dalším plastovým dílem. Pro pohodlné osazení na přístrojovou lištu je na zadní straně jističe připevněna plastová západka.



Obr. 3-4 Konstrukční části otevřeného modulárního jističe v zapnuté poloze



Obr. 3-5 Uzavřený modulární jistič ve vypnuté poloze



Obr. 3-6 Pouzdro modulárního jističe

3.4.2 Vypínací charakteristiky

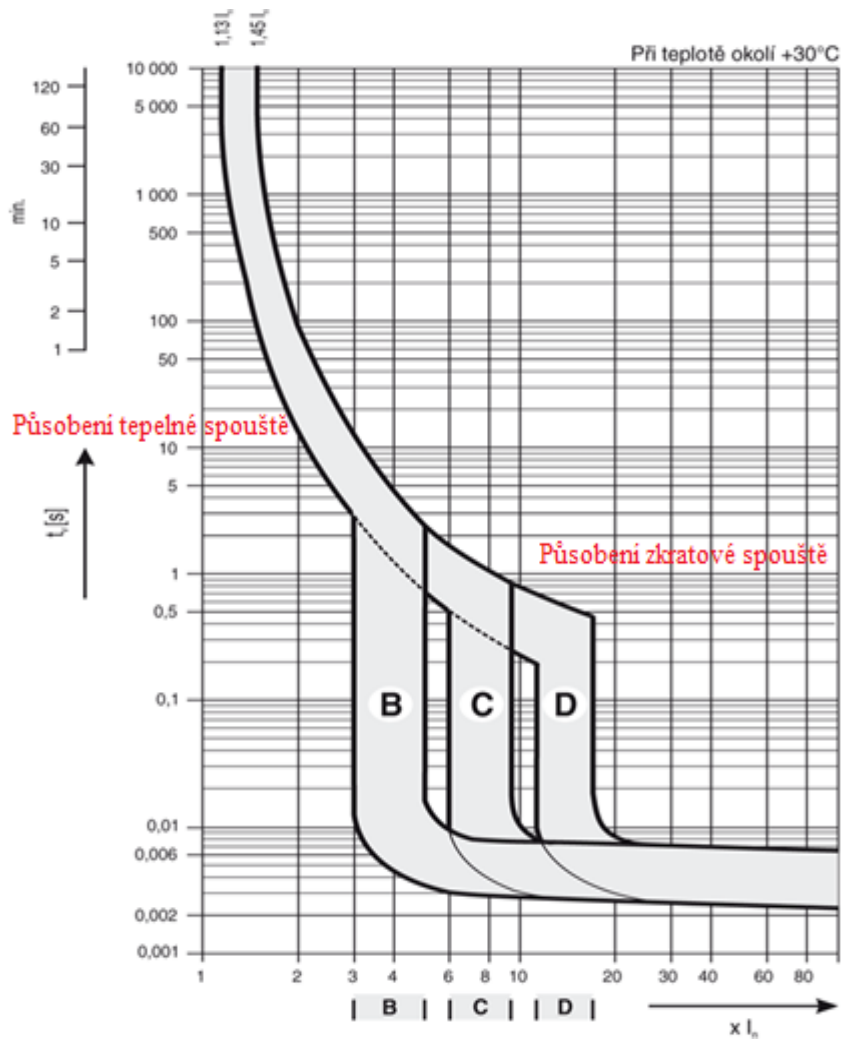
Meze vypínacích charakteristik u jističů pro domovní a podobné instalace jsou dány normou ČSN EN 60898-1. Působení časově závislé tepelné spouště tato norma následovně omezuje:

- Jistič nesmí vypnout 1,13 násobek jmenovitého proudu po dobu 1 h (smluvený nevypínací proud)
- Jistič musí vypnout 1,45 násobek jmenovitého proudu do 1 h (smluvený vypínací proud)
- Jistič musí vypnout 2,55 násobek jmenovitého proudu mezi 1 s až 60 s u jističů se jmenovitým proudem do 32 A a mezi 1 s až 120 s u jističů se jmenovitým proudem nad 32 A.

Dle nastavení časově nezávislé zkratové spouště norma dělí jističe dle typu jejich charakteristik na:

- Jistič typu B – zkratová spoušť začíná působit od 3 do 5 násobku jmenovitého proudu, vhodné pro elektrická zařízení s malými proudovými rázy (zásuvkové obvody, žárovky atd.)
- Jistič typu C – zkratová spoušť začíná působit od 5 do 10 násobku jmenovitého proudu, vhodné pro elektrická zařízení se středními proudovými rázy (malé motory, spínané zdroje, atd.)
- Jistič typu D – zkratová spoušť začíná působit od 10 do 20 násobku jmenovitého proudu, vhodné pro elektrická zařízení s velkými proudovými rázy (větší motory, transformátory, atd.)

Na následujícím obrázku 3-7 jsou zobrazeny vypínací charakteristiky jističů typu B, C a D. [2,3]



Obr. 3-7 Vypínací charakteristiky jističů typu B, C a D [2]

3.5 Jističe pro všeobecné použití

Kompaktní a vzduchové jističe se používají v rozvodech pro jištění velkých obytných domů, průmyslových závodů, v rozvodech s velkým množstvím elektrických spotřebičů a u zařízení s velkým jmenovitým proudem řádově až do tisíců ampérů. Jsou navrženy pro obsluhu osobami s elektrotechnickou kvalifikací. Při jejich obsluze je nutné používat vhodné ochranné pomůcky.

3.6 Jističe pro jištění motorů

Jejich provedení a charakteristiky jsou přizpůsobeny vlastnostem asynchronních motorů. Mají velkou mechanickou a elektrickou životnost a díky tomu umožňují společně s jisticí funkcí plnit také funkci zapínání a vypínání asynchronních motorů.

4 STYKAČ

Stykač je dálkově ovládaný spínací přístroj, který je navržen pro časté spínání a vypínání proudu motorů a dalších elektrických spotřebičů. Na jeho konstrukci a materiály jsou kladeny velké nároky, jelikož musí vydržet až několik set spínacích cyklů za hodinu. Také musí kvůli spínání motorů zvládat zapnutí a vypnutí i při některých nadproudech. Má polohy zapnuto a vypnuto, přičemž vypnuto je výchozí stabilní poloha a zapnuto je poloha, do které se kontakty dostávají pomocí spínacího mechanismu. V zapnutém stavu zůstává stykač pouze po dobu působení spínacího mechanismu, a jakmile přestane na kontakty mechanismus působit, jsou kontakty stykače pomocí zpětné pružiny navraceny do polohy vypnuto. Toto provedení stykače se používá pro časté spínání. Pro takové spínání, při kterém je stykač delší dobu v jedné poloze se používají stykače bistabilní s permanentními magnety. Ty si díky remanentnímu magnetizmu magnetů drží navozený stav budícím impulsem. Při oddalování kontaktů může vznikat elektrický oblouk, a proto jsou stykače vybaveny zhašecími komorami. Jejich kontaktní systém bývá proveden čelními kontakty. Mechanismus pro spínání stykače se používá vačkový, pneumatický nebo elektromagnetický. Stykače lze dělit dle několika následujících kritérií:

Rozdělení stykačů dle použití

- 1) Stykače výkonové
- 2) Stykače pomocné

Rozdělení dle druhu spínaného proudu

- 1) Stykače pro stejnosměrný proud
- 2) Stykače pro střídavý proud

4.1 Kategorie užití spínacích přístrojů

Každý spínací přístroj je určen pro různé kategorie užití. Těmito kategoriemi se zabývá soubor norem ČSN EN 60947. Kategorie užití udává, specifické požadavky na spínací přístroje, které se vztahují k jejich použití v daných podmínkách a konkrétních praktických aplikacích. Kategorie jsou rozděleny dle druhu proudu. V následující tabulce jsou uvedeny nejčastěji používané kategorie užití spínacích přístrojů nízkého napětí.

Tab. 4-1 Nejčastěji používané kategorie užití spínacích přístrojů [7]

Nejčastěji používané kategorie užití spínacích přístrojů		
Druh proudu	Kategorie užití	Typické použití
Střídavý	AC-1	Neinduktivní nebo mírně induktivní zátěže, odporové pece
	AC-2	Ovládání kroužkových motorů
	AC-3,4	Různé případy ovládání motorů s kotvou nakrátko
	AC-5a	Spínání výbojek
	AC-5b	Spínání žárovek
	AC-6a	Spínání transformátorů
	AC-6b	Spínání kondenzátorů
	AC-7a	Spínání mírně induktivních zátěží v domácnostech a podobné užití
	AC-7b	Spínání motorových zátěží v domácnostech
	AC-12	Řízení odporových zátěží a pevných zátěží s odděleným optoelektronickým členem.
	AC-13	Řízení pevných zátěží s odděleným transformátorem
	AC-14	Řízení malých elektromagnetických zátěží
	AC-15	Řízení střídavých elektromagnetických zátěží
	AC-20	Připojování a odpojování v nezatížených stavech
	AC-21	Spínání odporových zátěží, včetně mírného přetížení
AC-22	Spínání sloučených, odporových a induktivních zátěží, včetně mírného přetížení	
AC-23	Spínání motorových zátěží a jiných vysoko induktivních zátěží	
Střídavý i stejnosměrný	A	Ochrana elektrických obvodů bez uvedení jmenovitého krátkodobého mezního proudu
	B	Ochrana elektrických obvodů s uvedením jmenovitého krátkodobého mezního proudu
Stejnoseměrný	DC-1	Neinduktivní nebo mírně induktivní zátěže, odporové pece
	DC-2,3	Různé případy ovládání derivačních motorů
	DC-4,5	Různé případy ovládání sériových motorů
	DC-6	Spínání žárovek
	DC-12	Řízení odporových zátěží a pevných zátěží s odděleným optoelektronickým členem
	DC-13	Řízení stejnosměrných elektromagnetických zátěží
	DC-20	Připojování a odpojování v nezatížených stavech
	DC-21	Spínání odporových zátěží, včetně mírného přetížení
	DC-22	Spínání míchaných, odporových a induktivních zátěží, včetně mírného přetížení
	DC-23	Spínání vysoce induktivní zátěže

4.2 Parametry stykačů

Jako každý elektrický přístroj mají i stykače jisté parametry, kterými je nutné se při jejich výběru řídit. V následujících odstavcích jsou uvedeny základní technické parametry stykačů:

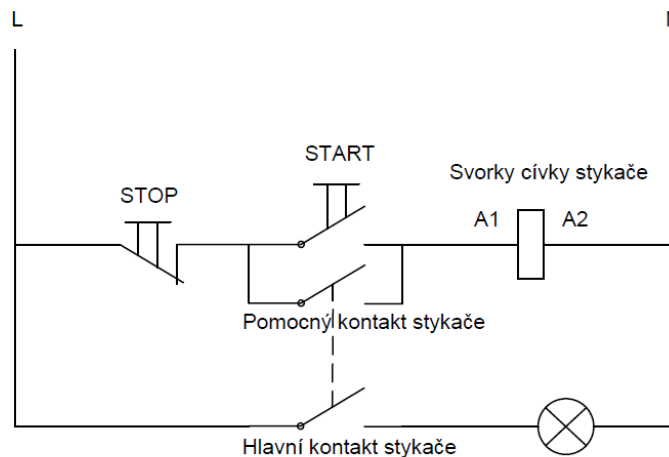
- Jmenovité napětí (U_e) – hladina napětí, na kterou je zařízení určeno, vztahují se k němu charakteristiky zařízení
- Jmenovité izolační napětí (U_i) – napětí, na kterém byli prováděny napěťové zkoušky a zkoušky povrchových cest, musí být větší než jmenovité napětí

- Jmenovitý pracovní proud (I_e) – proud, který je zařízení schopno snášet v závislosti na kategorii užití, teplotě okolí a době operace
- Smluvený tepelný proud (I_{th}) – maximální proud, který může zařízení snášet po dobu 8 hodin bez tepelného přetížení [6]

Mezi další parametry důležité při výběru stykačů patří například počet hlavních a pomocných kontaktů, maximální průřez připojitelných vodičů garantovaný počet spínacích cyklů a další.

4.3 Elektromagnetický stykač

Nejčastěji používaný mechanismus je elektromagnetický. Pro přitahování kontaktů stykače je v případě elektromagnetického mechanismu použit ovládaný elektromagnet. Ten může být napájen stejnosměrným nebo střídavým proudem buď přímo ze sítě, ve které je stykač použit, nebo z pomocného zdroje. Stykač stejnosměrný má cívku navinutou na magnetickém jádře se severním a jižním pólem. Střídavý stykač má cívku navinutou na jádro z feromagnetických plechů. Pro ovládání stykačů se často používá dvojice tlačítek a pomocné kontakty. Schéma zapojení stykače s dvoutlačítkem je uvedeno na obrázku 4-1.



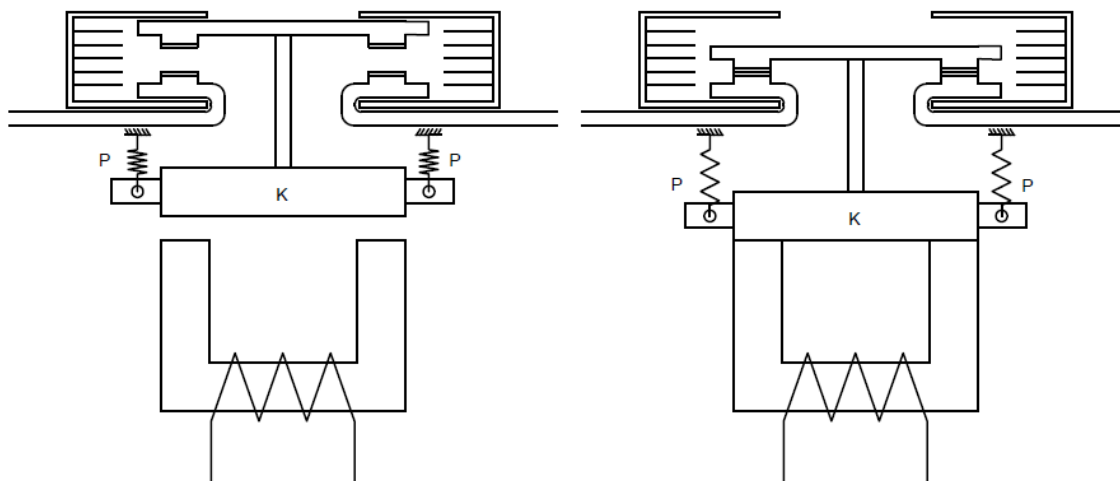
Obr. 4-1 Schéma typického zapojení stykače s dvoutlačítkem

Po stlačení zapínacího tlačítka se přivede proud do cívky elektromagnetu, společně s hlavními kontakty sepnou i pomocné a stykač je tak uveden do zapnuté polohy. Pomocný kontakt přemostí zapínací tlačítko a koná funkci samodržného kontaktu (udržuje stykač v zapnuté poloze). Pro uvedení stykače do zapnuté polohy tedy stačí

pouze krátký impuls. Po stlačení vypínacího tlačítka se rozpojí hlavní i pomocné kontakty, samodržný kontakt se tedy rozpojí a stykač se vrátí do výchozí vypnuté polohy díky zpětným pružinám. Pomocných kontaktů může mít stykač více pro ovládání signalizace, blokovacích kontaktů atd. Dle způsobu pohybu kontaktů lze rozdělit stykače na ty se suvným pohybem kontaktů a s pákovým pohybem kontaktů. [1,4]

4.3.1 Elektromagnetické stykače se suvným pohybem kontaktů

Princip funkce elektromagnetického stykače se suvným pohybem kontaktní soustavy je patrný z obrázku 4-2. Ve vypnuté poloze (obrázek vlevo) jsou kontakty stykače rozpojeny a mají mezi sebou dostatečnou izolační vzdálenost, aby mezi nimi nedošlo k přeskočení napětí. Pružiny P jsou v klidové poloze a na cívku elektromagnetu není připojeno napětí. Pokud na cívku ovládacího elektromagnetu přivedeme napětí, dojde k přitahování kotvy elektromagnetu. Ke kotvě elektromagnetu jsou přes tyč připevněny horní pohyblivé kontakty stykače a po přitahování kotvy se s kotvou pohybují směrem dolů. Při přitahování kotvy také dochází k napínání pružin P. Polohy zapnuto je dosaženo až po úplném dosednutí horních pohyblivých kontaktů na spodní pevné kontakty (obrázek vpravo). Pokud přestaneme na cívku elektromagnetu přivádět napětí, kotva přestane být přitahována k jádru a pružiny P kotvu navrátí do výchozí polohy. Tím dojde k rychlému rozpojení kontaktů a uvedení stykače zpět do vypnuté polohy.



Obr. 4-2 Princip funkce elektromagnetického stykače se suvnými kontakty

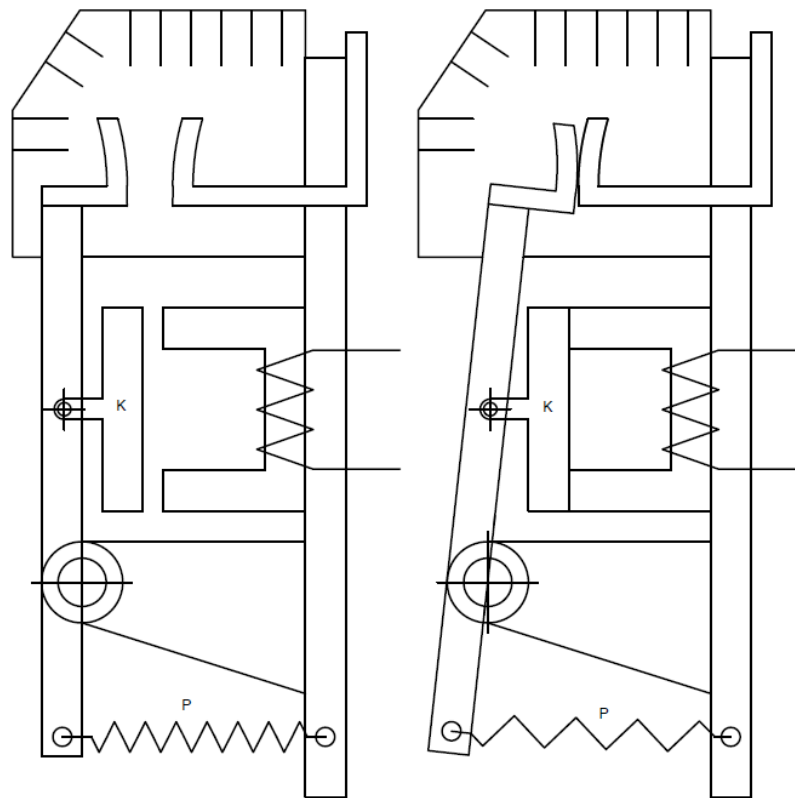
U stykačů se suvným pohybem kontaktů se používají čelní kontakty v můstkovém uspořádání, kvůli jejich schopnosti snášet velkou hustotu spínání. Díky suvnému pohybu při dovedení kontaktů nedochází k jejich opotřebení, ovšem tedy ani k rozrušování cizích

vrstev. Musí se tedy vyrábět z materiálů, u kterých dochází k minimálnímu ovlivnění stykového odporu. Zhášecí komory těchto stykačů se používají kovové. Jelikož se v nich nepoužívají zhášecí cívky, k odvedení oblouku do zhášecí komory slouží záhyb proudovodné dráhy. Při průchodu proudem záhybem proudovodné dráhy vzniká magnetické pole, které oblouk do zhášecí komory odvede. [4]

4.3.2 Elektromagnetické stykače s pákovým pohybem kontaktů

Princip funkce stykače s pákovým pohybem kontaktů je patrný z obrázku 4-3. Ve vypnuté poloze (obrázek vlevo) jsou kontakty stykače rozpojeny, na ovládací cívku elektromagnetu není přivedeno napětí a pružina P není napnutá. Po přivedení napětí na cívku dojde k přitažení kotvy K k jádru, společně s kotvou se v kloubu otáčí pohyblivý kontakt a přibližuje se k pevnému kontaktu. Při zapínacím procesu se také natahuje zpětná pružina P. Po dosednutí kontaktu je stykač v zapnuté poloze (obrázek vpravo). Při odpojení cívky od napětí dojde díky energii akumulované v pružině k okamžitému odtrhnutí kontaktů, pohyblivý kontakt se vrátí do výchozí polohy a stykač je ve vypnuté poloze.

U stykačů s pákovým pohybem kontaktů se používají čelní smykové kontakty. Vyrábí se ze stříbra nebo z materiálů s příměsí stříbra a ušlechtilých kovů. Při spínání kontaktů vlivem jejich pohybu dochází k porušení cizích vrstev a díky tomu mají styk s dobrou vodivostí. Kontakty jsou umístěny přímo ve zhášecí komoře. Zhášecí komory mohou být kovové, izolační šterbinové nebo roštové. Pokud mezi kontakty vznikne elektrický oblouk, je vtažen do roštů zhášecí komory pomocí magnetického pole, které je vytvořeno zhášecí cívkou umístěnou v sérii s vypínacími kontakty. Pákové stykače jsou svou konstrukcí vhodné pro zhášení stejnosměrného i střídavého oblouku. [4]



Obr. 4-3 Princip funkce elektromagnetického stykače s pákovými kontakty

4.3.3 Konstrukční části střídavého elektromagnetického stykače nízkého napětí, AC1,2,3

Jádro (1)

Pevná i pohyblivá část jádra (kotva) je vyrobena z feromagnetických plechů v provedení E – E. Plechy jsou navzájem spojeny pomocí sponek a čepů. Pevná spodní část jádra přesně zapadá do pouzdra stykače a pohyblivá horní část je osazena volně. Při přivedení zapínacího impulzu na ovládací cívku je pohyblivá část přitáhena k pevné části.

Cívka (2)

Cívka slouží společně s jádrem k vytvoření magnetického pole, které přitáhne kotvu elektromagnetu. Je navinuta na plastové konstrukci. Počet závitů cívky je dán parametry stykače. Oba konce cívky jsou připojeny na svorky a označené A1 a A2. Tyto svorky slouží k připojení cívky ke zdroji ovládacího napětí. Konstrukce s cívkou je umístěna na prostředním sloupcu jádra a v pouzdře stykače jsou vytvořeny drážky, do kterých přesně zapadne.

