

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb

Diplomová práce

HODNOCENÍ ELEKTROINSTALACE JAKO PŘÍČINY POŽÁRŮ

ANALYSIS OF ELECTRIC INSTALLATION AS A SOURCE OF FIRES

Bc. Ondřej Bartoníček

vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Mózer, Ph.D.

2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bartoniček** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **468438**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**
Studijní program: **Integrální bezpečnost staveb**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hodnocení elektroinstalace jako příčiny požárů

Název diplomové práce anglicky:

Analysis of electric installation as a source of fires

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Mózer, Ph.D., katedra konstrukcí pozemních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **22.09.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **02.01.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

doc. Ing. Vladimír Mózer, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně za použití odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury pod vedením vedoucího této práce a vybraných členů generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, kteří jsou jmenovitě uvedeny v poděkování.

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Mózerovi, Ph.D., za pravidelnou možnost konzultací a pomoc během provedeného experimentálního měření. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu oddělení požárně technických expertiz plk. Ing. Ondřeji Sanžovi Šafránkovi za poskytnutí odborných konzultací spojených s řešeným tématem mé diplomové práce. Dále kpt. Ing. Iloně Vítek Hánové a kpt. Ing. Martinu Podjuklovi za poskytnutá statistická data o požárech s příčinou technická závada, která obohatila a podpořila teoretickou část této diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat vedoucímu výzkumného týmu Ing. Petru Svorovi, Ph.D. z laboratoře elektronové mikroskopie a mikroanalýzy na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT za možnost využít elektronový mikroskop pro pořízení snímků vzniklých nátavů a v neposlední řadě své rodině za vytvoření příjemného zázemí pro vypracování diplomové práce.

V Praze dne

Podpis

Obsah

Obsah	5
Abstrakt	8
Abstract	8
Seznam použitých symbolů a zkratek	10
1 Úvod	12
1.1 Motivace	12
1.2 Struktura práce	12
1.3 Cíle práce	13
2 Požární prevence a represe	15
2.1 Základní definice požáru	15
2.2 Dělení požáru	15
2.3 Fáze požáru	16
2.4 Parametry požáru	17
2.4.1 Plocha požáru	17
2.4.2 Lineární rychlost šíření požáru	17
2.4.3 Rychlost odhořívání	18
2.5 Požárně technické charakteristiky	18
2.5.1 Teplota vzplanutí	18
2.5.2 Teplota vznícení	18
2.5.3 Teplota žhnutí	18
2.5.4 Spalné teplo	19
2.5.5 Výhřevnost	19
2.6 Klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb	19
2.6.1 Klasifikace tříd reakce na oheň	19
2.6.2 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb	20
2.6.3 Kabelové trasy z pohledu normy požární bezpečnosti staveb	23
3 Elektrická energie	26
3.1 Elektrický proud	26
3.1.1 Stejnoseměrný proud	26
3.1.2 Střídavý proud	26
3.2 Elektrizační soustava	27
3.2.1 Přenosová soustava	27
3.2.2 Distribuční soustava	28
3.3 Elektrické rozvody	29
3.3.1 Elektrická přípojka nízkého napětí	29
3.3.2 Přívodní vedení od přípojkové skříně	30
3.3.3 Vnitřní elektrické rozvody	31
3.4 Jistící prvky	32
3.4.1 Dimenzování vedení	33
3.4.2 Tavná pojistka	33

3.4.3	Elektrický jistič	35
3.4.4	Proudový chránič	36
3.4.5	Oblouková ochrana	37
3.5	Sestava elektrických sítí.....	38
3.5.1	Sítě pro stejnosměrný proud	39
3.5.2	Sítě pro střídavý proud.....	39
4	Kabelová vedení	41
4.1	Silové kabely.....	41
4.1.1	Provedení a tvar jádra vodiče.....	42
4.1.2	Systém kódového značení kabelů a vodičů	43
4.1.3	Systém barevného značení vodičů	46
4.1.4	Materiály vodičů	48
4.1.5	Materiály izolantů	50
4.1.6	Výplň silových kabelů	54
4.1.7	Plášť silových kabelů	54
4.1.8	Další vrstvy silových kabelů.....	54
4.2	Sdělovací kabely	54
4.2.1	Rozdělení sdělovacích kabelů.....	55
4.2.2	Optické kabely	56
5	Příčiny vzniku požáru	57
5.1	Statistická data požárů	57
5.1.1	Specifikace uvedených dat.....	57
5.1.2	Požáry s příčinou technická závada	58
5.1.3	Vyhodnocení dat	61
5.2	Vyšetřování vzniku požáru	61
5.3	Události vedoucí ke vzniku požáru.....	62
5.3.1	Tepelné účinky spojené s protékajícím elektrickým proudem	62
5.3.2	Tepelné účinky spojené s rozdílem potenciálů	64
5.3.3	Ostatní příčiny vzniku požáru.....	65
5.4	Tepelné účinky působící na silové kabely	65
5.4.1	Materiál izolace vodiče	66
5.4.2	Materiál vodiče	66
6	Praktická část.....	71
6.1	Hypotéza pro experimentální ověření	71
6.2	Popis experimentu.....	72
6.2.1	Vzorky kabelů.....	72
6.2.2	Měřicí zařízení	74
6.2.3	Zatěžovací stavy.....	75
6.2.4	Ukončovací stavy	75
6.3	Analýza výsledků měření.....	76
6.3.1	Zaznamenaná data	77
6.3.2	Analýza vnějšího povrchu.....	79
6.3.3	Analýza vzniklých nátavů.....	80

6.4	Shrnutí experimentu.....	81
7	Závěr	83
	Seznam obrázků.....	85
	Seznam tabulek.....	87
	Literatura	88
	Příloha 1	92

Abstrakt

Při ohledávání místa vzniku požáru se mohou v blízkosti ohniska vyskytovat elektrická zařízení nebo elektrická vedení. Přítomnost těchto zařízení a částí elektrického vedení však nemusí nutně dokládat, že se stala příčinou ke vzniku požáru. Podíl elektrické energie na příčině vzniku požáru mohou doložit charakteristické nátačky, které se mohou vytvořit na měděných vodičích. Nátačky mohou být v principu vytvořeny následky vysoké teploty okolí během požáru nebo mohou být vytvořeny v důsledku elektrické energie. Během požáru může dojít k nárůstu teplot přesahujících teplotu tání mědi a následnému vytvoření nátaček. Ovšem pro dosažení takových teplot by se muselo jednat o intenzivní a zároveň dlouhotrvající plně rozvinutý požár. Dále mohou nastat dva scénáře, kde u prvního jsou elektrická vedení pod napětím, ale nemají žádný odběr, anebo jsou elektrická vedení pod napětím a zároveň mají odběr elektrické energie. Takovým příkladem mohou být prodlužovací kabely zapojené do sítě pod napětím, do kterých mohou nebo nemusí být zapojeny elektrická zařízení s určitým odběrem elektrické energie. Samotná přítomnost nátaček, jejich struktura nebo charakteristické rysy mohou být určujícím vodítkem pro vyšetřovatele požáru k určení správné příčiny vzniku požáru. Rozlišovací charakteristiky nátaček byly předmětem mnoha experimentů zahraničních studií, u kterých ovšem nebyly závěry zcela jednoznačné. Cílem této diplomové práce je popsat tyto rysy nátaček vzniklých na měděných vodičích pod napětím při evropských hodnotách frekvence 50 hertz a napětí v síti 230 voltů. Výsledky této diplomové práce mohou být za dodržení stanovených okrajových podmínek přínosné nejen pro odbornou veřejnost.

Klíčová slova

Jističí prvek; nátačky na vodičích; polymery; požár elektroinstalace; silový kabel; technická závada; měděný vodič

Abstract

Electrical equipment or power lines may be present in the vicinity of the fire when searching for fires. However, the presence of these devices and parts of power lines does not necessarily prove that they were the cause of the fire. The contribution of electrical energy to the cause of a fire can be documented by characteristic loads that can form on copper conductors. Melt can in principle be created as a result of high ambient temperatures during a fire or can be created as a result of electrical energy. During a fire, increases in excess of the melting point of copper can occur, resulting in the formation of deposits. However, reaching such temperatures would have to be an intense and at the same time long-lasting fully developed fire. Furthermore, there may be two scenarios where the first is a power line but has no consumption, or a power line is energized and has a power consumption at the same time. Such an example may be extension cords connected to a live network to which

electrical equipment with a certain power consumption may or may not be connected. The very presence of welds, their structure or characteristics can be a determining guide for fire investigators to determine the correct cause of a fire. The distinguishing characteristics of the seals were the subject of many experiments in foreign studies, but the conclusions were not entirely clear. The aim of this diploma thesis is to describe these features of loads formed on copper conductors under voltage at European values of frequency 50 hertz and network voltage 230 volts. The results of this diploma thesis can be beneficial not only for the professional public, provided that the set boundary conditions are met.

Keywords

Securing element; bead on a wire; polymers; wiring fire; power cable; technical problem; copper conductor

Seznam použitých symbolů a zkratek

Latinské symboly

$a1$ až $a3$	Doplňková klasifikace podle kyselosti zplodin	–
$A1$ až F	Třída reakce na oheň stavebního výrobku	–
$d0$ až $d2$	Doplňková klasifikace podle plamenně hořících kapek	–
E_p	Průrazná pevnost	kV/mm
f	Frekvence	Hz
I	Elektrický proud	A
R_p	Povrchový odpor	Ω
$s1$ až $s3$	Doplňková klasifikace podle tvorby kouře	–
T	Perioda	s
U	Napětí	V

Řecké symboly

λ	Vlnová délka	m
ρ_p	Měrný průchozí odpor izolantu	$\Omega \cdot \text{cm}$
ϵ_r	Poměrná permitivita	–
$tg \delta$	Ztrátový činitel	–

Zkratky

AFDD	Oblouková ochrana (Arc Fault Detection Device)
ČVUT	České vysoké učení technické
EPS	Expandovaný polystyren
FIGRA	Index rozvoje hoření
FIT	Teplota vzplanutí (flame ignition temperature)
FS	Vertikální šíření plamene (vertical flame spread (FS))
GŘ	Generální ředitelství
H	Vertikální šíření plamene (vertical flame spread (H))
HRR	Rychlost uvolňování tepla
HZS	Hasičský záchranný sbor
PBZ	Požárně bezpečnostní zařízení

PCI	Výhřevnost (net heat of combustion)
PCS	Spalné teplo (gross heat of combustion)
PE	Polyethylen
PTCH	Požárně technické charakteristiky
PVC	Polyvinylchlorid
SIT	Teplota vznícení (self ignition temperature)
THR	Množství uvolněného tepla

1 Úvod

1.1 Motivace

Při neopatrném nebo neodborném kontaktu s elektrickou energií hrozí přímé ohrožení osob na životě. Hrozba přímým kontaktem je širokou veřejností vnímána a elektrická energie se může za jistých okolností stát příčinou vzniku požáru. Tyto mimořádné situace jsou označovány jako požáry s příčinou technická závada na elektroinstalaci. Toto označení je však v kontextu vyšetřování příčin požáru obecné a je nutné rozlišovat mezi několika konkrétními příčinami.

Takovým požárům lze mnohdy předejít preventivními opatřeními, které mohou osoby vykonat i bez odborné znalosti. Pokud dojde k iniciaci a plnému rozvinutí požáru, jsou osoby ohroženy jak tepelnými účinky požáru, tak toxickými zplodinami hoření. V případě iniciace a plného rozvinutí požáru představují riziko především plastové izolační materiály běžně používané pro izolování vodivých částí elektrické instalace. Na samotných vodičích se v důsledku zvýšené teploty mohou vytvořit nátavy, které mají přímou souvislost s příčinou vzniku požáru.

1.2 Struktura práce

Základní rozdělení této diplomové práce je na teoretickou část, která je následně rozčleněna na jednotlivé kapitoly a podkapitoly a na praktickou část, ve které je popsáno experimentální měření. Kapitoly teoretické části na sebe vzájemně navazují a tvoří hlavní strukturu práce. Důvodem rozdělení teoretické části do jednotlivých kapitol je komplexnost řešeného tématu, ve kterém se odráží základní souvislosti a poznatky požáru a elektrické energie.

V první kapitole jsou uvedeny podrobnosti a definice vztahující se k požární prevenci a požární represi. Požární prevence představuje preventivní opatření zabráňující ve vzniku a plnému rozvinutí požáru a požární represe představuje samotné zdolávání vzniklého požáru. V této části je tak obecně vysvětlen a definován požár, jeho možné rozdělení a jednotlivé fáze. Dále jsou představeny základní parametry požáru a požárně technické charakteristiky. V poslední podkapitole této části jsou detailněji uvedeny určité požadavky v rámci norem požární bezpečnosti staveb vztahující se na kabelová vedení. Tato kapitola věnující se požární prevenci a represi má přímou souvislost s příčinami vzniku požáru, kde jsou z pohledu vyšetřovatelů popsány konkrétní příčiny vedoucí k požáru definovaném v této části.

Druhá kapitola teoretické části je věnována obecně elektrické energii. V této kapitole je nejprve uvedeno základní rozdělení elektrického proudu a možnosti distribuce elektrické energie od jejího výrobce až ke konečným spotřebitelům. Vzhledem k řešenému tématu je

věnována samostatná podkapitola jisticím prvkům, které jsou běžnou součástí elektroinstalace a chrání obvody proti účinkům nadproudů. V poslední části jsou představeny sestavy elektrických sítí.

V navazující kapitole na část popisující elektrickou energii jsou podrobně představena kabelová vedení. Úvodem jsou kabely rozděleny a detailněji rozebrány silové kabely, které jsou předmětem experimentálního měření v rámci praktické části. Silové kabely jsou rozděleny podle provedení a tvaru jádra, následně je uveden systém kódového a barevného značení silových kabelů, a dále jsou podrobně popsány jednotlivé vrstvy silového kabelu včetně popisu materiálového řešení. Tuto kapitolu uzavírají sdělovací kabely, které jsou pouze rámcově popsány a rozděleny.

Poslední kapitola teoretické části je věnována příčinám vzniku požáru. Běžně se lze setkat s označením požár s příčinou technická závada na elektroinstalaci, ovšem takto definovaný požár je možné dále rozdělit na konkrétní příčiny, kterým mnohdy předchází specifické mechanismy. Právě na tyto mechanismy, předcházející příčinám vzniku požáru je zaměřena podkapitola o principech vedoucích ke vzniku požáru, která byla konzultována s odborníky z řad vyšetřovatelů požáru Hasičského záchranného sboru České republiky. Prezentované příčiny vzniku požáru jsou v této části podloženy skutečnými počty požárů, které se udály na území České republiky v období od roku 2016 do roku 2020. Podrobná statistická data za sledované období byla pro účely této práce poskytnuta generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České republiky. V důsledku zvýšené teploty mohou být na měděných vodičích vytvořeny drobné nátavy, které jsou zároveň hlavním předmětem zkoumání praktické části. Tyto nátavy jsou důležité během vyšetřování příčin požáru a závěru této kapitoly jsou mimo jiné uvedeny shrnující poznatky zahraničních studií.

Z takto ucelené a vzájemně provázané teoretické části vychází část praktická, ve které proběhl experiment sledující vizuální rozdíly v natavených hmotách vzniklých na měděných vodičích silových kabelů. Experiment proběhl v době sepsání této diplomové práce na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Buštěhradu. Výsledky této práce včetně základního popsání jednotlivých příčin požárů se mohou stát teoretickým podkladem pro základní pochopení souvislostí mezi rozdílnými tepelnými účinky požáru a tepelnými účinky elektrické energie.

1.3 Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zkoumání a kvantifikace vybraných poruchových stavů elektrických zařízení a elektrického vedení, v jejichž důsledku může dojít k iniciaci a následnému rozvoji požáru. Pro stanovení hlavního cíle práce bylo nutné dosáhnout jednotlivých dílčích cílů.

Jedním z dílčích cílů diplomové práce bylo zhodnocení současného stavu poznání problematiky související s příčinami vzniku požáru. V rámci tohoto cíle bylo z obecného popsání požáru, elektrické energie a kabelového vedení dosaženo takového stavu poznání, ze kterého mohla vycházet kapitola o příčinách vzniku požáru včetně specifických stavů, které jim předchází. Dalším dílčím cílem této diplomové práce bylo stanovení vhodné experimentální metodiky, která bude vypovídající pro analýzu vzniklých nátavů. Snaha byla docílit samotného vzniku nátavu za předpokladu opakovatelnosti a možnosti vzájemného srovnání výsledků z experimentálního měření. Zároveň byla snaha přiblížit se reálným podmínkám například umístěním jistícího prvku, který je součástí domovních rozvodů. Dalším dílčím cílem je formulace poznatků a doporučení pro navazující výzkum.

2 Požární prevence a represe

Požár může vzniknout za přítomnosti třech složek tvořících tzv. trojúhelník hoření. Pokud je alespoň jedna složka odstraněna nebo potlačena, požár nevznikne. Jedná se o palivo, vzdušný kyslík a iniciační zdroj. Palivo je ve smyslu vzniku požáru pevná, kapalná nebo plynná látka, která se společně s kyslíkem podílí na rozvoji požáru. Iniciační zdroj je energie přeměněná na energii tepelnou. Příkladem může být elektrická jiskra, ze které se přeměnou elektrické energie na energii tepelnou stává iniciační zdroj požáru.

V následující části bude definován požár z pohledu vyhlášky o požární prevenci, dále budou charakterizovány některé základní parametry požáru, na které bude v dalších částech této diplomové práce odkazováno. Při popisování požárních parametrů, procesů nebo produktů hoření bylo čerpáno z konspektů odborné přípravy zpracované pro Hasičský záchranný sbor České republiky [1].

2.1 Základní definice požáru

V první řadě je nutné definovat, co je požár a jaká kritéria jsou u něj hodnocena. Dle vyhlášky č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci) se požárem rozumí každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí a nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata, materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy [2].

Za požár se pro účely statistického sledování mimořádných událostí dále považuje dle [1] výbuch hořlavých par, plynů a prachů a to bez následného plamenného hoření. Naopak situacemi, které nesplňují definici požáru a z pohledu statistického sledování nejsou označeny za požár, jsou:

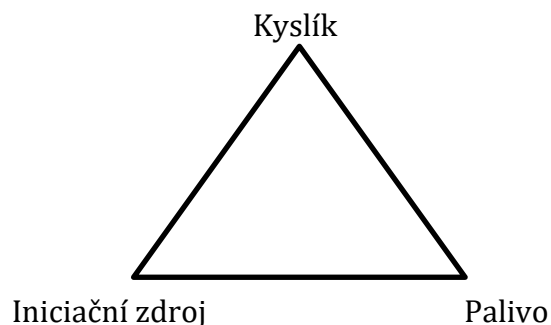
- výbuchy výbušnin (pokud nedojde k následnému hoření materiálu);
- hoření vinutí elektrických točivých strojů (pokud nedojde k rozšíření hoření);
- žhnutí elektrické instalace (pokud nedojde k jeho rozšíření mimo instalaci);
- vznícení, ke kterým dochází při výrobě (pokud nedojde k rozšíření hoření mimo předpokládanou část technologie).

2.2 Dělení požáru

Požár lze rozdělit z pohledu několika kritérií, a to podle hořící látky, rozsahu, doby trvání a dalších [1]. Podle hořící látky rozlišujeme požáry pevných látek, požáry hořlavých látek a požáry plynů. Toto rozdělení je důležité ve fázi hašení, kdy je nutné vědět, jaký požár má být uhašen a jaký prostředek je k tomu nejvhodnější.

Na každém štítku přenosného hasicího přístroje je uvedeno, pro jaký typ požáru je daný hasicí přístroj určen. Třída A je pro požáry pevných nebo organických materiálů, třída B je pro požáry hořlavých kapalin, třída C je pro požáry hořlavých plynů, třída D je pro požáry hořlavých kovů a třída F je pro požáry olejů a tuků. Podle rozsahu lze požáry rozdělit na malé, střední a velké a podle doby trvání na požáry krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé [1].

Dalším možným dělením požáru je podle okolních podmínek na požár řízený palivem nebo ventilací. Požár řízený palivem je závislý na množství hořlavého materiálu s dostatkem kyslíku a u požáru řízeném ventilací záleží na množství kyslíku. I v případě, že bude iniciován požár a v místnosti bude nahromaděno velké množství paliva nemusí požár propuknout, pokud nebude mít dostatek kyslíku. To vychází ze základního trojúhelníku hoření, kde je vedle iniciačního zdroje právě palivo a kyslík. Omezení množství kyslíku je využíváno například v serverovnách, kde jsou instalované plynové hasicí zařízení, které při detekci kouře nebo jiného parametru vypustí plyn potlačující množství kyslíku v daném prostoru. Na obrázku 1 je zobrazen trojúhelník hoření, na který bylo v předchozích částech této práce odkazováno.



Obrázek 1: Trojúhelník hoření

2.3 Fáze požáru

Požár lze při splnění určitých předpokladů rozdělit dle [1] na jednotlivé fáze v závislosti na teplotě a času požáru. První fází požáru je rozhořívání, další fází je rozvinutí požáru, na které navazuje fáze plného rozvinutí a konečná fáze dohořívání. Takto rozdělený požár probíhá v uzavřeném prostoru, ve kterém je dostatek kyslíku a požár není ovlivněn hašením nebo navyšováním požárního zatížení.

První fází požáru je rozhořívání, která trvá od vzniku iniciace až po počátek plamenného hoření. Z pohledu jednotek požární ochrany je tato fáze nejvhodnější pro zahájení hasicích prací. Během rozhořívání je tvorba kouře a zplodin hoření závislá především na způsobu iniciace a iniciovaném materiálu. V druhé fázi požáru dochází k rozvinutí požáru, trvající od počátku hoření po prostorové vzplanutí. Během této fáze požáru dochází k postupnému rozvoji a zvyšování intenzity požáru, hromadění kouře a zplodin

hoření u stropu a postupnému klesání neutrální roviny směrem k podlaze. Tím, jak jsou zplodiny hoření horké, stoupají a kumulují se u stropu místnosti, kde dochází k jejich postupnému hromadění. Při určité teplotě vzduchu dochází k tzv. flashover efektu, během kterého jsou u stropu místnosti nahromaděny horké plyny a páry o takové teplotě, které iniciují požár na ostatních hořlavých materiálech. Třetí fáze požáru představuje plně rozvinutý požár, při kterém v prostoru hoří všechny hořlavé materiály a intenzita hoření dosahuje svých maximálních hodnot. V této fázi jsou teplotou namáhány nosné konstrukce a záleží na rozhodnutí velitele zásahu, jakým způsobem bude prováděn požární zásah. V poslední fázi požáru dochází k postupnému chladnutí okolních konstrukcí a vyhořívání paliva.

2.4 Parametry požáru

Požár lze popsat časově proměnnými parametry požáru. Požár se s časem mění, a právě rozvoj požáru je ovlivněn změnou parametrů vyvolaných od vzniku až po likvidaci požáru. Pokud jsou parametry známy, lze odvodit další veličiny spojené s výpočtem sil a prostředků pro zásah [1].

Jednotlivé parametry požáru jsou na sobě závislé a ovlivňují celkový rozvoj požáru. Pokud je například během rozvoje jedna z nich potlačena, může to mít přímý dopad na úspěšnou likvidaci požáru. V následujících částech jsou uvedeny vybrané parametry požáru, které mají návaznost na další kapitoly.

2.4.1 Plocha požáru

Plocha požáru je kolmý průmět povrchu hořících látek nebo kapalin na plochu místnosti nebo terénu. Udává se v plošných jednotkách [m^2]. Dle požární taktiky je plocha požáru v objektu stanovena součtem ploch požáru v jednotlivých podlažích. Plocha požáru je závislá na geometrii požáru (kruhová, úhlová, obdélníková) a rychlost růstu plochy je závislá na lineární rychlosti šíření požáru [1].

2.4.2 Lineární rychlost šíření požáru

Lineární rychlost šíření požáru určuje interval, na který se požár rozšíří v určitém směru za jednotku času [m/s]. Rychlost požáru není konstantní, ale mění se v čase podle fyzikálních a chemických vlastností materiálů. Požár se šíří tepelným působením do okolí, nárůstem teploty a postupným zapalováním povrchů hořlavých látek a odhoříváním materiálů do hloubky. Pro určité hořlavé látky nebo konkrétní prostory byla ustanovena střední hodnota lineární rychlosti šíření požáru, která byla získána na základě statistického sledování skutečných požárů [1].

2.4.3 Rychlost odhořívání

Rychlost odhořívání závisí na druhu a skupenství hořlavých látek. V případě pevných látek je určována hmotnostní rychlost odhořívání charakterizována jako hmotnostní úbytek hořlavé látky na jednotku plochy za jednotku času [$kg/m^2/s$]. Při hoření hořlavých kapalin se jedná o lineární rychlost odhořívání, která je stanovena rychlostním poklesem hladiny hořlavé kapaliny v nádrži za jednotku času [mm/s]. Při hoření plynů se jedná o objemovou rychlost odhořívání, která závisí na objemu plynu, který shoří za jednotku času [1].

2.5 Požárně technické charakteristiky

Požárně technické charakteristiky jsou fyzikálně chemické vlastnosti hořlavých látek, kterými jsou jednotlivé látky charakterizovány. Mezi základní požárně technické charakteristiky, které jsou u hořlavých pevných látek měřeny, patří teplota vzplanutí (FIT), teplota vznícení (SIT) a teplota žhnutí nebo spalné teplo (PCS) a výhřevnost (PCI).

2.5.1 Teplota vzplanutí

Teplota vzplanutí (FIT) je minimální teplota proudícího vzduchu kolem vzorku, při které dochází působením vnějšího zápalného zdroje ke krátkému zapálení směsi plyných produktů rozkladu [3]. Během zkoušky vyvine hořlavá látka takové množství hořlavých par, které ve směsi se vzduchem po přiblížení zápalného zdroje vzplanou, ale dále již nehoří. Pro trvalé hoření vzorku plamenem není vytvořeno dostatečné množství těchto produktů rozkladu [1].

2.5.2 Teplota vznícení

Teplota vznícení (SIT) je minimální teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dochází k samovolnému zapálení vzorku nebo produktů rozkladu bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje [3]. Během zkoušky dochází ke vznícení hořlavé směsi se vzduchem bez přítomnosti zápalného zdroje. Kritériem ke vznícení materiálu je objevení otevřeného plamene, které probíhá během chemické reakce u směsi hořlavých plynů se vzduchem [1].

2.5.3 Teplota žhnutí

Teplota žhnutí je minimální teplota, při které vzorek během zkoušky trvale žhne a dochází k trvalému zvyšování teploty vzorku [3]. Ke žhnutí může často docházet u prachů, u kterých je teplota žhnutí závislá na tloušťce vrstvy [1].

2.5.4 Spalné teplo

Spalné teplo (PCS) dle slovníku požární bezpečnosti čl. 3.198 ČSN EN ISO 13943 [4] představuje tepelnou energii uvolněnou během dokonalého hoření jednotkové hmotnosti dané látky, kdy je všechna vzniklá voda za stanovených podmínek zkondenzována. Hodnota spalného tepla je uváděna v $[kJ/g]$.

2.5.5 Výhřevnost

Vedle toho výhřevnost (PCI) je dle slovníku požární bezpečnosti čl. 3.280 ČSN EN ISO 13943 [4] definována, jako tepelná energie uvolněná hořením jednotkové hmotnosti dané látky, kdy je všechna vzniklá voda považována za přeměněnou na plynné skupenství. Hodnota výhřevnosti je tak vždy menší nebo rovna hodnotě spalného tepla, protože není zahrnuto teplo uvolněné při kondenzaci vodní páry [5].

2.6 Klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb

Stavební výrobky jsou klasifikovány podle svého chování během požáru. Celá řada stavebních výrobků je označena základní třídou reakce na oheň a možnou doplňkovou klasifikací. V následujících částech této diplomové práce budou představeny normy a předpisy definující tyto klasifikace.

2.6.1 Klasifikace tříd reakce na oheň

Hořlavé látky jsou podle čl. 3.5 ČSN 73 0802 ed.2 [6] definovány jako látky tuhého, kapalného nebo plynného skupenství, které jsou schopny bez ohledu na způsob zapálení uvolňovat při požáru teplo. Množství uvolňovaného tepla při požáru je z části ovlivněno podílem organických částí, které obsahují hořlavé hmoty. Naopak látky, které organické části neobsahují, při požáru neuvolňují teplo, popřípadě zanedbatelné množství.

U stavebních výrobků je dle čl. 3.5.3 ČSN 73 0802 ed.2 [6] definována reakce na oheň, jako odezva stavebního výrobku za určitých podmínek příspěvkem vlastního rozkladu k rozvoji požáru, kterému je vystavena. Stavební výrobky jsou dále rozděleny podle schopnosti uvolňovat teplo při požáru a podle schopnosti přispívat k šíření požáru na:

- nehořlavé stavební výrobky klasifikované do třídy reakce na oheň A1 až A2, které za požáru neuvolňují teplo (popřípadě zanedbatelné množství);
- hořlavé stavební výrobky klasifikované do tříd reakce na oheň B až F, které při požáru mohou uvolňovat teplo a šířit požár.

Příkladem nehořlavého stavebního výrobku s klasifikací A1, tedy výrobku, který nepřispívá k vývinu požáru je izolace z minerální vaty (kamenná vlna). Naopak hořlavý stavební výrobek, který značně přispívá k vývinu požáru je expandovaný polystyren (EPS)

s třídou reakce na oheň E. Tyto materiály se běžně používají pro zateplení objektu a s ohledem na požadavky norem požární bezpečnosti staveb je následně pro zateplení vybrán vhodný materiál. Často bývá důvodem nahrazení hořlavého materiálu nehořlavým nevyhovující požární výška určovaná právě dle norem požární bezpečnosti staveb projektantem požárně bezpečnostního řešení.

Na stavební materiály mohou být kladeny odlišné požadavky podle jejich charakteru a umístění, proto jsou u tříd reakce na oheň dolní indexy pro rozlišení materiálů. Třída reakce na oheň s indexem *fl* se vztahuje na podlahoviny, s indexem *L* se vztahuje na tepelné izolace potrubí a třída reakce s indexem *ca* se vztahuje na kabely. K základním třídám reakce na oheň stavebních výrobků je podle potřeb uváděna doplňková klasifikace podle vývinu kouře (*s1* až *s3*), podle plamenně hořících kapek (*d0* až *d2*) a podle kyselosti zplodin (*a1* až *a3*). Označení doplňkových charakteristik je založeno na tom, že menší z hodnot nepředstavuje žádné nebo omezené chování a největší z hodnot představuje značný přínos. Například třída *s1* je téměř bez kouře a oproti tomu třída *s3* vytváří intenzivní emise kouře.

2.6.2 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb

Evropská norma ČSN EN 13501 je složena celkem z šesti samostatných částí. První část normy ČSN EN 13501 určuje postup klasifikace podle reakce na oheň. Druhá až čtvrtá část normy se věnuje klasifikacím na základě zkoušek požární odolnosti a pátá část se věnuje klasifikaci na základě zkoušek střech vystavených vnějšímu požáru. Poslední část normy se zaměřuje na zkoušky reakce na oheň kabelů. Vzhledem k zaměření této práce, budou dále popsány první a poslední části normy ČSN EN 13501.

2.6.2.1 Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň ČSN EN 13501-1

Část evropské normy ČSN EN 13501-1 [7] určuje postup klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň všech stavebních výrobků kromě silových, řídicích nebo komunikačních kabelů. Těm je věnována samostatná část normy, která bude představena v následující části. Stavební výrobky v rozsahu pokrytí normy ČSN EN 13501-1 [7] jsou dále rozděleny do tří kategorií s ohledem na jejich konečné využití na:

- stavební výrobky kromě podlahových krytin a tepelně izolačních výrobků potrubí (A1 až F);
- podlahové krytiny (A1_{fl} až F_{fl});
- tepelně izolační výrobky potrubí (A1_L až F_L).

V ČSN EN 13501-1 [7] jsou tabulkou 1 sepsány jednotlivé třídy, zkušební metodiky, klasifikační kritéria a doplňkové klasifikace pro stavební výrobky kromě podlahových krytin a tepelně izolačních výrobků potrubí. Třídy reakce a požadavky na chování jsou pro podlahové krytiny uvedeny v tabulce 2 této normy a pro tepelně izolační výrobky potrubí

v tabulce 3. Mezi doplňkové klasifikace, které jsou v rámci normy ČSN EN 13501-1 [7] hodnoceny patří vývin kouře ($s1$ až $s3$) a plamenně hořící kapky ($d0$ až $d2$).

Dále norma ČSN EN 13501-1 [7] specifikuje a uvádí jednotlivé zkušební metody včetně rozsahu jejich použití ve smyslu klasifikace reakce na oheň. Kromě zkušebních metod, jsou dále definovány jednotlivé principy zkoušení, přípravy zkušebních vzorků, oblasti aplikací a minimální počet zkoušek pro klasifikaci. Mezi zkoušky dle [7] patří:

- zkouška nehořlavosti určující výrobky, které nepřispívají nebo přispívají v omezené míře k požáru, bez ohledu na konečný způsob jejich využití;
- zkouška stanovení spalného tepla určující maximální množství uvolněného tepla při úplném shoření výrobku, bez ohledu na konečný způsob jejich využití;
- zkouška vystavení tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu hodnotící příspěvek výrobku k rozvoji požáru kromě podlahových krytin;
- zkouška zápalnosti určující zápalnost výrobků vystavených působení malého plamene;
- zkouška stanovení chování podlahových krytin při hoření užitím zdroje sálavého tepla určující kritický tepelný tok pod hodnotu, při které se již plameny nešíří po vodorovném povrchu.

2.6.2.2 Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň kabelů ČSN EN 13501-6 ed.2

Část evropské normy ČSN EN 13501-6 ed.2 [5] určuje postup pro klasifikaci podle reakce na oheň všech silových, řídicích a komunikačních kabelů včetně kabelů optických. Norma v kapitole 5 [5] uvádí zkušební metody pro klasifikaci reakce na oheň kabelů. Mezi zkušební metody pro klasifikaci reakce na oheň elektrických kabelů patří:

- stanovení spalného tepla určující maximální množství uvolněného tepla z výrobku bez ohledu na jeho konečné použití, zkouška umožňuje stanovit spalné teplo i výhřevnost;
- vertikální šíření plamene jednotlivého kabelu hodnotící šíření plamene na jednotlivém kabelu při vystavení tepelným účinkům malého plamene;
- chování při hoření a tvorba kouře svazku kabelů hodnotící možný příspěvek svazku kabelu k rozvoji požáru při přímém působení zdroje plamene;
- tvorba kouře z hořících kabelů hodnotící možný příspěvek kabelu ke snížení viditelnosti při hoření bez proudění vzduchu;
- kyselost plynů produkovaných hořícími kabely hodnotící možný příspěvek hořících materiálů kabelu na tvorbu kyselých plynů.

Mimo zkušebních metod, dále norma ČSN EN 13501-6 ed.2 [5] definuje připravenost zkušebních vzorků, minimální počet zkoušek pro klasifikaci, kritéria klasifikace a vzor protokolu o klasifikaci elektrických kabelů. V následující tabulce 1 vycházející z kapitoly 12 normy ČSN EN 13501-6 ed.2 [5] jsou uvedeny jednotlivé třídy reakce na oheň, zkušební metody, kritéria přijatelnosti a možné doplňkové klasifikace vztahující se na elektrické kabely. K doplňkovým klasifikacím je vedle vývinu kouře (*s*) a plamenně hořících kapek (*d*) přidána klasifikace hodnotící tvorbu kyselých plynů hoření (*a1* až *a3*).

Tabulka 1: Třídy reakce na oheň pro elektrické kabely včetně kritérií přijatelnosti, převzato z [5]

Třída	Zkušební metoda	Kritéria	Doplňková klasifikace
A_{ca}	EN ISO 1716	$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$	-
$B1_{ca}$	EN 50399 (zdroj plamene 30 kW)	$FS \leq 1,75 \text{ m}$ $THR_{1200s} \leq 10 \text{ MJ}$ $Peak \text{ HRR} \leq 20 \text{ kW}$ $FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$	Vývin kouře, plamenně hořící kapky a kyselost
	EN 60332-1-2	$H \leq 425 \text{ mm}$	
$B2_{ca}$	EN 50399 (zdroj plamene 20,5 kW)	$FS \leq 1,5 \text{ m}$ $THR_{1200s} \leq 15 \text{ MJ}$ $Peak \text{ HRR} \leq 30 \text{ kW}$ $FIGRA \leq 150 \text{ W/s}$	Vývin kouře, plamenně hořící kapky a kyselost
	EN 60332-1-2	$H \leq 425 \text{ mm}$	
C_{ca}	EN 50399 (zdroj plamene 20,5 kW)	$FS \leq 2,0 \text{ m}$ $THR_{1200s} \leq 30 \text{ MJ}$ $Peak \text{ HRR} \leq 60 \text{ kW}$ $FIGRA \leq 300 \text{ W/s}$	Vývin kouře, plamenně hořící kapky a kyselost
	EN 60332-1-2	$H \leq 425 \text{ mm}$	
D_{ca}	EN 50399 (zdroj plamene 20,5 kW)	$THR_{1200s} \leq 70 \text{ MJ}$ $Peak \text{ HRR} \leq 400 \text{ kW}$ $FIGRA \leq 1\,300 \text{ W/s}$	Vývin kouře, plamenně hořící kapky a kyselost
	EN 60332-1-2	$H \leq 425 \text{ mm}$	
E_{ca}	EN 60332-1-2	$H \leq 425 \text{ mm}$	-
F_{ca}	EN 60332-1-2	$H > 425 \text{ mm}$	-

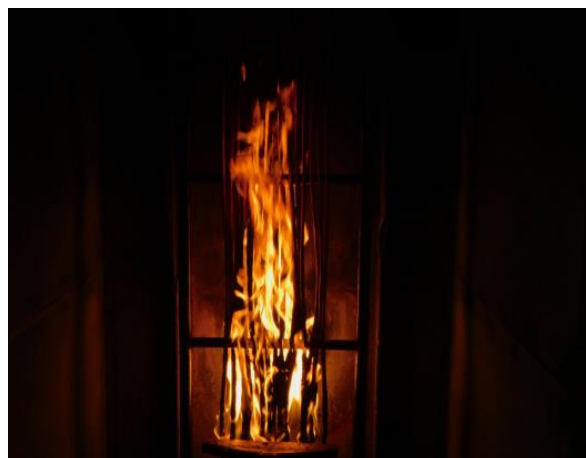
Kde THR_{1200s} vyjadřuje dle čl. 3.2 ČSN EN 13501-6 ed.2 [5] celkové množství uvolněného tepla měřené od začátku do konce zkoušky s vyloučením příspěvku tepla iniciačního zdroje. Maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla $Peak \text{ HRR}$ je dle čl. 3.2 [5] měřena během celé doby působení hořáku. Hodnota vertikálního šíření plamene FS je dle čl. 3.2 [5] měřena po délce poškozeného vzorku v m a hodnota vertikálního šíření plamene H je dle čl. 3.1.17 [5] měřena od horního okraje zuhelnatění až ke spodnímu okraji zuhelnatění v mm .

Na obrázku 2 jsou uvedeny příklady zkušebních zařízení. Na obrázku a) je zkušební zařízení pro zkoušky probíhající podle normy ČSN EN 60332-1-2 a na obrázku b) je zkušební zařízení pro zkoušky probíhající podle normy ČSN EN 50399.



a)

Zkušební zařízení dle ČSN EN 60332-1-2



b)

Zkušební zařízení dle ČSN EN 50399

Obrázek 2: Příklady zkušebních zařízení definované normami, převzato z [8]

2.6.3 Kabelové trasy z pohledu normy požární bezpečnosti staveb

Technická norma ČSN 73 0848 [9] se vztahuje na kabelové trasy z hlediska požární bezpečnosti a stanovení cílových požadavků na funkčnost kabelových tras napájecích požárně bezpečnostní zařízení a elektrická zařízení, která musí v případě požáru zůstat v provozu. Kabelová trasa je dle čl. 4.2.1 ČSN 73 0848 [9] tvořena samostatným vedením, které zůstává funkční po požadovanou dobu i po odpojení ostatních elektrických zařízení v případě požáru a je charakterizováno třídou funkčnosti.

Specifickými zařízeními jsou z pohledu požární bezpečnosti staveb požárně bezpečnostní zařízení, která musí zůstat v případě požáru v provozu. Kabelová trasa napájející tato zařízení je dle 4.2.1 ČSN 73 0848 [9] provedena tak, aby zajišťovala v případě požáru bezpečné napájení, ovládání a řízení těchto elektrických zařízení. Trasa začíná u hlavního rozvaděče, ze kterého jsou požárně bezpečnostní zařízení napájena a končí u jednotlivých spotřebičů.

2.6.3.1 Funkčnost kabelových tras při požáru

Funkčnost kabelových tras s metalickými kabely je dle čl. 4.2.2 ČSN 73 0848 [9] splněna pokud při požární zkoušce nevznikne v kabelových trasách zkrat ani žádné přerušení toku elektrického proudu. Funkčnost kabelové trasy u optických kabelů je dle čl. 3.13 ČSN 73 0848 [9] zajištěna, pokud nedojde k přerušení skleněného vlákna.

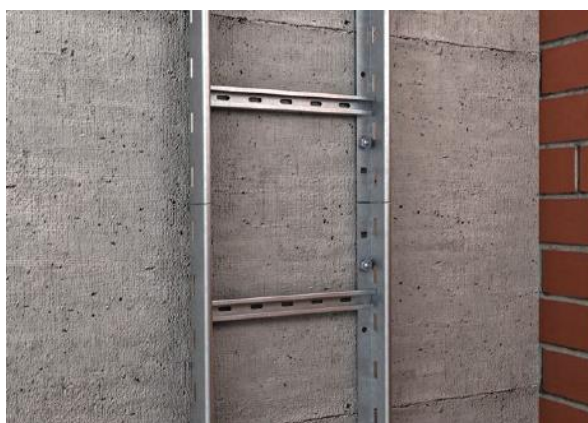
Třída funkčnosti kabelové trasy je dle čl. 3.15 ČSN 73 0848 [9] definována jako doba v minutách, po kterou si kabelová trasa, tj. kabely s nosnou konstrukcí zachovává v případě požáru svoji funkčnost. Třída funkčnosti se označuje ve formátu PX-R a PHX-R, kde X je doba v minutách. Minimální třída funkčnosti kabelové trasy je $X = 15$ minut a maximální dosažitelná je $X = 120$ minut.

Kabelové trasy s funkční integritou jsou dle čl. 3.14 ČSN 73 0848 [9] po stanovenou dobu schopny odolávat působení požáru, aniž by došlo k porušení třídy požární odolnosti kabelového nosného systému (R) a porušení kritéria pro napájení požárně bezpečnostních zařízení (P, PH). Na obrázku 3 jsou uvedeny příklady normových konstrukcí pro vedení kabelových tras. Na obrázku a) je kabelový rošt zavěšený na dvojici závitových tyčí pod stropem a na obrázku b) je kabelový rošt ve stoupající trase. Uvedené obrázky vychází z přílohy C české technické normy ČSN 73 0895 [10].



a)

Kabelový rošt pod stropem



b)

Kabelový rošt ve stoupající trase

Obrázek 3: Příklady normových konstrukcí kabelových tras, převzato z ČSN 73 0895 [10]

Rozdíl mezi kritériem P a PH, který je definovaný normou ČSN 73 0848 [9] je objasněn v níže uvedené tabulce 2.

Tabulka 2: Označení tříd funkčnosti kabelových tras, převzato z [9]

Třída funkčnosti	Popis
P15 až 120-R	Požární odolnost je doba v minutách (15 až 120), po kterou se kabelová trasa zachovává svou funkčnost při teplotním namáhání podle požárního scénáře normové teplotní křivky.
PH15 až 120-R	Požární odolnost je doba v minutách (15 až 120), po kterou si kabelová trasa zachovává svou funkčnost při konstantní teplotě, která navazuje na průběh teplotní normové křivky v okamžiku dosažení teploty 842 °C.

2.6.3.2 Barevné značení kabelů pro požárně bezpečnostní zařízení

Pláště kabelů umístěných na kabelových trasách s funkční integritou jsou od sebe dle čl. 4.2.1 ČSN 73 0848 [9] barevně odlišeny podle jejich schopností. Pro kabely, které nešíří oheň je používán oranžový plášť a pro kabely zajišťující celistvost obvodu je používán hnědý plášť.

2.6.3.3 Druhy volně vedených vodičů a kabelů

Z hlediska třídy reakce na oheň jsou kabely dle normy ČSN 73 0848 [9] přílohou A klasifikovány do tříd A_{ca} až F_{ca} . Volně vedené kabelové trasy, zajišťující napájení a ovládání vybraných požárně bezpečnostních zařízení musí dle čl. 4.2.3 [9] splňovat požadavky na třídu funkčnosti a třídu reakce na oheň. Požadavky pro druh vodiče nebo kabelu jsou rozděleny pro vybraná požárně bezpečnostní zařízení (například stabilní hasicí zařízení) a vybrané provozy (například shromažďovací prostor).

Tyto požadavky jsou dále uvedeny ve znění vyhlášky č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb [11] a ve znění vyhlášky 268/2011 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb [12], kterou se mění vyhláška č. 23/2008 Sb.. Požadované druhy kabelů jsou uvedeny v následující tabulce 3.

Tabulka 3: Třídy reakce na oheň kabelových tras napájející vybraná PBZ, převzato a upraveno z [9]

Druh vodiče nebo kabelu	Třída reakce na oheň kabelové trasy
I	D_{ca}
II	$B2_{ca}$
III	$B2_{ca-s1}, d1$
IV	Kabel funkční při požáru

3 Elektrická energie

Tento okruh teoretické části je věnován elektrické energii, jejímu rozvodu, distribuci a jistícím prvkům chránící obvod. Cílem je přiblížit elektrickou energii a uvést zde obecná fakta, na která bude navázáno v dalších částech této diplomové práce. V navazujícím okruhu budou představeny a rozděleny kabelová vedení s důrazem kladeným na silové kabely.

3.1 Elektrický proud

Elektrický proud může protékat obvodem stejnosměrně nebo střídavě. Stejnosměrný proud se pohybuje stále stejným směrem s neměnnou intenzitou a střídavý proud při pohybu stále mění svůj směr i intenzitu. U sinusového generátoru je průběh střídavého proudu funkcí sinus [13].

3.1.1 Stejnosměrný proud

Stejnosměrný proud byl vyráběn dynamy, ovšem kvůli jeho řadě nevýhod bylo postupně přecházeno na proud střídavý. Nevýhodou stejnosměrného proudu jsou velké ztráty a pokles napětí, které vznikají při přenosu energie na velké vzdálenosti. Proto, aby byl dosažen dostatečný výkon musel protékat velký proud. Další nevýhodou byla neefektivní změna napětí. Vzhledem k těmto nevýhodám se postupně přecházelo na střídavý proud, který umožňoval jak dálkový přenos, tak efektivní změnu napětí. Změna napětí byla provedena na transformátoru s uzavřeným magnetickým jádrem [14].

3.1.2 Střídavý proud

V dnešní době je z velké části využíván střídavý proud. Zásadní událostí pro přechod ze stejnosměrného na střídavý proud byl dálkový přenos třífázovou soustavou na velkou vzdálenost, při které proud napájel třífázový motor. Výhodou střídavého proudu je snadná přeměna napětí pomocí transformátoru a ztráty nedosahují vysokých hodnot [14].

3.1.2.1 Veličiny střídavého proudu

Mezi veličiny určující charakter střídavého proudu patří frekvence f . Měří se v hertzech (Hz) a udává, kolikrát se za jednotku času změní polarita střídavého proudu [14]. Rozvodné sítě v Evropě dodávají střídavé napětí s frekvencí rozsahu $50 \text{ Hz} \pm 200 \text{ mHz}$ [15]. Hodnota frekvence se může lišit, například v Americe je používána hodnota 60 Hz. Převrácenou hodnotu frekvence je perioda T . Perioda je měřena v sekundách a určuje trvání jednoho opakování periodického děje za jednotku času [13].

Střídavé napětí se periodicky mění mezi kladnou a zápornou nejvyšší hodnotou. Maximální hodnota se nazývá amplituda. Další veličinou je rychlost šíření c , která je závislá na prostředí, ve kterém se vlny šíří. Dráha, kterou elektromagnetická vlna za jednu periodu urazí, se nazývá vlnová délka λ [13].

3.2 Elektrizací soustava

Dle § 2 zákona č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [16] se jedná o vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek, přímých vedení, a systémy měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky na území České republiky. Doprava elektrické energie probíhá přenosovou a distribuční soustavou [14].

Dříve byla elektřina vyráběna především pro vlastní spotřebu, proto nebylo zapotřebí přenosových ani distribučních soustav. Výstavbu prvních elektrizačních soustav inicioval roku 1919 Zákon o soustavné elektrizaci státu. Mezi nejstarší soustavy patří 110 kV, které postupně v 70. letech minulého století převzaly úlohu uzlově napájených distribučních sítí. Počátkem 70. let minulého století byla ukončena výstavba tras 220 kV. Ty dnes plní úlohu záložních a doplňkových vedení. Přenosová soustava byla dokončena v 80. letech minulého století a v současné době ji tvoří hlavně vedení 400 kV. U napěťových hladin 400 kV (v České republice nejvyšší hodnota) a 220 kV se jedná o přenosovou soustavu. Pod hodnotu napětí 110 kV a nižší se jedná o distribuční soustavu [17]. Rozdělení hladin napětí podle jejich velikosti v elektrizační soustavě včetně jejich popisu je uvedeno v tabulce 4.

Tabulka 4: Hladiny napětí v elektrizační soustavě, převzato z [15]

Soustava	Označení a velikost napětí		Popis
Přenosová soustava	Zvlášť vysoké napětí	400 kV	Provoz s přímo uzemněným uzlem.
	Velmi vysoké napětí	220 kV	
		110 kV	
Distribuční soustava	Vysoké napětí	35 kV	Provoz s nepřímo uzemněným uzlem.
		22 kV	
		10 kV	
		6 kV	
	Nízké napětí	0,4 kV	Provoz s přímo uzemněným uzlem.

3.2.1 Přenosová soustava

Dle § 2 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [16] se jedná o vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení

110 kV, sloužící pro přenos elektřiny pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.

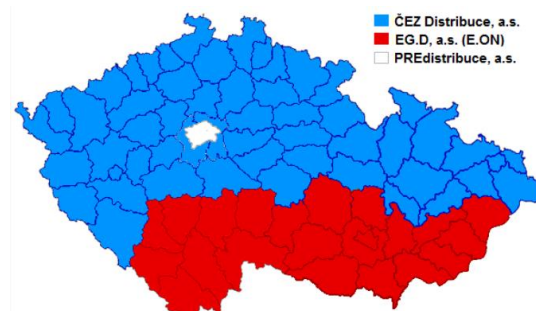
Klíčovým pro přenosovou soustavu je velikost jejího napětí. Pro efektivní přenos elektrické energie na větší vzdálenosti se využívá velmi vysokého napětí z důvodu snížení přenosových ztrát, které vznikají průchodem elektrického proudu. Toto vychází z Ohmova zákona, kde se při zvyšování napětí snižuje protékající elektrický proud, a tedy i ztráty [17].

Provozovatelem přenosových soustav na území České republiky je společnost ČEPS, a.s. (Česká energetická přenosová soustava). Přenosovou soustavu spravuje na základě licence na přenos elektřiny udělené Energetickým regulačním úřadem podle energetického zákona č. 458/2000 Sb. [17].

3.2.2 Distribuční soustava

Distribuční soustava je část elektrizační soustavy sloužící pro dodávku elektrické energie odběratelům. Přesnou definicí dle § 2 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [16] se jedná o vzájemně propojený soubor vedení a zařízení o napětí 110 kV, s výjimkou vybraných vedení a zařízení o napětí 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území České republiky, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky elektrických přípojek ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy.

Distribuční soustavy jsou rozděleny na území krajů pod správou tří distribučních společností. Mezi provozovatele distribuční soustavy v České republice patří skupina ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce a.s. a PREdistribuce, a.s. Rozdělení pokrytí České republiky platné v sepsání této diplomové práce je názorné na obrázku 4.



Obrázek 4: Rozdělení distribuční soustavy elektřiny v ČR, převzato z [18]

3.3 Elektrické rozvody

V této části je chronologicky uvedeno, jakým způsobem je elektrická energie dodávána do domácností. Běžným spotřebitelům a domácnostem je dodávána elektrická energie rozvodnou sítí nízkého napětí a větší podniky mohou být napojeny přívodem s vysokým napětím [14].

Tato část přímo navazuje na kapitolu elektrizační soustavy. Pomyslným začátkem níže popsané cesty elektrické energie je odbočení od rozvodného zařízení provozovatele distribuční soustavy a končí jednotlivými vnitřními elektrickými rozvody.

3.3.1 Elektrická přípojka nízkého napětí

Dle § 45 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [16] slouží přípojka nízkého napětí k připojení jedné nemovitosti, popřípadě více nemovitostí na základě souhlasu vlastníka přípojky a provozovatele distribuční soustavy.

3.3.1.1 Rozdělení elektrické přípojky

Pro navrhování, zřizování a rekonstrukce elektrických přípojek nízkého napětí se vztahuje technická norma ČSN 33 3320 ed.2 [19]. Elektrické přípojky lze dle čl. 3.1 [19] rozdělit podle způsobu provedení na přípojky provedené:

- venkovním vedením;
- kabelovým vedením;
- kombinací obou způsobů.

3.3.1.2 Začátek elektrické přípojky

Dle § 2 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [16] začíná elektrická přípojka odbočením od spínacích prvků nebo přípojníc v elektrické stanici a mimo ní odbočením od venkovního nebo kabelového vedení přenosové nebo distribuční soustavy, a je určeno k připojení odběrného elektrického zařízení.

V případě odbočení od přípojníc je dle čl. 3.3.1 ČSN 33 3320 ed.2 [19] přípojnice rozvodným zařízením provozovatele distribuční nebo přenosové soustavy. V případě odbočení od venkovního vedení jsou dle čl. 3.3.2 [19] vodiče hlavního vedení součástí rozvodného zařízení provozovatele distribuční nebo přenosové soustavy a v případě odbočení od kabelového vedení je dle čl. 3.3.3 [19] kabel součástí rozvodného zařízení daného provozovatele.

3.3.1.3 Konec elektrické přípojky

Konec přípojky nízkého napětí je dle čl. 3.4.1 ČSN 33 3320 ed.2 [19] v přípojkové skříni. V případě venkovního vedení končí hlavní domovní pojistkovou skříni (HDPS) a v případě kabelového vedení končí hlavní domovní kabelovou skříni (HDKS). Samotné skříně jsou součástí přípojky a jsou umístovány na objekt nebo na hranici nemovitosti [16].

3.3.2 Přívodní vedení od přípojkové skříně

Elektrické odběrné zařízení v objektu je dle čl. 7.2.1 ČSN 33 2130 ed.3 [20] složeno z přívodního vedení nízkého napětí, z rozvaděčů a rozvodu za rozvaděči nebo za podružnými rozvaděči. Přívodní vedení od přípojkové skříně patří dle čl. 7.2.3 ČSN 33 2130 ed.3 [20] k odběrnému elektrickému zařízení a je rozděleno na hlavní domovní vedení, odbočky k elektroměrům a vedení od elektroměru k podružnému rozvaděči.

3.3.2.1 Hlavní domovní vedení

Na hlavní domovní vedení jsou připojena všechna odběrná místa v objektu a průřez kabelového vedení tak musí odpovídat stanoveným dimenzím. Vedení dle čl. 7.3.1 ČSN 33 2130 ed.3 [20] začíná na výstupních svorkách v přípojkové skříni. Vedení je v souladu s čl. 7.3.5 [20] ve veřejně přístupných prostorech objektu a je uloženo odděleně od ostatních měřených vedení tak, aby byl ztížen neoprávněný odběr elektřiny. Jištěno je dle čl. 7.3.7 ČSN 33 2130 ed.3 [20] v přípojkové skříni, popřípadě v hlavním rozvaděči příslušně dimenzovanou pojistkou.

3.3.2.2 Odbočky k elektroměrům

Odbočky k elektroměrům odbočují z hlavního domovního vedení a slouží pro připojení elektroměrů [15]. Dle čl. 7.4.4 ČSN 33 2130 ed.3 [20] jsou odbočky k měřícím zařízení jednofázové, které lze provést u zařízení do soudobého příkonu 5,5 kW, a v ostatních případech jsou odbočky trojfázové. Průřezy vodičů jsou provedeny v souladu s body čl. 7.4.6 [20], dle kterých mají být vodiče jištěny proti přetížení a zkratu jističem umístěným před měřícím zařízením a u odboček delších než 3 m.

V následující tabulce 5 jsou uvedeny maximální soudobé příkony bytů a průřezy vodičů odboček od hlavního domovního vedení k elektroměrům pro byty ve stupni elektrizace A a B dle tab. D.1 ČSN 33 2130 ed.3 [20].

Tabulka 5: Průřezy vodičů odboček dle ČSN 33 2130 ed.3, převzato z [20]

Stupeň elektrizace	A		B	
Maximální soudobý příkon bytu (kW)	7		11	
Materiálové řešení vodiče	Hliník	Měď	Hliník	Měď
Průřez vodiče (mm ²) v trojfázové soustavě	(16)	6	(16)	10

3.3.2.3 Vedení od elektroměru

Od měřícího zařízení pokračuje vedení k podružným rozvaděčům. Přívod z podružného rozvaděče do bytových rozvodnic v jednotlivých bytech lze vést v trubkách pod omítkou nebo v elektroinstalačních lištách. K jištění bytových rozvodnic silových vedení nemají být dle čl. 7.6.11 ČSN 33 2130 ed.3 [20] používány pojistky, ale jističe, chrániče nebo proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou. Deskové rozvodnice mají být dle čl. 7.6.15 ČSN 33 2130 ed.3 [20] z izolantu a skříňové rozvodnice z izolantu nebo ocelového plechu. Na rozvodnicích musí být obvody zřetelně označeny a musí být umožněno samostatné vypnutí.

Pokud je jedná o síť TN-C-S, jsou v bytové rozvodnici rozděleny vodiče. Rozvod je do bytové rozvodnice nejprve proveden v síti TN-C a následně je v bytové rozvodnici vodič PEN rozdělen zvláště na ochranný vodič PE a střední vodič N. Dále elektrická síť pokračuje jako TN-S [21]. Detailní rozdělení a popis značení zapojení soustav je uvedeno v následující části.

3.3.3 Vnitřní elektrické rozvody

Pro navrhování, provádění a rekonstrukce vnitřních elektrických silových a sdělovacích rozvodů v objektech bytové a občanské výstavby se vztahuje technická norma ČSN 33 2130 ed.3 [20].

Dle terminologie používané touto normou není hlavní domovní vedení součástí přípojky a začíná od přípojkové skříňě a vede až k odbočce k poslednímu elektroměru. Rozvaděč je ve smyslu této normy elektrické rozvodné zařízení, u kterého přístroje a nosná konstrukce tvoří jeden celek. Jedná se o soubor spínacích, ochranných, řídicích a měřících zařízení, která jsou spojena s jedním nebo více výstupními obvody. V objektu se lze setkat s hlavním rozvaděčem, který napájí podružné rozvaděče.

3.3.3.1 Stupně kategorizace

Kvůli vhodnému dimenzování elektrické instalace v bytových objektech jsou jednotlivé byty rozděleny podle stupně elektrizace. Byty jsou normou ČSN 33 2130 ed.3 [20] kategorizovány na byty:

- stupně A, ve kterých se elektřina používá pro osvětlení a pro domácí elektrické spotřebiče, připojené k rozvodu pohyblivým přívodem nebo pevně připojené, u kterých nepřesahuje příkon žádného spotřebiče 3,5 kVA;
- stupně B, které mají elektrické vybavení jako byty ve stupni A, které navíc k vaření a pečení používají spotřebiče o příkonu nad 3,5 kVA;
- stupně C, které mají elektrické vybavení jako byty ve stupni A a B, které navíc pro vytápění nebo klimatizaci používají elektrické spotřebiče, u kterých se spotřeba měřena individuálně.

3.3.3.2 Světelný obvod

Na světelný obvod může být dle čl. 5.2.1 ČSN 33 2130 ed.3 [20] připojen takový počet svítidel, jejichž součet jmenovitých proudů nepřekračuje jmenovitý proud jisticího přístroje obvodu. Jmenovitý proud svítidel se stanoví z maximálního příkonu svítidel.

Vedení světelného obvodu jsou jištěny dle čl. 5.2.9 ČSN 33 2130 ed.3 [20] jističi nebo pojistkami nebo jiným jisticím prvkem se jmenovitým proudem nejvýše 25 A. Jisticí prvek je předřazený vedení světelného obvodu a jistí ho proti přetížení nebo zkratu. Změna Z1 z roku 2018 doplňuje čl. 5.2.9 [20] dle kterého má být každý koncový světelný obvod v bytových prostorech vybaven proudovým chráničem, u kterého jmenovitý reziduální proud nepřekračuje 30 mA.

3.3.3.3 Zásuvkový obvod

Zásuvkové obvody jsou dle čl. 5.3.1 ČSN 33 2130 ed.3 [20] zřizovány pro připojení spotřebičů vidlicí do zásuvky. Na jeden jednofázový obvod lze dle čl. 5.3.6 [20] připojit maximálně deset zásuvkových vývodů a na jeden trojfázový obvod lze dle čl. 5.3.9 [20] připojit několik zásuvek na stejný jmenovitý proud.

Vedení zásuvkového obvodu je dle čl. 5.3.10 ČSN 33 2130 ed.3 [20] jištěno jističi nebo pojistkami se jmenovitým proudem odpovídající maximálně jmenovitému proudu zásuvky. Dle čl. 5.3.11 [20] musí mít zásuvkové obvody nepřekračující 32 A doplňkovou ochranu tvořenou proudovým chráničem s vybavovacím reziduálním proudem nepřekračující 30 mA. Trojfázové zásuvky se jmenovitým proudem vyšším než 32 A jsou vybaveny doplňkovou ochranou tvořenou proudovým chráničem s vybavovacím reziduálním proudem 100 mA.

3.3.3.4 Obvody pro pevně připojené spotřebiče

Jednofázové spotřebiče s celkovým příkonem do 2 000 VA nevyžadují dle čl. 5.4.1 ČSN 33 2130 ed.3 [20] jištění a lze je připojit na společné obvody, naopak pro spotřebiče s příkonem 2 000 VA a více musí být zřizovány samostatné jištěné obvody. Trojfázové spotřebiče s celkovým výkonem nepřesahující 15 kVA mohou být dle čl. 5.4.2 ČSN 33 2130 ed.3 [20] připojeny na jeden obvod.

3.4 Jisticí prvky

Při zvyšování hodnoty protékajícího proudu nad jmenovitou hodnotu dochází k nadproudu. Ke vzniku nadproudu může dojít při přetížení sítě, poruchou v izolaci kabelu, atmosférickým výbojem a podobně. Krajiní hodnota nadproudu je označována jako zkratový proud [14].

Zkratem se rozumí vodivé spojení mezi vodiči fází nebo mezi vodiči a zemí s rozdílným potenciálem. Zkratové spojení se projevuje dynamickými a tepelnými účinky, které mohou být příčinou provozní poruchy. Vlivem nulového elektrického odporu (impedance), který se při zkratu předpokládá, dochází mezi vodivými částmi ke vzniku zvýšeného elektrického

proudu nebo k prudkému nárůstu proudu mezi částmi, u kterých již omezené množství proudu protékalo. Během vodivého spojení klesá v obvodu napětí a impedance a naopak vzrůstá hodnota protékajícího proudu [14].

3.4.1 Dimenzování vedení

Během dimenzování vedení mohou nastat určité provozní stavy, které je nutné respektovat. Jsou jimi dlouhodobý provozní stav, dočasné přetížení, při kterém dojde ke krátkodobému, ale přijatelnému nárůstu teplot a krátké, ale značné přetížení v době před vybavením jistícího prvku. Důležitým parametrem při dimenzování je i teplota izolovaných vodičů. Při dlouhodobém překračování hodnot dovolených provozních teplot dochází ke křehnutí izolace, tavení izolace a ztrátě pružnosti vodiče. Dovolenu provozní teplotou vodiče s polyvinylchloridovou izolací je 70 °C, při přetížení se dovoluje nárůst teploty do 120 °C a při zkratu až do 160 °C [22].

Před účinky nadproudu lze elektrická zařízení a vedení chránit jistícími prvky. Ty musí odpovídat požadavkům pro ochranu proti proudovým přetížením, a jejich vypínací schopnosti musí být menší než hodnota předpokládaného zkratového proudu v místě instalování [14].

Běžné jistící prvky jsou schopny reagovat na dlouhodobé proudové namáhání s nízkou hodnotou nebo na krátkodobé proudové namáhání s vysokou hodnotou (zkratové proudy). Na proudy, které nedosahují vybavovacích hodnot jistících prvků, neumí reagovat [23]. V následujících částech budou podrobněji představeny jednotlivé jistící prvky.

3.4.2 Tavná pojistka

Tavná pojistka je spínací přístroj chránící elektrický obvod před účinky nadproudu. Pojistka tvoří nejslabší místo elektrického obvodu a její funkční princip spočívá v přetavení tavného vodiče k tomuto účelu navrženému a dimenzovanému, který je součástí pojistky. Pokud je dostatečně dlouhou dobu překročena hodnota proudu, dochází k přetavení vodiče a k rozpojení obvodu. S ohledem na zvolený typ vodiče dokáže pojistka reagovat na menší i větší hodnoty nadproudu. Tavná pojistka patří mezi destruktivní zařízení, které je při přetavení vodiče nutné kompletně vyměnit [14]. Na obrázku 5 je uveden příklad tavné pojistky od společnosti Siemens s jmenovitým proudem 10 A a kategorie využití gG (legenda k označení pojistky viz tabulka 6).



Obrázek 5: Příklad tavné pojistky NEOZED 10A D01 gG Siemens, převzato z [24]

Jak bylo uvedeno, nevýhodou tavných pojistek je vedle jejich nutné výměny při přetavení vodiče jejich rychlost reakce. Při malém přetížení se tavný vodič může zahřát, ale nepřetavit se a při vysoké hodnotě proudu, ale krátkodobým působením se vodič může opět zahřát, ale nemusí dojít k jeho přetavení [23].

3.4.2.1 Složení pojistky

Tělo tavné pojistky je tvořeno pojistkovou vložkou. Pojistková vložka je válcovité keramické pouzdro s dutinou, které je vyplněno křemičitým pískem. Dutinou prochází tavný vodič, který je spojený s vrchním a spodním kontaktem pojistky. Od spodního kontaktu je společně s tavným vodičem veden přídržný drátek, který přidržuje barevný terčík signalizující stav pojistky. Při přetavení vodiče je přídržným drátkem signalizován stav přetavení [13].

3.4.2.2 Značení pojistkových vložek

Pojistkové vložky jsou kvůli vzájemnému odlišení označeny, kde na první pozici je informace o vypínacích charakteristikách pojistky (značeno malými písmeny *a* nebo *g*) a na druhé pozici značení je informace o vhodnosti použití vložky (značeno velkými písmeny) [14]. V následující tabulce 6 je uvedena legenda k jednotlivým písmenům značení.