Zpětné pružiny (3)

Dvě zpětné pružiny jsou umístěny mezi jádro a plastovou konstrukci připevněnou ke kotvě. Jsou osazeny na nožičkách plastové konstrukce cívky a plastové konstrukce pohyblivých kontaktů. Slouží k návratu stykače do stabilní vypnuté polohy.

Pohyblivé kontakty (4)

Pohyblivé kontakty můstkového provedení jsou osazeny v plastové konstrukci, která se s nimi při spínání a rozepínání pohybuje. K plastové konstrukci jsou přitlačovány pomocí pružin, které při dosednutí na pevné kontakty vytvoří mezi kontakty dostatečný přítlak, aby při spínání nedocházelo k jejich odskokům. Ve spodní části pohyblivých kontaktů jsou vytvořeny dosedací plochy pro dobré dosednutí na pevné kontakty.

Plastová konstrukce pohyblivých kontaktů (5)

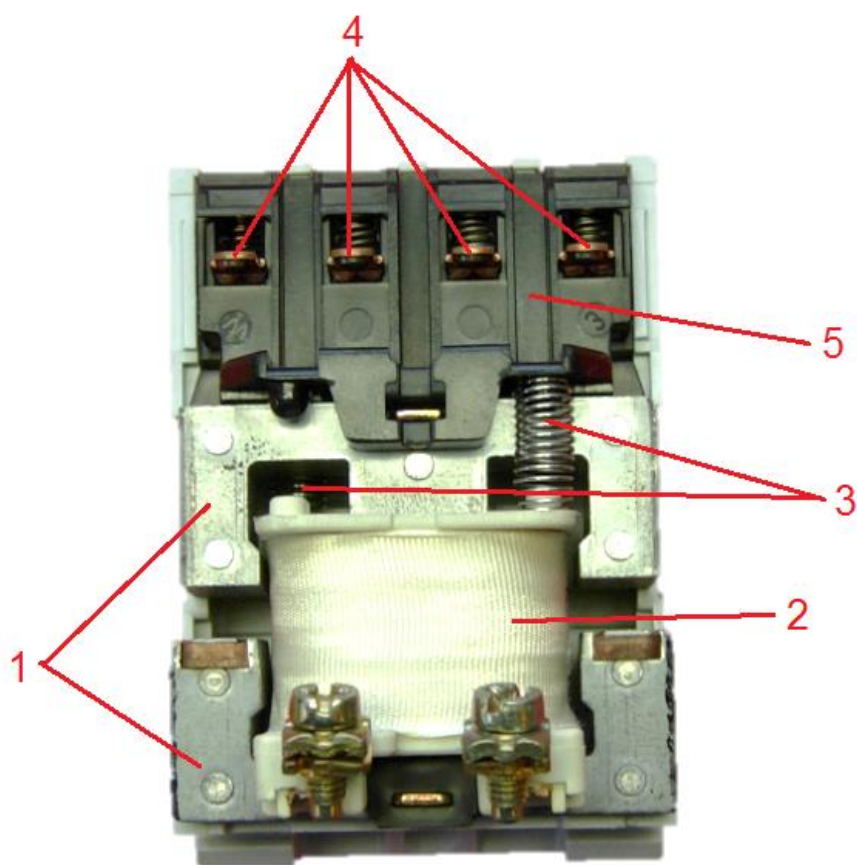
Tato plastová konstrukce slouží k přenesení pohybu kotvy elektromagnetu na pohyblivé kontakty. Je připevněna ke kotvě pomocí zástrčky, která prochází kotvou a zapadá do otvorů v konstrukci. Ze spodní části má na sobě výstupky sloužící k osazení zpětných pružin.

Pevné kontakty (6)

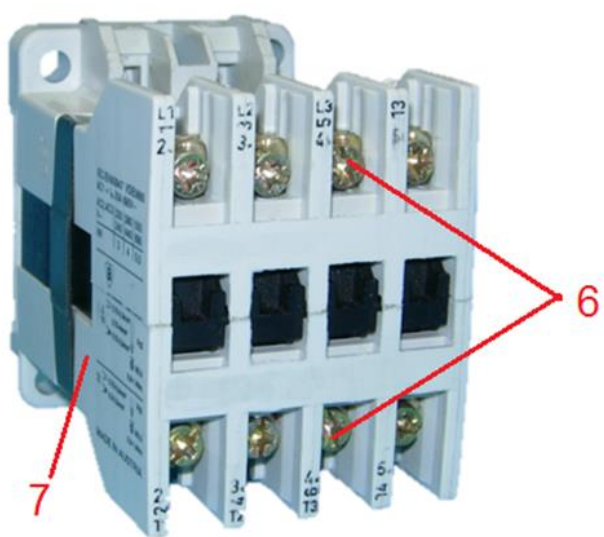
Pevné kontakty můstkového provedení jsou osazeny přímo v plastovém pouzdře stykače, a to v obou jeho půlkách (výstupní a vstupní kontakty). Z venkovní části pouzdra je mechanismus pro uchycení přívodního vodiče, který se skládá z třmenu, svorky a šroubu. Při otáčení šroubem dochází k přibližování třmenu ke svorce, a to umožní připevnění vodičů. Z venkovní části pouzdra procházejí svorky do vnitřní části. Zde mají kontakty tvar písmene L a na jejich vnitřní části jsou vytvořeny dosedací plochy pro dobré dosednutí pohyblivých kontaktů.

Pouzdro stykače (7)

Pouzdro stykače je vyrobeno z plastu a je rozděleno na dvě téměř totožné poloviny. Obě poloviny pouzdra jsou vyrobeny tak, aby do nich přesně zapadaly všechny konstrukční prvky stykače a aby umožnily pohyb volných kontaktů stykače. Obě poloviny pouzdra jsou spojeny pomocí dvou kovových svorek, které zapadnou do výřezů na pouzdře.



Obr. 4-4 Konstrukční prvky stykače



Obr. 4-5 Stykač v pouzdře

4.4 Tlakovzdušný stykač

Stykač s tlakovzdušným ovládním má podobné uspořádání jako elektromagnetický stykač s pákovými kontakty. K ovládní u něj slouží místo elektromagnetu válec, jehož píst je spojen s kontaktní pákou. Při přivedení tlakového vzduchu do válce dojde k přesunutí pístu do pracovní polohy a spolu s ním se posune i kontaktní páka, která sepne stykač. Po odvedení vzduchu pružina vrátí píst i kontaktní páku do vypnuté polohy. [1]

4.5 Vačkový stykač

Stykač vačkový má podobné uspořádání jako elektromagnetický stykač s pákovými kontakty. Pohyblivý kontakt je otočně spojen s dvojramennou pákou. Po otočení vačky dojde pomocí ramena páky k přitažení pohyblivého kontaktu k pevnému kontaktu a uvedení stykače do zapnuté polohy. Do výchozí vypnuté polohy je stykač navrácen díky zpětné pružině, která ho do této polohy trvale tlačí. [1]

5 MODELY FUNKCÍ

Model funkcí technického systému slouží k jeho analýze. Objekty v technickém systému mají mezi sebou vazby, které se projevují působením jednoho objektu na objekt jiný a mohou mít pozitivní nebo negativní účinek. Model funkcí technického systému je tedy model struktury, který obsahuje komponenty daného systému a působení mezi nimi.

V programu TechOptimizer byly sestaveny modely funkcí jističe a stykače nízkého napětí v různých stavech. Pomocí modelu byla provedena jejich analýza a sestaveny tabulky konstrukčních částí. Z tabulek lze určit důležitost konstrukčních částí a také problémovost, která nám může určit ty konstrukční části, jež mohou být během provozu opotřebeny, poškozeny nebo až zničeny. V tabulkách je uvedeno hodnocení funkčnosti, hodnocení problémovosti a faktor doporučených úprav. Hodnocení funkčnosti určuje, jak velkou funkci daný prvek v modelu zastává, a vychází ze zadaných parametrů a vazeb. Čím vyšší číslo je v hodnocení funkčnosti uvedeno, tím důležitější funkci prvek v systému plní. Hodnocení problémovosti určuje, jak moc negativní dopad má daný prvek na model, je v něm zahrnuta i velikost opotřebení prvku a vychází opět ze zadaných parametrů a vazeb modelu. Čím vyšší číslo je v hodnocení problémovosti uvedeno, tím větší problém daný prvek způsobuje systému. Faktor doporučených úprav nám udává, na které prvky modelu je třeba se nejvíce zaměřit a provést u nich úpravy pro zlepšení systému. Čím nižší číslo tento faktor má, tím důležitější je úprava daného prvku. Je vypočítán z hodnocení problému, hodnocení funkčnosti a ceny prvku dle následujícího vzorce 5.1.

$$FU = \frac{F \cdot F}{P+C}, \quad (5.1)$$

kde FU je faktor doporučených úprav prvku, F je hodnocení funkčnosti prvku, P je hodnocení problémovosti prvku a C je cena prvku.

5.1 Model funkcí stykače

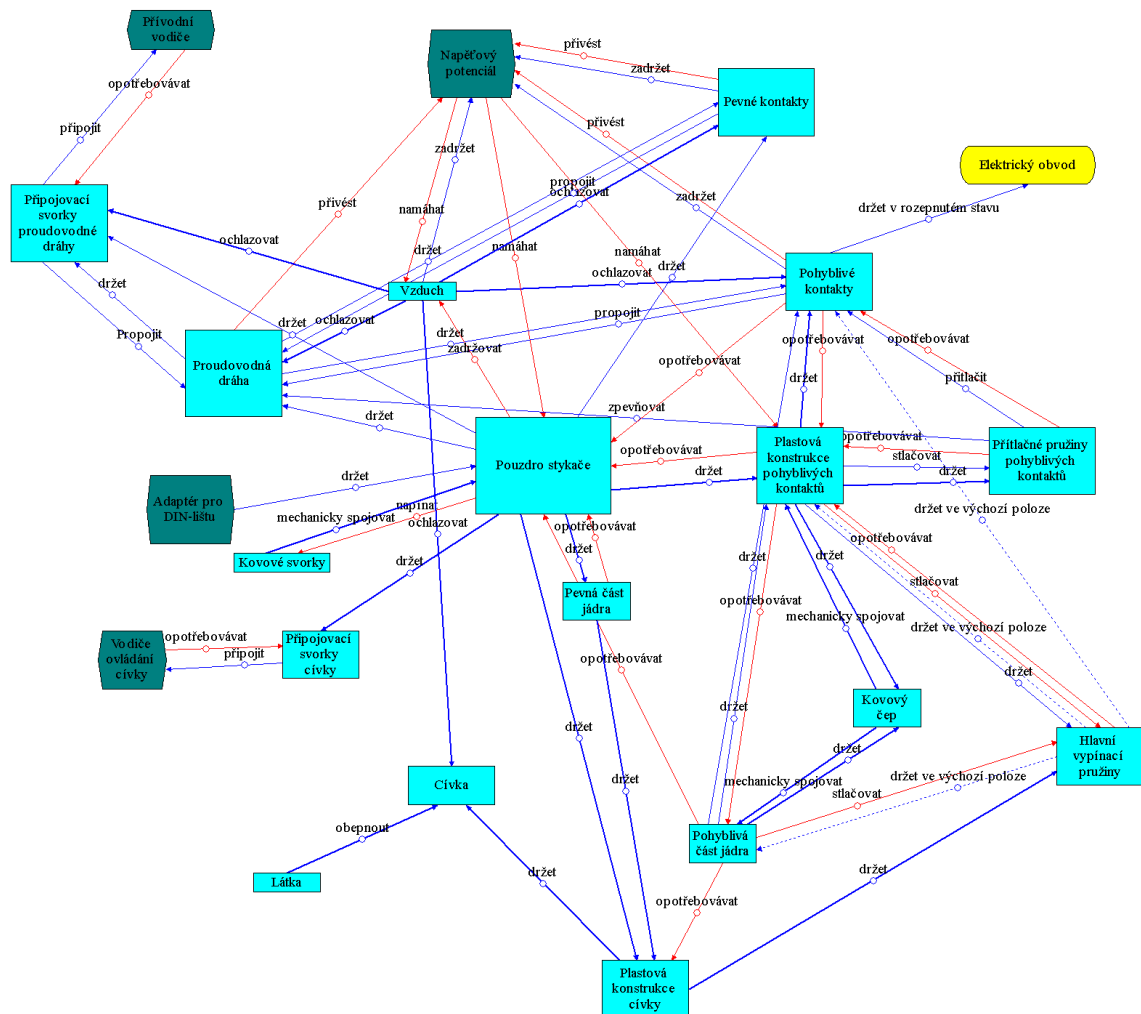
V této kapitole jsou uvedeny modely funkcí střídavého elektromagnetického stykače na nízké napětí s kategorií užití AC1,2,3 popsaného v kapitole 4.2.3. Modely jsou vytvořeny pro různé stavy stykače a je k nim vždy uvedena tabulka hodnocení problémovosti a funkčnosti a faktor úprav všech konstrukčních prvků.

obepínající cívku. Tyto prvky jsou tedy v sepnutém stavu stykače nejméně potřebné. Nejvyššího hodnocení problému dosáhly pohyblivé a pevné kontakty. V sepnutém stavu dochází k jejich zahřívání průchodem elektrického proudu a vzájemnému opotřebení a jsou tedy nejvíce opotřebovávaným prvkem ve stykači při sepnutém stavu. Faktor doporučených úprav vyšel nejnižší u hlavních vypínacích pružin a kovových svorek a při zlepšování stykače v sepnutém stavu by bylo vhodné zaměřit se na tyto prvky.

Tab. 5-1 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače v sepnutém stavu

Název konstrukční části	Hodnocení funkce (<i>F</i>)	Hodnocení problému (<i>P</i>)	Faktor úprav (<i>FÚ</i>)
Pouzdro stykače	9,29	5,61	7,43
Pevné kontakty	5,71	5,91	2,34
Připojovací svorky proudovodné dráhy	5,71	0,00	8,15
Proudovodná dráha	7,14	1,06	8,41
Plastová konstrukce pohyblivých kontaktů	5,71	5,15	2,92
Pohyblivé kontakty	10,00	10,00	5,56
Přítlačné pružiny pohyblivých kontaktů	3,57	2,27	2,03
Pevná část jádra	7,14	2,73	4,35
Pohyblivá část jádra	4,29	4,55	1,36
Hlavní vypínací pružiny	0,00	3,03	0,00
Plastová konstrukce cívky	1,43	2,58	0,31
Cívka	6,43	0,15	4,07
Připojovací svorky cívky	4,29	0,15	4,43
Kovové svorky	0,71	2,27	0,12
Kovový čep	2,86	3,03	2,03
Látka	1,43	2,27	0,63
Vzduch	7,86	3,18	19,37

5.1.2 Model funkcí stykače v rozeprnutém stavu



Obr. 5-2 Model funkcí stykače v rozeprnutém stavu

Na obrázku 5-2 je sestaven model funkcí stykače v rozeprnutém stavu. Stykač v rozeprnutém stavu je namáhán převážně napěťovým potenciálem.

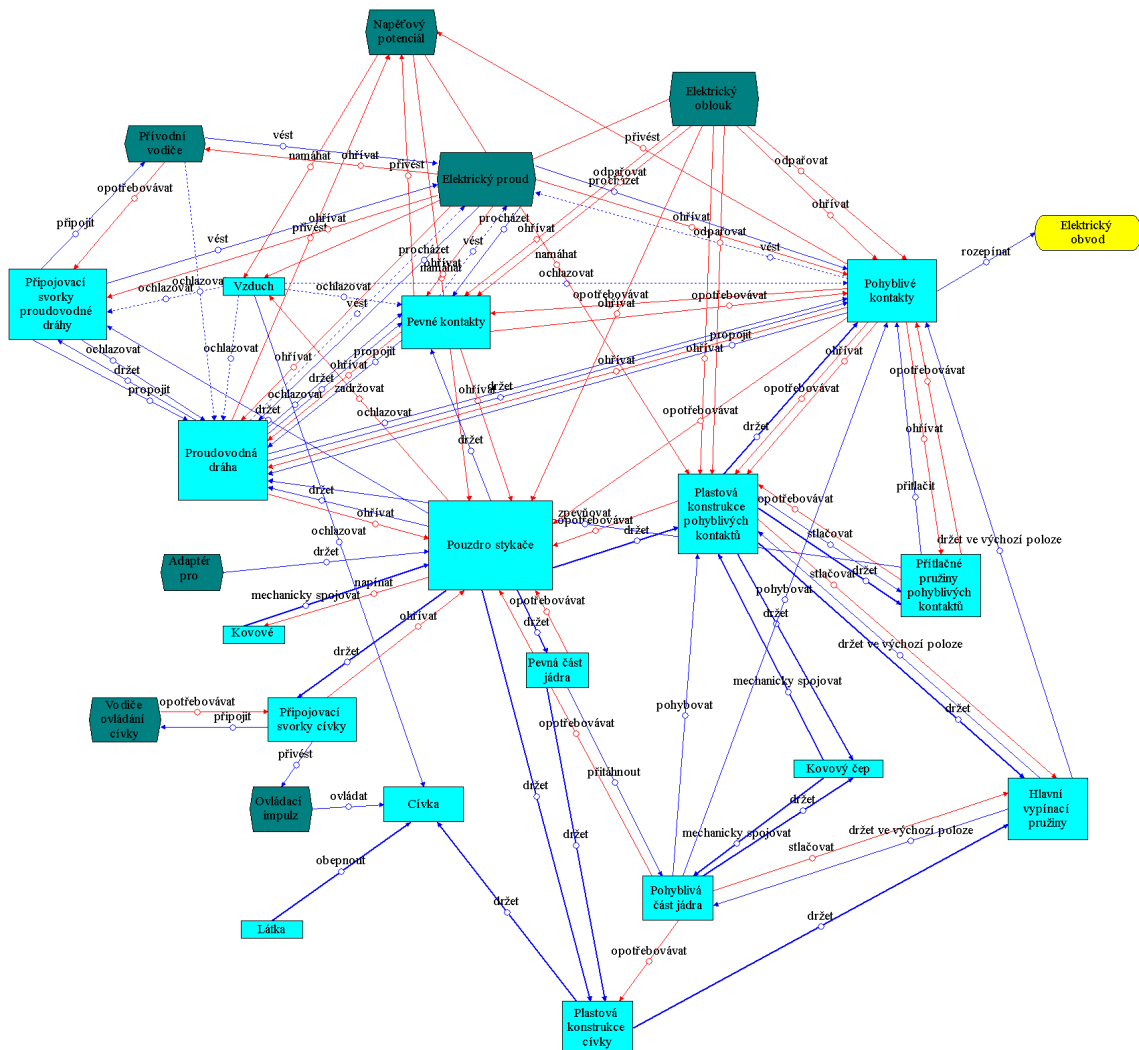
Dle tabulky 5-2 nejvyššího hodnocení funkce dosáhlo pouzdro stykače a vzduch. Pouzdro stykače svými izolačními vlastnostmi odděluje jednotlivé póly stykače a vzduch brání přeskoku mezi kontakty svojí elektrickou pevností. Nejnižšího hodnocení funkce dosáhla cívka a pevná část jádra, jelikož v rozeprnutém stavu neplní žádnou funkci. Nejvyššího hodnocení problému dosáhlo pouzdro jističe a plastová konstrukce pohyblivých kontaktů. Obě tyto konstrukční části jsou v rozeprnutém stavu namáhány

napětovým potenciálem a mohlo by dojít k jejich průrazu a následnému poškození. Faktor doporučených úprav vyšel nejnižší u cívky a látky omotané okolo cívky.

Tab. 5-2 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače v rozepnutém stavu

Název části	Hodnocení funkce (<i>F</i>)	Hodnocení problému (<i>P</i>)	Faktor úprav (<i>FÚ</i>)
Pouzdro stykače	10,00	10,00	6,25
Pevné kontakty	3,89	1,71	1,56
Připojovací svorky proudovodné dráhy	3,89	0,00	3,78
Proudovodná dráha	5,56	1,71	4,61
Plastová konstrukce pohyblivých kontaktů	8,33	7,80	5,03
Pohyblivé kontakty	7,22	4,88	4,05
Přítlačné pružiny pohyblivých kontaktů	3,89	2,20	2,44
Pevná část jádra	1,11	4,39	0,09
Pohyblivá část jádra	5,00	5,12	1,77
Hlavní vypínací pružiny	5,56	4,88	3,13
Plastová konstrukce cívky	1,67	4,15	0,34
Cívka	0,00	0,00	0,00
Připojovací svorky cívky	2,22	0,00	1,23
Kovové svorky	1,11	3,66	0,22
Kovový čep	3,33	4,88	1,89
Látka	0,00	3,66	0,00
Vzduch	9,44	6,10	14,58

5.1.3 Model funkcí stykače ve stavu vypínání s obloukem



Obr. 5-3 Model funkcí stykače ve stavu vypínání s působením oblouku

Na obrázku 5-3 je sestaven model funkcí stykače ve stavu vypínání, ve kterém vznikne při oddalování kontaktů hlavní vypínací pružinou elektrický oblouk mezi kontakty. Proudovodná dráha a kontakty jsou zahřívány průchodem proudu, kontakty navíc extrémně namáhány a ohřívány elektrickým obloukem. Pouzdro, vzduch a plastová konstrukce pohyblivých kontaktů jsou namáhány napěťovým potenciálem.

Dle tabulky 5-3 nejvyššího hodnocení funkce dosáhla proudovodná dráha, která velmi významně ochlazuje pevné i pohyblivé kontakty a vede elektrický proud až do úplného přerušení obvodu, které nastane až po uhasnutí oblouku. Dále vysokého hodnocení funkčnosti dosáhlo pouzdro stykače. Nejnižšího hodnocení funkce dosáhla cívka a látka

ji omotávající, jelikož při vypínání cívka po odeznění ovládacího impulsu neplní žádnou funkci. Nejvyššího hodnocení problému dosáhly pohyblivé a pevné kontakty, jelikož jsou ohřívány průchodem elektrického proudu, ohřívány a odpařovány elektrickým obloukem. Může tedy dojít k jejich opotřebení až zničení. Faktor doporučených úprav vyšel nejnižší u cívky a látky omotané okolo cívky.