Tabulka 6: Značení pojistkových vložek, převzato z [14]

a	Vypíná od $4 \cdot I_n$ do své vypínací schopnosti, pro nižší nadproudy je nutné využít jiný typ jisticího prvku
g	Vypíná všechny nadproudy až do své vypínací schopnosti
G	Určena pro všeobecné použití
M	Určena pro jištění motorů
F, F1	Určena pro jištění PVC kabelů
Tr	Určena pro jištění transformátorů
R	Určena pro polovodičové prvky (rychlá vypínací charakteristika)
S	Určena pro polovodičové prvky a kabely
L	Podobná charakteristika jako u R

3.4.3 Elektrický jistič

Elektrický jistič při nadproudu rozpojí elektrický obvod a chrání osoby před možným úrazem elektrickým proudem a elektrická zařízení před poškozením. Ochrannými prvky v jističi jsou zkratová (elektromagnetická) a nadproudová (tepelná) spoušť. Jistič patří mezi nedestruktivní zařízení a v případě vybavení je možné jeho zapnutí a obnovení dodávky proudu do elektrického obvodu [14]. Na obrázku 6 je uveden příklad jističe SH202-B32.



Obrázek 6: Příklad jističe SH202-B32, převzato z [25]

3.4.3.1 Rozdělení jističů

Norma ČSN EN 60898-1 ed.2 [26] se vztahuje na jističe určené k ochraně proti nadproudům v elektrických instalacích v budovách pro používání nepoučenými osobami a pro provoz bez údržby. Mezi charakteristiky jističů, které musí být dle čl. 5.1 [26] udávány, patří hodnota jmenovitého proudu, rozsah okamžitého vypínacího proudu a další. Podle okamžitého vypínacího proudu rozlišujeme dle čl. 4.6 [26] jističe typu B, typu C a typu D. V tabulce 7 jsou uvedeny rozsahy okamžitého vypínání jističů.

Tabulka 7: Rozsahy okamžitého vypínání ČSN EN 60898-1 ed.2, převzato z [26] a doplněno [14]

Typ	Rozsah okamžitého vypnutí	Popis
Typ B	Nad $3 \cdot I_n$ do $5 \cdot I_n$	Pro jištění elektrických obvodů se zařízeními nezpůsobující proudové rázy (běžné spotřebiče).
Typ C	Nad $5 \cdot I_n$ do $10 \cdot I_n$	Pro jištění elektrických obvodů se zařízeními způsobující proudové rázy (asynchronní motory).
Typ D	Nad $10 \cdot I_n$ do $20 \cdot I_n$	Pro jištění elektrických obvodů se zařízeními způsobující vysoké proudové rázy (transformátor).

I_n je hodnota jmenovitého proudu stanovená výrobcem, kterou má jistič vést v nepřetržitém provozu při stanovené referenční teplotě okolního vzduchu (dle čl. 5.2.2 [26])

3.4.3.2 Elektromagnetická spoušť proti zkratovému proudu

Zkratová spoušť je složena z cívky a ponorné kotvy. Princip fungování spouště závisí na délce trvání a velikosti procházejícího elektrického proudu, který vyvolává magnetickou sílu

přitahující kotvu zkratové spouště. Pokud cívkou proteče dostatečně veliký proud, je vyvolanou magnetickou silou kotva vtáhnuta a tím dochází k uvolnění kontaktu a k přerušení dodávky elektrického proudu [14].

Zkratová spoušť funguje spolehlivě a poměrně rychle, chrání tak elektrické zařízení i provozní prostředky proti negativním účinkům zkratu [13].

3.4.3.3 Bimetalová ochrana proti přetížení

Nadproudová spoušť je tvořena bimetalovým páskem. Princip fungování je založený na rozdílné tepelné roztažnosti dvou na sobě naválcovaných kovových pásků. Během protékání nadproudu dochází k zahřívání bimetalového pásku a vlivem jejich rozdílné tepelné roztažnosti k postupnému ohýbání. V určitém okamžiku dochází ohnutím pásku ke stlačení pružiny a rozpojení kontaktu. Zařízení a provozní prostředky chrání nadproudová spoušť s určitým opožděním a pouze proti přetížení, nikoliv proti zkratu [13].

Nadproudová ochrana patří mezi vratné ochrany a po vychladnutí se vrátí pásek do své výchozí pozice. Nadproudová spoušť reaguje především na malé, ale dlouhodobě trvající hodnoty proudového přetížení [23].

3.4.4 Proudový chránič

Proudový chránič dokáže odpojit elektrický obvod, pokud je část proudu odváděna mimo tento chráněný obvod například při poškození izolace nebo při dotyku člověka. Proudový chránič však nechrání obvod proti zkratu, protože při navýšení přitékajícího proudu v důsledku spojení vodičů zároveň dochází k navýšení proudu odtékajícího. Součástí proudového chrániče je sčítací transformátor, který porovnává proud v pracovních vodičích chráněného obvodu (jednotlivé fáze L1, L2 a L3 a střední vodič N) a chráničového relé [14]. Na obrázku 7 je uveden příklad proudového chrániče FH202 AC-63/0.3 typu AC.



Obrázek 7: Příklad proudového chrániče FH202 AC-63/0.3, převzato z [27]

3.4.4.1 Rozdělení proudových chráničů

Proudové chrániče lze rozdělit podle citlivosti na druh proudu, podle vypínací charakteristiky nebo podle funkční závislosti na napájecím napětí. Podle citlivosti rozlišujeme proudové chrániče typu AC, typu A, typu B a typu F. Chránič typu AC funguje správně pouze při sinusovém průběhu proudu. Chránič typu A funguje při sinusovém průběhu proudu nebo při pulzujícím stejnosměrném proudu. Chránič typu B funguje při sinusovém průběhu proudu i stejnosměrném proudu. Typ F je používán v sítích, do kterých se mohou připojit jednofázové frekvenční měniče umožňující regulaci otáček motoru. Podle vypínací charakteristiky lze rozlišit chrániče pro všeobecné použití bez zpoždění, chrániče se zpožděním minimálně 10ms a selektivní proudové chrániče se zpožděním minimálně 40ms. Podle funkční závislosti lze rozlišit funkčně závislé, u kterých není ochranná funkce závislá na napětí sítě nebo na pomocném zdroji a chrániče funkčně závislé na napájecím napětí [14].

3.4.4.2 Funkční princip

Za běžných podmínek je vektorový součet protékajících proudů transformátorem roven nule a platí rovnost mezi přitékajícím a odtékajícím proudem. Magnetický tok vytvořený proudem je nulový, v součtovém transformátoru nevytváří žádné napětí a relé tak zůstává sepnuté. Pokud vznikne nenulový součet výsledného proudu, je chráničem tento stav detekován a relé rozepne kontakty. Proudové chrániče jsou používány jako doplňková ochrana k jističům, které zajišťují ochranu vedení proti zkratu. Proudový chránič je určený především pro ochranu před dotykovým napětím [14], [23].

3.4.5 Oblouková ochrana

Dalším jisticím prvkem je ochranný přístroj AFDD (z angl. Arc Fault Detection Device), který je určen k detekci poruchového elektrického oblouku. Elektrický oblouk může přejít ve zkrat během krátké doby, ovšem přechod může být i pozvolný, a právě na pozvolný přechod reagují jisticí přístroje AFDD rychleji než běžné jisticí prvky. Při detekci poruchy dokáže v krátkém čase odpojit obvod u pevných elektrických instalací, u připojených elektrických spotřebičů i prodlužovacích přívodů. Jisticí přístroje AFDD fungují na principu sledování a vyhodnocování případných změn v průběhu napětí a proudu v čase, které vyvolává vzniklý elektrický oblouk. Změny mohou být ve formě vysokofrekvenčních impulzů přesahující běžný průběh proudu nebo změn proudového signálu v době průchodu nulou. Zároveň musí být vyloučeno nežádoucí vypnutí obvodu během kolísání průběhu proudu a překmitů proudu, které se vyskytuje během provozních stavů u spotřebičů při jejich spínacích procesech. Jisticí přístroje AFDD jsou umístovány do rozvaděčů a jejich smyslem je omezit vznik požárů způsobených v důsledku obloukových poruchových proudů v obvodech instalací [22]. Na obrázku 8 je uveden příklad obloukové ochrany typu S-ARC1 B16.



Obrázek 8: Příklad obloukové ochrany S-ARC1 B16, převzato z [28]

3.4.5.1 Rozdělení obloukových ochran

Obecné požadavky na obloukové ochrany ukládá mezinárodní normy ČSN EN 62606 [29]. Ta svým rozsahem pokrývá přístroje pro detekci poruchových oblouků určené pro domácnost a podobná použití ve střídavých obvodech. Dle čl. 3.4 [29] je součástí přístroje jednotka AFD zajišťující detekci a rozlišení nebezpečných zemních, paralelních a sériových poruchových oblouků. Podle této normy lze obloukové ochrany rozdělit podle způsobu konstrukce, podle způsobu montáže a zapojení nebo podle počtu pólů a proudových drah.

3.4.5.2 Funkční princip

Omezit nežádoucí odpojení obvodu spočívá ve funkční podstatě přístroje. Přístroje AFDD fungují na principu vzájemného porovnání charakteru proudu, který protéká fází obvodu a charakterem proudu, který odtéká. Součástí přístroje je i mikroprocesor, ve kterém je knihovna s charakteristickými průběhy proudů určitých spotřebičů a točivých strojů. Spuštění takovýchto spotřebičů nebo strojů způsobí specifické rozkmitání a změny v průběhu, které jsou však součástí knihovny přístroje AFDD a tím nedojde k odpojení. Naopak pokud dojde k přechodovému odporu, které vyvolává změny v průběhu proudu, zaznamená a vyhodnotí přístroj AFDD takové změny jako nežádoucí a okamžitě odpojí obvod [30].

3.5 Sestava elektrických sítí

K přenosu elektřiny od zdroje k spotřebiči slouží přenosový systém elektrické energie. V rámci sjednocování těchto systémů byly postupně rozvíjeny elektrické sítě. To je dle [31] soubor jednotlivých elektrických stanic, venkovních a kabelových vedení zajišťující přenos a rozvod elektrické energie.

3.5.1 Síť pro stejnosměrný proud

Mezi používané sítě pro přenos stejnosměrného proudu patří jednopólová vedení, dvoupólová vedení a vedení nulové délky [14]. Kvůli malé četnosti využití sítí pro stejnosměrný proud nebudou jednotlivé sítě detailně popsány a v další podkapitole budou rozebrány sítě pro střídavé napětí.

3.5.2 Síť pro střídavý proud

Sítě střídavého napětí mohou být jednofázové nebo třífázové, které jsou nejrozšířenější. Střídavé trojfázové sítě lze rozdělit podle vývoje na evropský a americký směr. Rozdíl amerického směru od evropského je ve velikosti používaného napětí sítě (americký způsob využívající 120/240 V), ve způsobu zapojení spotřebičů (preferované jednofázové zapojení) a rozsahu frekvence (60 Hz) [31].

U nízkonapěťových trojfázových rozvodných soustav bylo na mezinárodní úrovni vytvořeno jednoduché písmenné značení rozvodných sítí. Označení sítě je ve formátu:

XX – X

Kde písmeno na první pozici poskytuje informaci o zapojení uzlu soustavy, písmeno na druhé pozici poskytuje informaci o tom, jakým způsobem je v soustavě provedena ochrana neživých částí. A další písmena za pomlčkou poskytují informaci o tom, jak je proveden ochranný vodič. Poslední uvedené označení, tj. označení písmen za pomlčkou se týká pouze sítí TN [21]. Legenda k jednotlivým písmenům je uvedena v tabulce 8.

Tabulka 8: Systém značení, převzato a upraveno z [21]

Písmeno na první pozici	T	Uzel sítě je přímo uzemněn.
	I	Uzel sítě je izolován (nebo uzemněn přes velkou impedanci).
Písmeno na druhé pozici	T	Neživé části spotřebičů jsou přímo uzemněny.
	N	Neživé části spotřebičů jsou spojeny s ochranným vodičem.
Další písmena za pomlčkou	C	Spojený (kombinovaný) ochranný a střední vodič.
	S	Oddělený (separovaný) ochranný a střední vodič.
	C-S	Ochranný a střední vodič jsou nejprve spojeny, a poté jsou rozděleny v určitém místě (po rozdělení se již nespojí).

Soustavy mohou být konfigurovány různými způsoby. V tabulce 9 jsou uvedeny trojfázové sítě střídavého napětí evropského systému.

Tabulka 9: Trojfázové sítě střídavého napětí (evropský systém), převzato a doplněno z [31], [21]

Označení	Popis sítě
TN-C	U sítě TN-C je uzel sítě přímo uzemněn a neživé části spotřebičů jsou spojeny s ochranným vodičem. Ochranný vodič je spojen se středním vodičem. Vodič PEN, tak plní funkci středního (nulového) i ochranného vodiče.

TN-C-S	U sítě TN-C-S je uzel sítě přímo uzemněn a neživé části jsou spojeny s ochranným vodičem. Následuje část sítě provedená jako TN-C a v určitém místě se provede rozdělení ochranného a středního vodiče, tedy provedení jako TN-S. V první části vodič PEN plní funkci nulového i ochranného vodiče a v druhé části je vodič PEN rozdělen na ochranný vodič (PE) a nulový vodič (N).
TN-S	U sítě TN-S je uzel sítě přímo uzemněn a neživé části spotřebičů jsou spojeny s ochranným vodičem. Ochranný vodič (PE) je oddělen od vodiče středního (N). Tato soustava se dnes používá nejčastěji pro domovní i průmyslové instalace nízkého napětí a oproti dříve používané soustavě TN-C je bezpečnější právě z důvodu oddělení ochranného vodiče od vodiče středního.
TT	U sítě TT je uzel sítě přímo uzemněn a neživé části jsou přímo uzemněny samostatným uzemněním nezávislým na uzemněném bodu sítě. Tato síť se používá omezeně.
IT	U sítě IT je uzel sítě izolován, nebo spojen se zemí přes velkou impedanci a neživé části jsou přímo uzemněny. Neživé části mohou být spojeny se zemí jednotlivě, po skupinách, nebo jsou navzájem spojeny jedním uzemněným vodičem.

3.5.2.1 Trojfázový střídavý proud

Při otáčení rotoru s póly se na všech cívkách vzájemně posunutých o 120° indukuje napětí se stejnou amplitudou i kmitočtem. Každá ze tří cívek generátoru tvoří fázi stroje, ve které je indukované tzv. fázové napětí. Elektrickým spojením neboli sdružením cívek lze omezit počet vodičů pro přenos elektrické energie z šesti na čtyři (L1, L2, L3 a N). V takovém případě se jedná o zapojení do hvězdy (tři fázové vodiče a jeden střední vodič). Nebo je počet vodičů omezen na pouze na tři sdružené vodiče (L1, L2, L3). V takovém případě se jedná o zapojení do trojúhelníku (tři fázové vodiče) [13].

3.5.2.2 Spojení fází

Začátky fází lze označit jako U1, V1 a W1 a konce fází jako U2, V2 a W2. Pokud jsou spojeny jednotlivé konce fází do jednoho uzlu, vzniká zapojení do hvězdy. Uzel je v takovém zapojení nulovým bodem hvězdy, do kterého lze připojit nulový vodič (nebo také neutrální vodič). Pokud jsou spojeny fáze sériově, tedy konce jednotlivých vinutí se začátkem dalšího vinutí vznikne zapojení do trojúhelníku [13].

Napětí mezi dvěma libovolnými fázemi se nazývá sdružené napětí U (nebo také síťové napětí) a napětí mezi nulovým vodičem a libovolným fázovým vodičem se nazývá fázové napětí U_F . Poměr mezi sdruženým a fázovým napětím je nazýván činitel sdružení, jehož hodnota je v trojfázové soustavě rovna $\sqrt{3}$. Vztah mezi sdruženým a fázovým napětím lze odvodit z vektorového diagramu a grafu průběhu napětí. U trojfázové soustavy se čtyřmi vodiči je sdružené napětí 400 V (efektivní hodnota) a fázová napětí mezi fází a nulovým vodičem je 230 V. U takto koncipované soustavy mohou být současně provozovány trojfázové spotřebiče na jmenovité napětí 400 V (např. elektrický sporák) a spotřebiče na střídavé napětí 230 V (např. žárovky) v rozvodné síti [13].

4 Kabelová vedení

Tento okruh plynule navazuje na předchozí část obecně popisující elektrickou energii. Kabely jsou složeny z několika vrstev a obecně slouží k přenosu elektrické energie nebo signálu na určitou vzdálenost. Podle charakteru vodiče lze kabely rozdělit na silové kabely, které slouží pro vedení silové elektrické energie na různých napěťových hladinách a kabely sdělovací sloužící pro vedení signálu a přenosu dat [32].

V rámci praktické části jsou předmětem experimentálního měření silové kabely se splétanými měděnými vodiči různých průřezů. Vzhledem k úzkému zaměření budou v následujících částech představeny především silové kabely.

4.1 Silové kabely

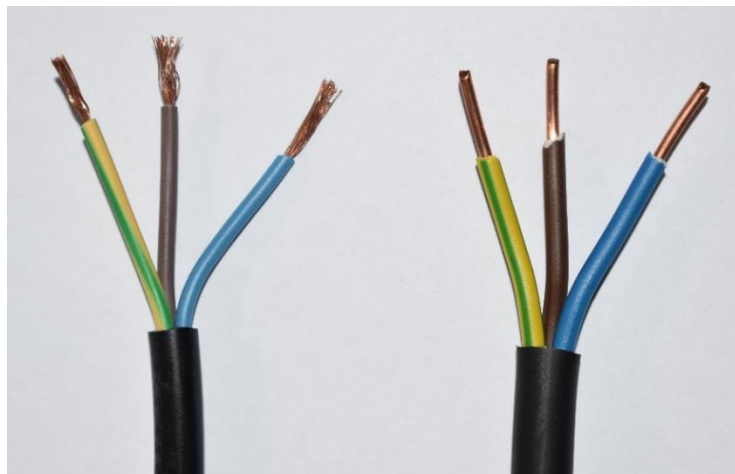
Silové kabely primárně slouží k vedení elektrické energie s omezenou frekvencí a přenosem výkonu na příslušné napěťové hladině. K samotnému vedení elektrického proudu je určeno elektrovedné jádro vodiče, které je běžně z mědi nebo hliníku [32].

Podle způsobu izolování lze vodiče rozdělit na vodiče izolované, které mají pevnou izolaci a na vodiče holé u kterých tvoří izolaci pouze vzduch. Vodiče lze dále rozdělit podle provedení a tvaru jádra vodiče. Holé vodiče jsou například venkovní energetická lana nebo trolejová vedení [21]. U izolovaných vodičů slouží izolace především k zabránění nebezpečnému dotyku nebo vzájemnému spojení pracovních vodičů. Na obrázku 9 je uveden příčný řez kabelem s označením H05VV-F 3G 0.75mm² (legenda k označení kabelu viz níže uvedené tabulky 10 až 17).



Obrázek 9: Řez silovým kabelem H05VV-F 3G 0.75mm²

Na následujícím obrázku 10 je uveden příklad rozdílných silových kabelů se třemi izolovanými měděnými vodiči. Podle barevného značení je možné rozeznat fázový vodič (hnědá barva), střední vodič (modrá barva) a ochranný vodič (zelenožlutá barva). Rozdíl mezi kabely je v provedení jádra vodičů, které je vysvětleno v následující kapitole. Vlevo jsou jádra vodičů spletená z několika lanek a vpravo jsou jádra vodičů plná.



Obrázek 10: Silové kabely (vlevo) s pletenými a (vpravo) s plnými měděnými vodiči

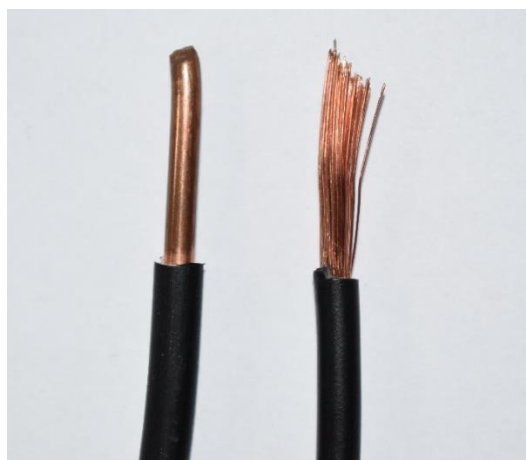
4.1.1 Provedení a tvar jádra vodiče

Zásadní dopad na výsledné vlastnosti silového kabelu má provedení a tvar jádra vodiče. To se může lišit s ohledem na zamýšlené využití a umístění kabelu.

4.1.1.1 Provedení jádra vodiče

Provedení jádra vodiče může být s ohledem na průřez jádra plné nebo složené. Plné jádro je tvořeno kompaktním materiálem, které je používáno především pro menší průřezy. Jádro složené je tvořeno jednotlivými spletenými lanky [21]. Výhodou vodiče se spleteným jádrem oproti vodiči s plným jádrem je v možnosti ohýbání a celkové flexibilitě kabelu. Právě spletená jádra vodičů jsou běžně používána u prodlužovacích kabelů.

Na obrázku 11 je uveden příklad odlišného provedení jádra vodiče. Kde vlevo je plné jádro měděného vodiče a vpravo je složené jádro měděného vodiče.



Obrázek 11: Příklad odlišného provedení měděného jádra vodiče

Další výhodou složeného jádra vodiče je v omezení povrchového efektu (takzvaného skinefektu). Ten vzniká během průchodu střídavého proudu vodičem, při kterém se vytváří magnetické pole, které ve vodiči způsobuje výskyt vířivých proudů. Tyto proudy vytváří vlastní magnetické pole, které tak působí proti proudu vodiče. Protékající střídavý proud vodičem je vytlačován od jádra vodiče směrem k izolaci a průřez vodiče pro střídavý proud je využit pouze částečně. Zmenšením účinného průřezu vodiče se zvyšuje odpor a tím dochází k nadměrnému zahřívání izolace. Zahřívání izolace vodiče může mít přímý vliv na degradaci materiálu vodiče a následné iniciaci požáru [13], [21].

4.1.1.2 Tvary jader vodičů

Tvary jader vodičů mohou být dle Asociace výrobců kabelů a vodičů v České republice [33] v jejich příčném řezu odlišné a jsou rozděleny na:

- kruhové, které jsou běžně používány;
- sektorové, které umožňují lépe vyplnit prostor kabelu, jejich nevýhodou je však nehomogenní pole a omezené použití (výhradně v rozvodech nízkého napětí);
- trubkové, jejichž výhodou je možnost chlazení;
- obdélníkové, které jsou využívány u holých vodičů;
- speciální trolejové, které slouží k upevnění a přidržení trolejového drátu.

4.1.2 Systém kódového značení kabelů a vodičů

Protože jsou jednotlivé žíly schovány v plášti kabelu nemusí být zcela jasné, z čeho je kabel složen. Pro jednoznačnost jsou kabely na svém plášti identifikovány kódovým značením, díky kterému je přesně specifikován materiál jádra, materiál izolace žíly nebo počet vodičů vedených v kabelu.

4.1.2.1 Starší způsob značení

Dříve byly kabely značeny způsobem, kde na prvním místě byla udávána napěťová hladina v kilovoltech, na druhé pozici bylo písmenné značení určující materiál jádra (A – hliník, nebo C – měď), na třetí pozici bylo písmenné značení určující materiál izolace žíly (Y – PVC, G – pryž, E – polyetylén, nebo XE – zesíťovaný polyetylén), na čtvrté pozici bylo písmenné značení určující druh vodiče (K – kabel pro pevné uložení, L – lehká šňůra pro pohyblivé uložení, S – střední šňůra, T – těžká šňůra, nebo V – vodič pro vysoké napětí), na páté pozici bylo shodné značení s druhou pozicí určující materiál pláště kabelu [21].

Pokud byl kabel opatřen dalšími vrstvami, jako pancíř nebo stínění, byl popis doplněn o další písmena. Po písmenném popisu následovalo číslo určující počet žil v kabelu a písmeno určující barevnou kombinaci žil (J – vodič se zeleno-žlutou žílou pro pevné uložení, G – vodič se zeleno-žlutou žílou pro pohyblivé uložení) [21].

Typickým příkladem takového značení je kabel CYKY, který je složen z měděného jádra, PVC izolace, výplňového obalu a PVC pláště. Kabel je určený pro rozvod elektrické energie v pevném uložení. Dalším příkladem je kabel CYSY, u kterého jsou vodiče spletené a je určen pro pohyblivé a přenosné zařízení.

4.1.2.2 Systém značení kabelů a vodičů podle ČSN 34 7409 ed.2

Technická norma ČSN 34 7409 ed.2 [34] popisuje systém značení harmonizovaných silových kabelů a šňůr podle dalších navazujících norem. Značení je dle kapitoly 4 [34] rozděleno na tři části udávající kabelům základní charakteristiku.

X X X

První a druhá část značení jsou psána bez mezer a tvoří tzv. typové označení. V první části značení je dle kapitoly 5 ČSN 34 7409 ed.2 [34] udáván vztah k normám a hodnota jmenovitého napětí. Ve druhé části je dle kapitoly 6 [34] udávána konstrukce kabelu včetně materiálové charakteristiky. Třetí část značení dle kapitoly 7 [34] doplňuje konkrétní údaje o počtu a průřezu jader.

Vzhledem k zaměření praktické části je nutné znát kódové značení, které se na kabelech vyskytuje. Proto budou v následující části vypsány některé hlavní části značení s ohledem na nejběžněji používané materiály, konstrukci kabelu nebo typu jádra. V následující tabulce 10 a 11 je uvedena první část značení kabelů a šňůr.

Tabulka 10: Vztah k normám, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódovaná značka	Vztah kabelu k normám
H	Kabel odpovídající harmonizovaným normám
-	Neharmonizovaný kabel

Tabulka 11: Jmenovité napětí, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódovaná značka	Hodnota jmenovitého napětí
01	100/100 V
03	300/300 V
05	300/500 V
07	450/750 V

Druhá část značení se vztahuje na izolační a nekovové plášťové materiály, kovové krytí, speciální konstrukční prvky, speciální kabely, materiál jádra a typ jádra. V tabulce 12 je uveden výběr ze značení izolačních a nekovových plášťových materiálů, v tabulce 13 je uvedeno značení kovového krytí, v tabulce 14 je značení speciálních konstrukcí prvku kabelu, v tabulce 15 je uveden výběr značení speciálních konstrukcí kabelu, v tabulce 16 je uvedeno značení materiálu jádra a v tabulce 17 je uveden výběr značení typu jádra.

Tabulka 12: Výběr izolačních a plášťových materiálů, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódová značka	Izolační a nekovové plášťové materiály
J	Opletení skleněnými vlákny
M	Minerální
N	Polychloroprenová pryž
R	Ethylenpropylenová pryž nebo syntetická pryž pro teplotu jádra 60 °C
S	Silikonová pryž
T	Textilní opletení na stočených žilách, impregnované nebo neimpregnované
V	PVC pro běžné použití
V2	PVC směs pro provozní teplotu jádra 90 °C
V3	PVC pro běžné použití při nízkých provozních teplotách

Tabulka 13: Kovová krytí, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódová značka	Plášť, koncentrický vodič a stínění
C	Koncentrický měděný vodič
C4	Měděné stínění opletené okolo sestavy žil

Tabulka 14: Speciální konstrukční prvky, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódová značka	Konstrukční prvek
D3	Mechanicky nosný prvek sestávající z jednoho nebo více prvků umístěných uprostřed kruhového nebo uvnitř plochého tvaru kabelu
D5	Středová vložka (bez mechanické nosnosti)

Tabulka 15: Výběr speciálních konstrukcí kabelu, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódová značka	Speciální konstrukce
Bez značky	Kruhová konstrukce kabelu
H	Ploché konstrukce oddělitelných kabelů
H2	Ploché provedení neoddělitelných kabelů

Tabulka 16: Materiál jádra, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódovaná značka	Materiál jádra
Bez značky	Měď
-A	Hliník

Tabulka 17: Výběr typu jader, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]

Kódovaná značka	Typ jádra
-F	Ohebné jádro ohebného kabelu nebo šňůry
-H	Velmi ohebné jádro ohebného kabelu nebo šňůry
-K	Flexibilní jádro kabelu pro pevné instalace
-R	Tuhé kulaté jádro lanované
-U	Tuhé kulaté jádro plné

Ve třetí volitelné části je dle kapitoly 7 ČSN 34 7409 ed.2 [34] uvedeno číslem v závorce počet žil kabelů, přítomnost zelenožlutého vodiče (X krát provedení bez, G krát provedení s), číslem v závorce jmenovitý průřez jádra v mm² (s) a speciální typ jádra Y, kde se průřez neurčuje (leonské jádro). V normové tabulce 11 ČSN 34 7409 ed.2 [34] jsou uvedeny průřezy jader 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16 a 25 mm².

4.1.3 Systém barevného značení vodičů

Pro barevné odlišení jsou jednotlivé žíly vodičů barveny podle přesně definovaných normových podmínek. V následující části budou tyto technické normy rámcově představeny.

4.1.3.1 Značení vodičů barvami nebo číslicemi podle ČSN 33 0165 ed.2

Norma ČSN 33 0165 ed.2 [35] svým rozsahem pokrývá značení holých a izolovaných vodičů barvami, dále upřesňuje ustanovení normy ČSN EN 60445 a stanovuje zásady pro značení vodičů barvami, popřípadě číslicemi, použitými v elektrických zařízeních a rozvodech včetně vývodů elektrických předmětů provedených vodiči.

Holé vodiče jsou dle kapitoly 4 ČSN 33 0165 ed.2 [35] s výjimkou venkovních nebo trakčních vedení vzájemně barevně odlišeny podle stejnosměrné nebo střídavé soustavy. Barvami jsou opatřeny nenatřené a natřené vodiče. U nenatřených holých vodičů se dle čl. 4.4 [35] označení poznávací barvou provede na koncích a na nápadném a viditelném místě u spoje. U natřených holých vodičů se dle čl. 4.5 [35] označení poznávací barvou provede po celé délce vodiče s výjimkou spojovacích a přípojných míst.

Izolované vodiče a kabely jsou rozděleny podle velikosti napětí. Jednožilové vodiče a více žilové vodiče a kabely se jmenovitým napětím do 1000 V jsou značeny jednou z metod uvedených v čl. 5.1 ČSN 33 0165 ed.2 [35]. Jedná se o metodu značení poznávacími barvami, písmeno-číslíkovým označením, polohou v kombinaci s poznávacími barvami nebo zvláštním způsobem. V rámci značení poznávacími barvami umožňuje čl. 5.1.1 [35] použít normu ČSN 33 0166 ed.2 [36], která bude představena v následující části. Barvy jednotlivých vodičů pro jejich jasnou identifikaci jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18: Barevné označení vodičů dle ČSN 33 0165 ed.2, převzato a upraveno z [35]

Vodič, žíla		Barva
Fázový nebo krajní vodič	L	Černá, hnědá, šedá
Ochranný vodič	PE	Zeleno - žlutá
Nulový / střední vodič	N	Světlemodrá

Dle čl. 5.1.1.2 ČSN 33 0165 ed.2 [35] je barevné označení provedeno přímým obarvením izolační směsi nebo zabarvením povrchu izolace. Barevné označení musí být dle čl. 5.1.1.4 [35] provedeno po celé délce vodiče a nanesená barva musí být stálá a trvanlivá.

Důležité je zachování barevného značení pro konkrétní typy vodičů, aby nedošlo k jejich záměně.

Dalším způsobem identifikace je písmeno-číslíkové značení definované čl. 5.1.2 ČSN 33 0165 ed.2 [35] podle kterého jsou tímto způsobem vzájemně rozlišeny fázové nebo krajní žíly mnohožilových vodičů a kabelů. Poznávací čísla musí být dle čl. 5.1.2.2 [35] po celé délce žíly v přesně definovaném uspořádání. Rozměry a odstupů poznávacích čísel nebo písmen jsou závislé na průměru vodiče.

Metodou pro vzájemné rozlišení žil mnohožilových vodičů a kabelů je tzv. rozlišení žil polohou. Metoda vychází z vhodně zvoleného umístění žil a jejich označení poznávacími barvami. Dle čl. 5.1.3.1 [35] je určující žilou počítací žíla umístěná v každé poloze a směrová žíla umístěná ve vnější poloze a zároveň sousedící s počítací žilou. V poslední metodě značení jsou představeny zvláštní způsoby značení věnující se například kovovým obalům kabelů. U izolovaných vodičů a kabelů se jmenovitým napětím nad 1000 V je čl. 5.2.2 [35] doporučeno k vzájemnému rozlišení zvolit jiný způsob než označení barvami po celé jejich délce.

Více žilové vodiče a kabely jsou z hlediska druhu žíly obsažené ve vodiči kódově označena. Kódové označení je dle čl. 6.1 ČSN 33 0165 ed.2 [35] složeno z číslice, určující celkový počet žil ve vodiči a písmene, určující složení vodiče podle druhu žíly. V tabulce 19 je uvedeno kódové značení vodičů.

Tabulka 19: Kódové označení vodičů dle ČSN 33 0165 ed.2, převzato z [35]

Kódová písmena		A	B	C	D
Druh žíly, které jsou ve vodiči (kabelu)	Ochranný vodič (54 = zeleno-žlutá)		X	X	
	Nulový vodič (6 = světlemodrá)			X	X
	Fázový vodič (0 = černá, 1 = hnědá, 8 = šedá)	X	X	X	X
<i>X značí, které žíly obsahuje příslušný vodič</i>					

4.1.3.2 Označování žil kabelů a ohebných šňůr podle ČSN 33 0166 ed.2

Norma ČSN 33 0166 ed.2 [36] platí pro identifikaci žil pevných, ohebných kabelů a šňůr se jmenovitým napětím nepřesahující horní mez napětěového pásma II. Norma se vztahuje na elektrické instalace, distribuční soustavy, napájení pevných nebo pohyblivých zařízení používající elektrický proud a šňůry přenosných zařízení. Naopak svým rozsahem nepokrývá mimo jiné kabely nebo izolované vodiče používané ve vnitřním vedení zařízení nebo továrně zhotovených sestavách nebo kabely a šňůry používané ve stejnosměrných proudových aplikacích.

Tato poměrně krátká norma definuje barevné značení více žilových kabelů a šňůr podle počtu žil a pro kabely se čtyřmi nebo pěti žilami pořadí rotace barev. Dle čl. 3.1 ČSN 33 0166 ed.2 [36] jsou v normě uvedeny tabulky zvlášť pro kabely s ochranným vodičem, tj. vodiče se zelenožlutou žílou nebo bez ní. Jednožilové kabely používají dle čl. 3.2 [36] zelenožlutou

kombinaci barev pro ochranný vodič, modrou barvu pro střední vodič a pro fázový vodič jednu z barev černá, hnědá nebo šedá.

4.1.4 Materiály vodičů

Mezi běžně používané materiály pro vodiče silových kabelů patří měď a hliník. Z hlediska vodivých vlastností existují i vhodnější materiály například drahé kovy, ale vzhledem k jejich vysoké ceně nejsou určeny k běžnému použití. Vhodnost materiálu musí být zajištěna splněním několika podmínek, které jsou na materiály stanoveny. U vodičů jsou hodnoceny dle [13] zejména vlastnosti:

- elektrické – velká měrná elektrická vodivost a malá teplotní závislost odporu;
- mechanické – velká pevnost v tahu, ohebnost a tvarová stálost pod tlakem;
- tepelné – teplotní stálost a dobrá svařitelnost;
- chemické – odolnost proti korozi a malá chemická interakce s okolím.

4.1.4.1 Měděné vodiče

Měď je jako materiál pro vodiče vhodná především pro svou dobrou vodivost elektrického proudu, zpracovatelnost a odolnost proti atmosférické korozi. Důležitým faktorem u měděných vodičů je zajištění vysokého stupně čistoty výsledného materiálu, protože cizí prvky obsažené v mědi mohou mít negativní dopad na výslednou vodivou schopnost [32]. Teplota, při které dochází k tavení měděných vodičů je dle [37] 1 082 °C.

Samotné výrobě měděného drátu předchází získání vstupní suroviny. Protože se měď v čisté formě vyskytuje v omezeném množství, je získávána z mědnatých rud nejprve hutnicky a pro svou potřebnou čistotu je následně elektrolyticky rafinována. Hutní část výroby prochází celkem třemi fázemi pražení, tavení a besemerování [38].

Prvním procesem je pražení, které zajišťuje odstranění síry pro získání vyšší koncentrace mědi. Dalším výrobním krokem je proces tavení koncentráту. To probíhá při teplotě přibližně 1400 °C a postupným přidáváním oxidu křemičitého je získáván tzv. měděný kamínek. Jedná se o směs vytvořenou ze sulfidu měďného a sulfidu železnatého. Posledním výrobním krokem procesu je besemerování, které probíhá v konvektorech. Během přidávání roztavené směsi z předchozího výrobního procesu probíhají v konvektorech určité chemické reakce, ze kterých je získána surová měď. U surové mědi je udávána čistota 97 až 99 %. Látky, které zhoršují výslednou vodivost jsou síra a kyslík. Ty lze odstranit oxidačním žíháním, po kterém je zvýšena výsledná čistota, ovšem k dosažení potřebné kvality pro elektrotechnický průmysl je měď následně elektrolyticky rafinována [38].

Po elektrolytickém čišťení jsou vytvořeny katodové desky, které jsou následně odlévány do čtverhranných tyčí, ze kterých je postupným válčováním získáván měděný drát. V kabelovnách dochází k postupnému zmenšování průřezu tažením drátu za studena. Tato operace spočívá v tom, že je drát opakovaně protahován na speciálním zařízení, dokud není dosaženo požadovaného průměru. Během této operace je nutné drát potahovat speciální emulzí, která drát chladí a zajišťuje homogenitu povrchu. Posledním krokem při výrobě měděných vodičů je žíhání drátu. Důvodem žíhání je jeho ztvrdnutí během fáze tažení za studena. Žíhat se mohou buď celé svitky drátů v pecích, nebo se žíhají průběžně samostatné dráty. Při průběžném žíhání se do drátu pouští velký proud, který ohřívá drát na žíhací teplotu [32].

4.1.4.2 Hliníkové vodiče

Hliníkové vodiče mají dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, tvárnost a odolnost vůči korozi. Pro výrobu vodičů musí být z technologických důvodů prokázána čistota prvku, která stejně jako u mědi ovlivňuje vodivé schopnosti vodiče [39].

Od hliníkových vodičů je však spíše opouštěno s ohledem na řadu jejich nevýhod. Mezi jeho nevyhovující mechanické vlastnosti patří křehkost, lámavost a malá pevnost. Díky tomu se mohou vodiče zlomit nebo jinak porušit. Dalším poruchovým místem jsou kontaktní spoje. Hliníkové vodiče, které jsou utaženy ve svorkách se působícím tlakem a procházejícím proudem postupně deformují a uvolňují. Snížení průřezu může vést ke vzniku přechodového odporu a následnému požáru [13], [32].

Hliníkové vodiče mají oproti měděným vodičům po dosažení teploty tání, která je v případě čistého hliníku 660 °C tendenci roztavit se po celém průřezu najednou. Nevýhodou hliníkových vodičů vůči měděným je mimo horší vodivosti také nižší teplota tání. Při následném tuhnutí zaujímá hliník různé tvary zahrnující špičaté, kulovité nebo kapkovité tvary [37].

Technologický proces výroby hliníkových vodičů je rozdělen na získání oxidu hlinitého a výrobu surového hliníku. Výchozí surovinou je oxid hlinitý získávaný z bauxitu. Během technologického procesu je alkalickým tavením za vysoké teploty a tlaku v autoklávu získáván rozpustný hlinitan sodný společně s dalšími nerozpustnými látkami. Nerozpustitelné látky se poté oddělí sedimentací a filtrací a hlinitan sodný se hydrolyzou rozloží na hydroxid, ze kterého je kalcinací získána požadovaná sloučenina oxidu hlinitého. Hliník je následně získáván elektrolytickým rozkladem sloučeniny oxidu hlinitého v roztaveném kryolitu v elektrolýzních pecích. Do pece, ve které se nachází roztavený kryolit, je postupně po určitých časových intervalech přidáván oxid hlinitý. Rozkladem sloučeniny se na dně pece vylučuje hliník, který je následně odsáván. Pro elektrotechnické účely a potřebnou čistotu musí být hliník elektrolyticky rafinován. Metoda je založena na rozdílných měrných hmotnostech, kde poslední vrchní vrstvu taveniny tvoří hliník, který je

postupně odebírán. Po poměrně technologicky náročném procesu výroby putují do kabeloven dráty, které jsou vyráběny z čistého hliníku odléváním a tvářením za tepla. Následná výroba vodivých drátů je obdobná jako u mědi [39].

4.1.5 Materiály izolantů

Nejprve je nutné specifikovat pojmy jako izolant nebo dielektrikum. Schopností dielektrika je polarizovat se v elektrickém poli a představuje podmnožinu izolantů. Jeho hlavním parametrem je relativní permitivita, která je měřítkem elektrické polarizace. Izolant lze označit za dielektrikum s vysokou rezistivitou se schopností klást velký odpor průtoku elektrického proudu [40].

Materiály určené k izolování vodivých částí lze rozdělit podle původu na anorganické a organické a stejně jako u materiálů vodičů, jsou na ně stanoveny určité požadavky. Mezi hlavní vlastnosti, které musí být u materiálu izolantu zajištěny a sledovanými parametry dle [13] jsou:

- měrný elektrický (průchozí) odpor ρ_p [$\Omega \cdot \text{cm}$] definovaný jako průchozí odpor mezi dvěma protilehlými stranami krychle s hranou 1 cm, kde u řady izolantů průchozí odpor klesá s rostoucí teplotou;
- povrchový odpor R_p [Ω] představující izolační vlastnosti povrchové vrstvy izolantu;
- elektrická (průrazná) pevnost E_p [kV/mm] udávající maximální intenzitu elektrického pole, při kterém nedojde k průrazu neboli průchodu elektrického proudu, veličina závisí na teplotě izolantu a časovém průběhu;
- poměrná (relativní) permitivita ϵ_r [-] udávající kolikrát se zvětší kapacita vzduchového kondenzátu, pokud je vzduch mezi elektrodami nahrazen dielektrikem, u izolantu je žádoucí malá permitivita;
- ztrátový činitel $\text{tg } \delta$ [-] vyjadřující ztráty v dielektriku.

Mezi další sledované parametry u izolantu patří odolnost proti elektrickému oblouku a odolnost proti povrchovým proudům. Elektrický oblouk se může vytvořit například ve vlhkém prostředí nad povrchem izolantu. Pro zjištění možné trvanlivosti a odolnosti kabelu je během zkoušky vyvolán a udržován elektrický oblouk působící na izolant a následně jsou analyzovány změny vzniklé na povrchu izolantu. Dalším sledovaným parametrem je odolnost proti povrchovým proudům. Povrchové proudy někdy označované jako plazivé proudy mohou probíhat po povrchu izolantu vodivými cestami vytvořenými nečistotami, které během zkratu nebo oblouku zuhelnatí a stanou se vodivými [13]. V tabulce 20 jsou uvedeny vybrané parametry pro nejběžnější materiál izolantu PVC.

Tabulka 20: Příklady hodnot parametrů izolantu z PVC, převzato z [13]

Parametr izolantu PVC		Hodnota	Jednotka
Měrný průchozí odpor izolantu	ρ_p	10^{16}	$\Omega \cdot cm$
Průrazná pevnost	E_p	20–50	kV/mm
Poměrná permitivita	ε_r	3,4 – 4	–
Ztrátový činitel (rozdílný podle hladiny kmitočtu)	$tg \delta$	0,02 (pro 50 Hz)	–

4.1.5.1 Rozdělení izolantů

Jak bylo uvedeno, základní rozdělení izolantů je na anorganické a organické. Anorganické izolanty jsou přírodní minerály tvořící krystalickou strukturu. Pro potřeby elektrotechniky jsou omezeně používány křemičitany. V elektrotechnice jsou především používány organické izolanty s makromolekulární strukturou. Látky s makromolekulární strukturou jsou přírodní látky, chemicky změněné přírodní látky a nejvíce používané syntetické látky. Výchozí surovinou pro výrobu syntetických látek je ropa a zemní plyn [13]. Podle jejich chování rozlišujeme:

- termoplasty, které jsou opakovaně tepelně tvarovatelné, příkladem je polyvinylchlorid nebo polyetylen;
- termoaktivní pryskyřice, které nelze po vytvrzení znovu změkčit ani rozpustit;
- elastomery, které se mohou po vulkanizaci stát pružnými nebo pevnými.

Dalším možným způsobem dělení je podle skupenství na pevná, plynná a kapalná [40]. Vzhledem k zaměření praktické části budu v následujících částech práce uvedeny především izolační materiály v pevném skupenství.

4.1.5.2 Metody nanášení izolace na vodiče

Samotnou izolaci lze nanášet několika možnými způsoby. Na vodivé jádro může být izolace nanášena postupným ovíjením páskou izolantu nebo průběžným vytlačováním souvislé vrstvy materiálu. U jader vodičů, která jsou lakovaná je vrstva zajištěna průchodem lakovou lázní a následným průchodem stíracími bloky [41].

Dříve byly vodiče silových i sdělovacích kabelů ovíjeny papírovou páskou, která se dnes používá pouze výjimečně. Ovšem technologii ovíjení je používána i v současnosti pro izolační mezivrstvy z mechanicky pevných plastových pásek. Tento způsob nanášení izolace je prováděn na strojním zařízení, které musí zajistit dostatečnou pevnost ovinutí, rovnoměrné navinutí pásky po celé délce vodiče a zakrytí všech mezer mezi jednotlivými předcházejícími vrstvami [41].

Dalším způsobem nanášení je souvislé vytlačování izolace přímo na jádro vodiče. Nejvhodnějším materiálem pro izolování vodičů jsou termoplasty. Za zvýšené teploty se termoplasty stávají plastickými a pomocí šnekových vytlačovacích strojů (tzv. extrudérů) se

snadno nanáší na povrch vodiče, po zchlazení se stávají opět pevnými. Normově udávané barevné značení vodičů je zajištěno přidáním barevného granulátu do násypky vytlačovacího stroje. Mezi základní části vytlačovacího stroje dle [41] patří:

- plnicí nebo dopravní části, kde se plnicím otvorem dostává materiál do plnicího úseku válce a postupně se předehřívá;
- kompresní části, kde se materiál za zvýšené teploty a působení mechanické síly plastifikuje;
- vytlačovací části, ve které získává materiál potřebný tlak pro průchod vytlačovací hlavou.

4.1.5.3 Izolace vodiče z polyvinylchloridu (PVC)

Polyvinylchlorid patří mezi syntetické látky, konkrétně mezi termoplasty. Lze ho použít jako izolant vodičů nebo kabelů, jako materiál pro izolační pásy, zásuvky nebo instalační trubky a lišty [13].

Před nanesením ve je formě sypké práškové směsi, která postrádá potřebné vlastnosti. Pro získání těchto vlastností je nejprve směs za zvýšené teploty promíchávána a následně je přiváděna do plastifikátoru. Jedná se o šnekový vytlačovací stroj, ve kterém se směs otáčením šneku promíchává a postupně je vytlačována skrze desku s otvory. Tím, jak je vytlačovaná směs v pravidelných intervalech odřezávána rotačními noži vznikají PVC granule, které jsou používány jako výchozí surovina před nanesením izolantu na vodič. Ovšem samotný polyvinylchlorid je z pohledu elektrotechniky nevyhovující, proto jsou jeho fyzikální a chemické vlastnosti upravovány doplňkovými látkami, mezi které dle [42] patří:

- změkčovadla, ovlivňující pružnost a snižující teplotu měknutí čistého PVC;
- stabilizátory, omezující degradaci PVC při vyšších teplotách vyskytujících se při zpracování;
- plnidla, zlepšující zpracovatelnost směsi a snižující cenu výsledného výrobku;
- barviva, stabilizující směs proti UV záření.

4.1.5.4 Izolace vodiče z polyethylenu (PE)

Polyethylen patří společně s PVC mezi termoplasty a běžně se používá jako izolant vodičů, kabelů nebo jako materiál pro tvarovatelné díly. Jeho výhodou oproti PVC je možná vyšší provozní teplota [13].

Polyethylen vzniká polymerací ethylenu a podle zvoleného postupu výroby lze získat polyethylen vysokotlaký, středotlaký nebo nízkotlaký. Podle hustoty lze polyethylen rozdělit na typ vysoko hustotní (HDPE), nízko hustotní (LDPE) popřípadě středně hustotní (MDPE). Oproti PVC je polyethylen používán skoro bez doplňkových látek, výjimkou mohou být saze,

kteřé zvyšují odolnost vůči UV záření. Výsledné vlastnosti se u polyethylenu mohou měnit změnou struktury. Běžný vysokotlaký polyethylen je tvořený lineárními makromolekulami, které lze změnit v prostorově zesíťovanou strukturu. Prostorově zesíťované struktury lze dosáhnout vzájemným provázáním a propojením lineární struktury příčnými vazbami. Po změně struktury dochází i ke změně mechanických vlastností a polyethylen se stává více odolným proti deformaci za zvýšené teploty [42].

V současnosti dochází ke zvyšování nároků na kvalitu kabelů a nárůstu kmitočtu a přenosu signálu sdělovacími kabely. S možným zlepšením souvisí vytvoření takového materiálu, který bude mít hodnotu relativní permitivity co nejmenší. U běžně používaného polyethylenu je udávána permitivita $\epsilon_r = 2,3$. Jedním z možných způsobů ke snížení permitivity je přeměna homogenní látky polyethylenu na heterogenní a vytvoření napěněného polyethylenu. Vytvořením dvousložkové soustavy polyethylenu a vzduchu dochází ke snížení hodnoty permitivity až $\epsilon_r = 1,5$ [42].

4.1.5.5 Izolace vodiče z přírodního a umělého kaučuku

Pro izolování vodičů se kromě zmíněných plastů používají také elastomery. Elastomery se vyznačují svojí elasticitou a pružností a možným zlepšením jejich vlastností se dosahuje vulkanizací. Elastomery lze rozdělit na přírodní kaučuk a syntetický kaučuk [40].

Přírodní kaučuk se pro izolování jader vodičů používá omezeně, protože má řadu nevýhod. Výchozí surovinou pro získání přírodního kaučuku je latex, který je získáván ze stromu kaučukovníku jeho naříznutím a zachytáváním odkapávající tekutiny. Další úpravou k získání přírodního kaučuku je srážení částic kyselinou mravenčí, praní ve vodě a sušení. Nevýhodou přírodního kaučuku je malá odolnost vůči kapalinám, povětrnostním vlivům a degradace vlivem působením teplot a času. Proto je pro potřeby elektroinstalace používán především kaučuk syntetický [43].

Syntetický kaučuk je vyráběn z destilačních produktů ropy a vyznačuje se teplotní odolností, především mrazuvzdorností [40]. Mez nejběžnější syntetické kaučuky dle [43] patří:

- styren-butadienový, který je používán pro izolace vodičů i pláště kabelů;
- chloroprenový, který je houževnatý, odolný, ale jeho nevýhodou je produkce dýmu při požáru obsahující chlorovodík a další agresivní látky;
- etylenvinylacetátový, který je používán pro izolování vodičů i kabelů, je odolný vůči vysokým teplotám, zabraňuje šíření plamene a při hoření neuvolňuje dusivé látky;
- etylenpropylenový, který je vhodný pro izolaci nízkého a vysokého napětí a pro izolování pláště a je vhodný jako materiál pro výplňové směsi.

Přidáním dalších látek ke kaučuku lze vytvořit směs s rozdílnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Charakter výsledné směsi určuje druh použitého kaučuku

(přírodní nebo umělý) jako výchozí suroviny a přídatné látky, mezi které patří změkčovadla (např. minerální oleje) nebo plniva (např. saze) [43].

4.1.6 Výplň silových kabelů

Kabelová výplň, jak je z názvu patrné vyplňuje prostor mezi jednotlivými žilami a zajišťuje kruhovitost výsledného kabelu. Nanášena je během technologického procesu společně s pláštěm kabelu. Materiálově lze využít výplň na bázi etylen-propylenového kaučuku. Ovšem lze se setkat i s kabely, bez kabelové výplně [32].

4.1.7 Plášť silových kabelů

Svrchní vrstvou kabelu je kabelový plášť nebo také izolace kabelu. Postup nanášení izolace je podobný jako u nanášení izolace na vodič. Svazky žil jsou postupně vpouštěny a stáčeny do vytlačovacího stroje, ve kterém může být na žíly nanášena výplňová směs a následně materiál opláštění kabelu. Před najetím do extrudéru jsou žíly opatřeny separačním materiálem, který zlepšuje oddělitelnost a samotné žíly jsou stáčeny, především pro zachování tvaru a možnosti ohýbání výsledného kabelu. Hlavní funkcí kabelové izolace je ochrana před nepříznivými vlivy prostředí, jako je UV záření, vlhkost ale i požár. Běžně se stejně jako u izolace vodiče používá polyvinylchlorid, který však nemusí vyhovovat normovým požadavkům, především v rámci norem požární bezpečnosti staveb, proto jsou pro specifické podmínky využívány bezhalogení a oheň nešířící kabely HFFR [32].

Kabely HFFR (z angl. Halogen Free Fire Retardant) svým složením a vlastnostmi odpovídají novým požadavkům legislativy a lze je rozdělit do čtyř základních skupin podle požární schopnosti a náročnosti jejich zkoušení. Kabely vykazují omezené šíření plamene po povrchu, omezené uvolňování tepla, nízké emise kouře a nebezpečných plynů a při hoření z nich odkapává omezený počet hořících kapek [44].

4.1.8 Další vrstvy silových kabelů

Před nanášením pláště kabelu mohou být silové kabely opatřeny dalšími vrstvami, které mohou ovlivnit jejich výsledné vlastnosti. Další vrstvou mohou být různé oplety aplikované na oplétacím stroji. Ochrana proti pronikání rušivých elektromagnetických polí je zajištěna pocínovanými měděnými drátky. Funkční mechanická ochrana kabelu a jiskrová bezpečnost je zajištěna opletem železnými pozinkovanými drátky [32].

4.2 Sdělovací kabely

Sdělovací kabely slouží k přenosu signálu, dat a informací. Oproti silovým kabelům, kde je udáván průřez v mm^2 je u sdělovacích kabelů udáván průměr jádra v mm , který v důsledku malých proudů zpravidla nepřesahuje 1 mm. Požadavky na sdělovací kabely se odvíjí od

velikosti přenášené frekvence a délky kabelové trasy. Mezi vodiči sdělovacího kabelu jsou v důsledku vysoké frekvence přenášeny elektromagnetické vlny, které tlumí signál nebo jinak ruší spojení. Těmto negativním vlivům se dá předejít zejména vhodným výběrem druhu izolace vodiče, stáčením žil do párů s různou délkou zkrutu, stíněním kabelu fólií s hliníkovou vrstvou, nebo kombinací těchto metod [32].

4.2.1 Rozdělení sdělovacích kabelů

Sdělovací kabely lze rozdělit podle jejich složení a uspořádání vodičů na kabely symetrické a asymetrické. Speciálním druhem kabelů jsou optické kabely, které přenášejí signál prostřednictvím optických vláken.

Na obrázku 12 je uveden příklad symetrického sdělovacího kabelu. Jedná se o příčný řez datovým kabelem kategorie 6, který je určený pro datové a telekomunikační přenosy a strukturovanou kabeláž.



Obrázek 12: Příklad sdělovacího kabelu (kabel UTP Cat.6 4x2xAWG23)

4.2.1.1 Symetrické kabely

Sdělovací kabel není složen ze samostatných žil jako u silových kabelů, ale je složen z kroucených párů, čtyřek, křížových čtyřek nebo výjimečně kroucených trojek. Tyto kabely patří do skupiny symetrických kabelů, kde jsou oba vodiče vzájemně propleteny [32].

Na obrázku 13 je uveden příklad sdělovacího kabelu. Jedná se o nestíněný síťový kabel kategorie 5e tvořený čtyřmi páry kroucené dvojlinky, které jsou po délce kabelu pravidelně zkrouceny.



Obrázek 13: Příklad kroucené dvojlinky (kabel U/UTP Cat.5e 4x2xAWG24)

4.2.1.2 Asymetrické kabely

Do skupiny asymetrických kabelů patří koaxiální kabely. Jedná se o vysokofrekvenční sdělovací kabely sloužící pro přenos elektromagnetického vlnění. Koaxiální kabely mají vnitřní vodič v podobě drátu nebo trubičky (označován jako jádro) a vnější koncentrický vodič (označován jako stínění), mezi kterými je nevodivé dielektrikum z plného nebo pěnového polyethylenu [32].

4.2.2 Optické kabely

Optické kabely slouží pro přenos signálu prostřednictvím světelných paprsků. Výhodou optických kabelů je přenos dat na velké vzdálenosti, odolnost vůči elektromagnetickému rušení a mechanickému poškození. Optické kabely lze rozdělit podle typu vláken na jednovláknová, která jsou určena pro přenos dat na velké vzdálenosti a mnohoválná, která jsou určena pro přenos dat na krátké vzdálenosti. Skladba je specifická dle charakteru kabelu a použitých vodičů. Optické kabely mají křemíková vlákna umístěna v trubičkách (bufferech), která jsou vyplněna gelem. Kabelový plášť je stejně jako u silových kabelů z polyvinylchloridu nebo polyethylenu. Pro zlepšení mechanických vlastností, jsou kabely opatřeny prvky na bázi skla nebo uhlíkových vláken [32].

5 Příčiny vzniku požáru

V tomto okruhu budou spojeny do souvislostí předchozí části, které pojednávají obecně o požárech, o elektrické energii a kabelovém vedení. Pro podložení důležitosti tématu jsou v této části uvedena zaznamenaná statistická data o požárech v České republice s příčinou technická závada.

Nebezpečí vzniku a rozvinutí požáru vlivem technické závady závisí na mnoha faktorech. Jedním z nich je vnitřní vybavení a hořlavost okolních konstrukcí a materiálů, nacházejících se v blízkosti možné iniciace. Pokud dojde k jedné z níže uvedených příčin a v jeho okolí nebude žádné požární zatížení nebo snadno hořlavé hmoty, nemusí k rozvinutí požáru vůbec dojít.

5.1 Statistická data požárů

V rámci České republiky jsou sledovány a zaznamenávány události, při kterých zasahovali jednotky požární ochrany. Jednotlivými událostmi jsou požáry, dopravní nehody, úniky nebezpečných chemických látek, technické havárie, radiační nehody a havárie, ostatní mimořádné události a plané poplachy. Souhrnné informace o událostech jsou Generálním ředitelstvím HZS České republiky každoročně publikovány ve formě statistických ročenek. Ty obsahují konkrétní počty událostí, které jsou rozděleny na úrovni jednotlivých obcí, dále jsou uvedeny vybrané požáry s vysokou škodou, informace o druhu činnosti jednotek požární ochrany a další. Možnou příčinou požárů je mimo nedbalosti, úmyslného zapálení, samovznícení a dalších také technická závada na elektroinstalaci. Ta je však zveřejňována pouze u vybraných požárů formou přehledu bez doplňujících podrobných hodnot. Ovšem samotné technické závadě předchází skutečnost, která se v těchto veřejně přístupných podkladech podrobně nevyskytuje.

5.1.1 Specifikace uvedených dat

Před uvedením statistických dat a vyhodnocení je nutné specifikovat prezentovaná data. Ta byla po konzultaci poskytnuta samotným Generálním ředitelstvím a jedná se o skutečné počty vzniklých požárů. Pro účely této práce byly z celkového počtu požárů za období 2016 až 2020 vybrány požáry s příčinou technická závada, kde byl iniciátor třídy I., tedy elektrické iniciátory mimo sváření a řezání a zároveň iniciace zařízením spadala do skupin 10 až 15 nebo 19. Mimo elektrického iniciátoru spadající do třídy I. jsou dále rozlišovány jiskry a žhavé částice, povrchové a sálavé teplo, svařování a řezání, rozehtívání a lepení, samovznícení, otevřený plamen nebo iniciátory, které nebyly objasněné. V tabulce 21 je uvedena legenda k iniciátorům spadající do třídy I a v tabulce 22 je uvedena legenda se skupinou iniciace zařízení.

Tabulka 21: Legenda třídy iniciátoru, poskytnuto GŘ HZS ČR

Třída I. – elektrický iniciátor mimo sváření a řezání	
Kód	Název iniciátoru události
10	Elektrická jiskra
11	Elektrický zkrat
12	Elektrický oblouk
13	Elektrický přechodový odpor
14	Proudové přetížení
15	Autoelektrika a její aplikace v dopravních a pracovních prostředcích
16	Elektrostatický výboj, přeskok
17	Atmosférický výboj
19	Elektrický iniciátor, který nelze specifikovat

Tabulka 22: Legenda iniciace zařízením, poskytnuto GŘ HZS ČR

Iniciace zařízením	
Skupina	Název iniciátoru události zařízením
10	Měniče elektrického napětí
11	Výkonové pojistky
12	Spínače
13	Rozvaděče
14	Vnitřní rozvod
15	Vnější rozvod
19	Jiné

5.1.2 Požáry s příčinou technická závada

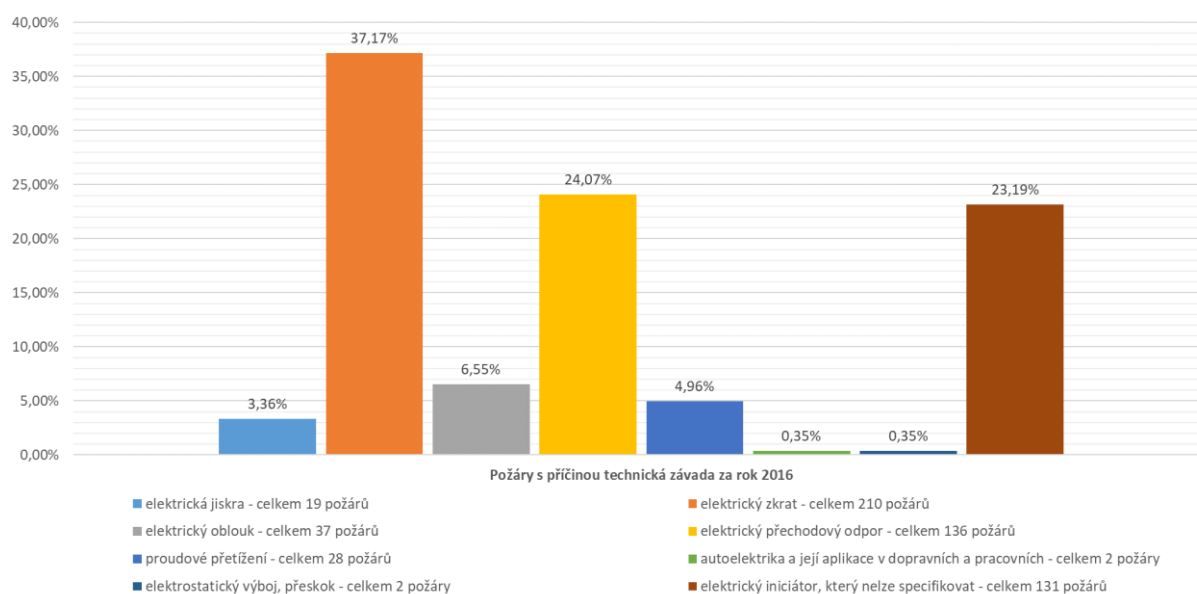
Uvedené hodnoty celkových počtů požárů za určité období vychází z příslušných statistických ročenek Hasičského záchranného sboru České republiky [45] každoročně vydávaných a veřejně přístupných. V následující tabulce 23 jsou uvedeny celkové počty požárů za daný rok, celkový počet požárů vlivem technické závady podle specifikace z předchozí kapitoly a jejich procentuální zastoupení.

Tabulka 23: Počty požárů v rámci České republiky, převzato z [45] a doplněno

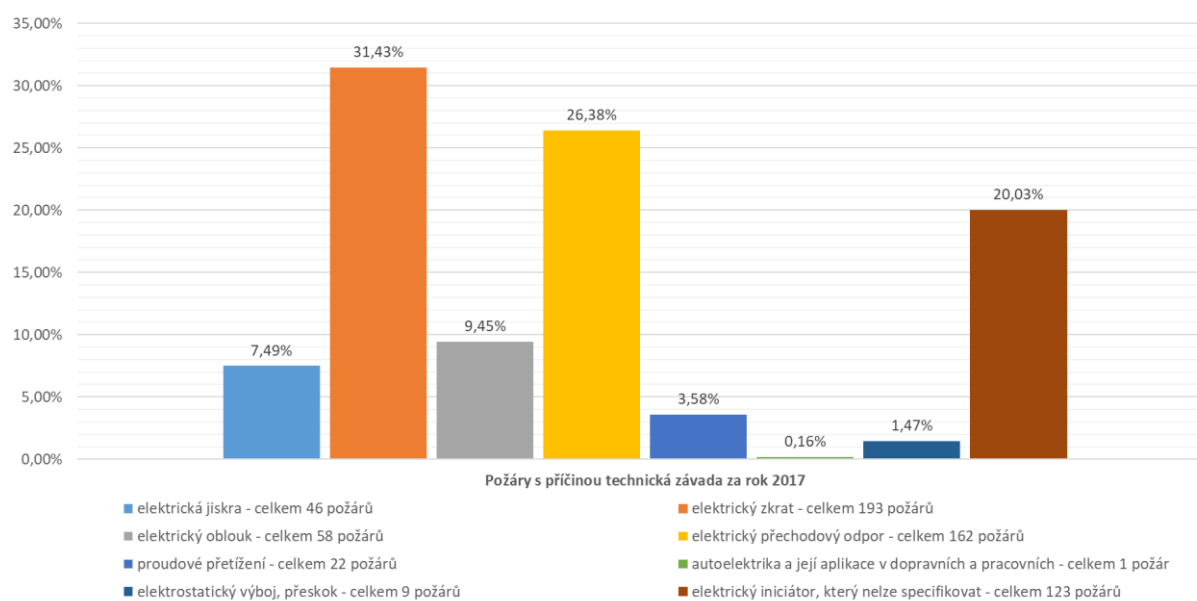
Rok	Počet požárů	Požáry s příčinou technická závada	Procentuální zastoupení
2016	15 730	565	3,59 %
2017	16 249	614	3,78 %
2018	20 277	657	3,24 %
2019	18 361	639	3,48 %
2020	16 938	557	3,29 %

Jak je z tabulky 23 patrné, požáry s příčinou technická závada se ve vybraném období vůči celkovému počtu požárů pohybují řádově ve stejném procentuálním zastoupení. Na

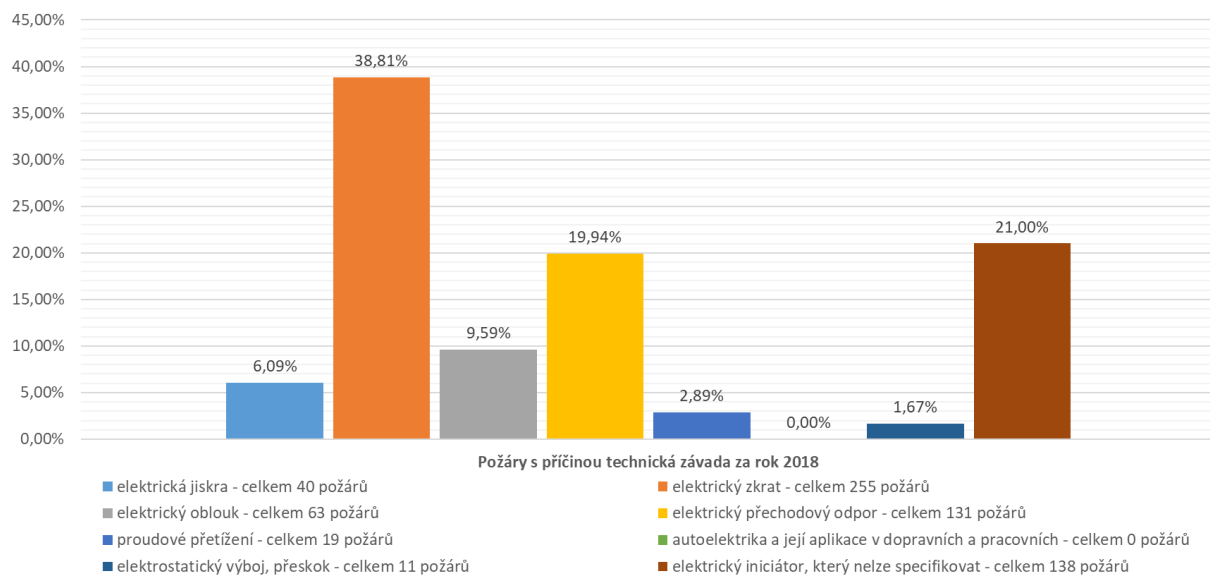
obrázcích 14 až 18 jsou uvedeny grafy zobrazující zastoupení konkrétních iniciátorů požárů včetně jejich hodnot za období od roku 2016 až do roku 2020.