Tab. 5-3 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače při vypínání s obloukem

Název části	Hodnocení funkce (F)	Hodnocení problému (P)	Faktor úprav ($FÚ$)
Pouzdro stykače	8,00	4,02	6,39
Pevné kontakty	3,33	6,96	0,74
Přípojovací svorky proudovodné dráhy	6,67	0,00	11,12
Proudovodná dráha	10,00	1,52	15,34
Plastová konstrukce pohyblivých kontaktů	6,67	5,33	3,93
Pohyblivé kontakty	6,67	10,00	2,47
Přítlačné pružiny pohyblivých kontaktů	3,33	1,63	1,97
Pevná část jádra	2,00	1,96	0,36
Pohyblivá část jádra	4,00	4,78	1,16
Hlavní vypínací pružiny	4,67	0,00	4,36
Plastová konstrukce cívky	1,33	1,85	0,30
Cívka	0,00	0,00	0,00
Přípojovací svorky cívky	4,00	0,11	3,89
Kovové svorky	0,67	1,63	0,12
Kovový čep	2,67	2,17	2,25
Látka	0,00	1,63	0,00
Vzduch	6,00	2,39	15,00

hodnocení funkčnosti dosáhly kovové svorky pouzdra stykače. Nejvyššího hodnocení problému dosáhly opět pohyblivé a pevné kontakty ze stejných příčin, jako při vypínání stykače s přítomností elektrického oblouku a mohlo by tedy dojít k jejich opotřebení až zničení. Faktor doporučených úprav vyšel nejnižší u hlavních vypínacích pružin a kovových svorek.

Tab. 5-4 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí stykače při zapínání s obloukem

Název části	Hodnocení funkce (F)	Hodnocení problému (P)	Faktor úprav ($F'U$)
Pouzdro stykače	8,67	3,63	7,81
Pevné kontakty	5,33	6,76	1,92
Připojovací svorky proudovodné dráhy	6,67	0,00	11,12
Proudovodná dráha	10,00	1,37	15,70
Plastová konstrukce pohyblivých kontaktů	5,33	3,82	2,89
Pohyblivé kontakty	9,33	10,00	4,84
Přítlačné pružiny pohyblivých kontaktů	3,33	1,47	2,03
Pevná část jádra	6,67	1,76	4,13
Pohyblivá část jádra	4,00	3,33	1,30
Hlavní vypínací pružiny	0,00	2,94	0,00
Plastová konstrukce cívky	1,33	1,67	0,31
Cívka	6,00	0,10	3,56
Připojovací svorky cívky	4,00	0,10	3,90
Kovové svorky	0,67	1,47	0,13
Kovový čep	2,67	1,96	2,41
Látka	1,33	1,47	0,72
Vzduch	7,33	2,16	22,76

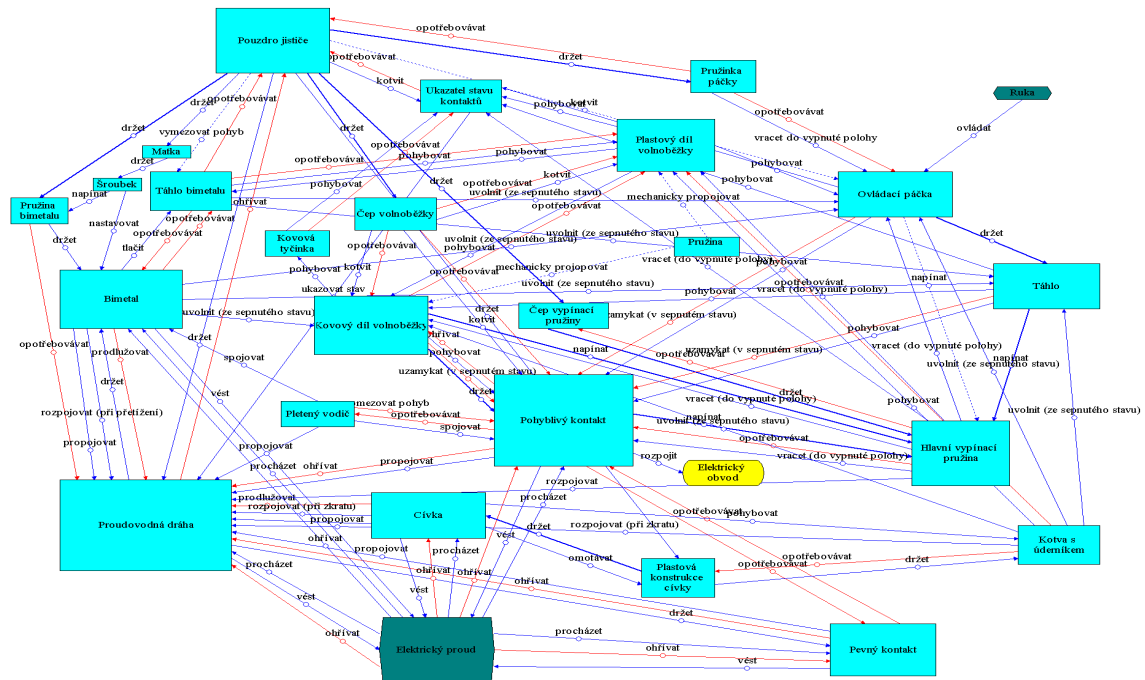
Spínací systém se nachází v sepnutém stavu, kontakty jsou spojeny a konstrukční části jističe jsou namáhány průchodem proudu.

Dle tabulky 5-6 nejvyššího hodnocení funkce dosáhl pohyblivý kontakt, který dosednutím na pevný kontakt umožňuje průchod proudu, a pouzdro jističe, které pevně drží pevný kontakt a ostatní prvky. Nejnižšího hodnocení funkce dosáhl zhášecí systém, jelikož v sepnutém stavu při průchodu proudu jističem neplní žádnou funkci. Nejvyššího hodnocení problému dosáhl pevný a pohyblivý kontakt. Kontakty jsou v sepnutém stavu zahřívány průchodem proudu a vzájemně se opotřebovávají. Faktor doporučených úprav vyšel nejnižší u zhášecího systému.

Tab. 5-6 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí jističe v sepnutém stavu

Název části	Hodnocení funkce (<i>F</i>)	Hodnocení problému (<i>P</i>)	Faktor úprav (<i>FÚ</i>)
Ovládací páčka	6,43	1,33	6,53
Pouzdro jističe	7,86	2,33	5,01
Ukazatel stavu kontaktů	1,43	0,67	0,56
Pohyblivý kontakt	10,00	9,67	5,66
Hlavní vypínací pružina	5,71	5,00	3,62
Přípojovací svorky	5,71	3,33	3,49
Plastový díl svorek	1,43	3,33	0,38
Proudovodná dráha	3,57	4,67	1,09
Pevný kontakt	5,71	10,00	1,92
Vzduch	7,14	3,33	15,26
Zhášecí systém	0,00	0,00	0,00
Volnoběžka	3,57	0,00	2,55
Vybavovací mechanismus	1,43	4,00	0,23

5.2.3 Model funkcí vybavovacího mechanismu jističe při vypínání



Obr. 5-7 Model funkcí vybavovacího mechanismu jističe při vypínání

Na obrázku 5-7 je uveden podrobný model funkcí vybavovacího mechanismu jističe ve stavu vypínání. Jsou v něm zahrnuty všechny prvky, které vybavovací mechanismus obsahuje. Vybavovací mechanismus začíná působit, pokud bimetal zaznamená přetížení nebo elektromagnet zaznamená zkrat. Dochází k uvolnění zámku volnoběžky a hlavní vypínací pružina odtahuje kontakty.

Dle tabulky 5-7 nejvyššího hodnocení funkce dosáhlo pouzdro jističe, které všechny prvky kotví a drží ve správné poloze při vypínání. Vysokého hodnocení funkce dosáhl také bimetal, pohyblivý kontakt, hlavní vypínací pružina a kotva s úderníkem. Tyto prvky jsou při vypínání jističe jedny z nejdůležitějších. Nejnižšího hodnocení funkce dosáhla kovová tyčinka pohybující s ukazatelem stavu kontaktů a matka sloužící pro nastavení bimetalu. Nejvyššího hodnocení problému dosáhl pohyblivý kontakt, který je při vypínání namáhán mechanickými silami, průchodem proudu až do uhasnutí oblouku a

elektrodynamickými silami, může tedy dojít k jeho opotřebení až zničení. Faktor doporučených úprav vyšel nejnižší u pružinky pod ovládací páčkou, protože slouží pouze k rychlejšímu návratu páčky do vypnuté polohy. V systému pružinka páčky není příliš důležitá a při zlepšování vybavovacího mechanismu by bylo vhodné se na ni zaměřit.

Tab. 5-7 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí vybavovacího mechanismu jističe při vypínání

Název části	Hodnocení funkce (<i>F</i>)	Hodnocení problému (<i>P</i>)	Faktor úprav (FÚ)
Ovládací páčka	5,45	3,70	3,41
Pružinka páčky	1,36	3,70	0,32
Pouzdro jističe	10,00	6,30	6,13
Plastový díl volnoběžky	4,55	0,00	6,90
Kovový díl volnoběžky	5,45	5,56	2,81
Táhlo	5,45	2,59	6,47
Čep volnoběžky	4,09	4,44	3,08
Ukazatel stavu kontaktů	1,36	0,74	0,49
Pohyblivý kontakt	7,27	10,00	2,94
Kovová tyčinka	0,91	1,11	0,39
Hlavní vypínací pružina	7,73	3,70	7,76
Čep vypínací pružiny	1,36	0,74	1,06
Táhlo bimetalu	3,64	5,19	1,84
Pružina volnoběžky	2,27	1,48	1,48
Proudovodná dráha	4,55	2,59	2,16
Pevný kontakt	3,18	5,56	0,81
Bimetal	9,55	2,96	7,63
Šroubek	2,27	0,00	1,72
Pružina bimetalu	1,36	1,11	0,59
Matka	0,91	0,00	0,41
Cívka	6,36	1,85	3,73
Kotva s úderníkem	6,36	4,81	3,16
Plastová konstrukce cívky	2,27	1,85	6,90
Pletený vodič	4,55	1,85	2,64

Tab. 5-8 Tabulka vyhodnocení modelu funkcí zhášecího systému jističe při vypínání s působením oblouku

Název části	Hodnocení funkce (F)	Hodnocení problému (P)	Faktor úprav ($FÚ$)
Pouzdro jističe	10,00	0,66	9,38
Pohyblivý kontakt	8,00	5,92	4,60
Hlavní vypínací pružina	3,33	1,32	2,08
Čep vypínací pružiny	1,33	0,26	1,40
Proudovodná dráha	3,33	4,47	0,97
Pevný kontakt	3,33	7,11	0,79
Vodiče oblouku	6,00	6,97	2,58
Feromagnetické plechy	4,00	10,00	0,89
Plastové pouzdro plechů	1,33	0,92	0,30
Vzduch	8,00	5,26	12,14
Plastové krytky	2,67	0,53	2,02

6 ZKOUŠKY JISTIČŮ

Jističi pro jištění domovních a podobných instalací se zabývá norma ČSN EN 60898-1. Dle této normy jsou domovní jističe určeny pro ochranu proti nadproudům v elektrických instalacích, které mohou být obsluhovány nepoučenými osobami (laiky). Z toho důvodů musí jejich konstrukce, parametry a vlastnosti splňovat podmínky, které zajistí jejich správnou a bezpečnou funkci v normálním provozu, v případě přetížení či zkratu. Norma stanovuje zkoušky, které mají potvrdit splnění těchto podmínek a metody, jakými mají být zkoušky provedeny. [8]

6.1 Podmínky zkoušek

Podmínky, při jakých mohou být zkoušky prováděny, jsou předepsány normou, jako reference pro provádění zkoušek v různých podnikových i nezávislých zkušebnách. Nejdůležitější z těchto podmínek jsou uvedeny v následujícím odstavci.

Jistič musí být namontován samostatně ve vertikální poloze a upevněn na překližkovou desku s matným černým povrchem o tloušťce 20 mm způsobem daným výrobcem. Teplota okolního vzduchu musí být v rozmezí od 20 °C do 25 °C a jistič nesmí být při zkouškách nepřiměřeně ohříván nebo ochlazován vnějším zdrojem. Při zkoušce musí být zvoleno vhodné napětí a jmenovitý kmitočet s tolerancí ± 5 Hz a nesmí se do zkoušeného jističe nijak zasahovat. Spoje se provádí měděnými jednožilovými kabely s PVC izolací na volném vzduchu s minimální vzdáleností od sebe stejnou, jako je vzdálenost mezi svorkami. Průřezy zkušebních vodičů a utahovací momenty se vyberou dle jmenovitého proudu v tabulkách uvedených v normě, popřípadě dokumentace výrobce. [8]

6.2 Zkouška oteplení

Oteplovací zkoušky u modulárních jističů mají ověřit, jestli maximální oteplení daných částí přístroje nepřekročí oteplení stanovené normou. Oteplením se rozumí rozdíl mezi teplotou dané části a teplotou okolního vzduchu. Překročení maximálního oteplení může poukázat na konstrukční prvek přístroje, u kterého může dojít k jeho poškození a je nutné se na něj zaměřit a provést na něm potřebné úpravy. Maximální hodnoty oteplení jsou uvedeny v tabulce 6-1 a jsou platné, pokud je teplota okolního vzduchu v rozmezí -

5 °C až +40 °C a její průměr za 24 hodin nepřekročí +35 °C. Teplota okolního vzduchu musí být měřena minimálně v poslední čtvrtině doby zkoušky minimálně dvěma symetricky rozmístěnými teploměry (termočlánky) umístěnými ve vzdálenosti asi 1 m od jističe v polovině jeho výšky. Teplota částí jističe uvedených v tabulce 6-1 musí být měřena pomocí termočlánků umístěných co nejbližší u nejteplejšího místa dané části.

Při zkoušce prochází všemi póly jističe jmenovitý proud I_n při vhodném napětí po takovou dobu, dokud změna oteplení nepřesahuje 1 K za hodinu. [8]

Tab. 6-1 Maximální hodnoty oteplení modulárních jističů [8]

Části jističe	Oteplení [K, °C]
Vstupní a výstupní svorky	60
Vnější části jističe, kterých je možné se dotknout (pouzdro, ovládací páčka)	40
Vnější části z kovu sloužící k ovládnání	25
Vnější části přímo se dotýkající montážního povrchu	60

6.3 Zkouška vypínacích charakteristik

Zkoušky vypínacích charakteristik je nutné provést pro ověření dostatečné ochrany obvodu jističem bez předčasného zapůsobení. Vypínací charakteristiky se vztahují k jističi namontovanému dle výše uvedených podmínek při kalibrační teplotě 30 °C s horní tolerancí +5 °C. Meze, ve kterých se vypínací charakteristiky musí nacházet a jsou těmito zkouškami ověřovány jsou podrobně uvedeny v kapitole 3.4.2 Vypínací charakteristiky. V následujících kapitolách jsou uvedeny postupy, jakými se tyto zkoušky řídí. [8]

6.3.1 Zkouška charakteristiky čas - proud

První zkouška se provádí ze studeného stavu při průchodu smluveného nevypínacího proudu (1,13 násobek I_n) všemi póly jističe. Zkušební proud prochází po dobu 1 hodiny pro jističe s $I_n \leq 63$ A a po dobu 2 hodin pro jističe s $I_n > 63$ A a po tuto dobu jistič nesmí vypnout. Následně se ihned po předchozí zkoušce proud zvyšuje během 5 s na 1,45 násobek I_n (smluvený vypínací proud), který jistič musí vypnout do 1 hodiny pro $I_n \leq 63$ A a do 2 hodin pro $I_n > 63$ A.

Další zkouška se provádí pro proud rovný 2,55 násobku I_n opět ze studeného stavu. Vypínací doba u těchto zkoušek musí být delší než 1 s a kratší než 60 s pro jističe s $I_n \leq 32$ A a 120 s pro jističe s $I_n > 32$ A. [8]

6.3.2 Zkouška okamžitého vypnutí

Parametry zkoušky okamžitého vypnutí a správného otevření kontaktů jsou závislé na typu jističe. Podle typu jističe je určen proud a čas, v jakém musí jistič vypnout. Zkouška se vždy provádí ze studeného stavu a proud u ní prochází všemi póly jističe. Proud do měřeného obvodu musí být přiveden sepnutím pomocného spínače. Po vypnutí jističe musí vždy dojít ke správnému rozpojení proudovodné dráhy, které musí být viditelné na ukazateli stavu kontaktů a nesmí dojít k poškození jističe.

U jističe typu B se zkouška provádí proudem rovným 3 násobku I_n . Jistič tento proud musí vypnout později než za 0,1 s a zároveň dříve než za 45 s pro $I_n \leq 32$ a 90 s pro $I_n > 32$ A. Následná zkouška se provádí ze studeného stavu proudem rovným 5 násobku I_n , při které musí jistič vypnout v čase kratším než 0,1 s. U jističů typu C a D se zkouška provádí obdobným způsobem s rozdíly v násobku jmenovitého proudu a času vypnutí.

U jističe typu C se zkouška provádí proudem rovným 5 násobku I_n , který musí vypnout později než za 0,1 s a zároveň dříve než za 15 s pro $I_n \leq 32$ a 30 s pro $I_n > 32$ A. 10 násobek I_n musí jistič C opět vypnout v čase kratším než 0,1 s.

U jističe typu D se zkouška provádí proudem rovným 10 násobku I_n , který musí vypnout později než za 0,1 s a zároveň dříve než za 4 s pro $I_n \leq 32$ a 8 s pro $I_n > 32$ A. 20 násobek I_n musí jistič D opět vypnout v čase kratším než 0,1 s. [8]

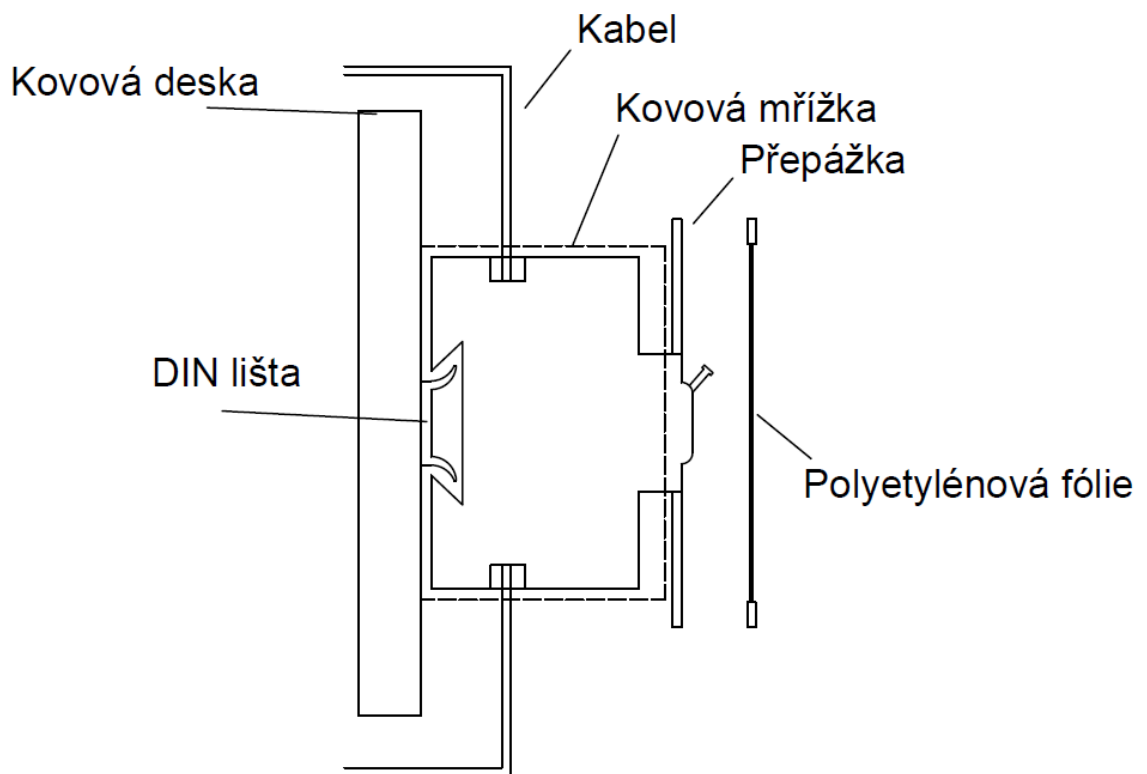
6.4 Zkratové zkoušky

V následujících odstavcích jsou popsány některé zkratové zkoušky prováděné na jednopólových jističích.

Zkratové zkoušky se provádějí, aby se ověřilo chování jističů při zkratu. Jsou důležité pro ověření dostatečné bezpečnosti obsluhy a ochrany elektrického obvodu a jeho komponentů za jističem. Typů zkratových zkoušek je více a nutnost jejich provedení je závislá na parametrech a počtu pólů zkoušeného jističe. Na všech jističích se ovšem provádí zkoušky při proudu 500 A nebo 10 násobku I_n (vyšší z těchto proudů) a při 1500 A. Pokud je jmenovitá zkratová schopnost přístroje větší než 1500 A, musí být

prováděny zkoušky také při této hodnotě stanovené výrobcem. Mezi důležité parametry při těchto zkouškách patří jmenovitá zkratová schopnost I_{cn} a provozní zkratová schopnost I_{cs} .

Zkoušky se u běžných jističů provádí na volném vzduchu a jejich ovládání musí být provedeno ručně nebo pomocí zkušebního přístroje. U jističů určených do vnějších krytů musí být umístěny právě ve vnějším krytu s co nejnepříznivějším provedením. Příklad správné osazení jističe pro zkoušku je zobrazen na obrázku 6-1. Jistič je osazen na DIN liště připevněné ke kovové desce. Před jističe je umístěna v rámu polyetylénová fólie umožňující ověření bezpečnosti jističe při operaci O. Přepážka mezi jističem a fólií slouží k ochraně fólie před obloukem při jeho úniku vyfukovacími otvory. Kolem jističe je osazena kovová mřížka napojená na obvod sloužící k detekci ionizovaných plynů.



Obr. 6-1 Osazení jističe pro zkratové zkoušky [8]

Přiložené napětí při zkoušce musí mít hodnotu dostatečnou pro vytvoření zotaveného napětí průmyslového kmitočtu. Tato hodnota je rovna 110 % jmenovitého napětí zkoušeného jističe. Pokud má jistič více hodnot jmenovitého napětí (např. 230/400 V), uvažuje se hodnota vyšší. Pro proud, napětí a kmitočet jsou stanoveny tolerance jejich efektivních hodnot. Tyto tolerance jsou uvedeny v tabulce 6-2.

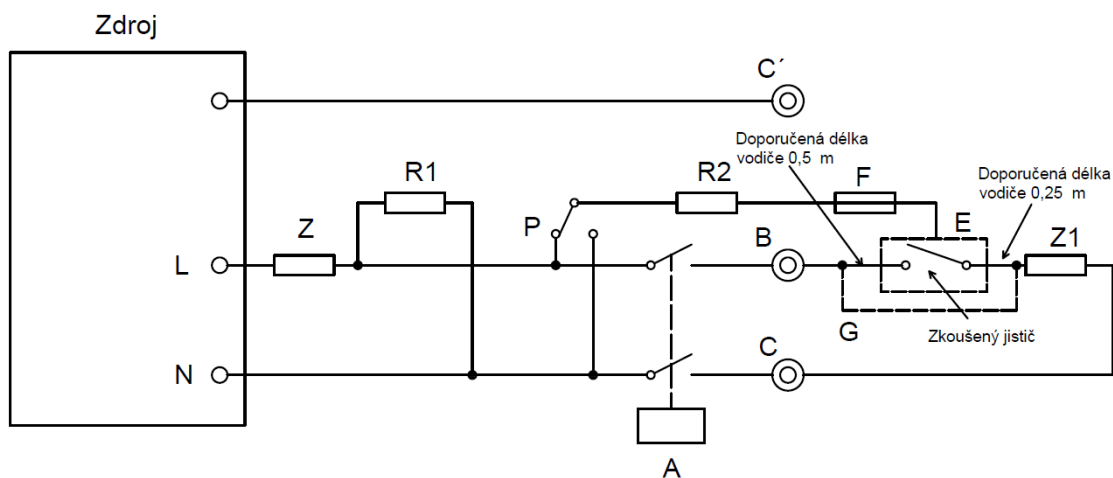
Tab. 6-2 Tolerance zkušebních hodnot při zkratových zkouškách [8]

Veličina	Horní tolerance	Spodní tolerance
Napětí	0 %	-5 %
Proud	+5 %	0 %
Kmitočet	+5 %	-5 %

Pro simulaci reálných a vždy stejných podmínek jsou stanoveny normou zkušební obvody, který mají být při zkratových zkouškách použity. Schéma zapojení obvodu pro testování jednofázových jističů je uvedeno na obrázku 6-2 a popis prvků ve schématu je uveden pod obrázkem. V tomto obvodu musí být vždy uzemněn pouze jeden bod (např. střední bod zdroje). Také je stanoven rozsah účinníku obvodu, který se mění s velikostí zkušebního proudu. Ten je uveden v tabulce 6-3.

Tab. 6-3 Rozsah účinníků dle velikosti zkušebního proudu [8]

Zkušební proud I_{cc} [A]	Rozsah účinníků
$I_{cc} \leq 1500$	0,93 – 0,98
$1500 \text{ A} < I_{cc} \leq 3000 \text{ A}$	0,85 – 0,90
$3000 \text{ A} < I_{cc} \leq 4500 \text{ A}$	0,75 – 0,80
$4500 \text{ A} < I_{cc} \leq 6000 \text{ A}$	0,65 – 0,70
$6000 \text{ A} < I_{cc} \leq 10000 \text{ A}$	0,45 – 0,50
$10000 \text{ A} < I_{cc} \leq 25000 \text{ A}$	0,20 – 0,25



Obr. 6-2 Schéma obvodu pro zkratové zkoušky jednofázového jističe [8]

Z – impedance pro nastavení proudu obvodem (nastavení jmenovité zkratové schopnosti)
Z1 – impedance pro nastavení proudu obvodem (hodnoty nižší než jmenovitá zkratová schopnost)

R1 – rezistor (odebírání 10 A na fázi, slouží pro nastavení předpokládaného proudu na jmenovitou zkratovou schopnost jističe)

E – vnější kryt, případně podpěra

A – pomocný spínač pro spuštění v daném úhlu vlny napětí

G – spojka umožňující kalibraci obvodu před připojením jističe

R2 – rezistor 0,5 Ω

F – měděný drát (funkce pojistky - minimální délka 50 mm, průměr 0,1 mm pro jističe zkoušené na volném vzduchu, průměr 0,3 mm pro jističe ve vnějším krytu)

P – přepínač

B, C, C' – místo pro připojení mřížky

Během zkratových zkoušek nesmí jistič ohrozit obsluhu, nesmí dojít k přeskokům mezi póly nebo mezi póly a kostrou, nesmí dojít k trvalému jiskření nebo přetavení pojistky F a musí umožnit opětovné zapnutí ve stanoveném čase bez jeho demontáže. Po zkratových zkouškách jistič nesmí nést žádné známky poškození ovlivňující jeho použití a musí bez dalších úprav vydržet následující zkoušky.

Při zkouškách se používají značky, které slouží k označení dané operace:

O – vypnutí

CO – zapnutí po kterém následuje automatické vypnutí

t – časový interval mezi dvěma zkraty (3 minuty nebo čas do vychladnutí teplené spouště)

[8]

6.4.1 Zkouška na všech jističích

Proud ve zkušebním obvodu je pomocí impedancí nastaven na 500 A nebo desetinásobek I_n (zkouší se větším z těchto proudů) a účinník musí být nastaven v mezích 0,93 – 0,98. Sled operací je následující:

O – t – O – t – O – t – O – t – O – t – O – t – CO – t – CO – t – CO

Při této zkoušce je obvod zapnut šestkrát pomocným vypínačem A (vyvolání vypnutí je rovnoměrně rozděleno na polovině vlny s tolerancí $\pm 5\%$) a třikrát samotným jističem.

[8]

6.4.2 Zkouška při proudu 1500 A

Proud ve zkušebním obvodu je pomocí impedancí nastaven na 1500 A a účinník musí být nastaven v mezích 0,93 – 0,98. Pro jednopólové jističe 230/400 V platí následující sled operací:

O – t – O – t – O – t – O – t – O – t – O – t – CO – t – CO

Obvod je zapnut šestkrát pomocným vypínačem A (vyvolání vypnutí je rovnoměrně rozděleno na polovině plny s tolerancí $\pm 5\%$) a dvakrát samotným jističem. Následuje současné provedení jedné operace O při zařazení jednopólového jističe do každé fáze zkušebního obvodu pro trojpólové jističe bez použití synchronizace pomocí spínače A.[8]

6.4.3 Zkouška provozní zkratové schopnosti

Hodnota proudu provozní zkratové schopnosti I_{cs} je pro jističe se jmenovitou zkratovou schopností $I_{cn} \leq 6000$ A rovna I_{cn} . Pro jističe s I_{cn} v rozmezí 6000 A-10 000 A je stanoveno $I_{cs} = 0,75 I_{cn}$, avšak s minimální hodnotou $I_{cs} = 6000$ A. Pro jističe s $I_{cn} > 10 000$ A je stanoveno $I_{cs} = 0,5 I_{cn}$, avšak s minimální hodnotou $I_{cs} = 7500$ A. Zkušební obvod je zapojen dle obrázku 6-2. Zkoušeny jsou tři vzorky a sled operací pro jednopólové jističe 230/400 V je následující:

O – t – O – t – CO

Tolerance sepnutí v určitém bodě vlny napětí je 5 % a místa sepnutí jsou uvedena v následující tabulce 6-4.

Tab. 6-4 Postup zkoušky provozní zkratové schopnosti pro jednopólové jističe [8]

Operace	Číslo vzorku ; bod vlny napětí při sepnutí obvodu		
O	1 ; 0 °	2 ; 15 °	3 ; 30 °
O	1 ; 45 °	2 ; 60 °	3 ; 75 °
CO	-	-	-

U jednopólových jističů 230/400 V jsou následně zkoušeny další tři vzorky v obvodu pro zkoušení třípólových jističů bez synchronizace s vlnou napětí pomocným spínačem A. Sled operací pro každý vzorek je následující (x – žádná operace) [8]:

Vzorek 1: O – x – CO – CO

Vzorek 2: O – CO – x – CO

Vzorek 3: O – O – CO – x

6.4.4 Zkouška jmenovité zkratové schopnosti

Obvod je zapojen dle obrázku 6-2. Impedance jsou nastaveny pro dosažení proudu rovnému I_{cn} . Postup zkoušky je uveden v tabulce 6-5.

Tab. 6-5 Postup zkoušky jmenovité zkratové schopnosti jednopólového jističe [8]

Operace	Číslo vzorku ; bod vlny napětí při sepnutí obvodu		
O	1 ; 15 °	2 ; 45 °	3 ; 75 °
CO	-	-	-

U jednopólových jističů 230/400 V jsou následně zkoušeny další čtyři vzorky v obvodu pro zkoušení třípólových jističů bez synchronizace s vlnou napětí pomocným spínačem A. První vzorek je po druhé operaci O nahrazen vzorkem 4. Sled operací je tedy následující (x – žádná operace) [8]:

Vzorek 1: O – O – x

Vzorek 2: O – CO – x



Vzorek 3: O – x – CO

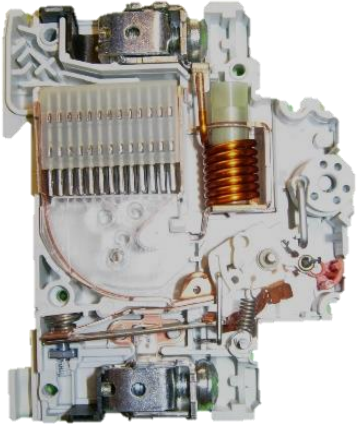
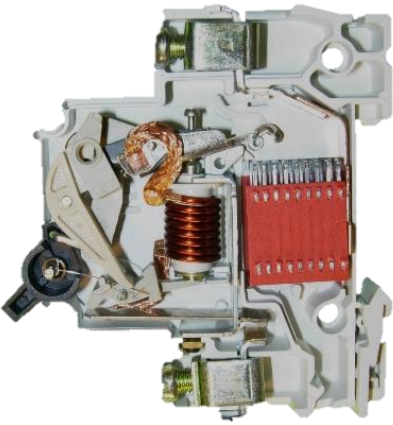
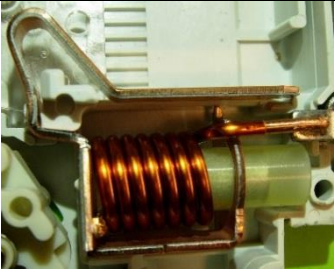

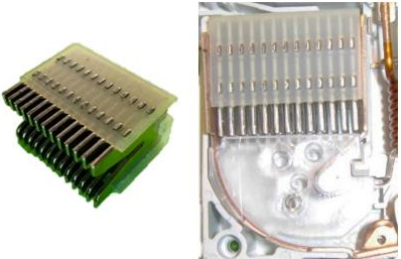
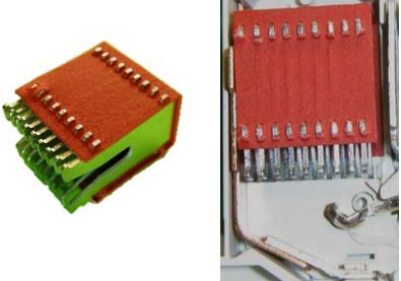
Vzorek 4: x – x – O

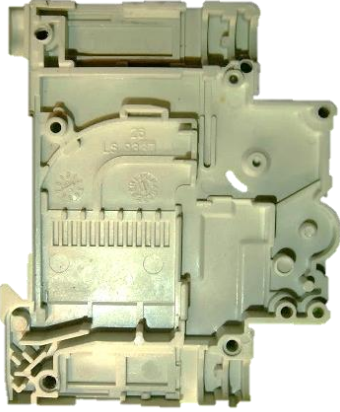
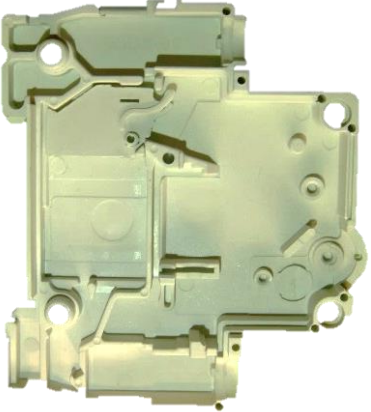

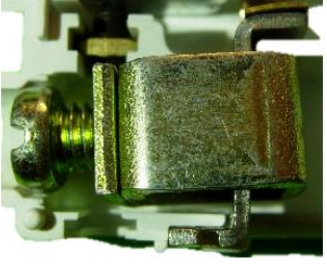


7 POROVNÁNÍ TESTOVANÝCH JISTIČŮ



Modulární jističe pro domovní a podobné instalace se dají pořídit od různých výrobců v různých cenových kategoriích. Cena produktu je velmi často výrazně ovlivněna také distributorem. Konstrukční prvky a mechanismy se mohou u různých výrobců lišit. V následující tabulce 7-1 jsou porovnány hlavní konstrukční rozdíly dvou různých modulárních jističů v různých cenových kategoriích, které budou v této práci testovány. V levé části tabulky se nachází jistič **1** renomovaného kvalitního výrobce s charakteristikou C a jmenovitým proudem 16 A s pořizovací cenou okolo 100 Kč a v pravé části tabulky jistič **2** méně známého výrobce s charakteristikou C a jmenovitým proudem 16 A s pořizovací cenou okolo 50 Kč. Cenový rozdíl se stává podstatným zejména v případě instalace desítek až stovek kusů přístrojů. Nejdůležitějším aspektem je však skutečnost, zda je cenový rozdíl vytvořen pouze marží dodavatele, popř. výrobce, nebo se jedná o levný výrobek na úkor jeho kvality. Pod obrázky částí jističů jsou vždy uvedeny jejich hlavní rozdíly.

Tab. 7-1 Porovnání testovaných modulárních jističů

	Jistič 1	Jistič 2
Složený jistič		

<p>Rozložený jistič</p>	 <p>Pořadí konstrukčních prvků proudovodné dráhy: vstupní svorka, elektromagnet, pevný kontakt, pohyblivý kontakt, bimetal, výstupní svorka.</p>	 <p>Pořadí konstrukčních prvků proudovodné dráhy: vstupní svorka, pevný kontakt, pohyblivý kontakt, elektromagnet, bimetal, výstupní svorka.</p>
<p>Elektromagnet</p>	 <p>Elektromagnet se 7 závitů navinut na průhledné plastové dutince, ve které je kotva s úderníkem. Konec cívky napojen na vodiče oblouku.</p>	 <p>Elektromagnet s 8 závitů navinut na plastovém válečku, ve kterém je kotva s tyčinkou s úderníkem na konci tyčinky. Konec cívky napojen na pohyblivý kontakt.</p>
<p>Zhášecí komora</p>	 <p>Zhášecí komora má 13 roštů osazených v plastovém pouzdrú. Vodiče oblouku po obou stranách zhášecí komory.</p>	 <p>Zhášecí komora má 9 roštů osazených v pouzdrú. Vodiče oblouku pouze na levé straně zhášecí komory.</p>

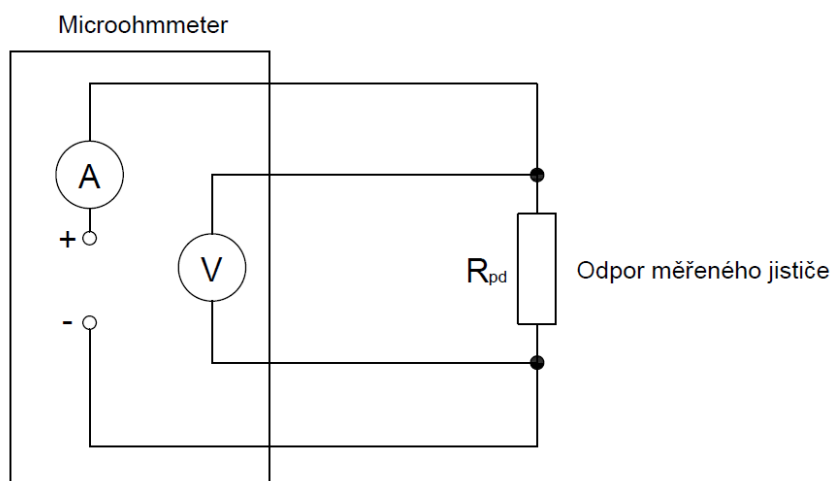
<p>Pouzdro jističe</p>	 <p>Pouzdro má výlisky otvor pro odvádění plynů a pro uchycení zhášecí komory, více otvorů na spojovací nýty.</p>	 <p>Pouzdro jednodušší s menším počtem drobných výlisků, otvor pro odvádění plynů, méně otvorů na spojovací nýty.</p>
<p>Svorka a třmen</p>	 <p>Třmen větší okolo svorky.</p>	 <p>Třmen menší uvnitř svorky.</p>
<p>Pevný a pohyblivý kontakt</p>	 <p>Kontakty vyrobeny ze slitiny stříbra a mědi. Pohyblivý kontakt ve vypnuté poloze dosedá na vodiče oblouku.</p>	 <p>Kontakty vyrobeny ze slitiny s obsahem stříbra. Pohyblivý kontakt ve vypnuté poloze dosedá na výlisek pouzdra.</p>

<p>Vybavovací mechanismus</p>	 <p>Vybavovací mechanismus má jednu vypínací pružinu. Zámek volnoběžky uvolňován pomocí táhla od bimetalu nebo úderníkem kotvy. Má ukazatel stavu kontaktů.</p>	 <p>Vybavovací mechanismus má 2 vypínací pružiny. Zámek volnoběžky uvolňován přímo bimetalem nebo úderníkem a tyčinkou v pohyblivém kontaktu. Nemá ukazatel stavu kontaktů.</p>
<p>Rozdílné konstrukce volnoběžek.</p>		

8 MĚŘENÍ A ZKOUŠKY

8.1 Měření odporu proudovodné dráhy modulárních jističů

K měření odporu proudovodné dráhy jističů v sepnutém stavu byla použita čtyřvodičová Kelvinova metoda. Tato metoda byla použita pro dosažení vysoké přesnosti měření. Měření bylo provedeno microohmmetrem, který obsahuje vlastní baterii a měřený obvod napájí konstantním proudem 10 A. Vnější připojené svorky byly proudové a vnitřní svorky napěťové. Jako přívodní a vývodní vodiče byly použity měděné plíšky a připojovací svorky byly dotaženy na moment 3 Nm. Pro zvýšení přesnosti bylo provedeno na každém jističi 5 měření a jako výsledný odpor je dán průměr těchto měření. Schéma zapojení měřicího pracoviště můžeme vidět na obrázku 8-1.



Obr. 8-1 Schéma zapojení měření odporu proudovodné dráhy jističe

Použité měřicí přístroje:

Cropico Microohmmeter DO5001, kalibrace do 06/2019, Serial NO: 24E-0405

8.1.1 Vyhodnocení měření odporu proudovodné dráhy

Naměřené a vypočtené hodnoty tohoto měření se nachází v tabulce 8-1. U jističe **2** byl naměřen průměrný odpor proudovodné dráhy $R_{pd} = 6,411 \text{ m}\Omega$ a u jističe **1** byl naměřen odpor $R_{pd} = 7,511 \text{ m}\Omega$. Jistič **1** renomovaného výrobce má tedy větší odpor proudovodné dráhy než jistič **2** méně známého výrobce. Může to být způsobeno použitím vodičů s menším měrným odporem a svorek s menším přechodovým odporem u jističe **2**, případně lepším kontaktním stykem mezi pevných a pohyblivým kontaktem.

Tab. 8-1 Naměřené hodnoty odporu proudovodné dráhy

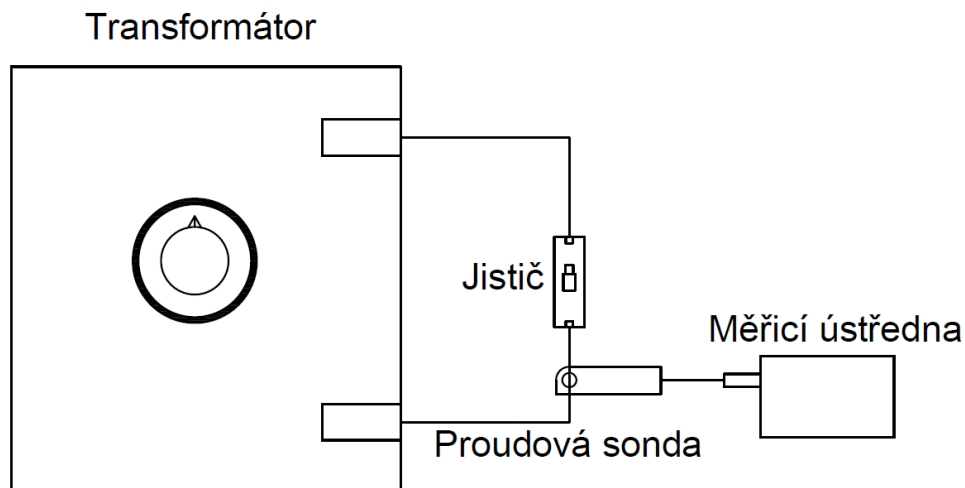
	Jistič 1	Jistič 2
Měření	R_{pd} [mΩ]	R_{pd} [mΩ]
1.	7,473	6,350
2.	7,575	6,472
3.	7,560	6,397
4.	7,475	6,392
5.	7,472	6,443
Průměr	7,511	6,411

Příklad výpočtu průměrného odporu proudovodné dráhy (2. sloupec):

$$R_{pd} = \frac{7,473 + 7,575 + 7,560 + 7,475 + 7,472}{5} = 7,511 \text{ m}\Omega \quad (8.1)$$

8.2 Zkoušky vypínacích charakteristik

Na jističích byly provedeny zkoušky vypínacích charakteristik pro ověření vlastností tepelné a zkratové spouště způsobem uvedeným v kapitole 7.3 Zkouška vypínacích charakteristik. Jističe byly osazeny na DIN lištu, která byla upevněna na desce s matným černým povrchem. Měděné vodiče o průřezu 2,5 mm² byly připojeny k transformátoru a ke svorkám jističů. Pomocí transformátoru byl do obvodu přiváděn požadovaný proud, který byl regulován přímo na transformátoru a měřen pomocí proudové sondy připojené na měřicí ústřednu. Měřicí ústředna měla vzorkování po 1 s. Schéma zapojení měřicího obvodu je uvedeno na obrázku 8-2. Nejdříve byly změřeny charakteristiky tepelné spouště a následně charakteristiky zkratové spouště. Pro přesnější měření charakteristik zkratové spouště byl použit osciloskop. Pro dosažení proudu 160 A bylo u měření zkratové spouště použito také měřicí zařízení zkratovny s příslušenstvím.