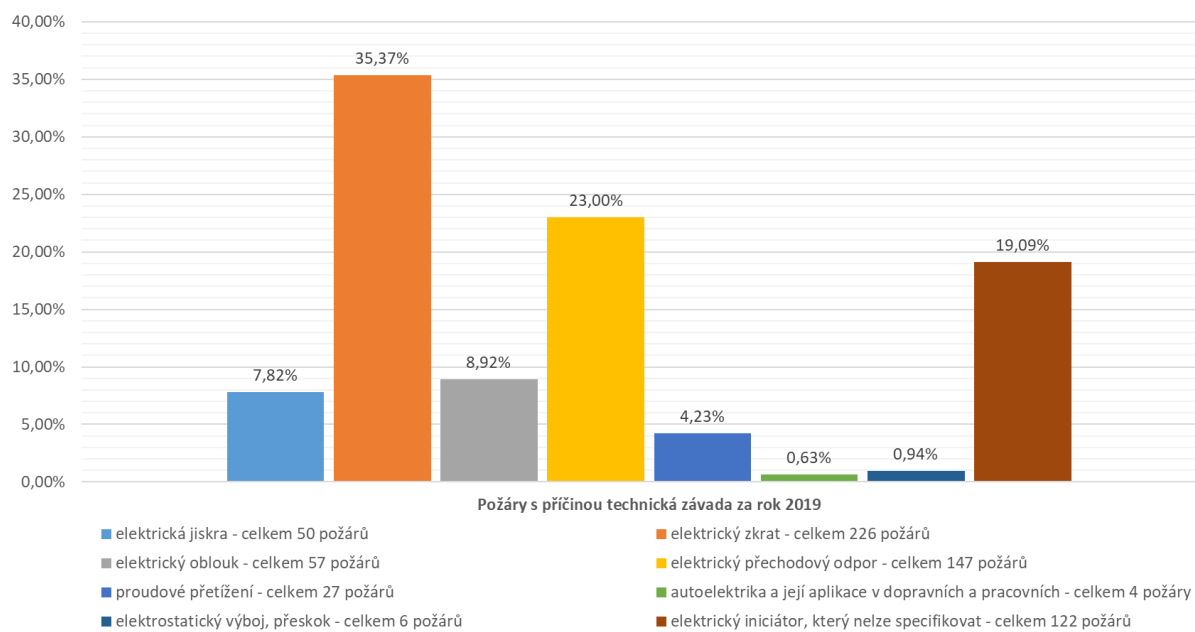
Obrázek 14: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2016



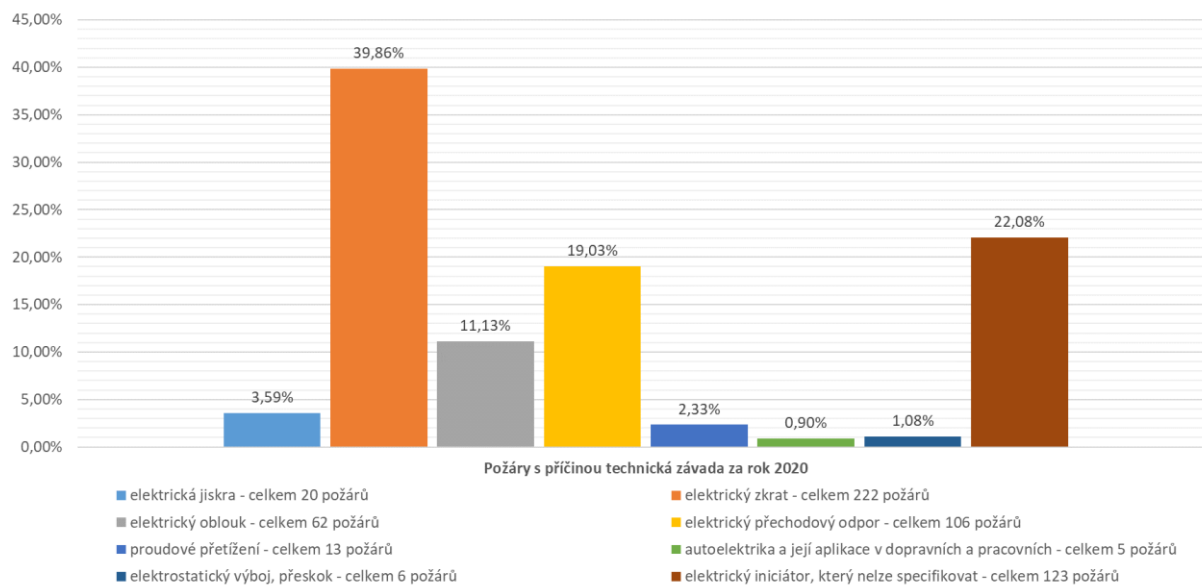
Obrázek 15: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2017



Obrázek 16: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2018



Obrázek 17: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2019



Obrázek 18: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2020

5.1.3 Vyhodnocení dat

Z uvedených grafů lze pozorovat obdobný trend v procentuálním zastoupení jednotlivých příčin požárů s příčinou technická závada. V rámci sledovaného období je nejčetnější příčinou vzniku požáru na území České republiky elektrický zkrat, který se stal příčinou u 1 106 požárů.

Při bližší analýze dat lze uvést nejběžnější iniciační zařízení, u kterých došlo právě k elektrickému zkratu a následnému požáru. Ve sledovaném období byly u požárů s příčinou technická závada a zároveň iniciátorem elektrický zkrat nejčetnějším iniciačním zařízením vnitřní rozvody nízkého napětí (vedení, stoupačky a přípojky), dále vnější rozvody vysokého napětí (vzdušné vedení), rozvaděče, přívodní prodlužovací šňůry a vnější rozvody nízkého napětí (vzdušné a kabelové vedení).

5.2 Vyšetřování vzniku požáru

Jednotlivé kraje jsou v rámci území České republiky rozděleny na územní odbory a každý odbor by měl mít svého vyšetřovatele požárů. Vyšetřovatelé jezdí na místa požárů, u kterých vznikla škoda, a zjišťují příčinu jeho vzniku. Situaci lze podle odborného vyjádření vyšetřovatele rozdělit na trestný čin, který přebírá k dořešení policie České republiky nebo na přestupek, který pokutuje Hasičský záchranný sbor. Přestupkem může být neúmyslné založení požáru nedbalostí nebo kouřením a hranice mezi přestupkem a trestným činem je stanovena z rozsahu způsobených škod. Pokud požár způsobí škodu osobě, která požár založila nebo v omezené míře způsobí škodu osobě jiné, jedná se o přestupek. Odborné vyjádření vyšetřovatele Hasičského záchranného sboru by mělo obsahovat vyjádření o

ohnisku požáru a jeho příčině. Ohniska požárů lze rozdělit na kriminalistické, svědecké a požární. Kriminalistické ohnisko je místo, ve kterém došlo k zahoření nebo iniciaci požáru. Svědecké ohnisko vychází z místa, ze kterého bylo pozorováno plamenné hoření nebo zplodiny hoření a požární ohnisko je místo, ve kterém došlo k nejintenzivnějšímu hoření, v takovém místě dochází k oprýskávání zdí, odhořívání nosníků nebo trámů. Požární ohnisko se může shodovat s kriminalistickým [30].

5.3 Události vedoucí ke vzniku požáru

Z uvedených statistických dat jsou patrné možné příčiny požárů, které byly stanoveny na základě odborného vyjádření vyšetřovatelů požáru. Právě pro vyšetřovatele požárů Hasičského záchranného sboru České republiky byla vytvořena přednáška vedená plk. Ing. Ondřejem Sanžou Šafránkem, ve které jsou vysvětleny základní souvislosti mezi vznikem požáru a působením elektrického proudu a elektrického napětí. Tento interní podklad byl propůjčen pro účely této práce a v následujících částech je z něj čerpáno [23].

Jak dokládají uvedená statistická data, nejčastějšími příčinami vzniku požáru jsou elektrická jiskra, elektrický zkrat, elektrický oblouk, elektrický přechodový odpor, proudové přetížení nebo elektrický iniciátor, který nelze specifikovat. Ovšem některým příčinám předchází často dlouhodobě specifické mechanismy spojené s nárůstem teploty. Mechanismy stojící za vznikem požárů a které je nutné vzájemně odlišovat, jsou tepelné účinky elektrického proudu a tepelné účinky elektrického napětí.

Běžnou součástí elektroinstalace jsou prodlužovací kabely, které se mohou při nesprávném používání jako je proříznutí izolace, zatěžování kabelu nábytkem nebo ohýbáním stát příčinou vzniku požáru. Prodlužovací kabely slouží pouze jako dočasná náhrada elektrické instalace, ovšem často jsou používány dlouhodobě. Tato zařízení jsou složena ze třech základních částí a každá z nich je konstruována na určitou proudovou hodnotu. Prodlužovací kabel je složený z vidlice s ochranným kolíkem sloužící k přímému zastrčení do zásuvky, několikanásobné nebo jednoduché zásuvky a prodlužovací šňůry určité délky [46].

5.3.1 Tepelné účinky spojené s protékajícím elektrickým proudem

Elektrický proud je definován jako množství elektrického náboje, který projde průřezem vodiče za jednotku času. Z definice je patrná závislost mezi množstvím elektrického proudu a průřezem vodiče, kterým může protékat pouze omezené množství elektronů. Při průchodu elektrického proudu narazí volné elektrony do iontů tvořící krystalickou mřížku kovu. Nárazem jim předají část své pohybové energie a tím dochází k zahřívání materiálu vodiče. Vlastní zahřívání vodiče je závislé na druhu materiálu a průřezu vodiče a na velikosti elektrického proudu, který vodičem protéká. Teplota, na kterou se vodič zahřeje je závislá

na podmínkách uložení vodiče a na možnostech odvádět teplo vznikající uprostřed vodiče do okolního prostředí. Tepelným účinkem elektrického proudu a možnou příčinou vzniku požáru je elektrický přechodový odpor [23].

5.3.1.1 Elektrický přechodový odpor

Přechodový odpor vzniká na kontaktním rozhraní spojů a pouze v případech kdy dochází k elektrickému odběru. K přechodovému odporu většinou dochází při zapojení spotřebiče s krátkodobě velkým příkonem nebo při zapojení spotřebiče s dlouhodobě malým příkonem. Častým místem vzniku je v napojení vodičů kabelu na jednotlivé šroubové svorky nebo u prodlužovacího kabelu v místě napojení vidlice elektrického spotřebiče a svorky zásuvky. V místě napojení vodičů na jednotlivé svorky přecházejí elektrony z vodiče na svorku, ovšem při nedokonalém nebo částečném spojení může být kontaktní plocha mezi svorkou a vodičem menší, než je plocha vodiče a místo se začne lokálně zahřívat. V důsledku zvyšování teploty se místo zahřívá natolik, že dojde ke vznícení okolních materiálů [23].

Přechodový odpor je spojený s určitými charakteristickými rysy, kterými se mohou vyšetřovatelé příčin požáru během vypracovávání odborného vyjádření řídit. Vznik přechodového odporu není většinou spojený s tvorbou nátavů na měděných vodičích, které se tvoří například při svodovém proudu, ale lze pozorovat poměrně rozdílné tepelné změny na materiálech v okolí kontaktního rozhraní. Další charakteristikou působícího přechodového odporu je tvorba oxidů na kontaktní ploše v důsledku zahřívání. Vytvořené oxidy působí jako izolant a tím dochází ke zvyšování hodnot přechodového odporu, ke zhoršení vodivosti mezi vodičem a svorkou a k intenzivnějšímu zahřívání kontaktního místa. Vlivem zahřívání kontaktní plocha dále oxiduje a opětovně dochází k vývinu tepla a nárůstu teploty. Postupné zahřívání a vznik přechodového odporu se může projevit v poměrně krátké době po používání spotřebičů nebo dlouhodobě, právě postupným zahříváním a tvorbou oxidů na kontaktní ploše rozhraní [23].

V případě napojení vidlice elektrického spotřebiče do zásuvky prodlužovacího kabelu může docházet ke snížení průřezu. Princip iniciace požáru je obdobný jako v předchozím případě. Pokud je kontaktní plocha dotyku menší, než je plocha vodiče, dochází k postupnému zahřívání kontaktního spoje a postupné tepelné degradaci. Zvyšováním teploty tepelně degradují materiály vodičů a zejména materiály zásuvky prodlužovacího kabelu, které jsou vyrobeny z plastu. Postupné navyšování teploty a zvyšování vodivosti v místě přechodového odporu může vyvolat jiskření, které se může stát příčinou vzniku požáru. Na vývoj teploty má vliv umístění a poloha prodlužovacího kabelu. Pokud je uložený za nábytkem nebo pod kobercem dochází k menšímu odvodu tepla a větší kumulaci teplot [30].

5.3.2 Tepelné účinky spojené s rozdílem potenciálů

Elektrické napětí je definováno jako rozdíl elektrických potenciálů ve dvou bodech prostoru. V případě izolovaného měděného vodiče jsou místa s rozdílem potenciálů bod uvnitř vodiče a bod v okolí vodiče. Tyto body prostoru od sebe odděluje tloušťka izolace, která je z materiálu neschopného přenášet elektrický potenciál. Napětí tak proráží izolaci a je závislé na materiálu a tloušťce izolace a velikosti napětí [23].

Jak je patrné ze statistického sledování příčin vzniku požárů v rámci sledovaného období, je nejčastější příčinou elektrický zkrat. Ovšem proti nadproudům a zkratovým proudům jsou instalovány jistící prvky, které jsou schopny odpojit obvod. Elektrickému zkratu mohou předcházet určité příčiny, u kterých dochází k postupnému zahřívání a k degradaci materiálu izolace. Tyto příčiny mohou následně vyvolat zkratový proud, který tak vznikne před samotným vznikem požáru, ale není jeho hlavní příčinou. Zmiňované příčiny jsou představeny v následujících částech.

5.3.2.1 Svodový proud

Svodový proud představuje snížení izolační vzdálenosti mezi body s elektrickými potenciály a nejčastěji vzniká v důsledku mechanického poškození izolace vodičů. Mechanické poškození izolace může být vyvolané působící silou například od nábytku. Jak bylo uvedeno, body s rozdílným potenciálem vzájemně odděluje tloušťka izolace. Za běžného stavu je izolace schopna odolat běžnému napětí a jádra vodičů jsou od sebe v dostatečné vzdálenosti. Pokud lokálně dojde ke snížení tloušťky izolace, mohou se k sobě jádra vodičů přiblížit natolik, že materiálem izolace postupně začne procházet svodový proud. Hodnota procházejícího svodového proudu však v počáteční fázi nemusí dosahovat vybavovacích hodnot jistících prvků, které tak nereagují. Procházející elektrony materiálem izolace místo lokálně zahřívají a izolace, která je nejčastěji z polyvinylchloridu začíná uhelnatět a stávat se vodivou. Postupnou tepelnou degradací izolace dochází ke zvyšování hodnot procházejícího svodového proudu a k postupnému zvyšování teploty. V poslední fázi je izolace vodiče natolik tepelně degradovaná, že procházející proud vyvolá elektrický oblouk a hodnota svodového proudu přeroste do hodnot zkratového proudu, na který již reaguje jistící prvek. Mezi charakteristické rysy způsobené svodovým proudem patří nátahy vzniklé na měděných vodičích [23].

V konečné fázi je místo natolik tepelně degradované a izolace zuhelnatělá, že se v důsledku elektrického oblouku může stát příčinou vzniku požáru. Pokud by během popsané situace došlo k přímému spojení jader vodičů, došlo by k okamžitému zkratu a včasnému odpojení jistícím prvkem. Místo by bylo pouze krátkodobě tepelně namáháno. Mechanicky poškozené místo, ve kterém dojde ke snížení tloušťky izolace, se principiálně chová jako spotřebič s vlastním odběrem a svodový proud může nastat i v případě, kdy není zapnutý žádný spotřebič [23].

5.3.2.2 Plazivý proud

Plazivé proudy vznikají v důsledku postupného stárnutí a degradace materiálu izolace. Vlivem opakujících se změn teplot, stárnutí a jiných okolností dochází postupně k odpařování změkčovadel z polyvinylchloridové izolace a vzniku mikrotrhlin. V mikrotrhlinách se usazuje prach, který se změnou vlhkosti stává vodivým. V takovém případě dochází opět ke snížení tloušťky izolace a mikrotrhlinami může procházet plazivý proud. Procházející proud mikrotrhlinami degraduje izolaci vodiče na uhlík, to zvyšuje vodivost a intenzitu zahřívání okolních materiálů. Stejně jako u svodového proudu dochází k takovému zahřívání okolních konstrukcí až do teplot vznícení materiálů [23].

5.3.3 Ostatní příčiny vzniku požáru

Jak bylo uvedeno, elektrické jiskře nebo elektrickému oblouku jako příčině vzniku požáru předchází tepelné účinky elektrické energie. Samotná elektrická jiskra nebo elektrický oblouk mohou vzniknout mezi vodiči s rozdílným elektrickým potenciálem. Přechod elektrické jiskry je spojený s krátkodobým dosažením vysoké teploty, které nemusí znamenat riziko vzniku požáru. Ovšem možné riziko představuje v případě, že jsou v okolí vzniku obsaženy hořlavé plyny nebo se jedná o výbušné prostředí [47]. Elektrická jiskra však může přejít v elektrický oblouk, který dosahuje vysokých teplot a zároveň lokálně ionizuje okolní atmosféru, která se stává více vodivou. Během elektrického oblouku se přes ionizovanou atmosféru vytvoří vodivá cesta, kterou začne protékat zkratový proud. Místo se procházejícím proudem zahřívá a ztenčená izolace jádra vodiče postupně uhelnatí, tím dochází ke zvyšování schopnosti vodit. Vytvořením elektrické jiskry nebo elektrického oblouku se mohou na měděných vodičích vytvořit charakteristické nátavy, které jsou předmětem praktické části [30].

Další možnou příčinou vzniku požáru vlivem technické závady může být proudové přetížení. Tento způsob požáru může vzniknout v domácnostech při přetížení prodlužovacího kabelu. V případě, kdy je do zásuvky zapojena vidlice prodlužovacího kabelu s několikanásobnou zásuvkou, na kterou jsou dále připojeny elektrické spotřebiče s velkým příkonem, může dojít k přetížení a přehřívání kontaktních spojů uvnitř zásuvky prodlužovacího kabelu. Produkované teplo dokáže roztavit materiál zásuvky, která je často vyrobena z plastu, který může odhořívát a skapávat na okolní vybavení. Odkapávající a doutnající plast tvoří zplodiny, které jsou pro lidský organismus silně toxické. Prevencí před vznikem požáru je nepřekračovat maximální dovolený příkon ani jedné části prodlužovacího kabelu [30].

5.4 Tepelné účinky působící na silové kabely

Při vyšetřování příčiny požáru jsou vyšetřovateli mimo jiné sledovány nátavy vzniklé na měděných vodičích kabelů, kvůli posouzení potenciálního zapojení vodičů nebo připojených

elektrických spotřebičů do vzniku požáru. Vzniklé náavy mohou být způsobeny dodatečně teplotou požáru, který na vodiče působí nebo mohou být vytvořeny v důsledku zvýšené teploty procházejícím elektrickým proudem.

5.4.1 Materiál izolace vodiče

Běžně používaným materiálem pro izolování vodivých částí na elektrickém vedení patří polyvinylchlorid. Vlivem stárnutí nebo působením okolních vlivů může polyvinylchloridová izolace postupně ztrácet změkčovadla a stávat se tvrdou a křehkou. Takové vlastnosti mohou přispívat k tvorbě povrchových mikrotrhlin, ve kterých se může následně usazovat prach, který se změnou vlhkosti stává vodivým. To může být příčinou k tvorbě plazivých proudů a následnému vzniku požáru [37].

Tepelným namáháním, které může být způsobeno svodovým proudem nebo dlouho trvajícím elektrickým obloukem izolace postupně degraduje a uhelnatí. Ze zuhelnatělé polyvinylchloridové izolace se uvolňuje chlorovodík, který ve spojení se vzdušnou vlhkostí tvoří kyselinu chlorovodíkovou. Ta způsobuje následnou korozi materiálu vodičů. Vlivem kyseliny chlorovodíkové se mohou na měděných vodičích tvořit barevné zelené nebo modré skvrny. Barvy však nemají žádnou vypovídající hodnotu o možné příčině vzniku požáru, protože jsou důsledkem požáru [37].

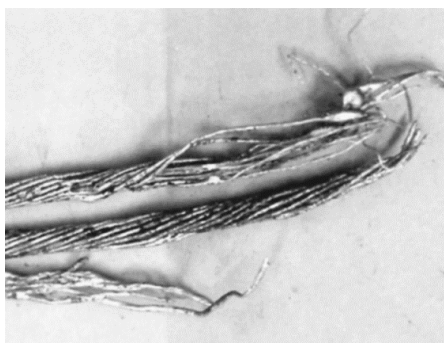
Produkce hustého dýmu je nežádoucí i z pohledu orientace v prostoru. Při požáru dochází k vytváření hustého dýmu, který je jedovatý a karcinogenní a může mít negativní dopad na orientaci osob v prostoru během evakuace a zároveň na orientaci zasahujících jednotek hasičského záchranného sboru [44].

5.4.2 Materiál vodiče

Pro lokalizaci ohniska požáru a stanovení příčiny vzniku požáru je důležité rozpoznat širokou škálu poškození, vytvořených na vodičích, kontaktech, svorkách nebo jiných součástech elektrických zařízení a vedení. Tato charakteristická poškození mohou být způsobena vlivem elektrické energie nebo mohou být způsobena dodatečně následky požáru. Určité charakteristické rysy pro správnou lokalizaci místa vzniku požáru a pro jednoznačné určení příčiny požáru jsou uvedeny v rámci podkladu NFPA 921. Národní asociace na ochranu před požáru NFPA (z angl. National Fire Protection Association) je platná ve Spojených státech amerických a Kanadě. S ohledem na záměr praktické části budou v následující části přiblíženy především rozlišující znaky poškození tvořící se na měděných vodičích [37].

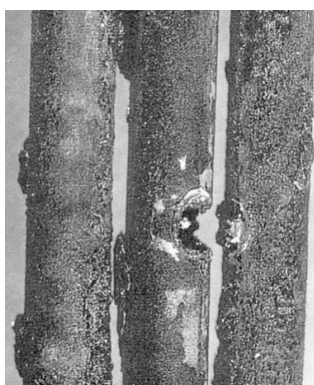
Jak bylo uvedeno u hliníkových vodičů, dochází v důsledku nižší teploty tání k dřívějšímu tavení a následnému tuhnutí a vzniklé náavy nemohou být vodítkem k určení příčiny požáru. Při vychladnutí nabývají nepravidelných a nesnadno odlišitelných tvarů od

ztenčených kapek po baňaté části [37]. Na obrázku 19 je uveden příklad vzniklých nátavů na hliníkovém vodiči.



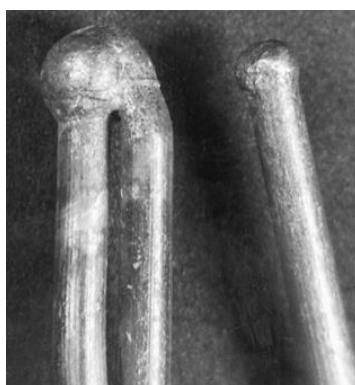
Obrázek 19: Příklad nátavů na hliníkovém vodiči, převzato z [37]

U měděných vodičů mohou být vzniklé nátavy lépe rozeznatelné. V čl. 9.11.1.1 a 9.11.2 NFPA 921 [37] jsou uvedeny charakterizující rysy nátavů vytvořenými účinky elektrického oblouku a nátavů vytvořenými účinky požáru. V případě elektrického oblouku je vodič lokálně a krátkodobě namáhán vysokou teplotou, přesahující teplotu tání mědi. Nátavy způsobené elektrickým obloukem jsou charakterizovány a spojeny s ostrým ohraničením mezi poškozenou a nepoškozenou oblastí, kulatým a hladkým tvarem nátavu, především lokálním výskytem nátavů, odpovídajícími poškozeními na protilehlém vodiči, lokálním zvětšením nátavu, místně vytvořenými prohlubněmi, menšími nátavy na omezené ploše a vysokou vnitřní pórovitostí v příčném řezu nátavu. Mezi další projevy poškození elektrickým obloukem patří dle čl. 9.11.1.2 NFPA 921 [37] zářezy po stranách vodičů a zaoblené nebo nepravidelně tvarované konce vodičů. Na obrázku 20 jsou uvedeny příklady typických poškození, které byly způsobeny elektrickým obloukem.



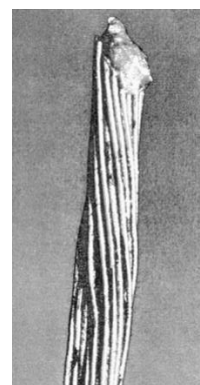
a)

Zářezy po stranách vodičů



b)

Zaobleně tvarovaný konec



c)

Nepravidelně tvarovaný konec

Obrázek 20: Příklady poškození měděných vodičů v důsledku elektrického oblouku, převzato z [37]

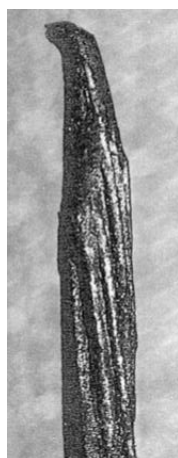
Oproti poškození vzniklému elektrickým obloukem je dle čl. 9.11.2 NFPA 921 [37] poškození požárem na větší ploše a nevyznačuje se tak ostrým ohraničením mezi poškozenou a nepoškozenou oblastí. Mezi další projevy nátavů patří nepravidelný nebo

zaoblený tvar, hladké nebo nepravidelné konce vodičů, znatelnější účinky gravitační síly, rozšířená oblast poškození a nízká vnitřní pórovitost. Na obrázku 21 jsou uvedeny příklady typických poškození, které byly způsobeny požárem.



a)

Spojení vodičů dohromady



b)

Nepravidelný tvar nátavu



c)

Nepravidelný tvar nátavu

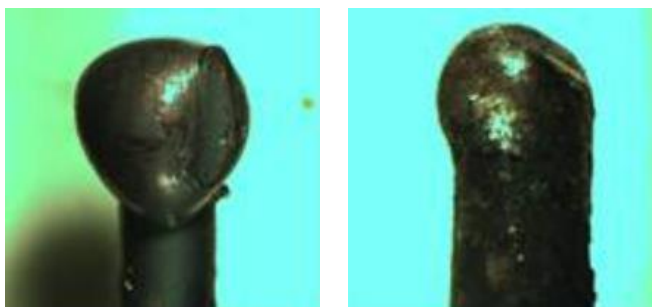
Obrázek 21: Příklady poškození měděných vodičů v důsledku požáru, převzato z [37]

V roce 2012 byla vypracována a publikována rozsáhlá zahraniční studie věnující se experimentálnímu určení rozlišujících znaků a charakteristik nátavů u nenapájených a napájených vodičů vystavených různému tepelnému namáhání. Na toto téma bylo vypracováno několik studií, ovšem řada z nich netestovala nenapájené a napájené kabely za dodržení stejných okrajových podmínek. Během provedeného experimentu byly testovány kabely s plnými vodiči o průřezu 4 mm^2 a $2,5 \text{ mm}^2$ a kabely se spletenými vodiči o průřezu $1,5 \text{ mm}^2$ a $0,75 \text{ mm}^2$. Kabely byly namáhány odlišnými testovacími metodami podle tepelného namáhání a zároveň s odlišnými napětíovými scénáři. V rámci prvního scénáře byly kabely vystaveny tepelným účinkům ve stavu bez napětí, následně byly testovány kabely pod napětím, ovšem bez odběru elektrické energie a posledním scénářem byl stav pod napětím s odběrem elektrické energie. Napětí se pohybovalo v rozmezí od 110 do 120 V a proud na zatížených vodičích v rozmezí 9 až 13 A [48].

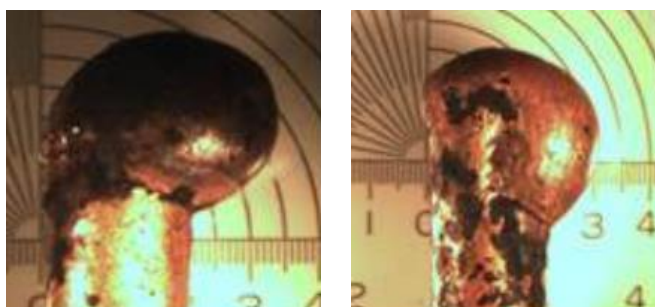
V první testovací metodě byly kabely vystaveny přímému účinku plamene z propylenového hořáku. Adiabatická teplota hořáku dosahovala přibližně 1982 °C . Kabel byl v případě scénáře bez napětí zkoušen do doby roztavení nebo přerušování vodiče a ve scénářích pod napětím do doby vypnutí jističe v důsledku vytvoření elektrického oblouku nebo zkratu. Každý typ kabelu byl testován šestkrát a celkem bylo provedeno 72 měření. Ve druhé metodě byly kabely vystaveny sálavému teplu v navrženém tunelovém zařízení s 1200 W infračervenými žárovkami, které vytvářely teplo a teplený tok dostačující k roztavení mědi. Ve třetí metodě byly vystaveny kabely tepelnému namáhání ve zmenšeném měřítku požární pece. Požární scénář probíhal od počínající fáze do plně

rozvinutého požáru s možností přívodu vzduchu. Ve čtvrté metodě byly kabely vystaveny tepelným účinkům při požární zkoušce v požární peci plného rozsahu. Obdobně jako u zmenšeného měřítka zkušební pece byly dráty vystaveny kombinovanému konvekčnímu a sálavému tepelnému namáhání. U každé testovací metody byla zaznamenána teplota, tepelný tok, proud, napětí, doba vypnutí a doba přestávky mezi opakovaným testováním. Po dokončení zkušebních metod byly vytvořené nátavy vyfotografovány stereomikroskopem s vysokým rozlišením a některé vzorky byly následně podrobně analyzovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) a elektronové disperzní spektrometrie (EDS). Pro vizuální a elementární charakteristiku nátavů byly vybrané vzorky analyzovány pod metalurgickým mikroskopem [48].

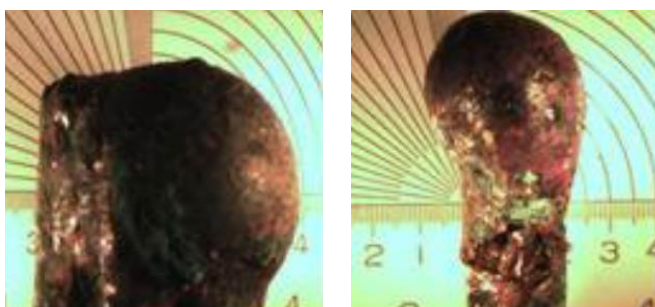
Na následujících obrázcích 22 až 25 jsou uvedeny reprezentativní snímky nátavů vytvořených na měděných vodičích z výsledků provedené zahraniční studie za rozdílného tepelného namáhání.



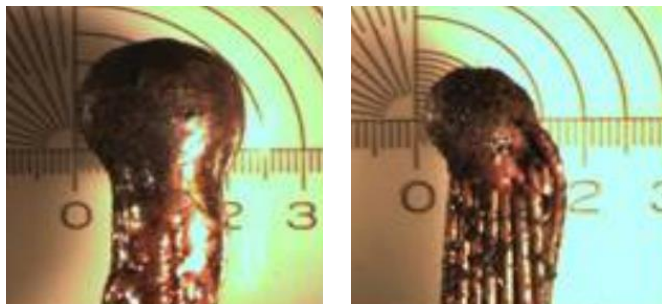
Obrázek 22: Nátavy vytvořené přímým působením plamene, převzato z [48]



Obrázek 23: Nátavy vytvořené v sálavém tunelu, převzato z [48]



Obrázek 24: Nátavy vytvořené ve zmenšeném měřítku požární pece, převzato z [48]



Obrázek 25: Nátavy vytvořené při velkorozměrové zkoušce v požární peci, převzato z [48]

Z provedené studie lze odvodit důležité závěry, především pro potřeby vyšetřovatelů požáru. Přítomnost nátavů na vodičích neposkytuje spolehlivou informaci o tom, jestli byl kabel v době požáru pod napětím nebo byl bez napětí. Zároveň nelze ze závěru experimentu výskytem nátavů jednoznačně dokázat, jestli byly vytvořeny příčinou protékajícího proudu nebo byly vytvořeny následkem požáru. Vyšetřovatelé požáru by se tak neměli spoléhat pouze na přítomnost nátavů, ale musí uvažovat i s dalšími okolnostmi. Provedené analýzy nátavů prostřednictvím rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM) a metodou energie disperzní spektrometrie (EDS) nedokládají společné trendy ve struktuře zrn nebo chemickém složení pro rozlišení mezi nátavy vzniklými na vodičích bez napětí v důsledku tání a nátavy vzniklých na vodičích pod napětím. Jednoznačné závěry nedokládají ani sledování demarkačních linií u nátavů pomocí metalurgického mikroskopu. Nátavy s jasnými demarkačními liniemi byly během experimentu této studie vytvořeny na vodičích, které byly pod napětím i na vodičích, které nebyly pod napětím [48].