Obr. 8-2 Schéma zapojení pro zkoušky vypínacích charakteristik

Tab. 8-2 Použité měřicí přístroje při zkouškách vypínacích charakteristik

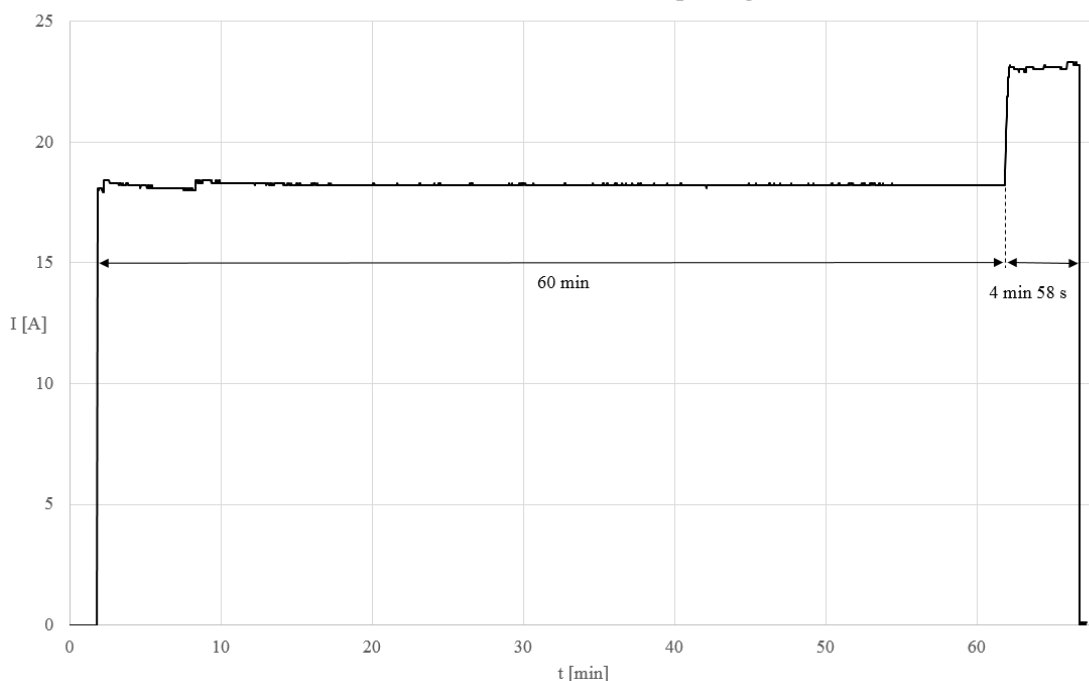
Použité měřicí přístroje		
Přístroj	Kalibrace	Výrobní /inventární číslo
Měřicí ústředna ALMEMO AHLBORN 5690-2	09/2019	000000317334-0000
Převodník ALMEMO ZA 9903-AB3		
Modul ALMEMO ZA 9903-AB Digi R3 E4		
Transformátor KPB Intra CTR 2, No 100112, 3600 W		
Proudová sonda CHAUVIN ARNOUX E3N	08/2019	001000216827-0000
Měřicí zařízení zkratovny s příslušenstvím		

8.2.1 Vyhodnocení zkoušek charakteristik čas – proud

Při měření charakteristik čas – proud byly testovány vlastnosti tepelné spouště jističů. Měřicí obvod byl zapojen dle obrázku 8-2.

Jistič 1 byl zapojen do obvodu a proud byl nastaven na smluvený nevypínací proud I_{nt} , který byl stanoven na $I_{nt} = 18,4 \text{ A}$ ($1,13 \times I_n$). Tento proud jističem protékal po dobu 1 h a za tuto dobu jistič nevybavil. Po 1 h byl proud navýšen na smluvený vypínací proud I_t , který byl stanoven na $I_t = 23,2 \text{ A}$ ($1,45 \times I_n$). Při tomto proudu jistič vybavil za 4 min 58 s. Jistič 1 tedy v této zkoušce vyhověl a její průběh je zobrazen v grafu 8-1.

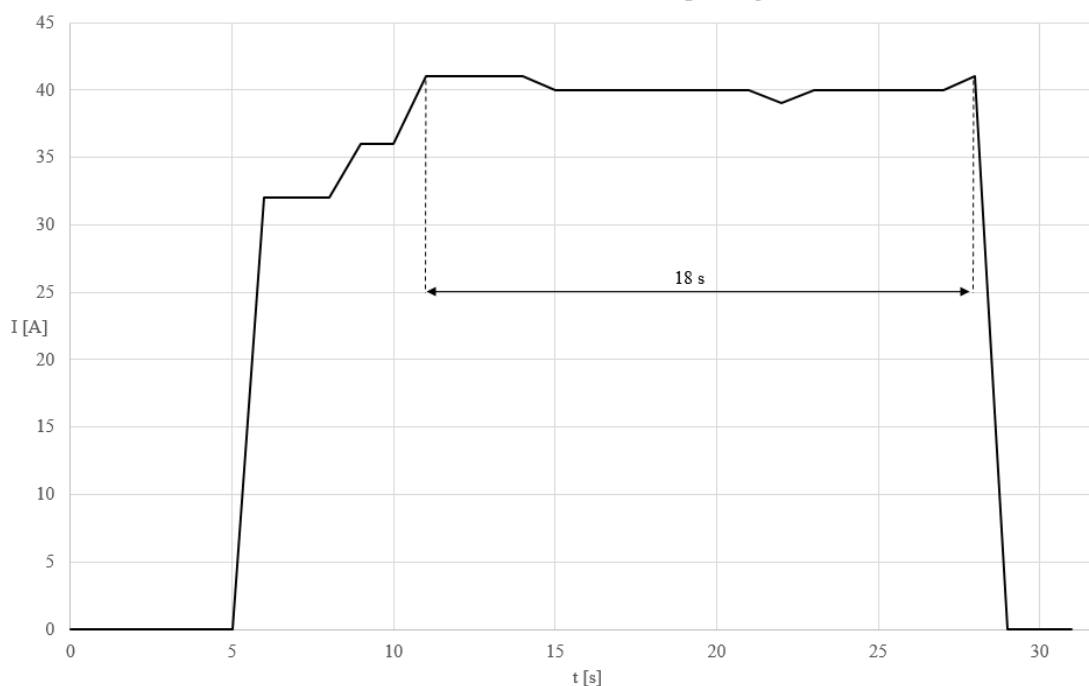
První zkouška charakteristik čas-proud jističe 1



Graf 8-1 Průběh první zkoušky čas-proud u jističe 1

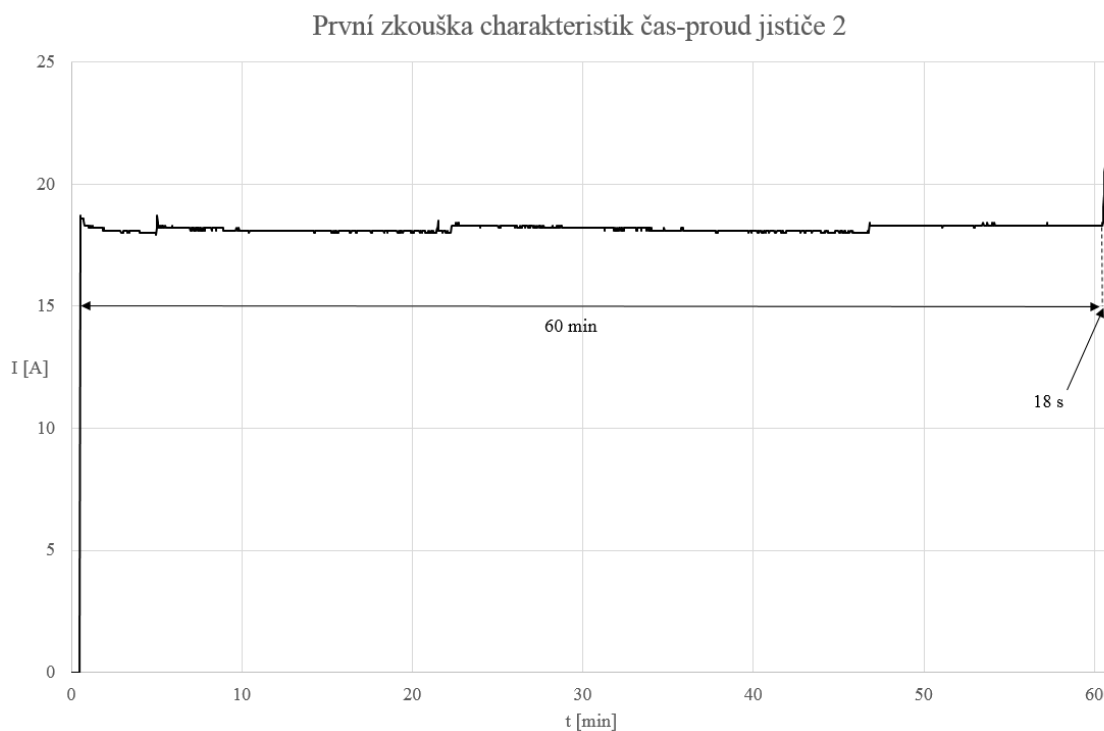
Po vychladnutí byl jistič **1** opět zapojen do obvodu. Proud byl nastaven na $I = 40,8 \text{ A}$ ($2,55 \times I_n$). Tento proud jistič vypnul za 23 s a vyhověl tak v další části zkoušky. Průběh této zkoušky lze vidět v grafu 8-2.

Druhá zkouška charakteristik čas-proud jističe 1



Graf 8-2 Průběh druhé zkoušky čas - proud u jističe 1

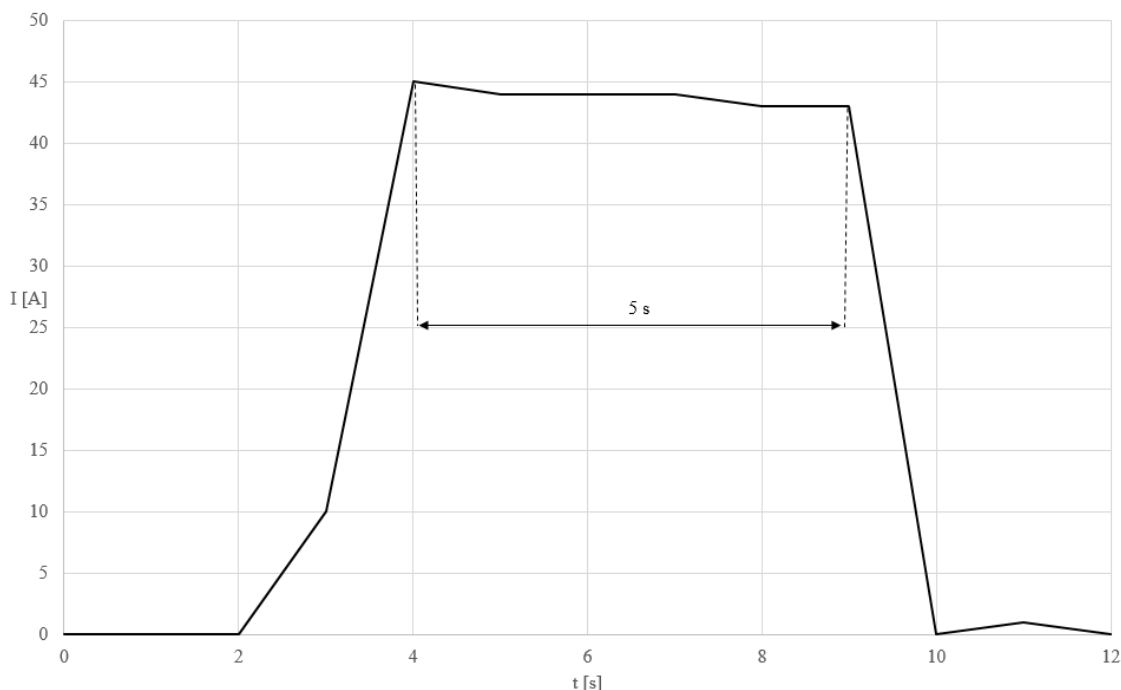
Jistič **2** byl zapojen do obvodu a testován stejnými proudy a způsobem jako jistič **1**. Po nastavení smlouveného nevyřinacího proudu I_{nt} jistič po dobu 1 h nevyřavil. Po 1 h byl proud navýřen na smluvený vyřinací proud I_t , při kterém jistič vyřavil za 18 s. Jistič **2** tedy v této zkoušce také vyřověl a její průběh je zobrazen v grafu 8-3.



Graf 8-3 Průběh první zkoušky čas - proud u jističe 2

Po vychladnutí byl jistič **2** opět zapojen do obvodu. Proud byl nastaven na $I = 40,8$ A ($2,55 \times I_n$). Tento proud jistič vyřnul za 5 s a vyřověl tak v další části zkoušky. Průběh této zkoušky lze vidět v grafu 8-4.

Druhá zkouška charakteristik čas-proud jističe 2



Graf 8-4 Průběh druhé zkoušky čas - proud u jističe 2

Všechny naměřené výsledky vypínacích časů se nacházely v mezích stanovených normou a oba jističe tedy vyhověly v těchto zkouškách. Z měření lze usoudit, že jistič **2** má citlivěji a přesněji nastavenou tepelnou spoušť než jistič **1**.

V důsledku zahřívání jističů a přívodních vodičů proud v průběhu zkoušek kolísal (viz grafy 8-1 až 8-4), což mohlo ovlivnit výsledky měření. Vyšší přesnosti měření mohlo být dosaženo použitím měřicí ústředny s větší vzorkovací frekvencí a transformátoru s možností automatické regulace proudu.

8.2.2 Vyhodnocení charakteristik okamžitého vypnutí

Při měření charakteristik okamžitého vypnutí byla testována zkratová spoušť jističů. Pro měření při $5 \times I_n$ byl obvod zapojen dle obrázku 8-2. Při měření $10 \times I_n$ byl jistič zapojen do měřicího řetězce zkratovny.

Do měřicího obvodu byl opět zapojen jistič **1**. Na zdroji byl nastaven proud $I = 80 \text{ A}$ ($5 \times I_n$). Po sepnutí obvodu jistič vybavil za 2 s. Po vychladnutí byl jistič přepojen na měřicí zařízení zkratovny a proud obvodu byl nastaven na 160 A ($10 \times I_n$). Tento proud jistič vypnul za 5 ms.

Následně byl do měřicího obvodu zapojen jistič **2**. Měření probíhalo stejným způsobem jak v případě jističe **1**. Proud obvodu $I = 80 \text{ A}$ ($5 \times I_n$) vypnul jistič **2** za 950 ms. Proud $I = 160 \text{ A}$ ($10 \times I_n$) jistič **2** vypnul za 6 ms. Výsledky měření jsou přehledně uvedeny v tabulce 8-3.

Tab. 8-3 Přehled výsledků měření charakteristik okamžitého vypnutí

Přehled výsledků měření charakteristik okamžitého vypnutí		
	Proud I [A]	Čas vybavení t [ms]
Jistič 1	80 ($5 \times I_n$)	2000
	160 ($10 \times I_n$)	5
Jistič 2	80 ($5 \times I_n$)	950
	160 ($10 \times I_n$)	6

Po vypnutí obvodu ukazatel stavu kontaktů u obou jističů vždy indikoval vypnutý stav. Naměřené doby vypnutí se nacházely v mezích daných normou (pro $5 \times I_n$ musí vypnout mezi 0,1 s až 15 s a pro $10 \times I_n$ musí vypnout dříve než za 0,1 s) a oba jističe tedy ve zkoušce charakteristik okamžitého vypnutí vyhověly.

Při měření pomocí obvodu dle obrázku 8-2 nebyl proud nastaven zcela přesně, jelikož regulace proudu na transformátoru byla velice citlivá. Tato nepřesnost byla eliminována v následném měření použitím měřicího obvodu a vybavení zkratovny.

8.3 Oteplovací zkoušky

Oteplovací zkoušky byly na jističích prováděny pro ověření maximálního oteplení daných částí jističe a také pro odhalení nejvíce se zahřívajícího prvku jističe, jelikož velké zahřátí konstrukčního prvku může mít za následek jeho poškození. Maximální oteplení, jakého můžou části jističe dosáhnout jsou uvedeny v tabulce 6-1. Při měření byly připevněny termočlánky vždy na horní a dolní svorku jističe, na páčku a na přední kryt. Ve vzdálenosti 1 m od měřeného jističe byly umístěny dva termočlánky pro měření aktuální teploty okolí. Měření probíhalo při jmenovitém proudu (pro jistič **1** a **2** je jmenovitý proud $I_n = 16 \text{ A}$) tak dlouho, dokud nebylo dosaženo ustáleného oteplení, při kterém se teplota žádné z měřených částí nezměnila o více jak 1 K za hodinu. Měřicí obvod byl zapojen dle obrázku 8-2. Proud byl nastavován na transformátoru a měřen pomocí proudové sondy. Jednotlivé termočlánky byly zapojeny do měřicí ústředny ALMEMO, která zaznamenávala teploty po 10 nebo 15 s. Byla provedena 4 měření vždy

stejná u obou jističů. Při prvním měření byly jističe osazeny na DIN liště samostatně. Při druhém měření byl vždy z jedné strany měřeného jističe osazen druhý nezatížený jistič. Při třetím měření byl z každé strany kolem měřeného jističe osazen jeden nezatížený jistič. Při čtvrtém měření byly z každé strany kolem měřeného jističe osazeny dva nezatížené jističe.

Tab. 8-4 Použité měřicí přístroje při oteplovacích zkouškách

Použité měřicí přístroje		
Přístroj	Kalibrace	Výrobní /inventární číslo
Měřicí ústředna ALMEMO AHLBORN 5690-2	09/2019	000000317334-0000
Termočlánky ALMEMO ZA 3000-F33 Norm E4		
Transformátor KPB Intra CTR 2, No 100112, 3600 W		
Proudová sonda CHAUVIN ARNOUX E3N	08/2019	001000216827-0000
Měřicí zařízení zkratovny s příslušenstvím		

Tab. 8-5 Laboratorní podmínky při oteplovacích zkouškách

Laboratorní podmínky			
	Tlak	Vlhkost vzduchu	Rosný bod
Měření 1 a 2	989,4 hPa	23,5 %	2,1 °C
Měření 3 a 4	975,6 hPa	23,5 %	2,1 °C

Tab. 8-6 Popis měřených veličin pro tabulky 8-7 až 8-14

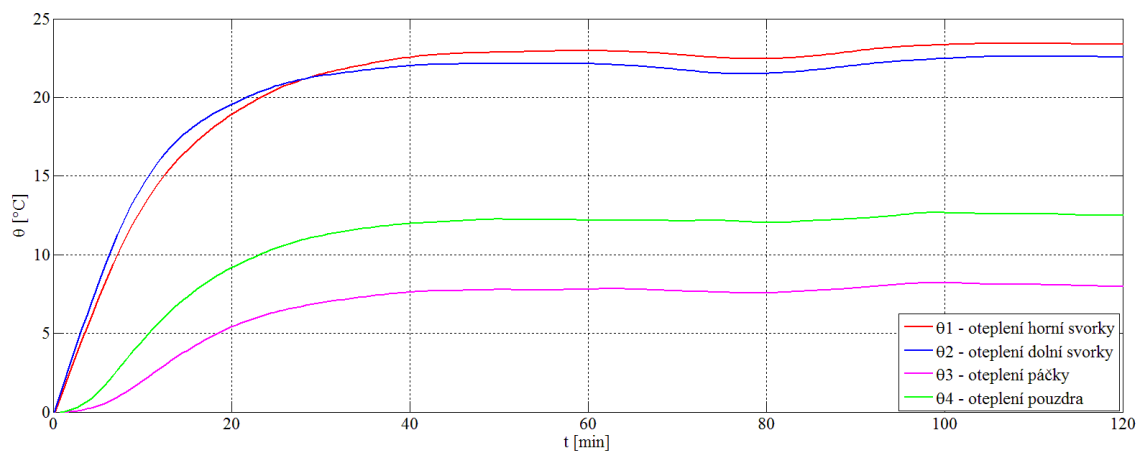
Popis měřených veličin pro tabulky 8-7 až 8-14	
Veličina	Popis
t	doba oteplovací zkoušky
T_0	teplota okolí
T_1	teplota horní svorky
T_2	teplota dolní svorky
T_3	teplota ovládací páčky
T_4	teplota pouzdra
θ_1	oteplení okolí
θ_2	oteplení horní svorky
θ_3	oteplení dolní svorky
θ_4	oteplení pouzdra

8.3.1 Vyhodnocení 1. měření oteplení

V prvním měření byly oba jističe osazeny na liště samostatně. Průběhy oteplení měřených částí jsou zobrazeny v grafech 8-5 a 8-6. Naměřené teploty a vypočtená oteplení měřených částí jističů jsou uvedeny v tabulkách 8-7 a 8-8.

Jistič **1** dosáhl maximálního oteplení $\theta_1 = 23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ na horní svorce. Nejnižšího oteplení $\theta_3 = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ dosáhla ovládací páčka jističe.

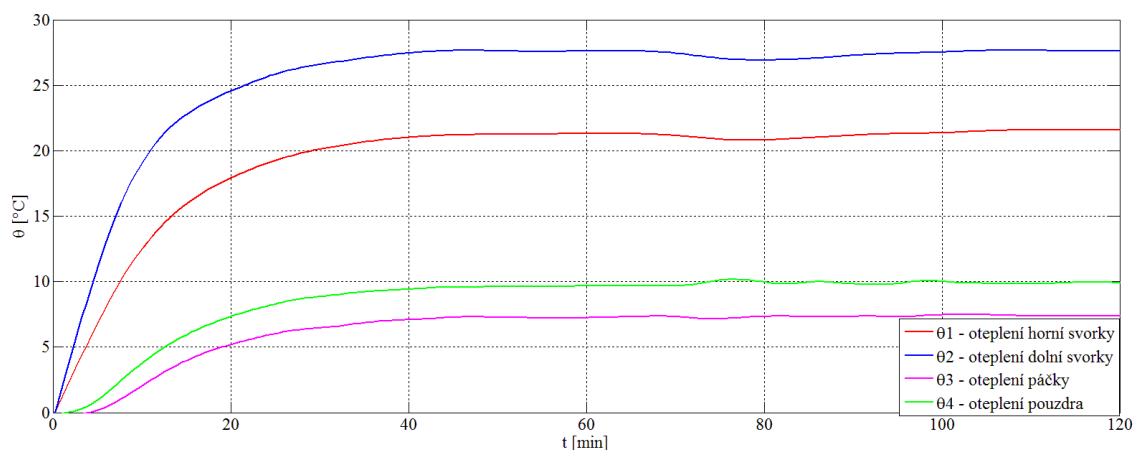
U jističe **2** bylo maximální oteplení $\theta_2 = 27,6 \text{ }^\circ\text{C}$ naměřeno na dolní svorce a nejnižší oteplení $\theta_3 = 7,4 \text{ }^\circ\text{C}$ na ovládací páčce.



Graf 8-5 Průběh oteplení jističe 1 při 1. měření

Tab. 8-7 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 1. měření

t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	23,3	24,0	23,6	24,1	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	23,7	40,6	41,4	28,0	31,3	0,4	16,6	17,8	3,9	7,3
30	24,0	45,4	44,9	31,0	35,2	0,7	21,4	21,3	6,9	11,2
45	24,1	46,8	45,7	31,8	36,1	0,8	22,8	22,1	7,7	12,1
60	24,2	47,0	45,7	31,9	36,2	0,9	23,0	22,1	7,8	12,2
75	24,2	46,4	45,0	31,7	36,2	0,9	22,4	21,4	7,6	12,2
90	24,3	47,0	45,6	32,0	36,3	1,0	23,0	22,0	7,9	12,3
105	24,4	47,5	46,2	32,2	36,6	1,1	23,5	22,6	8,1	12,6
120	24,4	47,4	46,1	32,1	36,5	1,1	23,4	22,5	8,0	12,5



Graf 8-6 Průběh oteplení jističe 2 při 1. měření

Tab. 8-8 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 1. měření

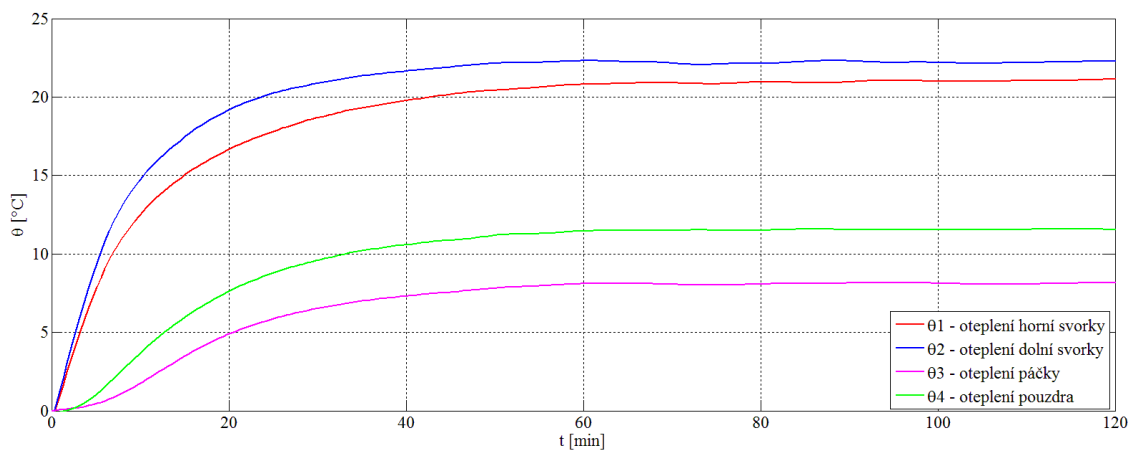
t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	23,3	24,5	25,2	24,5	24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	23,7	40,4	47,9	28,5	30,6	0,4	15,9	22,7	4,0	6,0
30	24,0	44,6	51,7	31,0	33,4	0,7	20,1	26,5	6,5	8,8
45	24,1	45,7	52,9	31,8	34,2	0,8	21,2	27,7	7,3	9,6
60	24,2	45,8	52,8	31,7	34,3	0,9	21,3	27,6	7,2	9,7
75	24,2	45,2	52,1	31,6	34,8	0,9	20,7	26,9	7,1	10,2
90	24,3	45,7	52,6	31,8	34,3	1,0	21,2	27,4	7,3	9,7
105	24,4	46,0	52,9	32,0	34,5	1,1	21,5	27,7	7,5	9,9
120	24,4	46,1	52,8	31,9	34,5	1,1	21,6	27,6	7,4	9,9

8.3.2 Vyhodnocení 2. měření oteplení

V druhém měření byl kolem jističů vždy na jedné straně osazen jeden nezatížený jistič. Průběhy oteplení měřených částí jsou zobrazeny v grafech 8-7 a 8-8. Naměřené teploty a vypočtená oteplení měřených částí jističů jsou uvedeny v tabulkách 8-9 a 8-10.

Jistič 1 dosáhl maximálního oteplení $\theta_2 = 22,3$ °C na horní svorce. Nejnižšího oteplení $\theta_3 = 8,1$ °C dosáhla ovládací páčka jističe.

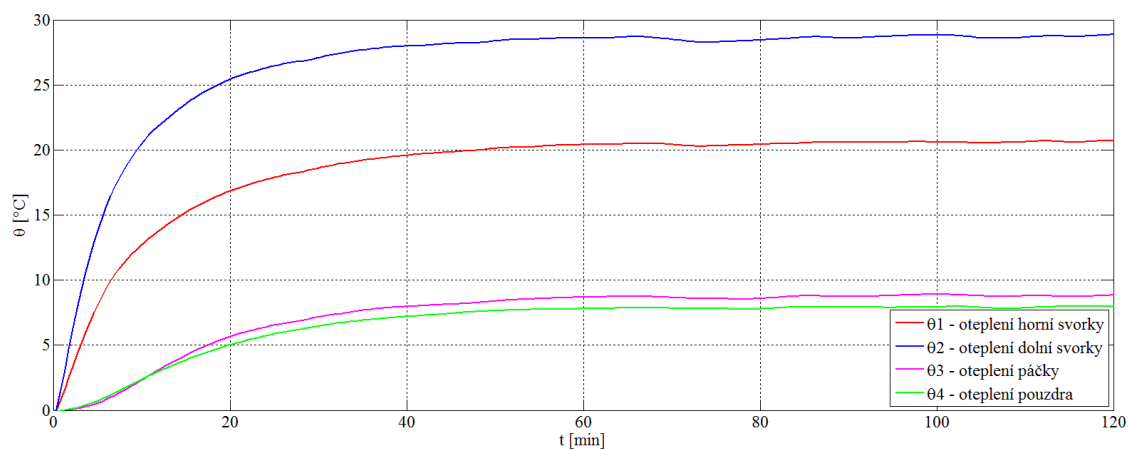
U jističe 2 bylo maximální oteplení $\theta_2 = 28,9$ °C naměřeno na dolní svorce a nejnižší oteplení $\theta_3 = 8,1$ °C na ovládací páčce.



Graf 8-7 Průběh oteplení jističe 1 při 2. měření

Tab. 8-9 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 2. měření

t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	24,4	25,3	24,0	24,6	25,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	24,4	40,3	41,5	28,1	31,0	0,0	15,0	17,5	3,5	5,9
30	24,4	44,0	44,8	31,1	34,7	0,0	18,7	20,8	6,5	9,6
45	24,4	45,5	45,9	32,1	36,0	0,0	20,2	21,9	7,5	10,9
60	24,4	46,1	46,3	32,7	36,6	0,0	20,8	22,3	8,1	11,5
75	24,4	46,1	46,1	32,6	36,6	0,0	20,8	22,1	8,0	11,5
90	24,4	46,3	46,3	32,8	36,7	0,0	21,0	22,3	8,2	11,6
105	24,4	46,2	46,1	32,7	36,7	0,0	20,9	22,1	8,1	11,6
120	24,4	46,4	46,3	32,7	36,6	0,0	21,1	22,3	8,1	11,5



Graf 8-8 Průběh oteplení jističe 2 při 2. měření

Tab. 8-10 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 2. měření

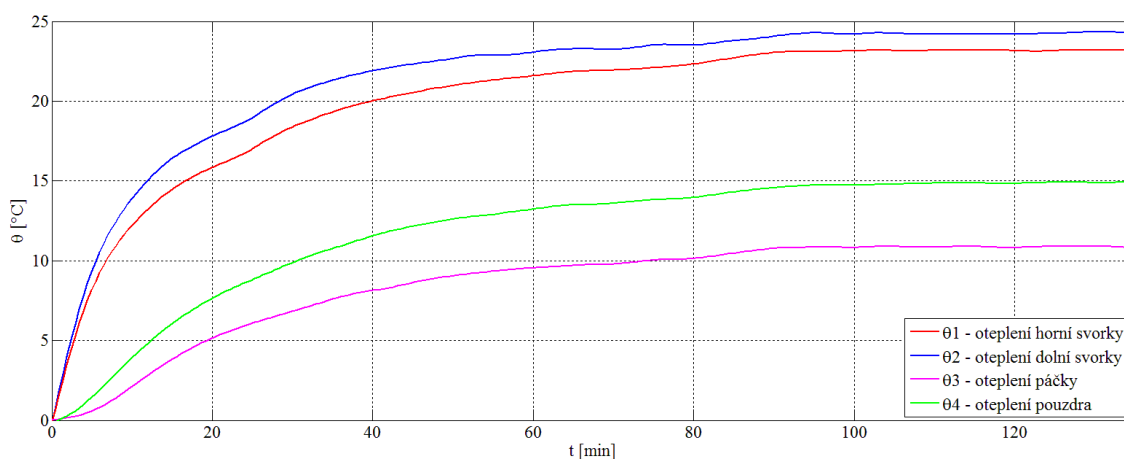
t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	24,4	24,9	24,5	24,6	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	24,4	40,1	48,1	28,9	28,8	0,0	15,2	23,6	4,3	3,8
30	24,4	43,5	51,6	31,8	31,4	0,0	18,6	27,1	7,2	6,4
45	24,4	44,7	52,7	32,8	32,5	0,0	19,8	28,2	8,2	7,5
60	24,4	45,3	53,2	33,3	32,8	0,0	20,4	28,7	8,7	7,8
75	24,4	45,2	52,8	33,2	32,9	0,0	20,3	28,3	8,6	7,9
90	24,4	45,5	53,1	33,3	32,9	0,0	20,6	28,6	8,7	7,9
105	24,4	45,4	53,1	33,4	33,0	0,0	20,5	28,6	8,8	8,0
120	24,4	45,6	53,4	33,5	33,1	0,0	20,7	28,9	8,9	8,1

8.3.3 Vyhodnocení 3. měření oteplení

V třetím měření byl kolem jističů vždy na obou stranách osazen jeden nezatížený jistič. Průběhy oteplení měřených částí jsou zobrazeny v grafech 8-9 a 8-10. Naměřené teploty a vypočtená oteplení měřených částí jističů jsou uvedeny v tabulkách 8-11 a 8-12.

Jistič **1** dosáhl maximálního oteplení $\theta_2 = 24,3$ °C na dolní svorce. Nejnižšího oteplení $\theta_3 = 10,8$ °C dosáhla opět ovládací páčka jističe.

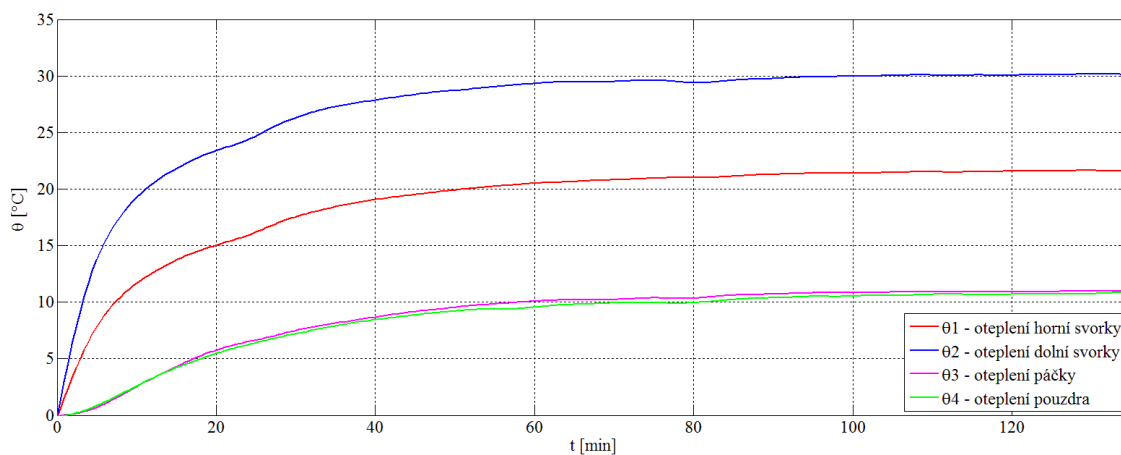
U jističe **2** bylo maximální oteplení $\theta_2 = 30,1$ °C naměřeno na dolní svorce a nejnižší oteplení $\theta_4 = 10,9$ °C na přední části pouzdra.



Graf 8-9 Průběh oteplení jističe 1 při 3. měření

Tab. 8-11 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 3. měření

t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	23,4	23,7	23,4	23,8	23,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	23,7	38,2	39,9	27,7	29,8	0,3	14,5	16,5	3,9	6,1
30	23,9	42,1	43,8	30,6	33,6	0,5	18,4	20,4	6,8	9,9
45	23,9	44,3	45,7	32,5	35,9	0,5	20,6	22,3	8,7	12,2
60	24,1	45,3	46,4	33,3	37,0	0,7	21,6	23,0	9,5	13,3
75	24,2	45,8	47,0	33,9	37,6	0,8	22,1	23,6	10,1	13,9
90	24,2	45,5	53,1	33,3	32,9	0,8	21,8	29,7	9,5	9,2
105	24,4	46,9	47,7	34,7	38,6	1,0	23,2	24,3	10,9	14,9
120	24,5	46,9	47,6	34,6	38,5	1,1	23,2	24,2	10,8	14,8
135	24,6	46,9	47,7	34,6	38,6	1,2	23,2	24,3	10,8	14,9



Graf 8-10 Průběh oteplení jističe 2 při 3. měření

Tab. 8-12 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 3. měření

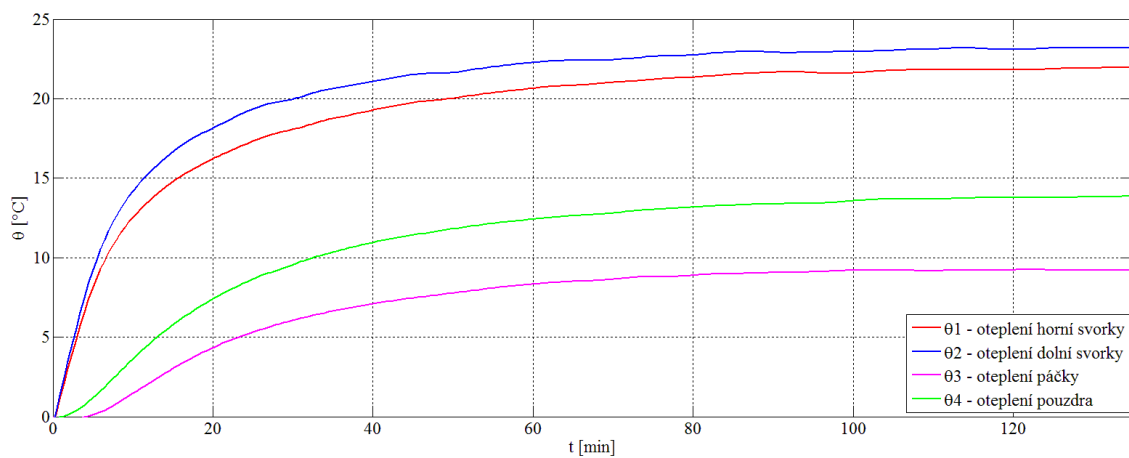
t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	23,4	23,5	23,5	23,5	23,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	23,7	37,2	45,3	27,8	27,9	0,3	13,7	21,8	4,3	4,2
30	23,9	41,0	49,8	31,0	30,9	0,5	17,5	26,3	7,5	7,2
45	23,9	43,0	51,9	32,7	32,6	0,5	19,5	28,4	9,2	8,9
60	24,1	44,0	52,8	33,6	33,2	0,7	20,5	29,3	10,1	9,5
75	24,2	44,5	53,1	33,9	33,7	0,8	21,0	29,6	10,4	10,0
90	24,2	44,8	53,2	34,2	34,1	0,8	21,3	29,7	10,7	10,4
105	24,4	45,0	53,5	34,4	34,3	1,0	21,5	30,0	10,9	10,6
120	24,5	45,1	53,6	34,4	34,4	1,1	21,6	30,1	10,9	10,7
135	24,6	45,1	53,6	34,5	34,6	1,2	21,6	30,1	11,0	10,9

8.3.4 Vyhodnocení 4. měření oteplení

Při čtvrtém měření byly z každé strany kolem jističů osazeny dva nezatížené jističe. Průběhy oteplení měřených částí jsou zobrazeny v grafech 8-11 a 8-12. Naměřené teploty a vypočtená oteplení měřených částí jističů jsou uvedeny v tabulkách 8-13 a 8-14.

Jistič **1** dosáhl maximálního oteplení $\theta_2 = 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$ na dolní svorce. Nejnižšího oteplení $\theta_3 = 9,2 \text{ }^\circ\text{C}$ dosáhla ovládací páčka jističe.

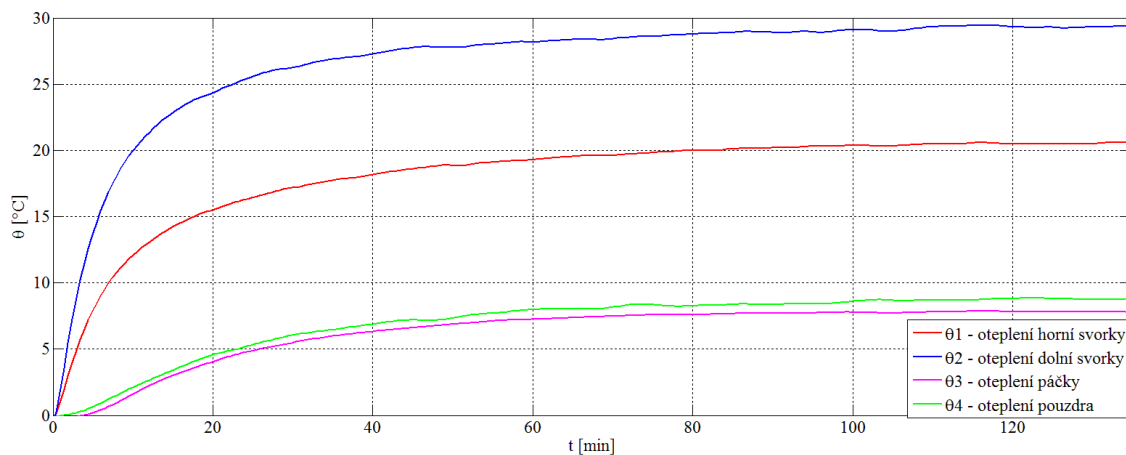
U jističe **2** bylo maximální oteplení $\theta_2 = 29,3 \text{ }^\circ\text{C}$ naměřeno na dolní svorce a nejnižší oteplení $\theta_3 = 7,7 \text{ }^\circ\text{C}$ na ovládací páčce.



Graf 8-11 Průběh oteplení jističe 1 při 4. měření

Tab. 8-13 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 1 při 4. měření

t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	24,5	24,8	24,1	24,9	24,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	24,5	39,6	40,8	27,9	30,6	0,0	14,8	16,7	3,0	5,7
30	24,4	42,9	44,0	31,0	34,5	-0,1	18,1	19,9	6,1	9,6
45	24,4	44,6	45,6	32,4	36,3	-0,1	19,8	21,5	7,5	11,4
60	24,5	45,4	46,4	33,2	37,3	0,0	20,6	22,3	8,3	12,4
75	24,5	46,0	46,8	33,7	37,9	0,0	21,2	22,7	8,8	13,0
90	24,5	46,5	47,1	34,0	38,3	0,0	21,7	23,0	9,1	13,4
105	24,4	46,6	47,1	34,2	38,6	-0,1	21,8	23,0	9,3	13,7
120	24,2	46,6	47,2	34,1	38,7	-0,3	21,8	23,1	9,2	13,8
135	24,3	46,7	47,3	34,1	38,7	-0,2	21,9	23,2	9,2	13,8



Graf 8-12 Průběh oteplení jističe 2 při 4. měření

Tab. 8-14 Naměřené teploty a vypočtené oteplení jističe 2 při 4. měření

t [min]	T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	θ_0 [°C]	θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]
0	24,5	24,7	24,6	24,8	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	24,5	38,9	47,5	27,9	28,5	0,0	14,2	22,9	3,1	3,5
30	24,4	41,9	50,8	30,3	31,2	-0,1	17,2	26,2	5,5	6,2
45	24,4	43,3	52,4	31,4	32,2	-0,1	18,6	27,8	6,6	7,2
60	24,5	44,0	52,7	32,0	33,0	0,0	19,3	28,1	7,2	8,0
75	24,5	44,5	53,2	32,4	33,4	0,0	19,8	28,6	7,6	8,4
90	24,5	44,9	53,6	32,6	33,4	0,0	20,2	29,0	7,8	8,4
105	24,4	45,0	53,6	32,5	33,7	-0,1	20,3	29,0	7,7	8,7
120	24,2	45,2	53,9	32,6	34,0	-0,3	20,5	29,3	7,8	9,0
135	24,3	45,2	53,9	32,5	33,8	-0,2	20,5	29,3	7,7	8,8

8.3.5 Porovnání výsledků měření oteplení

Žádná z měřených částí na jističích ani v jednom měření nedosáhla většího oteplení, než je stanoveno v normě (tabulka 6-1) a oba jističe tedy v oteplovacích zkouškách vyhověly. V tabulce 8-15 jsou uvedeny maximální dosažené teploty nejvíce otepleného konstrukčního prvku z každého měření.