6 Praktická část

Na teoretickou část a současný stav poznání přímo navazuje praktická část v rámci, které bylo provedeno experimentální měření. Na jádrech měděných vodičů se mohou tepelnými účinky požáru nebo účinky elektrické energie vytvořit nánavy, které mohou vyšetřovatelům pomoci při určení konkrétní příčiny vzniku požáru. Hlavním smyslem této části je doložit samotné vytvoření nánavů u běžně používaných volně vedených silových kabelů dostupných na českém trhu. A u vzniklých nánavů následně nalézt a identifikovat rozlišující znaky a trendy ve změnách jejich struktury nebo jejich tvarech v závislosti na odlišných zatěžovacích stavech a odlišných průřezech vodičů.

Výstupem této praktické části jsou snímky vnějšího povrchu kabelu pořízené okamžitě po ukončení měření a dále snímky samotných nánavů pořízené prostřednictvím elektronového mikroskopu s několikanásobným zvětšením. Všechny pořízené snímky kabelů a nánavů včetně specifického kódového značení, které je vysvětleno v následujících podkapitolách, jsou uvedeny v příloze 1 této diplomové práce.

6.1 Hypotéza pro experimentální ověření

Před samotným počátkem měření byla stanovena základní hypotéza, která vychází z teoretického základu a která bude v závěru této práce zhodnocena. Jak dokládají výsledky zahraničních studií, nánavy se mohou vytvořit na měděných vodičích, které jsou pod napětím nebo na vodičích bez napětí. Po dosažení teploty tání mědi se roztavený kov chová obdobně jako kapalina a lze na něj uplatnit základní fyzikální zákony. Za tvarem nánavů do tvaru kuliček stojí povrchové napětí. Rztavená měď má tendenci dosáhnout takového povrchu, při kterém bude zabírat minimální obsah. Dokonalý tvar nánavů však narušují ostatní působící vlivy společně s gravitační silou [48].

Hlavním předpokladem pro tvorbu nánavů na měděných vodičích je tedy dosažení teploty tání mědi. Zda budou vodiče vystaveny teplenému namáhání bez napětí, pod napětím bez odběru elektrické energie nebo pod napětím s odběrem elektrické energie by na vytvoření nánavů nemělo mít zásadní vliv. V rámci tohoto měření byly vzorky kabelů vystaveny pouze lokálnímu tepelnému namáhání. Z tohoto důvodu je doporučeno, navázat na výsledky této diplomové práce a podrobit vzorky kabelů širšímu rozsahu tepelného namáhání.

Během analýzy vzniklých nánavů budou dále vyhodnocovány změny v tvarech nebo viditelné změny ve struktuře v závislosti na zatěžovacím stavu, kterým byly vzorky kabelů vystaveny a průřezu vodiče. Tyto a další závěry jsou uvedeny na konci této části.

6.2 Popis experimentu

Pro experimentální měření a analýzu vzniklých nánavů byly použity běžně dostupné trojžilové silové kabely od průřezu 0,5 mm² do průřezu 1,5 mm² s pletenými měděnými vodiči. Kabely byly vystavovány přímému působení plamene z plynového hořáku při rozdílných zatěžovacích stavech. Všechny testované vzorky kabelů byly před vystavením tepelnému namáhání nejprve upraveny do požadované podoby. V následujících podkapitolách budou podrobněji popsány okrajové podmínky provedení experimentu.

6.2.1 Vzorky kabelů

Zkoušené silové kabely s pletenými měděnými jádry byly pořízeny z běžného obchodního řetězce a jedná se o kabely vyrobené německou firmou HSB Elektro GmbH. Z níže uvedené tabulky 24 jsou patrné upřesňující specifikace kabelů.

Tabulka 24: Přehled a popis použitých kabelů

Popis kabelu	Délka kabelu	Barva kabelu	Průřez vodiče	Počet vodičů v kabelu
H03 VV-F 3G0,5 mm ²	20 m	Bílá	0,5 mm ²	3
H03 VV-F 3G0,75 mm ²	20 m	Bílá	0,75 mm ²	3
H05 VV-F 3G1 mm ²	20 m	Bílá	1,0 mm ²	3
H05 VV-F 3G1,5 mm ²	20 m	Bílá	1,5 mm ²	3

6.2.1.1 Systém značení vzorků kabelů

Pro vzájemné rozlišení jednotlivých vzorků kabelů před a po tepelném namáhání byl pro účely této diplomové práce vytvořen specifický systém značení, který zahrnuje informaci o průřezu vodiče, zatěžovacím stavu a pořadovém čísle vzorku.

$$X - X - X$$

Na první pozici značení je uveden přímo průřez vodiče (0.5; 0.75; 1.0; 1.5), na druhém místě značení je uvedena informace o zatěžovacím stavu (A referenční stav, kdy je vzorek kabelu vystaven pouze tepelnému namáhání; B, kdy je vzorek kabelu vystaven tepelnému namáhání, a navíc je vzorek kabelu pod napětím; C, kdy je vzorek kabelu vystaven tepelnému namáhání je pod napětím, a navíc je zapojeno elektrické zařízení s odběrem elektrické energie). Na třetím místě značení je uvedeno pořadové číslo vzorku kabelu (u zatěžovacího stavu A byla provedena dvě referenční měření a u zatěžovacích stavů B a C bylo provedeno celkem šest měření pro každý průřez vodiče).

Příkladem takového značení je 0.5-C-2, kde se jedná o vzorek kabelu s průřezem vodiče 0,5 mm² vystavenému tepelnému namáhání, zároveň pod napětím, s odběrem elektrického proudu a celkem druhý v pořadí. V následujících částech budou jednotlivé snímky a fotografie popisovány systémem využívajícího tohoto značení.

6.2.1.2 Příprava vzorků kabelů

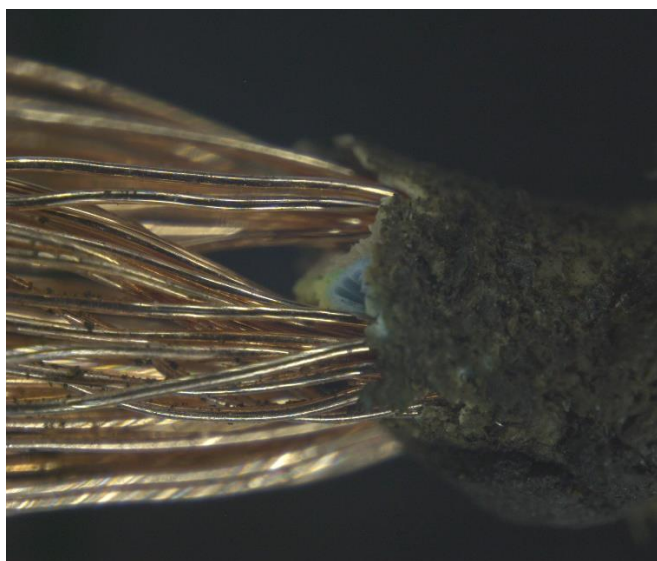
Jednotlivé kabely byly rozděleny na vzorky o délce 360 mm, dále bylo z obou stran vzorku kabelu odstraněno přibližně 40 mm kabelového pláště a následně bylo odstraněno přibližně 10 mm izolace vodiče. Konce vzorků kabelů byly pro snadnou manipulaci a uchycení k měřicímu zařízení opatřeny lisovacími dutinkami. Takto připravené vzorky kabelů byly označeny systémem značení popsaným v předchozí podkapitole a následně byly vystaveny tepelnému namáhání. Příklad připraveného vzorku kabelu je uveden na obrázku 26.



Obrázek 26: Příklad připraveného vzorku kabelu před vystavením tepelnému namáhání

Po ukončení zkoušky byla u každého ze vzorků kabelu zdokumentována zuhelnatělá část pro následnou analýzu vnějšího povrchu. Takto bylo postupováno u všech průřezů vodičů. Před samotnou analýzou vzniklých nátavů pod elektronovým mikroskopem byly vzorky zbaveny zuhelnatělé části izolace. Pro odstranění zuhelnatělé části izolace byly vzorky kabelů leptány acetonem (C_3H_6O).

Na obrázku 27 je viditelný detail, do jaké podoby byly vzorky kabelů leptány pro následnou analýzu vzniklých nátavů. Z níže uvedeného obrázku je patrné rozhraní mezi začištěnými měděnými jádry a zbývající částí vzorku kabelu.



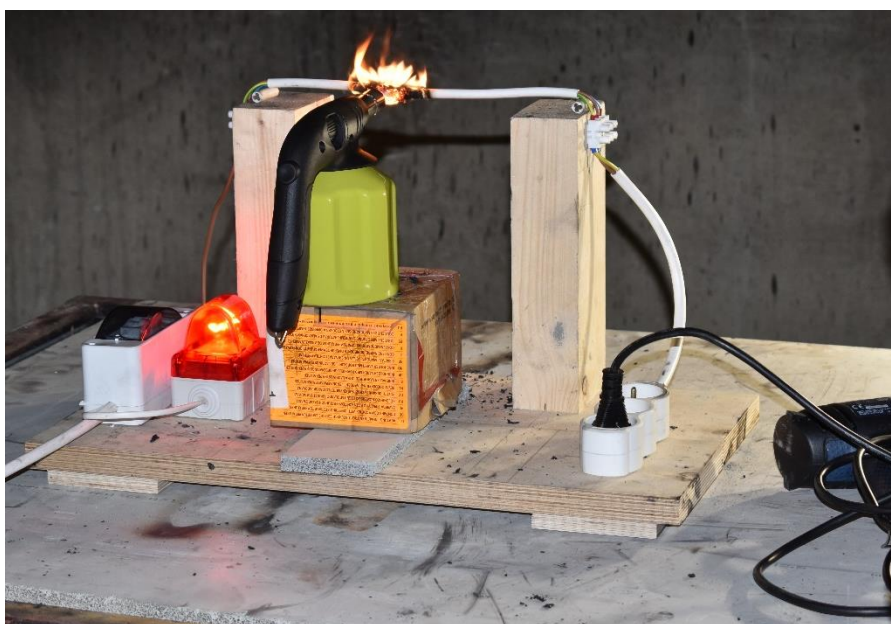
Obrázek 27: Rozhraní mezi lankami měděného vodiče a zbývající částí vzorku kabelu

6.2.2 Měřicí zařízení

Měřicí zařízení bylo složeno z pevných a flexibilních částí. Flexibilní částí je vzorek kabelu, který byl po každém ukončení zkoušky vyměněn. Pevná část měřicího zařízení je složena z podkladní desky a dvou pilířů z dřevěných hranolů, mezi kterými byl veden vzorek kabelu. Pro možnost navození zatěžovacího stavu B a stavu C bylo součástí měřicího zařízení kabelové vedení a několikanásobná zásuvka určená pro zapojení horkovzdušné pistole s příkonem 2000 W. Zhruba uprostřed rozponu dřevěných hranolů, mezi kterými byl veden testovací vzorek kabelu byl umístěn plynový hořák s butanovou náplní. U vzorků kabelu s průřezem 0,5 mm² byl použit plynový hořák s menším výkonem a plamenem o teplotě dosahující maximálně 1100 °C. U ostatních vzorků kabelů byl použit plynový hořák s větším rozsahem přímo působícího plamene a teplotou dosahující maximálně 1250 °C.

V obou případech se jedná o teplotu přesahující teplotu tání mědi, která by dle základní hypotézy experimentu měla zajistit požadované vytvoření nátavů na měděných vodičích. Pro uchycení vzorků kabelů byly na bocích dřevěných hranolů umístěny svorky, do kterých byly opakovaně vzorky kabelů před každým měřením uchycovány.

Další důležitou součástí měřicího zařízení je jisticí prvek, který byl umístěn na podkladní desce a jeho funkcí je chránit obvod proti účinkům nadproudu. Jedná se o jistič iC60N B 10 A od firmy Schneider Electric. Během zkoušky může být při zatěžovacím stavu B a stavu C izolace mezi vodiči natolik tepelně degradována, že se vodiče přiblíží. Přiblížení vodičů může vyvolat zkratový proud, na který reaguje umístěný jisticí prvek odpojením obvodu. Dalším bezpečnostním prvkem měřicího zařízení bylo červené světlo indikující stav pod napětím. Na obrázku 28 je viditelné měřicí zařízení během probíhající zkoušky.



Obrázek 28: Měřicí zařízení během probíhající zkoušky v zatěžovacím stavu B

6.2.3 Zatěžovací stavy

Pro měření bylo uvažováno s celkem třemi zatěžovacími stavy, kde každý z nich může vést ke vzniku a vytvoření nánavů. V prvním zatěžovacím stavu A byly vzorky vystaveny pouze tepelným účinkům plynového hořáku bez napětí a bez odběru elektrické energie. Takto definovaný zatěžovací stav slouží jako referenční a pro každý průřez kabelu bylo měření opakováno dvakrát. V rámci prvního referenčního stavu byl vzorek kabelu vystaven účinkům tepelného namáhání po dobu dvou minut bez vnějšího zásahu (značeno X-A-1). V rámci druhého referenčního stavu byl vzorek kabelu vystaven účinkům tepelného namáhání po dobu pěti minut (značeno X-A-2). U tohoto stavu byla během zkoušky odstraňována zuhelnatělá část tak, aby došlo k přímému tepelnému namáhání měděných jader vodičů. Celkem bylo provedeno osm měření pod tímto zatěžovacím stavem.

V dalším zatěžovacím stavu B byly vzorky kabelů vystaveny tepelnému namáhání a zároveň byly vzorky během celé doby zkoušky pod napětím. Hodnota síťového napětí dosahovala 230 V. Tento zatěžovací stav byl měřen pro každý průřez kabelu šestkrát. Celkem bylo provedeno dvacet čtyři měření pod tímto zatěžovacím stavem.

Posledním zatěžovacím stavem, kterým byly vystaveny vzorky kabelů, byl zatěžovací stav C. Oproti zatěžovacímu stavu B bylo do několikanásobné zásuvky, která je součástí měřícího zařízení zapojen elektrický spotřebič s příkonem 2000 W. Hodnota procházejícího elektrického proudu byla měřena klešťovým multimetrem Mastech M52128. Naměřené hodnoty procházejícího elektrického proudu se pohybovali od 8,6 A do 9 A. Zatěžovací stav C byl měřen pro každý průřez kabelu šestkrát a celkem bylo vytvořeno dvacet čtyři měření pod tímto zatěžovacím stavem.

6.2.4 Ukončovací stavy

Kvůli odlišným zatěžovacím stavům byl během měření rozlišován a zaznamenáván čas a způsob selhání vzorku kabelu. Bez ohledu na zatěžovací stav nebo průřez vodiče byl počátek zkoušky vždy uvažován od přiložení a zapnutí plynového hořáku k testovacímu vzorku kabelu.

U zatěžovacího stavu A byl každý vzorek vystaven pouze tepelnému namáhání plamene plynového hořáku po stanovenou dobu. S ohledem na způsob zapojení a umístění vzorku byl přípustný pouze jediný ukončovací stav. Ukončení zkoušky vzorku kabelu bylo po stanovenou dobu zajištěno vypnutím plynového hořáku.

U zatěžovacího stavu B byl každý vzorek kabelu pod napětím a zároveň byl vystaven tepelnému namáhání plamene plynového hořáku. Tento zatěžovací stav umožňuje hned několik ukončovacích stavů. Prvním ukončovacím stavem je po vybavení jističe umístěném na podkladní desce. Při nadproudu jistič reaguje a odpojí chráněný obvod, jehož součástí je část testovacího vzorku kabelu. Po vybavení jističe byl z dosahu vzorku kabelu odebrán

plynový hořák. Dalším uvažovaným ukončovacím stavem je po vybavení proudového chrániče s označením iDPN N Vigi B 16 A určeném pro 230 V s tolerancí 30 mA od firmy Schneider Electric. Proudový chránič je umístěn v rozvodné skříni požární laboratoře na UCEEB. Takový ukončovací stav nastal v případě, kdy byla teplená izolace vodičů natolik degradována, že došlo k dotyku mezi ochranným a středním vodičem. V případě, kdy nedošlo k vybavení jističe, nebo proudového chrániče byl vzorek kabelu ponechán pod zatěžovacím stavem B po dobu 5 min bez vnějšího zásahu a následně bylo měření ukončeno vypnutím plynového hořáku a vypojením obvodu ze sítě.

U zatěžovacího stavu C byl každý vzorek pod napětím, byl vystaven tepelnému namáhání plamene plynového hořáku a zároveň byl do několikanásobné zásuvky zapojen elektrický spotřebič. Ukončovací stavy jsou pro zatěžovací stav C totožné se zatěžovacím stavem B.

6.3 Analýza výsledků měření

V této části budou uvedeny vybrané snímky jednotlivých vzorků kabelu včetně jejich specifického popisu. U každého vzorku kabelu byl po ukončení zkoušky pořízen snímek zuhelnatělé části pro následnou analýzu vnějšího povrchu. Tento snímek byl pořízen fotoaparátem Nikon D5600 s objektivem NIKON 18-55 mm f/3,5-5,6 G VR AF-P DX. Vzniklé nátvary byly sledovány pod elektronovým mikroskopem AXIO Zoom.V16 od společnosti ZEISS, který umožňuje několikanásobné zvětšení a zároveň pořízení snímku. Všechny pořízené snímky a fotografie jsou součástí přílohy 1 této diplomové práce.

Na obrázku 29 je uvedeno charakteristické chování všech vzorků kabelu, které byly vystaveny tepelnému namáhání. Během probíhající zkoušky byl na vzorku kabelu vytvořen útvar, který částečně chránil vzorek kabelu a oddaloval ukončovací stav. V rámci zatěžovacího stavu A byl vždy u druhého z referenčních vzorků tento útvar odstraňován, tak aby byly teplotně namáhány pouze jádra měděných vodičů.



Obrázek 29: Charakteristický útvar vytvořený z materiálu pláště vzorku kabelu

6.3.1 Zaznamená data

U každého vzorku kabelu byl po zahájení zkoušky změřen a zaznamenán čas do ukončovacího stavu. V následujících tabulkách 25 až 28 jsou uvedeny ukončovací stavy, časy ukončení, velikosti proudu u zatěžovacího stavu C a informace o vytvoření nebo nevytvoření nátavu. Vizuální podoba nátavu je následně uvedena v příloze 1 této diplomové práce.

Tabulka 25: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm²

Označení	Ukončovací stav	Čas ukončení	Velikost proudu	Vznik nátavu
0.5-A-1	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu	2:00	-	NE
0.5-A-2	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem	5:00	-	ANO
0.5-B-1	Vybavení jističe	0:37	-	ANO
0.5-B-2	Vybavení jističe	1:10	-	ANO
0.5-B-3	Vybavení proudového chrániče	0:58	-	NE
0.5-B-4	Vybavení proudového chrániče	0:49	-	NE
0.5-B-5	Vybavení proudového chrániče	1:54	-	ANO
0.5-B-6	Vybavení jističe	0:52	-	ANO
0.5-C-1	Vybavení jističe	1:29	8,9 A	ANO
0.5-C-2	Vybavení proudového chrániče	0:45	8,9 A	NE
0.5-C-3	Vybavení jističe	0:41	8,9 A	ANO
0.5-C-4	Vybavení proudového chrániče	0:46	8,9 A	NE
0.5-C-5	Vybavení jističe	0:32	8,9 A	ANO
0.5-C-6	Vybavení jističe	0:51	8,9 A	ANO

Tabulka 26: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 0,75 mm²

Označení	Ukončovací stav	Čas ukončení	Velikost proudu	Vznik nátavu
0.75-A-1	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu	2:00	-	NE
0.75-A-2	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem	5:00	-	ANO
0.75-B-1	Vybavení jističe	0:39	-	ANO
0.75-B-2	Vybavení jističe	0:27	-	ANO
0.75-B-3	Vybavení proudového chrániče	0:31	-	ANO
0.75-B-4	Vybavení proudového chrániče	0:35	-	NE
0.75-B-5	Vybavení proudového chrániče	0:31	-	NE
0.75-B-6	Vybavení jističe	0:27	-	ANO
0.75-C-1	Vybavení proudového chrániče	0:31	8,8 A	NE
0.75-C-2	Vybavení proudového chrániče	0:36	9 A	NE
0.75-C-3	Vybavení jističe	0:38	8,8 A	ANO

0.75-C-4	Vybavení proudového chrániče	0:31	8,8 A	NE
0.75-C-5	Vybavení jističe	0:36	8,8 A	ANO
0.75-C-6	Vybavení jističe	0:34	8,8 A	ANO

Tabulka 27: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 1,0 mm²

Označení	Ukončovací stav	Čas ukončení	Velikost proudu	Vznik nátavu
1-A-1	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu	2:00	-	NE
1-A-2	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem	5:00	-	ANO
1-B-1	Vybavení jističe	0:46	-	ANO
1-B-2	Vybavení jističe	0:36	-	ANO
1-B-3	Vybavení jističe	0:41	-	ANO
1-B-4	Vybavení jističe	0:49	-	ANO
1-B-5	Vybavení jističe	0:55	-	ANO
1-B-6	Vybavení jističe	0:37	-	ANO
1-C-1	Vybavení jističe	0:56	8,8 A	ANO
1-C-2	Vybavení jističe	0:53	8,8 A	ANO
1-C-3	Vybavení jističe	0:55	8,8 A	ANO
1-C-4	Vybavení jističe	0:50	8,7 A	ANO
1-C-5	Vybavení jističe	0:51	8,7 A	ANO
1-C-6	Vybavení jističe	0:41	8,7 A	ANO

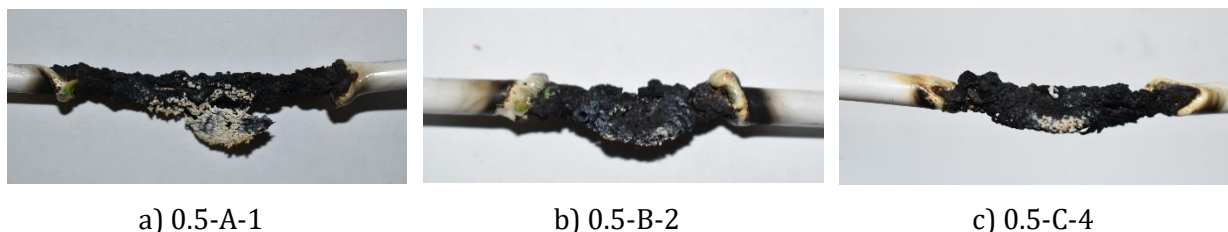
Tabulka 28: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 1,5 mm²

Označení	Ukončovací stav	Čas ukončení	Velikost proudu	Vznik nátavu
1.5-A-1	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu	2:00	-	NE
1.5-A-2	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem	5:00	-	ANO
1.5-B-1	Vybavení jističe	0:53	-	ANO
1.5-B-2	Vybavení jističe	1:59	-	ANO
1.5-B-3	Vybavení jističe	2:31	-	ANO
1.5-B-4	Vybavení jističe	1:37	-	ANO
1.5-B-5	Vybavení jističe	1:08	-	ANO
1.5-B-6	Ukončení zkoušky po 5 min	5:00	-	NE
1.5-C-1	Vybavení jističe	0:59	8,6 A	ANO
1.5-C-2	Vybavení jističe	1:33	8,7 A	ANO
1.5-C-3	Vybavení jističe	1:24	8,7 A	ANO
1.5-C-4	Vybavení jističe	1:49	8,7 A	ANO
1.5-C-5	Vybavení jističe	2:55	8,6 A	ANO
1.5-C-6	Vybavení jističe	1:26	8,9 A	ANO

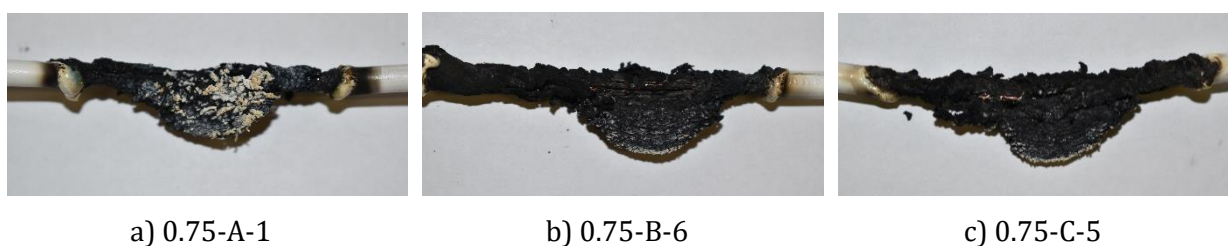
Cílem měření v rámci praktické části bylo vytvoření takových okrajových podmínek, při kterých dojde na měděných jádrech silových kabelů k tvorbě nátavů. Celkem bylo provedeno padesát šest měření s kabely o průřezech vodičů od 0,5 mm² do 1,5 mm². U vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm² a 0,75 mm² bylo ukončení zkoušky mimo vybavení jističe a odstranění plynového hořáku umožněno vybavením proudového chrániče. Ovšem takový ukončovací stav dle uvedených dat nepřinášel tížený efekt v tvorbě nátavů. Proto bylo u následujících vzorků kabelu s průřezem vodiče 1,0 mm² a 1,5 mm² od tohoto ukončovacího stavu opuštěno. Z tohoto důvodu bylo měřící zařízení upraveno a ze svorky, která je pevnou součástí měřícího zařízení, byl odpojen ochranný vodič. Tato úprava měla za následek, že u vzorků kabelů s průřezy 1,0 mm² a 1,5 mm² docházelo pouze k vybavení jističe, tzn. ke zkratu nebo byla zkouška ukončena odstraněním plynového hořáku.

6.3.2 Analýza vnějšího povrchu

Na obrázcích 30 až 33 jsou uvedeny vybrané snímky vnějších povrchů vzorků kabelů, které byly pořízeny po ukončovací stavu. Na obrázku a) je vždy vybraný útvar vzniklý po zatěžovacím stavu A, na obrázku b) je útvar vzniklý po zatěžovacím stavu B a na obrázku c) je útvar vzniklý po zatěžovacím stavu C. Jedná se o zuhelnatělou část izolace pláště kabelu, která v důsledku vysoké teploty namáhající lokálně vzorek kabelu degradovala a vytvořila specifický útvar. Velká část vzorků kabelu vykazuje stejné charakteristické rysy a tvary útvarů, které na nich byly vytvořeny. Zbývající fotografie včetně níže uvedených jsou součástí rozsáhlé přílohy 1 této diplomové práce.



Obrázek 30: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm²



Obrázek 31: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,75 mm²



a) 1-A-1

b) 1-B-2

c) 1-C-4

Obrázek 32: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1 mm²

a) 1.5-A-1

b) 1.5-B-3

c) 1.5-C-3

Obrázek 33: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1,5 mm²

6.3.3 Analýza vzniklých nátavů

Stejně jako v předchozí podkapitole budou na následujících obrázcích 34 až 37 uvedeny vybrané vzniklé nátavy. Na obrázku a) je vždy vybraný nátav vzniklý v důsledku zatěžovacího stavu A, na obrázku b) je nátav vzniklý v důsledku zatěžovacího stavu B a na obrázku c) je nátav vzniklý v důsledku zatěžovacího stavu C. Zavedený systém označení je doplněn o hodnotu zvětšení, které bylo u elektronového mikroskopu nastaveno během pořízení snímku. Pro zachycení prostorového rozmístění a chování v okolí místa vzniku nátavu nebyly vzniklé nátavy separovány a fotografovány zvláště jako v uváděných zahraničních publikacích. Zbývající snímky včetně níže uvedených jsou součástí rozsáhlé přílohy 1 této diplomové práce.

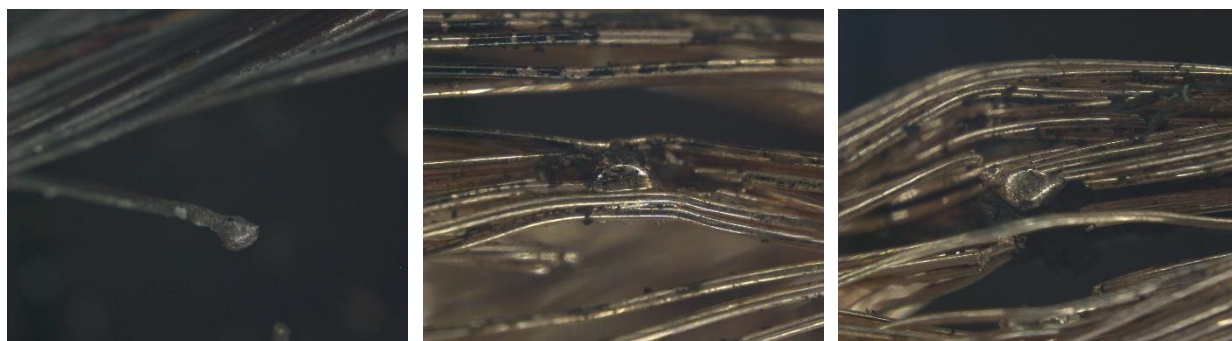


a) 0.5-A-2-(12,5× zvětšeno)

b) 0.5-B-6-(16× zvětšeno)

c) 0.5-C-5-(10,5× zvětšeno)

Obrázek 34: Vybrané nátavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm²



a) 0.75-A-2-(16× zvětšeno)

b) 0.75-B-6-(16× zvětšeno)

c) 0.75-C-6-(12,5× zvětšeno)

Obrázek 35: Vybrané nátavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,75 mm²

a) 1-A-2-(10,5× zvětšeno)

b) 1-B-3-(12,5× zvětšeno)

c) 1-C-6-(16× zvětšeno)

Obrázek 36: Vybrané nátavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1 mm²

a) 1.5-A-2-(10,5× zvětšeno)

b) 1.5-B-3-(10,5× zvětšeno)

c) 1.5-C-1-(16× zvětšeno)

Obrázek 37: Vybrané nátavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1,5 mm²

6.4 Shrnutí experimentu

Výše popsané okrajové podmínky experimentu uvažují ve všech případech s tepleným namáháním a přímým působením plamene na vzorek kabelu. Důvodem použití plynového hořáku u zatěžovacích stavů B a C bylo navození situace, při které bude porušena izolace mezi vodiči a dojde k přechodu elektrického proudu. V případě, kdy jsou součástí vzájemného kontaktu fázové vodiče, dochází ke zkratu. Ten je podle poskytnutých statistických dat v rámci sledovaného období v teoretické části této diplomové práce jednou

z nejčtetnějších příčin vzniku požáru na území České republiky. Podle poznatků teoretické části mohou být k sobě jednotlivé vodiče přiblíženy i díky mechanické síle, která na kabel působí. Tento stav je však dlouhodobý a v rámci této diplomové práce nebylo možné s ohledem na časové možnosti takový stav navodit. Princip svodového proudu a jeho důsledky jsou uvedeny v teoretické části v kapitole o událostech vedoucích ke vzniku požáru. Při následném prezentování výstupů z této diplomové práce je tak nutné brát ohled na mechanismus vedoucí k samotnému vzniku a vytvoření nátavů.

Z naměřených dat lze odvodit několik závěrů. U žádného vzorku kabelu v zatěžovacím stavu A (značeno X-A-1), kde byl vzorek namáhán pouze tepelným zatížením po dobu dvou minut bez vnějšího zásahu, nedošlo k vytvoření viditelných nátavů. Ovšem u všech vzorků kabelu v zatěžovacím stavu A (značeno X-A-2), u kterých byl vznikající zuhelnatělý útvar během zkoušky odstraňován, a zároveň byla doba vystavení prodloužena na pět minut, došlo k tvorbě nátavů. Tyto nátavy vykazují podobné zabarvení, které je způsobeno přímým vystavením měděného jádra tepelnému namáhání. Na vodičích jsou tvořeny nátavy jak na koncích jednotlivých vláken jádra, tak jsou nátavy tvořeny na koncích vodičů sloučením hmoty několika vláken v jeden celek. Tento fakt dokládá obrázek 38, kde na obrázku a) je nátav vytvořený na konci vlákna vodiče u vzorku kabelu 1.5-A-2 a na obrázku b) je nátav vytvořený sloučením hmoty na konci vodiče u vzorku 1-A-2.



a) 1.5-A-2-(10,5× zvětšeno)

b) 1-A-2-(12,5× zvětšeno)

Obrázek 38: Příklad rozdílných tvarů nátavů vzniklých během zatěžovacího stavu A

Absenci výskytu nátavu u vzorků s označením X-A-1 podporuje případ vzorku 1.5-B-6, který byl pod napětím ovšem během zkoušky nedošlo k vybavení jističe a ukončení zkoušky tak nastalo až po časovém intervalu pěti minut, kdy byl odstraněn plynový hořák z dosahu vzorku kabelu. U tohoto vzorku, který byl vystaven tepelnému namáhání bez vnějšího zásahu, nedošlo k vytvoření viditelného nátavu. Dalším zjištěním je nevytvoření nátavů na vzorcích kabelu, u kterých došlo k ukončení zkoušky vybavením proudového chrániče. Výjimkou jsou vzorky 0.5-B-5 a 0.75-B-3, u kterých je předpokládáno, že došlo k současnému vybavení jističe a proudového chrániče. U všech ostatních vzorků, u kterých bylo ukončovacím stavem vybavení jističe, došlo k tvorbě viditelných nátavů.