Rozdíly v ustálených teplotách i otepleních měřených částí jističů v závislosti na způsobu osazení jističů jsou v řádech jednotek °C. Lze tedy tvrdit že vliv nezatížených jističů osazených kolem zatížených jističů je v případě zkoušky jednotlivých jističů samostatně minimální.

Jistič 1 dosahoval nevyšších teplot a oteplení převážně ve třetím měření, když z každé strany okolo jističe byl jeden nezatížený jistič. Může to být způsobeno tím, že nezatížené

jističe snížily množství tepla odvedeného ze zatížených jističů prouděním okolního studeného vzduchu.

U jističe **2** dosahovaly měřené části nejvyšších teplot a oteplení v různých měřeních. Osazení okolních jističů tedy téměř neovlivnilo oteplení jističe **2**.

Tab. 8-15 Nejvyšší naměřené teploty u nejvíce oteplených prvků

Jistič 1		
Číslo měření	Nejvyšší naměřené oteplení θ [°C]	Konstrukční prvek
1	23,4	Horní svorka
2	22,3	Horní svorka
3	24,3	Dolní svorka
4	23,2	Dolní svorka
Jistič 2		
Číslo měření	Nejvyšší naměřené oteplení θ [°C]	Konstrukční prvek
1	27,6	Dolní svorka
2	28,9	Dolní svorka
3	30,1	Dolní svorka
4	29,3	Dolní svorka

8.3.6 Vliv teploty na konstrukční prvky

Z oteplovacích zkoušek vyplývá, že u testovaných jističů byly z měřených částí nejvíce zahřívány horní a dolní přípojovací svorky. Jejich zahřívání může být způsobeno teplem vznikajícím kvůli špatnému kontaktnímu styku a na proudovodné dráze. Přípojovací svorky jsou při průchodu proudu namáhány a při jejich dlouhodobém přetěžování lze předpokládat jejich poškození až zničení.

Při měření byly pořízeny po dosažení ustáleného oteplení termografy jističů pomocí termální kamery. Na obrázku 8-3 je vlevo zobrazen pohled na přední část jističe **1** a vpravo na boční část. Z obrázku je patrné, že nejvíce zahřátý byl jistič v oblasti horních a dolních přípojovacích svorek, bimetalu, elektromagnetu a pevného a pohyblivého kontaktu (čím světlejší barva na snímku, tím více zahřáté místo).

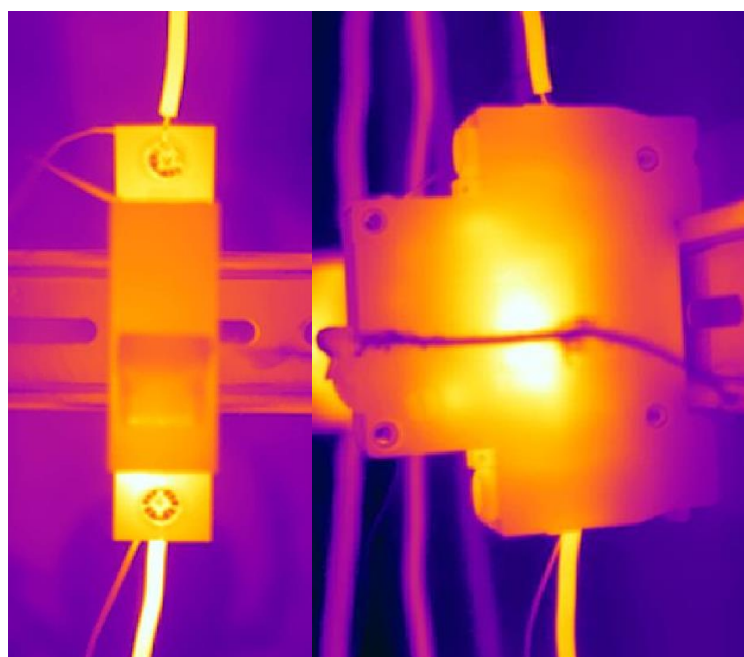
Na obrázku 8-4 je vlevo zobrazen pohled na přední část jističe **2** a na snímku vpravo na boční část. Nejvíce zahřátý byl jistič v oblasti horních a dolních přípojovacích svorek a dále v místě elektromagnetu a pohyblivého kontaktu.

Uvedené konstrukční prvky jsou při průchodu proudu tepelně namáhány a dlouhodobým přetěžováním mohou být opotřebovány nebo až zničeny.

Při porovnání obrázku 8-3 a 8-4 je vidět vliv rozmístění konstrukčních prvků na zahřívání celého jističe při průchodu proudu. Jistič **1** má konstrukční prvky proudovodné dráhy rozmístěny dále od sebe. To má za následek rovnoměrnější zahřívání jističe. Jistič **2** má prvky proudovodné dráhy umístěny blízko u sebe a je tedy zahříván převážně v jednom místě.



Obr. 8-3 Snímky z termokamery jističe 1



Obr. 8-4 Snímek z termokamery jističe 2

8.4 Zkratové zkoušky

Jednou z nejdůležitějších vlastností z hlediska bezpečnosti je chování jističů při zkratu. Při jejich používání nesmí dojít k ohrožení obsluhy při vypínání zkratu či zapnutí jističe do zkratu. Při průchodu zkratového proudu jističem dochází k extrémnímu namáhání jeho konstrukčních prvků dynamickými silami a působením tepla. Při zkratu tedy může dojít k poškození, až zničení některých konstrukčních prvků. Zkratová zkouška tak může poukázat na nejvíce namáhaný prvek nebo může odhalit nejslabší prvek v konstrukčním systému jističe.

Na jističích byly provedeny zkratové zkoušky typu O (vypnutí zkratu) a typu CO (zapnutí do zkratu pomocí pneumatického pohonu) při jejich jmenovité zkratové schopnosti $I_{cn} = 6$ kA. Zkoušky byly provedeny v pořadí:

O – t – CO

Měření bylo provedeno na vybavení zkušebny spínacích přístrojů.

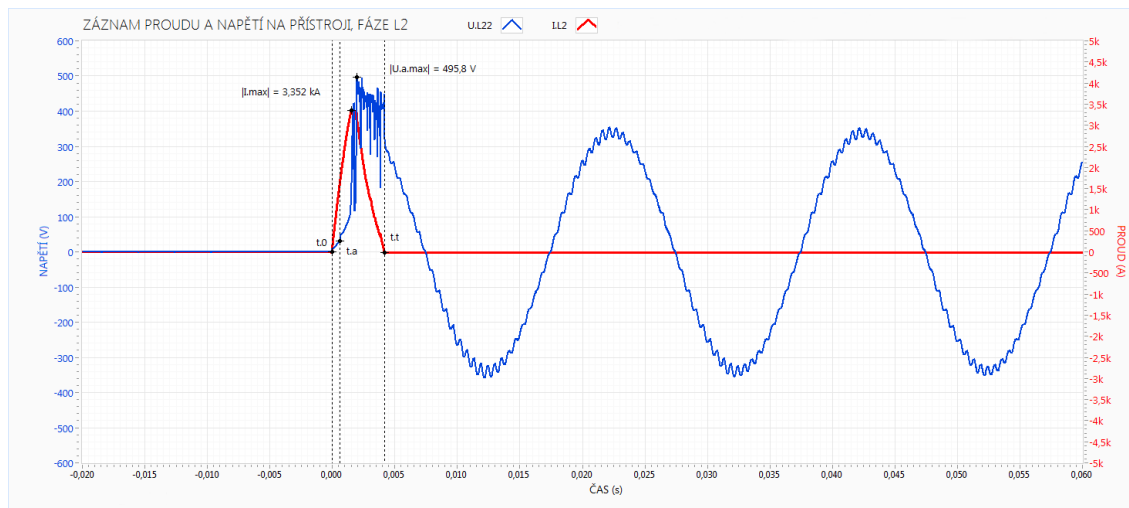
Nejdříve byly nakonfigurovány v testovacím obvodu příslušné impedance pro nastavení potřebných parametrů zkratového proudu. Účinník obvodu byl nastaven 0,68, napětí 242 V, zkratový proud na 6080 A a frekvence na 50 Hz. Následně byl testovaný jistič osazen na DIN lištu. Vstupní (horní) svorka byla pomocí měděného vodiče o průřezu 2,5 mm² připojena na fázi testovacího obvodu a výstupní svorka (spodní) byla připojena k nulové svorce. Při zkratové zkoušce typu O byl před jistič umístěn rámeček s polyetylenovou fólií pro ověření bezpečnosti obsluhy. Při zkratové zkoušce typu CO byl na ovládací páčku jističe připojen pneumatický mechanismus synchronizovaný s měřicím zařízením, který jistič sepnul do zkratu.

8.4.1 Zkratová zkouška jističe 1

První zkratová zkouška provedená na jističi **1** byla typu O. Po napojení na vybavení zkušebny, nastavení potřebných parametrů a uvedení jističe do sepnutého stavu byl do obvodu zkušebního jističe přiveden zkratový proud 6,08 kA v bodě vlny napětí 45 °. Průběh napětí a proudů zkratové zkoušky je uveden v grafu 8-13. Jistič omezil zkratový proud na 3,35 kA a propustil energii 17,21 k(A²s). K uhasnutí elektrického oblouku a úspěšnému vypnutí obvodu došlo po 4,22 ms. Nedošlo k poškození polyetylenové fólie před jističem. Po vypnutí obvodu jistič správně indikoval vypnutý stav a bez větších známek poškození byl schopný dalšího provozu.

Tab. 8-16 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu O jističe 1

Teplota okolí	Vlhkost	Rosný bod	Tlak
22,5 °C	28,3 %	3,3 °C	968,6 hPa

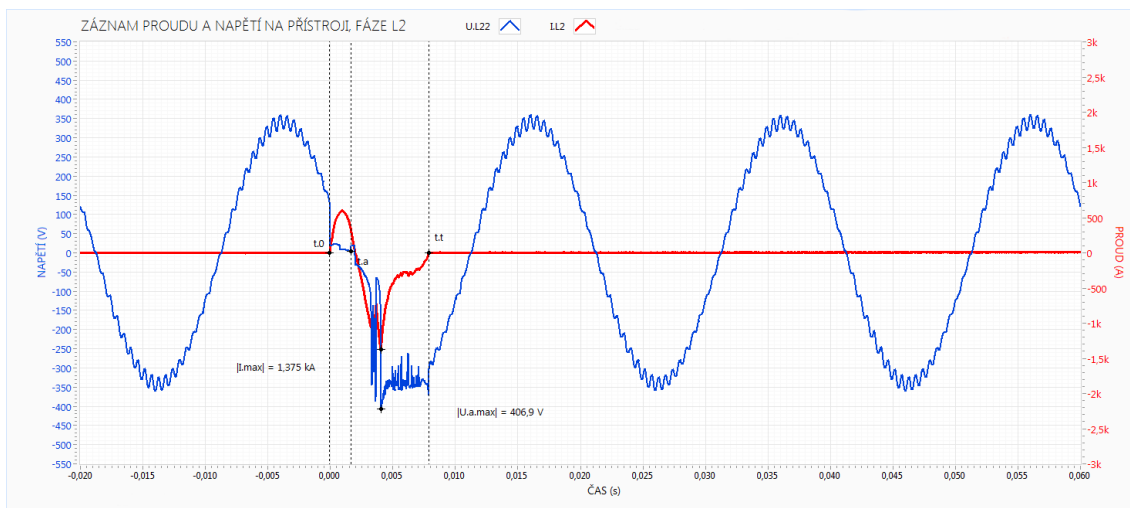


Graf 8-13 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu O jističe 1

Následně byla na jističi 1 provedena zkratová zkouška typu CO. Nejdříve proběhlo nastavení potřebných parametrů zkušebny a připojení pneumatického pohonu ovládací páčky. Jistič byl ponechán ve vypnutém stavu. Po přivedení zkušebního napětí na svorky jističe pneumatický pohon uvedl jistič do sepnutého stavu. Jistič byl tedy sepnut do zkratu. Průběh napětí a proudů při zkratové zkoušce je uveden v grafu 8-14. Jistič omezil zkratový proud na 1,37 kA a propustil energii 2,52 k(A²s). K uhasnutí elektrického oblouku a úspěšnému vypnutí obvodu došlo po 7,92 ms. Nedošlo k poškození polyetylenové fólie před jističem. Po vypnutí obvodu ukazatel stavu kontaktů správně indikoval vypnutý stav a jistič byl nadále funkční bez větších známek poškození.

Tab. 8-17 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu CO jističe 1

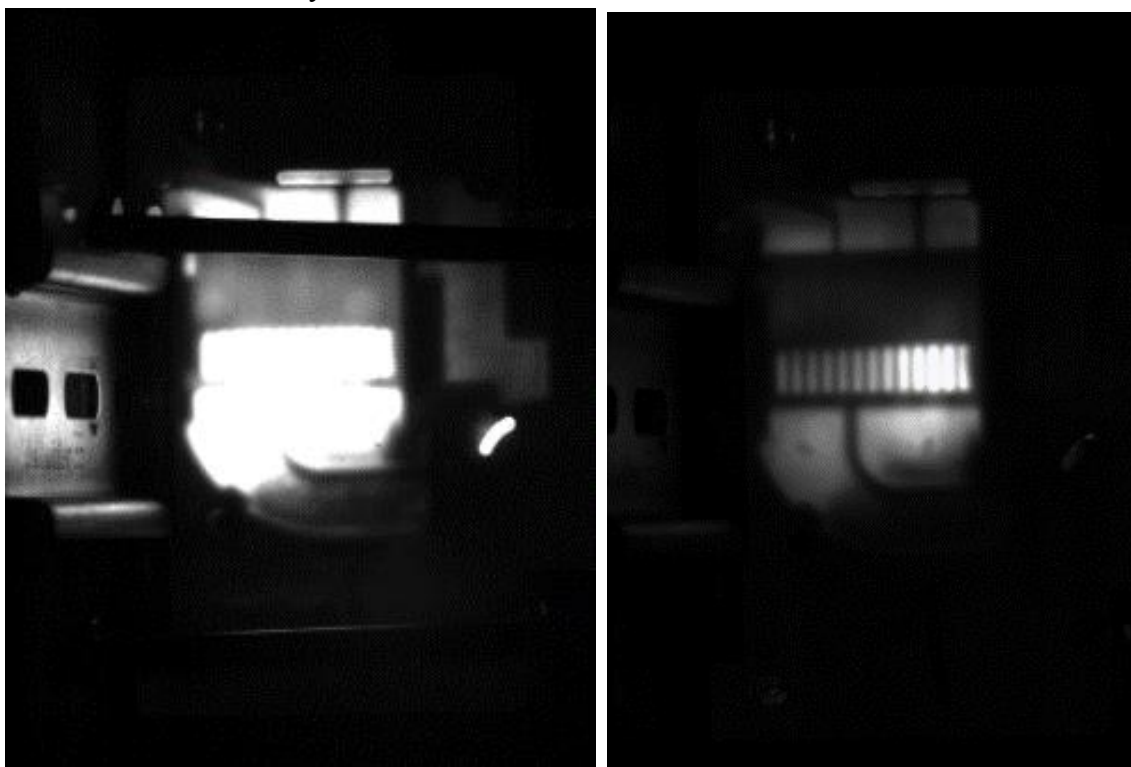
Teplota okolí	Vlhkost	Rosný bod	Tlak
22,5 °C	28,2 %	3,2 °C	968,5 hPa



Graf 8-14 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu CO jističe 1

Jistič **1** ve zkratové zkoušce jmenovité zkratové schopnosti typu O i CO uspěl a po zkoušce byl stále funkční bez známek zásadního poškození.

Pomocí vysokorychlostní kamery byly pořízeny snímky při zkouškách jističe **1**, které jsou uvedeny na obrázku 8-5. Na obrázku vlevo je uveden snímek ze zkoušky typu O a vpravo ze zkoušky typu CO. Z obrázku je patrné, že k uhasnutí oblouku došlo pouze v oblasti zhášecí komory.



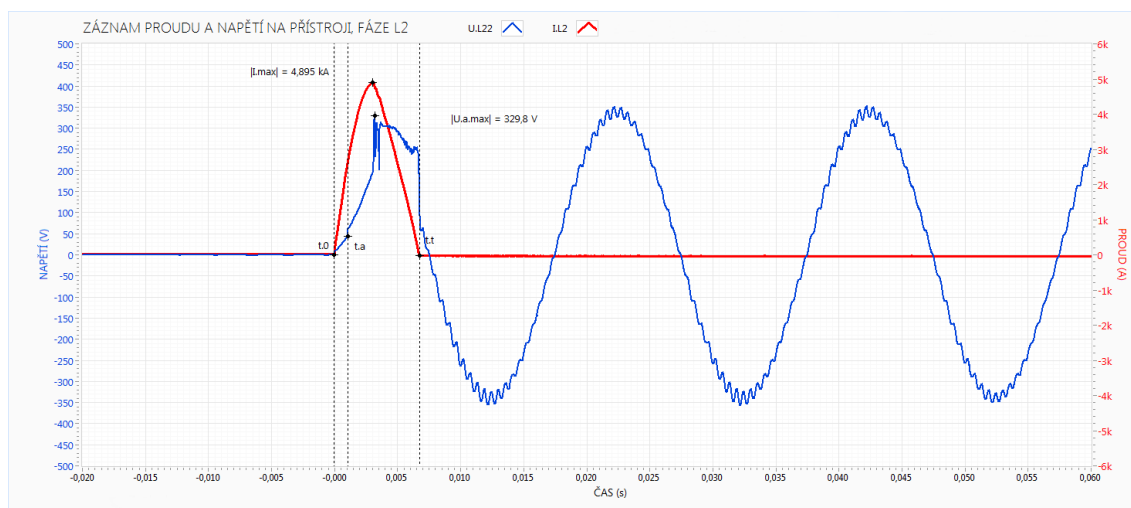
Obr. 8-5 Snímky ze zkratové zkoušky jističe 1

8.4.2 Zkratová zkouška jističe 2

Jistič 2 byl napojen na vybavení zkratovny a uveden do sepnutého stavu. Po nastavení potřebných parametrů byl do zkušebního obvodu přiveden zkratový proud 6,08 kA v bodě vlny napětí 45 °. Průběh napětí a proudů zkratové zkoušky je uveden v grafu 8-15. Jistič omezil zkratový proud na 4,89 kA a propustil energii 71,09 k(A²s). K uhasnutí elektrického oblouku a úspěšnému vypnutí obvodu došlo po 6,74 ms. Po vypnutí obvodu ukazatel stavu kontaktů správně indikoval vypnutý stav. Jistič jevil známky poškození, ale byl nadále schopný provozu. Nedošlo k poškození polyetylenové fólie před jističem.

Tab. 8-18 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu O jističe 2

Teplota okolí	Vlhkost	Rosný bod	Tlak
22,4 °C	28,4 %	3,2 °C	968,3 hPa

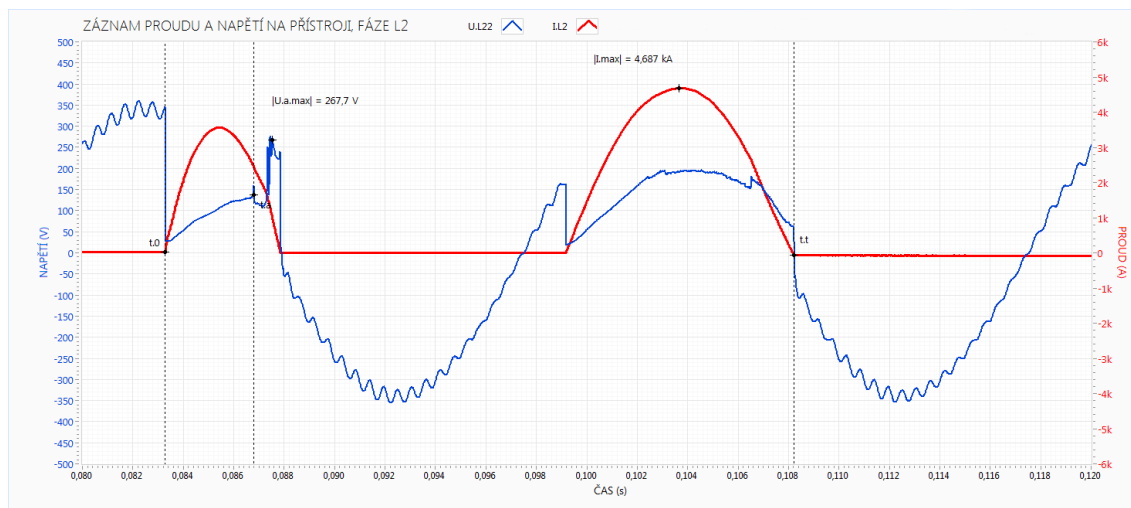


Graf 8-15 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu O jističe 2

Po zkoušce typu O následovala na jističi 2 zkouška typu CO. Jistič byl připojen k pneumatickému pohonu, který po přivedení napětí na svorky uvedl jistič do sepnutého stavu a provedl tak sepnutí do zkratu. Průběh napětí a proudu při této zkratové zkoušce je uveden v grafu 8-16. Jističi se nepodařilo po uhasnutí prvního elektrického oblouku udržet obvod ve vypnutém stavu a v další půlvlně napětí došlo k opětovnému sepnutí obvodu a zapálení oblouku. Mohlo to být způsobeno nedostatečnou vzdáleností kontaktů a nízkou elektrickou pevností prostředí v jističi. K úplnému rozpojení obvodu došlo po 24,94 ms. Jistič propustil energii 133,58 k(A²s) a proud 4,69 kA. Po rozpojení obvodu jistič stále indikoval zapnutý stav, byl silně poškozen a dále nebyl schopný provozu. Došlo k částečnému poškození polyetylenové fólie při vyfukování oblouku.