7 Závěr

V této diplomové práci byly zkoumány a kvantifikovány vybrané poruchové stavy elektrických zařízení a elektrického vedení, v jejichž důsledku může dojít k iniciaci a následnému rozvoji požáru. Za určitých podmínek se na měděných vodičích kabelového vedení mohou vytvořit drobné nánavy, které mohou být následně vyšetřovateli vzniku požáru zkoumány. V rámci této diplomové práce bylo provedeno experimentální měření zajišťující tvorbu těchto nánavů. Samotné analýze vzniklých nánavů na měděných vodičích však předchází rozsáhlá a obsáhlá teoretická část. V této teoretické části jsou spojeny do souvislostí obecná fakta o požáru, elektrické energii a kabelového vedení se zaměřením na jednotlivé příčiny vzniku požáru a jim předcházející stavy, které jsou detailně popsány a rozděleny. Uváděné příčiny jsou v této diplomové práci podpořeny skutečnými počty požárů, které se udály na území České republiky od roku 2016 do roku 2020.

Před zahájením praktické části byla stanovena výchozí hypotéza, která byla experimentálním měřením částečně ověřena a potvrzena. Pro samotnou tvorbu nánavů je klíčová především teplota přesahující teplotu tání mědi. Pro možné sledování změn ve struktuře nebo tvarech nánavů bylo v rámci praktické části vytvořeno několik zatěžovacích stavů. V prvním zatěžovacím stavu byly vzorky vystaveny pouze tepelným účinkům plynového hořáku bez napětí a bez odběru elektrické energie. U tohoto zatěžovacího stavu, který slouží jako referenční, bylo následně rozlišováno mezi dvěma vzorky kabelu. Jeden z referenčních vzorků byl vystaven účinkům tepelného namáhání po dobu dvou minut bez vnějšího zásahu a druhý referenční vzorek kabelu byl vystaven účinkům tepelného namáhání po dobu pěti minut s vnějším zásahem. U dalšího zatěžovacího stavu byly vzorky kabelů vystaveny tepelnému namáhání a zároveň byly vzorky během celé doby zkoušky pod napětím. U posledního zatěžovacího stavu procházel vzorkem kabelu elektrický proud do doby ukončení zkoušky. Takový stav byl vyvozen po zapojení elektrického spotřebiče s určitým příkonem do zásuvky, která byla součástí měřícího zařízení. Po ukončení zkoušky byly vnější povrchy vzorků kabelů vyfotografovány pro následnou analýzu vnějšího povrchu. Po vyfotografování byly vzorky kabelu upraveny do takové podoby, která umožňovala jejich pozorování pod elektronovým mikroskopem umožňující několiknásobné přiblížení.

Vedle několika zatěžovacích stavů byly rovněž rozlišovány ukončovací stavy. U prvního zatěžovacího stavu byl s ohledem na způsob zapojení a umístění vzorku kabelu definován pouze jediný ukončovací stav. Ukončovacím stavem pro první zatěžovací stav, bylo vypnutí a odstavení plynového hořáku. Druhý zatěžovací stav umožňoval několik ukončovacích stavů. Prvním ukončovacím stavem bylo vybavení jističe, který byl umístěn na podkladní desce měřícího zařízení. Dalším uvažovaným ukončovacím stavem bylo vybavení proudového chrániče, který byl umístěn v rozvodné skříni požární laboratoře na UCEEB. Alternativním ukončovacím stavem, při kterém nedošlo k vybavení jističe nebo proudového

chrániče, bylo vypnutí a odstavení plynového hořáku. U posledního zatěžovacího stavu byly ukončovací stavy totožné s předchozím.

Jak dokládá příloha 1 této diplomové práce, nátavy byly vytvořeny za podmínek všech zatěžovacích stavů. U prvního zatěžovacího stavu byly však nátavy pozorovány pouze u druhého z referenčních vzorků. Tedy u vzorku kabelu, který byl vystaven tepelnému namáhání s vnějším zásahem. Z toho vyplývá, že pro tvorbu nátavu není dostatečné vystavit vzorek kabelu pouze tepelnému namáhání bez vnějšího zásahu. Po začátku zkoušky se na vzorcích kabelů začínaly tvořit specifické útvary, které směrem k působícímu plamenu nabývaly do určitého stádia na objemu. Tyto útvary ze zuhelnatělého materiálu kabelového pláště částečně chránily jádra vodičů, u kterých tak nedocházelo k tvorbě nátavů. Toto zjištění je doporučeno ověřit středně rozměrovou nebo velkorozměrovou zkouškou, během které budou vzorky kabelů vystaveny tepelnému namáhání po celé své délce, a nikoliv pouze lokálně. Ze struktury nebo tvaru vzniklých nátavů nelze pomocí vizuálního pozorování pod mikroskopem prokazatelně stanovit, zda byl nátav vytvořen ve stavu pouze pod napětím, nebo ve stavu pod napětím a zároveň s odběrem elektrické energie. Možným poznávacím znamením pro nátavy vytvořené pod druhým zatěžovacím stavem, tedy u vzorků kabelu vystavených tepelnému namáhání a zároveň pod napětím je podlouhlý tvar zrna nátavu a pokračující vlákno vodiče. U nátavů vzniklých pod posledním zatěžovacím stavem, při kterém bylo navíc zapojeno elektrické zařízení s určitým příkonem lze u několika vzorků sledovat spíše nátavy přibližující se tvaru kuličky. Rozdíly tak lze pozorovat pouze mezi nátavy vytvořenými vystavením tepelnému namáhání pod prvním zatěžovacím stavem a nátavy vytvořenými pod druhým a třetím zatěžovacím stavem.

U dvou vzorků kabelu, u kterých byl ukončovací stav navozen vybavením proudového chrániče a zároveň došlo k vytvoření nátavu lze předpokládat současný vznik zkratu a vybavení jističe. Během těchto konkrétních měření tak mohlo dojít k současnému vybavení proudového chrániče a jističe, který reagoval na vzniklý zkrat, který vedl k tvorbě nátavu. Toto zjištění lze ověřit navýšením počtu opakování, popřípadě úpravou okrajových podmínek experimentu.

Z vytvořených specifických útvarů na vzorcích kabelů nelze jednoznačně specifikovat, pod jakým zatěžovacím stavem vzorek kabelu během zkoušky byl, nebo jaký ukončovací stav byl důvodem ukončení zkoušky. Všechny tyto specifické útvary byly vytvořeny v důsledku okrajových podmínek experimentu a došlo k nim především lokálním tepelným namáháním.

Z teoretické části a dosaženého stavu poznání je v této diplomové práci plynule překročeno do praktické části, ve které bylo úspěšně provedeno experimentální měření vedoucí ke vzniku nátavů. Toto měření je opakovatelné a potvrzuje základní hypotézu experimentu. Analýza vnějšího povrchu nepřinesla jednoznačné závěry, ale mezi nátavy vzniklými pod prvním zatěžovacím stavem a zatěžovacími stavy pod napětím s a bez odběru elektrické energie lze pozorovat určité rozlišující znaky.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Trojúhelník hoření	16
Obrázek 2: Příklady zkušebních zařízení definované normami, převzato z [8]	23
Obrázek 3: Příklady normových konstrukcí kabelových tras, převzato z ČSN 73 0895 [10]	24
Obrázek 4: Rozdělení distribuční soustavy elektřiny v ČR, převzato z [18]	28
Obrázek 5: Příklad tavné pojistky NEOZED 10A D01 gG Siemens, převzato z [24]	34
Obrázek 6: Příklad jističe SH202-B32, převzato z [25]	35
Obrázek 7: Příklad proudového chrániče FH202 AC-63/0.3, převzato z [27]	36
Obrázek 8: Příklad obloukové ochrany S-ARC1 B16, převzato z [28]	38
Obrázek 9: Řez silovým kabelem H05VV-F 3G 0.75mm ²	41
Obrázek 10: Silové kabely (vlevo) s pletenými a (vpravo) s plnými měděnými vodiči	42
Obrázek 11: Příklad odlišného provedení měděného jádra vodiče	42
Obrázek 12: Příklad sdělovacího kabelu (kabel UTP Cat.6 4x2xAWG23)	55
Obrázek 13: Příklad kroucené dvojlinky (kabel U/UTP Cat.5e 4x2xAWG24)	56
Obrázek 14: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2016	59
Obrázek 15: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2017	59
Obrázek 16: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2018	60
Obrázek 17: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2019	60
Obrázek 18: Graf s požáry s příčinou technická závada za rok 2020	61
Obrázek 19: Příklad nátavů na hliníkovém vodiči, převzato z [37]	67
Obrázek 20: Příklady poškození měděných vodičů v důsledku elektrického oblouku, převzato z [37]	67
Obrázek 21: Příklady poškození měděných vodičů v důsledku požáru, převzato z [37]	68
Obrázek 22: Nátavy vytvořené přímým působením plamene, převzato z [48]	69
Obrázek 23: Nátavy vytvořené v sálavém tunelu, převzato z [48]	69
Obrázek 24: Nátavy vytvořené ve zmenšeném měřítku požární pece, převzato z [48]	69
Obrázek 25: Nátavy vytvořené při velkorozměrové zkoušce v požární peci, převzato z [48]	70
Obrázek 26: Příklad připraveného vzorku kabelu před vystavením tepelnému namáhání	73
Obrázek 27: Rozhraní mezi lankami měděného vodiče a zbývající částí vzorku kabelu	73
Obrázek 28: Měřicí zařízení během probíhající zkoušky v zatěžovacím stavu B	74
Obrázek 29: Charakteristický útvar vytvořený z materiálu pláště vzorku kabelu	76
Obrázek 30: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm ²	79
Obrázek 31: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,75 mm ²	79
Obrázek 32: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1 mm ²	80

Obrázek 33: Vybrané útvary vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1,5 mm ²	80
Obrázek 34: Vybrané nánavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm ²	80
Obrázek 35: Vybrané nánavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 0,75 mm ²	81
Obrázek 36: Vybrané nánavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1 mm ²	81
Obrázek 37: Vybrané nánavy vzniklé u vzorků kabelů s průřezem vodiče 1,5 mm ²	81
Obrázek 38: Příklad rozdílných tvarů nánavů vzniklých během zatěžovacího stavu A.....	82

Seznam tabulek

Tabulka 1: Třídy reakce na oheň pro elektrické kabely včetně kritérií přijatelnosti, převzato z [5]	22
Tabulka 2: Označení tříd funkčnosti kabelových tras, převzato z [9]	24
Tabulka 3: Třídy reakce na oheň kabelových tras napájející vybraná PBZ, převzato a upraveno z [9]	25
Tabulka 4: Hladiny napětí v elektrizační soustavě, převzato z [15]	27
Tabulka 5: Průřezy vodičů odboček dle ČSN 33 2130 ed.3, převzato z [20]	30
Tabulka 6: Značení pojistkových vložek, převzato z [14]	34
Tabulka 7: Rozsahy okamžitého vypínání ČSN EN 60898-1 ed.2, převzato z [26] a doplněno [14]	35
Tabulka 8: Systém značení, převzato a upraveno z [21]	39
Tabulka 9: Trojfázové sítě střídavého napětí (evropský systém), převzato a doplněno z [31], [21]	39
Tabulka 10: Vztah k normám, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	44
Tabulka 11: Jmenovité napětí, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	44
Tabulka 12: Výběr izolačních a plášťových materiálů, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	45
Tabulka 13: Kovová krytí, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	45
Tabulka 14: Speciální konstrukční prvky, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	45
Tabulka 15: Výběr speciálních konstrukcí kabelu, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	45
Tabulka 16: Materiál jádra, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	45
Tabulka 17: Výběr typu jader, převzato z ČSN 34 7409 ed.2 [34]	45
Tabulka 18: Barevné označení vodičů dle ČSN 33 0165 ed.2, převzato a upraveno z [35]	46
Tabulka 19: Kódové označení vodičů dle ČSN 33 0165 ed.2, převzato z [35]	47
Tabulka 20: Příklady hodnot parametrů izolantu z PVC, převzato z [13]	51
Tabulka 21: Legenda třídy iniciátoru, poskytnuto GŘ HZS ČR	58
Tabulka 22: Legenda iniciace zařízením, poskytnuto GŘ HZS ČR	58
Tabulka 23: Počty požárů v rámci České republiky, převzato z [45] a doplněno	58
Tabulka 24: Přehled a popis použitých kabelů	72
Tabulka 25: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 0,5 mm ²	77
Tabulka 26: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 0,75 mm ²	77
Tabulka 27: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 1,0 mm ²	78
Tabulka 28: Zaznamenaná data pro vzorky kabelů s průřezem vodiče 1,5 mm ²	78

Literatura

- [1] PECL, Jan. *Konsppekty odborné přípravy I - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. [vid. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/konsppekty-odborne-pripravy-i.aspx?q=Y2hudW09Ng%3d%3d>
- [2] INFO@AION.CZ, AION CS-. 246/2001 Sb. Vyhláška o požární prevenci. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246>
- [3] KISLINGER, Radek. *Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP*. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2015. ISBN 978-80-86466-72-9.
- [4] ČSN EN ISO 13943: 2018 *Požární bezpečnost - Slovník*
- [5] ČSN EN 13501-6 ed. 2: 2019 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 6: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň silových, řídicích a komunikačních kabelů*
- [6] ČSN 73 0802 ed.2: 2020 *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*
- [7] ČSN EN 13501-1: 2019 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*
- [8] 2858_allkabel_BezhalogenoveKabely.2017.pdf [online]. [vid. 2021-12-03]. Dostupné z: http://www.allkabel.eu/upload/attachments/2858_allkabel_BezhalogenoveKabely.2017.pdf
- [9] ČSN 73 0848: 2009 *Požární bezpečnost staveb - Kabelové rozvody + Z1: 2013 + Z2: 2017*
- [10] ČSN 73 0895: 2016 *Požární bezpečnost staveb - Zachování funkčnosti kabelových tras v podmínkách požáru - Požadavky, zkoušky, klasifikace Px-R, PHx-R a aplikace výsledků zkoušek*
- [11] INFO@AION.CZ, AION CS-. 23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2021-12-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23>
- [12] INFO@AION.CZ, AION CS-. 268/2011 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-268>
- [13] TKOTZ, Klaus a Jiří HANDLÍŘ. *Příručka pro elektrotechnika*. Praha: Europa - Sobotáles, 2002. ISBN 978-80-86706-00-9.
- [14] GARLÍK, Bohumír. *Technická zařízení budov: elektrická instalace v budovách*. 2017. ISBN 978-80-01-06342-2.


- [15] KOSTKA, Tomáš a Eva NAVRÁTILOVÁ. *VYBRANÉ KAPITOLY Z TECHNOLOGIE PRO OBORY - PDF Stažení zdarma* [online]. [vid. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6236695-Vybrane-kapitoly-z-technologie-pro-obory.html>
- [16] INFO@AION.CZ, AION CS-. 458/2000 Sb. Energetický zákon. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [17] ČEPS, a.s. [online]. [vid. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/technicka-infrastruktura>
- [18] KURZY.CZ. *Distributoři elektřiny* | *Kurzy.cz* [online]. [vid. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/distributori>
- [19] ČSN 33 3320 ed. 2: 2014 *Elektrotechnické předpisy - Elektrické přípojky + Z1: 2020*
- [20] ČSN 33 2130 ed. 3: 2014 *Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody + Z1: 2018*
- [21] MUDRUŇKOVÁ, Anna. Elektrické sítě a vodiče. *Elektrotechnické materiály VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křižíka* [online]. 2016 [vid. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/260/01.html>
- [22] HAVLÍČEK, Radek a Vladimír KŮLA. *Bezpečnostní předměty na FEL ČVUT* [online]. B.m.: FEL ČVUT. [vid. 2021-10-01]. Dostupné z: <http://bezpecnost.feld.cvut.cz/tzp/indexs.php?obsah=materialy&obor=ib&lg=cz>
- [23] SANŽA ŠAFRÁNEK, Ondřej. Technický ústav požární ochrany - Metodické pokyny a popis základních souvislostí mezi vznikem požáru a působením elektrické energie a popis mechanismů stojících za vznikem požáru pro účely vyšetřovatelů HZS. In: . Pro Technický ústav požární ochrany Praha vyrobilo Videostudio Institutu ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč. B.m. 2016.
- [24] 5SE2310 | *Tavná pojistka NEOZED 10A D01 gG Siemens* | *RS Components* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/keramicke-pojistky/6221051>
- [25] SH202-B32 | ABB. *SmartLinks* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/cs/2CDS212001R0325/sh202-b32>
- [26] ČSN EN 60898-1 ed. 2: 2019 *Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací - Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC)*
- [27] FH202 AC-63/0.3 | ABB. *SmartLinks* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/cs/2CSF202006R3630/fh202-ac-63-0-3>
- [28] S-ARC1 B16 | ABB. *SmartLinks* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/cs/2CSA255901R9165/s-arc1-b16>
- [29] ČSN EN 62606: 2014 *Obecné požadavky na obloukové ochrany + A1: 2018*
- [30] SANŽA ŠAFRÁNEK, Ondřej. Odborné konzultace s vedoucím oddělení požárně technických expertiz a expertem pro požárně technické expertizy. 22. říjen 2021

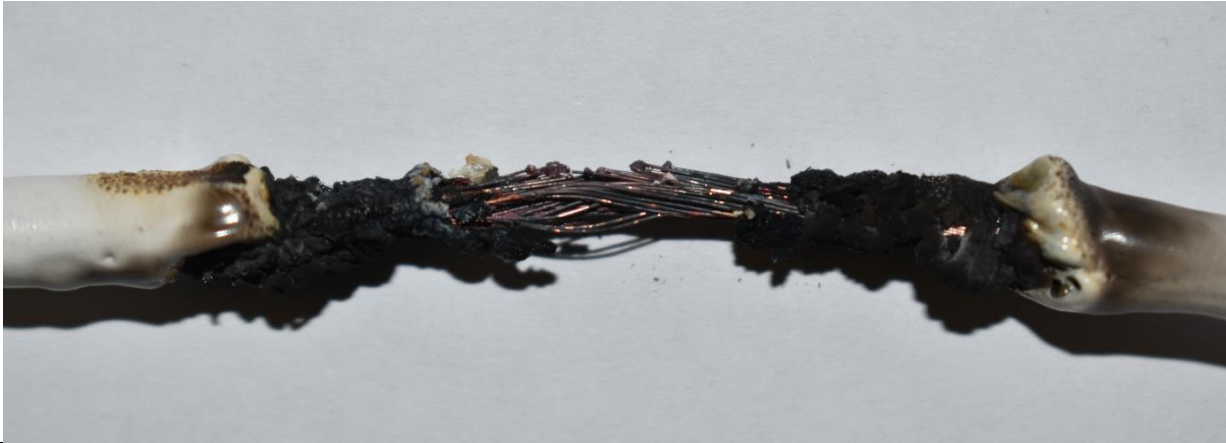

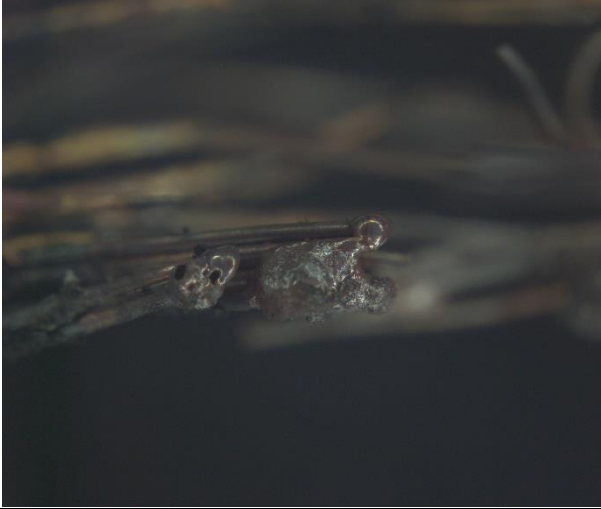
- [31] Elektrické sítě pro přenos energie. *TZB-info* [online]. [vid. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/6647-elektricke-site-pro-prenos-energie>
- [32] SCHENK, Ferdinand. Jak se dělá kabel. *Časopis Elektro* [online]. 2011, **2011**(07) [vid. 2021-10-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/jak-se-dela-kabel-9622>
- [33] VRZAL, Radek. Jádra vodičů pro kabely, jejich vlastnosti a použití. *AVK* [online]. 2019 [vid. 2021-10-02]. Dostupné z: <https://www.vyrobci-kabelu.cz/normy-rady-navody/jadra-vodicu-pro-kabely-jejich-vlastnosti-a-pouziti/>
- [34] ČSN 34 7409 ed.2: 2021 *Systém značení kabelů a vodičů*
- [35] ČSN 33 0165 ed.2: 2014 *Značení vodičů barvami nebo číslicemi - Prováděcí ustanovení + OPRAVA 1:2018*
- [36] ČSN 33 0166 ed.2: 2002 *Označení žil kabelů a ohebných šňůr*
- [37] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION a TECHNICAL COMMITTEE ON FIRE INVESTIGATIONS. *NFPA 921: guide for fire and explosion investigations*. Quincy (Mass): National Fire Protection Association, 2017. ISBN 978-1-4559-1602-3.
- [38] MORAVEC, Jan. Zpracování mědi - od minerálu až po kabel. *oEnergetice.cz* [online]. 22. září 2015 [vid. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/zpracovani-medi-od-mineralu-az-po-kabel/>
- [39] MORAVEC, Jan. Zpracování hliníku - od minerálu až po kabel. *oEnergetice.cz* [online]. 29. září 2015 [vid. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/zpracovani-hliniku-od-mineralu-az-po-kabel/>
- [40] MUDRUŇKOVÁ, Anna. Izolanty a dielektrika. *Elektrotechnické materiály VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křížka* [online]. 2016 [vid. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/06.html>
- [41] MORAVEC, Jan. Izolování vodivých jader v kabelové technice. *oEnergetice.cz* [online]. 16. březen 2016 [vid. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/izolovani-vodivych-jader-v-kabelove-technice/>
- [42] MORAVEC, Jan. Nejdůležitější izolanty používané v kabelové technice - 1. díl: Plasty. *oEnergetice.cz* [online]. nor , 16:52 2016 [vid. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/nejdulezitejsi-izolanty-pouzivane-v-kabelove-technice-1-dil-plasty/>
- [43] MORAVEC, Jan. Izolanty používané v kabelové technice - 2. díl: Elastomery a elektroizolační laky. *oEnergetice.cz* [online]. nor , 17:31 2016 [vid. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/nejdulezitejsi-izolanty-pouzivane-v-kabelove-technice-2-dil-elastomery-a-elektroizolacni-laky/>
- [44] PINKEROVÁ, Martina a Radek POLANSKÝ. Nové trendy v materiálech používaných pro izolaci a opláštění kabelů. *electroscope*. nedatováno, **2012**(3), 4.



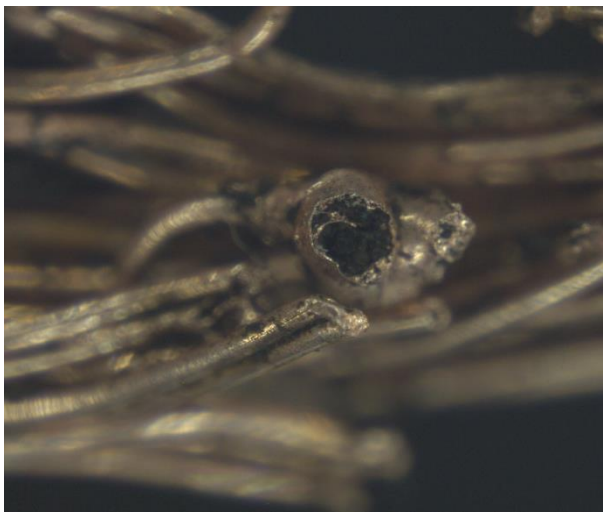
-
- [45] *Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. [vid. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>
- [46] SHEA, John J. Identifying causes for certain types of electrically initiated fires in residential circuits. *Fire and Materials* [online]. 2011, **35**(1), 19–42. ISSN 03080501. Dostupné z: doi:10.1002/fam.1033
- [47] BUREŠ, Milan. *Příčiny požárů způsobené elektrickým zařízením* [online]. [vid. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/okdfgdf040909>
- [48] ROBY, Richard a Jamie MCALLISTER. *Forensic Investigation Techniques for Inspecting Electrical Conductors Involved in Fire*. 239052. Columbia, MD: Combustion Science & Engineering, Inc. 2012.


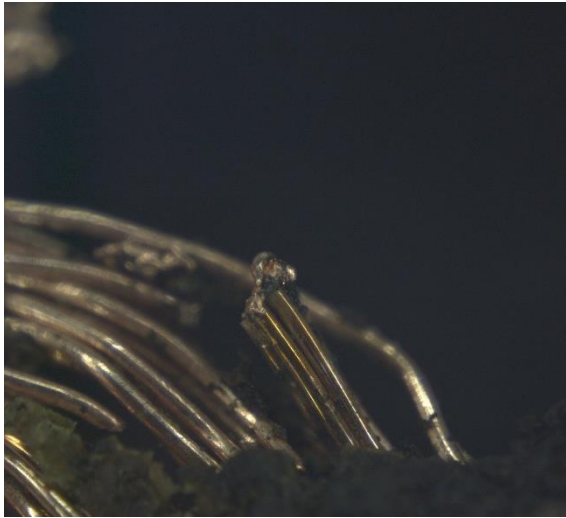

Příloha 1


Součástí této diplomové práce je příloha, ve které jsou uvedeny pořízené fotografie dokládající podobu vnějšího povrchu vzorku kabelu a snímky dokládající vzniklé nátavy. Každý ze vzorků kabelu je označen specifickým systémem značení, který je vysvětlen v praktické části této práce. Dále je u každého ze vzorků kabelu uvedena informace o ukončovacím stavu a času ukončení. Pokud není u vzorku kabelu doložen snímek nátavu, nebyl na vzorku kabelu vůbec vytvořen, nebo nebyl pod elektronovým mikroskopem odhalen.


Označení	0.5-A-1
Ukončovací stav	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu
Čas ukončení	2:00
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	

Označení	0.5-A-2
Ukončovací stav	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem
Čas ukončení	5:00
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

Označení	0.5-B-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:37
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>



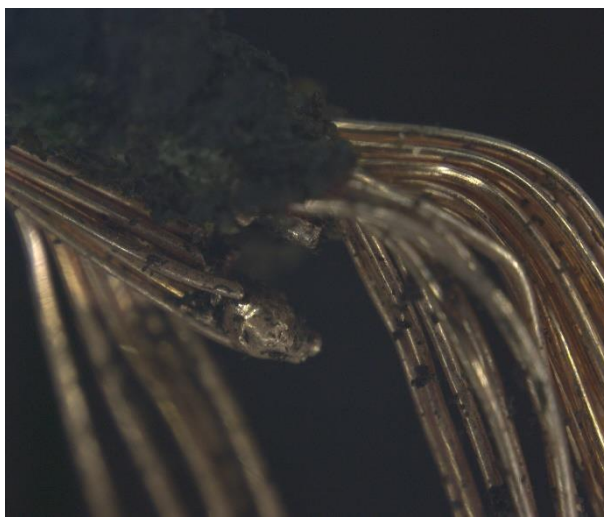
Označení	0.5-B-2
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:10
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>


Označení	0.5-B-3
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:58
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	




Označení	0.5-B-4
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:49
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	


Označení	0.5-B-5
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	1:54
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>




Označení	0.5-B-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:52
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	0.5-C-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:29
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

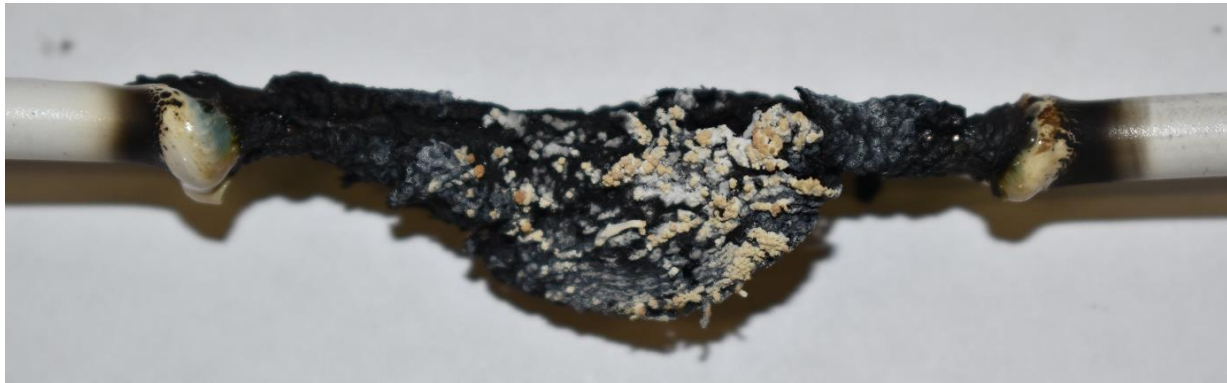
Označení	0.5-C-2
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:45
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	



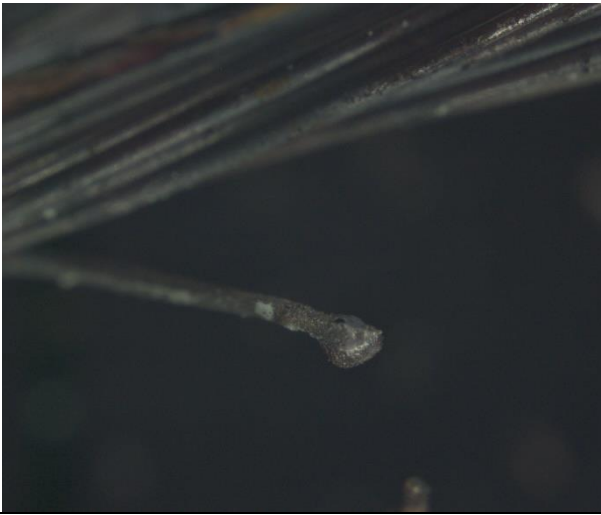
Označení	0.5-C-3
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:41
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>


Označení	0.5-C-4
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:46
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	

Označení	0.5-C-5
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:32
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

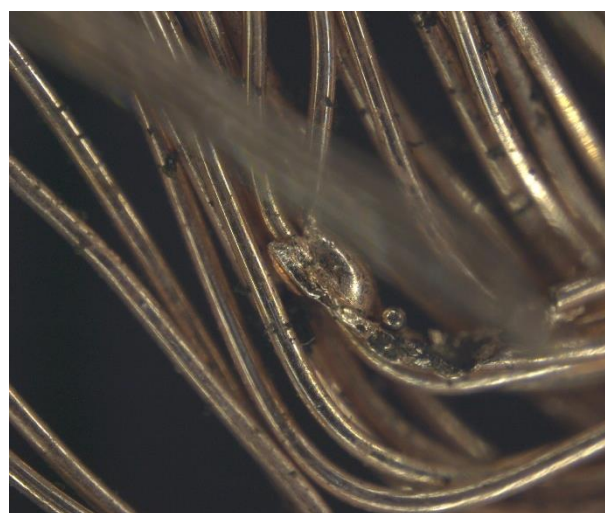
Označení	0.5-C-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:51
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>


Označení	0.75-A-1
Ukončovací stav	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu
Čas ukončení	2:00
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	

Označení	0.75-A-2
Ukončovací stav	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem
Čas ukončení	5:00
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	0.75-B-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:39
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	0.75-B-2
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:27


*12,5× zvětšeno**16× zvětšeno*

Označení	0.75-B-3
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:31
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

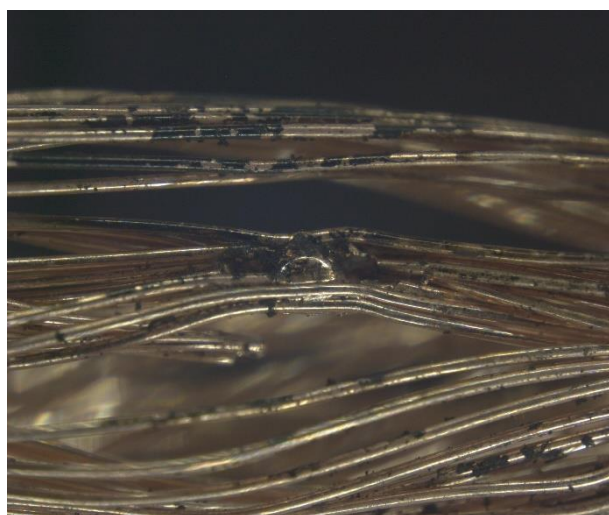
Označení	0.75-B-4
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:35



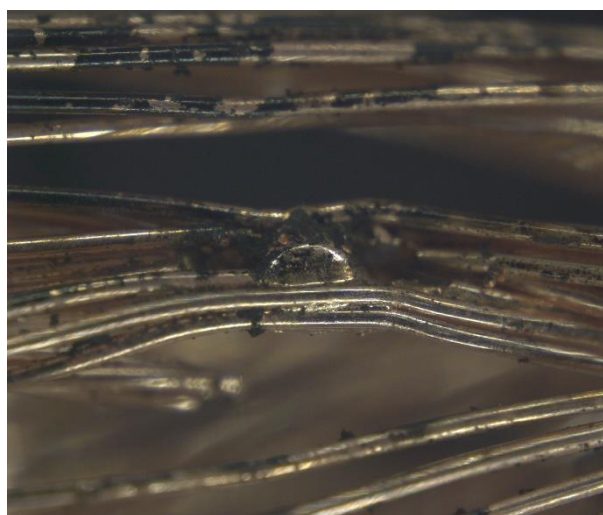
Bez snímku nátavu

Označení	0.75-B-5
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:31
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	


Označení	0.75-B-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:27



10,5x zvětšeno





16x zvětšeno


Označení	0.75-C-1
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:31
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	

Označení	0.75-C-2
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:36



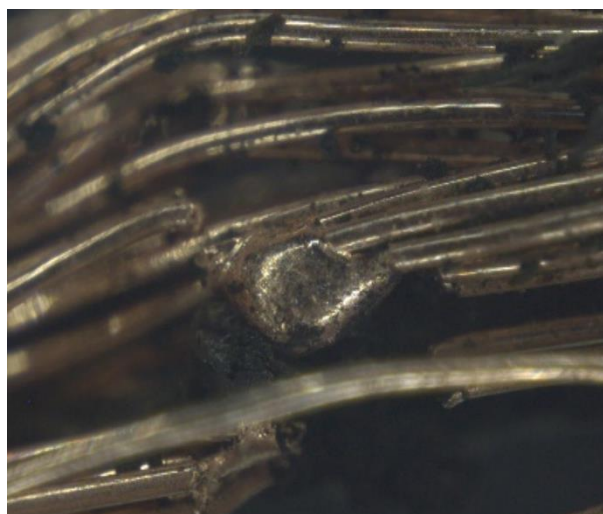
Bez snímku nátavu


Označení	0.75-C-3
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:38
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	0.75-C-4
Ukončovací stav	Vybavení proudového chrániče
Čas ukončení	0:31
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	




Označení	0.75-C-5
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:36
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	0.75-C-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:34

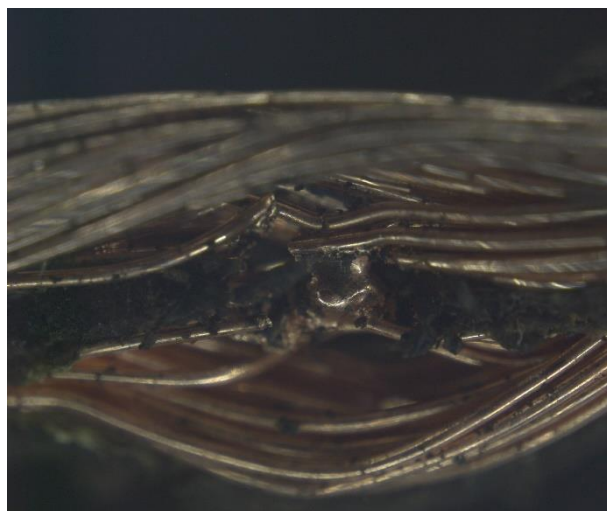
*12,5× zvětšeno**16× zvětšeno*

Označení	1-A-1
Ukončovací stav	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu
Čas ukončení	2:00
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	

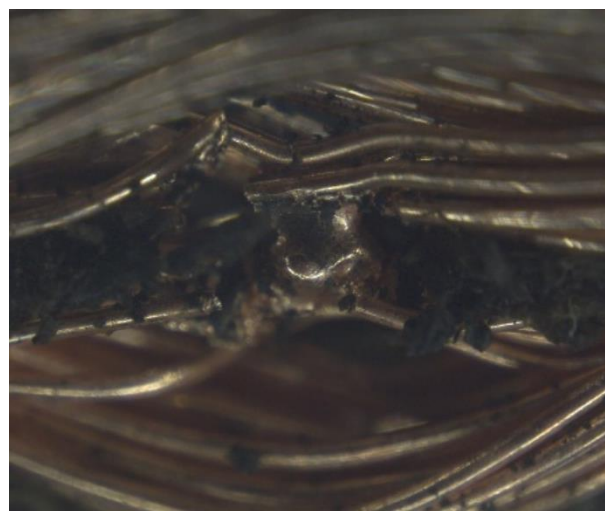
Označení	1-A-2
Ukončovací stav	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem
Čas ukončení	5:00
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

Označení	1-B-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:46
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	1-B-2
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:36



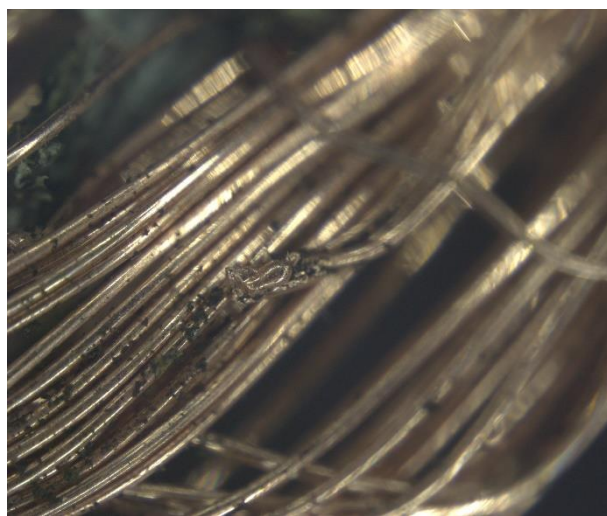
12,5× zvětšeno



16× zvětšeno

Označení	1-B-3
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:41
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

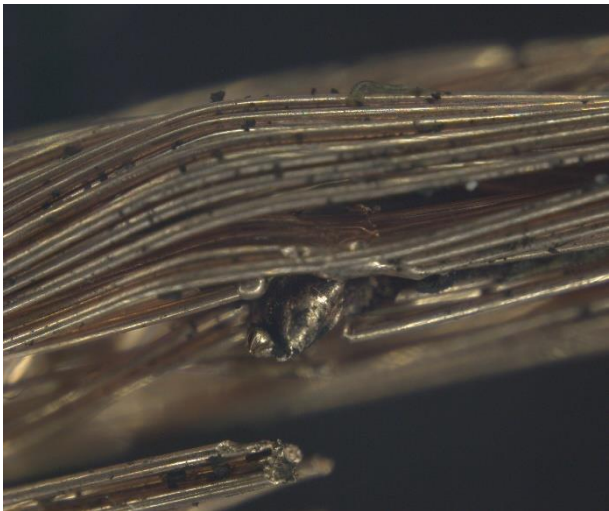

Označení	1-B-4
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:49



12,5× zvětšeno


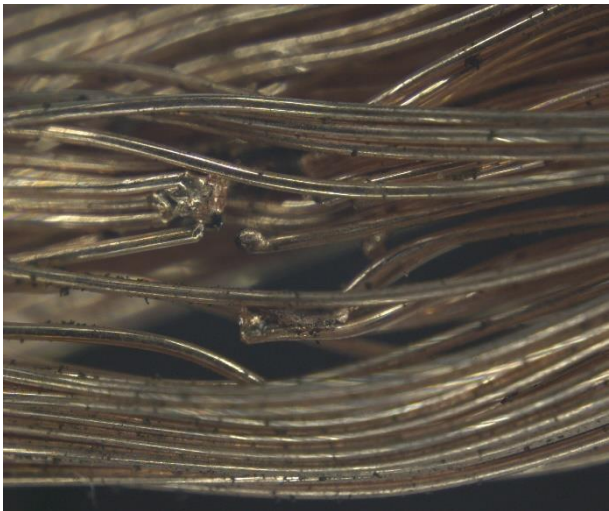



12,5× zvětšeno

Označení	1-B-5
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:55
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

Označení	1-B-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:37

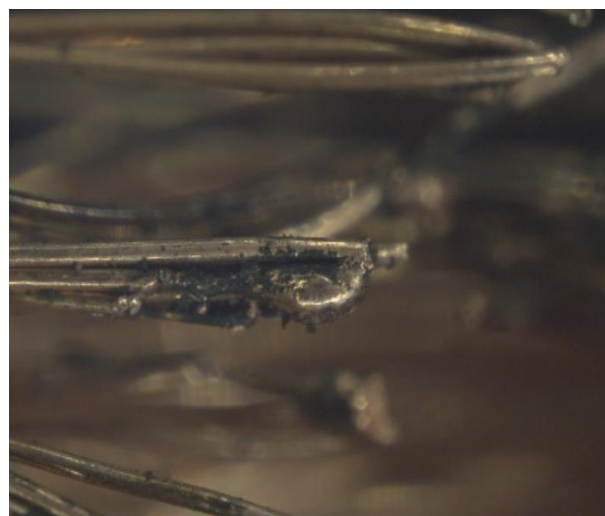
*12,5× zvětšeno**16× zvětšeno*

Označení	1-C-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:56
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>20× zvětšeno</i>


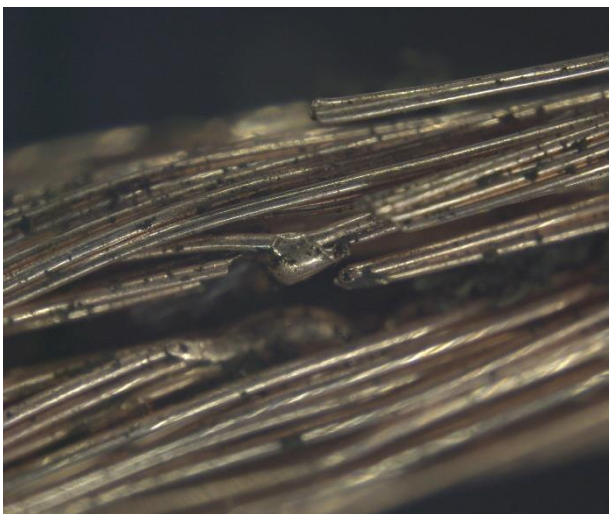
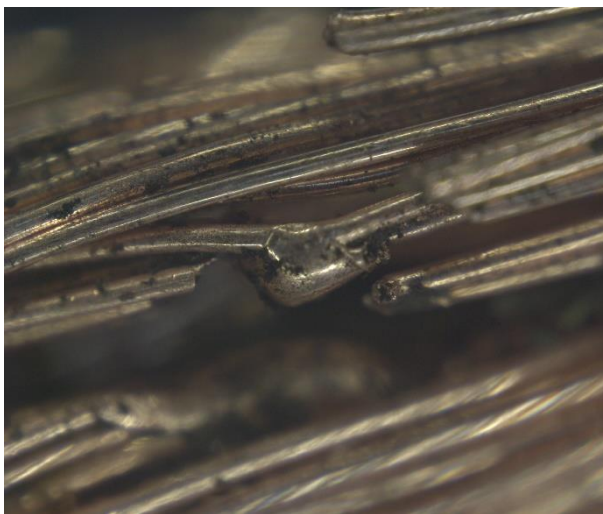
Označení	1-C-2
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:53



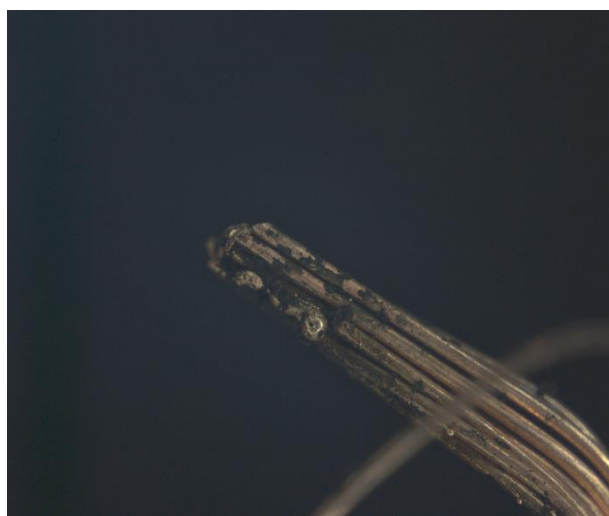
10,5× zvětšeno



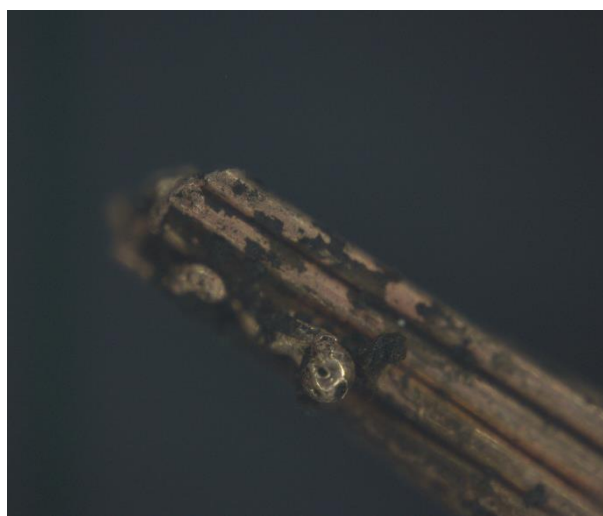
12,5× zvětšeno

Označení	1-C-3
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:55
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>20× zvětšeno</i>

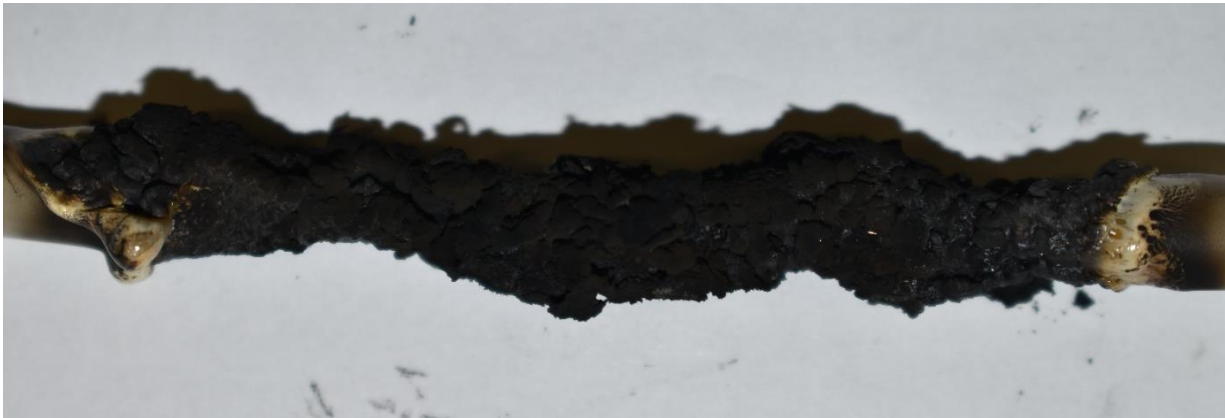
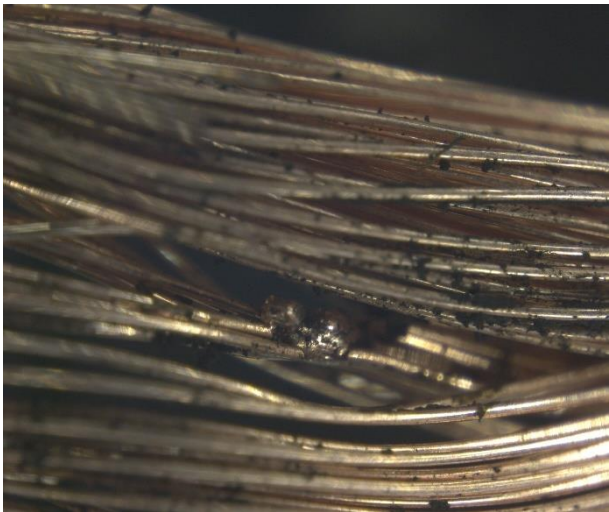
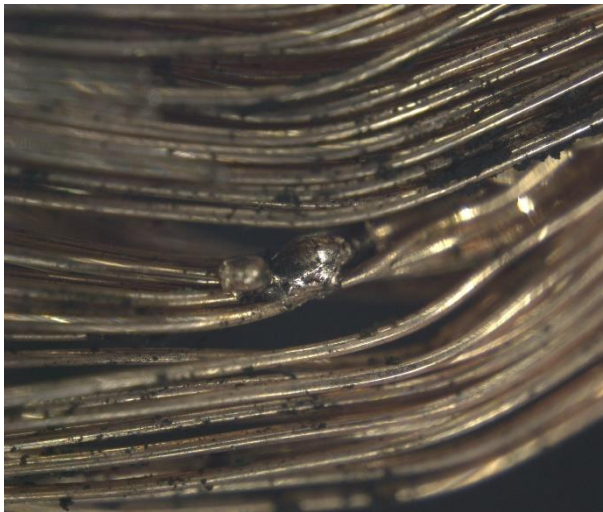
Označení	1-C-4
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:50




12,5× zvětšeno






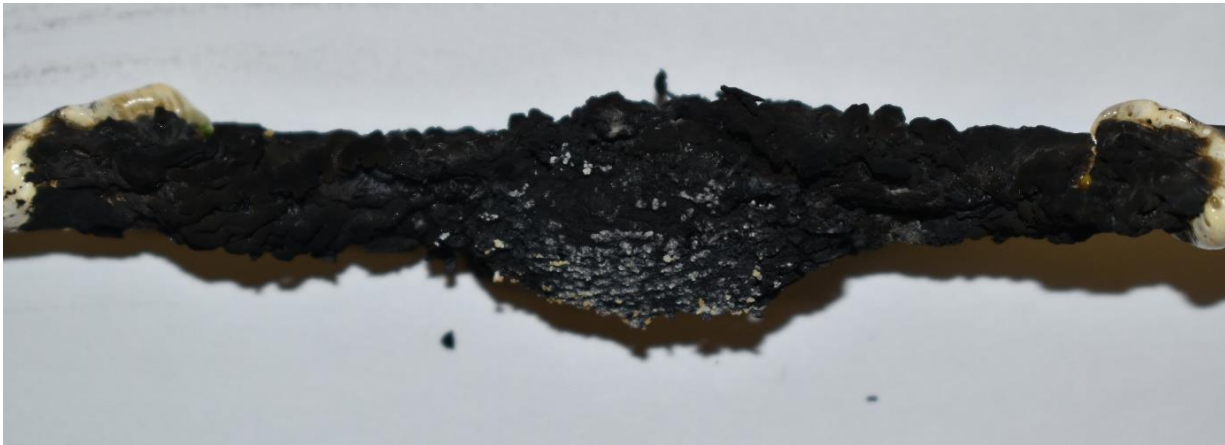


25× zvětšeno

Označení	1-C-5
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:51
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

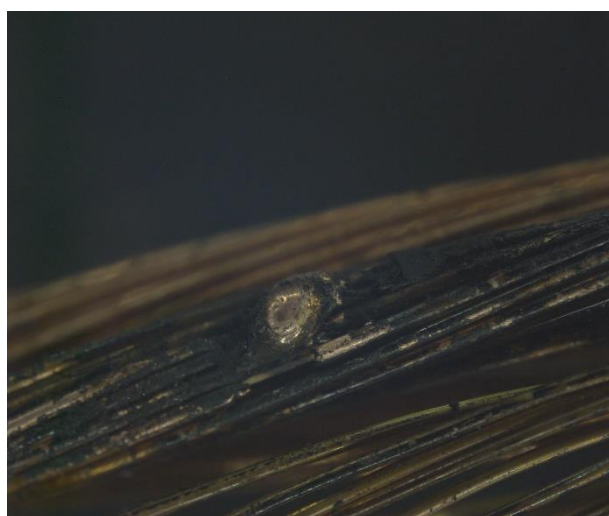
Označení	1-C-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:41
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

Označení	1.5-A-1
Ukončovací stav	2 min vystaven tepelnému namáhání bez zásahu
Čas ukončení	2:00
	
<i>Bez snímku natavu</i>	

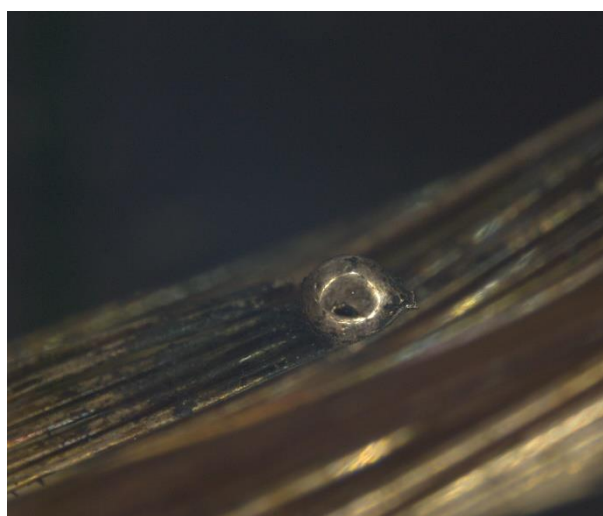
Označení	1.5-A-2
Ukončovací stav	5 min vystaven tepelnému namáhání se zásahem
Čas ukončení	5:00
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>10,5× zvětšeno</i>

Označení	1.5-B-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:53
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

Označení	1.5-B-2
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:59



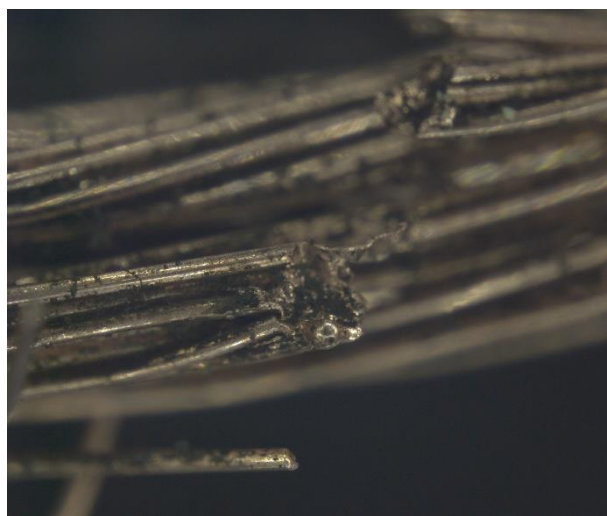
10,5× zvětšeno



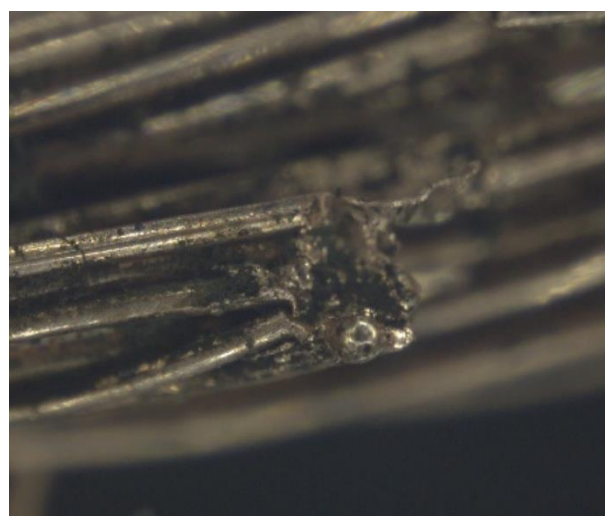
12,5× zvětšeno

Označení	1.5-B-3
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	2:31
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

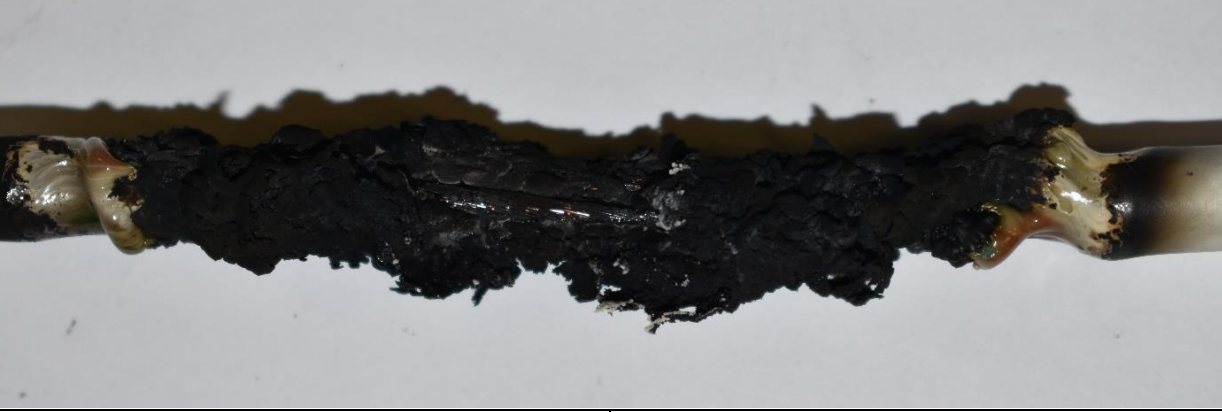


Označení	1.5-B-4
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:37







12,5× zvětšeno



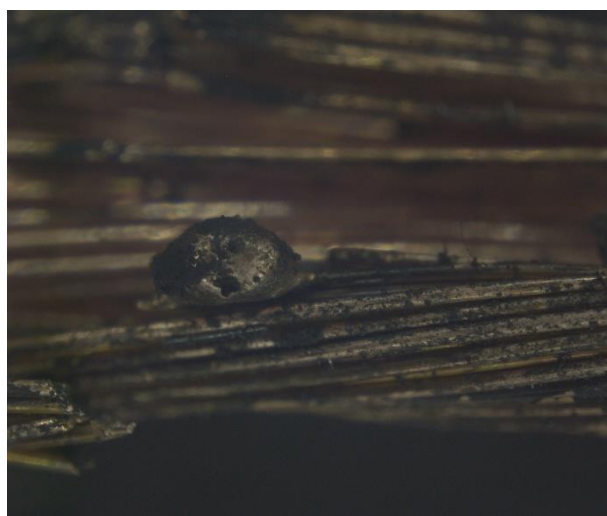
16× zvětšeno

Označení	1.5-B-5
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:08
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>

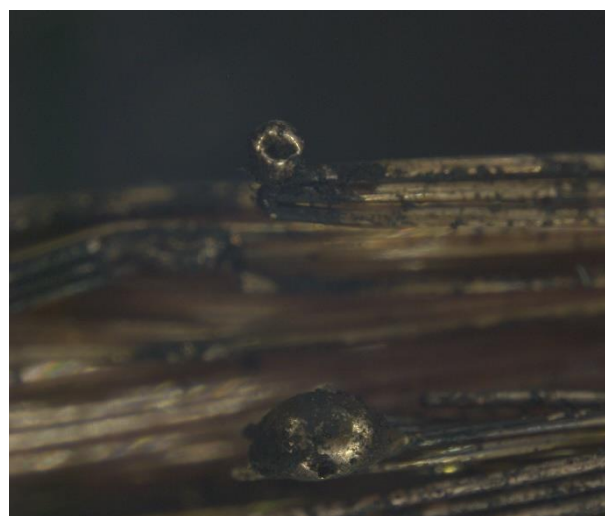
Označení	1.5-B-6
Ukončovací stav	Ukončení zkoušky po 5 min
Čas ukončení	5:00
	
<i>Bez snímku nátavu</i>	

Označení	1.5-C-1
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	0:59
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

Označení	1.5-C-2
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:33



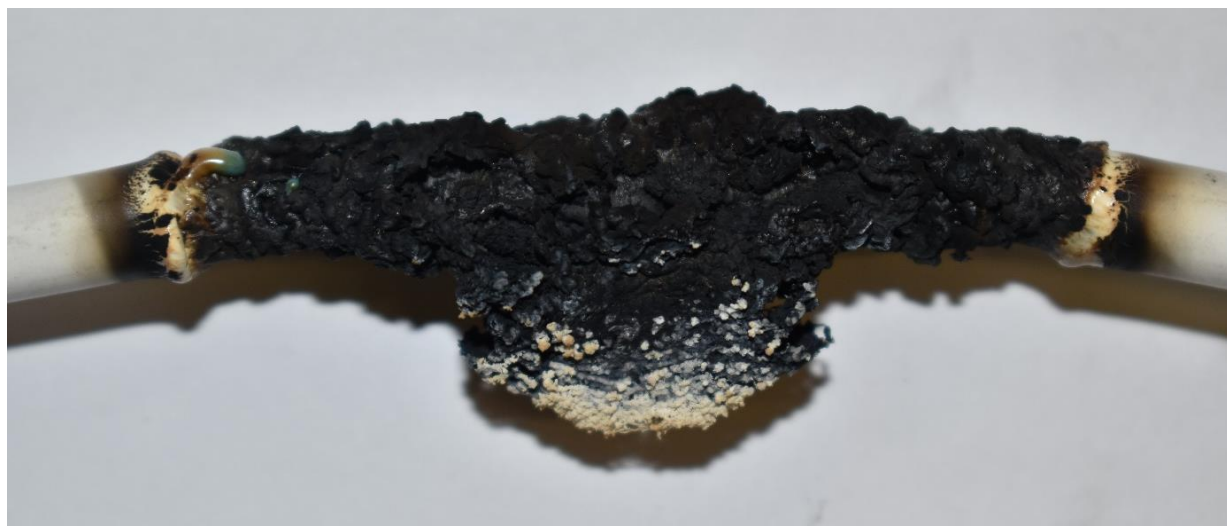
10,5× zvětšeno



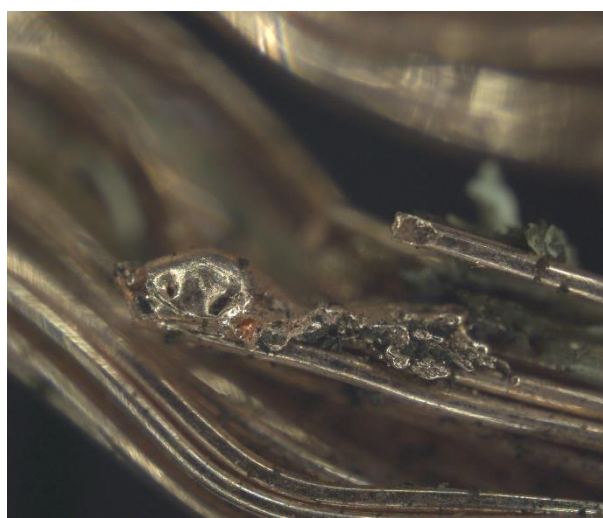
10,5× zvětšeno

Označení	1.5-C-3
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:24
	
	
<i>12,5× zvětšeno</i>	<i>16× zvětšeno</i>


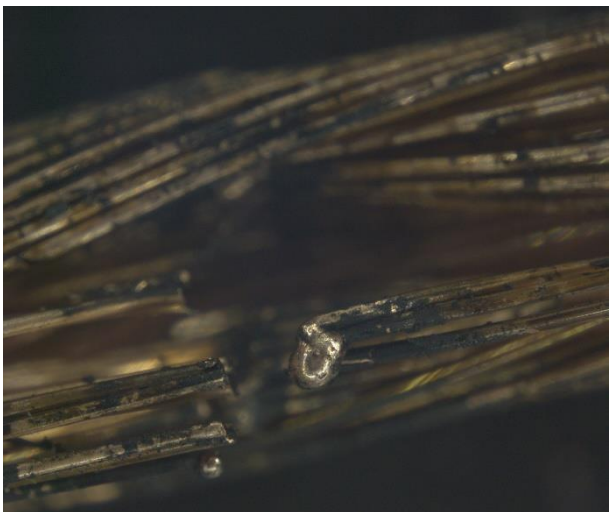
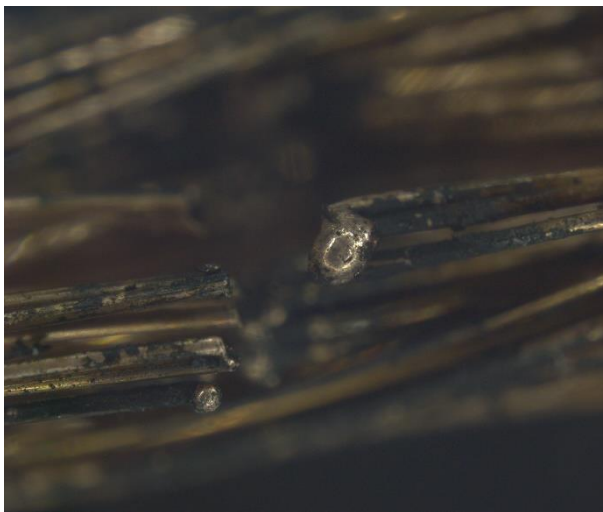
Označení	1.5-C-4
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:49



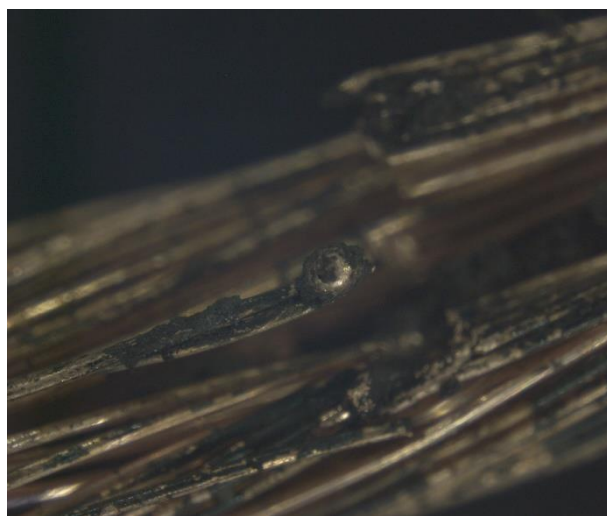
12,5× zvětšeno



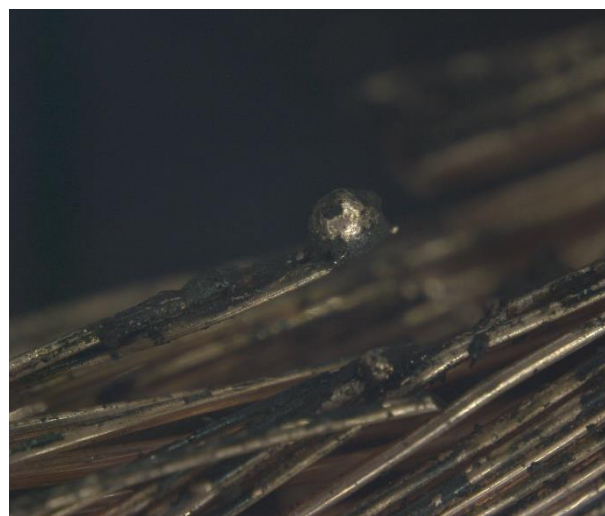
16× zvětšeno

Označení	1.5-C-5
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	2:55
	
	
<i>10,5× zvětšeno</i>	<i>12,5× zvětšeno</i>

Označení	1.5-C-6
Ukončovací stav	Vybavení jističe
Čas ukončení	1:26



10,5× zvětšeno



12,5× zvětšeno