Tab. 8-19 Laboratorní podmínky při zkratové zkoušce typu CO jističe 2

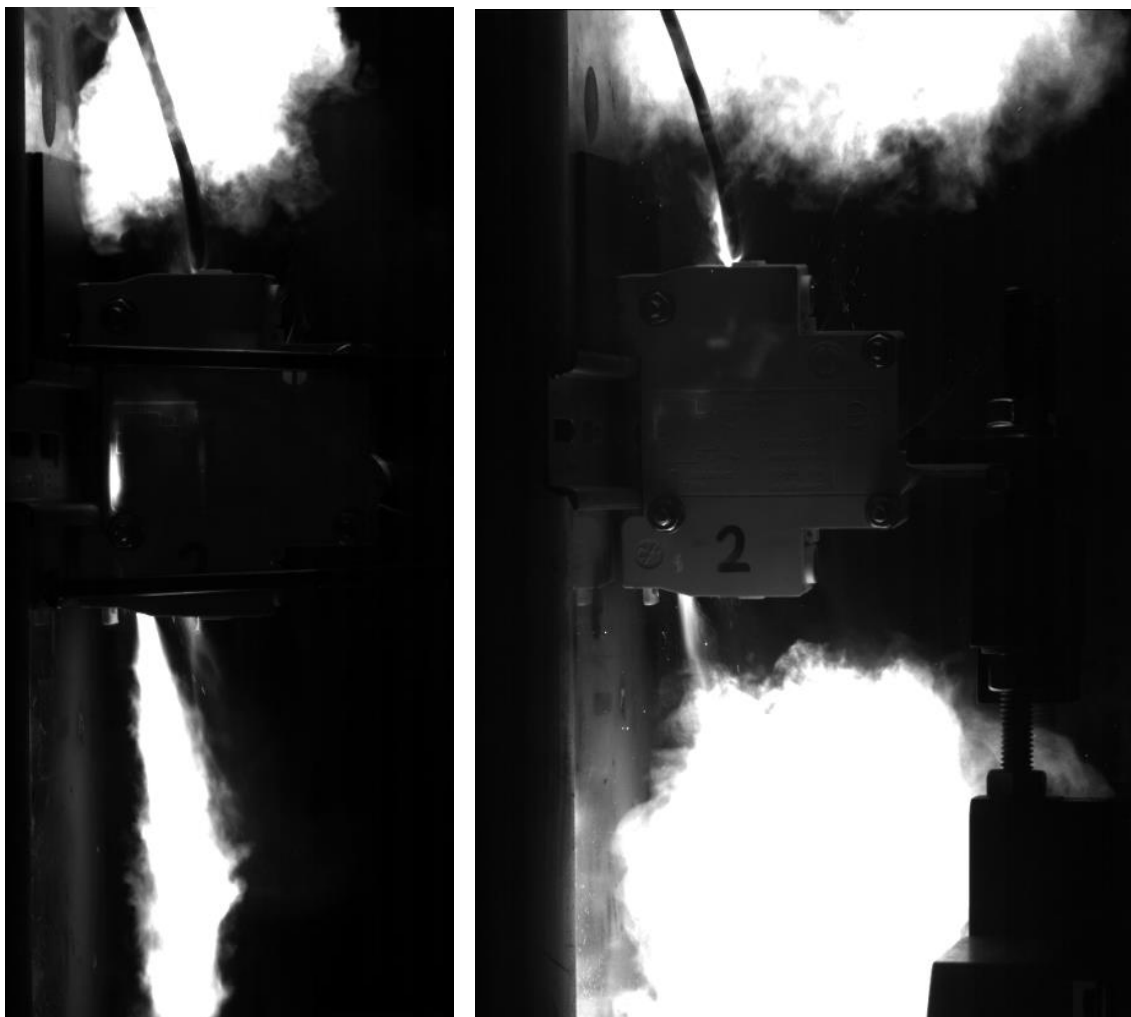
Teplota okolí	Vlhkost	Rosný bod	Tlak
21,9 °C	28,9 %	3,1 °C	967,7 hPa



Graf 8-16 Průběh napětí a proudu při zkratové zkoušce typu CO jističe 2

Jistič 2 prošel zkratovou zkouškou typu O, ale zkratovou zkouškou typu CO neprošel, protože po vypnutí obvodu ukazatel stavu kontaktů stále indikoval sepnutý stav. Jistič nebyl dále schopný provozu, protože byla přerušena proudovodná dráha.

Snímky z vysokorychlostní kamery pořízené při zkouškách jističe 2 jsou uvedeny v obrázku 8-6. Na obrázku vlevo je uveden snímek ze zkoušky typu O a vpravo ze zkoušky typu CO. Z obrázku je patrné, že k uhasnutí oblouku došlo pouze v oblasti zhášecí komory. Na snímcích je patrné, že došlo k vyfouknutí oblouku otvory kolem horní a dolní svorky jističe. K uhasnutí oblouku by ovšem mělo docházet převážně v oblasti zhášecí komory.



Obr. 8-6 Snímky ze zkratové zkoušky jističe 2



9 STAV JISTIČŮ PO ZKOUŠKÁCH A JEJICH POROVNÁNÍ


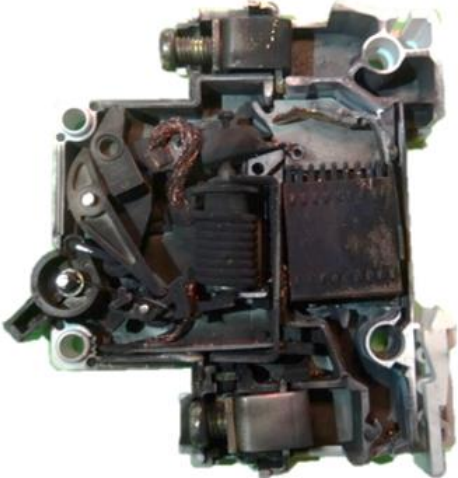


V předešlé kapitole byla popsána různá měření a zkoušky provedené na dvou jističích různých cenových kategorií pro ověření jejich parametrů a trvanlivosti konstrukčních prvků. Na obou jističích byly vždy provedeny zkoušky stejným způsobem za stejných podmínek. V následujících odstavcích je popsán stav jističů po zkouškách a provedeno jejich vzájemné porovnání.





9.1 Stav testovaných jističů po zkouškách

V kapitole 7 Porovnání modulárních jističů jsou popsány a zobrazeny jističe v původním stavu před provedením zkoušek a měření. Během experimentů docházelo k namáhání konstrukčních prvků jističů. Některé prvky zůstaly téměř bez poškození, některé byly částečně poškozeny a některé úplně zničeny. Stav a popis testovaných jističů po experimentech je uveden v tabulce 9-1.

Tab. 9-1 Stav testovaných jističů po zkouškách

	Jistič 1	Jistič 2
Složený jistič	 <p>Na vnější straně pouzdra nejsou patrné žádné známky opotřebení.</p>	 <p>Pouzdro jističe je poškozeno (opáleno) působením elektrického oblouku v oblasti ovládací páčky, připojovacích svorek a vyfukovacích otvorů.</p>

<p>Rozložený jistič</p>	 <p>Působením elektrického oblouku jsou opáleny některé části pouzdra jističe, krytka zhášecí komory a volnoběžka. Vybavovací mechanismus je funkční, bez známek poškození.</p>	 <p>Působením elektrického oblouku jsou opáleny všechny součásti jističe. Vybavovací mechanismus má poškozeny pružiny a je nefunkční. Některé části pouzdra roztaveny a rozpraskány.</p>
<p>Zhášecí komora</p>	 <p>Mřížky zhášecí komory opáleny působením oblouku, ale bez většího poškození.</p>	 <p>Zhášecí komora silně opálena a poškozena působením oblouku. Na mřížkách nataveny kousky kovu z jiných konstrukčních prvků.</p>

<p>Pouzdro jističe</p>	 <p>Pouzdro v oblasti vybavovacího mechanismu a zhášecí komory mírně opáleno, jinak bez poškození.</p>	 <p>Celé pouzdro silně opáleno a poškozeno obloukem. Část krytky zhášecí komory a některé další části pouzdra roztaveny a popraskány.</p>
<p>Kontakty a vodiče oblouku</p>	 <p>Pevný kontakt, pohyblivý kontakt a vodiče oblouku opáleny a mírně poškozeny působením oblouku. Povrch kontaktů hrubý s poškozenými dosedacími plochami.</p>	 <p>Kontakty a vodič oblouku silně poškozeny. Proudovodná dráha nad pevným kontaktem přerušena. Kontakty mají poškozeny dosedací plochy. Na vodič oblouku nataveny kousky kovů z jiných částí jističe.</p>

9.2 Vzájemné porovnání jističů

Jistič **1** a jistič **2** prošly stejnými zkouškami a měřeními vždy za stejných podmínek. Vnitřní odpor u jističů se lišil minimálně. Zkouškami charakteristik prošly oba jističe bez problému a splnily tak požadavky normy. Oteplovacími zkouškami prošly také s rezervou oba jističe. Maximální oteplení obou jističů se lišila. Jistič **1** dosahoval o přibližně 6 °C nižších teplot na dolní připojovací svorce. Může to být způsobeno rozdílným materiálem

svorek, horší kvalitou místa styku mezi svorkami a přípojovacími kabely nebo umístěním bimetalu v jističi **2**.

Největší rozdíl mezi kvalitou a provedením obou jističů se projevil při zkratových zkouškách. Jistič **1** bez problémů prošel zkratovou zkouškou typu O i CO a po zkouškách byl dále schopný plnit svou funkci. Nebyly na něm žádné výrazné známky poškození. K uhasnutí oblouku došlo pouze ve zhášecí komoře. Jistič **2** zkratovou zkouškou typu O prošel. Po této zkoušce na něm byly patrné známky poškození, ale byl stále schopný plnit svou funkci. Při následující zkoušce typu CO došlo k odpaření proudovodné dráhy mezi horní svorkou jističe a pevným kontaktem. To zapříčinilo neschopnost vést elektrický proud v sepnutém stavu. Po zkoušce také jistič stále indikoval sepnutý stav. To poukazuje na selhání vybavovacího mechanismu, což norma považuje za nepřípustné a jistič tedy zkratovou zkouškou neprošel.

Za největší nedostatek jističe **2** lze považovat zhášecí komoru, jelikož při působení oblouku jej nedokázala správně uhasit a plazma z jističe unikalo prostorem horních a dolních svorek. Zhášecí komora byla také při působení oblouku značně poškozena. Jako další nedostatek lze uvést přerušování proudovodné dráhy mezi horní svorkou a pevným kontaktem. K přetavení proudovodné dráhy během by během zhášecího procesu docházet nemělo. Takovýto jistič ztrácí jednu z hlavních výhod oproti pojistce, a sice možnost opakovaného použití. Poukazuje to na použití materiálů kontaktů a vodičů s nižší kvalitou a s menší tepelnou odolností než u jističe **1**. Rozdíl je také patrný v materiálu pouzdra a krytek zhášecích komor. Jistič **1** měl pouzdro i krytky pouze mírně opálené. Jistič **2** měl pouzdro i krytky na některých místech roztavené a popraskané.

Velký rozdíl byl zaznamenán v omezovací schopnosti obou jističů. Jistič **1** propustil energii při zkratové zkoušce typu O $17,21 \text{ k(A}^2\text{s)}$ a při zkoušce typu CO $2,52 \text{ k(A}^2\text{s)}$ a významně tak omezil energii propuštěnou do obvodu za jističem. Jistič **2** propustil při zkoušce typu O $71,09 \text{ k(A}^2\text{s)}$ a při zkoušce typu CO $133,58 \text{ k(A}^2\text{s)}$. Omezovací schopnost tohoto jističe je tedy řádově nižší a při jeho použití může při zkratu dojít k poškození prvků umístěných v obvodu za jističem.

Před zkratovými zkouškami a po zkratových zkouškách bylo provedeno vážení některých prvků kvůli zjištění jejich hmotnostních úbytků. Část prvků byla vážena samostatně a část společně, protože některé prvky od sebe nebylo možné bez jejich poškození oddělit. Hmotnosti prvků jističe **1** jsou uvedeny v tabulce 9-2. Největší

hmotností úbytek 0,015 g byl naměřen u zhášecí komory. Je to způsobeno zhášením oblouku přímo v komoře, kde vlivem vysoké teploty oblouku došlo k odpaření 0,015 g z kovových roštů zhášecí komory.

Tab. 9-2 Hmotnosti prvků jističe 1

Jistič 1	Hmotnost před zkouškami	Hmotnost po zkouškách	Hmotnostní úbytek
	m [g]	m [g]	m_u [g]
Zhášecí komora	17,682	17,667	0,015
Horní svorka + elektromagnet + vodiče oblouku	20,467	20,461	0,006
Dolní svorka + bimetal + vodiče oblouku + volnoběžka	18,974	18,968	0,006

Hmotnosti konstrukčních prvků jističe 2 jsou uvedeny v tabulce 9-3. Hmotnost některých prvků se zvýšila, jelikož během působení oblouku došlo k přitavení části jednoho prvku k druhému. Hmotnostní úbytek 0,155 g zaznamenal vodič oblouku s pevným kontaktem, jelikož tyto prvky byly během zkoušek značně poškozeny. Hmotnostní úbytek 0,204 g byl naměřen u spodní části pouzdra společně s dolní svorkou, pohyblivým kontaktem, elektromagnetem a vybavovacím mechanismem, opět nejspíše vlivem působení oblouku.

Tab. 9-3 Hmotnosti prvků jističe 2

Jistič 2	Hmotnost před zkouškami	Hmotnost po zkouškách	Hmotnostní úbytek
	m [g]	m [g]	m_u [g]
Zhášecí komora	10,294	10,362	-0,068
Vodiče oblouku	3,665	3,510	0,155
Horní svorka	5,580	5,587	-0,007
Spodní část pouzdra + dolní svorka + pohyblivý kontakt + elektromagnet + vybavovací mechanismus	48,022	47,818	0,204

Z výše uvedených tabulek je patrné, že u jističe 2 byly naměřeny větší hmotnostní rozdíly než u jističe 1. Je to dáno použitím kvalitnějších a trvanlivějších materiálů konstrukčních prvků jističe 1.

9.3 Porovnání jističů z hlediska pořizovací ceny

Pořizovací cena jističe **1** od renomovaného evropského výrobce byla okolo 100 Kč. Při analýze jeho konstrukčních prvků byla patrná vysoká kvalita jejich zpracování. Dobře zvolený byl také systém rozmístění prvků v jističi. Jistič prošel všemi provedenými zkouškami a měřeními a po jejich ukončení byl stále funkční. Při zkratové zkoušce dovedl dobře uhasit elektrický oblouk a prokázal velice dobrou omezovací schopnost. Jistič tedy lze označit za velice kvalitní a bezpečný spínací přístroj nízkého napětí.

Pořizovací cena jističe **2** od méně známého výrobce byla okolo 50 Kč. Kvalita zpracování jeho konstrukčních prvků a jejich rozmístění nebyly na tak vysoké úrovni jako u jističe **1**. Tento nedostatek poukazuje na nedostatečnou znalostní základnu výrobce. Jistič **2** prošel všemi zkouškami a měřeními, až na zkratové zkoušky. Při zkratové zkoušce typu CO došlo k jeho nenávratnému poškození a po uhasnutí oblouku a vypnutí obvodu stále indikoval sepnutý stav ukazatelem stavu kontaktů. Při zkratových zkouškách také projevil nízkou omezovací schopnost a špatnou schopnost zhášení elektrického oblouku. Při jeho použití v obvodu může dojít vlivem nízké omezovací schopnosti k poškození prvků za jističem a také k ohrožení bezpečnosti obsluhy při zapnutí jističe do zkratu.

10 ZÁVĚR

Obsah této diplomové práce byl zaměřen na studium trvanlivosti konstrukčních prvků spínacích přístrojů nízkého napětí. Jejím cílem bylo seznámit se s konstrukčními prvky spínacích přístrojů. Dále bylo cílem sestavit modely funkcí jističe a stykače nízkého napětí v různých provozních stavech. Z výsledků těchto modelů byly vyhodnoceny konstrukční prvky, u kterých může dojít k jejich opotřebení, poškození, až zničení. Následně byly na dvou konkrétních jističích od různých výrobců provedeny praktické experimenty pro ověření jejich technických parametrů a trvanlivosti konstrukčních prvků.

V úvodních kapitolách práce je popsáno rozdělení, princip funkce, způsoby použití a konstrukční prvky konkrétního jističe nízkého napětí se jmenovitým proudem 16 A a stykače na střídavé napětí kategorie užití AC1, 2 a 3. V následující části práce byly vytvořeny modely funkcí stykače v sepnutém stavu, rozepnutém stavu, ve stavu vypínání s působením oblouku a ve stavu zapínání s působením oblouku. Dále byly sestaveny modely funkcí konkrétního jističe v sepnutém stavu, rozepnutém stavu, podrobný model vybavovacího mechanismu při vypínání a podrobný model zhášecího systému ve stavu vypínání při působení oblouku. V dalších kapitolách jsou popsány zkoušky, kterými by měli jističe pro domovní instalace dle norem projít. Dále jsou představeny dva konkrétní jističe od různých výrobců s pořizovací cenou 100 Kč a 50 Kč, na kterých byly v následujících částech práce provedeny zkoušky vypínacích charakteristik, oteplovací zkoušky, zkratové zkoušky a měření jejich vnitřního odporu. Tyto praktické experimenty byly provedeny na obou jističích vždy za stejných podmínek pro ověření technických parametrů, ověření trvanlivosti jejich konstrukčních prvků a pro vzájemné porovnání.

Z modelů funkcí vychází, že ve stykači jsou nejvíce namáhané části téměř ve všech jeho stavech pevné a pohyblivé kontakty. Při používání stykače dochází k jejich největšímu opotřebení, které může mít za následek jejich poškození, až zničení.

U jističe byly na základě modelů funkcí vyhodnoceny jako nejvíce namáhané konstrukční prvky pevný kontakt, pohyblivý kontakt a zhášecí komora a při jeho používání mohou být poškozeny, nebo až zničeny.

Zkouškami vypínacích charakteristik a oteplovacími zkouškami oba jističe úspěšně prošly a splnily požadavky vyplývající z normy. Při měření vnitřního odporu dosáhl nižších hodnot levnější z obou jističů. Největší rozdíly mezi oběma jističi se ukázaly

během zkratových zkoušek. Dražší jistič zkratovými zkouškami prošel téměř bez poškození a po zkouškách byl nadále schopen plnit svou funkci. Během zkoušky prokázal dobrou omezovací schopnost a schopnost uhasit elektrický oblouk. Levnější jistič neprošel zkratovou zkouškou typu CO, při které došlo k přetavení jeho proudovodné dráhy a dále tak nebyl schopen plnit svou funkci. Během zkoušky byla zjištěna u levnějšího jističe špatná omezovací schopnost a špatná schopnost uhasit elektrický oblouk. Po všech provedených zkouškách byla provedena analýza konstrukčních prvků obou jističů a ukázalo se, že nejvíce poškozenými prvky byly u obou jističů pevné kontakty, pohyblivé kontakty, zhášecí komora a vodiče oblouku. U levnějšího jističe byla většina konstrukčních prvků po zkouškách v podstatně horším stavu než u jističe dražšího.

Výsledky z teoretické analýzy na základě modelů funkcí se tedy shodují s výsledky získanými z praktických experimentů. Poukazují na to, že jističe výrazně levnější, než u konkurence mohou být nekvalitní a nebezpečné. I když výrobce uvádí, že jeho jistič splňuje danou normu, nemusí to být vždy pravda. Zkoušky vykonané na jističi mohou být výrobcem provedeny chybně nebo nemusí být provedeny vůbec. Z toho plyne, že je z hlediska bezpečnosti lepší používat jističe od kvalitnějších renomovaných výrobců, u kterých je riziko nesplnění norem minimální.

Tuto diplomovou práci by bylo možné dále rozšířit studiem více typů spínacích přístrojů nízkého napětí a také provedením praktických experimentů na větším množství spínacích přístrojů jednoho druhu pro získání více poznatků o trvanlivosti jejich konstrukčních prvků.

Literatura

- [1] HAVELKA, Otto a kolektiv. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL, 1985
- [2] OEZ LETOHRAD. *Průručka elektrotechnika, Jističí přístroje 1*. OEZ Letohrad, 2011
- [3] VALENTA, Jiří. *MDJZ – Diagnostika a jištění elektrických zařízení - prezentace*, VUT v Brně, 2018.
- [4] HELŠTÝN, David, Petr KAČOR a Zdeněk HYTKA. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jističí: průvodce studiem* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, Regionální centrum celoživotního vzdělávání, 2003 [cit. 2018-10-21]. ISBN 80-248-0315-1.
- [5] KLOC, Petr. *MSVP – Stavba a výroba elektrických přístrojů - prezentace*, VUT v Brně, 2018.
- [6] EATON ELEKTROTECHNIKA. *Stykače a relé - katalog*. Eaton Elektrotechnika, Praha 2011. Dostupné z: http://www.eatonelektrotechnika.cz/__files/upload/content/katalog_stykace_2011.pdf
- [7] Nejčastěji používané kategorie užití spínacích a ovládacích prvků. Elektrokomponenty [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://www.eshop.elektrokomponenty.cz/novinky/nejcasteji-pouzivane-kategorie-uziti-spinacich-a-ovladacich-prvku/>
- [8] ČSN EN 60898-1. *Elektrická příslušenství – Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací – Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC)*, Praha: Český normalizační institut, 2003
- [9] ČSN EN 60947-4-1 ed. 3. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí. Část 4-1, Stykače a spouštěče motorů - Elektromechanické stykače a spouštěče motorů* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [10] GROSS, Boleslav. *Elektrické výboje v plynech*. Praha: SNTL, 1967